



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



GLOBALNA RASPODJELA PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI

-MASTER RAD-

Mentor:

Doc.dr.Dušan Mrđa

Kandidat:

Popović Vladimir

Novi Sad,2012

SADRŽAJ

1.RADIONUKLIDI U ŽIVOTNOJ SREDINI.....	2
1.1.EKVIVALNTNA DOZA I JONIZUJUĆE ZRAČENJE.....	3
2.KOSMIČKO ZRAČENJE	4
2.1.KOSMOGENI RADIONUKLIDI	6
3.PRIRODNI RADIONUKLIDI.....	7
3.1.PRIRODNI NEIZMJENJENI RADIONUKLIDI	7
3.2. TERESTRIJALNO ZRAČENJE	8
4.SPOLJAŠNJE IZLAGANJE	9
(NA OTVORENOM I U ZATVORENOM PROSTORU).....	9
4.1.PODRUČJA U SVIJETU SA POVEĆANOM JAČINOM APSORBOVANE DOZE U VAZDUHU	15
5.UNUTRAŠNJE IZLAGANJE	16
5.1.RADON.....	24
6.PRIRODNI PROMJENJENI RADIONUKLIDI LJUDSKIM UTICAJEM	28
(BEZ NUKLEARNIH TEHNIKA)	28
6.1.SAGORJEVANJE FOSILNIH GORIVA	29
6.2.VJEŠTAČKA ĐUBRIVA	30
6.3.RUDARSTVO	31
6.4.TRICIJUM,KRIPTON I TORIJUM.....	31
7.ZAKLJUČAK.....	32
LITERATURA.....	33

1. RADIONUKLIDI U ŽIVOTNOJ SREDINI

Radionuklidi su nestabilna jezgra hemijskih elemenata koja se emitovanjem jonizujućeg zračenja transformišu do stabilnog jezgra.

Pretpostavlja se da danas ima oko 1500 radionuklida.

Radionuklidi mogu po svom porijeklu da se klasifikuju u tri kategorije:

1. Primordijalni (ili primarni) radionuklidi, stvoreni nukleosintezom u isto vrijeme kada i sva supstancija našeg solarnog sistema.

U primordijalne radionuklide ubrajamo radioizotope koji imaju poluživot uporedljiv sa starošću Zemlje ($4,5 \cdot 10^9$ godina) ili duže. U ovu kategoriju spadaju i kratkoživeći izotopi iz tri radioaktivna niza.

Od primordijalnih radionuklida, ^{40}K je najrasprostranjeniji u Zemljinoj kori ($3 \cdot 10^{-3}\%$), i njegova masena zastupljenost u stijenama i zemljištu je 10^4 puta veća od Th i U.

2. Kosmogeni radionuklidi proizvedeni u zemaljskoj i vanzemaljskoj supstanciji djelovanjem kosmičkih zraka.

3. Antropogeni radionuklidi, radionuklidi koje proizvodi čovjek u nuklearnim reaktorima, nuklearnim bombama i akceleratorima.

Radionuklidi iz kategorija 2 i 3 se jednim imenom nazivaju još i sekundarni radionuklidi.

^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U su rodonačelnici tri radioaktivna niza (TORIJUMSKOG, URANIJUMSKO-RADIJUMSKOG, URANIJUMSKO-AKTINIJUMSKOG) koji se završavaju stabilnim izotopima Pb: ^{208}Pb , ^{207}Pb i ^{206}Pb respektivno.

Radionuklidi ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U imaju izuzetno duge periode poluraspada, koji su za nekoliko redova veličine veći od perioda poluraspada njihovih potomaka.

Pošto postoje velike razlike u periodima poluraspada pojedinih elemenata u okviru jednog radioaktivnog niza, posledica je uspostavljanje sekularne ravnoteže, pri kojoj je aktivnost svakog potomka jednaka aktivnosti rodonačelnog niza.

Sva tri radioaktivna niza imaju zajedničku osobinu da postoji dvojaka mogućnost (α i β) raspada, a druga zajednička osobina je da postoji prisustvo izotopa inertnog gasa radona koji se u manjoj ili većoj mjeri emanira iz matrice u kojoj se generiše.

1. ^{222}Rn sa periodom poluraspada od 3,82 dana. Prisutan je u nizu ^{238}U i predstavlja najznačajniji radonov izotop i pod terminom 'radon' podrazumjevamo istu vrstu izotopa

2. ^{220}Rn sa periodom poluraspada od 54s. Prisutan je u nizu ^{232}Th i za njega se koristi specijalan naziv 'toron'. Uzima se u obzir kada on ili njegovi potomci dostižu veće koncentracije kod mjerenja emanacije radona iz zemljišta i pronalaženja mjesta ulaska radona.

