
Mednarodna priporočila ICRP

Boštjan Kos, dipl. ing. rad,
Klinični center Ljubljana, Klinični institut za radiologijo, Zaloška 7, 1000 Ljubljana

Izvleček

Ker so rentgenski žarki ob večji dozi za človeško telo patogeni, je bila leta 1928 ustanovljena Mednarodna komisija za varstvo pred ionizirajočim sevanjem. V članku so predstavljena priporočila te komisije, ki jih je izdala leta 1991 kot publikacijo ICRP 60.

Opisani so biološki učinki ionizirajočega sevanja, definirane so različne vrste doz, s katerimi ugotavljamo in spremljamo obsevanost populacije, faktorji tveganja in temeljna načela za varstvo pred ionizirajočimi sevanji ter uporabnost le-teh.

Namen priporočil komisije je zagotoviti varstvo pred sevanjem tako, da nebi pretirano omejevali koristnih postopkov, ki povzročajo izpostavljenost sevanju. Zato definira upravičenost postopkov, optimizacijo zaščite in omejitev individualnih doz tveganja.

Abstract

As x-rays in larger doses are pathogenic for a human body, the International Commission on Radiological Protection was established in 1928. The article presents the recommendations of this commission, which were published in ICRP Publication 60 in 1991.

The article describes biological effects of ionising radiation and defines various kinds of doses, by which radiation exposure of population is established and monitored, risk factors and basic principles for the protection against ionising radiation as well as its applicability.

The purpose of the recommendations is to provide protection against radiation in the way that useful procedures involving radiation exposure are not over-restricted. For this reason, justifications for procedures, optimisation of protection and restriction of individual risk doses are defined.

1. Uvod

Mednarodna komisija za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (ICRP - International Commission on Radiological Protection) je neodvisno mednarodno telo, ki sicer nima pravne moči, toda zaradi njenega ugleda se po priporočilih ICRP-ja krojijo nacionalne zakonodaje.

Nova priporočila komisije so izšla leta 1991 kot publikacija ICRP 60. Komisija v njih ne spreminja načel za varstvo pred ionizirajočim sevanjem, ampak dotedanji sistem za omejevanje doz razširja na sistem celotnega varstva pred sevanjem.

Komisija meni, da moramo na tveganje zaradi sevanja gledati v odnosu do drugih tveganj, ker omejevanje na eno od mnogih nevarnosti za človeštvo utegne med ljudmi zbuditi nezaželeno bojazen. Zato poudarja, da velja z ionizirajočim sevanjem ravnati bolj previdno kot s strahom. Nadzor naj jamči, da bo izpostavljenost sevanju le manjša sestavina v spektru tveganj, ki smo jim izpostavljeni.

Če se hočemo čim bolj izogniti celo majhnim, nepotrebnim dozam, to ne pomeni, da se jim moramo izogniti za vsako ceno, temveč, da moramo ravnati s sevanjem po načelu ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ali po naše: tako nizko kot je moč razumno doseči.

Razumno v tej zvezi pomeni ob upoštevanju gospodarskih in družbenih razmer. Po skrajšanki ALARA je znano tudi drugo načelo ICRP, ki govori o optimiziranju varstva pred sevanjem.

Strah in tesnobo še najlaže – čeprav ne ravno lahko – skrčimo na previdnost, če prizadete odkrito informiramo in jih pritegnemo k aktivnemu zmanjševanju izpostavljenosti ali tveganja. Med zanesljivi metodi, kako vznemirjenje spremenimo v strah, štejeta prikrievanje informacij in omalovaževanje tveganja.

Izpostavimo pa lahko kar nekaj dejavnikov, ki se prepletajo v varstvu pred sevanjem: fizikalni, tehnološki, biološki, medicinski, epidemiološki, gospodarski, socialni, politični, pravni, etični, itd. To pomeni, da imamo opravka s kvantitativnimi in kvalitativnimi ocenami, z objektivnimi vrednostmi in subjektivnimi vrednotami; upoštevati velja eno in drugo.

Glavni namen varstva pred sevanjem je zadostna varnost brez pretiranega omejevanja koristnih postopkov, ki povečujejo izpostavljenost sevanju. Po ICRP 60 tega namena ne moremo doseči zgolj z znanstvenimi koncepti. Vsi, ki se ukvarjajo s sevanjem, se morajo odločati tudi po vrednostnih sodbah, npr. o relativni pomembnosti različnih vrst tveganja ali sodbah pri tehtanju med škodo in koristmi od sevanja. V tem se varstvo pred sevanjem ne razlikuje od nadzora nad drugimi vrstami kvarnih vplivov.

Zato predstavljamo mednarodna priporočila ICRP, ki jih je potrebno upoštevati in izpolnjevati v primerih, ko pride do določenih reševanj problemov v zvezi z ionizirajočim sevanjem.

2. Biološki učinki ionizirajočega sevanja

Poznamo in uporabljamo različne vire ionizirajočega sevanja. Nekateri oddajajo elektrone ali pozitrone (delce oziroma žarke β) ali pa protone (jedra vodikovih atomov), jedra helijevih atomov (delce ali žarke α), težje ione in mezone π , nekatere nevtralne delce kot so nevtroni ali pa fotone (kvante elektromagnetnega valovanja).

Sevanje pri prehodu skozi snov ionizira, kadar imajo delci dovolj energije, da atomu odtrgajo elektron; dobimo ionski par.

Z izrazom sevanje mislimo odslej na ionizirajoče sevanje.

Energijo fotonov in drugih delcev izražamo v elektronvoltih (eV); to je energija, ki jo dobi elektron pri prehodu potencialne razlike 1 V in znaša $1,6 \times 10^{19}$ joula (J).

Dolžina poti, ki jo nabiti delec preide v določeni snovi, je njegov doseg. Delec α s svojim dvojnimi pozitivnim nabojem privlači orbitalne elektrone in pušča gosto sled ionskih parov. Delec že na kratki poti izgubi skoraj vso energijo: njegov doseg in prodornost sta majhna.

Elektron s svojim enojnim negativnim nabojem ustvarja redkeje nanizane ionske pare in z enako energijo prodre globlje v snov kot delec α . Pri spremembi hitrosti odda elektron energijo tudi z zavornim rentgenskim sevanjem; nastali

fotoni potujejo dalje, kot na primer elektron, ki jih je sprožil.

Fotoni nastajajo lahko poleg delcev α in β pri radioaktivnem razpadu jeder (žarki γ) ali pa jih proizvajamo v rentgenski cevi (rentgenski žarki ali žarki x). Fotoni izgubljajo energijo s fotoefektom (zlasti do 0,05 MeV), s Comptonovim efektom (0,1 – 10 MeV), in kadar imajo energijo vsaj 1,02 MeV, še s tvorbo para elektron-pozitron. Vsak od teh dogodkov da tudi sekundarne elektrone. Pri fotoefektu in tvorbi parov izgubi foton vso energijo, odda jo v izbite oziroma nastale delce.

