

SEMINARSKA NALOGA

pri predmetu: TOKSIKOLOGIJA

OCENA TVEGANJA RADIOAKTIVNEGA ŽLAHTNEGA PLINA RADONA S Poudarkom NA RAZMERAH V SLOVENIJI

Študent(ka):

Nika BIZJAK nika.bizjak@gmail.com

Peter VIDMAR peter.vidmar@sostanj.si

Alena ŽAGER alena.zager@gmail.com

vrsta študija: podiplomski / izredni

mentor: izr. prof. dr. Bojan SEDMAK

Velenje, 2013

KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	3
2. NEVARNOSTI IN ŠKODLJIVOSTI RADONA.....	4
2.1 Plin radon (Rn)	4
2.2 Škodljivost Radona.....	4
2.3 Genotoksičnost.....	5
3. OCENA IZPOSTAVLJENOSTI.....	6
3.1 Mejne vrednosti izpostavljenosti.....	7
3.2 Primeri meritev izpostavljenosti in ogrožanja v Sloveniji	7
4. OCENJEVANJE ŠKODLJIVOSTI ODMERKA IN ODZIVA.....	9
4.1 Nelinearna oceno odziva na odmerek	10
4.2 Linearna ocena odziva na odmerek.....	10
5. UKREPANJE ZA ZMANJŠEVANJE IZPOSTAVLJENOSTI, ODZIV IN ZAŠČITA	13
6. ZAKLJUČEK.....	13
7. VIRI IN LITERATURA	14

1. UVOD

Za snov, ki predstavlja dejavnik tveganja za naše zdravje je zaradi preventive dobro, da poznamo njeno delovanje in vemo, kakšni so stranski učinki na naše zdravje. S spoznavanjem njenih škodljivih učinkov se lahko pred njo ustrezno in pravočasno zaščitimo.

Radonu, kot dokazano škodljivem plinu za naše zdravje, smo lahko izpostavljeni praktično kjerkoli (doma, na delovnem mestu,...). Je naravnega izvora in na določenih območjih Slovenije so njegove koncentracije višje od priporočenih. Številne študije dokazujejo in pojasnjujejo škodljivost za prebivalstvo. S poznavanjem škodljivih učinkov in načina izpostavljenosti lahko naredimo oceno tveganja ob sočasnem upoštevanju dovzetnosti posameznikov. Upoštevati pa moramo tudi količino doze, ki jo lahko posameznik prejme ob morebitni izpostavljenosti.

S pomočjo raziskav in pridobljenih podatkov v zvezi z radonom bomo poskusili določiti oceno tveganja radioaktivnega žlahtnega plina radona v Sloveniji. Kot osnovna izhodišča za oceno tveganja smo si določili:

- zaznavanje oz. identifikacija nevarnosti škodljivosti vpliva,
- ocena izpostavljenosti,
- ocenjevanje škodljivosti odmerka in odziva,
- karakterizacija tveganja oz. povezava med izpostavljenostjo (dozo) in škodljivimi učinki, in
- ukrepanje za zmanjševanje izpostavljenosti, odziv in zaščita.

2. NEVARNOSTI IN ŠKODLJIVOSTI RADONA

2.1 Plin radon (Rn)

Radon je žlahtni plin, ki je znan po svoji škodljivosti za zdravje. Poznani so trije izotopi radona: Rn-222, Rn-220 in Rn-219. Rn-222 je najbolj znan, stabilen izotop radija. Ta nastane v zemeljski skorji z radioaktivnim razpadom radija (Ra-226) v razpadnem nizu urana (U-238). Njegov razpolovni čas je 3,86 dni, kar mu omogoča časovno dovolj časa za prehajanje iz podtalja v ozračje, za razliko od ostalih izotopov, ki so stabilni le nekaj sekund. (Gilbert, 2012 in Mergel 2011)

Je nereaktiven plin, brez barve, vonja in okusa. Nahaja se v zemeljski skorji, njegov glavni izvor so kamnine bogate z uranom, kot so: granit, uranova svetlica, skrilavec in fosfatne kamnine. Prehajanje radona iz tal je pogojeno z vrsto kamnine in njenimi geofizikalnih lastnostmi. (Mergel M., 2011 in Zupančič M., 2007)



Slika 1: Prehajanje radona iz talnih slojev na površje
(Vir: http://www.bfs.de/en/ion/radon/radon_boden)

2.2 Škodljivost Radona

Dokazano je, da je poleg kajenja izpostavljenost radonu drugi najbolj pogost vzrok nastanka pljučnega raka pri ljudeh, ki ne kadijo. Dva odstotka vseh rakavih obolenj, ki jih beležijo v Evropi, naj bi bila posledica izpostavitve radonu.

Radon preide v naše telo z dihanjem skozi nos ali usta. Za zdravje ljudi so lahko škodljive že nizke koncentracije, sploh, če je izpostavljenost pogosta ali dolgotrajna.

V stik z njim pridemo vsakodnevno, saj ga zasledimo v zaprtih prostorih kot so: domovi, vrtci, šole, delovni prostori. To so predvsem prostori, v katerih se ljudje zadržujejo večino svojega časa in v katere radon prodira skozi slabo izolirana tla, vodovodne ali druge instalacije, ki so speljane do objektov pod zemljo. (Gray A. in sod., 2009)

Prav tako lahko radon zasledimo v podtalnih vodah. V tleh, ki so bogata z uranovimi kamninami, se lahko radon kot plin, ki je zelo dobro topen v vodi, transportira na površje, kjer prehaja v atmosfero. Zaradi tega je njegova prisotnost v pitni vodi zanemarljiva.

