



Černobiljski akcident – posledice i pouke

Chernobyl accident – consequences and lessons

Branka Đurović*, Vesna Spasić-Jokić†, Slavica Rađen‡, Silva Dobrić§

Vojnomedicinska akademija, *Institut za medicinu rada, †Institut za higijenu, ‡Institut za naučne informacije, Beograd; Institut za nuklearne nauke Vinča, †Laboratorija za fiziku, Beograd

Ključne reči:

černobilj, nuklearni akcident; povrede, radijacione; radioaktivni zagađivači; neoplazme, radijacijom indukovane; zdravstvena zaštita.

Key words:

chernobyl nuclear accident; radiation injuries; radioactive pollutants; neoplasms, radiation-induced; delivery of health care.

Černobiljski akcident

U subotu, 26. aprila 1986. godine u ranim jutarnjim satima (01:23), dve uzastopne snažne eksplozije, razorile su krov bloka 4 černobiljske nuklearne elektrane (NE). Ogromne količine dima, gasova, građevinskog materijala, grafitu i radioaktivnog materijala našle su se u 2 km visokoj pećurki iznad NE. Procenjuje se da je tokom akcidenta i narednih pet dana u atmosferu oslobođeno oko 10×10^{18} Bq¹.

Požar koji je nastao posle eksplozije, vrlo brzo je zahvatio ceo blok 4 i uzrokovao pojavu dodatnih količina gasova i dima. Najteže – najkrupnije čestice (veće od 10 μm) padale su iz oblaka na tlo u neposrednoj blizini NE. One su nosile 80–90% neisparljivih radionuklida. Manje čestice (0,5–10 μm) bile su nošene vetrom promenljivog pravca veoma daleko, najpre ka zapadu i severu, a zatim ka jugoistoku. Prema zvaničnim podacima na teritoriji bivšeg SSSR-a, prvenstveno na teritoriji Ukrajine, Belorusije i Ruske Federacije, preko 150 000 km² bilo je kontaminisano iznad granične vrednosti od 37 kBq/m². Vrednosti više od granične doze, a manje od 185 kBq/m² izmerene su u skandinavskim zemljama (Finskoj, Norveškoj i Švedskoj), Austriji i balkanskim zemljama, sa ukupnom površinom od 45 000 km². Akcident ovako velikih razmera nije bio ni u najslobodnijim pretpostavkama razmatran u planovima černobiljske NE za rešavanje mogućih akcidentnih situacija².

U černobiljskom akcidentu povišenim dozama zračenja bio je izložen veoma veliki broj stanovnika severne hemisfere, a najviše radnici angažovani na rešavanju akcidenta, bilo da se radilo o neposrednoj – akutnoj intervenciji ili o aktivnostima u fazi raščišćavanja terena, zatim stanovnici visokontaminisanih regiona koji su vrlo brzo bili evakuisani i stanovnici manje kontaminisanih regiona koji nisu bili evakuisani.

Akutno izlaganje radnika

Tokom prvih nekoliko sati bile su izložene osobe koje su bile prisutne u NE u vreme akcidenta ili su stigle u prvim satima posle njega: radnici NE, vatrogasci i medicinsko osoblje. Radnici NE su jedini nosili film dozimetre. U ovoj situaciji, kada su doze u komandnoj sobi reaktora bile na stotine Gy/h, film-dozimetri nisu bili od koristi, jer su mogli registrovati samo doze do 20 mGy. Grupa vatrogasaca, njih 203, stigla je u blok 4 nekoliko minuta posle eksplozije. Nijedan vatrogasac nije bio edukovan za postupak u slučaju požara u kome se oslobađa velika količina radioaktivnog materijala. Pokušavajući da obuzdaju vatru i spreče njeno širenje na druge blokove NE, bili su krajnje neoprezni i potpuno su zanemarili rizik od radijacione. Procenjuje se da su upravo oni primili najveće doze. Kako su doze zračenja bile visoke, preko 100 Gy/h, prvi oboleli od akutnog radijacionog sindroma hospitalizovan je već pre isteka prvog sata. Ekipe hitne medicinske pomoći stigle su već posle 15 min i zajedno sa kolegama iz lokalne bolnice tokom prvih 12 sati hospitalizovale 132 povredene osobe. Za to vreme su, s obzirom na ozbiljnost situacije, dodatno angažovani i eksperti iz Moskve. Tokom prvih dana, preko 1 000 ljudi bilo je angažovano na mestu akcidenta. Pri tome, službe za dozimetriju NE nisu bile opremljene za merenje u akcidentu ovakvih razmera, tako da nije bilo ni ličnih dozimetara, ni dozimetara za automatsko merenje radioaktivnosti životne sredine. Prva merenja na terenu izvele su stručne službe sovjetske vojske koje su došle na lice mesta sa jedinicama upućenim da pruže pomoć spasiocima. Značajnu pomoć pružili su i vojni piloti koji su helikopterima bezbroj puta nadletali oštećeni reaktor i zasipali ga tonama gline, olova i peska.

Simptomi akutne radijacione bolesti (ARB) uočeni su kod 273 radnika, da bi detaljnim analizama dijagnoza bila potvrđena kod 134 osobe. Doza zračenja od 0,7 Gy, u uslo-

vima opšteg izlaganja zračenju bila je minimalna za nastanak ARB. Procenjeno je da su oboleli primili različite doze gama-zračenja: 0,7–2,1 Gy (41 osoba), 2,2–4,1 Gy (22 osobe), 4,2–6,4 Gy (22 osobe) i 6,5–16 Gy (21 osoba), što je odredilo kliničku sliku, terapiju, tok i prognozu bolesti. Stanje polovine obolelih pogoršale su veoma opsežne opekotine nastale zbog visoke temperature i izlaganja izvorima beta-zračenja, čije su lokalne doze bile 10–20 puta veće od izmerenih opštih doza gama-zračenja. Zbog posledica ARB umrlo je 28 radnika³.

