

Pregledni rad

## AKTUALNA IZLOŽENOST OPĆE POPULACIJE U HRVATSKOJ IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU

Gordana MAROVIĆ, Zdenko FRANIĆ, Ivica PRLIĆ, Božena SKOKO, Gina BRANICA  
i Jasminka SENČAR

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska*

Primljeno u kolovozu 2010.  
Prihvaćeno u rujnu 2010.

Od vremena otkrića radioaktivnosti i postepenog ovladavanja i iskorištavanja pojava vezanih uz radioaktivnost razvijala se i ideja o potrebi zaštite od ionizirajućeg zračenja. Zaštita od zračenja razvila se u sustavnu djelatnost, a danas je to razvijena doktrina i znanstvena disciplina koja holističkim pristupom vodi brigu o zračenju, o ljudima izloženima zračenju, ali istodobno i o ljudskom okruženju i o okolini. Razvojni trendovi znanosti o zračenju, zaštite od zračenja i tehnološkog područja koje se njima bavi, neprestano unose nove sastavnice u doktrinu zaštite od zračenja, što novim preporukama dovodi do minimiziranja izlaganja zračenju.

Radiološke nesreće dodatno senzibiliziraju ljude na opasnosti od ionizirajućeg zračenja. Nuklearne nesreće, kao ona u Černobilu 1986. godine, postavljaju pred cjelokupnu zajednicu pitanja o granicama doza ionizirajućeg zračenja, kako na lokalnoj tako i na međunarodnoj razini. Svakodnevni intenzivni promet robe, ljudi i usluga dodatno otkriva probleme vezane uz ograničavanja koja su nužna u slučaju mogućih nuklearnih nesreća većih razmjera. No, istodobno postavlja se pitanje i o uspostavi i održavanju jednako vrijednih standarda radiološke zaštite.

Brojnim propisima i preporukama pokušava se urediti život i djelatnost ljudi u stvarnom životnom okruženju na način da se minimiziraju rizici i očuva radiološka čistoća habitata.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba (IMI) ovlašten je za obavljanje stručnih poslova zaštite od ionizirajućeg zračenja. Suradnici Jedinice za zaštitu od zračenja IMI različitim analitičkim metodama određuju aktivnost bilo kojeg radionuklida u bilo kojem uzorku, kao i doze ionizirajućeg zračenja u bilo kojoj točki prostora. Tako npr. provode gamaspektrometrijske analize uzoraka za utvrđivanje koncentracije aktivnosti radiocezija u uzorcima namirnica, kao i u uzorcima predmeta opće uporabe namijenjenim izvozu ili onih uvezenih u Hrvatsku. Izdaju se mišljenja - certifikati u kojima se poziva na preporuke i mišljenje Europske zajednice, kao i na nacionalnu legislativu.

**KLJUČNE RIJEČI:** *efektivna doza, procjena doze, putovi izloženosti, zaštita od zračenja*

### *Mogući putovi izlaganja*

Svaki od različitih načina ili putova (engl. *exposure pathways*) izlaganja ljudi radioaktivnim supstancijama rezultira određenim djelovanjem na različite dijelove tijela. Kako bi se kvantificirale eventualne posljedice, moraju se analizirati potencijal i učinci izlaganja za tri osnovna moguća puta izlaganja različitim radionuklidima prisutnim u okolišu. Ti putovi jesu: izravna (vanjska) izloženost ionizirajućem zračenju, inhalacija i ingestija.

### *Izravna (vanjska) izloženost*

Kod vanjske izloženosti ionizirajućem zračenju najveća je opasnost gama-zračenje. Stoga se pri zaštiti od vanjske izloženosti optimiziraju tri osnovna principa zaštite od zračenja: trajanje izlaganja, udaljenost od izvora zračenja te zaklanjanje. Relevantna veličina za proračun rizika od vanjske izloženosti jest brzina apsorbirane doze u zraku, odnosno iz brzine doze izračunana ekvivalentna efektivna doza za promatrano razdoblje.

### Inhalacija

Inhalacija se odnosi na unos u tijelo radioaktivnog materijala udisanjem u promatranom razdoblju, a relevantna veličina je efektivna doza. Kod inhalacije pažnja se ponajprije mora obratiti na kontaminiranu prašinu, dim, ili plinovite radionuklide kao što je radon. Najveća su opasnost pri inhalaciji radionuklidi koji emitiraju alfa i beta-čestice budući da one lokalnom tkivu mogu isporučiti znatne količine energije.

Mjere usmjerene reduciranju potencijala izlaganju radionuklidima inhalacijom uključuju jasno definiranje vrijednosti dopuštene emisije radiološkog onečišćenja u zrak, mjere za sprječavanje resuspenzije radionuklida prisutnih u tlima, mjere za smanjivanje koncentracija aktivnosti radona u zatvorenim prostorima i sl.