3. ^{219}Rn sa periodom poluraspada od 3,92 s. Prisutan je u nizu ^{235}U i naziva se 'aktinon'. On je vrlo malo zastupljen u prirodi (zbog malog sadržaja izotopa ^{235}U) i njegov doprinos u ozračenju ljudi je neznatan.

Svaki od navedenih nizova se označava sa $4n, 4n+2, 4n+3$ što znači da je torijumski niz $4n$ niz, jer svaki nuklid koji čini taj niz ima maseni broj koji je djeljiv sa brojem 4.

Na isti način za uranijumsko-radijumski niz $4n+2$, i uranijumsko-torijumski $4n+3$ niz.

1.1. Ekvivalentna doza i jonizujuće zračenje

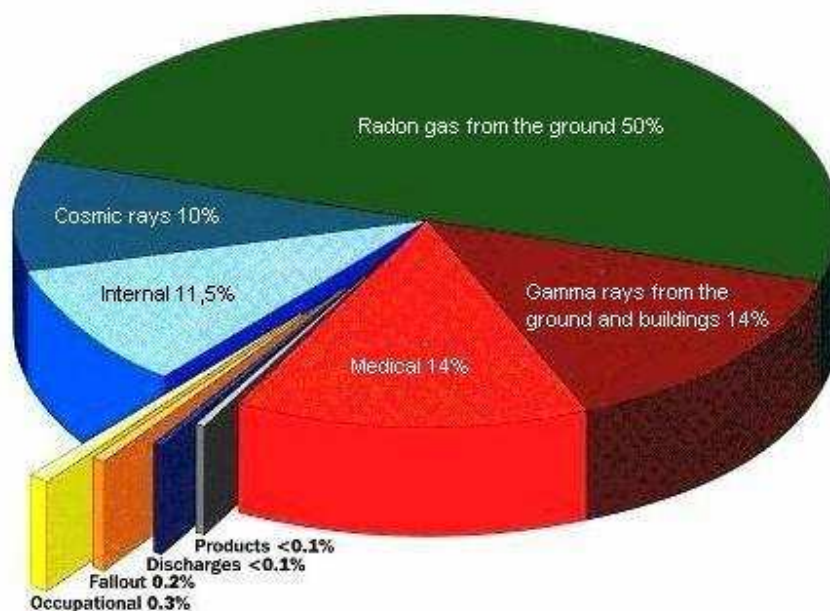
Jonizujuće zračenje spada u prirodne fenomene koji od samog početka prate razvoj organske materije i živih organizama na Zemlji.

Pošto čovjek nema prirodna čula kojima se registruje dejstvo jonizujućeg zračenja, fizički mehanizmi interakcije zračenja sa materijom su upoznati tek tokom poslednjeg vijeka i u nauci još uvijek nisu rješena sva pitanja vezana za uticaj malih količina doza zračenja na živa bića. Šira javnost je sklona da postojanje jonizujućeg zračenja u prirodi pripíše isključivo razvoju savremenih tehnologija. Ove činjenice kombinovane sa saznanjem da je zračenje potencijalni uzrok kancerogenih oboljenja i genetskih oštećenja koja se manifestuju tek mnogo godina posle ozračavanja, jasno ilustruju specifičnosti i poseban značaj zaštite od jonizujućih zračenja u sklopu globalne zaštite životne sredine.

Mjera za štetno dejstvo jonizujućeg zračenja na čovjeka je ekvivalentna doza, koja se mjeri u jedinicama sivert (Sv). Jedan sivert je količina zračenja koja uzrokuje radijacioni rizik od oko 4000 stohastičkih na 1 000 000 ozračenih ljudi.

Obzirom da od kancerogenih oboljenja od milion ljudi godišnje umre oko 1600, ako bismo sva ova oboljenja pripisali dejstvu zračenja, mogli bismo ih smatrati stohastičkom posledicom godišnje doze od oko 0,4 mSv.

Prema dosadašnjim saznanjima, svi izvori zračenja kojima je čovjek izložen, uzrokuju godišnju ekvivalentnu dozu od oko 3 mSv. Ova doza zavisi od nadmorske visine i nivoa kosmičkog zračenja kao i sastava tla u kome mogu postojati različite koncentracije prirodnih radionuklida.



Slika 1. Godišnja doza koju prima stanovništvo

Osim kosmičkog zračenja (sa godišnjom dozom od oko 0,3mSv) i medicinske primjene zračenja za dijagnostičke svrhe (sa godišnjom dozom od oko 0,5mSv), sav ostatak doze zračenja potiče od radioaktivnog raspada atomskih jezgara na Zemlji.

Znači radionuklidi u prirodi (primordijalni i antropogeni) su uzrok godišnjeg ozračavanja od oko 2mSv, pri čemu 55% ove doze potiče od udisanja radona.

