

Rajko Črnivec¹

Ocena sevalne obremenjenosti ljudi pri nas in v svetu

Assessment of Radiation Exposure of the Slovene and World Population

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: sevanje monitoring, sevanje učinki, Slovenija.

Primerjalno je ocenjena letna in življenjska nepoklicna sevalna obremenjenost slovenskega prebivalca za 21 % večja od svetovne, kar pomeni večje tveganje nastanka stohastičnih učinkov. V življenjski dobi 70 let tako pri slovenskem kot pri svetovnem prebivalcu obstaja statistično dokazljiva zveza med efektivno dozo in nastankom raka. Ob normalnem obratovanju nuklearke pri nas, kot tistih v svetu, je med obratovalno dobo njihov vpliv na nastanek stohastičnih učinkov pri okolnem prebivalstvu statistično nedokazljiv, ne pa izključen, vendar pa zelo malo verjeten, tako da ne opravičuje predčasnega zapiranja jedrskih elektrarn. Primerjalno sta sevalna obremenjenost in tveganje stohastičnih učinkov pri prebivalcu v okolici Nuklearne elektrarne Krško (NEK) na ravni svetovnega povprečja. Vpliv Rudnika Žirovski vrh (RŽV) v življenjski dobi okolnega prebivalstva na nastanek stohastičnih učinkov je statistično nedokazljiv, ni pa izključen. V skladu s še veljavno zakonodajo o varstvu pred sevanji bivše SFRJ je nujno sprotno spremljanje in vpisovanje prejetih doz sevanja od medicinskih virov v posebni pregledni kartonček (knjižica ali dodatek k zdravstveni knjižici). Pri poklicno izpostavljenih delavcih bi se posebej v kartonček vpisovale poklicno in nepoklicno prežete doze ionizirnega sevanja (IS).

Dosedanjo individualno dozimetrijo bo treba izpopolniti tako, da bodo resnično možni izračuni efektivnih doz IS.

V RS je treba vzpostaviti računalniško podprto republiški pregled virov IS ter poklicno in nepoklicno umetno obsevanih ljudi za individualno in epidemiološko spremljanje njihove zdravstvene ogroženosti.

ABSTRACT

KEY WORDS: radiation monitoring, radiation effects, Slovenia.

The annual and cumulative radiation exposure of the non-professional Slovene population is 21% greater than that world-wide, and so is the risk of stochastic effects. During a lifetime of 70 years, there exists a statistically significant correlation between the effective radiation dose and carcinogenicity for both the Slovene and world populations. Normal operation of nuclear power plants in Slovenia and in the world during their operational life does not cause statistically significant stochastic effects on the local population living nearby. Therefore, this should not be the main reason for premature nuclear power plant closures. A comparison of world-wide data on radiation exposure and the risk of stochastic effects for local population shows that the Krško nuclear power plant is at the same mean level. The stochastic effects on the population during their residence in the vicinity of the Žirovski vrh uranium mine,

¹ Mag. Rajko Črnivec, dr. med., Klinični inštitut za medicino dela, prometa in športa, Klinični center, Korytkova 7, Ljubljana.

are statistically insignificant, but not excluded. According to legislation in force regarding radiation protection, it is necessary to monitor and register the radiation doses of medical origin in the population, in special cards enclosed with the health card. In professionally exposed persons, professional and non-professional radiation doses should be registered separately. The results of individual dosimetry should be registered properly and separately. Individual dosimetry should be supplemented to enable the calculation of effective radiation doses.

A computerized state registry of radiation sources should be established in the Republic of Slovenia for professionally and non-professionally irradiated people in order to enable individual and epidemiological follow-up of their health risks.

