

**Prisustvo biološki značajnih radionuklida u mleku i njihov udeo  
u njegovom radijacionom opterećenju\***  
(Traces of Biologically Significant Radionuclides in Milk and  
Their Share in Total Milk Radiological Load)

Dr. Radosav MITROVIĆ, Veterinarski i mlekarski institut, Beograd;  
prof. dr. Branislav PETROVIĆ; dr. Gordana ĐURIĆ, Veterinarski fakultet,  
Beograd

Izvorni znanstveni rad — Original Scientific Paper

UDK: 637.055

Prispjelo: 20. 2. 1987.

*Sažetak*

Neophodnost mleka u ishrani neminovno zahteva stalnu kontrolu kvaliteta u okviru koje posebno mesto i značaj ima radijaciono-higijenska ekspertiza. Stoga su u ovom radu prikazani rezultati koji se odnose na nivoe aktivnosti prirodnih i proizvedenih radionuklida (K-40, Cs-137 i Sr-90) u mleku iz podrinjsko-kolubarskog regiona i njihovi komparativni faktori ( $F_{kom}$ ). Ključne reči: mleko, radijaciono-higijenska ekspertiza,  $A^{40}K$ ,  $A^{137}Cs$ ,  $A^{90}Sr$ , podrinjsko-kolubarski region.

Napomena: ovaj je rad realizovan u predakcidentalnom periodu.

*Summary*

Continual milk quality control has become necessary due to the indispensability of this food product in human nutrition, with special attention being paid to the radiological expertise of milk. This investigation, therefore, has been carried out to determine natural and produced radionuclide (K-40, Cs-137, Sr-90) levels and their comparative factors ( $F_{comp}$ ) in the milk from the Podrinje-Kolubara region.

Key words: milk, radiological expertise,  $A^{40}K$ ,  $A^{137}Cs$ ,  $A^{90}Sr$ , the Podrinje-Kolubara region.

Note: This investigation has been carried out before the accident in Chernobil.

**Uvod**

U našoj zemlji, zbog različitog rasnog sastava mlečnih grla, mlekarska industrija se snabdeva mlekom različitog kvaliteta. Ovome treba dodati i činjenicu stalnog povećanja koncentracije štetnih rezidualnih supstanci u biosferi. Do danas je registrovan velik broj toksikanata u mleku, od kojih, zbog svoje specifičnosti, posebnu pažnju zaslužuju radioaktivne rezidue.

Pri radioaktivnoj kontaminaciji (RAK)\* velikih teritorijalnih prostranstava moguća je masovna RAK domaćih životinja i njihovih produkata. Preko RAK hrane u organizam životinja dospevaju određene količine biološki štetnih

\* Referat održan na VII Kongresu o ishrani naroda Jugoslavije, Budva, 1986.

\* RAK — radioaktivna kontaminacija, terminološka skraćenica za upotrebu u širem smislu.

radionuklida koji se nakon dugotrajne ishrane jednim delom nagomilavaju u pojedinim organima i tkivima, a drugim delom izlučuju mlekom. Iako ove količine radionuklida ne moraju dovesti do oboljenja životinja, nekontrolisana upotreba mesa, mleka i drugih hranljivih proizvoda može biti opasan izvor RAK ljudi. Zato je potrebna stalna i organizovana radijaciono-higijenska ekspertiza stočnih hraniva u prvom redu, a potom i ostalih stočnih proizvoda od kojih je mleko prioritarno.

U okviru radijaciono-higijenske ekspertize potrebno je ustanoviti nivoe aktivnosti značajnih radionuklida — prirodnih i proizvedenih. Od prirodnih radionuklida značajan je  $^{40}\text{K}$  koji je sa 0,01% zastupljen u prirodnom K, a od proizvedenih  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$ . Ovi proizvedeni radionuklidi — fisioni produkti — biološki su značajni, veoma su toksični i doprinose radijacionom opterećenju.

Zbog dugog vremena poluraspada i činjenice da se radi o izotopu elementa neophodnog za sastav kostiju treba težiti ka utvrđivanju radijacionog opterećenja stroncijumom-90 kao granične vrednosti koju čovečji organizam može tolerisati, u zavisnosti od starosti (dete — čovek). Ovim bi se stvorila mogućnost prognoziranja radijacionog opterećenja skeleta  $^{90}\text{Sr}$  kod ljudi (dece) koji konzumiraju mleko.

