

AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE

R A D O V I

KNJIGA XL

ODJELJENJE MEDICINSKIH NAUKA

Knjiga 15.



Urednik

PAVEL ŠTERN,
redovni član Akademije nauka i umjetnosti
Bosne i Hercegovine

SARAJEVO
1970

G. ŽARKOVIĆ, F. ČUSTOVIĆ, A. LEOVAC I Ž. PETROVIĆ

**KONTAMINACIJA BIOSFERE U BOSNI I HERCEGOVINI RADIO-
AKTIVNIM PRODUKTIMA NUKLEARNIH EKSPLOZIJA U TOKU
DESET GODINA (1959—1968)**

(Primljeno na sjednici Odjeljenja medicinskih nauka 16. V 1969. godine)

PREDGOVOR

Nakon II svjetskog rata, koji je bio okončan dramatičnim eksplozijama atomskih bombi nad Hirošimom i Nagasakijem, u svijetu je izvršeno mnogo eksperimentalnih eksplozija nuklearnih oružja.

Prve serije probnih nuklearnih eksplozija izvršile su tadašnje nuklearne sile: SAD, SSSR i Ujedinjeno Kraljevstvo. Od početka probnih eksplozija, pa do prvog moratorija nuklearne eksplozije koji su proglasile pomenute velike sile, tj. od 1954. do 1958, eksplodirala su u atmosferi ukupno 253 nuklearna oružja, uključujući i 3 francuske eksplozije u Africi.

Prvi moratorij na nuklearne eksplozije bio je proglašen zbog velikog porasta radioaktivnosti biosfere koju su izazvali raspadni produkti nuklearnih eksplozija. Kontaminacija biosfere rezidualnim zračenjem raspadnih produkata izazvala je u to doba zabrinutost i veliko ogorčenje javnosti u čitavom svijetu, uključujući i našu zemlju. Upravo tih godina, tj. 1958. i Institut za higijenu i socijalnu medicinu Medicinskog fakulteta u Sarajevu započeo je svoja mjerenja radioaktivnosti biosfere u Bosni i Hercegovini u namjeri da utvrdi stepen i karakteristike ove nove opasnosti po život i zdravlje naših građana, opasnosti koja se spustila i koja se nije dala utvrditi nijednim od ljudskih čula, a za koju je bilo očigledno da zagađuje vazduh, vodu za piće, tlo i hranu, te ulazi i kumulira se u ljudskim organizmima ili ostavlja na njima trajna, nepopravljiva i neprolazna oštećenja.

Do prvog moratorija 1958. god. ukupna eksplozivna snaga ispaljenih nuklearnih oružja bila je ekvivalentna snazi od 170 megatona TNT (7). Nova utakmica u probnim nuklearnim eksplozijama u periodu 1961—1963. izvršena je oružjima daleko veće snage i dovela je do novog, još opsežnijeg zagađivanja biosfere. U periodu od 1959. do 1966. eksplodirala su nuklearna oružja ekvivalentna snazi 337 megatona TNT (2). Drugi

moratorij na probne nuklearne eksplozije u atmosferi, koji su proglasile velike sile u 1963. god., zaustavio je daljnje opasno povećanje radioaktivnosti biosfere i omogućio da se ona počne postepeno prečišćavati.

Proces samoprečišćavanja životne sredine od ubačene radioaktivnosti usporavan je povremenim francuskim i kineskim nuklearnim eksplozijama. Eksplozije koje su izvršile ove sile nisu beznačajne za radiološku bezbjednost i dovele su u 1968. godini i u našoj zemlji do porasta radioaktivnosti atmosfere.

Istraživanja koja je provodio Institut za higijenu i socijalnu medicinu u Sarajevu bila su dio šireg programa sličnih ispitivanja u Jugoslaviji. Program istraživanja kontaminacije biosfere rezidualnim nuklearnim zračenjem organizovan u SFRJ uključivao je praćenje radioaktivnosti atmosfere, atmosferskih taloga, vodotoka i vode za piće, tla, ljudske i stočne hrane vegetabilnog porijekla i mlijeka, te — napokon — ispitivanja kontaminacije ljudskih kostiju. Radiohemijska identifikacija je obuhvatila uglavnom dva najvažnija radionuklida dužeg poluživota, tj. Sr-90 i Cs-137, a povremeno i kratkoživeći I-131.

Ova ispitivanja u Institutu za higijenu i socijalnu medicinu su vršena po standardnim metodama koje nisu suštinski mijenjane u toku 10 godina i koje su identične sa metodama iskorištavanjem u ostalim republikama Jugoslavije.

Istraživanja kontaminacije biosfere radioaktivnim produktima su u početku bila finansirana isključivo od nadležnih organa federacije (Savezna komisija za nuklearnu energiju, Savezna uprava za civilnu zaštitu i Savezni Savjet za zdravstvo i socijalnu politiku), a u toku nekoliko posljednjih godina u finansiranju je učestvovao i Republički sekretarijat za zdravstvo i socijalnu politiku Bosne i Hercegovine, koji je također obezbijedio sredstva i za izradu ove studije o desetogodišnjim karakteristikama kontaminacije životne sredine u SR Bosni i Hercegovini radioaktivnim otpacima probnih nuklearnih eksplozija.

1. KONTAMINACIJA BIOSFERE RADIOAKTIVNIM PRODUKTIMA NUKLEARNIH EKSPLOZIJA (OPĆI PREGLED)

Sastav radioaktivnih produkata nuklearnih eksplozija

Radioaktivni produkti koji se nalaze u biosferi nakon nuklearnih eksplozija sastoje se prvenstveno od produkata cijepanja atoma nuklearnog goriva, ali sadrže i neraspadnute ostatke urana i plutonija, te radioaktivne izotope nastale zbog apsorpcije neutrona u elemente prisutne u sredini gdje je eksplozija izvršena.

Produkti fisije se sastoje od oko 200 različitih, pretežno radioaktivnih, izotopa 35 raznih elemenata. Pri raspadanju ovih radioizotopa emitiraju se pretežno beta-čestice, ali dosta često i gama-zrake. Ukupna radioaktivnost produkata fisije u momentu eksplozije je ogromna (oko 50 kg radioaktivnog materijala na eksploziju ekvivalentnu snazi 1 megatone TNT), ali se ona brzo smanjuje, i to na taj način da se u sedmostrukom vremenskom periodu radioaktivnost smanjuje sa faktorom deset. Radioaktivnost A u bilo kom vremenu t nakon nuklearne eksplo-

zije može se odrediti, ako je poznata aktivnost u jedinici vremena A_0 po formuli:

$$A = A_0 t^{-1,2}.$$

Ova formula omogućava približno realnu procjenu opadanja rezidualne radioaktivnosti do 6 mjeseci od momenta eksplozije (9). Uprkos velikom broju izotopa stvorenih prilikom nuklearnih eksplozija, od biološkog značaja je samo nekolicina među njima (tab. 1) Plutonij-239 zbog vrlo dugog poluživota ostaje prisutan dugo vremena u prirodi, ali zbog svoje slabe topivosti on ne može biti apsorbiran u biljke i životinje i ne može biti ozbiljan uzrok unutrašnje kontaminacije. C-14 raspodjeljuje se prilično homogeno u velikoj masi CO_2 prisutnog u troposferi i ne daje dozu veću od 1 mrad na čitavo čovjekovo tijelo na godinu dana (23).

Direktni produkti fisije sa poluživotom dužim od 7 dana prikazani su na tab. 2. Iz tabele se vidi da je veći dio tih produkata relativno netopiv i slabo ili nikako se ne resorbira iz probavnog trakta. Zbog toga među produktima nuklearnih eksplozija kao radionuklidi od većeg biološkog značaja preostaju dva kratkoživeća radioizotopa (Sr-89 i I-131) i dva dugoživeća (Sr-90 i Cs-137). Prva dva mogu biti od značaja samo neposredno iza eksplozije, ukoliko se talozi zadrže u troposferi, dok su druga dva od trajnijeg značaja i zagađuju biosferu još dugo vremena nakon prestanka nuklearnih eksplozija.

Postoje uglavnom dva osnovna mehanizma kontaminiranja zemljine površine radioaktivnim materijalom, tj. produktima nuklearnih eksplozija (9). Manje važan put je umjetno izazivanje radioaktivnosti apsorpcijom neutrona u različite elemente u zraku, na tlu ili u vodi, ovisno o mjestu eksplozije. Drugi važniji put je globalno taloženje radioaktivnih čestica stvorenih u »pećurki« prilikom nuklearne eksplozije. Na kontaminaciju, pored toga, donekle djeluju i osobine terena i meteorološke prilike.

Tab. 1.
PRODUKCIJA RADIOIZOTOPA OD VEĆEG
BIOLOŠKOG ZNAČAJA PRILIKOM NUKLE-
ARNIH EKSPLOZIJA (12)

Nuklid	Poluživot	Kirija na megatonu
Pu-239	24.000 god.	$3,6 \times 10^3$
Sr-90	28 god.	$1,0 \times 10^5$
Sr-89	51 dan	17×10^6
Cs-137	30 god.	$1,4 \times 10^5$
I-131	8 dana	73×10^6
C-14	5.600 god.	$2,2 \times 10^3$

U slučaju nuklearnih eksplozija izvršenih toliko visoko iznad zemlje da vatrena lopta nije u mogućnosti da usisa materijal sa površine radioaktivni produkti nuklearne fisije se kondenziraju u vrlo fine, sitne čestice, koje se, ovisno o snazi eksplozije, penju na određenu visinu. Čestice stvorene prilikom kilotonskih eksplozija zadržavaju se uglavnom u troposferi (vlažnom, oblačnom dijelu atmosfere koji doseže otprilike do 10 km iznad zemljine površine u umjerenom pojasu), dok se čestice prilikom megatonskih eksplozija penju u stratosferu (suhi sloj atmosfere u pojasu 10 do 30 km iznad zemljine površine). Ove čestice ostaju dugo vremena suspendovane u stratosferi, više puta kruže oko zemlje i vremenom gube svoju radioaktivnost, tako da je njihova aktivnost u času kad stignu na zemljinu površinu već uveliko smanjena.

Vrste nuklearnih taloga iz atmosfere

Brzina taloženja malih čestica iz vazduha pod uplivom sile gravitacije ovisna je, uglavnom, o težini i promjeru čestica, te slijedi Stokesov zakon, po kome je:

$$\text{brzina taloženja} = 0,35 d^2 p \text{ stopa na sat,}$$

gdje p označava težinu čestica u gramima na kubni centimetar, a d dijаметar čestica u mikronima. Čestice od 5—300 mikrona se talože uglavnom u skladu sa gornjom formulom, dok se veće čestice u praksi talože nešto sporije (9).

Postoje, uglavnom, tri oblika taloženja radioaktivnih otpadaka nakon nuklearnih eksplozija, i to (7):

- (1) taloženje u neposrednoj okolini eksplozije,
- (2) taloženje raspadnih produkata iniciranih u troposferu, i
- (3) taloženje raspadnih produkata iniciranih u stratosferu.

Eisenbud (7) smatra da ima vrlo malo pouzdanih informacija o raspodjeli radioaktivnih otpadaka u ove tri frakcije, izuzevši za ekstremne slučajeve. Raspadni produkti kilotonskih oružja što su eksplodirala ispod tropopauze (zamišljene linije koja dijeli troposferu od stratosfere) i toliko iznad zemlje da vatrena lopta ne dodirne tlo ostaće uglavnom u troposferi. Raspadni produkti oružja eksplodiranih u stratosferi uglavnom će se tamo i zadržati. Međutim, megatonska oružja eksplodirala na zemljinoj površini ili blizu nje proizvešće sve tri vrste taloga, pri čemu će se u »lokalnim« talozima oboriti oko 80% proizvodne radioaktivnosti.

Mehanizmi transporta radioaktivnih produkata u atmosferi su svestrano proučavani od strane meteorologa. U izvještajima Naučnog komiteta Ujedinjenih nacija za proučavanje efekata nuklearnih oružja (32) nalaze se o tome pitanju kao i o ostalim aspektima radioaktivnih taloga obilje informacija, kao i opsežna bibliografija.

Taloženje raspadnih produkata iniciranih u troposferu jeste proces koji ne traje dugo. Skoro sav radioaktivni materijal iz troposferskih kilotonskih eksplozija se istaloži u roku od oko dva mjeseca.

Tab. 2.

PROIZVODI FISIJE SA POLUŽIVOTOM DUŽIM OD 7 DANA (30,31) BEZ RIJETKIH GASOVA I VRSTA SA VRLO MALIM PRINOSOM FISIJE ILI VRLO DUGIM POLUŽIVOTOM (tj. 10 god.)

N u k l i d	Sr-89	Sr-90	Y-90	Zr-95	Ru-103	Ru-106	I-131
Poluživot	50,3 dana	28 godina	58 dana	65 dana	41 dan	1,0 godina	8,05 dana
Energija glavnog zračenja MeV							
Beta	1,46	0,54	1,55	0,36	0,22	0,04	0,61
Gama	—	—	—	0,75	0,50	—	0,36
Fisioni doprinos %							
Iz U-235 (sporti)	4,79	5,77	5,4	6,2	3,0	0,38	3,1
i U-235 (brzi)	4,15	4,38	5,21	6,72	3,97	0,47	3,11
Pu-239 (brzi)	1,44	2,23	2,69	5,12	6,25	6,17	4,85
Procijenjeno iz globalnog taloga	2,6	3,5	3,8	5,1	5,2	2,4	2,9
Aktivnost u 1 dan	190	1	210	240	220	3,0	830
Odnos na Sr-90 1 nedj.	170	1	190	220	200	2,9	490
(iz brze fisije 1 mjesec	130	1	150	170	130	2,8	65
U-235) 1 god.	1,3	1	3	5	0,5	1,5	0
Radioakt. potomak	—	Y-90	—	Nb-95	Rh-103	Rh-106	—
Poluživot		64,3 sati		35 dana	54 min.	30 sek.	
Energija glavnog zračenja							
MeV							
Beta		2,28		0,16	—	3,53	
Gama		—		0,76	0,04	0,51	

Biološki podaci (za standardnog čovjeka)
 Frakcija koju apsorbira tijelo (bez r. akt. potomaka)
 Kritički organ za ingestiju



0,3 kost
 0,3 kost
 10-1 probavni trakt
 10-1 probavni trakt
 0,03 probavni trakt
 0,03 probavni trakt
 1 štinjača

(Nastavak Tabele 2.)

Nuklid	Cs-137	Ba-140	Ce-141	Ce-141	Nd-147
Poluživot	30 godina	12,8 dana	33 dana	288 dana	11,3 dana
Energija glavnog zračenja MeV					
Beta	0,52	1,02	0,44	0,30	0,83
Gama	—	0,53	—	0,13	0,09
Fisioni doprinos % iz U-235 (spori)	6,15	6,35	6,00	6,00	2,4
U-235 (brzi)	6,18	5,79	5,29	4,76	—
Pu-239 (brzi)	6,8	5,0	4,65	3,66	—
Procijenjeno iz svjetskog taloga	5,6	5,2	4,6	4,7	—
Aktivnost u 1 dan	1,3	1000	370	38	470
Odnos na Sr-90 1 nedjelja	1,3	720	320	38	320
(iz brze fisije 1 mjesec	1,3	200	200	36	75
U-235) 1 godina	1,3	0	0,2	16	0
Radioaktivni potomak	Ba-137	La-140	Pr-141	Pr-144	Pm-144
Poluživot	2,57 min.	40,2 sata	1 sek.	17,5 min.	2,5 god.
Energija glavnog zrač.					
MeV	—	1,34	—	2,98	0,22
Beta	0,66	1,60	0,14	0,70	—
Gama					
Biološki podaci (za standardnog čovjeka)	1	0,05	10-1	10-1	10-1
Frakcija koju apsorbira tijelo (bez r. akt. potomka)	čitavo tijelo	probavni trakt (kost)	probavni trakt	probavni trakt	probavni trakt
Kritički organ za ingestiju					

Horizontalni vjetrovi u gornjem dijelu troposfere u toku 1—2 nedjelje raznesu oblake kratkoživećih radioizotopa oko zemlje (14), tako da oni dovedu do kontaminacije čitave hemisfere nad kojom je eksplozija izvršena.

Taloženje raspadnih produkata iniciranih u stratosferu spor je proces na koji, pored ranije pomenutih faktora, uplivišu geografska širina, te visina do koje je izvršena injekcija radioaktivnog materijala. Prosječno trajanje zadržavanja otpadaka u atmosferi procijenjeno je u izvještaju Ujedinjenih naroda iz 1964. na 2 godine, sa velikim varijacijama između pojedinih serija eksplozija. Materijali ubačeni u toku jeseni u prizemni dio stratosfere bliže polovima deponiraju se relativno brzo. U toku jedne godine postoje sezonska kolebanja u taloženju. Najveća brzina obaranja je u proljeće, što se tumači sezonskim poremećajima u tropopauzi. Distribucija radioaktivnih materijala ubačenih u stratosferu na jednoj hemisferi odvija se brzo i redovna je pojava, dok je miješanje radioaktivnih taloga između hemisfera relativno polagan proces.

Radioaktivne čestice se talože na zemljinu površinu uglavnom u atmosferskim padavinama, ali postoji i taloženje suhih čestica, naročito u toku prvih nedjelja nakon nuklearne eksplozije u troposferi.

Uprkos prilično uniformnoj raspodjeli radioaktivnih produkata koja se dešava u stratosferi količina istaloženog radioaktivnog materijala na kvadratni kilometar zemljine površine nije ni izdaleka ista. Varijacije količine taloga se uglavnom podudaraju sa razlikama u količini kiše koja padne na jedinicu površine. Najveće deponiranje odvija se zbog toga u umjerenom geografskom pojasu, gdje se taloži glavnina radioaktivnog materijala iniciranog iznad odgovarajuće hemisfere.

Kretanje radioaktivne kontaminacije od tla do čovjeka

Kontaminacija ljudskog organizma radioaktivnim materijalima koji potiču iz nuklearnih taloga odvija se uglavnom ingestijom, tj. putem probavnog trakta. Kretanje radioaktivnih materija od oborina, preko tla ili vodnih površina na koje se istalože, do čovječijeg organizma dosta je složeno i ovisno je o fizikalnim i hemijskim karakteristikama radionuklida, o mjestu taloženja, kao i o sposobnosti radionuklida da prolaze kroz biološke sisteme. Mehanizmi transfera radionuklida sa tla ili iz vode kroz razne biljne i životinjske organizme do čovjeka nazivaju se *lanci hrane*.

Postoje dva velika kruga kretanja radioaktivnih kontaminanata iz prirode do čovjeka, i to: transfer na kopnu i transfer na moru.

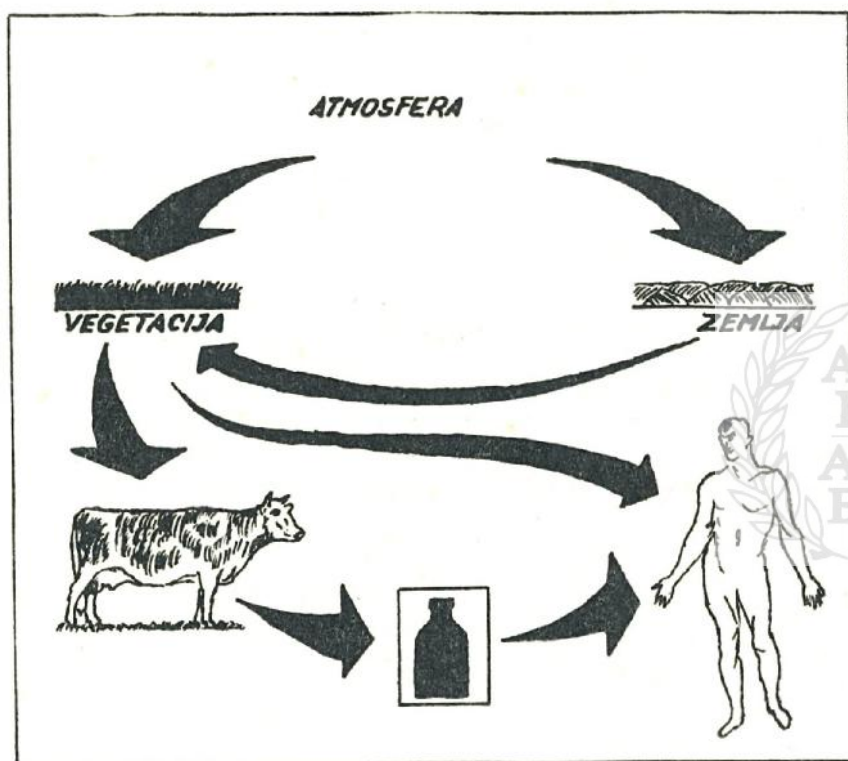
Glavni putevi transfera na kopnu su prikazani na slici 1. Kao što se sa slike vidi, radionuklidi se mogu taložiti na tlo, pa tek iz zemljišta biti apsorbirani u biljke, ili se mogu taložiti na cvijeću, korijenju i lišću biljaka (folijarna depozicija) i biti odatle apsorbirani. Radionuklidi apsorbirani u žitarice i ostale namirnice mogu biti direktan izvor kontaminacije ljudi. Radionuklidi apsorbirani u stočnu hranu unose se u čovjeka putem mlijeka i mesa.

Glavni putevi transfera radionuklida iz mora su nešto složeniji, a mogu ići do čovjeka koji uzima hranu iz mora preko morskog bilja (alge

i ostalo), herbivora koje se hrane planktonom, ili karnivora koje se hrane herbivorama ili drugim karnivorama.

Kratkoživeći radionuklidi (Sr-90, I-131) uglavnom dopijevaju u čovjeka putem folijarne depozicije na stočnu hranu: krava — mlijeko — čovjek.

Kretanje dugoživećih radioizotopa ovisi o nizu okolnosti u odgovarajućem lancu hrane. Dugoživeći radionuklidi istaloženi na zemljište predstavljaju opasnost samo ako se zadrže u blizini korijenja biljaka. Kretanje nekog radioelementa kroz zemljište ovisi o njegovoj valenciji, o uslovima pH i o vlazi u zemljištu. Za Sr-90 utvrđeno je da se na ne-



Slika 1.

Glavni putovi transfera radionuklida u lancima hrane na kopnu.

obrađivanom zemljištu zadržava nekoliko godina u sloju debelom desetak centimetara, a Cs-137 još čvršće se veže u zemljištu. Oranje zemljišta, umjetno đubrenje, količina padavina, navodnjavanje ili dreniranje zemljišta u velikoj mjeri uplivišu na kretanje radionuklida u tlu.

Radioizotopi prisutni u zemljištu bivaju apsorbirani od strane biljaka na isti način kao i neradioaktivni izotopi istih kationa. Apsorpcija radionuklida je ovisna o njihovoj hemijskoj formi, o fizikalno-hemijskim osobinama tla i o metaboličkim potrebama biljaka, a neovisna je o njihovoj radioaktivnosti.

U metaboličkom transportu nekog radionuklida kroz lance hrane moguće je utvrditi izvjesne razlike u stepenu apsorpcije među elementima iste hemijske grupe. Comar i saradnici (4) još su 1956. uveli pojam *o s m a t r a n a r a z l i k a* (OR), koja »izražava opću diskriminaciju koja se može uočiti u kretanju dvaju elemenata iz jednog izvora u neki biološki sistem«. Najviše proučavana OR odnosila se na odnos kalcija i stroncija u tlu i u hrani, prema tom istom odnosu u kostima.

Odnos se izračunava po formuli:

$$\text{OR kost/hrana} = \frac{\text{Sr/Ca u kosti}}{\text{Sr/Ca u hrani}}$$

Na sličan način, ali s manje rezultata proučavana je OR za cezij-137 i jod-131.

Pregled prosječnih odnosa između stroncija-90 i kalcija u različitim stadijima lanca hrane prikazan je na tab. 3, adaptiranoj iz zbornika radova »Radiktivnost i ljudska ishrana« (str. 181), koju je uredio Rusel (19), gdje se nalazi i opsežna bibliografija o ovom pitanju.

Iz podataka na tab. 3 proizlazi da biljke apsorbiraju stroncij i kalcij bez ikakve diskriminacije, ali da se odnos Sr/Ca smanjuje u žitu na polovicu od onog u tlu, dok se kod gomoljika dešava suprotno, tj. dvo-

Tab. 3.

PROSJEČNI ODNOSI IZMEĐU STRONCIJA-90 I KALCIJA
U RAZLIČITIM STADIJIMA LANCA HRANE (19)

Izvor		Produkt	Sr/Ca u produktu Sr/Ca u izvoru
Biljke	tlo	biljka	oko 1
	tlo	zrno	< 0,5
	tlo	korijenje	oko 2
Stoka	stočna hrana	mlijeko	0,1
Čovjek	dijete	mlijeko	0,25
	odrasli	normalna dijeta	

struko veće primanje stroncija. Važna i za čovjeka sretna okolnost je da se Sr/Ca nakon pasaže kroz kravu smanjuje na 0,1. To isto važi i za odnos Sr/Ca u ženskom mlijeku — prema ljudskoj dijete. Napokon, kod ljudskih organizama OR u ljudskim kostima prema Sr/Ca u kravljem mlijeku iznosi oko 0,25.

Prema tome, metabolička diskriminacija između stroncija i kalcija se javlja kao vrlo značajan zaštitni faktor za čovjeka. Određeni odnos

stroncija prema kalciju u dijeti (izražen u pC Sr-90/gCa) označava se kao »stroncijska jedinica« (SJ). Opći efekat metaboličke diskriminacije između stroncija i kalcija na putu od zemljišta do ljudske kosti izgleda kod osoba koje svoj kalcij dobivaju pretežno iz mlijeka (ako se započne sa tlom koje sadrži 100 pikokirija Sr-90/gCa) otprilike ovako:

$$\begin{array}{cccc} 100 \text{ SJ} & 100 \text{ SJ} & 13 \text{ SJ} & 3,2 \text{ SJ} \\ \text{u } \frac{\text{u}}{\text{tlu}} & \text{u } \frac{\text{u}}{\text{biljci}} & \text{u } \frac{\text{u}}{\text{mlijeku}} & \text{u } \frac{\text{u}}{\text{ljudskoj kosti.}} \end{array}$$

Kod osoba koje svoj kalcij dobivaju pretežno iz namirnica biljnog porijekla ovaj proces izgleda ovako:

$$\begin{array}{ccc} 100 \text{ SJ} & 100 \text{ SJ} & 25 \text{ SJ} \\ \text{u } \frac{\text{u}}{\text{tlu}} & \text{u } \frac{\text{u}}{\text{biljci}} & \text{u } \frac{\text{u}}{\text{ljudskoj kosti.}} \end{array}$$

Iz ovog proizilazi da je nemoguće vršiti procjenu stepena kontaminacije ljudi sa Sr-90 ili drugim radionuklidima dužeg poluživota ako se ne poznaje struktura ishrane odgovarajućeg stanovništva.