UVOD

V Republiki Sloveniji žal ni dovolj veljavnih in zanesljivih podatkov o celotni (naravna in umetna) letni nepoklicni sevalni obremenjenosti slovenskega prebivalstva glede na lokacijo bivanja, torej ni podatkov o povprečni letni učinkoviti dozi ionizirnega sevanja (IS) pri prebivalcu. To pomeni, da ni veljavnih in zanesljivih ocen tveganja stohastičnih učinkov (obolevnost za rakom, umrljivost za rakom, resni dedni učinki) pri slovenski populaciji. Torej obstajajo le okvirne ocene o nepoklicni sevalni obremenjenosti našega prebivalstva. V Republiki Sloveniji pooblaščen organizaciji Inštitut Jožef Štefan in ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d. v skladu z republiškim programom, razpoložljivimi sredstvi ter v skladu s standardizirano metodologijo izvajata merjenje naravnega in umetnega sevanja (kozmično, zemeljsko, radionuklidi v zraku, zemlji, tekočinah, živalstvu, rastlinstvu) in preko doznih pretvornih faktorjev (priporočila: ICRP, UNSCEAR, IAEA, Basic Safety Standards (1-4)) ocenjujeta učinkovito dozo IS pri prebivalcu od naravnih in umetnih virov, razen medicinskih (diagnostika, zdravljenje, pri zaprtih, odprtih in kombiniranih virih IS v medicini) (1, 2). V skladu z veljavnimi predpisi bi podjetja in ustanove, ki uporabljajo vire sevanja v medicini, morala voditi evidenco o dozah obsevanosti vseh bolnikov RS, ki so podvrženi diagnostiki in zdravljenju z virom sevanja IS, pa te evidence ne vodijo (3, 4). Rentgenski aparati se smejo uporabljati za diagnostične namene, če so etalonirani tako, da se lahko za vsak diagnostični postopek oceni doza, s katero se obseva bolnika, pa zaenkrat še niso (4). Zdravnik ustrezne specialnosti, ki uporablja odobreni diagnostični ali terapevtski postopek

z ionizirnimi sevanji, bi moral v bolnikovo zdravstveno dokumentacijo vpisati podatke o opravljeni diagnostiki ali zdravljenju, pa tega kljub zakonski zahtevi ne opravlja (4). Med te podatke sodi tudi ocenjena doza obsevanosti bolnika, aktivnosti in vrsta radiofarmacevtskih preparatov, ki jih je vnesel v organizem, ali druge skupine podatkov, na podlagi katerih se lahko oceni ta doza.

Glede na podatke iz svetovne literature kot na naše nepopolne podatke o RTG-slikanjih v ljubljanski regiji in v Sloveniji, ki jih pooblaščenim organizacijam posreduje Zavod za zdravstveno varstvo Ljubljana in Zavod za zdravstveno zavarovanje Slovenije, ter glede na večletno raziskavo o sevalni obremenjenosti prebivalstva zaradi uporabe RTG-naprav v medicini, ki jo po pogodbi z Ministrstvom za zdravstvo opravlja Zavod za varstvo pri delu d.d., je okrog 90 % medicinske sevalne obremenjenosti prebivalstva posledica RTG-diagnostike (5).

Torej je ocena sevalne obremenjenosti slovenske populacije zaradi medicinskih virov okvirna.

Isti pooblaščen ustanovi spremljata poklicno sevalno obremenjenost slovenske populacije, in sicer na osnovi zakonsko opredeljenih meritev virov (zaprti, odprti, kombinirani), izpostavljenosti delovnih mest in delavcev (individualno dozimetrijo zunanjege – vir je zunaj telesa in notranjega sevanja – vir je v telesu) IS. V letu 1995 je bilo v Sloveniji pod rednim dozimetrijskim nadzorom 3490 oseb, od tega 1844 v zdravstvu (52,8 %) in 1646 (47,2 %) v nezdravstvu. V Sloveniji se postopoma uvaja termoluminiscentna dozimetrija (TLD), ki jo že uporablja več kot 2000 delavcev (57,3 %) (2). Poudariti pa velja, da kljub zakonskim določilom še danes najpo-

gosteje pri delavcu merijo tako imenovano prsno dozo IS in ne efektivne doze na celo telo, kot bi jo morali (6).

V skladu s priporočili ICRP (Mednarodna komisija za varstvo pred sevanji) je efektivna ekvivalentna doza = efektivna doza = $E = \sum W_T \times H_T$ = seštevek s tkivnim utežnostnim faktorjem korigiranih ekvivalentnih doz v vseh tkivih in organih človeškega telesa (1).

W_T = tkivni utežnostni faktor (vrednost od 0,01 do 0,2) = delež stohastičnega (verjetnostnega) učinka v določenem tkivu v primerjavi s stohastičnim učinkom pri obsevanju celega telesa z isto dozo.