Akutno izlaganje stanovništva

Prva merenja na terenu ukazivala su na kontaminaciju visoke vrednosti u zoni prečnika 10 km, a nešto kasnije i 30 km oko NE. Da bi se izbegla panika nije bilo zvaničnih saopštenja i upozorenja o havariji, niti je stanovništvo upozoreno da ostane u zatvorenim prostorijama, iako je do večernjih sati doza zračenja za stanovnike najbližeg grada Pripjata bila 1 000 puta veća od prirodne. Profilaktička podela preparata kalijum-jodida organizovana je za stanovnike Pripjata posle 12 sati, a za stanovnike šireg regiona još kasnije, iako su zalihe preparata postojale. Te noći odlučeno je da se stanovništvo iz zone prečnika 10 km oko reaktora evakuše. U nedelju u podne stanovništvo Pripjata obavesteno je da zapakuje stvari za trodnevni boravak van kuće, da bi već u 14 sati preko 40 000 stanovnika bilo evakuisano. Za manje od 3 sata grad je bio potpuno prazan. Zbog situacije na terenu od 2. do 6. maja evakuisano je i stanovništvo iz zone prečnika 30 km oko reaktora, ukupno oko 150 000 građana. U zonama van evakuisanih organizovani su monitoring životne sredine i nadzor nad zdravstvenim stanjem stanovništva. Istovremeno je utvrđena i veoma strogim sanitarno-higijenskim merama obezbeđena, tzv. zabranjena zona (30 km u prečniku), da bi se sprečio antropogeni transfer radioaktivnosti⁴.

Na zbrinjavanju stanovništva bilo je angažovano 2 000 lekara, 4 000 tehničara, 1 200 studenata završne godine medicine. Formirano je 400 specijalističkih timova, uključujući 212 ekipa za zaštitu dece i trudnica u koje su bili uključeni pedijatri, ginekolozi, hematolozi, endokrinolozi. Izvršena su merenja aktivnosti i procena interne doze za celo telo, pluća i štitastu žlezdu. U junu 1986. osnovane su specijalizovane bolnice za lečenje nastradalih u černobiljskom akcidentu u Kijevu, Minsku i Moskvi⁵.

Pregledano je i kompletno klinički obrađeno više od 600 000 ljudi, uključujući 215 300 dece. Među stanovnicima Pripjata nije bilo obolelih od ARB²⁻⁴. S obzirom na bliski kontakt velikog broja ljudi u kolektivnom smeštaju i izmenjenim uslovima ishrane i vodosnabdevanja sprovedene su i stroge preventivno-epidemiološke mere⁶.

Medicinska služba angažovana u ovom akcidentu na rešavanju akutne faze postigla je herojski uspeh u zbrinjavanju radnika i stanovnika kontaminiranog regiona. Imajući u vidu ogroman broj pregleda i laboratorijskih analiza koje su obavljale terenske laboratorije različitih vrsta (radiometrijske, biohemijske, hematološke, citogenetske), veliku prostornu razduženost ekipa, paniku i nedovoljnu pripremljenost načinjene „greške i propusti“ mogu samo poslužiti kao pouka za

poboljšanje mera radiološke zaštite. Medicinske ekipe su svojim vanrednim naporom i angažovanjem u mnogim oblastima dijagnostike i terapije radijacione povrede uvele novine i unapredile ranije ustanovljene procedure. Sveobuhvatnim radom (radiometrijskim, kliničkim, epidemiološkim i kasnije eksperimentnim), angažovani kadrovi otvorili su čitav niz novih pitanja i problema, od osnovnih radiobioloških mehanizama do rešenja ekoloških problema širokih razmera.

Život na kontaminisanom terenu

Za procenu dugoročnog uticaja jonizujućih zračenja potreban je ogroman broj podataka o: količini rasutog radioaktivnog materijala, hemijskom obliku – jedinjenju, poluvremenu raspada i biološkom poluvremenu, aktivnosti, odnosno procenjenoj dozi, načinima ekspozicije, putevima kontaminacije, kretanju izotopa u prirodi itd.

Tokom akcidenta u atmosferu je oslobođeno preko 40 radionuklida, ali su za živi svet najznačajniji izotopi joda (prvenstveno ¹³¹I), stroncijuma (⁹⁰Sr), cezijuma (¹³⁴Cs i ¹³⁷Cs) i plutonijuma (²³⁹Pu i ²⁴⁰Pu)^{3, 7, 8}.

Ljudi su se mogli kontaminisati direktno – inhalacijom čestica aerosola ili posredno – ingestijom kontaminisane hrane i vode. Aktivnost čestica aerosola bila je od 0,1 do 10 kBq u zavisnosti od njihovog hemijskog sastava. Inhalirane čestice, najčešće α -emiteri, ostaju veoma dugo u respiratornom traktu, gde emituju značajnu dozu (čak 1 Gy/h) na malom prostoru, uzrokujući tzv. *hot spot* kontaminaciju. Zbog kratkog dometa i visoke energije α -čestice, ćelije u neposrednoj blizini izložene su letalnoj dozi. Čelije u prečniku od nekoliko milimetara izložene su subletalnoj dozi koja dovodi do značajnih ozleđa ćelije i uzrokuje brojne genetske i metaboličke promene. Mišljenja o značaju ovih promena u radiobiologiji su podeljena. Dok jedni smatraju da se efekti ne razlikuju od efekata iste ravnomerno distribuirane doze jonizujućeg zračenja, drugi smatraju da je ta vrsta kontaminacije mnogo štetnija i da su nastale promene važan korak u procesu maligne transformacije povređene ćelije^{8,9}.

