



ЧЕРНОБИЛЬ

10 ГОДИНА
ПОСЛЕ

ЗБОРНИК РАДОВА

ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА

ЗБОРНИК РАДОВА

САВЕТОВАЊЕ

„ЧЕРНОБИЉ, 10 ГОДИНА ПОСЛЕ“
Будва, 4–7. јун 1996. године

Београд
1996.

САВЕТОВАЊЕ „ЧЕРНОБИЉ, 10 ГОДИНА ПОСЛЕ”
Будва, 4–7. јун 1996. године

Организатори: ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
ЈУГОСЛОВЕНСКО НУКЛЕАРНО ДРУШТВО

Организациони одбор: мр Милојко Ковачевић, председник
др Илија Плећаш
Марко Шимурина
мр Гордана Пантелић
мр Снежана Павловић
мр Радоман Бендераћ
др Слободанка Станковић
др Гордана Ђурић
др Јелка Стругар

Редакциони одбор: др Марко Нинковић
др Ђорђе Бек-Узаров
др Гордана Јоксић

Организацију Саветовања „Чернобиљ 10 година после” и штампање овог Зборника су помогли:

Савезно министарство за науку, развој и заштиту животне средине,
Министарство за науку и технологију Републике Србије,
Министарство за заштиту животне средине Републике Србије,
Институт за нуклеарне науке „Винча”
Научни институт за ветеринарство, Нови Сад

Предговор

Нуклеарни уједи на IV блоку нуклеарне елктране у Чернобиљу имао је катастрофалне последице. Људске жртве и огромна материјална штета никада неће бити тачно утврђене ни саниране. Не треба преибррећи ни социолошке и психолошке последице које се не могу повезати са зрачењем већ су последица информативног стреса јавности и неблаговременог и неадекватног обавештавања.

Организујући саветовање Југословенско друштво за заштиту од зрачења је желело да са временске дистанце од 10 година сагледа, што је могуће реалније, последице несреће. Жеља је да се процени и спремност за деловање служби заштите од зрачења.

Овај Зборник представља збирку радова саопштених на Саветовању. Мада су сви радови рецензирани за све резултете изнете у Зборнику одговорни су аутори.

У име организатора Саветовање користим и ову прилику да се захвалим ауторима на уложеном труду.

Уредник

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

504 . 056 : 621. 039(477) (063) (082)

САВЕТОВАЊЕ „Чернобиљ, 10 година после”
(1996 ; Будва)

Зборник радова / Саветовање „Чернобиљ,
10 година после”, Будва, 4-7. јун 1996. године ;
[организатори] Југословенско друштво за заштиту
од зрачења [и Југословенско нуклеарно друштво] ;
[уредник Милојко Ковачевић] . – Београд : Институт
за нуклеарне науке „Винча”, Лабораторија за заштиту
од зрачења и заштиту животне средине „Заштита” :
Југословенско друштво за заштиту од зрачења, 1996
(Београд : Штампарија Института за нуклеарне
науке „Винча”) . – 196 стр. : граф. прикази, табеле ; 24 см

Тираж 100. – Библиографија уз сваки рад. –
Summaries. – Регистар .
ISBN 86-80055-99-9

1. Југословенско друштво за заштиту од
зрачења (Београд)
614.876 (063) (082)
- a) Несреће у нуклеарним електранама –
Чернобиљ – Зборници б) Јонизујуће зрачење
– Дејство, штетно – Зборници
ИД=50600972

САДРЖАЈ

Д. Спасојевић, В. Јовић, С. Миливојевић	
Чрнобилски удес - сигурносне последице, поуке и поруке (Предавање по позиву)	9
М. Никковић	
Чињенице и констатације о неким последицама ациденте у Чернобилу (Предавање по позиву)	17
Г. Пантелић, Д. Поповић, Р. Максић, М. Орлић, Р. Павловић, С. Павловић	
Последице и искуства - десет година после Чернобиља (Предавање по позиву)	27
Ђ. Бек-Узаров, Д. Костић, Д. Никезић, Д. Арсенијевић, О. Чукчић	
Интерне констатације породица после Чернобиљског ацидента (Предавање по позиву)	45
Гордана Јоксић	
Биолошка дозиметрија јонизујућих зрачења десет година после Чернобиља (Предавање по позиву)	51
Г. Пантелић, Р. Брновић, И. Петровић, Љ. Мијатовић	
Радиоактивност у Србији после ацидента у Чернобиљу	57
И. Петровић, Р. Брновић, Љ. Мијатовић, М. Вукотић, Г. Пантелић	
Радиоактивност у ваздуху и падавинама у Србији за период 1984-1994 године	63
Г. Ђурић, Д. Поповић, Д. Тодоровић, Ј. Ајтић, В. Дојнов	
Физички производи у животију средини после нуклеарне несреће у Чернобиљу	67
П. Вукотић, Ј. Жић, С. Јовановић, С. Дацчевић	
CS-137 у земљишту подручја Пљеваља	73
Г.И. Борисов, В.В. Кузмич, В.М. Кулаков, П. Вукотић, С. Дацчевић, Н. Антовић, М. Мирковић, М. Пајовић, Р. Свркота, Б. Фуштић, Г. Ђуретић	
Чернобилски цезијум у тлу Црне Горе, осам година послије ацидента	79
Г. Медин	
<i>The contamination of Slovenia after Chernobyl accident</i>	85
Д. Тодоровић, М. Раденковић, В. Шипка	
Варијације Cs-137 у приземном слоју атмосфере и Интернатуру "Винча" пре и после ацидента у Чернобиљу	91
М. Маџдић, Ж. Вуковић, М.М. Никковић	
Ново радиоактивне констатације извозних производа у години Чернобиљског ацидента	95
Ђ. Бек-Узаров, З. Ђукић, Д. Костић, Д. Никезић, О. Чукчић	
Еквивалентне дозе од интерне констатације трајана СР Југославије констатираних у околини Чернобиља априла и маја 1986. године	101
О. Маринковић, Г. Пантелић, И. Петровић	
Јачина атсорбовање дозе у ваздуху на подручју Републике Србије у периоду 1985-1995	107
С. Станковић, А. Станковић	
Биодиверзитет и радиолођа у условима ацидента	111
Б. Петровић, Р. Митровић, Р. Кљајић	
Модели и прорнозе радионуклида ¹³⁷ Cs за млеко и месо у ванредном дошађају	119
Р. Митровић, Р. Кљајић, Б. Петровић, Д. Вуковић	
Резултати анализе радиоактивног цезијума (^{134, 137} Cs) у биотехничкој производњи за период 1985-1995. године	123
Г. Јоксић	
Биодозиметрија ацидентално озрачених лица Чернобиљским ефлугенитима	127
С. Милачић, И. Кисежевић, Б. Марковић, Ж. Константиновић	
Резултати истраживања хематолошких параметара и ћелијских ензима код становника Србије	133
Ж. Константиновић, С. Илић, С. Милачић	
Приказ инциденце малигних оболења лица професионално изложених дејству јонизујућег зрачења за период 1986-1995	137
Д. Јовичић, Б. Марковић, С. Милачић, Г. Јоксић	
Хромозомске аберације код становника Србије у периоду 1985-1995	143

И. Кнежевић, Љ. Новак	
Нивој активачности ^{137}Cs у узорцима урина становништва Републике Србије	147
Г. Виторовић, Б. Драгановић, Д. Виторовић, Г. Грубић, О Вукичевић	
Могућност радијационе заштите у акцидениталним условима са аспекта ветеринарске службе	151
Б. Телешта, Д. Аптић	
Примена ETA модела на моделовање транспортна радионуклида у околини Чернобиља	157
З. Гршић, Б. Рајковић	
Одјеље карактеристике модела за прогнозу времена којим су вршene симулације Чернобиљској акциденти	163
Ж. Вуковић, М. Мацдић, С. Раичевић	
Деконтаминација у оплакивању последица Чернобиљској акциденти	169
М. Вукичевић	
Феномен Чернобиља	173
Д. Никезин, Д. Вучић	
Међународни стандарди у заштити од зрачења	175
Н. Миљевић, В. Шипка, М. Пешић, З. Гршић	
Мониторинг транзијума у теку рада реактора РБ	179
Р. Симовић, М. Марковић, Б. Стефановић	
Прорачун неутронских спектара за потребе акцидениталне дозиметрије	185
М. Одаловић, З. Павловић, Б. Вучковић, Д. Митић	
Осетљивост РМОС транзистора на зрачење и ефекти њиховој термичкој отпоравци	191
Индекс аутора	197

ЧЕРНОБИЉСКИ УДЕС - СИГУРНОСНЕ ПОСЛЕДИЦЕ, ПОУКЕ И ПОРУКЕ (предавање по позиву)

Душан Спасојевић, Валерије Јовић, Стојан Миливојевић

Институт за нуклеарне науке "Винча", Београд, пошт. фах 522

АПСТРАКТ: У раду је дат кратак опис основних закључака десетогодишњих анализа узрока настанка, тока развоја и последица удеса на четвртом блоку нуклеарне електране у Чернобиљу (ЧАЕС-4). Рад садржи, поред већ проверених сазнања која су анализирана или најављивана у раним приказима, и неке недоумице које су остале неразјашњене и после дугогодишњих анализа чернобиљског удеса. Учињен је осврт и на актуелно и очекивано стање саркофага у коме је смештен реактор ЧАЕС-4. Дат је и кратак коментар процена могућности појављивања нових удеса чернобиљског типа, као и настанка максималног пројектног удеса на нуклеарним електранама у окружењу наше земље.

УВОД

Удес, који се догодио у раним јутарњим часовима 26. априла 1986. године на четвртом блоку нуклеарне електране у Чернобиљу (ЧАЕС-4), по размерама изазваних последица представља једну од највећих индустриских катастрофа која је задесила нашу цивилизацију.

И поред ангажовања великог броја експерата за сигурност нуклеарних електрана, широкој отворености приступа потребним информацијама и дуготрајним анализама, многа питања везана за узроке настанка, ток развоја и последице овога удеса остала су и после десет година недовољно разјашњена. На овакав закључак упућују, поред осталог, примедбе стручњака /10/ учинене на последњу верзију извештаја Радне групе експерата Међународне агенције за атомску енергију (INSAG-7) /9/. Недоумице и полемике стручњака обухватају широку лепезу питања: *ваљаност основне концепције типа реактора и електране, адекватност и ваљаност појединачних техничких решења делова постројења, а нарочито управљачких и сигурносних система; потпуност и ваљаност сигурносних и основних техничких поступака, а пре свега оних које се односе на припрему и извођење тестова погонске сигурности постројења и, коначно, на обим, садржај и квалитет обучености погонског особља и оператора, а посебно на њихову сигурносну културу и дисциплину.* Наведене дилеме отварају бројна конкретна стручна, а неке од њих и научна питања, која се морају проучити до њихових коначних решења, чиме би наука и струка, које се бави коришћењем енергије нуклеарне физије, показале да је савладана једна од најтеžих "лекција" у њихом развоју.

Непосредно после удеса на ЧАЕС-4, мишљења експерата била су подељена. Једни су тврдили да је до удеса дошло углавном због неразумних грешака оператора, док су други узроке удеса објашњавали, пре свега, слабостима техничких решења и неадекватним стандардима нуклеарне сигурности, према којима је грађена ова нуклеарна електрана. Међутим, после детаљних анализа узрока и тока развоја удеса на ЧАЕС-4, експерти су се сагласили да су недостаци карактеристика инхерентне и надграђене сигурности овог типа нуклеарне електране омогућили да низ сукцесивних грешака оператора доведе до овог удеса /11/.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ИНХЕРЕНТНЕ И НАДГРАЂЕНЕ СИГУРНОСТИ

ЧАЕС-4 је пројектована према стандардима нуклеарне сигурности, који су били на снази у бившем СССР-у почетком 70-тих година, тако да она припада другој генерацији нуклеарних електрана са реакторима РБМК-типа (табела 1).

Најбитније замерке својствима инхерентне и надграђене сигурности овога типа нуклеарних електрана усмерене су на:

* пораст реактивности језгра реактора са порастом "шупљина" у хладноцу (слика 1),

- * велику запремину језгра реактора (преко 750 m³), које садржи око 190 t нискообогаћеног уранијума (до 2% U²³⁵), у облику синтерованог UO₂, и 1700 t графита, као модератора,
- * релативно велику запремину примарног расхладног система: реактор, сепаратори паре, турбине, кондензатор, размењивачи тошлоте, примарне пумпе, примарни цевовод, подсистем за одржавање притиска у хладиоцу, подсистем за пречишћавање хладиоца и др.
- * велику и разгранату граничну површину примарног хладиоца,
- * застарелу и спору дијагностику виталних параметара процесних и сигуриосних система
- * недоследност придржавања и испуњавања захтева сигурносног принципа "одбране по дубини", која је нарочито изражена код прве генерације овог типа нуклеарне електроплатне.

Табела 1. Нуклеарне електроплатне са реакторима РБМК - тија

НУКЛЕАРНА ЕЛЕКТРАНА Блок	СНАГА, MW(e)	ПУШТ. У ПОГОН, Година	ГЕНЕРАЦИЈА	СТАТУС
НЕ ИГНАЛИНА (ЛИТВАНИЈА)				
I Блок	1500	1983	2	У погону
II Блок	1500	1986	2	У погону
НЕ ЛЕЊИНГРАД (РУСИЈА)				
I Блок	1000	1973	1	У погону
II Блок	1000	1975	1	У погону
III Блок	1000	1980	2	У погону
IV Блок	1000	1981	2	У погону
НЕ КУРСК (РУСИЈА)				
I Блок	1000	1976	1	У погону
II Блок	1000	1978	1	У погону
III Блок	1000	1983	2	У погону
IV Блок	1000	1985	2	У погону
V Блок	1000	-	3	У градњи
НЕ СМОЛЕНСК (РУСИЈА)				
I Блок	1000	1982	2	У погону
II Блок	1000	1985	2	У погону
III Блок	1000	1990	3	У погону
НЕ ЧЕРНОБИЉ (УКРАЈИНА)				
I Блок	1000	1977	1	У погону
II Блок	1000	1978	1	У погону
III Блок	1000	1981	2	У погону
IV Блок	1000	1983	2	Разорен 1986

* неадекватна и застарела техничка решења сигуриосних система, а пре свега система за удеосно заустављање реактора и

* сигуриосни принцип редундантности функција, компоненти и система који је уграден неадекватно савременим захтевима и стандардима.

НЕПОСРЕДНЕ И ТРАЈНЕ ПОСЛЕДИЦЕ УДЕСА

Појединачни ефекати и последице удеса на ЧАЕС-4 могу се оријентационо груписати на: еколошке, технолошке, енергетске, економске, политичке, социолошке и др.

Овај рад је посвећен разматрању са техничко-технолошког аспекта нуклеарно-сигуриосних ефеката и последице удеса на ЧАЕС-4, као полазној основи за анализу са осталих аспектата.

Последице овог удеса анализиране су још у току 1986. године /9, 11/, па се овде иће поново ни описивати ни паводити, осим оних које су имале далекосежније последице, као што су:

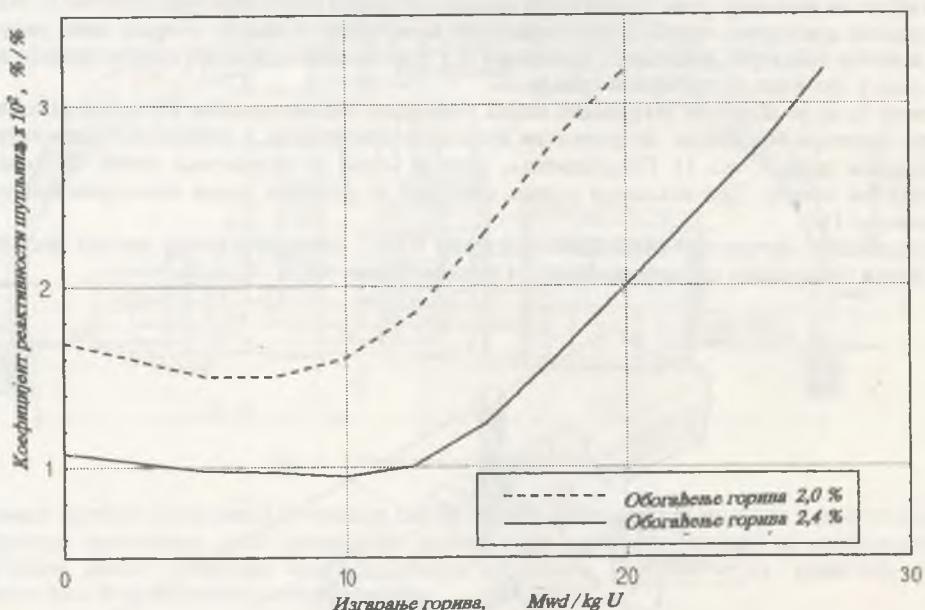
- * најлађење одијума јавности на све што има одредницу "нуклеарно",
- * преиспитивање, успоравање и отказивање текућих и планираних програма мирнодопског коришћења нуклеарне енергије,

* повезивање, усаглашавање и координирање националних програма на усавршавању сигурносних карактеристика постојећих и развој нових, инхерентно високо сигурних типова нуклеарних електрhana.

Конечно, једна од најважнијих последица удеса на ЧАЕС-4 је истиносност усавршавања и обезбеђивања сигурности коришћења енергије нуклесарне физије, јер се искристалисало сазнање да коришћење ове енергије има судбиносни значај за одржавање и развој наше цивилизације.

Са техничко-технолошког аспекта, удес на ЧАЕС-4 имао је, поред осталог, за последицу и значајно унапређивање карактеристика надграђене сигурности нуклеарних електрhana са реакторима РБМК-1000 типа. Основу овог унапређивања чиниле су следеће модификације:

- * утрагено је 80 додатних апсорберских шипки,
- * повећан је број контролних шипки које морају увек бити у језгру реактора, са 15 на 30,
- * повећано је изотопско обогаћење свежег горива са 2,0% на 2,4% U^{235} (sl. 1),
- * повећана је брзина убацивања сигурносних и контролних шипки,
- * повећан је број сигнала за удесно заустављање реактора,
- * уведено је континуално праћење вишке реактивности језгра реактора,
- * побољшан је и модернизован систем мониторинга у контролној соби итд.



Сл. 1. Кофицијент реактивности шупљине у модератору у зависности од обогаћења горива и степена изгарња горива

Извршене модификације система, поштрени сигурносни прописи, побољшане погонске процедуре и већа пажња посвећена људском фактору, као и чињеница да се на ЧАЕС-4 већ додатно удаље, имали су за последицу да су у протеклих десет година осталих двадесет блокова

нуклеарних електрана овога типа, у односу на електране других типова, радије са задовољавајућом расположивићу и поузданошћу /12/.

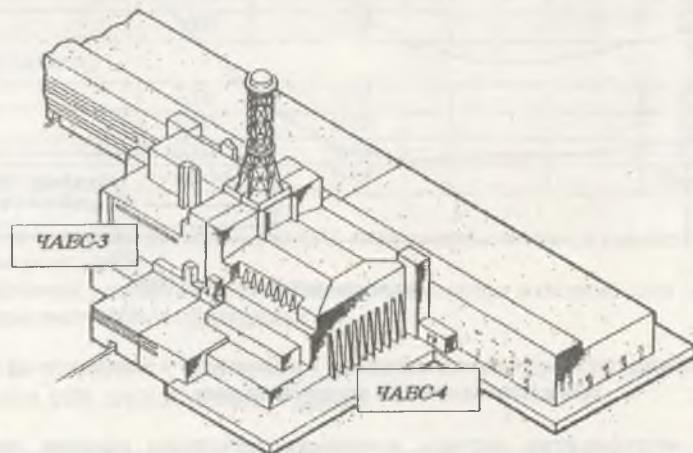
Конечно, треба нагласити да је као последица удеса на ЧАЕС-4, дошло до интезиваног рада на програму усавршавања пројектованих и погонских сигурносних карактеристика нуклеарних електрана свих типова. Ови програми су обухватили, пре свега обезбеђивање и контролу квалитета пројектовања, градње и погона нуклеарних електрана. Посебна пажња била је посвећена унапређивању сигурносних карактеристика нуклеарних електрана са реакторима ВВЕР типа, и то: усавршавањем система за повећање поузданости опреме, развијањем опреме за локализацију дурсења радиоактивних ефлусната, усавршавањем система за снабдевање расхладном водом у случају удеса, усавршавањем система за против пожарну заштиту итд.

БУДУЋНОСТ ЧАЕС-а

Изградња саркофага, са којим је обложен разорени реактор ЧАЕС-4, изведена је на технички потпуно недекватан начин, јер су услови било нерегуларни. Због тога се континуално прате и преиспитују његова функционалност, трајност и поузданост /15/. Процењује се да је технички век овог објекта ограничен на даљих 10-15 година /14/, јер су практично сва његова техничка решења била изнужена околностима удеса. Тако је, на пример, потреба континуалне контроле стања унутрашње конструкције разореног реактора наметнула велики број отвора (преко 140) при чему неки од њих имају површину скоро 10 m^2 . Стање конструкције разореног реактора десет година после удеса је: бетонски поклонац реактора, тежак око 2000 t, налази се у вертикалном положају; реакторски суд је празан; бетонски носач реактора спуштен је око 4 m; истопљено нуклеарно гориво и конструкцијни материјали, у облику очврсле лаве, расути су око и испод реактора; фисибилни материјал је у изразито поткритичној конфигурацији али је још увек у физички нестабилном стању.

Оцењује се да је актуелно сигурносно стање саркофага задовољавајуће, јер стање истопљеног језгра реактора обезбеђује сигурност на нуклеарну критичност, а испуштање радиоактивних материјала износи око 11 GBq/годишње, што је мање од испуштања истих блокова при нормалном погону. Пре неколико година саркофаг је претрпео мањи земљотрес без видних последица /11/.

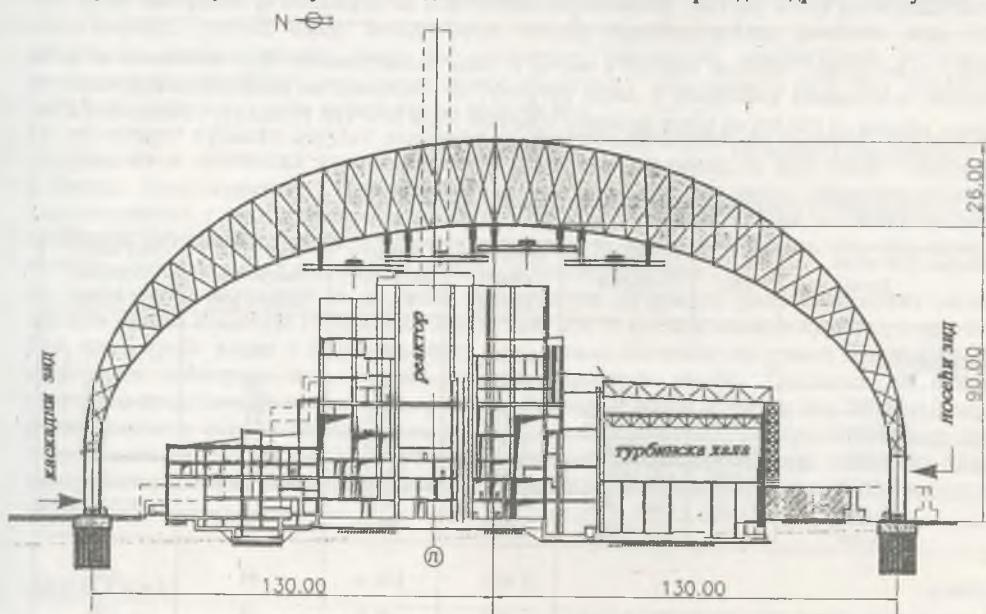
Са становишта сигурности нуклеарне електране ЧАЕС, значајну и реану претњу представља близина и диспозиција саркофага ЧАЕС-4 и трећег блока ЧАЕС-3 (сл.2).



Сл. 2. Положај саркофага ЧАЕС-4 у односу на ЧАЕС-3

Достигнути ниво сигурности разореног ЧАЕС-4 угрожавају три реалне опасности, до којих може доћи услед **механичког померања** материјала у саркофагу, и то: (1) **нукларна**, због смањивања степена нукларне поткритичности, (2) **тотална**, због ногоршавања услова хлађења очврсле лаве и (3) **радијациона**, због подизања и испуштања радиоактивис прашине. Дугорочније гледано, реалну опасност представља могућност цурења радиоактивних материјала у подземне воде у окружењу ЧАЕС-а.

Уосталом, ово су и били разлози да је још почетком 90-тих година покренут захтев за трајним прекидом погона ЧАЕС-1, 2, 3 и потпуно одстрањивање ЧАЕС-4 са локације и стварање зелене површине. При томе су предлагане две могућности: (1) "зелено брдо"- преливање бетоном целе локације, затим прекривање земљом и озелењавањем, као јевтиније решење, и (2) "зелени пропланак"- демонтирање свих блокова ЧАЕС-а и одлагање радиоактивног материјала на "сигурно" место и затим изравњавање и озелењавање целе локације, као скупље решење. Процењено је да су оба ова решења сувише скупа, а при томе, за сада не постоје ни адекватна техничка решења за обраду и поуздано одлагање овако великих количина разноврсних радиоактивних материјала. Имајући то у виду предложена је изградња новог саркофага /16/ (сл. 3), који би обавијао постојећи и био довољно механички отпоран да издржи евентуално



Сл. 3. Скица новог саркофага

обрушавање крупних металних и бетонских делова унутар постојећег саркофага, а омогућавао би и приступ преосталој маси нуклеарног горива ради узимања узорака и, евентуално, одстрањивање делова разореног блока нукларне електране. Предвиђа се да технички век новог саркофага буде неколико стотина година.

ДА ЛИ ЈЕ МОГУЋ УДЕС ЧЕРНОБИЉСКОГ ТИПА У НАШЕМ ОКРУЖЕЊУ?

Предузимањем наведених сигурносних мера, вероватноћа настанка новог удеса чернобиљског типа на осталим нуклеарним електранама са реакторима РБМК сведена је на вредност испод 10⁻⁶, па се може сматрати, практично невероватним догађајем.

Међутим, за нашу, као и остале земље, једна од најважнијих последица чернобиљског искуства је сазидање о потреби континуалиог праћења сигурности и поузданости погона и анализе могућих удеса на нуклеарним електранама које су лоциране у суседним земљама (табела 2).

Наравно, циљ, садржај и обим анализе сигурности и процене ризика од погона ових електрана у суштини је разликује од анализа и процена које се обављају у земљама власницима разматраних нуклеарних електрана /16/.

Табела 2. Нуклеарне електране у ширем окружењу Југославије, у сливу Дунава

ЗЕМЉА	У ПОГОНУ					У ИЗГРАДЊИ		
	тип	број	снага	искуство	учешће	тип	број	снага
	-	MW(e)	reakt. x god.	%	-	-	-	MW(e)
БУГАРСКА	BVEP	6	3 538	83	45,6	-	0	0
РУМУНИЈА	PHWR	1	650	0	0	PHWR	4	2 600
МАЂАРСКА	BVEP	4	1 729	42	43,7	-	0	0
СЛОВАЧКА	BVEP	4	1 632	61	49,0	BVEP	4	1552
ЧЕХИЈА	BVEP	4	1 648	38	28,2	BVEP	2	1 824
СЛОВЕНИЈА	PWR	1	632	14	38,0	-	0	0
УКУПНО		20	9 8029	238			10	5 976

У случају наше земље, посебан смисао и значај у овим разматрањима даје чињеница да је, од 20 блокова нуклеарних електрана у овом региону, 10 лоцирано на десној обали Дунава, ја распољају мањим од 100 km од наше државне границе. Ради се о НЕ Козлодуј у Бугарској и НЕ Пакли у Мађарској (табела 3).

Табела 3. Нуклеарне електране у блијежем окружењу наше земље

Нуклеарна лектрана Блок	Тип	Пуштена у погон	Топлотна снага, MW(t)	Гориво у реактору, t UO ₂	Погоско искуство, reakt.x god.	Ислажено гориво, t UO ₂
НЕ Козлодуј			11 500	345,6	86	1 255
I Блок	V-230	Јул 1974.	1 375	46,4	22	294
II Блок	V-230	Нов. 1975.	1 375	46,4	21	278
III Блок	V-230	Јан. 1981.	1 375	46,4	15	216
IV Блок	V-230	Јун 1982.	1 375	46,4	16	201
V Блок	V-320	Сеп. 1988.	3 000	80,0	8	186
VI Блок	V-320	Јул 1992.	3 000	80,0	4	80
НЕ Пакли			5 500	190,4	44	633
I Блок	V-213	Авг. 1983.	1 375	47,6	13	190
II Блок	V-213	Нов. 1984.	1 375	47,6	12	174
III Блок	V-213	Дец. 1986.	1 375	47,6	10	142
IV Блок	V-213	Нов. 1987.	1 375	47,6	9	127
УКУПНО			17 000	536,0	130	1 888

У непосредном окружењу наше земље лоциране су нуклеарне електране са реакторима ВВЕР типа, и то 8 x BVEP-440 (4 x V-213 и 4 x V-230) и 2 x BVEP-1000 (2 x V-320), а грађене су према три генерације стандарда нуклеарне сигурности у зависности од важеће техничке регулативе у тадашњем СССР. Треба истаћи чињеницу да су према истим сигурносним стандардима грађене и нуклеарне електране са реакторима РБМК типа, због тога се после чернобиљског удеса наметнула потреба преиспитивања сигурносних карактеристика нуклеарних електрана са реакторима ВВЕР типа. Детаљна анализа карактеристика уградене и подграђене сигурности ових нуклеарних електрана показала је да на електранама лоцираним у окружењу наше земље удео "чорнобиљског типа" није могућ, јер овај тип нуклеарне електране нема ниједну

карактеристику ни уграђене ни надграђене сигурности за коју се сматра да је омогућила, изазвала или носила удес на ЧАЕС-4.

Ово не значи да на нуклеарним електранама у ближем окружењу наше земље нису могући и удеси великих размера. Анализе погонске сигурности ових нуклеарних електрана, а и њихова пројектна решења, показују да су на њима, у принципу, могући и велики удеси, при којима може доћи до топљења језгра реактора, слично удесу који се додатно 28. марта 1979. године на другом блоку нуклеарне електране "Острво три миље" (TMI-2). Међутим, услед разлика карактеристика надграђене сигурности нуклеарних електрана са реакторима ВВЕР типа и нуклеарних електрана са реакторима PWR типа, потенцијални удес топљења језгра на њима имају различите токове и последице. Из ових разлога, искуство удеса TMI-2, за потребе анализе сличних удеса на нуклеарним електранама лоцираним у ближем окружењу наше земље, може бити коришћено у врло ограниченој мери. Овај закључак се заснива на даталпој упоредној анализи карактеристика инхерентне и надграђене сигурности ова два типа нуклеарних електрана. Намис, ова анализа је указала на неке мање повољне сигурносне карактеристике нуклеарних електрана у окружењу наше земље, јер нуклеарне електране са реакторима ВВЕР типа: немају "класични" контејмент; имају релативно мали реакторски суд; имају застарели и неадекватан контролно-управљачки систем; имају застарели филтровногашаони систем; имају неадекватан систем противпожарне заштите итд. Овакве сигурносне карактеристике имају за последицу: недовољну локализацију (задржавање) радиоактивних ефлуената; могућност појаве пукотина у реакторском суду због радијационог општећења материјала суда; појављивања пожара итд.

На интензитет ефеката могућег деловања нуклеарних електрана на околину, поред њихових сигурносних и погонских карактеристика, утичу и локацијске, а пре свега хидрометеоролошке карактеристике. Имајући ово у виду и променљивост хидрометеоролошких карактеристика у току године, анализа подручја, која су најизложенија деловању нуклеарних електрана из окружења наше земље, показује да је за величину ефеката овог деловања врло значајно годишње доба у којем би се додатно потенцијални удес /15/.

На крају, треба нагласити да се често при анализи сигурности рада нуклеарних електрана основна пажња посвећује еколошким аспектима, док се остали аспекти стављају у други план. При томе, треба имати у виду чињеницу да за земље власнице сигурност и поузданост рада нуклеарних електрана има велики електроенергетски значај. Околиост да нуклеарне електране представљају велике електроенергетске производије јединице има за последицу да се режим њиховог погона одражава на стабилност и поузданост електроенергетског система читавог региона. На оај начин сигурност и поузданост погона нуклеарних електрана излазе из оквира интереса само њихових власника и добијају регионални значај и са електроенергетског аспекта /17/.

ЗАКЉУЧАК

Анализе чернобиљског удеса са техничко-технолошких аспеката, које су спроведене у протеклих десет година, довеле су до следећих закључака:

- (i) Велики потенцијални удеси на нуклеарним електранама, који су до удеса на НЕ ЧАЕС-2 анализирани као мало вероватни догађаји, прешли су у статус стварности са реалним настанком, ширењем и последицама;
- (ii) Технологија коришћења нуклеарне енергије прошла је кроз најтежу фазу свог развоја;
- (iii) Сигурност и поузданост рада нуклеарних електрана постао је, на специфичан начин, интерес, не само њихових власника, већ читавих региона;
- (iv) На нуклеарним електранама са реакторима РБМК типа многоструко је *смањена вероватноћа појављивања нових удеса чернобиљског типа*;
- (v) На нуклеарним електранама у окружењу наше земље, у принципу, *нису могући удеси типа ЧАЕС-4*, али су *могући удеси типа TMI-2*, са топљењем језгра реактора;
- (vi) Због непостојања контејмента, удес са топљењем језгра на електранама у окружењу наше земље имао би *знатно теже последице* од удеса на другом блоку нуклеарне електране "Острво три миље";

(vii) Континуално праћење сигурности и поузданости рада нуклеарних електрана лоцираних у окружењу наше земље представља наш национални интерес.

РЕФЕРЕНЦЕ

- /1/ Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР: *Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия*, Информация для совещания экспертов МАГАТЕ, Вена, август 1986.
- /2/ Анастасијевић П., Спасојевић Д.: *Узроци и последице уједа на нуклеарној електрани у Чернобиљу*, Нуклеарна технологија, Вол. 1, Но 2, 1986.
- /3/ U. S. Nuclear Regulatory Commission: *Report on the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station*, NUREG - 1250, Washington, January 1987.
- /4/ Јовић В. : *Хронологија развоја и узроци уједа на IV блоку НЕ Чернобиљ*, Електропривреда, Вол. 40, Но 1-2, 1987.
- /5/ Асмолов V. G. and all.: *The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant: One Year After*, Nuclear Power Performance and Safety, Vol. 3, IAEA, Vienna, 1988.
- /6/ Medvedev Z. : *Chernobyl Revised - Five Years on*, Nuclear Engineering International, Vol. 36, No 441, April 1991.
- /7/ International Advisory Committee: *The International Chernobyl Project - An Overview*, IAEA, Vienna, 1991.
- /8/ Миливојевић С., Спасојевић Д., Јовић В.: *Ујед на нуклеарној електрани Чернобиљ-4 - ток и последице*, Извештај НИВ - ИТЕ - 16, Београд, 1992.
- /9/ Спасојевић Д., Јовић В., Миливојевић С.: *Чернобиљски ујед после седам година*, Зборник радова са XVII југословенског симпозијума о заптити од зрачења, стр. 47-53, Београд, мај 1993.
- /10/ IAEA International Nuclear Safety Advisory Group : *Report - 7*, Vienna, 1995.
- /11/ Dyaltov A.: *Why ISAG has still got it wrong*, Nuclear Engineering International, September 1995. pp. 17-23
- /12/ International Conference : *One Decade After Chernobyl*, IAEA, Vienna, April 1996.
- /13/ Varley J.: *Kozloduy embrittlement: Phosphorus Is the Key*, Nuclear Engineering International, December 1995. pp. 22-25.
- /14/ Gesellschaft fur Anlagen-und Reaktorsicherheit mbH : *Der Unfall und die Sicherheit der RBMK - Anlagen*, GRS - 121, Keln, Februar 1996.
- /15/ Спасојевић Д. и др.: *Сигурност и поузданост нуклеарних електрана у окружењу Југославије*, Институт за нуклеарне науке "Винча", Београд, 1996.
- /16/ Bart G., Abramov V. Ya., Bruchertseifer H., Kalachikov V. E., Subbotin A. V. : *Leningrad RBMK: probing pressure tube failure*, Nuclear Europe Wordscan, No 1-2, January-February 1996. pp. 43-44.
- /17/ Kupny V. : *Chernobyl-4 sarcophagus: past, present, future*, Nuclear Europe Wordscan, No 1-2, January-February 1996. pp. 44-45.
- /18/ Gorge X. : *The Alliance Consortium : solving problem of Chernobyl-4 sarcophagus*, Nuclear Europe Wordscan No 5-6, May-June 1996. pp. 49-50.

Tabela 1. Uporedni prikaz aktivnosti odabranih radionuklida ispuštenih u okolinu tokom akcidenta u Černobilu i drugih većih nuklearnih događaja, kao i rezultujućih kolektivnih doza

Radionuklid	Černobil (26.04.86)	Nukl.probe u atmosferi	Kištim (29.09.-57)	Vindskejl (08.10.-57)	TMI (28.03.-79)
I s p u š t e n a a k t i v n o s t (PBq)					
⁹⁰ Sr	1,3	604	4,0	0,0002	-
⁹⁵ Zr	8,5	-	18,4	-	-
¹⁰⁶ Ru	6,3	11.800	2,7	0,003	-
¹³¹ I	1.300	651.000	-	0,74	0,001
¹³³ Xe	4.200	2.000.000	-	1,2	370
¹³⁷ Cs	89	912	0,03	0,022	-
¹⁴¹ Ce	8,5	254.000	-	0,07	-
¹⁴⁴ Ce	5,2	29.000	49	-	-
²⁴¹ Pu	5,2	142	-	-	-
K o l e k t i v n a d o z a (man x Sv)					
	600.000	30.000.000	1.200	2.000	40

Napomena: U tabeli su prikazani samo, delovi ispuštanja od značaja za globalnu disperziju.

Upoređivanjem podataka o količinama oslobođenih fisionih produkata u akcidentu u Černobilu sa odgovarajućim podacima iz nuklearnih eksplozija sledi očigledan zaključak da su Černobilska ispuštanja neuporedivo manja. Ipak, izuzetak donekle čini cezijum. Količina od oko 90 PBq ¹³⁷Cs, oslobođenog u Černobilu, dostiže oko 10% cezijuma generisanog u vazdušnim eksplozijama.

Sa druge strane, na osnovu podataka u tabeli 1, može se nedvosmisleno zaključiti da su ukupna ispuštanja tokom akcidenta u Černobilu za nekoliko redi veličine veća nego u akcidentima u Vindskejlu i na Ostrvu tri milje, a da su samo kod nekoliko radionuklida (⁹⁰Sr, ⁹⁵Zr, ¹⁰⁶Ru i ¹⁴⁴Ce), uporediva sa ispuštanjima u Kištiskom akcidentu.

Razmere akcidenta u Černobilu mogu se ceniti i na osnovu ukupnih, procenjenih globalnih efekata na okolinu izraženih u jedinicama kolektivne doze zračenja. Kao što se može videti prema podacima u tabeli 1 [10], procenjena kolektivna doza od Černobilskog akcidenta veća je za nekoliko redi veličine od odgovarajućih vrednosti za preostala tri nuklearna akcidenta. Takođe, ona nije zanemarljiva odnosno, dostiže vrednost od oko 2% od ukupne kolektivne doze od svih fisionih nuklearnih eksplozija u atmosferi.

3. UPOREDNI PODACI O OZRAČIVANJU PROFESIONALNOG OSOBLJA TOKOM ČERNOBILSKOG I DRUGIH AKCIDENTATA SA SLUČAJEVIMA FATALNIH POSLEDICA

U dosadašnjoj praksi korišćenja nuklearne energije u svetu registrovano je ukupno 21 akcident na nuklearnim postrojenjima sa posledicama uvećanog ozračivanja profesionalnog osoblja [11,12,13,14,15]. U tabeli 2, navedeni su podaci za osam, od pomenutih 21, akcidenta u kojima su nivoi ozračivanja osoblja bili tako visoki da su se javljali slučajevi fatalnih ishoda.

Kao što se može videti prema podacima u tabeli 2, koji se odnose na akcident u Černobilu, u njemu je visoko ozračeno ukupno 237 osoba od kojih je 28 podleglo posledicama ozračivanja, tokom prvi nedelja po akcidentu. Svi visoko ozračeni su bili članovi interventnih ekipa koje su bile angažovane na hlađenju havarisanog reaktora i gašenju požara u početnoj fazi akcidenta. Interventne ekipe je sačinjavalo pogonsko i vatrogasno osoblje.

Individualne doze visoko ozračenih kretale su se od 1 do 16 (Gy). Kolektivna doza radnika koji su podlegli radijacionim povredama iznosila je 240 (man Sv) a kolektivna doza preživelih 370 (man Sv) [15]. Očigledno je da prema broju visoko ozračenog osoblja sa posledicama fatalnog ishoda, černobilski akcident

Tabela 2. Akcidenti na nuklearnim postrojenjima od 1945. do 1995.godine u kojima je bilo visokog ozračivanja osoblja sa slučajevima smrtnog ishoda

Datum akcidenta	Opis akcidenta	Broj visoko ozračenih i doze	Slučajevi smrtnog ishoda
09.06.1945.	SAD. Plutonijumsko jezgro dovedeno je akcidentalno do kritičnosti u Los Alamosu kada je radnik oko njega naslagao volframsko-karbide cigle. Ozračeni su radnik i čuvar koji je bio u blizini [11,12]	(1), 3 Gy n i γ (2), 1,18 Gy n, 0,02 Gy	(1), posle 25 dana
21.05.1946.	SAD. Jedno kritično postrojenje dovedeno je u uslove superkritičnosti greškom demonstratora tokom demonstriranja programa istraživanja u Los Alamosu. Tom prilikom ozračeno je sedam osoba [11,12,13]	(1), 12 Gy n, 1,2 Gy γ (2), 2,2 Gy n, 0,2 Gy γ (3), 1,2 Gy n, 0,12 Gy γ (4), 0,5 Gy n, 0,05 Gy γ (5), 0,3 Gy n, 0,03 Gy γ (6), 0,25 Gy n (7), 0,25 Gy n, 0,02 Gy γ	(1), posle 9 dana
15.10.1958.	JUGOSLAVIJA. Eksperimentalno kritično postrojenje (reaktor "nulte" snage RB) nepažnjom je tokom eksperimenta postalo nadkritično. Tom prilikom visoko je ozračeno šest osoba[11,12,13]	(1), 4,36 Gy (2), 4,26 Gy (3), 4,19 Gy (4), 4,14 Gy (5), 3,23 Gy (6), 2,07 Gy	(1), posle 4 sedmice
03.01.1961.	SAD. Nuklearna ekskurzija na reaktoru S1-1 u Idaho,pri kojoj je došlo do eksplozije i oslobođanja fisionih produkata. Razlog je bio previše izvučena iz aktivne zone centralna regulaciona šipka [11,12,13]	(1), 0,3 - 78 Gy (2), 19 - 100 Gy (3), 350 Gy	(1) (2) svi su nastrandali u eksploziji (3)
04.07.1961.	SSSR. Dehermetizacija i pad pritiska u rashladnom sistemu na jednom od dva vodo-vodena reaktora na podmornici nosaču raketa, koja se u tom trenutku nalazila na nekoliko hiljada kilometara od obala SSSR-a u vodama severozapadnog dela Atlantskog okeana. Tokom sanacije akcidenta visoko je ozračeno osam članova posade [14].	0,5 Gy/h bila je jačina doze na komandnom pultu reaktora,a na mestima intervencije tokom sanacije bile su <u>i znatno veće</u> jačine doza. Visoko je ozračeno <u>šest</u> <u>podoficira i mornara.</u> komandant i još jedan oficir.	(1) (2) (3) (4) sedam dana po akcidentu (5) (6) (7) (8) tri sedmice po akcidentu.

Datum akcidenta	Opis akcidenta	Broj visoko ozračenih i doze	Slučajevi smrtnog ishoda
24.07.1964.	SAD. Ekskurzija kritičnosti na Wood River Junction postrojenju za obogaćenje urana na Rhoe Island-u. Do eksplozije je došlo kada je tehničar sipao koncentrovani rastvor u tank, misleći da se radi o malo kontaminiranom trihloretanu [12,13].	(1), 12 - 46 Gy n (2), 0,06 - 0,2 Gy n (3), 0,28 Gy n	(1) Posle 46 h.
23.09.1983.	ARGENTINA. Pogrešan postupak u procesu uklanjanja rastvora iz tanka sa fisionim materijalom na jednom kritičnom postrojenju u Buenos Aires-u [13,15].	(1), 23 Gy n, 21 Gy γ (2) . 0,04 - 0,15 Gy n i . 0,07 - 0,20 Gy γ (7)	(1) Posle 48 h.
26.04.1986.	SSSR. Eksplozija energetskog reaktora tipa RBMK u Černobilu usled grubog kršenja osnovnih pravila rukovanja sa nuklearnim postrojenjem [15,16].	237 osoba je visoko ozračeno dozama od 1-16 Gy odnosno, kolektivnom dozom od 610($man \cdot Gy$). Oko 40% kolektivne doze primilo je 28 osoba koje su podlegle posledicama ozračivanja.	28 osoba je umrlo od posledica ozračivanja. Do 1995.g. umrlo je još 14 osoba ali se uzroci njihove smrti nemogu direktno pripisati posledicama ozračivanja.

prevazilazi sve prethodne akcidente posmatrane zajedno. Iz tabele 2, sledi nesumnjiv zaključak da su se dva najteža akcidenta, sa posledicama fatalnih ishoda po osoblje, odigrala na nuklearnim postrojenjima bivšeg Sovjetskog Saveza u razmaku od 25 godina. Prvi na nuklearnoj podmornici u letu 1961. i drugi u Černobilu 1986.godine.

4. PODACI O OZRAČIVANJU OSTALOG INTERVENTNOG OSOBLJA I STANOVNIŠTVA

Pri analizi ukupnih raznara akcidenta u Černobilu u pogledu uvećanog ozračivanja celokupnog interventnog osoblja, koje je učestvovalo u sanaciji posledica akcidenta u proteklih deset godina, i stanovništva, mogu se registrovati četiri specifične kategorije ozračivanih:

- interventno osoblje koje je učestvovalo u sanaciji akcidenta tokom njegove aktivne faze;
- interventno osoblje koje je učestvovalo u sanaciji posledica akcidenta u postakcidentalnim uslovima u proteklih deset godina i koje se imenuje kao "likvidatori";
- stanovništvo iz ugrožene "30-kilometarske zone" oko elektrane i drugih "vrućih" regiona izvan ove zone, i
- stanovništvo cele severne hemisfere.

Posledice ozračivanja prve kategorije interventnog osoblja odnosno profesionalaca razmatrane su u prethodnom paragrafu.

Drugu kategoriju interventnog osoblja čine likvidatori, kojih je u proteklom periodu bilo oko 600 do 800 hiljada. Likvidatori su angažovani na poslovima dekontaminacije, a približno četvrtina njih je radila tokom 1986 i 1987.godine. Maksimalne individualne doze likvidatora angažovanih tokom 1986.godine dostizale su vrednosti približno trostruko veće od godišnje granice za profesionalce. Naredne 1987.godine ove doze su bile manje za 30%, da bi se u sledećim godinama izlaganje likvidatora svelo na nivoe ispod 50 mSv [17]. U stručnoj literaturi, a posebno u informativnim medijima ima dosta kontroverzi o posledicama izlaganja ove kategorije osoblja. Radi se nesumnjivo o preterivanjima i nekritičnom pristupu oceni uzroka štetnih posledica po zdravlje i živote ovih ljudi, koji se pripisuju samo zračenju. S obzirom na nivoje izlaganja, proteklo vreme i prethodno stečeno iskustvo na ovom polju, za takve procene ne postoje realne osnove. Ova kategorija ozračivanih je inače, od interesa da bude zdravstveno praćena, kao specifična grupa "profesionalaca", u dužem vremenskom periodu radi sticanja eventualno novih empirijskih saznanja o odnosu malih doza zračenja i njihovih efekata.

Treću kategoriju izlaganih predstavlja praktično, stanovništvo koje je evakuisano iz "30-kilometarske zone" oko elektrane i drugih "vrućih" područja van ove zone, kao i stanovništvo koje je ostalo da živi na područjima kontaminiranim ^{137}Cs iznad 50 kBq/m². Evakuisano stanovništvo je bilo oko 130 000, zatim oko 300 000 stanovnika koji žive u zonama sa nivoima kontaminacije iznad 0,5 MBq/m² odnosno, oko 4 000 000 stanovnika koji žive u zonama sa nivoima kontaminacije između 0,05 i 0,5 MBq/m² [18]. Svakako da se najizloženiji pojedinci u ovoj grupi nalaze među evakuisanim. U dosadašnjoj ukupnoj praksi praćenja posledica ozračivanja do sada jedino su u ovoj kategoriji izlaganih uočene neočekivane razmere radijacionih efekata. Radi se o 700 do 800 slučajeva kancera tiroide koji su registrovani kod dece kao kritične podgrupe za ovu vrstu posledica. To je broj koji je za oko deset puta veći od očekivanog, procenjenog na osnovu raspoloživih podataka o dozama ozračivanja i postojećih faktora rizika. Za ovu pojavu za sada ne postoji prihvatljivo objašnjenje. Inače, pominju se dva moguća razloga prvi, da su potencijene doze izlaganja, što je sasvim moguće i drugi, da se radi o povećanoj osetljivosti odnosno, neodgovarajućim faktorima rizika kojima raspolaže savremena nauka.

Cetvrtu kategoriju izlaganih predstavlja praktično, celokupno stanovništvo severne hemisfere. Ovaj problem detaljno je obrađen u referenci [6]. Zatim je tokom 1990.godine, na međunarodnom nivou, obavljena analiza podataka o nivoima kontaminacije okoline, dozama i zdravlju stanovništva van lokalne zone akcidenta, na globalnom nivou [19]. Ova analiza pokazala je naprimjer, da su doze kod stanovništva, određene na osnovu merenja aktivnosti celog tela, manje nego očekivane odnosno, računate na osnovu modela za transfer radioaktivnosti u okolini.

Detaljni podaci o nivoima kontaminacije okoline i procene očekivanih doza kod stanovništva, koji su sakupljeni u zemljama severne hemisfere, omogućili su da se proceni srednja doza tokom prve godine po akcidentu. Istovremeno je izvršena i procena očekivanih doza u narednim godinama. Za ovu procenu korišćena su iskustva iz praćenja ponašanja ^{137}Cs u okolini poreklom iz atmosferskih nuklearnih eksplozija. Na osnovu svega toga procenjena je ukupno očekivana kolektivna efektivna doza od Černobilskog akcidenta na oko 600 000 (man Sv). Od ovog iznosa 40% se odnosi na stanovništvo zemalja bivšeg Sovjetskog Saveza, 57% na ostatak Europe i 3% na sve ostale zemlje severne hemisfere [6,15]. Polazeći od procenjene cifre za kolektivnu efektivnu dozu za stanovništvo severne hemisfere i množeći

je sa danas prihvaćenim faktorom za fatalni rizik od $5 \cdot 10^{-5}(\text{Sv}^{-1})$ [20] dobija se cifra od 30 000 mogućih slučajeva fatalnog ishoda među stanovnicima severne hemisfere, usled akcidenta u Černobilu. U nekim stručnim prikazima i posebno u informativnim medijima, često se pominju i mnogo veće cifre ili manipuliše sa ovom. Međutim, od strane ozbiljnih naučnih krugova iz oblasti radiobiologije iskazuje se sumnja u naučnu zasnovanost puta kojim se dolazi i do ove cifre. Navedimo ovde stav Švedskog radiobiologa G.Walinder-a, koji glasi: "Često se pominje cifra od 30 000 slučajeva kancera sa smrtnim ishodom usled Černobila. Ona može biti tog reda veličine ili mnogo manja - istina je da nećemo nikad sazнати kolika će biti" [21]. Ovakav stav proističe iz neprihvatanja koncepta kolektivne doze, odnosno linearног odnosa između doza i efekata u domenu niskih doza, na čemu se ona zasniva a za koji ne postoje empirijske radiobiološke osnove. Upravo je u toku diskusija na ovu temu između radiobiologa i autora u zaštiti od zračenja već relativno davno prihvaćenog koncepta kolektivne doze kao mere veličine očekivanih efekata pri izlaganju većih grupacija malim dozama zračenja [22].

5. NEKE AUTENTIČNE ČINJENICE O ČERNOBILU

Autor ovog rada imao je priliku da, kao učesnik Seminara Svetskog saveta za mir, koji je održan u Kijevu od 25 do 28.aprila 1989.godine u sklopu obeležavanja trogodišnjice akcidenta, poseti Černobilsku elektranu. Tom prilikom saznao je niz zanimljivih detalja vezanih za akcident i njegovu sanaciju. Značaj ovih činjenica je u tome što se mogu smatrati autentičnim, jer su izrečeni na samoj lokaciji elektrane od strane njenih predstavnika, kao neposrednih učesnika u akcijama tokom akcidenta i posle njega. Svaka od ovih činjenica govori sama za sebe i navodi na razmišljanje, te su tako posebno i prikazane u tekstu koji sledi:

- Akcident se odigrao 26.aprila 1986.godine u 01.23 h.
- Odmah su aktivirane službe za intervenciju i obaveštena je Moskva.
- Oko 02.00 h istog dana, u Moskvi je formirana Grupa (Specijalna Komisija) za slanje u Černobil. Mnogi od članova ove Grupe bili su u tom trenutku van Moskve.
- Oko 09.00 h iz Moskve je poleteo avion za Kijev sa raspoloživim članovima Grupe. Pri dolasku nadleteli su elektranu da bi videli stanje reaktora i razmere katastrofe. Spustili su se u Kijev, odleteli u Černobil helikopterom, i otpočeli rad.
- U 18.00 h u Černobil je stigao Čabrinov, predsednik Specijalne Komisije.
- U 20.00 h doneta je odluka o evakuaciji Pripjata (grada u neposrednom susedstvu elektrane u kome je živilo osoblje elektrane sa svojim porodicama) i u noći 26/27 aprila počela je priprema za evakuaciju 50 000 njegovih stanovnika.
- 27.04.86. ujutru, u grad je prispelo 1200 autobusa za evakuaciju. I, evakuacija je konačno počela, 36 časova posle akcidenta, oko 12 h istog dana. Grad je opusteo za dva sata. Stanovnicima je savetovano da ponesu samo najpotrebnije stvari i dokumenta.
- U isto vreme, sa prethodno navedenim akcijama, neposredno posle akcidenta otpočeli su radovi na likvidaciji akcidenta. U prvom trenutku osnovni problem koji je trebalo rešiti bilo je hlađenje havarisanog IV bloka elektrane i borba sa tekućim požarom na njemu, da bi se sprečilo prenošenje požara na susedni III blok elektrane.
- Nivo zračenja, zahvaljujući i pomenutom hlađenju, nije rastao, naročito u Pripjatu. Inače, stanovnici grada Pripjata u tim trenucima imali su i sreće, jer su radioaktivni oblaci obilazili njihov grad.
- Reaktor havarisanog bloka IV je zasipan, istovremeno sa gašenjem požara, peskom, dolomitom i olovom iz helikoptera. Materijal za zasipanje je dovožen baražima. Ovo zasipanje trajalo je do 07.05.86.
- Posebne aktivnosti bile su usmerene na sprečavanje prodiranja užarenih radioaktivnih materijala u zemljište i podzemne vode, radi sprečavanja neke vrste "kineskog sindroma".
- U sledećim akcijama otpočela je gradnja sarkofaga i čišćenje objekta, što je završeno oktobra 1986.
- 200 000 ljudi učestvovalo je u likvidaciji akcidenta. Praktično, na razne načine, učestvovala je celu zemlju u vremenu od aprila do oktobra.
- 17.05.86. formiran je Kombinat, za dalju sanaciju i eksploataciju elektrane u uslovima visokih nivoa zračenja. Rezultati rada Kombinata bili su sledeći:
 - Krajem 1986. pušteni su u rad blokovi I i II elektrane.
 - Decembra 1987. pušten je u rad blok III.

- U tom trenutku (26.04. 89) rade blokovi I i III, a blok II je u remontu i počće da radi kroz dva dana.
- Na samoj elektrani trenutno je angažovano 4000 ljudi.
- Srednja individualna doza, svih radnika elektrane, iznosila je 15,3 mSv u 1987.godini, odnosno, 10,2 mSv u 1988.godini.

Na elektrani se radi u smenama koje traju po 15 dana.

Među radnicima elektrane nalazi se i 600 radnika iz vremena pre akcidenta. Ustvari, na posao se posle akcidenta vratio 85% radnika, ali su mnogi od njih u međuvremenu otišli u penziju. Sagrađen je nov grad za radnike Černobila. On sada (april '89) ima 10 500 stanovnika među kojima je 3500 dece. Plan je da se ovaj grad razvija do 35 000 stanovnika.

Evakuacija stanovništva nastavljena je kasnije, iz šireg regiona elektrane. Kriterijum za evakuaciju je bio nivo kontaminacije veći od 15 Ci/km².

Ukupno je evakuisano 116 000 ljudi sa kontaminirane površine od oko 2800 km². Evakuisan je i sam grad Černobil sa 13 000 stanovnika, koji se nalazi na 18 km od elektrane.

Bilo je posebnih problema oko evakuacije seoskog stanovništva, koje nije moglo da shvati razloge evakuacije. Nikakvu opasnost nisu mogli da vide niti osete. Mnogi su bežali u šume, pa su ih morali na silu sakupljati. Iz tih razloga potpuna evakuacija je završena tek 27.maja 1986.

U procesu dekontaminacije okoline sakupljeno je 1 000 000 m³ i odloženo kao RAO materijal. Skidano je rastinje, trava, gornji sloj zemlje

Zemljište oko elektrane prekriveno je peskom i iz njega sada raste trava. U vreme našeg boravka, 26.04.1989. oko 13.30 h na oko 200 m od havarisanog IV bloka elektrane, izmerena je doza na 1m od površine tla od 3,6 mR/h. Garantuje se da u datim uslovima ne postoji mogućnost raznošenja radioaktivnosti sa tog terena.

Kombinat koji opslužuje Černobil (sanacija akcidenta i pogon elektrane) u ovom trenutku broji 9500 ljudi. Sačinjavaju ga civilni i vojnici. Vojnici su rezervisti stariji od 35 godina. Smena im traje 6 meseci a individualna doza je ograničena na 50 mSv.

Dekontaminacija se nastavlja i očekuje se da će biti završena za 3 do 5 godina.

Na sanaciji posledica Černobilskog akcidenta rade i mnogi naučni i stručni radnici.

Posebna ekspedicija iz Instituta "Kurčatov", radi na daljoj sanaciji havarisanog bloka IV i ispitivanju stanja sarkofaga.

U sklopu ispitivanja stanja sarkofaga i njegove dalje sanacije izvode se raznovrsne aktivnosti:

- Buše se rupe u sarkofagu i istražuju mesta gde se nalazi gorivo.
- Gorivo se posmatra periskopima i utvrđeno je da je u tečnom stanju.
- Na 3m od aktivne zone izmerena je temperatura od 30°C.
- Najviša izmerena temperatura je 150°C, što potvrđuje da se gorivo hlađi.
- Radi se na poboljšanju sarkofaga i učvršćivanju njegove konstrukcije.
- Razrađuju se roboti za uklanjanje sarkofaga kada se za to steknu uslovi, za 15 do 20 godina računato od 1989. Očekuje se da u istom roku problem Černobila bude rešen.

Osnovan je Medicinski centar u Kijevu sa 2000 zaposlenih, koji aktivno prati stanje zdravlja ukupno 600 000 ljudi.

Osnovan je međunarodni istraživački Centar za ispitivanje uticaja akcidenta na floru i faunu ovog regiona.

U protekle tri godine lokaciju havarisanog bloka elektrane posetilo je 700 stranaca.

Predstavnici NRC iz SAD išli su do sarkofaga. Većina drugih, kao i tekuća poseta, samo do mesta za posmatranje havarisanog reaktora, koje se nalazi na oko 200 m od zgrade elektrane.

Pier Perelen, iz Francuske takođe, je bio kod sarkofaga.

Postavljeno je pitanje šta bi se desilo da nije bilo toliko akcija neposredno posle akcidenta, što bi se moglo očekivati pri nekom sličnom slučaju u ratnim uslovima. Odgovoren je da bi tragedija bila mnogo, mnogo veća, posebno da je rastopljeno gorivo prodrlo u podzemne i nadzemne vode.

Hlađenje havarisanog reaktora neposredno posle akcidenta imalo je ogroman značaj za umanjenje ukupnih efekata akcidenta.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog, i na kraju deset godina posle akcidenta u Černobilu, mislim da se možemo u potpunosti složiti sa stavom J.Sivinceva, istaknutog Ruskog naučnika na polju operativne dozimetrije i zaštite u nuklearnoj energetici, a koji glasi: "U Černobilskom akcidentu od visokog ozračivanja stradal je direktno 28 ljudi, za sve ostalo sačekajmo da vidimo" [23]. Ovo je Sivincev izrekao za govornicom Simpozijuma održanog u Minhenu pre oko šest godina, a kao svoj komentar na špekulacije pojedinih učesnika istog skupa, o broju mogućih slučajeva sa fatalnim ishodom među svim kategorijama izlaganih tokom akcidenta i u postakcidentalnim uslovima.

Posledice akcidenta u Černobilu biće praćene i izučavane sigurno i u narednom veku. Logično je predpostaviti da se konačne i objektive ocene o ukupnim radijacionim efektima ovog akcidenta mogu očekivati tek sredinom 21.veka. U međuvremenu, s obzirom na intenzivno praćenje velikog broja izlaganih malim dozama zračenja, može se očekivati značajan empirijski doprinos razrešenju osnovne dileme u zaštiti od zračenja, tj. odnosa efekata i malih doza izlaganja.

LITERATURA

- [1] GREENPEACE, Chernobyl - 10 Years After: The Consequences, Summary of the Chernobyl Paper No.4, April 1996. (The full report is available from Greenpeace Austria, A-1030 Auenbrugergasse 2).
- [2] L.B.Sztanyk, Recent reactor accidents and their effects, Proceedings of the 8th International Congress of Radiation Research, Vol.2, p.582-585, Edinburgh, 19-24 July, 1987.
- [3] P.H.Gudiksen, T.F.Harvey, R.Lange, Chernobyl Source Term Estimation, Proceedings of Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl, Vol.I, p.93-112, Luxembourg, 1-5 October, 1990.
- [4] U.V.Dubasov, A.M.Matashenko, N.P.Pilonov et al., Semipalatinsk Test Site: Estimated Radiological Consequences, Information Bulletin, Centre for Public Information on Atomic Energy, Moscow, 1993.
- [5] A.Arkrog, The Radiological impact of the Chernobyl debris compared with that from nuclear weapons fallout, Journal Environmental Radioactivity, 6, p.151-162, 1988.
- [6] UNSCEAR 1988 Report, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, p.309, United Nations, New York, 1988.
- [7] B.V.Nikipelov, E.I.Mikerin, G.N.Romanov et al., The radiation accident in the Southern Urals in 1957 and cleanup measures implemented, Proceedings of a Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, IAEA, Vienna, 1990.
- [8] R.H.Clarke, Current radiation risk estimates and implications for the health consequences of Windscale, TMI and Chernobyl accidents, p.102-118 in Medical Response to Effects of Ionizing Radiation (W.A.Crosbie and J.H.Gittus, eds.), Elsevier Applied Sciences, 1989.
- [9] J.G.Kemeny, The President's Commission on the accident at Three Mile Island, Pergamon Press, New York, 1979.
- [10] UNSCEAR 1993 Report, Sources and Effects of Ionizing Radiation, p.114-120, United Nations, New York, 1993.
- [11] C.R.Russell, Reactor Safeguards, Pergamon Press, Oxford, 1962.
- [12] UNSCEAR 1982 Report, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, p.392, United Nations, New York, 1982.
- [13] A.R. de Oliveira, Un repertoire des accidents radiologiques, Radioprotection, Vol.22, No.2, p.89-135, 1987.
- [14] G.Kuznecov, Twenty-Five Years before Chernobyl, Proceedings of Seminar on Comparative Assesment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl, p.129-131, Luxembourg, 1-5 October, 1990.
- [15] UNSCEAR 1993 Report, Sources and Effects of Ionizing Radiation, p.438-439, United Nations, New York, 1993.
- [16] G.Wagemaker et al., Clinical observed effects in individual exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident, Background Paper, Session 1 of the International Conference "One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, Vienna, 8-12 April, 1996.

- [17] W.Kreisel et al., WHO Updating Report presented by Prof.A.Tysb on April 9, 1996 at International Conference: "One Decade after Chernobyl - Summing up the Consequences of the Accident, Vienna, 8-12 April, 1996.
- [18] E.Cardis et al., Estimated Long Term Health Effects of the Chernobyl Accident, Background Paper Session 3, International Conference: "One Decade after Chernobyl - Summing up the Consequences of the Accident, Vienna, 8-12 April, 1996.
- [19] IAEA-1991, International Advisory Committee, The International Chernobyl Project, Technical Report, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991.
- [20] ICRP 60, 1990, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Para 83-89, Table 3, p.20, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [21] G.Walinder, Has Radiation Protection Become a Health Hazard, Swedish Nuclear Training and Safety Center (KSU), Nykøping (Stockholm), 1996.
- [22] Bo Lindel, The case of linearity, SSI news-A newsletter from the Swedish Radiation Protection Institute, No.1, Vol.4, p.2-4, March 1996.
- [23] J.Sivincev, Verbal Statement, International Symposium on Radiation Protection Infrastructure, Munich, 7-11 May, 1990.

Abstract - Dimensions of the Chernobyl accident was analysed on the base of activity released, number of highly exposed workers and population exposure. It was shown that released activity is many times higher in comparison with previous accidents in Kyshtym, Windscale and Three Mile Island. The number of overexposed workers with fatal consequences during Chernobyl was a few times higher than in all previous accidents on nuclear facilities. Estimation of expected fatal number cases among people living in north hemisphere on the base of the collective effective dose was criticized. Some authentical facts from the active phase of accident and few years later are given also.

FACTS AND CONTROVERSIES ABOUT SOME CONSEQUENCES OF CHERNOBYL ACCIDENT

Marko M.Ninković

POSLEDICE I ISKUSTVA - DESET GODINA POSLE ČERNOBILA

(predavanje po pozivu)

Gordana Pantelić, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović"

Dragana Popović Katedra za fiziku Veterinarskog fakulteta u Beogradu

Radojko Maksić, Savezno ministarstvo za industriju, SRJ

Milan Orlić, Radojko Pavlović, Snežana Pavlović, Institut za nuklearne nauke VINČA

Sadržaj - 26. aprila 1986. dogodio se najozbiljniji akcident u istoriji nuklearne energije na četvrtoj jedinici nuklearne elektrane u Černobilu, u tadašnjem Sovjetskom Savezu, danas u Ukrajini, pored tromeđe sa Belorusijom i Rusijom. Posledice akcidenta su se osetile praktično na celokupnoj severnoj hemisferi i pogodile milione ljudi, a u pogodenim državama uticale na skoro sve segmente ekonomije.

Radioaktivna kontaminacija je, tokom 1986, dostigla i nekoliko desetina MBq/m² u zoni prečnika 30 km oko reaktora, a bilje i životinje su u toku tih prvih mesec dana nakon akcidenta, bile izložene spoljašnjim dozama zračenja kratkoživećih radionuklida vrednosti i do nekoliko desetina Gy.

Kao posledica akcidenta u Černobilu, u najranijoj fazi, odmah posle akcidenta, kod 237 osoba je postojala sumnja da je došlo do pojave akutne radijacione bolesti, a dijagnoza je potvrđena u 134 slučaja. U toj fazi je 28 osoba umrlo od posledica ozračivanja. U toku narednih 10 godina još 14 osoba iz ove grupe je umrlo, ali se njihova smrt ne može direktno dovesti u vezu sa težinom akutne radijacione bolesti, niti se može direktno pripisati posledicama ozračivanja. U istom periodu uočen je drastičan porast broja pojava raka štitne žlezde kod dece u dobu do 15 godina starosti. Zabeleženo je više od 800 takvih slučajeva u Belorusiji, Rusiji i Ukrajini. U ovom periodu nije primećeno statistički značajno povećanje broja ostalih telesnih kancera i leukemija, niti statistički značajan broj štetnih naslednih efekata. Epidemiološke studije na eksponiranoj populaciji će sasvim sigurno imati uticaja na modifikaciju modela rizika ozračivanja, naročito u domenu srednjih i niskih doza.

Uočeni su značajni zdravstveni poremećaji i simptomi kao što su anksioznost, depresija i različiti psihosomatski poremećaji, koji odgovaraju mentalnom stresu, a koji se ne mogu direktno uzročno povezati sa ozračivanjem. Izraženo politizirano reagovanje i upravljanje posledicama akcidenta dovelo je do brojnih, ozbiljnih i dugotrajnih psihosocijalnih efekata među stanovništvom. Posledice akcidenta u Černobilu, praćene političkim, ekonomskim i socijalnim promenama poslednjih godina dovele su do opštег pogoršanja kvaliteta života i zdravlja. Situacija se dalje komplikovala širenjem nepotpunih i iskrivljenih informacija o posledicama akcidenta i merama za njihovo smanjenje. Procenjuje se da će simptomi anksioznosti i stresa biti među najvažnijim legatima akcidenta.