Nevtronov ne motijo niti negativni elektroni niti pozitivna atomska jedra, zato se jim zlahka približajo. Pri trkih nevtronov z jedri nevtroni jedrom oddajo nekaj energije ali pa vdrejo vanje in sprožijo jedrsko reakcijo, pri čemer se lahko tvorijo tudi hitri nabiti delci. Delci, ki nimajo dovolj energije za ionizacijo, lahko atome samo vzburi. Vzbujeni atomi so bolj reaktivni; ob vrnitvi v prejšnje stanje oddajo foton, ki lahko sproži fotokemijske reakcije. Preostanek energije se končno porazdeli med atome in molekule kot toplota.

Za biološki učinek je posebno pomembna gostota ionizacije. Na splošno so nevarnejša sevanja, ki ionizirajo bolj na gosto. Gostoto ionizacije, t.i. linearni energijski prenos ali LET (Linear Energy Transfer) izražamo v keV na mikrometer poti delca, navadno v vodi.

V grobem štejemo rentgenske žarke, elektrone in žarke γ med sevanja z majhno gostoto ionizacije, delce α in nevtrone pa z veliko.

Gostota ionizacije je obratno sorazmerna hitrosti delca. Za nabite delce velja, da je sorazmerna tudi kvadratu naboja. Delec α v isti snovi ionizira štirikrat gosteje kot proton z enako hitrostjo. Ko z oddajanjem energije delec izgublja hitrost, gostota ionizacije narašča. Proton z energijo 2 MeV izgubi v vodi 17 keV na /mm poti; proton z energijo 340 MeV pa na začetku poti le 0,3 keV /mm.

Nabiti delci odložijo največ energije proti koncu svoje poti (Braggov vrh). Ta maksimum v absorbirani energiji skušamo izkoristiti v radioterapiji z nabitimi delci: geometrijo obsevanja načrtujemo tako, da se bo maksimum absorbirane energije ujema z lego tumorja pod površino telesa.

Nekatere strukture v tkivih in organih sevanje absorbirajo bolj, druge manj; to različnost izkoriščamo za rentgensko slikanje.

2.1 Doze sevanja

Odslej se držimo novih priporočil Mednarodne komisije za varstvo pred sevanjem (ICRP) iz leta 1991, razen kadar bomo navedli drugače.

Temeljna količina v varstvu pred sevanjem je **absorbirana doza** (D). Absorbirana doza D je količina energije na enoto mase, ki jo sevanje odloži pri

prehodu skozi snov.

Enota za absorbirano dozo je energija, odložena na enoto mase obsevane snovi:

$$1 \text{ J/kg} - \text{gray (Gy)}.$$

Različno škodljivost ugotavljamo s poskusom tako, da biološki učinek kakega sevanja primerjamo z učinkom izbranega standardnega sevanja. Najdeni količnik je **relativna biološka učinkovitost** ali RBE (Relative Biological Effectiveness). RBE se lahko za različne izide in poskusne razmere močno razlikuje (tudi večtisočkrat).

Relativno biološko učinkovitost moramo v varstvu pred sevanjem upoštevati, ne moremo je pa določiti s poskusi na človeku. Vendar nas ravno pri človeku posebno zanima, koliko je to ali ono sevanje biološko bolj učinkovito od primerjalnega.

Po novem ICRP uvaja **utežni faktor sevanja** (w_R – radiation weighting factor). Ta faktor je izbran glede na vrsto in energijo sevanja.

Z utežnim faktorjem uravnotežena doza je **ekvivalentna doza** H_T :

$$H_T = \sum w_R \cdot D_{T..R}$$

$D_{T..R}$ = povprečna doza, absorbirana v tkivu ali organu T zaradi sevanja R

Enota za ekvivalentno dozo je J/kg in se imenuje sievert (Sv). V Sv je vključen faktor w_R in zato je tudi ekvivalentna doza le ocenjena, ne pa izmerjena.

V ekvivalentni dozi so uravnoteženi biološki učinki različnih vrst sevanja. Vendar po enaki ekvivalentni dozi pričakujemo v različnih organih in tkivih različno verjetnost bioloških posledic.

Efektivna doza E je seštevek dvakrat pretehtanih doz ($\sum w_R$ in w_T), absorbiranih v vseh tkivih in organih telesa:

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

H_T = ekvivalentna doza v tkivu ali organu T

w_T = utežni faktor za tkivo T

Tudi to dozo izražamo v sievertih. V efektivni dozi E je w_R neodvisen od tkiva, w_T pa neodvisen od sevanja.

Ekvivalentna in efektivna doza sta količini za rabo v varstvu pred sevanjem; z njima ocenjujemo verjetnost stohastičnih učinkov zaradi absorbiranih doz, ki so izdatno pod pragom za deterministične učinke.

Učinki sevanja niso odvisni samo od velikosti ekvivalentne oziroma efektivne doze, temveč tudi od razporeditve doze v času in mikrodozimetričnem prostoru.

Po opredelitvi IRCP 60 je ekvivalentna doza povprečna doza, absorbirana v kakem tkivu ali organu. Nova priporočila torej ne upoštevajo mikrodozimetrične razporeditve absorbirane energije.

Komisija uporablja tudi količine v zvezi z izpostavljenostjo skupin: kolektivne doze.

Kolektivna efektivna doza je opredeljena kot integral doz vseh izpostavljenih posameznikov po vsem času. Beseda

pričakovana je torej odveč in je izpuščena. Če integriranje ne zajema vsega časa, uporabljamo izraz okrnjena (truncated) kolektivna efektivna doza.

Kolektivne dozimetrične količine lahko predstavljajo celotne posledice zaradi izpostavljenosti določene populacije sevanju; v tem pomenu jih uporabljamo samo, kadar so posledice res sorazmerne tako dozimetričnim količinam kot številu izpostavljenih in kadar imamo na voljo ustrezen verjetnostni koeficient.

Enota za kolektivno efektivno dozo je tudi v novih priporočilih človek-Sv (člSv). Če prejme npr. 100 ljudi po 1 Sv, je to 100 člSv; če prejme 1000 ljudi po 0,1 Sv, je to spet 100 člSv.

Kolektivne doze ne smemo odsekati v zemljepisnem prostoru: ko se npr. določen radionuklid širi po obljudenem okolju, njegova koncentracija pada, hkrati pa raste število izpostavljenih oseb. Kolektivna doza ne pada sorazmerno s koncentracijo radionuklida.

Primer iz Slovenije:

D. Brajnik in soavtorji (1988) obravnavajo vpliv Ra-226 iz nejedrskih industrijskih virov v Savi in podtalnici. Ugotavljajo, da je koncentracija tega izotopa v pitni vodi majhna; hkrati opozarjajo, da kolektivna doza kljub temu ni zanemarljiva, ker savsko podtalnico uporabljajo milijoni ljudi.