Iako je kontaminisano sve u životnoj okolini, za živi svet najvažnija je kontaminacija vode i zemljišta. U prvim nedeljama posle akcidenta najvažniji kontaminanti bili su kratkoživeći izotopi joda, prvenstveno ¹³¹I, čije je vreme poluraspada oko osam dana. Najvažnija je bila kontaminacija listastog povrća i trave, zbog uticaja na kontaminaciju domaćih životinja i posredno mleka, koje je bilo glavni izvor kontaminacije za stanovništvo, naročito decu. Kako je visoka temperatura u reaktoru povećala isparljivost jedinjenja joda, stvoreni su i uslovi za inhalaciju, kao i njihov transport na veće udaljenosti od Černobilja. Preparate kalijum-jodida dobilo je 5,4 miliona stanovnika, uključujući i 1,7 miliona dece. Posebna pažnja poklonjena je zaštiti rizičnih grupa – dece, trudnica i dojilja. Pod vrlo rigoroznom kontrolom primili su jodnu profilaksu, čiji je cilj da blokira nakupljanje inhaliranog ¹³¹I u štitastu žlezdu, a zatim su evakuisani u sanatorijume i odmarališta daleko van kontaminirane zone^{9,10}.

Aktivnost ¹³⁷Cs u životnoj sredini, prvenstveno zemljištu, pre akcidenta bila je 2–4 kBq/m² i poticala je od prethodnih nuklearnih proba. ¹³⁷Cs, oslobođen tokom akcidenta, sa

zemljišta je prenet na biljke, povrće (krompir, gljive, borovnice) i travu (pašnjake) koji su postali osnovni izvor ^{137}Cs za stanovništvo narednih godina. Aktivnost ^{137}Cs smanjivala se 3–6 puta godišnje. Za razliku od ^{137}Cs , aktivnost ^{90}Sr bila je povećana uglavnom u neposrednoj okolini NE (prečnik 30 km) i nije se smanjivala značajno u prvim godinama posle akcidenta. Uočen je čak i porast aktivnosti ^{90}Sr u životnoj sredini, što je bilo posledica promene hemijskog oblika i prelaska stroncijuma iz nerastvorljivih u rastvorljiva jedinjenja, koja su onda postala transportabilna u prirodi. U istoj zoni bila je povišena i aktivnost plutonijuma ($> 4 \text{ kBq/m}^2$), što je čak 4–6 puta manje od inače prisutnog zagađenja u životnoj sredini ¹¹.

Za živi svet bila je značajna i kontaminacija prirodnih voda. Mora i okeani nisu značajno kontaminisani, zbog dilucije kontaminanta. Najznačajnija je bila kontaminacija reka i manjih jezera, neposredno ili posredno preko kontaminiranog zemljišta. Posledična značajna kontaminacija ribe direktno se odrazila na kontaminaciju stanovništva u priobalju. Merenja su pokazala da je sadržaj ^{137}Cs bio čak sedam puta veći u telima odraslih koji su redovno konzumirali ribu u odnosu na one koji je nisu koristili u ishrani. Sadržaj je dodatno bio veći u stanovništva naseljenog nizvodno od reaktora ⁷.

Sve aktivnosti su planirane, a procene rizika vršene su na osnovu izmerenih aktivnosti. Tako je, prema stepenu kontaminacije, područje podeljeno u četiri zone u kojima je ustanovljen različiti režim života i rada, od iseljavanja sa zabranom povratka za 30 godina ($> 148 \times 10^{10} \text{ Bq}$), iseljavanje sa kasnijim dobrovoljnim povratkom ($55,5\text{--}148 \times 10^{10} \text{ Bq}$), izmeštanje sa brzim povratkom ($18,5\text{--}55,5 \times 10^{10} \text{ Bq}$) i ostankom sa obaveznim monitoringom životne sredine (do $18,5 \times 10^{10} \text{ Bq}$) ^{3, 7, 11}.

Ministarstvo zdravlja SSSR-a odredilo je privremene granične vrednosti spoljašnje ekspozicije za stanovništvo, i to 100 mSv za 1986. godinu, 30 mSv za 1987, po 25 mSv za 1988. i 1989, umesto prethodno važećih 5 mSv. Isto tako, određene su i nove granične aktivnosti za pojedine namirnice. Sve ove mere nisu dale očekivane rezultate čitavih 10 godina, tokom kojih se razvilo nezadovoljstvo i nepoverenje stanovništva ^{11–13}.

Propusti – pouke

Černobiljski akcident, kao najveći do sada, ukazao je na čitav niz problema i podstakao međunarodnu zajednicu na iznalaženje novih rešenja.

U akutnoj fazi postalo je jasno da ne postoji precizan plan aktivnosti i opreme za dozimetriju, da radnici nisu adekvatno pripremljeni i da je uz paniku i radiofobiju stanovništva došlo do gubitka dragocenog vremena u prvim danima akcidenta. Potrebno je planovima veoma precizno regulisati izolaciju, profilaksu i evakuaciju stanovništva, kao i dugotrajni monitoring. Ipak, zahvaljujući nesebičnom zalaganju i velikom naporu spasilačkih i medicinskih ekipa, uprkos brojnim teškoćama, efikasnost sprovedenih mera bila je izuzetno visoka. Tako su, primenom „herojske terapije“, koja je obuhvatala: izolaciju bolesnika u aseptičnim uslovima, profilaktičku i terapijsku upotrebu antibiotika, primenu pojedinih

derivata krvi, transplantaciju kostne srži, korekciju metaboličkih poremećaja i kompletnu parenteralnu ishranu i simptomatsku terapiju, a lekari dvostruko povećali srednju letalnu dozu zračenja (LD_{50}) sa 4,5 na 9 Gy. Čak 88% izlečenih je posle oporavka imalo punu radnu sposobnost. Neki su se vratili na stara radna mesta, neki su se prekvalifikovali, dok su se neki aktivno uključili u programe edukacije u oblasti radiološke zaštite. Na osnovu rezultata rada sovjetskih stručnjaka postavljeni su novi standardi za dijagnostiku i terapiju akutne radijacione bolesti ^{10, 14}.

