

## V. Simpozij Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem

*Stubičke toplice 9. do 11. travnja 2003.*

Simpozij je organiziralo Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja uz suorganizaciju s Institutom »Ruđer Bošković«, Zagreb i Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb. Pokrovitelji Simpozija su bili Ministarstvo gospodarstva, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Ministarstvo zdravstva, Ministarstvo znanosti i tehnologije i Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo. Sponzori Simpozija su bili EKOTEH DOSIMETRY Ltd., Zagreb i Enconet International, Zagreb.

Održano je 63 referata koje je pripremlilo 120 autora samih ili u koautorstvu, a rad Simpozija je pratilo 115 registriranih učesnika. Referati su bili raspodijeljeni u sljedećih devet područja:

- Uvodno predavanje (1 rad)
- Opće teme (8 radova)
- Dozimetrija zračenja (15 radova)
- Biološki učinci zračenja (4 rada)
- Izloženost stanovništva i djelatnika zračenju (6 radova)
- Zaštita od zračenja u medicini (9 radova)
- Radioekologija (14 radova)
- Radon (3 rada)
- Neionizirajuća zračenja (prvi puta kao posebna sekcija, 3 rada)

Teme područja su općenito aktualne u svijetu pa tako i u našoj svakodnevici kao posljedica ubrzanog tehnološkog razvoja. Autori su obrađivali nedavno još nepoznate pojave i ukazali na potrebu nastavka nekih od do sad učinjenih istraživanja i upozorili na još neistražena nametnuta pitanja. Stoga nije čudo što su učesnici vrlo živo pratili i diskutirali sva izlaganja. Prikazat će se dio najmarkantnijih rezultata prema izboru autora ovog prikaza.

Uvodno predavanje sadržavalo je podatke o povijesti razvoja Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja (HDZZ), koje postoji od 1979, a od 1992. postaje punopravni član Međunarodnog društva za zaštitu od zračenja. (IRPA). Društvo danas okuplja 140 znanstvenika i stručnjaka iz cijele Hrvatske. Tablica daje pregled broja radova po sekcijama ili područjima u zbornicima radova nacionalnih simpozija dakle od 1992. na dalje.

Kao znanstvenici – meteorologu upalo mi je u oči da je među 14 sekcija navedena *Meteorologija, geofizika, oceanologija*, kao posebna sekcija. Unutar

te sekcije je u prva 3 simpozija prikazano 5 radova (1994.g.) ali niti jedan rad 1992. i 1996.g. pa je to područje isključeno iz programa ovogodišnjeg simpozija.

Ističem dio iz zaključaka i citata, koji se odnose na problem nedovoljnog interesa za objavljivanje radova u zbornicima HDZZ – simpozija, ali moglo bi se odnositi i na sličan problem drugih domaćih simpozija.

*...Broj priloga autora u zbornicima simpozija HDZZ-a ostaje tijekom godina više-manje stalan, iako je broj članova HDZZ-a u stalnom porastu. Nakon nuklearne nesreće u Černobilu radioekološka istraživanja su naglo porasla, a sada se nastavljaju rutinskim monitoringom u postavljenim mrežama. Do manjeg zanimanja za sudjelovanje na simpozijima HDZZ-a možda dolazi i zbog ... relativno slabog financiranja znanstvenih i primijenjenih istraživanja.... Jedan od razloga slabijeg zanimanja hrvatskih znanstvenika za sudjelovanje na domaćim simpozijima mogli bi biti i kriteriji kod izbora u viša zvanja, jer se radovi objavljeni u zbornicima ne priznaju kao vrijedni. Iznimka su liječnici, jer je Hrvatska liječnička komora uvrstila simpozije i kongrese u organizaciji HDZZ-a u skupove za usavršavanje liječnika, dodjeljujući im bodove (samo sudjelovanje 8 bodova, a uz rad 10 bodova)...*

Potrebno je dakle riješiti problem nepriznavanja radova objavljenih u zbornicima simpozija kao što je ovaj, a i općenito, kao i povećati kvalitetu primljenih radova. Tu se daju prikazi najnovijih istraživanja znanstvenika, uključujući i mlađe suradnike. Osim toga pisanjem radova na hrvatskom jeziku razvija se hrvatska terminologija, koja zaostaje za terminologijom u svjetskim jezicima. Time se doprinosi i komunikaciji sa širom javnosti, njenom obrazovanju i obaviještenosti.

## **Dio rezultata i zaključaka prema izboru autora izvještaja**

### **Nuklearni i radiološki terorizam**

Međunarodna zajednica još nema koordinirana stajališta kako odgovoriti na nasilne nuklearne napade, među ostalim i zato što još ne postoji zajedničko stajalište što je terorizam. Za žrtve su to kriminalci, a za organizatore su to heroji. Neovisno o tome tko su izvršioi terorističkog akta (grupe ili pojedinci), neovisno o njihovim motivima, glavna meta napada je većinom civilno stanovništvo. Učinkovitost rada timova koji su uključeni u smanjivanje posljedica terorističkog akta bitno ovisi i o obrazovanosti stanovništva. S tim u vezi postoje specijalni projekti, od kojih su neki već ostvareni, a neki su u tijeku ili se pripremaju.