### Ingestija

Ingestija se odnosi na unos radioaktivnog materijala u tijelo gutanjem u promatranom razdoblju, a relevantna veličina je efektivna doza. Čimbenici koji mogu dovesti do ingestije radionuklida jesu:

- radiološka kontaminacija prehrambenog lanca u bilo kojoj sastavnici – npr. pitka voda kontaminirana radionuklidima, onečišćenje podzemne vode, bilja, životinja itd.,
- ratarska i druga djelatnost u blizini kontaminiranog tla,
- lokalni uzgoj voća i povrća koje apsorbira radioaktivnost iz tla,
- uporaba vode za zalijevanje bilja kontaminirane radionuklidima,
- uzgoj stoke,
- konzumacija morske i slatkovodne biote u slučaju kontaminacije vode radionuklidima,
- kupanje, plivanje i druge aktivnosti povezane s kontaminiranom vodom,
- ostali putovi unosa radionuklida u tijelo gutanjem.

Mjere usmjerene reduciranju potencijala izlaganju radionuklidima ingestijom uključuju jasno definirane vrijednosti dopuštenih maksimalnih granica koncentracija radioaktivnih tvari u namirnicama i dr. te ograničavanje konzumacije kontaminirane hrane.

### Izloženost ljudi medicinskim pretragama i terapiji

Sasvim posebno mjesto pri opisu izloženosti ljudi zauzimaju izvori ionizirajućeg zračenja proizvedeni ljudskom rukom, tzv. otvoreni izvori ionizirajućeg zračenja, koji se u medicini rabe u dijagnostičke i tera-

pijske svrhe. Oni se prilikom liječenja, tj. medicinske aplikacije na bolesnicima unose u tijelo na način koji nije niti ingestija niti inhalacija već injektiranjem.

### ZAKONODAVNI OKVIR

Europska je zajednica (EZ) odmah nakon nesreće u Černobilu ograničila protok robe uspostavljanjem kriterija aktivnosti radiocezija od 1000 Bq kg<sup>-1</sup> za mliječne proizvode i 1250 Bq kg<sup>-1</sup> za ostale namirnice. Ubrzo je međutim pooštrila te kriterije na 370 Bq kg<sup>-1</sup> za mliječne proizvode i 600 Bq kg<sup>-1</sup> za ostale namirnice (1, 2). Prema zahtjevu Europske komisije, svaku robu namijenjenu uvozu u zemlje Europske Unije moraju pratiti certifikati u kojima stoji da “akumulirana radioaktivnost <sup>134</sup>Cs i <sup>137</sup>Cs ne prelazi gore navedene vrijednosti” (slika 1).

18. I, undersigned, certify that the accumulated radioactivity level in terms of caesium 134 and 137 for the products described above does not exceed:				
370 Bq/kg for milk and milk products and for foodstuffs intended for the special feeding of infants, and 600 Bq/kg for all other products listed in the current Commission Regulation relating to Council Regulation (EEC) No 737/90 (1)				
Place	Date	Name (in block letters)	Signature (1)	Stamp+cachet (2)
(1) Delete as appropriate				
(2) Signatures and stamps must be in a different colour from that of the text.				

**Slika 1** Prikaz dijela certifikata o koncentraciji aktivnosti <sup>134</sup>Cs i <sup>137</sup>Cs u proizvodima namijenjenima Europskoj Uniji, a koji je svojim propisima dizajnirala Europska komisija.

Arapske su zemlje ograničile uvoz robe podrijetlom iz Europe u kojima je koncentracija aktivnosti radiocezija viša od 50 Bq kg<sup>-1</sup> (neke čak i od 20 Bq kg<sup>-1</sup>). Srbija i Crna Gora definirale su među ostalim i izuzetno nisku koncentraciju aktivnosti od svega 5 Bq kg<sup>-1</sup> <sup>137</sup>Cs kao maksimalno dopuštenu vrijednost u naporima (3).

Područje zaštite od zračenja jedno je od zakonskim aktima uređenijih područja u Republici Hrvatskoj. Poštivanjem međunarodnih preporuka i propisa od organizacija kao što su Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (International Commission on Radiological Protection, krat. ICRP) (4), Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency, krat. IAEA), Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization, krat. WHO), kao i pravne stečevine Europske Unije u Republici Hrvatskoj uredilo se područje zaštite od zračenja. Sabor Republike Hrvatske donio je Zakon

o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (5) i prateće Pravilnike koji reguliraju posebna - specifična područja zaštite od zračenja u području radiološke i nuklearne sigurnosti.

Valja napomenuti da se sve donedavno smatralo da je flora i fauna dostatno zaštićena ako su zaštićeni ljudi. Međutim, godine 2003. je ICRP donio novi okvir ("doktrinu") za procjenu utjecaja ionizirajućeg zračenja na životinjski i biljni svijet (6) na osnovi kojeg IAEA priprema i novu inačicu dokumenta *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources* čiji je nacrt dostupan na internetu (7).

Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti usklađen je s pravnom stečevinom Europske Unije, odnosno preporukama Europske komisije o primjeni članka 36. sporazuma Euratom kojim se definira nadzor radioaktivne kontaminacije okoliša (8).

Prema Zakonu o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, pojedini stanovnik ne smije u jednoj godini primiti efektivnu dozu višu od 1 mSv od izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u djelatnosti s izvorima ionizirajućih zračenja, dok efektivna doza izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima tijekom rada biti veća od 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina, uz uvjet da ni u jednoj godini petogodišnjeg razdoblja efektivna doza ne smije biti viša od 50 mSv.

Pravilnik o uvjetima, načinu, mjestima te rokovima sustavnog ispitivanja i praćenja vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, krutim i tekućim oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe te stambenim i radnim prostorijama, NN 60/2008 (9) utvrđuje uvjete, načine, mjesta, rokove sustavnog ispitivanja i praćenja radioaktivnih tvari.

## STANJE RADIOAKTIVNOSTI ŽIVOTNE SREDINE U RH U 2009. GODINI I UKUPNO DOZNO OPTEREĆENJE PROSJEČNOG STANOVNIKA HRVATSKE

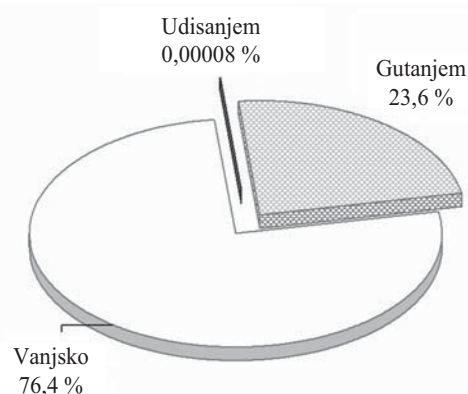
Praćenje stanja radioaktivnosti uzoraka životne sredine na teritoriju Republike Hrvatske u 2009. godini provela je Jedinica za zaštitu od zračenja IMI, koja propisana uzorkovanja, mjerenja, radiokemijske analize te obradu i tumačenje podataka neprekidno provodi još od 1959. godine. U godišnjim izvještajima detaljno su navedene rezultati istraživanja, lokacije i regije na

kojima se provode mjerenja i skupljaju uzorci, principi radiokemijskih metoda te instrumenti upotrijebljeni u postupcima analiza i mjerenja (10).

Temeljem rezultata praćenja stanja radioaktivnosti u životnoj sredini u Republici Hrvatskoj može se procijeniti ukupno opterećenje prosječnog stanovnika Hrvatske budući da suma doza koje proizlaze iz vanjske izloženosti, inhalacije i ingestije (hrane i pića) predstavlja procijenjenu efektivnu dozu za pojedinca iz stanovništva (sukladno članku 8., 9. i 10. Pravilnika o granicama izlaganja ionizirajućem zračenju te o uvjetima izlaganja u posebnim okolnostima i za provedbe intervencija u izvanrednom događaju, NN 125/2006) (11).

Prosječno vanjsko dozno opterećenje na području Zagreba (lokacija IMI) u 2009. godini iznosilo je 1,05 mSv. Temeljem mjerenja brzina apsorbirane doze na nekoliko lokacija u Hrvatskoj možemo pretpostaviti da izračunana prosječna vrijednost (0,92 mSv) dobro ilustrira zemaljski prosjek.

Na slici 2 prikazano je ukupno dozno opterećenje prosječnog stanovnika Hrvatske udjelima pojedinog načina izlaganja.



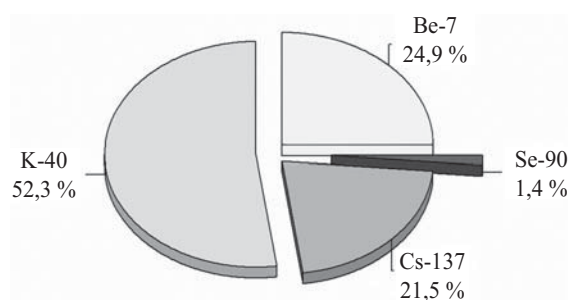
Slika 2 Dozno opterećenje (vanjsko, udisanjem i gutanjem) prosječnog odraslog stanovnika Republike Hrvatske

Vrijednost efektivne doze po stanovniku RH koju on primi zbog izloženosti medicinskim dijagnostičkim pretragama i terapijskim postupcima liječenja u kojima se rabi injektiranje radionuklida u bolesnika, ne bi revidirala prikazanu "pitu" dozno opterećenje prosječnog stanovnika RH na slici 2. Sadržaju "pitu" bila bi dodana zasebna i vrlo tanka i u postotku gotovo zanemariva, ali ipak u stvarnosti prisutna kriška medicinskoga dijagnostičkog ozračivanja unosom radionuklida zato što dinamika i vrijeme primanja doze (brzine doze), tj. dijagnostičkog ozračenja nikako nisu usporedivi s dinamikom i načinom