Od 70-tih godina pa do danas u Velikoj Britaniji nije se značajnije mijenjao doprinos od različitih izvora zračenja ukupnoj godišnjoj ekvivalentnoj dozi zračenja, dok se u SAD-u od 1987 do 2006 godine godišnja doza koja potiče od primjene zračenja u medicini povećala sa 0,54mSv na 3mSv.

U zračenje iz prirodnih izvora u osnovnom stanju ubrajamo: kosmičko zračenje i zračenje terestrijalnih izvora u prirodnoj sredini.

2.KOSMIČKO ZRAČENJE

Primarne čestice kosmičkih zraka koje stižu u atmosferu Zemlje su jezgra lakih atoma sa vrlo visokom energijom, pretežno protoni (86%), jezgra He (12,7%), a mali ostatak čine teža jezgra.

U fizici kosmičkih zraka obično govorimo o dubini u atmosferi umjesto o visini.

Dubina se mjeri preko mase gasa iznad tačke po jedinici površine i izražava se u g/cm^2 ili u mwe.

U interakciji kosmičkih zraka sa atmosferom proizvode se razne čestice.

Kada govorimo o sekundarnim česticama mislimo na sve čestice formirane u atmosferi i čvrstoj zemlji, uključujući i γ kvante.

Srednja dužina interakcije visokoenergetskih protona u atmosferi je $80 g/cm^2$ i skoro je nezavisna od energije.

U svakom sudaru oni izgube oko polovine svoje energije. U prolasku kroz atmosferu njihov broj i energija opadaju, tako da se do nivoa mora broj protona od 0,2GeV smanji oko $2 \cdot 10^3$ puta, a onih od 10GeV $5 \cdot 10^3$.

Kada se sudare sa atomskim jezgrima atmosferskog gasa (najčešće N i O), nastaju događaji nalik eksploziji, reakcije slične za sva jezgra, u kojima prvo dolazi unutar jezgra do višestrukih sudara, elastičnih i neelastičnih, prilikom čega se mogu emitovati: protoni, neutroni ili pioni sa energijama od 200 do 500MeV, pretežno u pravcu upadnog protona.

Kada je energija upadnog protona ispod 1GeV, emitovaće se uglavnom protoni i neutroni, dok iznad 1GeV, broj piona je obično veći.

Pored novonastalih protona i visokoenergetski neutroni i pioni mogu prouzrokovati istu vrstu sudara, sa istom dužinom interakcije.

Ove čestice formiraju nukleonski dio kosmičkih zraka i nose zajedničko ime HADRONI.

Svaki primarni proton proizvede u atmosferi oko 20 neutrona sa širokim spektrom energije.

To mogu biti visokoenergetski kaskadni ili izbijeni neutroni iz prve faze sudara, i evaporacioni neutroni nastali iz pobuđenog jezgra.

Putanja neutrona u atmosferi je duža od putanje protona, pošto oni ne gube energiju na jonizaciju.

Neutroni se usporavaju u elastičnim i neelastičnim sudarima sa jezgrima u atmosferi, sve dok na kraju ne budu zahvaćeni u neko jezgro. Njihov srednji kvadratni domet je 150 g/cm^2 .

U visokoenergetskim kaskadnim sudarima nastaju tri vrste mezona (piona):

Neutralni π^0 , pozitivni π^+ i negativni π^- koji se proizvode približno istom vjerovatnoćom.

Svi su nestabilni i imaju izuzetno kratak srednji život.

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza uzrokovana kosmičkim zračenjem izračunata je uzimajući varijaciju efektivne ekvivalentne doze sa nadmorskom visinom kao i raspodjelu stanovništva po različitim nadmorskim visinama.

Veza između godišnje efektivne ekvivalentne doze i nadmorske visine za jonizaciju i neutronske komponente kosmičkog zračenja je data:

$$\dot{E}_1(z) = \dot{E}_1(0)[0,21e^{-1,649z} + 0,79e^{-0,4528z}] \quad (1)$$

gdje je $\dot{E}_1(0)$ -godišnja efektivna ekvivalentna doza za jonizaciju komponentu kosmičkog zračenja na nivou mora

dok je z nadmorska visina data u km.

$$\dot{E}_N(z) = \dot{E}_N(0)e^{(\alpha_N z)} \quad (2)$$

$$\dot{E}_N(z) = \dot{E}_N(0)[b_N e^{(\beta_N z)}] \quad (3)$$

Gdje je $\dot{E}_N(0)$ -godišnja efektivna ekvivalentna doza za neutronske komponente kosmičkog zračenja na nivou mora, pri čemu relacija (2) važi za $z < 2 \text{ km}$, dok relacija (3) važi za $z > 2 \text{ km}$.

