

VARSTVO PRED SEVANJI

Damijan Škrk

POVZETEK. Uvajanje in uporaba novih tehnik v marsičem lajša življenje in bivanje, vendar lahko s seboj prinaša tudi tveganja, povezana z vplivi na okolje in zdravje. Vplivi so lahko škodljivi, zato je treba pristopiti k zmanjševanju neželenih posledic. Izvedba prve ravni ukrepov sledi načelu »povzročitelj plača«, ki je učinkovito in izvedljivo le, če ga spremljajo ukrepi preventivne narave, ki sledijo načelu »preprečiti je bolje kot zdraviti«. Pojavljajo pa se čedalje bolj nepredvidljiva in težko merljiva tveganja, zato se uvajajo previdnostni ukrepi, ki so namenjeni izogibu ali omilitvi posledic in škode.

Zavedanje o učinkih in družbena sprejemljivost tveganj zaradi izpostavljenosti sevanju na eni strani in koristi, ki jih njihova uporaba prinaša na drugi strani, določajo postopen razvoj varstva pred sevanji. S sistematičnim ocenjevanjem rakotvornih učinkov posameznih snovi in dejavnikov, ki smo jim ljudje izpostavljeni, je Mednarodna agencija za raziskovanje raka IARC visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja in nizkofrekvenčna magnetna polja uvrstila v skupino 2B, v kateri so snovi in dejavniki, ki so mogoče rakotvorni, medtem ko je ultravijolična svetloba, tako naravna kot tista v solarijih, uvrščena v skupino 1, kjer ni dvoma o njihovi rakotvornosti. V prvo skupino so uvrščena tudi ionizirajoča sevanja.

Ukrepi, namenjeni obvladovanju sevalnih tveganj, so prilagojeni ravni njihove dokazane škodljivosti ali znanstveni zanesljivosti ugotovitev o škodljivosti, ko ta ni nedvoumna.

UVOD

Nove tehnike vstopajo v naše življenje in ga korenito spreminjajo, prav tako vplivajo in preoblikujejo okolje. Tehnične spremembe v marsičem lajšajo način bivanja in življenja, vendar lahko s seboj prinašajo tudi nekatera tveganja. Vplivi na okolje in zdravje so lahko tako tudi škodljivi, zato je treba pristopiti k zmanjšanju neželenih posledic. Prva raven ukrepov temelji na odpravljanju posledic ali zdravljenju oziroma izvajanju kurativnih aktivnosti. Izvedbeno tovrstni ukrepi temeljijo na načelu »povzročitelj plača« in zato se naložijo stroški takih aktivnosti obremenjevalcu. Ukrepi, izvedeni skladno z načelom, po katerem plača obremenitve povzročitelj, so učinkoviti in izvedljivi, le če jih spremljajo ukrepi preventivne narave, in sicer z namenom omejiti škodo do stopnje, ko jo je mogoče še popraviti ali nadomestiti. Druga raven ukrepov varovanja zdravja in okolja torej temelji na načelu »preprečiti je bolje kot zdraviti«. Osnova za izvajanje preventivnih ukrepov sta zanesljivi znanstvena ocena in kvantifikacija tveganja. S tem se prepreči ali zmanjša nadaljnja škoda. Ker pa se pojavljajo čedalje bolj nepredvidljiva, negotova

in nemerljiva tveganja, se mora družba spoprijeti z razvojem tretje ravni ukrepov, namenjenih vnaprejšnjemu varstvu ljudi in okolja pred negotovimi posledicami človekovih aktivnosti. Ti ukrepi temeljijo na načelu previdnosti. Načelo previdnosti pomeni premik od odprave posledic po že povzročeni škodi k izogibu ali omilitvi škodljivih posledic pred povzročitvijo škode.