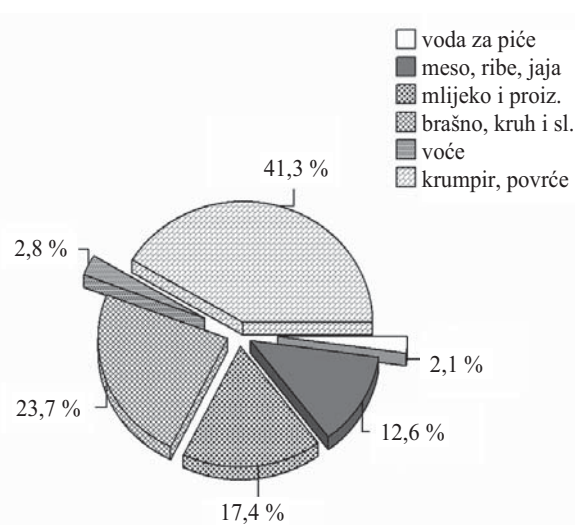
primanja doze od radionuklida unošeni hranom i pićem. Unos dijagnostičkih radionuklida u bolesnu osobu je jednokratni i aktivnosti su u trenutku unosa značajno veće nego aktivnosti unošene hranom i pićem (12-16). Očekuje se da je međudjelovanje zračenja i tkiva bolesnika (mjereno brzinom doze i preračunano u efektivnu dozu), posebno tkiva zbog kojeg se provodi dijagnostički postupak, drugačije; to međudjelovanje značajnije je u početku aplikacije radionuklida u tijelo (16-18). Kako trenutačno ne postoje validirano procijenjeni podaci izloženosti stanovništva RH unosu radioinuklida u medicinske dijagnostičke svrhe, statistički podatak o doprinosu ozračivanju medicinskim radioizotopima prosječnog pripadnika stanovništva nije naznačen ni na slici 2 ni posebno. Ni na slici 2 također nije prikazana količina vanjskog ozračenja prosječnog stanovnika RH elektromagnetskim ionizirajućim zračenjem (rendgensko zračenje) u svrhu medicinske dijagnostike. Izloženost stanovništva RH elektromagnetskom ionizirajućem zračenju nije predmet ovog rada. Odjeli nuklearne medicine u bolnicama jesu radni okoliš s posebnim uvjetima rada i ponašanja s obzirom na to da u njega pristižu osim terapijskih i radionuklidi kratkog vremena poluraspada i vrlo visokih aktivnosti koje su potrebne za provedbu dijagnostike. Količina ozračenosti profesionalaca zbog akcidentalnog (radom i/ili greškama pri radu) udisanja ili gutanja dijagnostičkih radioizotopa također se kontinuirano prati profesionalnom osobnom dozimetrijom. Taj način mogućeg ozračivanja radnika (kontaminacija) nikako nije usporediv s već spomenutim jednokratnim unutarnjim ozračenjem bolesnika (15, 12) i nije ga moguće predočiti na istome statističkom prikazu efektivne doze *per capita*. Ti su rezultati prikazani u zasebnoj radu.

Udisanjem zraka prosječan odrasli stanovnik Zagreba primio bi 9,2 nSv, a Hrvatske 10,1 nSv. Na slici 3 prikazani su doprinosi pojedinih radionuklida (izmjerene koncentracije u zraku) efektivnoj dozi od unosa udisanjem. Efektivna doza od unosa udisanjem procijenjena je za odraslog stanovnika temeljem prosječnih izmjerenih koncentracija pojedinih radionuklida tijekom 2009. godine.

Za procjenu efektivne doze zračenja zbog unosa radioaktivnih tvari hranom i pićem uz izračunane koncentracije radioaktivnih tvari u širokom spektru namirnica korišteni su podaci o prosječnoj potrošnji odraslog stanovnika Republike Hrvatske u 2009. godini (19). Na slici 4 prikazani su doprinosi pojedinih vrsta hrane i pića efektivnoj dozi zračenja unosom



Slika 3 Doprinosi pojedinih radionuklida efektivnoj dozi od unosa udisanjem za prosječnog odraslog stanovnika Hrvatske