Drugi proizvedeni radionuklid čiji nivo aktivnosti treba utvrditi je  $^{137}\text{Cs}$ . Smatra se da je cezijum-137 u organizmu ravnomerno raspoređen. Mleko, zrnasta hrana i meso glavni su izvori ovog radionuklida. Zbog osobine čvrstog vezivanja za tlo, koncentracija  $^{137}\text{Cs}$  u biljnoj hrani je uglavnom zavisna od fallouta.

Pored prirodnih i proizvedenih radionuklida, posebnu pažnju treba posvetiti stabilnim hemijskim elementima u mleku koji su potencijalni radioaktivni kontaminanti kao posledica indukovane radioaktivnosti. Među ovim elementima najznačajniji su Ca i Fe ( $^{45}\text{Ca}$  i  $^{55}\text{Fe}$ ) zbog zastupljenosti u značajnim količinama u zemljištu dejstvom fallouta i intenzivnog neutronskega zračenja u odnosu na ostale radionuklide:  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{56}\text{Mo}$  i  $^{59}\text{Fe}$ , koji su zastupljeni u mikrokonzentracijama.

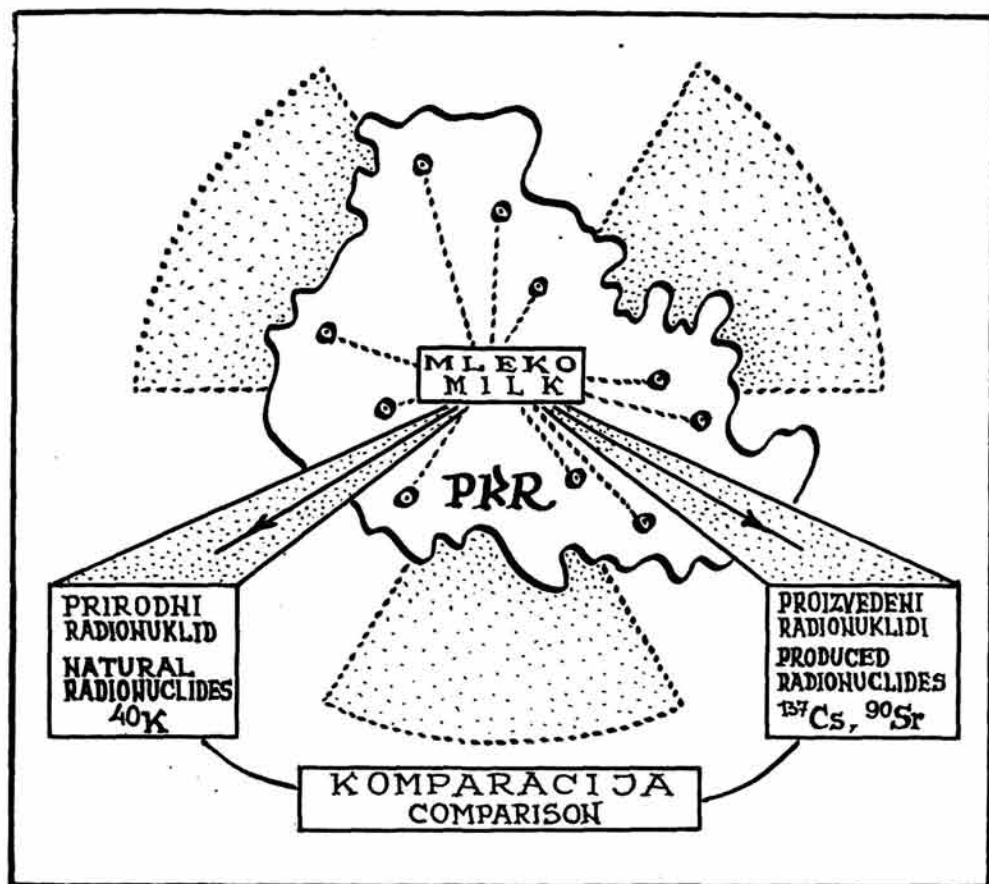
### Metodologija rada

U podrinsko-kolubarskom regionu utvrđena su 10 lokaliteta s kojih je uzeto kravlje mleko za radijaciono-higijensku ekspertizu, što je simbolično predstavljeno slikom 1.