Umjetno dodavanje mineralnog kalcija u dijetu može u još većoj mjeri smanjiti apsorpciju stroncija iz hrane.

Za razliku od Sr-90, cezijum-137 mnogo je čvršće vezan za tlo i u biljke prodire pretežno putem folijarne depozicije. Hemijsko ponašanje cezija je donekle slično kaliju, ali se OR za njih ne može pratiti sa takvom pouzdanošću kao odnos stroncija i kalcija (5).

Ponašanje biološki najvažnijih radionuklida u biosferi i čovjeku

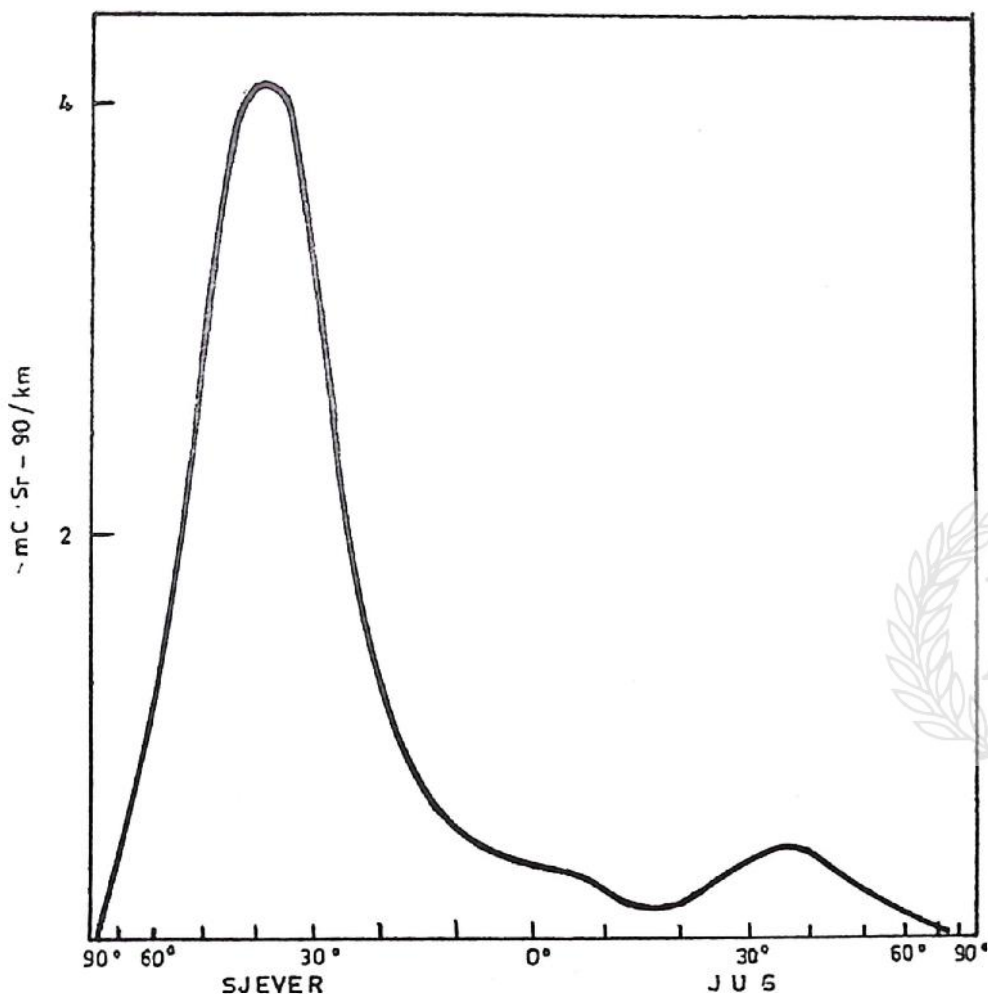
Stroncij-90

Stroncij-90 među raspadnim produktima nuklearnih eksplozija najopasniji je i najdugotrajniji izvor unutrašnje kontaminacije čovjeka. Stroncij-90 kemijski se ponaša slično kao i kalcij. On lako prodire u ljudski organizam i deponira se u kostima, te ih dugo godina izlaže zračenju. Zbog toga je ponašanje tog radionuklida u prirodi i čovjeku bilo najviše proučavano.

Sr-90 relativno se lako apsorpira iz tla, dok se Cs-137 tamo fiksira. U svježim produktima fisije, tj. odmah nakon nuklearnih eksplozija ili otpuštanja produkata fisije iz reaktora, Sr-89, kao što je vidljivo iz tab. 2, važniji je izvor unutrašnjeg zračenja, ali je i tada zbog njegovog kratkog života, pod pretpostavkom jednake ingestije, ukupna doza od Sr-89 u toku jedne godine manja za 10 puta od doze iz Sr-90.

Taloženje Sr-90 iz atmosfere, saobrazno općoj zakonitosti kretanja nuklearnih taloga na zemljinoj kugli, nije uniformno na svim tačkama zemljine kugle, nego je najveće u umjerenim širinama. To je utvrdio Telegedas (22) integrirajući svjetske podatke od januara 1958. do maja 1962. (sl. 2), kao i Eisenbud (7) za period 1956—1960. Znatno niži nivo

depozicije na južnoj hemisferi uzrokovan je okolnošću što je najveći dio nuklearnih eksplozija vršen na sjevernoj hemisferi i što je proces miješanja otpadaka ubačenih u stratosferu sjeverne, odn. južne hemisfere -- vrlo spor.



Slika 2.

Varijacije u globalnom deponiranju Sr-90;

Kontaminacija ljudskih kostiju sa Sr-90 nije ovisna samo o veličini njegove depozicije u biosferi, nego o njegovom relativnom odnosu prema kalciju u tlu i hrani, te o ranije pomenutim faktorima diskriminacije u njihovom kretanju kroz biološke sisteme. Pod uslovima određenog stepena kontaminacije životnih namirnica sa Sr-90, unosenje Sr-90 u ljude ovisiće u najvećoj mjeri o strukturi njihove ishrane. Russel i Burton (20) razlikuju tri glavna tipa ishrane u savremenom svijetu, i to:

Tip I: Dijete u kojima su mliječni proizvodi glavni izvor kalcija, tj. tipična »zapadna dijeta«;

Tip II: Dijete u kojima oko 40% kalcija dolazi iz mlijeka, otprilike isto toliko iz povrća, a ostalo iz žitarica;

Tip III: Dijete siromašne mlijekom u kojima je povrće glavni izvor kalcija.

Svaku od ovih dijeta, po mišljenju ovih autora, treba komparirati pod pretpostavkom dva različita načina deponiranja Sr-90, i to:

- kada je direktna kontaminacija važan izvor Sr-90 u dijeti i
- kada Sr-90 ulazi u hranu kroz uniformno kontaminirano zemljište.

U Izvještaju Naučnog komiteta za efekte atomskog zračenja Ujedinjenih naroda iz 1962. god. za period 1958—1960. (31) data je procjena proporcija Sr-90 prema kalciju u mlijeku i tri glavna tipa dijete u svijetu. Ti odnosi su prikazani na tab. 4. Iz podataka datih u toj tabeli pro-

Tab. 4.

PROCIJENJENI ODNOSI IZMEĐU PROPORCIJA Sr-90/Ca U MLIJEKU
I U GLAVNA TRI TIPa PROSJEČNE ISHRANE U SVIJETU
OD 1958—1960 (19)

Vrsta dijete	Procentualni doprinos kalcija u ishrani iz				Odnos stroncija-90 pre- ma kalciju u ishrani us- poređen sa tim odnosom u mlijeku	
	mliječnih proizvoda	žitarica	povrća	ribe	Sve žitarice mljevene	Sve žitarice nemljevene
I	80	5	15		1,5	1,9
II	40	20	40		2,6	4,2
III	10	15	60	15	2,6	3,8

izlazi da je kontaminacija sa Sr-90 veća kod stanovništva koje svoj kalcij dobiva pretežno iz povrća i žitarica.

Poseban slučaj predstavljaju ekspozicije kontaminaciji sa Sr-90 kod stanovništva koje se koristi kišnicom kao vodom za piće, kao što se to dešava u Hercegovini i ostalim kraškim krajevima. Žarković sa saradnicima (41) utvrdio je 1962. god. da je stanovništvo koje je pilo vodu iz cisterni u Hercegovini primilo prosječno po glavi oko 5,59 μ C Sr-90 iz vode, odn. dva puta više nego iz hrane. Otežavajuća okolnost je pri tom bila i to što u toj vodi nije bilo kalcija, što je još više pogoršalo odnos Sr-90/Ca u dijeti.

S obzirom na okolnost da je Sr-90 dugoživeći radioizotop koji se iz atmosfere taloženjem kumulira u zemljištu, postavlja se problem predviđanja nivoa kontaminacije koji može rezultirati iz određenog načina deponiranja. Tajima je još u Izvještaju UN za 1958. (30) postavio tvrdnju da kontaminacija sa Sr-90 bilo koje namirnice potiče iz dva izvora:

od nedavno deponiranog Sr-90 i od kumulativnog depozita, te je predložio slijedeću formulu za predviđanja nivoa kontaminacije:

$$C = pr Fr + pd Fd, \text{ u kojoj je}$$

C = odnos Sr-90/Ca u hrani,

Fr = tekuća stopa taloženja,

Fd = kumulativna depozicija sredinom posmatranog perioda,

pr = faktor proporcionalnosti stope taloženja,

pd = faktor proporcionalnosti u tlu.

Faktori proporcionalnosti se izračunavaju na različite načine, a najčešće pomoću regresivne analize odnosa između kontaminacije namirnica, te stope taloženja Sr-90 iz atmosfere i kumulativnog totala u tlu, na osnovu mjerenja kontaminacije biosfere. U Izvještaju pomenutog komiteta UN za 1962. (31) date su procjene prosječnih faktora proporcionalnosti za transfer Sr-90 u tri glavna svjetska tipa ishrane (tab. 5).

Tab. 5.

PROCJENE PROSJEČNIH FAKTORA PROPORCIJALNOSTI ZA TRANSFER Sr-90 U TRI GLAVNA SVJETSKA TIPA ISHRANE (31)

Vrsta ishrane	Faktor proporcionalnosti stope taloženja pCSr-90 gCa po mC/km ² /god.		Faktor proporcionalnosti u tlu pCSr-90/gCa po mC/km ² , ukupni depozit	
	Sve žitarice mljevene	Sve žitarice nemljevene	Neposredna situacija	Situacija u budućnosti
I (bogata mlijekom)	1,1	1,8	0,4	0,35
II (mlijeko i povrće doprinose po 40% kalcija u ishrani)	1,9	4,7	0,6	0,6
III (povrće kao glavni izvor kalcija)	1,7	3,6	0,7	0,7

U prvim godinama iza proglašenja drugog moratorija na probne nuklearne eksplozije, prilikom kontaminacije hrane biljnog porijekla sa Sr-90 igrali su značajniju ulogu direktni talozi iz atmosfere, dok se u novije vrijeme situacija mijenja u smislu jačanja uloge kumulativnih depozita u tlu.

Cs-137

Cezij-137 dugoživeći je radionuklid, porijeklom iz produkata fisije, koji daje iza Sr-90 najveću dozu zračenja prilikom unutrašnje kontaminacije čovjeka. Gama-zračenje za koje se obično smatra da potiče iz Cs-137, u stvari, proizvod je njegovog potomka Ba-137 (vidi tab. 2), čiji je poluživot samo 2,57 minuta. Cs-137 bez poteškoća prodire kroz gastro-

intestinalni trakt i, ponašajući se slično kao kalij, raspoređuje se po cijelom tijelu, tako da su doze zračenja koje od njega primaju razni organi dosta slične. Na taj način Cs-137 zrači i gonade i izaziva, za razliku od Sr-90 i I-131, i genetske efekte.

Uprkos nešto dužem poluživotu i nešto većoj energiji emitiranja, ovaj radionuklid ima relativno manji biološki značaj od Sr-90, i to zbog svoje kemijske prirode.

Cezij-137 u prirodi se ponaša slično kao kalij, ali ova dva jona ipak ne prolaze kroz lance hrane onako čvrsto povezani kao npr. stroncij i kalcij. Postotak apsorpcije Cs-137 u biljkama (3) i životinjama (33) ne ovisi samo o međusobnoj proporciji u kojoj su zastupljena ova dva jona, nego i o apsolutnoj koncentraciji kalcija. Međusobni odnos dva jona može čak varirati između pojedinih organa jednog te istog organizma.

Cs-137 deponiran u zemljište u njemu se mnogo čvršće veže od Sr-90 i zato teže ulazi u biljke (30, 31). Frederiksson i saradnici (8) utvrdili su da Cs-137 ulazi iz mineralnog tla u biljke deset puta teže nego Sr-90. Retencija Cs-137 nešto je manja u zemljištu sa više humusa.

Zbog toga se smatra da se kontaminacija biljaka sa Cs-137 odvija pretežno folijarnom i floralnom depozicijom. S obzirom na konstantnost međusobnih odnosa aktivnosti Sr-90 i Cs-137 u atmosferskim talozima, relativno lako je moguće iz promjena tih odnosa, npr. u mlijeku, utvrditi relativni značaj kumuliranja tih radionuklida u tlu.

Iz raznih publikovanih podataka Frederiksson, Gardner i Russel (8) utvrdili su da se količina Cs-137 u mlijeku smanjila kad se smanjila i njegova količina u atmosferskim talozima — i obrnuto. Kumulativni depozit u tlu je doprinio relativno manje nivou Cs-137 nego nivou Sr-90 u mlijeku. Međutim, kontaminacija mlijeka sa Cs-137 nikad ne ovisi isključivo o količini Cs-137 u talozima u tom trenutku, što znači da je prisutna i apsorpcija iz tla.

Cs-137 bez smetnje se resorbira u gastrointestinalnom traktu. Stopa resorpcije se procjenjuje na 50—80%. Dobar dio apsorbiranog cezija javlja se u životinjskim sekretima, kao što su mlijeko, odn. jaja kokoši. Prosječno biološko poluvrijeme zadržavanja Cs-137 u čovjekovom organizmu je oko 89 dana, dok je kod većine drugih životinja kraće.

Količina Cs-137 izlučena u mlijeku ovisiće u najvećoj mjeri o unesenoj količini u hrani. Proučavajući odnos kontaminacije mlijeka i mesa u Švedskoj, Lindel (13) 1964. utvrdio je da je kontaminacija mesa oko 4.4 puta veća od kontaminacije mlijeka proizvedene u odgovarajućim područjima.

Glavni izvori Cs-137 u hrani su meso i mlijeko. Varijacije u stepenu kontaminacije tih namirnica su velike i ovise o načinu ishrane i vrsti paše.

Procjenu primljene doze zračenja od Cs-137 koji potiče od njegove globalne depozicije nije lako izvesti iz direktnih analiza sadržaja Cs-137 u životnim namirnicama i iz dijetarnih navika. Umjesto toga vrši se brojanje gama-zračenja čitavog tijela. Onstead i sar. 1962. brojanjem čitavog tijela utvrdili su da nema velike razlike u dozama zračenja koje primaju osobe različite starosti, uprkos tome što djeca uzimaju više mlijeka u hrani. Miettinen i sar. (15) to su objasnili kraćim biološkim poluživotom Cs-137 kod mladih osoba.

Pokušaji prognoziranja budućeg nivoa Cs-137 u hrani i u čovjeku, pod uslovima konstantnog deponiranja, vršeni su uz aplikaciju već pomenute formule.

$$C = prFr + pdFd.$$

Bartlet i Mercer (1) za Engesku izračunali su faktore proporcionalnosti stopa taloženja i proporcionalnosti u tlu, ali se njihove kalkulacije ne bi smjele upotrebljavati u drugim zemljama, ne samo zbog ograničenosti broja informacija, nego i zbog razlike u ishrani stoke i ljudi u različitim zemljama.

Radioizotopi joda

Prilikom nuklearne fisije stvara se 11 radioaktivnih izotopa joda. Kao ozbiljniji kontaminanti hrane dolaze u obzir: I-131 (poluživot 8,00 dana), I-132 (2,3 sata), I-133 (20,8 sati) i I-135 (6,7 sati). Da se postigne doza zračenja na štitnjaču koja bi odgovarala jodu-131, doza za I-132, saobrazno preporukama Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (11), trebalo bi da bude: 30; za I-133 : 3, a za I-135 : 10.

Prvih dana nakon nuklearne eksplozije I-132 i I-133 mogu izazvati iste doze zračenja na štitnjaču kao i I-131. Kod troposferskih taloga udaljenih od mjesta eksplozije od ozbiljnog značaja je, međutim, jedino I-131. Za vrijeme velikih serija probnih nuklearnih eksplozija I-131 nađen je u mlijeku čak i u Sarajevu (18).

Najvažniji put kontaminacije biljaka sa I-131 jeste folijarna depozicija, jer mu je poluživot suviše kratak da bi mogao stići u ljudski organizam putem tla ili floralne depozicije. I-131 u atmosferi dolazi u obliku pare, aerosola ili adsorbiran na druge čestice. Kontaminacija lišća je uglavnom površna, bez dubljeg ulaženja u strukturu, što je od praktičnog značaja za dekontaminaciju.

Jod prisutan u hrani bez poteškoća i skoro kompletno se apsorpira u probavnom traktu, ulazi u krvotok i koncentrira se u određenim žlijezdama, a naročito u štitnjači. Frakcija integrisanog I-131 koju sadrži štitnjača različita je kod raznih životinjskih vrsta, a ovisi i o starosti životinje, količini stabilnog joda u hrani, te o spoljnoj temperaturi. Kod krava i kod čovjeka postotak zadržanog joda-131 u štitnjači iznosi oko 20%. Pregled publikovanih podataka o metabolizmu joda dao je Gross (10).

Jod se izlučuje iz organizma uglavnom mokraćom, ali se javlja i u fecesu. Velika količina joda kod životinja u laktaciji se izlučuje u mlijeku. Kod pojedinačne administracije I-131 u obliku natrijeva jodida jod se javlja u mlijeku već poslije 30 minuta, a maksimum postiže negdje unutar u 6 sati nakon administracije. Utvrđene su velike razlike u sekreciji joda u mlijeku, što je vjerovatno uslovljeno godišnjim dobom, stadijem laktacije i drugim faktorima.

I-131 može se u manjim dozama javljati u mesu i jajima.

U praksi, u slučaju svježih nuklearnih taloga, mlijeko treba smatrati kao glavni izvor I-131. Kontaminacija mlijeka ovisi o načinu ishrane

krava, tj. da li pasu u polju ili se hrane u štali konzerviranom stočnom hranom.

Ozbiljan dijetalni izvor I-131 može biti i zeleno lisnato povrće (salata, špinat). U Japanu 1961. god. količina I-131 u kilogramu svježeg špinata bila je 20 puta veća negoli u litri mlijeka. Pranje je smanjilo tu količinu samo na polovicu (19).

Ostali produkti fisije, inducirane aktivnosti i fisionog materijala

Od biološki važnijih produkata fisije u nuklearnim radovima nalazimo još: barij-140, (poluživot 12,8 dana), dva izotopa rutenija, i to Ru-103 (poluživot 42 dana) i Ru-106 (poluživot 1,0 godinu), Cer-144 (poluživot 288 dana), Cirkonij-95 (poluživot 65 d.) i izotope telurija Te-132 (poluživot 78 sati) i Te-131 (poluživot 1,2 dana).

Ba-140 jeste alkalična zemlja i ponaša se slično stronciju. Zbog svog kratkog poluživota on za čovjeka predstavlja opasnost samo prilikom direktne kontaminacije povrća i stočne hrane. Barij se kao i stroncij izlučuje u mlijeku i deponira se u kostima čovjekovim. Diskriminacija na putu biljka — mlijeko — kosti čovjekove prema bariju je veća otprilike za dva puta nego prema stronciju. Glavni potencijalni izvor kontaminacije čovjeka barijem-140 jeste mlijeko. Zbog kratkog poluživota doza zračenja primljena iz Ba-144 neće biti velika, ukoliko se ne radi o vrlo svježoj kontaminaciji.

Oba radioizotopa rutenija, kao i njihovi radioaktivni potomci radij-103 i -106, emitiraju slabom energijom gama-zrake i beta-čestice. Ovi izotopi se slabo apsorbiraju iz tla u biljke i zadržavaju se pretežno u korijenu. Primljene doze zračenja iz Ru-106 ingestiranog putem hrane iznose 2—5% od doze koju daje Ba-140.

Rijetke zemlje i cirkonij-95 teško ulaze u hranu i slabo se apsorbiraju iz probavnog trakta. Cer-144 i njegov potomak prometij-144 spadaju u najvažnije izvore eksternog (gama) zračenja u toku nekoliko prvih mjeseci iza njihovog formiranja.

Radioaktivni izotopi telura su od značaja kao kontaminanti hrane zbog toga što se pri raspadanju pretvaraju u radioaktivne izotope joda. Te-132 raspada se u I-132, koji je prvih nekoliko dana iza fisije važniji izvor kontaminacije negoli I-131. Međutim, zbog kratkog poluživota I-132 ne zadržava se dugo u lancima hrane i ne može se tretirati kao »kritički radionuklid«.

Od radioizotopa induciranih hvatanjem neutrona valja spomenuti cink-65 (poluživot 65 dana), mangan-54 (poluživot 278 dana), željezo-55, fosfor-32 (poluživot 14 dana) i sumpor-35 (poluživot 87 dana).

Zn-65 utvrđen je u kako efluentima iz nuklearnih reaktora, tako i u nuklearnim talozima. Apsorpcija Zn-65 iz tla je slaba i on se zadržava pretežno u korijenu, stabljikama i sjemenju. Zn-65 javlja se pretežno u hrani iz mora.

Količina mangana-54 i željeza-55 u nuklearnim talozima ovisi o konstrukciji nuklearnih oružja. Nakon pojedinih nuklearnih proba ovi izotopi se javljaju kao značajan izvor gama-zračenja u talozima i u hrani.

Fosfor-32 i sumpor-35 pojavljuju se u talozima nakon nuklearnih eksplozija, ali mogu da dospiju u prirodu prilikom raznih nezgoda na reaktorima, u kojima se umjetno proizvode. Oni bi se u tim slučajevima taložili na travi i javljali u mlijeku.

Od fisionih materijala u nuklearnim talozima se javlja i plutonij-239. On se čvrsto veže u zemljištu i teško prodire kroz lanac hrane. Pu-239 isto tako teško se resorbira iz probavnog trakta, te kontaminira čovjeka uglavnom kroz respiratorni trakt.

Ispitivanje kontaminacije biosfere radionuklidima umjetnog porijekla u SFRJ

Počevši od 1961. god. u Jugoslaviji postoji mreža stanica na kojima se uzimaju uzorci biosfere u cilju ispitivanja kontaminacije sa umjetno proizvedenim radionuklidima.

Rezultati mjerenja radioaktivnosti životne sredine u Jugoslaviji za period 1961—1966. publikovani su godišnje, u serijskoj publikaciji (24, 25, 26, 27, 28, 29).

Zbog zastoja u publikovanju zbirnih rezultata u Jugoslaviju za godine 1966, 1967. i 1968, odgovarajući podaci za Bosnu i Hercegovinu su objavljeni u posebnim publikacijama (38, 39, 40).

Povremene analize kretanja radioaktivne kontaminacije biosfere u Bosni i Hercegovini vršene su naročito u periodu kad su vršene i probne nuklearne eksplozije (35, 36, 37, 41).

2. METODIKA RADA

Radioaktivna kontaminacija biosfere u SRBiH mjerena je pretežno kao ukupna beta-radiativnost vazduha i vode, ili kao specifična aktivnost radionuklida Sr-90 i Cs-137 u zemlji, padavinama, vodi, hrani i kostima.

Uzorci koje smo uzimali iz biosfere bili su namijenjeni za mjerenje:

- a) ukupne beta-aktivnosti vazduha,
- b) ukupne beta-aktivnosti padavina (dnevni i mjesečni),
- c) ukupne beta-aktivnosti vode za piće (vodovodi i cisterne),
- d) ukupne beta-aktivnosti geografskih voda,
- e) Sr-90 u padavinama (mjesečno),
- f) Sr-90 u zemlji,
- g) Sr-90 u travi i siliranoj stočnoj hrani,
- h) Sr-90 i Cs-137 u žitaricama, povrću i voću,
- i) Sr-90 i Cs-137 u cisternama,
- j) Sr-90 u ljudskim kostima.

Tab. 6.

MJESTA UZIMANJA I VRSTE UZORAKA SAKUPLJENIH ZA ISPITIVANJE KONTAMINACIJE BIOSFERE
RADIOAKTIVNIM MATERIJAMA U SRBIH OD 1958—1968.

Mjesto	Koordinate i nadmorska visina	Vrsta uzroka	Način uzimanja	Period uzimanja
Banja Luka	44°46'S 18°11,1 151,5 m	Voda za piće iz vodovoda. Ukupna beta-aktivnost.	Iz česme svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
		Mjesečne padavine. Ukupna beta-radioaktivnosti i Sr-90.	Taložnik od 0,1 m ² za Sr-90 i taložnik od 0,05 m ² za ukupnu beta-radioaktivnost.	1 mjesec
		Rijeka Vrbas. Ukupna beta-radioaktivnost.	Sa sredine rijeke po 0,1 lit. svaki dan.	1 mjesec
		Zemlja. Sr-90.	Sa površine od 1 m ² u dubini 5—10 cm.	1 × godišnje u maju 2 × godišnje
		Trava. Sr-90 .	Košenje sa površine 1—2 m ² .	Dva puta godišnje: maj i septembar
		Silaža. Sr-90.	Iz silosa.	1 × godišnje: oktobar ili novembar
		Mlijeko. Sr-90.	Iz mljekare svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
		Žitarice. Sr-90 i Cs-137.	Sa Polj. dobra »Ml. Stojanović«.	1 × godišnje: juli ili avgust

(Nastavak Tab. 6.)