### **Suradnja s javnošću**

Ministarstvo gospodarstva je u suradnji s Ministarstvom prosvjete i športa, Hrvatskom elektroprivredom i tvrtkom Enconet International tijekom 2002.g. ostvarilo projekt izrade kalendara za 2003.g. s učeničkim likovnim

radovima na temu energetike i utjecaja na okoliš i s dodatnim informacijama o pripravnosti u Republici Hrvatskoj za slučaj nuklearne nesreće i preporukama za postupanje. Kalendar je namijenjen prvenstveno obiteljima u krugu 25 km od NE Krško i bit će podijeljen svim učenicima osnovnih škola koje se nalaze u tom području.

Namjera Ministarstva gospodarstva je da ovakav projekt postane tradicionalan, odnosno da se realizira svake godine na isti ili sličan način.

### **Koliko su opasne prljave bombe**

Prljave bombe se sastoje od konvencionalnog eksploziva (npr. dinamita) okruženog radioaktivnim materijalom koji se rasprši eksplozijom. Učinak takove bombe se sastoji od inicijalnog udara djelovanja ionizirajućeg zračenja i od kontaminacije tla. Ta bomba ne uključuje kompleksne fizijske reakcije ali se ipak svrstava u oružja masovnog uništavanja. Takovo oružje ima za cilj stvaranje negativnih zdravstvenih učinaka koje je teško objasniti. Razine zračenja su takove da značajni medicinski problemi nastupaju naknadno (npr. tjednima nakon napada), kao i nakon napada biološkim oružjem. Time se dakle ne postiže trenutna neutralizacija neprijateljskih snaga, ali je područje napadnuto radiološkim oružjem neprikladno za kasniji dulji boravak ljudi. Neposredni rizik nakon terorističkog napada prljavom bombom nije izloženost zračenju nego eksplozivni udar i panika. Naknadne posljedice su strahovanje javnosti zbog života u blizini onečišćenog područja, iz čega proizlazi slom lokalnog gospodarstva. Redukcija rizika se postiže raznim metodama dekontaminacije napadnutog područja.

### **Dozimetrija zračenja u prostoru**

Unatoč djelomično zaštićeni u svemirskim brodovima Zemljinom magnetosferom od galaktičkog i Sunčevog kozmičkog zračenja (npr. Low Earth Orbit ili LEO), izloženost astronauta tom zračenju pri vremenski dugim misijama (90 do 180 dana) uvelike prelazi prag neopasnog ozračenja. (100 mSv/god), propisanog za radnike u nuklearnoj industriji. Taj prag za astronaute u službi NASA-e je 500 mSv/god. Međutim, za vrijeme »solar particle events« mogu biti kratkotrajno dosegnute ili čak premašene razine od 300 mSV. Relativno dobroćudne (benigne) solarne čestice (SPE) u međuplanetarnom prostoru, izvan Zemljine magnetosfere, mogu izazvati zračenje koje apsorbira ljudska koža u iznosu od 1 Sv.

Nove raketne tehnike moraju više reducirati izloženost astronauta prostornom zračenju u zadacima od više godina (misija prema Marsu). Priprema se dodatna zaštita članova posade svemirskog broda (fizička zaštita skafanderom, zaštita magnetskim zračenjem, farmakološka zaštita, lokalna zaštita najosjetljivijih dijelova tijela i dr.). Krivulja ovisnosti očekivane srednje godišnje doze zračenja o visini orbite nad Zemljom pokazuje npr. da je na visini od 450 km očekivano zračenje oko 470 mSv/god, a krivulja pragova doze zra-

čenja koji odgovaraju 3%-nom riziku u karijeri radnika sa izvorima nuklearnog zračenja, ovisi o njihovoj životnoj dobi i spolu (pragovi su niži za mlađe ljude i za žene).

### **Sustav za akcidentalnu dozimetriju na osnovi kemijskog dozimetra s optoelektronskim čitačem.**

Osobna dozimetrija je nezaobilazna u slučajevima masovnog ozračenja i kontaminacije kao posljedice nuklearnog rata, nesreće u nuklearnom postrojenju ili nuklearnog terorizma. U situacijama masovnog ozračenja, zračenje se može uvjetno podijeliti na kontaminirajuće (alfa i beta ili  $\alpha$  i  $\beta$ ) i na prodorno (gama zračenje i neutroni ili  $\gamma$  i n), a podjela je uvjetovana njegovim djelovanjem. Kontaminirajuće zračenje se može eliminirati ili ublažiti korištenjem zaštitne opreme, dok je za prodorno zračenje takova oprema beskorisna. Pri prodornom ozračenju je važna osobna dozimetrija, koja zatim omogućuje medicinski tretman i određivanje fizičke sposobnosti ozračene populacije.

