

## ZAŠTITA STANOVNIŠTVA REPUBLIKE HRVATSKE OD AKcidentalNE RADIOAKTIVNE KONTAMINACIJE PREHRAMBENOG LANCA

N. Lokobauer, Z. Franić i A. Bauman

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska*

*Primljeno 2. lipnja, 1992.*

Prikazana je važnost istraživanja translokacije radionuklida u prehrambeni lanac, kao i značajnost pojedine prehrambene komponente u ukupnoj izloženosti stanovništva Hrvatske nakon akcidentalne radioaktivne kontaminacije. Dan je niz podataka o kontaminaciji i procjeni izloženosti populacije nakon akcidenta u Černobilju, kao i o mogućnostima dekontaminacije pojedinih prehrambenih komponenta. Podaci iz literature uspoređeni su s vlastitim istraživanjima o smanjenju radionuklida u prehrambenom lancu. Istraživanja su koncentrirana na biološki najvažnije radionuklide  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , sa svrhom da se u slučaju budućih akcidenta preventivne mjere preporučene pučanstvu temelje na principu da gubitak zbog štete koju je izazvala mjera zaštite ne bude veći od dobiti zbog mogućeg smanjenja doze.

*ključne riječi:* Černobilj, dekontaminacija, kontaminirano mlijeko, nuklearni akcident, prehrambeni lanac, radionuklidi u hrani, zaštita od zračenja

Nakon akcidenta u Černobilju istraživačima i odgovornim ljudima u području zaštite od zračenja postalo je jasno da nisu dovoljno razrađene metode za pravodobnu i potpunu zaštitu stanovništva od radioaktivne kontaminacije i to posebno kontaminacije prehrambenog lanca. Međunarodne organizacije, koje rade u području zaštite od zračenja ili se bave zaštitom hrane ili ljudskog zdravlja općenito, propisale su tada izvedene intervencijske nivoe (dopuštene specifične aktivnosti) za najznačajnije radionuklide u hrani (1).

Problem propisivanja izvedenih intervencijskih nivoa iznimno je složen s obzirom na to da su nuklearne nezgode nekontrolirani događaji pri kojima je broj, vrstu, količinu radionuklida i putove izloženosti pojedine populacije teško unaprijed predvidjeti. Međunarodne organizacije procijenile su izvedene intervencijske nivoe najkonzervativnije, odnosno s pretpostavkom da u datom trenutku najveći mogući rizik za populaciju predstavlja ispuštanje samo jednog radionuklida koji će preko samo jednog puta kontaminacije dospjeti do čovjeka (1). Iz dosadašnjih iskustava, a posebno nakon akcidenta u Černobilju, znamo da je situacija mnogo složenija. Stoga su istraživanja o translokaciji radionuklida do pojedine prehrambene komponente izuzetno važna za svaku zemlju posebno zbog specifičnosti poljoprivrednih postupaka i prehrambenih običaja (2-9).

Primjena jedne vrijednosti za izvedene intervencijske nivoe u hrani može nanijeti više štete nego koristi te se u slučaju budućih akcidenata preventivne mjere preporučene pučanstvu trebaju temeljiti na principu da gubitak zbog štete koju je izazvala mjera zaštite ne smije biti veći od dobiti zbog mogućeg smanjenja doze.

Prilikom nuklearnih akcidenata, za brzo uspostavljanje preventivnih mjera izuzetno dobro mogu poslužiti faktori prijenosa dobiveni prognostičkim modelima na temelju kojih se iz poznavanja aktivnosti radionuklida u padalinama procjenjuje njihova aktivnost u pojedinoj prehrambenoj komponenti (3, 8, 10, 11). Osim toga većina se prehrambenih proizvoda prerađuje pa veliku praktičnu vrijednost imaju istraživanja o mogućnostima smanjenja kontaminacije npr. odstranjivanjem vanjskih listova, pranjem, kuhanjem, obradom zrna pšenice, preradom mlijeka, dekontaminacijom mesa itd. (2, 12-15).

Kao što prehrambeni lanac ima važan udio u izloženosti ljudi nakon nuklearnog akcidenta tako i pojedine prehrambene komponente unutar prehrambenog lanca mogu dovesti do značajnih izloženosti zbog specifičnog nakupljanja pojedinih radionuklida ili količine unosa koji se razlikuje ovisno o prehrambenim običajima.