(World Health Organization; WHO, Radon in drinking water, http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index3.html)

Radon sam ni toksičen. Toksični so njegovi kratkoživi produkti (RnDP - Radon decay products), ki nastanejo pri njegovem razpadu (Po-218, Pb-214, Bi-214 in Po-214). Za razliko od radona, ki je plin, so to kovine, ki so ob svojem nastanku prosti kationi in v zraku tvorijo agregate velikosti pod 50 nm. Imenujemo jih nevezani RNDP. Ti se kasneje vežejo na aerosolne delce in tako lahko dosežejo velikost od 200 do 600 nm (vezani RnDP). Večji delci se zaradi svoje velikosti ustavijo že v zgornjem delu dihal, medtem ko manjši delci lažje prodrejo globlje do malih sapnic ali pljučnih mešičkov. Ti so še posebej nevarni, saj globoko v pljučih ob svojem razpadu obsevajo celice. Radonovi razpadni produkti imajo razpolovno dobo nekaj minut, zato je prehajanje le teh v druge organe malo verjetno. (Smrkolj P., 2012)

Vsi radonovi izotopi so radioaktivni, saj pri svojem razpadu oddajajo delec alfa ali jedro helija (ima dva protona in dva nevtrona). Temu pravimo sevanje alfa. Takšno sevanje v zraku, kjer radon razpada, lahko zaustavi že list papirja. Delci potujejo s hitrostjo 2 milijona m/s in v zraku niso nevarni. Nevarni postanejo z vdihavanjem radona. Večino teh delcev izdihamo nazaj v okolico, tisti, ki ostanejo v telesu, pa se usedejo na najbližje tkivo. Pri razpadu alfa delcev pride do oddajanja energij na tkivo in s tem poškodb DNA najbližjih celic.

Ob visokih koncentracijah radona v zraku se količina alfa delcev poveča in je s tem količina ionizirajočega sevanja višja od ostalih sevanj v okolici. Alfa delci lahko potujejo samo v kratkih razdaljah, zaradi tega ne morejo doseči drugih organov globlje v telesu. Pljuča so tako edini in najbolj izpostavljen organ, ki predstavlja nevarnost ob vdihavanju radona. (Mergel M., 2011 in Smrkolj P., 2012)

Posebej občutljivi so otroci, ker imajo njihova pljuča majhen volumen, a večjo frekvenco dihanja, kar pomeni, da je izmenjava zraka iz okolice v pljuča bolj intenzivna. Nevarnost predstavljajo tudi pljuča, ki so še nedozorela, so v razvoju, posledica tega je več delitev celic kot pri odraslih osebah. Prav tako otroci še nimajo razvitih obrambnih mehanizmov, ki so s toksikološkega vidika izjemno pomembna zaradi lastnega odstranjevanja oz. razstrupljanja v telesu.

2.3 Genotoksičnost

- Mutagenost

Genotoksično delovanje snovi je lahko za zdravje škodljivo, saj lahko prihaja do trajnih sprememb deoksiribonukleinske kisline (DNK), kar imenujemo mutacije oz. trajna sprememba genetskega materiala organizma.

Pri prepisu DNK se lahko spremeni zaporedje nukleotidov ali pa njihovo število. Lahko se zgodi, da pride do deformacije DNK, kjer se poruši osnovna struktura DNK zaradi vrinenja novih baznih parov. (Radon, Molecular Action and Genetic Effects, <http://enhs.umn.edu/hazards/hazardssite/radon/radonmolaction.html>)

Kadar pride do poškodbe DNK, lahko reparativni mehanizmi poškodbo odpravijo tako, da celica naprej deluje normalno. Kadar odprava poškodbe ni mogoča, se zgodi, da celica odmre takoj ali pa izgubi sposobnost razmnoževanja, kar je dobro zaradi negativnih posledic, ki lahko nastanejo. Velik problem je lahko, če se poškodovana celica začne nekontrolirano razmnoževati, kar lahko pripelje do nastanka raka in tvorbe tumorjev. (Podvratnik M., 2010)

- **Kancerogenost**

Niso vse snovi, ki so mutagene tudi kancerogene in niso vse snovi, ki so kancerogene hkrati mutagene. Plin radon deluje kot mutagena spojina, saj pri njegovem razpadu pride do sproščanja visokih energij, ki imajo negativni učinek na prizadeto celico oziroma na DNK v celici. (Gilbert, 2012)

S toksikološkega vidika je dokazano, da med 3% in 14% vseh rakavih obolenj na pljučih nastane kot posledica negativnega učinka radona. Številne raziskave so pokazale povečan pojav nastanka pljučnega raka pri rudarjih v podzemnih rudnikih, kjer so delavci izpostavljeni povečanim koncentracijam radona.