Akcident u Černobilu je ostavio značajne posledice i na razvoj nuklearne energetike u globalnom smislu. Pokazao je da je postojeća konцепција bila nepotpuna i odziv na akcident neadekvatan. U periodu od deset godina nakon akcidenta analizirani su uzroci akcidenta kao i neophodni uslovi da se takav scenario više ne ponovi. Na stečenim iskustvima značajno su unapređeni sistemi za ranu najavu akcidenta i planovi za delovanje u slučaju vanrednog događaja na lokalnom i međunarodnom nivou.

Kompletna rehabilitacija zone od 30 km oko elektrana za sada nije moguća iz više razloga. Ostaje kao jedan od važnijih poslova, da se razvije strategija razvoja nuklearne energije i delovanja u vanrednim uslovima koja uzima u obzir i realni radiološki rizik i ekonomski, socijalni i psihološki uticaj protivmera, da bi se balansiranim delovanjem dobila najveća korist i u humanističkom smislu.

I. UVOD

Vrlo ozbiljan, najveći u sferi mirnodopske primene nuklearne energije, akcident na četvrtom bloku nuklearne elektrane u Černobilu, koji se desio u ranim satima 26. aprila 1986. godinе ugrozio je životnu sredinu velikog dela severne Zemljine hemisfere i živote i zdravlje velikog broja stanovnika u bližoj i daljoj okolini razorenog reaktora.

Kao rezultat akcidenta reaktor je uništen i u narednih 10 dana oko $12 \cdot 10^{18}$ Bq radioaktivnog materijala je izbačeno u okolinu. Radioaktivne padavine su bile merljive praktično u celoj severnoj hemisferi sa različitom gustoćom depozicije.

U proteklom periodu angažovani su ogromni ljudski i materijalni resursi za sprečavanje daljih posledica, sanaciju prirodne sredine, utvrđivanje posledica po ljudi, sagledavanje bezbednosti nuklearnih elektrana a posebno RBMK tipa. Održan je i veliki broj međunarodnih skupova posvećenih problemima posledica akcidenta u Černobilu, među kojima je i Međunarodna konferencija "Deset godina posle Černobila - sumiranje posledica udesa", održana u aprilu 1996, u Beču, pod pokroviteljstvom IAEA.

Jedna od bitnih tema ove konferencije bila je i nuklearna sigurnost reaktora tipa RBMK, ali i šire, nuklearna sigurnost u svetu razvoja nuklearne energetike. U ovom radu je dat i pregled poslednjih saznanja o uzroku udesa, njegovim posledicama, bezbednosti RBMK elektrana i o trenutnoj bezbednosti nuklearnih objekata na lokaciji Černobil, kao što su nuklearne jedinice 1, 2 i 3 i razorena jedinica 4 (sarkofag).

Sumiranje štetnih zdravstvenih efekata ozračivanja izazvanog akcidentom u Černobilu je podeљeno u nekoliko kategorija, u odnosu na dinamiku, intenzitet i specifičnost pojedinih štetnih efekata.

Deset godina posle najveće mirnodopske katastrofe u nuklearnoj energetici, čije se posledice ni danas ne mogu u potpunosti proceniti, bilo je moguće učiniti retrospektivni pregled iskustava i grešaka učinjenih u toku celokupne procedure registrovanja, informisanja i sanacije posledica akcidenta. Danas je potpuno jasno, da mnogo toga u nuklearnoj energetici, nuklearnoj sigurnosti i zaštiti od zračenja, neće više biti isto posle akcidenta u Černobilu. Nespretnim i neadekvatnim reagovanjem, bilo činjenjem ili nečinjenjem adekvatnih interventnih mera u odgovarajućem trenutku "jedna ozbiljna nesreća postala je jedan katastrofalni događaj" ("From one serious accident we made a catastrophic event due to fact that too little was done too early, and too much was done too late", Harrison, UK).

Jedini efekti sa kojima se u ranoj fazi procene posledica akcidenta nije računalo, i koji su se pokazali značajno potcenjenima, su psihološki i socijalni efekti. Nekoliko značajnih studija i programa je sprovedeno u toku poslednjih 10 godina u oblasti socijalnih i psiholoških efekata i reakcija na Černobilski akcident [14].

II. KONTAMINACIJA ŽIVOTNE SREDINE

Površine kontaminirane nivoima većim od 185 kBq/m^2 u Belorusiji, Ukrajini i Rusiji procenjuju se na $16\ 500 \text{ km}^2$, $4\ 600 \text{ km}^2$ i 8100 km^2 , respektivno, a nastanjene su sa 3,7 miliona ljudi. Najznačajniji i najopasniji radionuklidi izbačeni u atomsferu bili su ^{131}I , ^{134}Cs i ^{137}Cs . Oko 85 % izbačenog materijala se sastojalo od radionuklida sa periodom polurasapada manjim od mesec dana, 13 % od radionuklida sa periodom polurasapada nekoliko meseci, 1 % sa periodom polurasapada oko 30 godina i oko 0,001 % sa periodom polurasapada većim od 50 godina (Tabela 1.).

Glavni putevi delovanja na čoveka ispoljili su se kroz spoljašnje ozračivanje, od radio-nuklida deponovanih na tlu, i unutrašnje ozračivanje, konzumiranjem kontaminirane hrane. U prvi nekoliko nedelja posle akcidenta najviša doza poticala je od joda. Od 1987. najveća doza potiče od ^{137}Cs , nešto je manja od ^{90}Sr , dok je doza od ^{239}Pu zanemarljiva. Mere preduzete za smanjenje spoljašnjeg ozračivanja pokazale su se relativno neefikasnim, za razliku od mera za smanjivanje unutrašnjeg ozračivanja [3].

Letalne doze su dostignute u prvim nedeljama posle akcidenta za neke lokalne ekosisteme, na primer za četinare i male sisare, u okolini reaktora u prečniku od 10 km. Do

jeseni 1986. jačina doze je opala oko 100 puta. U 1989. prirodna okolina je počela da se oporavlja, a, ni 10 godina posle, još nije moguće prevideti sve dugotrajne efekte ovog akcidenta na životnu sredinu.

Tabela 1.

Procena aktivnosti trenutno emitovanih radionuklida tokom černobilske nesreće [4]

Procenjene aktivnosti radionuklida prisutnih u reaktoru 26. aprila 1986.			Udeo i aktivnosti radionuklida izbačenih za vreme akcidenta	
Nuklid	Vreme poluraspada	Aktivnost (PBq)	% (prisutnih u vreme akcidenta)	Aktivnost (PBq)
^{33}Xe	5,3 d	6500	100	6500
^{131}I	8,0 d	3200	50-60	≈ 1760
^{134}Cs	2,0 g	180	20-40	≈ 54
^{137}Cs	30,0 g	280	20-40	≈ 85
^{132}Te	78,0 h	2700	25-60	≈ 1150
^{89}Sr	52,0 d	2300	4-6	≈ 115
^{90}Sr	28,0 g	200	4-6	≈ 10
^{140}Ba	12,8 d	4800	4-6	≈ 240
^{95}Zr	1,4 h	5600	3,5	196
^{99}Mo	67,0 h	4800	>3,5	>168
^{103}Ru	39,6 d	4800	>3,5	>168
^{106}Ru	1,0 g	2100	>3,5	>73
^{141}Ce	33,0 d	5600	3,5	196
^{144}Ce	285,0 d	3300	3,5	≈ 116
^{239}Np	2,4 d	27000	3,5	≈ 945
^{238}Pu	86,0 g	1	3,5	0,035
^{239}Pu	24400 g	0.85	3,5	0,03
^{240}Pu	6580 g	1.2	3,5	0,042
^{241}Pu	13,2 g	170	3,5	≈ 6
^{142}Cm	163,0 d	26	3,5	$\approx 0,9$

Ukupna aktivnost radionuklida u životnoj sredini je opala sa vremenom na oko 1 % od vrednosti neposredno posle akcidenta. Na teritoriji Evrope sada je prisutno 80 PBq dugoživećih radionuklida uglavnom ^{137}Cs i ^{90}Sr (Tabela 2).

Tabela 2.

Radioaktivni materijal izbačen u okolinu zbog černobilske nesreće [1]

Radionuklidi	Oslobodenju 1986. (PBq)	Ostalo u 1996. (PBq)
^{131}I	1200-1700	0
^{90}Sr	8	6
^{134}Cs	44-48	1,6
^{137}Cs	74-85	68
^{238}Pu	0,03	0,03
^{239}Pu	0,03	0,03
^{240}Pu	0,044	0,044
^{241}Pu	5,9	3,6

Zbog dugog vremena poluraspada ^{137}Cs daje najznačajniji doprinos ukupnoj dozi populacije, tako da su za ovaj radionuklid u fazi izrade geografske karte depozicije za evropske zemlje [4]. Najnovije procene površina kontaminiranih ovim radionuklidom u bivšem Sovjetskom Savezu date su u tabeli 3.

Tabela 3:
Površinska kontaminacija ^{137}Cs u Belorusiji, Rusiji i Ukrajini [1]

Zemlja	Površinska depozicija			
	37-185 (kBq/m ²)	185-555 (kBq/m ²)	555-1480 (kBq/m ²)	> 1480 (kBq/m ²)
	Kontrolna zona	Dobrovoljna evakuac. zona	Obavezna evakuaciona zona	
Belorusija	29920	10170	4210	2150
Rusija	48806	5720	2100	310
Ukrajina	37210	3180	880	570
Ukupno	115930	19070	7190	3030

Procena kolektivne ekvivalentne doze na bazi srednje vrednosti depozicije ^{137}Cs u severnoj hemisferi za 1986. godinu data je u tabeli 4.

Odmah nakon akcidenta mleko i zeleno povrće su imali aktivnost veću od nivoa koji se danas privataju kao dopustivi za životne namirnice [6].

Primena odgovarajućih agrotehničkih mera, kao što je primena odgovarajućih mineralnih dubriva, doprinela je značajnom smanjenju prelaska ^{137}Cs u hranu, što je zavisilo od lokalnih uslova, kao što je na primer tip zemljišta. Hrana koja se sada proizvodi na državnim farmama ima nivoe aktivnosti ispod dopustivih vrednosti.

U zavisnosti od vrste zemljišta, transfer ^{137}Cs u mleko, kod krava koje pasu na livadama, varira nekoliko stotina puta. Hrana koja se proizvodi od životinja koje pasu na divljim pašnjacima, šumama i planinama, kao i nekultivisane biljke (bobice, pečurke), u narednim dekadama mogu da dovedu do povećanja unutrašnjeg ozračivanja populacije od ^{137}Cs .

Kad je u pitanju radioaktivni materijal u zoni Černobilja, lokalne doze mogu biti značajne. Šta više, bez pravilnog upravljanja improvizovanim deponijama, dugoročno postoji značajan rizik za lokalne podzemne vode.

III. UTICAJ AKCIDENTA U ČERNOBILU NA PROMENE U NUKLEARNOJ SIGURNOSTI

III. 1. UZROCI UDESA

Prva zvanična saopštenja vlade SSSR neposredno posle udesa kao glavni razlog udesa navodila su neverovatnu kombinaciju kršenja radnih procedura i pravila od strane osoblja elektrane, dakle ljudski faktor [7]. U daljem obrazloženju rečeno je da je reaktor radio u režimu u kojem je efekat pozitivnog koeficijenta reaktivnosti na porast snage reaktora znatno pojačan. Tehnički nedostaci ovog tipa reaktora nisu spominjani.

U proteklih deset godina, kao rezultat usaglašavanja stavova stručnjaka iz zapadnih zemalja i bivšeg SSSR, ovo stanovište pomereno je delimično u stranu tehničkih nedostataka elektrane. Prema važećem, izbalansiranom stajalištu [9], glavni uzroci udesa u Černobilu su:

1. konceptualni nedostaci u konstrukciji reaktora i sistema za gašenje (*shut down*),
2. visoki pozitivni *void* efekat u toku radnog režima sa visokim izgaranjem,
3. pozitivni *scram* efekat u uslovima režima rada reaktora pre akcidenta,
4. odsustvo ugradene radne margine reaktivnosti u reaktorsku zaštitu,
5. odsustvo "sigurnosne kulture" (odnosno onoga što se danas pod tim terminom podrazumeva) u organizacionoj strukturi, zbog čega čak i slabosti koje su uočene davno pre akcidenta nisu otklonjene,
6. nedovoljno osmišljeni i ispitani program testiranja u odnosu na sigurnost,
7. kršenje radnih procedura,
8. rad i radna oprema nisu zadovoljavali principe jednostavnosti korišćenja odnosno previše su "zahtevali" od odgovornog osoblja,
9. nedovoljna zaštita od akcidenta izvan onih zasnovanih na konstrukciji.

Tabela 4:
Procena kolktivne efektivne doze na bazi
srednjih vrednosti depozicije ^{137}Cs u severnoj hemisferi [5]

Zemlja	Popu-lacija (10^6)	Povr-šina (10^3 km^2)	Rast. od Černobila (km)	Sr. gust. depozic. ^{137}Cs (kBq/ m^2)	Ukupni depozit ^{137}Cs (PBq)	Efektiv- na doza (μSv)	Kolck-tivna doza (čovek Sv)
Sev. Evropa	22,73	1216	1400	9,2	11,1	910	21000
Danska	5,11	43,1	1400	1,3	0,06	170	860
Finska	4,87	305,0	1200	14,7	4,5	2000	9600
Norveška	4,16	323,9	1600	7,1	2,3	790	3300
Švedska	8,35	440,9	1300	9,5	4,2	830	6900
Island	0,24	102,8	3000	(1,0)	(0,1)	(130)	(30)
Centr. Evropa	177,94	1253	1100	6,9	8,6	920	164000
Austrija	7,56	83,9	1200	23,2	2,0	3200	24000
Čehoslovačka	15,48	127,9	1100	4,2	0,5	890	14000
Nemačka NDR	16,63	108,3	1200	7,2	0,8	980	16000
Nemačka SRN	61,03	248,7	1500	5,1	1,3	560	34000
Madarska	10,62	93,0	970	1,3	0,1	400	4300
Poljska	37,40	312,7	700	5,2	1,6	740	28000
Rumunija	22,73	237,5	800	9,4	2,2	1700	40000
Švajcarska	6,49	41,3	1700	3,4	0,1	630	4100
Zapadna Evropa	138,42	936	2000	1,3	1,2	170	23500
Belgija	9,86	30,5	1800	0,84	0,03	130	1300
Francuska	53,6	551,0	2000	1,1	0,6	200	11000
Irska	3,54	70,3	2600	3,4	0,2	460	1600
Luksemburg	0,37	2,6	1700	2,7	0,007	390	140
Norveška	14,49	37,3	1700	1,8	0,07	250	3600
V.Britanija	56,56	244,1	2100	1,3	0,3	100	5900
Južna Evropa	144,88	1426	2000	4,4	6,3	780	114000
Albanija	3,12	28,8	1400	(5,0)	(0,1)	(1000)	(3100)
Bugarska	8,89	110,9	1100	8,5	0,9	1800	16000
Grčka	9,83	132,0	1500	4,8	0,6	1200	11000
Italija	56,91	301,3	1700	4,8	1,4	810	46000
Malta	0,39	0,3	2200	(1,0)	(0,0003)	(200)	(80)
Portugalija	9,94	91,7	3200	0,02	0,002	4,4	43
Španija	37,30	504,7	2900	0,03	0,02	8,1	300
Jugoslavija	22,50	255,8	1200	12,9	3,3	1700	37000
Evropa	484,0	4831	1600	5,6	27,3	670	322000
SSSR	278,82	22191	-	1,4	30,9	820	228000
Azija	2704,8	25204	5500	0,2	4,2	22	59000
Afrika	379,2	19083	4400	0,1	2,1	18	6700
Amerika	456,4	23813	7800	0,02	0,6	4	1700
Grenland	0,06	2176	4100	0,09	0,2	20	-
Sever. deo At-lantskog okeana	-	53000	4200	0,09	4,8	-	-
Severni deo Tihog okeana	-	102000	10000	0,01	1,0	-	-
Sever. hemisfera srednje ukupno	4307,2	252300		0,3	70	140	620000

Podaci u zagradama označavaju procenjene vrednosti.

III.2. SIGURNOST RBMK ELEKTRANA

Neposredno po udesu preduzete su prve mere za otklanjanje nekih od ovih uzroka: zabranjeno je vršenje eksperimenta i menjanje elemenata zaštite; naredeno je i striktno pridržavanje propisa i procedura, naročito onih, vezanih za radnu marginu reaktivnosti i sistem za hlađenje i restartovanje reaktora posle gašenja. Kasnije su otklonjeni i mnogi konkretni nedostaci i radne procedure i uvedene nove radne procedure.

Razlikuju se tri generacije nuklearnih elektrana tipa RBMK. Kod svih tipova su preduzete mere za poboljšanje nuklearne sigurnosti. Osnovne manjkavosti svih tipova tiču se: tehničkih karakteristika jezgra i sistema za gašenje koji utiču na kontrolu reaktivnosti; hlađenja jezgra (kod elektrana prve generacije); zadržavanja radioaktivnog materijala za vreme eventualnog udesa (kontejnment); velikih posledica pri pojavi više pukotina u cewima; zaštite od požara i poplave naročito kod starih tipova, kao i kvaliteta ukupne opreme i prateće dokumentacije.

Između 1987. i 1991. godine izvršena su prva poboljšanja: eliminisanje efekta reaktivnosti (instalisano dodatnih 80-90 apsorbera, povećana margina reaktivnosti, gorivo obogaćeno do 2,4%). Značajno je ubrzan rad sistema gašenja primenom brzih kontrolnih šipki (oko 2 s). U celini je znatno pojačana organizaciona struktura i linije odgovornosti. Ovo je urađeno gotovo na svim elektranama, tako da se smatra da je ponavljanje udesa sličnog po svojim manifestacijama onom u Černobilu (pojava eksplozije), praktično nemoguće.

Dalja poboljšanja vezana su za svaku konkretnu elektranu. Prva generacija radena je po prevazidjenim sigurosnim standardima, tako da tu ostaje najviše problema. Elektrane druge i treće generacije imaju delimično rešeno pitanje kontejnmenta. I na ovom problemu se dalje radi.

U principu i na nuklearnim elektranama tipa RBMK (moderator grafit, hlađenje lakom vodom pod pritiskom) se mogu postići zadovoljavajući nivoi sigurnosti. Jedini preduslov za to je pridržavanje svih mera nuklearne sigurnosti (zaštitne barijere, kvalitetna oprema i radne procedure) i značajna materijalna ulaganja u popravljanje konstrukcionih nedostataka.

III.3. SIGURNOST NUKLEARNIH OBJEKATA U ČERNOBILU

Pre akcidenta u aprilu 1986, u Černobilu su bile 4 reaktorske jedinice u pogonu i 2 u izgradnji [8]. Prva i druga jedinica su stare generacije RBMK, sa reaktorima u odvojenim blokovima. Jedinice 3 i 4 su kasnijeg dizajna, u kome su dva bloka vezana centralnim delom. Nakon akcidenta, četvrta jedinica je konzervirana (sarkofag), dok su prva, druga i treća zatvorene. Nakon čišćenja i sanacije ponovo su startovane. Druga jedinica je 1992. zatvorena nakon požara. U radu su danas 1. i 3. jedinica. Za ove poslednje važe opšti problemi nuklearne sigurnosti diskutovani u prethodnom tekstu.

Sarkofag oko razrušenog reaktora odigrao je svoju ulogu u prvih 10 godina. Dalji tok dogadaja je neizvestan. Najveći problem mogao bi nastati ukoliko dode do propadanja zemljишta. U sarkofagu se nalazi oko 200 tona ozračenog i svežeg nuklearnog goriva pomešanog sa gradevinskim materijalom uglavnom u obliku prašine. Ukupna aktivnost dugoživećih radionuklida procenjuje se na $0,7 \cdot 10^{18}$ Bq. Čak i u najgorem slučaju ne bi bila ugrožena oblast van 30 km (novi grad Slavotić nalazi se 50 km od Černobila).

Smatra se da je verovatnoća da sveže nuklearno gorivo dode u stanje kritičnosti zanemarljiva. Međutim, ukoliko dode do plavljenja unutrašnjosti sarkofaga, ova pojava nije isključena. Stoga ovo zaslužuje dalja istraživanja. Isto se odnosi i na moguća oštećenja na obližnjoj trećoj jedinici usled propadanja sarkofaga. U toku su istraživanja o mogućem uticaju propadanja zemljишta na najbliži treći blok u Černobilu. Pored toga nisu bez značaja ni pitanja kontaminacije neposredne okoline sarkofaga, gde se još uvek nalaze razbacani radioaktivni predmeti iz elektrane [15].

Naredna faza sanacije sarkofaga treba da bude njegova stabilizacija, što će smanjiti rizik od propadanja zemljишta. To će ostaviti dovoljno vremena za precizno utvrđivanje potrebnih akcija i obezbeđenje ne malih finansijskih sredstava.

Konačno rešenje će biti implementacija sarkofaga u ekološki bezbedan sistem svog okruženja.

IV. ZDRAVSTVENI EFEKTI

IV.1. KLINIČKI ZAPAŽENI EFEKTI U PERIODU NIPOSREDNO POSLE AKCIDENTA

Teški akcidenti na nuklearnim postrojenjima neizbežno izazivaju kliničke efekte na radnicima akcidentalno ozračenim visokim dozama zračenja. Ozračivanje visokim dozama zračenja akutno i ozbiljno oštećeće krvotvorne organe, imuni i intestinalni sistem, a može izazvati i ozbiljne kožne opekotine. Kompleks zdravstvenih poremećaja izazvanih akutnim ozračivanjem visokim dozama zračenja obično se naziva akutna radijaciona bolest.

Neposredno posle akcidenta u Černobilu, u prvim danima posle akcidenta registrovano je 237 osoba sa sumnjom na postojanje akutne radijacione bolesti. Svi pacijenti su bili ili radnici nuklearne elektrane, ili radnici koji su neposredno posle pojave akcidentalne situacije bili angažovani na sprečavanju širenja, kontrolisanju i ublažavanju razmera akcidenta.

Dijagnoza akutne radijacione bolesti je potvrđena kod 134 pacijenta, od kojih je 28 umrlo u prva tri meseca posle akcidenta (Tabela 5.). Dve osobe su poginule u akcidentu. Uzrok smrti su bile fizičke ozlede, dok je jedna osoba umrla od posledica koronarne tromboze, van mesta udesa.

U poslednjih deset godina umrlo je još 9 pacijenata sa potvrđenim sindromima akutne radijacione bolesti i 5 pacijenata iz grupe suspektnih, ali kod kojih ovi sindromi nisu bili potvrđeni. Ni za jedan od ovih 14 smrtnih slučajeva ne može se uspostaviti direktna korelacija sa posledicama ozračivanja.

Tabela 5.

Akutna radijaciona bolest - klinički znaci akutnog ozračivanja visokim dozama u prvim danima posle akcidenta u Černobilu [10]

<i>Ukupan broj pacijenata</i>	237			
<i>Broj pacijenata koji su preživeli akutnu fazu</i>	209			
<i>Broj pacijenata koji su umrli u akutnoj fazi (1986)</i>	28			
<i>Stepen ozbiljnosti akutne radijacione bolesti</i>	<i>Broj pacijenata</i>	<i>Broj umrlih u prva tri meseca</i>	<i>Broj umrlih u poslednjih 10 godina</i>	
Blag (I)	0 - 2 Sv	41	-	3
Srednji (II)	2 - 4 Sv	50	1	3
Ozbiljan (III)	4 - 6 Sv	22	7	3
Vrlo ozbiljan (IV)	>6 Sv	21	20	-
<i>Nepotvrđen sindrom</i>	<i>0 - 1 Sv</i>	<i>103</i>		
	UKUPNO	237	28	9

Postoji uverenje da pacijenti sa sumnjom na akutnu radijacionu bolest nisu bili pravovremeno zbrinjavani na najbolji mogući način i da nisu dobili najbolju moguću zdravstvenu negu.

Terapija transplantacijom koštane srži, koja se do tada smatrala terapijom izbora za zbrinjavanje akutno ozračenih visokim dozama sa teškim posledicama, pokazala se prilično neadekvatnom. U smislu današnjih saznanja, to je sasvim razumljivo, s obzirom na visok imunološki rizik te terapijske procedure, nehomogeno ozračivanje u akcidentalnim situacijama i komplikujuće faktore zbog ostalih povreda i oštećenja, kao što su intestinalne povrede i oštećenja kože. Oštećenja krvotvornih sistema ubuduće će se tretirati brzom primenom hematopoetskih faktora rasta, a ne transplantacijom [10].

Postoji jasna indicija da je moguće poboljšati kvalitet života preživelih pacijenata akutno ozračenih visokim dozama zračenja u akcidentu u Černobilu. Najozbiljnije oštećeni prežивeli pacijenti sada pate od višestrukih oboljenja i zahtevaju savremen tretman i adekvatnu sekundarnu prevenciju. Njihov mentalni status može biti prilično narušen. Praćenje ovih pacijenata mora biti obezbeđeno u naredne 2 - 3 decenije .

IV. 2. POJAVA RAKA ŠTITNE ŽLEZDE U EKSPONIRANOJ POPULACIJI

Četiri godine posle akcidenta u Černobilu uočeno je povećanje frekvencije pojavljivanja raka štitne žlezde kod dece u Belorusiji i Ukrajini. U narednim godinama porast se nastavio. Preko 500 slučajeva raka štitne žlezde kod dece zabeleženo je samo u okolini Černobila [11].

Bila je poznata činjenica da rak štitne žlezde može biti prouzrokovani spoljnijim ozračivanjem. Radioaktivni jod se godinama koristio u tretmanu tireotoksikoza, bez primećenog povećanja frekvencije pojavljivanja raka štitne žlezde. Najveći broj karcinoma štitne žlezde posle izlaganja X zračenju bio je papilarnog tipa, sa latentnim periodom od 5 - 10 godina. Senzitivnost indukcije kancera pokazivala je tendenciju opadanja sa povećanjem starosne dobi u vreme ozračivanja, a povećan rizik indukcije kancera je ostao prisutan godinama.

Preko 400 slučajeva pojave kancera štitne žlezde zabeleženo je kod dece ispod 15 godina starosti u Belorusiji, u periodu 1990 - 1995. Najveći porast frekvencije pojavljivanja ovog kancera zabeležen je u oblasti Gomelj, gde je bila relativno visoka depozicija radionuklida (Tabela 6.). Frekvencija pojave kancera štitne žlezde kod dece, što u normalnim okolnostima predstavlja vrlo retku pojavu, u oblasti Gomelj je oko 200 puta veća nego što je, na primer, zabeležena u Engleskoj i Velsu.

U "kontaminiranim" oblastima severne Ukrajine zabeleženo je oko 150 slučajeva. Frekvencija pojave ovog kancera je u tim oblastima oko 20 puta veća nego u Engleskoj i Velsu i oko 7 puta veća nego u južnim krajevima Ukrajine.

Situacija u Ruskoj federaciji je mnogo manje jasna. U oblastima najviše pogodenim akcidentom pojavilo se povećanje frekvencije pojave raka štitne žlezde, ali u mnogo manjem obimu nego u Belorusiji i Ukrajini.

Skoro svi zabeličeni slučajevi raka štitne žlezde kod dece u ove tri države, najviše pogodene akcidentom u Černobilu, bili su papilarnog tipa. Na osnovu geografske distribucije i vremena pojavljivanja, sasvim je jasno da je povećana frekvencija pojavljivanja raka štitne žlezde posledica ozračivanja uzrokovanog akcidentom u Černobilu.

Frekvencija pojavljivanja raka štitne žlezde u ove tri države kod dece rođene 6 meseci posle akcidenta u Černobilu je na nivou osnovnog nivoa pojavljivanja u neozračenoj populaciji.

Potpvrda da je uzrok povećanja frekvencije pojavljivanja raka štitne žlezde u posmatranoj populaciji uzrokovana ozračavanjem radioaktivnim izotopima joda je indirektna. Ona se zasniva na činjenici da je frekvencija pojave raka u izloženoj populaciji ograničena samo na štitnu žlezdu, kao i na činjenici da je frekvencija pojave ovog kancera daleko najviše povećana kod dece koja su bila vrlo mlađa u vreme ozračivanja. Ovo je u saglanošti sa činjenicom da su apsorpcija i zadržavanje (*uptake*) joda vrlo visoki kod mlade dece, kao i sa poznatom činjenicom da je osjetljivost na pojavu raka štitne žlezde posle spoljnog ozračivanja mnogo veća nego kod odraslih.

¹³¹I je bio glavni izvor ozračivanja štitne žlezde. Kratkoživeći izotopi joda su mogli imati uočljiv doprinos samo u neposrednoj okolini postrojenja u Černobilu. Zabeležen porast frekvencije pojavljivanja hipertireoza i nodusa štitne žlezde u oblasti Gomelj, takođe je u korelaciji sa izlaganjem radioaktivnom jodu.

Buduće efekte ozračivanja štitne žlezde je teško prevideti zbog nedostataka iskustava o izlaganju štitne žlezde visokim dozama zračenja u relativno širokoj populaciji. Populaciona grupa koju čine deca izložena visokim dozama zračenja štitne žlezde verovatno će zadržati povećan rizik pojave kancera mnogo godina posle ozračivanja. Dalje studije za uspostavljanje relacije doza - efekat i pouzdanije predviđanje mogućih promena u frekvenciji pojave raka štitne žlezde su neophodne.

Rak štitne žlezde, ako se tretira na adekvatan način, ne nosi visok rizik smrtnosti (izlečiv je u više od 90% slučajeva), pa analize sugerisu da ciljani sistematski zdravstveni nadzor izloženih visokim dozama u ranom životnom dobu može biti vrlo koristan.

Zapažen je, takođe, izvestan porast broja kancera štitne žlezde u populaciji likvidatora, koji su bili izloženi najvećim dozama zračenja. Nivo prasta, ako se može uopšte smatrati statistički značajnim, daleko je ispod porasta frekvencije pojave raka štitne žlezde kod dece.

Procenjeno je da je oko milion dece iz Belorusije, Ukrajine i Rusije dobilo dozu na štitnu žlezdu od oko 500 mSv. Na osnovu procene da je životni rizik indukcije kancera štitne žlezde

oko 0,8 % Sv⁻¹, može se očekivati još oko 4 000 kancera štitne žlezde u preostalom životnom veku ozračene dece [11].

Apsolutna potvrda uzročno-posledične veze izlaganja radioaktivnom jodu zbog akcidenta u Černobilu i povećanja broja kancera štitne žlezde u dečjoj populaciji ne postoji. Međutim, indirektna potvrda je prilično jasna, a, takođe, neko drugo zadovoljavajuće objašnjenje ove pojave ne postoji.

Tabela 6.

Predviđanja osnovnog nivoa i povećanja broja slučajeva raka štitne žlezde kod osoba izloženih izotopima joda u dečijem dobu (0 - 14 godina) usled akcidenta u Černobilu. Posmatrani su osnovni nivoi u stanovništvu Belorusije i u beloj populaciji SAD u periodu 1983 - 1987. [12]

Populacija	Br. članova populacione grupe/srednja efektivna doza (mSv)	Period	U odnosu na	Osnovni nivo kancera		Predviđeno povećanje broja kancera			Očekivanu ukupno do 1996.
				No.	%	No.	%	AF %	
<i>Belorusija</i> Brest oblast	377 000	95 g	Belorus SAD	452	0,12	132	0,04	23	
		30	Belorus SAD	1 300	0,34	380	0,10	23	
	361 000	95 g	Belorus SAD	6	0,00	<1	0,00	5	6
		10 g	Belorus SAD	18	0,00	1	0,00	5	20
Vitbesch oblast	361 000	95 g	Belorus SAD	432	0,12	22	0,01	5	
		5	Belorus SAD	1 250	0,35	50	0,01	4	
	403 000	95 g	Belorus SAD	5	0,00	<1	0,00	5	5
		10 g	Belorus SAD	18	0,00	1	0,00	5	18
Gomelj oblast	403 000	95 g	Belorus SAD	438	0,11	1 495	0,37	77	
		290	Belorus SAD	1 400	0,35	4 300	1,07	75	
	302 000	95 g	Belorus SAD	6	0,00	5	0,00	45	11
		15	Belorus SAD	20	0,00	17	0,00	56	36
Minsk oblast	399 000	95 g	Belorus SAD	362	0,12	53	0,02	13	
		20	Belorus SAD	1 050	0,35	150	0,05	13	
	294 000	95 g	Belorus SAD	4	0,00	<1	0,00	6	4
		90	Belorus SAD	15	0,00	1	0,00	6	15
Mogiljev oblast	294 000	95 g	Belorus SAD	478	0,12	104	0,03	18	
		10 g	Belorus SAD	1 400	0,35	300	0,08	18	
	2 140 000	95 g	Belorus SAD	6	0,00	<1	0,00	5	6
		80	Belorus SAD	20	0,01	1	0,00	5	20
Belorusija UKUPNO	2 140 000	95 g	Belorus SAD	352	0,12	350	0,12	50	
		10 g	Belorus SAD	1 000	0,34	1 000	0,34	50	
	92 000	95 g	Belorus SAD	4	0,00	1	0,00	20	5
		35	Belorus SAD	14	0,00	4	0,00	22	19
<i>Ruska Federacija</i> Brajansk oblast	92 000	95 g	Belorus SAD	2 558	0,12	2 157	0,10	46	
		10 g	Belorus SAD	7 400	0,35	6 200	0,29	46	
	35	95 g	Belorus SAD	31	0,00	7	0,00	18	39
		10 g	Belorus SAD	105	0,00	24	0,00	19	128

AF% - Povećanje mortaliteta (*Attributable fraction*)

= dodatni broj smrtnih slučajeva / ukupan broj smrtnih slučajeva

IV.3. KASNI ZDRAVSTVENI POSLEDICI OZRAČIVANJA

Nasuprot dramatičnom porastu broja kancera štitne žlezde kod eksponirane dece, za sada ne postoji evidentiran značajan uticaj na zdravlje populacije, kao rezultat izlaganja zračenju zbog akcidenta u Černobilu, u tri najviše pogodene zemlje, Belorusiji, Ukrajini i Rusiji. Mada je izvestan porast frekvencije pojave broja kancera zabeležen u eksponiranoj populaciji, rezultati se teško mogu interpretirati, prevashodno zbog razlika u metodama i intenzitetu zdravstvenih pretraga i nadzora zdravstvenog stanja u populaciji eksponiranih i opštoj populaciji.

Ako su iskustva preživelih nakon atomskog bombardovanja u Japunu i iskustva iz epidemioloških studija drugih populacionih grupa primenljiva, glavne radiološke posledice po zdravlje akcidenta u Černobilu bi trebalo da budu slučajevi pojavljivanja kancera. Svi ti kanceri, za ceo preostali životni vek, bi trebalo da se pojave u populaciji likvidatora i u populaciji neraseljenih sa "kontaminiranim" teritorija. Procenjuje se da bi se moglo očekivati da bi ukupan broj kancera mogao biti oko 2 000 do 2 500 u svakoj od ovih populacionih grupa (200 000 likvidatora i oko 3 700 000 neraseljenih sa "kontaminiranim" teritorija). Ovakav porast, ako se i desi, biće teško epidemiološki ustanoviti, s obzirom na očekivani osnovni nivo broja kancera od oko 41 500 i 433 000 kancera u ove dve grupe, respektivno.

Procena kasnih zdravstvenih efekata ozračivanja rađena je posebno za četiri populacione grupe, kako je prikazano u Tabeli 7. Uloženo je mnogo napora da se rekonstruišu pojedinačne doze ili doze određenih populacionih grupa, naročito za one koji su u vreme i neposredno posle akcidenta živeli u najviše kontaminiranim zonama. Manje pažnje je posvećeno rekonstrukciji nivoa doza globalne populacije na "kontaminiranim" teritorijama van zona striktne kontrole i evakuisanih zona, jer je, za očekivane nivoe izlaganja neverovatno da se bilo koji radiološki zdravstveni efekt može zapaziti u toj populaciji, čak iako je verovatno da će kolektivna doza biti najveća upravo u toj populaciji.

Tabela 7.
Procena kolektivne efektivne doze u specifičnim populacionim grupama [12]

Populaciona grupa		Broj pripadnika populacione grupe	Kolektivna efektivna doza (čovek·Sv)
Evakuisano stanovništvo		135 000	130
Likvidatori (1986-1987)		200 000	20 000
Stanovništvo sa kontaminiranim oblasti:			
Površinska gustina deponovanog ^{137}Cs	> 0,5 MBq/m ²	270 000	10 000 - 20 000
	u intervalu od 37 kBq/m ² do 0,5 MBq/m ²	3 700 000	20 000 - 60 000

Za populacije "kontaminiranih" oblasti Belorusije, Ukrajine i Rusije i za populaciju likvidatora urađena je procena rizika pojavljivanja telesnih kancera (TK) i leukemije (L), za preostali životni vek (do 95 godine starosti). Korišćen je isti model kao u UNSCEAR 1994 Report-u, koji omogućuje uzimanje u obzir modifikujućih faktora, kao što su životna dob u vreme ozračivanja i pol (za leukemiju). Rezultati procene broja očekivanih smrtnih slučajeva zbog indukcije telesnih kancera i leukemije, u pojedinim populacionim grupama, kao i poređenje sa procenjenim osnovnim nivom ovih oboljenja, prikazani su u Tabeli 8.

I za telesne kancere i za leukemiju je očekivano povećanje broja smrtnih slučajeva malo, u odnosu na ukupan broj smrtnih slučajeva zbog ovih oboljenja. Za telesne kancere povećanje broja smrtnih slučajeva je manje od 1 %, za populaciju evakuisanu iz zone od 30 km oko Černobila, i populaciju koja je ostala na "kontaminiranim" oblastima van zona striktne kontrole, a manje od 5 % za likvidatore koji su radili u periodu 1986 - 1987 godine.

Povećanje broja smrtnih leukemija je veće nego broja telesnih kancera u svakoj populacionoj grupi, i nalazi se u opsegu od 2 % do 20 %.

Sva predviđanja i analize pokazuju vrlo nizak nivo očekivanih zračenjem indukovanih naslednih poremećaja. Procene se kreću u nivou do 0,03 %, za sve živo rođene, a u opsegu od <0,1 % do 0,4 % od svih naslednih zdravstvenih poremećaja kod živo rođenih u eksponiranoj populaciji. Rezultati predviđanja osnovnog nivoa i povećanja broja naslednih štetnih efekata u pojedinim populacionim grupama izloženim zračenju zbog posledica akcidenta u Černobilu, prikazani su u Tabeli 9.

Tabela 8.

Osnovni nivoi smrtnosti i predviđanje povećanja smrtnosti usled telesnih kancera i leukeemija u populaciji eksponiranoj posle akcidenta u Černobilu [12]

Populacija	Br. članova populacione grupe/srednja efektivna doza (mSv)	Tip kancera	Period	Osnovni nivo mortaliteta usled kancera		Predviđeno povećanje mortaliteta		
				No.	%	No.	%	ΔF%
Likvidatori 1986 - 87.	200 000	TK	Živ. vek (95 g)	41 500	21	2 000	1	5
	100	L	Živ. vek (95 g)	800	0,4	200	0,1	20
			Prvih 10 g	40	0,02	150	0,08	79
Evakuisani iz zone 30 km	135 000	TK	Živ. vek (95 g)	21 500	16	150	1	0,1
	10	L	Živ. vek (95 g)	500	0,3	10	0,01	2
			Prvih 10 g	65	0,05	5	0,004	7
Ostali u strogo kontrolisanim zonama	270 000	TK	Živ. vek (95 g)	43 500	16	1 500	0,5	3
	50	L	Živ. vek (95 g)	1 000	0,3	100	0,04	9
			Prvih 10 g	130	0,05	60	0,02	32
Ostali u ostalim "kontaminiranim" zonama	3 700 000	TK	Živ. vek (95 g)	433 000	16	2 500	0,05	0,6
	7	L	Živ. vek (95 g)	13 000	0,3	200	0,01	1,5
			Prvih 10 g	1 800	0,05	100	0,003	5,5

TK - Telesni (*solid*) kancer; L - leukemija

Tabela 9.

Osnovni nivo i predviđanje povećanja broja naslednih štetnih efekata u populacionim grupama izloženim zračenju zbog posledica akcidenta u Černobilu [12]

Populacija	Br. članova populacione grupe/srednja efektivna doza (mSv)	Ukupno živo rođenih	Osnovni nivo naslednih štetnih efekata		Ukupan broj naslednih štetnih efekata uzrokovanih ozračivanjem		
			No.	%	No.	%	AF%
Likvidatori 1986 - 87	200 000 100	250 000	19 000	7,60	80	0,03	0,42
Evakuisani iz zone od 30 km	135 000 10	65 000	5 000	7,69	5	0,01	0,10
Ostali u strogo kontrolisanim zonama	270 000 50	130 000	10 000	7,69	40	0,03	0,40
Ostali u "kontaminiranim" zonama	3 700 000 7	1 800 000	137 000	7,61	80	0,00	0,06

Iako za sad ne postoji, niti se, na osnovu prethodnih epidemioloških studija i procenjenih nivoa ozračivanja, očekuje merljivo povećanje broja leukemija i sličnih krvnih poremećaja, naučnici su zabrinuti da bi se izraženi maksimum mogao tek pojaviti, u nekoliko sledećih godina, praćen porastom frekvencije pojavljivanje kancera dojki, bešike i bubrežnih oboljenja. Preliminarni izveštaji o zdravstvenom statusu ozračenih koji se oporavljaju od posledica ozračivanja ukazuju da je porast počeo da se javlja [13].

IV.4. PSIHOLOŠKE POSLEDICE

U zoni neposredno pogodenog akcidentom, u svim populacionim grupama uočeni su iznenađujući i nečekani poremećaji i simptomi, nevezani direktno sa efektima izlaganja ionizujućem zračenju, kao što su anksioznost, depresija i različiti psihosomatski poremećaji koji odgovaraju simptomatologiji mentalnog stresa. Široko rasprostranjena anksioznost i pesimizam u odnosu na Černobilsku nesreću prevazilaze značaj i težinu radiološke situacije i radijaciono indukovanih zdravstvenih efekata, što se može zaključiti i iz sledeće jednostavne ilustracije. Ukoliko se kolektivna efektivna doza uzme kao mera za radijaciono opterećenje stanovništva različitim izvorima izlaganja, odnosno kao zajednička osnova za njihovo poređenje, može se dobiti osećaj realne ozbiljnosti ozračivanja populacije zbog akcidenta u Černobilu. Tako na primer, prema UNSCEAR 1988, kolektivna efektivna godišnja doza od izvora prirodnog porekla je $13 \cdot 10^{-6}$ čovek-Sv, od radioaktivnih padavina iz atmosferskih nuklearnih proba $4 \cdot 10^{-6}$ čovek-Sv, a od akcidenta u Černobilu $0,6 \cdot 10^{-6}$ čovek-Sv.

Koncept stresa je uveden da bi se objasnio masovan pad opšteg zdravstvenog stanja i kvaliteta života. Stres se može definisati kao proces kojim neprijatna mentalna iskustva imaju negativan efekat na telesne funkcije. Mechanizam je psihološki, a odvija se kroz autonomni nervni i endokrini sistem.

Psihološke posledice kao što je stres, su glavni zaostali efekat nesreće. Grupa ljudi pod stresom je znatno veća od one koja živi u kontaminiranoj zoni. Jedan od razloga je sigurno i taj što je stanovništvo vrlo svesno veoma neregularne depozicije radioaktivnosti. Posebno neefikasna politika informisanja u toku privih nekoliko meseci još uvek, godinama kasnije ima efekta. Uz to, akcident, koji je imao razoran uticaj na društveno okruženje, desio se u vremenu kada se centralizovan politički i ekonomski sistem raspao.

U ovom trenutku, treba još jednom jasno istaći da se stres može objektivno dokazati brojnim psihološkim indikatorima i da nema nikakve veze sa "imaginacijom". Postoji uzročna veza između brojnih oboljenja i stresa - čak i slabljenje imunog sistema se više ne može isključiti.

Za one koji su bili na licu mesta, psihološke posledice černobilske nesreće se mogu zaokružiti terminom "post traumatski stresni poremećaj (*post traumatic stress disorder*)". Ovo je sindrom izazvan specifičnim nesrećama, kao što su zemljotresi ili ratne situacije, koje su daleko od normalnog iskustva i vode do ekstremne emocionalne anksioznosti.

Ogorčenje i anksioznost koji su pratili akcident imali su mnogo uzroka, uključujući i društvene i ekonomске poremećaje praćene evakuacijom i relokacijom, ograničenom upotreboom obradive zemlje, nestაšicom "čiste" hrane. Studije su pokazale da simptomi stresa mogu biti povezani sa osećanjem gubitka kontrole nad sopstvenom sudbinom. Međutim, prvi i najvažniji uzrok je bila neizvesnost i nepoznavanje dugoročnih zdravstvenih efekata zračenja: svaki manji zdravstveni problem mnogi su videli kao nagoveštaj početka radijaciono indukovanih oboljenja. Mladi ljudi su praktično počeli da očekuju bolest i preranu smrt.

Sve ove, dobro dokumentovane objektivne okolnosti iz okruženja imale su značajan uticaj na zdravlje i dobrobit miliona ljudi. Navode se i mnogi drugi faktori: pogrešne interpretacije međunarodnih preporuka za zaštitu od zračenja, koje su vodile do kontradiktornog informisanja i mera, pogrešne procene rizika od aktuelnih nivoa kontaminacije, šeme materijalnih kompenzacija koje su pojačavale verovanja o neizbežnim zdravstvenim efektima, nasleđe nepoverenja u centralnu vlast, eksploracija akcidenta i njegovih navodnih efekata za realizaciju stečenih prava, netačno izveštavanje.

Ovaj simptomatoški opis se, međutim, ne može primeniti na drugu, daleko veću grupu, sa sličnim simptomima, ljudi, koji nisu bili na licu mesta u vreme akcidenta, ali osećaju njegove posledice u široj zoni okruženja. Drugi faktori su od značaja u tom kontekstu: ljudi su preseljeni, hrana je ograničena za upotrebu bez prihvatljivog razloga, interventne granice kontaminacije se stalno menjaju, briga za budući rizik po zdravlje se stalno povećava, a pogrešno rukovanje protivmerama uzrokuje povećanu konfuziju. Sve je to vodilo do osećanja bespomoćnosti, koje je za posledicu imalo odlike fatalizma i predavanja, uz svesno izbegavanja predloženih zaštitnih mera uključujući i povratak na kontaminiranu zemlju. Konferencija je predložila da se ovi simptomi zajednički obeleže terminom "hronični stresni poremećaj usled uslova životne sredine" (*chronic environmental stress disorder*) [9].

Postoje u osnovi tri načina da se smanji stres i tako smanje psihološki zdravstveni uticaj koji nastaje usled stresa.

Najbolji metod - uklanjanje stresora, nije lako primenljiv u ovom slučaju: katastrofa se već desila i ništa ne može da poništi, iako su ogromni napor učinjeni da se smanji kontaminacija životne sredine i spreče zdravstveni efekti.

Ono što preostaje je omogućiti izvesnu kontrolu nad stresorom, i tako promeniti njegovu percepciju. Ova kontrola nad stresorom je jedino moguća ako ljudi mogu do izvesnog stepena samostalno odlučivati da li žele ili ne da se presele, da li će hrana biti kontrolisana ili ne i kada društveni dijalog po ovim temama treba da se održi. Otvorena politika informisanja, kao promenom percepcije stresora je od vitalne važnosti. Time bi se smanjio opšti osjećaj bespomoćnosti a razvila ideja o mogućnosti uticaja na sopstvenu sudbinu.

Rešenja ovog problema, međutim, više pripadaju oblasti komunikacije sa javnošću nego medicini.

V. EKONOMSKE POSLEDICE

Ekonomski uticaj, u početku na Sovjetsku privredu, a potom, na privrede novih nezavisnih država, je bio i jestе ogroman. Ograničenja u šumarstvu su najviše pogodila kontaminirane oblasti - stotine hiljada hektara nisu više mogla da se koriste na tradicionalni način. Preseljenja su dovela do kidanja socijalnih mreža. Ukupna zdravstvena situacija je narušena. Nedovoljna energetska snabdevenost, posebno električnom energijom, imala je dopunski negativan uticaj. To je dovelo do oštrog pada životnog standarda ukupnog stanovništva.

Prema zvaničnim procenama, ukupni gubici u tzv. Sovjetskom periodu 1986. do 1989. procenjuju se na 9200 miliona rubalja, a za period 1986. do 1991, čak na 23 837 miliona rubalja.

Raspadom SSSR, nove nezavisne države morale su da samostalno podnose teret akcidenta i obezbede sredstva za saniranje posledica.

Materijalni troškovi za period 1986. do 2015, u Belorusiji, procenjuju se na stotine milijardi dolara i to: direktni i indirektni gubici 29,6 milijardi USD, gubici profita 13,7 milijardi USD, 191,7 milijardi dolara za sanaciju posledica akcidenta, 4 milijarde USD za šumartvo, šteta za društveni sektor se procenjuje na 14,2 milijarde USD i 6,1 milijaradi dolara za razne druge troškove. Belorusija, na čijoj se teritoriji ne nalazi ni jedna nuklearna elektrana, ima 23 % teritorije kontaminirano sa 27 gradova i 3 600 ostalih naselja. Dva miliona i dvesta hiljada ljudi, od toga 600 000 dece, živi u kontaminiranoj zoni.

Akident u Černobilu je imao ekstremno destruktivan uticaj na ekonomsku aktivnost stanovništva u kontaminiranoj zoni. Proračunato je da je materijalna šteta koju je pretrpela Belorusija usled akcidenta u Černobilu jednaka tridesetdvogodišnjem budžetu zemlje pre akcidenta.

Černobilski akcident je pogodio praktično celokupnu teritoriju Ukrajine i ostavio posledice na svim sektorima nacionalne ekonomije. Samo za saniranje sarkofaga očekuje se da je potrebno uložiti oko 15 000 miliona USD. I sama odluka o eventualnom zatvaranju černobilskih elektrana za Ukrajinu je od izuzetnog ekonomskog značaja jer povlači za sobom i direktne ekonomske posledice od potrebe za energijom do otpuštanja radnika.

Imajući u vidu celokupno ekonomsko i političko okruženje u Ruskoj federaciji teško je precizno proceniti stepen materijalnih posledica jer ih je teško odvojiti od opštih kretanja u društvu. Ono što je sigurno uocljivo je činjenica da je pad industrijske proizvodnje izrazito veći u pogodenim zonama nego u ostalim delovima Rusije.

VI. SOCIJALNE, POLITIČKE I INSTITUCIONALNE POSLEDICE

Svetko javno mnjenje je bilo alarmirano Černobilskim akcidentom. U prvom trenutku, sve zemlje su morale da se suoče sa pitanjem pouzdanosti nuklearnih elektrana i drugih nuklearnih objekata, a posebno zemlje koje poseduju nuklearnu tehnologiju. Kao rezultat širokog antinuklearnog pokreta, u mnogim zemljama je izgradnja nuklearnih elektrana

zaustavljena, a mere su preduzete da se poveća stepen sigurnosti elektrana u pogonu. Drugo, teritorije različitih zemalja (Poljska, Norveška, Italija i dr.) su značajno kontaminirane, tako da su, u njihovom slučaju, i mere za elemišanje posledica akcidenta morale da budu preduzete. Ovo se posebno odnosilo na prehrambene articke (povrće, meso i mleko).

Istovremeno, u veoma dugom periodu međunarodne relacije u vezi akcidenta u Černobilu su bile označene atmosferom tajanstvenosti i izolacije. Tek 1989. vlada SSSR je zatražila pomoć od IAEA da bi se procenila efikasnost do tad preuzetih mera, a 1990. je započeo međunarodni projekat za sanaciju posledica.

Pozitivne političke promene nakon akcidenta uključuju i: 1. uklanjanje informacionog embarga u odnosu na realne razmere Černobilskog akcidenta i njegove posledice, kao i na stvarnu pretnju za zdravlje stanovništva i način života, 2. demokratizacija svih aspekata života, 3. brz porast udela stanovništva koji se udaljava od paternalističkih iluzija i usvaja poziciju nezavisne društvene aktivnosti, preuzimajući brigu za sopstvenu sudbinu u svoje ruke, ne očekujući više da je država rešava za njih.

Društvene, institucionalne i političke funkcije se usled akcidenta preispituju, i neophodno ih je redefinisati, imajući u vidu novonastalu situaciju. Ključni faktor je direktno uključenje svih slojeva društva.

Primena "klasičnog" principa zaštite od zračenja, tj. optimizacije zaštite, u procesu donošenja odluka je jedna od pokretačkih mera u početnim fazama sanacije akcidenta. Istovremeno to je i faza u toku koje je hijerarhijska struktura korisna. Kasnije, međutim, decentralizovani pristup i politika informisanja, transparentnosti, prihvatanja i motivacije su neophodni da bi se psihološki faktori uzeli u obzir [9].

Normalno, ljudi su spremni da prihvate rizike svakodnevnog života. U takvim situacijama veruju stručnjacima i ne dovode u pitanje legitimitet nadležnih organa. Nakon nesreće, ovakav stav se neminovno preispituje a društveno poverenje se zaljuljalo. Ljudi su konfrontirani sa kontaminacijom i protivmerama u svom svakodnevnom životu. Gubitak poverenja u eksperte i autoritete vodi do konfuzije i osećanja potpune bespomoćnosti u kompleksnoj situaciji. Stres i anksioznost koji rezultuju iz ovoga vode do stalno rastućih zahteva za boljim zaštitnim merama i dopunskim kompenzacijama.

Decentralizovani prilazi sa direktnim angažovanjem zainteresovanog stanovništva bi mogli da budu izlaz iz ove situacije. Načini reagovanja u post akcidentalnim uslovima moraju biti redefinisani. Cilj ne može biti povratak na stanje pre nesreće, jer to više nije moguće. Važno je stoga tretirati situaciju na pozitivan način. Za zainteresovanu populaciju, pravac ka "normalizaciji" vodi ka dobrotljnom uključenju u izgradnju nove socijalne strukture.

Da bi se to postiglo neophodno je da populacija bude upoznata sa činjenicama što je pre moguće. Mora postojati otvorena diskusija o vrednostima doza, o očekivanim efektima, i po zdravlje, i po privredu. Granice treba da su definisane, na primer: nikakve protivmere ne treba da se preduzimaju ukoliko je godišnja doza ispod 1 mSv, preseljenje je potrebno ukoliko je godišnja doza na primer iznad 50 mSv, a za svaku vrednost između, mere optimizacije moraju se naći i ugraditi. Takve odluke moraju biti transparentne, prihvatljive i podržane od onih na koje se odnose. Uz to, sistem materijalnih kompenzacija oštećenja bi mogao biti zamenjen sistemom gratifikacija, ohrabrujući one koji su dostigli stavarno poboljšanje situacije. Istovremeno, svako ko živi u oblastima u kojima je godišnja doza između, na primer, 5 i 50 mSv, bi trebalo da ima mogućnost da bude preseljen na dobrotljnoj osnovi. Na taj način stresor "preseljenje" može biti kontrolisan.

Zaključeno je da bi informacija, transparentnost i dobrotljivo angažovanje autonomnih i direktno uključenih ljudi mogli da budu elementi novog prilaza u pogodenim oblastima za uspostavljanje pozitivnog, budućnosti orijentisanog društvenog sistema za čoveka.

VII. ZAKLJUČAK

Akcident koji se desio 26. aprila 1986. na 4. bloku nuklearne elektrane u Černobilu je po mnogim svojim aspektima najznačajniji u dosadašnjoj istoriji razvoja mirnodopske primene nuklearne energije. Ukupna količina radioaktivnog materijala još prisutnog u životnoj sredini,

deset godina posle černobilske nesreće, procenjuje se na 80 PBq dugoživećih radionuklida ^{137}Cs i ^{90}Sr , što predstavlja oko 1 % od ukupne oslobođene aktivnosti.

Različiti organizmi u životnoj sredini su bili izloženi visokim dozama zračenja, a letalne doze su dostignute za neke ekosisteme (četinarske šume i male sisare u blizini elektrane, u zoni prečnika 5-30 km oko reaktora).

U prvim danima najviše je bilo kontaminirano mleko i zeleno povrće. Primenom odgovarajućih mineralnih dubriva smanjen je transfer ^{137}Cs iz zemljišta u biljke, u zavisnosti i od vrste zemljišta.

U narednim dekadama je moguće povećanje doze unutrašnjeg izlaganja zbog korišćenja hrane koja se proizvodi od životinja koje pasu na prirodnim ispašama, šumama i planinama i koje za ishranu imaju druge divlje životinje ili biljke koje rastu na kontaminiranoj teritoriji (bobice, pečurke, lišajeve).

Poboljšanja koja su posle udesa u Černobilu izvršena na svim tipovima RBMK reaktora, po oceni stručnjaka bivšeg SSSR i stručnjaka sa zapada, otklanaju mogućnost ponavljanja udesa sličnog onom u Černobilu. I pored toga, i dalje se radi na povećanju elemenata sigurnosti ovih reaktora.

Stav stručnjaka sa zapada u pogledu sudsbine reaktora RBMK dosta je jasan. Sudbina nuklearne energetike bitno zavisi od sigurnosti nuklearnih elektrana. Elektrane u istočnim zemljama ne zadovoljavaju savremenc kriterijume sigurnosti pa ih treba što pre ili zatvoriti i izvršiti dekomisiju ili uložiti u unapredjenje sigurnosti. U postojećim okolnostima to je neprihvatljivo za istočne zemlje, pre svega iz ekonomskih razloga, mada ne treba isključiti ni političke. Diskusije o eventualnom zatvaranju nuklearne elektrane u Černobilu nisu još uvek završene.

Iskustva Černobila će pomoći u usavršavanju regulative vezane za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost, kao i razvoju adekvatnih planova za efikasno delovanje u slučaju nuklearnih udesa. Jedna od važnih lekcija Černobila je i neophodnost uvodenja operativnih nacionalnih planova za delovanje u vanrednim uslovima. Sumirajući posledice udesa, ekspertske grupe IAEA i ICRP i drugih međunarodnih organizacija pripremile su nove principe zaštite. Tako je od strane IAEA pripremljen Plan za delovanje pri radiološkim udesima. Plan u našoj zemlji, koji je u pripremi, baziran je na ovom planu.

U periodu od deset godina posle akcidenta u Černobilu jedini do sada sa sigurnošću evidentirani štetan efekat na zdravlje populacije, kao direktna posledica akcidenta, je dramatičan porast broja kancera štitne žlezde kod osoba koje su u vreme ozračivanja bili u dečijem uzrastu, u tri najviše pogodene zemlje, Belorusiji, Ukrajini i Rusiji. Nikakav porast frekvencije pojавljivanja kancera, ili povećana smrtnost, koji bi se direktno mogli dovesti u vezu sa izlaganjem zračenju, kao posledicom akcidenta u Černobilu za sada sa zadovoljavajućom statističkom pouzdanošću nisu detektovani. Takođe, nikakvo statistički značajno povećanje frekvencije pojave leukemije, čak ni u populaciji likvidatora, kao jednom od najznačajnijih tipova kancera uzrokovanih izlaganjem zračenju, nije registrovano. Ovo je u globalu u saglasnosti sa predviđanjima zasnovanim na epidemiološkim studijama određenih populacionih grupa izloženih zračenju, među kojima su i stanovnici Japana koji su preživeli atomska bombardovanja Hirošime i Nagasakija.

Porast frekvencije kancera štitne žlezde u populaciji eksponiranoj u dečijem uzrastu je zapažen u najteže kontaminiranim oblastima Belorusije, Ukrajine i Rusije, i to u mnogo većem obimu nego što se to moglo predvideti na bazi prethodnih epidemioloških studija. Ovaj porast može biti odraz ili izražene osetljivosti ove populacione grupe, zbog nekih lokalnih ili faktora okoline, ili zbog podcenjene vrednosti doze na štitnu žlezdu (verovatno zbog nesigurnosti u proceni, neposredno posle akcidenta), ili zbog vrlo velikog kancerogenog potencijala vrlo kratkoživećih izotopa joda. Povećanje broja kancera štitne žlezde zapaženo je i među likvidatorima, kao i u globalnoj populaciji. Ovaj porast i njegova eventualna veza sa ozračivanjem posle akcidenta u Černobilu tek treba da budu verifikovani.

Zapažena je izražena tendencija automatskog pripisivanja fluktuacije i/ili povećanja frekvencije pojavljujuća kancera u periodu posle akcidenta u Černobilu posledicama izlaganja zračenju. Treba, međutim, naglasiti da je porast frekvencije porasta nekih neoplazija bio zapažen u nekim zemljama i pre akcidenta. Globalni porast mortaliteta je poslednjih godina uočen u mnogim zemljama bivšeg SSSR, koji se ne može dovesti u vezu sa nivoom radioaktivnog

zagadnja i doza zračenja. To se mora uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata epidemioloških studija, pri proceni posledica akcidenta u Černobilu na pogoršanje zdravstvenog statusa.

Porast frekvencije pojavljivanja velikog broja nespecifičnih štetnih zdravstvenih efekata, osim kancera, u eksponiranoj populaciji, naročito u populaciji likvidatora, takođe, je uočen. Interpretacija tih rezultata je vrlo složena, jer je eksponirana populacija mnogo intenzivnije zdravstveno nadgledana od ostalog dela populacije. Ako se pokaže da je ovaj uočeni porast statistički značajan, on se verovatno može pripisati posledicama stresnih stanja, pre nego ozračivanju.

Na osnovu prethodnih epidemioloških studija u drugim populacionim grupama, a naročito na stanovništvu Japana, koje je preživelo atomska bombardovanja, bilo kakav porast frekvencije pojavljivanja kancera, osim leukemije, ne može ni biti uočljiv. Izlaganja populacije zračenju, kao posledica akcidenta u Černobilu, su, međutim, i po tipu i intenzitetu i dinamici različita od izlaganja stanovnika Hirošime i Nagasakija, pa predviđanja i poređenja izvedena na bazi ovih epidemioloških studija nisu sasvim pouzdana. Zbog toga je neophodno nastaviti zdravstveni nadzor eksponirane populacije u černobilskom akcidentu i stvaranje registra oboljevanja u pojedinim populacionim grupama, prema stepenu njihove radijacone ugroženosti.

Epidemiološke studije pojedinih populacionih grupa pogodenih černobilskim akcidentom i poređenje predviđenih i uočenih efekata, mogu biti i značajan izvor informacija za istraživanje uticaja jačine doze, tipa ozračivanja i puteva izlaganja u domenu niskih i srednjih doza, i faktora koji mogu modifikovati efekte ozračivanja. Ovakve informacije mogu imati značajne konsekvence na koncipiranje zaštite od zračenja globalne populacije, ali i zaštite od zračenja u medicinskoj primeni izvora zračenja.

Jedna od najvećih briga u pogodenoj populaciji je verovatnoća pojave naslednih oboljenja u sledećim generacijama [8]. Do danas nema dokaza za porast broja naslednih oboljenja kod dece rodene nakon akcidenta. Nasledni poremećaji su česti u ljudskoj populaciji, tako da je male promene u njihovom pojavljivanju teško detektovati. Nikakve takve promene incidencija usled zračenja nisu pokazane na ljudskoj populaciji, uključujući preživele iz Hirošime i Nagasakija. Eksperimenti sa biljkama i malim životinjama su ukazali da će učestanost radijaciono indukovanih poremećaja kod potomaka izložene populacije biti manja od radijaciono indukovanih kancera u izloženoj pouplaciji. Procenjuje se da će povećanje naslednih poremećaja kao rezultat akcidenta biti manje od 1 % od osnovnog nivoa naslednih poremećaja. Stoga se očekuje kao najverovatnije da će biti nemoguće da se u budućnosti detektuju bilo kakvi nasledni efekti vezani za Černobilski akcident.

Pored ostalih rezultata konferencije, jasno je poslata i poruka svim ljudima koje je akcident pogodio na neki od načina, da nisu učesnici velikog eksperimenta, a da će rezultati istraživanja odmah biti primenjivani za poboljšanje njihovog opštег stanja (Williams, Kembridž, V.Britanija) i dobrbit.

Akcident u Černobilu je otvorio mnoga pitanja i redefinisao mnoge stavove. Jedno od tih pitanja na koje se mora naći odgovor je i "Da li se način proizvodnje i primene nuklearne energije još uvek može smatrati odgovornom?". I: "Ako može, pod kojim uslovima?".

LITERATURA

- [1] Dreicer et all.: "Consequences of the Chernobyl accident for the natural and human environments", International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [2] "Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident", Safety series No. 75-INSAG-1, IAEA, Vienna, 1986
- [3] "Environmental impact and prospects for the future", working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [4] "Chernobyl - Ten Years On - Radiological and Health Impact", NEA, OECD, 1996
- [5] Beninson, B. Lindell: "Chernobyl Reactor Accident", Report of a Consultation of WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 1986, ICR/CEH 129, Doc. 7246 E
- [6] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA, Safety Series No. 115-I, 1994

- [7] Summary and Conclusions of the International Forum ONE DECADE AFTER CHERNOBYL: NUCLEAR SAFETY ASPECTS, Vienna 1-3 April 1996
- [8] J.C.Nenot et al, The Chernobyl Accident: The Consequences in perspective, working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [9] International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996, Conclusions and recommendations of the Technical Symposium
- [10] Gerard Wagemaker et all, Clinically observed effects in individuals exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident, working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [11] E.D. Williams et all, Effects on the thyroid in populations exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident, working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [12] E.Cardis et all, Estimated long term health effects of the Chernobyl accident, working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [13] WHO PRESS release WHO/84, 25.11.1995, Post Chernobyl: Work cut out for decades to come
- [14] Terence R. Lee, Environmental Stress Reactions Following the Chernobyl accident, working material, International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996
- [15] Highlights of Conclusions from the International Conference One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the accident, Vienna, April 1996
- [16] International Conference One decade after Chernobyl, Vienna, April 1996 , Background paper Session 6

CONSEQUENCES AND EXPERIENCES - TEN YEARS AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

Gordana Pantelić, *Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"*
 Dragana Popović, *Department of Physics, Faculty of Veterinary Medicine, Belgrade*
 Radojko Maksić, *Federal Ministry of Economy, FRY*
 Milan Orlić, Radojko Pavlović, Snežana Pavlović, *Institute for Nuclear Sciences VINČA*

Abstract - On 26 April 1986. the most serious accident in the history of the nuclear industry occurred at the Chernobyl nuclear power plant in the former Soviet Union, near the present borders of Ukraine, Belarus and Russia. Material released into the atmosphere dispersed and eventually deposited back on the surface of the earth, where it was measurable over the whole northern hemisphere. Millions of people and all segments of life and economy have been affected by the accident.

Radioactive contamination has reached several tens of MBq/m² in the area of 30 km diameter around the reactor in 1986., and plants and animals have been exposed to shortlived radionuclides up to external doses of several tens of Gy.

In the early phase after the accident, 237 persons were suspected to have acute radiation syndrome as a consequence of the Chernobyl accident, but diagnoses has been confirmed in 134 cases. In that phase 28 person have died as a consequence of exposure. During next 10 years, 14 more people have died from this group, but their deaths could not be connected directly to severity of acute radiation sickness nor be considered as a consequence of exposure. The great increase childhood thyroid cancer has been observed in the same period. There were more then 800 such cases in Belarus, Russia and Ukraine. It was not observed statistically significant increase in number of solid cancers and leukemia in this period. Statistically significant increase in hereditary effects was not noticed as well. Epidemiological studies of the exposed population will certainly influence on modifications of exposure risk models especially in the range of the medium and low doses.

There are significant non-radiation - related health disorders and symptoms, such as anxiety, depression and various psychosomatic disorders attributable to mental stress among the population in the region. Psychosocial effects, unrelated to radiation exposure, resulted from the lack of information immediately after the accident, the stress and trauma of compulsory relocation, the breaking of social ties, and the fear that radiation exposure is damaging and could damage their and their children's health in the future. Highly politicized handling of the accident's consequences has led to psychosocial effects among the population that are extensive, serious and long-lasting. The Chernobyl accident's consequences, aggravated by the political, economic and social changes of the past years, have led to a worsening in people's quality of life and health, and to negative impacts on social activity. The situation has been further complicated by the spreading of incomplete and distorted information on the accident consequences and measures for their alleviation (during the first years). The symptoms such as anxiety associated with mental stress may be among the most important legacies of the accident.

The Chernobyl accident has significantly influenced global development of the nuclear industry. It was obvious that existing concept was incomplete and that accident response strategy was inadequate. During the period of ten years after the accident, possible causes of the accident and necessary conditions for preventing such scenarios were analyzed. Early warning systems and accident response plans were significantly improved on the bases of those experiences.

The complete rehabilitation of the 30 km dia zone around the NPP is not possible for now due to several reasons. One of the most important tasks that remains to be done is to develop strategy of nuclear energy development and emergency management taking into account real radiological risk and economic, social and psychological impacts of countermeasures in order to yield the greatest benefit in human terms.

INTERNE KONTAMINACIJE PORODICA POSLE ČERNOBILJSKOG

AKCIDENTA 1986.