H_T = ekvivalentna doza IS v tkivu ali organu
 $T = \sum W_R \times D_{TR}$

W_R = sevalni utežnostni faktor (npr. za žarke x, gama, delce beta = 1, za delce alfa = 20).

D_{TR} = povprečna absorbirana doza v tkivu T.
 Enota je 1 J/kg ali 1 Sv. 1 Sv = 100 Remov.

Skladno z mnenjem Tehniške terminološke komisije pri SAZU se v slovenskem prostoru namesto doze uporablja izraz odmerek. Ionizirano sevanje je specifika, zato je uporabljena doza, kot je to v svetovni literaturi.

Torej bo treba dosedanje individualno dozimetrijo izpopolniti tako, da bodo resnično možni izračuni efektivnih doz IS pri ljudeh in s tem možne realne ocene tveganja stohastičnih učinkov.

O navedeni problematiki Klinični inštitut za medicino dela, prometa in športa Ljubljana že leta opozarja pooblaščen organizaciji in Republiški zdravstveni inšpektorat, vendar zaenkrat brez uspeha.

OPREDELJENE MEJE DOZ ZA POKLICNO IN NEPOKLICNO IZPOSTAVLJENOST IN OCENA TVEGANJA STOHAŠTIČNIH UČINKOV

Poklicna izpostavljenost virom ionizirnega sevanja

Za nestohastične učinke je letna mejna ekvivalentna doza za posamični organ ali tkivo 500 mSv (50 REM), razen za očesne leče in krvotvorne organe, ki je 150 mSv (15 REM) (6).

Po priporočilih ICRP je za nestohastične učinke letna mejna ekvivalentna doza za leče 150 mSv, za kožo 500 mSv (1 cm²) in roke ter noge 500 mSv (1).

Za stohastične (verjetnostne) učinke je po predpisanem normativu letna mejna efektivna doza ob enakomernem obsevanju celega telesa $H_{TG} = 50$ mSv (5 REM) (6).

Pri neenakomernem obsevanju telesa je omejitveni pogoj za efektivno dozo $\sum W_T H_T \leq H_{TG}$.

Za preprečitev stohastičnih učinkov pri poklicno izpostavljenih delavcih Mednarodna komisija za radiološko zaščito (ICRP) priporoča letno mejno efektivno dozo 20 mSv (2 REM) (1).

Nepoklicna izpostavljenost virom ionizirnega sevanja

Za skupine posameznikov iz prebivalstva znaša po naših predpisih individualna letna meja efektivne ekvivalentne doze za stohastične učinke pri enakomerni obsevanosti vsega telesa $H_{TG} = 5$ mSv (brez naravnih in medicinskih virov) (6).

Pri neenakomerni obsevanosti je omejitveni pogoj za efektivno dozo:

$$\sum W_T H_T \leq H'_{TG}$$

$H'_{TG} = 5$ mSv, letna meja za posamezni organ ali tkivo za posameznika je 15 mSv.

Za celotno življenjsko obdobje je letna mejna vrednost za prebivalstvo 1 mSv/leto.

Za načrtovanje uporabe tehničnih virov IS meja individualne efektivne doze za prebivalstvo ne sme biti večja kot 0,2 mSv na leto iz vseh tehničnih virov (6).

Po priporočilih ICRP je letna mejna efektivna doza za prebivalca 1 mSv, za leče pa 15 mSv in za kožo 50 mSv (1 cm²) (1).

OCENA TVEGANJA STOHAŠTIČNIH UČINKOV

Ocena tveganja stohastičnih (verjetnostnih) učinkov pri poklicni in nepoklicni izpostavljenosti virom IS (obolevnost za rakom, umrljivost za rakom, resni dedni učinki, kompleksni stohastični učinek) temelji na domnevnih verjetnostnih koeficientih za stohastične učinke po ICRP (1).

Po ICRP obstaja naslednja zveza med celotelesno efektivno dozo in rakotvornim učinkom:

- pri efektivni dozi pod 50 mSv (5 REM) ni statistično dokazane zveze med dozo in rakotvornim učinkom (statistično nedokazljiva, ni pa izključena),
- pri efektivni dozi od 50 do 200 mSv (5–20 REM) je možna, vendar statistično še vedno nedokazljiva,
- pri efektivni dozi več kot 200 mSv (več kot 20 REM) je statistično dokazljiva zveza na ravni pomembnosti $P = 0,05$.