Veoma brzo posle černobiljskog akcidenta usvojeno je nekoliko međunarodnih konvencija: o brzom obaveštavanju drugih zemalja, o pomoći međunarodne zajednice, o interventnim nivoima i standardima za radioaktivnost namirnica, voda i predmeta opšte upotrebe, o dijagnostičkim postupcima, naročito biodozimetriji i epidemiološkom praćenju, akcidentno izloženih jonizujućim zračenjima, o različitim vidovima edukacije. Prisutni kasni efekti i umanjene životne i radne sposobnosti tokom i posle perioda oporavka od ARB ukazali su na potrebu dugotrajnog praćenja ovih bolesnika ^{15, 16}.

Dugoročno praćenje zdravstvenog stanja stanovništva posle akcidentnog izlaganja jonizujućim zračenjima ima za cilj prevenciju i ranu dijagnostiku kasnih efekata. Ove aktivnosti, kao i procene posledica i rizika otežani su brojnim nerešenim medicinskim i radiobiološkim problemima ^{17–20}. Epidemiološki se, s obzirom na male doze, vrlo često ne može dokazati štetni uticaj kontaminacije životne sredine. Kako nejasni mehanizmi nastanka radijacione povrede u zoni malih doza ograničavaju dijagnostičke mogućnosti, brojni su pokušaji pronalaženja novih testova i validnih biomarkera (radiometrijskih, biohemijskih, citogenetskih) ^{21–23}. Zvanični stav međunarodnih komisija o efektima malih doza jonizujućeg zračenja u produženoj ekspoziciji baziran je na ekstrapolaciji efekata velikih doza, tako da je uglavnom procenjen na veoma mali i nije u saglasnosti sa epidemiološkim podacima. Eksperimentni i epidemiološki podaci često govore o velikoj, potcenjenoj štetnosti izlaganja niskim dozama jonizujućih zračenja ²⁴. Dokazano je da najosetljiviji deo ćelije na nivou niskih doza nije jedro, kako je to opšteprihvaćeno, već ćelijska membrana i da su na nivou niskih i ekstremno niskih doza jonizujućeg zračenja u produženoj ekspoziciji događaji na ćelijskoj membrani presudni za opstanak ćelije ^{25–26}. Upozoravao je da hronična ekspozicija niskim dozama (u radnoj ili životnoj sredini) nije zanemarljiva, kako to pretpostavljaju zvanični izvori, već da, s obzirom na brojne uloge ćelijske membrane, nosi veoma veliki rizik. Ovaj rizik, nažalost, ne može biti dokazan, jer se biodozimetrija bazira na primeni citogenetskih testova koji prate ozlede jedra, koje je na nivou niskih doza za razliku od ćelijske membrane, veoma dobro zaštićeno brojnim ćelijskim mehanizmima. Time se dobija lažna slika o zanemarljivim efektima radioaktivnog zagađenja životne sredine u uslovima ekspozicije niskim dozama jonizujućeg zračenja. Naime, veoma mala učestalost citogenetskih promena kod eksponiranih niskim dozama jonizujućeg zračenja tumači se kao zanemarljiv kancerogeni rizik. Pri toj učestalosti oštećenja DNK, mehanizmi zaštite, kao što je npr. odlaganje mitoze, omogućavaju reparaciju na-

stalih ozleđa. Graub²⁷ nasuprot njima smatra da ozleđe ćelijske membrane, prouzrokovane slobodnim radikalima narušavaju red i dinamiku mehanizama za zaštitu i reparaciju DNK. Promene metabolizma koje pri tom nastaju (promena odnosa cAMP i cGMP) predstavljaju impuls za deobu ćelije, koji poništava zaštitno odlaganje mitoze za reparaciju DNK, čime se ozleđa DNK prenosi na naredne ćelijske generacije. Zbog toga ozleđe ćelijske membrane predstavljaju najznačajniji događaj na nivou malih doza jonizujućih zračenja²⁷.

Epidemiološkim studijama o efektima niskih doza koje potiču od radijacionog zagađenja uzrokovanog nuklearnim probama i eksploatacijom nuklearne energije, uzimajući u obzir i Petkau efekat, dokazano je da niske doze jonizujućeg zračenja u životnoj i radnoj sredini imaju 100 do 1 000 puta veći štetni efekat nego što se to pretpostavlja na osnovu ekstrapolacije rezultata žrtava Hirošime i Nagasakija i na osnovu zvaničnih procena rizika²⁷.

Kod stanovnika Belorusije uočeno je značajno neslaganje rezultata biološke i fizičke dozimetrije i pet godina posle akcidenta, pri čemu su npr. vrednosti hromozomskih aberacija bile čak 100 puta veće od očekivanih, što može biti posledica genomske nestabilnosti. Kako je ona povezana sa oksidativnim stresom i poremećaj genske ekspresije često se dovodi u vezu sa procesima kancerogeneze^{27,28}.

Istovremeno se u literaturi nalaze i suprotni podaci o postojanju adaptacije u uslovima hroničnog izlaganja niskim dozama jonizujućih zračenja²⁹.