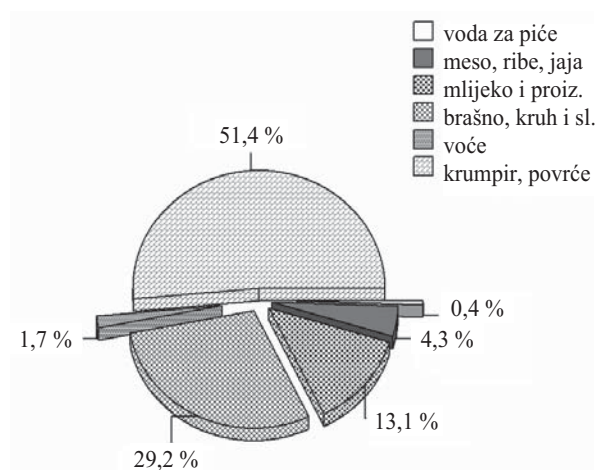


Slika 4 Efektivne doze od unosa gutanjem za prosječnog stanovnika Hrvatske

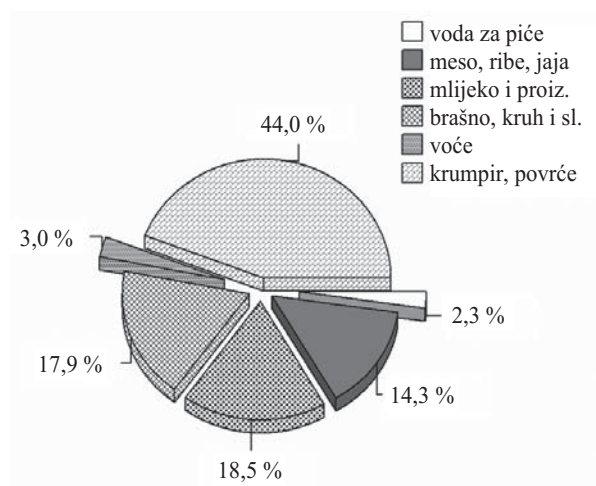
ingestijom (gutanjem) za prosječnog stanovnika Hrvatske. Različiti načini života i različite prehrambene navike doprinose razlikama u procjeni efektivnih doza, što je vidljivo na slikama 5 i 6, gdje su prikazani doprinosi pojedinih vrsta hrane i pića za stanovnika priobalja (slika 5) i stanovnika sjeverozapadne Hrvatske (slika 6).

Kao glavna sastavnica hrane djece i mladeži mlijeko se smatra jednom od najvažnijih prehrambenih komponenata, a izuzetno je osjetljivo na kontaminaciju fizijskim radionuklidima cezijem i stroncijem. Na slici 7 prikazane su prosječne vrijednosti koncentracija aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  u mlijeku pojedinih mljekara u Republici Hrvatskoj.

Procijenjena je i godišnja efektivna doza od unosa radioaktivnih tvari (radionuklida) mlijekom i mliječnim proizvodima. U dugogodišnjim procjenama efektivne doze u proračun je ulazila količina mlijeka od sto litara na godinu za odraslog stanovnika, a temeljem podataka iz statističkog ljetopisa za 2009.



Slika 5 Efektivne doze od unosa gutanjem za stanovnika priobalne regije Hrvatske

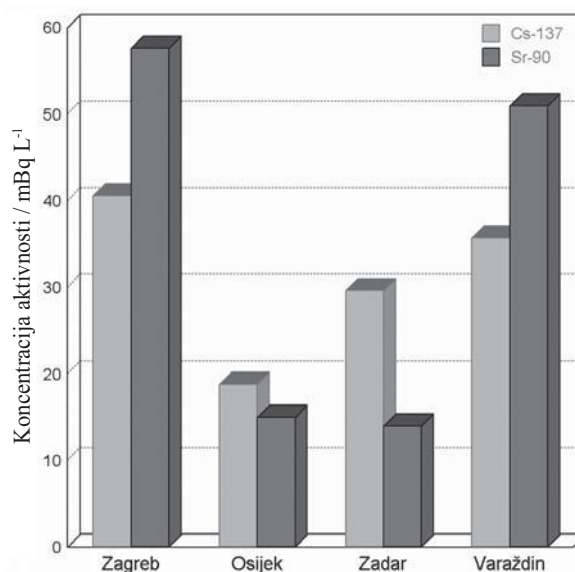


Slika 6 Efektivne doze od unosa gutanjem za prosječnog stanovnika sjeverozapadne Hrvatske