Torej obstaja več kot 95 % verjetnost nastanka raka zaradi prejete efektivne doze IS.

NAMEN PRISPEVKA

Osnovni namen prispevka je ugotoviti:

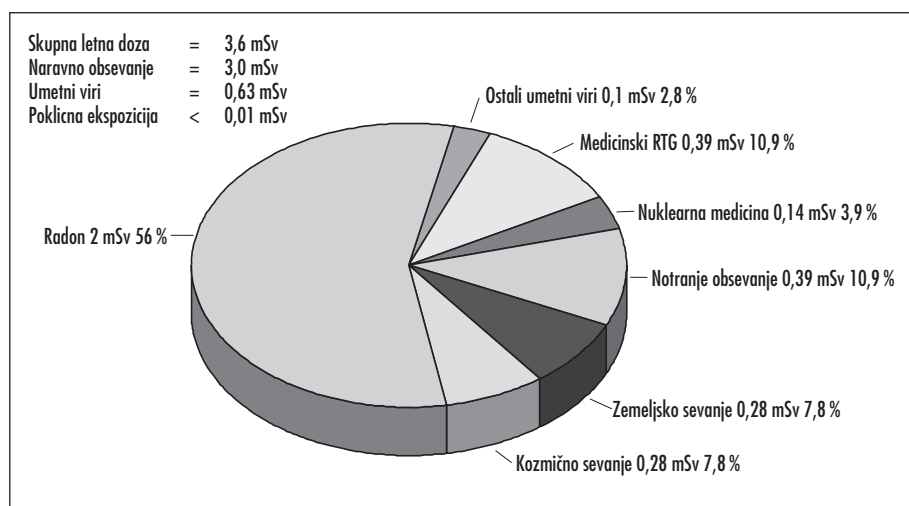
- Ali je okvirno ocenjena nepoklicna sevalna obremenjenost slovenskega prebivalca večja ali manjša od svetovnega s posebnim ozirom na oceno tveganja stohastičnih učinkov (obolevnost za rakom, umrljivost za rakom, resni dedni učinki, kompleksni stohastični učinek)?
- Ali je tveganje stohastičnih učinkov pri prebivalstvu v okolici Nuklearne elektrarne Krško (NEK) zaradi elektrarne večje ali manjše, kot je to v svetu pri podobni populaciji?
- Kakšno je tveganje stohastičnih učinkov pri prebivalstvu v okolici Rudnika Žirovski vrh (RŽV) v zapiranju?
- Ali so stohastični učinki pri prebivalstvu v okolici NEK in RŽV zaradi vpliva samih objektov sploh statistično dokazljivi?

Torej, ali je zveza med prejeto dozo od NEK oziroma od RŽV in določenim stohastičnim učinkom pri prebivalcu sploh statistično dokazljiva?

OKVIRNA OCENA NEPOKLICNE SEVALNE OBREMENJENOSTI SLOVENSKE POPULACIJE

Po meritvah radioaktivnosti v življenjskem okolju, ki sta jih izvedli pooblaščen organizaciji v RS v letu 1990 je ocenjena skupna letna ekvivalentna doza pri prebivalcu RS 4,6 mSv (naravno obsevanje 2,4 mSv, od tega zunanje obsevanje 0,8 mSv ali 17 %, notranje obsevanje 1,6 mSv ali 35 %, umetni viri 2,2 mSv, od tega medicinski viri 2 mSv ali 43 % in ostali umetni viri 0,2 mSv ali 4 %). Zelo okvirna ocena sevalne obremenjenosti prebivalstva RS zaradi medicinskih virov je bila okrog 2 mSv/leto in jo bo treba z razumnejšo RTG in radioizotopno diagnostiko ter uporabo nesevalnih metod in tehnik (UZ) zmanjšati za več kot 100 %, torej pod 1 mSv letno (v ZDA znaša okrog 0,53 mSv).

Za primerjavo je v sliki 1. prikazana povprečna letna efektivna doza IS pri prebivalcu ZDA v letu 1990.



Slika 1. Povprečna letna efektivna doza ionizirnega sevanja pri prebivalcu Združenih držav Amerike.
 Vir: National council on radiation protection and measurement 1990.