Drugi mednarodni kongres radiologov leta 1928 v Stockholmu pomeni organizacijsko prelomnico v zgodovini varstva pred ionizirajočimi sevanji. Ustanovljen je bil Mednarodni odbor za varno uporabo žarkov X in radija (ang. *International X-ray and Radium Protection Committee – IXRPC*). Razvoj jedrske tehnologije po koncu druge svetovne vojne je prisotnost ionizirajočih sevanj razširil tudi v dejavnosti zunaj zdravstva. Temu dejstvu je leta 1950 sledilo preoblikovanje in preimenovanje IXRPC v Mednarodni odbor za varstvo pred sevanji (*International Committee on Radiological Protection – ICRP*). Danes varstvo pred ionizirajočimi sevanji temelji na priporočilih ICRP, katerih namen je zagotoviti varstvo ljudi in s tem zmanjšati škodo za zdravje do najmanjše možne mere, hkrati pa omogočiti razvoj in uporabo virov ionizirajočih sevanj. V Evropski uniji urejajo področje pravno zavezujoči predpisi s skupnim imenom EURATOM, vsebino katerih morajo države članice prenesti v svojo pravno ureditev, prav tako pa temeljijo na omenjenih priporočilih ICRP.

Začetki varstva pred neionizirajočimi sevanji segajo v leto 1973, ko je bil v okviru tretjega kongresa Mednarodnega združenja za varstvo pred sevanji (International radiation Protection Association – IRPA) prvič organizirana seja o varstvu pred neionizirajočimi sevanji. Temu je leta 1974 sledila ustanovitev delovne skupine za neionizirajoča sevanja, leta 1975 pa raziskavska skupina za pregled področja neionizirajočega sevanja. Na mednarodnem kongresu IRPA leta 1977, je bil ustanovljen Mednarodni odbor za neionizirajoča sevanja, ki je bil neposredni predhodnik Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirajočimi sevanji (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP), formalno ustanovljene leta 1992, na mednarodnem kongresu IRPA v Montrealu. ICNIRP je nevladna organizacija, ki uradno sodeluje s Svetovno zdravstveno organizacijo (WHO) in Mednarodno organizacijo dela (ILO), prav tako pa se Evropska komisija pri svojih odločitvah z ICNIRP posvetuje. Z namenom varovanja zdravja ljudi in okolja pred škodljivimi učinki neionizirajočih sevanj se na podlagi strokovne ocene tveganja oblikuje priporočila o omejevanju izpostavljenosti neionizirajočih sevanj. Priporočila temeljijo na znanstveno utemeljenih ugotovitvah o bioloških učinkih in mehanizmih delovanja sevanja in so javno in prosto dostopna.

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) od leta 1974 sistematično ocenjuje rakotvorne učinke posameznih snovi in dejavnikov, ki smo jim ljudje izpostavljeni in jih razvršča v štiri skupine in sicer 1, 2A, 2B in 3. V skupino 1 so uvrščene snovi in dejavniki za katere obstajajo zadostni dokazi o rakotvornosti pri človeku. V to kategorijo sodijo npr. tobak, azbest, alkoholne pijače, naravna in umetna ultravijolična (UV) svetloba ter ionizirajoča sevanja. V skupino 2A so razvrščene snovi in dejavniki, ki so verjetno rakotvorni za ljudi, kar je podprto z omejenimi dokazi rakotvornosti pri ljudeh in zadostnimi dokazi pri živalih. V kategorijo 2B so razvrščene snovi in dejavniki, ki so mogoče rakotvorne za človeka. Sem so uvrščene snovi in dejavniki za katere obstaja omejen dokaz za rakotvornost pri človeku in manj kot zaden dokaz pri živalih. Poleg npr. steklene volne so v to skupino razvrščena še nizkofrekvenčna magnetna polja in visokofrekvenčna elektromagnetna valovanja. V skupino 3 so razvrščene snovi in dejavniki katerih ni mogoče pripisati rakotvornih učinkov za človeka [1].

Način zmanjševanja znanih tveganj z izvajanjem ukrepov s katerimi se zmanjšuje izpostavljenost do meje, ki je sprejemljiva glede na stroške, tehnologijo, koristi za zdravje in varnost ter druge socialne in gospodarske dejavnike, opišemo z načelom »tako nizko kot je to mogoče doseči z razumnimi ukrepi« ali »As Low As Reasonably Achievable - ALARA«. ALARA se uporablja na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji, tako da mejne vrednosti niso postavljene na podlagi praga, temveč na podlagi še sprejemljivega tveganja. V teh okoliščinah je smiselno zmanjševati tveganje, za katero predvidevamo, da obstaja tudi na ravneh, ki so nižje od mejnih vrednosti, saj je tveganje odvisno od posameznika in se zato razlikuje.