Banja Luka	44°46'S 18°11'I 151,5 m	Voće i povrće. Sr-90 i Cs-137.	Sa poljoprivrednog do- bra ili obližnje pijace.	1 × godišnje, prema vre- menu prispjivanja
Bosanska Dubica	45°11'S 16°49'I 102 m	Mjesečna padavina. Ukupna beta-radioaktiv- nost.	Preko taložnika od 0,05 m ² .	1 mjesec
		Rijeka Una. Ukupna be- ta-radioaktivnost.	Sa sredine rijeke po 0,1 litar.	1 mjesec
Bosanski Šamac	45°04'S 18°28'I 86 m	Mjesečna padavina. Ukupna beta-radioaktiv- nost.	Preko taložnika od 0,05 m ² .	1 mjesec
		Rijeka Bosna. Ukupna beta-radioaktivnost.	Sa sredine rijeke po 0,1 litar.	1 mjesec
Čapljina	43°04'S 17°42'I 6 m	Rijeka Neretva. Ukup- na beta-radioaktivnost.	Sa sredine rijeke po 0,1 litar.	1 mjesec
Domanovići	43°08'S 17°47'I 170 m	Voda iz cisterne. Ukup- na beta-radioaktivnost i Sr-90, Ss-137.	Kao i korisnici.	kvartalno
Goražde	43°40'S 18°59'I 343 m	Mjesečna padavina. U- kupna beta-radioaktiv- nost.	Preko taložnika od 0,05 m ²	1 mjesec
Hum	42°44'S 18°12'I 268 m	Voda iz cisterne. Ukup- na beta-radioaktivnost Sr-90 i Cs-137.	Kao i korisnici.	kvartalno

(Nastavak Tab. 6.)

M j e s t o	Kordinate i nad- morska visina	Vrsta uzorka	Način uzimanja	Period uzimanja
Lištica	43°23'S 17°23'I 262 m	Voda iz cisterne. Ukup- na beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao i korisnici.	kvartalno
Ljubinja	42°57'S 18°57'I 422 m	Voda iz cisterne. Ukup- na beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao i korisnici.	kvartalno
Ljubuški	43°12'S 17°33'I 102 m	Voda iz cisterne. Ukup- na beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao i korisnici.	kvartalno
Mostar	43°15'S 17°51'I 41 m	Voda iz vodovoda. U- kupna beta-radioaktiv- nost.	Iz česme svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
Mostar		Mjesečna padavina. U- kupna beta-radioaktiv- nost.	Taložnik 0,05 m ² .	1 mjesec
		Zemlja Sr-90	Sa površine 1 m ² dubina 5—10 cm.	1 × godišnje i 2 × godišnje: maj i sep.
		Trava. Sr-90.	Košanje sa površine 1—2 m ² . Iz silosa.	2 × godišnje: maj i sep- tembar. Godišnje: oktobar ili no- vembar.
		Silaža. Sr-90.		
		Mlijeko. Sr-90.	Iz mljekare. Svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
	43°15'S 17°51'I 41 m	Žitarice. Sr-90 i Cs-137. Voće ili povrće. Sr-90 i Cs-137.	Sa PD »Hercegovina«. Sa poljoprivrednog do- bra ili obližnje pijace.	Godišnje, prema vreme- nu prispjijevanja.

(Nastavak Tab. 6.)

Mrkonjići	42°50'S 18°62'I 267 m	Voda iz cisterne. Ukupna beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao korisnici.	kvartalno
Plana	42°59'S 18°25'I 590 m	Voda iz cisterne. Ukupna beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao korisnici.	kvartalno
Posušje	43°29'S 17°20'I 660 m	Voda iz cisterne. Ukupna beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao korisnici.	kvartalno
Sarajevo	43°52'S 18°26'I 555 m	Aerosoli. Ukupna beta-radioaktivnost.	Kaptiran električnom pumpom. Filter-papir Schneider-Poelman plavi.	24-časovno
		Voda iz vodovoda. Ukupna beta-radioaktivnost.	Svaki dan po 0,1 litar iz česme.	1 mjesec
		Dnevne padavine. Ukupna beta-radioaktivnost.	Preko taložnika od 1 m².	24-časovno
		Mjesečne padavine. Ukupna beta-radioaktivnost i Sr-90.	Taložnik 0,05 m² za ukupnu beta-radioaktivnost. Taložnik 1 m² za Sr-90.	1 mjesec
		Rijeka Bosna-Vrelo. Ukupna beta-radioaktivnost.	Svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
		Zemlja. Sr-90.	Sa površine od 1 m² u dubini 5—10 cm.	1 × godišnje i 2 × godišnje; maj i septembar
		Trava. Sr-90.	Košenje sa površine 1—2 m².	

Mjesto	Koordinate i nad- morska visina	Vrsta uzorka	Način uzimanja	Period uzimanja
Sarajevo	43°52'S 18°26'I 555 m	Silaža. Sr-90.	Iz silosa.	1 × godišnje: oktobar ili novembar
		Mlijeko. Sr-90.	Iz mljekare svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
		Žitarice. Sr-90 i Cs-137.	Sa PD »Butmir« Sarajevo.	1 × godišnje: juli ili avgust
		Voće ili povrće. Sr-90 i Cs-137.	Sa polj. dobra ili obližnje pijeće.	1 × godišnje, prema vremenu prispijevanja.
Strujići	42°54'S 18°15'I 254 m	Ljudske kosti. Sr-90.	Poslije obdukcije leša.	Tokom cijele godine, prema mogućnostima dobijanja.
		Voda iz cisterne. Ukupna beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao korisnici.	kvartalno
Tuzla	44°33'S 18°42'S 305 m	Mjesečne padavine. Ukupna beta-radioaktivnost.	Preko taložnika 0,05 m ³	1 mjesec
Zvornik	44°23'S 19°07'I 144 m	Rijeka Drina. Ukupna beta-radioaktivnost.	Svaki dan po 0,1 lit.	1 mjesec
Uskoplje	42°35'S 18°15'I 108 m	Voda iz cisterne. Ukupna beta-radioaktivnost. Sr-90 i Cs-137.	Kao i korisnici.	1 mjesec

Vrsta uzoraka i način njihovog uzimanja i obrada

Mjesta i periodi uzimanja, te vrste uzoraka sakupljenih u Bosni i Hercegovini u desetogodišnjem periodu prikazani su, uz oznaku koordinata tih mjesta, na tab. 6.

Aerosoli

Prva stanica za sakupljanje kontinuiranih kumulativnih 24-satnih uzoraka aerosola bila je postavljena na terasi Medicinskog fakulteta u Sarajevu. U 1961. godini stanica je premještena sa jedne na drugu terasu i tu je ostala do kraja perioda.

Kao glavnu metodu za kaptiranje radioaktivnih aerosola upotrebljavali smo metodu filtracije.

Uzorak je kaptiran uređajem za sakupljanje radioaktivnih aerosola (konstruisanim u francuskom Atomskom centru u Saclayu). Kao filter upotrijebljen je papir Schneider-Poelman — plavi. Da ne bi zbog velikog zagađenja u atmosferi dolazilo do zapušavanja filtera, upotrebljavana su dva filtera u toku 24 časa. Mijenjanje filtera je vršeno u 7, odn. 19 sati svakog dana. Oba filtera obrađivana su kao jedan uzorak.

Oba filtera upotrijebljena u toku 24 sata spaljivana su zajedno na temperaturi od 450°C. Obrada i mjerenje uzoraka vršeni su standardnom tehnikom.

Mjerenja su vršena na GM-brojaču na ukupnu beta-aktivnost, i to 48 i 120 sati nakon kaptacije.

Prvo mjerenje uzoraka davalo je podatke o ukupnoj kratkoživećoj i dugoživećoj beta-aktivnosti. U toku 1959. godine prvo mjerenje je vršeno 24 sata nakon kaptiranja, a od 1960. god. aktivnost je mjerena 48 sati nakon kaptiranja.

Dnevno istaložene padavine

Uzimanje dnevnog uzorka padavina vršeno je preko taložnika od plastičnog materijala površine 1 m². Ukupna beta-aktivnost padavina određuje se tako da se 1 lit. vode zakiseli sa HNO₃ i uparava do 10—15 cm. zatim se sve prenosi na filter-papir u zdjelicu i uparava do suha pod infracrvenom lampom. Žari se u tiglicu na 600°C 1 sat. Ostatak se prenosi u planšetu pomoću etil-alkohola.

Mjesečno istaložene padavine

Uzorci su uzimati preko lijevka od plastičnog materijala površine 0,05 m². Period sakupljanja bio je jedan mjesec. Obrada i mjerenje bili su kao i kod dnevnih padavina. Starost uzorka 10—15 dana. Ovaj način obrade primjenjuje se od 1963. godine.

1961. godine uzorci su kaptirani pomoću jonoizmjenjivačkih smola. Smolama su punjeni nastavci lijevкова (3 g. anijonske + 2 g. katijonske

smole »Dowex 2« i »Dowex 50«). Nakon mjesec dana smola je obrađivana isparavanjem i žarenjem.

1962. godine sakupljanje uzoraka vršeno je sedmodnevno preko lijevak od plastične mase površine 0,1 m². Obrada je ista kao i kod kasnijih mjesečnih uzoraka.

Riječne vode

Uzorci su dobiveni tako što je svaki dan iz rijeke uziman po 0,1 lit. vode u plastičnu bocu. Nakon mjesec dana boca sa uzorkom slata je laboratoriji na obradu. Obrada i mjerenje bili su kao kod dnevnih padavina.

Ovakav način sakupljanja primjenjuje se od maja 1965. godine. Tokom perioda od 1962. do kraja 1965. sakupljanje riječnih voda radeno je desetodnevno. Obrada je bila ista.

Vode za piće iz vodovoda i cisterni

Vodovodna voda sakupljana je svakog dana uzimanjem po 0,1 lit. vode u plastičnu bocu. Iz ovako dobivenog uzorka uzet je 1 lit. za obradu.

Uzorci vode za piće iz cisterni u Hercegovini uzimani su četiri puta godišnje na način kako tu vodu uzimaju njeni stalni korisnici, ali u plastične boce. Obrada, mjerenje i izračunavanje vode za piće isto kao kod dnevnih padavina.

Uzorci zemlje na Sr-90

Uzorci zemlje uzimani su u maju svake godine sa površine od 1 m² i dubine 5—10 cm na PD »Mladen Stojanović« u Banjoj Luci, PD »Butmir« u Sarajevu i PD »Slatina« u Sarajevu. Sa PD »Slatina« tokom 1962. i 1963. godine uzorci zemlje uzimani su 2 puta godišnje sa obradivog i neobradivog terena. Uzorci su homogenizirani, čišćeni od kamenja i trave, prosijani, osušeni i mjereni.

Za uzorke zemlje upotrijebljen je modificirani metod određivanja Sr-90, preporučen u publikaciji Svjetske zdravstvene organizacije (34).

Uzorak zemlje se u prisustvu stroncijevog nosača ekstrahira sa 6 M-hlorovodoničnom kiselinom. Kalcij i stroncij se zatim istalože kao oksalati. Oksalat se izari, a ostatak rastvori u razblaženoj kiselini. Željezo i aluminij se uklanjaju kao hidroksidi, a kalcij i stroncij se talože kao karbonati i mjere. Stroncij se zatim odvaja od kalcija sukcesivno precipitacijom kao nitrat.

Kalcijev nitrat je više rastvoran u jakoj azotnoj kiselini od stroncijevog nitrata i prilikom pogodnog aciditeta i ponovljenog tretiranja čistoća separacije može biti efektivna. Nešto jači aciditet se upotrebljava u prvoj separaciji za taloženje kalcija i smanjenje gubitaka stroncija. Barijev kromat se dodaje da bi se istaložili Ba-140 i radij, a ferihidroksid se dodaje da se istalože torij, radijevi potomci i rijetke zemlje. Dobijanje

stroncija se poboljšava ako se u početku analize doda i barij kao nosač. Odijeljeni stroncij se čuva u prisutnosti itrija najmanje 14 dana (95% ravnoteže), a itrij se taloži kao itrijev hidroksid. Itrij se zatim pretvara u oksalat, odnosno u oksid.

Mjesečne padavine na Sr-90

Uzorak padavina tokom 1962. i 1963. godine je kumuliran po 6 mjeseci, odn. 2 mjeseca na lijevku od nerđajućeg čelika površine 1 m². Lijevak je postavljen tako da padavine koje padaju u lijevak predstavljaju ukupnu količinu radioaktivnih padavina što padaju na 1 m² površine tla u određenom vremenskom periodu u Sarajevu.

Od 1964. godine uzorci mjesečnih padavina su sakupljeni mjesečno na lijevku od nerđajućeg čelika površine 1 m² u Sarajevu i na plastičnom lijevku površine 0,1 m² u Banjoj Luci. Uzorak mjesečnih padavina se uparava do suha i izari na temperaturi 500—600°C. Zatim se doda nešto 60% perhlorne i 16 M-azotne kiseline i ispari do suha. Ostatak se ohladi i tretira sa 1 M-hlorovodoničnom kiselinom, zagreje na vodenoj kupelji, doda stroncijev nosač i nastavi rad prema metodi preporučenoj u publikaciji Svjetske zdravstvene organizacije (34).

Uzorci stočne hrane

Uzorci trave i silaže su uzimani sa PD »Hercegovina« u Mostaru, PD »Mladen Stojanović« u Banjoj Luci, PD »Butmir« u Sarajevu i PD »Slatina« u Sarajevu.

Uzorak trave je uziman iz prvog i drugog otkosa sa površine 1—2 m², tj. dva puta godišnje, a silaža u kasnu jesen.

Uzorci su prvo sušeni, zatim mjereni težinski i spaljivani do pepela na temperaturi od 450—600°C.

Pepeo ovakvih uzoraka je vrlo različitog sastava i zahtijevao je za rastvaranje jače tretiranje mješavinom azotne i perhlorne kiseline. Poslije zagrijavanja, u cilju uklanjanja fluorovodonične i većeg dijela perhlorne kiseline, ostatak se rastvara u razblaženoj hlorovodoničnoj kiselini i alkalne zemlje se talože u obliku fosfata.

Uzorci mlijeka

Uzorci mlijeka su uzimani iz mlijekara u Sarajevu, Banjoj Luci i Mostaru.

Centralna mljekara Sarajevo vrši prikupljanje mlijeka sa teritorije Bosne i Hercegovine i iz Belja; gradska mljekara u Banjoj Luci prikuplja mlijeko sa teritorije Banje Luka, Topole. Bos. Gradiške i Srpc. Gradska mljekara u Mostaru prikuplja mlijeko sa Poljoprivrednog dobra »Hercegovina« u Mostaru.

Uzorci mlijeka su uzimani svakodnevno iz homogenizirane količine mlijeka spremne za prodaju. Uzorci su prvo sušeni na temperaturi do 80°C, a zatim spaljivani do pepela na temperaturi od 700°C. Direktna pri-

mjena dimeće azotne kiseline za separaciju radiostroncija u pepelu mlijeka daje niske prinose. Zato se kalcij, stroncij i barij koncentriraju pomoću fosfata.

Žitarice, povrće i voće

Uzorci pšenice i ostalih žitarica su uzimani jedanput godišnje sa poljoprivrednih dobara »Mladen Stojanović« u Banjoj Luci, »Butmir« u Sarajevu, »Slatina« u Sarajevu i »Hercegovina« u Mostaru, i to u količini 1—2 kg.

Uzorak pšenice je sušen na temperaturi 100—150°C do ugljenisanja, a onda spaljen do pepela na temperaturi od oko 450°C.

Za određivanje Sr-90 pepeo ovakvih uzoraka se u platinskom sudu uz dodatak stroncijeva nosača tretira sa 40% fluorovodoničnom kiselinom i 60% perhlornom kiselinom uz isparavanje do suha. Suhi ostatak se ohladi, rastvori u 11 M-hlorovodoničnoj kiselini i nastavi se rad kao u proceduri za određivanje Sr-90 u mlijeku. Određivanje Cs-137 vrši se po metodi preporučenoj od Svjetske zdravstvene organizacije (34).

Uzorci povrća i voća su uzimani sa poljoprivrednih dobara ili sa pišace od individualnih proizvođača u okolini Sarajeva, Banje Luke i Mostara.

Uzorci su oprani, izmjereni, sasječeni, osušeni i spaljeni na temperaturi od 450°C.

Metoda za određivanje Sr-90 i Cs-137 ista je kao i za uzorke žitarica.

Voda za piće iz cisterni

Uzorci kišnice koja služi za piće u Hercegovini sakupljani su 4 puta godišnje i analizirani na ukupnu beta-radioaktivnost. Mjesta iz kojih su uzimani uzorci iz cisterni su: Domanovići, Hum, Lištica, Ljubinja, Ljubuški, Mrkonjići, Plana, Posušje, Strujići i Uskoplje.

Kvartalni uzorci radioaktivnih padavina iz 10 cisterni sa teritorije Hercegovine (4 lit. spajani su u godišnji uzorak (~16 l). Ovaj uzorak je upravan na malu zapreminu i analiziran na Sr-90 i Cs 137 (34).

Uzorci ljudskih kostiju

Uzorke ljudskih kostiju (kičmeni stub, rebra i kosti glave) od umrle djece, omladine u starosti od 0—20 godina, kao i uzorke kostiju odraslih osoba dobijali smo od Patološkog instituta Medicinskog fakulteta u Sarajevu.

Uzorci su prvo sušeni, a zatim spaljivani na temperaturi od 700°C do pepela.

Određivanje Sr-90 vršeno je prema metodi preporučenoj od Svjetske zdravstvene organizacije (34).

Izračunavanje rezultata

Izračunavanje rezultata mjerenja ukupne beta-radioaktivnosti aerosola u Sarajevu

Ukupna beta-aktivnost uzoraka izračunavana je prema jednačini:

$$A = \frac{C}{2,22 \cdot V} F,$$

gdje je:

A — aktivnost u pC/m³,

C — izmjereni broj impulsa uzorka korigovan na osnovu aktivnosti,

V — korigovani volumen,

F — f₁, f₂, f₃,

f₁ — faktor korekcije na samoapsorpciju,

f₂ — faktor korekcije na efikasnost filtera,

f₃ — faktor korekcije na efikasnost brojača.

Efikasnost GM-brojača izračunavana je svakodnevno mjerenjem standarda TI 204.

Pri izračunavanju volumena vršena je korekcija na normalne uslove pomoću korekcionih tabela.

Mjerenje uzoraka dnevnih i mjesečnih padavina

Uzorak koji predstavlja žareni ostatak dobijen uparavanjem mjeren je na GM-brojaču sa beta-brojačkom cijevi. Rezultati su prilikom izračunavanja korigovani na osnovnu aktivnost, samoapsorpciju i efikasnost brojačkog uređaja. Kao standardi su upotrebljavani: K-40, Sr-90, TI-204.

Ukupna beta-aktivnost izračunavana je prema jednačini:

$$A = \frac{C \cdot F}{2,22 \cdot E} 100, \text{ gdje je}$$

A — aktivnost u pC/l,

C — izmjereni broj impulsa uzorka, korigovan na osnovnu aktivnost,

F — faktor samoapsorpcije,

E — efikasnost brojačke cijevi izražena u postocima.

Radio aktivnost taloga u kiši izražavali smo kao:

a) istaloženu aktivnosti (depozicija) u milikirijima na kvadratni kilometar (mC/km²);

b) koncentraciju radionuklida u pikokirijima na litar (pC/l).

$$\text{Koncentracija pC/l} = \frac{\text{depozicija (mC/km}^2\text{)}}{\text{količina padavina (mm)}} 1000.$$

Mjerenje uzoraka pijaćih voda, cisterni i rijeka

Uzorci pijaćih voda, cisterni i rijeka mjereni su najvećim dijelom na antikoincidentnom brojaču za niske aktivnosti (»Philips«, sa beta-brojačkom cijevi tipa 18516). Jedan manji broj uzoraka mjeren je GM-brojačem »Frieske-Hoepfner« (brojačka cijev tipa 18515). Obračunavanje korekcije i standardi isti su kao kod padavina. Koncentraciju smo izražavali u pikokirijima na litar (pC/l).

Mjerenje, izračunavanje Sr-90 i Cs-137

Aktivnost koja je nađena prilikom separacije radiostroncija u biološkom materijalu redovito je niska, pa smo upotrebljavali antikoincidentni brojač marke »Philips«, koji daje dovoljno nisko pozadinsko zračenje od 1 otkucaj na minut.

Prije mjerenja uzoraka brojač se kalibrira pomoću određene količine stroncijeva nosača i određene količine standardnog rastvora Sr-90.

$$E = \frac{\text{dobijeni impulsi (korig). 100}}{\text{poznata dezintegracija radioizotopa}}$$

Kalibracija se ponavlja od vremena do vremena.

Radioaktivni izvor se stavlja tačno ispod beta-brojačke cijevi, tako da samo ona, a ne zaštitna brojačka cijev, proizvodi impulse, koji se preko koincidentnog dijela prevode do brojačkog dijela. Izvor mora da se broji do cca 3000 impulsa i da se posmatra opadanje aktiviteta Y-90 ($T_{1/2}$ 64 sata). Iz krive opadanja Y-90 može se izračunati aktivitet Sr-90. Ako je totalni aktivitet stroncija niži od 2 otkucaja/min. ili od osnovne aktivnosti, brojanje itrija se ne praktikuje. U takvim slučajevima stroncijev izvor se broji u intervalima od 6—8 nedelja i Sr-90 se preračunava praćenjem opadanja aktiviteta Sr-89. Ovaj metod je izbjegavan kada god je bilo moguće zbog opasnosti registrovanja prisustva malih količina drugih aktiviteta. Greške su smanjivane i tako da se stroncijev izvor izbroji tri puta u intervalu od 6—8 nedelja i učine odgovarajuće korekcije.

Količina radioaktivnog stroncija koji se nalazi u nekom uzorku može biti izražena na nekoliko načina. Jedna »stroncijeva jedinica« odgovara 2.2. dezintegracije u minuti, a također je ekvivalentna pC/gCa. Aktivitet zemlje se izražava u mC/km², dok se Sr-90 u pijaćoj vodi i mlijeku iskazuje u pC/lit.

Prije nego što se pristupi procjeni dobijene vrijednosti Sr-90 mora se poznavati:

- a) pozadinsko zračenje,
- b) efikasnost brojačke cijevi,
- c) kemijski prinos,
- d) količina kalcija.

Da bi se odredio kemijski prinos, potrebno je prvo odrediti količinu prirodnog neaktivnog stroncija koji se nalazi u uzorku. Određivanje prirodnog stroncija u biološkom materijalu iskorištava se iz dva razloga:

- a) da se dobije kemijski prinos,
- b) da se na osnovu podataka o količini neaktivnog stroncija odrede kretanje i ponašanje radiostroncija.

Količina kalcija može biti određena spektrografskom metodom pomoću fotometrije s plamenom ili pomoću kvantitativne analitičke metode.

Itrij se broji tri puta u prosječnom razmaku od tri dana, tako da cijelo brojačko vrijeme traje oko nedjelju dana. Preračunavanje početne aktivnosti Y-90 vrši se za svako brojanje po formuli:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}, \text{ odakle je } A_0 = A e^{\lambda t}$$

A = mjerenje aktivnosti uzorka,

λ = konstantna opadanja Y-90 ($1,0727 \cdot 10^{-2}$ sati),

t = vrijeme u satima od itrijeve separacije do polovice brojanja.

Ukoliko su aktivnosti koje se nadu po gornjoj formuli jednake, onda se količina Sr-90 izračunava na ovaj način:

$$p\text{CSr-90/gCa} = \frac{A_0 \text{ imp./min. } 10^6}{2,22 \cdot S \cdot Y \cdot E \cdot G \cdot T}$$

A_0 — aktivnost Y-90 u $t = 0$,

2,22 — faktor za prevođenje impulsa u pC,

S — stroncijev prinos u procentima,

Y — itrijev prinos u procentima,

G — broj grama pepela koji se upotrijebi u analizi,

T — količina kalcija po gramu pepela.

Izračunavanje standardne devijacije za svako mjerenje vršili smo po obrascu:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{N_s}{t_s} + \frac{N_{bg}}{t_{bg}}} \quad (2)$$

N_s = ukupan broj impulsa uzorka,

t_s = vrijeme brojanja uzorka u minutama,

N_{bg} = brojanje osnovne aktivnosti,

t_{bg} = vrijeme brojanja osnovne aktivnosti u minutama.

Mjerenje Cs-137 vršili smo na antikoincidentnom brojaču (beta-brojač) »Philips«.

Izračunavanje smo vršili primenjujući korekciju za prirodnu aktivnost, efikasnost brojačke cijevi i kemijski prinos cesija.

$$p\text{C Cs-137/gK} = \frac{A \text{ imp./min. } 10^4}{2,22 \text{ C. E. G. T}} \text{ odnosno,}$$

odnosno:

$$p\text{CCs-137/1} = \frac{A_0 \text{ (cpm)} \cdot 10^4}{2,22 \cdot \text{C. E. T}}$$

- A = aktivnost Cs-137 u imp/minut,
 2,22 = faktor za prevođenje impulsa u pC,
 C = cezijev prinos u procentima,
 E = efikasnost brojačke cijevi u procentima,
 G = broj grama pepela što se upotrijebi u analizi,
 T = količina kalija po gramu pepela ili broj litara vode.

Rezultati i diskusija *Ukupna beta-aktivnost atmosfere (aerosoli)*

Prva mjerenja ukupne beta-aktivnosti atmosfere u Institutu za higijenu i socijalnu medicinu u Sarajevu započeta su u oktobru 1958. Rezultati mjerenja za prvih 15 mjeseci saopćeni su već u 1960. god. (35). Rezultati kretanja radioaktivnosti padavina i vazduha u Sarajevu u toku 3 godine, između dvije serije probnih nuklearnih eksplozija, saopćeni su 1962 (36).

Kretanje ukupne radioaktivnosti atmosfere u Sarajevu od 1961, kada je došlo do obnove probnih nuklearnih eksplozija, pa zaključno do 1968, prikazano je na tab. 7. Na toj tabeli nisu date vrijednosti nađene u prethodnom periodu, jer je u međuvremenu izvršena promjena u načinu mjerenja, tj. prešlo se na mjerenja 48 sati nakon kaptacije, umjesto 24 sata — kako se radilo ranije.

Iz tab. 7 moguće je uočiti slijedeće karakteristike kretanja srednjih vrijednosti ukupne beta-radioaktivnosti atmosfere u Sarajevu:

(1) Počevši od septembra 1961, kada je došlo do obnove probnih nuklearnih eksplozija, radioaktivnost atmosfere naglo raste, da bi u novembru 1961. dostigla svoj maksimalni prosjek od 11,1 pC/m³. Još više prosječne mjesečne vrijednosti od te biće zabilježene u mjesecima maju i julu 1963.