(Radon, radioactive,

<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:term+@DOCNO+6369>)

Pri raziskavah, narejenih na živalih, je bilo ugotovljeno oz. dokazano, da radon povzroča nastanek pljučnega raka, saj alfa delci pri svojem sevanju ob vstopu v celično jedro poškodujejo DNK material. Dokazano je, da je večina primerov raka monoklonskega izvora, kar pomeni, da izvira iz poškodbe ene same celice. (Krewski, 2005)

Verjetnost pojava pljučnega raka zaradi radona je pri kadilcih 3x večja, kot pri ljudeh, ki ne kadijo. (Gilbert, 2012) Dokazano je namreč, da kajenje v kombinaciji z izpostavljenostjo z radonom povečuje tveganje za nastanek pljučnega raka. Kot je že omenjeno, se razpadli produkti radona vežejo na aerosole, prah ali druge delce v zraku. S kajenjem, kuhanjem in pečenjem v prostoru se ustvari večja koncentracija delcev v zraku in s tem vpliva na večjo vezavo kratkoživih radonovih produktov. (Srnković P., 2012)

3. OCENA IZPOSTAVLJENOSTI

Pri uvajanju mejnih vrednosti izpostavljenosti pred škodljivostjo radona je bilo v Sloveniji že zgodaj narejenih veliko raziskav. Začetki so dejansko povezani z umeščanjem posameznih dejavnosti v naš prostor (Nuklearna elektrarna Krško, rudnik Žirovski vrh, rudnik živega srebra v Idriji, rudnik svinca v Mežiški dolini, deponija pepela v Velenju, izkopi premoga na lokaciji Kočevja.....) in seveda postopno zavedanje vpliva le teh na naše okolje in življenjske pogoje.

S pomočjo zbranih informacij, meritev in spremljanjem statističnih podatkov zaznanih sprememb pri zdravju ljudi, so se določile osnovne meje vrednosti izpostavljenosti, ki so odvisne od:

- načina izpostavljenosti, vrsta vnosa in škodljivost vpliva,
- čas izpostavljenosti,
- okoliščin prejete doze, glede na količino prejete doze,
- vpliv v odvisnosti od: vrste subjekta, starosti, populacije, okolja.....,
- končnih negativnih učinkov na zdravje ljudi, živali, okolje...(rakavost, sprememba imunskega sistema, mutacije, prirojene anomalije, ekološki učinki....).

Vse to nam daje izhodišča za opredelitev razmerja med škodljivim učinkom odmerka in njegovim učinkovanjem v odnosu do končnega stanja prizadetosti organizma. Dejansko gre za razmerje med biološkim monitoringom organizma in določenimi mejnimi vrednostmi.

Biološki monitoring predstavlja merjenje koncentracij kemičnih snovi ali njenih substanc v biološkem materialu organizma, z namenom, da ocenimo dejansko izpostavljenost, notranjo prejeta dozo in s tem tudi tveganje za zdravje. Gre za ugotavljanje značilnih aktivnosti določenih encimov pri izpostavljenosti radonu (na urinu, krvi in izdihanem zraku).

3.1 Mejne vrednosti izpostavljenosti

V Sloveniji so bile prve zabeležene systemske meritve radioaktivnosti v letu 1961, od leta 1985 pa meritve povezane v zvezi z radonom. Od leta 1986 dalje so sprejeli prve zakonske oz. podzakonske akte v zvezi z odnosom do tovrstnega tveganja in izpostavljenostjo. Splošna mednarodna opozorila na nevarnost radona so bila objavljena leta 1988 z opozorilom ameriške organizacije EPA (Environmental Protection Agency) za zaščito okolja in objavljenim prvim javnim poročilom glede stanja radona v šolah na območju ZDA (leta 1989). Na podlagi tovrstnih dognanj so bile določene povprečne prisotnosti koncentracij radona:

- talni zrak.....od nekaj 1000 do nekaj 10.000 Bq/m³
- podtalnica.... do nekaj 10.000 Bq/m³
- površinske vode..... nekaj 100 Bq/m³
- zemeljski plini..... od 10 do 100 Bq/m³
- zunanji zrak..... do 10 Bq/m³
- notranji zrak..... od 10 do 1000 Bq/m³

V Sloveniji je določena povprečna mejna vrednost letne koncentracije radona v zraku za bivalno okolje 400 Bq/m³, priporočena do 200 Bq/m³.

V delovnem okolju je le ta odvisna od vrsta okolja in načeloma znaša do 1000 Bq/m³. To je tudi meja, ki je zakonsko določena kot mejna vrednost v RS za delovno okolje.

Sprejeta EU direktiva 90/143 EURATOM priporoča letno vrednost koncentracij za stanovanjske prostore. Za stavbe zgrajene po letu 1990 koncentracija ne sme prekoračiti 200 Bq/m³ in za zgradbe, zgrajene pred letom 1990 pa 400 Bq/m³.

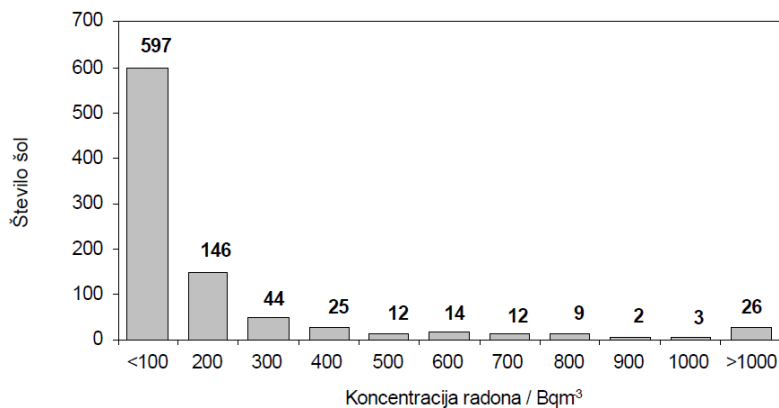
Podrobnejše vrednosti izpostavljenosti so posebej določene glede na različne parametre v Pravilniku o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji (Uradni list RS, št. 115-5037/03) z opredelitvijo v odvisnosti od kategorije prizadete skupine (delavci, porazdelitve skupine otrok, mlajše osebe, študentje, praktikanti....) in seveda v odvisnosti od vrste predvidenega tveganja.