Načelo ALARA se ne uporablja pri določanju politike upravljanja s tveganji, ki zadeva izpostavljenosti nizkofrekvenčnim magnetnim poljem ali visokofrekvenčnim elektromagnetnim sevanjem. Torej v teh primerih, ko zaradi vrzeli v znanju dokončnih odgovorov glede škodljivosti izpostavljenosti še ni mogoče podati, se nekatere mednarodne organizacije in pristojni organi odzivajo na zaskrbljenost javnosti zaradi morebitnih vplivov na zdravje, tako da priporočajo izvedbo ukrepov, ki temeljijo na načelu previdnosti. Načelo je treba sprejemati s premislekom in pod pogojem, da sprejetje določenih ukrepov ne bo prevladalo nad znanstvenimi ugotovitvami. Odločitev o tem kakšni bodo ti ukrepi, je vedno tehtanje podatkov o pričakovanosti tveganj, znanstveni negotovosti ugotovitev ter zaskrbljenosti javnosti. Cilj ukrepov ni dosegati ničelnega tveganja, ampak čim višja raven varstva zdravja in okolja [2].

Ukrepi, ki temeljijo na načelu previdnosti, morajo biti prilagojeni izbrani ravni varstva okolja in zdravja ter morajo biti v svoji implementaciji nediskrimina-

torni, torej primerljive primere se mora reševati na podoben način. Aktivnosti morajo biti sorazmerne s podobnimi že izvedenimi ukrepi v podobnih okoljih, ko so bile na voljo znanstvene ugotovitve zadostne gotovosti. Temeljiti morajo na raziskavi morebitnih koristi in stroškov za ukrepanje oziroma neukrepanje, po naravi pa so začasni, kar pomeni, da se v luči novih znanstvenih ugotovitev prilagodijo ali spremenijo [2].

NEIONIZIRAJOČA SEVANJA

Znanstveni odbor za nova zdravstvena tveganja (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks - SCENIHR) pri Evropski komisiji je leta 2015 sprejel mnenje o potencialnih vplivih za zdravje zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem. Odbor je mnenja, da ni očitnih škodljivih učinkov za zdravje ljudi pri izpostavljenostih, ki so pod mejnimi vrednostim, ki jih določa zakonodaja Evropske Unije (EU).

Visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja

Večletne analize uporabe mobilnih telefonov so privedle do ugotovitve o možni zmerno večji ogroženosti z gliomom, maligne vrste raka na možganih in akustičnega nevrinoma, benignega tumorja na slušnem živcu. Poudariti pa je treba, da povezava med izpostavljenostjo visokofrekvenčnim elektromagnetnim sevanjem zaradi mobilnega telefona in gliomom ali akustičnim nevrinomom, ne dosega kriterijev za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato je potrebno ugotovljeno povezavo med visokofrekvenčnimi sevanji mobilnih telefonov in možganskim tumorjem razumeti kot šibko, a vendar pozitivno, medtem ko je povezava med vsemi drugimi vrstami raka nezadostna za izoblikovanje končnih zaključkov [3].

Uvrstitev sevanja mobilnega telefona v skupino mogoče rakotvornih dejavnikov, pa pomeni, da je treba upoštevati načelo previdnosti ter zmanjšati izpostavljenost na najmanjšo možno mero. Obstajajo hipoteze, da so otroci med tretjim in petnajstim letom občutljivejši na elektromagnetna sevanja, zato jih je smiselno ozaveščati, naj čim manj uporabljajo mobilne telefone, kar velja tudi za odrasle. Zato, ko je to mogoče raje uporabljajmo klasičen stacionarni telefon. Za zmanjševanje izpostavljenosti sevanju izberemo mobilni telefon z nizko vrednostjo stopnje specifične absorpcije (SAR), manjšo od $0,6 \text{ Wkg}^{-1}$ in uporabljamo komplet za prostoročno telefoniranje. Ko aparat vzpostavlja zvezo, ga držimo stran od glave, saj takrat deluje z največjo oddajno močjo, ušesu ga približamo šele tedaj, ko je zveza vzpostavljena.