Opisan je prototip kemijskog dozimetrijskog sustava, koji posjeduje gotovo jednaku osjetljivost na gama zračenje i neutrone u području doza 0,2 do 14,0 Gy, s mogućnošću elektroničke obrade podataka, a naglašena je i niska cijena pri izradi. Prototip je prikazala grupa autora.

### **Izloženost stanovništva i djelatnika zračenju $^{226}\text{Ra}$ u flaširanim vodama hrvatskih proizvođača.**

Vode, koje potječu iz prirodnih mineralnih izvora sadrže i prirodne radionuklide i to najvećim dijelom radionuklide uranovog prirodnog raspadnog niza. Alfa emiter  $^{226}\text{Ra}$  je osobito štetan za ljudski organizam.  $^{226}\text{Ra}$  slijedi metabolički put kalcija i odlaže se u kostima čovjeka, i može uzrokovati negativne biološke učinke po zdravlje. Zbog dugog poluvremena raspada (1600 godina) taj radionuklid može biti dugo vremena kumuliran u organizmu. Pokazalo se da koncentracije radionuklida u nekim flaširanim vodama svjetskih proizvođača prelaze dopuštene vrijednosti. Npr. koncentracija  $^{226}\text{Ra}$  u flaširanim vodama u Australiji prelazi dopuštenu granicu. Povećana ukupna alfa i beta aktivnost pronađena je i u nekim flaširanim vodama u Španjolskoj.

Najveći proizvođač mineralne vode u Hrvatskoj je Jamnica d.d. koja puni 250 milijuna litara godišnje s udjelom od 80% na domaćem tržištu. Slijedi Podravka d.d. od 19% na domaćem tržištu. U proizvodnji izvorske vode Podravka sudjeluje na tržištu sa 65%, Agrokor sa 10%, dok svi ostali čine 25% proizvodnje. Trend proizvodnje izvorskih voda je u stalnom porastu i prati europsko tržište.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu je proveo mjerenja radioaktivnosti uzoraka mineralnih voda domaćih proizvođača:

- mineralna gazirana (Kristina, Jamnica, Studenac)
- mineralna negazirana (Jamnica, Aqua Sana, Vindikta)
- izvorska gazirana (Aqua Sana, Vindikta)
- izvorska negazirana (Jana, Studena, Cetina sv. Rok, Bistra)

Specifična aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  uzorka vode ne treba preći vrijednost 1000 mBq/l (preporuka Svjetske zdravstvene organizacije, SZO). Pri tom unos od 2 l vode dnevno tijekom godine dana odgovara bezopasnoj dozi ozračenosti od 0,1 mSv godišnje. U ispitivanim uzorcima domaćih mineralnih i izvorskih voda izmjerene vrijednosti specifične aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  su bile od 5,65 mBq/L (Aqua Sana) do 411.74 mBq/L (Studenac). Sve vrijednosti su dakle ispod granične SZO-vrijednosti, a u svim uzorcima Jamnice d.d. nađene su vrijednosti manje od 50 mBq/L.

Mineralne vode, osim povećane količine mineralnih tvari, mogu sadržavati više razine aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  nego izvorske vode, ali je nađeno da je aktivnost osjetno manja od preporučenih graničnih vrijednosti. Prema tome, konzumacija flaširane mineralne i izvorske vode ispitanih uzoraka domaćih proizvođača neznatno doprinosi (0,43%) izloženosti korisnika prirodnoj radioaktivnosti. Pri tom flaširanu izvorsku vodu mogu konzumirati svi oni koji zahtijevaju strogo kontroliranu kvalitetu vode, uključujući i dojenčad.

## Radioekologija

### *Ovisnost koncentracije radija o morskim strujama u priobalnom moru*

Poznavanje karakteristika pojedinih radionuklida i njihovog ponašanja u okolišu priobalja u slučaju eventualnih ispuštanja u morsku vodu radioaktivnih tvari s dugim vremenom poluraspada, neophodno je radi povremene intervencije u sprečavanju višegodišnje kontaminacije dijelova obale. Područje Jadrana je osjetljiv ekološki sustav. Zbog izrazite naseljenosti i industrijsko-gospodarskog djelovanja sjeverni dio Jadrana se smatra jednim od kritičnih područja, koja zahtijevaju stalno praćenje prirodne radioaktivnosti. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu provodi već od 1963.g. mjerenje radioaktivnosti Jadranskog mora i kontaminaciju fisijskim radionuklidima na nekoliko mjesta duž obale. U ovom su radu prikazani rezultati zajedničkih mjerenja IMI-a i Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu. Mjerena je prostorna raspodjela (tri mjerna mjesta, dvije dubine) radioaktivnosti voda i mora i morskih struja u Plominskom zaljevu u četiri navrata tijekom jedne godine (blizina odlagališta termoelektrane Plomin). Udio aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  u površinskom uzorku prema aktivnosti na 3 m dubine smanjuje se prema izlazu iz zaljeva. Utvrđena su međutim dva tipa morskih struja i ovisnost o vjetru, što je ukazalo na potrebu razrade detalja u daljnjem praćenju radioaktivnosti u zaljevu i sedimentima.