3.2 Primeri meritev izpostavljenosti in ogrožanja v Sloveniji

V zvezi s prekomerno prekoračitvijo koncentracij radona so v javnosti najbolj znan primer raziskave v vrtcih in v osnovnih šolah (OŠ Črni vrh nad Idrijo z izmerjeno vrednostjo koncentracije v letu 2013 do 4.339 Bq/m³). Prekoračitve so znane tudi v drugih šolah in vrtcih, kjer so ugotovitve zaskrbljujoče, saj se prekomerne nekajkratne prekoračitve prisotne ob najbolj občutljivi populaciji - otrocih.

Statistični izsledki meritev in izvedene študije so zajeli od 800 do 1.000 šol ter vrtcev (Vaupotič, Meritve radona v šolah 2002). Meritve prisotnosti radioaktivnega žlahtnega plina radona, ki so bile izvedene na različnih lokacijah Slovenije, so pokazale, prekomerne prekoračitve koncentracij. Izvedene so bile v najbolj kritičnem obdobju - zimskem času. Pokazale so, da ima 66% objektov vrednost pod 200 Bq/m³, v 19% objektov so bile vrednosti med 200 in 600 Bq/m³,

v 7% objektov so bile vrednosti med 600 in 1.000 Bq/m³, pri 8% objektov pa so bile zabeležene konkretne prekoračitve koncentracij med 1.000 in 6.000 Bq/m³. Kot primer: med letom 2006 in 2011 so bile zabeležene prekoračitve v OŠ Muljava preko 7.000 Bq/m³, na OŠ Prevole pa 2.400 Bq/m³, ...



Slika 2: koncentracij radona v slovenskih šolah

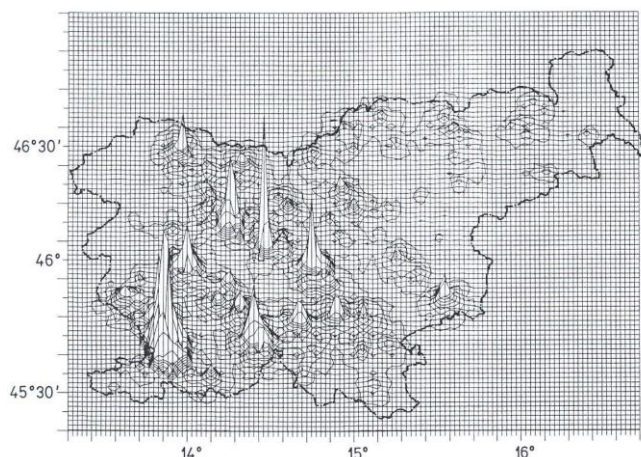
Vir: dr.Janja Vaupotič, Institut J. Stefan; Raziskave radona v šolah;

Ob spremljanju statističnih podatkov ugotavljamo, da je prekoračitev koncentracij vedno večja, pogostejša in bolj razširjena.

Največja odstopanja so na območju Krasa kot posledica neugodne geološke sestave in strukture tal ter vsebnosti radona v tleh. V obdobju izvajanja meritev kritičnih lokacij, vse od leta 1992 dalje, v splošnem koncentracije vedno presegajo 600 Bq/m³, ponekod celo preko 1000 Bq/m³. Ocena strokovnjakov je, da je končna efektivna doza, ki jo prejmejo otroci v času zadrževanja v tovrstnih objektih, le okrog 5-10% doze glede na splošno izračunano celodnevno koncentracijo radona. Ob teh ugotovitvah in ocenah se zastavlja vprašanje, kakšen je dejanski škodljivi vpliv na organizme, kdaj se bodo posledice pokazale in v kakšnem obsegu. Prekoračitev mejnih vrednosti niso zaznali samo na področju objektov šol in vrtcev, ampak tudi v preostalih prostorih ali objektih v katerih zadržujemo (domače ali delovno okolje).

Rezultati meritev kažejo prekoračitve mejnih vrednosti na naključnih lokacijah izbranih slovenskih domov. To je pokazala sistematična raziskava radona v okviru slovenskega nacionalnega programa (od leta 1994 dalje). Vrednosti v obdobju 1994 do 1998 so se gibale med 8 in 1.325 Bq/m³. Na podlagi teh meritev je bila izdelana prva mrežna karta (slika 3) s prikazom koncentracije radona v Sloveniji.

Nadaljnje ugotovitve ostalih raziskav v prostem okolju kažejo, da so koncentracije radona nižje v mestih kot podeželju. Tako sovpadajo izmerjene povečane koncentracije z ujemanjem naravne radioaktivnosti (kraška regija). Ugotovljene so bile višje prekoračene vrednosti v enodružinskih objektih, nižje pa v več stanovanjskih stavbah. Tovrstna splošna ugotovitev raziskav je hkrati pokazatelj, da se prekoračene vrednosti največkrat pojavljajo predvsem v starejših hišah, manj pri novogradnjah.