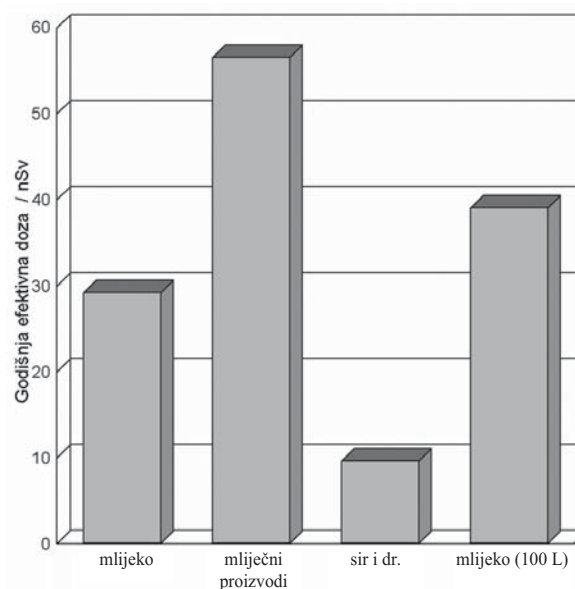
godinu provedena je procjena za unos 74,8 L mlijeka, 16,64 L mliječnih proizvoda (jogurt, vrhnje, mliječni napici) i 7,3 kg sira i sl. Uz pretpostavku potrošnje mlijeka od 100 L god<sup>-1</sup> i podataka o koncentracijama aktivnosti <sup>137</sup>Cs i <sup>90</sup>Sr u mlijeku, procijenjeno je da bi prosječni stanovnik Republike Hrvatske primio dozu od 39 nSv god<sup>-1</sup> unosom <sup>137</sup>Cs, i dozu od 190 nSv god<sup>-1</sup> unosom <sup>90</sup>Sr. Slika 8 prikazuje procijenjene efektivne doze zračenja unosom <sup>137</sup>Cs mlijekom i mliječnim proizvodima.

Na sljedećoj su slici (slika 9) prikazane procijenjene vrijednosti efektivnih doza primljenih unosom radioaktivnih tvari različitim mesom, a na slici 10 prikazane su količine pojedinih vrsta mesa u potrošnji prosječnog stanovnika Hrvatske.

Istraživanjima radioaktivne kontaminacije uzoraka životne sredine na području Republike Hrvatske nisu zamijećene povišene vrijednosti koncentracija ak-



Slika 7 Prosječne koncentracije aktivnosti <sup>137</sup>Cs i <sup>90</sup>Sr u mlijeku različitih mljekara u 2009. godini

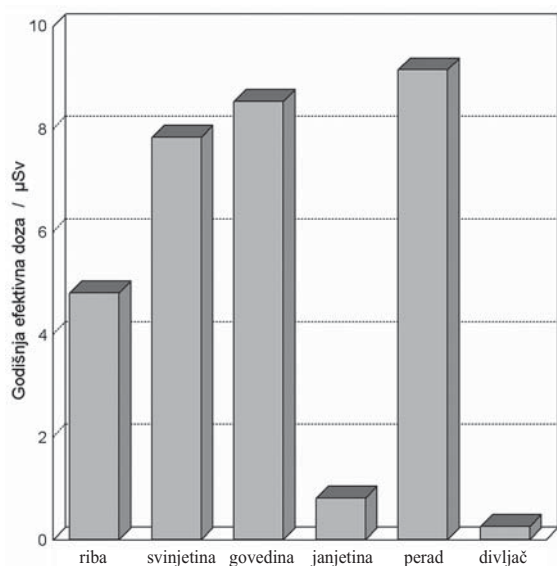


Slika 8 Efektivne doze primljene unosom <sup>137</sup>Cs mlijekom i proizvodima od mlijeka

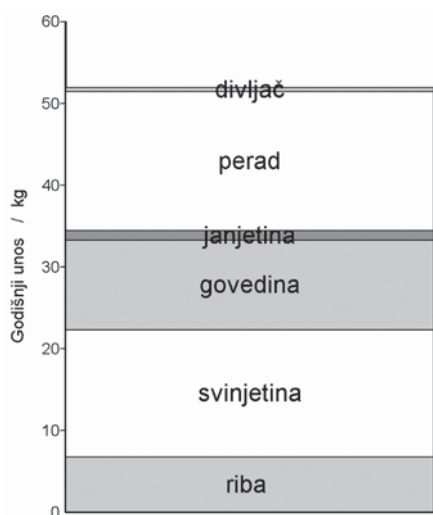
tivnosti radionuklida koje bi povećale ukupnu dozu zračenja za stanovništvo Republike Hrvatske u odnosu na onu primljenu prijašnjih godina.

Kako je pitka voda potencijalno vrlo podložna mogućoj kontaminaciji različitim radionuklidima i posljedičnom povišenom doznom opterećenju opće populacije, interesantno je razmotriti stanje kontaminacije pitke vode i doze primljene zbog njezine ingestije.

Svjetska je zdravstvena organizacija u svojim Preporukama za kvalitetu pitke vode (treće izdanje iz 2008. godine) na temelju referentne vrijednosti od