### *Procjena dugoročne radiološke sigurnosti odlagališta pepela i šljake TE Plomin*

Otpadni materijal nastao u TE Plomin izgaranjem ugljena s povišenom koncentracijom nekih radionuklida spada u radioaktivni materijal s tehnološki povišenom prirodnom radioaktivnošću ili TENORM (engl. *Technically*

*Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*). Obzirom da se radi o dugoživućim radionuklidima, trebalo bi nadzirati stanje odlagališta i analizirati potencijalne dugoročne učinke na ljude i okoliš. U Hrvatskoj za sada nema vlastitih preporuka o metodi prosuđivanja dugoročne sigurnosti odlagališta TENORM-a te se pristupilo procjeni sigurnosti odlagališta prema međunarodno prihvaćenoj metodi. U konačnom postupku odlagalište je prikazano računalnim modelom podobnim za simuliranje dugoročnog ponašanja odlagališta i prijenosa radionuklida.

### *Radioaktivne tvari u otpadu crne metalurgije*

U suvremenoj tehnologiji proizvodnje čelika u elektrolučnim pećima kao sirovina služi čelični otpad, a prednosti takove tehnologije prvenstveno se nalaze u njenoj ekonomičnosti. Istovremeno je nužno poznavati i njene nedostatke, vezane uz kemijski sastav čeličnog otpada koji se unosi u peć. Pri taljenju i rafinaciji primjese u tom otpadu prelaze u trosku, plin, ili ostaju u čeliku, a pri tome je moguća prisutnost radioaktivnih elemenata. Tako nastaje potencijalna opasnost onečišćenja radioaktivnim tvarima kako dobivenog metala tako i tehnološkog otpada, koji pri tom nastaje. Otpadne tvari koje ulaze u okoliš su troska, elektropečna prašina, ogorina, istrošeni vatrootporni materijal te otpadne vode onečišćene suspendiranom tvari, uljima i mastima. Od plinovitih onečišćujućih tvari to su: ugljik dioksid, dušikovi oksidi i hlapivi organski spojevi. Elektropečna prašina jedan je od najznačajnijih otpada pri proizvodnji čelika i izdvaja se zajedno s dimnim plinovima iz tehnološkog procesa, a prema fizikalno – kemijskim osobinama svrstava se u opasan tehnološki otpad.

Na uzorcima otpada iz čeličane Sisak i ljevaonice Felis d.o.o. Sisak provedeno je ispitivanje moguće prisutnosti radioaktivnih metala  $\gamma$  spektrometrijskom analizom. Rezultati su pokazali razinu aktivnosti nađenih prirodnih izotopa koja je bila ispod maksimalno dopuštenih granica predviđenih zakonskim propisima. Cezij, nađeni umjetni izotop, ukazuje na mogućnost da je čelični otpad ili neki drugi materijal iz proizvodnog procesa, kontaminiran cezijem iz okoliša.

### *Radiostroncij u uzorcima povrća*

U okviru nacionalnog programa nadzora radioaktivnosti u okolišu prikazani su rezultati mjerenja aktivnosti radiostroncija ( $^{90}\text{Sr}$ ) u četiri uzorka povrća (krumpir, salata, kupus, grah) sakupljenih na tri mjesta u Hrvatskoj (Zagreb, Osijek, Zadar) tijekom posljednjih pet godina. Radiostroncij je beta emiter i pripada skupini vrlo toksičnih radionuklida (oštećuje kosti) te se prati njegov sadržaj u ljudskoj i stočnoj hrani. Radionuklidi topivi u vodi mogu dospjeti u biljku kroz korjenje ili preko njenih nadzemnih djelova. Sve procijenjene efektivne doze pri godišnjem unosu  $^{90}\text{Sr}$  kroz navedeno povrće ingestijom mnogo su niže od dopuštenog praga za odraslog čovjeka koji iznosi

1 mSv. Istovremeno se pokazalo da je izmjerena specifična aktivnost  $^{90}\text{Sr}$  u grahu za red veličine veća u sva tri mjesta od one izmjerene u krumpiru. Unatoč tome, njihov doprinos godišnjoj efektivnoj dozi u prehrani čovjeka je istog reda veličine, jer se potrošnja krumpira u navedenim mjestima pokazala većom od potrošnje graha.