Slika 3: Mrežni prikaz koncentracij radona v zraku v vrtcih v Sloveniji (Vaupotič in sod., 1994)

4. OCENJEVANJE ŠKODLJIVOSTI ODMERKA IN ODZIVA

Značilno je, da se z večanjem odmerka povečuje izmerjen odziv. Pri nizkih odmerkih je možno, da sploh ni odziva. Na neki ravni odmerka se odzivi že začnejo pojavljati na majhnem delu populacije. Odnos med odmerkom in odzivom se razlikuje od vrste snovi, vrste odziva (tumor, pojavnost bolezni, smrt) in od eksperimentalne skupine (ljudi, živali). Ker je nepraktično preučevati vse možne odnose na vse možne odgovore, se raziskave toksičnosti običajno osredotočajo na testiranje omejenega števila neželenih učinkov. (EPA, 2012) Z analiziranjem odnosa odmerka - odziv ugotavljamo razmerje med koncentracijo škodljivega dejavnika in odgovorom organizma. To nam prikaže stopnjo toksičnosti določene snovi, kar nam lahko pomaga pri lažšanju zdravstvenih težav ljudi ob morebitni izpostavljenosti.

Toksikologi se srečujejo s problemom pomanjkanja podatkov, saj obstoječi podatki obsegajo le del možnega razpona razmerja odmerka - odziv. Izvajanje poskusov na ljudeh je neetično, zaradi tega se izvajajo na živalih. To daje negotovost v analizo rezultatov človeškega odziva na odmerka. Živalim dajejo precej višje odmerke, kot se jih predvideva za ljudi, zaradi česar je potrebno rezultate ekstrapolirati na nižje odmerke. Odnos med odmerkom in odzivom je pozitiven, kar pomeni, da se ob večanju odmerka določene snovi povečuje tudi stopnja odgovora organizma na to snov. (Eržen in sodelavci, 2013)

Ocena odziva na odmerka je postopek v dveh korakih. Prvi korak je ocena vseh podatkov, ki so na voljo ali se lahko zbirajo s pomočjo poskusov, da bi dokumentirali razmerja med odmerkom in odzivom glede vrste opazovanih odmerkov. Vendar ta razpon opazovanja ne vsebuje dovolj podatkov za ugotavljanje odmerka, kjer se škodljivi učinek ne opazi (odmerka, ki je dovolj nizek, da se prepreči učinek) na človeški populaciji.

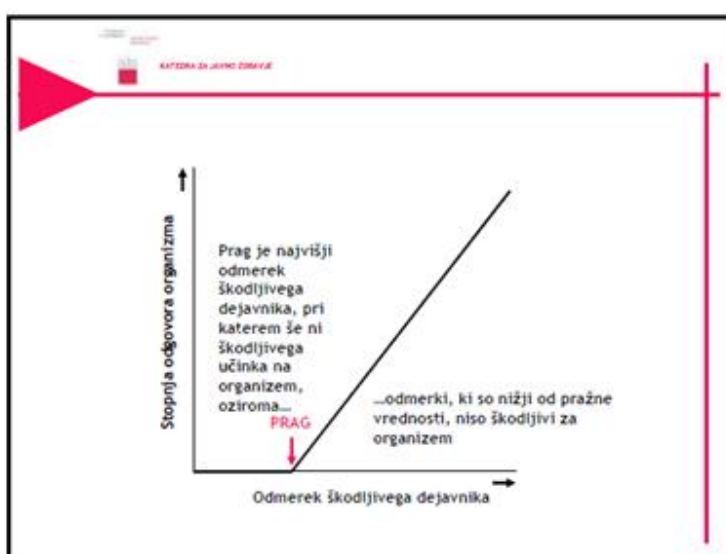
Drugi korak je sestavljen iz ekstrapolacije za oceno tveganja o škodljivem učinku preko spodnje meje razpoložljivih opazovanih podatkov, ki jih potrebujemo, da bi lahko sklepali o kritičnem območju, kjer nivo odmerka povzroča negativen učinek na človeka.

Kot sestavni del prve faze procesa je, da se pridobljeni podatki ocenijo za boljše biološko razumevanje, ugotovitve kaj se zgodi ob tipu strupenosti ali odziv (neželen učinek), razumevanjem, kako je s toksičnostjo (zaporedje ključnih dogodkov in procesov, ki se začnejo z interakcijo sredstva s celico, potekom operativnih in anatomskih sprememb, tvorbo raka...). Na osnovi tega načina delovanja se določi naravo drugega koraka, bodisi z nelinearno ali linearno oceno odziva na odmerka. (EPA, 2012)

4.1 Nelinearna ocena odziva na odmerek

Nelinearna oceno odziva na odmerek ima svoj izvor v prazni hipotezi, katera meni, da organizmi tolerirajo toksične snovi do določene (prazne) vrednosti, ki še nimajo strupenega učinka. Prag toksičnosti nastopi, ko se začnejo pojavljati odzivi na določen odmerek.

»Ni opaznih neželenih učinkov« (NOAEL) je najvišja raven izpostavljenosti, na kateri ni videti nobenih statistično značilnih učinkov ali znatnega povečanja pogostosti in resnosti neželenega učinka na izpostavljeno prebivalstvo. Prag je najvišji odmerek škodljivega dejavnika, pri katerem še ni škodljivega učinka na organizem. Odmerki, ki so nižji od prazne vrednosti, niso škodljivi za organizem. NOAEL je najvišji eksperimentalno določen odmerek brez statistično ali biološko pomembnega učinka. V primerih, v katerih NOAEL ni bil dokazan ali preizkušen, se uporablja izraz "raven najnižje opaženih neželenih učinkov (LOAEL)" in je to najnižji preizkušen odmerek. (EPA, 2012)