Za dolgotrajne vire sevanja je treba oceniti dozo, ki jo bodo prejeli tudi bodoči rodovi: **totalna kolektivna doza.**

Tudi to dozo lahko okrnemo: nekateri jo odsekajo po 500 letih, drugi po 1000, tretji po 10.000, 100.000 itd. Navedene številke že s svojo zaokroženostjo in velikimi razlikami kažejo, da o mejah okrnjenosti doz ne odločajo samo takšni strokovni razlogi, ki bi jih bilo mogoče količinsko utemeljiti. Tako npr. sprejemljivost tveganja, ki ga prevzamemo za zdravje bodočih rodov, obravnava tudi medicinska etika.

Doze pogosto ne merimo, temveč jo računamo iz drugih količin, kot je npr. aktivnost.

Aktivnost vzorca izražamo s številom razpadlih jeder oziroma delcev na enoto časa. Enota za aktivnost je becquerel (Bq) = 1 razpad na sekundo.

Razpolovni čas je čas, v katerem razpade polovica jeder določenega izotopa.

V fiziki delcev navadno uporabljajo namesto razpolovnega časa **razpadni čas**; to je povprečni čas, ki ga delec ali jedro preživi od začetka opazovanja do razpada; dobimo ga tako, da razpolovni čas pomnožimo s 1,44. V tem času razpade 63,2 % začetnega števila jeder oziroma delcev (npr.: razpolovni čas J-131 je okrog 8,3 dni, razpadni pa 12 dni).

V (radio)biologiji je pomemben tudi **biološki razpolovni čas**, v njem se izloči polovica določene snovi iz organizma oziroma iz določenega organa, tkiva itd. Pri tem je z izjemo tritija vseeno, za kateri izotop gre. Izotopni učinki tritija se uveljavljajo, preden se vzpostavi

ravnotežje med frakcijami vodikovih izotopov v prosti in vezani vodi ter v organski snovi, učinki so torej pomembni ob spremembah izpostavljenosti tritiju.

Biološki razpolovni čas je odvisen od številnih dejavnikov: od biološke vrste in starosti organizma, od hitrosti presnove, načina prehrane, itd.

Biološki razpolovni čas joda za ščitnico je pri odraslem človeku okrog 140 dni; plutonija za kosti pa 73.000 dni (200 let).

V nasprotju s fizikalnim razpolovnim časom ustreza biološkemu le približna vrednost, ki velja samo za določene konkretne razmere. Tako je fizikalni razpolovni čas tritija 12,4 let, biološki razpolovni čas pa je različen: za tritij v prosti vodi človeškega organizma znaša okrog 10 dni. Tritij, vgrajen v DNK, postane del svoje radiosenzibilne tarče; če je vezan na ogljik, ostane tam do svojega razpada oziroma do smrti celice.

Šele ko upoštevamo subcelularno lokalizacijo tritija, se razgali njegova diferencirana radiotoksičnost. Tritij se lahko vgradi samo v DNK celic, ki se delijo – najlažje torej v dednino zametkov, plodov in otrok.

Zato nam šele učinek obeh razpolovnih časov (r.čas), fizikalnega in biološkega, da **efektivni razpolovni čas**:

$$\text{efektivni r.čas} = \frac{\text{fizikalni r.čas} \times \text{biološki r.čas}}{\text{fizikalni r.čas} + \text{biološki r.čas}}$$

Kolikor večja je v konkretnem primeru utež biološkega r.časa, toliko bolj veljajo tudi za učinkoviti r.čas omejitve, ki smo jih navedli za biološki r.čas.

Fizikalno dozimetrijo večkrat dopolnujemo ali pa nadomeščamo z biodozimetrijo, ki doze sevanja ocenjuje po radiogenih spremembah v organizmu. Pri človeku največkrat uporabljamo zmanjšanje števila limfocitov in zvečano frekvenco kromosomskih aberacij v limfocitih.

Prednost biodozimetrije je najbolj očitna, kadar v izpostavljeni skupini želimo najti radiosenzibilne posameznike; ti se na enako izpostavljenost sevanju biološko bolj izrazito odzovejo kot povprečje. Uporabnost biodozimetrije se je pokazala tudi pri radioloških nesrečah.

Vse skupaj lahko strnemo v nekaj zaključkov:

- Sevanje pri prehodu skozi snov ionizira, kadar imajo delci dovolj energije, da atomu odtrgajo elektron.
- Enake doze sevanja zaradi absorpcije različnih delcev so za živo snov različno škodljive. Te razlike skušamo izravnati z utežnimi faktorji sevanja. Z njimi pretehtamo povprečno dozo, absorbirano v kakem tkivu ali organu in tako ocenimo ekvivalentno dozo.
- Enaka ekvivalentna doza je za razna tkiva različno škodljiva. Te razlike skušamo izravnati s tkivnimi utežnimi faktorji, z njimi pretehtamo ekvivalentno dozo.

- Seštevek pretehtanih ekvivalentnih doz v vseh tkivih in organih telesa je opredeljen kot učinkovita doza.
- V varstvu pred sevanjem uporabljamo doze in enote z utežnimi faktorji, ki niso izmerjeni, temveč le ocenjeni. Manj natančno navedeni rezultati so stvarnejši in zaradi tega bolj natančni.
- Kritične tarče za sevanje so v živi snovi molekule DNK. Mikrodozimetrija skuša upoštevati odlaganje energije sevanja v molekulah DNK ali vsaj v prostornini celičnega jedra. V teh razsežnostih odpove makroskopska dozimetrija, mikrodozimetrija pa za praktično uporabo še ni dovolj razvita.
- Sevanje okvarja dednino neposredno ali pa posredno prek tvorbe prostih kisikovih radikalov. Posredni način delovanja ovirajo antioksidanti.
- Reparativni encimi popravijo skoraj vse poškodbe DNK. Reparacija mora biti opravljena do naslednje delitve celice. Zato velja pravilo, da so celice tem bolj radiosenzibilne, čim pogosteje se razmnožujejo. Od tukaj sledi večja ogroženost plodov in otrok ter pomembnost vseh dejavnikov v karcinogenezi, ki spodbuja proliferacijo celic.
- Nepopravljena poškodba DNK lahko povzroči smrt celice. To je razmeroma ugodna posledica – dokler ne propade veliko celic kakega tkiva ali organa. Nepopravljena okvara DNK, vendar z ohranjeno sposobnostjo celice za delitev, je mnogo nevarnejša

- taka mutacija lahko spočne maligno raščo.
- Karcinogeneza poteka v številnih stopnjah in na vsako od njih delujejo obrambni in pospeševalni dejavniki, tako notranji kot zunanji. Šele kadar odpovedo obrambni mehanizmi na vseh stopnjah, se pojavi klinično očitni rak, ves proces traja več let, za večino solidnih rakov več desetletij.
- Molekularna patologija odkriva, da se na vsaki stopnji lahko napačno izrazijo normalni geni, ki so sicer sleherni celici potrebni za rast in delovanje. Ta spoznanja nam podajajo možnost genske terapije raka v prihodnosti.