### *Radioaktivnost drva i okoliša*

Količina radionuklida nakupljenih u drvu ovisi prvenstveno o njihovoj količini u tlu. Nakon Černobilske nesreće 1986. g. tlo je u Aziji i Europi pa i u Hrvatskoj onečišćeno umjetnim radionuklidom  $^{137}\text{Cs}$  pa je prisutnost tog radionuklida izmjerena i u drvu. Sagorijevanjem drva dolazi do koncentriranja radionuklida u plinovima sagorijevanja koji odlaze u atmosferu i u pepelu koji se odlaze na tlu, što može izazvati kontaminaciju okoliša. Radiokontaminacija je svaka prisutnost radionuklida u koncentraciji većoj od prirodne, posebno na mjestima odakle ionizirajuće zračenje može izazvati štetne posljedice.

Mjerenje sadržaja radionuklida u uzorcima drva bukve, drvnog briketa, drvnog ugljena, te njihovog pepela je pokazala da uzorci iz Hrvatske sadrže osim prirodnih radionuklida, također i umjetni radionuklid  $^{137}\text{Cs}$ . Pepeo svih navedenih uzoraka ima najveće vrijednosti specifične radioaktivnosti. Međutim, usporedba sa stanjem iz neporemećenog razdoblja (na temelju procjene iz publiciranih podataka) došlo se do zaključka da je sadržaj mjenog radionuklida unatoč nešto povišenim razinama, ipak u prihvatljivim granicama sa stajališta radiokontaminacije okoliša korištenjem drva kao goriva.

### *Aktivnost $^{137}\text{Cs}$ u mesu divljih svinja s područja zapadne Slavonije i Gorskog kotara.*

Nakon nesreće u nuklearnoj elektrani Černobil radioaktivnim oborinama i suhim taloženjem kontaminirano je umjetnim radionuklidom  $^{137}\text{Cs}$  i područje Hrvatske. Taj radionuklid lako prolazi prehrambenim lancem tlo-životinja-čovjek. Kontaminacija tla je bila najveća u zapadnoj Slavoniji (područje Novska-Daruvar) i u Lici (Gračac). Povećana radioaktivnost  $^{137}\text{Cs}$  zabilježena je u divljači i životinja koje žive na ispaši a utvrđene su izrazite razlike ovisno o vrsti divljači o području njihovog prebivanja i načinu prehrane, koja je uvjetovana dobom godine. Dan je prikaz najistaknutijih razlika koje su nađene u mesu divljih svinja iz Gorskog kotara i zapadne Slavonije, 15 godina nakon Černobilske nesreće. Prosječna radioaktivnost u mesu svinja iz Gorskog kotara je bila za jedan do dva reda veličine viša od one iz zapadne Slavonije. Pri tom je raspon vrijednosti oko srednjaka svakog od područja također velik. Maksimalne vrijednosti u oba područja pripisuju se prehrani svinja rovanjem (korijenčići, površinski sloj humusa, kontakt s kontaminiranim tlom, prevladava npr. u Fužinama), a minimalne vrijednosti se vežu za hranu koju životinje nađu na površini tla (žir, bukvice i drugi nadzemni plodovi, te pristup poljoprivrednim površinama npr. Lipik).

## Radon

### *Deterministički kaos u vremenskoj promjenljivosti radona*

Prikaz rezultata analize podataka koncentracije radona na tri mjerna mjesta: A) Tiborjanci, zatvoreni prostor, radna soba, B) Valpovo mjesto na otvorenom i C) Valpovo zatvoreni prostor u podrumu. Istovremeno je mjereno atmosferski tlak i temperatura zraka na sva tri mjerna mjesta u vremenskim intervalima od 10 min. Kompletna instrumentalna oprema je bila aktivna u 2002.g. tijekom svibnja na mjestu A, tijekom lipnja na mjestu B i tijekom rujna na mjestu C. Srednje koncentracije radona su bile : A) 31,1 Bq/m<sup>3</sup>, B) 13,6 Bq/m<sup>3</sup> i C) 121,2 Bq/m<sup>3</sup>.

### *Praćenje radona u Slovenskim bolnicama*

Do sada je provedeno više studija o koncentraciji radona na radnim mjestima u Sloveniji: dječji vrtić, škole, stambeni prostori (ispitano je oko 2600 zgrada i dobiven je odgovor o razini radona u zemlji). Nastavlja se istraživanje radona na radnim mjestima s većim rizikom. Od 1995. je uvedeno stalno mjerenje radona u Postojni, i na neka daljnja mjesta npr. vinski podrumi, a tijekom 2002. mjerenja radona se vrše i u slovenskim bolnicama. Rad prikazuje analizu podataka o radonu u 26 slovenskih bolnica, uključujući 201 prostoriju i procjenu primljene doze zračenja na 1025 osoba zaposlenih u tim prostorijama.