U cilju saznanja radijacione ispravnosti i sigurnosti kravljeg mleka postavljen je osnovni zadatak u ovom radu: utvrđivanje nivoa aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  i odgovarajuća komparacija.

Nivo aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  utvrđen je iz mineralnog ostatka uzoraka kravljeg mleka koji su mineralizovani standardnom metodom suvog spaljivanja (Đurić, 1973). Distribucija mineralnog ostatka (pepela) po nameni radijaciono-higijenske analize prikazana je na naslovnoj slici.

Nivo  $A^{40}\text{K}$  u kravljem mleku utvrđen je na osnovu ukupnog K čiji je sadržaj određen metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) na aparatu tipa SP-192 ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER »PYE UNICAM«, pri talasnoj dužini od 766,5 nm (Mitrović, 1984).



Slika 1. Osnovni istraživački koncept radijaciono-higijenske ekspertize kravljeg mleka iz podrinjsko-kolubarskog regiona

Figure 1. Basic Research Conception in RH Analysis of Cow's Milk From the Podrinje-Kolubara Region

Nivo  $A^{90}\text{Sr}$  u kravljem mleku utvrđen je radiohemijski, odnosno taloženjem  $^{90}\text{Sr}$  pomoću oksalne kiseline u prisustvu Al kao nosača (Micić, 1981).

Nivo  $A^{137}\text{Cs}$  u kravljem mleku utvrđen je na višekanalnom analizatoru serije 30 »CANBERRA« (USA) po principu visine impulsa u gamaspektroskopiji, upotrebom NaJ (Tl) scintilacionog detektora 3×3 inča (Mitrović, 1984).

Za finalnu kontrolu podešavanja ovog instrumenta za rad u »normalnom« opsegu energije, koji je za mnoge gamaspektrometrijske analize od interesa u dijapazonu od 0 do 2000 KeV, upotrebljava se izvor Co-60 kao referentan. Proces podrazumeva energetska kalibraciju: uspostavljanje odnosa između broja kanala i energije fotopika.

Prvi korak je definisanje kroz podelu energetskeg opsega sa brojem upotrebljenih kanala, korelacije između energije i broja kanala. Prema već izloženom, ovom odgovara 2 KeV po kanalu upotrebom Co-60 kao kalibracionog izvora. Treba podesiti kalibraciju sistema tako da fotopik više energije (1332 KeV) bude u 666. kanalu (1332 KeV/2 KeV po kanalu = 666. kanal), a fotopik niže energije (1173 KeV) u 586. kanalu (1173 KeV/2 KeV po kanalu = 586. kanal).

Stabilnost rada sistema proveravana je preko osnovnog zračenja u toku dužeg vremenskog perioda, a efikasnost je određena metodom merenja serije standardnih izvora »Saclea« za  $^{137}\text{Cs}$ .

Postupak merenja uzoraka obavljen je određenim redosledom merenja, tako da su naizmenično mereni:

- osnovno zračenje (fon)
- standardni izvori  $^{137}\text{Cs}$
- mineralni ostatak istraživanih uzoraka (10 g).

Izmerena brzina brojanja istraživanih uzoraka za određeno vreme iskazana je kao nivo aktivnosti u Bq/kg svežeg uzorka.

### Rezultati i analiza sa diskusijom

Na osnovu izvršene radijaciono-higijenske ekspertize utvrđeni su nivoi aktivnosti biološki značajnih radionuklida. Rezultati su prikazani u tablici 1.

U prvom redu utvrđeni su nivoi UbA (ukupne beta aktivnosti), a potom i biološki značajni radionuklidi  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , čime se stekao uslov da se definišu njihovi doprinosi, što je od bitnog značaja u proceni radijacionog opterećenja mleka i pravilnog donošenja preventivnih mera radijacione zaštite.

Mleko ima specifičan sastav kojim se razlikuje od svih drugih tečnosti životinjskog ili biljnog porekla. Sastav odgovara njegovoj nameni i daje mu veliku biološku i određenu tehnološku vrednost. Mleko različitih vrsta sadrži iste komponente. Međutim, količina pojedinih sastojaka i njihov međusobni odnos mogu da budu veoma različiti (Đorđević, 1982). Na ovo ukazuju i utvrđene vrednosti nivoa aktivnosti  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  i  $^{137}\text{Cs}$ .