Izogibamo se pogovorom, ko je signal šibek. Med rabo držimo mobilni telefon na delu, kjer ni vgrajena antena, s čimer dosežemo, da mobilni telefon ne oddaja z večjo močjo [3].

Nizkofrekvenčna magnetna polja

Epidemiološke raziskave kažejo na možnost večje verjetnosti levkemije pri otrocih, ki so izpostavljeni magnetnim poljem z vrednostmi gostote magnetnega pretoka višjimi od $0,4 \mu\text{T}$ (24 urno povprečje). Vendar brez nedvoumnih dokazov kancerogenih vplivov pri odraslih, znanstvene razlage mehanizma vpliva na nastanek bolezni ali verodostojnih razlag na podlagi eksperimentov na živalih ali izoliranih celicah, epidemiološki dokazi niso dovolj trdni za sklep, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih. Opaženo povezavo med izpostavljenostjo nizkofrekvenčnim magnetnim poljem in levkemijo pri otrocih je mogoče pripisati tudi drugim razlogom [4].

Načelo previdnosti priporoča izvajanje ukrepov med katere sodijo kontinuirano obveščanje in izobraževanje javnosti ter spodbujanje podjetij za prenos in distribucijo električne energije, naj prostovoljno zmanjšajo izpostavljenost ljudi, kjer je to možno.

Ultravijolična svetloba

Jakost UV-svetlobe na Zemljini površini se spreminja z letnim časom, zemljepisno širino, delom dneva in vremenom. Zaradi tanjšanja plasti ozona se jakost sončeve UV-svetlobe v zadnjih desetletjih veča in zato do zemeljskega površja pride več UV-svetlobe kot v preteklosti.

Kožni rak dosega eno tretjino vseh primerov raka, ki jih diagnosticirajo v svetu. Izpostavljenost UV-svetlobi je najbolj znan zunanji dejavnika tveganja za nastanek kožnega raka. Glede na vrsto celic, iz katerih se razvije, ločimo melanomski in nemelanomski rak kože. Sončne opekline zlasti v otroštvu, predstavljajo enega pomembnih dejavnikov tveganja za razvoj malignega melanoma. Zato je priporočljivo, da občutljivi posamezniki omejijo izpostavljenost tako UV-svetlobi [5, 6]. Maligni melanom predstavlja med 5 in 10 % vseh kožnih rakov, odgovoren pa je za več kot 90 % vseh smrti zaradi kožnega raka, njegova incidenca pa se hitro veča. Grožnja melanoma je povezana z barvo polti, saj se melanom pojavlja pretežno pri beli rasi in pretežno pri ljudeh svetlih kožnih tipov. Med ljudi pri katerih je tveganje večje, spadajo rdečelasi in svetlolasi ljudje, ki jih sonce pogosto opeče in ki nikoli ne porjavijo ali porjavijo le minimalno, medtem ko je tveganje pri temnopoltih manjše. Tveganje za nastanek melanoma je večje pri ljudeh s pozitivno družinsko

anamnezo, tistih, ki so v preteklosti že zboleli za to boleznijo ter pri ljudeh s številnimi pigmentnimi znamenji in netipičnimi znamenji. V Sloveniji je leta 2015 za malignim melanomom kože na novo zbolelo 535 ljudi [6–8].

Uporaba solarijev je enako nevarna kot naravno sončenje, zato je IARC, leta 2009 uvrstila tako naravno UV-svetlobo kot tudi UV-svetlobo solarijev v skupino 1 rakotvornih snovi in dejavnikov. Zaradi dolge latentne dobe kožnega raka in poškodb oči pa se negativni vplivi na zdravje pogosto pojavijo šele čez daljši čas. Raziskave kažejo, da je pri ljudeh, ki so pred svojim tridesetim letom začeli redno uporabljati solarij, grožnja melanoma zveča za 75 % [5].