3. Razdelitev zdravstvenih posledic sevanja

V zadnjem desetletju se je na priporočilo ICRP uveljavila delitev na vzročno nujne posledice, to je **deterministične** in na naključno razporejene, verjetnostne, to je **stohastične** učinke.

3.1 Deterministični učinki

Za deterministične učinke je značilno, da imajo prag: sledijo šele od neke mejne doze naprej. Stopnja poškodbe je odvisna od doze, so nujna posledica izpostavljanja sevanju.

Prag omogoča, da se determinističnim učinkom izognemo, če omejimo individualne doze.

Po akutni izpostavljenosti celega telesa približno do doze 0,25 Gy ni kliničnih učinkov. Laboratorijsko lahko odkrijemo rahlo zvečano frekvenco kromosomskih aberacij v limfocitih. Kot prvi simptom in znak sevalne bolezni se pojavita navzea in bruhanje, sprva (0,25 - 1 Gy) še prehodna. Z rastočo dozo ugotavljamo limfocitopenijo, nakazano trombocitopenijo in očitno več kromosomskih aberacij. Pozneje se zniža tudi število nevtrofilnih levkocitov.

Med dobro, dvomljivo in neugodno prognozo ni velike razlike v dozi – kvečjemu za faktor 2. V tednu dni zlasti bela krvna slika pove, ali so hematološke spremembe še reverzibilne.

Po IAEA (1989) akutno dozo na grobo povezujemo s prizadetostjo sistemov:

- 1 – 10 Gy: kostni mozeg,
- 10 – 20 Gy: prebavila,
- 20 – 50 Gy: obtočila,
- nad 50 Gy: možgani.

Pri dozah med 2,5 in 5 Gy na celo telo v dveh mesecih umre polovica bolnikov. Izid je med drugim močno odvisen od načina zdravljenja. Brez presaditve kostnega mozga preživi polovica bolnikov povprečno dozo okrog 4,5 Gy; po dozah 6 – 7 Gy pa je verjetnost preživetja majhna.

Deterministični učinki se pojavijo, kadar je prizadet zadosten odstotek celic v kakem tkivu ali organu. Naraščanje doze nad tem pragom povzroča hujše in še

večje učinke. Po pravilu se škoda najprej pokaže na celicah, ki se hitro razmnožujejo ali obnavljajo (koža, rdeči kostni mozeg, prebavila) – glavna izjema je velika radiosenzibilnost limfocitov.

Prag za deterministično škodo je odvisen tudi od tega, kaj opazujemo kot izid: za padec limfocitov je na primer nižji kot za gastrointestinalni sindrom; hkrati je očitno, da nekatere učinke lahko odkrijemo samo z laboratorijskimi preiskavami.

Prag je seveda različen za otroke, odrasle, ostarele, bolne, zdrave itd. Odrasel zdrav človek s precejšnjo verjetnostjo preživi dozo 2 Gy, ki pa je skoraj gotovo smrtna za dojenčka in zelo verjetno za otroka.

Otroci že pri nižjih dozah umirajo zaradi okvare rdečega kostnega mozga tudi zato, ker imajo glede na površino telesa relativno več tega tkiva.

Okvare kostnega mozga povzročajo tudi nagnjenost h krvavitvam in po večjih dozah še k okužbam; te imajo spričo razjed po koži in prebavilih odprtih več poti za prodor v organizem, kjer spet lahko naletijo na oslavljen imunobiološki odziv. V Hirošimi in Nagasakiju so mnogi umirali po dozah sevanja, ki same po sebi ne bi bile smrtne, a so umirali zaradi krvavitev in okužb, ki spet same po sebi ne bi povzročale smrti.

Zgodnji deterministični učinki po enkratni dozi sevanja nastanejo takoj pa do nekaj tednov po izpostavljanju kot

- opekline,

- poškodbe centralnega živčevja,
- okvare hemopoetičnega in imunobiološkega sistema,
- okvare prebavil,
- okvare gonad,
- okvare zarodka ali plodu zaradi obsevanja in utero.

Pozni deterministični učinki so pogosto trajne posledice po zgodnjih učinkih:

- brazgotine po koži,
- sterilnost raznih stopenj,
- strikture prebavil in drugih struktur,
- katarakta očesne leče,
- hipoplazija kostnega mozga in imunobiološkega sistema,
- fibroza pljuč,
- nefroskleroza,
- nekroze in atrofije vseh mogočih organov,
- manjša umska razvitost otroka po obsevanju in utero,
- zastoj v rasti po obsevanju otrok.

3.2 Stohastični učinki

Za stohastične pojave je značilno, da:

- nimajo praga,
- se lahko pojavijo po neomejeno nizki dozi,
- stopnja škode ni odvisna od doze,
- verjetnost škode je odvisna od doze.

Pri determinističnih učinkih je vzročna povezanost med dozo in učinkom razvidna, pri stohastičnih pa je ta zveza statistična verjetnost za naključno porazdeljeno škodo.

Primer:

Pri bolniku s sevalno boleznijo vemo, da jo je povzročilo sevanje. Recimo, da je bolnik preživel in čez pet let zbolel za levkemijo ali čez 45 let za kakim drugim rakom, denimo na pljučih. Ne moremo z gotovostjo trditi, da je njegov rak nastal zaradi dodatne izpostavljenosti sevanju pred leti. Ocenjujemo lahko samo verjetnost, s katero sta povezana sevanje in rak tega bolnika.

Tudi med ljudmi, ki niso bili dodatno izpostavljeni, se namreč pojavlja rak na pljučih, posebno med kadilci.

Stohastične učinke po navadi delimo na:

- somatične in
- dedne.

Prvi zadevajo izpostavljenega posameznika, drugi pa potomce.

Kot velja za patologijo nasploh, je tudi radiogena škoda na zdravju preplet podedovanega in pridobljenega; v konkretnih primerih je vprašanje samo, kolikšen je delež ene in druge komponente.

Somatični učinki

Med njimi je najpomembnejši nastanek raka. Nujni člen v verigi dogajanj je sprožitev mutacije, pri kateri pa celica ohrani sposobnost za razmnoževanje. Vse več je dokazov, da kancerogeni v dednini aktivirajo protoonkogene. Na prizadeto celico pričnejo vplivati številni pospeševalni in zaviralni dejavniki, tako zunanji kot notranji. Razvoj od sproženja do fenotipično izraženih rakov traja pri levkemijah več let, pri solidnih rakih pa desetletje oziroma do kraja življenja. Dolga latentna doba seveda dodatno otežuje zapleteno vrednotenje epidemioloških študij.