Slika 9 Efektivne doze primljene unosom radioaktivnih tvari mesom



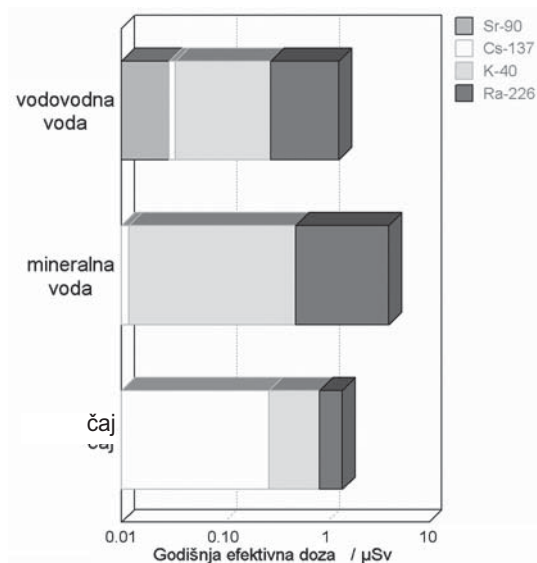
Slika 10 Količine godišnjeg unosa pojedinih vrsta mesa prema Statističkom ljetopisu za 2009. godinu

0,1 mSv očekivane efektivne doze od jednogodišnjeg unosa pitke vode definirala koncentracije aktivnosti različitih radionuklida u pitkoj vodi (20). Referentna vrijednost efektivne doze od 0,1 mSv predstavlja manje od 5 % prosječne efektivne doze koju godišnje pripisujemo prirodnom pozadinskom zračenju. Proračuni su provedeni za dnevni unos dviju litara vode. Vrijednost za  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  iznosi  $10 \text{ Bq L}^{-1}$ , za  $^{226}\text{Ra}$  je  $1 \text{ Bq L}^{-1}$ .

U 2009. godini provedena su ispitivanja koncentracija radioaktivnosti u vodovodnim vodama diljem Hrvatske, u cisternskim vodama, ali i u različitim mineralnim pitkim vodama. Zbog medijski napuhane priče o koncentraciji aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  u nekim proiz-

vodima, npr. u biljnim mješavinama za čaj, provedena su ispitivanja aktivnosti nekoliko proizvoda, različitih sokova i različitih čajeva. Postavlja se pitanje vrijede li za čajeve iste granične ("dopuštene") vrijednosti kao za pitku vodu, primjenjuju li se te vrijednosti i na biljnu mješavinu ili samo na pripravak koji se po recepturi spravlja i unosi u organizam. Primijeni li se međutim dosljedno filozofija zaštite od zračenja u individualnom pristupu mogućoj izloženosti zračenju pojedinca iz opće populacije, nužno je procijeniti štetnost neke namirnice zbog prisutnosti određene količine  $^{137}\text{Cs}$  procjenom doprinosa efektivnoj dozi zračenja od unosa te namirnice u ljudski organizam.

Procjene su provedene temeljem jednogodišnjeg unosa pitke vode (jedna litra na dan), unosa čaja - pripravka biljne mješavine (0,30 kg pripravka - što odgovara približno 40 L čaja na godinu), godišnjeg unosa mineralne vode (28,49 L). Slika 11 prikazuje procijenjene doze zračenja unosom različitih radio-



Slika 11 Efektivne doze zračenja primljene unosom pojedinih radionuklida tekućinom

nuklida tekućinom. Doprinos efektivne doze zračenja od unosa  $^{137}\text{Cs}$  čajem ( $0,26 \mu\text{Sv god}^{-1}$ ), iako velik u odnosu na druge tekućine, malen je (mnogo manji od 0,1 mSv), a koncentracija aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  je veća od dopuštene za neke propisivače pravila i ograničenja [ $(68 \pm 1) \text{ Bq kg}^{-1}$ ].

## ZAKLJUČCI

Načela zaštite od zračenja u Republici Hrvatskoj uglavnom su usklađena s europskom pravnom

stečevinom s područja zaštite od zračenja te definiraju holistički pristup minimalne - ograničene izloženosti ionizirajućem zračenju pojedinca iz opće populacije, krajnje individualni pristup preko procjena efektivnih doza. Međutim, bit će potrebno daljnje usklađivanje vezano uz novi pristup ICRP-a zaštiti biljnog i životinjskog svijeta.

Vezano uz stanje radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj, koncentracije aktivnosti antropogenih (tj. fizijskih) radionuklida u okolišu su minimalne, što za posljedicu ima vrlo malo dozno opterećenje stanovništva. Međutim, potreban je stalni nadzor stanja radioaktivne kontaminacije okoliša, i to tako da se iz mjerenja dobivaju stvarni brojevi, makar oni predstavljaju koncentracije aktivnosti ili doze koje su daleko ispod dopuštenih vrijednosti. Naime, samo "stvarni brojevi" daju mogućnost praćenja trendova i posljedično pravodobno reagiranje u slučaju potrebe. Uz to, sve to daje i dodanu vrijednost samom nadzoru (monitoringu) radioaktivne kontaminacije okoliša budući da se takvi podaci mogu koristiti i u znanstvenim istraživanjima.