(predavanje po pozivu)

Đ. Bek-Uzarov, D. Kostić*, D. Nikežić*, D. Arsenijević**, O. Čuknić

Institut za nuklearne nauke Vinča

* Prirodno matematički fakultet, 34000 Kragujevac

** Kliničko-bolnički centar Kragujevac

SADRŽAJ

Posle Černobiljskog akcidenta počev od 30. aprila 1986. godine počela su nasumice merenja interne kontaminacije građana na uređaju za merenje aktivnosti celog tela (Whole Body Counter-WBC).

U Kragujevačkom kliničkom centru je zapaženo povećanje malformacija novorođenčadi koje je, po tadašnjem sugestivnom mišljenju, bilo posledica Černobiljskog akcidenta.

Preduzeta merenja nisu mogla, po tadašnjim saznanjima, da daju potvrdan odgovor za tu pojavu. Posle 10 godina od tih događaja učinjene su klasifikacije i sredeni rezultati merenja koja se u ovom radu prezentiraju, sa namerom da se dobiveni rezultati merenja dokumentuju i registruju u našoj stručnoj literaturi i tako nemene budućnosti.

1. UVOD

Kratak opis instrumentacije i merenja aktivnosti u celom čovečijem telu je dat radi orijentacije u procenama metode i rezultata merenja na instalaciji WBC izrađenoj 1960-tih godina.

Radi upoređivanja vrednosti aktivnosti u radu je prikazan presek kretanja aktivnosti radionuklida u čovečijem telu u periodu pre, u toku i posle akcidenta u Černobilju.

Postoje dva motiva za pisanje ovog rada. Prvo, postojala je sumnja da je u toku 1986. i 1987. godine došlo do značajnog povećanja malformacija novorođenčadi u Kliničkom centru u Kragujevcu. Drugo, u okolini Černobilja na radu je duže boravila jedna porodica naših građana, koja je po povratku iz Rusije sistematičnije merena. Tako ta dva motiva čine sadržaj rada sa pretenzijama da se samo sistematizovani rezultati meranja u stručnoj literaturi registruju.

2. MERENJE RADIATIVNOSTI U ČOVEČIJEM TELU

Merenja su vršena na instalaciji WBC izgrađenoj 1960-tih godina opisanoj u radovima [1] i [2].

Zaštitna kabina je izrađena od starog, odležalog brodskog čelika čija je radioaktivnost kontrolisana pre ugrađivanja. Debljina zidova je 80 mm, a masa cele kabine je 37 t.

Gama detektor je kristal NaI (Tl), scintilacioni brojač prečnika 200 mm i visine 100 mm. Sastoji se od tri multiplikatora. Efikasnost detekcije je 2.9×10^{-3} . Minimalna merena aktivnost je oko 50 Bq za celo čovečije telo mase 70 kg.

Pri merenju ukupne aktivnosti čovečijeg tela koristi se tehnika stolice, pri čemu se telo merene osobe nalazi u položaju da zaklapa ugao od 30°. [3]. Ovakav položaj je pogodan pri merenjima radioaktivnih izotopa čija je raspodela u telu homogena. Detekciona površina kristala nalazi se približno u centru mase tela i na rastojanju 36 cm od čoveka.

Da bi se odredila ukupna aktivnost u čovečijem telu vrše se sledeća merenja: merenje fona kabine, merenje etalonog fantoma i merenje ispitivane osobe.

Fon kabine se određuje tako što se na stolicu postavlja fantom sa destilisanim vodom, tj fantom za fon.

Određeno je da je efikasnost merenja cezijum:

$$\epsilon = (2.96 \pm 0.30) * 10^{-3} \quad (1)$$

U slučaju mc čovečijeg tela iz dobijenog spektra ukupna aktivnost se može odrediti pomoću relacije:

$$A_0 = (R - R_{\text{fk}})F \quad (2)$$

gde je A_0 ukupna aktivnost u čovečijem telu (data u Bq),

R ukupan (integralni) broj impulsa u sekundi, R_{fk} brzina brojanja fona kabine merenog u fantomu za fon, a F faktor efikasnosti.

Ukoliko se želi odrediti aktivnost cezijuma u čovečijem telu koristi se relacija:

$$A_{\text{Cs}} = (R_{\text{Cs}} - R_{\text{fks}})F \quad (3)$$

gde je A_{Cs} aktivnost cezijuma u čovečijem telu (data u Bq),

R_{Cs} ukupan broj impulsa u sekundi pod fotopikom cezijuma,

R_{fks} brzina brojanja fona pod fotopikom cezijuma, a F faktor efikasnosti za cezijum.

3. rezultati merenja aktivnosti u čovečijem telu

Radi ilustracije kretanja interne kontaminacije u celom čovečijem telu na slici 1. prikazani su spekti radionuklida izmereni opisanim scintilacionim brojačem pre, u toku i posle Černobiljskog akcidenta. Grafik 2 na slici 1. predstavlja spektor osobe meren 07.11.1984. godine. Taj spektor je karakterističan po tome što je izrazito niska aktivnost u celom telu dotočne osobe. Primećuje se samo jedan pik koji se odnosi na prisustvo radionuklida ^{40}K koji svaki čovek i svako živo biće ima. Grafik 1 na slici 1 predstavlja spektor osobe meren 12.05.1985. godine. Spektor 2 je karakterističan po tome što osoba sadrži osrednju aktivnost radionuklida u celom telu. Pored pika od kalijuma uočava se i pik od cezijuma ^{137}Cs koji je karakterističan za interne kontaminacije fisionim produktima.

Grafik 3 na slici 1. predstavlja spektor osobe meren 27.01.1987. godine. Brzina brojanja za ovaj slučaj prikazana je na desnoj osi pomenute slike. Osoba čiji je ovo spektor bila je na radu u Rusiji za vreme Černobiljske katastrofe i tek se krajem 1986 godine vratila u Jugoslaviju. Na spektru se uočava izraziti pik od ^{137}Cs . Poređenjem sa predhodnim spektima primećuje se znatno povećanje aktivnosti radionuklida u telu, i to nekoliko desetina puta u oblasti cezijuma. To govori da je došlo do znatne kontaminacije čovekovog tela cezijumom.

3.1. Rezultati praćenja radioaktivnosti u čovečijem telu porodice L

Porodica L. se za vreme havarije nuklearne elektrane u Černobilju nalazila u Rusiji i odmah po saznanju za nesreću vratila u Jugoslaviju. Pošto se predpostavilo da je čitava porodica unela u organizam značne količine radionuklida, pristupilo se praćenju aktivnosti čovečijeg tela čitave porodice. U blicama 1, 2, 3 i 4 prikazani su rezultati dobijeni prilikom merenja pojedinih članova porodice u određenim vremenskim intervalima.

TABLICA 1. Rezultati merenja aktivnosti u telu osobe L.I. (majka)

Red. broj	TAG	Dat. merenja	m [kg]	A_0 [kBq]	A (I) [kBq]	A(Cs) [kBq]
1	1455	20.05.86.	77	40.1±4.1	3.6±0.4	1.2±0.1
2	1497	04.06.86.	77	31.4±3.2	0.45±0.05	1.1±0.1
3	1585	28.07.86.	75	25.5±2.6	-	4.6±0.5
4	1856	17.03.87.	75	27.9±3.0	-	5.3±0.6

TABLICA 2. Rezultati merenja aktivnosti u telu osobe L.S. (otac)

Red. broj	TAG	Dat. merenja	m [kg]	A_0 [kBq]	A (I) [kBq]	A(Cs) [kBq]
1	1457	20.05.86.	93	60.2±6.1	7.6±0.8	2.4±0.3
2	1478	30.05.86.	93	43.0±9.2	2.7±0.3	3.8±0.4
3	1825	27.01.87.	94	91.3±9.2	-	18.0±0.9
4	1859	17.03.87.	94	83.1±8.4	-	15.5±0.6

TABLICA 3. Rezultati merenja aktivnosti u telu osobe L.G. (sin)

Red. broj	TAG	Dat. merenja	m [kg]	A_0 [kBq]	A (I) [kBq]	A(Cs) [kBq]
1	1456	20.05.86.	65	58.6±6.0	3.4±0.4	2.2±0.2
2	1492	03.06.86.	65	36.5±3.8	0.84±0.09	2.1±0.2
3	1587	28.07.86.	65	34.0±3.5	-	2.4±0.3
4	1857	17.03.87.	65	27.0±2.8	-	5.4±0.6

TABLICA 4. Rezultati merenja aktivnosti u telu osobe L.A. (sin)

Red. broj	TAG	Dat. merenja	m [kg]	A_0 [kBq]	A (I) [kBq]	A(Cs) [kBq]
1	1453	20.05.86.	32	46.3±4.8	6.0±0.7	3.8±0.4
2	1496	04.06.86.	32	33.9±3.5	1.9±0.2	4.7±0.5
3	1586	28.07.86.	32	20.1±2.9	-	3.7±0.4
4	1858	17.03.87.	32	15.9±1.6	-	3.4±0.4

Može se primetiti da ukupna aktivnost tokom vremena postepeno opada kod svih članova porodice, osim u slučaju osobe L. S. (otac).

Isto tako aktivnost ^{131}I je brzo opala tako da dva meseca nakon akcidenta nije ni detektovan u čovečijem telu. Ovo je razumljivo s obzirom da je vreme poluraspada ^{131}I relativno kratko (oko 8 dana).

Interesantno je da se koncentracija ^{137}Cs u organizmu tokom vremena povećava. To se objašnjava time da cezijum postepeno prodire u zemlju i biljke ga apsorbuju iz zemlje korenom. Svoj najviši nivo u biljkama cezijum dostiže 6-12 meseci nakon kontaminacije tla. U organizam životinja i čoveka cezijum dospeva preko biljaka. Maksimalne koncentracije cezijuma u organizmu čoveka uspostavlju se nakon 4-5 meseca.

Iako su merene osobe porodice L. živele zajedno i hranile se zajedno, primećuje se da se koncentracije izotopa cezijuma kod pojedinih osoba u pojedinim periodima bitno razlikuju. Tako je, na primer, neposredno posle havarije osoba L. I. imala najmanju aktivnost cezijuma, dok je osoba L. A. imala najveću. Kod osobe L.I. je tri meseca nakon katastrofe zabeleženo znatno povećanje koncentracije izotopa cezijuma koja se i dalje nastavlja. Kod osobe L. G. znatno povećanje aktivnosti cezijuma je otkriveno tek u toku meseca marta 1987. godine, dok je kod osobe L.A. koncentracija izotopa cezijuma skoro konstantna sve vreme.

Iz pregleda kretanja aktivnosti zapaža se da je osoba L. S. (otac) pri kontrolnom merenju u 1987. godini imao znatno povećanu internu kontaminaciju nego što je bila 1986. posle Čemobiljskog akcidenta. Ispostavilo se da se ta osoba u međuvremenu ponovo vraćala na posao u Rusiju- Žlobin gde je došlo do ponovne interne kontaminacije. Ostale nepravilnosti internih kontaminacija kod cele porodice objašnjavaju se takode ponovnim spontanim kontaminacijama kod nas u Zemlji.

3.2. Rezultati merenja radioaktivnosti u telu osoba sa područja Kragujevca

U različitim oblastima naše zemlje došlo je do značne razlike u kontaminaciji tela i životne sredine, pa samim tim i kontaminaciji samog čoveka. Kako je u periodu posle Čemobiljske katastrofe u Kragujevcu registrovan veći broj malformacija novorođenčadi, pristupilo se merenjima interne kontaminacije roditelja te dece [4]. Nijedna od merenih osoba nije bila profesionalno angažovana na radu sa radioaktivnim izotopima. Nije postojala mogućnost merenja čitave grupe u približno istom vremenskom periodu, pa su ona vršena u više različitih perioda. Dobijeni rezultati prikazani su u Tablici 5.

TABLICA 5. Rezultati merenja aktivnosti u telu grupe građana Kragujevca

Red. broj	TAG	Osoba	m [kg]	Datum	A_0 [kBq]	A_{Ss} [kBq]
1	1885	V.S. (m)	76	28.07.87.	48.0±5.8	7.8±1.1
2	1887	V.V. (d)	64	28.07.87.	13.9±0.4	3.0±0.4
3	1886	S.R. (m)	87	28.07.87.	21.6±2.6	3.5±0.5
4	1888	S.V. (ž)	66	28.07.87.	12.5±1.5	2.9±0.4
5	1907	S.T. (m)	73	27.10.87.	14.8±1.8	3.4±0.5
6	1908	S.V. (ž)	55	27.10.87.	11.7±1.4	2.6±0.4
7	1909	J.P. (m)	91	27.10.87.	31.0±3.7	6.9±1.0
8	1910	D.D. (m)	83	27.10.87.	28.0±3.4	6.1±0.9
9	1911	K.D. (ž)	63	27.10.87.	19.9±2.4	3.9±0.5
10	2078	K.D. (ž)	64	15.11.88.	4.9±0.6	0.76±0.11
11	1920	M.S. (ž)	63	11.11.87.	16.6±2.0	3.7±0.5
12	1921	T.R. (m)	95	11.11.87.	20.3±2.4	3.9±0.5
13	1922	B.S. (ž)	48	11.11.87.	8.8±1.1	1.7±0.2
14	1923	B.M. (m)	87	11.11.87.	30.4±3.6	6.6±0.9
15	1924	A.S. (m)	69	11.11.87.	26.0±3.1	6.0±0.8
16	1993	V.LJ. (ž)	62	09.05.89.	8.8±1.1	1.2±0.4
17	2074	Z.Z. (m)	63	15.11.88.	4.2±0.5	0.54±0.08
18	2076	Z.S. (ž)	44	15.11.88.	3.0±0.4	0.30±0.04
19	2075	J.B. (m)	75	15.11.88.	5.2±0.6	0.51±0.07
20	2077	N.J. (ž)	41	15.11.88.	2.0±0.2	0.20±0.03
21	2115	T.R. (m)	90	14.03.89.	6.0±0.7	0.41±0.06
22	2111	T.S. (ž)	66	14.03.89.	4.5±0.5	0.51±0.07
23	2112	K.S. (ž)	90	14.03.89.	3.5±0.4	0.24±0.03
24	2114	V.G. (m)	96	14.03.89.	4.6±0.6	0.39±0.06
25	2116	Z.P. (m)	63	14.03.89.	15.9±1.9	2.3±0.3
26	2113	Z.B. (ž)	63	14.03.89.	4.3±0.5	0.37±0.05
27	2147	G.S. (ž)	76	04.04.89.	4.8±0.6	0.12±0.03
28	2148	G.S. (m)	67	04.04.89.	4.7±0.6	0.39±0.05
29	2166	J.M. (m)	75	11.04.89.	3.7±0.4	0.14±0.02
30	2168	J.S. (ž)	57	11.04.89.	2.4±0.3	0.10±0.01
31	2167	B.M. (m)	86	11.04.89.	4.0±0.5	0.30±0.04
32	2169	M.R. (ž)	65	11.04.89.	2.4±0.3	0.20±0.03
33	2182	V.Z. (ž)	72	18.04.89.	4.2±0.5	0.33±0.05
34	2183	V.V. (m)	91	18.04.89.	6.3±0.8	0.39±0.06
35	2184	L.V. (ž)	48	18.04.89.	4.3±0.5	0.40±0.06
36	2185	L.S. (m)	58	18.04.89.	6.2±0.7	0.34±0.05

Iz ovih rezultata se primećuje da se dobijene vrednosti za ukupnu aktivnost radionuklida u čovečijem telu kao i za aktivnosti izotopa cezijuma u telu bitno razlikuju. Kako su merenja vršena tokom druge polovine 1987. i 1988. i u prvoj polovini 1989. godine to se i moglo očekivati. Maksimalne

konzentracije izotopa cezijuma u čovekovom telu trebalo bi očekivati godinu dana nakon akcidenta, a zatim bi ta koncentracija trebalo polako da opada. Ako se posmatraju vrednosti merenih grupa primećuje se da je najveća aktivnost izotopa cezijuma merena krajem 1987. godine. U kasnijim merenjima primećuje se znatno opadanje aktivnosti cezijuma. I u okviru grupe merene u istom danu primećuje se razlika što se može objasniti načinom ishrane pojedinaca. Primetno je da je ukupna aktivnost u telu bila maksimalna neposredno posle akcidenta, a zatim tokom vremena postepeno opadala. Za raliku od ukupne aktivnosti, aktivnost izotopa cezijuma u telu dostiže svoj maksimum u periodu od godine do godine ipo nakon akcidenta, a zatim počinje da opada što se i očekivalo uzimajući u obzir način njegovog unošenja u organizam (ilo-biljke-životinje-čovek).

REFERENCE:

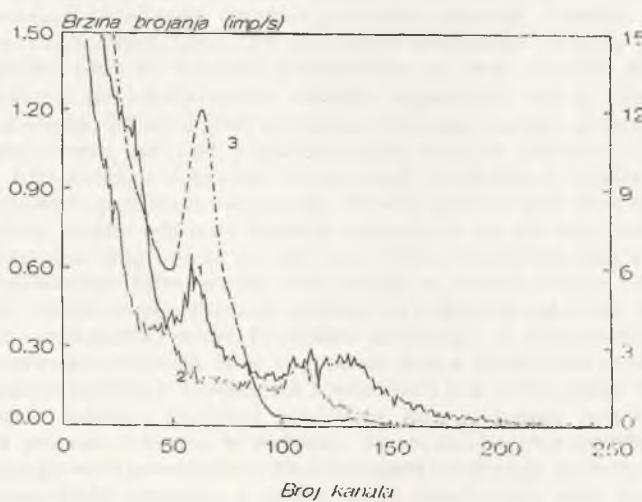
1. Bek-Uzarov Đ. i Đukić Z., Uredaj za merenje radioaktivnosti ljudskog tela u Institutu "Boris Kidrić", II Jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti, Mostar 1965.
2. Interna dokumentacija WBC, Institut za nuklearne nauke-Vinča, Beograd
3. Naversten Y., A two-crystal scanning bed counter for accurate determination of whole-body activity. Assement of radioactivity in man. Viena; 1964.
4. Kostić D. Određivanje stepena radijacione ozlede i procena rizika stanovnika Kragujevca merenjem ozračenosti jonizujućim zračenjima nakon Černobiljskog akcidenta 1986. godine. Magistarski rad. Prirodno-matematički fakultet u Kragujevcu 1993.

INTERNAL CONTAMINATION OF SOME FAMILIES AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT 1986

Đ. Bek-Uzarov, D. Kostić, D. Nikezić, D. Arsenijević, O. Čuknić

After the Chernobil 1986. accident random internal contamination of measurements Belgrade and Kragujevac population, using a Whole Body Counter (WBC) was performed. Some selected results, as a whole family member repetitive long time measurements, are in the paper presented.

The parents of the malformation children born in period after Chernobil accident are also measured.



Slika 1. Spektri osoba pre i posle akcidenta u Černobilu

BIOLOŠKA DOZIMETRIJA JONIZUJUĆIH ZRAČENJA DESET GODINA POSLE ČERNOBILJA

(predavanje po pozivu)

Gordana Joksić

Institut za nuklearne nauke "Vinča", p. fax 522, Centar za medicinsku zaštitu

SADRŽAJ: U radu je dat kratak prikaz razvoja radijacione citogenetike u svetu i kod nas u protekljoj deceniji. U černobiljskom akcidentu praktično su proverene sve prednosti i ograničenja hromozomske dozimetrije jonizujućih zračenja. Prvi put u istoriji radiobiologije, posebna pažnja je posvećena ispitivanju efekata malih doza zračenja (do 0.1 Gy), s obzirom da se taj problem ne odnosi više samo na mali deo populacije profesionalni izložene dejstvu zračenja, već je značajan i za milionski brojno stanovništvo koje živi na područjima geografski udaljenim od mesta gde je moguće da se desi akcident na NE. Ispitivanja su pokazala da i tako male doze jonizujućeg zračenja indukuju suptilne promene biofizičkih i biohemijskih karakteristika ćelije, njenog genoma, membrana i regulatornih sistema. Razvile su se nove metode molekularne citogenetike. Najveću primenu je našla metoda fluorescentne hibridizacije in situ koja je omogućila preciznu analizu stabilnih hromozomskih aberacija-posebno translokacija. Za razliku od dicentričnih hromozoma, čija učestalost opada u funkciji vremena u odnosu na momenat ozračivanja, učestalost translokacija u limfocitima ostaje nepromenjena. S obzirom da jonizujuće zračenje indukuje stvaranje dicentrika i translokacija u potpuno jednakom procentu, primenom ove metode može se izvršiti reanaliza ozračenosti, iako je od momenta ozračivanja proteklo dosta vremena. U ovom radu prikazani su i rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija kod ljudi koji su u vreme černobiljskog akcidenta boravili u Kijevu i Zlobinu, kao i rezultati trogodišnjeg ispitivanja hromozomskih aberacija kod stanovništva Srbije iz tri različita regiona u kojima je ustanovljena različita kontaminacija tla černobiljskim kontaminantima.

UVOD

Hromozomska dozimetrija: već više od trideset godina učestalost hromozomskih aberacija, naročito dicentrika, koristi se kao biolološki dozimetar za procenu apsorbovanih doza zračenja prilikom akcidentalnih ozračivanja izvorima jonizujućih zračenja. Tehnika je razvijena kao rutinska metoda u radiolečkoj zaštiti, jer predstavlja nezamenljiv dodatak metodama fizičke dozimetrije, naročito kada se fizičkom dozimetrijom ne može odrediti apsorbovana doza zračenja. U publikaciji 260 Medjunarodne Atomske Agencije[1], data je detaljna klasifikacija hromozomskih aberacija, laboratorijskih procedura dobijanja i analize metafaznih hromozoma, kao i matematička obrada dobijenih eksperimentalnih rezultata. Iskustvo u biodozimetrijskoj proceni više od 1000 slučajeva dokazanih ili suspektnih akcidentalnih ozračivanja širom sveta, pokazalo je prednosti i ograničenja ove metode. Procena apsorbovanih doza zračenja vrši se na osnovu kalibracionih in vitro odgovora humanih limfocita na poznate doze jonizujućih zračenja, pri čemu se procenjena doza odnosi na celo telo. Većina istraživača, koji su standardizovali dozno-zavisne kalibracione krive, uzorke krvi ozračili su akutno (brzina doze iznosi najviše nekoliko minuta). Hromozomske aberacije dobijene na ovaj način uglavnom slede kvadratni ili linearno-kvadratni matematički model. Produceno ozračivanje, ili frakcionisano, indukuje nižu učestalost hromozomskih aberacija, te se za procenu doze u slučajevima produženog izlaganja zračenju, preporučuje korišćenje korekcionih koeficijenata koji predstavljaju vremenski zavisnu funkciju i značajno redukuju kvadratni koeficijent, čime se postiže maksimalna preciznost biodozimetrijske procene. Iskustvo je pokazalo da su akcidentalna ozračivanja spoljašnjim izvorima zračenja uglavnom neuniformna. Neuniformnost ozračivanja može značajno da utiče na sigurnost biodozimetrijske procene, u smislu da se apsorbovana doza može podceniti ili preceniti. Kod neuniformnih ozračivanja, koja ipak obuhvataju značajan volumen tkiva, biće ozračen dovoljan broj limfocita čijom analizom se može odrediti učestalost i distribucija

hromozomskih aberacija. Statistička analiza, u takvim uslovima ozračivanja može vrlo precino da odredi stepen odstupanja u odnosu na Poasonovu raspodelu, što direktno korelira sa heterogenošću ekspozicije [2]. Do sada su razvijeni i brojni matematički modeli koji uzimaju u obzir korekcione faktore usled *in vivo* i *in vitro* selekcije ozračenih ćelija, što omogućava preciznu procenu i kod neuniformnih ozračivanja spoljašnjim izvorima zračenja. Procena može biti manje sigurna kada su u pitanju interne kontaminacije radionuklidima koji se lokalizuju u pojedine organe ili tkiva, usled čega je ozračivanje pojedinih organa neravnomerno, sa dodatnim komplikacijama vezanim za produženo ozračivanje. U ovakvim slučajevima određivanjem distribucije hromozomskih aberacija i stepena odstupanja u odnosu na Poasonovu raspodelu, može se odrediti ozračeni depo cirkulirajućih limfocita, ali je i pored toga teško interpretirati dobijene rezultate kao apsorbovanu dozu. U slučajevima internih kontaminacija kjučnu ulogu u određivanju prave vrednosti apsorbovane doze će imati odgovarajući metabolički modeli, koji bi tačno odredili metabolizam datog radionuklida. Izuzetak su hemijski oblici radionuklida koji se ravnomerno rasporeduju po organizmu (^{3}H i ^{137}CS), koji su gotovo idealni za biološku dozimetriju.

U poslednjih deset godina dogodilo se nekoliko akcidenata široj razmara: akcident u Černobilju 1986.god., Gioanii 1988 i Juarezu (SAD) 1990, no nijedan akcident nije ujedinio toliko istraživača širom sveta kao što je to uradio černobiljski. Akcident NE u Černobilju je nesumljivo akcident najvećih razmara, gde je 154 ljudi umrlo od akutne radijacione bolesti, a veliki deo stanovništva, naročito dece, primilo doze zračenja koje predstavljaju značajnu opasnost po zdravlje. U biološkoj dozimetriji prilikom akcidentalnih ozračivanja i određivanja stepena radijacione ozlede značajnu ulogu igra brzina procene doze. Analiza hromozomskih aberacija zahteva dosta vremena, čak i u slučaju da nekoliko citogenetičara istovremeno analizira preparate. Najviše vremena (48-72^h) oduzme gajenje limfocitnih kultura, ali je to uglavnom prihvatljivo sa kliničke tačke gledišta i uklapa se u tretman radijacione bolesti. Tih prvih dana najugroženiji su pacijenti kod kojih ne postoje nikakvi podaci fizičke dozimetrije, pa se ni približno ne zna šta se može očekivati. PCC tehnika ("premature chromosome condensation") može znatno redukovati vreme, jer se vrši fuzija mononuklearnih interfaznih ćelija sa ćelijama u mitozi [3]. Za sada ova tehnika se u rutinskoj dozimetriji ne koristi, jer zahteva izuzetno kompleksnu kalibraciju, a nije za sada postignuta interlaboratorijska reproducibilnost.

CB mikronukleusni test: veliki broj istraživača preporučuje citohalazin-B mikronukleus test kao alternativu u brojanju hromozomskih aberacija. Samo brojanje mikronukleusa je mnogo brže i lako se može automatizovati. Mikronukleusi nastaju kao posledica stvaranja acentričnih fragmenata, ali mogu nastati i od celih hromozoma koji nisu uspeli da se vežu za deobno vreteno prilikom deobe. Pored toga čitav niz hromatinidnih i hromozomskih aberacija može dati mikronukleuse [4]. Thomson i Perry [5] koristili su imunofluorescentna bojenja sa anticentromernim antitelima i zaključili da su mikronukleusi u humanim limfocitima, indukovani jonizujćim zračenjem, posledica acentričnih fragmenata. Najmanja doza zračenja koja se ovom tehnikom može detektovati iznosi 0.1-0.3 Gy, što zavisi od vrste zračenja. Gorna granica osetljivosti tehnike je 4 Gy, zbog toga što se na veoma visokim dozama stvara veliki broj mikronukleusa u citoplazmi, koji teže da se međusobno fuzionišu ili priključe glavnom jedru, usled čega ih na visokim dozama zračenja ima manje nego što bi se očekivalo. Iz tih razloga beta koeficijent dobijen matematičkom obradom eksperimentalnih rezultata je značajno niži nego za hromozomske aberacije. Niža vrednost linearног koeficijenta je nadena i kod alfa zračenja [6]. Praktična posledica sniženog koeficijenta u doznom odgovoru mikronukleusa je da se za adekvatnu dozu mora analizirati dvostruko više binuklearnih ćelija od uobičajenog. CB mikronukleusni test, na žalost, nije bio standardizovan u vreme černobiljskog akcidenta, tako da nije ispitana njegova praktična vrednost u masovnim akcidentima. Tek 1989.god. [7], date su prve procene o primeni MN testa: mikronukleusni test treba primeniti kod osoba kod kojih se hromozomskom dozimetrijom utvrđi da je ozračivanje nehomogeno, u svim slučajevima internih kontaminacija radionuklidima, ili kada se zapaze efekti zračenja visokog LET-a, te je potrebno izvršiti analizu na velikom broju ćelija. CB mikronuklusnim testom može se iz jednog uzorka analizirati više desetina hiljada limfoblasta, što doprinosi objektivnosti biodozimetrijske procene.

Fluorescentna in situ hibridizacija - FISH, kao tehnika molekularne citogenetike razvijena je 1988. god [8]. FISH je moćna tehnika u radiobiologiji bilo da kao DNK probu koristi ceo hromozom, ili ponovljene DNK sekvene. Metoda se zasniva na hibridizaciji DNK proba koje su obeležene fluorescentnim bojama in situ- na metafaznim hromozomima, ili interfaznim jedrima. Analizom fluorescentnih signala vrši se detekcija DNK sekvenci ili prati rearanžman celog hromozoma sa ostalim hromozomima u genomu. Svetleće centromere znatno pojednostavljaju identifikaciju aberacija, kao što su dicentri. Lukas je pokazao [9] da se dozni odgovor za dicentrične hromozome analizirane samo DNK probom za centromerni region hromozoma 1 i 1p telomernom probom izvanredno slaže sa standardnom kalibracijom za dicentrike. Do danas je razvijeno mnogo DNK proba, a metoda je dobila popularno ime "chromosomal painting" [8]. Ove metode su pokazale da se nakon ozračivanja formira porpuno jednak procenat dicentričnih hromozoma i translokacija. Kako učestalost dicentričnih hromozoma značajno opada u funkciji vremena, u odnosu na aktuelni moment ozračivanja, najveća prednost "chromosomal painting" metode sastoji se u tome da se može izvršiti vrlo precizna procena apsorbovane doze u slučajevima kad je od momenta ozračivanja proteklo dosta vremena (čak do deset godina). Ova metoda pruža izvanrednu mogućnost za analizu translokacija, gde je konvencionalna metoda nemoćna, a metoda G-traka oduzima mnogo vremena. Metoda je idealna za reanalizu ozračenosti u uslovima akcidentalne ekspozicije ali i za određivanje kumulativnog efekta zračenja u uslovima profesijske ekspozicije malim dozama zračenja, ili ekspozicije stanovništva kontaminantima nastalim usled černobiljske nesreće. FISH metoda u radiobiologiji omogućava da se detektuju i analiziraju aberacije koje se do sada nisu mogle videti, a to su rearanžmani na hromozomima interfaznih jedara mononuklearnih ćelija, nereciprocne izmene koje uključuju više od dva hromozoma i pretežno "pucanje" hromozoma na telomernim regionima -regionima mnogostruktih ponovaka DNK sekvenci, na vršnim delovima hromozoma.

Ostali biološki testovi : upravo 1986. godine, kada se dogodila černobiljska nesreća, Kaul (10), je napravio reviziju validnosti svih do sada ispitivanih bioloških parametara (biohemičkih i citoloških) u proceni radijacionih oštećenja. Posebna pažnja posvećena je analizi poremećaja na nivou aminokiselina i DNK metabolita u telesnim tečnostima, zatim promeni lecitina koji se vezuju za plazma membranu, redukovanoj blastnoj transformaciji limfocita (u blastnom odgovoru na stimulaciju lecitinima) i promeni u broju cirkulirajućih matičnih ćelija. Dokazano je da su svi ovi parametri gotovo neosetljivi ispod doza zračenja od 1 Gy, jer pokazuju veliku varijabilnost (kako individualnu, tako i u odnosu na spoljašnje faktore), a kod akutnih ozračivanja promene su prolazne. Od svih bioloških parametara citogenetska metoda je najpouzdanija i u mogućnosti je da precizno odredi doze iznad 0.04 Gy za zračenje niskog LET-a. Sto se efekata malih doza ionizujućeg zračenja tiče, autoriteti radijacione citogenetike širom sveta smatraju da će od posebnog značaja biti detekcija mutacija za glukoforin A lokus koji se nalazi na humanom hromozomu br. 4 [11]. Preliminarni rezultati pokazuju da je 50% populacije heterozigotno za taj lokus. Izlaganje zračenju od 0.1-0.3 Gy moralo bi da dovede do smanjenja procenta heterozigotnosti. Metoda se može primeniti kod više stotina ozračenih lica koja nisu bila u riziku za rana radijaciona oštećenja, ali su primilli dozu zračenja ispod ili oko 0.5 Gy, pri čemu bi se učestalost genskih mutacija mogla upoređivati sa stepenom oboljevanja od malignih bolesti.

Nakon černobilske nesreće, problem uticaja malih doza zračenja (2-4 puta većih od vrednosti prirodnog fona), postao je predmet interesovanja istraživača širom sveta, jer je zaista postalo jasno da se taj problem ne odnosi više samo na mali deo populacije zaposlenih na nuklearnim atomskim centralama, već je značajan i za milionski brojno stanovništvo koje živi u gradovima su hiljade kilometara udaljenim od mesta gde je moguće da se desi nuklearna katastrofa. U radiobiološkim ispitivanjima pre černobiljske nesreće, prikupljena je ogromna količina informacija o visokim dozama ionizujućeg zračenja i efektima tih doza na različite biološke makromolekule, ćelije i organizme. Bez obzira na obilje tih informacija za sada ne postoji ni jedana opšte prihvaćena teorija o uticaju doza zračenja koje su 2-4 puta povišene u osnovu na vrednosti prirodnog fona. Uticaj tako malih doza zračenja obično se interpretira tako što su se koristili matematički modeli dobijeni ispitivanjem bioloških efekata na srednjim i visokim dozama zračenja, pri čemu se vrši ekstrapolacija za male doze zračenja. Ovakav način

interpretacije je jedino pribvaljiv sa aspekta zaštite od zračenja profesijski izloženih lica. Što se ekspozicije stanovništva tiče ekstrapolacije takvog tipa su neprihvatljive. Černobiljska nesreća pokrenula je ispitivanje uticaja malih doza zračenja na različite biološke sisteme i organizme različite evolutivne leštvice. Prvi rezultati dali su iznenadjujuće rezultate, s obzirom da se na osnovu pomenutih ekstrapolacija nisu očekivali nikakvi efekti. Nedvosmisleno je dokazano da male doze zračenja indukuju različite odgovore: biosizičke i biohemijske karakteristike ćelije, genoma, membrana i regulatornih sistema, mogu biti poremećene. Senzitivnost bioloških makromolekula, ćelija i organizama na dejstva drugih faktora životne sredine, može takođe biti promenjena. Zapaženo je sinergetsko dejstvo različitih agenasa životne sredine koji, svojim delovanjem izazivaju potpuno različita oštećenja bioloških makromolekula istovremeno, tako da je u mnogim slučajevima radiobiološki efekat bio supralinearan - iznad očekivanja predviđenih matematičkim modelima. Rezultati svih do sada obavljenih ispitivanja pokazali su da dosadašnja saznanja o mehanizmima radiobioloških procesa nisu dovoljna da objasne sve ispoljene biološke efekte. Nove tehnike u radiobiologiji, radiacionoj citogenetici i molekularnoj biologiji, razvijene poslednjih nekoliko godina, sigurno će doprineti razjašnjavanju nesumljivo dokazanih odgovora na malim dozama ionizujućeg zračenja.

Molekularni mehanizmi koji se u ćeliji aktiviraju delovanjem ionizujućeg zračenja: u ispitivanju ponašanja ozračenih ćelija vrlo rano je zapažen poremećaj dužine trajanja G₂ faze, (ćelije su u G₂ fazi bile zadržane 10-20 h pre što polusinhronizovano počnu da ulaze u fazu mitoze). Zapažena su kratka kašnjenja i u drugim fazama ćelijskog ciklusa, (pri prelasku iz G₁ u S fazu). Proces DNK sinteze takođe može biti usporen. Zračenjem induovan blok G₁ faze sada se naziva regulatornom tačkom ćelijskog ciklusa. Zaustavljanje ćelijskog ciklusa u G₁ fazi povezano sa ekspresijom p53 tumor-supresor gena. Protein dobijen transkripcijom p53 gena je regulator translacije čitavog niza gena (Gadd 45, mdm-2, WAF/CIP1). Smatra se da je ekspresija WAF1 gena odgovorna za kašnjenje G₁ faze. U ovoj fazi vrši se selekcija ozračenih ćelija, aktiviraju se mehanizmi apoptoze i zračenjem teško oštećene ćelije uništavaju. Na taj način značajna frakcija ćelija se eliminiše iz već proliferirajuće mase, usled čega je reproduktivni potencijal redukovani ili izmenjen. Dokazano je da p53 dovodi i do ekspresije gena za ataksiju-telangiaktaziju (AT) gena koji je povezan sa pojmom ekstremne radioosetljivosti. Procenjeno je da je 3-11% zdrave normalne ljudske populacije heterozigotno za AT genski lokus, usled čega se mogu nastati potpuno neočekivane reakcije i na male doze ionizujućeg zračenja. Neočekivano velika učestalost karcinoma kod stanovništva Hirošime i Nagasakija, koji su preživeli atomsku eksploziju, upravo se objašnjava visokim procentom heterozigotnosti ne samo za AT genski lokus, već i za 21 gen čije prisustvo u genomu predstavlja predispoziciju za oboljevanje od karcinoma. Molekularni mehanizmi koji se aktiviraju malim dozama ionizujućeg zračenja su raznovrsni. Dokazani su i na humanim limfocitima kao ćelijskom modelu. Ukupni odgovor limfocita na male doze ionizujućeg zračenja vrlo se često naziva adaptivni odgovor ili radiaciona hormeza. Humanii limfociti pretretirani malim dozama zračenja postaju nešto rezistentniji ukoliko se kasnije ozrače dozom zračenja 2 Gy - referentna, najčešće korišćena doza u ispitivanju radiacionog odgovora mnogih ćelijskih sistema. Međutim ne treba zaboraviti da je taj adaptivni odgovor prolaznog karakera, traje najduže 90 minuta, posledica je aktiviranja reparativnih mehanizama koji vrše popravku oštećenja na DNK. John Little [12], je dokazao da na ovim dozama zračenja, u normalnim ćelijama, uz aktiviranje svih raspoloživih reparativnih mehanizama, postoji realna verovatnoća (1×10^{-3}) da u genomu izložene ćelije nastane tačkasta mutacija. Ispitivanjem mutanataza HPRT lokus (hypoxanthin-guanin fosforibozil transferaza), ista ekipa istraživača je dokazala da tačkaste mutacije nastaju kao zakasnela posledica delovanja zračenja, nakon višestrukih deoba delovanjem "mismatch" repera. Iz tih razloga adaptivni odgovor na male doze ionizujućeg zračenja nikako se ne može smatrati radiacionom hormezom.

REZULTATI

Ispitivanja hromozomskih aberacija kod akcidentalno ozračenih lica černobiljskim kontaminantima: biološka procena doze analizom hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi zavisi od vrste radionuklida unetih u organizam. Većina radionuklida se nehomogeno rasporedjuje u organizmu i uglavnom deponuje u specifične organe ili tkiva.

Černobiljski "Tollaut" činili su upravo takvi radionuklidi (nalazili su se različitoj fizičko-hemijskoj formi, varirali u veličini, nanelektrisanju i gustini zračenja koju su u stanju da proizvedu). Vrsta i karakteristike radionuklida utiču na pokretljivost, biološku prijemčivost i apsorpciju. Iz tih razloga kod svih analiziranih slučajeva rezultat analize hromozomskih aberacija nije se mogao izraziti u vidu apsorbovanog doze, već se rezultat kvalitativno izražava kao povećana učestalost hromozomskih aberacija u odnosu na kontrolnu vrednost (kao kontrolu koristili smo učestalost hromozomskih aberacija u zdravoj normalnoj populaciji pre černobiljske nesreće, koja je iznosila 0.001 hromozomski prekid po ćeliji).

U prvoj polovini maja 1986. godine hromozomske aberacije su analizirane u dve grupe ispitanika. I grupu činilo je 16 radnika koji su se u vreme havarije nalazili na radu u Zlobinu. U toj grupi rezultati analize hromozomskih aberacija kreću se u granicama hormanalnih vrednosti. II grupu činilo je 15 studenata koji su kao turisti boravili u Kijevu. Kod njih je učestalost hromozomskih aberacija bila povećana u više od polovine ispitanika. Ukupno je analizirano 3025 ćelija, nadjeno je 2 dicentrična hromozoma, 4 prstenasta, 1 translokacija, 7 acentričnih fragmenata i 7 hromozomskih prekida, što daje učestalost od 0.009 hromozomskih prekida po ćeliji. Izrazitu nehomogenost ozračivanja pokazala je kontrolna analiza hromozomskih aberacija 6 meseci kasnije: na 1200 analiziranih ćelija nadeno je 4 dicentrična hromozoma, 6 translokacija, 3 pericentrične inverzije, 9 acentričnih fragmenata i 5 hromozomskih prekida, što daje učestalost od 0.034 hromozomskih prekida po ćeliji - gotovo 4 puta više u odnosu na prvi pregled. Ova preliminarna ispitivanja su pokazala da posledice černobilske nesreće neće biti zanemarljive.

Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija kod stanovništva Srbije: godinu dana kasnije, pri Medicinskom fakultetu, Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović", pokrenuo je ispitivanje efekata radioaktivne kontaminacije na zdravlje stanovništva Srbije, pod popularnim nazivom "Tri regiona". Rukovodilac istraživanja bio je Prof dr Dušan Panov. Na osnovu merenja radioaktivne kontaminacije teritorije Srbije odabrana su tri regionalne različitog stepena kontaminacije: Užički region kao područje sa najvećom kontaminacijom tla, zatim Niški region sa srednjom i Beogradski region sa najmanjom kontaminacijom tla. Ispitivanja su počela 1987. godine i trajala do 1989. god. Za ispitivanje hromozomskih aberacija uzimani su uzorci krvi zdravog stanovništva, koje profesijski nije izloženo dejstvu poznatih mutagenih agenasa, dobne starosti 30-40 godina. U prvoj godini ispitivanja u Užičkom regionu, nadjeno je 0.67% aberantnih ćelija, (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.005). Sledеće godine nadjeno je 0.24% aberantnih ćelija (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.002). 1989 godine, procenat aberantnih ćelija je 0.1%, (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.001). Poslednje godine ispitivanja nadjena je samo jedna aberantna ćelija sa multipnim hromozomskim aberacijama - "rouge lymphocytes". U Niškom regionu, prve godine ispitivanja, nadjeno je 0.34% aberantnih ćelija, (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.003). Naredne godine, nadjeno je 0.16% aberantnih ćelija, (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.002). 1989 i 1990. godine nadjeno je 0.05% aberantnih ćelija, (učestalost hromozomskih prekida po ćeliji iznosila je 0.001). Gotovo identični rezultati dobijeni su i u Beogradskom regionu. Ispitivanja su pokazala nagli porast hromozomskih aberacija kod stanovništva sva tri ispitivana regiona, naročito Užičkog regiona, (gde je trećina ispitovanog stanovništva imala hromozomske aberacije), u odnosu na podatke pre černobiljske nesreće. Interesantno je napomenuti da su se u tom periodu kod mnogih lica profesijski izloženih dejstvu ionizujućeg zračenja mogli zapaziti "rogue" limfociti, čije prisustvo nismo zapažali pre černobiljske nesreće. Iako najnovija eksperimentalna ispitivanja pružaju brojne dokaze da su ovakve promene u limfocitima virusne prirode, zanimljiv je visok procenat ovakvih limfocita baš u vreme kada su biološki efekti delovanja černobiljskih radionuklida najizraženiji. S obzirom da je eksperimentalna radiobiologija postigla progres u ispitivanju uticaja malih doza ionizujućeg zračenja, primena metoda za reanalizu ozračenosti stanovništva svakako bi dala dragocene rezultate. Metode fluorescentne in situ hibridizacije upravo se uvode u našem Institutu, što pruža nove mogućnosti za analizu efekata černobiljske nesreće.

LITERATURA

- [1.] IAEA. Biological dosimetry: Chromosomal aberration analysis for dose assessment. Technical Report No 260, International Atomic Agency Vienna, 1986.

- [2.] Dolphin GW. Biological dosimetry with particular reference to chromosome aberration analysis. A review of methods. In: Handling of radiation accidents. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp 215-224, 1969.
- [3.] Pantelias GE, Maille HD. The use of peripheral blood mononuclear cell prematurely condensed chromosomes for biological dosimetry. Radiat Res 99:140-150, 1984.
- [4.] Savage JRK. A comment on the quantitative relationship between micronuclei and chromosomal aberrations. Mutation Res 207:33-36, 1988.
- [5.] Thomson EJ, Perry PE. The identification of micronucleated chromosomes: a possible assay for aneuploidy. Mutagenesis 3:415-418, 1988.
- [6.] Bilbao A, Prosser JS, Edwards AA, Moody JC, Lloyd DC. The induction of micronuclei in human lymphocytes by in vitro irradiation with alpha particles from plutonium-239. Int J radiat Biol 56:287-292, 1989.
- [7.] Prosser JS, Lloyd DC, Edwards AA. A comparison of chromosomal and micronuclei methods for radiation accident dosimetry. In: Proc 4th Int Symp SRP 4-9 June 1989, Malvern, pp. 133-136, 1989.
- [8.] Pinkel D, Landegent J, Edwards AA. Fluorescence in situ hybridization with human chromosome-specific libraries: detection of trisomy 21 and translocation of chromosome 4. Proc Natl Acad Sci USA 85:9138-9142, 1988.
- [9.] Lucas JN, Tenjin T, Straume T, Pinkel D, Moore D, Litt M, Gray JW. Rapid human chromosome aberration analysis using fluorescence in situ hybridization. Int J Radiat Biol 56: 35-44, 1989.
- [10.] Kaul A, Dehos A, Bogl W et al (eds). Biological indicators for radiation dose assessment. MMV Medizin, München, 1986.
- [11.] Lanlois RG, Bigbee WL, Kyoizumi S, Nakamura N, Bean MA, Akiyama M, Jensen RH. Evidence for increased somatic cell mutations at glycophorin A locus in atomic bomb survivors, Science, 236: 445-448, 1987.
- [12.] Little JB, Changing Views of Cellular Radiosensitivity. Radiat Res 140:299-311, 1994.

BIOLOGICAL DOSIMETRY TEN YEARS AFTER CHERNOBYLS ACCIDENT Gordana Joksić

Abstract - The development of radiation biology methods, during ten years period after Chernobyl catastrophe has became a focus of attention for scientists all over the world. The issue of the influence of low density radiation on living mater become practical as well as scientific interest. The problem is of vital interest not only for workers in atomic plants, or nearby residents, but for milions of people who are thousands of kilometers away from the sites of possible nuclear accident. Radiobiologists have gained a wealth knowledge on the influence of high doses of ionizing radiation on biomolecules, cells and organisms. It was habitual to use models only and predict the effects of low doses by extrapolation from the data on high doses. But even the first experiments on the influence of low dose irradiation on biological systems have shown significant and diversified responses of biosystems, in those dose ranges where any effects were not expected. It has been shown that biochemical and biophysical properties of cells, genome, membranes and regulatory systems may be altered. But, known radiobiological relations and accumulated informations are not sufficient to explain the effects. The results of chromosomal aberration analysis of Serbia residents are presented as well. Chernobyl fallout caused unhomogenous contamination of the Serbian territory. The highest territory contamination was found to be in Užice region, middle in Niš, and the lowest in Belgrade. Healthy individuals from these regions were undergone chromosome aberration analysis during 1987-1989. years. The results of our examination showed increased frequency of structural chromosomal aberrations (dicentrics, rings, translocations) almost in 30% of individuals in Užice region, especially in the 1987 year. The incidence of aberrations declined and reach usual background level of 0.001 chromosomal breakage per cell in 1989. year. New approach should be suggested for reanalyzes the radiation damages of human genetic material due to Chernobyl fallout. It seemed that fluorescence in situ hybridization, especially whole chromosomal painting are promising methods which should be applied in reanalyzes of radiation damage due to ionizing radiation.

Радиоактивност у Србији после акцидента у Чернобилу

Гордана Пантелић, Радмила Брновић, Ирена Петровић, Јиљана Мијатовић

Клинички центар Србије, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту
"Др Драгомир Каражовић", Београд

САДРЖАЈ

Приказани су резултати мерења активности ^{137}Cs и ^{90}Sr у земљишту, води за јеће и људској храни након акцидента у Чернобилу, измерени кроз мониторинг програм на територији Републике Србије. Резултати мерења показују да су у првим годинама након акцидента биле повећане активности ^{137}Cs и ^{90}Sr у свим узорцима у животној средини. Ова активност се шоком десетогодишњег периода смањивала, тако да је ефективна доза коју су становници Републике Србије примили од ^{137}Cs укупном исхране и воде за јеће опадала од 0.66 mSv (1986. год.) до 0.0005 mSv (1994. год.). Такође је ефективна доза од ^{90}Sr осталла од 0.02 mSv (1986. год.) до 0.0003 mSv (1994. год.).

1. УВОД

Радиоактивност је свуда присутна у животној средини. Природни радиоактивни нуклиди и радионуклиди које је човек избацио у природу доприносе озрачивању становништва. Неки од тих елемената се кроз ланац исхране преносе у људски организам.

Мониторинг радиоактивности у животној средини обухвата систем вертикалне анализе: ваздух - падавине - земљиште - воде - биљке - животиње - човек. Систематско испитивање ових узорака врши се на одређеним местима на територији Републике Србије (Слика 1) и у одређеним временским интервалима (свакодневно, десетодневно, месечно, тромесечно, полугодишње) по методама које су одређене прописима [1,2].

Узорци земљишта (необрадиво у слојевима 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm и обрадиво у слојевима 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) се сакупљају два пута годишње (пролеће и јесен). Прикупљање узорака се врши у Београду, Новом Саду, Суботици, Ужицу (Златибору), Нишу и Зајечару.

Узорци пијаће воде се контролишу сваког месеца у композитном узорку од 30 l (свакодневно се узима 1 l воде), у Београду, Нишу, Краљеву, Крагујевцу, Суботици и Новом Саду. У осталим местима (20-30 места са територије Републике Србије) вода за пиће се узима једанпут годишње.

Испитивање контаминације радиоактивним материјама људске хране врши се у намирницама које су карактеристичне за исхрану становништва. Сакупљање ових узорака врши се два пута годишње (пролеће и јесен). Узорци млека се контролишу сваког месеца у композитном узорку од 10 l (свакодневно се узима 0.3 l млека), у Београду, Нишу, Зајечару и Новом Саду. У истим местима се прикупљају узорци људске хране, као и у Суботици и Ужицу. У наведеним узорцима је одређивана активност дугоживећих радионуклида вештачког порекла, ^{137}Cs и ^{90}Sr , који због дугог времена полураспада и своје радиотоксичности имају посебан значај у прехранбеном циклусу са радијационохигијенском становништва.

Активност ^{137}Cs је одређивана гамаспектрометријски. Ова метода омогућава квалитативно и квантитативно одређивање присуства радионуклида у различитим узорцима. Предност ове методе над другима је у томе што се узорци могу мерити после минималне припреме, која се састоји само у њиховој хомогенизацији. За мерење је коришћен чисти германијумски детектор ефикасности 25 % и резолуције 1.85 keV (на 1.332 MeV).

Активност ^{90}Sr је одређивана, после радиохемијског издвајања, на $\alpha\beta$ пропорционалном бројачу Countmaster ефикасности 24 % фирме "ORTEC".



Слика 1: Сакупљачка места у Републици Србији

2. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

У овом раду су приказани резултати мерења активности ^{137}Cs и ^{90}Sr у земљишту, води за пиће и људској храни у периоду после акцидента у Чернобилу од 1986. до 1994. године [3]. Резултати мерења у ваздуху и падавинама приказани су у раду [4].

Средње вредности активности ^{137}Cs и ^{90}Sr рачунате су за сва места по врсти узорака и дубинама. Ови резултати су приказани у табелама 1 и 2. Резултати мерења показују да је у првим годинама након акцидента била повећана активност ^{137}Cs у горњим слојевима земљишта (0-5 cm), да би у каснијим годинама ова активност прелазила и у дубље слојеве необрадивог земљишта. У обрадивом земљишту активност ^{137}Cs је равномерно распоређена по свим дубинама. Процењена грешка за припрему узорака и сва мерења износи 20%, па стога не изненађују статистичка одступања у табелама.

Табела 1: Активност¹³⁷Cs у земљишту у Републици Србији (средње вредности)
(Bq/kg)

Година	Необрадиво			Обрадиво		
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
1987.	52.2	19.8	13.7	16.3	10.9	19.0
1988.	74.9	28.1	16.4	17.5	14.7	17.1
1989.	30.8	33.8	21.6	15.4	16.5	53.9
1990.	45.7	48.5	25.6	16.9	17.7	16.9
1991.	35.9	37.1	59.7	37.0	12.8	33.3
1992.	35.6	31.9	19.9	16.8	18.6	22.5
1993.	34.1	50.0	14.5	12.2	33.4	15.2
1994.	18.9	23.4	25.1	15.0	16.1	15.3

Табела 2: Активност⁹⁰Sr у земљишту у Републици Србији (средње вредности)
(Bq/kg)

Година	Необрадиво			Обрадиво		
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
1986.	5.1	3.0	2.1	-	-	-
1987.	2.0	2.0	1.0	1.4	1.1	0.8
1988.	3.8	2.3	2.3	0.8	0.8	1.0
1989.	5.6	1.3	3.4	3.0	3.0	1.7
1990.	1.7	1.9	1.0	1.5	1.4	1.6
1991.	2.0	1.3	1.4	1.9	1.5	1.0
1992.	2.2	2.1	2.0	1.8	1.5	1.7
1993.	0.7	1.1	1.0	0.7	1.0	0.4
1994.	0.6	0.5	0.5	0.5	1.2	1.0

Резултати мерења активности¹³⁷Cs у узорцима воде за пиће и људске хране дати су у табели 3, а у табели 4 приказани су резултати мерења активности⁹⁰Sr. На основу ових резултата мерења и података о југословенској структури исхране [5], израчуната је ефективна доза (на основу модела приказаног у [6]) коју су одрасли становници Републике Србије примили ингестијом у периоду 1986.-1994. година (график 1).

Табела 3: Активност¹³⁷Cs у људској храни и води за пиће у Републици Србији
(средње вредности)

Година	Поврће (Bq/kg)	Воће (Bq/kg)	Месо (Bq/kg)	Житар. (Bq/kg)	Млечни произв. (Bq/kg)	Млеко (Bq/l)	Вода за пиће (Bq/l)
1986	75.90	53.80	92.23	244.30	36.36	16.65	0.054
1987	37.65	9.43	92.45	37.96	7.58	16.67	0.019
1988	0.47	1.89	6.63	2.05	8.30	2.35	0.018
1989	0.43	1.87	-	1.20	8.44	6.05	0.016
1990	0.64	0.69	2.27	0.52	3.43	1.47	0.015
1991	0.23	1.19	0.09	0.03	0.34	0.45	0.009
1992	0.33	0.49	0.81	0.07	0.16	0.40	0.002
1993	0.20	0.54	0.23	0.13	-	0.13	< 0.001
1994	0.21	0.08	0.12	0.04	0.28	0.12	< 0.001

Табела 4: Активност ^{90}Sr у људској храни и води за пиће у Републици Србији
(средње вредности)

Година	Поврће (Bq/kg)	Воће (Bq/kg)	Месо (Bq/kg)	Житар. (Bq/kg)	Млечни произв. (Bq/kg)	Млеко (Bq/l)	Вода за пиће (Bq/l)
1986	3.24	0.92	1.16	0.47	6.44	1.72	0.072
1987	0.63	0.31	0.26	0.77	0.65	0.16	0.029
1988	0.39	0.15	0.20	0.31	0.27	0.09	0.014
1989	0.40	0.18	-	0.58	1.09	0.13	0.029
1990	0.38	0.34	-	0.27	2.32	0.07	0.017
1991	0.33	0.37	0.20	0.12	0.20	0.13	0.021
1992	0.34	0.20	0.04	0.36	0.17	0.11	0.023
1993	0.34	0.09	0.04	0.15	0.10	0.06	0.009
1994	0.06	0.04	0.05	0.11	0.09	0.01	0.011

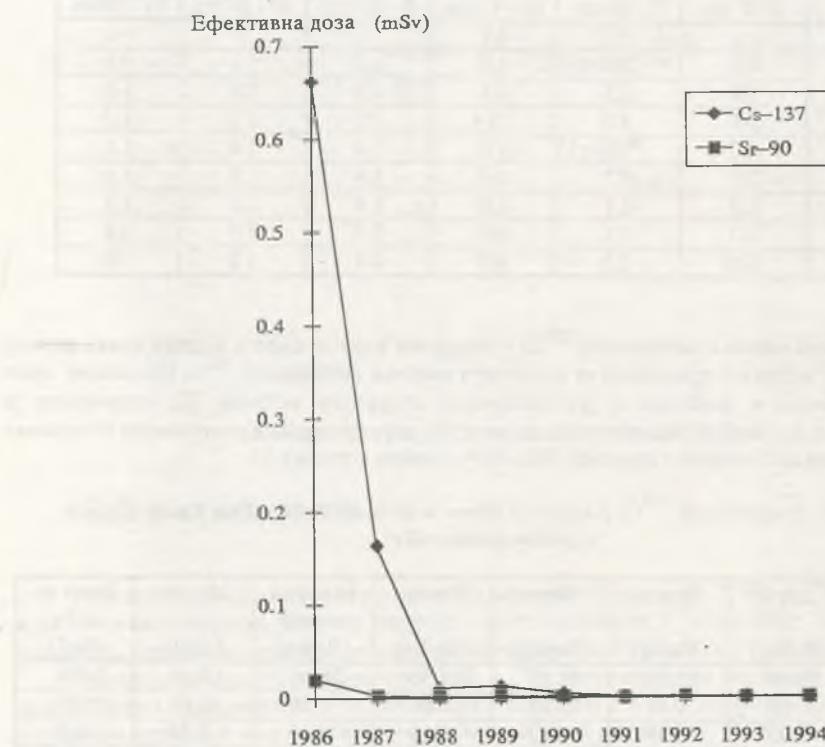


График 1: Ефективна доза која дојиче од уноса ^{137}Cs и ^{90}Sr ингесијом
(храна и вода за пиће) за становништво у Републици Србији

3. ЗАКЉУЧАК

Чернобилски акцидент је најозбиљнији акцидент у историји нуклеарне енергије. Реактор је уништен, а велика количина радионуклида избачена у околину. Део те активности је путем падавина доспео и на територију Републике Србије. Активност приспелих радионуклида праћена је мониторинг програмом вертикалне анализе узорака из животне средине. У наведеним узорцима је одређивана активност дугоживећих радионуклида, ^{137}Cs и ^{90}Sr , који претстављају посебну опасност за человека.

Резултати мерења показују да је у првим годинама након акцидента била повећана активност ^{137}Cs у горњим слојевима земљишта (0-5 cm), води за пиће и људској храни. Ова активност се током десетогодишњег периода смањивала, тако да је ефективна доза коју су становници Републике Србије примили од ^{137}Cs путем исхране и воде за пиће опадала од 0.66 mSv (1986. год.) до 0.0005 mSv (1994. год.). Такође је ефективна доза од ^{90}Sr опала од 0.02 mSv (1986. год.) до 0.0003 mSv (1994. год.).

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] "Правилник о местима и временским интервалима систематског испитивања садржаја радионуклида у животној средини, раном откривању и обавештавању радиоактивне контаминације", Службени лист СФРЈ, бр.84, 1991
- [2] "Правилник о местима, методама и роковима испитивања контаминације радиоактивним материјама ваздуха, земљишта, река, језера и мора, чврстих и течних падавина, воде за пиће, људске и сточне хране", Службени лист СФРЈ, бр.40, 1986
- [3] "Радиоактивност у животној средини у Републици Србији", 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994
- [4] И. Петровић, Р. Брновић, Ј. Мијатовић, М. Вукотић, Г. Пантелић: "Радиоактивност у ваздуху и падавинама у Србији", Саветовање "Чернобил 10 година попсле", Будва, 1996
- [5] Статистички годишњак Југославије, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993
- [6] "Radionuclides in the Food chain", M.W. Carter editor-in-chief, Springer-Verlag, 1988

Radioactivity in the Republic of Serbia after the Chernobyl accident

Gordana Pantelić, Radmila Brnović, Irena Petrović, Ljiljana Mijatović

Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"

The main pathways of radionuclides in the human body are inhalation and ingestion through food and drinking water. This paper provides the data of activity for two important radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soil, food and drinking water and effective doses due to food and drinking water consumption. The effective dose due to ^{137}Cs and ^{90}Sr activity were decreasing during 1986 to 1994, for the population in the Republic of Serbia.

Радиоактивност у ваздуху и падавинама у Србији за период 1984-1994 год.

Иrena Петровић, Р.Брновић, Ј. Мијатовић, М. Вукошић, Г. Пантелић

Клинички Центар Србије, Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир
Карајовић", Делиградска 29, Београд

РЕЗИМЕ

У раду је приказана радиоактивност ваздуха и падавина у Србији за период 1984-1994. Мерена је укупна бета активност ваздуха и падавина као и активност ^{137}Cs и ^{90}Sr у падавинама у мерним местима у Републици Србији предвиђеним законском регулативом.

УВОД

Повећана активност ваздуха и дневних падавина су индикатори за нуклеарни ацидент или нуклеарну експлозију. Наш институт већ преко 30 година врши систематско испитивање и контролу радиоактивности у животној средини (мониторинг) у СР Југославији по законским прописима који одређују мерна места, временске рокове и начин узимања узорака⁽¹⁾.

Приликом нуклеарне експлозије у Чернобиљу 26.04.1986. дошло је до емитовања у атмосферу следећих радионуклида: ^{137}Cs ($t_{1/2}=30$ а.), ^{134}Cs ($t_{1/2}=2$ а.), ^{90}Sr ($t_{1/2}=29$ а.), ^{238}Pu ($t_{1/2}=88$ а.), ^{239}Pu ($t_{1/2}=2.4 \cdot 10^4$ а.), ^{240}Pu ($t_{1/2}=6537$ а.), ^{241}Pu ($t_{1/2}=14.4$ а.), ^{141}Ce ($t_{1/2}=284$ д.), ^{106}Ru ($t_{1/2}=368$ д.), ^{131}I , ^{133}I , ^{132}I , ^{135}I , ($t_{1/2}=\text{највише } 8$ д.), ^{140}La ($t_{1/2}=40$ х.), ^{239}Np ($t_{1/2}=2$ д.), ^{140}Ba ($t_{1/2}=13$ д.), ^{99}Mo ($t_{1/2}=66$ х.), ^{89}Sr ($t_{1/2}=50$ д.), и око 20 радионуклида са много краћим временом полурастпада⁽³⁾. Према подацима UNSCEAR-а (1988), радиоактивни облак је захватио СФР Југославију у два таласа и то 29.04. северозападни део, и 01.05. 1986. средишњи и источни део.

Највеће контаминације у Републици Србији су забележене на: Златибору, Овчар Бањи и Ужишкој Пожеги.

МЕТОД РАДА

Узорци падавина се свакодневно скупљају у Београду и Нишу, док се збирни месечни узорци падавина (fall-out) скупљају поред ова два места у: Зајечару, Крагујевцу, Златибору, Палићу и Новом Саду,(у 1986. и у Приштини и Призрену) у суду површине 0.1 m² на 1 m од површине тла. После припреме у узорку се врше следећа испитивања: гамаспектрометријска анализа, одређивање укупне бета активности и одређивање активности ⁹⁰Sr (дугоживећег радионуклида, чистог бета емитера) радиохемијском методом. Активност месечних падавина даје податке о укупном депоу радионуклида достаплих преко течних и цврстих падавина на земљину површину у току једног месеца.

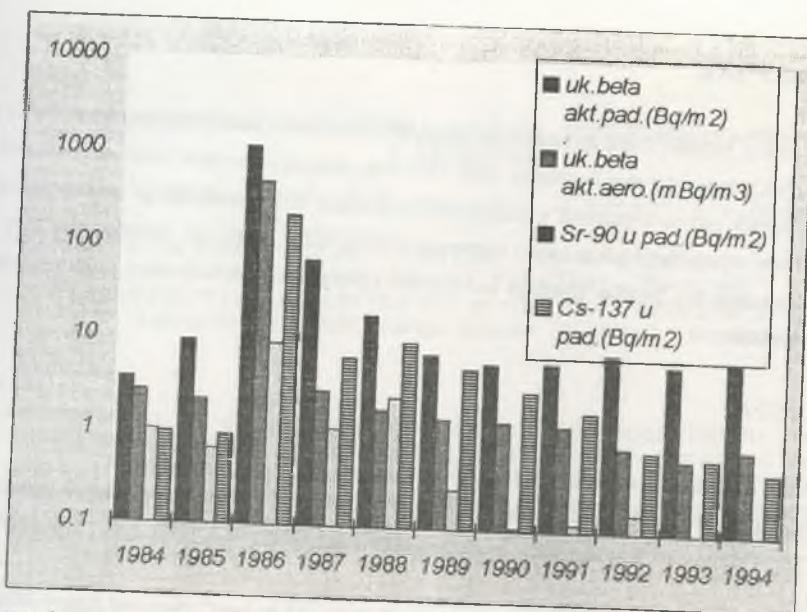
Узорци аеросола се свакодневно скупљају у: Београду, Нишу, Зајечару и Палићу, помоћу специјалних пумпи за просисавање ваздуха кроз филтер папир (300 m³ на дан). Најпре се одређује укупна бета активност у узорцима, а затим гамаспектрометријска анализа композитних месечних узорака(до 1988 радиохемијско издавање ¹³⁷Cs).

Гама спектрометријска анализа се врши на HP-Ge детектору фирмe "ORTEC", ефикасности 25%. Бета активност узорака одређује се на α-β антикоинцидентном бројачу "COUNTMASTER", фирмe "ORTEC" ефикасности 24%.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Због веома великог броја података⁽²⁾, приказали смо на слици 1. и у табели 1.,само средње годишње вредности радиоактивности падавина и аеросола за Републику Србију за период 1984-1994. г. падавина у наведеном периоду.

Из приказаних резултата уочава се веома висок пораст радиоактивности падавина и ваздуха у 1986.год., што је последица нуклеарног акцидента у Чернобиљу 26.04.1986. Међутим, већ наредне године долази до наглог опадања радиоактивности због веома кратког времена полураспада радионуклида ослобођених приликом акцидента⁽³⁾. Радионуклиди који су присутни у дугом временском периоду од нуклеарног акцидента су ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr (време полураспада око 30 а.).Ови, као и други радионуклиди који су приликом акцидента достапли у атмосферу се углавном депонују на земљу путем падавина. Преостала активност ваздуха потиче од стратосферског садржаја радионуклида који се неуједначено депонује на земљу у периоду до 7 година након акцидента. Уочава се континуални пад активности ваздуха и падавина на територији Републике Србије у последњим годинама испитивања, чак и у односу на пред-Чернобиљски период, што је била последица учешћа великог броја нуклеарних проба у периоду 1960-1962 године.



Слика 1.: Радиоактивност ваздуха и падавина у Србији (1984-1994.г.)

Табела 1.: Средње годишње активности падвина и аеросола у Србији (1984-1994.)

година	Укуп. бета актив.падавина (Bq/m^2)	Укуп. бета акт.аеросола (mBq/m^3)	^{90}Sr у падвина (Bq/m^2)	^{137}Cs у падвина (Bq/m^2)
1984	3.6	2.6	0.99	0.96
1985	9.2	2.1	0.64	0.91
1986	1078	468	8.59	202
1987	67.9	2.7	1.09	6.4
1988	18.1	1.8	2.41	9.4
1989	7.1	1.5	0.26	5.1
1990	6.0	1.4	0.11	3.0
1991	6.1	1.3	0.12	1.9
1992	7.8	0.8	0.16	0.73
1993	6.2	0.6	0.10	0.63
1994	7.0	0.8	0.09	0.47

ЗАКЉУЧАК

Резултати укупне бета активности ваздуха и падавина, као и активности ^{137}Cs и ^{90}Sr у падавинама у Србији у току периода 1984-1994.год. показују пораст ових активности у току 1986.год., а затим нагло опадање у наредним годинама и стабилизацију на основном нивоу активности из пред-Чернобиљског периода (1984-1985.), што се констатује и у другим државама Западне и Средње Европе на основу програма мониторинга радиоактивности у животној средини.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Службени лист СФРЈ бр. 40/86 и бр.84/91
- [2] "Радиоактивност животне средине у Србији", Институт за медицину рада и радиолошку заштиту "Др Драгомир Кајајовић", Београд 1984,1985,1986,1987, 1988, 1989, 1990,1991, 1992, 1993,1994.
- [3] "The Chernobyl Catastrophe Consequences in the Republic of Belarus", National Report,Minsk 1996.

ABSTRACT

Radioactivity in the air and fallout in Serbia during 1984-1994

Irena Petrović, R.Brnović, Lj.Mijatović, M.Vukotić, G.Pantelić

Clinical Center of Serbia, Institute of Occupational and Radiological Health

"Dr Dragomir Karajović", Belgrade

The paper presents results of the total beta activity measurements in the air and fallout and the ^{137}Cs and ^{90}Sr activity in fallout in Serbia during 1984-1994. Radioactivity in the air and fallout was significantly higher in 1986 (the Chernobyl accident). We measured the radioactivity of air and fallout on the territory of Serbia, trough constant enviromental monitoring in the post-accident period. Radioactivity in the air and fallout decreased after 1988 year, and has been practically at the same level as in of the 1984 and 1985 year.