Dedni učinki

O njih vemo pri človeku veliko manj kot o somatičnih in tako smo še bolj odvisni od poskusov na živalih. Vendar pri sesalcih radiogene poškodbe DNK niso specifične za vrsto; zato je v tem primeru možno iz poskusov na glodalcih sklepati tudi o poškodbah na dednini človeka.

Med dednimi učinki najdemo tudi nagnjenost za raka med potomci. Taka nagnjenost po navadi pomeni recesivno mutacijo antionkogeno ali dominantno mutacijo onkogeno. Nagnjenost se izrazi, če dodatni dejavniki pospešujejo nadaljnje stopnje karcinogeneze.

Nova priporočila ICRP upoštevajo dedne učinke sevanja na potomce vseh rodov.

Za varnost vseh bodočih rodov moramo uporabljati enaka merila kot zase.

Iz zgoraj navedenega lahko zapišemo nekatere sklepne pripombe:

- Zdravstvene učinke sevanja delimo na deterministične in na stohastične.
- Deterministični učinki so vzročno nujna posledica sevanja, sledijo šele po določeni mejni dozi in njihova resnost narašča z dozo. Stohastični učinki so samo verjetna posledica sevanja, nimajo praga, stopnja škode ni odvisna od doze, pač pa z dozo raste verjetnost, da se bo škoda pojavila.
- Deterministične učinke lahko iz praktičnih razlogov delimo na zgodnje in pozne. Med organogenezo možganske skorje povzroča obsevanje ploda v meternici razne stopnje umske nerazvitosti. Prag za to škodo je tako nizek, da je ni mogoče povsem preprečiti.
- Stohastične učinke delimo na somatične in dedne. Prvi upoštevajo izpostavljenega posameznika, drugi pa njegove potomce.

4. Varstvo pred ionizirajočim sevanjem

4.1. Načela

Temeljna načela za omejevanje doz v varstvu pred sevanjem je Mednarodna komisija za varstvo pred sevanjem oblikovala leta 1977. V Analih ICRP je sledil niz pojasnil, izjav in priporočil za rabo teh načel.

V drugi polovici osemdesetih let so zlasti nove ocene o tveganju stohastične škode po sevanju terjale novih priporočil ICRP.

Leta 1990 je komisija dotedanji sistem za omejevanje doz razširila v sistem celotnega varstva pred sevanjem (objavljeno 1991 leta kot ICRP 60). Priporočila iz leta 1977 so omejevala doze pri normalnem obratovanju nadzorovanih virov sevanja. Z novimi priporočili ICRP omejuje tudi tveganje za potencialno, zgolj možno izpostavljenost ob izrednih dogodkih.

Pred pregledom novih priporočil velja opozoriti na nekaj terminoloških posebnosti.

Zaradi večje jasnosti komisija razlikuje štiri vrste učinkov sevanja na živo snov:

- **sprememba (change)** je lahko škodljiva ali pa ne,
- **poškodba (damage)** je neka stopnja spremembe, ki je kvarna npr. za celice, ne pa nujno za ves organizem,
- **škoda (harm)** je klinično očitna okvara pri posameznikih ali njihovih potomcih,
- **kvara (detriment)** je kompleksen koncept, ki združuje verjetnost in resnost škode ter rok, po katerem se škoda pojavi; rok upoštevamo v računih za izgubljena leta življenja zaradi učinkov sevanja.

Komisija spreminja pomen tudi za izraz **tveganje**. Po novem ga uporablja zgolj opisno, zlasti v dobro utrjenih zvezah kot

je na primer ocena tveganja. Sicer pa komisija izraz tveganje nadomešča z izrazom **verjetnost**.

Namen priporočil je zagotoviti varstvo ljudi pred sevanjem, ne da bi pretirano omejevali koristne postopke, ki povzročajo izpostavljenost. ICRP meni, da tega ni mogoče doseči zgolj na temelju znanstvenih konceptov. Vsi, ki se ukvarjajo z varstvom pred sevanjem, morajo poseči tudi po vrednostnih sodbah.

Po mnenju komisije moramo privzeti, da imajo celo majhne doze sevanja nekaj učinkov, ki zdravju škodijo. Stohastičnim učinkom ne moremo pripisati praga in se jim torej ni mogoče popolnoma izogniti. Z druge strani se je spričo praga determinističnim učinkom mogoče izogniti, če omejimo doze za posameznika.

Za postopke priporoča ICRP tri splošna načela:

- Nobenega postopka, ki zadeva sevanje, ne smemo sprejeti, če izpostavljenim posameznikom ali družbi ne prinaša zadostne dobiti, da odtehta povzročeno kvaro: **opravičenost postopka** (justification of a practice).
- Za vsak vir morajo biti individualne doze, število izpostavljenih in verjetnost za morebitne izpostavljenosti tako majhne, kot je mogoče razumno doseči ob upoštevanju gospodarskih in socialnih dejavnikov: **načelo ALARA**; ta proces mora biti obrzdan s priporami (constraints) za

individualne doze in s priporami za individualno tveganje zaradi morebitnih izpostavljenosti – tako, da so omejene krivice zaradi socialnoekonomskih presojanj: **optimiziranje varstva** (optimization of protection).

- Za izpostavljenost posameznikov zaradi kombinacije vseh pomembnih postopkov velja omejitev doz oziroma nadzor nad tveganjem zaradi potencialnih izpostavljenosti; s tem naj bo zajamčeno, da noben posameznik ni izpostavljen tveganju, ki ga v normalnih razmerah štejemo za nesprejemljivo: **omejitve individualnih doz in tveganja** (individual dose and risk limits).

Kadar ta načela izvajamo pri postopkih, ne zadošča, da upoštevamo samo normalno obratovanje, temveč tudi potencialno izpostavljenost zaradi morebitnih nesreč.

Pri uvajanju novih postopkov so ocene varstva pred sevanjem samo eden od vidikov za odločanje. Brž, ko je določen postopek opravičen, moramo doze in tveganje optimirati znotraj mej, določenih za posameznike. Toda optimiziranje je proces glede na določen vir, medtem ko naj meje za posameznika jamčijo njegovo varstvo pred vsemi viri.

Za ta namen je ICRP uvedla pojem **pripora (constraint)** za dozo in za tveganje. Pripora je kriterij glede na posameznika, toda uporabljena za posamezen vir: kot jamstvo, da omejitve doz ali tveganja ne bodo presežene.

Zatorej naj se pri optimizaciji pripora za dozo postavi kot ulomek mejne doze. Podobno je treba obrzdati tveganje za morebitno (potencialno) izpostavljenost.

Grozeče nezgode in nesreče je potrebno šteti za vire morebitne izpostavljenosti. Če se res dogodijo, pa lahko zahtevajo posredovanje.