Nivo aktivnosti  $^{40}\text{K}$  u analiziranom kravljem mleku varijabilan je i kreće se u rasponu od 24 do 69 Bq/l svežeg uzorka. Ova varijabilnost uslovljena je u prvom redu lokalitetom s kojeg mleko potiče, odnosno rasnim sastavom mlečnih grla. Ovde svakako treba imati u vidu i kvalitet hraniva koja se koriste u ishrani mlečnih grla. Naime, podrinjsko-kolubarski region sa svojim specifičnim geografsko-geološkim položajem ima sve preduslove uklapanja sadržaja K u zemljištu u rasponu od 1 do 3,6% (Mitrović, 1984; Vogan, 1976). Obzirom na prisutnu agrotehniku u regionu, koja je uzgred rečeno veoma različita, i izrazite zahteve biljaka prema K-4 do 6 puta veće nego prema fosforu (Mitrović, 1984; Batall, 1972; Kogan, 1976) — logično je očekivati i različit sadržaj K u hranivima biljnog porekla (zelena masa, seno, silaža i sl.), a s njima i različiti nivo  $A^{40}\text{K}$  u mleku. Uzorci mleka koji potiču s lokaliteta 4, 5, 6, 9 i 10, gde je zastupljena savremena agrotehnika u uzgoju biljnih hraniva, pokazali su veće nivoe  $A^{40}\text{K}$  u odnosu na mleko s ostalih lokaliteta iz brdsko-planinskih područja gde se na prirodnim livadama izvode mlečna grla na ispašu. Ako bi se napravila komparacija utvrđenih

Tablica 1. Osnovni radijacioni pokazatelji u RH ekspertizi mleka  
 Table 1. Elementary Radioactivity Indicators in RH Analysis of Milk

Radijaciona veličina Radioactive value (constant)	LOKALITET SITE										Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
U <sup>235</sup> A	31	35	29	59	71	64	42	31	50	53	46
T <sup>232</sup> A											
A <sup>40</sup> K	28	33	24	58	69	62	39	27	48	50	43
K-40 radioactivity											
D <sup>40</sup> K <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	90	94	89	98	97	97	93	87	96	94	93
S <sup>40</sup> K <sup>0</sup> / <sub>0</sub> (K-40 share)											
ObA	3	2	3	1	2	2	3	4	2	3	2.5
RbA (Residual-β-activity)											
A <sup>137</sup> Cs	0.72	0.26	NM	0.01	NM	0.88	0.79	NM	0.14	0.31	0.3
A <sup>137</sup> Cs (Cs-137 activity)											
D <sup>137</sup> Cs <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	42	13	—	1	—	44	26	—	7	10	12.5
S <sup>137</sup> Cs <sup>0</sup> / <sub>0</sub> (Cs-137 share)											
A <sup>90</sup> Sr	1.77	1.30	1.32	NM	0.10	0.07	1.80	NM	NM	0.10	0.7
A <sup>90</sup> Sr (Sr-90 activity)											
D <sup>90</sup> Sr <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	59	10	44	—	5	3.5	60	—	—	3	18.4
S <sup>90</sup> Sr <sup>0</sup> / <sub>0</sub> (Sr-90 share)											
ΣA <sup>(137</sup> Cs + <sup>90</sup> Sr)	2.49	1.56	1.32	0.01	0.10	0.95	2.59	—	0.14	0.41	0.95
Total Cs-137 and Sr-90											
DΣA <sup>(137</sup> Cs + <sup>90</sup> Sr) <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	83	78	44	1	5	47	86	—	7	13	36.4
Total Cs-137 and Sr-90 share											
ONR											
OUR (other unidentified radionuclides)	0.51	0.44	1.68	0.99	1.90	1.05	0.41	4	1.86	2.59	0.4
DONR <sup>0</sup> / <sub>0</sub>											
SOUR <sup>0</sup> / <sub>0</sub> (share of other unidentified radionuclides)	17	22	56	99	95	52.5	14	100	93	87	63.5

nivoa  $A^{40}\text{K}$  u mleku s pomenutih lokaliteta u globalnim relacijama svedenim na prosečne vrednosti, došlo bi se do komparativnog faktora koji iznosi 2,4 ( $\approx 2,5$  puta).