Rezultati analize: 94,2% ispitanika (od ukupno 1025) zaposlenih u prostorijama u kojima je mjerena koncentracija radona, je godišnja efektivna doza bila ispod 1 mSv (međunarodni dozimetrijski prag) dok je 59 ispitanika primilo veće godišnje doze. U 7 prostorija je izmjerena koncentracija preko 400 Bq/m<sup>3</sup>, a 16 ispitanika je primilo godišnje doze između 2,1 i 7,3 mSv. Mjerenje i istraživanje radona se nastavlja.

### *Mjerenje radona na Institutu »Ruder Bošković«*

Istraživanja su pokazala da povišene koncentracije radona u rudnicima uzrokuju značajan porast oboljenja od raka pluća kod rudara. Rizik je proporcionalan prosječnim nivoima radona i dužini izlaganja s periodom latencije od najmanje 15 godina do pojave oboljenja. Sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća počinje se upozoravati da izlaganja radonu u okolišu mogu biti usporediva izlaganjima radonu u podzemnim rudnicima.

Sadašnje spoznaje o prirodnim procesima u okolišu koji utječu na ozračenje radonom uglavnom su pouzdane. Manje su pouzdane procjene ozračenja i dozimetrija radona kako u odnosu na pojedince tako i u odnosu na cijelu populaciju. Izotopi radona (<sup>222</sup>Rn i <sup>220</sup>Rn) i njihovi kratko živući potomci su prvenstveno alfa-emiteri (uz beta i gama emisije znatno slabijeg intenziteta) na koje je dišni sustav čovjeka osobito osjetljiv. U razvijenim zemljama, ali i u



mnogim zemljama u razvoju, polaže se znatna pažnja mjerenju radona i procjeni rizika od inhalacije radona, i to prvenstveno u zatvorenim prostorima.

U Republici Hrvatskoj, međutim, ne postoji nacionalni program mjerenja radona, ali postoje brojna neovisna mjerenja, potaknuta u više znanstvenih institucija (npr. PMF i IRB u Zagrebu, Pedagoški fakultet Sveučilišta u Osijeku). Gotovo sve zapadnoeuropske zemlje zahtjevaju mjerenja i održavanja koncentracija radona na radnim mjestima ispod  $400 \text{ Bq m}^{-3}$  ili ograničavanje ulaska u područja s višim koncentracijama radona.

Na IRB-u je smješteno privremeno skladište radioaktivnih materijala (PSRM), gdje se pohranjuju izvori  $^{226}\text{Ra}$ , ranije upotjebljavani u medicinskim ustanovama u Hrvatskoj, kao i dodatni izvori (kemikalije urana, nabavljene prije mnogo godina radi tada interesantnih istraživanja, te izvjesne količine »žutog kolača« izolirane iz tada domaćih sirovina). Svi ti izvori privremeno su odloženi u ili uz bačve s kondicioniranim izvorima radija. Postupak kondicioniranja znači zavarivanje bačava u ovojnice radi zaustavljanja oslobađanja radona u atmosferu.

U drugoj polovini 2002.g. i početkom 2003.g. izvršena su mjerenja radona u prostoru PSRM, u laboratorijima u kojima su se spojevi urana ranije koristili ili proizvodili kao i u laboratorijima u kojima se nikakvi radioaktivni izvori nikad nisu koristili (kontrolna mjerenja). U laboratorijima u kojima se nikakvi radioaktivni izvori ili spojevi urana nikad nisu koristili bili su u prosječnim granicama od  $25$  do  $45 \text{ Bq m}^{-3}$ , s maksimalnim vrijednostima, koje nikad nisu prelazile  $80 \text{ Bq m}^{-3}$ , uključujući i mjerenja tijekom noći, u zatvorenim sobama, bez ventilacije. Mjerenja radona u prostorijama u kojima su se spojevi urana ranije upotrebljavali, a sada su iz tih prostorija uklonjeni, jednaki su kao i u prostorijama u kojima tih izvora nikad nije bilo. Na samom ulazu u PSRM, kao i uz ventilacijske kanale, koncentracije radona nisu povišene. Vrijednosti koncentracija radona izmjerene uz izvore u PSRM bile su višestruko više od međunarodnih preporuka. Nedvojbeno je da i naknadno pohranjene izvore  $^{226}\text{Ra}$  u PSRM treba dodatno kondicionirati, iako nitko u tom prostoru ne boravi duže od nekoliko minuta mjesečno.