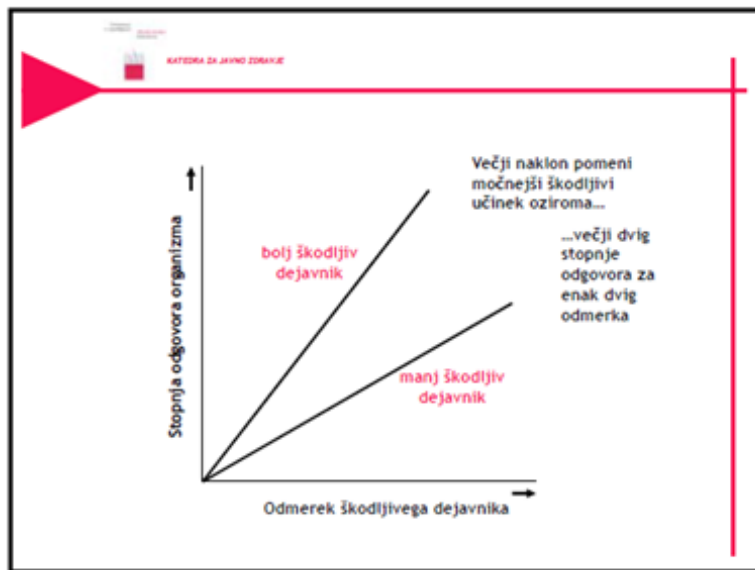
Slika 4: Nelinearna ocena (Eržen in sodelavci, 2013)

4.2 Linearna ocena odziva na odmerek

Če kaže, da toksičnost nima praga, to imenujemo linearna ocena odziva na odmerek. V primeru rakotvornih snovi se linearna ekstrapolacija običajno uporablja kot privzeti pristop za oceno odziva na odmerek. Tu je ocenjeno, da odmerek ne povzroči malega učinka, vendar le končnega, kjer je verjetnost rakotvornosti velika.

Naklon premice oz. črte, ki poteka od izhodišča opazovanih podatkov do izvora (kjer je ničelni odmerek), se imenuje naklon dejavnika za faktor raka. Večji naklon pomeni močnejši škodljivi učinek oziroma večji dvig stopnje odgovora za enak dvig odmerka. Bistvo je oceniti tveganje pri izpostavljenosti, ki spadajo vzdolž premice (slika 5).

Ko je linearen odziv na odmerek uporabljen za oceno tveganja pri raku, se izračuna tveganje oz. verjetnost za njegov pojav v življenjskem obdobju. Ocena izhaja iz izpostavljenosti do onesnaževalca. Izračunajo ga glede na stopnjo, do katere so bili izpostavljeni posamezniki v primerjavi z naklonom dejavnika za faktor raka. Skupno tveganje se izračuna s seštevanjem posameznih tveganj za nastanek raka, za vsak onesnaževalec glede na: vdihavanje, zaužitje in dermalno absorpcijo. (EPA, 2012)



Slika 5: Linearna ocena (Eržen in sodelavci, 2013)

Leta 2004 je bilo rekonstruirano centralno skladišče radioaktivnih odpadkov v Brinju. Tako so se zmanjšale emisije radona v okolje. Pri ocenjevanju odmerka so upoštevali inhalacijo in neposredno sevanje na najbolj izpostavljene posameznike. Glede na izračune prejmejo najvišjo dozo delavci iz reaktorskega centra (ocenjena letna doza: $4 \mu\text{Sv}$). Letna doza, ki jo prejmejo posamezniki zaradi naravnega sevanja znaša $2.500\text{--}2.800 \mu\text{Sv}$, manjšo dozo prejme varnostnik ($2 \mu\text{Sv}$ na leto), medtem ko bližnji kmetovalci prejmejo le okrog $0,1 \mu\text{Sv}$ na leto. Meritve radioaktivnosti v sedanji fazi rudnika urana na Žirovskem vrhu kažejo, da je ocena efektivne doze za prebivalstvo (upoštevane inhalacijske in ingestivne poti, ter zunanje sevanje) v letu 2004 med $0,19 \text{ mSv}$ in $0,22 \text{ mSv}$. (MOP, 2004)

Št.	Objekt	Prostor	[Bq/m ³]	ure odrasli	odrasli (mSv)	ure otroci	otroci (mSv)
1	OŠ Velike Lašče	tehnični pouk	2009	1320	8,43	1320	8,43
2	OŠ Ribnica - stavba C	tehnični pouk CP4	1916	1320	8,04	1320	8,04
3	Vrtec Iga vas	igralnica 2 - 4 let	1272	1584	6,41	1584	6,41
4	ZD Divača	zobna ordinacija	885	2000	5,63		
5	Vrtec Čebelica Ivančna gorica	igralnica	775	1584	3,90	1584	3,90
6	Psihiatrična bolnišnica Idrija	lekarna	773	2000	4,92		
7	Vrtec Polžek Višnja gora	igralnica	760	1584	3,83	1584	3,83
8	Psihiatrična klinika Ljubljana	mizarska delavnica	755	2000	4,80		
9	OŠ Komen	4. razred devetletke	737	1320	3,09	1320	3,09
10	Glasbena šola Ribnica	učilnica 1 - klet	526	1320	2,21	150	0,25
11	Vrtec Godovič	igralnica	475	1584	2,39	1584	2,39
12	Vrtec Muljava	igralnica	475	1584	2,39	1584	2,39
13	VVO Ciciban Novo mesto	Vrtec Marjetica - Račke	431	1584	2,17	1584	2,17
14	OŠ Šentrupert	učilnica 2	430	1320	1,81	50	0,07
15	Glasbena šola Ribnica	Podružnica Loški potok	408	1320	1,71	150	0,19
16	Občina Komen	direktor	377	2000	2,40		
17	OŠ Velike Lašče	pisarna	312	1320	1,31	880	0,87
18	Vrtec Grahovo	igralnica	296	1584	1,49	1584	1,49
19	Vrtec Idrija	Polžki	296	1584	1,49	1584	1,49
20	OŠ Babno polje	učilnica	281	1320	1,18	1320	1,18
21	OŠ Ketteja in Murna Ljubljana	učilnica 14	260	1320	1,09	1320	1,09
22	Vrtec Sonček Ivančna gorica	igralnica	258	1584	1,30	1584	1,30
23	OŠ Iga vas	1. razred	245	1320	1,03	1320	1,03
24	Zobna ambulanta Komen	ordinacija	238	2000	1,51		
25	VVE Pedenjped Novo mesto	Vrtec Metka Čebelice	237	1584	1,19	1584	1,19
26	Glasbena šola Ribnica	Podružnica Sodražica	232	1320	0,97	150	0,11