Radijaciono-higijenskom ekspertizom kravljeg mleka utvrđeni su nivoi  $A^{137}\text{Cs}$  koji su kod svih analiziranih uzoraka  $< 1$  Bq/l svežeg uzorka. Posebno je ustanovljeno da nivo  $A^{137}\text{Cs}$  u mleku s lokaliteta 3, 5 i 8 nije merljiv (NM), što se s ostalim utvrđenim vrednostima koje se kreću od 0,14 do 0,8 Bq/l svežeg uzorka apsolutno uklapa u opštu radijacionu situaciju biosfere pre serije akcidenta na nuklearnim postrojenjima u Evropi (SSSR, Engleska, Nemačka i dr.).

Objašnjenje za prisutnu varijabilnost nivoa  $A^{137}\text{Cs}$  u mleku u prvom redu treba tražiti u načinu ishrane muznih grla, odnosno vrsti hraniva. Naime, poznato je da su glavni izvori ovog radionuklida zrnasta hraniva i riblje brašno (Stanković, 1983; Mitrović, 1977, 1982), pa je stoga logično izvesti zaključak da ukoliko se muzna grla hrane krmnim smešama, mogućnost prisustva ovog radionuklida u mleku je veća, a time i radijaciono opterećenje koje će uslediti u čovečjem organizmu ako takvo mleko koristi.

Nivoi  $A^{90}\text{Sr}$  u analiziranim uzorcima mleka takođe su varijabilni, a utvrđene vrednosti su  $< 2$  Bq/l svežeg uzorka, pri čemu nije bilo merljivih vrednosti za uzorke mleka s lokaliteta 4, 8 i 9. Neka ranija istraživanja su pokazala da supstance koje poboljšavaju resorpciju Ca (mleko, laktoza, amino-kiseline, lizin, arginin) povećavaju delimično i resorpciju Sr (Petrović, Đurić, Draganović, 1979). Mleko je, zbog većeg prisustva Ca, najpogodniji izvor preko koga može da dođe do radijacione ugroženosti čovečjeg organizma.

Posebno su interesantni utvrđeni komparativni faktori nivoa  $A^{137}\text{Cs}$  i  $A^{90}\text{Sr}$  i nivoa  $A^{40}\text{K}$  u odnosu na  $\Sigma A^{137}\text{Cs} + {}^{90}\text{Sr}$ . Njihove vrednosti date su u tablici 2.

Ove vrednosti imaju ulogu osnovnih pokazatelja radijacionog opterećenja analiziranog mleka biološki značajnim radionuklidima. Ukoliko su komparativni faktori veći, veće je radijaciono opterećenje određenog radionuklida na analizirani proizvod, u ovom slučaju  ${}^{90}\text{Sr}$  na mleko u odnosu na  ${}^{137}\text{Cs}$ . Utvrđeni komparativni faktori pokazuju da  ${}^{90}\text{Sr}$  vrši veće radijaciono opterećenje na mleko u odnosu na  ${}^{137}\text{Cs}$ , za 2 do 5 puta.

S obzirom da je prirodni radionuklid  ${}^{40}\text{K}$  nosilac UbA, vrlo je bitno imati uvid u komparativne faktore između  $A^{40}\text{K}$   $\Sigma A^{137}\text{Cs}$  i  ${}^{90}\text{Sr}$  koji su deo ObA i bitan su pokazatelj radijacionog opterećenja. Naime, u eventualnim pokušajima radijaciono-higijenske standardizacije mleka neophodno je obezbediti određenu selektivnost u trijažnom postupku. To praktično znači da ukoliko su vrednosti komparativnih faktora manje, veće je radijaciono opterećenje analiziranog proizvoda, u ovom slučaju mleka,  ${}^{137}\text{Cs}$  i  ${}^{90}\text{Sr}$  kroz ObA. Utvrđeni komparativni faktori su varijabilni i kreću se od 11,5 do 690, što je u vezi s lokalitetom i nizom drugih činilaca o kojima je već bilo reči.

Pri izvođenju radijaciono-higijenske ekspertize posebno je važno izvršiti odgovarajuću analizu na ostale radionuklide koji su deo ObA i u praksi se često definišu kao ostali neidentifikovani radionuklidi (ONR), što u ovom slučaju nije urađeno. Ovo je neophodno iz razloga potpunog definisanja preventivnih mera radijacione zaštite.