Sevalna obremenjenost prebivalstva v okolici Rudnika Žirovski vrh (bivši RŽV)

Na področju, ki ga zajema precej enakomerni vpliv RŽV, živi okrog 300 prebivalcev. Večina odraslega prebivalstva so kmetovalci ali delavci, zaposleni drugod, v bolj oddaljenih krajih. Ocena je izdelana za tisti del odraslih posameznikov znotraj širše kritične skupine prebivalstva, ki prejme letno najvišje dodatne doze. To so prebivalci iz naselja Gorenja Dobrava, ki leži 1,3 km severno od nekdanjih zunanjih obratov RŽV. Ti prejmejo največji prispevek doze zaradi vdihavanja radonovih kratkoživih potomcev. Na osnovi rezultatov koncentracije radona in ob upoštevanju meteoroloških kazalcev se namreč izkaže, da obstajajo prav tu najvišje ravnotežne ekvivalentne koncentracije rudniškega radona. V letu 1988, torej v času rednega obratovanja RŽV, je prebivalec v okolici RŽV prejel letno efektivno dozo 5,8 mSv, od tega 0,59 mSv od RŽV (10%). V letu 1995 pa je bila sevalna obremenjenost okoliškega prebivalstva zaradi RŽV ocenjena na 0,37 mSv (2).

Najpomembnejši vir radioaktivnega onesnaževanja v okolju RŽV še vedno ostaja radon Rn-222 s svojimi kratkoživimi potomci, ki prispevajo več kot 4/5 dodatne izpostavljenosti ali v povprečju 0,31 mSv. Prejeta doza za odrasle prebivalce predstavlja dobro tretjino zakonske letne mejne vrednosti za prebivalstvo, ki je 1 mSv/leto za celotno življenjsko obdobje (2, 6). V primerjavi s celokupno obremenitvijo predstavlja RŽV okrog 6 % od povprečne letne efektivne doze prebivalca RŽV, ki je okrog 5,5 mSv (2, 6).

Sevalna obremenjenost prebivalstva v okolici Nuklearne elektrarne Krško v letu 1995

Vse ugotovljene in količinsko ocenjene obremenitve okolja zaradi emisij NEK so bile daleč pod upravno dopuščenimi mejnimi vrednostmi v letu 1995 (2). Ocenjene obremenitve posameznikov iz prevzete primerjalne (kritične) skupine prebivalstva, narejene tako iz neposredno ocenjenih emisijskih vrednosti kot računsko modelno na podlagi podatkov o letnih emisijah NEK, dajejo v letu 1995 vrednosti efektivne doze, ki so manjše od 20 μ Sv/leto (1,5 mREMA), kar je manj od 1 % doze, ki jo povprečno prejme človek v normalno obremenjenem okolju od naravnih in umetnih virov (2).

Po poročilu UNSCEAR 1993 je letna efektivna doza pri prebivalcu v svetu, ki živi v okolici nuklearnih elektrarn, od 1–20 μ Sv/leto (5).

OCENA NEPOKLICNE SEVALNE OBREMENJENOSTI SVETOVNEGA PREBIVALSTVA

UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* – Znanstveni komite Združenih narodov za proučevanje učinkov jedrskega sevanja) je leta 1993 v svojem poročilu Generalni skupščini podal naslednjo oceno sevalne obremenjenosti svetovnega prebivalstva (5,3 milijarde ljudi) (5).

Srednja letna efektivna doza zaradi naravnega sevanja (kozmično in zemeljsko) pri svetovnem prebivalcu pod normalnimi pogoji je 2,4 mSv, pri posebnih pogojih pa 10–20 mSv.

Od doze 2,4 mSv odpade 0,8 mSv na zunanje in 1,6 mSv na notranje sevanje. Koncentracija radona (Rn-222) znaša zunaj okrog 10 Bq/m³, znotraj stavb pa okrog 40 Bq/m³. Tako je srednja letna efektivna doza zaradi radona in njegovih kratkoživih potomcev na prostem 0,13 mSv in v objektih 1 mSv (skupaj 1,13 mSv). Srednja letna efektivna doza zaradi vdihavanja torija (Rn-220) in njegovih razpadnih produktov je znotraj 0,07 mSv. Svetovno prebivalstvo prejme od energetskih virov (premog, olje, zemeljski plin, ostala goriva), gradbenih materialov in ostalih naravnih virov letno efektivno dozo 0,02 mSv/leto.