Slika 6: Ocenjene efektivne doze (Izpostavljenost prebivalcev Slovenije, 2006)

5. UKREPANJE ZA ZMANJŠEVANJE IZPOSTAVLJENOSTI, ODZIV IN ZAŠČITA

Namen vseh raziskav so predvsem ukrepi za odpravo ali zmanjšanje izpostavljenosti radona pred njegovo nevarnostjo. Tvrstni ukrepi v praksi so lahko:

- materialno-tehnični: učinkovita izgradnja delovnega ali bivalnega okolja (adaptacije starejših objektov, naravna ventilacija ali prisilno prezračevanje prostorov, kvalitetnejša in tehnična dovršena gradnja, pravilna izbira pravih gradbenih materialov...),
- organizacijski (v smislu doseganja krajše izpostavljenosti sevanja in zadrževanja v potencialno škodljivih prostorih; krajša časovna izpostavljenost),
- zakonsko sprejemanje in prilagajanje sistemskih ukrepov: ustreznost standardov, pravno-upravni ukrepi, sproti preventivni zdravstveni nadzori, obveščanje in izobraževanje....

6. ZAKLJUČEK

Ob preučevanju tematike spoznavamo, da smo se kot družba v širšem spektru zadeve lotili sistematično, kar kažejo tudi splošni odzivi ob ugotovljeni prisotnosti radona v našem vsakdanjem okolju.

Glede trenutne obsežnosti raziskav in vse splošnih različnih ugotovitev, zaključka nismo izvajali v standardni obliki povzetka že napisane naloge ali povzetka različne literature. Pač pa v razmišljanju in iskanju odgovorov na naslednja vprašanja:

- kakšen razvoj dogodkov vpliva radona lahko pričakujemo v prihodnosti tako na naše zdravstveno stanje, počutje, kakor tudi življenjsko okolje v katerem se nahajamo,
- ali je izvajanje ocene ogroženosti v smislu trenutno določenih mejnih vrednosti radona učinkovito v celostnem pogledu,
- kako nadaljevati, nadalje ukrepati ali uvajati nove ukrepe glede na pričakovani razvoj ogroženosti v bodoče, da se bomo počutili varne pred nevarnostjo in škodljivostjo učinka radona, oz. kako živeti varno v »sožitju« s prisotnostjo radona v našem vsakdanjem okolju. Nadaljevati ozaveščenost, da se posredno zmanjša strah pred nevarnostjo, da se le ta ne potencira in se ob upoštevanju ukrepov lahko povsem mirno sprejema dejstvo vpliva radona, in
- so trenutni ukrepi zadostni, ali poznamo dejanske posledice učinka radona, ali...

kar nas vodi v nadaljnje spremljanje tematike, kritičnosti in nadaljnjemu odkrivanju.

7. VIRI IN LITERATURA

1. Černivec R., 2000. Ocena sevalne obremenjenosti ljudi pri nas in v svetu; http://www.medrazgl.si/e107_files/public/datoteke/mr00_4_07.pdf
2. Darby S., Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC546066/>
3. Direktiva sveta UE 2013/51/EURATOM z dne 22. oktobra 2013 o določitvi zahtev za varstvo zdravja prebivalstva pred radioaktivnimi snovmi v vodi, namenjeni za porabo človeka; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:296:0012:0021:SL:PDF>
4. EPA 402/F-12/005. Basic Radon Facts; http://www.epa.gov/radon/pdfs/basic_radon_facts.pdf
5. EPA – United states environmental protection agency, Dose-response assessment, 2014. <http://www.epa.gov/risk/dose-response.htm>
6. Gilbert, 2012, A Small Dose of Toxicology, 2nd Edition, <http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&ved=0CDwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.toxipedia.org%2Fdownload%2Fattachments%2F9175184%2FA%2520Small%2520Dose%2520of%2520Toxicology%2C%25202nd%2520Edition.pdf%3Fversion%3D1%26modificationDate%3D1331304565000%26api%3Dv2&ei=7RCmUq3YCguh7AbW1oDIDw&usq=AFQjCNFNzblvqSeUEv0uodd04y586da0zA&sig2=HAUW0iPgdJws0e5MVwKpLA>
7. Gray A. in sod., 2009, Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2769068/>
8. HORMESIS: The Dose-Response Revolution, Edward J. Calabrese and Linda A. Baldwin, 2002. http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=calabrese_edward&sei-redir=1&referer=http%3A%2F%2Fscholar.google.si%2Fscholar_url%3Fhl%3Dsl%26q%3Dhttp%3A%2F%2Fscholarworks.umass.edu%2Fcgi%2Fviewcontent.cgi%253Farticle%253D1001%2526context%253Dcalabrese_edward%26sa%3DX%26scisig%3DAAGBfm1oZ65JOI2vfzO-nhFI2zNzAYqUg%26oi%3Dscholarr%26ei%3DqNWeUuXVJc2qhQeunoE4%26ved%3D0CEEQgAMoAjAA#search=%22http%3A%2F%2Fscholarworks.umass.edu%2Fcgi%2Fviewcontent.cgi%3Farticle%3D1001%26context%3Dcalabrese_edward%22
9. Kobal I., Vaupotič., Dujmovič P., Kotnik J., Gobec S., Zorko B. 2005. Radon na prostem v Sloveniji. Institut Jožef Stefan, Ljubljana. IJS-DP 9270;
10. Krewski, 2005, Epidemiology, Residential Radon and Risk of Lung Cancer, http://scholar.google.si/scholar_url?hl=sl&q=http://www.researchgate.net/publication/8028480_Residential_radon_and_risk_of_lung_cancer_a_combined_analysis_of_7_North_American_case-control_studies/file/32bfe5108313a8751c.pdf&sa=X&scisig=AAGBfm3v-D_h3Y8Um3H7wogfSX4G16xBpq&oi=scholarr&ei=lqefUsywNKjNygOAJYLIBA&ved=0CCoQgAMoADAA