Tablica 2. Komparativni faktori (F kom) radijacionih veličina  
Table 2. Comparative Factors (F comp) in Radioactivity Values

F kom F com	LOKALITET SITE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F kom ( $A^{90}\text{Sr}/A^{137}\text{Cs}$ ) F com ( $^{90}\text{SrA}/^{137}\text{CsA}$ )	2	5	—	—	—	—	2	—	—	4
F kom ( $A^{40}\text{K}/A^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}$ ) F com ( $^{40}\text{KR}/T^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}$ )	11.5	21	18	—	690	65	14.6	—	343	122

### TERMINOLOŠKE SKRAĆENICE

Uba — ukupna beta aktivnost  
Tba — total beta radioactivity  
A<sup>40</sup>K — aktivnost kalijuma-40  
<sup>40</sup>KR — K-40 radioactivity  
D<sup>40</sup>K<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — doprinos kalijuma-40  
S<sup>40</sup>K<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — K-40 share  
Oba — ostala beta aktivnost  
Rba — residual beta activity  
A<sup>137</sup>CS — aktivnost cezijuma-137  
<sup>137</sup>CsA—Cs-137 activity  
D<sup>137</sup>Cs<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — doprinos cezijuma-137  
S<sup>137</sup>Cs<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — Cs-137 share  
A<sup>90</sup>SR — aktivnost stroncijuma-90  
<sup>90</sup>SrA — Sr-90 activity  
D<sup>90</sup>Sr<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — doprinos stroncijuma-90  
S<sup>90</sup>Sr<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — Sr-90 share

$\Sigma A^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}$  — ukupna aktivnost cezijuma-137 i stroncijuma-90  
T<sup>137</sup>Cs+<sup>90</sup>Sr — total Cs-137 and Sr-90  
D $\Sigma^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}^0$ /<sub>0</sub> — doprinos ukupne aktivnosti cezijuma-137 i stroncijuma-90  
ST<sup>137</sup>Cs+<sup>90</sup>Sr<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — total Cs-137 and Sr-90 share  
ONR — ostali neidentifikovani radionuklidi  
UUR — other unidentified radionuclides  
DONR<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — doprinos ostalih neidentifikovanih radionuklida  
SOUR<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — share of other unidentified radionuclides  
F kom — faktor komparacije  
F com — comparative factors

### Zaključak

- Na osnovu prezentiranog istraživačkog rada može se zaključiti:
- da je mleko proizvod koji mora da bude pod stalnom radijaciono-higijenskom ekspertizom, obzirom na činjenicu prisustva biološki značajnih radionuklida <sup>137</sup>Cs i <sup>90</sup>Sr, posebno imajući u vidu opštu radijacionu situaciju koja je danas prisutna u biosferi;
  - da su utvrđeni nivoi aktivnosti u sklopu opšte radijacione situacije u biosferi u predakcidentalnom periodu;
  - da su komparativni faktori osnovni pokazatelji radijacionog opterećenja u radijaciono-higijenskoj ekspertizi.

### Literatura

- BATALL A.: Yadernija izlučeniya i žizn, Izd. Nauka, Moskva, 1972.  
ĐORĐEVIĆ J.: Hemija i fizika mleka, »Agroekonomik«, Beograd, 1982.  
ĐURIĆ G.: Magistarski rad, Farmaceutsko-biohemijski fakultet, Zagreb, 1973.  
KOGAN P. U.: Osnovi gamma-spectrometrii prirod. sred., Izdvo. 2—6, »Atomizdat«, Moskva, 1976.  
MICIĆ G.: Magistarski rad, Veterinarski fakultet, Beograd, 1981.  
MITROVIĆ R. (1977): »Veterinaria«, 26, 4, Sarajevo.  
MITROVIĆ R.: XI Jug. sim. JDZZ, Portorož, 1981.  
MITROVIĆ R.: Doktorska teza, Veterinarski fakultet, Beograd, 1984.  
PETROVIĆ B., ĐURIĆ G., DRAGANOVIĆ B.: Radijaciona higijena animalne proizvodnje, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1979.  
STANKOVIĆ S.: XI Jug. sim. JDZZ, Ohrid, 1983.