Koža ima obrambne mehanizme, ki predstavljajo določeno naravno zaščito pred sončno svetlobo. V koži nastaja barvilo melanin, ki se po sončenju pomakne v gornje plasti kože, zato po 24 do 72 urah koža potemni. Porjavela koža torej ni znak zdravja, ampak znak obrambe organizma, ki pa ne zadošča za zaščito pred soncem. Najbolj učinkoviti ukrepi zoper razvoj kožnega raka so izogibanje neposrednemu izpostavljanju soncu med 10. in 17. uro, kar velja tudi v bolj oblačnih dneh oziroma zadrževanje v senci. Pri tem se je treba zavedati, da pesek, voda in sneg odbijajo sončno svetlobo in tako večajo izpostavljenost. Za zmanjšanje izpostavljenosti soncu je tako pomembna omejitev časa na soncu kot tudi uporaba ustrezne obleke, sončnih očal in pokrival ter sončne kreme. Glede na učinkovitost zaščite imajo sončne različni UV-faktor pove, kolikokrat dlje smo lahko na soncu glede na nezaščiteni kožo. Krema je treba nanesti vsaj 20 do 30 minut preden smo izpostavljeni soncu in pozneje vsaj vsaki dve uri, ko smo na soncu. Nanašati jo je treba enakomerno in v zadostni količini, saj nezadostna količina bistveno zmanjša učinkovitost. Krema z zaščitnim UV-faktorjem 30, katere nanešeni sloj je pol tanjši od priporočenega, nudi le zaščito, ki bi jo bi dal ustrezno nanešen sloj s faktorjem 5,5. Po plavanju, močnem znojenju ali brisanju kože, je treba kremo ponovno nanesti. Še posebno pomembna je zaščita otroške kože, saj imajo otroci tanjšo in bolj občutljivo kožo kot odrasli. Dojenčkov in malih otrok ne smemo neposredno izpostavljati soncu [5, 6].

V nekaterih državah kot npr. v Avstraliji in Braziliji so uporabo solarijev prepovedali, v evropskih državah, pa se uvaja prepoved uporabe do 18. leta starosti. Uporabo solarija se zato močno odsvetuje, razen v primeru morebitne zdravstvene indikacije.

IONIZIRAJOČA SEVANJA

Ionizirajoče sevanje povzroči v živi snovi zaporedje fizikalnih, kemičnih in bioloških procesov, ki vodijo do sprememb, katerih posledice so lahko škodljive. Učinke sevanja delimo na naključno razporejene, verjetnostne, tj. Stohastične pojave in na vzročno nujne posledice, tj. Deterministične.

Deterministični učinki se pojavijo, kadar je prizadet zadosten delež celic v kakšnem tkivu ali organu. So vzročno nujna posledica sevanja, ki sledi, če obsevanost preseže neko mejno dozo ali prag, ki je odvisen od vrste izpostavljenega tkiva ali organa. Če bo torej obsevanost presegla dozo praga, se bodo učinki z gotovostjo pojavili, pri nižji izpostavljenosti pa ne.

Stohastični učinki so samo verjetna posledica sevanja, tako ne moremo z gotovostjo napovedati, kaj se bo zgodilo s poškodovanimi celicami, lahko samo ugotovimo, da je verjetnost za nastanek takšnih sprememb sorazmerna s prejeto dozo, stopnja potencialne škode pa ni odvisna od velikosti doze. Stohastične učinke delimo na somatske in dedne. Prvi zadevajo izpostavljenega posameznika, če pa se posledice pojavijo na potomcih, govorimo o dednih učinkih. Kažejo se v zvečanem številu raznih bolezni ali nepravilnosti v razvoju raznih organov prihodnjih generacij. Med somatske učinke prištevamo nastanek in razvoj raka. Več primerov raka med preživelimi po jedrskih eksplozijah je dokaz, da lahko tudi nizke ravni izpostavljenosti povzročijo razvoj raka. Ogroženost pri nizkih dozah so ocenili z ekstrapolacijo podatkov pri visokih dozah in sprejeli linearni model odziva doza-učinek. To pomeni, da se stohastičnim učinkom ni mogoče popolnoma izogniti in da tveganje obstaja tudi pri najnižjih dozah. Model je bil izbran po načelu previdnosti, ki temelji na predpostavki, da ne smemo dopustiti zmote v škodo izpostavljenega [9, 10].