(2) Prosječna godišnja ukupna beta-aktivnost atmosfere u Sarajevu postiže svoj vrhunac u 1963. Ona zatim u roku od 2 godine (1963. do 1965) opada približno za 20 puta, a u roku od 3 godine za 40 puta, i 1966. i 1967. godine dostiže svoj najniži nivo. U 1968. godini je registrovan novi, skoro dvostruki porast aktivnosti u odnosu na prethodnu godinu, zbog svježih zagađenja porijeklom iz probnih nuklearnih eksplozija koje su u atmosferi izvršile Kina i Francuska.

(3) Zagađenost atmosfere rezidualnom radioaktivnošću pokazuje sezonska kolebanja neovisna o mjesecima u kojima su izvršene eksplozije. U Sarajevu je u osamgodišnjem prosjeku registrovana znatna natprosječna aktivnost u proljetnom periodu februar—maj.

Maksimalne vrijednosti registrovane u pojedinim mjesecima za vrijeme osmatranog perioda prikazane su na tab. 8. Iz te tabele se vidi da je do naglog povećanja aktivnosti atmosfere došlo u septembru 1961, a najveća, uopće registrovana, aktivnost je zabilježena u novembru 1961. Vrlo visoke vrijednosti su zabilježene i u novembru 1962, te u prvoj polovici 1963. god. U godini 1968. u toku pet mjeseci registrovana su povećanja ukupne beta-aktivnosti iznad 1pC/m³ zraka.

Tab. 7.
SREDNJE MJESEČNE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI U ATMOSFERI SARAJEVA OD 1961—1968.
(pC/m³)

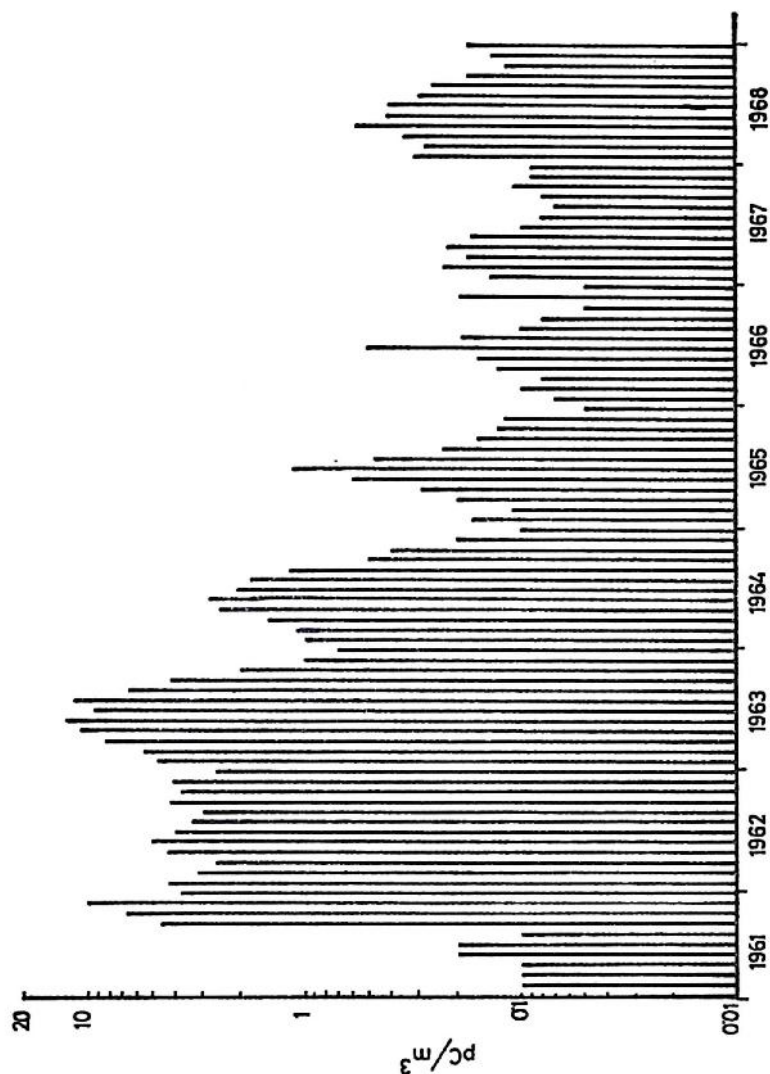
Mjesec	Godina								Srednja vrijednost
	1961.	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.	
Januar	—	4,3	4,8	1,0	0,17	0,07	0,14	0,31	2,6
Februar	—	3,2	5,6	1,1	0,11	0,10	0,23	0,28	3,5
Mart	0,1	2,6	8,4	1,5	0,20	0,08	0,18	0,35	2,8
April	0,1	4,3	11,0	2,5	0,29	0,13	0,22	0,58	4,4
Maj	0,1	5,1	13,0	2,8	0,60	0,16	0,17	0,42	3,0
Juni	0,2	4,0	9,4	2,1	1,18	0,51	0,10	0,41	2,7
Juli	0,2	3,4	12,0	1,8	0,46	0,19	0,08	0,30	2,5
Av gust	0,1	3,0	6,5	1,2	0,23	0,10	0,07	0,26	2,5
Septembar	4,6	4,2	4,2	0,5	0,16	0,08	0,08	0,18	2,7
Oktobar	6,7	3,8	2,0	0,4	0,13	0,05	0,11	0,12	2,7
Novembar	10,1	4,1	1,0	0,2	0,12	0,19	0,09	0,14	2,1
Decembar	3,8	2,6	0,7	0,1	0,05	0,05	0,09	0,18	0,9
Srednja godišnja vrednost	2,6	3,7	6,6	1,3	0,31	0,14	0,13	0,29	2,4

Tab. 8.

MAKSIMALNE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI U ATMOSFERI UTVRĐENE U POJEDINIM
MJESECIMA U SARAJEVU OD 1960—1968. pC/m^3 ZRAKA

Godina	pC/m ³ zraka												
	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Juni	Juli	August	Sep-tembar	Okto-bar	Novem-bar	Decem-bar	Srednja godišnja
1961.	—	—	0,3	0,3	0,2	0,8	0,3	0,2	27,1	26,0	57,0	8,4	12,1
1962.	9,8	4,4	6,6	11,1	9,7	9,2	4,9	5,2	9,2	8,9	21,1	8,7	9,1
1963.	16,6	11,2	13,8	18,4	24,4	17,5	18,6	13,2	7,4	4,4	2,0	1,4	12,4
1964.	2,0	5,5	4,3	4,8	4,6	4,1	5,0	2,1	1,0	1,4	1,7	0,4	3,1
1965.	0,6	0,3	0,4	0,7	2,2	2,9	1,1	0,4	0,3	0,2	0,8	0,1	0,8
1966.	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	1,8	0,4	0,2	0,2	0,1	0,8	0,1	0,4
1967.	1,1	1,4	0,4	0,9	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5
1968.	1,1	0,6	1,2	0,9	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	2,0	0,8

Zbog alarmantnog povećanja ukupne beta-aktivnosti u atmosferi u novembru 1961. god. pristupili smo određivanju joda-131 u biosferi. Postupak i način istraživanja opisani su u jednoj drugoj publikaciji (18). Izračunate aktivnosti I-131 prikazane su na tab. 9.



Slika 3.
Srednje mjesečne vrijednosti ukupne beta aktivnosti u atmosferi Sarajeva 1961—1968, pC/m^3 .

Analiza kišnice sakupljene 14. XI 1961. pokazala je da ukupna beta-aktivnost tog dana iznosila je 1.800 pC/l , dok je aktivnost I-131 iznosila 821 pC/l . Dok mlijeko uzeto u mljekarama tih dana nije sadržavalo radiojoda, u uzorku mlijeka jednog privatnog proizvođača što je uzeto 17. XI 1961. na Ilidži utvrđena je aktivnost od 334 pC/l .

Uspoređenje kretanja radioaktivnosti atmosfere u Sarajevu, počevši od obnove probnih nuklearnih eksplozija 1961. god. zaključno sa 1966.

Tab. 9.

**AKTIVNOST I—131 U VAZDUHU U SARAJEVU IZRACUNATA
IZ UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI**

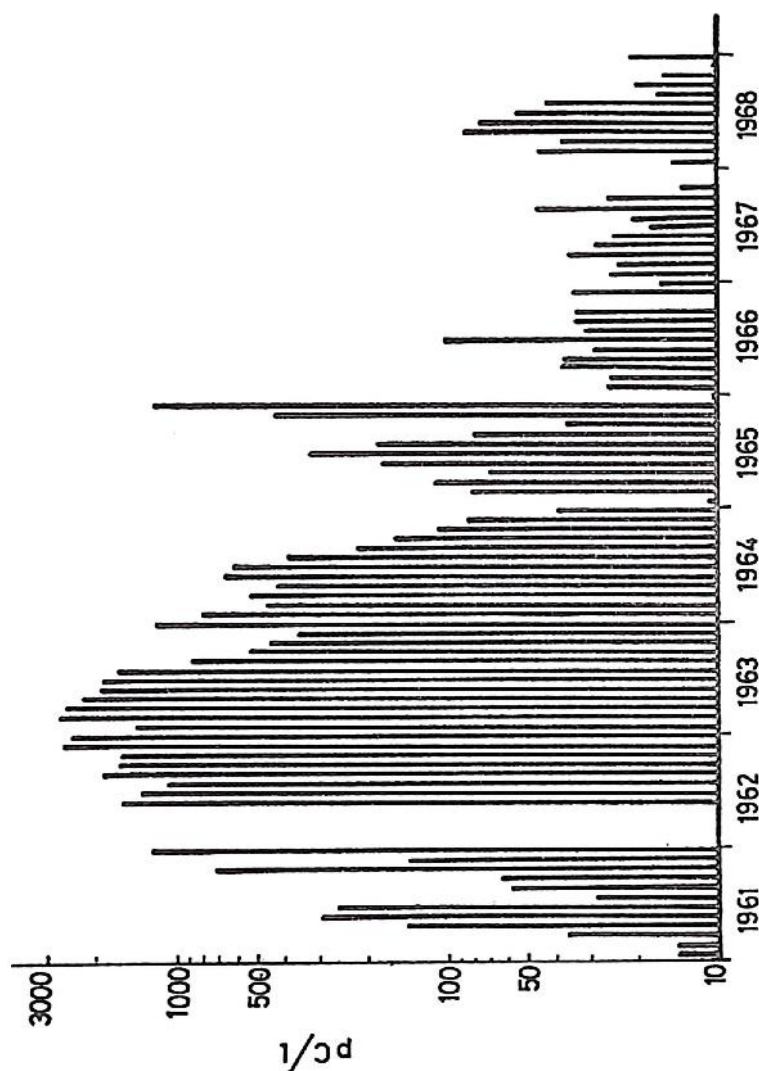
Datum	Ukupna beta-aktivnost uzorka	Starost uzorka	% zastup- ljenosti I—131	Korigovana aktivnost I—131
	pC/m ³	dana	%	pC/m ³
11. XI	77,25	9	6,9	6,34
1961.				
14. XI	45,26	17	6,1	3,28
15. XI	25,83	24	4,8	1,48
17. XI	10,21	24	4,8	0,58
20. XI	12,28	24	4,8	0,70
26. XI	2,86	26	4,5	0,15
27. XI	2,77	40	2,3	0,07

Tab. 10.

**PROSJEČNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-RADIOAKTIVNO-
STI U VAZDUHU U PERIODU 1961—1966. UTVRĐENE U RAZLICITIM
LOKACIJAMA**

Mjesto	pC/m ³					
	1961.	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.
Ljubljana	2,9	10,0	14,0	1,5	0,5	0,2
Zagreb	4,1	4,8	5,7	1,1	0,2	0,1
Sarajevo	2,6	3,7	6,6	1,3	0,3	0,1
Beograd	2,5	6,4	4,9	1,3	0,2	0,1
Jezersko	—	12,0	14,0	1,7	0,4	0,3
Sljeme	—	4,8	6,1	—	—	—
Predmeja	—	—	9,9	1,4	0,4	0,3
Zadar	—	—	—	1,0	0,3	0,1
Titograd	—	—	—	0,9	0,3	0,2
Subotica	—	—	4,7	1,7	0,2	0,1
Zaječar	—	—	—	1,5	0,2	0,1
Skoplje	—	—	5,9	2,1	0,3	0,2
Đevđelija	—	—	—	1,6	0,3	0,2
Prosjeak za SFRJ	3,0	7,0	8,0	1,4	0,3	0,2

sa aktivnošću na ostalim lokacijama u SFRJ gdje su mjerenja vršena (24, 25, 26, 27, 28, 29) pokazuje da postoji opća saglasnost u trendovima opadanja radioaktivnosti u tom intervalu. One lokacije u Jugoslaviji koje su znatno sjevernije od Sarajeva imale su više prosječne godišnje vrijednosti ukupne beta-aktivnosti (Ljubljana, Jezersko, Predmeja).



Slika 4.

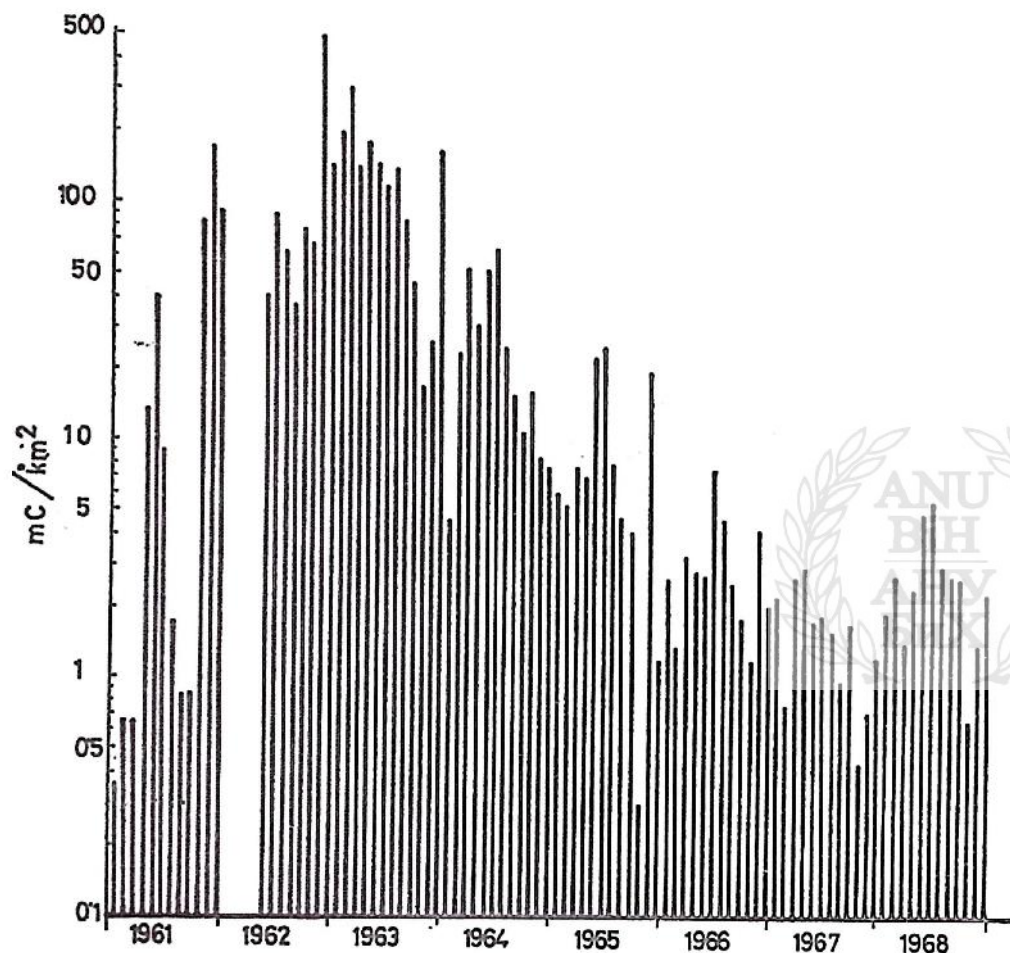
Ukupna beta aktivnost mjesečno sakupljenih padavina u BiH, 1961—1968, pCi/1

Radioaktivnost atmosferskih padavina

Ukupna beta-aktivnost atmosferskih padavina ispituje se u Sarajevu od oktobra 1958. god., i to na uzorcima koji su sakupljeni svakodnevno. Počevši od 1961. u Bosni i Hercegovini se uzimaju uzorci i ispituje se aktivnost padavina na još 6 lokacija (Banja Luka, Bos. Šamac, Goraž-

de, Mostar, Sarajevo i Tuzla). Ovi uzorci se sakupljaju mjesečno. Aktivnost se iskazuje u mC/km^2 radi praćenja količine istaložene aktivnosti na zemljištu, te u $\text{pC}/1$ radi praćenja specifične aktivnosti.

Kretanje ukupne beta-aktivnosti svakodnevno sakupljenih padavina u Sarajevu u periodu 1958—1968, godine prikazano je na tab. 11.

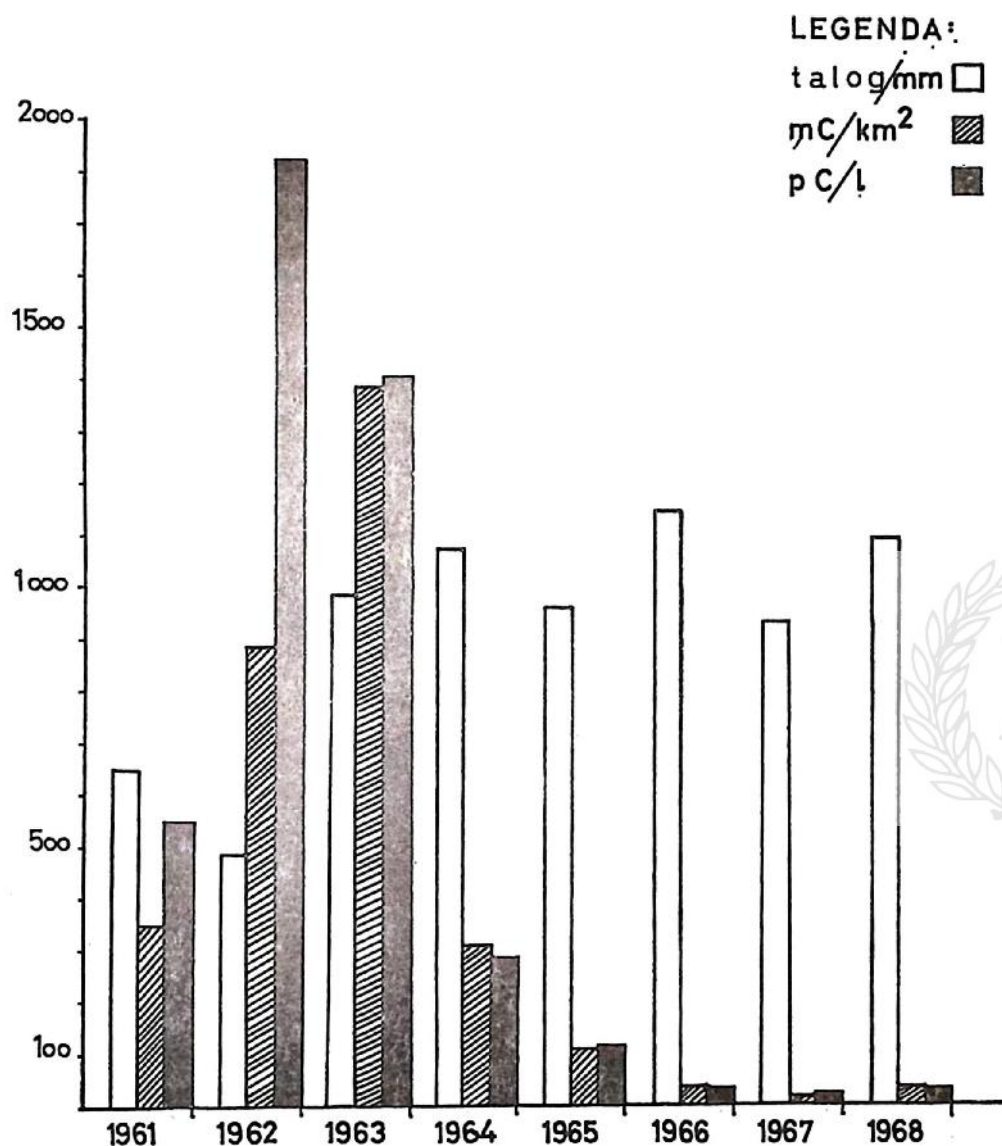


Slika 5.

Ukupna beta aktivnost mjesečno sakupljenih padavina u BiH, 1961—1968, mC/km^2 ;

Godišnji prosjeci istaložene aktivnosti 1958. bili su relativno visoki (samo za 3 posljednja mjeseca te godine: $325,4 \text{ mC}/\text{km}^2$). Nakon nastupa prvog moratorija na probne nuklearne eksplozije aktivnost atmosferskih taloga počela je opadati i iznosila je u 1959. god. $629,5 \text{ mC}/\text{km}^2$, da bi u 1960. pala na svega $50,4 \text{ mC}/\text{km}^2$. Međutim, obnova probnih nuklearnih eksplozija u 1961. dovela je do eksplozivnog porasta količine ra-

dioaktivnih taloga na zemlji. Vrhunac je postignut u 1963. god., kada se na 1 km² istaložilo 3,3 kirija radioaktivnosti.



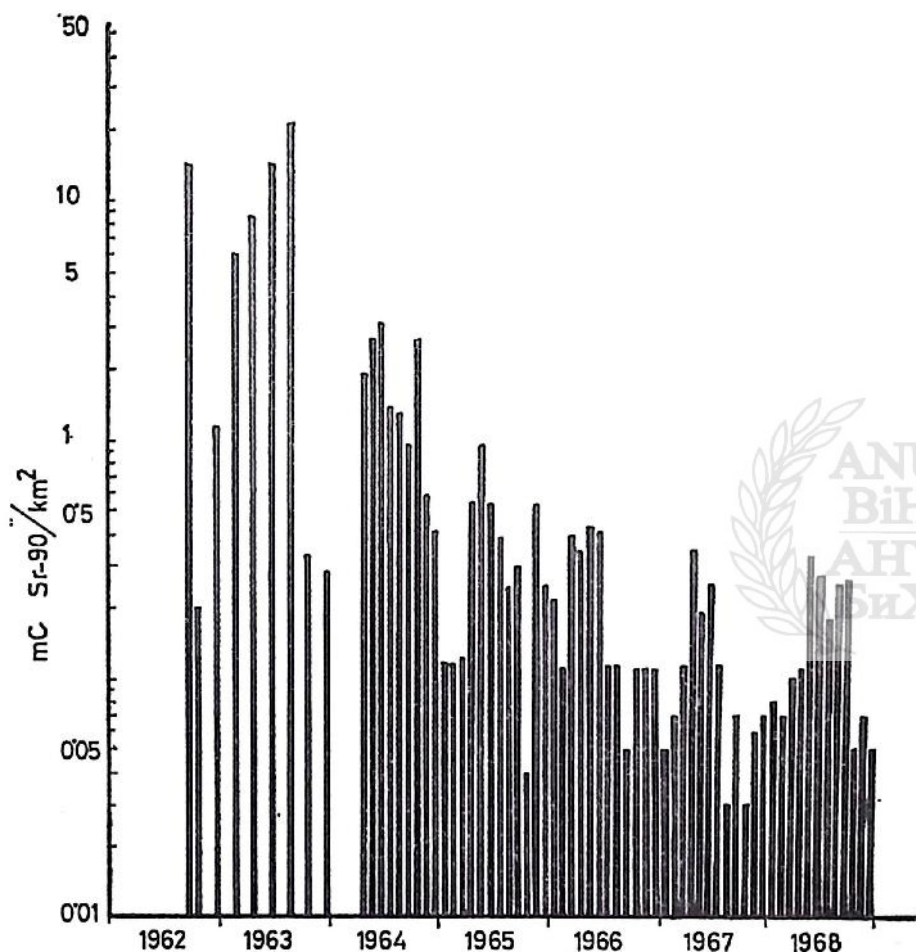
Slika 6.

Ukupna beta aktivnost i specifična beta aktivnost mjesečnih uzoraka padavina u SR BiH, 1961—1968, mC/km² i pC/l;

Obustava probnih eksplozija od strane velikih nuklearnih sila zaustavila je daljnji porast taloženja radioaktivnih otpadaka na zemlju. Trebalo je da prođe skoro 4 godine (1963—1967) pa da ukupni talog padne ispod nivoa aktivnosti postignutog u 1960. godini. — 1967. godina istovremeno je u posmatranom periodu bila godina sa najnižom aktivnošću atmosferskih taloga, jer je već u 1968. god. došlo do novog porasta.

Aktivnost oborina u pC/l uglavnom je pratila prethodno opisani proces i također je u 1967. god. bila dostigla svoju najnižu tačku, da bi porasla u 1968. godini.

Kretanje ukupne beta-aktivnosti mjesečnih uzoraka padavina uzetih na 6 lokacija u Bosni i Hercegovini prikazano je na tab. 12. Komparacije prosječnih godišnjih vrijednosti u tab. 11 i tab. 12 pokazuju da su



Slika 7.

Aktivnost Sr-90 u padavinama u SR BiH, 1962—1968, u mCSr-90/km²;

prosječne vrijednosti mjesečno sakupljenih uzoraka uvijek niže negoli kod dnevno sakupljenih uzoraka u Sarajevu. Objašnjenje te pojave leži u starosti uzoraka. Radioizotopi kraćeg poluživota u mjesečnim uzorcima dobrim dijelom se raspadnu prije mjerenja. Inače, prosječne godišnje vrijednosti mjesečno sakupljenih uzoraka na 6 lokacija u BiH slijede trend koji je uočen kod dnevnih uzoraka padavina u Sarajevu. I u ovoj

Tab. 11.