### Mlijeko

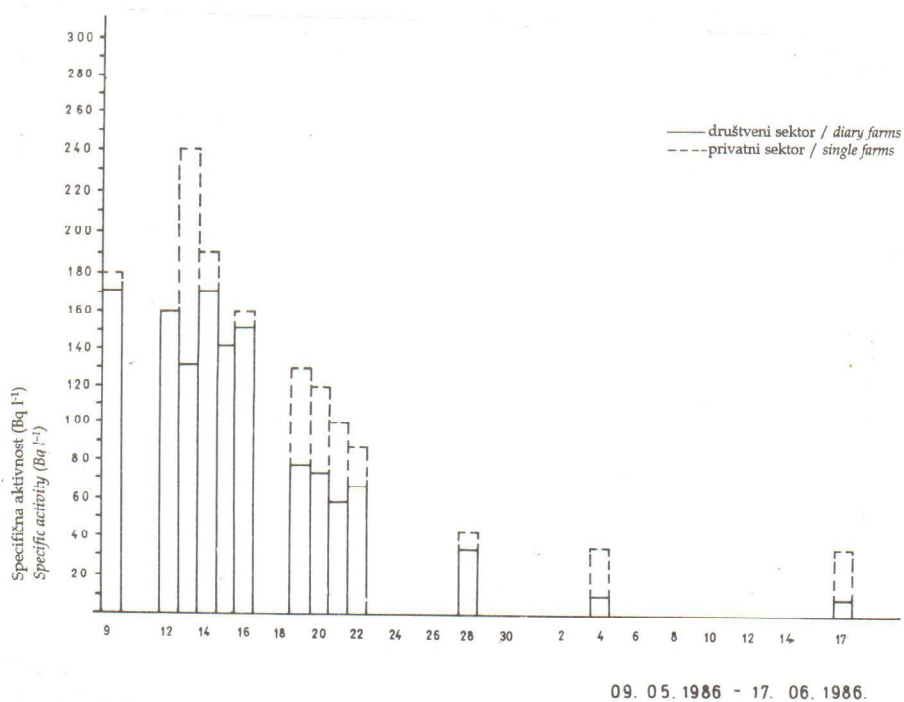
Od vremena intenzivnih nuklearnih testiranja i prvih akcidenata na nuklearnim postrojenjima do danas ponašanje biološki najvažnijih radionuklida ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) u okolini proučavano je širom svijeta i to posebno na putu: padaline - vegetacija - mlijeko (3, 4, 16-19). Mlijeko je jedna od najvažnijih prehrambenih komponenata u većini zemalja svijeta koja se skuplja, prerađuje i konzumira svakodnevno te može dobro poslužiti kao indikator nivoa kontaminacije u okolini (20). Osim toga mlijeko je jedina ili glavna prehrambena komponenta za djecu i omladinu, kao najosjetljiviju populacijsku skupinu (21).

Na temelju istraživanja provedenih u Republici Hrvatskoj nakon akcidenta u Černobilju procijenjeno je da je mlijeko bilo kritična prehrambena komponenta za djecu (2) što povećava važnost poznavanja mjera za smanjenje njegove kontaminacije u slučaju budućih akcidenata.

Prva mjera za zaštitu stanovništva od ingestije kontaminiranog mlijeka jest dobra suradnja institucija za radiološku zaštitu s mljekarama koje u Republici Hrvatskoj potpuno kontroliraju proizvodnju, preradu i promet mlijeka i mliječnih proizvoda naveliko. Poznato je da u slučaju neposrednog taloženja radionuklida na pašnjake trava i djetelina predstavljaju kolektor radionuklida. Primjena ostalih vrsta stočne hrane (kukuruz, silaža, prošlogodišnje sijeno) može stoga znatno smanjiti kontaminaciju mlijeka. Važnost strukture prehrane stoke u procesu prijenosa radionuklida od stočne hrane do mlijeka prikazana je slikama 1. i 2. na primjeru kontaminacije mlijeka društvenog i privatnog sektora iz Osijeka nakon akcidenta u Černobilju. Prehrana stoke hranom sačinjenom i od prošlogodišnjih usjeva značajno je smanjila kontaminaciju mlijeka u društvenom sektoru. To pokazuje da je nakon akcidenta u Černobilju uspostavljena odlična suradnja s mljekarama u Hrvatskoj. Isključiva prehrana stoke na pašnjacima dovela je do povećane kontaminacije mlijeka u privatnom sektoru.