FISIONI PRODUKTI U ŽIVOTNOJ SREDINI POSLE NUKLEARNE NESREĆE U ČERNOBILU

G.Đurić¹, D.Popović², D.Todorović³, J.Ajtić² i V.Dojnov²

¹Katedra za radiologiju i radijacionu higijenu i ²Katedra za fiziku, Veterinarski fakultet, Beograd

³Laboratorija za zaštitu od zračenja i životnu sredinu,
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

Sadržaj

U radu je dat pregled rezultata desetogodišnjih istraživanja migracije i distribucije fisionih produkata u namirnicama i uzorcima iz životne sredine kao posledica nuklearne nesreće u Černobilu. Posebno je razmatrana distribucija Cs-134,137 u neobrađenom zemljištu planine Tara i koncentracija Cs-137 u fazama sistema "tlo-biljka-med".

1. UVOD

Oko 100 sati posle nuklearne nesreće u Černobilu, koja se dogodila 26. aprila 1986 godine, u Laboratoriji za radijacionu higijenu Veterinarskog fakulteta u Beogradu započeto je merenje jačine ekspozicione doze gama zračenja na lokaciji VF i određivanje sadržaja radionuklida u kišnici, travi, namirnicama i stočnoj hrani trijažnom radiometrijskom metodom i metodom spektrometrije gama zračenja.

Jačina ekspozicione doze gama zračenja na lokaciji VF (gradsko područje) u toku maja meseca bila je u opsegu 2.5 - 6.5 pC/kgs, da bi se krajem meseca smanjila na 2.3 pC/kgs. U okviru ispitivanja radijacione situacije u dečijim odmaralištima na Tari i Divčibarama, na području pčelinjih pašnjaka planine Tara u drugoj polovini maja, izmerena je jačina ekspozicione doze u opsegu 3.7-2.5 pC/kgs (krajem septembra 1.86 pC/kgs) (1,2).

U toku maja i juna meseca 1986 godine radiometrijskom trijažnom metodom izmereno je oko 1300 uzoraka iz životne sredine (mleko, mlečni proizvodi, meso, iznutrice, voće, povrće, jaja, med, cvet biljaka, polenov prah, stočna hrana, trava) iz 60 većih mesta na području Srbije. Određivana je ukupna beta aktivnost uzorka i specifična aktivnost I-131 i Cs-137 (3). U uzorcima čija je aktivnost prelazila 100 Bq/kg (oko 95%) metodom spektrometrije gama zračenja određivana je aktivnost I-131, Cs-134, Cs-137, Ru-103, Ru-106 i ostalih kratkoživećih radionuklida (Ce-141,144, Cs-136, Ba(La)-140, Rh-102 itd) čiji se doprinos u ukupnoj aktivnosti uzorka pokazao značajnim (4). Tokom maja i juna 1986 na lokaciji VF praćen je sadržaj radionuklida u uzorcima kišnice (5,6,7).

Posebna pažnja posvećena je poboljšanju kvaliteta merenja. Odredjena je efikasnost Ge(Li) detektora za različite geometrije merenja i različite matrikse (meso, mleko, voda, trava) i definisane i odredene sistematske greške merenja i njihov doprinos u ukupnoj greški metode. Obavljena je interkomparacija metode na nivou tadašnje Jugoslavije (8,9,10).

U toku maja meseca uraden je ogled na 300 visoko mlečnih krava u cilju ispitivanja brzine izlučivanja radionuklida putem mleka obzirom na visoku kontaminaciju trave i stočne sveže hrane (lucerka)(11). Procenjen je stepen kontaminacije i ozračenosti radnika u fabrici stočne hrane, s lucerkom kao osnovnom sirovinom. Rezultati su ukazali na neka visoko rizična radna mesta, pa su preporučene odgovarajuće tehničke, higijenske i zdravstvene mere (12).

Ispitivanje sadržaja radionuklida u namirnicama (u mesu i mesnim proizvodima posebno) metodom spektrometrije gama zračenja nastavljena su tokom 1987 i 1988 g, a u uzorcima meda i dalje (13,14,15,16).

Od 1990 godine u okviru projekta radioekološke studije planine Tara određivan je sadržaj radionuklida u zemljistu medonosnoj flori i medu i distribucija Cs-134 i Cs-137 u sistemu tlo-biljka-med (17,18,19,20). Ovaj region je od posebnog značaja obzirom na bogatstvo pčelinjim pašnjacima i medonosnom florom, sa zemljistom koje nije tretirano fosfatnim djubrivotom. Ova merenja obavljena su u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i životnu sredinu Instituta "Vinča". U radu su prikazani neki od rezultata ovih istraživanja.

2. MATERIJAL I METODA

Uzorci meda, medonosnih biljaka i zemljista (površinski sloj, sloj sa dubine 5, 10 i 15 cm) sakupljeni su na osam lokacija u regionu planine Tara, koje su se razlikovale po fiziko-hemiskim osobinama tla: lokacija I,V,VIII - škriljci, lokacija II,IV,VI VII - krečnjak, lokacija III- mešovito zemljiste.

Uzorci zemlje su sušeni na 105°C, sitnjeni i prosejavani, a uzorci medonosne flore (livadske biljke) sušeni na sobnoj temperaturi i sitnjeni. Med je meren u nativnom stanju. Svi uzorci su mereni u standardnim Marinellini posudama (0.5 l).

Aktivnost radionuklida određjivana je na HPGe detektoru (relativna efikasnost 20%) standardnom metodom spektrometrije gama zračenja. Geometrijska efikasnost za matriks zemlje odredjena je pomoću standarda zemlje (Nat.Bur. of Standards, OMH, Budapest; aktivnost niza radionuklida Na-22, Co-57,60, Y-88, Ba-133, Cs-137 od 122-355 Bq/kg odredjena 1.7.91 sa ukupnom mernom nesigurnošću 5%). Efikasnost za biljni matriks određena je pomoću standarda deteline (Swed.Nat.Lab, Upsalla aktivnost Cs-137 od 1359 Bq/kg suve mase 20.3.95 određena sa mernom nesigurnošću 10%).

Vreme merenja : 150-300 ks. Ukupna srednja standardna greška 15%.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati odredjivanja aktivnosti Cs-137 u medonosnim biljkama regiona planine Tara zavisno od vrste tla u periodu od 1990-1995 g. prikazani su u Tabeli 1 (data je srednja vrednost aktivnosti Cs-137 u biljkama za različita tla za dati period, pošto nisu utvrđene značajne razlike između izmerenih vrednosti u pojedinim godinama). Aktivnost Cs-137 u livadskim biljkama pre nuklearne nesreće u Černobilu bila je na granici detekcije, dok su tokom 1986. godine zabeležene visoke koncentracije, reda veličine 10^3 - 10^4 Bq/kg pre svega kao rezultat površinske kontaminacije (20). U mahovini i lišajevina sa ovog područja uzorkovanim tokom 1991. godine, koncentracija Cs-137 je još uvek reda veličine 10^3 - 10^4 Bq/kg suve mase. Nisu utvrđene značajne razlike u aktivnosti Cs-137 zavisno od vrste biljaka.

Tabela 1. Koncentracija Cs-137 (Bq/kg) u medonosnim biljkama

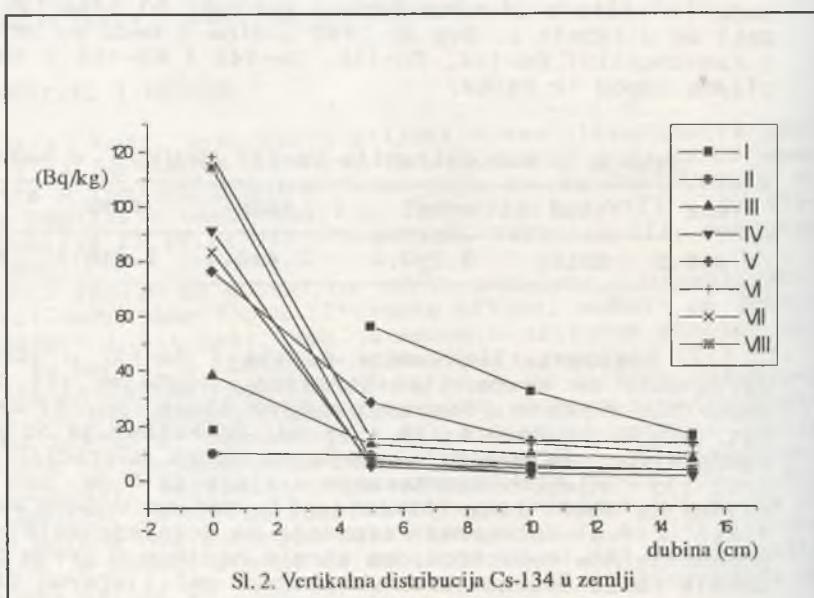
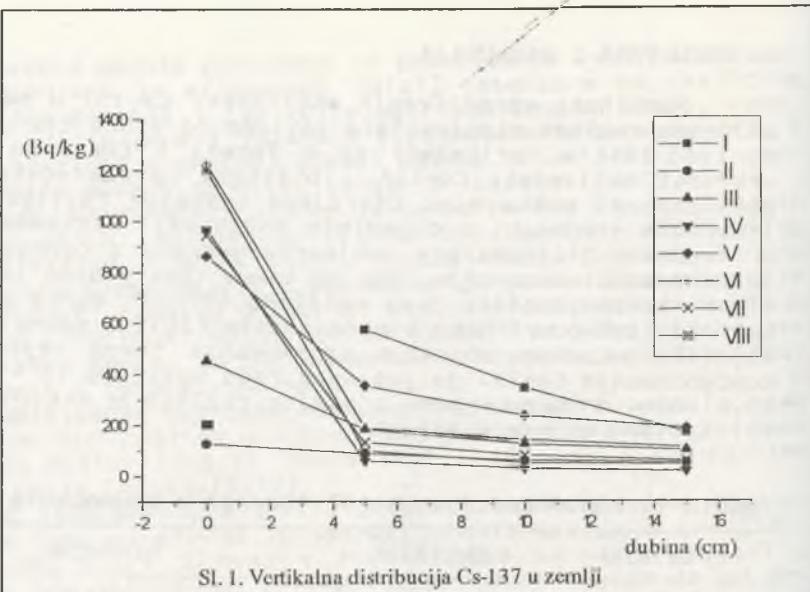
vrsta tla	škriljci	krečnjak
Cs-137 u biljci	47 ± 12	127 ± 18

Rezultati odredjivanja aktivnosti Cs-137 u livadskom medu iz regiona planine Tara u periodu od 1985-1991. godine dati su u Tabeli 2. Sve do 1990. godine u medu su detektovani i radionuklidi Cs-134, Ru-106, Ce-144 i Rh-102 u koncentracijama ispod 10 Bq/kg.

Tabela 2. Koncentracija Cs-137 (Bq/kg) u medu

1984	1986	1987	1988	1990	1991
2.4 ± 0.2	89 ± 25	3.2 ± 0.2	2.4 ± 0.4	2.4 ± 0.4	2.1 ± 0.1

Raspodela aktivnosti Cs-134 i Cs-137 u zemljишtu u zavisnosti od vrste tla (škriljci, krečnjak ili zemljишte mešovitog tipa) i u funkciji dubine sloja (površinski sloj - mat, slojevi dubine 5, 10 i 15 cm) prikazana je na sl.1 i 2, respektivno. Rezultati ukazuju na sporu migraciju cezijuma kroz tlo i njegovo zadržavanje u sloju do 5 cm, sem na lokacijima na obali reka (lokacija I), gde se uočava washout efekat. Kriva vertikalne raspodele se može aproksimirati eksponencijalnom funkcijom, sa strmim nagibom u prvom delu raspodele (brza migracija u sloju do 5 cm) i pravom paralelnom x osi u drugom delu raspodele (spora migracija u dublje slojeve tla). Uopšte, u sloju 5-15 cm koncentracija Cs-137 praktično ne zavisi od vrste tla, što ukazuje na značaj mikroklimatskih faktora.



LITERATURA

- (1) Petrović, B., Djurić, G., Popović, D., Šmelcerović, M. Jačina ekspozicione doze na lokaciji VF Beograd posle nuklearnog udesa Černobilj 86, Zbornik rad. II Savet. o zračenju iz prirodne sredine, Kragujevac, 9-13, 1986
- (2) Đurić, G., Petrović, B., Šmelcerović, M., Popović, D. Procena akutne radijacione situacije maja '86 u odmaralištima na Tari i Divčibarama, Veterinaria, 37(4), 555-560, 1988
- (3) Šmelcerović, M., Đurić, G. "Thick layer sample method for measuring radionuclides activity in environm. samples. Proc. Ital-Yug.Symp.on Rad.Prot., Udine, 325-328, 1988
- (4) Đurić, G., Popović, D., Šmelcerović, M. Short lived radio-nuclides in food and feed after the nuclear accident at Chernobyl, Acta Veterinaria, 45(3/4), 337-340, 1995
- (5) Đurić, G., Popović, D., Petrović, B., Šmelcerović, M., Đujić, I. Organizacija rada u Laboratoriji za radijac. higijenu Veterinarskog fakulteta, Beograd, Zbornik rad. II Sav. o zračenju iz prirodne sredine, Kragujevac, 169-174, 1986
- (6) Đurić, G., Popović, D., Petrović, B. Izveštaj o sadržaju radionuklida u namirnicama i uzorcima iz život. sredine posle nukl.nesreće u Černobilu 1986, Veterinarski fak., Beograd, Interna publikacija, 1-160, 1986
- (7) Đurić, G., Šmelcerović, M. Merno mesto za procenu zagadivanja životne sredine u slučaju nuklearne nesreće, Zbornik radova XV Simp. JDZZ, 450-453, 1989
- (8) Đurić, G., Popović, D., Adžić, P. Efikasnost Ge(Li)detektora za različite geometrije merenja i nosioce radionuklida. Zbornik radova XII JUKEM, Beograd, 535-542, 1986
- (9) Popović, D., Đurić, G., Spasić, V. Secondary standards in environmental radioactivity monitoring, Proc.XIXth ESNA Meeting, Vienna, p.161, 1988
- (10) Šmelcerović, M., Đurić, G., Popović, D. On sistematic and statistics errors in radionucl.mass activity estimation In Radiat.Prot.- Selected Topics, 476-480, Dubrovnik, 1989
- (11) Petrović, B., Đurić, G., Popović, D. Radionuclides eluation in milk, Proc.XIV IRPA Reg.Congress, Kupari, 291-194, 1987
- (12) Đurić, G., Šmelcerović, M., Petrović, B., Popović, D. Radio-contamination of agricultural workers due to nuclear accidents, In Radiation Protection - Selected Topics, IBK Vinča, Dubrovnik, 427-431, 1989
- (13) Đurić, G., Popović, D., Đujić, I. Content of Ru-103 & Ru-106 in food. 7th Int. IRPA Cong. on Radiat.Protect.Practice Sydney, Vol.III, 1497-1500, Pergamon Press, 1988
- (14) Đurić, G., Popović, D., Petrović, B., Popesković, D. The level of natural and fallout radionuclides in honey, Acta Veterinaria, 38(5-6), 293-298, 1988
- (15) Đurić, G., Popović, D., Sarvajić, A., Ivanković, S., Mišić, N. Jačina ekspozicione i apsorbovane doze na pčelinjim pašnjacima Tare, Veter.glasnik, 46(9), 453-540, 1992
- (16) Popović, D., Djurić, G., Todorović, D. Natural and fallout radionuclides in different types of honey, J.Environm. Biology, vol.17, (3/4), 1996

- (17) Đurić,G., Todorović,D., Popović,D. Content of radio-nuclides in uncultivated soil of a mountain region, Proc.II Int.Symp.on Environm.Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest, 753-754, 1944
- (18) Todorović,D.,Popović,D.,Đurić,G. Koncentracioni faktori za Cs-137 u sistemu "tlo-biljka-med", Zbornik radova XVIII Simp.JDZZ, Bečići, 225-228, 1995
- (19) Todorović,D.,Popović,D.,Đurić,G. Content of radionucl. in surface layer of uncultivated soil of a mountain region, Proc.Int.Cong.RPA9, Vienna, vol.II, 684-686, 1996
- (20) Popović,D., Đurić,G., Todorović,D. Chernobyl fallout radionuclides in soil, plants and honey of a mountain region, Int.Conf. "One Decade After Chernobyl", IAEA, Vienna, Book of Ext.Abstr., P-402/570, 1996

FISION PRODUCTS IN THE ENVIRONMENT AFTER THE NUCLEAR PLANT ACCIDENT AT CHERNOBYL 1986

G.Đurić, D.Popović, D.Todorović , J.Ajtić and V.Dojnov

Abstract

The results of the ten years investigations on migration and distribution of fission radionuclides in food and the environment due to the accident at Chernobyl in April 1986 are presented. The distribution of Cs-137 in uncultivated soils of a mountain region and the content of Cs-137 within the phases of a "soil-plant-honey" system is specially considered.

CS-137 U ZEMLJIŠTU PODRUČJA PLJEVALJA

P. Vukotić, J. Žic*, S. Jovanović, S. Đapčević

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 81001 Podgorica, P.F. 211

* Institut za tehnička istraživanja, Podgorica

Sadržaj - U području Pljevalja (Crna Gora), uzorkovan je površinski sloj sedam karakterističnih tipova zemljišta. Uzorci su uzeti sa 33 lokaliteta, od kojih sa osam iz tri sloja do dubine 20 cm. U uzorcima je mjerena specifična aktivnost Cs-137 metodom poluprovodničke gama-spektrometrije. Nadeno je da je prosječna kontaminacija područja 10-tak puta veća nego prije Černobiljskog akcidenta. Cs-137 je i dalje u površinskom sloju zemljišta, pretežno do dubine 10 cm. Ustanovljeno je da stepen kontaminiranosti zemljišta pokazuje izvjesne pravilnosti u prostornom rasporedu i najveći je na dva medusobno gotovo paralelna geografska poteza.

1. UVOD

Pljevlja su u ekološkom pogledu jedno od rijetkih ugroženih područja u Crnoj Gori. U sklopu opsežnih proučavanja stanja životne sredine u tom regionu, uradena su nedavno i mjerena kontaminiranosti zemljišta radioaktivnim cezijumom, čije rezultate prikazujemo u ovom radu.

Poznato je da je prije akcidenta u nuklearnoj elektrani u Černobilju prosječna specifična aktivnost Cs-137 u zemljištu u SFR Jugoslaviji bila na nivou 20 Bq/kg [1], pa se može pretpostaviti da je približno toliko ona bila i u području Pljevalja. Poslije akcidenta analiziran je prije ovih naših mjerena, koliko nam je poznato, samo jedan uzorak površinskog sloja zemljišta iz područja Pljevalja i to 1989 godine i nađena je tada specifična aktivnost Cs-137 od 520 Bq/kg [2].

Opsežna i sistematska ispitivanja radioaktivne kontaminacije zemljišta na teritoriji Crne Gore, metodom poluprovodničke spektrometrije "in situ", urađena su nedavno u Međunarodnom naučnom centru za ekologiju i zdravlje čovjeka iz Podgorice [3].

2. GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA PLJEVALJA

Opština Pljevlja nalazi se na krajnjem sjeverozapadu Crne Gore i zahvata 10% teritorije ove Republike. Ovaj prostor pripada području visokih planina, sa vrhovima visine do 2200 m. Osnovni makromorfološki oblici reljefa su fluviodenudacione površi i doline rijeka, sa srednjom nadmorskom visinom od oko 1400 m. Godišnje padavine u ovom području su veoma ravnomjerno raspoređene i iznose oko 810 mm. U periodu od 29 aprila do 11 maja 1986 godine, neposredno poslije katastrofalne havarije na nuklearnom reaktoru u Černobilju, padavine u ovom regionu su iznosile 50-60 mm.

Područje izgrađuju: klastični i karbonatni sedimenti perma, klastični i karbonatni sedimenti i vulkanske stijene trijasa, jurški sedimenti i magmatske stijene, neogeni sedimenti i kvartarne tvorevine. Trijaske tvorevine izgraduju najveći dio proučavanog prostora. U litološkom pogledu to su pješčari, kvarciti, pjeskoviti i laporoviti krečnjaci, krečnjaci sa rožnacima i dolomitni krečnjaci.

Na ovakvoj geološkoj podlozi formiraju se zemljišta raznovrsnog pedološkog sastava. Prema podacima sa pedološke karte [4], najzastupljeniji su slijedeći tipovi zemljišta: (I) aluvijalno-deluvijalno, (II) smeđe na glinama i pješčarima, (III) smeđe na silikatno-karbonatnoj podlozi, (IV) crnica na krečnjacima, (V) smeđe na krečnjacima, (VI) smeđe na eruptivima i (VII) močvarno zemljište. U ovom radu analizirani su uzorci svih ovih sedam tipova zemljišta.

3. METODA MJERENJA

Uzorci zemljišta su uzimani sa terena tako što se u zemljištu otvori profil dimenzija 25x25 cm i iz uzorka se odstrani travnati sloj. Za potrebe snimanja gama-spektara, uzorci zemljišta su dalje pripremani standardnim postupkom [5]: sušenje 36 do 72 časa na temperaturama 50 - 70 °C, mrvljenje i odvajanje krupnijeg kamenja, korijenja i ostalih vidljivih primjesa. Tako tretirani uzorci su zatim smještani u cilindrične posude visine 10cm i prečnika 9cm i vagani.

Gama-spektrometrijski sistem sastoji se od poluprovodničkog HPGe detektora (proizvodjač Canberra, koaksijalni detektor, aktivna zapremina 90 cm^3 , relativna efikasnost 21% za 1332 keV, rezolucija 1.87 keV), predpojačivača Canberra 2001, pojačivača Canberra 2010 i SK analizatora firme Ortec, tipa PC-kartice, kojom se ujedno na kompjuteru vrši i osnovna obrada prikupljenih gama-spektara.

Uzorci se snimaju u "bliskoj" geometriji, u poziciji neposredno iznad kape detektora. Gama-spektri se sakupljaju za vrijeme koje je dovoljno dugo da se dobije dobra statistika brojanja impulsa za pik Cs-137 na energiji 661.6 keV (od 2 do 24 sata, zavisno od aktivnosti uzorka). Konverzija dobijenog broja impulsa pod pikom u specifičnu aktivnost Cs-137 rađena je relativnom metodom, tj. upoređenjem sa laboratorijskim standardom Cs-137, pripravljenim i mjerenum u istoj geometriji. Metoda je provjerena 1991 god. interkomparacijom gama-spektrometara na nivou SFRJ.

Tačnost primijenjene relativne metode određivanja Cs-137 u uzorcima zemlje iz područja Pljevalja provjerena je i potvrđena takođe i semiempirijskom metodom, razvijenom na PMF-u u Podgorici u saradnji sa Institutom za nuklearne nauke Univerziteta u Gentu (Belgija) u periodu 1991-95 godine [6].

Efekat attenuacije fotona u krupnom izvoru, kakav predstavlja uzorak u litarskoj posudi, nije moguće proračunati bez poznavanja hemijskog sastava uzorka. Kako nijesmo raspolažali hemijskim analizama uzorka, aktivnost uzorka je računata uz dosta grubu pretpostavku da su oni u vidu vodenog rastvora. Međutim, na osnovu naših ranijih radova i proračuna efekta attenuacije za uzorak zemlje buavice [7] u uslovima mjerjenja kao što su bili oni korišćeni u ovom radu, može se očekivati da radi rečenog efekta rezultati dobijeni za specifičnu aktivnost Cs-137 imaju negativnu sistematsku grešku od oko 5%. To međutim bitno ne utiče na zaključke koji su na osnovu tih rezultata izvedeni. Ukupna tačnost korišćene metode je 5-10%, zavisno od aktivnosti uzorka, što se za radioekološka mjerena smatra dobrim i prihvatljivim.

4. REZULTATI MJERENJA

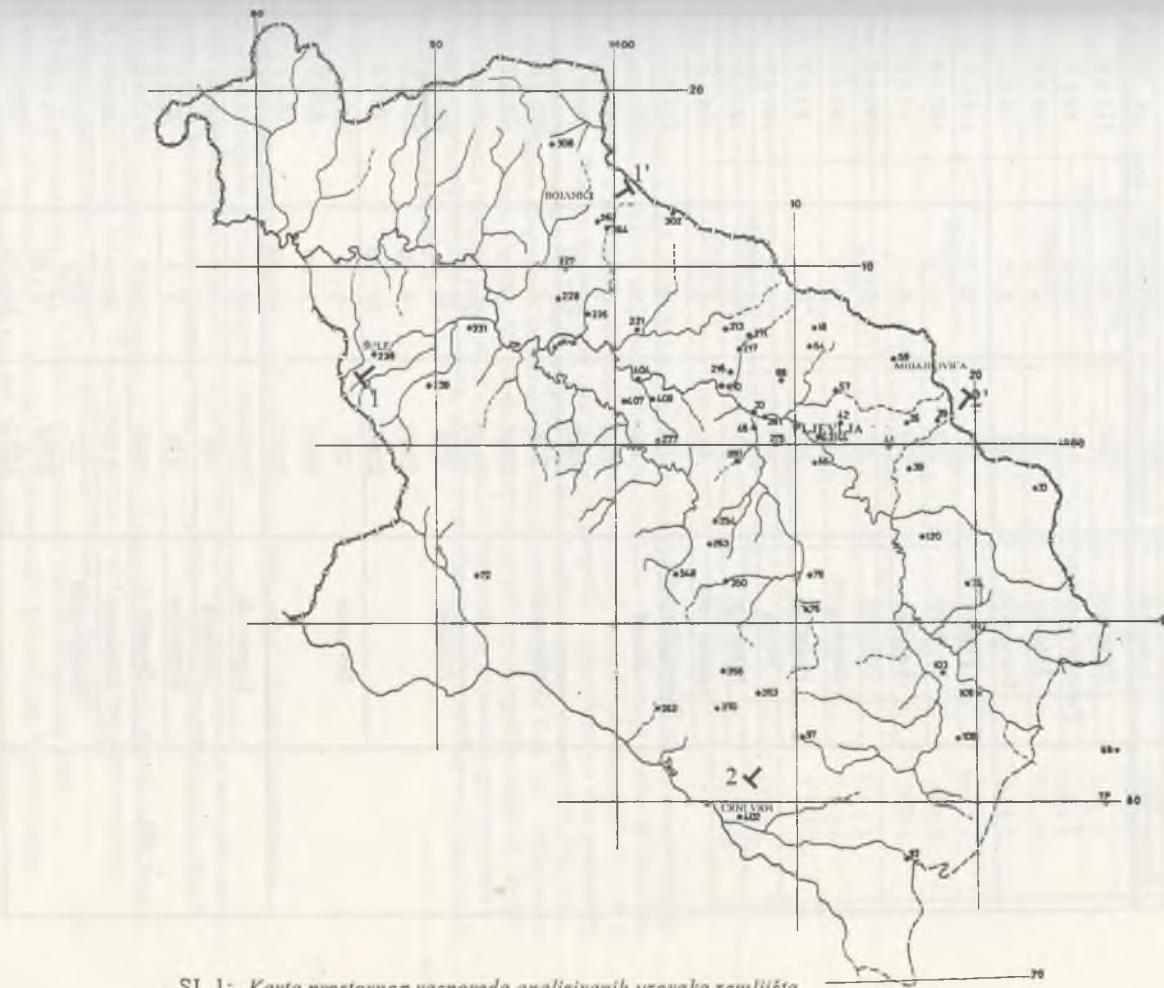
Na Sl. 1 data je karta regiona Pljevalja sa prostornim rasporedom i oznakama analiziranih uzoraka zemljišta.

Rezultati analize uzorka zemljišta na radioaktivnost cezijuma prikazani su na Tabeli 1. U zadnjoj koloni je data greška rezultata, izvedena samo iz statistike brojanja impulsa u vrhu pune energije.

Specifična aktivnost Cs-137 u analiziranim uzorcima površinskog sloja zemljišta (0-5 cm) kreće se od 38 do 767 Bq/kg. Prosječna vrijednost za sva ta 33 uzorka je 240 Bq/kg. Ova srednja vrijednost je 10-tak puta veća od one koja je postojala u zemljištu prije Černobilja. Izrazita je kontaminiranost površinskog sloja zemljišta radiocezijumom u Jakupovom grobu i Šulama. Na ovom drugom lokalitetu je cijelokupna kontaminacija još uvek (čak 10 godina poslije Černobila) samo u površinskom sloju 0-5 cm.

U uzorcima površinskog sloja smeđeg zemljišta na glinama i pješčarima, smeđeg zemljišta na silikatno-karbonatnoj podlozi i crnice na krečnjacima, srednje vrijednosti koncentracije cezijuma su praktično jednake (236, 246 i 235 Bq/kg), dok je ta vrijednost kod ispitivanih uzoraka zemljišta aluvijalno-deluvijalnog tipa niža (135 Bq/kg). Kod svakog od ovih tipova zemljišta postoje široki rasponi koncentracija radiocezijuma: kod tipa I od 38 - 312 Bq/kg, tipa II od 57 - 406 Bq/kg, tipa III od 82 - 767 Bq/kg i tipa IV od 40 do 517 Bq/kg. Za ostala tri tipa zemljišta mjereno je samo po jedan uzorak.

Na lokalitetama gdje su uzimani uzorci iz tri sloja po dubini zemljišta, uočava se da je cezijum najčešće dijelom migrirao do dubine 10 cm.



SL 1: Karta prostornog rasporeda analiziranih uzoraka zemljišta

Tabela 1. Specifične aktivnosti Cs-137 u uzorcima zemljišta iz područja Pljevalja

Tip zemljišta	Lokalitet	Oznaka uzorka	Sloj tla (cm)	Spec. akt. (Bq/kg)
I	Krnjevina	404	0 - 5	312 ± 6
	Pupović vodenica	410	0 - 5	88 ± 3
	Židovići	33	0 - 5	103 ± 3
	Durutovići	44	0 - 5	38 ± 2
II	Vrbica	254	0 - 5	151 ± 3
	Kruševo	253	0 - 5	192 ± 4
	Kalušići	275	0 - 5	57 ± 1
	Otilovići	39	0 - 5	390 ± 6
	Srdanov grob	213	0 - 5	265 ± 3
	Maljevac	260	0 - 5	63 ± 3
	Vrulja	109	0 - 5	141 ± 2
	Mataruge	35	0 - 5	189 ± 4
	Razano polje	41	0 - 5	318 ± 3
	Pljevaljsko polje	55	0 - 5	132 ± 3
	Kovač	308	0 - 5	290 ± 6
		308/1	5 - 10	202 ± 2
		308/2	10 - 20	30 ± 1
	Veliko polje	228	0 - 5	400 ± 6
		228/1	5 - 10	112 ± 2
		228/2	10 - 20	40 ± 1
	Glisnica	226	0 - 5	406 ± 6
		226/1	5 - 10	221 ± 2
		226/2	10 - 20	51 ± 2
	Brvenica	221	0 - 5	313 ± 5
		221/1	5 - 10	99 ± 1
		221/2	10 - 20	16 ± 1
III	Ligatov do	35	0 - 5	183 ± 4
	Rudnica	64	0 - 5	126 ± 2
	Krejovine	218	0 - 5	82 ± 3
	Dragaši	348	0 - 5	132 ± 3
	Kosanica	270	0 - 5	185 ± 4
	Jakupov grob	227	0 - 5	767 ± 11
		227/1	5 - 10	115 ± 2
		227/2	10 - 20	65 ± 1

Tabela 1. Specifične aktivnosti Cs-137 u uzorcima zemljišta iz područja Pljevalja (nastavak)

Tip zemljišta	Lokalitet	Oznaka uzorka	Sloj tla (cm)	Spec. akt. (Bq/kg)
IV	Trlica	42	0 - 5	169 ± 4
	Bakrenjač	69	0 - 5	72 ± 1
	Suva dubočica	120	0 - 5	367 ± 5
	Kamberovića do	57	0 - 5	40 ± 2
	Boljanići	367	0 - 5	246 ± 6
		367/1	5 - 10	76 ± 2
		367/2	10 - 20	60 ± 1
	Boljanići	364	0 - 5	517 ± 1
		364/1	5 - 10	58 ± 2
		364/2	10 - 20	26 ± 1
V	Šule	238	0 - 5	751 ± 8
		238/1	5 - 10	8 ± 1
		238/2	10 - 20	1.2 ± 0.1
VI	Mijakovići	97	0 - 5	407 ± 6
VII	Kovren	8b	0 - 5	37 ± 1

Zbog navedenih jakih varijacija koncentracije radiocezijuma od mjesta do mjesta uzorkovanja na istom tipu zemljišta, ne uočava se jasna korelacija tip zemljišta - koncentracija cezijuma. Međutim, zapaža se pravilnost u prostornom rasporedu najvećih izmjerjenih specifičnih aktivnosti Cs-137 u području Pljevalja. One su, nezavisno od tipa zemljišta, geografski rasporedene po dva međusobno gotovo paralelna pravca: na potezu Šule - Boljanići (profil 1-1' na Sl. 1) nalaze se uzorci 238, 226, 228, 227 i 364 sa najvećom izmjerrenom kontaminacijom cezijumom, a na potezu Crni vrh - Mihajlovica (profil 2-2' na Sl. 1) uzorci 97, 120 i 39, takođe sa visokom specifičnom aktivnošću cezijuma. Ovakav raspored kontaminacije zemljišta u regionu je vjerovatno rezultat lokalnih vremenskih prilika u maju 1986 godine, koje su bile različite od mjesta do mjesta, a koje nijesu registrovane zbog nedovoljno guste mreže hidrometeoroloških stanica.

LITERATURA

- [1] "Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji - podaci za 1986 godinu", Savezni komitet za rad, zdravstvo i socijalnu politiku, Beograd, Januar 1989.
- [2] "Ispitivanje kontaminacije radionuklidima, pesticidima, aero i hidro-zagadenjima u poljoprivrednoj proizvodnji", RSIZ za naučne djelatnosti Crne Gore, Izvještaj o radu na istraživačkom projektu za 1989 godinu.
- [3] G.J.Borisov, V.V.Kuzmić, V.M.Kulakov, P.Vukotić, N.Antović, S.Dapčević, R.Svrkota, M.Pajović, M.Mirković, B.Fuštić, G.Đuretić: "Černobiljski cezijum u tlu Crne Gore, osam godina poslije akcidenta", Savjetovanje "Černobilj, 10 godina posle", Budva, 4-7 jun 1996.
- [4] B.Fuštić: "Pedološka karta SFRJ, 1:50000". Poljoprivredni institut, Podgorica, 1988.
- [5] "Measurement of Radionuclides in Food and the Environment", International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 295, Vienna, 1989.
- [6] N.Mihaljević, S.Jovanović, F.De Corte, B.Smodiš, R.Jačimović, G.Medin, A.De Wispelaere, P.Vukotić, P.Stegnar: "EXTSANGLE - an Extension of the Efficiency Conversion Program SOLANG to Sources with a Diameter larger than that of the Ge-Detector", J. Radioanal. Chem., Articles, 169 (1993) 209-218.
- [7] Kričačko polje, nadmorska visina 1700 m, iz knjige Nikole Pavićevića "Buavice na crnogorskem kršu", Beograd 1956, str. 94-95.

Cs-137 IN THE SOIL FROM PLJEVLJA REGION

P. Vukotić, J. Žic*, S. Jovanović, S. Dapčević

Faculty of Sciences, University of Montenegro, 81001 Podgorica, P.O.Box 211

* Institute for Technical Research, Podgorica

Abstract - Surface layer of the seven characteristic types of soil in Pljevlja region (Montenegro) is sampled. Soil samples are taken from 33 locations, at eight of them from three layers up to 20 cm in depth. Specific activity of Cs-137 is then measured in the soil samples by a method of semiconductor gamma-spectrometry. Average cesium contamination in the region is found to be about 10 times higher than the same before Chernobyl accident. Cs-137 is still in the superficial soil layer, mostly to the depth of 10 cm. Contamination level of soil has certain regularities in distribution over the region, and it is the highest on the two mutually almost parallel geographic directions.

ČERNOBILJSKI CEZIJUM U TLU CRNE GORE, OSAM GODINA POSLJE AKCIDENTA

G.I. Borisov¹, V.V. Kuzmič¹, V.M. Kulakov¹, P. Vukotić², S. Dapčević², N. Antović³,
M. Mirković⁴, M. Pajović⁴, R. Svrkota⁴, B. Fuštić⁵, G. Đuretić⁵

1. Ruski naučni centar "Kurčatovski institut", Moskva, Rusija

2. Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 81001 Podgorica, P.F. 211

3. Međunarodni naučni centar za ekologiju i zdravlje čovjeka "MENEKO", Podgorica

4. Republički zavod za geološka istraživanja, Podgorica

5. Poljoprivredni institut, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

Sadržaj - Radioaktivna kontaminacija teritorije Crne Gore cezijumom injicirana je krajem 1994 godine metodom poluprovodničke gama-spektrometrije in-situ. Na osnovu geoloških i pedoloških karakteristika terena, odabrana su 42 mjerne mjesta, reprezentativna za šira područja i ravnomjerno raspoređena po teritoriji Republike. Nadeno je da stepen kontaminiranosti jako varira od regiona do regiona i u prvoj aproksimaciji slijedi topografsku kartu Crne Gore, sa porastom kontaminacije ka većim visinama terena. Površinske aktivnosti Cs-137 nalaze se u granicama 3700 - 74000 Bq/m², a cezijum je još uvijek u površinskom sloju neobradivanog zemljišta.

1. UVOD

Prije akcidenta u nuklearnoj elektrani u Černobilju, u SFR Jugoslaviji je prosječna kontaminacija zemljišta sa Cs-137 bila na nivou 20 Bq/kg [1]. Neposredno poslije akcidenta, 1986 godine, analizirani uzorci zemljišta sa teritorije Crne Gore pokazivali su slijedeće specifične aktivnosti Cs-137: Plužine, Boan, Donja Brezna i Ivangrad do 100 Bq/kg, Rožaje 130 Bq/kg, Žabljak 230 Bq/kg, Nikšić i Biogradsk gora 1500 Bq/kg [1].

U Laboratoriji za gama-spektrometriju Prirodno-matematičkog fakulteta u Podgorici radena su tokom 1988 i 1989 godine, između ostalog, i mjerjenja radioaktivne kontaminacije zemljišta u Crnoj Gori. U uzorcima površinskog sloja (0-5 cm) izmjerene su slijedeće specifične aktivnost Cs-137: Gusinje, Ivangrad, Bijelo polje, Titograd, Danilovgrad, Tivat i Ulcinj manje od 135 Bq/kg, Pljevlja 520 Bq/kg, Šavnik 645 Bq/kg, Žabljak 710 Bq/kg, Mojkovac 810 Bq/kg, Đurdevića Tara 1090 Bq/kg, meteorološka stanica u Nikšiću 1295 Bq/kg i Gornje polje kod Nikšića 200 Bq/kg [2].

U periodu 1989 - 1994 god. u Crnoj Gori nijesu radena opsežnija ispitivanja radioaktivne kontaminacije zemljišta. Međunarodni naučni centar za ekologiju i zdravlje čovjeka "MENEKO" iz Podgorice, u saradnji sa Ruskim naučnim centrom "Kurčatovski institut" iz Moskve i Univerzitetom Crne Gore, započeo je 1994 god. sistematska istraživanja radijacije u životnoj sredini u Crnoj Gori. Jedan od pravaca istraživanja je i mjerjenje fona gama-zračenja na teritoriji Crne Gore, a korišćena je merna metoda poluprovodničke spektrometrije *in situ*. Ova metoda omogućava dobijanje vjerodostojnih i reprezentativnih rezultata za dato područje životne sredine pri minimalnom broju mjerjenja, kao i ponavljanje mjerjenja u reproducibilnim uslovima [3-7]. Njome se dobijaju specifične aktivnosti prirodnih radionuklida u tlu (K-40, Th-232, U-238) i površinske koncentracije tehnogenih radionuklida gama-emitera, kao i parametri funkcije njihove raspodjele u zemljištu. Takođe se dobija i učešće svakog od detektovanih radionuklida u jačini ekspozicione doze u vazduhu.

U ovom radu biće prikazani samo oni rezultati navedenih istraživanja, koji se odnose na distribuciju radiocezijuma u tlu Crne Gore i to ne pojedinačno, već na pregledan i sintetizovan način.

2. METODA MJERENJA

Za mjerena na terenu korišten je prepojni spektrometar, sa autonomnim napajanjem. Poluprovodnički HPGe detektor firme CANBERRA je n-tipa, sa tankim berilijumskim prozorom, osjetljivom zapreminom od 100 cm^3 i energetskom rezolucijom od 1.95 keV za fotone energije 1332 keV. Portable višekanalni amplitudni analizator je takođe firme CANBERRA, serije 10 PLUS, sa 4K memorijom i 100 MHz ADC. Za pohranjivanje snimljenih spektara korišten je na terenu magnetofon SHARP 252, a za obradu spektrometrijskih informacija portable LAPTOP FAST kompjuter.

Na svakom mjernom mjestu snimana su dva spektra gama-zračenja tla. Jedno mjereno se radi u vazduhu, u poziciji u kojoj je kristal detektora na visini 1m iznad površine tla i usmjereno prema njemu. Kod drugog mjerena je kristal detektora u zemljištu, u rupi dijametra 15 cm i dubine 28 cm, koja se pravi specijalnim svrdlom. U toj rupi se kristal pozicionira na dubinu od 10 cm kada se radi o nekulтивisanom zemljištu, odnosno na dubinu od 20 cm u kultivisanom zemljištu. Uzorak izvaden pomoću svrda pohranjivan je u polietilenske kese, da bi se kasnije odredili gustina i vlažnost zemljišta na mjestu, kao parametri potrebni za proračun aktivnosti.

Za dobijanje parametara radijacionog polja i parametara izvora zračenja proučavanih metodom *in situ* spektrometrije, koriste se podaci iz proračuna urađenih za različite modele izvora zračenja, koji se za većinu slučajeva primjene metode mogu naći u literaturi [3,7-10]. Osim toga, neophodni su i podaci metrološkim parametrima korišćenog spektrometra, od kojih je najvažniji efikasnost detektora u zavisnosti od energije registrovanog fotonskog zračenja [11-13].

Za izračunavanje površinske aktivnosti teligenogenog radiocezijuma u tlu i jačine doze koja od njega potiče, korišćen je slijedeći model izvora zračenja: dvije beskonacne sredine (zemljište - vazduh), sa ravnom razdvajnjom površinom, od kojih jedna sadrži radioaktivnu supstancu u vidu sloja nepoznate debljine, bilo da je u njemu konstantna specifična aktivnost te supstance, bilo da ta aktivnost eksponencijalno opada (sa nepoznatim eksponentom) pri povećanju rastojanja od razdvajnjene površine. Ovaj model sadrži dva parametra: površinsku aktivnost i karakteristiku vertikalne raspodjele aktivnosti u zemljištu. Oba ova parametra se određuju na osnovu rezultata navedena dva mjerena: nad površinom tla i na zadatoj dubini u rupi u zemljištu. Radi toga uradena su prethodna teorijska razmatranja polja fotonskog zračenja na ukazanim dubinama u cilindričnim šupljinama u zemljištu, koja će uskoro biti publikovana.

Kod izbora mjernih lokacija, teritorija Crne Gore je podijeljena na 42 jednakih pravougaonika, približnih dimenzija 15x20 km. U svakom od područja tako dobijene mreže izabrana je po jedna mjerna lokacija, koja je po svojim geološkim i pedološkim karakteristikama najtipičnija za dato područje. Samo mjerne mjesto je birano na terenu, vodeći računa da ono bude na ravnoj površini prečnika većeg od oko 30 m.

Sva mjerena na terenu su uradena krajem jeseni 1994 godine.

3. REZULTATI MJERENJA I ANALIZA

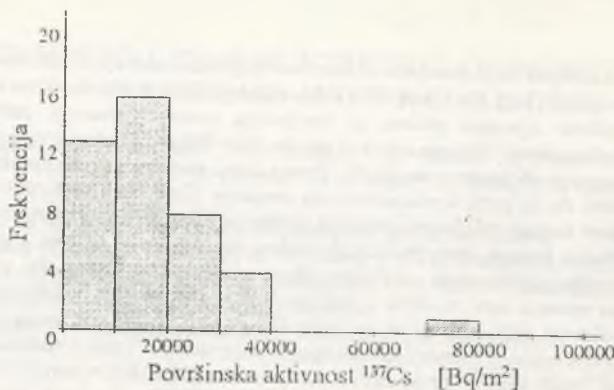
Vrijednosti površinske i specifične aktivnosti Cs-137 na teritoriji Crne Gore, kao i ekspozicione doze spoljašnjeg zračenja koje potiču od tog radionuklida u zemljištu, izmjerene metodom *in situ* spektrometrije, prikazane su histogramima na Sl. 1 - 3. Greška određivanja svih ovih veličina je tipično 10%.

Područje Crne Gore, kao uostalom i najveći dio Evrope, kontaminirano je radioaktivnim cezijumom Černobiljskog porijekla. Stepen te kontaminiranosti jako varira od regionala do regionala.

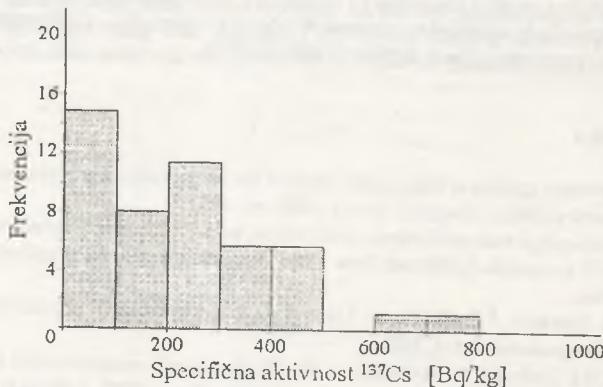
Površinske koncentracije Cs-137 na teritoriji Crne Gore nalaze se u granicama 3700 - 74000 Bq/m². Njihova srednja vrijednost iznosi 17328 Bq/m², dok je medijana izmjerenih vrijednosti 15000 Bq/m².

Specifična aktivnost Cs-137 u površinskom sloju zemljišta u Crnoj Gori kreće se od 14 Bq/kg do 740 Bq/kg. Srednja vrijednost specifične aktivnosti je 226 Bq/kg, a medijana 250 Bq/kg.

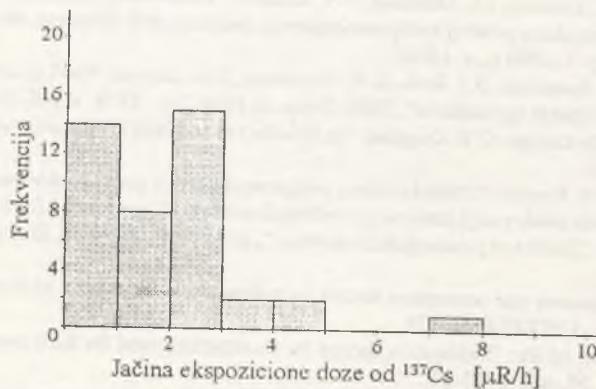
Jačina ekspozicione doze u vazduhu, na visini 1 m iznad površine tla, koja potiče od radioaktivne kontaminacije teritorije Crne Gore, mijenja se u granicama od 0.2 - 7.3 µR/h. Njena srednja vrijednost i medijana iznose 1.9 µR/h, što čini 33% srednje jačine ekspozicione doze uslijed gamma-zračenja koje potiče iz prirodnih izvora iz tla, dobijene na osnovu mjerena u 23 zemlje, u kojima živi polovina stanovništva naše planete [14].



Sl. 1. Raspodjela površinskih koncentracija ^{137}Cs na teritoriji Crne Gore.



Sl. 2. Raspodjela specifičnih aktivnosti cesijuma na teritoriji Crne Gore.



Sl. 3. Raspodjela jačina ekspozicionih doza zračnja ^{137}Cs na teritoriji Crne Gore. u vazduhu na visini 1m iznad tla.

Tipična nadena debljina sloja zemljišta kontaminiranog cezijumom je 5 cm, što znači da se, na neobradjanim površinama u Crnoj Gori, cezijum i sada nalazi pretežno u površinskom sloju zemljišta.

Analizom rezultata mjerjenja uočava se tendencija gotovo linearног porasta površinske aktivnosti Cs-137 sa nadmorskom visinom mjernog mjesta. Oko 90% rezultata mjerjenja uklapa se u 30-procentni koridor odstupanja od linearne zavisnosti. Prema tome, kao prva, gruba aproksimacija, u tom smislu može se smatrati da se karta kontaminiranosti teritorije Crne Gore radioaktivnim cezijumom poklapa sa topografskom kartom. Međutim, pojedina znatna odstupanja od takve zavisnosti, kao što je na primjer slučaj područja Berana, koje je na nadmorskoj visini od oko 650 m a ima veoma risku kontaminaciju cezijumom, sličnu onoj na Crnogorskom primorju, pokazuju da se za pouzdaniju interpretaciju rezultata moraju uzeti u obzir i lokalne hidrometeorološke prilike tokom maja 1986 godine, kada je radioaktivni oblak naišao na teritoriju Crne Gore. Takođe se mora voditi računa i o pedološkim osobenostima mjernog mjesta i samom njegovom položaju. Tako je maksimalna površinska aktivnost cezijuma od 74000 Bq/m^2 izmjerena na planini, na nadmorskoj visini 1720 m, u udolini u kojoj se očigledno sakupljaju i duže zadržavaju atmosferske padavine, što je vjerovatno proizvelo i akumulaciju tehnogene radioaktivnosti na tom mjestu u maju 1986 godine.

Nivoi kontaminacije zemljišta radiocezijumom iznad 30000 Bq/m^2 , a takvi su nadeni na pet mjernih mjesta (nadmorska visina im je 1000 m i veća), značajni su u radioekološkom pogledu i sa aspekta unutrašnjeg ozračavanja čovjeka, uslijed unošenja Cs-137 u organizam putem hrane. Ovo tim više što se u tim krajevima mjesno stanovništvo u najvećoj mjeri ishranjuje lokalnim poljoprivrednim proizvodima. Radi toga bilo bi neophodno provesti detaljnija i znatno šira istraživanja u ovim reonima, prevashodno u cilju potpune zdravstvene sigurnosti stanovništva.

LITERATURA

- [1] "Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji - podaci za 1986 godinu", Savezni komitet za rad, zdravstvo i socijalnu politiku, Beograd, Januar 1989, str. 133.
- [2] "Ispitivanje kontaminacije radionuklidima, pesticidima, aero i hidro-zagadenjima u poljoprivrednoj proizvodnji", RSIZ za naučne djelatnosti Crne Gore, izvještaji o radu na istraživačkom projektu za 1988 i 1989 godinu.
- [3] R.M. Kogan, I.M. Nazarov, Š.D. Fridman: "Osnovi gama-spektrometriji prirodnih sred", izd. 3-e, 1991, Moskva, Energoatomizdat, s. 232.
- [4] I. Winkelmann, H.J. Endrulat, S. Fouiasnon, et al.: "Radioactivity measurements in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl accident", Neuherberg, 1987, ISH-Heft 116, p. 36-66.
- [5] G.I. Borisov, L.I. Govor, V.A. Kurkin, A.M. Jašin: "Ispoljzovanje poluprovodnikovoj gama-spektrometriji v polevih uslovjah dlja izmerenija radioaktivnoj zaraženosti mestnosti", Voprosi atomnoj nauki i tehniki, serija: Jaderno-fizičeskie isledovaniya (teorija i eksperiment), vypusk 2, 1989 g., s. 54.
- [6] G.I. Borisov, A.A. Borovoj, J.L. Dobrinin, V.V. Kuzmič: "Isledovanje radijacionoj obstanovki v Litovskoj SSR metodami polevoj poluprovodnikovoj spektrometriji fotonoga izlučenija", Atomnaja energija, t. 68, vyp. 1, 1990 g., s. 19-22.
- [7] P.L. Phelps, L.R. Anspaugh, S.J. Roth, G.W. Huckabee, D.L. Sawyer: "Ge(Li) low level in-situ gamma-ray spectrometer applications", IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1974, v. NS-21, p. 543-548.
- [8] H.L. Beck, J.A. De Campo, C.V. Gogolak: "In situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry", 1972, HASL-258.
- [9] J.L. Dobrinin, V.V. Kuzmič: "Metod polevoj poluprovodnikovoj gama-spektrometriji dlja radioekoloških isledovanij (realizacija rasčetnih modelja)", preprint IAE-4899/1, 1989 g., s. 20.
- [10] V.P. Maškovič: "Zaščita ot ionizirujuščih izlučenij", spravočnik, Moskva, Energoatomizdat, 1982 g., s. 296.
- [11] H.L. Beck: "Exposure rate conversion factors for radionuclides deposited on the ground", New York, 1980, 7 p., USDOE EML-378.
- [12] I.K. Helfer, K.M. Miller: "Calibration factors for Ge detectors used for field spectrometry", Health Phys., 1988, v. 55, n. 1, p. 15-29.
- [13] W. Haimerl, S. Wolff, S. Weimer: "Kalibrierung eines in-situ spektrometer -Praktische anleitung-", ABE-237, Juni 1986, p. 11.
- [14] "Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation".- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), New York, 1988, tom 1 (prevod na ruski), str. 534.

CHERNOBYL CESIUM IN THE SOIL OF MONTENEGRO, EIGHT YEARS AFTER THE ACCIDENT

G.I. Borisov¹, V.V. Kuzmić¹, V.M. Kulakov¹, P. Vukotić², S. Dapčević², N. Antović³,
M. Mirković⁴, M. Pajović⁴, R. Svrkota⁴, B. Fušić⁵, G. Đuretić⁵

1. Russian Science Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

2. Faculty of Science, University of Montenegro, 81001 Podgorica, P.O.Box 211

3. International Science Centre for Ecology and Man Health "MENEKO", Podgorica

4. Institute for Geological Research, Podgorica

5. Institute for Agriculture, University of Montenegro, Podgorica

Abstract - Radioactive cesium contamination of the territory of Montenegro is measured by *in situ* method of semiconductor gamma-spectrometry at the end of the year 1994. On basis of geological and pedological characteristics of the region, 42 measurement sites are chosen, which are representative for large area and uniformly distributed over the territory of Republic. It is found that degree of contamination varies strongly from region to region. In the first approximation it follows topographical map of Montenegro, increasing with altitude of the region. Surface activites of Cs-137 span 3700 to 74000 Bq/m² range. Radioactive cesium is mostly remained in the surface part of uncultivated soil.

THE CONTAMINATION OF SLOVENIA AFTER CHERNOBYL ACCIDENT

Gordana Medin, Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Abstract: In this paper are shown some of the results of the measurement of the radiological contamination after Chernobyl accident. For instance, in Ljubljana the fallout of major radionuclides amounted to 140 kBq/m² of ¹³¹I, 26 kBq/m² of ¹³⁷Cs, 11 kBq/m² of ¹³⁴Cs, 5.33 kBq/m² of ⁸⁹Sr and 0.420 kBq/m² of ⁹⁰Sr and gradually decreased to about one half in the vicinity of the Krško NPP. Also, the resultant free in air dose rate increased from 0.09 µGy/h before April 30th to a maximum value of 1.7 µGy/h on May 2nd.

1. INTRODUCTION

Radioactive fallout following the Chernobyl accident was very nonuniform in the alpine NW region of Yugoslavia due to the different amount of rain and complicated orography. A general picture of the ground deposition in Slovenia was obtained by gamma spectrometry of rain and soilsample in densely populated region of central (Ljubljana) and south -eastern (Krško NPP) Slovenia. [1] In Ljubljana the fallout of major radionuclides amounted to 140 kBq/m² of ¹³¹I, 26 kBq/m² of ¹³⁷Cs, 11 kBq/m² of ¹³⁴Cs, 5.33 kBq/m² of ⁸⁹Sr and 0.420 kBq/m² of ⁹⁰Sr and gradually decreased to about one half in the vicinity of the Krško NPP (close to the Croatian border) [1, 2]. The relatively high ratio of activity of radiocesium vs. radiostrontium is ascribed to the better volatility of cesium from the damaged reactor. In this period also a considerable contamination of plants, particularly those which were growing intensely, occurred. For some plants, as for grass, it may be concluded, that the main part of isotopes have been absorbed directly through the leaves. The contamination through the roots would be much slower and due to dilution with the mineralic compounds of soil, much less intensive. The resultant free in-air dose rate increased from 0.09 µGy/h before April 30th to a maximum value of 1.7 µGy/h on 2nd.

2. THE CONTAMINATION BY CESIUM

On the basis of dose-rate measurements and the amount of rain, higher ground contamination was expected in the Alpine region and lower in the Panonian and Adriatic areas. The contamination of air was much more uniform.

Regional distribution of Cs fallout after Chernobyl in Slovenia and resulting contamination in 1987 and 1989 is shown in Fig 1. [3]. The fallout of Cs isotopes in July 1986 was reconstructed using the regional distribution of dose rates and the relative amount of radionuclides in grass. The contamination of grass is amounted to up to 40 % of the total deposition in 1986. Fallout measurements in 1987 showed that on uncultivated soil about 30-40 % of the cesium isotopes penetrated during this period deeper than 2 cm (only 5-20 % in 1986). In addition, up to 30 % of the radioactivity was removed by leaching of pastures or moving of grass [3].

Also, the highest activity of both Cs-isotopes were found in sample of lichens from the north and north-west parts of Slovenia, Fig 2, [4], which are known to have received the highest amounts of precipitation during the period following the Chernobyl accident. Lichens have been reported to accumulate natural and man-made radionuclides. They have high absorption efficiencies and high retention capacities for radionuclides, such as Cs-137. They lichen ¹³⁷Cs map [4] is also in agreement with the results of the model prediction of ground contamination by

$^{137,134}\text{Cs}$ which was constructed using precipitation data in the period between April, 30 and May, 9 for 300 location all over Slovenia, and the results of radioactivity in precipitation at the sampling point in Ljubljana [5], Fig 3.

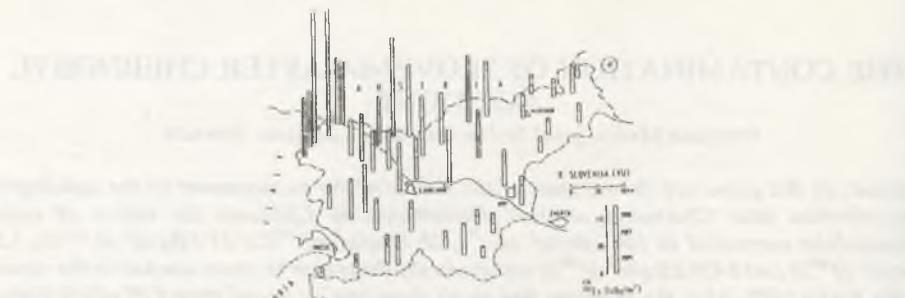


Fig. 1. Regional distribution of Cs fallout after Chernobyl in Slovenia and resulting contamination in 1987 and 1989 [3].

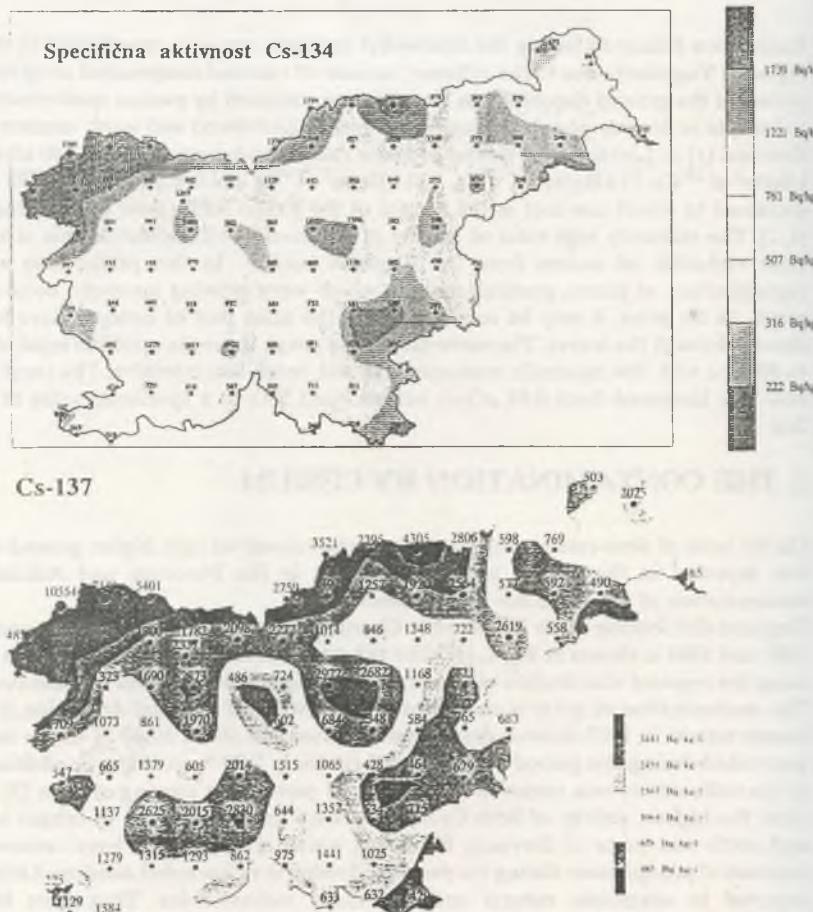


Fig. 2. The geographical activity patterns of a) ^{134}Cs and b) ^{137}Cs , obtained from lichen data and mapped using the Surfer programme [4].



Fig. 3. The model prediction for ^{137}Cs deposition at 301 location in SR Slovenia [5].

3. THE CONTAMINATION BY STRONTIUM

Deposition of strontium on the Slovene territory from Chernobyl fallout was $420 \text{ Bq}/\text{m}^2$ [6]. It was observed that contamination of plants mainly occurred by direct deposition on leaves [7], while the uptake by roots had a time delay. Fig. 4. [8] shows sampling points for the river Sava. Samples are taken every day to make three - month composite samples to be analysed. The results for the period from 1986 to 1993 are presented in Fig. 5. [8]. It is obvious that any increase of the strontium level due to the plant could hardly be observed. On the other hand the strontium levels are almost always higher after the paper and pulp mill. High values in the year 1986 are due to the Chernobyl accident.



Fig. 4. Map of sampling points at the Krško Nuclear Power Plant for strontium analysis [8].

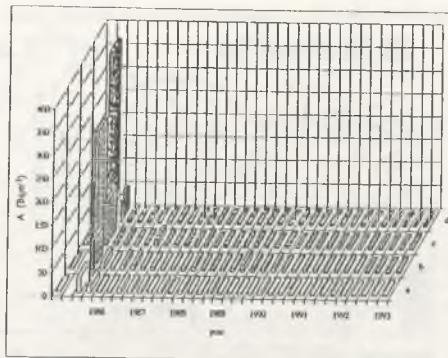


Fig. 5. $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ content in the river Sava at points indicated in Fig. 4 [8].

Strontium levels in several crops are presented in Fig. 6 [8], where relatively large differences in strontium levels can be observed. They result mainly from different affinity of diverse for strontium and from different route of strontium contamination. The highest strontium levels were observed for redcurrants, salat and strawberries. These samples were collected during the two - month period following the Chernobyl accident (4. 6. 1986; salat, strawberries; 1. 7. 1986; redcurrants). The immediate decrease of strontium levels in following year clearly confirms the expectation that the increased strontium levels were primarily due to the surface contamination of fruits and vegetables by strontium from Chernobyl. On the contrary apples were collected for analysis five months later (27. 9. 1986) and were still in the phase of blooming. Surface contamination was therefore excluded and strontium level in 1986 was low.

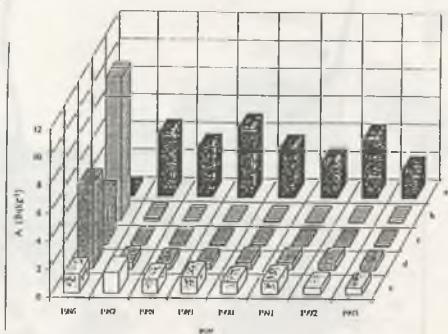


Fig. 6. $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ in crops and vegetables: a: apples from fruit-garden near NPP, b: redcurrants at Leskovec, c: strawberries at Žadovinek, d: salat at Žadovinek, e: carrots at Pesje [8].

For illustration, distribution of Sr and Cs isotopes in soil (location - Gmajnica) in 1984, 1985, 1968 (Nov. 11) [7] and 1995 (Krško NPP Report) is shown in Table 1.

TABLE 1:

Distribution of cesium and strontium isotopes in soil (location Gmajnica) in 1984, 1985, 1986 (November 11) and in grass in 1995.

Year	S - soil (depth in cm) G - grass	A (Bq/kg of dry soil or grass)			
		¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr, ⁸⁹ Sr
1984 ^[7]	S (0 - 5)	45		7.4	
	S (5 - 10)	23		6.1	
	S (10 - 15)	3.6		5.1	
1985 ^[7]	S (0 - 5)	73		6.5	
	S (5 - 10)	7.8		6.4	
	S (10 - 15)	3.2		5.8	
1986 ^[7] (Nov. 11)	G	6460	2850		151
	S (0 - 2)	315	104		20
	S (2 - 5)	69	12		10
	S (5 - 10)	17	13		6
1995 ^a	G	2		3	
	S (0 - 2)	160	4		2.7
	S (2 - 5)	150	3.6		4.2
	S (5 - 10)	49	0.8		4.5

a - NE Krško working report, 1995

4. CONCENTRATION LEVELS OF I-131 IN THE THYROID GLAND

In radiological environmental studies indicator organisms or some parts of organs of plants, animals and man play an important role because of their ability to accumulate specific radionuclides. Among such organs the thyroid is of major importance, since it contains about 70 - 80 % of total body iodine. Thus it represents an extremely sensitive bioindicator for different iodine isotopes, and the doses arising in this organ must be carefully evaluated. Concentration levels of the ¹³¹I in the thyroid gland of some Slovenians after the Chernobyl accident were in range 2.5 - 331 Bq/g (concentration levels calculated as activity on 2 May 1986) [9].

REFERENCES

- [1] D. Brajnik at al, Proc. AIRP Symp., Udine, June 1988 (in press)
- [2] D. Brajnik at al, Proc. 32nd Conf. Bioassay, NBS Gaithersburg (1986) 11 -4
- [3] D. Brajnik at al, The Science of the Total Environment 130/131 (1993) 147 - 153
- [4] Z. Jaran at al, Proc. of the Symposium on radiation protection in neighbouring countries in Central Europe 1995, September, 259 - 261
- [5] J. Urbančič and Z. Jaran, Proc. of the EURASAP Conference of Atmospheric Dispersion Model after Chernobyl, Vienna, November 1988, 159 - 165
- [6] K. Južnič and Š. Fedina, Fesenius Z. Anal. Chem. 323 (1987) 261 - 263
- [7] K. Južnič at al, Vestn. Slov. Kem. Druš. 34 (1987) 414 - 422
- [8] Š. Fedina at al, Proc. of the Annual Meeting of the Nuclear Society of Slovenia, September 1994, 377 - 381
- [9] M. Dermelj at al, Reference Materials and Methods in Environmental and Biochemical Research, KFA Jülich, Scientific Series of the International Bureau, Vol. 12 (1992) 86 - 89

KONTAMINACIJA SLOVENIJE NAKON ČERNOBILJSKE NESREĆE

Gordana Medin Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenia

Kratak sadržaj: *U radu su prikazani rezultati merenja nivisa zračenja i kontaminacije posle nuklearnog incidenta u Černobilju. Naprimjer, u Ljubljani izmeren je srednji koncentracija glavnih radionuklida u zraku od 140 kBq/m² of ¹³¹I, 26 kBq/m² of ¹³⁷Cs, 11 kBq/m² of ¹³⁴Cs, 5.33 kBq/m² of ⁸⁹Sr and 0.420 kBq/m² of ⁹⁰Sr i konstantno opadanje do na oko 50 % u okolini nuklearne elektrane "Krško". Takođe, registrovan je porast jačine apsorbovane doze u vazduhu od 0.09 mGy/h, pre 30. aprila, do maksimalne vrednosti od 1.7 mGy/h 2. maja.*

VARIJACIJE Cs-137 U PRIZEMNOM SЛОЈU ATMOSFERE U INSTITUTU "VINČA" PRE I POSLE AKCIDENTA U ČERNOBILJU

D.Todorović, M.Radenković, V.Šipka

Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija "Zaštita", Beograd

ABSTRAKT

U radu su prikazane varijacije koncentracije Cs-137 u prizemnom sloju atmosfere u periodu od 1985-1995. god. na lokaciji Instituta "Vinča". Uzorci su analizirani gama-spektrometrijskom metodom korišćenjem HPGe-detektora.

UVOD

Pri akcidentima na nuklearnim postrojenjima ili nuklearnih proba dolazi do oslobađanja velike količine radioaktivnog materijala u atmosferu, koja je transportni medijum preko koga se najbrže i prostorno najšire mogu osetiti posledice ovih događaja. Na svom putu kroz atmosferu formirani radioaktivni oblak može stići do manjih ili većih visina zavisno od vrste akcidenta.