UKUPNA BETA-AKTIVNOST DNEVNIH PADAVINA U mC/km² I Pc/l, TE UKUPNI TALOG U MM U SARAJEVU
1958—1968,

Godina	Januar	Febru- ar	Mart	April	Maj	Juni	Juli	August	Septem- bar	Okto-bar	No- vem-bar	De- cem-bar	Godišnje vrijedn.
1958. talog u mm mC/km ² pC/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—	82,0 223,2 2471,5	51,2 49,4 387,9	136,1 52,8 387,9	269,5 325,4 1208
1959. talog u mm mC/km ² pC/l	158,7 102,1 643,4	21,0 4,8 2271,4	27,2 27,2 999,1	53,4 51,8 971,1	134,8 193,2 1433,2	146,0 92,9 636,3	108,4 48,4 446,1	199,7 36,9 184,5	62,4 7,9 126,6	60,0 49,6 826,1	81,2 5,15 63,4	119,6 9,6 80,1	1172,4 629,5 498,5
1960. talog u mm mC/km ² pC/l	73,9 4,6 62,2	46,2 3,0 65,6	35,5 11,5 323,9	59,6 6,9 116,6	47,1 4,5 95,5	66,7 7,1 118,7	67,8 4,0 59,3	26,0 2,4 90,7	61,6 1,2 20,4	33,2 1,1 33,3	35,5 1,5 42,8	54,2 2,5 45,1	607,3 50,4 49,9
1961. talog u mm mC/km ² pC/l	16,9 0,4 24,4	8,0 0,1 6,6	21,7 0,8 39,4	46,4 1,8 39,8	122,6 15,5 110,0	38,7 9,3 239,2	43,0 3,7 86,9	19,2 0,9 45,8	19,0 0,7 34,7	117,2 653,0 5571,4	76,4 569,2 7450,2	60,2 272,7 4530,0	589,3 1526,1 2589,5
1962. talog u mm mC/km ² pC/l	62,1 114,0 1863,0	92,0 83,0 907,0	164,9 237,0 1437,0	66,4 98,0 1482,0	46,7 112,0 2398,0	52,0 109,0 2096,0	47,8 74,0 1542,0	17,1 20,0 1187,0	29,6 54,0 1811,0	47,2 41,0 877,0	159,2 1124,0 7047,0	82,6 399,0 4831,0	867,9 2466,0 2841,0
1963. talog u mm mC/km ² pC/l	135,9 334,0 2458,0	101,3 208,0 2053,0	28,8 115,0 3993,0	97,4 564,0 5791,0	93,7 632,0 6745,0	86,0 340,0 3953,0	153,1 687,0 4487,0	84,4 226,0 2678,0	78,8 94,0 1188,0	29,6 31,0 1061,0	58,9 29,0 492,0	140,1 57,0 404,0	1088,0 3317,0 3049,0

(Nastavak Tab. 11.)

1964. talog u mm mC/km ² pC/l	5,8 4,6 802,0	44,1 30,5 692,0	56,5 37,4 662,0	40,9 37,8 924,0	92,6 136,0 1469,0	138,6 131,9 952,0	76,0 73,4 966,0	57,0 33,9 379,0	89,0 33,9 379,0	127,1 51,4 404,0	102,0 25,4 249,0	154,0 13,6 88,0	985,0 609,8 619,0
1965. talog u mm mC/km ² pC/l	34,0 4,0 117,0	80,8 4,9 61,0	63,1 11,7 185,0	102,3 30,4 296,0	136,8 81,1 593,0	72,7 91,1 1253,0	15,8 19,4 1228,0	59,6 7,3 122,0	114,1 8,5 75,0	0,3 0,1 138,0	168,6 4,8 28,0	177,5 11,0 62,0	1025,6 274,2 267,0
1966. talog u mm mC/km ² pC/l	99,7 2,6 26,1	22,8 1,3 56,6	131,9 8,6 64,9	49,8 3,1 61,4	84,5 6,1 72,2	61,6 18,6 301,9	84,0 4,5 53,1	57,1 4,6 81,1	45,5 1,5 31,9	140,6 1,8 13,1	117,8 8,4 71,4	124,8 2,4 19,6	1020,1 63,4 62,2
1967. talog u mm mC/km ² pC/l	132,1 3,5 27,1	118,7 2,1 17,5	88,8 4,3 48,1	65,8 3,5 53,5	50,9 2,8 55,7	99,9 2,8 28,0	125,3 2,0 15,7	20,2 2,7 134,0	50,0 0,7 13,6	32,8 0,6 17,3	57,4 0,6 10,9	175,7 4,2 23,8	741,9 29,8 32,5
1968. talog u mm mC/km ² pC/l	131,6 7,3 55,5	40,6 2,5 61,3	56,4 4,1 72,6	9,0 0,6 66,7	71,6 8,6 120,2	123,2 8,2 66,3	87,0 3,4 39,5	137,3 6,0 43,7	146,9 6,5 44,2	31,4 0,5 16,5	64,1 0,5 7,0	132,5 1,1 8,2	1031,6 49,3 47,8

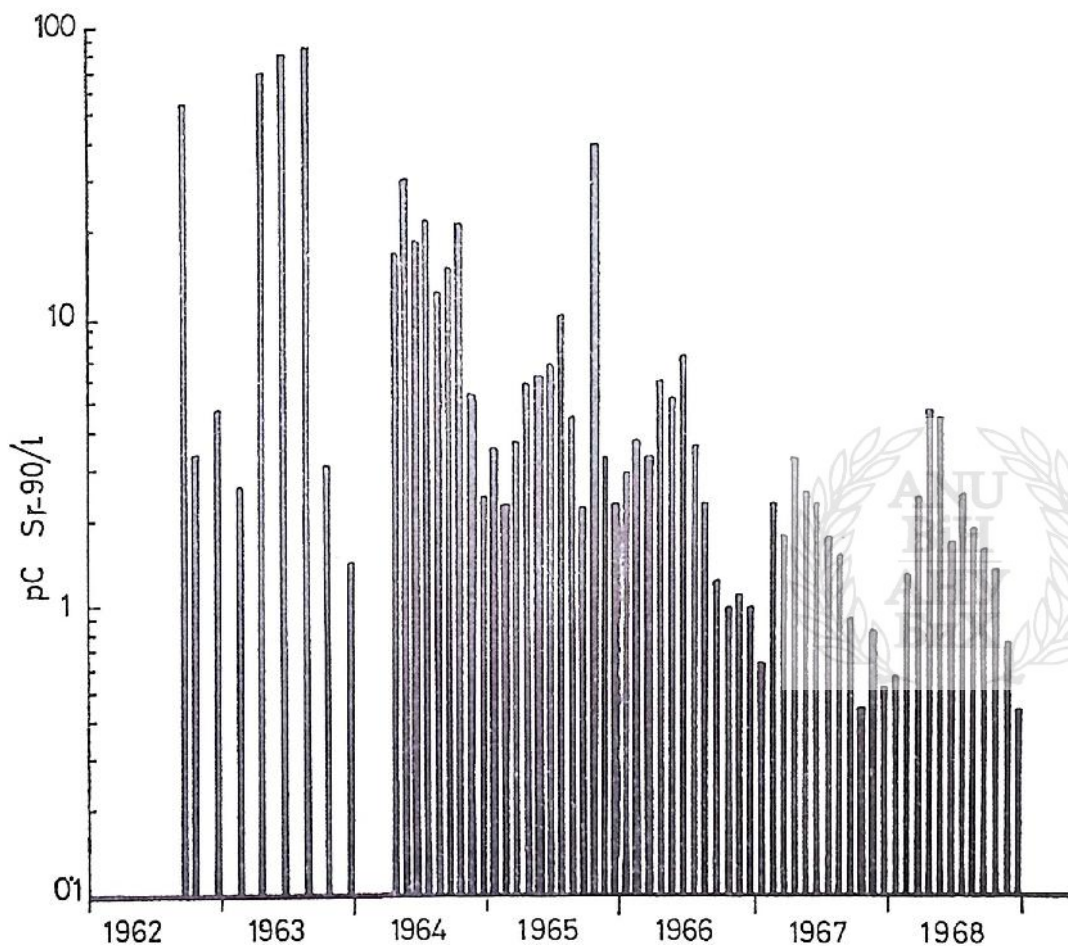


Tab. 12.

UKUPNA BETA-AKTIVNOST U mC/km^2 I SPECIFIČNA UKUPNA BETA-AKTIVNOST MJESEČNIH PADAVINA U $\text{pC}/1$ SA MJERENIH STANICA U BANJOJ LUCI, BOS. SAMCU, GORAŽDU, MOSTARU, SARAJEVU I TUZLI

Godina	Banja Luka	Bos. Šamac	Goražde	Mostar	Sarajevo	Tuzla	Ukupno	Prosjeak
1961.	$\text{pC}/1$ mm pad. mC/km^2 42,3 686,1 195,0	29,1 —	25,0 401,5 230,9	1019,4 589,4 578,2	620,6 543,4 875,7	518,9 215,4 415,2	3246,3 1775,2 546,8	649,3 355,0 546,8
1962.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 285,5 463,0 590,0		575,2 423,2 784,0	727,7 1894,0 2602,7	422,1 971,0 2300,4	397,0 732,0 1839,7	2433,7 4440,2 1824,5	486,7 888,8 1826,0
1963.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 1274,3 1101,5 1454,0	418,5 437,0	1852,5 802,2 1291,0	1644,5 3092,0 1880,2	1093,0 1029,0 941,4	871,7 1025,0 1175,9	5931,4 8328,0 1404,0	988,6 1388,0 1404,0
1964.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 1320,0 1250,7 259,0	1044,2 655,3 258,0	1609,3 946,8 306,7	1695,9 476,0 280,7	997,3 288,0 288,8	878,9 272,0 310,0	6424,9 1859,7 289,4	1070,8 309,9 289,4
1965.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 207,9 1083,7 139,2	393,7 787,3 154,0	323,9 732,8 79,7	1502,4 136,3 90,7	943,3 77,9 82,6	712,9 74,1 104,1	5762,4 661,2 114,7	960,4 110,2 114,7
1966.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 128,4 999,5 24,8	195,6 781,2 28,8	108,8 1025,6 35,9	1899,8 50,5 26,6	1024,5 59,6 58,2	958,7 30,6 31,8	6689,3 230,3 34,4	1114,9 38,3 34,4
1967.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 24,9 985,6 24,0	36,9 756,0 12,6	35,0 781,0 16,6	1316,3 16,8 12,8	862,7 22,0 25,6	878,3 18,2 20,8	5579,9 110,3 19,8	930,0 18,4 19,8
1968.	$\text{pC}/1$ mm mC/km^2 24,3 1128,1 47,7	16,6 811,0 23,6	21,3 896,7 22,5	1588,7 47,9 30,1	1068,1 30,6 28,7	1048,5 28,3 27,0	6541,1 200,5 30,7	1090,2 33,4 30,7

seriji mjerenja najniža tačka aktivnosti padavina je utvrđena u 1967. god., iz čega proizilazi da je proces samoprečišćavanja atmosfere zaustavljen i poremećen novim eksplozijama nuklearnih oružja izvršenim u 1968. godini.



Slika 8.

Aktivnost Sr-90 u padavinama u SRBiH, 1962—1968 u pC/l;

Zbog posebnog zdravstvenog značaja dugoživećih radioizotopa u nuklearnim talozima, u periodu 1962—1968. određivali smo aktivnost Sr-90 u uzorcima mjesečno sakupljenih atmosferskih padavina u Sarajevu i Banjoj Luci (tab. 13).

Tab. 13.

PROSJEČNI SADRŽAJ Sr-90 U PADAVINAMA SAKUPLJENIM U SARAJEVU
I BANJALUCI TOKOM 1962—1968. PO MJESECIMA

	I	II	III	IV	V	VI	VII
1962.					1.4—31.9	ispod IX.	
talog u mm						264,00	
pCSr-90/1						54,00	
mCSr-90/km ²						14,26	
1963.							
talog u mm		237,20		126,20		179,70	
pCSr-90/1		25,88		68,68		80,21	
mCSr-90/km ²		6,14		8,65		14,41	
1964.							
talog u mm				64,80	89,90	209,35	66,65
pCSr-90/1				16,64	30,00	18,09	21,57
mCSr-90/km ²				1,19	2,69	3,12	1,41
1965.							
talog u mm	47,27	70,10	65,80	96,75	149,20	81,30	42,80
pCSr-90/1	3,56	2,25	3,73	5,76	6,24	6,71	10,02
mCSr-90/km ²	0,18	0,15	0,25	0,55	0,95	0,55	0,40
1966.							
talog u mm	76,60	30,65	120,00	57,70	81,50	67,85	115,55
pCSr-90/1	2,93	3,76	3,32	6,00	5,23	7,18	3,60
mCSr-90/km ²	0,22	0,12	0,39	0,35	0,43	0,41	0,15
1967.							
talog u mm	82,70	31,00	80,70	106,60	81,40	90,00	86,90
pCSr-90/1	0,64	2,28	1,77	3,27	2,46	2,26	1,76
mCSr-90/km ²	0,05	0,07	0,14	0,35	0,19	0,25	0,16
1968.							
talog u mm	142,10	49,50	37,45	30,20	74,05	150,75	76,75
pCSr-90/1	0,57	1,30	2,40	4,58	4,46	1,65	2,38
mCSr-90/km ²	0,08	0,07	0,10	0,11	0,33	0,27	0,18

(Nastavak Tabele 13.)

PROSJEČNI SADRŽAJ Sr-90 U PADAVINAMA SAKUPLJENIM U SARAJEVU
I BANJALUCI TOKOM 1962—1968. PO MJESECIMA

	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno	Ø
<i>1962.</i>							
talog u mm			57,20		243,10	564,30	
pCSr-90/1			3,36		4,70		6,89
mCSr-90/km ²			0,20		1,14	15,60	
<i>1963.</i>							
talog u mm	237,50		108,40		199,00	1088,00	
pCSr-90/1	84,84		3,08		1,42		22,01
mCSr-90/km ²	20,15		0,33		0,28	49,96	
<i>1964.</i>							
talog u mm	104,70	65,20	125,45	106,40	161,70	994,15	
pCSr-90/1	12,31	14,90	21,01	5,43	2,42		15,82
mCSr-90/km ²	1,32	0,97	2,63	0,58	0,42	14,33	
<i>1965.</i>							
talog u mm	61,00	142,30	1,00	150,20	107,20	1014,92	
pCSr-90/1	4,40	2,18	39,30	3,35	2,26		7,48
mCSr-90/km ²	0,25	0,30	0,04	0,53	0,25	4,40	
<i>1966.</i>							
talog u mm	65,85	47,00	115,90	116,30	118,20	1013,10	
pCSr-90/1	2,27	1,23	0,99	1,11	1,00		3,22
mCSr-90/km ²	0,15	0,05	0,11	0,13	0,11	2,90	
<i>1967.</i>							
talog u mm	23,73	105,70	33,30	72,60	134,50	929,13	
pCSr-90/1	1,50	0,90	0,44	0,82	0,52		1,55
mCSr-90/km ²	0,03	0,07	0,03	0,06	0,07	1,47	
<i>1968.</i>							
talog u mm	140,10	165,05	40,10	94,00	97,95	1098,00	
pCSr-90/1	1,85	1,60	1,33	0,74	0,43		1,76
mCSr-90/km ²	0,25	0,26	0,05	0,07	0,05	1,82	

Da bi se moglo ocijeniti relativno učešće Sr-90 u ukupnoj beta-aktivnosti padavina u periodu 1962—1968, na tab. 14 data je komparacija prosjeka ukupne specifične beta-aktivnosti i aktivnosti Sr-90 u pC/l i izračunato je procentualno učešće aktivnosti Sr-90 u ukupnoj beta-aktivnosti. Iz tabele proizlazi da se specifična ukupna beta-aktivnost padavina u

Tab. 14.

PROSJEČNA GODIŠNJA SPECIFIČNA UKUPNA BETA-AKTIVNOST
U UZORCIMA MJESEČNO SAKUPLJENIH PADAVINA NA 6 LOKACIJA
I AKTIVNOST SR-90 U UZORCIMA IZ SARAJEVA I BANJE LUKE
OD 1962—1968.

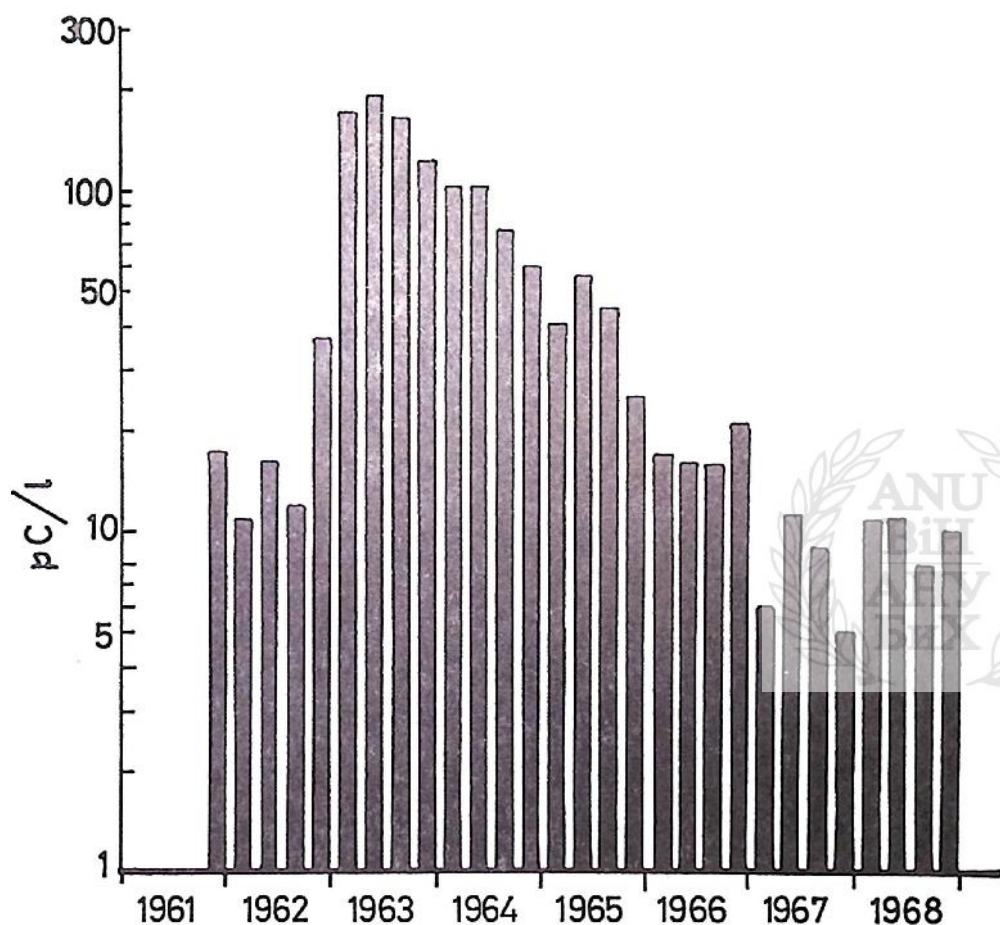
Godina	Prosječna ukupna beta-aktivnost pC/l	Prosječna aktivnost Sr-90 pC/l	% aktivnosti Sr-90 u ukupnoj beta- aktivnosti
1962.	1826,03	6,89	0,37
1963.	1404,05	22,01	1,56
1964.	289,45	15,82	5,46
1965.	114,74	7,48	6,52
1966.	34,43	3,22	9,36
1967.	18,38	1,55	8,31
1968.	30,66	1,76	5,73



pC/l od 1963. do 1967. smanjila za 75 puta, dok se aktivnost Sr-90 smanjila u istom periodu za 14 puta. To znači da u toku vremena u talozima je raslo relativno učešće dugoživećih radioizotopa koji trajnije zagađuju biosferu, ali da je taj proces poremećen ubacivanjem svježih zagađenja.

Komparacija prosječne godišnje ukupne beta-aktivnosti dnevnih padavina za 9 gradova u Jugoslaviji data je na tab. 15, a odgovarajuće vrijednosti za mjesečne uzorke padavina u 28 mjeseci u Jugoslaviji date su na tab. 16 (25, 26, 27, 28, 39). Iz tab. 15 proizilazi da Sarajevo (uz Ljubljano) spada među gradove sa najvišim prosječnim depozitima radioaktivnih taloga u Jugoslaviji. Iz tab. 16 proizlazi da su prosječne godišnje vrijednosti depozita radioaktivnih taloga u Bosni i Hercegovini u općoj saglasnosti sa nalazima u drugim republikama Jugoslavije. Ova opća saglasnost u prosječnim vrijednostima i trendovima kretanja važi i za depozite Sr-90, što se vidi iz tab. 17, koja prikazuje aktivnost Sr-90 u uzorcima padavina mjerenim u SFRJ u periodu 1962—1966, te iz tab. 18,

koja sadrži i vrijednosti godišnjih depozita Sr-90 u nekim gradovima u svijetu u umjerenom pojasu sjeverne i južne hemisfere. U uspoređenju sa gradovima sjeverne hemisfere, gradovi u južnoj polulopti (Wellington i Hobart) imali su relativno manje depozite Sr-90 u talozima, što je u sa-



Slika 9.

Ukupna beta aktivnost vode iz cisterni u Hercegovini, 1961—1968 u pC/l; glasnosti sa činjenicama da je nad južnom zemljinom poluloptom izvršeno manje nuklearnih eksplozija i da je proces miješanja stratosferskih zagađenja atmosfere vrlo spor.

Radioaktivnost vode za piće iz cisterni

Zbog nesrećne okolnosti da jedan dio stanovništva u Hercegovini kao vodu za piće izkorištava samo kišnicu sakupljenu u cisternama, od

Tab. 15.

PROSJEČNE GODISNJE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI
DNEVNIH PADAVINA ZA ODREĐENA MJESTA U JUGOSLAVIJI
OA 1961—1966.

Godina Mjesto	1961.			1962.			1963.		
	mm	mC/km ²	pC/l	mm	mC/km ²	pC/l	mm	mC/km ²	pC/l
Sarajevo	589	1526	2589	868	2466	2841	1088	3317	3049
Zagreb	731	345	471	1154	1029	—	955	1111	1163
Titograd	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Đevđelija	—	—	—	612	775	—	573	608	1061
Skopje	—	—	—	370	376	—	451	39	856
Ljubljana	1351	640	473	1548	2834	1830	1413	1934	235
Beograd	367	378	1029	359	972	—	417	995	2388
Kragujevac	—	—	—	—	—	—	316	515	1630
Subotica	—	—	—	135	326	—	407	584	1434
Prosjeck:	760	722	950	721	1254	1739	702	1138	1620

(Nastavak Tab. 15.)

Godina Mjesto	1964.			1965.			1966.		
	mm	mC/km ²	pC/l	mm	mC/km ²	pC/l	mm	mC/km ²	pC/l
Sarajevo	985	610	619	1026	274	267	1020	63	62
Zagreb	—	—	—	1103	88	80	1018	38	37
Titograd	—	—	—	—	—	—	1991	94	47
Đevđelija	601	201	334	296	14	48	—	—	—
Skopje	450	119	265	238	19	80	361	14	39
Ljubljana	1353	331	245	1726	201	—	1193	75	—
Beograd	488	255	523	432	76	175	473	27	58
Kragujevac	499	143	287	392	26	67	603	12	21
Subotica	321	147	459	203	7	37	245	10	41
Prosjeck:	671	258	385	677	88	130	863	42	48

Tab. 16.

PROSJEČNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-RADIOAKTIVNOSTI MJESEČNIH PADAVINA
U 28 MJESTA U SFRJ OD 1961—1966.