Za ovrednotenje verjetnosti za nastanek določene vrste stohastičnih učinkov z upoštevanjem resnosti njihovih posledic uporabljamo efektivno dozo, dozimetrično količino, ki predstavlja merilo tveganja zaradi stohastičnih učinkov. Verjetnosti za nastanek raka so ocenjene na podlagi podatkov dolgotrajnega spremljanja zdravstvenega stanja izpostavljenih skupin ljudi. Verjetnost za nastanek raka, utežena z resnostjo škode in izgubljenimi leti življenja zaradi bolezni, je ocenjena na 0,0041 % pri izpostavljenosti 1 mSv za odrasle med 18. In 64. Letom starosti in 0,0055 % za vse starostne skupine, ki vključujejo tudi otroke in mladostnike kot občutljivejši skupini. Verjetnost za nastanek dednih učinkov je nekaj desetkrat manjša in je ocenjena na podlagi poskusov na živalih, saj pri ljudeh dedni učinki zaradi izpostavljenosti niso potrjeni [10].

Ukrepi varstva pred sevanji temeljijo na preprečevanju determinističnih učinkov in zmanjševanju posledic stohastičnih učinkov, ki so lahko posledica zunanega ali notranjega izvora. O zunanji izpostavljenosti govorimo takrat, ko je vir zunaj telesa, notranja obsevanost pa je posledica vnosa radioaktivne snovi v organizem. Notranje obsevanje lahko povzročijo zaužitje kontaminirane hrane, vdihovanje kontaminiranega zraka in vnos radioaktivnih snovi skozi kožo ali odprte rane. Notranja obsevanost z radioaktivnimi snovmi, ki razpadajo z razpadom alfa in beta, je posebej nevarna, saj delci oddajo vso energijo v neposredni bližini mesta razpada. Ukrepi za omejevanje notranjega obsevanja temeljijo na preprečevanju, onemogočanju ali omejevanju vnosa radioaktivnih snovi v telo. To dosežemo z uporabo zaščitnih oblek, rokavic, mask za obraz in opreme za zaščito dihal. Varstvo pred sevanji zaradi zunanje izpostavljenosti temelji na omejitvi časa izpostavljenosti, uporabi osebne varovalne opreme in zaščitnih sredstev ter delu na čim večji oddaljenosti od vira.

Izpostavljenost ionizirajočim sevanjem torej predstavlja tveganje, ki se mu je treba izogniti, vendar že zaradi prisotnosti naravnih virov sevanja tega v popolnosti ni mogoče doseči. Povprečna letna efektivna doza ionizirajočih sevanj naravnega izvora kot posledica radioaktivnih snovi v zemeljski skorji (0,5 mSv), vnosa radioaktivnih snovi v telo z zaužitjem – ingestijo in vdihavanjem – inhalacijo (oboje skupaj 0,3 mSv), sevanjem iz vesolja (0,4 mSv) ter izpostavljenosti radioaktivnemu plinu radonu (1,3–1,6 mSv), je v različnih delih Slovenije med 2,5 mSv in 2,8 mSv. Poleg naravnega ozadja je vzrok za izpostavljenost lahko tudi človeškega izvora. Sem sodi uporaba virov ionizirajočih sevanj in izvajanje sevalnih dejavnosti v zdravstvu, industriji in znanosti ter uporaba jedrske tehnologije. Povprečni Slovenec zaradi uporabe ionizirajočega sevanja v zdravstvene namene letno prejme še efektivno dozo 0,7 mSv, ostali viri pa prispevajo manjši delež [11]. Za zagotovitev varnega dela z viri sevanj in z namenom, da se preprečita ali zmanjšata radioaktivna kontaminacija življenjskega okolja ter izpostavljenost delavcev in prebivalstva, se izvajajo ukrepi varstva pred sevanji. K izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem največ prispevata radon in uporaba ionizirajočih sevanj v zdravstvene namene.