Srednja letna efektivna doza zaradi umetnih virov IS pri prebivalcu sveta je skupaj 1,4 mSv.

In sicer:

- zaradi jedrskih elektrarn (leta 1994 je v 29 državah obratovalo 432 reaktorjev) je letna efektivna doza od 1 do 20 μ Sv (0,1 do 2 mREMA) ali 0,001 do 0,02 mSv,
 - zaradi zračnih jedrskih poskusov letno 0,14 mSv (C-14, Cs-137, Zr-95, Sr-90, Ru-106, H-3),
 - zaradi ostalih jedrskih poskusov in nesreč v jedrskih elektrarnah letno 0,11 mSv,
 - zaradi medicinskih virov (90 % RTG-diagnostika), 1,1 mSv/leto (0,3 mSv/leto pri neenakomerni porazdelitvi preiskav v svetu).
- Skupna ocenjena srednja letna efektivna doza IS pri prebivalcu sveta je 3,8 mSv.

Zap. št.	Opazovani znaki	Čas izpostavljenosti [leto]	Efektivna doza [mSv]	Ocena tveganja stohastičnih učinkov												Zveza med elektivno dozo IS in rakotvornim učinkom
				Umrljivost za rakom na sploh		Umrljivost za rakom pljuč		Umrljivost za rakom kostnega mozga		Obolelost za rakom (brez smrti)		Resni dedni učinki		Kompleksni stohastični učinki		
				Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Zakonsko dovoljena elektivna doza pri prebivalcu	1	1	5	100	0,8	100	0,5	100	1	100	1	100	7	100	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
2	Zakonsko dovoljena življenjska elektivna doza pri prebivalcu	70	70	350	100	59	100	35	100	70	100	91	100	511	100	Statistično nedokazljiva, vendar možna
3	Prebivalci RS v letu 1990	1	4,6	23				2		5		6		33		Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.1	Življenjska doba prebivalca	70	322	1610				161		322		419		2351		Statistično dokazljiva zveza
3.2	Obsevanost dihal	1	1,3		1	125										Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.3	Obsevanost dihal – življenjska doba	70	91			77	130									Statistično nedokazljiva, vendar možna
3.4	Vpliv NEK	1	0,015	0,075	1,5			0,007	1,4	0,01	1	0,02	2	0,1	1,4	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.5	Vpliv NEK med obratovanjem	30	0,45	2				0,2	1,3	0,4	1,3	0,6	1,5	3	1,4	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.6	Vpliv RŽV med obratovanjem	1	0,59	3	60	0,5	62			0,6	60	0,8	80	4	57	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.7	Vpliv RŽV med obratovanjem	11	6,49	32	58	5	57			6	54	8	57	47	59	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.8	Vpliv RŽV izven obratovanja	1	0,37	2	40	0,3	37			0,4	40	0,5	50	3	43	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.9	Vpliv RŽV izven obratovanja	70	25,9	129	37	22	37			26	37	34	37	189	37	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena

Zap. št.	Opazovani znaki	Čas izpostavljenosti [leto]	Efektivna doza [mSv]	Ocena tveganja stohastičnih učinkov												Zveza med elektno dozo IS in rakotvornim učinkom
				Umrljivost za rakom na sploh			Umrljivost za rakom pljuč			Umrljivost za rakom kostnega mozga			Obolelost za rakom (brez smrti)			Kompleksni stohastični učinki
				Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks	Število primerov na 100.000 prebivalcev	Indeks
0	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3.10	Vpliv RŽV med obratovanjem in izven obratovanja med življensko dobo prebivalca	11 + 59 = 70	28.32	142	40	24	41			28	40	37	41	207	40	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.11	Medicinski viri	1	2	10	200			1	200	2	200	3	300	15	214	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
3.12	Medicinski viri – življenska doba	70	140	700	200			70	200	140	200	182	200	1022	200	Statistično nedokazljiva, vendar možna
4	Prebivalec sveta	1	3.8	19				2		4		5		28		Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
4.1	Prebivalec sveta – življenska doba	70	266	1330				133		266		346		1942		Statistično dokazljiva zveza
4.2	Obevanost dihal	1	1.2			1	025									Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
4.3	Obevanost dihal – življenska doba	70	84			71	120									Statistično nedokazljiva, vendar možna
4.4	Vpliv jedrskih elektrarn na svetu	1	od 0.001 do 0.02	od 0.005 do 0.1	od 0.1 do 2			od 0.0005 do 0.01	od 0.1 do 2	od 0.001 do 0.02	od 0.1 do 2	od 0.001 do 0.03	od 0.1 do 0.3	od 0.007 do 0.1	od 0.1 do 1.4	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
4.5	Vpliv jedrskih elektrarn na svetu	70	od 0.07 do 1.4	od 0.3 do 7	od 0.1 do 2			od 0.03 do 0.7	od 0.08 do 2	od 0.07 do 1	od 0.1 do 1.4	od 0.09 do 2	od 0.1 do 2.2	od 0.5 do 10	od 0.1 do 2	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
4.6	Medicinski viri	1	od 0.3 do 1.1	od 1 do 5	od 20 do 100			od 0.1 do 0.5	od 20 do 100	od 0.3 do 1	od 30 do 100	od 0.4 do 1	od 40 do 100	od 2 do 8	od 28 do 114	Statistično nedokazljiva, ni pa izključena
4.7	Medicinski viri – življenska doba	7	od 21 do 77	od 105 do 385	od 30 do 110			od 10 do 38	od 28 do 108	od 21 do 77	od 30 do 110	od 27 do 100	od 30 do 110	od 153 do 562	od 30 do 110	Statistično nedokazljiva, vendar možna

Tabela 1. Primerjava nepoklicne sevalne obremenjenosti in ocena tveganja stohastičnih učinkov pri slovenskem in svetovnem prebivalstvu.

ZAKLJUČEK IN PREDLOGI

Ocenjena letna in življenjska nepoklicna sevalna obremenjenost slovenskega prebivalca je 4,6 mSv (322 mSv), svetovnega pa 3,8 mSv (266 mSv). Torej je slovenska večja za 21 %, kar pomeni večje tveganje nastanka stohastičnih učinkov (kompleksni stohastični učinek, obolevnost za rakom, umrljivost za rakom, prirojene anomalije (2, 5). V življenjski dobi 70 let tako pri slovenskem kot pri svetovnem prebivalcu obstaja statistično dokazljiva zveza med učinkovito dozo in nastankom raka (1).

Ob normalnem obratovanju NEK je letna nepoklicna sevalna obremenjenost prebivalca v okolici elektrarne 0,015 mSv (1,5 mREM) in med 30-letno predvideno obratovalno dobo 0,45 mSv (45 mREM), kar pomeni statistično nedokazljiv, ne pa izključen vpliv na nastanek stohastičnih učinkov in glede tega tako v zdravstvenem kot verjetno v ekonomskem smislu ne opravičuje predčasnega zaprtja elektrarne (2). Pri svetovnem prebivalcu, živečem v okolici jedrskih elektrarn, je letna nepoklicna sevalna obremenjenost od 0,001 do 0,02 mSv (od 0,1 do 2 mREM) in v 30-letni predvideni obratovalni dobi od 0,03 do 0,6 mSv (od 3 mREM do 60 mREM), kar pomeni statistično nedokazljiv, ne pa izključen vpliv na nastanek stohastičnih učinkov, in tako v zdravstvenem smislu ne opravičuje predčasnega zaprtja nuklearnih elektrarn, še posebej, ker je to poleg hidrocentral najbolj čista električna energija (5).

Primerjalno sta sevalna obremenjenost in tveganje stohastičnih učinkov pri prebivalcu v okolici NEK na ravni svetovnega povprečja (2, 5).

Prebivalec v okolici RŽV (skupno okrog 300 ljudi) je med rednim obratovanjem rudnika (maj 1979 – junij 1990 = 11 let) prejel letno ocenjeno učinkovito dozo IS (dominantno alfa energijo zaradi Rn-222 in kratkoživečih potomcev) 0,59 mSv, torej v 11 letih 6,49 mSv (2). Izven rednega obratovanja je ocenjena učinkovita letna doza IS od RŽV 0,37 mSv, največ zaradi radona. Torej bo hipotetično ocenjen prebivalec v okolici RŽV v 70-letni življenjski dobi v številu 11-letno redno obratovanje in 59-letni neobratovalni vpliv prejel učinkovito dozo 28,32 mSv, kar pomeni 40 % delež s predpisi dovoljenega tveganja vseh stohastičnih učinkov v tem obdobju (2, 6). Torej je vpliv RŽV med življenjsko dobo okolnega prebivalstva na nastanek stohastičnih učinkov statistično nedokazljiv, ni pa izključen.