Godina. Mjesto	1961.		1962.		1963.		1964.		1965.		1966.	
	mm	mC/km ²	mm	mC/km ²	mm	mC/km ²	mm	mC/km ²	mm	mC/km ²	mm	mC/km ²
Banja Luka	686,1	195,9	463,0	590,0	1101,5	1454,0	1257	259,0	1083,7	139,0	999,5	24,8
Bos. Samac	—	—	—	—	418,5	437,0	655,3	258,0	787,3	154,0	781,2	28,8
Goražde	401,5	230,9	423,2	784,0	802,2	1291,0	946,8	306,7	732,8	79,7	1025,6	35,9
Mostar	1019,4	589,4	727,7	1894,0	1644,5	3092,0	1695,9	476,0	1502,4	136,3	1899,8	50,5
Sarajevo	620,6	543,4	422,1	971,0	1093,0	1029,0	997,3	288,0	943,3	77,9	1024,5	59,6
Tuzla	518,9	215,4	397,9	732,0	871,7	1025,0	878,9	272,0	712,9	74,1	958,1	30,6
Titograd	1731,9	1479,4	—	—	1083,1	1704,0	1521,3	631,0	1273,1	126,0	2225,4	81,0
Bielovar	—	—	—	—	—	—	816,9	74,9	1063,7	57,2	1019,1	31,0
Dubrovnik	—	—	—	—	1143,1	587,0	1336,0	352,0	1075,8	73,5	1234,6	56,2
Osijek	—	—	—	508,0	674,7	906,0	680,5	157,0	771,6	51,9	640,9	19,5
Pula	—	—	—	—	—	—	742,0	132,0	1010,2	68,2	1059,2	26,6
Zagreb	—	344,7	—	1029,0	954,9	625,0	1002,5	339,0	1105,9	82,1	1055,3	32,6
Zadar	—	—	—	930,0	839,4	910,0	1000,8	242,0	744,4	56,0	1332,7	42,2
Đevdelija	—	—	—	765,0	—	—	1054,5	619,0	597,5	110,0	1067,4	127,0
Ohrid	—	—	—	—	—	—	674,5	118,0	472,0	32,4	640,5	29,9
Skopje	—	—	—	—	454,0	392,0	553,8	99,8	317,8	32,2	—	—
Prizren	—	—	—	310,0	527,0	679,0	658,0	119,0	1187,0	21,9	490,1	15,1
Bovec	—	—	—	—	2842,6	2120,0	2843,1	477,0	3618,3	105,0	2818,4	48,0
Ljubljana	—	639,5	—	1587,0	1412,8	1770,0	—	309,0	1726,0	201,0	1193,0	75,2
Murska Sobota	—	—	—	—	722,9	815,0	780,1	309,0	1063,7	102,0	969,8	16,7
Novo Mesto	—	—	—	—	1081,9	1314,0	1119,4	386,0	1340,0	81,8	1039,6	23,7
Beograd	—	377,8	—	972,0	330,5	615,0	318,0	168,0	280,4	40,0	456,8	22,4
Kragujevac	—	—	—	—	—	—	682,0	130,0	347,8	38,3	514,6	21,2
Negotin	—	—	—	—	—	—	—	—	287,9	44,8	299,3	16,3
Niš	—	—	—	—	—	—	368,8	115,0	237,5	42,6	419,1	26,7
Novi Sad	—	—	—	—	—	—	548,0	66,9	329,8	30,9	238,0	6,9
Subotica	—	—	—	326,0	355,5	691,0	—	—	690,6	40,0	538,1	28,7
Zlatibor	—	—	—	—	—	—	463,0	71,6	281,5	22,3	439,6	12,7
SFRJ Prosjek	829,7	513,0	486,8	876,8	966,0	1129,3	940,2	258,7	913,8	75,7	977,1	38,9

Tab. 17.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA PADAVINA NA TERITORIJI SFRJ TOKOM 1962—1966. GODINE

Mjesto	1962.			1963.			1964.			1965.			1966.		
	padav.	Sr-90		padav.	Sr-90		padav.	Sr-90		padav.	Sr-90		padav.	Sr-90	
	mm	mC/km ²		mm	mC/km ²		mm	mC/km ²		mm	mC/km ²		mm	mC/km ²	
Bovec	—	—		2847	44,01		133,36	22,6		1402,7	6,72		2672,8	5,08	
Ljubljana	1548	20,0		1293	38,98		1147,7	22,2		1704,0	8,44		1301,0	3,32	
Murska Sobota	—	—		722,9	17,88		479,8	13,2		611,20	5,48		960,3	2,15	
Zagreb	1182,7	15,43		954,9	28,53		1000,1	20,32		1106,0	8,59		1055,2	3,75	
Osijek	—	—		546,9	27,09		775,6	19,80		771,6	7,28		639,9	2,82	
Zadar	—	—		649,4	17,20		1000,8	21,75		734,4	7,85		1332,7	5,41	
Banja Luka	—	—		—	—		1087,3	15,60		1084,7	5,07		948,2	2,73	
Sarajevo	564,3	15,60		1088	49,96		836,80	12,10		973,1	3,75		1024,5	3,12	
Dubrovnik	—	—		—	—		1044,0	19,20		1113,2	8,44		1217,5	4,86	
Subotica	135,5	1,23		405,4	15,78		403,5	12,0		722,1	16,3		601,9	3,28	
Beograd	359,3	5,34		417,4	13,17		276,0	7,44		280,4	3,71		456,8	6,78	
Zlatibor	—	—		544	11,32		463,0	8,33		281,5	2,74		439,6	1,65	
Niš	—	—		406	8,29		468,8	7,85		269,5	5,01		419,1	2,01	
Devčlija	612,1	9,19		592	20,04		—	—		—	—		1067,4	7,45	
Skopje	370,4	3,01		449,6	10,97		553,8	13,90		212,1	3,26		—	—	

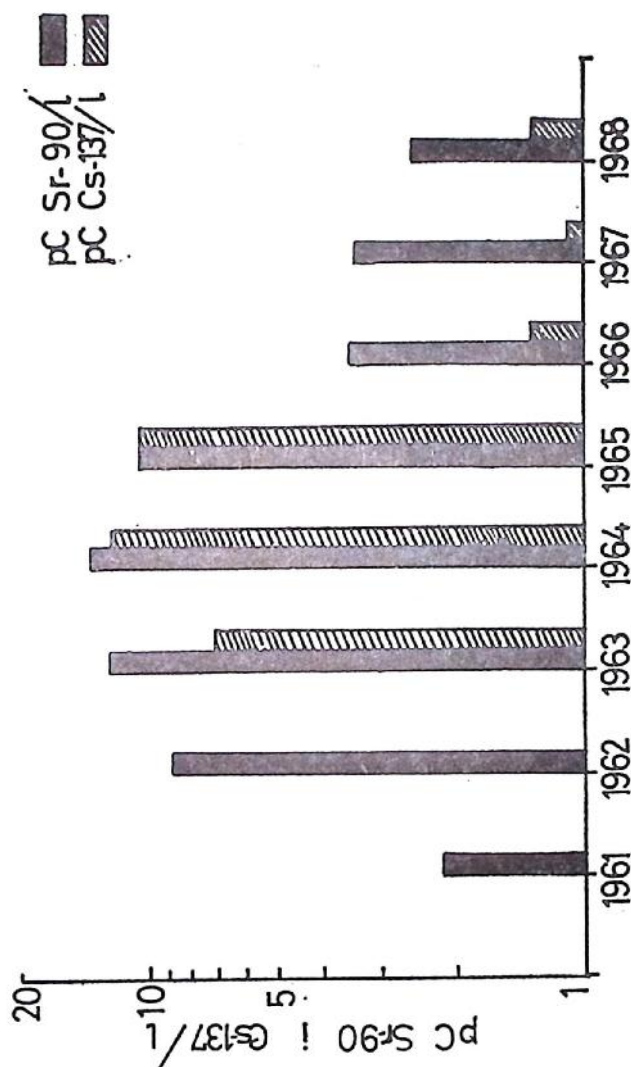
Tab. 18.

GODIŠNJA DEPOZICIJA Sr-90/km² U NEKIM GRADOVIMA SJEVERNE I JUŽNE GEOGRAFSKE ŠIRINE OD 40°—50°

Geograf. širina Geograf. dužina	Sarajevo 43°26'S 18°26'E	Beograd 44°53'S 20°36'E	Zagreb 45°51'S 15°39'E	Ljubljana 46°04'S 14°31'E	New York 40°40'N 73°50'W	Washing- ton 47°35'N 122°20'W	Wien 48°15'N 16°22'E	Milano 45°28'N 9°12'E	Misawa 40°42'N 14°22'E	Welling- ton, New Zeland 41°17'S 174°46'E	Hobart, Australija 42°53'S 147°20'E	Newfound- land, Kanada 48°32'N 58°34'W
1962.	—	—	—	—	12,33	8,38	6,11	6,15	6,99	1,60	0,69	7,62
1963.	—	—	—	—	23,79	15,33	14,95	14,18	12,94	1,62	0,88	15,19
1964.	12,06	7,44	20,3	22,2	15,85	11,40	8,06	14,70	9,80	2,65	1,37	9,31
1965.	3,75	3,71	8,59	8,44	5,53	3,65	4,12	4,36	2,91	2,61	1,57	2,08
1966.	3,12	1,78	3,75	3,32	2,43	2,07	1,43	2,60	1,41	0,95	0,93	0,06
1967.	1,39	—	1,65	—	1,64	0,92	0,59	1,05	0,77	0,60	0,38	—



1961. god. praćena je ukupna beta-aktivnosti vode za piće iz 10 cisterni u Hercegovini, a u kumulativnim uzorcima suhog ostatka iz te vode određivani su Sr-90 i Cs-137.

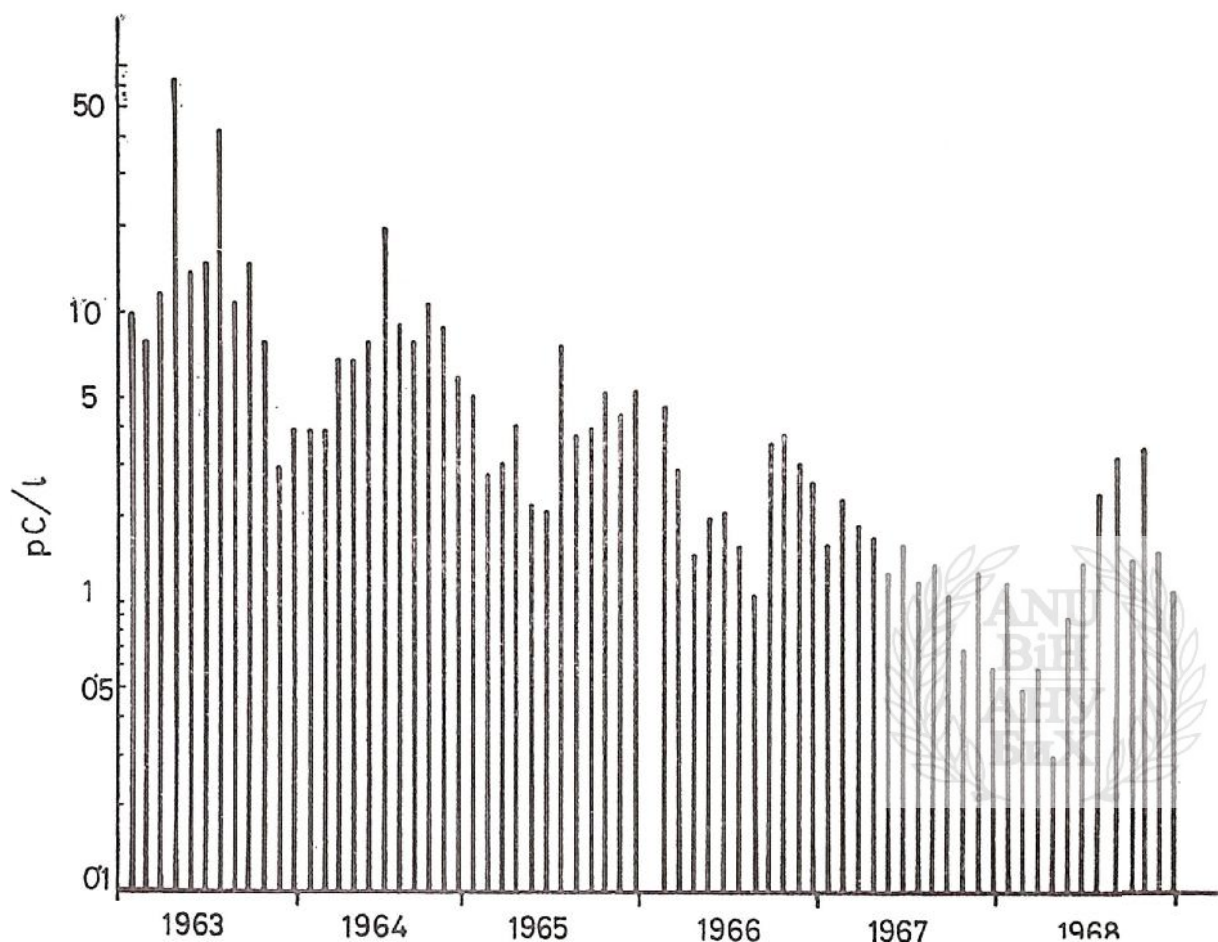


Slika 10.

Aktivnost Sr-90 i Cs-137 u vodi iz cisterni u Hercegovini, 1961—1968 u pCi/l;

Na tab. 19 prikazane su prosječne godišnje vrijednosti ukupne beta-aktivnosti za cisterne iz pojedinih mjesta. Iz kretanja prosječnih vrijednosti za svih 10 cisterni vidi se da je vrhunac kontaminacije vode sa radionukleidima dostignut u 1963. god. Najvišu prosječnu aktivnost u osmogodišnjem periodu pokazala je cisterna u Strujićima, ako se ne uzme u račun abnormalno visok nalaz u 1961. god. u Ljubuškom, koji se nije po-

novio u daljnjim godinama. Aktivnost Sr-90 i Cs-137 u istim uzorcima prikazana je na tab. 20. Komparacija podataka o Sr-90 u kišnici na toj tabeli sa nalazima Sr-90 u kišnici uzetoj u Sarajevu i Banjoj Luci (tab. 13) po-



Slika 11.

Srednja ukupna beta aktivnost mjesečnih uzoraka vode iz vodovoda u SRBiH, 1963—1968, pC/l;

kazuje opću saglasnost u kretanju kontaminacije po godinama, s tim što su vrijednosti nađene u cisternama u toku prve tri godine posmatranja (1962—1964) niže, a u kasnijim godinama više negoli u direktno ispitivanim uzorcima kišnice. Ovi nalazi bi se vjerovatno mogli objasniti djelovanjem dilucije u rezervoarima cisterni.

Količina Sr-90 i Cs-137 u uzorcima vode za piće iz cisterni ne zao- staje mnogo za odgovarajućim nalazima u mlijeku, što, u odsustvu kal- cija i kalija u padavinama, znači da je upotreba te vode za piće potenci-

Tab. 19.

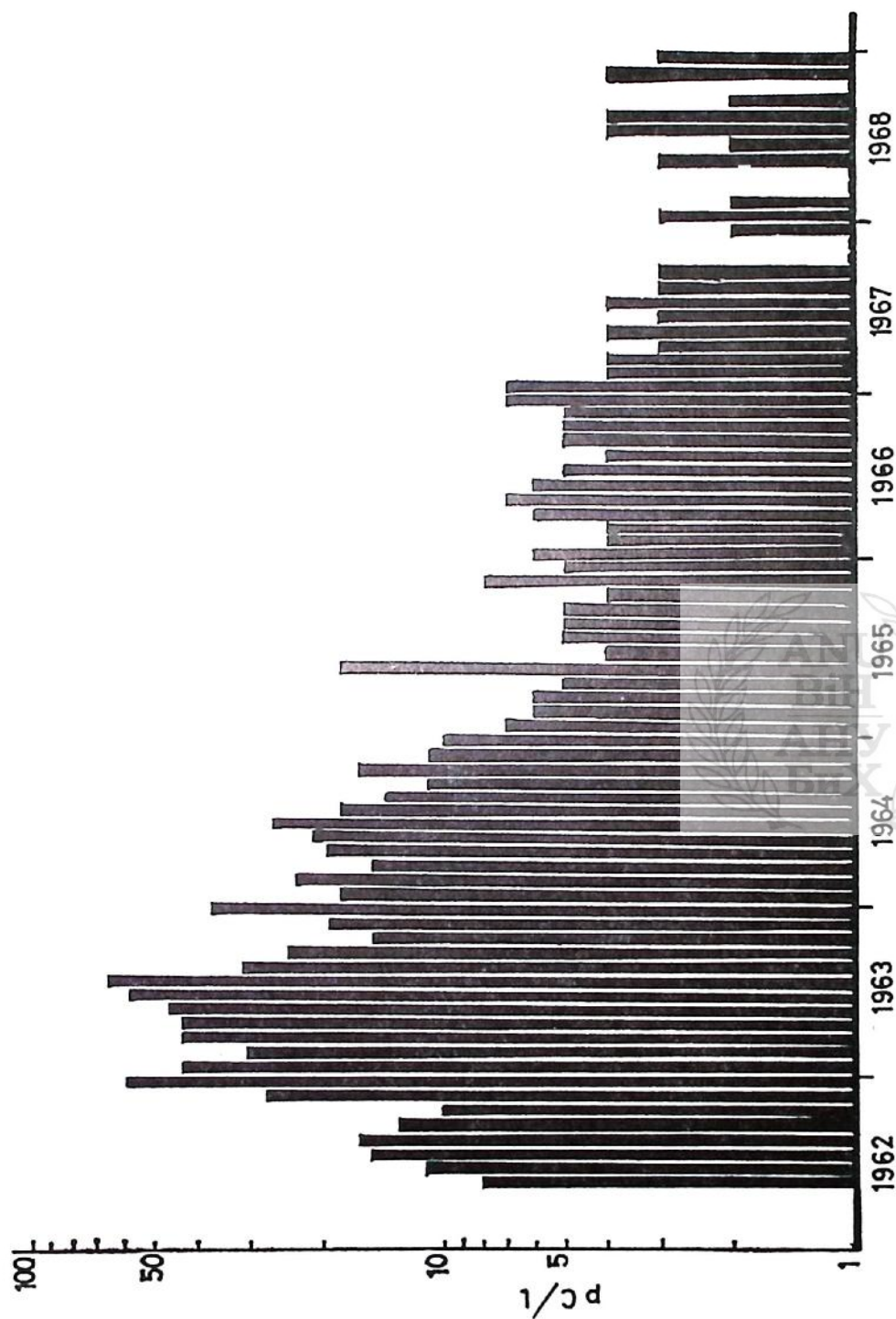
PROSJEČNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI
U UZORCIMA VODE IZ CISTERNI U HERCEGOVINI — u pC/l

	Doma- novići	Hum	Lištica	Ljubi- nje	Ljubu- ški	Mrko- njići	Plana	Po- sušje	Stru- jici	Usko- plje	Pros- jek
1961.	185	206	92	162	4740	254	—	145	233	63	675 (149)
1962.	227	205	201	253	153	162	—	106	254	156	191
1963.	184	250	204	139	173	156	204	215	236	380	214
1964.	64	86	94	78	83	91	81	95	104	92	87
1965.	33	41	54	34	40	44	44	58	44	39	43
1966.	22	16	18	13	21	18	17	16	17	16	17
1967.	11	6	10	8	6	8	7	7	10	7	8
1968.	10	7	7	12	6	12	13	14	8	11	10
Prosjek:	92	102	85	87	653 (80)	94	61	82	113	95	

Tab. 20.

AKTIVNOST Sr-90 i Cs-137 U KUMULATIVNIM GODIŠNJIM UZORCIMA
VODE ZA PIĆE IZ CISTERNA U HERCEGOVINI 1961—1968 — u pC/l

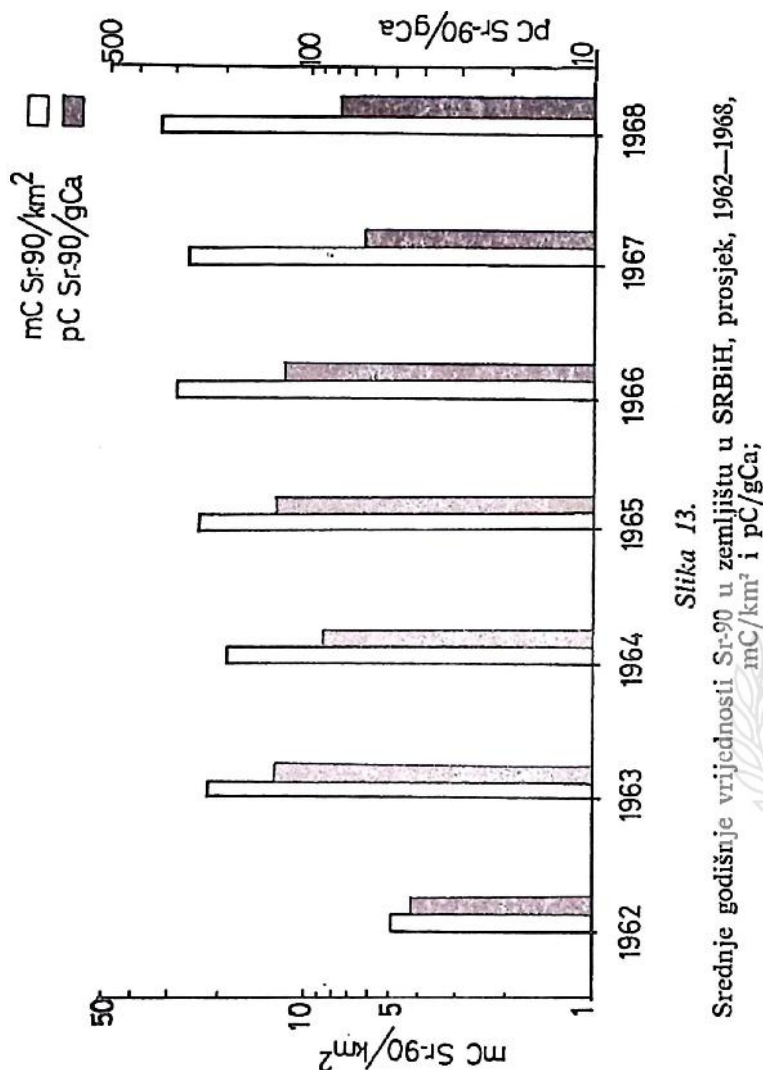
Radionuk- lid	1961.	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.
Sr-90	2,16	7,91	12,29	13,86	10,33	3,52	3,38	2,42
Cs-137	—	—	6,96	12,22	10,28	1,34	1,08	1,33



Slika 12.

Ukupna aktivnost mjesečnih uzoraka riječnih voda, prosjek za SRBiH, 1962—
—1968 u pC/l;

jalno opasnija od upotrebe odgovarajuće količine podjednako kontamini-



Slika 13.

Srednje godišnje vrijednosti Sr-90 u zemljištu u SRBiH, prosjek, 1962—1968, mC/km² i pC/gCa;

ranog mlijeka. Komparacija vrijednosti nađenih u Hercegovini sa ostalim publikovanim nalazima za SFRJ data je na tab. 21 (25—30).

Radioaktivnost vode za piće iz vodovoda

Mjerenje ukupne beta-aktivnosti vode za piće iz vodovoda vršeno je od 1963. u Sarajevu, a u Banjoj Luci i Mostaru počevši od 1966. Iz tab. 22. proizilazi da se svojevremeno povećanje radioaktivnosti padavina odrazilo i na aktivnosti vode u vodovodima. Stepenn kontaminacije vodovodske vode očigledno ovisi o stepenu komunikacija izvora odgovarajućeg vodovoda sa površinskim vodama, što proizilazi iz tab. 23 na kojoj

Tab. 21.

PROSJEČNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI
U UZORCIMA VODE ZA PIĆE IZ CISTERNI U SFRJ OD 1961—1966.

Godina Mjesto	1961. pC/l	1962. pC/l	1963. pC/l	1964. pC/l	1965. pC/l	1966. pC/l
Plana	—	—	204	81	44	17
Uskoplje	63	140	380	92	39	16
Hum	206	448	250	86	41	16
Mrkonjići	254	362	156	91	44	18
Strujići	233	571	236	104	44	19
Ljubinje	162	666	139	78	34	13
Domanovići	185	442	184	64	33	22
Ljubuški	4740	307	173	83	40	21
Posušje	145	155	215	95	58	17
Lištica	92	260	204	94	44	19
Komaj	—	188	104	84	26	15
Doli	—	—	—	—	21	11
Donja Brela	—	100	—	—	30	24
Marina	—	—	—	—	4	17
Romanjska	—	—	—	—	18	15
Barić—Draga	690	200	79	115	16	18
Meja	—	139	135	50	64	15
Brseć	—	97	144	49	15	15
Bale	—	87	74	66	28	17
Muljava	—	—	294	273	108	19
Modrej	—	—	—	79	32	26
Divača	—	—	—	70	52	14
Prosjek:	(677) 225	278	186	92	38	17

Tab. 22.

PROSJEĆNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI
UKUPNE BETA-AKTIVNOSTI UZORAKA
VODE ZA PIĆE IZ VODOVODA U SARAJEVU,
MOSTARU I BANJOJ LUCI — U pC/l

Godina	Sarajevo	Mostar	Banja Luka	Prosjeck
1963.	17	—	—	17
1964.	8	—	—	8
1965.	4	—	—	4
1966.	3	3	3	3
1967.	1	2	2	2
1968.	1	2	2	2

Tab. 23.

PROSJEĆNE GODIŠNJE VRIJEDNOSTI
UKUPNE BETA-RADIOAKTIVNOSTI U
UZORCIMA VODE IZ VODOVODA U SFRJ

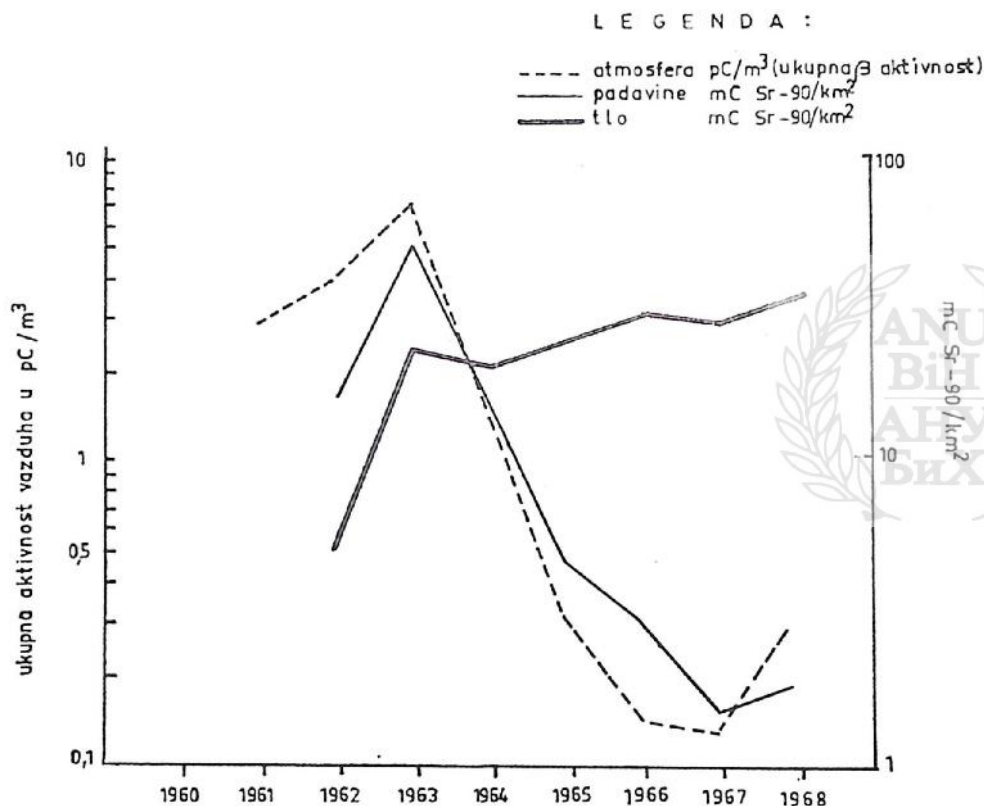
Godina Mjesto	1962. pC/l	1963. pC/l	1964. pC/l	1965. pC/l	1966. pC/l
Banja Luka	—	—	—	—	3
Mostar	—	—	—	—	3
Sarajevo	—	17	8	4	4
Mali Lošinj	27	33	15	8	6
Zagreb	—	47	11	8	5
Skopje	—	—	5	20	3
Ohrid	—	—	—	—	3
Ljubljana	22	5	6	4	2
Beograd	—	10	2	11	32
Kragujevac	—	20	16	14	16
Prosjeck:	25	22	9	10	8



su date uporedne vrijednosti za različite vodovode u SFRJ. Vodovodi koji crpu vodu iz rijeka, a naročito iz vodojaža, pokazuju viši stepen kontaminacije.

Ukupna beta-aktivnost riječnih voda

Aktivnost riječnih voda u pC/l u mjesečno sakupljenim uzorcima iz važnijih vodotoka u SRBiH prikazana je na tab. 24. Iz ove tabele proizlazi da je kontaminacija vodotoka nakon obnove probnih nuklearnih eksplozija u atmosferi postigla svoj vrhunac u 1963. god. Od tada ova aktivnost stalno opada. Taj proces opadanja nije, za razliku od aktivnosti padavina, poremećen nuklearnim eksplozijama izvršenim u 1968. god.



Slika 14.

Ukupna beta aktivnost atmosfere i aktivnost Sr-90 u padavinama i zemljištu u SRBiH, 1961—1968, pC/m^3 i mC/km^2 ;

Komparacija nalaza u rijekama na teritoriji BiH sa ostalim jugoslovenskim rijekama data je na tab. 25 (25, 26, 27, 28, 29). Iz te tabele se vidi da su rijeke u BiH bile relativno najmanje kontaminirane, za razliku od velikih rijeka (Dunav, Sava) koje pokazuju konstantno viši nivo radioaktivnosti.