Izpostavljenost radonu

Radon v bivalnem in delovnem okolju prispeva največji delež k letni izpostavljenosti zaradi naravnih virov ionizirajočih sevanj in je drugi najpogostejši povzročitelj pljučnega raka takoj za kajenjem. IARC je radon leta 1988 uvrstila v skupino rakotvornih snovi. Ocenjujejo, da je vsak deseti rak na pljučih posledica radona oziroma njegovih razpadnih produktov.

Če povprečna letna koncentracija radona presega vrednosti referenčne ravni 300 Bqm^{-3} , se najprej preveri možnosti skrajšanja časa zadrževanja v prostoru ali na lokaciji in s tem zmanjšanja izpostavljenosti radonu. Prav tako se začne izvajati redno prezračevanje prostorov, če je to izvedljivo. Redno prezračevanje prostorov je še posebej učinkovito zjutraj, saj tako znižamo koncentracijo radona, ki se je nakopičil ponoči [12,13].

Če se na podlagi meritev in ocene doz ugotovi, da delavci ali posamezniki iz prebivalstva letno prejmejo efektivno dozo večjo kot 6 mSv zaradi izpostavljenosti radonu in njegovim potomcem, je treba za zmanjšanje izpostavljenosti izvesti gradbene posege. Gradbeni posegi so namenjeni vzpostavitvi sistema za aktivno prezračevanje zemljine pod stavbo. Kot dodaten in nesamostojen ukrep se lahko izvede tudi tesnjenje talne konstrukcije, saj je kakovostna izvedba tesnjenja na detajlih pogosto težko izvedljiva. Izvajalec gradbenih posegov po zaključku del izkaže uspešnost izvedenih ukrepov s kontrolnimi meritvami, ki jih izvede pooblaščen izvajalec meritev radona. Kontrolne meritve so izvedene v takem obsegu, da se preverita uspešnost in učinkovitost izvedenih ukrepov.

Ukrepi morajo biti sorazmerni izpostavljenosti in takšni, da se ekonomsko najugodnejše doseže čim učinkovitejše in trajno zmanjšanje izpostavljenosti. Posebej je treba opozoriti na nestrokovno izvedbo energetskih sanacij stavb, ki lahko ne le poslabšajo kakovost zraka v zgradbi, ampak povzročijo tudi povišanje koncentracije radona. Na področjih z visokimi koncentracijami radona v tleh, bi morala biti vsaka novogradnja projektirana in zgrajena tako, da se prepreči prodiranje radona v stavbo ali omogoči prisilno prezračevanje [14].

Uporaba ionizirajočih sevanj v zdravstvene namene

Znanstveni odbor Organizacije združenih narodov za spremljanje učinkov ionizirajočih sevanj (UNSCEAR) v začetku 21. Stoletja ocenjuje, da se na svetu letno izvede dve milijardi rentgenskih, 32 milijonov nuklearnomedicinskih in 10 milijonov radioterapevtskih posegov. Uporaba virov ionizirajočih sevanj v zdravstvu tako prispeva največji delež k izpostavljenosti prebivalstva zaradi uporabe umetnih virov ionizirajočih sevanj. V razvitih državah to pomeni, da je povprečna letna izpostavljenost prebivalca zaradi uporabe ionizirajočih sevanj v diagnostične namene od $0,8$ do $1,2 \text{ mSv}$. Zaradi uvajanja novih radioloških metod pa je pričakovati, da bo obseg posegov z uporabo ionizirajočih sevanj v zdravstvu v naslednjih letih še naraščal [11].

Zaradi visokega prispevka medicinske uporabe virov sevanja k izpostavljenosti je treba posebno pozornost nameniti naboru ukrepov za varstvo pacientov, posebej tistim, ki se jih sploh ne izvaja ali pa ne v polni meri. Ob ustreznem izvajanju ukrepov lahko pacienti upravičeno pričakujejo, da bo ionizirajoče sevanje uporabljeno v takem obsegu, da bo pridobljena potrebna diagnostična informacija, hkrati pa bo izpostavljenost kar se da nizka oz. bo uporaba sevanja varna in učinkovita. Ali povedano drugače: izvajanje ukrepov varstva pred sevanji ne sme vplivati na izvedbo rentgenografskega posega v taki meri, da bi omejevalo pridobivanje potrebnih podatkov ustrezne kakovosti in s tem povzročilo oslabitev procesa zdravljenja. Izvedba ukrepov se mora tako osredotočiti na način izvedbe posega in dopuščanje sprejemljive prilagoditve izvedbe posega za doseg želenih rezultatov ali izidov zdravljenja.