Ako u mljekaru dode radiološki kontaminirano mlijeko, tehnološki postupak prerade treba prilagoditi putovima raspodjele radionuklida iz mlijeka u prerađevine da bi se dobili proizvodi s minimalnim sadržajem radionuklida. Niz istraživača bavio se problemima prijenosa radionuklida iz stočne hrane u mlijeko i mliječne prerađevine (4, 14, 22), no značajna istraživanja proveli su u posljednje vrijeme Wilson i suradnici (23) i Assimukopoulos i suradnici (24).

Rezultati autorice Wilson i suradniku (23) upućuju na to da u tvrdi sir od kravljeg mlijeka ulazi samo 4,5% radioaktivnog cezija ( $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ ) prisutnog u mlijeku. U vrhnje

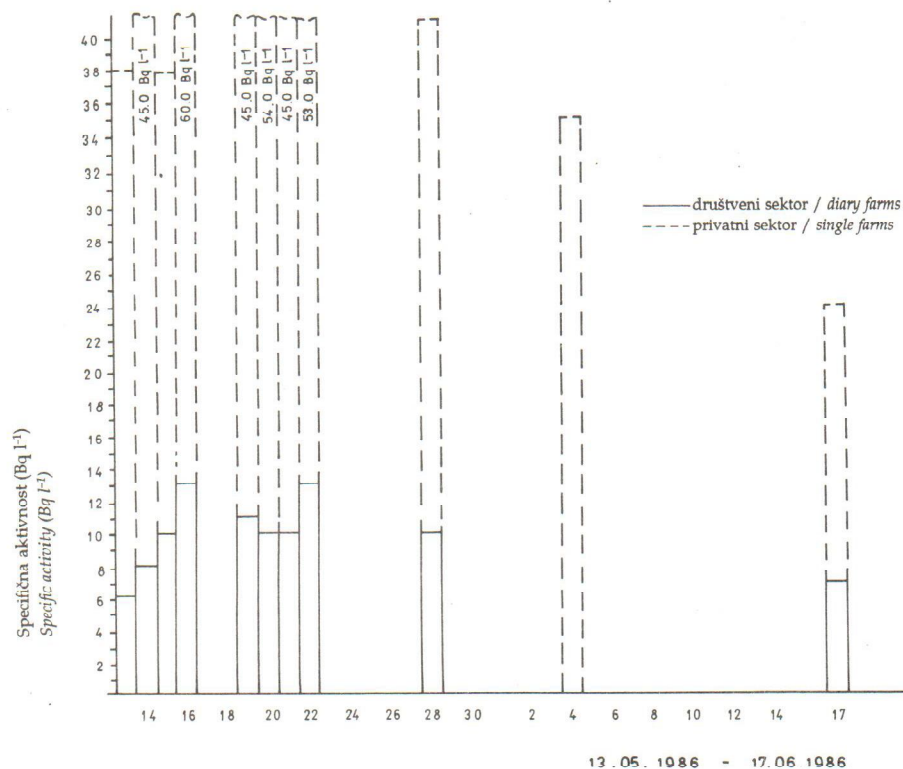


Slika 1 Specifična aktivnost <sup>131</sup>I u mlijeku (Osijek)  
Figure 1 <sup>131</sup>I specific activity in milk (Osijek)

ulazi 2,7% radioaktivnog cezija, a u maslacu ga ostaje samo 0,4%. U grušu od obranog mlijeka ostaje manje od 5% cezija.

Assimakopoulos i suradnici (24) proučavali su prijenos radioaktivnog cezija i joda (<sup>131</sup>I) u proizvodnji ovčjeg sira. Poznato je da je nakon nuklearnih akcidenata poseban problem zaštita proizvoda dobivenih od životinja u slobodnom uzgoju (25). Budući da se one hrane isključivo na paši (ovce i koze), a daju znatno manje mlijeka od krava, postotak od dnevno unesenih radionuklida može u mlijeku biti nekoliko desetaka puta viši (26). Assimakopoulos i suradnici uočavaju značajne razlike u ponašanju joda i cezija u toku prerade mlijeka (24). Jod se prenosi u mliječne proizvode jednoliko slijedeći striktno njihov maseni udio, dok se cezij koncentrira u vodenim otopinama. To se može pripisati kemijskoj prirodi joda koji tvori kovalentne veze s organskim tvarima pa to sprečava njegov prijelaz u vodenu fazu u ionskom obliku.