Pri eksploziji na četvrtom bloku nuklearne elektrane u Černobilju, došlo je do kontaminacije nižeg sloja troposfere. U atmosferu je ispušteno 3.7×10^{16} Bq Cs-137 (1). Ako uporedimo ispuštanja Cs-137 usled proba sa nuklearnim eksplozijama- 1.5×10^{18} Bq i usled akcidenta "Windscale"- 4.4×10^{13} Bq, uočavamo da su ispuštanja pri havariji na reaktoru u Černobilju veća u odnosu na akcident "Windscale" ali manja u odnosu na nuklearne eksplozije (2). Za razliku od Černobiljskog akcidenta pri nuklearnim eksplozijama dolazi do kontaminacije viših slojeva atmosfere-stratosfere, u kojoj radioaktivni materijal može da boravi dosta dugo i prolazom kroz troposferu dospeva do prizemnog sloja atmosfere (3).

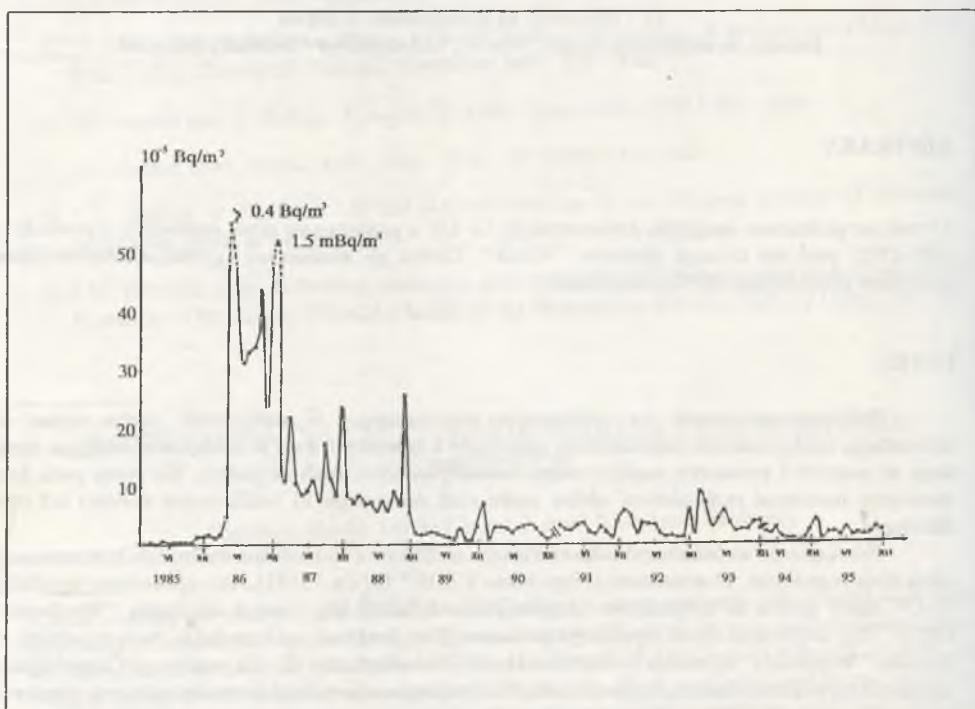
U ovom radu su dati rezultati praćenja varijacija koncentracije Cs-137 u prizemnom sloju atmosfere, u periodu od 1985-1995.god., na lokaciji Instituta za nuklearne nauke "Vinča" na meteorološkoj stanicici "Usek". Ovaj desetogodišnji period obuhvata vreme pre i posle akcidenta na reaktoru u Černobilju kao i sam akcident. Cilj rada je da se oceni kontaminacija prizemnog sloja atmosfere usled akcidenta na reaktoru u Černobilju.

METODE

Propuštanjem vazduha određene zapremine(približno 600m^3) kroz filter papire poznate efikasnosti 80% na slobodno nataloženu prašinu,dobijeni su dnevni uzorci vazduha.Mesečni uzorak dobijen je žarenjem svih dnevnih uzorka na temperaturi manjoj od 400°C .Gama-spektrometrijska analiza urađena je pomoću dva HPGe-detektora relativnih efikasnosti 20% i 23%.Kalibracione krive efikasnost dobijene su pomoću radioaktivnog referentnog materijala Cs-137 sa matriksom aerosolnim prahom (Interkomparacija Projekat SEV). Vreme snimanja uzorka je u intervalu 80-250 ks. Greška određivanja aktivnosti je 10%.

REZULTATI

Promene koncentracije Cs-137 u prizemnom sloju atmosfere u periodu 1985-1995. god. prikazane su na grafiku 1. Koncentracije Cs-137 u toku 1985.g. bile su reda veličine 10^6 Bq/m^3 . Poslednja nuklearna eksplozija izvršena je oktobra 1980.g., tako da se pomenuta vrednost može smatrati nivoom osnovnog zračenja. Prvi maksimum koncentracije Cs-137 od 0.4 Bq/m^3 koji se pojavljuje u maju 1986.g. odgovara akcidentu na reaktoru u Černobilju. Zatim, koncentracija Cs-137 opada do januara 1987.g., kada je zapažen drugi maksimum od 1.5 mBq/m^3 , koji je posledica resuspenzije Cs-137 sa tla.



Slika 1. Aktivnost Cs-137 u prizemnom sloju atmosfere za 1985-1995

Izvesne fluktuacije Cs-137 primetne su i u toku 1988.g., a zatim se postepeno uspostavlja stanje kakvo je bilo pre akcidenta. Period od 1989-1995.g. karakterišu samo sezonske varijacije koncentracije Cs-137 u intervalu od 10^{-6} Bq/m^3 do 10^{-5} Bq/m^3 što predstavlja nivo osnovnog zračenja.

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je akcident na reaktoru u Černobilju značajno povećao kontaminaciju prizemnog sloja atmosfere samo tokom 1986.g. Radioaktivni oblak se podigao do 1500 m visine, tako da su kontaminirani samo niži delovi troposfere i nije došlo do obogaćenja "stratosferskog rezervoara" novim radioaktivnim materijama.

LITERATURA

- [1] Ilyin,L.A.,Pavlovskij,O.A.Radiological Consequences of Chernobyl Accident In SU And Measured Taken To Mitigate Their Impact.IAEA Bull.29(4),17-24,1987.
- [2] F.B.Smith, Ph.D.and M.J.Clark,Ph.D.,The transport and deposition of airborne debris from the Chernobyl nuclear power plant accident with special emphasis on the consequences to the United Kingdom,Meteorological office,Scientific Paper No.42,London, 1987.
- [3] D.Todorović, Korelaciona analiza atmosferskih uticaja na promene koncentracija radioaktivnih materija u prizemnom sloju vazduha, Magistarska teza,Beograd, 1994.

Cs-137 variation in the lower atmosphere level in the Vinča Institute region, before and after Chernobyl accident

D. Todorović, M. Radenković, V. Šipka

ABSTRACT

Cs-137 activities in air in the region of Institute "Vinča" meteorological station "Usek", were measured in the period from 1985-1995. The activity of Cs-137 on air- filters was deteminated on a HPGe detector by standard gamma-spectrometry with standard error 10%.

Karakteristike ovih rezultata su izrazite fluktacije lokalnog karaktera koje su naročito izražene kod voća sezonskog karaktera. Tako npr. aktivnost višnje varirala je od 15-370 Bq/kg a maline od 20-340 Bq/kg, što je posledica količine padavina u pojedinim mikroregionima.

Pored kontrole domaćih proizvoda pripremljenih za izvoz vršena je kontrola i uvoznih proizvoda iz drugih zemalja. Rezultati ovih analiza bili su u granicama normi sem u slučaju lešnika iz Italije koji je sadržavao 1140 Bq/kg cezijuma pa je nadležnim organima sugerisano da se ne uvozi.

(2) Povrće

Povrće (paprika, kraставac, grašak, krompir, pasulj, boranija, karfiol) je imalo najniži stepen kontaminacije jer u vreme intenzivnih padavina nije bilo plodova, što samo potvrđuje da je kontaminacija cezijumom površinska.

Rezultati analize su prikazani na sl.2.

(3) Meso

Na slici br.2. prikazani su rezultati analize uzorka junečeg mesa. Radioaktivnost junečeg mesa odlikovala se tokom juna vrednostima oko 200 Bq/kg, kasnije se ustalila na vrednostima ispod 100 Bq/kg. Prema dobijenim informacijama u ishrani je pretežno korišćena stočna hrana iz prethodne godine. Kritičan izvozni artikal su bili živi konji, naročito oni koji su pasli travu u brdsko planinskim slučajevima jer su analize stajnaka u 5% slučajeva pokazivale aktivnost iznad 600 Bq/kg.

(3) Specifični proizvodi

Izmerena aktivnost deteline u prvom otkosu iznosila je u proseku 3000 Bq/kg a u drugom otkosu 185 Bq/kg. Meseci juni i juli 1986.god. zbog obilnih padavina pogodovali su razvoju pečurki (lisičarki i vrgnja) važnog izvoznog artikla. U tim mesecima aktivnost je iznosila između 80-100 Bq dok je u avgustu sa manje padavinu aktivnost pala na 20-50 Bq/kg. U kasnijim mesecima su pretežno eksportovane suve pečurke sa aktivnostima od 100-500 Bq/kg s obzirom da je masa suvih pečurki oko 1/10 mase u svežem stanju.

Poseban problem zbog nivoa aktivnosti predstavljala je sačma uljane repe. Pošto je veoma tražena kao stočna hrana u Evropskoj zajednici preradom domaće uljane repice dobijala se sačma koja je sadržavala do 1100 Bq/kg ($^{39+40}\text{Cs}$) što nije omogućavalo izvoz. Istovremeno ulje iz uljane repice sadržavalo je manje od 10 Bq/l cezijuma. Zahvaljujući intenzivnoj kontroli koja je svakodnevno vršena za fabriku ulja u Zrenjaninu i mogućnostima korišćenja uljane repice sa područja na kojima je razvoj uljane repice nastao posle intenzivnog talasa radioaktivnih padavina, omogućena je proizvodnja sačme sa manje od 600 Bq/kg što je omogućilo njen izvoz od celokupne prerade ulja u 1988.godini.

4. ZAKLJUČAK

Laboratorijska zaštita od zračenja je tokom 1986.godine na osnovu dogovora sa izvoznicima poljoprivrednih proizvoda obavila više od 1400 kontrola proizvoda eksportovanih pretežno u zemlje Evropske zajednice. Zahvaljujući odgovornom pristupu proizvođača i izvoznika koji su u potpunosti ispunjavali zahteve Laboratorije nije zabeležen ni jedan slučaj zadržavanja ili vraćanja proizvoda iz ovih zemalja koje su takođe sa svoje strane vršile intenzivnu kontrolu pri uvozu, kao što je i kod nas vršena kontrola uvoznih proizvoda.

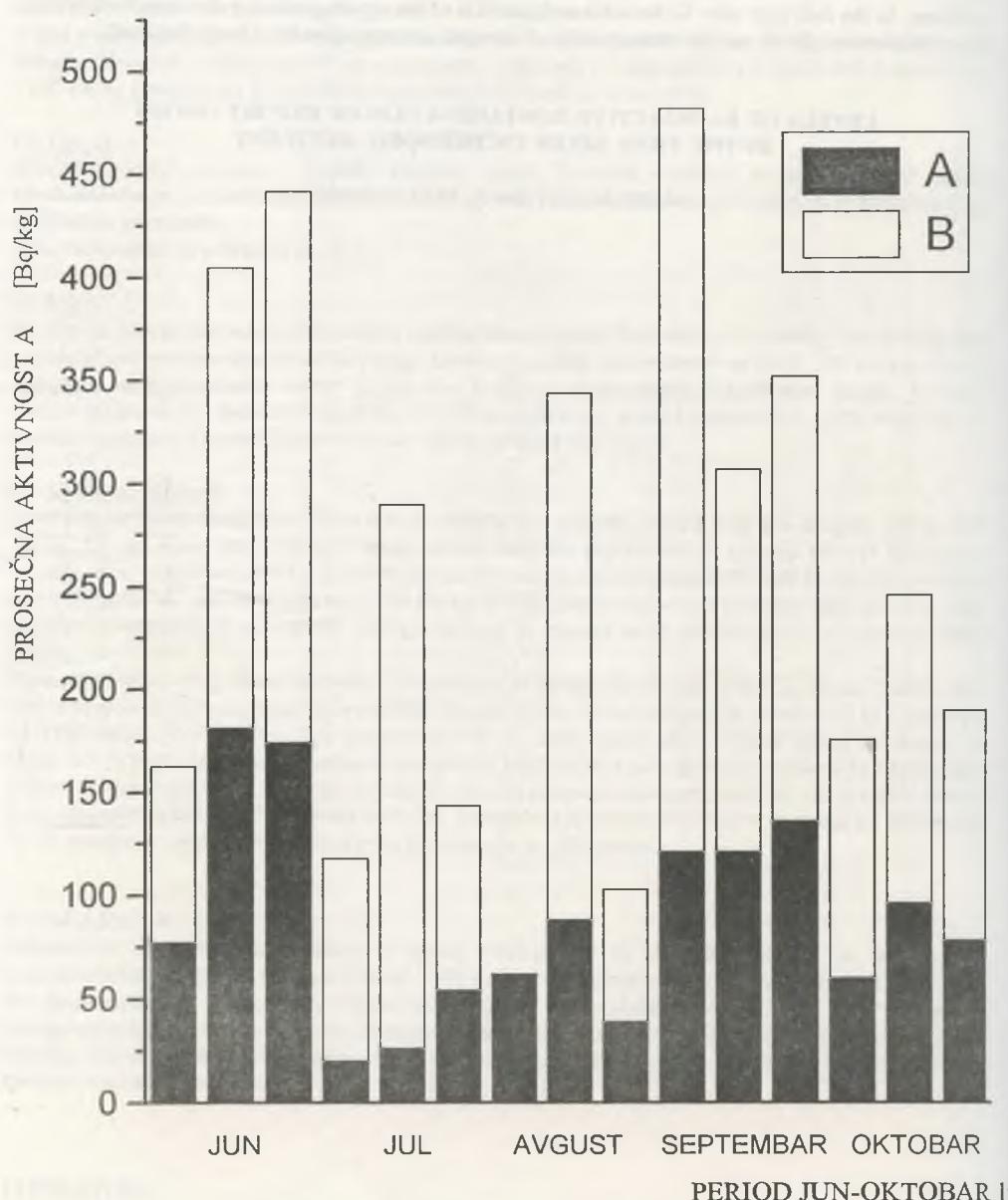
LITERATURA

- [1] L.Dewell et all. Initial Observations of fallout from the Reactor Accident at Chernobyl, *Nature* 321, 192-193, 1986.
- [2] F.A.Fray et all. Early Estimates of UK Radiation Doses from the Chernobyl Reactor, *Nature* 321, 193-195, 1986.

Abstract - After Tschernobil accident intensive checkup of radioactive contamination of export goods has been carried out. Plants, fruits, meat and its products as well as product for general use has been analyzed. In the first year after Tschernobil accident 95% of the export goods met the exports standards, and requirements. Some specific characteristic of observed contamination have been discussed.

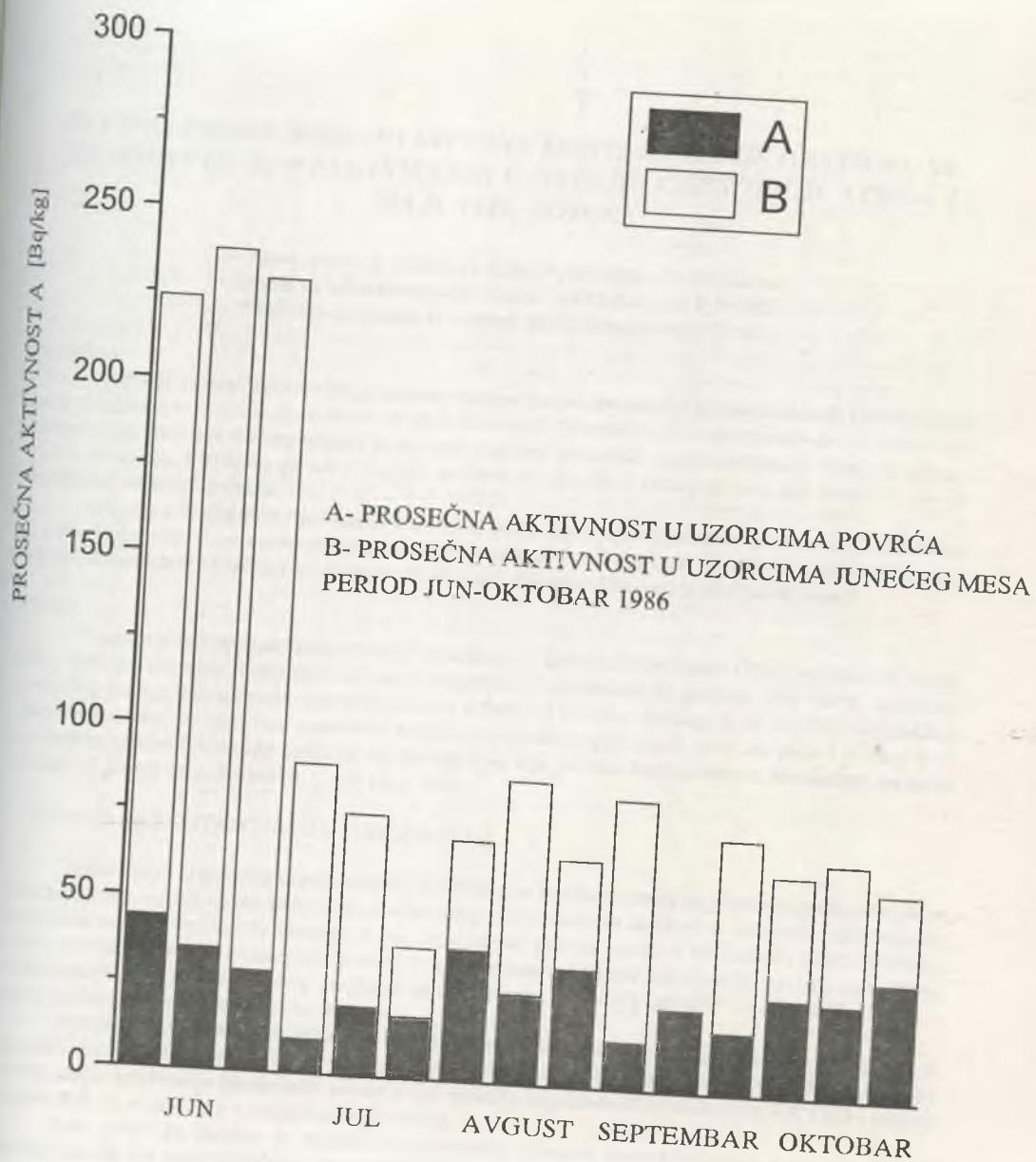
LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF EXPORT GOODS IN THE YEAR AFTER TSCHERNOBIL ACCIDENT

M. Mandić, Ž. Vuković, M.M. Ninković



A- PROSEĆNA AKTIVNOST U UZORCIMA KOŠTIČAVOG VOĆA
 B- PROSEĆNA AKTIVNOST U UZORCIMA JAGODIČASTOG VOĆA

SLIKA 1.



SLIKA 2.

EKVIVALENTNE DOZE OD INTERNE KONTAMINACIJE GRAĐANA SR JUGOSLAVIJE KONTAMINIRANIH U OKOLINI ČERNOBILJA APRILA I MAJA 1986. GODINE

D. Bek-Uzarov, Z. Đukić, D. Kostić*, D. Nikezić*, O. Čuknić

Institut za nuklearne nauke "Vinča" 11001 Beograd P.F. 522

*Prirodno matematički fakultet 34001 Kragujevac P.F. 60

SADRŽAJ

U radu je kratko opisan prihvat, treman humane dekontaminacije i merenja internih kontaminacija grupa građana SR Jugoslavije kointaminiranih u okolini Černobilja. Merenja ozračenja su vršena pre kontaminacije teritorije SR Jugoslavije pa su time dobiveni autentični podaci prolaznog ozračenja samo u okolini akcidenta. Načinjene su neke moguće statističke selekcije, a prikazani su i neki ranije za javnost restrikovani rezultati merenja.

Opisani su neočekivani i ne objavljeni slučajevi spontanog izbegavanja interne kontaminacije osoba koje su boravile ili prošle kroz kontaminiranu zonu kao poučni postupci koji mogu biti korisni u budućoj praksi zaštite od ionizujućeg zračenja pri velikim akcidentima fisionim gorivom, a nisu publikovani.

UVOD

U institutu za nuklearne nauke "Vinča" prva merenja kontaminirane odeće i ljudi počela su 30. aprila 1986. godine humanom dekontaminacijom i merenjem Jugoslovenskih građana Koji su iz tadašnjeg Sovjetskog Saveza dolazili preko graničnih prelaza u Subotici i Vatinu. Računa se da količine radionuklida izmerene u telima tih ljudi čine autentične količine radionuklida primljenih samo na putu u prolazu kroz akcidentom ugrožene zone, jer teritorija Jugoslavije tada nije još bila kontaminirana. Kontaminacija naših teritorija je počela sa padavinama 1. i 2. maja 1986.

I. HUMANA DEKONTAMINACIJA I DOZIMETRIJA

Dozimetristi iz Instituta za nuklearne nauke "Vinča" su bili raspoređeni na graničnim prelazima gde su među putnicima, uglavnom merenjem odeće, vršili odbir kontaminiranih lica koja su odvožena pripremljenim autobusima pravo u Institut. U Institutu je bio organizovan prihvat turista u Medicinsku zaštitu Instituta. Nakon merenja površinske kontaminacije odeće i obuće, vršene su humane dekontaminacije i merenja interne kontaminacije pa posle medicinskog pregleda zamene odeće i obuće [1] ispitanici su dobivši instrukcije o daljim postupcima, upućivani svojim kućama.

Humana dekontaminacija vršena je u postojećem Punktu za dekontaminaciju, koji je zajedno sa stručnom ekipom lekara i medicinskih tehničara Institut podigao do 1960-tih godina da bi zadovoljio uslove Međunarodnih konvencija Medicinske zaštite svojih radnika angažovanih na reaktorima RA i RB i radnika angažovanih na proizvodnji i odlaganju radionuklida.

Sam punkt je izrađen sa trojnim mogućnostima humane dekontaminacije, i to za: rutinsku dekontaminaciju β - γ radionuklidima, dekontaminaciju čoveka od visokotoksičnih radionuklida (plutonijum, uran) i dekontaminaciju fizički ozleđene ranjene osobe.

Budući da je bilo poznato da je kontaminacija poticala od fisionih produkata, tada još uvek nepoznatog sastava, ocenjeno je da nije bilo nužno preduzimati mere dekontaminacije koje se primenjuju u slučajevima havarija sa najtoksičnijim radionuklidima plutonijuma, urana ili drugih visoko toksičnih radionuklida -alfa emitera.

Dekontaminacija celog tela vršena je individualno po instrukcijama lekara pod tuševima u toploj i hladnoj vodi sa konvencionalnim sredstvima rutinske dekontaminacije.

Posle dekontaminacije vršena je ponovna provera korektnosti površinske dekontaminacije kože, da bi se ispitnicima davao čisto rublje i pripremili za direktna merenja redionuklida sadržanih unutar celog tela na instalaciji Whole Body Counter WBC-u.

Po završenom merenju, tj. utvrđivanju stepena interne kontaminacije, tj. ekvivalentne doze zračenja, ispitnici su posle konsultacija sa lekarem upućivani svojim kućama sa nalogom da dođu ponovo na kontrolna merenja, ako je to bilo potrebno.

Bilo je samo nekoliko slučajeva teže kontaminiranih osoba koje su istovremeno bile obolele pa su morale biti zadržane na hospitalizaciji u Odeljenju za nuklearnu medicinu Vojno medicinske klinike VMA u Beogradu.

2. MERENJA NA WBC INSTALACIJI

Zbog velikih verovatnoća za kontaminaciju mernih sredstava cele merne instalacije WBC-a preduzela su dva stepena radijaciono-sanitarnog propusnika. Jedan na sarmorn ulazu u prostorije instalacije i drugi pred ulazak u kabinu WBC-a. Radi očuvanja instalacije WBC-a, stroge sanitарне mere radijacione higijene osoblju angažovanog na WBC-instalaciji su poštovane do mogućih maksimuma.

Zbog opasnosti da s epreko znoja kontaminiraju merna sredstva, ispitnici su uvođeni u kabinet sa dvostrukom opremom veša, novim nazuveima, rukavicama i kapom za pokrivanje kose. U toku celog rada pa i za vreme visoke kontaminacije tla najbliže okoline nije zapaženo povećanje fona merne instalacije WBC-a.

Prvih dana posle akcidenta interna kontaminacija svih ispitnika sadržavala je oko 14 radionuklida [2] emitera X i g-zračenja te scintilaciona spektrometrija sa razlaganjem postojećeg kristala NaI (Tl) za fotopik ^{137}Cs od oko 15 % nije bila moguća.

Spektrometrija gama zračenja detektovanog iz celog tela čoveka vršena su u intervalu energija od 200 keV-a do 2,5 MeV-a smeštenim u 256 kanala, s tim što su energije iznad 2,5 MeV-a bile saturacionom amplitudom sabirane u zadnjem kanalu višekanalnog spektrometra. Na taj način je bila obezbeđena detekcija gama zračenja i izvan navedenog intervala energija.

U tim uslovima srednja efikasnost integralnog merenja sa jednim kristalom NaI (Tl) u navedenom intervalu energija iznosila je:

$$\epsilon = 2.96 \quad \text{dex}(-3) \quad (1)$$

Aktivnost izmerena u celom telu čoveka dobijana je sledećom relacijom:

$$A_0 = \frac{F_e}{t_i} \left(\sum_{e=kp}^{e=gd} N_e - \sum_{f=kp}^{f=gd} N_f \right) \quad (2)$$

gde su:

Δ_0 - aktivnost radionuklida izmerenih u celom telu u ŠBqĆ,

F_e - faktor merne efikasnosti za celo telo,

t_i - trajanje vremena merenja, standardno iznosi: 1 ks,

N_e - integralni odbroj od praga spektra energije $e=kp$ i krajnjeg kanala spektra energije $e=gd$,

N_f - integralni odbroj fona u istom intervalu energija X i g-zračenja meren fantomom za fon.

Razlika merenja spektra ispitnika i merenje fona fantomom iskazana u jednačini (2):

$$\sum_{e=kp}^{e=gd} N_e - \sum_{f=kp}^{f=gd} N_f = N_i \quad (3)$$

čini odbroj fotona X i g-zračenja detektovanih iz celog tela ispitnika.

Za izračunavanje jačine ekvivalentne doze korišćena je sledeća relacija:

$$\dot{H} = \frac{K_t}{M_p} A_0 \quad (4)$$

gde je sa:

\dot{H} - označena trenutna jačina ekvivalentne doze zračenja za celo telo u [pSv/s],

K_t - ekvivalentni energetski konverzionalni faktor za integralno merenje ekvivalentne doze koju je primilo celo telo u [pJ]

M_p - telesna masa merenog ispitanika u [kg],

A_0 - Integralna aktivnost svih radionuklida od interne kontaminacije u celom telu ispitanika.

Relativna greška takvog merenja ekvivalentne doze za celo telo ne prelazi vrednost od 30 %.

Ceo postupak merenja je organizovan tako da omogućuje najveći broj merenja sa postojećim sredstvima, što je u uslovima havarije od posebne važnosti. Ceo postupak WBC humane dozimetrije je organizovan tako da se u toku trajanja jednog merenja omogućava obrada rezultata prethodnog ispitanika.

Skraćenje intervala merenja bi u uslovima kada su količine radionuklida u čovečijem telu velike, tj reda kBq, dalo dovoljnu statističku težinu, ali ne bi se mogla pratiti procena sadržaja količine kalijuma preko radionuklida ^{40}K , što je od fundamentalnog značaja kod merenja interne kontaminacije.

3. INTERNE KONTAMINACIJE TURISTA DONESENE IZ OKOLINE ČERNOBILJA

Prva grupa Jugoslovenskih turista prispela na našu teritoriju merena je 30. aprila 1986. kada do Jugoslavije (Beograda) nije još bilo došlo do kontaminacije padavinama.

Izvršena su merenja odela tj. celokupne odeće putnika, a posebno merene su osobe računajući na korelacije između interne kontaminacije osobe i kontaminacije odeće iste osobe. Očekivane korelacije nisu mogle biti uspostavljene, nisu postojale

Obrada rezultat merenja vršena je tako što su odabrana merenja koja su mogla da budu podvrgнутa statističkim kriterijumi, a ekstremi su izdvojeni i oni su ovde referisani.

Interna kontaminacija [3] turista je bila:

Odeća

srednja aktivnost β - γ radionuklida u odeći je bila:

$$A_s = (142 \pm 44) ; [\text{kBq}] \quad (5)$$

Maksimalna - $A_{\max} = 173 \text{ kBq}$; Minimalna $A_{\min} = 111 \text{ kBq}$

Aktivnost radionuklida u celom telu:

$$A_{wbc} = (20 \pm 5) ; [\text{kBq}] \quad (6)$$

Srednja trenutna jačina ekvivalentne doze:

$$\dot{H} = (17.8 \pm 7.8) ; [\text{pSv}] \quad (7)$$

Vidi se da je aktivnost interne kontaminacije celog tela bila za oko 7 puta manja od kontaminacije odela. To se može objasniti time što su se turisti hranili još uvek čistom ne kontaminiranom hranom. A odela su otiranjem od površinski kontaminiranih predmeta na putu sve vreme i sve više sakupljala i nagomoljavala kontaminaciju.

Svi mereni turisti su putovali zajedno u grupi vozom od Moskve (28.04.1986.) preko Kijeva (29.04.1986.) do Beograda (30.04.1986.).

4. GRAĐEVINSKI RADNICI IZ ŽLOBINA

Građevinsko preduzeće "Kongrap" je u mesto Žlobin (oko 150 km od Černobilja) po ugovoru gradilo fabriku valjanog lima u kojoj je po smenama od 100-200 radnika boravilo iz Jugoslavije oko 1000 radnika u periodu 1986-1987 godine. Budući da su radnici tamo radili najviše na otvorenom prostoru, hranili se hranom dobivenom iz okoline, mogla se očekivati povišena interna kontaminacija koja je i konstatovana.

Interna kontaminacija radnika

Interne aktivnosti radionuklida u celom telu su se kretale u granicama:

$$200 \text{ kBq} \leq A_i \leq 1 \text{ MBq}$$

Srednja ekvivalentna doza interne kontaminacije je bila:

$$\bar{H} = (300 \pm 50) \text{ [pSv/s]} \quad (7)$$

$$\text{Maksimalna } \bar{H}_{\max} = 950 \text{ pSv/s; Minimalna } \bar{H}_{\min} = 70 \text{ pSv/s}$$

$$70 \text{ pSv/s} \leq H_i \leq 950 \text{ pSv/s}$$

Radi lakšeg poređenja može se imati u vidu da godišnjoj dozi od 2 mSv odgovara trenutna, ako traje cele godine konstantno, jačina doze od 64 pSv/s.

5. SPONTANA ODSUSTVA INERNIH KONTAMINACIJA

Vozaci kamiona

Prvo iznenadenje ekipi za prihvat su donela dva vozača kamiona sa prikolicom preduzeća "Kongrap" koji su transportovali čeličnu robu i sa teretom prošli u danima od 03 do 04 maja 1986. u odlasku i povratku kroz zonu udaljenu 50 km od Černobilja [5].

Vratili su se u Zemlju gotovo ne kontaminirani, tj. sa internom kontaminacijom od svega:

$$3.1 \text{ pSv/s i } 3.4 \text{ pSv/s} \quad (8)$$

što, kada se ima u vidu da je srednja trenutna tolerantna jačina ekvivalentne doze 2.5 pSv/s daje neočekivan rezultat očuvanja od interne kontaminacije. Objasnjenje što su se vozači sačuvali od interne kontaminacije sastoji se u tome što su sve vreme puta proveli u kamionu, a hranili su se hranom ponetom iz Jugoslavije.

Međutim, istovremeno filteri za vazduh motora njihovog kamiona bili su toliko kontaminirani da je trebalo da odleže da bi se identifikacija nekih radionuklida mogla korektno meriti. Filteri, budući smešteni niže nad površinom druma, usisavali su visoko kontaminiranu prašinu koja do vozača gotovo da nije dopirala.

Trudnice

Neke trudnice pod rođačkim protektoratom kolega iz NI "Vinča" su slušale savete stručnjaka sa WBC i sačuvali su se interne kontaminacije tako da im je ekvivalentna doza zračenja, kada je glavna kontaminacija već minula, bila reda 6.0 pSv/s do 10 pSv/s [6]. Saveti su bili trivijalni: strogo poštovanje principa radijacione higijene.

Obrenovac ostao nekontaminiran

U rutinskoj kontroli radnika termoelektrane "Obrenovac" koji su pod radijacionom kontrolom Medicinske zaštite Instituta, otkriveno je da je njihova interna kontaminacija takođe spontano mala [7] i reda veličine od 14 pSv/s do 37 pSv/s.

Naknadna kontrola hrane je potvrdila vrlo niske aktivnosti do stepena merljivosti. Dakle Obrenovac je spontano ostao kao teritorija ne kontaminiran, jer i padavine, koliko ih je bilo, su bile čiste. Obrenovac je bila teritorija na kojoj je mogla da se nađe čista hrana, povrće, voće.

ZAKLJUČAK

Interna kontaminacija turista kontaminiranih u blizini Černobiljskim akcidentom kontaminirane zone, nije dala značajna ozračenja, a bila je i manja od onih koje se tolerišu kod profesionalaca- radnika sa ionizujućim zračenjima.

Ako se dobro zna i strogo održava radijaciono sanitarna disciplina može se samo sa tim znanjem u postojećim (krajnje improvizovanim) uslovima sačuvati od značajnih internih kontaminacija.

Masovne priredbe na kontaminiranoj travi 25. maja 1986., fudbalske utakmice, izlasci školske dece na rekreaciju u dvorišta i u prirodu, izleti, lov itd. su se najnormalnije odvijali, pa su se bez potrebe masovno primile neizbrojive doze zračenja. Saveti naših eksperata nisu bili poželjni ni poštovani!

Nekontaminirani regioni kao Obrenovac, imali su (za trudnice i bebe) tako dragocenu radijaciono čistu hranu, koja nije bila (navodno zbog panike i "turističke politike") koršena za ishranu ugroženih trudnica i odočadi, dece. Nisu ni smeli da znaju da su se mogli sačuvati!

Kolika je, zbog tih propusta, kolektivna doza dobijena, koliki je rizik radijacione ozlede bez ikakve potrebe nanešen, neće se možda nikada znati?

Ostaje našem društvu da dobro i posle 10 godina od Černobilja razmisli koliko i kako bismo prošli da se sutra naki sličan akcident ponovi?

Nema koristi od obrazovanja i znanja ako obrazovane nema ko da sluša!

LITERATURA I LABORATORIJSKA DOKUMENTACIJA

- [1]. Lična informacija direktora NI "Vinča". dr Đ. Jovića. Rublje odeću, obuću, sredstva za dekontaminaciju, laboratorijsku opremu i zaštitnu odeću i obuću za ispitnike i osoblje Medicinske zaštite je obezbedilo Ministarstvo za zdravlje Srbije.
- [2]. Đ. BekĐUzarov. Nakon Černobiljskog akcidenta: greške, pouke i iskustva. Nuklearna tehnologija UDK 621.039. YU ISSN 0351-689X. Godina VIII. "Srboštampa", Beograd, 1988. No.1., str. 18-25
- [3]. Interna dokumentacija WBC-a. Dnevnik merenja WBC-VII/98-102, TAG: 134-1326
- [4]. Interna dokumentacija WBC-a. Dnevnik merenja WBC-VII/170-186. TAG: 1451 1478 i WBC-VII/46-186. TAG: 1562-1759.
- [5]. Interna dokumentacija WBC-a. Dnevnik merenja VII/127 TAG 1374 i TAG 1375.
- [6]. Interna dokumentacija WBC-a. Dnevnik merenja VII/176 TAG 1460.
- [7]. Interna dokumentacija WBC-a. Dnevnik merenja VIII/84 TAG 1625 i TAG 1626.

INTERNAL CONTAMINATION EQUIVALENT DOSE RATE OF SR YUGOSLAVIAN CITIZEN CONTAMINATED IN APRIL AND MAY 1986. IN CHERNOBIL ENVIRONMENT AFTER ACCIDENT

Đ. Bek-Uzarov, Z. Đukić, D. Kostić*, D. Nikezić*, O. Čuknić
Institute Of Nuclear Sciences "Vinča" 11001 BELGRADE P.O.B. 522
*Faculty of sciences. 34001 KRAGUJEVAC P.O.B. 60 SR Yugoslavia

Acquisition, human body decontamination, total body (Whole Body Counter-WBC) internal contamination measurements of Yugoslavia citizen contaminated after Chernobil accident in Chernobil region, are in the paper described. As the total body measerement are made before contamination of Yugoslavian territory, it is assumed that the human equivalent dose rate measured, are originated from Chernobil enviroment only.

Some statistical selection of measured values are made and those for public relation restricted, in paper are as well presented.

Some unexpected spontaneous non contaminated person crossed the contaminated Chernobil area are described, assuming that they could be a useful practice an case of any fission accident.

Jačina apsorbovane doze u vazduhu na području Republike Srbije u periodu 1985–1995.

Olivera Marinković, Gordana Pantelić, Irena Petrović

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

Sadržaj

Prikazani su rezultati merenja jačine apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu u nekim mestima Republike Srbije. Merenja je obavio Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović" u Beogradu. Obzirom da su merene vrednosti u periodu 1985–1995, korišćene su različite metode. Ipak su rezultati upoređeni i prikazani grafički.

Uvod

Veličine koje se relativno jednostavno i brzo mogu meriti prenosnim mernim instrumentima jesu jačina ekspozicione ili apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu. Tako dobijeni rezultati mogu biti prvi pokazatelj eventualnog akcidenta sa izvorima ionizujućih zračenja bilo u okviru laboratorije ili na ogromnim prostorima u slučaju akcidenta na nuklearnim postrojenjima ili eventualnim eksplozijama nuklearnog oružja.

Rezultati

Prema merenjima u 1985. godini (1) prosečne mesečne vrednosti jačine apsorbovane doze za Beograd bile su $0.08 \mu\text{Gy/h}$.

U toku deset dana neposredno posle akcidenta, u maju 1986. godine merena je jačina apsorbovane doze u vazduhu u mnogim mestima (2). Ovi rezultati prikazani su u Tabeli. Takođe su prikazane srednje vrednosti u periodu od 1992. do 1995. određivane raznim metodama: ionizacionom komorom za kontinuirano merenje (postavljene u Beogradu i Kladovu) (3); termoluminiscentnim dozimetrima (4) Harshaw (CaF₂:Dy i LiF(MgTi)) i pokretnim mernim instrumentima Victoreen Model 450P i MRK M-87 (5).

Tabela:

MESTO	DOZA $\mu\text{Gy/h}$		
	1985. god	1986. god	1992–1995.
Beograd	0.08	2.00–3.00	0.08–0.11
M1		0.45–0.60	0.07–0.09
M2		0.60–0.90	0.07–0.12
M3		0.90–1.20	0.08–0.10
M4		1.20–1.50	0.15–0.25
M5		1.50–2.00	0.07–0.10
M6		2.00–3.00	0.12–0.20
M7		3.00–4.00	0.10–0.17
M8		4.00–5.00	0.10–0.17

Bq/lit i 103 Ru 6.3-53.8 Bq/lit), ali kliničkim pregledom nisu nadjene organske promene koje bi mogle biti posledica ekspozicije ionizujućem zračenju [8]. Kontrolna analiza hromozomskih aberacija nekoliko meseci kasnije, je pokazala veću učestalost hromozomskih aberacija u odnosu analizu neposredno po dolasku iz Kijeva. Obzirom da su u ovom periodu biološki efekti uglavnom bili posledica dejstva radionuklida internu unetih u organizam, doza zračenja procenjena u tom periodu može se smatrati srednjom ekvivalentnom dozom. Vrednosti ekvivalentnih doza su u većini slučajeva nešto veće od prvočitno procenjenih apsorbovanih doza. Izuzetak je jedan slučaj, gde je razlika u proceni bila velika (pri prvoj analizi hromozomske aberacije nisu nadjene, a pet meseci kasnije procenjena ekvivalentna doza iznosila je 558 mSv). Ta činjenica se može objasniti ekstremnom radioosetljivošću uslovljenom genetskom predispozicijom - heterozigotnošću za AT (ataksija telangiiektažija) genski lokus.

Za akcidentalno ozračena lica, kod kojih se biološkom dozimetrijom ustanovi da ne postoji rizik od akućne radijacije bolesti, postoji realan rizik za nastajanje genskih mutacija u genomu somatskih i germinativnih ćelija. Mutacije u somatskim ćelijama mogu povećati rizik za oboljevanje od malignih bolesti. Za evropsku populaciju, procenjeno je da rizik za oboljevanje od malignih bolesti radiogenog porekla iznosi 3.7% - 12.9% po greju, što zavisi od starosne strukture populacije i spontane incidence oboljevanja od karcinoma.

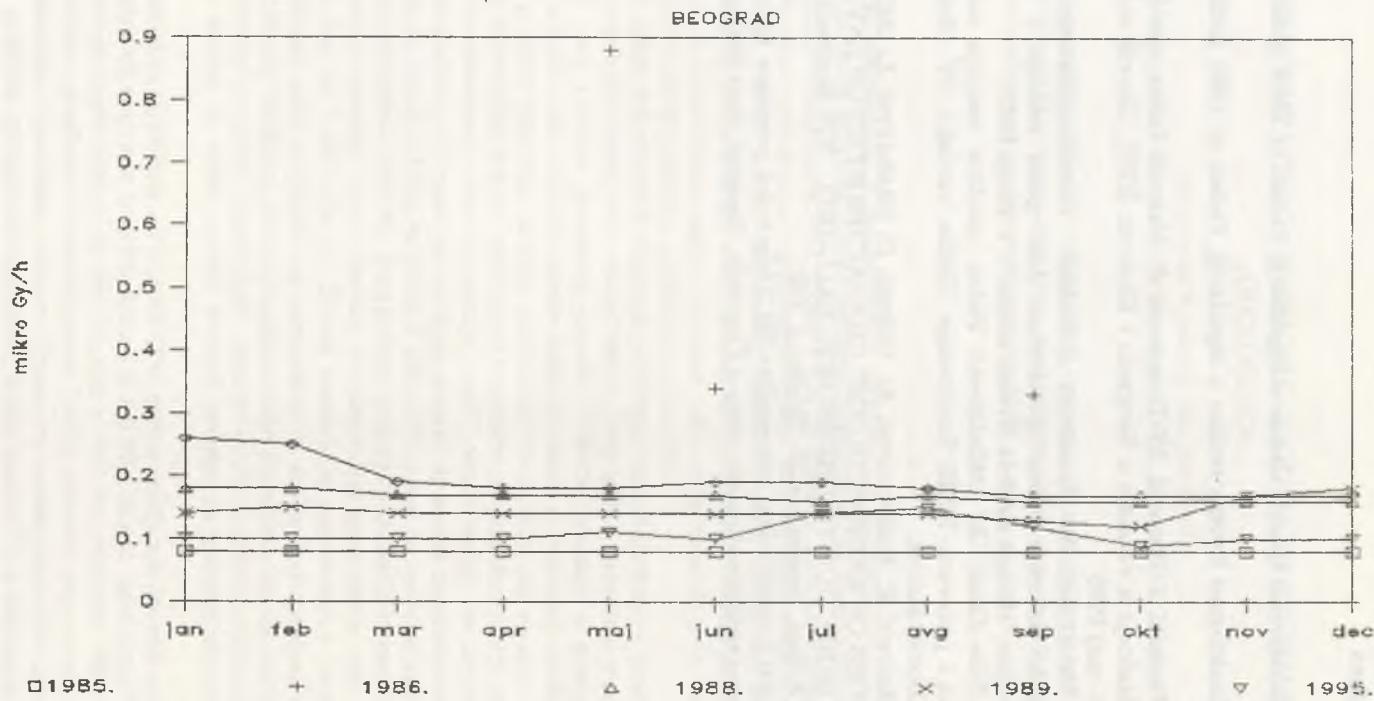
ZAKLJUČAK

U grupi Jugoslovena akcidentalno ozračenih černobiljskim efluentima u Kijevu, procenjene vrednosti jačina apsorbovanih doza iznosile su 93-405 mGy. Iako su radiotoksikološka ispitivanja dokazala prisustvo 131 I, 137 Cs i 103 Ru, biodozimetrijska procena, naročito statistička analiza distribucije hromozomskih aberacija nije ukazivala na mogućnost specifične lokalizacije internu unetih radionuklida. Procenjene vrednosti jačina apsorbovanih doza akcidentalno ozračenih lica nisu ukazivala na mogućnost oboljevanja od radijacije bolesti, ali predstavljaju realan rizik za nastajanje novih genskih mutacija u genomu somatskih i germinativnih ćelija.

LITERATURA

1. Lloyd D.C., and Edwards A.A. Biological Dosimetry After Radiation Accidents, in Chromosomal Aberrations- Basic and Applied aspects (Obe, G. and Natarajan A.T., eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989, pp.213-223.
2. IAEA. Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment. Technical Report No 260, International Atomic Agency, Vienna, 1986.

GRAFIK 2: Jačina apsorbovane doze u vazduhu



Literatura

1. Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji, Podaci za 1985. godinu ; Beograd 1987.
2. Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji, Podaci za 1986. godinu; Beograd 1989.
3. *G. Pantelić, I. Petrović, M. Tomašević, B. Vulević*: Jačina apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu u Beogradu i Kladovu; JDZZ, Zbornik radova, Bečići 245–26. maj 1995.
4. *O. Marinović, M. Tomašević, D. Košutić*: Termoluminiscentni dozimetri i sistematsko merenje jačine apsorbovane doze gama zračenja u vazduhu; II Simpozijum "Hemija i zaštita životne sredine", V.Banja 1993.
5. *J. Žeba-Đurić, M. Miladinović*: Prikaz rezultata merenja radioaktivnosti vazduha i padavina; XXIII Savetovanje "Zaštita vazduha '94", Beograd 21–23 1995,Zbornik radova
6. *R. Bmović, R. Radovanović, M. Vukotić, D. Hajduković, Lj. Mijatović*: THE CHANGES OF RADIOECOLOGIC CHARACTERISTICS OF ENVIRONMENT IN SR SRBIA DUE TO CHERNOBYL FALL-OUT, XIV Regional Congress of IRPA, Kupari, Septembar 29–Oktobar 2, 1987.
7. Izveštaj o ozračivanju stanovništva SR Srbije usled povećane radioaktivnosti u čovekovoj sredini nakon akcidenta u Černobilu, Beograd, mart 1988.godine

BIODIVERZITET I RADIOEKOLOGIJA U USLOVIMA AKCIDENTA

Slobodanka Stanković, Ana Stanković

Institut za primenu nuklearne energije, INEP, Banatska 31b, Zemun

U radu su revijalno prikazani naši rezultati o kontaminaciji usled akcidenta nuklearne elektrane u Černobilju ^{134}Cs i ^{137}Cs hrane, stočne hrane, bioindikatora: gljiva, mesa divljači i lišaja. Posebno je naglašen odnos biodiverziteta prema usvajanju radionuklida.

UVOD

Važnost biodiverziteta u radioekološkim istraživanjima, posebno sagledavajući posledice černobiljskog akcidenta, istaknuta je na konferenciji Ujedinjenih nacija za čovekovu sredinu i razvoj (UNCED), koja je održana juna 1992. godine u Rio de Žaneiru. Tada je objavljeno da se pod pojmom biodiverzitet podrazumeva: "raznovrsnost između živih organizama svih vrsta, uključujući kopnene, morske i druge vodene ekosisteme i ekološke sisteme čiji su oni deo, uključujući raznovrsnost između vrsta, između vrsta i ekosistema" [1]. Definicija biodiverziteta uključuje sve organizme koji su jednim delom važni, a ne samo opšte važne vrste. Na ovaj način cilj zaštite prirodne okoline mora biti utemeljen na biološkom diverzitetu.

U cilju zaštite svih ekoloških sistema tj. populacije i manjih područja u jednoj oblasti mora se izvršiti procena individualnog nivoa radioaktivnosti. Zbog velikog diverziteta organizama čak i u maloj oblasti ovaj problem predstavlja izuzetnu teškoću, ponekad i nemogućnost, zbog identifikacije kritičnih vrsta i njihovih staništa. Jedan od načina je definisanje srodnih organizama kao što je na pr. izbor biljke koja na sličan način usvaja radionuklide, kao na primer trava, drveće itd. Pri izboru ovakve biljke mora se voditi računa o različitim nivoima akumulacije radionuklida.

U nekim situacijama, vrste koje postoje u nekoj oblasti moraju biti identifikovane kao i njihov uticaj na okolinu na isti način kao i za ljude, mora se uspostaviti raspoloživa metodologija da se doza poveže sa rizikom. Pošto su podaci o riziku retki mogu se uporediti izračunate doze sa efektima ekspozicije biljaka i životinja. Tako godišnja doza od 0.4 Gy može se smatrati dozvoljenom jer ne prouzrokuje oštećenja biljaka i životinja. Uz maksimalne mere opreza može se predložiti i niža godišnja doza od 1-100 mGy [1]. U svim dosadašnjim razmatranjima uticaja jonizujućih zračenja na okolinu uvek se polazilo od pretpostavke da ako su ljudi zaštićeni, druge vrste će takodje biti zaštićene. Međutim, poslednjih godina efekat jonizujućih zračenja na biljni svet mora se isključivo odnositi na zaštitu samih biljaka. Mora se razviti kvantitativni kriterijum, baziran na pojedinačnim dozama za zaštitu okoline koristeći podatke za hroničnu ekspoziciju biljaka i životinja.

Černobiljskim akcidentom od 26.aprila 1986. godine zemlje van Sovjetskog Saveza primile su više radiocezijuma nego sam Sovjetski Savez. Od 150 PBq ukupno emitovanog ^{134}Cs i ^{137}Cs u Sovjetskom Savezu deponovano je 45 PBq [2], dok je veći deo aktivnosti ^{90}Sr i transuranskih elemenata zadržan u granicama Sovjetskog Saveza. Većina aktivnosti deponovana je uglavnom u centralnim, severnim i jugoistočnim delovima Evrope i to na rastojanju 2000 km od Černobilja. Uporedjujući padavine od testiranja nuklearnog oružja ukupni ^{137}Cs oslobođen černobiljskim akcidentom bio je za red veličine manji [3]. Međutim, radioekološki uticaj ^{137}Cs černobiljskog porekla bio je 30% od ^{137}Cs koji je nastao kao rezultat nuklearnih proba. Ovo je posledica činjenice

da je černobiljska aktivnost deponovana u gusto naseljenim područjima sa relativno visokom poljoprivrednom proizvodnjom, dok su ukupne padavine koje potiču od nuklearnih proba raspoređene na veća prostranstva i značajne količine su pale u svetska mora.

Poljoprivreda, posebno animalna proizvodnja, bazirana na korišćenju prirodne i delimično prirodne okoline, je posebno zavisna od količine i vrste padavina, a samim tim i od kontaminacije radionuklidima. Problemi mogu biti evidentni godinama i u nekim sredinama kao što su zemlje Severne Evrope gde je potrebno sprovoditi protiv mere da bi se obezbedili prihvatljivi nivoi radiocezijuma u animalnoj proizvodnji. U suprotnom, moraju se dati preporuke za ishranu.

Sprovodenje protiv mera u Švedskoj, na primer, odnose se na primene cezijum vezujućih jedinjenja koja u svom sastavu imaju atome ili jone silicijuma, aluminijuma, kiseonika, hidroksilnih grupa, magncijuma i gvožđa. Gubitkom vezanih jonova kao na primer Na, K, Ca, Mg, H minerali gline imaju sposobnost izmene jonova na primer radiocezijuma iz okolnog rastvora. Medju ovim jedinjenjima koriste se: montmorilonit, zeoliti, amonijum heksacijanid i obično se primenjuju u koncentraciji od 5-10% nekoliko nedelja pre klanja životinja. Na primer, pri davanju 3g dnevno amonijum heksaferocijanida kravama nivo radiocezijuma u mleku se smanji od oko 250 Bq/l na oko 40 Bq/l [4]. Ove mere se takođe primenjuju za zaštitu zemljišta korišćenjem fertilizacije kao jonoizmenjivačke metode za smanjenje nivoa aktivnosti radiocezijuma. Šumsko zemljište je posebno ugroženo od depozicije radionuklida, mnogo više nego obradivo. Šuma je relevantna jedinica za merenje kvalitetu okoline, pre nego individualno drveće. Za ljudе, naravno, zaštita pojedinaca je preovladajuća filozofija. Usvojena radijaciono zaštitna godišnja mera je 1 mSv za ljudе [5], što obezbeđuje dovoljnu zaštitu individualaca. Postavlja se pitanje da li su nama potrebni specifični standardi radijacione zaštite za biljke i životinje u prirodnjoj sredini? I to kao dodatak kriterijumu koji je uspostavljen za ljudе, što je razumljivo, jer izvesni organizmi mogu primiti i više doze nego ljudи. Ljudska populacija ima moralnu obavezu i praktičnu potrebu da zaštitи druge vrste sa kojima sudjeluje u ograničenoj biosferi. Kvalitet ljudske egzistencije je direktnо ili indirektnо zavisан od zdravlјa i vitalnosti okoline, a na ovaj način od većine biljaka i životinja.

U ovom radu pokušali smo da ukažemo koliko su nivoi aktivnosti dugoživećih radionuklida najviše zastupljenih u černobiljskom akcidentu, ^{137}Cs i ^{134}Cs , zavisni od biološke raznovrsnosti. Taj biološki diverzitet sagledava se kroz revijalni prikaz naših rezultata nivoa aktivnosti radiocezijuma u hrani, stočnoj hrani, šumskom rastinju i šumskim plodovima.

MATERIJAL I METODE

Svi analizirani uzorci hrane, stočne hrane, lekovitog bilja i indikatorskih vrsta: gljiva, mesa divljači i lišaja potiču sa domaćeg terena, a znatno manji deo uzoraka je uvezen u našu zemlju. Svi uzorci su sakupljani neposredno posle akcidenta i rezultati koji su prikazani odnose se samo na prvi nekoliko godina koje slede akcident, mada se radioaktivnost ovih uzoraka i dalje prati i kontroliše. Uzorci su homogenizovani i nativni mereni u Marinelli posudama metodom spektrometrije gama zračenja na ORTEC-CANBERRA gamaspektrometru sa 8192 kanala, rezolucije 6,8% za ^{137}Cs i efikasnosti 8,7%.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja su prikazani tabelarno i grafički po vrsti uzoraka, kao srednje vrednosti od najmanje šest merenja. U Tabeli 3. prikazane su i neke maksimalne vrednosti radi poređenja.

U Tabeli 1. prikazane su vrednosti za nivo aktivnosti u mesu: junećem, svinjskom i ovčjem. Analizirajući srednje vrednosti uzoraka mesa očigledno je da je najviši nivo ^{134}Cs i ^{137}Cs u uzorcima ovčjeg mesa, zbog načina ishrane ovaca pretežno zelenom kabastom hranom [6]. Maksimalno izmerene vrednosti radiocezijuma ovčjeg mesa iz Istočne Srbije u julu 1986. godine iznosile su 2000 Bq/kg, dok su maksimalno izmerene vrednosti junećeg mesa za isti period iznosile 350 Bq/kg.

Tabela 1. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u mesu u [Bq/kg]

UZO-RAK	1986. I	1986. II	1987. I	1987. II	1988. I	1988. II	1989. I	1989. II	1990. I
juneće meso	176±18	32±3	77±8	59±6	20±2	21±2	10±1	6±1	6±1
svinjsko meso	159±16	15±2	87±9	40±4	35±4	16±2	8±1	7±1	6±1
ovčije meso	537±50	50±5	185±18	63±6	40±4	10±1	10±1	5±1	10±1

Tabela 2. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u mleku i siru u [Bq/kg]

UZO-RAK	1986. I	1986. II	1987. I	1987. II	1988. I	1988. II	1989. I	1989. II	1990. I	1990. II	1991. I	1991. II
mleko	292±30	15±2	25±3	13±2	15±2	---	5±1	5±1	4±1	4±1	5±1	4±1
mleko u prahu	---	---	301±30	219±22	68±7	27±3	13±1	12±1	19±2	10±1	8±1	15±2
kravljji sir	---	23±2	18±2	21±2	17±2	9±1	6±1	5±1	6±1	6±1	4±1	4±1
ovčji sir	---	26±3	56±6	26±3	14±1	10±1	6±1	4±1	5±1	5±1	4±1	5±1

Tabela 3. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u stočnoj hrani u [Bq/kg]

UZORAK	1986.	1987.	1988.	1989.
lucerka	max 1920±606 262 ±89	93±9	---	26±3
lucerkino brašno	max 6234 2886±960	141±85	32±3	17±3
uljana repica	165±36	711±361	---	---
koncentrat za piliće	18±8	---	35±17	10±3
koncentrat za svinje	10±1	---	21±15	12±3
koncentrat za goveda	6±1	---	27±15	12±3
suvi repini rezanci	84±8	23±15	---	---

Tabela 4. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u lekovitom bilju u [Bq/kg]

UZORAK	1986.	1987.	1988.	1989.	1990.	1991.	1992.
sumitates crataegi	1848±190	5579±560	988±100	37±4	23±2	25±3	61±6
cortex frangulae	2795±280	720±72	235±24	135±14	40±4	97±10	71±7
herba asperulae	4190±420	531±53	103±10	153±15	---	---	---
folia fragariae	889±90	125±13	32±3	16±2	---	---	---
folia uvae ursi	2743±270	410±41	56±6	90±9	221±22	---	99±10
folia urtica	1941±190	162±16	142±14	45±5	86±9	---	23±2
flores violae odor.	2710±270	336±34	246±25	31±3	91±9	22±2	53±5

U Tabeli 2. prikazane su vrednosti nivoa aktivnosti radiocezijuma u mleku i siru. Očigledno je da su više vrednosti kontaminacije mleka i sira usledile odmah po akcidentu, kasnije je usledila kontaminacija mleka u prahu [6]. Jasno je da je visoki nivo radiocezijuma u stočnoj hrani (Tabela 3.) [7], prouzrokovao kontaminaciju lanca ishrane, što je možda moglo da se potpunije kontroliše i sa više koordinacije određenih službi, znatno umanji.

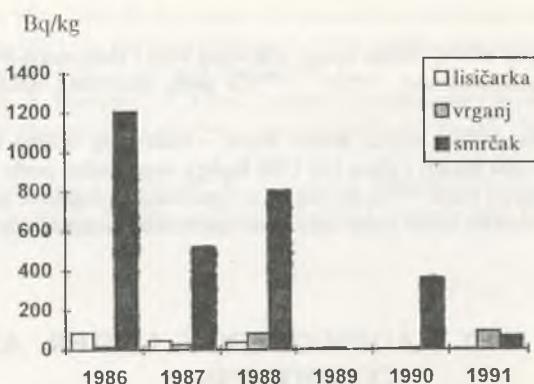
Da bi smo pratili efekat translokacije radiocezijuma iz stočne hrane u organizam životinja hranili smo ovce kontaminiranim senom od 2,2 kBq/kg ^{134}Cs i ^{137}Cs , 30 dana u toku maja-juna 1986. godine. Prateći promene u broju limfocita zaključili smo da nema promena u njihovom ukupnom broju u odnosu na kontrolu, ali je zato broj B-limfocita znatno smanjen, na 250, u poređenju sa 660 kod kontrolne grupe [8].

Lekovito bilje je, takodje, bilo znatno kontaminirano radiocezijumom, (Tabela 4.), kao i sve ostale biljne vrste, što nije zanemarljivo uzimajući u obzir njihovu široku primenu za lečenje mnogih bolesti i u farmaceutskoj industriji. Očigledno je da su maksimalno kontaminirane biljke one, koje su cvetale baš u vreme akcidenta u Černobilju (*sumitates crataegi - glog*) [9].

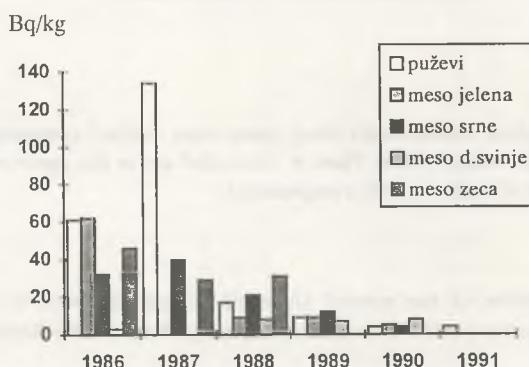
Gljive, kao bioindikatorske vrste i šumski plodovi zadržale su radiocezijum do današnjih dana. Na Sl.1. prikazane su vrednosti samo do 1991. godine, ali se njihova radioaktivnost i dalje prati i zavisna je od vrste i od lokacije [10].

Na Sl.2. prikazani su podaci za nivoe aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u mesu puževa i divljači koji nisu tako visoki u poređenju sa podacima za slične uzorke zemalja Severne Evrope, gde meso srndača sadrži 20 kBq/kg, irvasa 90 kBq/kg, neposredno posle akcidenta u Černobilju [11]. Zbog visoke kontaminacije radiocezijumom, posebno pašnjaka, u zemljama Severne Evrope primenjivane su protiv mere za smanjenje usvajanja radiocezijuma i njegovu depoziciju u tkivima životinja.

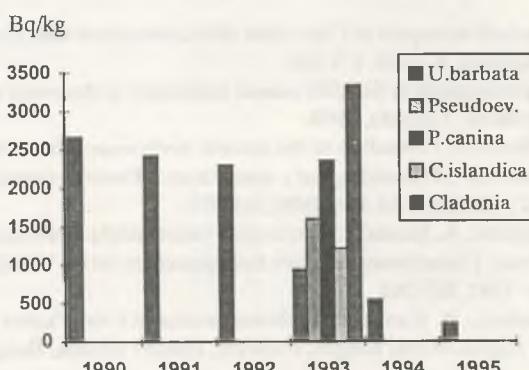
Izraziti primer uticaja biodiverziteta na kontaminaciju radionuklidima je analiza lišaja, kao bioindikatorske vrste, na prisustvo ^{134}Cs i ^{137}Cs (Sl. 3). Depozicija radionuklida u lišajima je omogućena morfofiziološkim karakteristikama (dug život, neodbacivanje starih delova talusa, odsustvo kutikule), što čini ove biljke osetljivim prema radiopolutantima. Ispitujući hemijsku lokalizaciju ^{137}Cs u lišajskoj vrsti *Cetraria islandica* ustanovili smo da je ^{137}Cs u lišaju prisutan kao organska so, da u ovim solima podleže jonskoj izmeni (posebno sa amonijum solima) i da se iz ovih soli može oslobođiti jakim neorganskim kiselinama, ali ne upotpunosti [12].



Sl.1. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u gljivama



Sl.2. Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u puževima i mesu divljaci



Sl.3 Nivo aktivnosti ^{134}Cs i ^{137}Cs u lišajima

ZAKLJUČAK

- Svi ispitivani uzorci hrane, stočne hrane, lekovitog bilja i indikatorskih vrsta: gljiva, mesa divljači i lišaja bili su kontaminirani ^{134}Cs i ^{137}Cs posle akcidenta nuklearne elektrane u Černobilju.

- Najviše su kontaminirani uzorci stočne hrane - lucerkinog brašna (do 6234 Bq/kg) i bioindikatora: lišaja (do 12000 Bq/kg) i gljiva (do 1200 Bq/kg), neposredno posle akcidenta.

- Visoka kontaminacija lišaja ^{137}Cs objašnjava se formiranjem organske soli radiocezijuma u lišaju iz koje se ovaj radionuklid može samo delimično osloboditi jonskom izmenom sa amonijum solima.

BIODIVERSITY AND RADIOECOLOGY UNDER ACCIDENTAL CONDITIONS

Slobodanka Stanković, Ana Stanković

ABSTRACT

The food, animal feed, bioindicators (fungi, game meat, lichens) contaminated by ^{134}Cs and ^{137}Cs , after accident of the Nuclear Power Plant in Chernobyl are in this paper reviewed. The impact of biodiversity in the intake of radionuclides is emphasized.

LITERATURA

- [1] G. Johansson, Protection of the natural environment and the need to formulate criteria, Proceedings of a symposium: "Environmental Impact of Radioactive Releases", Vienna, 8-12 May 1995, 569-572.
- [2] A. Aarkrog, Global radiecological impact of nuclear activities in the former Soviet Union, Proceedings of a symposium: "Environmental Impact of Radioactive Releases", Vienna, 8-12 May 1995, 13-32.
- [3] A. Aarkrog, The radiological impact of Chernobyl debris compared with from nuclear weapons fallout, J. Environ. Radioact. 6, 1988, 151-162.
- [4] I. Andersson, Safety precautions in Swedish animal husbandry in the event of nuclear power plant accidents, dissertation, Uppsala, 1989.
- [5] F. W. Whicker, J. S. Bedford, Protection of the natural environment from ionizing radiation, Are specific criteria needed?, Proceedings of a symposium: "Environmental Impact of Radioactive Releases", Vienna, 8-12 May 1995, 561-567.
- [6] S. Stanković, M. Krainčanić, A. Stanković, Izučavanje radionuklida u životnoj sredini nastalih u černobiljskom akcidentu, I Savetovanje društva fizikohemičara Srbije "Fizička hemija 92", Beograd, 7-9. oktobar 1992, 302-303.
- [7] S. Stanković, M. Krainčanić, A. Stanković, Radiokontaminanti u sirovinama i namirnicama biljnog porekla, VIII Jugoslovenski kongres o ishrani, Hrana i ishrana, Beograd, vol.31, br.2-3, 1990, 171-173.
- [8] S. Stanković, M. Krainčanić, Monitoring of radio caesium 134 and 137 in food chain, Radiation Protection Advances in Yugoslavia and Italy, Proceeding of the Italian-Yugoslav Symposium organized by AIRP and YRPA, Udine, 22-24 June 1988, 369-372.
- [9] S. Stanković, M. Krainčanić, A. Stanković, Kontaminacija bilja biološki aktivnim radionuklidima, II Simpozijum hemija i zaštita životne sredine, Vrnjačka banja, 9-13. juni 1993, 585-586.

- [10] S. Stanković, A. Stanković, M. Krainčanić, Komparativno ispitivanje nivoa kontaminacije radiocezijumom 137 i 134 nekih bioindikatora, VII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Beograd-Vinča, 25-28. maj 1993, 65-68.
- [11] B. J. Howard, N. A. Beresford, K. Hove, Transfer of radiocesium to ruminants in natural and semi-natural ecosystems and appropriate countermeasures, *Health Physics*, vol.61, No.6, 1991, 715-725.
- [12] O. Nedić, A. Stanković, S. Stanković, M. Krainčanić, Chemical localization of ^{137}Cs in the lichen *Cetraria islandica*, *Archives of Environmental Contamin. and Toxicology*, vol.29, No. 3, 1995, 380-383.

MODELI PROGNOZE RADIONUKLIDA ^{137}Cs ZA MLEKO I MESO U VANREDNOM DOGAĐAJU

Branislav Petrović¹, Radosav Mitrović¹, Ranko Kljajić²

¹Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd

²Naučni institut za veterinarstvo "Novi Sad", Novi Sad

Kratak sadržaj: U radu je data instrukcija za korišćenje modela prognoze nivoa aktivnosti ^{137}Cs u mleku (PNAML), govedem i ovčijem mesu (PNAMEb) i junećem, jagnjećem, svinjskom i živinskom mesu (PNAMEC), koji je zasnovan na faktorima transfera razrađenim od strane Ekspertske grupe za radijacionu zaštitu u biotehnologiji pri Saveznom ministarstvu za poljoprivredu.

UVOD

U slučaju nastanka vanrednog radijacionog događaja određenog stepena i obima, odmah se ukazuje urgentna potreba da se utvrdi radijacioni rizik za stanovništvo, pri čemu dominantnu ulogu čine namirnice životinjskog porekla (mleko, meso i njihove prerađevine), pošto je poznato da preko 80% radijacionog opterećenja organizma ljudi vodi poreklo alimentarnim putem.[3] Procena radijacionog rizika humane populacije, koji vodi poreklo od navedenih namirnica može se izvršiti ukoliko se poznaju vrednosti za faktore transfera (TF), pošto transfer radionuklida u ciklusu stočne proizvodnje opisuje prelaz radionuklida iz stočne hrane u mleko i meso, pri čemu se polazi od pretpostavke da je koncentracija jednog radionuklida u organizmu proporcionalna dnevnom unošenju tog radionuklida. U razradi ove problematike u našoj zemlji je bila angažovana "Ekspertska grupa za radijacionu zaštitu u biotehnologiji" Saveznom ministarstvu za poljoprivredu, čiji članovi su i autori ovog rada. Tako je Ekspertska grupa, na osnovu rezultata merenja radioaktivnosti uzoraka iz životne sredine, izvršenih u vreme akutne radijacione situacije 1986. godine, kao i na osnovu izvršenih ogleda od strane domaćih istraživača na preko 300 muznih krava [1,3], odnosno na osnovu poznavanja metabolizma radionuklida ^{137}Cs u organizmu različitih uzgojnih kategorija domaćih životinja, kao i na osnovu izvršenih sopstvenih proračuna, došla do vrednosti faktora transfera (TF) za sledeće odnose:

a) za odnos stočna hrana-mleko i mlečni proizvodi:

$$TF_{ml}=0.011$$

b) za odnos stočna hrana-govede i ovčije meso:

$$TF_{mg}=0.013$$

c) za odnos stočna hrana -juneće, jagnjeće, svinjsko i živinsko meso:

$$TF_{mj}=0.086$$

Ovde je neophodno da se ima u vidu način ishrane pojedinih vrsta i kategorija životinja, jer se za TF_{ml} i TF_{mg} radi o životinjam sa dominantnom pašnom ishranom, dok se za TF_{mj} radi o polupašnim životinjskim vrstama ili onima kod kojih je isključivo stajska ishrana [3].