Kot že predvidevajo še vedno veljavni predpisi bivše SFRJ na področju varstva pred viri IS (3, 4, 6, 15, 16), je nujno sproti spremljanje in vpisovanje prejetih doz sevanja zaradi medicinskih virov v posebni pregledni kartonček (knjižico ali dodatek k zdravstveni knjižici). Pri poklicno izpostavljenih delavcih naj bi se posebej v kartonček vpisovale poklicno in nepoklicno prežete doze IS.

Torej bo treba dosedanja individualno dozimetrijo izpopolniti tako, da bodo resnično možni izračuni učinkovitih doz (upoštevati z utežnostnim faktorjem korigirane učinkovite doze na kritične obsewane organe človeškega telesa). V RS je zato treba vzpostaviti računalniško podprt republiški register virov IS ter poklicno in nepoklicno umetno obsevanih ljudi za individualno in epidemiološko spremljanje njihove zdravstvene ogroženosti.

LITERATURA

1. ICRP Publication. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection 60. *Annals of the ICRP* 1990; 21: 5–153.
2. Poročevalec Državnega zbora Republike Slovenije. Poročilo o jedrski in radiološki varnosti v letu 1995. *EPA* 1654, 1996; 50: 13–165.
3. Pravilnik o načinu vodenja evidence o virih ionizirajočih sevanj in obsevanosti prebivalstva in tistih, ki so pri delu izpostavljeni ionizirajočemu sevanju. Ur.l. SFRJ, 1986; 40: 1177–8.
4. Pravilnik o pogojih za uporabo virov ionizirajočih sevanj v medicini. Ur.l. SFRJ, 1986; 40: 1178–80.
5. Habermehl A. Strahlenexposition der Weltbevölkerung. *Deutsches Ärzteblatt* 93, 1996; 40: 2010–3.
6. Pravilnik o mejah, ki jih ne sme presegati sevanje, ki so mu izpostavljeni prebivalstvo in tisti, ki delajo z viri ionizirajočih sevanj, o merjenju stopnje izpostavljenega IS oseb, ki delajo z viri teh sevanj in o preskušanju kontaminacije delovnega okolja. Ur.l. SFRJ, 1986; 40: 1185–8.
7. Simonato L. *Occupational cancer – prevention and control*. ILO; 1989. p. 56–62.

8. Sevc J, Kunz E, et al. Cancer in man after exposure to radon daughters. *Health Physics* 1988; 54: 27-46.
9. Jacobi W. Environmental radioactivity and man. The 1988 Sievert lecture. *Health Physics* 1988; 55: 845-53.
10. Jacobi W. Lungenkrebs nach Bestrahlung. Das Radon – Problem. *Naturwissenschaften* 1986; 73: 661-8.
11. Eigenwillig G. Berufliche Strahlenexposition durch Radon und dessen Folgen produkts. *Deutsches Ärzteblatt* 94, 1997; 16: 845-50.
12. Klener V. *Risk to Man Radiation. A Review of Data on Somatic Effects. Current Problems and Concerns of the Health Physicist*. Belgrade: Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences; 1976. p. 41-62.
13. Črnivec R, Modic S, et al. *Program aktivnega zdravstvenega varstva delavcev Rudnika urana Žirovski vrh – Jamski obrat*. Ljubljana: Univerzitetni klinični center, TOZD Univerzitetni inštitut za medicino dela, prometa in športa; 1982. pp. 1-42.
14. Buckton KE, Evans HJ. *Methods for the Analysis of Human Chromosome Aberrations*. WHO; 1973. pp. 11-66.
15. Zakon o izvajanju varstva pred ionizirajočimi sevanji in o ukrepih za varnost jedrskih objektov in naprav. Ur.l. SRS, 1980; 28.
16. Zakon o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti. Ur.l. SFRJ, 1991; 53.

Prispelo: 10. 4. 2000