## Neionizirajuća zračenja

### *Upotreba citogenetskih biomarkera pri utvrđivanju profesionalnoj izloženosti mikrovalnom zračenju*

Veliki broj eksperimentalnih i epidemioloških studija je izveden da se istraže mogući zdravstveni problemi (rizik), povezani sa izloženošću čovjeka elektromagnetskim poljima ELF i RF (EM polja, Extra Low Frequency, Radio Frequency). Podaci o citogenetskim posljedicama mikrovalnom izlaganju (...on the induction of chromosom damage) su kontradiktorni, vjerojatno radi raznolikosti uvjeta ispitivanja. Drži se da izlaganje radiofrekvencijama može izazvati genetske učinke, koji mogu predisponirati razvijanje raka ili porođajna oštećenja.

Pokazalo se da *alkaline comet assay* može poslužiti kao pouzdani biomarker u proučavanju učinka oštećenja DNA pri izloženosti EM-polju.

### *Zračenje baznih postaja pokretne telefonije*

Posljednjih godina došlo je do ekspanzije novijih tehnoloških izvora EM neionizirajućih zračenja (zračenja frekvencije  $f < 3.000.000$  GHz i ultrazvuk  $f < 500$  MHz): pokretni telefoni, mikrovalne pećnice, različite antene, odašiljači, novi ultrazvučni uređaji i dr.

S tim u vezi je u svijetu porasla zabrinutost o utjecaju tih novih izvora na čovjekovo zdravlje. Znanstvena istraživanja upućuju na činjenicu da to zračenje može izazvati različite negativne pojave npr.: ozljede očiju, razdražljivost, besanica, prolazne promjene u izmjeni tvari, toplinski stres pa čak i karcinom.

U pokretnoj telefoniji koriste se radijski valovi frekvencije 450-2200 Mhz. Mreža pokretne ili mobilne telefonije sastoji se od nekoliko baznih radijskih postaja od kojih svaka pokriva određeno zemljopisno područje. Bazne postaje komuniciraju na različitim frekvencijama i svaka od njih kontrolira nekoliko govornih kanala i poslužuje određeni broj korisnika. Bazne postaje kontinuirano šalju i primaju signale, i povezane su kabelom ili bezžično na nepokretnu klasičnu telefonsku mrežu. Gustoća snage ili jakost radijskog signala odaslanog s pokretnog telefona smanjuje se ovisno o udaljenosti od antene, s kvadratom te udaljenosti. Izlazna snaga bazne postaje mijenja se ovisno o njenom tipu i smještaju i to od manje od jednog vata (male jedinice u zatvorenim prostorima i na zidovima zgrada) do nekoliko stotina vata (antene na visokim stupovima). U novijim digitalnim telefonskim sustavima nekoliko korisnika »dijele« jednu te istu frekvenciju (npr. GSM sustav: osam poziva može zaposjesti istu frekvenciju; digitalna informacija je komprimirana u kratkom periodu, šalje se u različitim vremenima u obliku impulsa s različitim telefona).

Radijski valovi se apsorbiraju u biološkim i u drugim tvarima koje sadrže vodu i pri tom se pretvaraju u toplinu. Radi zaštite ljudi od učinka zagrijavanja od radijskih valova, radijski uređaji moraju biti u skladu sa standardima i preporukama.

Pojedine elektroničke komponente stvaraju elektromagnetsko polje te funkcija pojedinih dijelova elektronskih uređaja može biti ugrožena od elektromagnetskog polja stvorenog drugim uređajima. Jedan od glavnih zadataka proizvođača elektroničkih uređaja jest da slijede preporuke za elektromagnetsku kompatibilnost i da spriječe međusobno ometanje, i ugrožavanje zdravlja ljudskog organizma.

Kod baznih postaja koriste se sigurnosne granice (pragovi) izražene u jedinicama gustoće snage ( $W/m^2$ ). Kod korištenja pokretnog telefona (izlaganje je lokalno, određuje se apsorpcija snage po jedinici mase u malom dijelu tijela), sigurnosne granice propisuju se i izražavaju u  $Wkg^{-1}$  (Specific Absorbtion

rate ili SAR). Preporuke i sigurnosne granice propisuje Svjetska zdravstvena organizacija (WHO), Međunarodno društvo za zaštitu od zračenja (IRPA) i Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICCNIRP)

Radi posluživanja što većeg broja korisnika, mreža pokretne telefonije postaje gušća, a broj baznih postaja i antena postaje veći. Antene baznih postaja se smještaju sve bliže korisnicima (fasade zgrada, prodajni centri, uredske zgrade, zračne luke i dr.), ali se njihova izlazna snaga pri tom smanjuje. Tako npr. bazne postaje postavljene u uredskim prostorima imaju izlaznu snagu podjednaku snazi jednog pokretnog telefona. Posebno se propisuju zaštitne mjere i preporuke za montažne inženjere, zaposlenike na montaži i na održavanju antena. Sa zaštitnim mjerama se upoznaju svi zaposlenici te kako prepoznati potencijalni rizik od izlaganja prekomjernom zračenju i kako primijeniti odgovarajuću zaštitu.