Kasne posledice černobiljskog akcidenta ispitivane su u svim zemljama kontaminisanih teritorija, ali najviše u Belorusiji, Ukrajini i Ruskoj federaciji čije su teritorije najviše kontaminisane. Najveća briga ispoljena je za zdravlje dece. U ovim zemljama uočen je porast incidencije tumora štitaste žlezde dečijeg doba. Samo u periodu od 1986. do 1993. godine u Belorusiji su registrovana 154 obolela deteta, što je značajni porast u odnosu na 17 slučajeva godišnje pre akcidenta. Do 1998. godine učestalost tumora štitaste žlezde je bila 7–10 puta veća kod dece i četiri puta veća kod mladih žena Belorusije u odnosu na ostale nekontaminirane regione SSSR-a. Oko 1 800 karcinoma štitaste žlezde prijavljeno je od 1990. do 1998. godine u Belorusiji, Ukrajini i Ruskoj federaciji. Istovremeno kod dece evropskih zemalja nije uočen povećan broj obolelih⁷.

Tumori su otkriveni u ranoj fazi. Uglavnom se radi o papilarnim karcinomima izuzetno agresivnog kliničkog toka sa brojnim i ranim metastazama, prvenstveno u plućima. Pored toga, uočeno je slabljenje imuniteta dece, zbog čega je opšti morbiditet bio u porastu, a dečije bolesti trajale su duže i imale veći broj komplikacija³⁰.

Registrovana je četiri puta veća incidencija kardiovaskularnih bolesti kod odraslih muškaraca, ali bez dokaza o povezanosti sa stepenom kontaminacije životne sredine. Iako se leukemije smatraju ranim kancerogenim efektom jonizujućeg zračenja, u prvim godinama posle akcidenta, sve do 1993. godine, nije bilo porasta učestalosti akutne leukemije i limfoma u odnosu na period od 1981. godine, kada je u zemljama bivšeg SSSR-a već uočen blagi porast broja obolelih³¹. Ovaj trend održan je i u kasnijim godinama, a uočen je i za druge maligne bolesti⁷.

U prve tri godine posle akcidenta uočena je za 54% povećana incidencija kongenitalnih malformacija, da bi 1991. godine njihov broj bio na nivou pre akcidenta. Uočene anomalije imaju heterogenu etiologiju: češća pojava udvajanja bubrega i uretera, polidaktilija, defekti neuralne tube, tako da se ne mogu povezati samo sa zračenjem. Monozomije ili trizomije nisu uočene, kao ni direktni teratogeni efekti jonizujućeg zračenja^{7,30}.

Sedam godina posle akcidenta čak 70% stanovnika Belorusije bolovalo je od nekog oblika psihosomatskog oboljenja ili neuroze zbog hroničnog intenzivnog stresa uzrokovano strahom i nesigurnošću zbog kontaminacije, ali i dodatno promenjenih političkih i ekonomskih uslova življenja. Mnogi su ovo stanje definisali kao posttraumatski stres sindrom. Ovi poremećaji javljali su se u velikom broju ne samo kod osoba koje su nastavile boravak na kontaminisanom terenu već i kod raseljenih lica. Raseljena lica su se zbog brojnih faktora (ekonomskih, političkih, kulturoloških) teško privikavala na novu sredinu. S druge strane, domaće stanovništvo nerado je prihvatalo pridošlice. Doseljeni su sklapali mnogo manje brakova, imali manje potomaka, teže nalazili posao i prijatelje, praktično su živeli u nekoj vrsti izolacije. Mnogi su u takvim uslovima ispoljavali različite psihičke i emotivne poremećaje, bežali u alkoholizam i depresiju u tzv. „černobiljsku psihološku kontaminaciju“^{7,30,32}.

Imajući u vidu dug latentni period za pojavu malignih promena indukovanim jonizujućim zračenjima neophodno je dalje praćenje stanovništva.

Povratak na „normalan život“ posle radijacionog akcidenta

Povratak na „normalne“ ili barem prihvatljive životne uslove posle černobiljskog akcidenta bio je jedan od najdelikatnijih problema za osobe koje nisu raseljene i koje su nastavile život u izmenjenim uslovima na kontaminisanom terenu. Ranije ustanovljeni kriterijumi radiološke zaštite, kao i novi, postakcidentno usvojeni u skladu sa postojećom situacijom i usklađeni sa važećim međunarodnim standardima, nisu bili i socijalno prihvatljivi, iako su više puta revidirani pod pritiskom lokalnih vlasti. Černobiljski akcident je prvi te vrste u kome je kako sovjetskim stručnim službama, tako i međunarodnim komisijama postao jasan značaj i ideo socijalne dimenzije koja je Međunarodnim černobiljskim projektom bila potpuno zanemarena. Upravo ona je bacala senku na sve racionalne i naučno zasnovane mere. Postalo je jasno da život na kontaminisanom terenu ne može biti procenjivan i vrednovan dozama, nivoom aktivnosti i sl., te da u celom projektu nešto važno nedostaje^{3,12,33,34}.

Eksperti međunarodnih komisija zajedno sa sovjetskim stručnjacima analizirali su mere sprovedene za rešavanje postakcidentnih problema. Analiza je pokazala da je odgovor i stav stanovništva u kratkotrajnoj, akutnoj fazi akcidenta bio adekvatan: stanovnici su poštovali preuzete mere i pokazali herojski napor u periodu rešavanja akutne opasnosti, dok su stanovnici okolnih regiona pokazali snažnu solidarnost sa stanovništvom ugroženih teritorija. Osnovni problem nastao je u kasnijem periodu, tzv. periodu prihvatanja, u kome je

trebalo da dođe do potpune kontrole na ugroženoj teritoriji kako bi se omogućila popravka nastale štete, kontrola zaostalih rizika i rehabilitacija osnovnih socijalnih funkcija i životne sredine. Stanovništvo nije prihvatilo novonastalu situaciju i rizike, zbog nepoverenja uzrokovanog izostankom pravovremenih informacija tokom ranijih faza akcidenta i nekim kontradiktornim merama preduzetim tokom akutne faze. Za većinu stanovnika bila je neprihvatljiva činjenica o trajanju kontaminacije životne sredine, kao i činjenica da žive u posebno označenoj zoni, zbog čega su i sami postali na neki način „označeni“. U takvoj situaciji načešći stav je bio potpuno poricanje rizika, kada su stanovnici mislili da su posle nekoliko godina boravka na kontaminisanom terenu na neki način „imunizovani“, te da im se ne može dogoditi ništa loše. Nasuprot njima, druga grupa je zauzimala fatalistički stav potpune odbačenosti, žrtvovanosti i velike nepravde. Oba stava vodila su ka značajnom povećanju rizika. Najređi, ali svakako najbolji stav suočavanja i borbe sa problemom življenja na kontaminisanom terenu zahtevao je mnogo angažovanja i mnogo znanja^{13,35}.