11. Mergel M., 2011, Radon, <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Radon?src=search>
12. Ministrstvo za okolje in prostor – Poročilo o varstvu pred ionizirajočimi sevanju in jedrski varnosti v RS Sloveniji, 2004.
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dd9iUB12ZZMJ:www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/cns/doc/050713131119A_b32v11.doc+&cd=9&hl=sl&ct=clnk&gl=si
13. Ocena tveganja, Eržen in sodelavci, 2013
<http://www.mf.uni-lj.si/dokumenti/826f7f8317ab097f4e012e53733fd359.pdf>
14. Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji, Uradni list RS, št. 115-5037/2003, stran 15700;
<http://djs.si/activity/zakonodaja/ppmdvdpis.pdf>
15. Podvratnik M. 2010, Škodljivost ionizirajočega sevanja za živa bitja, http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2009_2010/IonSev.pdf
16. Poročilo radioaktivnosti v okolju - Agencija RS za okolje za varstvo pred sevanjem (Uradni list. SFRJ, 40/86);
<http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/radioaktivnost.pdf>
17. Pravilnik o pogojih in metodologiji za ocenjevanje doz pri varstvu delavcev in prebivalstva pred ionizirajočimi sevanji Ur. l. RS, št. 115/2003; <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2003115&stevilka=5037>
18. Principles of exposure, dose and response, Jonathan M. Links, PhD, 2006.
<http://ocw.jhsph.edu/courses/environmentalhealth/PDFs/Lecture5.pdf>
19. Radon-exposed underground miners and inverse dose-rate (protraction enhancement) effects, 1995. Jay H. Lubin,* John D. Boice, Jr.,† Christer Edling,‡ Richard W. Hornung, Geoffrey Howe| Emil Kunz, Robert A. Kusiak,# Howard I. Morrison, Edward P. Radford, Jonathan M. Samet Margot Tirmarche, Alistair Woodward and Shu Xiang Yao
<http://www3.cancer.gov/intra/dce-old/pdfs/reumid.pdf>
20. Radon in drinking water, http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index3.html
21. Radon, Molecular Action and Genetic Effects,
<http://enhs.umn.edu/hazards/hazardssite/radon/radonmolaction.html>
22. Radon, radioactive, <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+6369>
23. Rudnik živega srebra Idrija, d.o.o. - v likvidaciji, 2013; Informativne meritve radona v učilnicah osnovne šole Črni Vrh, Črni Vrh nad Idrijo;
<http://212.235.201.82/oscvprt/images/stories/priloge/osradon.pdf>
24. Smerajec, M.; Vaupotič, J., EGU General Assembly 2012, United role of radon decay products and nano-aerosols in radon dosimetry,
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2012EGUGA..14.9950S>
25. Smrkolj P., 2010, Vloga faktorja ravnotežja in deleža nevezanih radonovih razpadnih produktov pri izračunu efektivne doze,
<http://www.ung.si/~library/diplome/OKOLJE/63Smrkolj.pdf>

26. ŠOLSKA higiena: zbornik prispevkov / [izdajatelj] Medicinska fakulteta, Inštitut za higieno; [urednik Mojca Juričič; prevod izvlečkov Andreja Bricelj]. - Ljubljana: Sekcija za šolsko in visokošolsko medicino SZD, 2002 ISBN 961-6456-04-01.; https://static.squarespace.com/static/51042493e4b00bb1fb60728f/t/5153444ae4b02824e07d0483/1364411466700/zbornik_SH.pdf
27. Vaupotič J., 1995. Koncentracija radona in njegovih razpadnih produktov v bivalnem okolju ter modelni izračuni doz. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, oddelek za kemijo kemijsko tehnologijo; http://books.google.si/books/about/Koncentracije_radona_in_njegovih_razpadn.html?id=M5JtNAAACAAJ&redir_esc=y
28. Vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zraku <http://www.ung.si/~library/diplome/OKOLJE/21Zupancic.pdf>
29. Zbirka letnih poročil Uprave RS za jedrsko varnost v Sloveniji od leta 1985 do 2013; http://www.ursjv.gov.si/si/info/posamezne_zadeve/porocila/
30. Zupančič M., 2007, Vpliv geoloških in klimatskih dejavnikov na koncentracijo radona v zraku <http://www.ung.si/~library/diplome/OKOLJE/21Zupancic.pdf>