MODELI PROGNOZE

Na osnovu utvrđenih faktora transfera za pojedine vrste i proizvodne kategorije životinja, u slučaju nastanka vanrednog radijacionog događaja, može se vrlo brzo doći do prognoze nivoa aktivnosti u mleku i mesu [1,2,3,4].

U tom cilju je neophodno da se odmah izvrši radiometrijska analiza ukupnog dnevног obroka stočne hrane i vode za napajanje životinja i to:

- za pašne i polupašne životinje:
zelena masa+suva kabasta hrana+koncentrovana hrana
- za životinjske vrste sa isključivo stajskom ishranom:
koncentrovana stočna hrana (krmna smeš za ishranu odgovarajuće vrste i proizvodne kategorije životinja).

Prema tome, ustanovljena su tri modela prognoze nivoa aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u namirnicama životinjskog porekla u slučaju nastanka vanrednog radijacionog događaja, a to su PNAML (za mleko) i PNAMEb i PNAMEc (meso):

$$\text{Model prognoze za mleko: } \text{PNAML} = \text{Ash} \times \text{TFml}$$

$$\begin{aligned} \text{Model prognoze za meso: } & \text{PNAMEb} = \text{Ash} \times \text{TFmg}, \\ & \text{PNAMEc} = \text{Ash} \times \text{TFmj} \end{aligned}$$

gde je Ash = nivo aktivnosti ^{137}Cs u stočnoj hrani (ukupnom dnevnom obroku hrane).

ZAKLJUČAK

U slučaju nastanka vanrednog radijacionog događaja širokih razmara, postoji mogućnost da se u fazi hronične radijacione situacije, odnosno po isteku tzv. "jodne faze", vrlo brzo dođe do predvidivih nivoa aktivnosti radioaktivnog cezijuma ($^{134+137}\text{Cs}$) u namirnicama životinjskog porekla (mleko, meso) a uz korišćenje modela prognoze PNAML, PNAMEb i PNAMEc, što daje mogućnost da se primene određene mere radijacione zaštite stočne proizvodnje i dobijanje namirnica životinjskog porekla koje mogu da budu upotrebljene za konzum stanovništva.

LITERATURA

- [1] Mitrović R., Petrović B., Kljajić R., Vuković Dubravka: *Prognoza nivoa aktivnosti radioaktivnog cezijuma u mleku i mesu u vanrednom radijacionom dogadaju*, Prehrambena industrija 5/6 (1-2), 20-22, 1994/95.
- [2] Mitrović R., Petrović B., Kljajić R., Erdeljan D., Ginda N.: *Procena radijacionog opterećenja namirnica životinjskog porekla radionuklidom ^{137}Cs u vanrednom dogadaju*, Tehnologija mesa 36 (2-3), 248-251, 1995.
- [3] Petrović B., Mitrović R.: *Dovoljeni nivoi aktivnosti radionuklida ^{137}Cs i ^{90}Sr u hrani za životinje različitih smerova govedarske proizvodnje*, XV Yu.Simp. JDZZ, Zbornik radova, Vol.1, 24-27, Priština, 1990.
- [4] Petrović B., Mitrović R., Kljajić R.: *Faktori transfera radionuklida ^{137}Cs u lancu hrane*, Biotehnologija u stočarstvu, 10 (3-4), 97-100, 1994.

**PROGNOSTIC MODELS OF RADIONUCLIDE ^{137}Cs FOR MILK
AND MEAT IN EMERGENCY SITUATIONS**

Branislav Petrović, Radosav Mitrović, Ranko Kljajić

Abstract - The paper provides instructions for utilization of models for prognosis of ^{137}Cs activity levels in milk, beef and mutton, heifer's meat, lamb's meat, pork and poultry meat, based on transfer factors established by the Expert group for radiation protection in biotechnology from the Federal Ministry of Agriculture.

REZULTATI ANALIZE RADIOAKTIVNOG CEZIJUMA ($^{134,137}\text{Cs}$) U BIOTEHNIČKOJ PROIZVODNJI ZA PERIOD 1985-1995. GODINA

Radosav Mitrović¹, Ranko Kljajić², Branislav Petrović¹, Dubravka Vuković¹

¹Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Beograd

²Naučni institut za veterinarstvo "Novi Sad", Novi Sad

Kratak sadržaj: Izloženi su rezultati radiometrijske kontrole predmeta veterinarsko-sanitarnog i fito-sanitarnog nadzora u protekloj deceniji (1985-1995.), koji su ostvareni od strane biotehničkih stručnjaka. Prezentirani rezultati se odnose na radioaktivni cezijum u relevantnim uzorcima lanca hrane u predakcidentalnom i postakcidentalnom periodu. Stoga u vezi istaknuta je značajna uloga biotehničkih stručnjaka u radijacionoj zaštiti humane populacije.

OPŠTI OSVRT

Organizovana radiometrijska kontrola predmeta veterinarsko-sanitarnog nadzora (VSN) i fito-sanitarnog nadzora (FSN) iz uvoza, otpočela je 1976. godine na 12 graničnih prelaza u SFRJ i trajala je punih 15 godina, odnosno do 1990. godine. U tom periodu izvršeno je preko 20 000 indikatorskih merenja predmeta VSN i FSN, kao i veliki broj gamaspektrometrijskih analiza na Veterinarskim fakultetima u Beogradu i Sarajevu, pri čemu je utvrđeno da značajan doprinos radijacionom opterećenju stočne proizvodnje dolazi od ^{137}Cs koji je bio prisutan u ribljem brašnu iz uvoza, uglavnom iz zemalja Latinske Amerike.

Posle nuklearne katastrofe 1986. godine u našoj zemlji je vršena radiometrijska kontrola VSN i FSN, kao i poljoprivredne proizvodnje i životne sredine u celini. Od strane doinačih autora [1,2,3,4,5] takođe je dat značajan doprinos, što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati radiometrijske kontrole radionuklida $^{134+137}\text{Cs}$ u biljnim proizvodima za period maj-juli 1986

Poreklo i vrsta uzorka	Nivo aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}(\text{Bq/kg})$
Trava	22 - 200
Povrće i voće	15 - 200
Spanać	207
Kupus	162
Luk	72
Razno povrće	10 - 4200
Raž	172

Isto tako, od strane Saveznog sekretarijata za poljoprivredu na sastanku Međunarodnog ureda OIE u Parizu 1986. godine, prikazani su rezultati radiometrijske kontrole namirnica životinjskog porekla za period 1.5.-1.8.1986. godine, što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati radiometrijske kontrole radionuklida $^{134+137}\text{Cs}$ u stočnim proizvodima za period maj-juli 1986.godine.

Vrsta namirnica	Nivo aktivnosti $^{134+137}\text{Cs}$ (Bq/kg ili Bq/l)
MLEKO	
kravljie	4 - 366
ovčije	13 - 3980
kozje	9 - 35
MLEČNI PROIZVODI	
mleko u prahu	441 - 4545
kiselo mleko	10 - 287
kravljii sir	255
ovčiji sir	128 - 356
MESO	
govede	2 - 1490
teleće	4 - 60
jagnječe	10 - 680
svinjsko	10 - 34
živinsko	10 - 37

Posle isteka "akutne radijacione situacije" (tzv. "jodna faza"), praćenje "hronične radijacione situacije" se svodilo na merenje nivoa aktivnosti samo biološki značajnog radionuklida ^{137}Cs .

ANALIZA REZULTATA

Rezultati komparativne analize nivoa aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u životnoj sredini, stočnoj hrani i nekim namirnicama biljnog i životinjskog porekla u periodu 1984-1988. godine prikazani su u tabeli 3., pri čemu se vidi da je nivo aktivnosti ^{137}Cs u ispitivanim uzorcima ostao još uvek na nešto višem nivou u odnosu na nulto stanje iz 1984 godine, tj. pre Černobiljskog udesa. Međutim, migracija ^{137}Cs iz tla u biljke putem njihovog koreninskog sistema u postakcidentalnom periodu nije usledila kao što se očekivalo, zbog hemijskog oblika radionuklida ^{137}Cs nastalog u toku nuklearnog akcidenta, koji kao slabo rastvorljiv nije bio resorptibilan za biljke.

Tabela 3. Komparativni prikaz nivoa aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u životnoj sredini i biljnim proizvodima u istočnoj Srbiji u periodu 1984-1988.

Poreklo uzorka	Nivo aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg)	
	1984	1988
ŽIVOTNA SREDINA		
zemlja	10 - 60	40 - 110
STOČNA HRANA		
trava	10 - 20	10 - 40
seno	20 - 40	20 - 60
NAMIRNICE BILJNOG POREKLA		
pšenica	10	10 - 15
kukuruz	10	10 - 15
krompir	10	10 - 20

Tokom perioda 1988-1995. godine analiziran je veći broj uzoraka namirnica biljnog i životinjskog porekla, kao i stočne hrane metodom gammaskopometrije (sistem ORTEC-USA, tip GEM-25, sa kompletom pripadajućom opremom), što je za period 1990-1995. godine prikazano u tabeli 4. Ovi rezultati pokazuju da je u navedenom periodu nivo aktivnosti biološki značajnog radionuklida ^{137}Cs bio ispod 1 Bq/kg svežeg uzorka, što se može označiti kao najniži nivo aktivnosti, odnosno kao "nulto stanje".

Tabela 4. Komparativni prikaz nivoa aktivnosti radionuklida ^{137}Cs u uzorcima animalnih proizvoda i stočne hrane za period 1990-1995.

Vrsta uzorka	Nivo aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg ili Bq/l)					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
MESO						
govede	< 1 - 41	< 1 - 7	< 1 - 1,5	< 1	< 1	< 1
juneće	< 1	< 1 - 2	< 1	< 1	< 1	< 1
ovčje	-	< 1 - 4	< 1 - 1,2	-	-	-
jagnjeće	< 1 - 1,4	< 1 - 1,4	< 1 - 1,2	< 1 - 1,2	< 1 - 2,2	-
svinjsko	< 1	< 1 - 1,8	< 1	< 1 - 1,2	< 1 - 1,1	-
pileće	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
proizvodi od mesa	< 1 - 2,2	< 1	< 1 - 1	< 1	< 1	< 1
MLEKO						
kravlje	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
mlečni	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
proizvodi						
mleko u prahu	< 1 - 1,3	< 1 - 2	< 1	< 1 - 12	< 1 - 26	< 1 - 20
RIBA	< 1	< 1	< 1 - 1,3	< 1 - 1,2	< 1	< 1 - 9,7
STOČNA HRANA						
pšenica	-	< 1	-	-	< 1	< 1
kukuruz	-	< 1	-	< 1	< 1	< 1
ječam	-	< 1	-	-	< 1	-
brašno od lucerke	-	< 1	-	-	< 1	-
sojina sačma	-	< 1	-	-	< 1 - 3	< 1 - 1,8
suncokretova sačma	-	< 1	-	-	-	< 1
riblje brašno	-	-	-	< 1 - 21	< 1 - 7,5	< 1 - 1

Na osnovu izloženih rezultata gama spektrometrijskih analiza predmeta VSN i FSN obavljenih u periodu 1985-1995. godine može se izvesti sledeći

ZAKLJUČAK

- Biotehnički stručnjaci su učinili velike napore da u periodu "akutne radijacione situacije" doprinesu zaštiti poljoprivredne proizvodnje od radioaktivnog zagadenja posle nuklearnog udesa veoma širokih razmara, kakva je bila radioekološka katastrofa 1986. godine i njene posledice.
- U toku 4. godišnjeg perioda "hronične radijacione situacije" koji je trajao od jeseni 1986. godine do kraja 1990. godine, nivo aktivnosti biološki značajnog radionuklida ^{137}Cs je iz godine

u godinu progresivno opadao u životnoj sredini i lancu hrane u našoj zemlji, tako da bi moglo da se konstatiše da je od početka 1991. godine postao blizak nivou od pre 1986. godine, odnosno "nultom stanju".

3. Nivoi aktivnosti radionuklida ^{137}Cs počev od 1992. godine u ispitivanim uzorcima biljne proizvodnje pokazuju da je aktivnost ovog radionuklida za najmanje 2-3 puta niža od limita koji je predviđen međunarodnim normama i koji je usvojen našom zakonskom regulativom.

LITERATURA

- [1] Kljajić R. i sar.: *Nivoi aktivnosti životnih namirnica nakon akcidenta u nuklearnoj elektrani Černobilj*; Zbornik radova II Savetovanja JDZZ, Kragujevac, 93-104, 1986.
- [2] Jakovljević D., Petrović B. i sar.: *Ezposition des animaux et des produits d'origine animale aux radiations: surveillance? contrôle du traphic sur le plan nationale et internationale*, Rev. sci. tech. off. int. Epiz., 7(1), 173-177, 1988.
- [3] Bikit I. i sar.: *Koncentracija aktivnosti radionuklida u hrani na teritoriji SAP Vojvodine i procena doze koju je primilo stanovništvo nakon akcidenta u Černobilju*; Zbornik radova II Savetovanja JDZZ, Kragujevac, 79-83, 1986.
- [4] Djurić G., Petrović B. i sar.: *Organizacija rada u laboratoriji za radijacionu higijenu Katedre za radiologiju i radijacionu higijenu Veterinarskog fakulteta u Beogradu posle nuklearnog udesa "Černobilj 86"*; Zbornik radova II savetovanje JDZZ, Kragujevac, 169-174, 1986.
- [5] Mitrović R., Petrović B. i sar.: *Analiza aktuelne radijacije u lancu hrane za životinje na teritoriji regiona Zaječar*; Čovek i životna sredina 14 (4-5), 141-144, 1989.

RESULTS OF ANALYSIS OF RADIOACTIVE CESIUM ($^{134,137}\text{Cs}$) IN BIOTECHNICAL PRODUCTION DURING THE PERIOD FROM 1985 TO 1995

Radosav Mitrović, Ranko Kljajić, Branislav Petrović, Dubravka Vuković

Abstract - Results achieved by biotechnical experts in radiometric control of subjects under veterinary-sanitary and phyto-sanitary supervision during the past decade (from 1985 to 1995), are presented. These results refer to radioactive cesium in relevant samples of the food chain during preaccidental, accidental and postaccidental periods. In connection with this, the significant role of biotechnical experts was emphasized in radiation protection of the human population.

BIODOZIMETRIJA AKCIDENTALNO OZRAČENIH LICA ČERNOBILJSKIM EFLUENTIMA

Gordana Joksić

Institut za nuklearne nauke "Vinča", p. fah 522, Centar za medicinsku zaštitu

SADRŽAJ: U radu su prikazani rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija kod dve grupe Jugoslovena, koje su se u vreme černobiljskog akcidenta nalazile u Kijevu i Zlobinu. U grupi iz Zlobina hromozomske aberacije nisu nadjene, što je potvrdilo da u kritičnom periodu jedne faze akcidenta, ova grupa nije bila izložena dejstvu ionizujućeg zračenja. U grupi turista iz Kijeva, hromozomske aberacije karakteristične za dejstvo ionizujućeg zračenja su nadjene u više od polovine. Procenjene vrednosti apsorbovanih doza ionizujućeg zračenja u ovoj grupi iznosile su 93-405 mGy. Vrednosti ekvivalentnih doza bile su nešto veće (93-550 mSv), što je posledica produženog izlaganja zračenju usled interne kontaminacije černobiljskim efluentima.

UVOD

Već više od 25 godina, učestalost hromozomskih aberacija, naročito dicentrika, koristi se kao biološki dozimetar za procenu apsorbovanih doza zračenja prilikom akcidentalnih ozračivanja izvorima ionizujućeg zračenja. Tehnika je razvijena kao rutinska metoda u radiološkoj zaštiti, jer predstavlja najsenzitivniji metod merenja ekspozicije zračenju [1] i nezamenljiv dodatak metodama fizičke dozimetrije u proceni apsorbovanih doza ionizujućeg zračenja.

Iako se analiza hromozomskih aberacija može uraditi iz svih ćelija u proliferaciji (fibroblasta kože, kostne srži), limfociti periferne krvi su najdostupniji i najpogodniji za biološku dozimetriju iz više razloga: jedan od najvažnijih je da in vivo ili in vitro ozračivanje limfocita producuje identičnu učestalost hromozomskih aberacija po jedinici doze. Pored toga, gotovo 80% limfocita pripada redistribucionom rezervoaru (recirkulirajući limfociti), koji povremeno izlaze iz cirkulacije, prolaze kroz slezinu, limfne žlezde i ostala tkiva, a zatim se u cirkulaciju ponovo vraćaju. Na taj način, limfociti su kao mali biološki dozimetri, raspoređeni svuda po telu, te se analizom uzorka venske krvi mogu detektovati limfociti ozračeni u bilo kom delu tela. Većina humanih limfocita u organizmu nalazi se u presintetskoj fazi ćelijskog ciklusa što ovim ćelijama na neki način omogućava da memorišu radiaciona oštećenja onoliko dugo koliki im je životni vek.

Procena apsorbovanih doza analizom hromozomskih aberacija vrši se na osnovu kalibracionih in vitro odgovora humanih limfocita na poznate doze ionizujućeg zračenja, pri čemu se procenjena doza odnosi na celo telo. In vitro dozni odgovor humanih limfocita (hromozomski i mikronukleusni) definisan je linearno-kvadratnom matematičkom funkcijom. U publikaciji 260 Međunarodne atomske agencije [2], data je detaljna klasifikacija hromozomskih aberacija, laboratorijske procedure dobijanja i analize metafaznih hromozoma, kao i matematički modeli za obradu dobijenih eksperimentalnih rezultata.

Iskustvo u biodozimetrijskoj proceni više od 1000 slučajeva potvrđenih ili suspektnih akcidentalnih ozračivanja širom sveta, pokazala su da su akcidentalna ozračivanja uglavnom neuniformna, vrlo često u uslovima prođenog izlaganja zračenju. Prođeno ozračivanje indukuje nižu učestalost hromozomskih aberacija u poređenju sa standardnom kalibracijom. Za procenu doza u slučajevima prođenog izlaganja zračenju koriste se korekcioni koeficijenti, koji predstavljaju vremenski zavisnu funkciju, značajno redukuju kvadratni koeficijent, čime se postiže maksimalna preciznost biodozimetrijske procene. Neuniformnost ozračivanja takođe može značajno da utiče na sigurnost biodozimetrijske procene, u smislu da se apsorbovana doza može podceniti ili preceniti. Kod neuniformnih ozračivanja, koja ipak obuhvataju značajan volumen tkiva, biće ozračen dovoljan broj limfocita, čijom analizom se može odrediti učestalost i distribucija hromozomskih aberacija. Jedna od posledica distribucije energije prilikom prolaska nakelektrisanih čestica različitog LET-a (linearnog transfera energije) je distribucija hromozomskih aberacija u limfocitima periferne krvi. Kod zračenja niskog LET-a, pojedinačne jonizacije na jonizacionim putanjama će se rasporediti između ćelija po principu slučajnosti. Pod pretpostavkom da svako DNK oštećenje ima podjednaku šansu da formira hromozomska aberciju, i hromozomske aberacije će biti rasporedjene između ćelija po principu slučajnosti. Eksperimentalno je dokazano da učestalost hromozomskih aberacija nakon delovanja X i gama zračenja prati Poasonovu raspodelu. U uslovima neuniformnog ozračivanja, statistička analiza distribucije hromozomskih aberacija može vrlo precizno da odredi stepen odstupanja u odnosu na Poasonovu raspodelu i odredi depo ozračenih cirkulirajućih limfocita, odnosno volumen ozračenog tkiva. Na taj način se može precizno proceniti apsorbovana doza zračenja i u slučajevima parcijalnih neuniformnih ozračivanja.

Najpreciznije procene apsorbovanih doza ionizujućeg zračenja biodozimetrijskim metodama postižu se u uslovima ozračivanja spoljašnjim izvorima zračenja. Procena može biti manje sigurna kada su u pitanju interne kontaminacije radionuklidima koji se lokalizuju u pojedine organe ili tkiva. Ozračivanje pojedinih organa u organizmu je tada izuzetno neravnometerno, sa dodatnim komplikacijama vezanim za prođeno ozračivanje.

Akcent NE u Černobilju je nesumljivo akcident najvećih razmera, gde je 209 ljudi umrlo od posledica radijacione bolesti, a mnogo ljudi, naročito dece, u najugroženijim regionima Rusije, Belorusije i Ukrajine primilo doze zračenja koje predstavljaju značajnu opasnost po zdravlje. Akcidentalno ozračivanje černobiljskim efluentima bilo je izuzetno kompleksno: prođeno spoljašnje ozračivanje i kontaminacija radionuklidima (spoljašnja i unutrašnja).

Uloga biološke dozimetrije u akcidentima širokih razmera je da pravilno proceni jačinu apsorbovane doze i precizno odredi stepen radijacione ozlede ozračenih lica. Od biološke

procene jačine ekvivalentnih doza direktno zavise klinički postupci u tretmanu akutne radijacione bolesti.

U vreme akcidenta na NE u Černobilju, dve grupe Jugoslovena su se nalazile u Ukrajini: radnici "Komgrapa" na radu u Zlobinu i turisti koji su boravili u Kijevu. Prvih dana maja obe grupe su se vratile u Beograd. Sa beogradskog aerodroma upućeni su u Institut za nuklearne nauke "Vinča", u punkt za humanu dekontaminaciju. Nakon sprovedene dekontaminacije, obavljen je lekarski pregled i analiza hromozomskih aberacija u Institutu za medicinu rada i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Karajović". Rezultati ispitivanja hromozomskih aberacija saopšteni su na XIV jugoslovenskom simpozijumu za zaštitu od zračenja 1987. godine [3].

Biodozimetrijska procena jačina apsorbovanih i ekvivalentnih doza akcidentalno ozračenih Jugoslovena černobiljskim esfluentima prikazani su u ovom radu.

MATERIJAL I METODE

Za analizu hromozomskih aberacija korišćena je modifikovana Moorhaedova mikrometoda za limfocite periferne krvi [4] i konvencionalna citogenetska tehnika analize hromozomskih aberacija. Fiksacija i preparacija limfocitnih kultura vršena je nakon 48 sati inkubacije kultura uključujući tretman kolhicinom poslednja tri sata. Za svakog pacijenta analizirano je 200 limfocita u metafazi prve in vitro ćelijske deobe. Analiza hromozomskih aberacija uradjena je u obe grupe suspektno ozračenih lica: I grupu činilo je 16 gradjevinskih radnika, koji su se u vreme havarije nalazili u Zlobinu; II grupa su bili turisti, koji su u Kijevu boravili od 24.04.-1.05.1986.godine. Kontrolna analiza hromozomskih aberacija u obe grupe suspektno ozračenih lica uradjena je nakon pet meseci.

Procena apsorbovanih doza izvršena je na osnovu in vitro doznog odgovora humanih limfocita za gama zračenje. Za izračunavanje jačina apsorbovanih doza, po preporuci IAEA, za uslove produženog izlaganja zračenju u jednoj fazi akcidenta, korišćena je vrednost eksperimentalno odredjenog linearног koeficijenta iz kalibracije za gama zračenje [5]. Kao kontrolu, za učestalost spontano indukovanih hromozomskih aberacija kod ljudi korišćeni su rezultati ispitivanja iz 1984.godine [6], i podaci iz literature [7].

REZULTATI I DISKUSIJA

U prvoj grupi suspektno ozračenih lica hromozomske aberacije nisu nadjene, što je ukazivalo da u kritičnom periodu jedne faze akcidenta ova grupa nije bila izložena dejstvu

jonizujućeg zračenja. Kontrolna analiza pet meseci kasnije je potvrdila ovaj nalaz. U drugoj ispitivanoj grupi (turisti iz Kijeva), hromozomske aberacije karakteristične za dejstvo ionizujućeg zračenja su nadjene u 8 osoba (više od polovine ispitivanih). Kontrolna analiza, pet meseci kasnije, je pokazala veću učestalost hromozomskih aberacija u više od polovine ozračenih lica, u odnosu na analizu neposredno po dolasku iz Kijeva. Statistička analiza distribucije hromozomskih aberacija nije ukazivala na specifičnu lokalizaciju i inkorporaciju radionuklida u pojedine organe (naročito štitnu žlezdu).

Učestalost hromozomskih aberacija, kao i procenjene vrednosti jačina apsorbovanih i ekvivalentnih doza prikazani su na Tabeli 1.

Tabela 1.

Biodozimetrijska procena jačina apsorbovanih i ekvivalentnih doza u grupi turista akcidentalno ozračenih černobiljskim efluentima

ispitanik	učestalost hromozomskih aberacija po ćeliji	apsorbovana doza (mGy)	učestalost hromozomskih aberacija po ćeliji	ekvivalentna doza (mSv)
1.	-	-	0.03	558
2.	0.015	405	0.01	186
3.	0.005	93	0.01	186
4.	0.005	93	0.005	93
5.	0.005	93	0.01	186
6.	0.005	93	0.01	186
7.	0.01	186	*	*
8.	0.005	93	*	*

* nisu se odazvali kontroli

Procenjene vrednosti jačina apsorbovanih doza ionizujućeg zračenja iznosile su 93-405 mGy, i uglavnom predstavljaju posledicu spoljašnjeg ozračivanja u jednoj fazi akcidenta. Vrednosti apsorbovanih doza nisu ukazivale na mogućnost oboljevanja od radijacione bolesti. Sprovedena dekontaminacija je nesumljivo imala najvažniju ulogu u smanjenju ozračenosti akcidentalno ozračenih lica. radiotoksikološka ispitivanja su potvrdila prisustvo ^{131}J , ^{137}Cs i ^{103}Ru u urinu akcidentalno ozračenih lica (aktivnost ^{131}J iznosila je 8.2-77 Bq/lit, ^{137}Cs 1.7-6.2

Bq/lit i 103 Ru 6.3-53.8 Bq/lit), ali kliničkim pregledom nisu nadjene organske promene koje bi mogle biti posledica ekspozicije jonizujućem zračenju [8]. Kontrolna analiza hromozomskih aberacija nekoliko meseci kasnije, je pokazala veću učestalost hromozomskih aberacija u odnosu analizu neposredno po dolasku iz Kijeva. Obzirom da su u ovom periodu biološki efekti uglavnom bili posledica dejstva radionuklida interno unetih u organizam, doza zračenja procenjena u tom periodu može se smatrati srednjom ekvivalentnom dozom. Vrednosti ekvivalentnih doza su u većini slučajeva nešto veće od prvobitno procenjenih apsorbovanih doza. Izuzetak je jedan slučaj, gde je razlika u proceni bila velika (pri prvoj analizi hromozomske aberacije nisu nadjene, a pet meseci kasnije procenjena ekvivalentna doza iznosila je 558 mSv). Ta činjenica se može objasniti ekstremnom radioosetljivošću uslovljenom genetskom predispozicijom - heterozigotnošću za AT (ataksija telangiiektažija) genski lokus.

Za akcidentalno ozračena lica, kod kojih se biološkom dozimetrijom ustanovi da ne postoji rizik od akutne radijacione bolesti, postoji realan rizik za nastajanje genskih mutacija u genomu somatskih i germinativnih ćelija. Mutacije u somatskim ćelijama mogu povećati rizik za oboljevanje od malignih bolesti. Za evropsku populaciju, procenjeno je da rizik za oboljevanje od malignih bolesti radiogenog porekla iznosi 3.7% - 12.9% po greju, što zavisi od starosne strukture populacije i spontane incidence oboljevanja od karcinoma.

ZAKLJUČAK

U grupi Jugoslovena akcidentalno ozračenih černobiljskim efluentima u Kijevu, procenjene vrednosti jačina apsorbovanih doza iznosile su 93-405 mGy. Iako su radiotoksikološka ispitivanja dokazala prisustvo 131 J, 137 Cs i 103 Ru, biodozimetrijska procena, naročito statistička analiza distribucije hromozomskih aberacija nije ukazivala na mogućnost specifične lokalizacije interno unetih radionuklida. Procenjene vrednosti jačina apsorbovanih doza akcidentalno ozračenih lica nisu ukazivala na mogućnost oboljevanja od radijacione bolesti, ali predstavljaju realan rizik za nastajanje novih genskih mutacija u genomu somatskih i germinativnih ćelija.

LITERATURA

1. Lloyd D.C., and Edwards A.A. Biological Dosimetry After Radiation Accidents, in Chromosomal Aberrations- Basic and Applied aspects (Obe, G. and Natarajan A.T., eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989, pp.213-223.
2. IAEA. Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment. Technical Report No 260, International Atomic Agency, Vienna, 1986.

3. Joksić G., Marković B., Panov D., Milačić S. Hromozomske aberacije kod lica izloženih povećanoj koncentraciji radionuklida u životnoj sredini. XIV jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Novi Sad, Zbornik radova, 335-338.
4. Moorhaed P.S., Nowell, P.C., Mellmann W.J., Battips D.M., Hungersford D.A. Chromosome preparation of leucocytes cultured from human peripheral blood . Exp. Cell.Res. 1960, 20: 613-616.
5. Joksić G., Marković B. Značaj citogenetskih ispitivanja limfocita periferne krvi u biodozimetriji ionizujućih zračenja. Medicinska istraživanja, 1991, Vol 24, Sv 2,11- 18.
6. Joksić G. Radiosenzitivnost humanih limfocita različitim starosnim grupama nakon ozračivanja in vitro. Magistarska teza, PMF, Univerzitet u Beogradu,1984.
7. Lloyd D.C., Purrot R.J. and Reeder E.J. the incidence of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from unirradiated and occupationally exposed people. Mutation Research 1980, 72:523-532.
8. Milačić S., Dodić S., Joksić G.,Tasić Ž. Prikaz nekih elemenata zdravstvenog stanja izloženih grupa u vezi černobiljskog akcidenta. XIV jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Novi Sad, Zbornik radova, 299-302.

BIODOSIMETRY IN PERSONS ACCIDENTALLY IRRADIATED BY CHERNOBYL EFFLUENTS

Gordana Joksić

"Vinča", Institute of Nuclear Sciences, p. fax 522, Medical Protection Center

Abstract: The results of chromosome aberration analysis, performed in two groups of Yugoslav residents, who had happened to be in Kiev and Zlobin at iodine phase of Chernobyl's accident, are presented in this paper. In the group of Yugoslav residents came from Zlobin, chromosome aberrations wasn't observed, which confirmed that they wasn't exposed to Chernobyl's fallout radiation. In the group of tourists, who had happened to be in Kiev, in 8 cases out of 15, the frequency of chromosomal aberrations was increased. The estimated absorbed dose radiation values were in the range 93-405 mGy. Equivalent radiation doses was slightly higher (93-550 mSv), which could be a consequence of protracted irradiation due to internal contamination by Chernobyl's effluents.

REZULTATI ISPITIVANJA HEMATOLOŠKIH PARAMETARA I ĆELIJSKIH ENZIMA KOD STANOVNika SRBIJE

Milačić S., Knezević L., Marković B., Konstantinović Ž.
KCS, Institut za medicinsku radu i radiološku zaštitu, Beograd, ul. Deligradska 29

REZIME

U radu su prikazani rezultati ispitivanja hematoloških parametara i ćelijskih enzima u slučaju uzorka stanovnika sa teritorije Republike Srbije. Biološki efekti kontaminacije iz životne okoline praćeni su analizom učestalosti hromozomske aberracija u limfocitima. U turista koji su boravili 1986. u Ukrajini, značaja su značajna odstupanja. Međutim, u ostalih stanovnika Srbije nije bilo posledica po zdravlje za proteklih 10 godina, koje bi se moglo dovesti u vezu sa ovim akcidentom.

UVOD

U vezi sa akcidentom iz 1986. na reaktoru Černobilj, u Institutu za medicinsku radu i radiološku zaštitu "Dr Dragomir Katajović" obavljena je kontrola zdravstvenog stanja osoba koje su u to vreme boravile u Kijevu (turisti i gradjevinski radnici), stanovnika Beograda i nekih delova Srbije.

Narednih godina posmatrane su prosečne godišnje vrednosti zdravstvenih parametara od značaja za procenu kontaminacije i bioloških efekata radijacije u stanovnika Srbije, a koji dolaze kao zdravi na prethodne preventivno-periodične pregledе pri zapošljavanju u zoni ionizujućeg zračenja.

METODE

Praćene su numeričke vrednosti krvnih ćelija: eritrocita, leukocita, trombocita, retikulocita, limfocita i neutrofila, aktivnost leukocitnih enzima alkalne fosfataze i mijeloperoksidaze,⁽¹⁾ morfološke osobine granulocita, veličina limfocita ("veliki" i "mali") i hromozomske aberracije u limfocitima.

REZULTATI I DISKUSIJA

U osoba koje su u vreme akcidenta boravile u Ukrajini, u maju 1986. postojali su subjektivni znaci: glavobolja, pečanje i svrab po koži, trepetanje pred očima. Odstupanja od normalnih vrednosti hematoloških parametara iznosila su 25%, a skor alkalne fosfataze (APL) kretao se u okviru normalnih vrednosti, od 20-80, prosečno 52. Učestalost hromozomske aberracija iznosila je 53%, a u učitu detektovan je: ¹³¹I (od 8,2 do 77 Bq/l), ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ¹⁰³Ru; a u fecesu ¹⁰³Ru (od 115-1740 Bq/kg).⁽²⁾

Rezultati ispitivanja navedenih parametara po vremenskim intervalima u periodu 1986-1995.g. u zdravim stanovnika Srbije dati su u tabelama 1-4.

Kod naših ispitanika, broj krvnih ćelija je u fiziološkim granicama i nije se značajno razlikovao u funkciji proteklog vremena (tabela 1). Skor leukocitnih enzima, kao osjetljivijih na zračenje, takođe se nije značajno menjao (tabela 2). Aktivnost enzima pozitivno korelica sa brojem ćelija u kojima se nalaze (K APL = 0,05, K MPO = 0,19).

Sve ovo ukazuje da nije bilo promena u sazrevanju i diferencijaciji ćelija u kostnoj srži, kao ni inhibicije intracelularnih enzima u periferijskoj krvi.

Morfološke promene neutrofilsnih granulocita postojala su u 2% ispitanika i to pretežno toksične granulacije, koje ne predstavljaju specifičnu promenu, jer se mogu konstatovati i kod uzuimanja uekih lekova, u infekcijama i drugo (tabela 3). U 10% ispitanika povećan je u početku (Tabela 3.) procenat stimulisanih limfocita ("veliki" Ly, kojih normalno u krvi ima do 10%), dok se u uarednom periodu smazujuje i sada iznosi oko 8 %. U ispitanika sa povećanim procentom velikih limfocita niže su vrednosti aktivnosti ispitivanih leukocitnih enzima (APL i MPO) (Tabela 4.).

"Veliki" limfociti su heterogene ćelije u raznim fazama ćelijskog ciklusa koje su specifično stimulisane za odgovarajući antigen. Aktivisani T-limfociti luče limfokine koji regulišu hematopoezu. Time "veliki" T-limfociti mogu uticati na sazrevanje granulocita i aktivnost njihovih enzima u granulama.

Enzimi u granulama (izozotima) su nosioci funkcije odbraue organizma, kako nespecifičnih tako i specifične, zajedno sa limfocitima.

Mađa ni ove promene limfocita nisu specifične za zračenje, ipak se ne može potpuno isključiti uticaj kontaminacije, obzirom na distribuciju promena po godinama, a u potpuno zdravih ispitanika (gde druga stanja i bolesti nisu mogli da imaju uticaja).

U limfocitima je učestalost hromozomskih aberacija bila 2%, 1,9% i 1% (1986-1995), (tabela 3), što ne ukazuje na bitno povećanu apsorbovanu dozu kod stanovništva, na osnovu biološkog efekta zračenja na DNK limfocita.

Tabela 1. Prosečne vrednosti uobičajenih elemenata u krvi slučajno izabranih ispitanika sa teritorije Republike Srbije

Godine	Er	Lc	Tr	Rtc	Ly	NFG
1986-1987	3.85±0.40	6.21±1.83	315.0±68.3	0.89±0.39	2.34±0.5	4.0±0.6
1988-1990	4.32±0.52	6.34±1.68	349±63.2	0.73±0.46	2.16±0.69	3.78±1.11
1991-1995	4.02±0.42	6.47±1.21	330±61.1	0.80±0.37	2.11±0.47	4.06±1.10

Tabela 2. Srednje vrednosti aktivnosti alkalne fosfataze (APL) i mitjoperoksidaze (MPO) u leukocitima slučajno izabranih ispitanika sa teritorije Republike Srbije

Godine	APL	MPO
1986/87	52.21	140.32
1988/90	54.31	144.02
1991/95	56.85	139.93

ABSTRACT

The paper discloses the results of radioactive urine tests, hematological parameters and cell enzymes in random samples of Serbia population. Biological effects of the ambient contamination were monitored through the frequency of the chromatic aberrations in lymphocytes. With tourist visiting Ukraine in 1986., considerable deviations were noticed. Nevertheless, with the test of Serbia population there were no effects upon the health of the population during last ten years period that could be connected to the accident.

THE RESULTS OF HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND CELLS ENZYMES IN POPULATION OF SERBIA

*Milacic S., Kaczevic I., Matkovic B., Koustantiovic Z.
CSS, Institute of Occupational and Radiological Health, Belgrade, Serbia*

PRIKAZ INCIDENCE MALIGNIH OBOLJENJA U LICA PROFESIONALNO IZLOŽENIH DEJSTVU JONIZUJUĆEG ZRAČENJA ZA PERIOD 1986-1995

Konstantinović Ž., Ilić S*, Milačić S.

KCS, Institut za medicnu rada i radiološku zaštitu, Beograd, ul. Deligradska 29

*KCS, Institut za KVB, Beograd, ul J. Subotića 13

SAŽETAK

Nakon havarije na nuklearnom reaktoru u Černobilju došlo je do kontaminacije životne sredine radionuklidima različite dužine poluraspada, usled čega dolazi do interne pa i spoljašnje kontaminacije ljudi. Usled poznatih mutagenih i karcinogenih dejstava radionuklida na humane organizme dolazi do povećane incidence malignih oboljenja. Takodje se ovako povećana incidencija javlja i kod profesionalno eksponiranih, ali u znatno nižem procentu od očekivanog.

UVOD

Proizvodnja električne energije iz nuklearnih elektrana je najkontraverzniјi od svih veštackih izvora radijacije. Černobiljska katastrofa je očigledan primer za to.

Do maja 1984g bilo je u 26 zemalja sveta u pogonu ukupno 345 reaktora za proizvodnju energije. One su proizvodile 13% od ukupne količine proizvedene električne energije u svetu, sa ukupnim kapacitetom od 220 gigavata. Za sledećih deset godina, do 1994g taj se kapacitet udvostručio, a buduće stope rasta apsolutno su neizvesne i nepredvidive (1).

Ali, rad nuklearnih elektrana odvija se u circulus vitiosusu, koji počinje vadnjem, drobljenjem i topljenjem radioaktivne rude, a nastavlja se proizvodnjom, eksploatacijom i skladištenjem radioaktivnog otpada- najvećim problemom u ovom lancu koji može pući na svakom beočugu, a najlakše puca na faktoru čovek. Iako su količine radioaktivnog otpada nagomilanog u svetu ogromne i procenjuju se na oko 500 miliona tona, njihovo adekvatno odlaganje je još na izgled nerešiv problem.

CILJ RADA

U Černobiljskom akcidentu na nuklearnom reaktoru Lenin, na energoblok IV, došlo je do havarije i do akcidentalnog ozračivanja stanovništva Azije, Evrope i drugih delova sveta, čiji je intenzitet bio različit, u zavisnosti od brojnih faktora koji su uticali na intenzitet kontaminacije određenog područja, pri čemu su mesta bliža epicentru dogadjanja bila jače kontaminirana.

Na osnovu podataka dobijenih praćenjem populacije nakon ovog akcidenta u toku desetogodišnjeg perioda, prikazujemo podatke o incidenci malignih oboljenja lica profesionalno izloženih dejstvu ionizujućeg zračenja koji su praćeni u ambulantni za prevenciju radijacionih ostečenja pri našem Institutu.

Radijaciona situacija koja je bila kritično visoka u ovoj oblasti razvijala se tako da je prva normalizacija radijacije zabeležena tek 20. maja 1986.

Svet je zaplašen, predviđaju se katastrofalne posledice- te tako već nekoliko nedelja posle havarije, jula 1986. nemacki list SPIEGLE piše o fantastičnim ciframa od 10 000- 500 000 novih malignih oboljevanja sa etiološkim uzrokom- ionizujuće zračenje.

Radijacije kao fizički agens spadaju u grupu agenasa koji dovode do promena na nivou DNK u ćeliji. Način dejstva radijacione energije na ćelije nije sasvim razjašnjen u smislu karcinogeneze. Poznato je da radijacije izazivaju poremećaje u metabolizmu DNK, i to naročito oštećenja reparacionih mehanizama. Dokazi za ovakav mutageni efekat radijacija potvrđeni su kod nekih vrsta leukeemija.

Energija ionizujućih zračenja dovodi do prekida hromozoma, pojava translokacija, tzv. point mutacija, izmena proteina aktivacije ćelijskih enzima, kao i do oštećenja ćelijskih membrana (3).

Sve ovo se dešava po mehanizmima dveju teorija:

1- radijacija direktno ionizuje kritične ćelijske membrane

2-po indirektnoj teoriji prvo se dešava interakcija sa vodom, stvaraju se slobodni radikalni koji su ustvari osnovni uzrok oštećenja ćelije

Najverovatnije da u karcinogenezi teku procesi prema obema teorijama, a rezultat je zajednički- pojava malignog oboljenja u eksponiranih lica.

Maligna oboljenja karakterišu se abnormalnom masom tkiva koje je preteranog i nekoordiniranog rasta u odnosu na normalna tkiva.U našem saznanju o nastajanju MO (malignih oboljenja) dominira stav da je DNK u ćeliji napadnuta nekim agensom (mi pratimo efekte radijacije), koji dovode do pokretanja mehanizma karcinogeneze.Da li će se ovaj proces nastaviti, ili će pak doći do njegovog zaustavljanja zavisi od niza faktora koji trenutno nisu element našeg interesovanja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Mi smo u našoj ambulanti za prevenciju radijacionih oštećenja pri Centru za radiološku zaštitu KCS pratili prilično homogenu grupu pacijenata, odnosno radnika u profesionalnoj ekspoziciji ionizujućim zračenjima. Ova grupa zaposlenih su naši pacijenti dugi niz godina, pratimo njihovo zdravstveno stanje, njihovu ličnu dozimetriju kao i dozimetriju aparata sa kojima rade. Prema tim podacima ni kod jednog od ovde prikazanih pacijenata nije postojalo prekoračenja godišnje apsorbovane doze, niti je dolazilo do akcidenata na aparatima sa kojima su radili.

Tabela broj 1. daje nam prikaz incidence malignih oboljenja kod naših pacijenata za navedeni period. Izvor podataka su medicinska dokumentacija naših pacijenata a u posedu naše ambulante, izveštaji o ličnoj dozimetriji , te podaci o kontroli izvora ionizujućeg zračenja, takodje praćeni na našem Institutu.

Iz svega navedenog vidi se da u posmatranom periodu ni kod jednog od naših pacijenata koje smo ovde prikazali, nije bilo zabeleženo prekoračenje dozvoljene doze, kao i da nije zabeleženo akcidentalno ozračivanje usled kvara na izvoru.

Posmatranjem tabele vidi se da je u posmatranom periodu utvrđeno pojavljivanje ukupno 23 nova maligna oboljenja, od čega je obolelo 18 žena I 5 muškaraca.

Što se tiče strukture zaposlenih, vidimo da su to u najvećem broju slučajeva (10) radiološki tehničari, slede ih lekari, uglavnom radiolozi (7), a najmanje su zastupljene medicinske sestre (6).

Posećna starost obolelih je oko 40 godina, a dužina ekspozicionog radnog staža (ERS), odnosno period profesionalnog izlaganja dejstvu ionizujućeg zračenja, iznosi oko 20 godina.

Porast broja obolelih je manje više konstantan za sve posmatrane godine, odnosno ne može se govoriti o nekom skoku u pojavi novootkrivenih malignoma u ovom periodu, ali je sveukupni broj obolelih od malignih oboljenja u stalnom porastu (tabela broj 3).

Najčešća lokalizacija ovih oboljenja data je na tabeli broj 3, gde se vidi da su najzastupljenija profesionalna maligna oboljenja limfnog tkiva, respiratornog sistema, a da se leukemije javljaju u nešto manjem obimu od onog koji bi se eventualno mogao očekivati obzirom na visoku radiosenzitivnost hematopoeznog tkiva.

TABELA 1: Incidenca malignih oboljenja u lica profesionalno izloženih dejstvu ionizujućeg zračenja za period 1986-1995 praćenih u Ambulanti za prevenciju radijacionih oštećenja

GOD	POL O V I		ZANIMANJE	STAROST	ERS	LOKALIZ.	DIAGNOZA
	žene	muškarci					
1986.	1	1	lekar 1 rtg tehničar 1	40 g 41 g	20 g 21 g	dojka pluća	Ca. mammae Ca. pulmo
1987.	3	1	lekara 2 rtg tehničara 2	47 g 34 g 33 g 37 g	27 g 14 g 13 g 17 g	grkljan krv krv krv	Ca. larynx M. Hodgkin M. Hodgkin ALL
1988.	1	2	lekara 1 medsestara 1 rtg tehničara 2	39 g 37 g 46 g	19 g 17 g 26 g	krv pluća materica	M. Hogkin Ca. pulmo Ca. uteri
1989.	2	0	medsestara 2	40 g 49 g	20 g 29 g	pluća gušteraća	Ca. pulmo Ca. pancreatis
1990.	2	0	rtg tehničara 2	38 g 46 g	19 g 27 g	krv pluća	HLL Ca. pulmo
1991.	3	0	lekara 1 medsestaral rtg tehničara 1	54 g 47 g 50 g	19 g 17 g 16 g	krv želudac materica	Ca. hepatis Ca. gasteri M. Hodgkin
1992.	1	1	lekara 1 rtg tehničara 1	47 g 42 g	21 g 22 g	gušteraća krv	Ca. pancreasa M. Hodgkin
1993.	1	0	lekara 1	60 g	24 g	deb. crev.	Ca. recti
1994.	2	0	rtg tehničara 2	48 g 50 g	17 g 14 g	usne dojka	Ca. labii Ca. mammae
1995.	2	0	medsestara 2	49 g 52 g	19 g 20 g	koža materica	Ca. planocellulare Ca. uteri

Tabela 2: Najčešće lokalizacije malignih oboljenja, prema polu obolelih

LOKALIZACIJA M.O.	BR. OBOLELIH	POL
krv i krvotvorni organi	6	4Ž 2M
respiratorični sistem	6	3Ž 3M
genitourinarni sistem	4	4Ž 0M
gastrointestinalni sistem	4	3Ž 1M
koža i sluzokože	2	2Ž 0M

Radi izvesnog uporedjenja, prikazaćemo tabelu broj 3, gde se na osnovu podatka ne incidence, nego stope mortaliteta populacije teritorije Republike Srbije dobija sledeća slika:

Tabela 3: Prikaz broja umrlih od malignih oboljenja na području Srbije*

Godina	Broj umrlih od M.O.	Stopa mortaliteta
1986	12730	128
1987	12970	130
1988	13642	139
1989	14872	140
1990	14876	151
1991	14746	151
1992	14978	153
1993	15087	160
1994	15685	170
1995	15690	184

*podaci dobijeni od Instituta za radiologiju i onkologiju Srbije

ZAKLJUČAK

Pojačana radijacija i kontaminacija nakon Černobiljskog akcidenta uticala je na pojavu većeg broja malignih oboljenja kod humane populacije, pa tako i kod lica profesionalno izloženih ionizujućem zračenju. Najčešće su obolevali od malignoma krvi i krvotvornih organa, kao što su neke leukemije. Posebno je intresantna šesta pojava M. Hodgkin. Po zanimanju, najčešće su obolevali rtg tehničari, koji su po prirodi svog posla i najekspoziraniji radijacijama u toku obavljanja svog posla.

LITERATURA

- [1] Černobilj- posledice i uzroci, Politizdat, Moskva 1988
- [2] Zbornik radova, XIV jugoslovenski simpozijum društva za zaštitu od ionizujućeg zračenja, Priština, 1989

ABSTRACT

INCIDENCE OF MALIGNANT DISEASES AT PROFESSIONALS WORKING IN IONIZED AREA IN 1986-1995 PERIOD

Konstantinović Ž., Ilić S., Milačić S.

Stregheten radiation and contarnion after the Chernobyl's accident exerted influence on number of malignanat diseases of human population, as well as of population of workers in ionized area. Frequently, we met malignant diseases of blood, especially M. Hodgkin as well as some kinds of leukemia.

Hromozomske aberacije kod stanovnika Srbije u periodu od 1985 do 1995 godine

D. Jovičić, B. Marković, S. Milačić

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu

"Dr Dragomir Karajović"

G. Joksić

Institut za nuklearne nauke Vinča

Kratak sadržaj

Nakon nuklearnog akcidenta u Černobilju 1986 godine došlo je do velike kontaminacije životne sredine. Radioaktivne padavine na području Srbije su bile neravnometne. Najveći stepen kontaminacije je imao užički region, a najmanje niški region. Citogenetska ispitivanja su pokazala da su hromozomske aberacije imale povećanu frekvenciju u užičkom regionu, 1987 godine iznosila je 0,59 %, 1988 0,24 % da bi u toku 1989 bila 0,1 %. Niški region je bio manje kontaminiran pa je i frekvencija hromozomske aberacija bila znatno manja. Kod ispitanika kod kojih je rađena citogenetska analiza 1985 i 1995, a koji su uzeti za kontrolu, nisu nadene strukturalne hromozomske aberacije.

Uvod

Pored teških posledica za područje i stanovništvo u blizini mesta događanja, nuklearni akcident u Černobilju 1986 godine odrazio se i u velikoj kontaminaciji životne sredine čitavim spektrom radionuklida, što su osetile sve evropske zemlje u većoj ili manjoj meri. Pošto je količina radioaktivnih padavina na području Srbije bila neravnometna to je i kontaminacija tla bila različita. Obzirom na to posebna pažnja posvećena je citogenetskim ispitivanjima stanovništva Srbije ugroženih područja, kako bi se sagledale posledice radioaktivne kontaminacije.

Poznato je da hromozomske aberacije predstavljaju citološki parametar za evaluaciju genotoksičnog dejstva ionizujućih zračenja. Strukturalne aberacije su krajnji rezultat čitavog niza kompleksnih biohemijskih reakcija i, verovatno citološka manifestacija neuspešnih pokušaja ćelije da molekularnim intervencijama popravi ili eliminiše primarno oštećenje na naslednom materijalu. Za detekciju hromozomskeaberacija uzeta su dva regiona, užički region sa najvećim stepenom kontaminacije i niški sa najmanjim stepenom kontaminacije. Grupe ispitanika kod kojih su rađene hromozomske aberacije 1985 i 1995 su uzete kao kontrola.

Metod rada

Ispitivanja hromozomskeaberacija kod stanovnika kontaminiranih regiona su bila rađena klasičnom citogenetskom tehnikom. Postavljene su kulture limfocita u RPMI medijumu uz dodatak 0,2% humanog autologog seruma i 0,1 % fitohemaglutinina (INEP). Fiksacija i preparacija hromozoma obavljena je nakon 48 sati inkubacije na 37 °C, uz dodatak 0,1 % kolcemida u poslednja 3 sata inkubacije kada se najveći broj limfocita nalazi u prvoj in vitro deobi. Preparirana ćelijska suspenzija se zatim nanosi na predmetna stakla, suši i boji gimza bojom.

Rezultati i diskusija

Rezultati citogenetskih ispitivanja kod stanovnika užičkog i niškog regiona predstavljeni su na tabelama 1 i 2. i grafiku 1. Potrebno je naglasiti da su grupe ispitanika bile sklopljene tako da su bili eliminisani svi drugi faktori koji bi mogli uticati na povećanu učestalost hromozomskih aberacija.

Naša istraživanja su pokazala porast učestalosti hromozomskih aberacija kod stanovništva, godinu dana nakon kontaminacije černobiljskim efluentima. Uočeno je da je taj porast najevidentniji kod stanovništva užičkog regiona. Citogenetska ispitivanja u toku 1987 godine su pokazala povećanu frekvenciju hromozomskih aberacija. Analizom strukturalnih hromozomskih aberacija uočili smo pojavu asimetričnih intra i inter izmena (dicentričnih hromozoma i acentričnih fragmenata) kao i prisustvo pericentričnih inverzija i translokacija kao predstavnika simetričnih izmena. Pritisutvo dicentričnih hromozoma je veoma značajno jer predstavljaju najpozardanije pokazatelje da je ćelija ozrađena. Notiranih promena ima više od jedne trećine ispitivanog stanovništva. Učestalos strukturalnih hromozomskih aberacija u užičkom regionu, 1987 godine je bila 0,59 %. Tu vrednost smo dobili kada se broj strukturalnih hromozomskih aberacija, izraženih po hromozomskom prekidu, uporedi sa brojem ukupno analiziranih ćelija.

Citogenetska istraživanja godinu dana kasnije su pokazala da učestalost hromozomskih aberacija opada i iznosi 0,24 %, da bi u toku 1989 godine iznosila 0,1 %. Niški region je bio manje kontaminiran, pa sobzirom na tu činjenicu frkventnost hromozomskih aberacija je bila manja i iznosila je 1987 godine 0,29 %, godinu dana kasnije 0,17 % a u 1989 godini 0,05 %.

Tabela 1. Učestalost hromozomskih aberacija u užičkom regionu

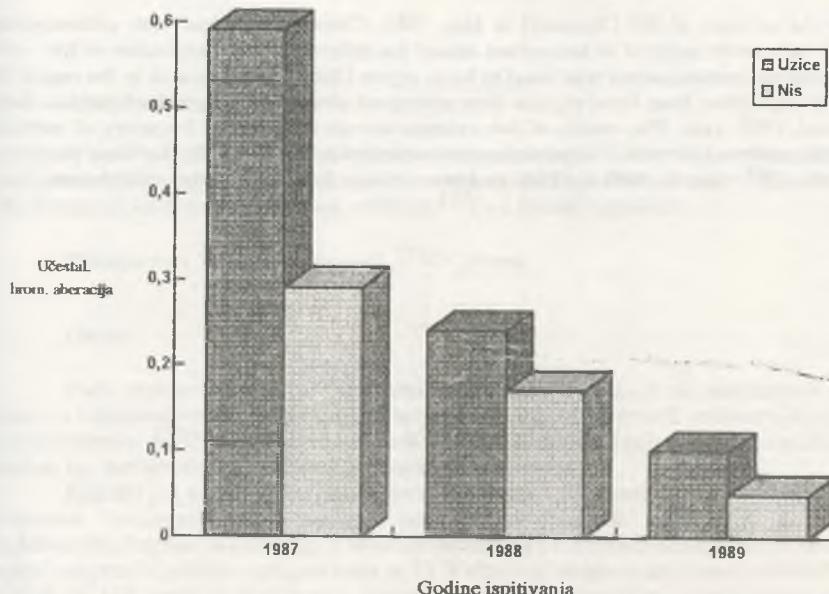
godina ispitivanja	broj analiz. ćelija	nadene hromoz. aberacije	učestalost hromoz. aberacija (%)
1985	4000	nisu nadene	/
		2 dicentrika 3 pericentrične inv. 2 translokacije	
1987	2690	2 acentrična fragm.	0,59
		1 dicentrik 2 translokacije	
1988	3280	1 prstenasti hromoz.	0,24
1989	2000	2 acentrična fragm.	0,10
1995	4000	2 acentrična fragm.	0,05

Tabela 2. Učestalost hromozomskih aberacija u niškom regionu

godina ispitivanja	broj analiz. ćelija	nadene hromoz. aberacije	učestalost hromoz. aberacija (%)
1985	4000	2 hrom. prekida	/
		3 dicentrika 1 prstenasti hrom. 2 translokacije	
1987	4790	2 acentrična frag.	0,29
		1 prstenasti hrom. 1 translokacija	
1988	3000	1 acentrični frag.	0,17
1989	2000	1 acentrični frag.	0,05
1995	4000	1 acentrični frag.	0,025

Rezultati citogenetskih ispitivanja pre nuklearnog akcidenta i posle 10 godina, su pokazali da u užičkom i niškom regionu nisu evidentirane strukturne hromozomskih aberacije.

Naša istraživanja su pokazala da je do evidentnog porasta učestalosti hromozomskih aberacija došlo 1987 godine, a zatim je vrednost hromozomskih aberacija sledećih godina 1988 1989 znatno opadala, a nekoliko godina kasnije strukturne hromozomske aberacije nisu evidentirane.



Grafik 1. Učestalost hromozomskih aberacija u užičkom i niškom regionu

Zaključak

Naša istraživanja su pokazala da je do evidentnog porasta učestalosti hromozomskih aberacija došlo 1987 godine, a zatim je vrednost hromozomskih aberacija sledećih godina 1988 1989 znatno opadala. Kod kontrolne grupe ispitanika kod kojih je rađena citogenetska analiza 1985 i 1995 nisu uočene strukturne hromozomske aberacije.

Literatura

[1] Brnović R., Radovanović R., Vukotić M., Hajduković D., Mijatović Lj. : The changes of radioecological characteristic of environment in Serbia due to Chernobyl fall-out, XIV Regional Congress of IRPA, 1987, pp 241–247.

[2] Marković B., Joksić G., Panov D.: "Hromozomski monitoring kod stanovništva SR Srbije nakon havarije u Černobilju", XV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Priština od 6.–9. juna 1989. godine

Chromosome aberrations analysis of Serbia population from 1985 to 1995 year

D. Jovičić, B. Marković, S. Milačić

Institute of Occupational and Radiological Health "Dr Dragomir Karajović"

G. Joksić

Institute of nuclear sciences Vinča

Abstract

After the accident of NE Chernobyl in May 1986, Chernobyl's fallout with unhomogenous dispersion of radioactive material in atmosphere caused the difference in contamination of the serbia territory. The highest contamination was found to be in region Užice, and the lowest in the region Niš. Two groups of population from these regions were undergone chromosome aberration analysis during 1987, 1988 and 1989. year. The results of our examination show increased frequency of structural chromosome aberrations / dicentrics, rings, pericentric inversions and acentrics/ in the Užice population, especially in the 1987. year. In 1985 and 1995 year have' nt been found chromosome aberrations.

Nivoi aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima urina stanovništva Republike Srbije

Irena Knežević, Ljiljana Novak

Institut za medicinu rada i radiološku zaštitu

"Dr Dragomir Karajović", Beograd

Kratak sadržaj

U radu su prikazani rezultati merenja nivoa aktivnosti ^{137}Cs u urinu stanovništva SR Srbije, posle černobiljskog akcidenta. Ispitivanjem je utvrđeno opadanje koncentracije ^{137}Cs u urinu ispitanika, što ukazuje na postepeno smanjivanje unošenja ^{137}Cs u ljudski organizam.

Ključne reči : nuklearni akcident, ^{137}Cs , čovek.

Uvod

Posle akcidenta na nuklearnoj elektrani u Černobilju došlo je do nehomogene kontaminacije teritorije i stanovništva SR Srbije. Od niza radionuklida koji su se stvarili prilikom fizijske, izdvaja se po radiotoksičnosti ^{137}Cs . Kao dugoživeći radionuklid (30 godina) nalazi se praktično stalno u životnoj sredini, kao posledica ranijih nuklearnih testiranja i akcidenta.

Najčešći put unošenja cezijuma u ljudski organizam je ingestija, preko kontaminiranih životnih namirnica. Cezijumov ion je analogan hemijski i biohemski ionu kalijuma, te prati njegov metabolizam. Potpuno je rastvorljiv u telesnim tečnostima i uniformno se distribuiru u telu. Biokinetički model cezijuma u ljudskom telu pokazuje da 10 % ukupnog cezijuma ima vreme poluizlučivanja 2 dana, a 90 % do 110 dana^(1,2). Biokinetika cezijuma u ljudskom organizmu okarakterisana je širokom (3) varijabilnošću retencije izazvanom mnogim faktorima, kao što su godine starosti, pol, veličina mišićne mase, sadržaj kalijuma u organizmu i dr. Smatra se da se 80 % cezijuma iz tela eliminiše urinom.

Materijal i metoda

Ispitivanje stepena unutrašnje kontaminacije slučajno izabranih stanovnika SR Srbije vršeno je merenjem 24-časovnog urina. Urin je meren direktno bez predhodnog tretmana u Marineli posudi na detektoru sa čistim kristalom germanijuma (HP Ge), koji je povezan sa 8000 kanalnim analizatorom firme "ORTEC". Karakteristike detektora su visoka moć rezolucije od 1,85 keV na 1332,5 keV za ^{60}Co i relativne efikasnosti od 25 %.

Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanja u okviru kojih je praćen stepen unutrašnje kontaminacije cezijumom-137 stanovništva SR Srbije su prikazani u tabeli 1. i na grafiku 1.

Zbog velikog broja uzoraka prikazane su minimalne, maksimalne i srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{137}Cs u 24-časovnom urinu ispitanika. U 1987 godini aktivnosti ^{137}Cs u urinu variraju od 4,6 – 51,8 Bq/l, u 1988 godini od 2,3 – 24,7 Bq/l, a u 1990 godini od < 0,30 do 14,6 Bq/l. Za period 1991 – 1995 godine aktivnosti ^{137}Cs u urinu su niske i kreću se od < 0,30 do 3,4 Bq/l.

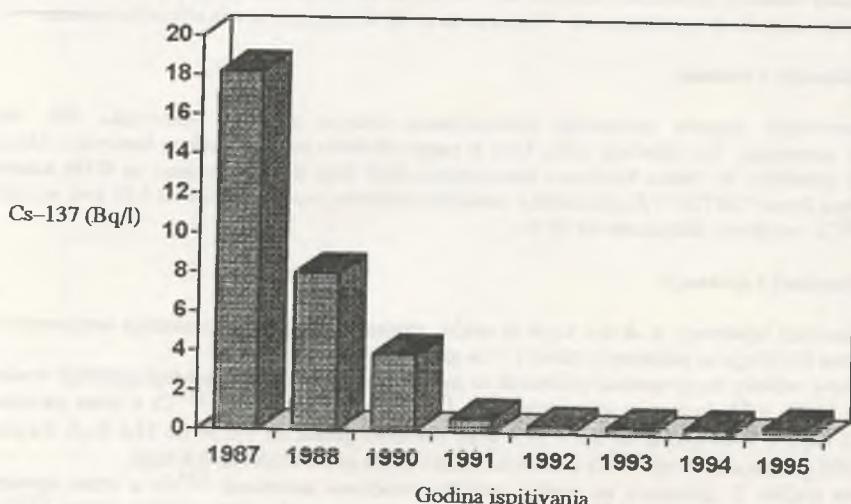
Na grafiku 1. prikazane su srednje godišnje vrednosti aktivnosti ^{137}Cs u urinu ispitanika. Uočava se opadanje aktivnosti ^{137}Cs do 1990 godine, a u periodu 1991 – 1995 godine ^{137}Cs se pojavljuje u malim koncentracijama i nema trend opadanja.

Poređenjem rezultata iz 1988 sa rezultatima iz 1987 godine, uočavamo da su vrednosti aktivnosti ^{137}Cs u urinu ispitanika oko 50 % niže od vrednosti iz 1987 godine. Aktivnosti ^{137}Cs u urinu se smanjuju, ali prisutne vrednosti pokazuju da postoji sveže unošenje ^{137}Cs u organizam ispitanika. Već u 1990 godini aktivnosti su znatno niže i posledica su ranijeg intenzivnijeg unošenja cezijuma, koji se u urinu može naći i nakon 2,5 godine.

Kod 90 % ispitanika u periodu 1991 – 1995 godine srednje godišnje vrednosti ^{137}Cs u urinu su ispod 1 Bq/l, što pokazuje da nije dolazio do povećanog unošenja ^{137}Cs . Slične rezultate su dobili autori iz Mađarske, koji su ispitivali sadržaj ^{137}Cs u uzorcima tkiva (mišići i jetra) pojedinih osoba koje su preminule u Budimpešti (4). Njihovi rezultati pokazuju da su aktivnosti ^{137}Cs u humanim tkivima, posle 1990 godine značajno opale.

Tabela 1. Aktivnost ^{137}Cs u urinu ispitanika sa teritorije SR Srbije

Godina ispitivanja	Aktivnost	^{137}Cs u urinu	(Bq/l)
	min vrednost	max vrednost	srednja vrednost
1987	4,6	51,8	18,2
1988	2,3	24,7	8,0
1990	< 0,3	14,6	3,9
1991	< 0,3	1,5	0,7
1992	< 0,3	2,5	0,4
1993	< 0,3	3,4	0,4
1994	< 0,3	1,3	0,4
1995	< 0,3	3,2	0,5



Grafik 1. Srednja godišnja vrednost aktivnosti ^{137}Cs u urinu ispitanika SR Srbije

Zaključak

Kod slučajno izabranih ispitanika sa teritorije SR Srbije, vršena su ispitivanja stepena unutrašnje kontaminacije biološki toksičnim ^{137}Cs , posle černobiljskog akcidenta. Dobijeni rezultati pokazuju da je u toku 1987 i 1988 godine aktivnost ^{137}Cs u urinu ispitanika povećana, što ukazuje na sveže unošenje ^{137}Cs u ljudski organizam. U 1990 godini aktivnosti ^{137}Cs u urinu znatno opadaju, da bi u periodu 1991–1995 godine aktivnost ^{137}Cs kod 90 % ispitanika bila manja od 1 Bq/l. U ovom periodu nije bilo povećanog unošenja inhalacijom i ingestijom ^{137}Cs kod ispitanika.

Literatura

- [1.] ICRP Publication 30, Part 1. 1979, pp 91.
- [2.] ICRP Publication 54, 1988, pp 155.
- [3.] Henrichs K., Paretzke H. G., Voig G. and Berg, " Measurements of Cs absorption and retention in man", Health Physics, Vol. 57, Number 4, October 1989, pp 571–578.
- [4.] Turia I., Sztanyik L. B., "Assessment of ^{90}Sr and ^{137}Cs activity concentration in human tissues in Hungary following the Chernobyl accident ", Intern. Conf. One Decade After Chernobyl, IAEA, Vienna, 8–12 April 1996.

Abstract

The report presents results of measurement of ^{137}Cs activity levels in urine of the population of the Republic of Serbia, upon the Chernobyl accident. The study determined the decrease of urine ^{137}Cs level in subjects, which indicates the gradual fall of ^{137}Cs intake into the human body.

^{137}Cs activity levels in urine samples of the population of the Republic of Serbia

Irena Knežević, Ljiljana Novak

MOGUĆNOST RADIJACIONE ZAŠTITE U AKCIDENTALnim USLOVIMA SA ASPEKTA VETERINARSKE STRUKE

Gordana Vitorović, Borislav Draganović

Veterinarski fakultet Beograd, Katedra za radiologiju

Duško Vitorović, Goran Grubić

Poljoprivredni fakultet, Beograd

Olivera Vukićević

Institut za mineralne i nuklearne sirovine

Sadržaj: Nuklearni akcidenti koji se sve češće dogadaju u svetu naveli su istraživače na brojna ispitivanja u cilju smanjenja prisustva biološki štetnih radionuklida ^{90}Sr i ^{137}Cs u namircama animalnog porekla.

U ovom radu iznet je prikaz kako modifikacijom ishrane mlečnih krava može da se utiče na smanjenje nivoa ^{137}Cs u ukupnom dnevnom obroku a time i u mleku. Pored toga navedeni su i rezultati preliminarnih istraživanja efekata zeolita kao radioprotektora kod živine. Ustanovljeno je značajno smanjenje deponovanja ^{137}Cs u mesu i jestivim unutrašnjim organima radiokontaminiranih brojlerskih pilića koji su peroralno dobijali rastvor zeolita.

Ključne reči: ^{137}Cs , radioprotekcija, ishrana životinja, zeolit.

UVOD

Jedan od osnovnih ciljeva radijacione zaštite u akcidentalnim uslovima, sa aspekta veterinarske struke, je dobijanje animalnih proizvoda koji se mogu koristiti u ishrani ljudi bez ograničavanja.