Najveći problem predstavljao je koncept graničnih doza, koji je shvaćen kao sistem dvostrukih standarda. Sistem promenljivih graničnih doza, često dosta visokih, nije ulivao poverenje, jer stanovnicima nije bila jasna granica između neprihvatljivih, tolerantnih, prihvatljivih i bezbednih doza. Osim toga, insistiranje na graničnim dozama i kontaminaciji životne sredine potpuno je potisnulo aktivnu ulogu stanovništva u rešavanju svakodnevnih životnih problema i odgovornost za sopstveni život. Stanovnici označenih zona nisu prihvatili da žive pod posebnim uslovima – želeli su da budi „normalni građani“, tako da su prihvatili samo mere kojima su se izjednačavali uslovi življenja u zoni sa onima van nje¹³.

Imajući u vidu sve nedostatke i neispunjena očekivanja Međunarodnog černobiljskog projekta, osmišljen je novi međunarodni projekat *ETHOS Project in Belarus*, u kome su naglašeni svi aspekti postakcidentne krize: psihološki, socijalni, ekonomski, politički i etički, sa ciljem da se dugoročno poboljšaju životni uslovi. Mere su primenjene u nekoliko beloruskih sela u kojima je procenjena srednja godišnja individualna doza iznosila 1–5 mSv, a kontaminacija zemljišta cezijumom kretala se u rasponu od 185 do 555 kBq/m², što je po tada važećim kriterijumima tzv. zona dobrovoljnog iseljenja ili ostanka. Suštinska razlika u odnosu na prethodne projekte bila je u pristupu i ulozi stanovnika kontaminisanih sela. ETHOS projektom planirano je da upravo oni budu glavni nosioci dugoročnih aktivnosti. Za prihvatanje ove uloge bilo je neophodno edukovati posebno zainteresovane ili ugrožene grupe, kao što su mlade majke, učitelji, poljoprivrednici, tinejdžeri. Svaka od navedenih grupa edukovana je za specifičnu aktivnost, npr. kako sprovesti radiološku zaštitu dece, kako poboljšati radiološke ispravnosti mesa, mleka, povrća, kako bezbedno živeti na kontaminisanom terenu i sl.

Projekat je trajao tri godine (1996–1998) pod stručnim nadzorom Evropskog interdisciplinarnog stručnog tima i beloruskih partnera. Kako je najveća briga ispoljena za zdravlje dece, tako je za poboljšanje radiološke zaštite dece organizovana edukacija majki. Mlade majke su praktično obučene

kako da se ponašaju u skladu sa dozama zračenja u životnoj sredini, npr. koliko vremena mogu da provode u prirodi da bi smanjile izloženost dece zračenju i kako da pravilnim izborom namirnica smanje njihovu internu kontaminaciju. Posle edukacije majki interna kontaminacija dece smanjena je za čak 30%. Majke su pokazale ne samo istrajnost u edukaciji već i izuzetan stepen samostalnosti i kreativnosti. Tako su upravo one upozorile eksperte na značajan udeo pepela i kućnih ognjišta na ukupnu dozu ukućana, posle čega je prema stepenu kontaminacije napravljena stroga selekcija šuma koje se mogu seći i koristiti kao gorivo. Značajno dodatno poboljšanje zaštite donela je edukacija medicinskih radnika pedijatrijske službe koji su u programu bili povezani sa majkama. Posle edukacije poljoprivrednika jednostavnim merama, kao što su izbor pašnjaka i stočne hrane, značajno je smanjena kontaminacija mleka, mesa i povrća. U program edukacije same dece uključeni su i prosvetni radnici koji su bili izuzetno motivisani.³³

Posle uspeha prve faze ETHOS projekta došlo je do daljeg angažovanja, kako eksperata EU, tako i stanovnika edukovanih tokom prve faze na daljoj edukaciji stanovnika kontaminiranih regiona i poboljšavanja i unapređivanja mera tokom sledeće tri godine (1999–2001). U ovoj fazi sve predviđene mere su primenjene sa mnogo manje otpora i u mnogo kraćem vremenu, kako zbog poboljšanja mera, tako i zbog znatno poboljšanog poverenja u članove tima i državnu upravu, odnosno institucije koje su organizovale ove aktivnosti^{33,36}.

U akcidentnim i naročito postakcidentnim uslovima, kada je poverenje u institucije po pravilu narušeno, a verovanje u druge ljude oslabljeno, angažovanjem stanovništva na rešavanju akcidenta, vera u ljude se vraćala i postajala osnov za uspostavljanje poverenja u institucije na sasvim novim osnovama. Vlada Belorusije je u oktobru 2003. pokrenula i međunarodni program *Cooperation for Rehabilitation – CORE*, kojim se u unapređenje radiološke zaštite putem edukacije uključuju i najmlađi³⁴.