Na temelju istraživanja provedenih nakon akcidenta u Černobilju (14) u Karlovačkoj industriji mlijeka, mogu se u slučaju akcidenta predložiti dvije sheme za preradu kontaminiranog mlijeka. Po prvoj se mlijeko tipizira na željeni postotak masti i preradi u neki od tvrdih sireva. Po drugoj se mlijeko najprije obere pa se od vrhnja proizvede maslac. U obrano mlijeko može se emulgirati dekontaminirana mliječna mast te proizvesti opet tvrdi sir s niskim sadržajem radionuklida.



Slika 2 Specifična aktivnost <sup>137</sup>Cs u mlijeku (Osijek)

Figure 2 <sup>137</sup>Cs specific activity in milk (Osijek)

Što se tiče dekontaminacije mlijeka s obzirom na relativno kratkoživući <sup>131</sup>I prihvatljiva je metoda proizvodnja mlijeka u prahu.

#### Žitarice

Interna radioaktivna kontaminacija ljudi ovisi s jedne strane o stupnju kontaminacije hrane, a s druge strane o dijetalnim navikama stanovništva. Na temelju podataka o strukturi prehrane prosječnog stanovnika Hrvatske žitarice mogu biti važan izvor stroncija i cezija. To se najbolje vidi iz podataka istraživanja provedenih na našem području u godinama intenzivnih nuklearnih testiranja kada su žitarice bile najvažniji interni kontaminant (8).

Nakon akcidenta u Černobilju kontaminacija pšenice s <sup>137</sup>Cs bila je gotovo 100 puta veća nego prethodnih godina, a kontaminacija s <sup>90</sup>Sr pet puta veća nego u 1985. godini (2). Zbog značajnog unosa ove prehrambene komponente po stanovniku na našem pod-

ručju (153 kilograma na godinu) unos radioaktivnog cezija pšeničnim brašnom i mlijekom bio je približno jednak (2, 27).

Poznato je da se radionuklidi različito rasprostranjuju u biljci. Što se tiče pšenice najveća količina radionuklida nalazi se u pljevi (8, 28) tako da o postupku mljevenja ovisi koliko će radionuklida ući u organizam čovjeka sa pšeničnim brašnom. Za primjer mogu poslužiti podaci o specifičnoj aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u brašnu tipa T-500 (manja količina pljeve) i T-850 (veća količina pljeve) prikazani na tablici 1 (29). Dakle tehnološkim postupkom mljevenja možemo znatno smanjiti kontaminaciju brašna, a populacija bi primila oko 30% aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  manje konzumacijom brašna tipa T-500 nego T-850 (30).

Tablica 1. Specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u brašnu ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (29)  
Table 1  $^{137}\text{Cs}$  specific activity in flour ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (29)

Uzorak/Sample	Brašno/Flour	
	T-500	T-850
1	<9,0	11,0
2	24,1	36,4
3	21,6	27,8
4	<9,0	9,9
5	<9,0	19,0
6	22,0	29,5
7	<9,0	<9,0
8	<9,0	<9,0

Dugogodišnja istraživanja specifične aktivnosti  $^{90}\text{Sr}$  u pšeničnom brašnu na području Zagreba i Osijeka pokazuju da je omjer  $^{90}\text{Sr}$  po gramu kalcija u pšeničnom brašnu približno jednak 1/6 onoga u pšeničnom zrnu. Taj je omjer približno 1/5 za područje Zadra (8).

Dakle, u slučaju nuklearnih akcidenata prehrana crnim kruhom značila bi veći rizik za populaciju.