Nadalje, stalan rad na razvoju analitičkih metoda i mjernih tehnika pridonosi očuvanju nuklearnog znanja i razvoju zaštite od zračenja, a poznato je da je opadanje nuklearnog znanja preraslo u težak međunarodni problem. Stoga valja naglasiti da je vezano uz nadzor radioaktivne kontaminacije okoliša u Republici Hrvatskoj primijenjeno izuzetno dobro rješenje da sve takve aktivnosti provodi javni znanstveni institut koji zadovoljava sve stručne kriterije, ali i nastoji iz terenskih mjerenja dobiti podatke važne za širenje spoznaja iz područja znanosti o zračenju odnosno nuklearnoga znanja.

## LITERATURA

1. Anon. Whose red face? *Nature* 1987;327:354.
2. Council Regulation (EEC) No 737/90 of 22 March 1990 on the conditions governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power-station. *Official Journal* 1990;L082:0001-0006 [pristup 27. kolovoza 2010.]. Dostupno na <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31990R0737:EN:HTML>.
3. Preporuke o granicama radioaktivne kontaminacije <sup>137</sup>Cezijuma u životnim namirnicama. Br.1653 13.8.2004. Pravilnik o granicama radioaktivne kontaminacije životne sredine i o načinu sprovođenja dekontaminacije. Službeni list SFRJ 9/1999.
4. International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1996.
5. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti. *Narodne novine* 28/2010.
6. Valentin J, Clarke RH, Holm L-E. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species: ICRP Publication 91. *Ann ICRP* 2003;33(3):201-70.
7. International Atomic Energy Agency (IAEA). Revision of the Basic Safety Standards International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources [pristup 27. kolovoza 2010.]. Dostupno na <http://www-ns.iaea.org/standards/review-of-the-bss.htm>.
8. Commission Recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as whole [pristup 27. kolovoza 2010.]. Dostupno na [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/00473\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/00473_en.pdf)
9. Pravilnik o uvjetima, načinu, mjestima te rokovima sustavnog ispitivanja i praćenja vrste i aktivnosti radioaktivnih tvari u zraku, tlu, moru, rijekama, jezerima, podzemnim vodama, krutim i tekućim oborinama, vodi za piće, hrani i predmetima opće uporabe te stambenim i radnim prostorijama. *Narodne novine* 60/2008.
10. Marović G, Bituh T, Franić Z, Franulović I, Kovač J, Maračić M, Petrinc B, Petroci Lj, Senčar J, Skoko B. Praćenje stanja radioaktivnosti životne sredine u Republici Hrvatskoj za 2009. godinu. Izvještaj IMI-CRZ-90, Zagreb 2010.
11. Pravilnik o granicama izlaganja ionizirajućem zračenju te o uvjetima izlaganja u posebnim okolnostima i za provedbe intervencija u izvanrednom događaju. *Narodne novine* 125/2006.
12. Paquet F, Stather JW, Bailey MR, Harrison JD, Métivier H. Internal dosimetry of radionuclides. *Radiat Prot Dosim* 2007;127:1. doi:10.1093/rpd/nem464.
13. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. Publication 94. *Ann ICRP* 2004;34(2):1-80.
14. Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost (DZRNS) [pristup 1. kolovoza 2010.]. Dostupno na <http://www.dzns.hr/>.
15. Valentin J, editor. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101. *Ann ICRP* 2006;36(3):1-104.
16. Valentin J, editor. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 2007;37(2-4):1-332.
17. Valentin J, editor. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. *Ann ICRP* 2007;37(6):1-64.
18. Valentin J, editor. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Third Addendum to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. *Ann ICRP* 2008;38(1-2):1-198.
19. Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2009. Zagreb: Državni zavod za statistiku; 2010.
20. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 3. izd. Vol. 1. Recommendations. Ženeva: WHO; 2008.

### *Summary*

#### CURRENT EXPOSURE OF CROATIAN POPULATION TO IONISING RADIATION

In theory, limits of radioactive contamination of food should be based on risk analysis, but in practice this procedure is compromised by economic reasons. This paper looks into the EU limits for radiocaesium in foodstuffs after the Chernobyl accident and gives a few examples of effective dose assessment of  $^{137}\text{Cs}$ . Croatia has harmonised radiation protection regulations with international and EU standards. This article presents the effective doses in the adult population of Croatia assessed at the Radiation Protection Unit of the Institute for Medical Research and Occupational Health. The assessment included ingestion, inhalation, and external exposure, and distinguished between radionuclide intake through food, water, and injection in medical procedures. Our results show low  $^{137}\text{Cs}$  activity concentrations, which are within limits, even though the radiation standards are very stringent. Therefore, their contribution to the effective dose is very small ( $<0.1$  mSv).

**KEY WORDS:** *dose assessment, effective dose, exposure pathways, radiation protection*

#### CORRESPONDING AUTHOR:

Dr. sc. Gordana Marović, dipl. ing. biotehn.  
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada  
Ksaverska cesta 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska  
E-mail: [marovic@imi.hr](mailto:marovic@imi.hr)