Pouke za budućnost

Akcident u Černobilju pokazao je da prilikom oslobađanja velike količine radioaktivnosti ogroman broj ljudi iz različitih zemalja može biti izložen povišenim dozama zračenja ili biti značajno kontaminisan. Stoga su na državnom nivou neophodni precizni planovi i programi za zbrinjavanje povređenih i obolelih u ovakvim uslovima. Takođe je vrlo važno dobro, pouzdano i pravovremeno informisanje stanovništva, bez prikrivanja relevantnih informacija. Tehnički, teorijski i praktično pripremljene specifične službe kao što su vatrogasne, dozimetrijske, veterinarske, komunalne i naravno medicinske, osnovni su preduslov za neposrednu pomoć u akutnoj fazi svakog akcidenta. Edukacija stanovništva, aktivno uključivanje u rešavanje svakodnevnih problema tokom akcidenta i poverenje ključni su za rešavanje dugoročnih posledica. Kako akcidenti ove vrste ne ostaju problem jedne zemlje, Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) i komisije za zaštitu od zračenja uložile su mnogo napora posle černobiljskog akcidenta da pripreme i ponude međunaro-

dnoj javnosti brojne programe za rešavanje pojedinih faza akcidenta kako bi aktivnosti bile standardizovane i sinhronizovane. Tako je u zemljama Evropske Unije kreiran *SAGE-Project (Standing Against Global Exploitation)* sa ciljem da se razviju strategija i praktični aspekti radiološke zaštite u slučaju akcidenta ili incidenta sa dugoročnom kontaminacijom. Kao i ETHOS, projekat je baziran na specijalnim treninzima i edukaciji različitih grupa stanovnika i profesionalaca. Ceo program, u početnoj fazi, kreiran je na osnovu mreže postojeće infrastrukture za rešavanje akcidenta u Velikoj Britaniji, Francuskoj i Nemačkoj, čime su naglašeni nedostaci i razlike koje bi trebalo otkloniti da bi se postigla harmonizacija propisa i aktivnosti u EU³⁷. Na osnovu analize uočeno je da u sve tri pomenute zemlje postoji veliki broj problema u ovoj oblasti. Oprema bi zadovoljila samo potrebe u akutnoj, ali ne i u hroničnoj fazi. Takođe je uočeno da nema dovoljno tehnički obučeni lica za kompletnu dozimetrijsku kontrolu. U Nemačkoj, koja je generalno protiv nuklearne energije, ali još uvek poseduje mali broj uglavnom starijih

NE, posle černobiljskog akcidenta razvijena je mreža za dozimetrijsku kontrolu životne sredine, čak i za praćenje dugoročne kontaminacije. Najveći nedostaci uočeni su u oblasti medicinskog zbrinjavanja i edukacije, kako profesionalno eksponiranih, tako i stanovništva, naročito majki, učitelja, vaspitača³³.

U našoj zemlji, osim kontaminacije prouzrokovane černobiljskim akcidentom, došlo je do naknadne kontaminacije značajnog dela teritorije osiromašenim uranijumom³⁸⁻⁴⁰. I tada, kao i neposredno posle černobiljskog akcidenta, došlo je do ispoljavanja svih slabosti našeg sistema radiološke zaštite: od loše organizacije, preko nepotpune edukacije i nepostojanja jedinstvenih standarda u rešavanju postakcidentne situacije do narušenog poverenja stanovništva⁴¹⁻⁴³. Pouke iz velikih akcidenata kakav je černobiljski, kao i modeli rešavanja ovih problema u zemljama EU, mogu biti značajna pomoć za uspostavljanje pouzdanog sistema i infrastrukture za rešavanje dugoročne kontaminacije životne sredine i u našoj zemlji.

L I T E R A T U R A

1. *International Atomic Energy Agency (IAEA)*. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident, Vienna: IAEA; 1996.
2. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)*. Report on Exposures from the Chernobyl Accident. Vienna: UNSCEAR 1/AC82/Rep 469; 1988.
3. *International Advisory Committee (IAEA)*. The International Chernobyl Project: Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measurements. Vienna: IAEA; 1991.
4. *Ilyi LA*. The Chernobyl Experience in the Context of Contemporary Radiation Protection Problems. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 47-63.
5. *Romanenko AE*. Protection of Health During a Large Scale Accident. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 65-78.
6. *Sergeev GV*. Medical and Sanitary Measures Taken to Deal with the Consequences of the Chernobyl Accident. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 23-38.
7. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. Report on Exposures from the Chernobyl Accident. Vienna: UNSCEAR; 2001. Available from: <http://www.unis.unvienna.org/unis/presseels/2001/note138.html>
8. *Bair WJ*. Toxicology of plutonium. In: *Lett JT, Adler H, Zelle M, editors*. Advances in radiation biology. New York: Academic Press; 1974. p. 255-315.
9. *Gavrilin YI, Gordeev KI, Ivanov VK, Ilyin LA, Kondruser AI, Margulis UY, et al*. Sanitary and Health Measures Taken to Deal with the Consequences of the Chernobyl Accident. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 39-45.
10. *Guskova AK, Nadezhina NM, Barabanova AV, Baranov AE, Gusev LA*. Acute Effects of Radiation Exposure Following the Chernobyl Accident: Immediate Results of Radiation Sickness and Outcome of Treatment. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 233-56.
11. *International Atomic Energy Agency (IAEA)*. The International Chernobyl Project: Technical Report. Report by an International Advisory Committee; Vienna: IAEA; 1991.
12. *Lochard J, Pretre S*. Intervention after accident: Understanding the Societal Impact.. Proceedings of Workshop on Radiation Protection toward the Turn of the Century; 1993; Jan 11-13, Paris: OECD-NEA; 1993. p. 639-53.
13. *Lochard J, Pretre S*. Return to normality after a radiological emergency. Health Phys 1995; 68(1): 21-6.
14. *Baranov AE*. Transplantation of the Bone Marrow in Victims of the Chernobyl Accident. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 257-66.
15. *Bebeshko VG, Prevarskij BP, Khalyanko IG, Shimelis IV, Belyj DA*. Rehabilitation of Victims of Acute Radiation Sickness. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988: 267-72..
16. *International Atomic Energy Agency*. Rapid monitoring of large groups of internally contaminated people following a radiation accident. Vienna: IAEA-TECDOC-746; 1994.
17. *Koksal G, Lloyd DC, Edwards AA, Prosser JS*. The dependence of the micronucleus yield in human lymphocytes on culture and cytokinesis blocking times. Rad Prot Dosim 1989; 29(3): 209-12.
18. *Prosser JS, Moquet JE, Lloyd DC, Edwards AA*. Radiation induction of micronuclei in human lymphocytes. Mutat Res 1988; 199(1): 37-45.
19. *Koteles GJ*. Biological Dosimetry In: IAEA. Proceeding of the International Congress on Radiation Protection; 1996 Apr 14-19; Vienna: 1996. p. 1-40.
20. *Bonassi S, Neri M, Puntoni R*. Validation of biomarkers as early predictors of disease. Mutat Res 2001; 480-481: 349-58.
21. *Nakajima T*. Sugar as an emergency populace dosimeter for radiation accidents. Health Phys 1988; 55(6): 951-5.
22. *Chang WP, Tsai MS, Hwang JS, Lin YP, Hsieh WA, Huang SY*. Follow-up in the micronucleus frequencies and its subsets in human population with chronic low-dose gamma-irradiation exposure. Mutat Res 1999; 428(1-2): 99-105.
23. *Pohl-Ruling J*. Chromosome aberrations of blood lymphocytes induced by low-level doses of ionizing radiation. In: Obe G, editor. Advances in Mutagenesis Research 2. Berlin: Springer; 1990. p. 155-190.
24. *Stewart A*. The carcinogenic effects of low level radiation. A reappraisal of epidemiologists methods and observations. Health Phys 1973; 24(2): 223-40.
25. *Dainiak N, Tan BJ*. Utility of biological membranes as indicators for radiation exposure: alterations in membrane structure and function over time. Stem Cells 1995; 13 Suppl 1: 142-52.