Sistem varstva pred sevanjem, ki ga ICRP priporoča za posredovanje, temelji na dveh splošnih načelih:

- **Vsako posredovanje mora prinesiti več dobrega kot slabega;** se pravi, kvara je lahko največ tolikšna, da opravičuje škodo in oceno, vključno s socialno ceno posegov.
- **Način, obseg in trajanje posredovanja morajo biti optimizirani;** se pravi, korist zaradi radiacijske kvare mora biti očitno večja od škode, ki jo terja posredovanje.

Cena posredovanja ni enaka denarnim stroškom. Nekateri varnostni in sanacijski ukrepi puščajo globoke socialne sledove.

Primer:

Krajša izselitev ne stane veliko; lahko pa začasno loči družinske člane in tako povzroči precejšno tesnobo. Trajnejša preselitev pa je draga in velikokrat hudo travmatična.

Zgoraj navedena načela bodo vodila do **ravni za posredovanje (intervention levels)**, ki so primerne razmeram. Vendar bo zaradi raznih determinističnih učinkov

pri določeni ravni projicirane doze posredovanje skoraj vedno opravičeno.

Za normalno obratovanje po ICRP efektivna doza primerno predstavlja izgubo za posameznika in kolektivna efektivna doza za prebivalstvo. Toda kadar gre za možne situacije in posredovanje, je treba upoštevati mnoge druge vidike. V takih razmerah se lahko pojavijo zgodnji učinki akutnih izpostavljenosti kakor tudi gospodarski vidiki: prepoved uporabe zemljišč, izguba hrane ali socialno razkrajanje in zaskrbljenost prebivalstva zaradi selitev.

Zato ICRP odsvetuje avtomatično uporabo gole efektivne doze kot mere za izgubo pri nezgodah ali nesrečah. Komisija predlaga, da tedaj pri odločanju upoštevamo široko paleto posledic.

Omejitve za doze veljajo samo za nadzor nad postopki. ICRP omejuje doze dveh vrst:

- zaradi izpostavljenosti v poklicih in
- zaradi izpostavljenosti splošnega prebivalstva.

Komisija postavlja meje tako, da bi bila trajna izpostavljenost tik nad mejo na vsaki razumni osnovi nesprejemljiva. Trajna izpostavljenost tik pod mejo bi bila lahko znosna, vendar nezaželena.

Za začrtane ločnice med nesprejemljivim in znosnim je komisija upoštevala razpon dejavnikov, ki jih je mogoče kvantificirati. Komisija hkrati ugotavlja, da je izbira meje za doze samo delno znanstvena

odločitev, v glavnem je vrednostna sodba.

Izpostavljenost v poklicu zadeva relativno zdrave ljudi med 18. in 65. letom starosti; ob zaposlitvi so bili pregledani in so pod rednim zdravstvenim nadzorom. ICRP se je odločila, da dosedanje zgornjo mejo (50 mSv na leto) zniža na 20 mSv na leto, nekatere države po so to mejo znižale na 15 mSv na leto. V posebnih razmerah je ta doza lahko presežena (največ do 50 mSv na leto) – s pogojem, da v petih letih spet dosežemo povprečje 20 mSv na leto.

Izpostavljenost splošnega prebivalstva zadeva posameznike vseh starosti in ne glede na zdravstveno stanje. Komisija ostaja pri dosedanjem priporočilu za sprejemljivo mejno dozo (1 mSv na leto); v posebnih razmerah je dovoljeno to dozo preseči – s pogojem, da jo v petih letih izravnamo do povprečja. Se pravi, če bi bila doza kako leto presežena, mora isti posameznik v naslednjih štirih letih prejemati toliko manj, da ob koncu petega leta dosežemo povprečje 1 mSv na leto. Doslej je bilo dovoljeno, da morebitni presežek doze izravnamo do povprečja v sedemdesetih letih; to pa se je zdel komisiji predolg čas.

Omejitve za tveganje

Nova priporočila razširjajo načela tudi na **omejitve zaradi morebitnih (potencialnih) izpostavljenosti**; tako komisija imenuje izpostavljenosti, ki so sicer

možne, ni pa zagotovo, da bo do njih prišlo. Velikokrat je možna določena mera nadzora tako nad verjetnostjo kot nad velikostjo morebitnih izpostavljenosti. Potencialne izpostavljenosti morajo biti vključene v sistem varstva glede na postopke.

Morebitne izpostavljenosti preprečujemo tako, da zmanjšujemo verjetnost za verigo dogodkov, ki bi utegnili povzročiti izpostavljenost. Kadar se izredni dogodki pripetijo, se potencialna izpostavljenost prelevi v stvarno; tedaj jo skušamo s posredovanjem čim bolj omiliti.

Vendar komisija ne daje nobenih številčnih vrednosti za omejevanje morebitnih izpostavljenosti. Po ICRP si je namreč zelo težko predstavljati, kako naj bi priporočeno omejitev regulirali. Meja za tveganje naj bi veljala za vse vire, ki jim je posameznik izpostavljen – verjetnost za tveganje pa na splošno računamo za posamezen vir. Zato komisija pričakuje, da bodo pripore določene za posamezne vire. Vsaka pripora za tveganje je popolnoma drugačne narave kot pripora za doze. Komisija zatorej priporoča, da ene in druge obravnavamo posebej in da jih ne seštevamo.

Ocena tveganja zaradi izpostavljenosti sevanju

Tudi nova priporočila ICRP upoštevajo, da ima sevanje z majhno gostoto ionizacije pri majhni dozi in majhni

hitrosti doze manjši učinek kot pri večji dozi in večji hitrosti doze.

Zato ICRP za sevanje z majhno gostoto ionizacije pri majhni hitrosti doze uvaja faktor za učinkovitost doze in hitrost doze.

Odveza (exemption) od nadzora

Komisija upošteva dva razloga za izvzemanje virov ali položaja v okolju od nadzora:

- majhne individualne in kolektivne doze v normalnih in izrednih razmerah in
- razmere, v katerih z nobenim nadzorom ni mogoče razumno doseči zmanjšanja individualnih in kolektivnih doz.

4.2 Raba načel

Načela so preprosta in pregledna. Pri rabi v življenju pa se stvar rada zaplete bolj, kot bi to pričakovali na prvi pogled.

Še posebej to velja za nova priporočila ICRP, ki vključujejo tudi varstvo pred morebitnim izpostavljanjem v izrednih razmerah.

Zaporedje **vir-poti-izpostavljenost-doza-tveganje-sprejemljivost** ni preprost niz členov, temveč je le ena od niti, zapletenih v omrežje dogodkov in razmer:

- fizikalnih,
- bioloških,
- medicinskih,
- epidemioloških,
- gospodarskih,
- tehnoloških,
- ekoloških,
- psiholoških,
- socialnih,
- političnih,
- pravnih,
- etičnih, itd.