U kompaniji Ericsson Nikola Tesla u Zagrebu je izvršeno mjerenje razine zračenja različitih vrsta baznih postaja u krugu kompanije. Mjerena je gustoća snage EM polja oko antenskih sustava radi procjene o mogućem utjecaju na zdravlje zaposlenika i okolnog stanovništva. Rezultati mjerenja su pokazali da je gustoća snage EM polja bitno niža (oko 3 reda veličine) od preporučenih međunarodnih standarda. Mjerenja i mjerodavno mišljenje o razinama zračenja dala je Jedinica za dozimetriju zračenja i radiobiologiju Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu u obliku Interne dokumentacije (2002. g.). Zaključeno je da prema dosadašnjim spoznajama ne postoji opasnost po zdravlje zaposlenika od zračenja. Međutim, mjerenja i istraživanja je potrebno nastaviti, što je potaknuto korisnicima a i samim proizvođačima uređaja pokretne telefonije.

*Mobilna radiotelefonija i »životni okoliš«,  
dubinska ekologija, tema za diskusiju.*

U Hrvatskoj za sada ne postoji dogovorena politika niti kriteriji za zaštitu okoliša od utjecaja ionizirajućeg niti neionizirajućeg zračenja. Pokretna telefonija je opteretila okoliš ulaskom ljudi u »prostore« u koje do sada nisu ulazili. Sustavna istraživanja utjecaja povišene razine neionizirajućeg EM zračenja na okoliš još je svagdje u svijetu na početku. Za sada se koriste pravom učinku na sve komponente okoliša kao niti na njihovu prostornu ili vremensku raspodjelu, ali takav stav se koristi za dobivanje procjena o navedenom učinku na okoliš.....

*»...Habita mnogih vrsta nužno je opterećen novom abiotičkom komponentom onog trenu kad bilo gdje u okolišu izgradimo postrojenje za prijenos radiokomunikacija, tj. za mobilnu telefoniju...«*

Provedena su mjerenja gustoće snage EM polja ekvivalentnog ravnog vala, oko zadanih antenskih sustava, za područja normalne osjetljivosti, radi procjene o mogućem utjecaju na okoliš. Na svakom odabranom mjernom mjestu mjerenja su provedena dvjema metodama: metoda širokopojasnog

mjerenja i metoda selektivnog mjerenja na karakterističnim frekvencijama odašiljanja antena i to za tzv. *najgori mogući slučaj* :

- svi prometni (govorni) kanali su aktivni,
- signal se u svim kanalima odašilje istom snagom kao i u radnom kanalu,
- sva mjerenja su izvršena u maksimalno povoljnim uvjetima rasprostiranja EM valova kroz vanjski prostor (bez oborina, vlažnost zraka je mala, tlak zraka je normalne vrijednosti, vjetar je slab pa je difuzija mikročestica slaba, odnosno *nekorisna apsorpcija je minimalna*)
- snaga nositelja radnog signala je podešena na najveću vrijednost, koja se u danim uvjetima rada bazne postaje može pojaviti.

Mjerenja su vršena u 132 mjerne lokacije, svaka sa po do 10 selektivnih mjerenja.

Vrijednost izmjerene rezultirajuće gustoće snage, izračene iz antena baznih postaja za najgori mogući slučaj rada, ima vrijednost za red veličine manju od preporukama dozvoljene granice za bezopasno izlaganje ljudi radiokomunikacijskom EM polju.

Obzirom da danas niti za jednu živuću vrstu osim čovjeka, ne postoji izražena granično dozvoljena srednja gustoća snage EM zračenja, zaključuje se kako već montirani antenski sustavi na raznim lokacijama u zemlji, kao i buduće montirani slični antenski sustavi, predstavljaju »prihvatljiv« civilizacijski rizik utjecaja na okoliš obzirom na opterećenje okoliša neionizirajućim zračenjem pokretnih radijskih telekomunikacija.

Operateri u RH rade na sustavima tzv. I i II generacije telefonije. Predviđa se međutim uvođenje III tehnološke generacije mobilne telefonije. Time će se opće opterećenje okoliša povišenim neionizirajućim zračenjem iz antena baznih stanica promijeniti. Drugim riječima svekoliki okoliš teritorija RH će pokrivati daleko gušći »telekomunikacijski oblak«, što će se očitovati u povećanoj izračenoj telekomunikacijskoj snazi. Pri izvođenju budućih znanstvenih istraživanja trebat će uzeti u obzir i »epidemiološko istraživanje« korištenja pokretne telefonije. Trebat će istražiti međudjelovanje povišene razine neionizirajućeg EM zračenja i sa drugim živim organizmima u okolišu. Napominje se da neselektivno korištenje osobnog mobilnog telefona (mobitela) predstavlja pravno, sociološki i zdravstveno individualni rizik, koji ovdje nije bilo moguće obraditi.

*Inga Lisac*