Zaradi škodljivih učinkov ionizirajočega sevanja na zdravje ljudi je neupravičeno izpostavljenost treba preprečevati, upravičeno pa optimizirati. Temeljni načeli varstva pred sevanji pacientov sta torej upravičenost in optimizacija, ki izvedbeno sledi načelu ALARA.

ZAKLJUČEK

Ukrepi namenjeni obvladovanju zdravstvenih in okoljskih sevalnih tveganj so prilagojeni ravni njihove dokazane škodljivosti ali znanstveni zanesljivosti ugotovitev o morebitni škodljivosti.

Splošno sprejeto načelo na katerem temelji izvajanje ukrepov varstva pred ionizirajočimi sevanji je ALARA in pomeni, zagotavljanje izpostavljenosti ionizirajočim sevanjem, na tako nizki ravni kot je to mogoče razumno doseči ob upoštevanju ekonomskih in socialnih dejavnikov. To je torej način zmanjševanja znanih tveganj na način, da se izpostavljenost zmanjša do ravni sprejemljivega tveganja. Gre torej za zmanjševanje znanih tveganj, za katera predvidevamo, da obstajajo tudi na ravneh, ki so nižje od priporočenih mejnih vrednosti, saj je lahko sprejemljivo tveganje zelo različno in odvisno od posameznika.

Odraz potrebe po ukrepanju v primeru morebitnega tveganja ob visoki znanstveni negotovosti dokazov o škodljivosti zaradi izpostavljenosti, pec do uvedbe ukrepov, ki temeljijo na načelu previdnosti. Ukrepi varovanja zdravja v primerih izpostavljenosti visokofrekvenčnim elektromagnetnim sevanjem in nizkofrekvenčnim magnetnim poljem sledijo usmeritvam skladno z načelom previdnosti.

LITERATURA

1. McColl N, et al. European Code against Cancer 4th Edition: Ionising and non-ionising radiation and cancer. *Cancer Epidemiology* 2015.
2. L.I. Kheifets, R.S. Greenberg, R.R. Neutra. The precautionary principle and EMF, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 154, no. 12, 2001
3. Projekt FORUM EMS in IZMF. Elektromagnetna sevanja – Mobilni telefoni in zdravje, Ljubljana, November 2014.
4. Projekt FORUM EMS. Električna in magnetna polja – Naprave za distribucijo električne energije, Ljubljana, december 2014.
5. Inštitut za neionizirna sevanja in Uprava RS za varstvo pred sevanji. Solariji in zdravje, Ljubljana, oktober 2009.
6. Hočevar M. Kožni rak. *Onkologija*, prva izdaja. Mladinska knjiga, Ljubljana 2009: 238–44.
7. Greinert R, et al. European Code against Cancer. 4th ed. *Ultraviolet radiation and cancer*. *Cancer Epidemiology* 2015.
8. Rak v Sloveniji 2015. Ljubljana: Onkološki inštitut Ljubljana, Epidemiologija in register raka, Register raka Republike Slovenije, 2018.
9. Škrk D, Varstvo pred ionizirajočimi sevanji, In: Jevtić V, Šurlan M, Matela J (editors). *Diagnostična in intervencijska radiologija*, Splošni del. 1. Izd. Maribor: Pivec, 2014: 119–40.
10. International Commission on Radiological Protection. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103, 2007.
11. Žontar D, Zdešar U, Kuhelj D, Pekarovič D, Škrk D. Estimated collective effective dose to the population from radiological examinations in Slovenia. *Radiol Oncol* 2015; 49 (1): 99–106.
12. IAEA Safety Standards *Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation*, Vienna, 2015.
13. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, Geneva, 2009.
14. Uradni list RS, Uredba o nacionalnem radonskem programu (Uradni list RS, št. 18/18 in 86/18).