Ubrzo posle pojave prvi radioaktivnih padavina, u vazduhu, geografskim vodama i na površini zemlje u biljkama i životinjama mogu se ustanoviti značajne koncentracije biološki štetnih radionuklida (^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba i dr.). Primarnu opasnost za ljude i životinje predstavlja direktna inhalacija radioaktivnih materija putem aerosola, dok su sekundarnoj opasnosti indirektno isloženi preko kontaminirane hrane i vode [1]. Putevi kojima radioaktivne materije najčešće dospevaju u organizam domaćih životinja, od ukupno unete aktivnosti su: inhalacija (15 %), ingestija (80 %) i perkutana resorpcija (3-4 %) [2].

Životinje se najčešće kontaminiraju radioaktivnim elementima alimentarnim putem. Stepen prelaza radionuklida iz digestivnog trakta zavisi od vrste životinja i načina njihove ishrane. Kako navode jedni autori [3], radioaktivni jod se kod preživara resorbuje 100 %, kod svinja 75-80 % a kod peradi 50-80 %. Radiostroncijum se resorbuje iz digestivnog trakta preživara 15 %, kod svinja 13 % a kod peradi 50-80 %. Radiocezijum se kod svih domaćih životinja resorbuje iz digestivnog trakta u tkiva u obimu od 50-70 %.

Kao mere zaštite, ukoliko se radi o spojašnjoj radiokontaminaciji životinja mogu se primeniti poznate metode kao što su: šišanje ovaca i koza, kupanje životinja pod mlazom mlake vode, upotreba različitih pasta za dekontaminaciju.

Ako se radi o unutrašnjoj radiokontaminaciji mogu se preporučiti dva načina zaštite. Prvi je modifikacija ishrane, bazirana na zameni kontaminiranih za nekontaminiranim hranivima [4], [5]. To se posebno odnosi na preživare koji konzumiraju velike količine zelene kabaste hrane a koja je i najviše izložena radiokontaminaciji, posebno ako se akcident dogodi u prolećnom odnosno letnjem periodu (kao što je bio slučaj sa Černobiljom, 1986). Drugi način je primena različitih radioprotectornih supstanci, koje imaju sposobnost vezivanja radionuklida u digestivnom traktu životinja i time sprečavaju njihov prelazak u organe i tkiva organizma. Post Černobilski period je doveo u prvi plan jedan protektor, ispitani kod različitih vrsta domaćih životinja. To je Armonijum-gvožde (III) heksacianoferat (II) poznat kao AFCF. Visoka efikasnost radioprotekcije, ovog protektora (80-90 %) ustanovljena je kod mlečnih krava, teladi, svinja i ovaca [6], [7], [8], [9] u Nemačkoj. U našoj zemlji slični rezultati su dobijeni kod brojlerskih pilića [10], [11], [12]. Nešto manji stepen zaštite brojlerskih pilića kontaminiranih sa ^{137}Cs postignut je upotrebom klinoptilolita kao radioprotektora.

Pored metoda radijacione zaštite samih životinja, moguće je primeniti i odgovarajući preradu animalnih proizvoda, kao što su meso i mleko. Kod mesa je ustanovljeno smanjenje koncentracije ^{137}Cs

metodom dvostrukog kuhanja pod pritiskom (65-78 %), i salamurenjem (50-72 %) [14], [15]. Prerada mleka u proizvode dovodi do smanjenja nivoa aktivnosti ^{137}Sr i to kod kajmaka i maslaca (80 %), pavlake (35 %) i jogurta (25 %). [16], [17], [18].

Na osnovu svega iznetog, cilj našeg rada bio je da se prikažu mogućnosti zaštite životinja od alimentarne kontaminacije i to: 1. Modifikacijom ishrane, na primeru mlečnih krava u slučaju visoke kontaminacije zelene hrane; 2.Da se prikažu rezultati našeg preliminarnog istraživanja upotrebe zeolita kao radioprotektora za ^{137}Cs kod brojlerskih pilića.

MATERIJAL I METOD RADA

1. Metod radijacione zaštite u kojem se primenjuje zamena hraniva

Na osnovu literaturnih podataka [19], [20], [21] dodeno je do podataka o aktivnosti ^{137}Cs u nekim stočnim hranivima za period neposredno posle Černobilja. Ustanovljena je visoka ukupna aktivnost dnevnog obroka krava. Najveći doprinos ukupnoj aktivnosti su imala sledeća hraniva: zelena lucerka (1209 Bq/kg sv.uz.), zelena mešavina - grašak i ječam (1799 Bq/kg sv.uz.) i seno zelene luterke (2835 Bq/kg sv.uz.). Znatno manju aktivnost su imali slatki kukuruz (4,7 Bq/kg sv.uz.) i zmo kukuruza (2,5 Bq/kg sv.uz.). Primernom kompjuterskog programa "OPTIMIX" (INI Agroekonomik PKE) sastavljen je kontrolni obrok za krave mlečnosti od 20 kg mleka/dan, pri čemu je dodatni kriterijum bio najmanja aktivnost ^{137}Cs . Pri tome su ostali parametri obroka bili uskladjeni sa važećim normativima i potrebama krava.

2. Primena radioprotektora

Zadatak ovog ispitivanja bio je da se ispiša efikasnost domaćeg protektora - zeolita (Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd) na smanjenju resorpciju ^{137}Cs iz digestivnog trakta u meso i jestive unutrašnje organe brojlerskih pilića. U tom cilju, pilići kontrolne grupe su peroralno, putem sonde dobijali rastvor CsCl aktivnosti 3150 Bq/ml po piletu a pilići ogledne grupe pored ^{137}Cs i rastvor zeolita (1,6 g u 6 ml vode po piletu). Posle 7 sati izvršeno je žrtvovanje životinja i merenje aktivnosti u mesu i jestivim unutrašnjim organima (jetra, srce, bubac). Ovi uzorci su homogenizovani i pripremljeni adekvatno prethodno pripremljenim standardima. Merenje nivoa aktivnosti ^{137}Cs vršeno je gammaspektrometrijski na detektoru sa čistim kristalom germanijuma (HP Ge), visoke moći rezolucije od 1,85 KeV za Co-60 E od 1,33 MeV, relativne efikasnosti od 28 %.

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

1. Metod radijacione zaštite u kojem je primenjena zamena hraniva

Tabela 1. Obrok za krave koje daju 20 kg mleka na dan

Hraniva	Kontrola			Eksperiment		
	kg hraniva	kg SM	Bq/dan	kg hraniva	kg SM	Bq/dan
Seno luterke	5.00	4.50	14175	6.54	5.89	18540
Zeleni grašak + ječam	10.00	2.00	17995	-	-	-
Zelena lucerka	10.00	2.00	12090	-	-	-
Slatka kukuruza	5.00	1.50	24	20.00	6.00	94
Zmo kukuruza	4.88	4.29	12	0.64	0.56	2
Sačma sunčokreta	2.07	1.86	21	3.50	3.15	35
Kreda, stočna	0.14	0.13	-	0.21	0.19	-
So, stočna	0.05	0.05	-	0.05	0.05	-
Ukupno	37.14	16.33	44312	30.94	15.84	18671

- [8] Bäuerl B., Zur beschleunigen ausscheidung von radiocaesium bei schafen durch zufütterung von ammonium-eisen-hexacyanoferrat, Inaugural dissertation, Hanover,1988.
- [9] Margenthal A., Futterungsversuch zur erprobung von ammonium-eisen hexacyanoferrat fur die dekorporation von radiocesium bei moorschunken, Inaugural dissertation, Hanover, 1988.
- [10] Vitorović G., Primena amonijum-gvožđe (III) heksacijanoferata (II) u zaštiti pilećeg mesa od kontaminacije radiocezijumom, Doktorska disertacija, VeLifak.,Beograd, 1992.
- [11] Vitorović G., Draganović B., Vitorović D., Palić T., Stanković J., Studies of Cs-137 distribution in the chickens body and protection effect of AFCF administration. Procc XXIV th ESNA Meet., 48, 1994.
- [12] Vitorović G., Petrović I., Pantelić G., Draganović B., Stanković J., Vitorović D., Protection effect of AFCF in Cs-137 alimentary contamination of broiler chickens, I regional symposium of chemistry and the environment, 935-938,1995.
- [13] Poschl M., Borkovec V., Zelenka J., Prochazka J., Effect of special modified clinoptilolite as an antidiote used for the treatment of radiocaesium contaminated broiler chicken, Procc XXIV th ESNA Meet., 42-43, 1994.
- [14] Draganović B., Vitorović G., Investigation of physical and chemical and technological processes in meat and radiodecontamination and protection, Acta Vet.,Vol 41, 211-218,1991.
- [15] Draganović B., Mičić G., Razmatranje efekata tehnoloških metoda prerade namirnica animalnog porekla u cilju zaštite ljudi od alimentarne radiokontaminacije, Čovek i životna sredina, No 2, 121-124,1990.
- [16] Draganović B., Mičić G., Primena nekih tehnoloških postupaka prerade mesa i mleka u radijacionoj zaštiti lanci ishrane ljudi, Zbornik radova, Vet.fak.Beograd, 63-66,1986.
- [17] Mičić G., Draganović B., Đurić G., Radiochemical determination of strontium in milk and milk production, Procc.XIV ESNA Meet., 1983.
- [18] Mičić G., Radioaktivni metaboliti (K-40, Sr-90) u ciklusu proizvodnje mleka i kiselomlečnih proizvoda. Magistarski rad, Beograd,1981.
- [19] FAO Report,3044/VII,1987.
- [20] Intema izloženost radioaktivnoj kontaminaciji stanovništva u Srbiji putem ishrane posle černobilske havanje, Inst.zrač med. rada i radiol.zašt., "dr D.karajović",1986.
- [21] Južnić K., Krmiva, 30,1-2,1988.

Abstract

**THE POSSIBILITY OF RADIATION PROTECTION IN ACCIDENTAL CONDITIONS
FROM THE ASPECT OF VETERINARY PROFESSION**

Gordana Vitorović, Boško Draganović, Duško Vitorović, Goran Grubić

Nuclear accidents that are happening more and more often in the world initiated a number of investigations in order to reduce the amount on biologically harmful radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs in human food of animal origin.

In this paper it is shown how it is possible to reduce the level of ^{137}Cs in the dairy cow diet and consequently in the milk, by slight modification of the feeding regime. In addition, the preliminary results are presented from investigations of zeolite effects as the radioprotector in poultry. The significant reduction of ^{137}Cs deposition was found in the meat and edible internal organs in radiocontaminated broiler chicks that received zeolite solution orally.

Key words: ^{137}Cs , radioprotection, animal feeding, zeolite

ПРИМЕНА ЕТА МОДЕЛА НА МОДЕЛОВАЊЕ ТРАИСПОРТА РАДИОНУКЛИДА У ОКОЛИНИ ЧЕРНОБИЛА

Бошко Телента¹, Драгољуб Антић²

¹ ICSC World Laboratory, Mediterranean Research Center CCSEM, Erice, Italy

² Институт за нуклеарне науке "Винча", п.п. 522, 11001 Београд

Садржај - ETA модел, развијен на Универзитету у Београду и у Савезном хидрометеоролошком заводу, искоришћен је за симулацију транспорта радионуклида из удеса у Чернобиљу. Приказани су резултати компаративне анализе метеоролошких модела у ATMES студији. Рачуната је расподела ¹³⁷Cs изнад Источне Европе 10 дана после удеса. Анализиран је транспорт и депозиција радионуклида у широј околини Чернобиља. Расподела депонованог ¹³⁷Cs упоређена је са мереним вредностима после 10 дана. Показано је да ETA модел може, уз релативно мале адаптације, да се оспособи за прорачуне транспорта радионуклида на велике даљине и његово депоновање. Модел може да се примењује за симулацију транспорта полутаната, за процену утицаја енергетских извора на урбане зоне, за сигурносне анализе и за компаративне студије.

УВОД

Акцијмент на нуклеарној електрани у Чернобиљу представља, фигуративно речено, један од највећих (иако ненамерно изведенних) нуклеарних експеримената у досадашњој историји коришћења нуклеарне енергије. Током протеклих десет година урађено је на хиљаде анализа, мерења и развијени су бројни теоријски и експериментални модели. Бројни модели су опробани на овом примеру, а велика база експериментално утврђених података омогућила је њихову верификацију. Тако је и у случају моделовања транспорта полутаната кроз атмосферу. У метеорологији се примењује велики број сложених модела за симулацију физичких процеса у атмосфери, па се последњих година јако повећао интерес за њихову адаптацију за моделовање транспорта полутаната (радиоактивних и хемијских). Овакви сложени физички модели показали су бројне предности у односу на уobičajeno једноставније моделе, који су се користили код моделовања радиолошког утицаја нуклеарних објекта на околину, јер омогућавају укључивање и симултано праћење промене бројних физичких параметара у атмосфери и симулацију транспорта полутаната која је много ближа реалном случају.

Метеоролошки модели омогућавају, не само процену поља максималног загађења и највероватније просторне расподеле, већ и симулацију конкретних акцијентних ситуација близку реалном случају. Модел ETA (step mountain synoptic model), коришћен за анализе у овој студији, развијен је на Београдском универзитету (Метеоролошки факултет) и у Савезном хидрометеоролошком заводу и тренутно је један од најпознатијих модела у свету који се користи за метеоролошке прогнозе. ETA модел се тренутно користи за оперативну прогнозу временска у више земаља у свету, између осталих и у САД (National Meteorological Centre, Washington), [2-6].

Акцијент у Чернобиљу је искоришћен као тест за више метеоролошких модела, а у једној таквој компаративној студији са коришћењем 22 позната модела из света узесо је учешће и ETA

модел, [7]. Новији комплестирани и објављени резултати мерења контаминације у широј околини Чорнобила, [1], омогућили су поређење са прорачунима током једног нумеричког експеримената током десетодневног интервала после акцидента, при чему је примсном ETA модела симулиран развој метеоролошких параметара у широкој зони Источне Европе, уз паралелно праћење транспорта и депоновања радионуклида.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ETA МОДЕЛА

Уобичајено је да се у литератури ETA модел назначава као "*UB/NMC (University of Belgrade and National Meteorological Centre, Washington) step mountain ETA coordinates model!*". Он је базиран на тзв. HIBU-моделу (Hydrometeorological Institute and Belgrade University), [2-6]. Тренутно је инсталiran и у употреби у 23 светске метеоролошка центра, а коришћен је и за бројна истраживања.

ETA модел користи тзв. "ETA" вертикалне координате, [2], које су генерализација сигма координата са приказивањем планина у виду степенника. Оне се дефинишу као:

$$\eta = \frac{p - p_T}{p_S - p_T} \eta_S, \quad \eta_S = \frac{p_{rf}(z_S) - p_T}{p_{rf}(0) - p_T}, \quad (1)$$

где је p притисак; индекси T и S се односе на горњи слој модела, односно површину тла; z координата висине; а $p_{rf}(z)$ је референтни притисак дефинисан:

$$p_{rf}(z) = p_{rf}(0) \exp\left(-\frac{\Gamma z}{RT}\right),$$

$$p_{rf}(0) = 101325 \text{ mb}; \quad T = 288 \text{ K}; \quad \Gamma = 6.5 \text{ K}/100 \text{ m}; \quad R = 831 \text{ J/mol K} \quad (2)$$

Најважније карактеристике ETA модела могу се сажето приказати:

- 1) Ради се о нумеричком моделу помоћу кога се решава скуп парцијалних диференцијалних једначина на ограниченој просторном домену, заснованом на методи коначних разлика;
- 2) Користи се полуразмакнута Аракавина Е шема;
- 3) Користи се специјална техника за спречавање раздавања решења на нумеричкој шеми;
- 4) Вертикалну координату представља генерализована координата са степенасто постављеним планинама;
- 5) Адвекција у хоризонталном правцу у моделу има уграђену стриктну тзв. контролу каскада нелинеарне енергије;
- 6) Процеси који проузрокују промене температуре, влаге и дебљине снежног покривача на тлу третирани су одвојено, као површински процеси;
- 7) Одабран је четврти степен нелинеарне латералне дифузије, са дифузионним коефицијентом који зависи од деформације и кинетичке енергије;

Модел је проширен увођењем посебне једначине за моделовање транспорта радионуклида, која се решава симултано са осталим једначинама које описују промену метеоролошких параметара:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -V \nabla C_i + \nabla K \nabla C_i + W_{Ci} - R_{Ci} + S_{Ci} \quad (3)$$

где је C_i специфична активност i -тог радионуклида у Bq m^{-3} ; V је вектор брзине ветра; K је коефицијент турбулентне дифузије; W_{Ci} описује губитак специфичне активности радионуклида услед дејства кишне или због суве депозије; губитак материјала услед радиоактивног распада описује величина $R_{Ci} = C_{i0}(1-\exp(-t/T_{Ci}))$; S_{Ci} је члан који укључује све изворе и поноре. Члан који описује уклањање радионуклида услед испирања, односно суве депозије описан је једначином:

$$W_{Ci} = \frac{\partial}{\partial z} (C_i W_{Ri} J_R) \quad (4a) \quad W_{Ci} = \frac{\partial}{\partial z} (V_{Di} C_i) \quad (4b)$$

где је W_{Ri} фактор испирања, J_R брзина падања кишне, а V_{Di} брзина сувог депоновања радионуклида.

АНАЛИЗА ПРИМЕЊИВОСТИ ЕТА МОДЕЛА ЗА МОДЕЛОВАЊЕ ТРАНСПОРТА РАДИОНУКЛИДА ИЗ ЧЕРИОБИЛСКОГ УДЕСА

На основу препоруке Саветодавне групе за нуклеарну сигурност Међународне агенција за атомску енергију (IAEA), започета је у новембру 1986. године у Бечу заједничка студија IAEA и Светске метеоролошке организације (WMO) за оцену метеоролошких модела (ATMES студија). Циљ студије је био да се дође до препорука за коришћење оваквих модела, да се утврде захтеви за улазним подацима за моделе и за мониторинг на терену, као и узајамно поређење ових модела и указивање на предности поједињих модела код поређења са подацима из мониторинга. Резултати ове студије су приказани у референци [7]. ETA модел је био један од 22 метеоролошка модела који су узели учешће у овој компаративној студији.

- Модели коришћени у студији упоређени су у односу на следеће параметре:
- 1) способност модела да предвиди нивое високе контаминације;
 - 2) Пирсонов коефицијент корелације (описује вариансу између мерених и рачунатих вредности);
 - 3) нормализована средња квадратна грешка (NMSE);
 - 4) стандардна девијација;
 - 5) број тачака унутар фактора 5 или 2 (FA5, FA2) (дефониште степен екстремно ниских и екстремно високих вредности);
 - 6) апсолутно премашење;
 - 7) добро слагање резултата у временском домену FMT (усредњено за 11 одабраних локација у свету);
 - 8) добро слагање резултата у просторном домену FMS (усредњено током 5 дана);
 - 9) тест Колмогорова-Смирнова.

Сви модели су примењени на исте примере радионуклида (концентрација ^{131}I и ^{137}Cs у ваздуху, депозија ^{137}Cs) са истим сетовима улазних података. Добијени резултати су упоређени по наведеним критеријумима.

Повољније оцењена група модела (у коју спада и ETA модел) имала је следеће параметре: коефицијент корелације већи од 0,6; фракцију тачака унутар фактора 5 већи од 50%; добро слагање резултата веће од 50% у просторном и веће од 33% у временском домену; глобална способност модела да предвиди мање од 0,5 Bq/m^3 за концентрацију радионуклида у ваздуху, односно мање од

5 kBq/m^2 за кумултивну диспозицију ^{137}Cs . ETA модел је постигао корслацију 0,7; ИМСЕ је била врло висока на почетку симулације, да би опадала до 29. априла и потом расла до краја тесла; фактор FMT се кретао од 24% за Инсбрук до 55% за Гронинген; а код одређивања фактора FMS показало се да је позиција облака била коректно израчуната, а слагање је било између 33 и 88% током трајања симулације. На основу свега тога, ETA модел је показао задовољавајуће карактеристике у поређењу са другим метеоролошким моделима који су коришћени за спроведену компартивну студију.

СИМУЛАЦИЈА ТРАНСПОРТА ^{137}Cs ИЗ ЧЕРНОБИЛСКОГ УДЕСА

Једна комплестна симулација транспорта радионуклида из удеса на НЕ у Чернобиљу, примском ETA модела, урађена је за случај радионуклида ^{137}Cs . Прорачун је обухватио 5 временских корак од по 48 сати, почев од тренутка удеса. Употребљени су подаци о параметрима метеоролошких поља изнад Европе у тренутку настанка удеса. У првом временском кораку коришћен је просторни корак над Европом од пола степена. Следећи временски кораци су користили ETA моделом израчуната метеоролошка поља.

ETA модел је за потребе овог прорачуна снабдевен новом прогностичком једначином за моделовање транспорта радионуклида, са високом хоризонталном резолуцијом (око 20 км). Метеоролошки параметри, који су употребљени за први временски корак, искоришћени су као почетни гранични услови. Током периода од 10 дана рачуната је просторна расподела радиоактивног облака ^{137}Cs и његово кретање упоредо са развојем метеоролошке ситуације изнад Европе. Просторна расподела наталоженог ^{137}Cs , добијена овим прорачуном на крају десетодневног интервала, приказана је на Слици 1.

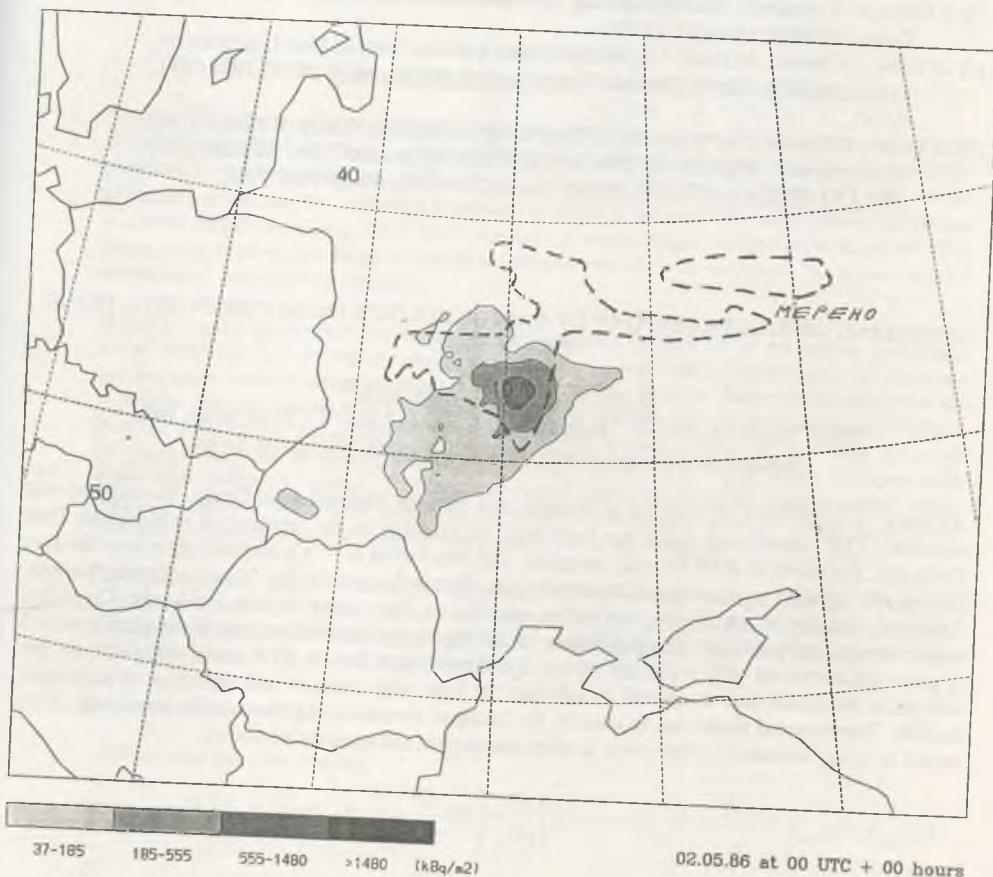
Поређење добијене просторне расподеле добијене прорачуном ETA моделом и измерене стварне просторне расподеле депонованог ^{137}Cs , [1], показује да је репродукована контаминирана зона приближно једнаке површине, али да се положај контаминиране зоне у извесној мери не поклапа са реалном ситуацијом. Анализом прорачунате расподеле, уочава се законитост у симулацији облика контаминиране површине, али са нешто јачом турбуленцијом у односу на реалну ситуацију, што је на крају 10-дневног симулираног циклуса довело до заокренутости прорачунате површине за приближно 180° . Узимајући у обзир веома сложене процесе у атмосфери и дужину анализаног интервала, добијени резултати показују задовољавајући степен слагања са реалном расподелом.

ЗАКЉУЧЦИ

Резултати примене ETA модела у ATMES студији и код симулације транспорта ^{137}Cs из удеса у Чернобиљу показали су да овај метеоролошки модел једноставном адаптацијом може да се оспособи за анализирање транспорта радионуклида у околини нуклеарних постројења и за анализе могућег утицаја таквих постројења на околину у случајевима удесних стања. Приказани резултати показују да је ETA модел могуће користити за задовољавајућу тачну процену усредњених вредности током дужих временских интервала. Захваљујући урачунавању сложених метеоролошких процеса током анализаног интервала, примена ETA модела омогућава симулацију близку реалној код анализе последица удесних стања нуклеарних постројења по околину.

Модел се може снабдети и додатним једначинама за симулацију хемијских процеса, па се тада може користити и за симулацију транспорта кроз атмосферу и других загађивача, као што су хемијски полутанти, аеросоли, тешки метали итд. Све ово је остварљиво у велиkim просторним размерама, јер је модел и развијен за временску прогнозу у глобалим размерама. ETA модел, у комбинацији са другим метеоролошким моделима за мање просторне домене, може се успешно користити за анализу утицаја енергетских извора, нуклеарних и хемијских постројења на околину у нормалном радном режиму и у случају удесних стања.

СЛИКА 1. Просторна расподела депонованог ^{137}Cs изнад шире зоне око
Чернобила после 10 дана од удеса. Резултат прорачуна ETA моделом
упоређен је са мрсним вредностима за исти период, [1]



ЛИТЕРАТУРА

- [1]. "The International Chernobyl Project", Broadsheet Summary, IAEA, Vienna, 1992.
- [2]: F.Mesinger: "A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models"
Rev.Meteor.Aeronautica, 44, pp. 195-202 (1984)
- [3]. N.A.Philips: "A coordinate system having some special advantage for numerical forecasting"
J.Meteor., 14, 184-185 (1957)
- [4]. L.Lazić, B.Telenta: "Documentation of the UB/NMC ETA Model" Tropical Meteorology Research Program, WMO, Geneva, WMO/TD-No.366, p.304 (1990)
- [5]. F.Mesinger, A.Arakava: "Chislennye metody, ispol'zuyemye v atmosfernyh modeljakh". Gidrometeoizdat, Leningrad (1979)
- [6]. B.Telenta, N.Aleksić, M.Dacić: "Application of the Operative Synoptic Model for Pollution Forecasting in Accidental Situations", *Atmospheric Environment*, 28(17), 2885-2891, (1994)
- [7]. B.Telenta: Chapter 6.5. in "Evaluation of Long Range Atmospheric Transport Models Using Environmental Radioactivity Data from the Chernobyl accident", Edts. W.Klug et al., *The ATMES Report*, Elsevier Applied Science, London and New York, 1992.

MODELING OF THE TRANSPORT OF RADIONUCLIDES FROM CHERNOBYL USING ETA MODEL

Boško Telenta¹, Dragoljub Antić²

¹ ICSC World Laboratory, Mediterranean Research Center CCSEM, Erice, Italy

²Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Yugoslavia-Serbia

Abstract - The UB/NMC (University of Belgrade and National Meteorological Centre, Washington) step mountain "ETA" coordinates model has been used for modeling of the transport of radionuclides from Chernobyl. The results of ATMES study are given. The distribution of ¹³⁷Cs contamination over the East Europe after 10 days is calculated. Calculations was done in 5 steps for five 48-hours forecast periods. Transport and deposition of the radioactive nuclides at the earth's surface inside the Chernobyl accidental zone are analyzed. The distribution of the deposited radioactive nuclides at the earth's surface is given and compared with measured values. It is demonstrated that the ETA model with relatively few changes in the model code is capable to calculate the long-range transport and deposition of radioactive nuclides. The presented model can be used for the transport simulation of pollutants, the assessment of the impact of energy sources on urban zones, in safety assessments and comparative studies.

OPŠTE KARAKTERISTIKE MODELA ZA PROGNOZU VREMENA KOJIM SU VRŠENE SIMULACIJE ČERNOBILJSKOG AKCIDENTA

Mr Zoran Gršić

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine

Dr Borivoj Rajković

Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za meteorologiju

Abstrakt - U radu je prikazan numerički model za simuliranje razvoja procesa i prognozu vremena na ograničenoj oblasti. Model se zasniva na rešavanju primitivnih jednačina iznad oblasti definisanih geografskim koordinatama po horizontali i η koordinatom po vertikali, sa stepenastom prezentacijom planina. Po vertikalnoj koordinati η model je nazvan ETA model. Model je razvijen u saradnji SHMZ-Jugoslavije, NMC-SAD i Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu. ETA model omogućuje prognoziranje transporta zagadujućih materija kroz atmosferu, što je iskorišćeno i za simulaciju černobiljskog akcidenta.

Uvod. U osnovi numeričkih modela za prognozu vremena je ideja da se na osnovu poznavanja stanja atmosfere u početnom trenutku vremena i poznavanja fundamentalnih jednačina hidrodinamike izračuna stanje atmosfere u budućem trenutku vremena. Rodonačelnik ove ideje bio je Vilhelm Bjerknes (1904) koji je s radom "Prognoza vremena kao problem mehanike i fizike" postavio prve osnove numeričkim metodama prognoze vremena. Mada se ova ideja javila još početkom ovog veka, sa njenom praktičnom primenom počelo se u novije vreme, razvojem brzih elektronskih računskih mašina. Prilikom numeričkog rešavanja jednačina hidrodinamike oblast integracije prekriva se mrežom tačaka, pa se izvodi u jednačinama približno izračunavaju preko konačnih razlika, koristeći vrednosti zavisnih promenljivih u tim tačkama.

ETA model. ETA model se koristi za simuliranje razvoja procesa srednjih razmera i prognozu vremena na ograničenoj oblasti. Rad na ovom modelu otpočeo je 1972. godine. Nosioci koncepcije i izvršioci najvećeg dela istraživačkih poslova u izradi modela su profesori Mesinger i Janjić (F.Mesinger 1973.,1974.,1984.; Z.Janjić 1974.,1979.).

Osnovne jednačine modela su :

- fluksni oblik jednačine kretanja

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} v \right) + \nabla_\eta \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} vv \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \eta v \right) + \frac{\partial p}{\partial \eta} \left(ik \times v + \nabla_\eta \Phi + \frac{R_d}{p} T \nabla_\eta P + F \right) = 0$$

1.

- prvi princip termodinamike

$$\frac{dT}{dt} - \frac{\kappa T \omega}{p} + T' + \frac{g}{C_p} \frac{\partial R}{\partial \eta} / \frac{\partial p}{\partial \eta} = 0 \quad 2.$$

- hidrostatička relacija

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = - \frac{R_d T_r}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta} \quad 3.$$

- tendencije pritiska

$$\frac{1}{\eta_s} \frac{\partial p_s}{\partial t} + \nabla_\eta \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} v \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \dot{\eta} \right) = 0 \quad 4.$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = - \int_0^{\eta_s} \nabla_\eta \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} v \right) d\eta \quad 5.$$

- vertikalno kretanje

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = - \frac{\eta}{\eta_s} \frac{\partial p_s}{\partial t} - \int_0^\eta \nabla_\eta \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} v \right) d\eta \quad 6.$$

- jednačina kontinuiteta za vodenu paru

$$\frac{dq}{dt} + q' = S \quad 7.$$

Sistem jednačina naziva se primitivnim, prema jednačinama krećanja koje su izvedene iz drugog Njutnovog zakona (poznate kao osnovne ili primitivne).

U ovom sistemu $\frac{d}{dt}$ je diferenciranje po vremenu, v je horizontalni vektor brzine, f Koriolisov parametar, k vertikalni jedinični vektor, Φ je geopotencijal, R_d gasna konstanta za suvi vazduh, F predstavlja uticaj trenja i turbulentnosti na brzinu, κ je $\frac{R}{C_p}$, a C_p specifična toplota pri konstantnom pritisku, ω je $\frac{dp}{dt}$, T' turbulentni poremećaj temperature, R je vertikalni radijacioni fluks, q' turbulentni poremećaj specifične vlažnosti, a S predstavlja izvore i ponore vodene pare.

Eta koordinata. Vertikalnu (η) koordinatu definisao je Mesinger(1984), sa idejom da se izbegnu greške koje se javljaju prilikom računanja sile gradijenta pritiska, kao i advekcije i horizontalne difuzije na strmim koordinatnim površinama:

$$\eta = \left(\frac{P - P_T}{P_{sfc} - P_T} \right) \left[\frac{p_{ref}(z_{sfc}) - p_T}{p_{ref}(0) - p_T} \right] \quad 8.$$

gde je P_T pritisak na vrhu računskog domena, P_{sfc} i z_{sfc} su pritisak i visina na donjoj granici domena, respektivno, a p_{ref} je adekvatno određen referentni pritisak u zavisnosti od visine z (za standardnu atmosferu):

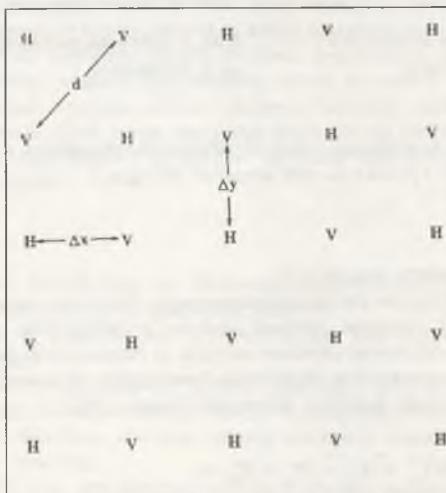
$$p_{ref}(z) = p_{ref}(0) \exp\left(-\frac{\Gamma z}{RT}\right) \quad 9.$$

$$p_{ref}(0) = 1013.25, T = 288, \Gamma = 6.50, z_{sfc}$$

Izraz u maloj zagradi jednačine 8. predstavlja standardnu definiciju σ koordinate, a izraz u srednjoj zagradi iste jednačine konvertuje sigma u eta koordinatu i funkcija je samo od x i y. Visine Z_{sfc} mogu da imaju samo diskretnе vrednosti odredene visinama topografije u dатој ћелиji mreže.

Eksperimentalna verzija ETA modela koja se za potrebe NMC-a, startuje dva puta dnevno ima 38 nivoa, a planira se da u konačnoj verziji taj broj bude 50.

Horizontalan domen. U rotirajućim geofizičkim fluidima za razmire veće od par stotina kilometara u atmosferi i par desetina kilometara u okeanu dominantne sile su koriolisova sila i sila gradijenta pritiska. Ako se naruši njihova ravnoteža, sami fluidi svojim sekundarnim kretanjima dolaze u stanje približne geostrofske ravnoteže. Kod modela sa primitivnim jednačinama koristi se pretpostavka o potpunoj zavisnosti polja pritiska i polja vetrara pa se očekuje da se njihovo uskladivanje vrši samo od sebe, kao u prirodi. Simulacija ovog procesa, geostrofskog podešavanja zavisi od rasporeda promenljivih u računskoj mreži. U ETA modelu, u horizontalnoj ravni koristi se polu-razmaka Arakavina E mreža.



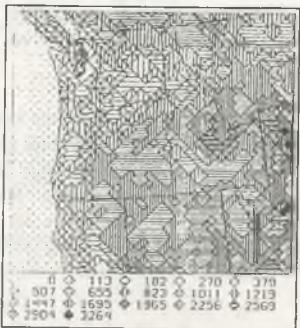
Slika 1. Horizontalna E mreža tačaka modela

Na slici 1. prikazan je raspored promenljivih na E mreži. U H tačkama su promenljive kao što su temperatura ili vlažnost, a u V tačkama horizontalne komponente brzine.

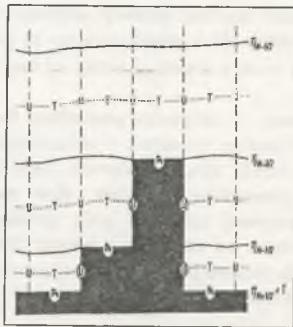
Stepenasta prezentacija planina u ETA modelu. Planinski masivi imaju značajan uticaj na strujanja velikih razmera. Nailaskom vazdušne struje na orografsku prepreku dolazi do pojave relativne vrtložnosti, koja je сразмерна visini orografske prepreke i čiji se znak menja po prelasku prepreke. Pored ovih dinamičkih posledica, planine imaju i mehanički karakter uticaja na vazdušno strujanje proizvodeći niz talasa koji su po svom dinamičkom karakteru slični Rossbyjevim dugim talasima u atmosferi. Isto tako planinska uzvišenja dovode do opštег podizanja vazduha na privetrenoj i spuštanja na zavetrenoj strani kao i do usmeravanja vazdušnih strujanja oko orografskih prepreka.

Predstavljanje topografije u numeričkim modelima svodi se na određivanje vrednosti visina u tačkama mreže koje bi predstavljale srednju ili neku karakterističnu visinu za računsku oblast.

U ETA modelu planine imaju stepenastu prezentaciju. Po određenoj proceduri čitaju arhive sa visinama topografije za računsku oblast, a zatim se svakoj ћелиji računske mreže pridružuje odgovarajuća visina. Na ovaj način bolje se prezentiraju visoke planine. Na slikama 2. i 3. dat je prikaz stepenaste prezentacije planina u horizontalnoj i vertikalnoj ravni.



Slika 2. Stepenasta prezentacija planina u ETA modelu



Slika 3. Šematska prezentacija planina sa η koordinatom

Jednačina očuvanja mase za polutante. Osnovne prognostičke promenljive u η modelu su:

- razlika prizemnog pritiska i pritiska na vrhu atmosfere ($PD = p_s - p_r$),
- temperatura (T),
- specifična vlažnost (q),
- komponente vetra (u, v),
- dvostruka turbulentna kinetička energija (Q^2).

Prizemna polja uključuju prizemnu potencijalnu temperaturu, vlažnost tla i akumulirane padavine. Transport, transformacije i depozicija polutanta direktno su inkorporirani u ETA model preko posebne rutine, tako da se ovi procesi simultano razvijaju sa meteorološkim poljima.

Za procene rasprostiranja radioaktivnog oblaka posle černobiljskog akcidenta korišćena je jednačina očuvanja mase polutanta u formi specifične aktivnosti (B.Telenta, 1992.) :

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -V \nabla C_i + \nabla \cdot K \nabla C_i + W_G - R_G + S_G \quad 10.$$

gde je:

C_i = specifična aktivnost u Bqm^{-3} za i -ti nuklid,

V = vektor vetra,

K = matrica turbulentnih koeficijenata,

W_G = smanjenje specifične aktivnosti zbog suve ili mokre depozicije,

$$R_G = C_{i0} \left(1 - \exp \left(-\frac{t}{T_G} \right) \right), \text{ računa smanjenje aktivnosti zbog radioaktivnog raspada } (T_G = 8.1 \text{ dana, vreme poluraspada za J-131 i 30 godina za CS-137).}$$

S_G = označava sve izvore i ponore

Gravitaciono položenje nije računato, zato je što su u modelu polutanti tretirani kao gasovi, a zbog velike prostorne i vremenske promenljivosti suve depozicije polutanata u modelu je suva depozicija uključena kao konstantna vrednost. Imajući to u vidu, član W_G ima oblik:

$$W_{Ci} = \frac{\partial}{\partial z} (C_i W_{Ri} J_R)$$

W_{Ri} = koeficijent spiranja,
 J_R = intenzitet padavina.

U slučaju suve depozicije:

$$W_{Ci} = \frac{\partial}{\partial z} (V_{Di} C_i)$$

pri čemu je V_{Di} brzina suve depozicije.

Zaključak. Prikazani model se nalazi u samom vrhu regioanlnih modela. Zbog toga što se njime dobijaju uspešne prognoze, model se danas koristi u preko trideset meteoroloških institucija, prvenstveno za istraživanja, a u osam zemalja se koristi operativno za izradu prognoza vremena. Model se koristi za operativne potrebe za izradu prognostičkih polja na standardnim izobarskim nivoima u određenim prognostičkim terminima. Model je korišćen i za prognoziranje atmosferskih nepogoda uključujući i tropске ciklone. zajedno sa modelom trajektorija, kojim se delić vazduha prati tokom kretanja, ETA model omogućuje prognoziranje transporta zagadujućih materija kroz atmosferu što je iskorišćeno i za uspešnu simulaciju rasprostiranja radioaktivnog oblaka posle černobiljskog akcidenta.

Literatura

- Bjerknes V. 1904. Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. Meteorologische Zeitschrift, Band 21.
- Janjić Z.I., 1974. A stable centered difference scheme free of two-grid-interval noise. Mon.Wea. Rew. 102, 319-323.
- , 1979. Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. Contrib. Atmos. Phys., 52, 69-84.
 - , 1984. Non-linear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids. Mon. Wea. Rew. 112, 1234-1245.
 - , 1990. The step-mountain coordinate: physical package. Mon. Wea. Rew. 118, 1429-1443.
- Mesinger F., 1973. A method for construction of second-order accuracy difference difference schemes permitting no false two-grid interval wave in the height field. Tellus, 25, 444-458.
- , 1974. An economical explicit scheme which inherently prevents the false two-grid interval wave in the forecast fields. Proc. Symp. on Difference and Spectral Methods for Atmosphere and Ocean Dynamics Problems, Novosibirsk, 17-22. Sep. 1973, Acad.Sci.Novosibirsk, Part I, 18-34.
 - , 1984. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. Riv. Meteor. Aeronaut., 44, 195-202.
- Radinović D., 1979. Prognoza vremena.
- Telenta B., 1992., Evaluation of long range atmospheric transport models using environmental radiactivity data from the Chernobyl accident, The ATMES report, 81-89.

DEKONTAMINACIJA U OTKLANJANJU POSLEDICA ČERNOBILSKOG AKCIDENTA

Ž. Vuković, M. Mandić, S. Raičević

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Sadržaj - Posle akcidenta na Černobilskoj nuklearnoj elektrani 26.aprila 1986.godine ispitivana je kontaminacija predmeta opšte upotrebe, materijalnih dobara i namirnica kao i dekontaminacija prema potrebama. Opisani su pojedini primjeri u vezi kontaminacije i dekontaminacije ^{131}I , $^{134+137}\text{Cs}$ i ^{110m}Ag . Pokazano je da se i u uslovima kontaminacije širokih razmera može različitim postupcima smanjiti nivo kontaminacije i ozračivanja preko kritičnih puteva transporta radionuklida kao i osposobiti za upotrebu kontaminirana materijalna dobra.

1. UVOD

Akciđent u Černobilu 26.aprila 1986.godine izazvao je radioaktivnu kontaminaciju širokih razmera u severnoj hemisferi zemljine lopte. Dva dana posle akcidenta 28.aprila, iako nije bilo zvaničnih informacija sa Sovjetske strane o akcidentu, povišeni nivo radijacije u Laboratoriji za vruću hemiju u Studsviku, Švedska, na Baltičkom moru, 75 km jugozapadno od Stockholma ukazao je na kontaminaciju uzrokovano ispuštanjem radionuklida iz nuklearnog reaktora istočno od Švedske a ne od nuklearnih proba.^[1] Kasnije je kontaminacija registrovana u ostalim Evropskim zemljama zavisno od atmosferskih uslova, u našoj zemlji 30.aprila a u Velikoj Britaniji 2.maja na rastojanju od oko 2000 km.^[2] U Evropskim zemljama Černobilski akcident proizveo je relativno nisku površinsku kontaminaciju.^[3] Za ^{131}I izmerena je depozita od $10^3\text{-}10^5 \text{ Bq/m}^2$ a za ^{134}Cs i ^{137}Cs između $10^3\text{-}10^4 \text{ Bq/m}^2$. Glavni kontaminanti su bili ^{131}I koji je kao volatilan elemenat napustio nuklearnu elektranu u potpunosti 100% i Cs(134+137) sa 15%. Registrovani su i drugi prođuti iz inventara jezgra u manjim koncentracijama. U našoj zemlji glavni talas kontaminacije dogodio se u periodu od 1-6.maja. S obzirom na kratko vreme poluraspada ($t_{1/2}=8,05$ dana) ^{131}I je u prvoj polovini maja bio dominantan kontaminant u životnoj sredini da bi već krajem maja aktivnost ^{131}I postala zanemarljiva. Cs(134+137) sa vremenima poluraspada od 2,06 godina odnosno 30,17 godina ostao je glavni kontaminant.

2. PONAŠANJE JODA I CEZIJUMA U ŽIVOTNOJ SREDINI

Akciđent tako širokih razmera u mirnodopskoj primeni nuklearne energije nije se dogodio. Nuklearne probe koje su vršene šestdesetih i sedamdesetih, posebno nadzemne imale su značajan uticaj na zagađivanje biosfere. Radioaktivne čestice mikronskih i submikronskih veličina, izbačene u troposferu, prenošene su vazdušnim masama i taložile su se na zemljinu površinu za period od 2-4 nedelje tako da kratkoživeći radionuklidi nisu predstavljali poseban problem.

Radionuklidi injektori u stratosferu taložili su se na površinu zemlje u periodu od 1-2 godine tako da su stratosferske radioaktivne padavine imale globalni karakter a glavni kontaminanti bili su dugoživeći izotopi ^{137}Cs i ^{90}Sr , u manjoj meri ^{144}Ca , ^{147}Pm i drugi. Za razliku od dugoživećih izotopa ^{131}I je bio glavni kontaminant u akcidentima na nuklearnim postrojenjima. Posebno se mogu izdvojiti dva akcidenta koja su se dogodila 1957 i 1979.g. U akcidentu koji se dogodio u nuklearnom centru Windscale u Velikoj Britaniji došlo je do oslobođanja ^{131}I iz gorivnih elemenata i kontaminacije okoline teritorije. U životnu sredinu tada je ispušteno oko $7,4 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$ ^{131}I .^[4] Kritični put transporta joda bio je lanac ishrane: travakrave-mleko-čovek. Pokazalo se kao interesantan fenomen ^{131}I da radioaktivni jod u mleku nije bio vezan za organske molekule mleka već se nalazio u vodenoj fazi mleka u obliku jodidnog jona što je imalo praktični značaj jer se mleko moglo dekontaminirati primenom anjonskih izmenjivačkih smola. U akcidentu na nuklearnoj elektrani Three Mile Island, Pennsylvania (SAD) u martu 1979.g. razrušen je integritet gorivnih elemenata i latalne doze fisionih produkata našle su se u kontejmentu reaktorske zgrade

a radioaktivni jod izvan zgrade oslobođen je u količini od 10^{12} Bq što je $1,3 \cdot 10^6$ puta manje nego što je oslobođeno iz Černobila.

Pošto je jod volatilan elemenat, inhalacija je jedan od najvažnijih puteva unošenja u organizam čoveka. Tradicionalno se već za sprečavanje inhalacije joda koriste razne vrste filtera koje mogu efikasno da apsorbuju pojedine oblike joda. Jod u mikrokoncentracijama, izložen raznim uticajima u biosferi, podložan je promenama valentnog stanja i oblika egzistencije tako da se često nalazi u raznim formama jonskog i molekularnog stanja i aerosola, što vrlo često umanjuje efikasnost filtera koji se koriste za njegovo prečišćavanje. Naša ispitivanja formi joda u vodenom rastvoru pri koncentracijama 10^{-5} - 10^{-6} M I_2 pokazala su da se hidrolizom molekularnog joda dobijaju drugi oblici pri čemu je dominantna reakcija $I_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + I^- + HOI$ zbog čega se za prečišćavanje moraju koristiti kompleksni filtri.

Za razliku od joda cezijum kao alkalni metal ne menja valentna stanja. U prve dve nedelje maja cezijum je deponovan na zemlju, ali i na sve druge površine pri čemu su ogromne površine zelene biljne kulture u fazi razvijenog lista i cveta.

Kontaminacija je u prvim danima bila delom nevezana a delom vezana sa tendencijom uvećanja ove druge uz ispoljavanje određenih kritičnih puteva transporta koji u lancu ishrane povećavaju koncentraciju Cs iznad propisanih dozvoljenih granica.

3. DEKONTAMINACIJA JODA I CEZIJUMA

Naša pažnja početkom maja 1986. bila je usredsređena na razradu metode za dekontaminaciju mleka koje bi se koristilo za dečju ishranu. Razrađena je metoda kojom se u tim danima moglo dekontaminirati oko 1500-2000 l mleka primenom anjonskih izmenjivača ali do realizacije metode nije došlo. Ispitivani su anjonski izmenjivač Dowex 1x8 u Cl obliku i aktivni ugalj Nuchar-c 60x100 Mesha impregniran srebrom. U tabeli su prikazani faktori dekontaminacije (Fd) za 100 kolonskih zapremina izmenjivača.

Tabela: Faktori dekontaminacije za različite vrste mleka

Datum	Uzorak	Aktivnost Bq/l	Fd Dowex	Fd aktivni ugalj
7.maj 1986.g.	kravlje mleko	650	32	21
8.maj 1986.g.	ovčje mleko	2100	34	23
9.maj 1986.g.	kozije mleko	750	31	20

Dobijeni faktori dekontaminacije su bili zadovoljavajući sa stanovišta normi i ova metoda se sigurno može uspešno koristiti za slučaj kontaminacije lokalnih razmera uz minimalna dopunska ispitivanja neophodnih za verifikaciju metode.

Kada je tokom maja praktično jod dezintegriran osnovni problem prestavljala je kontaminacija cezijumom (134+137) za koje je Evropska zajednica uvela normu od 600 Bq/kg. Kontrola velikog broja proizvoda biljnog i životinjskog porekla pokazala je da se ova norma mogla ispoštovati u većini slučajeva. Za predmete opšte upotrebe, obuću i odeću dekontaminacija je predstavljala rutinski problem. U periodu maj-juni obavljeno je preko 50 dekontaminacija sa faktorima dekontaminacije između 10 i 100. Poseban problem predstavljala je velika kontaminacija filtera (10.000-100.000 Bq/kg) koje je ekipa za dekontaminaciju sakupila i kondicionirala kao radioaktivni otpad. Samo iz ove operacije sakupljeno je oko 40 m³ radioaktivnih otpadaka. Može se prepostaviti da i u ovo vreme postoje filtri znatno kontaminirani radionuklidima iz Černobila.

Posebni slučajevi:

Živa stoka. Analizom fecita žive stoke koja se izvozi (junadi i konja) ustanovljeno je da oko 5% ne zadovoljava norme Evropske zajednice zbog čega je propisan režim ishrane sa najmanje kontaminiranim hranom posle čega (u roku 3-6 dana) bili su ispunjeni uslovi za izvoz. U toku dvogodišnje kontrole izvoznih kontigenata nije se dogodio ni jedan slučaj reklamacije ili vraćanja od strane inostranih partnera. Sačma uljane repice. Fabrika ulja iz Zrenjanina veliki je izvoznik sačme uljane repice. U toku kampanje prerade uljane repice u letu 1986. ustanovili smo da je sačma kontaminirana sa cezijumom (134+137) čije su vrednosti bile u opsegu od 900-1050 Bq/kg. S obzirom da smo u to vreme obavljali kontrole i za druge proizvođače i uvozno-izvozne firme našli smo kontigente uljane repice sa vrlo niskom

kontaminacijom koje je prihvatile Fabrika ulja iz Zrenjanina. Svakodnevnom analizom uzoraka iz Zrenjanina uspevali smo da regulišemo odnos smeša uljane repe raznih stepena kontaminacije tako da radioaktivnost Cs(134+137) bude ispod 600 Bq/kg čime je bio omogućen izvoz tražene stočne hrane u Evropsku zajednicu.

Čajevi. Domaći čajevi su bili artikal koji je bio jako podložan kontaminaciji. U periodu kontaminacije čajevi su imali razvijenu lisnatu površinu izloženu radioaktivnim padavinama. Kasnije su sušeni i pripremani za upotrebu. Kontrola kontaminacije je pokazala da sadržaj Cs(134+137) u nekim vrstama čajeva dostiže 5000 Bq/kg tako da nisu bili za upotrebu. Efikasna dekontaminacija čajeva nije bila moguća jer je vezana kontaminacija iznosila 60-90%, tako da je deo tih čajeva završio kao radioaktivni otpad.

Srebro. Radioaktivno srebro ^{110m}Ag identificirali smo krajem juna 1986.god. u nekoliko faza proizvodnog ciklusa pri proizvodnji bakra i plemenitih metala Rudarsko topioničarskog bazena Bor. Relativno povoljna okolnost je bila ta da je ^{110m}Ag sem u metalnom srebru nije identifikovano ni u jednom finalnom produktu kao što su bakar, zlato ili drugi plemeniti metali. Povoljna je bila i činjenica da se Cs(134+137) nije koncentrisao ni u jednoj fazi proizvodnog ciklusa. Što se srebra tiče koncentracija radioaktivnog srebra se nije mogla identifikovati u polaznim sirovinama već tokom separacije i koncentrisanja srebra po mehanizmu izotopske izmene $^{110m}\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+$. Nepovoljna okolnost je bila norma za sadržaj radioaktivnosti u metalnom srebru od 18,5 Bq/kg s obzirom da se srebro koristi u fotografskoj industriji. Ova norma nije mogla biti zadovoljena u 1986.g. jer je maksimalno dozvoljena koncentracija bila premašena 10-60 puta. Pošto se radilo o izotopskoj kontaminaciji nikakve metode dekontaminacije nisu bile moguće. Ustvari radioaktivno srebro bilo je tipičan Čerobilski kontaminant. Kao što je poznato ^{110m}Ag nije fisioni produkt i nije ga bilo u procenama ispuštenih radionuklida posle Černobilske havarije.^[5] Međutim legura srebra je korišćena u primarnom kolu Černobilske nuklearne elektrane tako da je ^{110m}Ag nastalo neutronskom aktivacijom. Na temperaturi od preko 2163 °C što je temperatura ključanja, srebro je izbačeno u biosferu zajedno sa drugim radionuklidima. Utvrđeno je koncentrisanje ^{110m}Ag u nekim biljnim i životinjskim vrstama u Italiji, Francuskoj i Velikoj Britaniji^[6,7] poreklom iz Černobila.

Iz ovih nekoliko primera može se zaključiti da i u uslovima kontaminacije širokih razmara kakva je bila posle Černobilskog akcidenta 1986.godine bilo je moguće raznovrsnim postupcima smanjiti nivoje kontaminacije i smanjiti nivo ozračivanja preko kritičnih puteva transporta radionuklida kao i sposobititi za upotrebu materijalna dobra i sredstva opšte upotrebe.

LITERATURA

- [1] Devell,H. at all., Initial Observations of Fallout from the Reactor Accident at Chernobyl, *Nature* 321, 192-193, 1986.
- [2] Fray,F.A. at all., Early Estimates of UK Radiation Doses from the Chernobyl Reactor, *Nature* 321, 193-194, 1986.
- [3] W.Jeschki, The Chernobyl Experience, *Radiat.Phys.Chem.*, Vol.34, 279-283, 1989.
- [4] M.M.Ninković, Činjenice i kontraverze o akcidentu u Černobilu, Savetovanje JDZZ u sklopu XL Konf. ETRANA, Budva, 4-7.jun 1996.g.
- [5] IAEA-INSAG-1 Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, Safety Series No.75, Vienna (1986), p.34.
- [6] Gentili A. at all., ^{110m}Ag in Fungi in Central Italy after the Chernobyl Accident, *J.Environ.Radioactivity* 13, 75-78, 1991.
- [7] Baldini E. at all., Chernobyl Pollution in Forest Biogeocenoses, *Radiochimica Acta* 41, 199-201, 1987.

Abstract - After the accident at the Chernobyl nuclear power plant on April 26th 1986, the degree of contamination on objects of general use, material goods as well as food products was determined. The

efficiency of different decontamination processes for the removal of ^{131}I , $^{134+137}\text{Cs}$ and $^{110\text{m}}\text{Ag}$, were investigated. It has been shown that even in the conditions of contamination of such wide proportions using the different methods, the level of contamination can be reduced. In many cases decontamination enabled further use of material goods. Several possibilities were suggested to avoid the standard pathways of radionuclide transportation.

THE EFFECTS OF THE DECONTAMINATION AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

Ž. Vuković, M. Mandić and S. Raičević

FENOMEN ČERNOBILJA

Mladen Vukčević

Institut "Vinča", Laboratorija "Zaštita"
11001 Beograd, p.p. 522

Rezime: U radu je dato kritičko viđenje događaja iz vremena Černobilja. Udes je posmatran kao fenomen svojstven vladajućem obliku društvene svesti u zemljama socijalističkog bloka.

Deset godina od Černobilja su dovoljna istorijska distanca da vreme samo razdvoji važne događaje od nevažnih. Zbog toga autor misli da vredi pisati o svemu što se pamti, makar to bile i anegdote. Mozaik ličnih sećanja na Černobil je kritički obojen. Autor, inače zaposlen u Laboratoriji za zaštitu od zračenja, za černobiljski udes je prvi put čuo kroz neobavezne komentare u hodniku i uz kafu. Nivo dramatičnosti tih prvih vesnika je bio nula. Uvertira za Černobil je za sve građane Jugoslavije počela predprazničkim dnevnikom RTB. Tada je na kraju dnevnika meteorolog poželeo građanima da se lepo provedu za Prvi maj i da ne brinu o radioaktivnosti iza Karpata. Meteorolozi još nisu napravili javni sastanak o toj prognozi, iako to ona veoma zaslužuje. Potpuni pregled događanja svakako bi trebalo da sadrži odgovor na pitanje da li su meteorolozi tih dana imali pregled kretanja vazdušnih masa nad Evropom i, ako su imali, kako su mogli dati takvu prognozu. Bilo kako bilo, upozorenja nije bilo, uzbuna nije data i lanac zaštitnih mera zbog približavanja kontaminiranih vazdušnih masa, u Jugoslaviji se sastojao od sve samih karika koje nedostaju.

Šta se moglo uraditi tih nekoliko dana pre pljuskova. Seljaci su mogli pobrati prolećnu salatu, pokositi travu, a stoku zadržati na zimskoj ishrani. Sanitarni inspektorji su mogli dobiti uputstvo šta da se radi sa kontaminiranim mlekom. Uputstvo da se proces u mlekarama usmeri ka siru i mleku u prahu kasnije je nekoliko dana. Na pijacama su stajale gomile neprodatog mladog luka i zelene salate. U dnevnoj štampi i televiziji čula se kakofonija različitih izjava. Jesti ili ne jesti. Čak i mi, zaposleni u Institutu VINČA, bili smo u nedoumici. Naš kolega, sada pokojni, je rekao da je izračunao koliko se može uneti radionuklida sa salatom i da je video da je to u dozvoljenim granicama, pa da sada uživa u obilju jeftine salate i mlade jagnjetine. Mi, mlađi, rado bismo ga sledili u tome, ali nas je od toga odvraćalo štektanje GM brojača kada bismo ga uperili u žbunje s druge strane prozora. Večiti sukob racionalnog i instiktka.

Merjenja prvih dana bila su kompromitovana sa radionuklidima joda. Kontaminirani brojači i neodređenost uzoraka bili su prvi problemi koje je trebalo rešiti u merenju aktivnosti. Merne tačke za merenje gamma doze su se štetele dok se nisu udaljile od žbunja, drveća, visoke trave i oluka i došle na jedan metar visine iznad kratke trave, kao što i piše u preporukama IAEA. Što se tiče identifikacije važnog radionuklida stroncijuma, autoru nije poznato da je to neko radio.

U preporukama IAEA za ponašanje u slučaju nuklearnog akcidenta takođe piše da je jedna od zaštitnih mera isključenje ventilacije. To, naravno, nije urađeno, pa su svi filtri i kanali bili kontaminirani. Kasnije su se filtri na velikim klimatizacionim sistemima morali zbog visoke doze zameniti.

Neupozorene turističke agencije su organizovale prvomajske ekskurzije đaka i studenata u Kijev, odakle su se svi vratili interno i eksterno kontaminirani.

Informacije i njihova razmena su bile praktično pod embargom. Tako se desilo da je u raportu IAEA o radijacionoj situaciji u Evropi, Jugoslavija bila bela mrlja, jer nisu bili poslati rezultati merenja. Tako nam je propala odlična turistička reklama za to leto, jer su naši konkurenti u turizmu bili jače pogodeni.

Ima smisla postaviti pitanje šta bi se desilo u Jugoslaviji da smo se ponašali kao da se ništa vanredno ne dešava. Jeli bi i pili iste stvari, jer su nove norme za aktivnosti u hrani, uvedene posle Černobilja, praktično legalizovale situaciju na terenu. Da li to znači da Černobilj i nije bio tako strašan kod nas, ili da se u takvim situacijama i ne može ništa drugo učiniti.

Međutim, uvoz-izvoz je nametao vanredno ponašanje, jer je u izvozu hrane inostrani kupac uvek tražio sertifikat o izmerenim koncentracijama radionuklida i verovatno je to proveravao još jedanput kod kuće. Kada smo mi uvozili, nisam siguran da kod nas nije bilo uspešnih poslovnih ljudi koji nisu pronašli u istočnoj Evropi lagere jestinog mesa i mleka u prahu.

Kakva je sada situacija kod nas. Što se tiče merne opreme, vreme i embargo su učinili svoje. U novinama se redovno objavljuje fluktuacija prirodnog gama fona u meteorološkoj rubrici. Ako se desi nešto neobično to završi u Akademiji nauka, koja da konačni sud, a posle toga osnuje i komisiju da to proveri. Što se tiče epidemiološkog stanja, lekari upozoravaju na porast malignih i genetskih oboljenja.

Jugoslavija je bila po egzaktnim fizičkim pokazateljima na rubu oblasti ugroženih Černobiljom. Međutim, Černobil nije samo masivan nuklearni udes, to je i društveni fenomen, stravična metafora za ceo jedan sistem koji će uskoro propasti. U tako posmatranom Černobilju Jugoslavija je bila bliža mjestu udesa. Černobil nije bio posledica više sile. Sami ljudi su uveli reaktor iz radnog režima u režim u kome je akcident bio neizbežan. Zašto su ušli u tako ludo rizičan eksperiment. Da bi proslavili novu radnu pobedu u čast Prvog maja. Taj isti Prvi maj i naš meteorolog nije htio da pokvari. Suluda motivacija. Međutim, to ne izgleda tako u društvenoj svesti u kojoj je sposobnost predviđanja i proigravanja različitih varijanti jednog scenarija ugušena voluntarizmom ideologije i mitologije.

Da li se Černobil može ponoviti. Zbog takve motivacije verovatno ne. Ali još uvek ostaje greška ljudskog faktora, zamor materijala i sve ono što je sa inherentnom nesigurnošću ugrađeno u sovjetske reaktore. Tu je i sinergetski uticaj ekonomske i političke krize koji sve te rizike uvećava. Društveno okruženje u kojem nuklearni udesi nisu mogući ne postoji. Ali je tačno da samo pragmatizam i oportunitizam treba da budu pokretački i kontrolni motivi u kompleksu nuklearne energetike. To je na zapadu postignuto u sukobu moćnog i diskretnog nuklearnog lobija sa brojnim i bučnim ekološkim pokretom zelenih. Tačka ravnoteže se od zemlje do zemlje kreće od potpunog moratorijuma do strogo kontrolisane izgradnje novih elektrana. Černobil se desio prekasno da bi mogao biti iskorušen u tom sukobu, ali je interesantno da se ni posle Černobilja nisu bitnije pomerile tačke ravnoteže. Očigledno da Černobil nije otkrio slabo mesto tehnologije već malignu neodgovornost ljudi i sistema.

Jugoslovensko društvo nije prošlo evoluciju zapada. Što je još gore, izgleda da idemo na njen početak. Na period prvobitne akumulacije kapitala. A kada stigne krupan inostrani kapital načićemo se i u fazi neokolonijalizma. I jedan i drugi period su poznati po bezobzirnom zagađivanju i uništavanju prirodnog okruženja čoveka. Moderno vreme tu dodaje i sofisticirano ispiranje mozga. Možemo li se tome suprotstaviti?

CHERNOBYL PHENOMENON

Mladen Vukčević
VINČA Institute for Nuclear Science

Summary: This paper gives a critical view of the events in time of Chernobyl. The accident is observed as a social phenomenon governed by the attitude characteristic for communist countries. The paper warns that accidents like Chernobyl are still possible.

MEĐUNARODNI STANDARDI U ZAŠТИTI OD ZRAČENJA

Dragoslav Nikezić i Dušica Vučić*

Prirodno - matematički fakultet, Kragujevac, *Tehnološki fakultet, Leskovac

Rezime:

Na osnovu Preporuka Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP), objavljenih 1991. godine kao ICRP publikacija 60, utvrđeni su osnovni međunarodni standardi sigurnosti (BSS) u zaštiti od ionizujućih zračenja. Ovi standardi obuhvataju: dozimetrijske veličine i jedinice, biološke aspekte zaštite od zračenja, sisteme zaštite za postojeće i buduće delatnosti, kao i različite nivoe akcije pri intervencijama u cilju zaštite od zračenja. U ovom referatu ukratko je dat opšti prikaz tih međunarodno prihvaćenih standarda.

Ključne reči: ionizujuće zračenje, standardi sigurnosti, zaštita od zračenja.

1. UVOD

Sistem zaštite od ionizujućih zračenja, kako pojedinaca tako i stanovništva u celini, ustanovljen je i preporučen od strane Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (International Commission on Radiological Protection - ICRP). Ovaj sistem je, sa manjim modifikacijama, prihvacen od većine zemalja sveta. U martu mesecu 1991. godine ICRP je izdala svoje osnovne Preporuke iz oblasti zaštite od ionizujućeg zračenja. Ove Preporuke, usvojene u novembru 1990. godine, publikovane su kao ICRP Publication 60 [1] i zamenjuju poznatu publikaciju, ICRP Publication 26, u kojoj su bile štampane osnovne Preporuke iz 1977. godine.

Na opšte međunarodnom usaglašavanju i primeni najnovijih Preporuka ICRP iz 1990. godine radilo je šest organizacija pod okriljem Ujedinjenih Nacija: FAO, IAEA, ILO, NEA/OECD, PAHO, WHO. Kao rezultat tog usaglašavanja izdati su Međunarodni standardi sigurnosti u zaštiti od ionizujućih zračenja i sigurnosti izvora zračenja, takozvani BSS (Basic Safety Standards) [2].

U ovom referatu je ukratko dat prikaz tih novih standarda u sistemu zaštite od zračenja.

2. VELIČINE KOJE SE KORISTE U ZAŠТИTI OD ZRAČENJA

Komisija ICRP pre svega ističe da ostaje pri tome da i dalje koristi makroskopske dozimetrijske veličine, mada pri tome prihvata i činjenicu da mikroskopski dozimetrijske veličine, zasnovane na statističkoj raspodeli događaja u maloj zapremini, više odgovaraju stvarnoj potrebi dozimetrije. Predviđa se da će dalji razvoj dovesti do korišćenja upravo ovakvih veličina. U Uvodu se takođe podvlači razlika između "modifikovane" i "ubijene" ćelije i ističe se da je krajnji efekat zavisan od promene na ćeliji.

Smatrajući osnovne dozimetrijske veličine već opštepoznatim i prihvaćenim, na ovom mestu ih samo navodimo (zajedno sa odgovarajućom SI jedinicom), bez dubljeg ulaženja u njihovo definisanje i fizički smisao:

(1) Aktivnost, A [Bq]; (2) Apsorbovana doza, D [Gy]; (3) Ekvivalentna doza u tkivu ili organu T je H_T [Sv]; (4) Efektivna doza, E [Sv] što je novi naziv za efektivnu ekvivalentnu dozu; promena je izazvana činjenicom da je prethodno ime previše dugo (naročito u određenim kombinacijama) i ponekada izaziva zabunu.

Nekoliko pomoćnih dozimetrijskih veličina je dokazalo svoju korisnost:

(5) Komitovana ekvivalentna doza, koja se odnosi na slučaj unošenja radionuklida u čovečije telo, $H_T(\tau)$ predstavlja vremenski integral jačine ekvivalentne doze, pri čemu je τ integralno vreme (u godinama) nakon unošenja radionuklida. SI jedinica ove veličine je, takođe, [Sv]. Ako vreme τ nije definisano uzima se 50 godina za odrasle ili 70 za decu. Komitovana efektivna doza $E(\tau)$ je definisana na analogan način.

(6) Dok se prethodne veličine odnose na pojedinca Kolektivna ekvivalentna doza, S_T (za dato tkivo ili organ) se odnosi na grupu ljudi ili celokupnu populaciju i predstavlja sumu proizvoda srednje doze u određenoj grupi i broja ljudi u toj grupi. Jedinica je "čovek - sivert" (man - sievert). Colectivna efektivna doza je definisana na analogan načina ali se prema definiciji efektivne doze vrši usrednjavanje po svim organima tela.

(7) Komitmentna doza $H_{c,T}$ ili E_c (ekvivalentna ili efektivna) je beskonačni integral jačine (odgovarajuće) *per caput* doze koja potiče od određenog dogadjaja ili odredjene prakse.

3. BIOLOŠKI ASPEKTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Efekti ionizujućih zračenja mogu da budu deterministički i stohastički.