26. *Dainiak N.* Mechanisms of radiation injury: impact of molecular medicine. *Stem Cells* 1997; 15 Suppl 2: 1–5.
27. *Graub R.* The Petkau Effect. 2nd ed. New York: Four Walls Eight Windows; 1994.
28. *Verschaeve L, Domracheva EV, Kuznetsov SA, Nechai VV.* Chromosome aberrations in inhabitants of Byelorussia: consequence of the Chernobyl accident. *Mutat Res* 1993; 287(2): 253–9.
29. *Fabrikant JI.* Adaptation of cell renewal systems under continuous irradiation. *Health Phys* 1987; 52(5): 561–70.
30. *Krissenko N.* Overview of 1993 research activities in Belarus related to the Chernobyl accident. *Stem Cells* 1997; 15 Suppl 2: 207–10.
31. *van Hoff J, Averkin YI, Hilchenko EI, Prudynus IS.* Epidemiology of childhood cancer in Belarus: review of data 1978–1994, and discussion of the new Belarusian Childhood Cancer Registry. *Stem Cells* 1997; 15 Suppl 2: 231–41.
32. *Aleksandrovskij YA.* Pseudoneurotic Disorders Associated with the Chernobyl Accident. The Chernobyl Experience in the Context of Contemporary Radiation Protection Problems. Vienna: IAEA-TECDOC-516; 1988. 283–91.
33. *Lochard J.* Living in Contaminated territories: A Lesson in Stakeholder Involvement. In: *Metvier H, Arranz L, Gallego E, Sugier A*, editors. *Current Trends in Radiation Protection*. USA: EDP Sciences; 2004. p. 211–20.
34. *Earle TC.* Social Trust: outline of a new understanding, Paris: TRUSTNET Concerted Action; 1998.
35. *Girard P, Heriard Dubreuil G.* Stress in accident and post-accident management at Chernobyl. *J Radiol Prot* 1996; 16(3): 167–80.
36. *International Commission on Radiological Protection.* Protection of the Public in Situations of Prolonged Exposure. ICRP Publication 82 Volume 29. Oxford: Pergamon Press; 1999.
37. *International Atomic Energy Agency.* Remediation of Areas Contaminated by past Activities and Accidents. Vienna: IAEA-Safety Requirements No. WS-R-3; 2003.
38. *Mišović M, Đurović B.* Use of ammunition with depleted uranium in the NATO aggression against SRJ in 1999. In: *Todorović S*, editor. *Proceedings of the 5th Serbian and Montenegrin Conference of neurology and Psychiatry on Development*; 2005 Apr 21–23; Belgrade: Status; 2005. p. 57–60. (Serbian)
39. *Đurović B.* Implication of radioactive contamination of the living environment for the postcity. In: *Todorović S*, editor. *Proceedings of the 5th Serbian and Montenegrin Conference of Neurology and psychiatry on Development*, 2005 Apr 21–23; Belgrade: Status; 2005. p. 61–6. (Serbian)
40. *Đurović B.* Health risks of the use of depleted uranium. In: *Havashi R, Čosić J, Havashi T*, editors. *Role and the significance of Professor Živojin Čulum for the popularization of science*. Monograph. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka; 2004. p. 128–38. (Serbian)
41. *Spaić R, Đurović B, Spasić-Jokić V.* Methods to Assess Intake of Depleted Uranium. *Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2003; 9(4): 279–83.
42. *Mišović M, Đurović B.* Basic characteristics of radioactive contamination and decontamination in terms of tactical level. In: *Antonić M*, editor. *Selected chapters from wartime internal medicine*. Belgrade: Vojnoizdavački zavod; 2000. p. 192–202. (Serbian)
43. *Đurović B.* Biomedical aspects of the application of ammunition with depleted uranium. *Hemijska industrija* 2001; 55(7–8): 84–8. (Serbian)

Rad je primljen 27. III 2006.