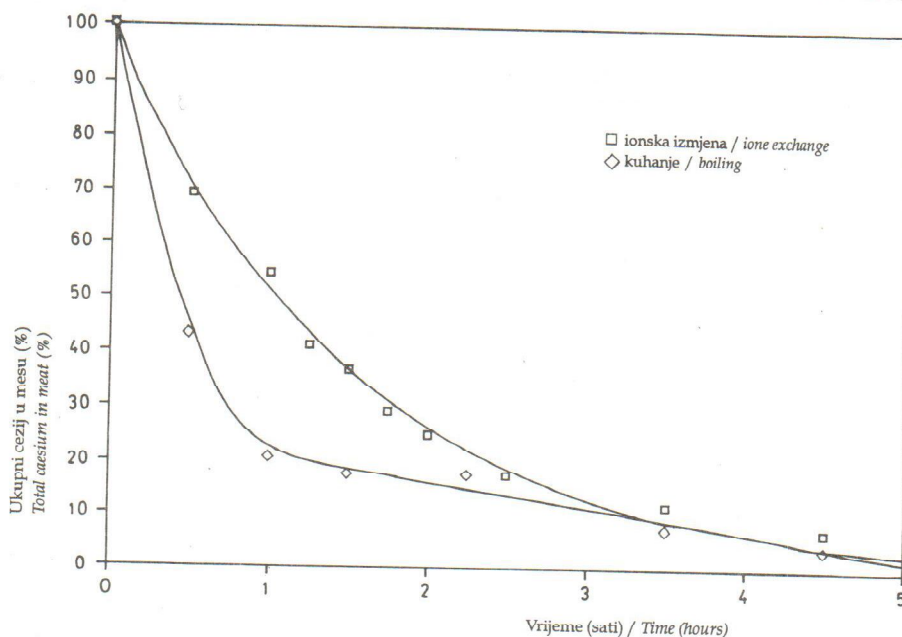
#### Meso

Karakteristike cezija ( $^{137}\text{Cs}$ ) kao radionuklida dugog vremena poluraspada koji se lako prenosi iz stočne hrane u meso svrstavaju ovu prehrambenu komponentu među animalne proizvode kojima treba posvetiti posebnu pozornost.

Prema podacima Aarkroga (19) specifična aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  u govedem i telećem mesu u korelaciji je s aktivnošću u mlijeku i to tako da je aktivnost u mesu 4-5 puta veća od one u mlijeku. Meso je dakle u slučaju nuklearnih akcidenata važan izvor  $^{137}\text{Cs}$  u ljudskoj prehrani.

Nakon akcidenta u Černobilju na području Hrvatske najmanja aktivnost  $^{137}\text{Cs}$  zabilježena je u svinjskom mesu što je povezano s minimalnom kontaminacijom ječma koji je važan sastojak hrane svinja (13). Maksimalne aktivnosti cezija nađene su u mesu divljači i sitnih preživača (ovce i koze) zbog načina njihovog života i prehrane hranom koja nije izmijenjena poljoprivrednom obradom (9).

Meso strukturno kontaminirano cezijem ( $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ ) može se u svakom domaćinstvu uspješno dekontaminirati stavljanjem u rasol i kuhanjem (15) što je prikazano na slici 3. Specifična aktivnost  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$  već se nakon 3,5 sati smanjuje stavljanjem u rasol na



Slika 3 Dekontaminacija radiocezija ( $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ ) iz prethodno zamrznutog mesa  
Figure 3 Decontamination of radiocaesium ( $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ) from frozen meat

10% od početne aktivnosti ako je meso prije bilo zamrznuto. U literaturi se navodi da se kuhanjem svježeg mesa može odstraniti 60–80% radioaktivnog cezija (31). Prema istraživanjima prikazanim na slici 3. nakon 4,5 sati kuhanja mesa koje je prethodno bilo duboko zamrznuto specifična aktivnost  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$  padne na manje od 5% početne vrijednosti. Dakle, duboko zamrzavanje mesa koje bi prethodilo stavljanju u rasol i kuhanju može bitno skratiti vrijeme dekontaminacije. Zamrzavanjem se oštećuje struktura tkiva formiranjem kristalića leda pri čemu je olakšana izmjena iona cezija i natrija.

#### Povrće i ostali prehrambeni proizvodi

Do kontaminacije usjeva, pa tako i povrća biološki važnijim radionuklidima dolazi folijarnim taloženjem ili prijenosom ovih radionuklida iz tla u pojedine dijelove biljaka. U godinama neposredno nakon intenzivnih nuklearnih testiranja ili nuklearnih akcidenta direktno taloženje radionuklida na nadzemni dio biljke najvažniji je put kontaminacije čovjeka. U kasnijim godinama veću pozornost treba posvetiti prijenosu radionuklida iz korijenja (6). Količina radionuklida koju čovjek unosi s povrćem ovisi o ulozi različitih dijelova biljke u njegovim prehrambenim običajima. Radionuklidi folijarno nataloženi na povrće mogu se djelotvorno odstraniti pranjem i kuhanjem. Količina tako odstranjenih

radionuklida razlikuje se s obzirom na individualne tehnike, pa je teško uopćavati. Na tablici 2. prikazani su podaci o odstranjivanju  $^{131}\text{I}$  s pojedine vrste povrća pranjem i kuhanjem (12). Djelotvornost smanjenja radionuklida ovisi o vremenu proteklom od taloženja radionuklida do pranja.