Tab. 24.

UKUPNA BETA-AKTIVNOST RIJEČNIH VODA U BOSNI I HERCEGOVINI U pC/1, MJESEČNI UZORCI

Mjesec	1962.					1963.					1964.				
	Vrbaš	Drina	Čapljina	Una	Mjesečni prosjek	Bosna	Drina	Neretva	Vrbaš	Una	Mjesečni prosjek	Vrbaš	Drina	Neretva	Mjesečni prosjek
Januar							86	25	34	28	43	10	30	12	18
Februar						—	33	19	28	42	30	23	39	18	23
Mart						—	19	25	28	100	43	19	17	11	15
April						50	39	53	44	27	43	10	32	12	19
Maj	7	8	7	8	8	43	36	65	39	41	45	16	45	12	21
Juni	8	17	11	8	11	90	55	22	70	32	54	30	44	12	26
Juli	13	8	32	7	15	87	32	58	95	39	62	25	18	15	18
August	15	22	12	13	16	63	18	18	20	38	31	6	16	13	14
Septembar	22	10	10	9	13	37	12	25	28	17	24	11	11	9	11
Oktober	7	10	10	11	10	17	13	16	9	20	15	10	19	15	16
Novembar	12	28	21	47	27	27	30	10	15	15	19	5	20	8	11
Decembar	81	40	41	—	54	56	91	16	14	8	37	4	19	6	10
Prosjeck:	21	18	18	13	19	39	39	29	35	34	37	14	26	12	17

Mjesec	1965.						1966.						1967.						1968.					
	Vrelo Bosne	Bosna	Drina	Neretva	Vrbas	Una	Mjesečni prosjek	Vrelo Bosne	Bosna	Drina	Neretva	Vrbas	Una	Mjesečni prosjek	Vrelo Bosne	Bosna	Drina	Neretva	Vrbas	Una	Mjesečni prosjek			
Januar	2	13	6	8	5	7	7	2	4	5	17	3	6	6	3	5	25	2	1	4	7	1		
Februar	3	11	5	3	5	6	6	3	9	4	2	3	3	4	3	5	3	5	6	1	4	1		
Mart	4	9	8	6	5	6	6	2	5	3	3	4	4	4	2	10	3	2	5	2	4	0		
April	2	6	5	6	5	5	5	2	9	4	15	2	3	6	1	3	4	3	3	3	3	1		
Maj	4	77	6	9	5	5	18	3	5	8	5	10	8	7	2	7	1	8	3	3	4	0		
Jun	4	1	4	3	6	7	4	7	14	5	4	2	5	6	2	8	2	2	2	2	3	1		
Juli	4	5	5	5	7	5	5	6	14	3	1	5	3	5	3	2	6	2	6	2	4	1		
August	3	7	—	6	7	5	5	3	1	4	3	3	7	4	1	3	2	3	1	4	3	2		
Septembar	4	3	5	4	10	4	5	1	7	3	7	7	4	5	1	4	3	1	6	3	3	1		
Oktober	4	6	4	5	2	5	4	1	14	6	3	2	3	5	0	1	1	2	2	1	1	0		
Novembar	6	20	8	3	7	5	8	1	13	3	2	6	4	5	0	7	0	0	0	1	1	0		
Decembar	4	3	7	4	6	5	5	7	21	2	6	1	3	7	2	3	1	1	2	2	2	1		
Prosjeck:	4	13	5	5	6	5	7	3	10	4	6	4	4	5	2	5	4	3	3	2	3	1		

Tab. 25.

UKUPNA BETA-RADIOAKTIVNOST U UZORCIMA RIJEČNIH VODA U SFRJ,
GODIŠNJE VRIJEDNOSTI

Godina Rijeka	1962. pC/l	1963. pC/l	pC/l 1964.	1965. pC/l	1966. pC/l
Bosna — Bosanski Šamac	25	35	26	12	10
Bosna — Ilidža	—	—	14	4	3
Drina — Zvornik	19	39	14	6	4
Neretva — Mostar	18	29	12	5	6
Una — Bosanska Dubica	14	34	18	5	5
Vrba — Banja Luka	21	35	16	6	4
Morača — Titograd	—	—	22	7	—
Sava — Ivanja Rijeka	49	52	18	9	7
Kupa — Sisak	37	40	13	6	5
Drava — Osijek	12	—	17	9	6
Vardar — Đevdelića	—	—	37	22	28
Ohridsko jezero — Ohrid	—	—	—	18	10
Dunav — Bezdan	—	172	—	9	7
Dunav — Zemun	95	105	43	10	7
Dunav — Prahovo	—	172	45	15	9
Vel. Morava — Čuprija	—	—	41	31	14
Sava — Beograd	90	96	116	8	7
Bijeli Timok — Zaječar	—	158	42	19	12
Drava — Dravograd	—	13	12	7	7
Mura — Petanjci	21	24	14	10	7
Soča — Solkan	8	10	10	5	5
Soča — Gorenja Ves	—	—	—	4	4
Prosjeck:	38	68	28	10	8

Tab. 26.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA OBRADIVE ZEMLJE U SARAJEVU
I BANJOJ LUCI U mC/km² U PERIODU 1962—1969.

Mjesto	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.
Sarajevo	4,90	22,1	22,0	24,0	28,3	24,6	34,75
Banja Luka	—	—	16,0	23,1	29,0	28,1	32,22
Prosjeck:	4,9	22,1	19,0	23,6	28,7	21,4	33,5

Sr-90 u obradivom zemljištu

Zbog velikog značaja obradivog zemljišta u lancima kruženja Sr-90, mi smo mjerili sadržinu Sr-90 na dva poljoprivredna dobra u SRBiH. Srednje godišnje vrijednosti za ta dva dobra date su na tab. 26. Iz podataka iznesenih u toj tabeli proizilazi da proces kumulacije Sr-90 u zemljištu još uvijek traje, tako da ukupna aktivnost Sr-90 u zemljištu neprestano raste i dostigla je u 1968. god. svoj vrhunac. Ovo se, razumljivo, mora odraziti i na sadržini Sr-90 u namirnicama biljnog porijekla. O količini Sr-90 u zemljištu u Jugoslaviji postoje publikovani podaci (26, 27, 28, 29) samo za period 1964—1966. Srednje godišnje vrijednosti u Jugoslaviji u uspoređenju sa Bosnom i Hercegovinom u mC/km² kretale su se ovako:

Zemljište (mC Sr-90/km ²):	1964.	1965.	1966.
SFRJ	19,72	29,48	28,99
BiH	19,00	23,55	28,65

Iz gornjih podataka proizilazi da je depo Sr-90 u obradivom zemljištu na proučavanim terenima u SRBiH bio u saglasnosti sa jugoslovenskim prosjecima.

Sr-90 u povrću i žitaricama

Kontaminacija uzoraka različitog povrća i voća sa Sr-90 uzetog u SRBiH prikazana je na tab. 27. Kretanje kontaminacije pojedinih namirnica treba posmatrati odvojeno, ne samo zbog različitosti puteva njihove kontaminacije u lancu kruženja Sr-90, nego i zbog različite uloge koje one imaju u ishrani našeg stanovništva, te tako djeluju kao kvantitativno različito značajni vektori Sr-90.

Sve namirnice vegetabilnog porijekla pokazuju u novije vrijeme izvjesnu tendenciju opadanja aktivnosti Sr-90, ali je ona znatno manja negoli opadanje ukupne beta-aktivnosti zraka ili padavina, i to zbog stvaranja depozita Sr-90 u zemljištu. Zbog toga što naše stanovništvo dobiva značajan dio svog kalcija u žitaricama i povrću, za nas je od posebnog značaja kontaminacija sa Sr-90 pšenice, krompira i lisnatog povrća.

Komparacija kontaminacije krompira u pCSr-90/gCa u BiH sa prosjekom publikovanih podataka za ostale republike Jugoslavije (25, 26, 27, 28, 29) izgleda ovako:

Krompir (pCSr-90/gCa):	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.
SFRJ	87,47	44,12	150,68	104,82	78,13
SRBiH	21,08	44,75	20,08	75,88	18,82

Iz gornjih podataka proizilazi da su uzorci krompira uzeti u SRBiH bili skoro u svim godinama, izuzevši u 1963, znatno ispod jugoslovenskog prosjeka u sadržini Sr-90. Godina 1963. bila je period sa najvećom folijarnom depozicijom Sr-90, kada su uslovi za kontaminaciju putem lišća krompira bili najsličniji za sve lokacije. Sa smanjivanjem deponiranja iz atmosfere povećanu ulogu u kruženju Sr-90 dobivaju sastav tla i agro-

Tab. 27.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA POVRĆA I VOĆA I ŽITARICA UZETIH
U SRBIH TOKOM 1961—1968. GODINE U pCSr-90/gCa I pCSr-90/kg
SVJEŽEG MATERIJALA

Vrsta uzorka	1961.		1962.		1963.		1964.	
	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg
Pšenica	39,0	14,4	282,0	195,0	449,0	248,0	1077,0	256,0
Kukuruz	—	—	45,0	2,7	30,2	1,58	—	—
Ječam	—	—	316,0	115,0	480,0	212,0	—	—
Salata	—	—	—	—	176,4	94,9	84,6	51,5
Krompir	22,3	4,5	30,1	4,3	44,7	6,4	20,1	3,8
Špinat	—	—	—	—	41,7	72,4	69,2	54,1
Pasulj	—	—	—	—	—	—	70,0	70,7
Kupus	—	—	—	—	37,2	88,8	42,8	65,2
Raštika	—	—	—	—	34,1	142,7	—	—
Paprika	—	—	—	—	—	—	—	—
Paradajz	—	—	—	—	41,4	4,3	278,8	34,3
Luk	—	—	—	—	—	—	—	—
Šljiva	—	—	—	—	—	—	90,8	13,5
Grožđe	—	—	—	—	—	—	—	—

Vrsta uzorka	1965.		1966.		1967.		1968.	
	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg
Pšenica	379,0	96,0	233,0	60,7	140,5	52,9	73,0	25,9
Kukuruz	—	—	—	—	—	—	—	—
Ječam	—	—	—	—	75,2	37,9	—	—
Salata	83,4	35,8	43,0	23,4	43,8	16,3	33,6	19,0
Krompir	58,2	6,9	18,8	7,5	33,4	9,3	50,0	12,2
Špinat	75,2	89,7	70,2	77,2	31,5	47,5	13,4	26,0
Pasulj	54,5	94,0	190,0	82,1	30,8	35,5	—	—
Raštika	—	—	64,3	180,8	18,0	75,6	6,3	37,4
Paprika	—	—	59,2	10,2	42,1	5,8	23,2	4,2
Paradajz	35,0	2,8	53,7	4,3	30,6	3,1	—	—
Luk	53,0	51,9	70,8	39,0	25,4	26,7	23,2	14,8
Šljiva	43,4	34,2	38,5	4,6	—	—	240,7	18,4
Grožđe	—	—	—	—	—	—	10,5	2,3

telničke mjere, zahvaljujući kojima se javljaju vrlo velike razlike u koncentraciji Sr-90 u odnosu na kalcij.

Komparacija kontaminacije sa Sr-90 pšenice proizvedene na poljoprivrednim dobrima u SRBiH sa prosječnim vrijednostima uzoraka analiziranih u drugim mjestima u Jugoslaviji iz dosada objavljenih podataka (25—30) izgleda ovako:

PŠENICA (pCSr-90/gCa):	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.
SFRJ	454,3	388,5	1625,1	287,4	176,9
SRBiH	282,0	449,0	1077,0	379,0	233,0

Pšenica, kao što se vidi iz gornjih podataka, spada među najteže kontaminirane namirnice sa Sr-90, te kod stanovništva koje, kao naše, jede relativno mnogo kruha, predstavlja jedan od najvažnijih vektora kojima se Sr-90 unosi u ljudski organizam. Opća tendencija kretanja Sr-90 u pšenici u SRBiH bila je u saglasnosti sa općejugoslovenskim prosjecima. Stanovništvo u Bosni i Hercegovini se, zbog nedovoljne proizvodnje žitarica u Republici, hrani žitom pretežno proizvedenim u drugim republikama. To znači da se ono, saobrazno svojim dijetarnim navikama, vjerovatno podjednako kontaminira sa Sr-90 kao i ostalo stanovništvo naše zemlje.



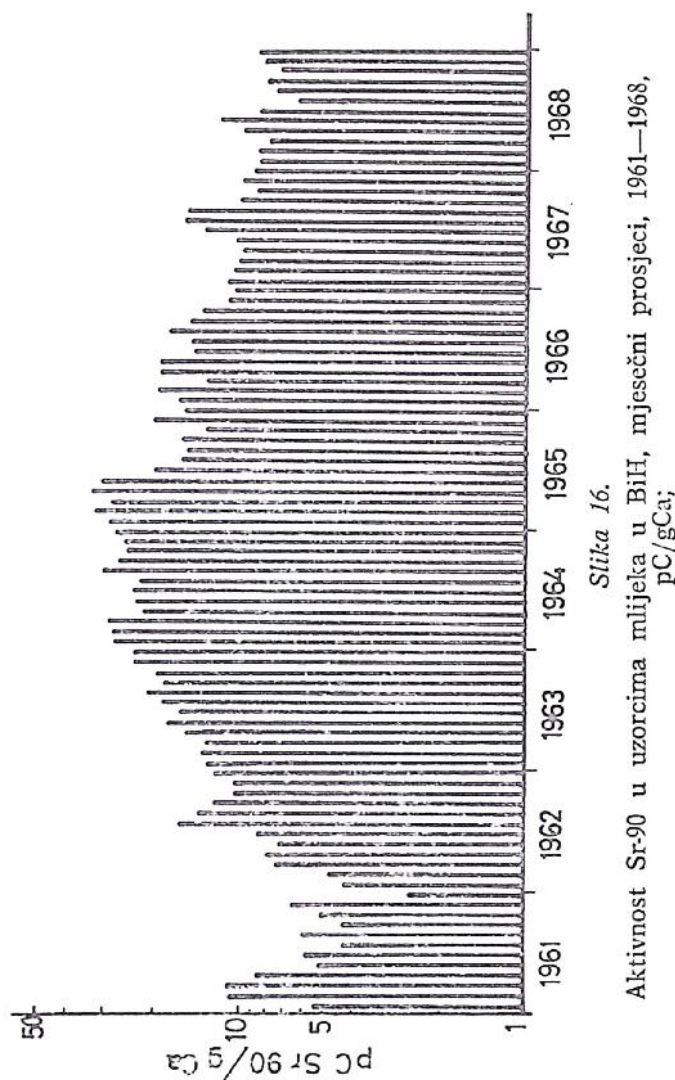
Slika 15.

Kretanje Sr-90 u pšenici i krompiru, prosjek uzoraka uzetih u BiH 1961—1968, pC/kg;

Sr-90 u stočnoj hrani

Podaci o aktivnosti Sr-90 u uzorcima trave uzetim sa tri poljoprivredna dobra u Bosni i Hercegovini dati su na tab. 28, a podaci o Sr-90 u uzorcima silaže na tab. 29.

Kontaminacija trave u pCSr-90/gCa postigla je svoj vrhunac u 1963. god., kada je jesenski prosjek iznosio 490,5 pCSr-90/gCa. U toj godini su najviše došli do izraza kako kumulativno djelovanje Sr-90 u tlu, tako i velika folijarna depozicija. Aktivnost trave se u kasnijim godinama po-



stepeno smanjivala i postigla je najnižu tačku u 1967, da bi se u 1968. opet povećala. Isto zapažanje važi i za siliranu stočnu hranu, s tim što je kod nje smanjenje aktivnosti bilo relativno manje negoli kod trave.

Komparacija nalaza Sr-90 u travi za BiH sa prosjekom dosada publikovanih podataka (25—30) za Jugoslaviju izgleda ovako:

Tab. 28.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA TRAVE (PROLJEĆE I JESEN) OD 1961. DO 1968. GODINE NA NEKIM POLJOPRIVREDNIM DOBRIMA U BOSNI I HERCEGOVINI U pC/m² I pC/gCa

Mjesto	Godišnje doba	1961.		1962.		1963.		1964.	
		pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²
Banja Luka	proljeće	—	—	180,0	323,3	269,0	1220,0	278,0	1772,0
	jesen	98,0	487,0	384,0	645,0	310,0	3544,0	466,0	1107,0
Mostar	proljeće	—	—	—	—	242,0	221,0	—	—
	jesen	125,0	273,0	—	—	183,0	177,3	—	—
Sarajevo	proljeće	—	—	138,0	261,0	289,0	3127,0	204,0	1152,0
	jesen	95,0	302,0	148,0	351,0	488,0	4011,0	164,0	324,0
Prosjeak za SRBiH	proljeće	—	—	159,0	292,0	267,0	1523,0	241,0	1462,0
	jesen	106,0	354,0	266,0	498,0	490,5	2577,0	305,0	715,0

Mjesto	Godišnje doba	1965.		1966.		1967.		1968.	
		pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²	pC/gCa	pC/m ²
Banja Luka	proljeće	81,0	332,0	97,0	460,0	45,0	242,0	21,5	52,6
	jesen	49,0	141,0	60,0	85,0	33,0	63,0	48,0	105,0
Mostar	proljeće	—	—	118,0	166,0	46,0	291,0	25,0	117,0
	jesen	—	—	84,0	129,0	34,0	73,0	56,5	86,0
Sarajevo	proljeće	152,0	311,0	114,0	528,0	40,0	91,0	25,7	171,0
	jesen	89,0	149,0	50,0	210,0	29,6	91,0	25,2	80,5
Prosjeak za SRBiH	proljeće	116,0	321,0	109,0	385,0	44,0	208,0	241,0	113,5
	jesen	69,0	145,0	65,0	141,0	32,2	76,0	43,2	90,5

Tab. 29.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA SILIRANE STOČNE HRANE NA NEKIM POLJOPRIVREDNIM DOBRIMA U SRBiH OD 1962—1969. U pC/gCa I pC/kg

Mjesto	1962.		1963.		1964.		1965.	
	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg
<i>Sarajevo</i>								
PD »Slatina« i								
PD »Butmir«	43,6	34,7	75,4	1265,0	151,4	219,0	47,4	106,5
<i>Banja Luka</i>								
PD »Mladen								
Stojanović«	93,3	118,6	119,4	56,8	266,0	246,7	74,7	74,8
<i>Mostar</i>								
PD »Hercegovina«	56,3	62,2	590,1	889,0	—	—	—	—
<i>Brčko</i>								
PD »Posavina«	68,8	140,8	—	—	—	—	—	—
Prosjeak za SRBiH	65,5	167,2	218,1	580,2	208,7	233,3	61,0	90,6

(Nastavak Tab. 29.)

Mjesto	1966.		1967.		1968.	
	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg	pC/gCa	pC/kg
<i>Sarajevo</i>						
PD »Slatina« i						
PD »Butmir«	109,4	225,9	27,3	34,5	32,5	47,0
<i>Banja Luka</i>						
PD »Mladen						
Stojanović«	87,6	117,5	42,4	95,0	36,4	99,5
<i>Mostar</i>						
PD »Hercegovina«	190,1	285	54,3	178,2	101,3	227,8
<i>Brčko</i>						
PD »Posavina«	—	—	—	—	—	—
Prosjeak za SRBiH	193,5	209,5	62,0	153,8	85,1	187,1

Tab. 30.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA MLIJEKA SA TERITORIJE SRBiH
TOKOM 1961—1968. GODINE — PO MJESECIMA

	I	II	III	IV	V	VI
<i>1961.</i>						
pCSr-90/1	6,69	13,91	13,64	12,21	6,57	7,14
mgCa/g pepela	177,40	178,00	171,20	197,40	176,00	170,80
pCSr-90/gCa	5,40	11,00	11,40	8,80	5,30	6,00
<i>1962.</i>						
pCSr-90/1	5,47	5,70	9,32	9,82	16,20	10,48
mgCa/g pepela	177,60	170,00	176,80	172,70	186,00	170,90
pCSr-90/gCa	4,32	4,79	7,62	8,12	7,36	8,76
<i>1963.</i>						
pCSr-90/1	16,19	17,69	15,71	20,28	34,19	20,40
mgCa/g pepela	174,60	184,50	167,70	185,00	183,16	173,70
pCSr-90/gCa	13,22	13,76	13,29	15,58	18,20	16,57
<i>1964.</i>						
pCSr-90/1	37,75	44,86	41,62	32,81	32,62	34,86
mgCa/g pepela	194,10	224,30	211,80	224,00	199,10	209,50
pCSr-90/gCa	27,90	28,46	29,29	21,59	23,44	23,72
<i>1965.</i>						
pCSr-90/1	38,44	42,30	38,35	41,18	39,36	27,41
mgCa/g pepela	188,40	187,10	189,20	173,50	181,20	188,90
pCSr-90/gCa	29,15	32,32	28,86	33,50	31,05	20,20
<i>1966.</i>						
pCSr-90/1	22,32	25,54	23,00	24,64	25,23	18,24
mgCa/g pepela	189,80	182,90	186,30	181,00	186,10	178,10
pCSr-90/gCa	16,81	19,98	13,54	19,48	19,40	14,74
<i>1967.</i>						
pCSr-90/1	13,70	14,37	13,58	13,09	13,38	16,90
mgCa/g pepela	171,33	187,30	183,83	186,20	177,00	176,70
pCSr-90/gCa	11,46	10,81	10,54	10,22	10,59	13,92
<i>1968.</i>						
pCSr-90/1	10,57	11,56	10,18	14,61	16,08	10,49
mgCa/g pepela	170,60	184,20	174,40	205,80	188,07	167,03
pCSr-90/gCa	8,87	8,96	8,33	10,22	12,11	8,91

(Nastavak Tab. 30.)

	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Prosjek godišnji
<i>1961.</i>							
pCSr-90/1	5,24	10,21	5,24	7,51	8,88	3,13	8,36
mgCa/g pepela	170,20	169,40	171,60	172,60	166,60	173,60	174,60
pCSr-90/gCa	4,40	6,04	4,35	6,20	7,60	2,57	6,59
<i>1962.</i>							
pCSr-90/1	18,50	16,50	16,06	16,2	13,31	15,28	12,74
mgCa/g pepela	160,50	167,00	180,70	174,0	180,30	178,60	174,60
pCSr-90/gCa	16,50	14,20	12,40	10,6	10,65	12,25	9,79
<i>1963.</i>							
pCSr-90/1	22,57	26,66	23,28	27,70	32,25	29,27	23,85
mgCa/g pepela	174,80	171,10	178,50	200,13	211,40	198,00	183,50
pCKr-90/gCa	18,88	21,43	18,56	19,59	23,50	23,89	18,04
<i>1964.</i>							
pCSr-90/1	28,18	36,33	31,83	30,80	33,15	33,19	33,83
mgCa/g pepela	182,80	171,30	171,60	173,30	183,80	174,20	192,66
pCKr-90/gCa	22,85	30,30	26,54	25,27	25,78	27,19	26,09
<i>1965.</i>							
pCSr-90/1	22,75	20,93	20,02	17,67	26,40	18,37	29,43
mgCa/g pepela	193,20	189,30	176,60	186,80	184,00	171,70	184,15
pCSr-90/gCa	16,06	15,79	16,26	13,39	20,51	15,25	22,69
<i>1966.</i>							
pCSr-90/1	18,76	24,16	19,78	20,87	14,05	13,04	23,08
mgCa/g pepela	174,45	187,80	185,20	181,93	179,50	175,53	182,38
pCSr-90/gCa	15,41	18,37	15,26	14,19	11,16	10,60	15,74
<i>1967.</i>							
pCSr-90/1	19,38	19,58	13,12	11,45	12,76	11,61	14,41
mgCa/g pepela	173,07	181,27	178,50	181,60	184,20	180,47	180,12
pCSr-90/gCa	16,22	15,62	10,42	8,72	10,00	9,12	11,47
<i>1968.</i>							
pCSr-90/1	7,70	8,94	9,80	9,19	10,30	9,07	10,70
mgCa/g pepela	169,40	168,87	167,50	168,40	170,10	174,70	175,75
pCSr-90/gCa	6,53	7,75	8,38	7,44	8,65	9,01	8,76

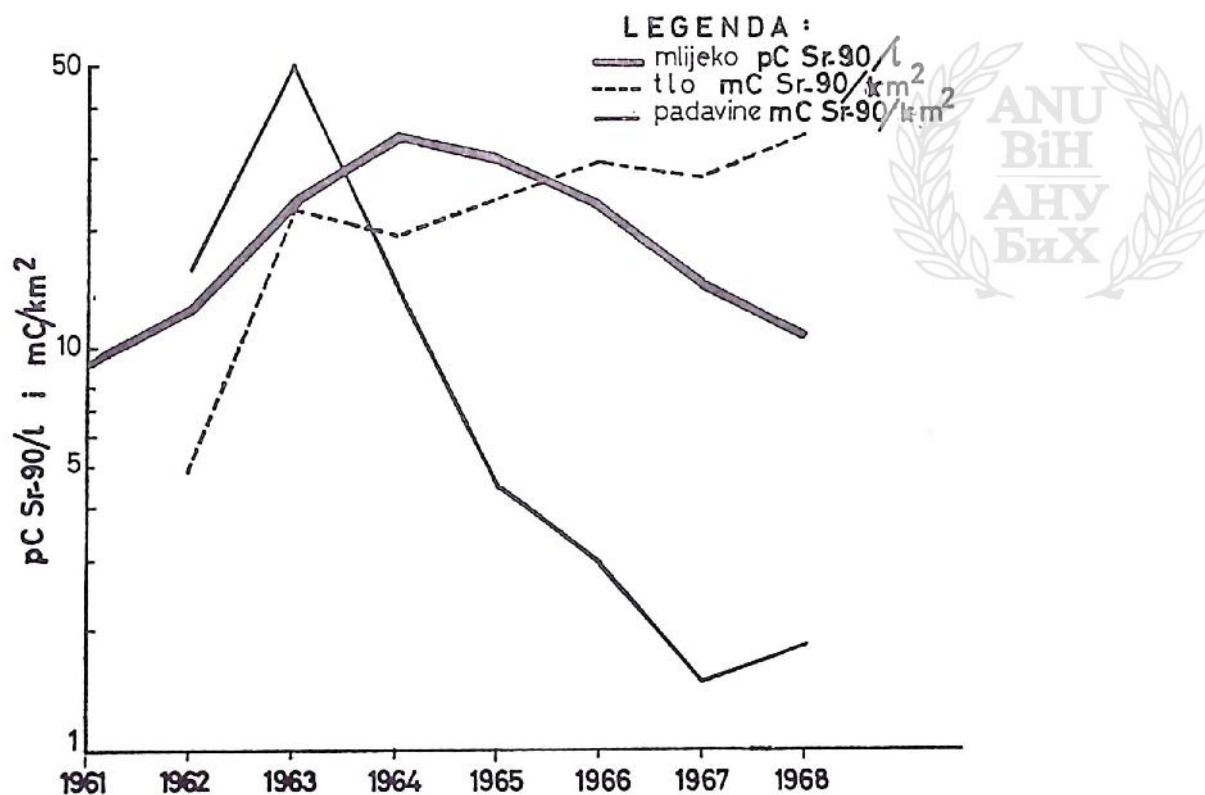
Tab. 31.
KOLIČINA Sr-90 U MLIJEKU U pC/gCa ZA RAZNA MJESTA
U JUGOSLAVIJI TOKOM 1961—1966. GODINE

Mjesto	1961.	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.
Banja Luka	—	12,7	21,3	27,8	20,5	16,1
Beograd	2,6	6,5	8,4	10,4	9,9	4,6
Dubrovnik	8,4	16,0	32,1	36,6	25,4	—
Kobarid	—	—	—	80,8	64,3	46,8
Murska Sobota	9,8	16,9	31,3	33,9	31,7	—
Niš	—	—	15,6	15,9	10,8	6,9
Novi Sad	—	—	—	14,3	10,3	5,1
Mostar	—	—	12,9	—	—	13,9
Ljubljana	8,8	15,1	35,0	36,9	28,8	20,5
Sarajevo	6,6	9,1	17,3	24,8	24,9	16,5
Skopje	—	—	22,0	13,4	9,4	6,6
Zagreb	10,0	15,0	30,7	33,6	28,8	21,6
Zadar	4,7	6,4	21,9	23,3	23,9	8,1
Prosjeck:	7,3	12,2	22,5	27,6	24,1	15,1

TRAVA (pCSr-90/gCa)		1962.	1963.	1964.	1965.	1966.
SFRJ	proljeće	300,0	197,0	168,8	90,1	79,3
	jesen	156,3	253,3	187,9	57,15	29,18
SRBiH	proljeće	159,0	267,0	241,0	116,0	109,0
	jesen	266,0	490,5	305,0	69,0	65,0

Sr- 90 u mlijeku

Kretanje prosječnih mjesečnih aktivnosti Sr-90, iskazano u pCSr-90/l i u pCSr-90/gCa, za uzorke mlijeka sakupljene iz mljekara u Sarajevu. Banjoj Luci i Mostaru prikazano je da tab. 30. Iz tabele proizlazi da je količina Sr-90 na gram kalcija u mlijeku bila dostigla najviši nivo u 1964. godini i da od tada lagano opada, te se u 1968. svela otprilike na 1/3 najvišeg postignutog nivoa. Relativno sporo smanjivanje količine Sr-90 u mlijeku ukazuje na sporost samoprečišćavanja biosfere kad je u pitanju ovaj opasni dugoživeći radionuklid.