Za determinističke efekte ionizujućih zračenja je karakteristično da postoji prag doze zračenja ispod koga se efekat ne opaža. Zaštita se u tom slučaju postiže jednostavnim uspostavljanjem granice doze ispod tog praga.

Sa druge strane, stohastički efekti mogu da se dogode i pri najnižim dozama. Verovatnoća javljanja ovih efekata je statistički određena. Kod datog stohastičkog efekta, pored poznavanja verovatnoće njegovog pojavljivanja, potrebno je uzeti u obzir i njegovu oštinu. Uvodi se pojam štetnosti, koji u sebi sadrži kako verovatnoću pojavljivanja datog efekta, tako i njegovu oštinu.

4. KONCEPTUALNI OKVIRI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Izvesne ljudske aktivnosti povećavaju sveukupno izlaganje. Ove aktivnosti su nazvane "delatnostima". Druge ljudske aktivnosti, koje mogu da smanje sveukupno izlaganje zračenju, nazvane su "intervencijom". Posebno su razmotrane mere zaštite pri delatnostima, a posebno pri intervencijama.

a) Sistem zaštite pri "delatnostima"

Sistem zaštite pri delatnostima koje dovode do izlaganja ionizujućem zračenju je zasnovan na sledeća tri principa:

1) Opravданost delatnosti: ne može se preuzeti ni jedna delatnost sa zračenjem ukoliko ta akcija ne dovodi do koristi za ozračene pojedince ili društvo u celini, dovoljne da pokrije radiacionu štetnost.

2) Optimizacija zaštite: doze , broj izloženih pojedinaca i dr. od pojedinih izvora u toku neke delatnosti treba držati onoliko nisko koliko je to razumno moguće postići uzimajući u obzir društvene, ekonomski i druge faktore.

3) Granice doza i rizika za pojedince; izlaganje individua koje je rezultat kombinovanog dejstva svih relevantnih delatnosti mora biti ograničeno. Cilj je, postići da nema pojedinaca koji su izloženi neprihvatljivo visokom riziku od ovih delatnosti u bilo kojim normalnim uslovima.

Izuzetno je važno istaći da se ceo sistem i svi osnovni principi moraju tretirati kao koherentan sistem. Ni jedan deo ne bi trebalo da bude uzet izolovano.

b) Sistem zaštite pri "intervencijama"

Ovaj sistem je baziran na principima opravdanosti "intervencija":

1) Svaka potencijalna intervencija mora doneti više koristi nego štete (uključujući i društvenu štetu);

2) Oblik, obim i trajanje intervencije treba optimizirati tako da se dobije maksimum čiste koristi od uspostavljenog smanjenja doze.

5. SISTEM ZAŠTITE ZA PREDLOŽENE DELATNOSTI ILI ZA DELATNOSTI KOJE SU U TOKU.

Da bi se adekvatno primenio čitav niz konkretnih mera u cilju zaštite od zračenja, neophodno je izvršiti kategorizaciju izlaganja zračenju. U tom smislu predložene su sledeće kategorije izlaganja pojedinaca i stanovništva zračenju:

- 1) Profesionalna izloženost,
- 2) Medicinska izloženost,
- 3) Opšta izloženost

Sistem zaštite pojedine kategorije baziran je na dozvoljenoj granici primljenih doza.

Za profesionalnu izloženost propisane su sledeće granice doza:

- efektivna doza od 20 mSv po godini, usrednjeno za 5 uzastopnih godina;
- efektivna doza od 50 mSv za samo jednu godinu izloženosti;
- ekvivalentna doza za očna sočiva od 150 mSv u godini;
- ekvivalentna doza za ekstremitete (šake i stopala) i za kožu od 500 mSv u godini.

Granice doza za opštu populaciju:

- efektivna doza od 1 mSv u godini;
- pod specijalnim okolnostima efektivna doza veća od 5 mSv u pojedinačnoj godini, uz uslov da srednja doza u toku 5 uzastopnih godina ne prelazi 1 mSv po godini;
- ekvivalentna doza za očna sočiva od 15 mSv u godini;
- ekvivalentna doza za kožu šake i stopala od po 50 mSv u godini.

Kod medicinske izloženosti zračenju se, prvenstveno, misli na izloženost pacijenata, mada i pojedine struke medicinskog osoblja mogu znatno biti izložene. Granice doza propisane u medicinskoj dijagnostici se nalaze u vrlo širokom opsegu, i nisu striktno definisane, a zavise od vrste sprovedene radiološke procedure (radiografija, kompjuterska tomografija, mamografija, fluoroskopija,...).

6. VODIČ ZA NIVOE INTERVENCIJE U NEKIM SITUACIJAMA

Ovaj sistem zaštite podrazumeva tri kategorije izloženosti zračenju:

- 1) Urgentnu izloženost;
- 2) Hroničnu (dugotrajanu) izloženost (u koju spada i izloženost prirodnim radioaktivnim izvorima);
- 3) Potencijalna izloženost (koja direktno zavisi od sigurnosti radioaktivnih izvora).

Nivoi akcije pri intervencijama zavise od nivoa primljenih doza. Na primer, kod urgentne izloženosti predviđene su kako hitne, tako i dugotrajna akcije:

Hitne zaštitne akcije

<u>Akcija</u>	<u>Primljena doza</u>
- skrivanje u skloništa	10 mSv za period manji od 2 dana
- profilaksa jodom	100 mGy (kumulativna apsorbovana doza u titoidi)
- evakuacija	50 mSv za period manji od jedne nedelje

Dugotrajne akcije

- privremeno iseljenje	10 mSv do 30 mSv za mesec dana
- rezmatranje trajnog raseljavanja	1 Sv u toku života

Kod kategorija hronične i potencijalne izloženosti dominantne su dugotrajne akcije i to kako na pojedinačnom, tako i na opštem društvenom planu.

LITERATURA:

- [1] ICRP 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60. Pergamon. Ann. ICRP 21 (13) (1991)
- [2] Gonzalez, A. J. "Radiation safety: New international standards", IAEA Bulletin, 2 (1994)

International Standards in Radiation Protection Dragoslav Nikezić & Dušica Vučić

Abstract The new Basic Safety Standards (BSS) in radiation protection are based on the Recommendations of the ICRP Publication 60. A summary of this international standards are given in this report. Key words: ionising radiation, safety standards, radiation protections

MONITORING TRITIJUMA U TOKU RĀDA REAKTORA RB

Nada Miljević, Vojislava Šipka, Milan Pešić i Zoran Gršić
Institut za nuklearne nauke "Vinča", p.p. 522, 11001 Beograd

Sadržaj - U Institutu za nuklearne nauke "Vinča" za vreme normalnog rada istraživačkog reaktora RB 1W(tr) tokom aprila i decembra 1995. godine meren je saržaj tritijuma u dnevnim padavinama, u vazduhu u hali reaktora RB i u krugu Instituta. Oslobođena fisiona energija reaktora bila je u opsegu od 0.53 do 25.31 Wh u toku jednog dana. Izmerene koncentracije tritijuma u padavinama su bile 4,0 - 78.7 Bq/l, a u prizemnoj kondenzaciji 107 - 189 Bq/l. Sadržaj tritijuma u obliku HTO u vazduhu u krugu Instituta je fluktuirao od 50-340 Bq/l ($0.3\text{-}2.3 \text{ Bq/m}^3$) do 494-823 Bq/l u hali reaktora. Brzina oslobođanja tritijuma u vazduhu u obliku vode koja sadrži tritijum za vreme normalnog rada reaktora može se proceniti na 0.3 kBq/Wh.

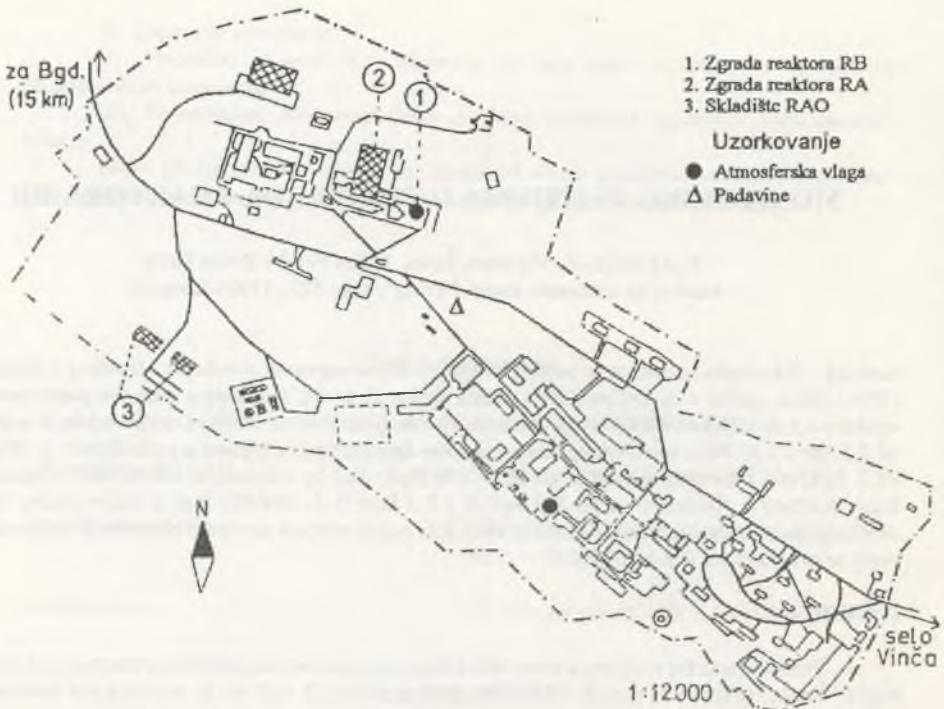
1. UVOD

Prosečan sadržaj tritijuma u mesečnim kompozitnim uzorcima padavina u Instituta za nuklearne nauke "Vinča" (INNV) za period 1988-1994. godina je $30 \pm 13 \text{ Bq/l}$ što je skoro za red veličine više od vrednosti ($5 \pm 2 \text{ Bq/l}$) merene u isto vreme na referentnom mernom mestu, meteorološka stanica Zeleno Brdo, na udaljenosti 7 km od Instituta. Tokom rada teškovodnih reaktora tritijum nastaje apsorpcijom neutrona u deuterijumu, tj. teškoj vodi koja služi kao moderator. Od nuklearnih instalacija u Vinči koje sada potencijalno mogu da proizvode tritijum je jedino istraživački reaktor, RB, termičke nominalne snage 1 W. Značajno povećanje koncentracije tritijuma u atmosferskog vlagi u krugu INNV za vreme rada RB reaktora 1994. godine nije zabeleženo [1]. Iz tog razloga su istraživanja proširena na istovremeno merenje sadržaj stvorenog tritijuma u hali reaktora i u neposrednoj okolini Instituta za vreme normalnog rada reaktora.

2. UZORKOVANJE I MERENJE

Za vreme rada termičkog nuklearnog reaktora nulte snage, RB, tokom aprila i decembra 1995. godine meren je saržaj tritijuma u 24 časovnim uzorcima atmosferske vlage u samoj hali reaktora i u krugu Instituta kao i padavinama. Plan INNV sa obeleženim mestima za uzorkovanje je prikazan na slici 1. Mesto uzorkovanja padavina je 150 m od zgrade raktora RB, a atmosferske vlage 700 m dalje u pravcu severozapadnog vetra. Uzorkovanje je vršeno pre početka rada reaktora, za vreme njegovog rada i nastavljeno još nekoliko dana po prestanku rada. Uzorci padavina su sakupljeni na metalnoj tacni površine 0.15 m^2 u cilju povećanja količine raspoloživog uzorka za analizu. Uzorkovanje tritijuma iz atmosfere je vršeno samo u obliku oksida, HTO, absorbovanjem vlage na trapovima ispunjenim molekulskim sitom 4A koristeći diferencijalnu aparaturu za uzorkovanje HT/HTO (Institute of Isotopes of Hungarian Academy of Sciences) [2]. Brzina protoka vazduha kroz sistem je bila 70-80 l/h za uzorce spolašnje atmosfere i 182 l/h za uzorkovanje u hali. Koncentracija HTO u vazduhu izračunata je iz merene aktivnosti tritijuma u vodi desorbovanoj sa molekulskog sita na 500°C [3, 4].

Aktivnost tritijuma je merena na tečnom scintilacionom detektoru (1219 Rack Beta Spectral) i izražena u Bq/l vode ili Bq/m^3 vazduha. Prethodno elektrolitičko obogaćivanje uzorka nije vršeno zbog njihove male količine. Greške merenja su od 5 do 10%. Meteorološki podaci za srednju 24 časovnu temperaturu i relativnu vlažnost dobiveni su obradom sedmodnevnih traka sa analognim kontinualnim zapisom. Brzina i pravac vetra su beleženi na meteorološkom stubu u neposrednoj blizini uzorkovanja padavina.



Slika 1. Mapa Instituta za nuklearne nauke "Vinča" sa naznakom mesta za uzimanje uzoraka

3. POTENCIJALNI IZVOR TRITIJUMA

Termički nuklearni reaktor nulte snage RB, sa teškovodnim moderatorom (D_2O) i uranijumskim gorivom različitog sastava (prirodni metalni uranijum, metalni uranijum obogaćen sa 2% i oksidni uranijum obogaćen 80%) nominalne snage 1 W sa promenljivim intenzitetom radi od 1958. godine. Da bi se ostvarila ideja "nerefleksije neutrona" reaktorsko jezgro je postavljeno na platformi uздignutoj 4 m od poda. Sistem nema biološku zaštitu ni hlađenje forsiranim protokom moderatora. U posebnoj postroji ispod poda hale se nalazi rezervoar zapremine 7 m³ za smeštaj i čuvanje teške vode. Regulisanje reaktivnosti reaktora se ostvaruje promenom nivoa teške vode koji se meri električnim kontaktom između njene površine i kalibriranog nivomera sa greškom od $\pm 0,2$ mm [5]. Maksimalna visina teške vode je 2100 mm. Prirodna ventilacija se vrši kroz otvor na visini od 11 m.

Eksperimenti izvedeni tokom aprila i decembra meseca vršeni na spegnutom brzo-termičkom sistemu HERBE. Sistem je formiran od prirodnog uranijum metal-a i 80% obogaćenog uranijum oksida sa teškom vodom kao moderatorom i reflektorom. Gorivni elementi od 80% obogaćenog uranijuma su segmenti od cilindričnih cevi spoljašnjeg prečnika 37 mm, dužine 112,5 mm. Prstenasti sloj, visine 95 mm i debljine 2 mm, uranijum dioksida je dispergovan u aluminiju. Aluminijumska košuljica je debljine 1 mm. Gorivni element reaktora je formiran sastavljanjem 10-15 gorivnih segmenta u otvorenu ili zatvorenu aluminijumsku cev prečnika 43/41 mm i visine 2250 mm. Elementi su složeni u moderatoru u kvadratnoj rešetci koraka 120 mm.

Ravnotežna koncentracija tritijuma u teškoj vodi, moderatoru reaktora merena 1994. godine bila je 1.85 MBq/l , što daje ukupnu aktivnost tritijuma od 11 GBq . Količina teške vode u reaktorskom sudu koja je učestvovala u ovim eksperimentima iznosila je $4,29 \text{ m}^3$. Rad reaktora je predstavljen preko oslobođene fisione energije. Računat je na osnovu poznavanja srednjeg ukupnog fluksa neutrona i vremena rada reaktora i kreatao se u opsegu od 0.53 do 25.31 Wh u toku jednog dana. Ukupno izračunata generisana aktivnost tritijuma u teškoj vodi reaktora je bila $21,73 \text{ Bq/l}$ u aprilu, za ukupno oslobođenu fisionu energiju od $28,04 \text{ Wh}$, a 20.90 Bq/l u decembru pri oslobođenoj energiji od $27,01 \text{ Wh}$. Povećanje aktivnosti tritijuma u teškoj vodi tokom 1995. godine je procenjeno na 183 kBq .

4. REZULTATI I DISKUSIJA

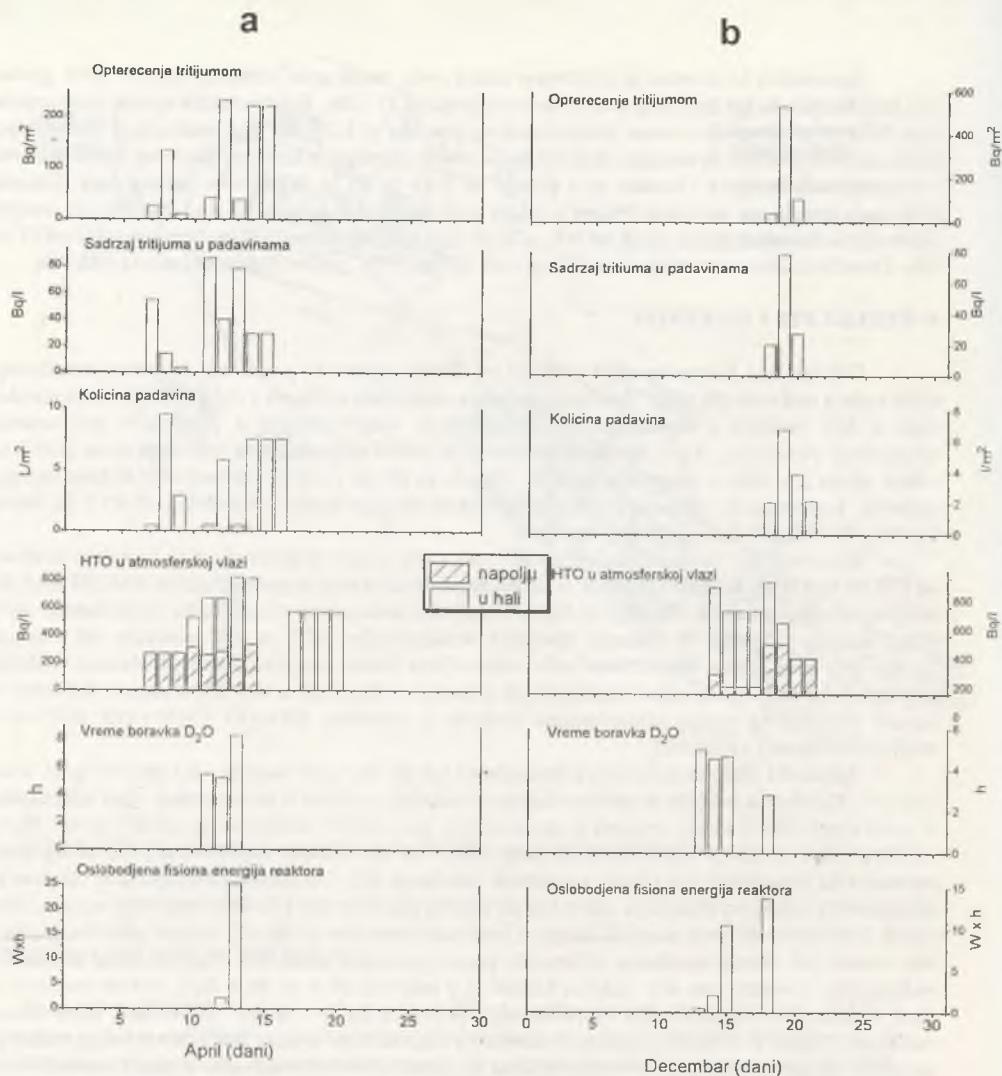
Oslobodjena fisiona energija reaktora po danima zajeno sa podacima za vreme zadržavanja teške vode u reaktorskom sudu, količinom padavina, sadržajem tritijuma u obliku HTO u atmosferskoj vlazi u hali reaktora i neposrednoj okolini Instituta, njegov sadržaj u postojećim padavinama, opterećenje tritijumom, kao i meteorološki uslovi za vreme eksperimenata prikazani su na slici 2 (a. tokom aprila i b. tokom decembra meseca). Zapaža se da pri velikom oslobođenju fisione energije reaktora, koncentracija tritijuma u hali reaktora raste nasuprot njegovom sadržaju ($0.97\text{-}2.26 \text{ Bq/m}^3$ vazduha ili $136\text{-}341 \text{ Bq/l}$) u okolini Instituta.

Koncentracija tritijuma merena u hali reaktora za vreme eksperimenata se kretala u intervalu od 670 do 823 Bq/l . Merene vrednosti neposredno posle završenih eksperimenata su bile 569 Bq/l , što je blisko vrednostima $470\text{-}499 \text{ Bq/l}$ (2 Bq/m^3) nadjenim mesec dana po završetku decembarske serije eksperimenata. Zapaža se linearna zavisnost koncentracije HTO u hali reaktora od vremena zadržavanja teške vode u reaktorskom sudu i oslobođene fisione energije (slika 3). Računske vrednosti za koncentraciju tritijuma oslobođenog usled prisustva teške vode u hali RB reaktora dobivene na osnovu merenja za vreme eksperimenata u aprilu i decembru (681 ± 17 i $675 \pm 102 \text{ Bq/l}$) su u međusobno dobroj saglasnosti.

Apsolutna vlažnost se kretala u intervalu od $4,6$ do $10,2 \text{ g/m}^3$ napolju i $8,1$ do $10,1 \text{ g/m}^3$ u hali reaktora. Korelaciju između absolutne vlažnosti i sadržaja tritijuma u atmosferskoj vlazi bilo napolju ili unutra nije bilo. Sadržaj tritijuma u atmosferskoj vlazi u HTO obliku bio je od $0,3$ do $4,1 \text{ Bq/m}^3$ vazduha ($50,4$ do $334,6 \text{ Bq/l}$), što je do deset puta više od vrednosti ($0,39 \text{ Bq/m}^3$) globalnog nivoa merenom na lokacijama bez uticaja nuklearnih instalacija [6]. Koncentracije tritijuma u vazduhu su uporedive sa onima na rastojanju oko 6 km od nuklearnih elektrana [7]. Ove vrednosti su vrlo slične onima dobivenim na istom mernom mestu u nedeljnijim uzorcima (6 Bq/m^3) tokom 1993-94 godine u isto vreme (pri sličnoj apsolutnoj vlažnosti, period novembar-mart) [8]. Koncentracija tritijuma u padavinama za vreme rada RB reaktora kretala se u intervalu 20.6 do 86.4 Bq/l , dok se vrednosti za dane neposredno pre izvodjenja eksperimenata ($4.0\text{-}54.8 \text{ Bq/l}$) i posle ($27.6\text{-}78.8 \text{ Bq/l}$) znatno razlikuju. Zapaža se sličnost vrednosti dobivenih u danima kada je radio RB reaktor i neposredno po završetku eksperimenata koje su znatno više od prosečnih mesečnih vrednosti u padavinama ($27 \pm 12 \text{ Bq/l}$, $n=49$) za one mesece kada nisu vršeni eksperimenti na reaktoru. Tokom decembra usled hladnog vremena i visoke relativne vlažnosti (84-88 %) došlo je do stvaranja znatne prizemne kondenzacije (20-50 ml). Sadržaj tritijuma u njima je bio visok ($107.7\text{-}189.0 \text{ Bq/l}$) verovatno zato što je u tom periodu (13. do 17. decembra) radio reaktor RB.

Na osnovu razlike u koncentraciji tritijuma (2 Bq/m^3) u vazduhu hale reaktora kada je reaktorski sud prazan i pun teškom vodom i zapremine hale ($26.8 \times 15.7 \times 11.8 \text{ m} = 4.965 \text{ m}^3$) može se proceniti aktivnost hranično oslobođenog tritijuma u vazduhu usled prisustva teške vode na $9,9 \text{ kBq}$. Aktivnost stvarno oslobođenog tritijuma kretala se od $1\text{-}2 \times 10^{-4} \%$ ravnotežne aktivnosti teške vode zavisno od oslobođene fisione energije reaktora pri njegovom normalnom radu do 30 Wxh . Brzina oslobođanja tritijuma u obliku oksida za vreme rada reaktora može se proceniti na 0.3 kBq/Wh .

Sve izmere vrednosti su znatno niže od dozvoljene izvedene koncentracije za stanovništvo ($5 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$) [9], odnosno za radnu okolinu ($8 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$) i predstavljaju najviše 8 % od dozvoljene koncentracije za stanovništvo i 0.03 % za radnu okolinu.



Meteorološki uslovi

za vreme eksperimenta: april

decembar

Glavni vjetar:

zapad-severozapad

istok-jugoistok

Učestanost pojavljivanja:

34,5%

28,4%

Srednja brzina vjetra:

2,1 m/s

1,4 m/s

Tišina:

12,5%

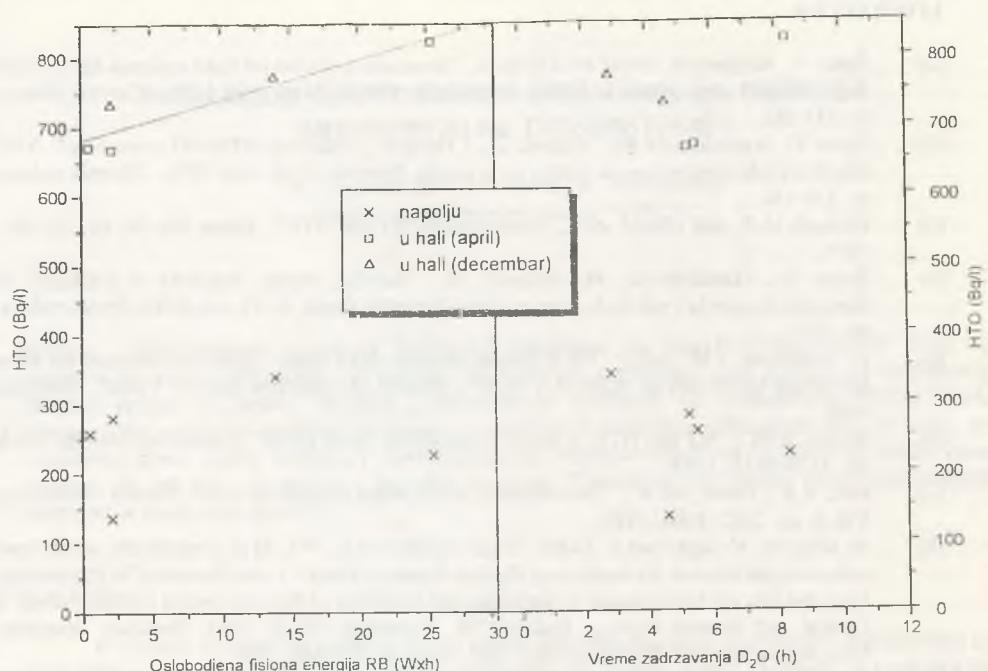
11,2%

Obradjeno vreme:

168 h

168 h

Slika 2. Sadržaj tritijuma u padavinama i vazduhu u hali reaktora i okolini Institut za vreme rada RB reaktora, zajedno sa vremenom zadržavanja teške vode u reaktorskom sudu i oslobođenom fisionom energijom reaktora pri njegovom radu



Slika 3. Zavisnost sadržaja tritijuma u atmosferskoj vazi u okolini Instituta i hali reaktora RB za vreme izvodjenja eksperimenata od oslobođene fisione energije reaktora i vremena zadržavanja teške vode u reaktorskom sudu

5. ZAKLJUČCI

Značajno povećanje koncentracije tritijuma u obliku HTO nije zabeleženo u atmosferskoj vazi u okolini Instituta za vreme rada i neposredno posle prestanka rada RB reaktora. Istovremeno je nadjeno, zavisno od intenziteta oslobođene fisione energije reaktora povećanje sadržaja tritijuma u vazduhu hale reaktora i do 100 % od vrednosti kada reaktor ne radi. Izmereni sadržaj tritijuma u padavinama i vazduhu je viši za oko 10 puta od globalnog svetskog nivoa na mestima u kojima nema uticaja nuklearnih instalacija. Ostvareni rezultati ukazuju na postojanje kontinualnog emitovanja tritijuma u atmosferu iz nekog lokalnog izvora i neophodno je detaljnije ispitivanje preostalih potencijalnih izvora tritijuma u Institutu za nuklearne nauke "Vinča".

LITERATURA

- [1] Šipka V., Miljević N., Pešić M. i Gršić Z, "Stvaranje tritijuma pri radu reaktora RB", XVIII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Bečići, 24-26. maj 1995., Zbornik radova, str. 281-284.
- [2] Šipka V., Hadžišehović M., Vuković Ž., i Huter B., "Merenje HT/HTO u vazduhu". XVII Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Beograd 25-28. maj 1993., Zbornik radova, str. 119-122.
- [3] Ostlund, H.G. and Mason, A.S., "Atmospheric HT and HTO", Tellus Vol.26, pp. 91-101.. 1974.
- [4] Šipka, V., Hadžišehović, M., Miljević, N., "Sadržaj izotopa vodonika u vazduhu", II Simpozijum hemije i zaštita životne sredine, Vrњачka Banja, 9.-13. jun 1993, Izvodi radova, str. 251.
- [5] D. Stefanović i M. Pešić, "Od kritičnog sistema teška voda - prirodni uranijum do brzotermičkog istraživačkog reaktora u Vinči", Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, 1995.
- [6] Brown, R.M., "HT and HTO in the environment at Chalk River", Fusion Technology Vol.8, pp. 2539-2543, 1985.
- [7] Bell, R.P., Davis, M.W., "Development of a tritium dispersion code", Fusion Technology Vol.8, pp. 2582-2586, 1985.
- [8] N. Miljević, V. Šipka and Z. Gršić, "Time variation of D, ^{18}O , ^3H in atmospheric water vapor and precipitation near the Institute of Nuclear Sciences Vinča", In the Budapest'94 Proceedings from the Second International Symposium and Exhibition of Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest'94, September 20-23, 1994, Budapest, Hungary, Government Institute, Inc. Rockville, MD, USA, p. 879-881, 1994.
- [9] Pravilnik o maksimalnim granicama radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i o vršenju dekontaminacije, "Službeni list" SFRJ br. 8/87.

TRITIUM MONITORING DURING RB REACTOR OPERATION

Nada Miljević, Vojislava Šipka, Milan Pešić and Zoran Gršić

Abstract - Tritium content in daily precipitation and atmospheric water vapor samples was monitoring inside of reactor hall and outdoor of the Vinča Institute during normal RB reactor operation conditions in April and December 1995. Generated fission energy from the reactor was ranging between 0.53 and 25.31 Wh per day. Tritium concentrations in precipitation and ground condensation were 4.0-78.7 Bq/l and 47.2-1204 Bq/l, respectively. Tritium content in atmospheric water vapor in HTO form varied from 2,8 to 6,2 Bq/m³. The tritium release rate to the environment in oxide form, via airborne pathway during normal reactor operation is esimated to be about 0.3 kBq/Wh.

PRORAČUN NEUTRONSKIH SPEKTARA ZA POTREBE AKCIDENTALNE DOZIMETRIJE

R. Simović, N. Marinković, B. Stefanović
Institut za nuklearne nauke "VINČA"

Sadržaj - Korišćenjem programa SABINE-3 odredjeni su spektri i neutronske doze na površinama sfera načinjenih od tipičnih reaktorskih materijala, koji potiču od izotropnog fisionog izvora u centru. Analiza i upoređenje rezultata sa referentnim Monte Carlo proračunima pokazuje saglasnost rezultata SABINE-3 sa referentnim podacima za vodu, sa izuzetkom sfere malog radijusa i zadovoljavajuće slaganje rezultata za sfere od teške vode radijusa do 20 cm. Za beton i gvožđe program SABINE-3 precenjuje udio epitermičkih neutrona u ukupnom spektru.

1. UVOD

U slučaju nuklearnog akcidenta izazvanog nekontrolisanom promenom reaktivnosti sa ekskurzijom snage nuklearnog reaktora (navedimo, na primer, davni akcident na reaktoru RB u Vinči, ili skorašnju nuklearnu katastrofu u Černobilju), kao i pri havariji izvora zračenja visokog intenziteta, izračunavanje neutronske doze primljenih od osoba izloženih zračenju zavisi od poznavanja spektra incidentnih neutrona. Oblik neutronske spektralne distribucije, koji zavisi od materijalnih i geometrijskih karakteristika nuklearnog postrojenja, kao i osobina neposrednog okruženja, omogućava izračunavanje neutronske doze iz registrovanog odziva detektoru. Poznavanje spektra upadnih neutrona takođe potpomaže određivanje prostorne raspodele doze u telu, lociranje maksimalne primljene doze i selekciju posebno ugroženih organa.

Informacije o spektru neutrona u akcidentalnim uslovima dobijaju se, pre svega, posredstvom pasivnih detektora (aktivacionih i fisionih detektora zaštićenih košuljicom od ^{10}B), koji su na lokaciji instalisani pre akcidenta. Međutim, ovi monitoring sistemi nisu podesni za procenu individualno primljene doze za koju je potrebno mnogo detaljnije poznavanje prostorno energetske raspodele neutrona [1]. Bolji način da se ovom zahtevu tačnosti udovolji je realizacija proračuna prostiranja neutrona upotrebom računara i potvrđenih računarskih programa uz korišćenje raspoloživih nuklearnih podataka za razmatrano postrojenje, ili proračun modela nuklearnih sistema koji pojednostavljaju realne situacije. Proračunavajući prostiranje fisionih neutrona emitovanih iz centra sfere ispunjene homogenim materijalom (vodom, teškom vodom, gvožđjem i betonom), u ovom radu dobijeni su spekti neutrona na površinama sfera različitih poluprečnika. U ovu svrhu korišćen je program SABINE-3 [2].

SABINE-3 je standardni inženjerski program namenjen proračunu prostiranja neutronske i gama zračenja kroz zaštitne materijale nuklearnih postrojenja [2]. U Laboratoriji za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku Instituta za nuklearne nauke "Vinča", program je do sada korišćen za ocenu efikasnosti reaktorskih štitova [3] i izračunavanje koeficijenata transmisije doza neutrona i gama zračenja za betone, zemlju i srodne materijale (pesak, ciglu i glinu) [4, 5]. Ovde su ispitane mogućnosti programa za određivanje prostorno energetske raspodele neutrona fisionog porekla pri prolazu kroz nekoliko tipičnih reaktorskih materijala. Za referentne spekture uzeti su rezultati dobijeni Monte Carlo programom OSR [6], ostvareni u Chalk River Nuclear Laboratory, Kanada [7, 8, 9] i sabrani u IAEA priručniku posvećenom akcidentalnoj dozimetriji [1].

2. POSTUPAK IZRAČUNAVANJA NEUTRONSKIH SPEKTARA I REZULTATI

Neutronska dozimetrija povezana sa akcidentima nuklearne natkritičnosti postrojenja zahteva detaljno poznavanje spektra neutrona koji prodirući kroz zaštitu nuklearnog ansambla padaju na spolja postavljene detektore. Najčešće, neutronska polja tada nisu strogo usmerena, te se proračuni vrše za izotropan fisioni izvor i debo moderatorski ili zaštitni materijal. Otuda je u ovom radu računat spektar neutrona na površini homogene sfere od obične vode, teške vode, gvožđa, ili gradjevinskog betona, a koja u centru ima smešten izotropan jedinični izvor neutrona fisionog spektra. Poznavanje promene neutronskih spektara sa promenom poluprečnika sfere omogućava najbolji izbor spektralnog modela za konverziju podataka dobijenih prag detektorima, kao i sam izbor prag detektora.

Program SABINE-3 [2] razmatra transport neutrona po modelu difuzione metode kombinovane sa presekom za uklanjanje (removal - diffusion method). Poseduje sopstvenu biblioteku multigrupnih preseka i preseka za uklanjanje neutrona. Određivanje neutrona uklonjenih iz osnovnog snopa vrši se u području energije od 18 MeV do 0.5 MeV, koje je izdeljeno na 19 grupa približno jednakih širina. Ukupni neutronski fluks računa se multigrupnim difuzionom postupkom u 26 energetskih grupa u oblasti neutronskih energija od 15 MeV do 0 eV, sa letargijskim širinama grupa od 0.5 - 1. Ovaj semianalitički pristup transportu neutrona pokazao se veoma efikasnim, posebno za proračun debljih štitova koji sadrže vodu [10]. Program omogućava proračune u ravnoj, sfernoj, cilindričnoj i disk geometriji, sa većim brojem različitih materijalnih zona i slobodnim izborom graničnih uslova.

Usaglašavajući naš problem sa programskim zahtevima SABINE-3, izvor neutrona u centru sfere predstavljen je minijaturnom kuglom poluprečnika 1 mm, konstantne gustine fisionog izvora (tako odredjene da je ukupna jačina izvora jednaka emisiji jednog neutrona u sekundi) i sa Cranbergovim spektrom neutrona definisanim frakcijama neutrona u svakoj od 19 grupa za uklanjanje [2]. Na spoljašnjoj granici formulisan je vakuumski granični uslov ($J = 0$). Razmatrane su sfere poluprečnika od 5 cm do 60 cm. Pored spektra neutrona računata je i jačina ekvivalentne doze neutrona.

Referentni rezultati koje su publikovali H. Ing i W. G. Cross [1, 7-9] dobijeni su pomoću Monte Carlo 05R programa [6]. Proračuni su vršeni za područje energija od 19.8 MeV do 0.575 eV koje je izdeljeno u 800 grupa. Konačan spektar prikazan je u širim energetskim intervalima zavisno od željene energetske rezolucije i statističke tačnosti, a za područje energija iznad 1 eV. Nuklearni preseci uzeti su iz ENDF/B-III i ENDF/B-IV biblioteka neutronskih preseka. Praćeno je od 16000 do 640000 neutronskih "istorija", zavisno od dimenzija ansambla.

Na Slikama 1-4 prikazane su prostorno energetske raspodele gustine neutronskog fluksa integriranog po uglu (energetski spektar neutrona) izražene po jediničnom intervalu letargije i pomnožene geometrijskim faktorom $4\pi r^2$, a koje se odnose na površine sfera različitih poluprečnika i različitog materijalnog sastava.

U slučaju proračuna sfera sa običnom vodom (Slika 1), uočava se dobra saglasnost rezultata SABINE-3 i 05R programa, sa izuzetkom sfere malog radijusa (5 cm). Ovo je u saglasnosti sa ranije potvrđenom karakteristikom SABINE-3 koda da sa visokom tačnošću rešava problem transporta neutrona kroz deblje materijale koji sadrže vodu. Naime, tada su ispunjene potrebne pretpostavke za uspešnu upotrebu difuzione teorije sa presekom za uklanjanje. Takođe, sa slike se uočava 1/E oblik neutronskog spektra u oblasti energija od 1 eV do 50 keV. Za područje energija < 1 eV naši rezultati pokazuju značajan porast gustine fluksa termičkih neutrona. U referentnim rezultatima [7,1] ovaj deo spektra nije prikazan jer se smatra da termički deo spektra u praktičnim situacijama, pre svega, zavisi od specifičnosti svakog nuklearnog postrojenja ponaosob, te da proračun prostiranja neutrona po geometrijski pojednostavljenom modelu ne treba da uključuje ovaj deo spektra. Šta više, u opštem slučaju, termički neutroni ne doprinose značajnije ukupnoj primljenoj dozi u akcidentalnim uslovima.

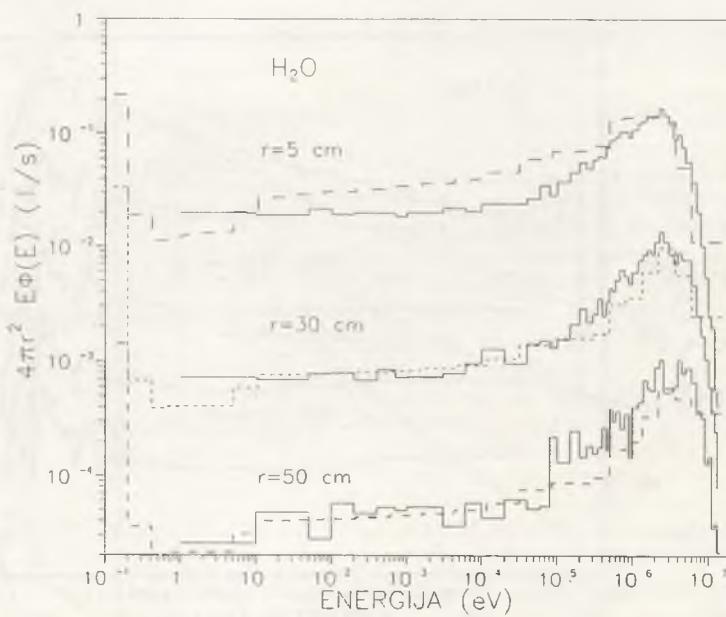
Slaganje rezultata u slučaju sfera sa teškom vodom (Slika 2) sasvim je zadovoljavajuće za $r \leq 20$ cm, dok dalje povećanje poluprečnika sfere dovodi do veće razlike u računatim spektrima. Sa slike je uočljiv trend postepenog povećanja udela neutrona intermedijarnih

energija ($1 \text{ eV} < E < 100 \text{ keV}$) u ukupnom spektru i formiranje tipa spektra različitog od oblika $1/E$.

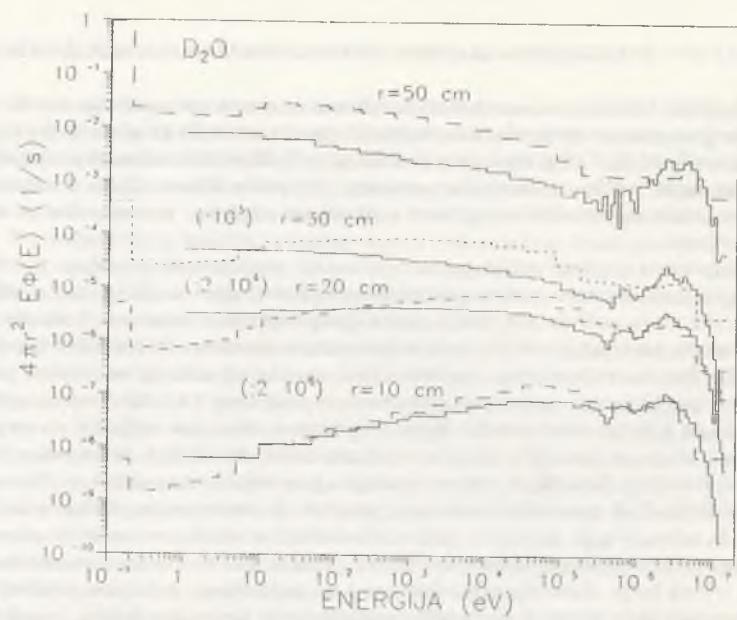
Na Slici 3 prikazani su rezultati za sfere od betona poluprečnika od 10 cm do 60 cm. Sastav betona preuzet je iz referentnih proračuna [1]: H (0.0149 g/cm^3), O (1.241 g/cm^3), Si (0.784 g/cm^3), Al (0.123 g/cm^3) i Ca (0.138 g/cm^3). Spektri izračunati programom SABINE-3 oponašaju opšti oblik neutronskih spektara dobijenih Monte Carlo kodom, ali značajno precenjuju udeo epitermičkih neutrona u ukupnom spektru, tim više što je betonska sfera većeg radijusa.

Referentni rezultati pokazuju da za sfere od gvožđa malog radijusa ($r < 10 \text{ cm}$) spektor neutrona još uvek podražava osnovni Cranbergov fisioni spektor (Slika 4). Sa daljim uvećanjem poluprečnika sfera počinje značajnija ugradnja epitermičkih neutrona. Takođe je vidljiv uticaj antirezonance na energiji od 24 keV u nuklearnom preseku za elastično rasejanje neutrona na gvožđu. Naiće, pojava pika u neutronskom spektru na energiji od 24-keV posledica je ove antirezonance. Na žalost, grublja grupna struktura programa SABINE-3 ne dozvoljava da se ovaj pik pokaže i u spektru izračunatom ovim programom. Može se zaključiti da za gvožđe postoji prihvativljivo slaganje spektara za sfere poluprečnika do 10 cm , a za veće dimenzije sfera proračuni obavljeni SABINE-3 kodom značajno precenjuju udeo epitermičkih neutrona.

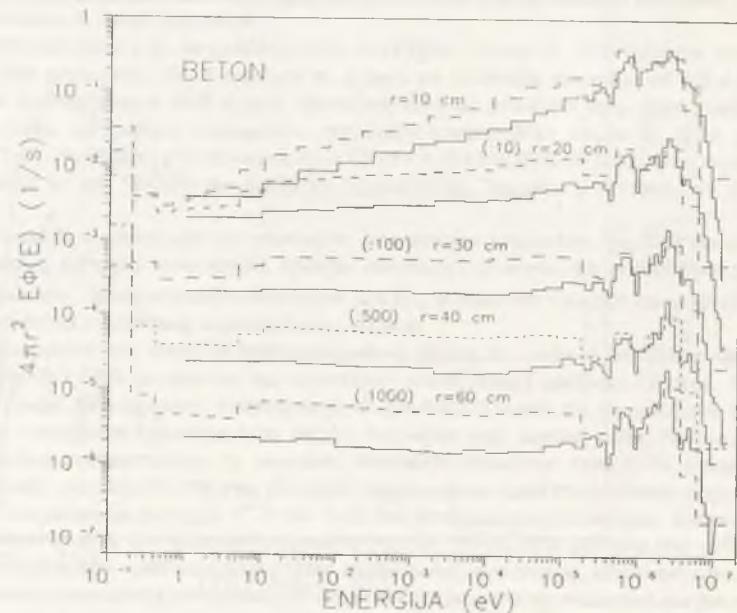
SABINE-3 [2] raspolaže faktorima za konverziju neutronskog fluksa u neutronsku dozu. Na Slici 5 prikazana je promena jačine ekvivalentne doze neutrona za sfere od različitih materijala i različitog poluprečnika. Evidentno je da ekvivalentnu dozu neutrona koja potiče od fisionog izvora bolje redukuju materijali koji brzo termalizuju neutrone (obična i teška voda), nego materijali veće gustine ali slabijih termalizujućih svojstava (beton i gvožđe).



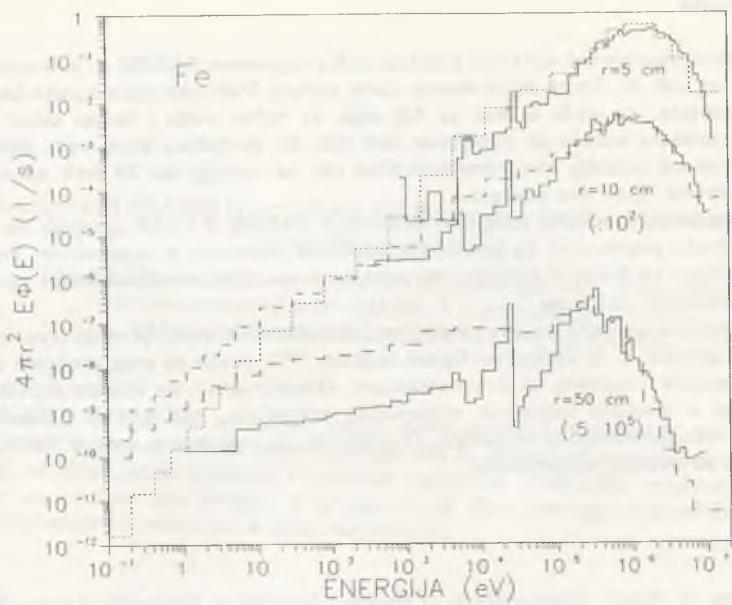
Slika 1 Energetski spektar neutrona na površini sfere od obične vode



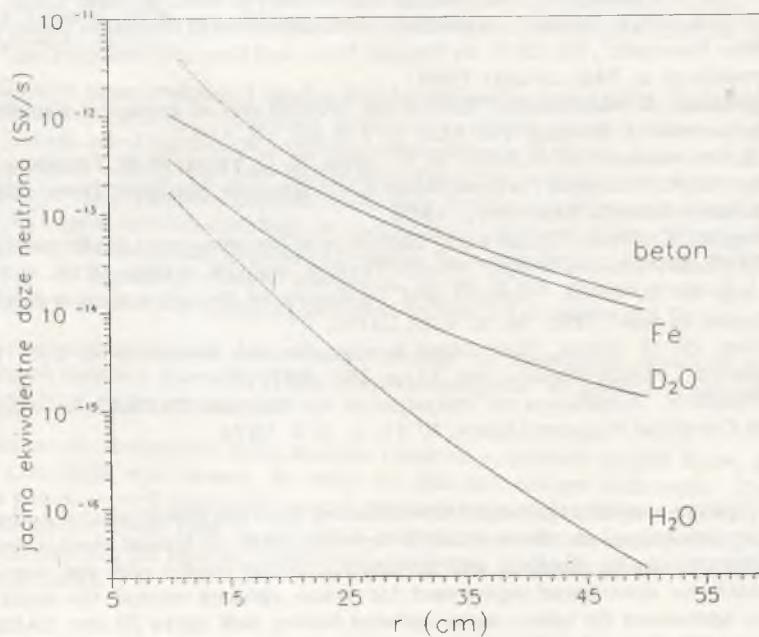
Slika 2 Energetski spektar neutrona na površini sfere od teške vode



Slika 3 Energetski spektar neutrona na površini sfere od betona



Slika 4 Energetski spektar neutrona na površini sfere od gvožđa



Slika 5 Jačina ekvivalentne doze neutrona na površini sfere poluprečnika r

3. ZAKLJUČAK

Analiza neutronskih spektara proračunatih programom SABINE-3 i referentnih rezultata koje su H. Ing i W. G. Cross dobili Monte Carlo kodom 05R, ukazuje na neke karakteristične osobine spektara: za vodu spekar je $1/E$ tipa, za tešku vodu i beton udeo epitermičkih neutrona u spektru znatno se povećava, tim više što je radius sfere veći, dok spektor na površini sfere od gvožđa ima karakterističan pik na energiji od 24 keV sa zanemarljivim udelenom neutrona ispod ove energije.

Uporedjenje rezultata dobijenih kodovima SABINE-3 i 05R upućuje da se program SABINE-3 može preporučiti za proračune spektara neutrona u vodoničnim sredinama, ali krajnje limitirano za druge materijale. Na primer, za gvožđe proračuni imaju smisla samo za sfere poluprečnika $r \leq 10$ cm.

Na osnovu izvršene analize i s obzirom da SABINE-3 dozvoljava da izvor neutrona ima proizvoljan spektor, a ne isključivo fisioni spektor ^{235}U , može se ovaj program upotrebiti za proračun spektra neutrona u dozimetrijskom eksperimentu sa kalifornijskim izvorom postavljenim u središte kugle od vodoničnog materijala, kad god je opravdano sferom modelovati eksperimentalnu situaciju. U Institutu za nuklearne nauke "VINČA" postoje mogućnosti za ovakav eksperiment.

LITERATURA

- [1] H. Ing, S. Makra, Compendium of Neutron Spectra in Criticality Accident Dosimetry, Techn. Rep. Series No. 180, IAEA, Vienna, 1978.
- [2] C. Ponti, R. Van Heusden, SABINE-3, An Improved Version of the Shielding Code SABINE, ESIS, EUR 5159e, 1974.
- [3] R. Simović, N. Marinković, "Computation of Reactor RA Shield Efficiency", Int. Rad. Prot. Symp., Dubrovnik, Proceedings of the IRPS, p. 293, October 1989.
- [4] N. Marinković, R. Simović, "Transmission Coefficients of Radiation Doses for Soil and Similar Materials", Int. Conf. on Reactor Phys. and Reactor Computations", Tel-Aviv, Proceedings p. 246, January 1994.
- [5] R. Simović, N. Marinković, "Zemlja kao biološki štit od neutrona visokih energija", Naučno-tehnički pregled, Vol. XLIII, br.7-8, str. 18, 1993.
- [6] R. R. Conveyou, J. G. Sullivan, H. P. Carter, D. C. Irving, R. M. Freestone, Jr., F. B. Kam, "05R, A General-Purpose Monte Carlo Neutron Transport Code", ORNL-3622, Oak Ridge National Laboratory, 1965.
- [7] H. Ing, W. G. Cross, "Spectra and Dosimetry of Neutrons from Moderation of ^{235}U and ^{252}Cf Fission Sources in H_2O ", Health Physics, Vol. 29, p.839, 1975.
- [8] H. Ing, W. G. Cross, "Spectra and Dosimetry of Neutrons from Various Sources Shielded by Iron", NSE, 58, p. 420, 1975.
- [9] H. Ing, W. G. Cross, "Calculated Spectra for the Dosimetry of D_2O - Moderated Neutrons", Health Physics, Vol. 32, p. 351, 1977.
- [10] C. Devillers, "Experience on Utilization of the Program SABINE", Newsletter of the NEA Computer Program Library, N° 17, p. 219, 1974.

Abstract - Spectra and doses of neutrons originating from the fission source in the centre of spheres, are determined on the surface of spheres made of typical reactor materials by applying SABINE-3 code. Analysis and comparison of the results with the referent Monte Carlo calculations show good agreement for water spheres except for small radii and satisfactory agreement for heavy water spheres having radii up to 20 cm. SABINE-3 code overestimates the share of epithermal neutrons in the total spectrum for concrete and iron spheres.

COMPUTATION OF NEUTRON SPECTRA FOR ACCIDENTAL DOSIMETRY PURPOSES
R. Simović, N. Marinković, B. Stefanović

Osetljivost PMOS tranzistora na gama zračenje i efekti njihovog termičkog oporavka¹

Mihajlo Odalović*, Zoran Pavlović*, Biljana Vučković*, Dejan Mitić**

* Prirodno-matematički fakultet, Vidovdanska bb, Priština

** Elektrotehnički fakultet, Sunčani breg bb, Priština

Sadržaj- *U radu su analizirani efekti gama zračenja kod PMOS tranzistora i efekti njihovog termičkog oporavka na temperaturi od 388 K. Prikazane su promene napona praga u zavisnosti od doze gama zračenja i vremena oporavka. Senzorska svojstva su analizirana praćenjem radijacione osetljivosti u zavisnosti od doze zračenja i termičke osetljivosti u zavisnosti od vremena oporavka na dатој temperaturi.*

1. UVOD

Poslednjih dvadeset godina vršena su opsežna istraživanja koja su se odnosila na proučavanje ponašanja MOS struktura, posebno MOS tranzistora, u uslovima ionizujućeg zračenja. Međutim, većina do sada publikovanih radova, uglavnom, se bavila analizom radijacionih defekata i problemima njihovog smanjenja, dok se manji broj radova, s obzirom na senzorska svojstva MOS tranzistora, bavio ispitivanjem mogućnosti njihove primene kao dozimetara gama zračenja.

Dejstvo gama zračenja (i ostalog ionizujućeg zračenja) na MOS tranzistore dovodi do promene njihovih osnovnih električnih parametara- napona praga i faktora pojačanja. Ove promene nastaju *usled formiranja pozitivnog nanelektrisanja u oksidu* gejta i površinskih stanja na među površini Si-SiO₂, kao posledica interakcije gama- kvanata i atoma kristalne strukture [1]. Pokazalo se da je promena napona praga, zbog jednostavnosti merenja, osnovni parametar koji bi se, uz odgovarajuću optimizaciju, mogao koristiti kao merni pokazatelj apsorbovane doze zračenja [2,3,4]. Svi dosadašnji rezultati su pokazali da je ponašanje ozračenih PMOS tranzistora jednostavnije od ponašanja NMOS tranzistora, pa su iz tog razloga prethodna istraživanja dozimetrijskih svojstava bila uglavnom usmerena na PMOS tranzistore [5,6,7].

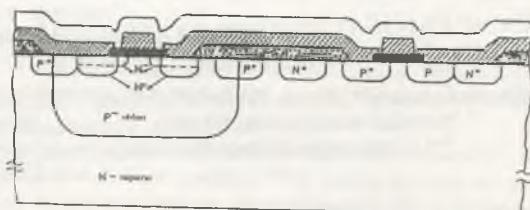
Svi dozimetri koji se danas koriste moraju da ispunjavaju određene dozimetrijske zahteve: opseg merenja (naročito donja granica), osetljivost na gama i neutronsko zračenje, fading, dozvoljena greška merenja itd.

Što se tiče dozimetara gama zračenja danas su u upotrebi različiti tipovi, međutim, ni jedan od postojećih nije idealan, jer svaki od njih ima izvesne nedostatke. Zbog toga su poslednjih godina najveći istraživački napor usmereni na razvoju poluprovodničkih dozimetara [8]. Shodno tome, u ovom radu su, pre svega, razmotrena senzorska svojstva PMOS tranzistora sa posebnim osvrtom na njihovu radijacionu osetljivost, a takođe je vršena analiza njihovog termičkog oporavka.

¹ Rad je rađen uz pomoć sredstava Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

2. EKSPERIMENT

Kao uzorci za ispitivanje u eksperimentu su korišćeni PMOS tranzistori sa Al-gejtom iz integrisanih kola tipa CD4007UB proizvedeni u DP "Ei-poluprovodnici" Niš standardnim tehnološkim postupkom za proizvodnju integrisanih kola CD4000. Poprečni presek integriranog kola prikazan je na slici 1.



Sl. 1. Poprečni presek PMOS i NMOS tranzistora iz integrisanih kola CD4000

Ozračivanje je obavljeno gama zračenjem, a kao izvor zračenja korišćen je $^{60}_{27}\text{Co}$ srednje energije gama-kvanta 1,25 MeV. Komponente su zračene bez polarizacije gejta na sobnoj temperaturi, sa ukupnim apsorbovanim dozama od 10-2000 Gy i jačinom doze 0,12 Gy/s u siliciju. Merenje električnih karakteristika tranzistora vršeno je na sobnoj temperaturi. Napon praga V_T određen je sa prenosnih karakteristika u oblasti zasićenja iz preseka V_G -ose i ekstrapoliranog linearног dela $\sqrt{I_D} - V_G$ krive.

Termički oporavak obavljen je na temperaturi od 388 K u trajanju od 636 sati.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

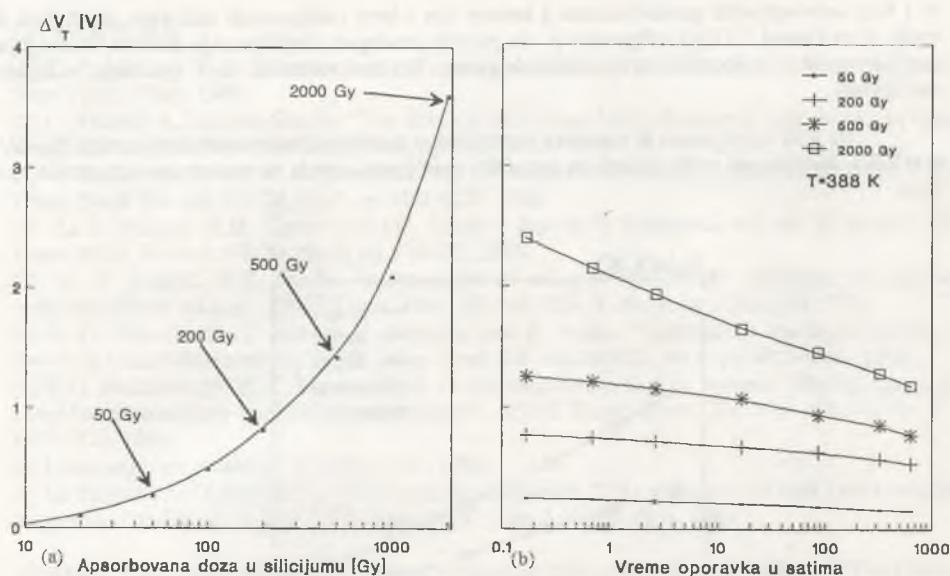
Na slici 2.a prikazana je promena napona praga $\Delta V_T = V_{T_0} - V_T$ u zavisnosti od doze gama zračenja (V_{T_0} je napon praga tranzistora pre ozračivanja i iznos je oko 1,3V, a V_T je napon praga posle ozračivanja). Povećanje napona praga V_T tokom zračenja je tipična pojava nastala kao posledica povećanja gustine pozitivnog nanelektrisanja u oksidu gejta i površinskih stanja na međupovršini Si-SiO₂. Kako su kod PMOS tranzistora i površinska stanja pozitivno nanelektrisana, to je kod ozračenih komponenata potreban veći napon praga da bi došlo do formiranja kanala. Promena napona praga može se prikazati izrazom:

$$\Delta V_T = \frac{q\Delta Not}{C_{or}} + \frac{q\Delta Nit}{C_{or}},$$

gde je q -naelektrisanje elektrona, C_{ox} - kapacitivnost oksida po jedinici površine, ΔN_{ot} - promena gustine zahvaćenog naelektrisanja u oksidu gejta a ΔN_{it} - promena gustine površinskih stanja. (Zavisnost promene ΔN_{ot} i ΔN_{it} od doze zračenja i vremena oporavka detaljno su obrazložene u radu [91]).

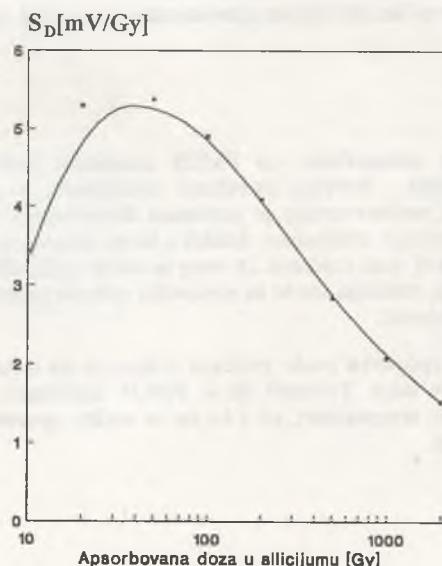
U procesu termičkog oporavka, slika 2.b, promene napona praga opadaju sa vremenom oporavka za sve doze zračenja, tako da napon praga teži ka vrednosti koju je imao pre zračenja. Ove promene nastaju kao posledica kompenzacije /neutralizacije zahvaćenog naelektrisanja u oksidu gejta termički pobuđenim elektronima koji tunelovanjem iz silicijuma dospevaju na centre zahvata [9].

Da PMOS tranzistori predstavljaju pouzdane senzore gama zračenja potvrđuju sledeći rezultati. Na slici 3 prikazana je radijaciona osetljivost u funkciji apsorbovane doze zračenja ($S_D = \Delta V_T / D$ u mV/Gy). Sa slike se može videti da S_D u početku raste sa povećanjem doze,



Sl. 2. Promena napona praga tranzistora u toku ozračivanja (a) i oporavka (b)

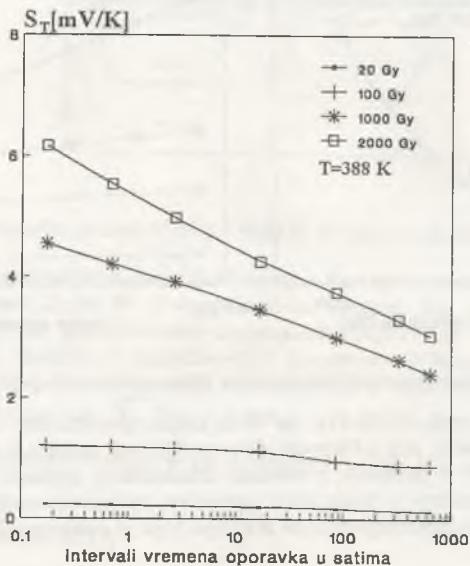
zračenja, najveća je u intervalu 20-50 Gy, da bi sa daljim povećanjem doze opadala. Moguće objašnjenje ovakih promena S_D leži u činjenici da se radijacioni defekti formiraju na strukturalnim defektima koji su, kao što je poznato, posledica tehnološkog procesa proizvodnje. Kako je njihov broj za datu komponentu u neku ruku ograničen, to je broj radijacionih defekata time determinisan. U početku, sa povećanjem doze zračenja koja je ostvarena kumulativno, povećava



Sl 3. Radijaciona osetljivost u zavisnosti od apsorbovane doze zračenja

se i broj interagujućih gama-kvanata a samim tim i broj radijacionih defekata. Međutim, kod većih doza (iznad 50 Gy) očigledno je da postoji značajna disproporcija između interagujućih gama-kvanata i preostalih strukturalnih defekata, što za posledicu ima opadanje radijacione osjetljivosti.

Na slici 4 prikazana je termička osjetljivost u zavisnosti od vremena oporavka ($S_T = \Delta V_T / T$ u mV/K). Sa slike se može videti da termička osjetljivost opada sa vremenom oporavka za sve doze.



Sl. 4. Termička osjetljivost u zavisnosti od vremena oporavka

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je ustanovljeno da PMOS tranzistori pokazuju visoku radijacionu osjetljivost na gama zračenje. Početno povećanje osjetljivosti, a zatim njeno opadanje sa povećanjem doze zračenja, najverovatnije je posledica disproporcije između broja strukturalnih defekata na kojima se formiraju radijacioni defekti i broja interagujućih gama-kvanata koji je proporcionalan apsorbovanoj dozi zračenja. Iz ovog se može zaključiti da su PMOS tranzistori osjetljiviji na niže doze gama zračenja što bi sa stanovišta njihove primene kao ličnih dozimetara predstavljalo određenu prednost.

Efekti termičkog oporavka posle zračenja pokazuju da termička osjetljivost opada sa vremenom oporavka za sve doze. To znači da su PMOS tranzistori nepouzdani kao senzori gama zračenja na povišenoj temperaturi, ali i to da su efekti oporavka značajni sa stanovišta njihove višekratne upotrebe.

LITERATURA

- [1] T. P. Ma and P. V. Dressendorfer: Ionizing radiation effects in MOS devices and circuits, New York: Wiley, 1989.
- [2] L. Adams, A. Holmes-Siedle: "The development of an MOS dosimetry unit for use in space", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-35, No 6, pp 1607-1612, 1978.
- [3] W. R. Dawes Jr. and J. R. Schwank: "An IC compatible ionizing radiation detector", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-28, No 6, pp 4152-4155, 1981.
- [4] L. S. August, R.R. Circle and J.C. Ritter: "An MOS dosimeter for use in space", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-30, No 1, pp 508-511, 1983.
- [5] L. S. August, R.R. Circle: "Advantages of using a PMOSFET dosimeter in high-dose radiation effects testing", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-31, No 6, pp 1113-1115, 1984.
- [6] A. Holmes-Siedle, L. Adams, S. Marsden and B. Pauly: "Calibration and flight testing of a low-field PMOS dosimeter", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-32, No 6, pp 4425-4429, 1985.
- [7] N.G. Blamires, D. H. J. Totterdell, A. G. Holmes-Siedle and L. Adams: "PMOS dosimeters: Long-term annealing and neutron response", IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-33, No 6, pp 1310-1315, 1986.
- [8] Dosimeter corporation: "Catalog 984", 1984.
- [9] M. Pejović, S. Golubović, G. Ristić and M. Odalović: "The temperature and gate bias effects on gamma-irradiated Al-gate MOS transistors", Jap. J. Appl. Phys. 1993.

Abstract: The PMOS transistors gamma-irradiation effects as well as the effects of their thermal annealing at the temperature of 388 K were investigated and in this paper treated. The irradiation sensitivity dose rate and thermal sensitivity on annealing time dependence at given temperature are also treated.

PMOS Transistors Sensitivity on Gamma-Irradiation and Transistor Thermal Annealing Effects

M. Odalović, Z. Pavlović, B. Vučković, D. Mitić

INDEKS AUTORA

- J. Ajtić, 67
D. Antić, 157
N. Antović, 79
D. Arsenijević, 45
B. Bek-Uzarov, 45, 101
G.I. Borisov, 79
R. Brnović, 57, 63
O. Čuknić, 45, 101
S. Dapčević, 73, 79
V. Dojnov, 67
B. Draganović, 151
Z. Đukić, 101
G. Duretić, 79
G. Durić, 67
B. Fuštić, 79
Z. Gršić, 163, 179
G. Grubić, 151
S. Ilić, 137
G. Joksić, 51, 127, 143
S. Jovanović, 73
V. Jović, 9
D. Jovičić, 143
R. Kljajić, 119, 123
I. Knežević, 133, 147
Ž. Konstantinović, 133, 137
D. Kostić, 45, 101
V.M. Kulakov, 79
V.V. Kuzmić, 79
R. Maksić, 27
M. Mandić, 95, 169
M. Marinković, 185
O. Marinković, 107
B. Marković, 133, 143
G. Mcdin, 85
Lj. Mijatović, 57, 63
S. Milačić, 133, 137, 143
S. Milivojević, 9
N. Miljević, 179
M. Mirković, 79
D. Mitić, 191
R. Mitrović, 119, 123
D. Nikčević, 45, 10, 175
M. Ninković, 17
M.M. Ninković, 95
Lj. Novak, 147
M. Odalović, 191
M. Orlić, 27
M. Pajović, 79
G. Pantelić, 27, 57, 63, 107
R. Pavlović, 27
S. Pavlović, 27
Z. Pavlović, 191
B. Petrović, 119, 123
I. Petrović, 57, 63, 101
M. Pešić, 179
D. Popović, 27, 67
M. Radenković, 91
S. Raičević, 169
B. Rajković, 163
R. Simović, 185
D. Spasojević, 9
A. Stanković, 111
S. Stanković, 111
B. Stefanović, 185
R. Svrkota, 79
V. Šipka, 91, 179
B. Telenta, 157
D. Todorović, 67, 91
D. Vitorović, 151
G. Vitorović, 151
D. Vučić, 175
B. Vučković, 191
M. Vukčević, 173
O Vukičević, 151
M. Vukotić, 63
P. Vukotić, 73, 79
Ž. Vuković, 95, 169
D. Vuković, 123
J. Žic, 73