Tablica 2 Odstranjivanje  $^{131}\text{I}$  s površine povrća pranjem i kuhanjem (12)  
Table 2 Removal of  $^{131}\text{I}$  from vegetable surface by rinsing and boiling (12)

Povrće Vegetable	% uklonjene aktivnosti % removed activity		
	Pranje (15 min)* Rinsing (15 min)	Pranje (20 sati)* Rinsing (20 hours)	Kuhanje (15 min)* Boiling (15 min)
grašak green beans	67 (46-90)	33 (32-36)	77 (65-96)
rajčica tomatoes	77 (54-95)	51 (47-56)	85 (51-92)
zelena salata leaf lettuce	81 (65-93)	34 (26-49)	
celer celery	47 (43-55)	34 (32-37)	77 (72-86)
cvjetača cauliflower	70 (48-87)	64 (60-69)	88 (85-90)
paprike peppers	56 (53-59)		66 (66-68)

\* Vremenski interval između kontaminacije uzoraka radioaktivnim obilježivačem i primjene odgovarajuće metode za dekontaminaciju. Brojevi u zagradama označavaju interval dobivenih vrijednosti.

\* Time interval between spraying with the radioactive tracer and the application of the removal treatment method. Numbers in parentheses represent the range of values observed.

Na temelju istraživanja smanjenja specifične aktivnosti  $^{131}\text{I}$  na lisnatom povrću u Hrvatskoj nakon akcidenta u Černobilju procijenjeno je da nakon odstranjenja vanjskih listova i pranja ostaje približno 50% ovog radionuklida (2).

Povrće na usjevnim površinama najdjelotvornije se može zaštititi od neposredne kontaminacije uzgojem u staklenicima (32).

Osim folijarno, biljke se mogu kontaminirati resorpcijom radionuklida iz tla preko korijena. Resorpcija radionuklida iz tla ovisi o kemijskom obliku radionuklida, fizikalno kemijskim činiocima tla te metaboličkim prohtjevima biljke (5). Prema podacima koji se odnose na procjenu doze zračenja ingestijom cezija i stroncija za populaciju Hrvatske u godinama nakon akcidenta u Černobilju (33) može se procijeniti da se cezij čvršće veže u tlu od stroncija što potvrđuju i literaturni podaci (4, 34). Resorpciju cezija i stroncija iz tla u biljke moguće je smanjiti upotrebom umjetnih gnojiva s povećanim sadržajem kalija i kalcija.

**Jaja.** Istraživanja nakon akcidenta u Černobilju pokazala su da se radionuklidi distribuiraju u jajetu tako da ih se najviše koncentriraju u bjelanjku.

**Ulje.** Prilikom tehnološkog procesa prerade ulja (13) iz uljane repice dolazi do povećane koncentracije  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u sačmi, ali do minimalne aktivnosti u jestivom ulju. Ako

stoka konzumira veće količine sačme uljane repice kontaminacija može posredno postati opasnom.

*Divljač.* U slučaju povećanog taloženja radionuklida na određeno područje potrebno je upozoriti na pojavu kumulacije dugoživućih radionuklida u višegodišnje biljke. Time se posebno ugrožava lanac prehrane: lišajevi, mahovina - divljač - čovjek. Međutim, iako je nakon akcidenta u Černobilju kontaminacija mesa divljači na našem području višestruko povećana ova vrsta mesa zbog male konzumacije nije bila rizična prehranbena komponenta (9).

*Čaj.* Sanitarno značenje nagomilavanja radionuklida u pojedinim biljkama raste kada se dijelovi višegodišnjih biljaka rabe u prehrani ljudi. Kao primjer može poslužiti čaj koji u razdoblju intenzivnih taloženja radionuklida sadržava nekoliko puta više radionuklida od jednogodišnjih biljaka. Mala konzumacija ovih biljaka, kao i mali dio koji se eluira u tekućinu za vrijeme kuhanja smanjuje rizik (35).