Slika 17.

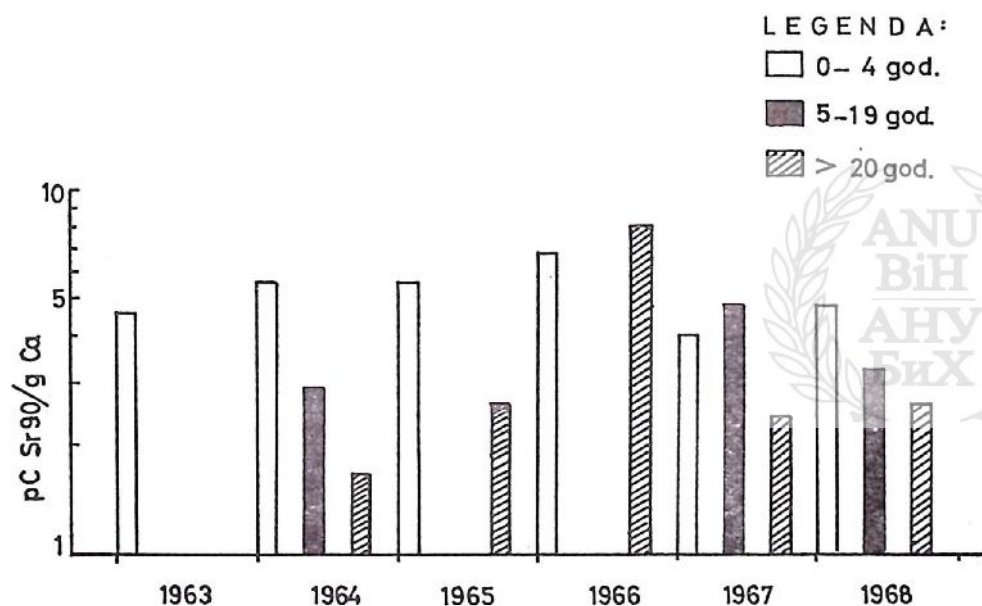
Aktivnost Sr-90 u padavinama, zemljištu i mlijeku, godišnji prosjeci u SRBiH, 1961—1968, pC/l i mC/km²;

Komparacija vrijednosti za BiH sa općejugoslovenskim prosjecima (tab. 31) pokazuje da je u Jugoslaviji, kao cjelini, mlijeko prosječno još više kontaminirano sa Sr-90 negoli u BiH (25—30).

Iz uočenih trendova moguće je prognozirati da će mlijeko i žitarice produžiti da još dobar broj godina budu glavni izvor unutrašnje kontaminacije našeg stanovništva sa Sr-90, što znači da će se još za niz godina nastaviti deponiranje tog radionukleida u kostima generacija koje se rode i budu rasle u tom periodu.

Kontaminacija ljudskih kostiju sa Sr-90

Na tab. 32 prikazani su rezultati mjerenja aktivnosti Sr-90 u uzorcima ljudskih kostiju. U periodu od 6 godina bilo je moguće analizirati ukupno 50 uzoraka kostiju sakupljenih u SRBiH. Broj posmatranja nije dovoljan da se statistički reprezentativno procijeni stanje kontaminacije kostiju stanovništva sa Sr-90 po pojedinim dobnim skupinama.



Slika 18.

Aktivnost Sr-90 u kostima lica različite starosti prosječne vrijednosti za BiH, 1963—1968, u pCi/gCa.

Iz podataka za djecu do 12 mjeseci starosti, čije su kosti bile u najvišem broju analizirane, proizlazi da su dojenčad najviše kumulirala Sr-90 u svojim kostima u 1966. god. Ovaj nalaz je u saglasnosti sa jugoslovenskim prosjekom (25—30) prikazanim na tab. 33.

Kod djece od 1—4 godine starosti nalazimo prosječno veću, a kod osoba preko 25 godina nalazimo, naprotiv, manju kumulaciju Sr-90 negoli kod dojenčadi. I ovaj nalaz je u saglasnosti sa prosječnim vrijednostima kontaminacije ljudskih kostiju sa Sr-90 utvrđenim za Jugoslaviju (tab. 33).

Tab. 32.

Sr-90 U UZORCIMA LJUDSKIH KOSTIJU OSOBA RAZLIČITE STAROSTI
U SRBIH U PERIODU 1963—1968. GODINE

Starost	Mjesto života	Mjesec uzimanja	pCSr-90/gCa					
			1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.
do 12 mj.	Sarajevo	januar			2,80			5,97
	Sarajevo	januar			3,92			
	Jelenak	januar			2,10			
	Sarajevo	mart		2,77		10,34	1,45	
	Sarajevo	mart					1,83	
	Sarajevo	maj	1,89	4,51				
	Prača	maj	4,03					
	Olovo	maj	6,50					
	Sarajevo	juni		3,09				
	Sarajevo	juli	2,76	7,31				
	Modriča	juli				3,35		
	Sarajevo	oktobar					8,17	
	Hrasnica	oktobar					5,85	
	Sarajevo	novembar	5,72	2,81	3,60			
	Sarajevo	decembar				5,67		
	Sarajevo	decembar				3,08		
	Kakanj	decembar					2,60	
Prosjeck:			4,20	4,10	3,10	5,61	3,98	5,97
do 2 god.	Sarajevo	maj	4,75					
	Kladanj	juli				5,01		
	Vareš	juli		12,68				7,55
	Fojnica	decembar						1,68
	Ilijaš	decembar						
Prosjeck:			4,75	12,68	—	5,01	—	4,61
do 3 god.	Srednje	maj			7,25			
	Sokolac	novembar	4,60					2,72
	Sarajevo	decembar						3,66
	Podlugovi	oktobar						
Prosjeck:			4,60	—	7,25	—	—	3,19
do 4 god.	Pale	april				10,69		
	Sarajevo	maj			5,32			6,97
	Sarajevo	maj			9,86			
	Ilijaš	maj			5,02			
	Pale	juni		4,08				
Prosjeck:			—	4,08	6,73	10,69	—	6,97
do 5 god.	Konjic	decembar				8,60		
	Ilijaš	april			10,27			
od 6—10	Rogatica	oktobar	—	—	—	—	5,15	—

(Nastavak Tab. 32.)

Starost	Mjesto života	Mjesec uzimanja	pCSr-90/gCa					
			1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.
od 10—15	Sarajevo Cajniče Kupres Zenica	mart mart avgust decembar		2,91			4,51 4,56	3,23
Prosjek:			—	2,91	—	—	4,55	3,23
od 16—20	Sarajevo Han-Pijesak	april decembar				6,58 9,53		
Prosjek:			—	—	—	8,05	—	—
od 26—30	Trnovo Ilijaš Sarajevo Travnik	april maj decembar avgust		2,13			1,77 3,06	3,68
Prosjek:			—	2,13	—	—	2,41	3,68
Preko 30	Rogatica Sarajevo Sarajevo Sarajevo	april april juli novembar		1,16	2,60			2,88 1,30
Prosjek:			—	1,16	2,60	—	—	2,09

Tab. 33.

AKTIVNOST Sr-90 U UZORCIMA LJUDSKIH KOSTIJU
U SFRJ

Starost	pCSr-90/gCa			
	1963.	1964.	1965.	1966.
do 12 mj.	4,60 (6)	3,53 (17)	3,13 (7)	5,22 (4)
od 1—2 god.	4,75 (1)	12,68 (1)	—	3,35 (1)
do 3 god.	—	16,20 (1)	—	3,66 (2)
do 4 god.	4,60 (1)	—	6,68 (3)	10,69 (1)
do 5 god.	—	4,08 (1)	8,37 (3)	8,60 (1)
od 6—10 god.	—	7,63 (1)	11,50 (1)	6,95 (2)
od 11—15 god.	2,20 (1)	2,91 (1)	6,19 (1)	1,65 (1)
od 16—20 god.	—	6,28 (1)	1,20 (1)	3,18 (4)
od 20—25 god.	—	2,15 (2)	2,25 (2)	3,96 (7)
od 26—30 god.	—	1,53 (6)	1,61 (5)	1,19 (2)
preko 30 god.	—	1,09 (5)	1,03 (24)	1,69 (6)

Naši nalazi su u saglasnosti sa današnjim znanjem o metabolizmu Sr-90 u ljudskom organizmu. Veličina depozita Sr-90 u ljudskim kostima ne ovisi samo o njegovoj količini u odnosu na kalcij u hrani, nego i o fiziološkom stanju organizma u odnosu na potrebe za kalcijem. Djeca u rastu izgrađuju svoje kosti i imaju negativan bilans kalcija, te ga zato zajedno sa Sr-90 deponiraju u svojim kostima. Trajno ugrađen u koštani sistem, Sr-90 svojim zračenjem povećava rizik nastupa malignih oboljenja krvotvornog sistema.

G. ŽARKOVIĆ, F. ČUSTOVIĆ, A. LEOVAČ AND Ž. PETROVIĆ

THE ENVIRONMENTAL CONTAMINATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA WITH THE FALLOUT FROM NUCLEAR EXPLOSIONS IN YEARS 1959—1968.

SUMMARY

The contamination of the environment with the radioactive fallout from nuclear explosions was followed by the authors and their coworkers from the Institute of Hygiene and Social Medicine of the Medical School of University of Sarajevo, during a period of 10 years (1959—1968).

Collection of samples and measurements of gross beta activity included:

- a) air samples, daily samples,
- b) rainfall, daily and monthly samples,
- c) drinking water from central supplies and from cisterns with rainwater, monthly samples,
- d) rivers, monthly samples.

Parallel to that were conducted the measurements of:

- e) Sr-90 in rainfall, monthly samples,
- f) Sr-90 in soil, yearly samples,
- g) Sr-90 in grass and silage, seasonal samples,
- h) Sr-90 and Cs-137 in grain, vegetables and fruit, annual samples;
- i) Sr-90 and Cs-137 in drinking rain-water from cisterns, annual samples,
- j) Sr-90 in human bone, annual samples.

The preparation and analysis of samples was conducted in accordance with the World Health Organisation's Methods of Radiochemical Analysis (34). The geographical coordinates of places where the samples have been collected, the types of samples, and the methods and periods of collection are presented in Tab 6.

The most interesting observations of the trends of the radioactive contamination of the environment in Bosnia and Herzegovina during the period of 1959—1968 were as follows:

Gross beta radioactivity of the air in Sarajevo, in years 1961—1968. (previous results omitted because of the change in the methods and hours of counting). Average annual values in pC/m^3 are presented in Table 7 and Graph, 3. The maximal monthly values for Sarajevo are presented in Tab. 8, and the average annual values for Sarajevo in comparison with a number of other towns in Yugoslavia are given in Tab. 10.

Since the beginning of new series of atmospheric nuclear explosions reached its peak at the end of spring in 1963. Since then the gross beta activity of the air was showing a downward trend until the 1968, when again an increase was registered. In all observed years a seasonal fluctuation was noticeable, with the increases above the average in months from February to May.

Gross beta activity of the rainfall is presented for daily samples in Sarajevo in Tab. 11 and expressed in mC/km^2 and pC/l . The corresponding values for monthly samples in rainfall in Banja Luka, Bosanski Šamac, Goražde, Mostar, Sarajevo and Tuzla, are presented in Tab. 12 and Graphs. 4, 5, and 6. The values for Sarajevo are given from 1958, and for the rest of sampling points from 1961. After the first voluntary moratorium on atmospheric nuclear explosions in 1958 the gross beta radioactivity of the rainfall fell as far down as $50,4 \text{ mC/km}^2$, but raised after the renewal of nuclear tests in 1961. to a level of $3,3 \text{ C/km}^2$ in 1963.

The reduction of the nuclear contamination of the rainfall followed through years rather fast to reach the lowest point in 1967.

Sr-90 in monthly samples of the rainfall (Tab. 13 and 14, Graphs 7 and 8) is expressed in pCSr-90/ and mCSr-90/km^2 . The average rate of the reduction of the specific beta activity of Sr-90 in the rainfall in the period from 1963 to 1967 was much slower (14 times) than the reduction of the gross beta activity (75 times) of the rain.

The relative yield of Sr-90 in gross beta activity increased, therefore, from 1,56 percent in 1963 to about 36 percent in 1966.

The comparison of the annual average of the daily samples of the rainfall in 9 towns in Yugoslavia is presented in Tab 15, and the corresponding values of the annual averages of monthly samples in 28 localities in Yugoslavia in Tab. 16. The radioactive deposits in Bosnia and Herzegovina were in accordance with the averages for Yugoslavia as a whole. The same holds for the comparison of deposits of Sr-90 in Bosnia and Herzegovina in relation to the rest of Yugoslavia (Tab. 17).

The radioactivity of rainwater used for drinking

Because of the fact that a rather large proportion of the population in Herzegovina have to use the rainwater (collected in »cisterns«) for drinking purposes, the gross beta activity of the samples from such 10 sources was measured since 1961 (Tab. 19, Graph. 19, Graph. 5). In addition to that, the activity of Sr-90 and Cs-137 was determined in cumulative annual samples from sources (Tab. 21). The peak rate of contamination with the gross beta activity of the debris in rainwaters was reached in 1963 while the maximal contamination with Sr-90 and Cs-137 was reached in 1964. *Piped water.* In Tab. 22 and 23 and Graph. 11 are presented the values of the gross beta activity in pl/l for the samples taken

from running piped ater in Sarajevo, Mostar and Banja Luka, compared with a number of other towns in Yugoslavia. The high degree of contamination of the rainfall in 1963 and 1964 has caused an increase of the activity in water supplies in Bosnian towns using mostly underground sources. The great differences in the degree of contamination of water sources in different Yugoslav towns is explainable with the degree to what the surface water was used for water supplies.

Gross beta activity of the river waters (Tab. 24, Graph. 12) was measured in monthly samples taken in 6 localities on rivers Bosna, Drina, Neretva, Vrbas and Una. In general, since 1963 there was a fast trend of the reduction of radioactivity of the river waters, which was stopped in 1968. In relation with the other rivers of Yugoslavia (Tab. 25) those of Bosnia and Herzegovina were relatively the least contaminated rivers of this country.

Sr-90 in the soil. The activity of Sr-90 and Cs-137 was determined in the samples of soil taken from the grounds of two large public farms in Sarajevo and in Banja Luka (Tab 26, Graph. 13). The effects of the cumulation are clearly visible both for Sr-90 and Cs-137 with an upward trend reaching its peak in 1968. The comparison of the average values for Sr-90 in pC/Sr-90/gCa for Bosnia and Herzegovina with the corresponding values for the whole of Yugoslavia (available informations covering only years 1964—1966) shows a suprising concordance of findings (pC/Sr-90/gCa):

	1964	1965	1966
SFR Yugoslavia	19,72	29,48	28,99
SR Bosnia and Herzegovina	19,00	23,55	28,65

A comparison of the curves representing the average airborne gross beta activity (pC/m³) with the acvivity of the rainfall (m CSr-90/km²) and in the soil (mC/Sr-90/km²) is given in Graph. 14, demonstrating very clearly the process of the cumulation of Sr-90 in the soil.

Sr-90 in vegetables and grain (Tab. 27) was followed in various crops, in order to obtain an insight into the differencuof the foon chains for various agricultural products. In all vegetables and grains, a constant, although slow reduction of Sr-90 is visible since the contamination reached its peak in 1963—1964.

Contrary to that the potato samples had a significantly higher activity of Sr-90 during the last years than immediately after the termination of atmospheric nuclear explosions in 1963. Those differences are understandable in view of the underlying natural processes which were operative during the period 1963—1968, i. e. in view of the reduction of the foliar deposition from the air and the increase of the cumulation of Sr-90 with in the soil. The Graph. 15 presents the curves of the contents of Sr-90 in Sr-90 in pC/Sr-90/kg for potatos (upward trend) and for grain (downward trend).

The findings for Sr-90 in grass and silage are presented in Tab. 28 and 29, and *the Sr-90 contents in milk* in Tab. 30 and Graph. 16.

In general, the activity of Sr-90 in grass and silage has still remained rather high inspite of a downward trend since 1963. The contamination

of milk with Sr-90 was approximately proportional to the trends of the contamination of grass and silage. The observed ratios between Sr-90 contents in plants and milk in samples from Sarajevo, Mostar and Banja Luka were not calculated, because the most of the consumed milk was not of the local provenience.

A comparison of curves representing the trends of Sr-90 in rainfall, in the soil and in the milk in Bosnia and Herzegovina for the period 1961—1968 is presented in Graph. 7.

Sr-90 contents of humane bones are presented in Tab. 32 and the average values of corresponding measurements for Yugoslavia are given in Tab. 33. The figures for infants up to 12 months old indicate the largest cumulation of Sr-90 in the samples collected during the year 1966.

BIBLIOGRAFIJA

1. Barlet B. C. i Mercer E. R. (1964): Relationship between the Deposition of Caesium-137 and Leves in Milk and Man in United Kingdom, *Agricultural Research Council Radiobiological Laboratory Report, ARCLR*, 12, str. 70.
2. Blume W. i Zindler H. (1967): *Kernenengie* 10, str. 233—229.
3. Cline J. F. (1962): Effects of Nutrient Potassium on the Uptake of Caesium-137 and Potassium and on Discrimination factor, *Nature* 193, str. 1302.
4. Comar C. L., Wasserman R. H. i Nold M. M. (1956): Strontium-Calcium Discrimination Factors in the Rat, *Proc. Soc. Experimental Biol. Med.* 92, str. 859.
5. Comar C. L. i Wasserman R. H. (1960) u knjizi »Radioisotopes in the Biosphere«, The University of Minnesota Press, Minneapolis.
6. Draganić I.: Radioaktivni izotopi i zračenja, Beograd, Naučna knjiga.
7. Eisenbud Merril (1963): *Environmental Radioactivity*, McGraw-Hill Book Comp. New York.
8. Frederiksson L., Gardner R. J. i Russel R. S. (1966): Caesium-137, u knjizi »Radioactivity and Human Diet«, Pergamon Press, London, str. 333.
9. Glasstone S. (1957): *The Effects of Nuclear Weapons*, U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C.
10. Gross J. (1962): Jodine and Bromine, u knjizi »Mineral metabolism«, koju su uredili C. L. Comar i F. Bronner, Academic Press, New York, svezak 2, dio B, str. 221.
11. International Commission on Radiological Protection (1964): *ICRP Publ. 6, Report of the Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation*, Pergamon Press, London.
12. Langham, W. H., Anderson E. C. (1958): Entry of Radioactive Fallout into the Biosphere and Man, *Bull. Swiss Acad. Med. Sci. M.*, str. 434.
13. Lindel B. (1964): *A Review of Measurements of Radioactivity in Food, Especially Dairy Milk and a Presentation of the 1963 Data on Cs-137 and Sr-90*, The Radiation Protection Board, Institute of Radiophysics, Stockholm.
14. Machta L. (1958): Global Scale Dispersion by the Atmosphere, *Proc. Ind. Int. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy*, Geneva, str. 1867.
15. Miettinen J. K. i sar. (1963): Cs-137 and Potassium in People and Diet, *Ann. Acad. Sci. Fennica, Sci. A, II, Chemica*, No 120, 1.
16. Bryant F. J., Morgan A., Spicer G. S.: — Determination of Radiostrontium in Biological Materials, AERE Report R-3030, 1959;

17. Onstead C. O., Oberhausen E. i Keary F. V. (1962): Cesium-137 in Man, *Science* 137, str. 508.
18. Petrović Ž., Mitrović A., Čustović F. i Eškerica L. (1963): Radiojod u biosferi Sarajeva novembra 1961, *Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu*, publ. 7, Sarajevo.
19. Russel Scott R., urednik (1966): *Radioactivity and Human Diet*, Pergamon Press, Oxford.
20. Russel R. S. i Burton J. D. (1966): Stroncium-90 in Human Diet, u knjizi »Radioactivity and Human Diet« (Pergamon Press, London, str. 280).
21. Telegedas Kosta (1961): Announced Nuclear Detonations by the U.S. Weather Bureau Cast. po Eisenbud M. 1963, *Environmental Radioactivity*, str. 305.
22. Telegedas K. (1963): Global Integrals of Monthly Sr-90 Fallout January 1958 — May 1962, *U.S. Atomic Energy Commission Report*, HASL-135, str. 215.
23. Totter J. R., Zelle M. R., Hollister H. (1958): Hazard to Man of Carbon-14, *Science*, 128, str. 1490.
24. Uprava za civilnu zaštitu, DSNO, SFRJ (1963): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1961. god. RBIO 1/61, Beograd.
25. Uprava za civilnu zaštitu DSNO, SFRJ (1963): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1962. godinu, RBIO 2/62, Beograd.
26. Uprava za civilnu zaštitu, DSNO, SFRJ (1964): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1963. godinu, RBIO 3/63, Beograd.
27. Uprava za civilnu zaštitu DSNO, SFRJ (1965): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1964. godinu, RBIO 4/64, Beograd.
28. Uprava za civilnu zaštitu DSNO, SFRJ (1966): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1965. godinu, RBIO 5/65, Beograd.
29. Uprava za civilnu zaštitu DSNO, SFRJ (1967): *Radioaktivnost životne sredine u Jugoslaviji*, podaci za 1966. godinu, RBIO, 6/66, Beograd.
30. United Nations (1958): *Report of the Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, XIII Serija, Suppe. No. 17 (17/3838).
31. United Nations (1962): *Report of the Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, 17 zasjedanje, dodatak br. 16 (A/5216), New York.
32. United Nations (1964): *Report of Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, 19 zasjedanje, dodatak br. 45 (A/5814), New York.
33. Wasserman R. H. i Comar C. L. (1961): The Influence of Dietary Potassium on the Retention of Chronically Ingested Caesium-137 in the Rat, *Radiation Research* 15, str. 70.
34. World Health Organisation (1966): *Methods of Radiochemical Analysis*, WHO, Geneva, 1966.
35. Žarković G., Čustović F., Petrović Ž. (1960): Radioaktivnost padavina i vazduha mjerena tokom 15 mjeseci, 1958. i 1959. u Sarajevu, *Vojno-sanitetski pregled* 9.
36. Žarković G., Petrović Ž., Čustović F., Starčević K. (1962): *Kretanje radioaktivnosti padavina i vazduha u Sarajevu u toku 3 godine, između dvije serije probnih nuklearnih eksplozija*, Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu, publ. br. 1, Sarajevo.
37. Žarković G. i saradnici (1963): *Zdravstveni značaj kontaminacije hrane sa Sr-90 u Bosni i Hercegovini*, Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu, publ. 5, Sarajevo.
38. Žarković G., Čustović F., Petrović Ž., Leovac A. (1967): *Radioaktivnost životne sredine u SRBiH i nekim mjestima SR Crne Gore i SR Hrvatske u 1966. g.*, Radovi Instituta za higijenu i soc. medicinu, publ. 40.

39. Žarković G., Petrović Ž., Leovac A., Čustović F. (1968): *Radioaktivnost životne sredine u SR Bosni i Hercegovini i nekim mjestima SR Crne Gore i SR Hrvatske u 1967. g.*, Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu, publ. br. 42, Sarajevo.
40. Žarković G., Čustović F., Leovac A. i Petrović Ž. (1969): *Radioaktivnost životne sredine u SR Bosni i Hercegovini u 1968*, Radovi Instituta za higijenu i socijalnu medicinu, publ. br. 47, Sarajevo.
41. Žarković G., Simić B., Mitrinović A., Čustović F. (1963): *Zdravstveni značaj upotrebe kišnice kontaminirane sa radioaktivnim materijama iz probnih nuklearnih eksplozija*, Radovi IHSM, br. 6, Sarajevo.