Komisija opozarja, da izraz tveganje uporablja samo v splošnem opisnem pomenu in ne v kvantitativnem smislu; zato izraz tveganje nadomešča z izrazom verjetnost, kadar gre za matematično verjetnost.

Prvo načelo ICRP zahteva, da mora biti vsaka dejavnost, ki izpostavljenost povečuje, opravičena s tem, da prinaša več dobiti kot kvare.

Drugo načelo ICRP predpisuje, da rabo sevanja optimiziramo, seveda šele potem, ko smo jo po prvem opravičili. Za drugo načelo ICRP se je udomačila kratica ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Po naše torej: tako nizko kot je po pameti dosegljivo. Zahteva dejavnost, vendar razumno, to se pravi ob upoštevanju socialnih in ekonomskih razmer.

Sredstva so v vsaki družbi omejena. Če jih določen del porabimo za večjo varnost pred sevanjem, smo jih morali vzeti od drugod, kjer bi morda z njimi ohranili še več zdravja. Zato je potrebno določiti prioritete za porabo sredstev, kar seveda pomeni, da moramo pripraviti analizo cena-korist.

Ceno med drugim sestavljajo stroški za varstvo pred sevanjem in stroški zaradi škode od sevanja. Ceno poleg stroškov opredeljuje tudi zaskrbljenost, trpljenje zaradi dolgotrajnega umiranja, poleg tega pa tudi duhovna in socialna izguba zaradi smrti.

Verjetno ni lahko povedati, koliko v denarju velja trpljenje, duševni mir, življenje, prezgodnja smrt ali smrt, ki noče priti.

Svetovna zdravstvena organizacija je na primer po Černobilu opozorila, da so zaskrbljenost, strah in tesnoba z medicinskega vidika resna škoda za zdravje vsakega posameznika, ne glede na to, ali so objektivno utemeljeni ali namišljeni.

Tretje načelo ICRP varstva pred sevanjem zahteva omejitev doz in po novem tudi tveganja za morebitno izpostavljenost.

Tako kot po svetu, tudi naš pravilnik v mejno dozo ne šteje doze zaradi naravnega sevanja, razen zaradi sevanja iz tehnološko spremenjenih naravnih virov. Pravilnik tudi ne šteje v mejno dozo deleža zaradi medicinske rabe sevanja.

V omejitvah tudi ne štejemo doz od neizglednih, nesreč ali uporabe jedrskega orožja. Ne glede na to, je treba tudi take doze oceniti.

Ni torej dovolj, če ugotovimo, da smo v konkretnem primeru pod predpisano zgornjo mejo. Stremeti moramo za tem, da smo čim nižje pod predpisano mejo. To zahteva tudi načelo ALARA, ki ga radi hvalimo, a neradi uporabljamo.

ICRP upošteva, da je posameznik izpostavljen več virom sevanja in sicer kot zaposleni med delovnim časom in nato še kot prebivalec.

ICRP že od leta 1984 vključuje med glavne naloge nadzora nad dozami sevanja dokaz skladnosti z avtoriziranimi mejami. Avtorizirano mejo lahko določi uprava objekta, ki je vir sevanja. Če tega ne stori, določi avtorizirano mejo nadrejeno telo. Po pravilu naj bi bila nižja od pripore, le v redkih primerih je lahko enaka. Avtorizirane meje se naj bi določile tako za delavce kot za prebivalstvo, zlasti še za nadziranje doz kritične skupine.

Pri uporabi priporočil ICRP velja seveda upoštevati, da so to priporočila, ne pa predpisi. Namenjena so v pomoč regulacijskim in svetovalnim telesom na regionalni, državni in mednarodni ravni.

Komisija nudi smernice in temeljna načela za varstvo pred sevanjem. Posamezniki in skupine, ki se ukvarjajo s to tematiko, morajo predvsem skrbeti za izpostavljenost prebivalstva, kajti vsak

posameznik je namreč lahko izpostavljen več kot enemu viru sevanja.

Kratek povzetek načel:

- nova priporočila ICRP (1990) razširjajo prejšnji sistem za omejevanje doz na sistem celotnega varstva pred sevanjem,
- namen novih priporočil je zagotoviti varstvo pred sevanjem, ne da bi pri tem pretirano omejevali koristne postopke, ki povzročajo izpostavljenost,
- temeljna načela so ostala enaka, vendar po novem omejujejo tudi tveganje za morebitno izpostavljenost v izrednih razmerah,
- po novih priporočilih je verjetnost za radiogenega raka večja kot po dosedanjih: za posameznika iz splošnega prebivalstva je po izpostavljenosti sevanju z majhno gostoto ionizacije ta verjetnost približno 3-4 krat večja, za druge vrste sevanja se verjetnost poveča 6-8 krat,
- zakonodaje se bodo morale prilagoditi strožjim standardom v varstvu pred sevanjem,
- ne glede na datume novih predpisov velja sevanje že zdaj uporabljati z večjo preudarnostjo kot do sedaj.

5. Vrste izpostavitve sevanju

Vire sevanja lahko delimo v:

- naravne,
- tehnološko ojačene naravne in
- umetne.

S pojmom **naravno** ozadje sevanja združujemo sevanje iz naravnih virov kot so na primer: sonce, geološka ležišča premoga, fosfatov, urana.

Tehnološko ojačeni viri naravnega sevanja so naravni viri, prikrojeni z dejavnostjo človeka. Na primer: izkopani oziroma dalje predelani premog, fosfati, uran.

Umetnih virov v naravi ni in so v celoti plod znanosti in tehnologije kot na primer rentgenska cev, betatron, televizijski sprejemnik, jedrsko orožje.

ICRP priporoča delitev sevanja v neizogibni del in v del, ki se mu več ali manj izognemo.

5.1 Razdelitev vrst izpostavitve sevanju

Vrste izpostavitve sevanju razdelimo na

- poklicno,
- medicinsko in
- naravno sevanje.

Podrobna razdelitev vrst izpostavitve sevanju je prikazana v naslednji tabeli:

POKLICNA	MEDICINA	NARAVNO SEVANJE
umetni viri: - rentgen, - reaktor, - izotopi (medicinske in industrijske različne raziskave)	- diagnostika (nižje doze: \cong mSv), - terapija (višje doze: $>$ 10 Sv)	- naravni izotopi (K-40, U-238+ TH-232+), - kozmično sevanje
naravni viri: - Rn + potomci (rudniki, jame), - snovi z visoko vrednostjo naravnih izotopov, - kozmično sevanje (letalski promet, vesoljski poleti)		

PREBIVALSTVO: antropogeni viri:

nadzorovani:	nenadzorovani:
- jedrski objekti, - ostalo (rudniki, industrijske raziskave)	- poskusne jedrske eksplozije, - Černobilska nesreča

Tabela 1: Vrste izpostavitve sevanju

doseg delcev:	α	β	γ	n
zrak	1 cm	m	- 100 m	100 m
voda	m	mm	- 0,1m	0,1 m

Tabela 2: Doseg prodornih sevanj v vodi in zraku

Vrste izpostavitve ionizirajočemu sevanju razdelimo tudi na:

- zunanje obsevanje,
- notranje obsevanje.