*Gljive.* Neke vrste gljiva selektivno nakupljaju radionuklide, i to osobito radiocezij, npr. ciganček (*Rozites caperata*) i ljubičasta gljivica (*Laccaria amethystina*). Srećom, vrganji (*Boletus edulis*) i lisičice (*Cantharellus cibarius*), vrste koje se najčešće skupljaju i konzumiraju na našem području, minimalno resorbiraju cezij, te njihova konzumacija zbog vrlo malene radioaktivne kontaminacije nije opasna (36).

Zadnje tri godine istraživanja o mogućnostima smanjivanja kontaminacije prehranbenog lanca intenzivno se nastavljaju istraživačkim radovima na projektu »Uklanjanje radioaktivnosti i teških metala iz hrane«. Projekt je ugovoren s Agencijom za zaštitu okoline Sjedinjenih Država i uključuje najznačajnije prehranbene industrije u Republici Hrvatskoj: »Podravku« iz Koprivnice, »KIM« iz Karlovca, »Kutjevo« iz Kutjeva. Istraživanja su posebno usredotočena na uklanjanje radionuklida iz prehranbenih proizvoda tijekom industrijske prerade.

#### LITERATURA

1. *World Health Organization, WHO.* Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food, Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from major radiation accident. Geneva 1988.
2. Lokobauer N. Radioaktivna kontaminacija i procjena rizika nakon nuklearnog akcidenta (Disertacija). Zagreb: Prehranbeno biotehnoški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1988.
3. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, UNSCEAR.* Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. New York, 1988.
4. *World Health Organization, WHO.* Selected Radionuclides. Geneva, 1983.
5. Eisenbud M. Environmental Radioactivity. New York: Academic Press, 1973.
6. Fowler EB. Radioactive Fallout, Soils, Plants, Man. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1965.
7. Russell SR. Deposition of strontium-90 and its content in vegetation and in human diet in United Kingdom. Nature 1958; 182: 834-9.
8. Lokobauer N. Efekti translokacije Sr-90 i Cs-137 u životnoj okolini na populaciju SR Hrvatske (Magistarski rad). Zagreb: Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1984.
9. Marović G. Procjena nuklearnog akcidenta pomoću bioindikatora (Disertacija). Tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1990.
10. Lokobauer N, Bauman A, Kurtanjek Ž. Prognostički modeli za procjenu aktivnosti <sup>90</sup>Sr i <sup>137</sup>Cs u lancu ljudske prehrane. U: Zbornik radova XIV jugoslavenskog simpozija za zaštitu od zračenja. Novi Sad, 1987: 103-6.
11. Lokobauer N, Bauman A, Kurtanjek Ž, Maračić M. Prediction model for <sup>90</sup>Sr level in milk. Arh hig rada toksikol 1987; 38: 223-9.