5.2.1 Zunanje obsevanje

Zunanje obsevanje povzroča sevanje zaradi prodornih virov v okolju (γ , x, n, β , ...)

Pri α in β pravimo, da imajo doseg, pri γ pa pravimo, da ima razpolovno debelino.

Viri sevanj so:

- radioaktivni izotopi v okolju,
- kozmično sevanje (gre za MIONE, ko se primarno sevanje atermira v okolju),
- umetni radioaktivni izotopi (zaradi atomskih eksplozij Cz 137),

- naprave (RTG, LINAC).

Pri zunanjem obsevanju se lahko umaknemo in nismo več obsevani.

Pristopi pri varstvu pred zunanjim obsevanjem:

- čas,
- razdalja,
- ščit.

Čas: če je krajši, je tudi doza manjša. Na primer, če je problem večji, se ga razdeli na več delavcev. S tem je doza na posameznika nižja.

Razdalja: če je razdalja daljša, je doza nižja. Doza se manjša s kvadratom razdalje

Ščit: uporabljamo lahko svinčeno steno, kontejner za izotope, itd.

5.2.2 Notranje obsevanje

Notranje obsevanje nastane po vnosu izotopa v organizem. Nekateri izotopi se kopičijo v določenih organih, drugi pa se lahko porazdelijo po telesu.

Na primer:

- ^{137}Cs - nahaja se enakomerno po celem telesu,
- ^{131}I - kopiči se v ščitnici.

Zaradi naravne radioaktivnosti smo obsevani od zunaj in od znotraj, saj so radionuklidi vgrajeni tudi v živo snov. K notranjemu obsevanju največ prispeva niz U-238 prek vdihavanja v zgradbah, okrog petkrat manj pa K-40 in Th-232.

V tabeli 2 je predstavljena ocena doz zaradi izpostavljenosti človeka naravnemu ozadju sevanja.

Izpostavljenost		Povprečna efektivna doza na leto (mSv)	Odstotek vse doze	Faktor razpona	Zlahka izogibno
KOZMIČNA	zunanja	0,33	14	10	ne*
	notranja	0,01	0,5	5	ne
ZEMELJSKA zunanja	na prostem	0,06	2,5	10	ne*
	v zgradbah	0,29	2,5	10	ne
ZEMELJSKA notranja	K-40 in Rb-87	0,19	8,0	5	ne
	Niz U-238: vdihavanje na prostem	0,06	2,5	10	ne
	Niz U-238: vdihavanje v zgradbah	1,10	45,5	1000	da
	Niz U-238: zaužitje	0,14	6,0	10	da
	Niz Th-232: vdihavanje na prostem	0,03	1,0	?	ne
	Niz Th-232: vdihavanje v zgradbah	0,17	7,0	100	ne
	Niz Th-232: zaužitje	0,02	1,0	10	da

* možna zemljepisna preselitev

Tabela 2: Ocena doz zaradi izpostavljenosti človeka naravnemu ozadju sevanja

6. Zaključek

Glavni namen varstva pred sevanjem je zadostna varnost brez pretiranega omejevanja koristnih postopkov, ki povečujejo izpostavljenost sevanju. Po ICRP 60 tega namena ne moremo doseči samo z znanstvenimi koncepti, ampak se morajo vsi, ki se s sevanjem ukvarjajo, posvečati tudi vrednostnim sodbam in sicer o relativni pomembnosti različnih vrst tveganja ali pri tehtanju med tveganjem škode in koristmi od sevanja.

Izhodišča ICRP, ki smo jih predstavili pomenijo tudi, da velja v varstvu pred sevanjem upoštevati različne poglede in vidike. Težnja, da bi se omejili samo na kvantitativne presoje je omejenost in le navidezna objektivnost.

Med pogoji za minimalno stopnjo objektivnosti je spoznanje, da nihče ne more biti objektivni, niti posameznik, niti skupina. To spoznanje od nas zahteva, da nujno obravnavamo tudi druge vidike, predvsem tiste, ki so nasprotni. Šele

potem poskušamo pravilno presoditi, za katero stran je več razlogov. Čim več vidikov upoštevamo pri iskanju pravilne odločitve, tem bolj se približamo objektivnosti in se oddaljimo od nepristranosti. Pravilno je tudi, da upoštevamo skrajna stališča, kadar so podprta z dovolj pretehtanimi utemeljitvami. Ne smemo pa upoštevati skrajne sodbe, kadar sledi iz enostransko omejenega pogleda.

Veliko ocen si nasprotuje samo navidezno, v resnici pa se dopolnjujejo. Kadar pa gre za prava nasprotja, se seveda stališča izključujejo. V tem primeru se pojavlja vprašanje verodostojnosti. Večja je objektivnost posameznika ali skupine, več verodostojnosti si zasluži.

Ugled v strokovnih krogih in zaupanje javnosti se dolgo pridobiva in le s težavami ohranja. O tem, kdo je bil bolj v zmoti, po dolgih letih odločajo nova opazovanja in poskusi, natančnejše metode in postopki ter globlja spoznanja.

Zaupanje javnosti v stroko je predvsem odvisno od načina njunega medsebojnega sporazumevanja. Pri komuniciranju, ki aktivno poteka v obeh smereh, stroka posreduje predvsem kvantitativno specializirano znanje. Javnost pa ima več posluha za kvalitativni vidike, kamor uvrščamo psihološki, etični in socialni vidik. Do napak in nesoglasij prihaja predvsem zaradi tega, ker se obe strani premalo zavedata meja svojih področij. Stroke ocenjujejo doze sevanja

in kaj tvegamo zaradi njih, javnost pa presoja o sprejemljivosti strokovno ocenjenega tveganja.

Strokovne ocene lahko tudi pomembno vplivajo na to, kako posameznik vidi kakovost lastnega življenja. Ne morejo pa mu tega videnja nadomestiti, še najmanj pa vsiljevati.

Zato je potrebno upoštevati, da so strokovne ocene nujen, ne pa tudi zadosten pogoj za odločanje o širših vprašanih varstva pred sevanjem. Za merljivimi vrednostmi se začenjajo območja nemerljivih vrednosti, tu pa ima vsak strokovnjak le toliko glasu kot vsak preprost človek.

Literatura

1. Smith H. Annals of the ICRP. 1990, Recommendations of the international commission on radiological protection. Vol. 21, No: 1-3.
2. Župančič O.A. Iz varstva pred ionizirajočim sevanjem v Sloveniji. Ljubljana, 1993.
3. Zapiski predavanj radiofizika in varstvo pred sevanji, mag. B. Pucelj na Visoki šoli za zdravstvo v Ljubljani.