12. Till EJ, Meyer RH, ur. Radiological Assessment. Washington DC.: US Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-3332, 1983.
13. Lokobauer N, Bauman A. Stočna hrana, nuklearne eksplozije i nuklearni akcidenti. Krmiva 1988; 30: 3-12.
14. Cindrić M. Utjecaj povećane radioaktivnosti na radiološku kontaminaciju mlijeka (Magistarski rad). Zagreb: Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1989.
15. Franić Z, Senčar J, Bauman A. Dekontaminacija govedeg mesa strukturno kontaminiranog cezijem. Hrana i Ishrana 1991; 32: 5-6.
16. Bartlett BO, Russell SR. Prediction of future levels of long-lived fission products in milk. Nature 1972; 209: 1062-5.
17. Gaglione P, De Bortoli M. Predictions of  $^{90}\text{Sr}$  levels in milk on the basis of deposition values. Health Phys 1971; 21: 217-26.
18. Lalit BY. The relationship of the strontium-90 to caesium-137 activity ratio in milk to the rate of fallout from nuclear tests. Health Phys 1974; 27: 565-9.
19. Aarkrog A. Environmental Studies on Radioecological Sensitivity and Variability with Special Emphasis on the Fallout Nuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . Denmark-Roskilde: Riso National Laboratory, 1979.
20. International Atomic Energy Agency, IAEA. Measurement of Radionuclides in Food and Environment. Technical Reports Series No. 295 IAEA, Beč 1989.
21. Venuti Campos G, Felici A, Grisanti G, Risica S. Radioactivity in human milk. Ann Ist Super Sanita 1990; 26: 111-8.
22. Aarkrog A. Pathways of radiocesium to man. Working Group on Health Hazards from Caesium and Other Long Lived Radionuclides Related to Chernobyl. Ulm, 1987.
23. Wilson GL, Bottomley CR, Satton MP, Sisk Hc. Transfer of radioactive contamination from milk to commercial dairy products. Journal of the Society of Dairy Technology 1988; 41: 10-3.
24. Assimakopoulos AP, Ioannides GK, Paradopoulou VC. Transport of the Radioisotopes Iodine-131, Cesium-134 and Cesium-137 from the Fallout Following the Accident at the Chernobyl Nuclear Reactor into Cheese and Other Cheesemaking Products. J Dairy Sci 1987; 70: 1338-43.
25. Marović G, Lokobauer N, Bauman A. Risk Estimation of Radioactive Contamination after the Chernobyl Accident Using Bioindicators. Health Phys 1992; 62: 332-7.
26. Cragle RG. Uptake and excretion of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{42}\text{K}$  in lactating dairy cows. J Dairy Sci 1961; 44: 352-6.
27. Savezni zavod za statistiku. Statistički godišnjak Jugoslavije. Beograd: Savezni zavod za statistiku, 1983.
28. Radovanović RG. Translokacija  $^{137}\text{Cs}$  u glavnim fazama ciklusa animalne proizvodnje pod uslovima hronične kontaminacije životne sredine (Disertacija). Beograd: Veterinarski fakultet, 1974.
29. Lokobauer N, Bauman A, Marović G. Kontaminacija žitarica radioaktivnim tvarima stvorenim nakon nuklearnih eksplozija i akcidenta u Černobilu. U: Zbornik radova V savjetovanja tehnologa sušenja i skladištenja. Toplice Topusko, 1989: 108-14.
30. Lokobauer N, Bauman A, Cesar D, Petroci Lj.  $^{137}\text{Cs}$  Levels in Wheat Flour in SR Croatia after the Chernobyl Accident. U: Current Problems and Concerns in the Field of Radiation Protection. Proceedings of XIV Regional Congress of IRPA, Kupari, 1987: 105-6.
31. Wahl R, Kallee E. Decontamination puts meat in a pickle. Nature 1986; 323: 208.
32. Bauman A, Lokobauer N, Marić Z. La protection des cultures légumières contre les retombées radioactives par les serres verre et plastique (Greenhouses for the Protection of Vegetable Crops against Radioactive Fall-out). Plasticulture 1989; 1: 9-18.
33. Lokobauer N, Bauman A, Marović G. Translocation of Fission Products in the Human Food Chain of the Republic of Croatia during the Period from 1986 to 1989. Proceeding of the International Symposium on Post-Chernobyl Environmental Radioactivity Studies in East European Countries, Kazimierz 1990. Ljubljana: Józef Stefan Institute, 1991: 96-9.
34. Norman AG. Radioisotopes in soils and plants. In: Caldecott RS, Snyder LA, ur. Radioisotopes in the Biosphere. Minneapolis: University of Minnesota, 1960.
35. Gedikoglu A, Sipahi BL. Chernobyl radioactivity in Turkish tea. Health Phys 1989; 56: 97-101.
36. Franić Z, Senčar J, Bauman A. Caesium radioactivity in mushrooms in Northwest Croatia. Period biol, 1992; 94: 115-20.

*Summary*

PROTECTION OF THE CROATIAN POPULATION FROM ACCIDENTAL RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE FOOD CHAIN

The paper indicates the importance of investigating radionuclide translocation in the human food chain, and the contribution of selected food components in total exposure of the population after accidental radioactive contamination. Data on radioactive contamination and risk assessment of the Croatian population after the Chernobyl nuclear accident are given and possibilities of decontamination of food chain components are discussed. Literature data on radionuclide removal from the human food chain are compared to the results of own investigations. Emphasis is placed on biologically most important radionuclides,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and the most effective means of protection are sought. The preventive measures following a nuclear accident should be based on the cost-benefit principle i.e. the damage from applying radiation protection measures should not exceed the benefit from possible dose reduction.

*Institute for Medical Research and Occupational Health University of Zagreb,  
Zagreb, Croatia*

*Key terms:* contaminated milk, Chernobyl, decontamination, food chain, nuclear accident, radiation protection, radionuclides in the human food chain