TABELA 1. SREDNJA GODIŠNJA EFEKTIVNA EKVIVALENTNA DOZA UZROKOVANA KOSMIČKIM ZRAČENJEM

ZEMLJA	POPULACIJA (MILIONA)	NADMORSKA VISINA	EKVIVALENTNA DOZA (mSv)		
			JONIZUJ.	NEUTRON.	UKUPNO
La Paz, Bolivija	1	3900	1,12	0,90	2,020
Quito Ekvador	11	2840	0,69	0,44	1,13
Meksiko Siti, Meksiko	17,3	2240	0,53	0,29	0,82
Najrobi Kenija	1,2	1660	0,41	0,17	0,58
Denver, SAD	1,6	1610	0,40	0,17	0,57
Na nivou mora			0,24	0,03	0,27
Globalna vrijednost			0,3	0,08	0,38

Iz tabele 1 se vide značajne varijacije u dozi. Npr, u La Paz-u je srednja vrijednost godišnje efektivne ekvivalentne doze 5 puta veća u odnosu na srednju globalnu vrijednost.

Između nivoa mora i 4km nadmorke visine doprinos neutronske komponente kosmičkog zračenja srednjoj efektivnoj ekvivalentnoj dozi zračenja se povećava sa 8% na 35 %.

Globalna vrijednost kolektivne godišnje efektivne ekvivalentne doze iznosi $2 \cdot 10^6$ man Sv.

Oko dvije trećine svjetske populacije živi ispod 500m nadmorske visine, i oni prime samo polovinu kolektivne efektivne ekvivalentne doze (koja potiče od kosmičkog zračenja).

Oko 2% populacije živi iznad 3km nadmorke visine i prima nesrazmjerno 10% kolektivne efektivne ekvivalentne doze zračenja.

Pri putovanjima avionima veća je izloženost kosmičkom zračenju: putovanja avionima iz Evrope u Sjevernu Evropu (pri nadmorskim visinama između 9-12 km) povećavaju efektivnu dozu zračenja u opsegu od $30-45 \mu Sv$. Za posadu kosmičkih brodova (koji su izloženi primarnom kosmičkom zračenju) efektivna ekvivalentna doza se kreće u opsegu od 0,5 mSv do 5mSv.

2.1. Kosmogeni radionuklidi

Od svih kosmogenih radionuklida najvažniji su: 3H , ^{14}C , ^{22}Na i 7Be . Oni se trajno proizvode u stratosferi i višim slojevima troposfere.

Kosmogeni radionuklidi imaju kraći period poluraspada od primordijalnih radionuklida.

Ugljenik nastaje interakcijom neutrona, proizvedenih u atmosferi kosmičkim zračenjem sa atomima azota reakcijom $^{14}N(n, p)^{14}C$, dok tricijum nastaje interakcijom neutrona sa atomima azota ili litijuma u reakcijama: $^{14}N(n, ^3H)^{12}C$ i $^6Li(n, \alpha)^3H$.

TABELA 2. BRZINE FORMIRANJA KOSMOGENIH RADIONUKLIDA U ATMOSFERI

	Brzina formiranja kosmogenih radionuklida (broj atoma $\cdot m^{-2} s^{-1}$)			
	^{14}C	3H	7Be	^{22}Na
Ukupna	16000	2500	810	0.86
Troposfera	11000	840	270	0.24
Godišnja aktivnost	$1.4 \cdot 10^{15}$	$1.5 \cdot 10^{17}$		

Iz tabele 2, vidi se da broj atoma ^{14}C koji se formira u sekundi po $1m^2$ površine Zemlje

16 000, dok su brzine formiranja atoma 3H , 7Be i ^{22}Na manje 10, 20 i 20 000 puta.

Prije prvih nuklearnih testiranja koncentracija 3H u zemljanim vodama se kretala između $(200-900) Bq/m^3$, dok je u okeanima ona iznosila $100 Bq/m^3$.

Koncentracije 7Be i ^{22}Na u vazduhu su iznosile $3000 \mu Bq/m^3$ i $0,3 \mu Bq/m^3$ respektivno.

TABELA 3.PROCENTUALNA ZASTUPLJENOST KOSMOGENIH RADIONUKLIDA U RAZLIČITIM SFERAMA ŽIVOTNE SREDINE

	^{14}C	^3H	^7Be	^{22}Na
stratosfera	0.3	6.8	60	25
troposfera	1.6	0.4	11	1.7
zemljište	4	27	8	21
izmješani okeanski sloj.	2.2	35	20	44
duboki okeani	92	30	0.2	8
okeanski sedimenti	0.4			
globalna aktivnost (Bq)	$8.5 \cdot 10^{18}$	$3,6 \cdot 10^{18}$	$3.7 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{14}$

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza koja je uzrokovana kosmogenim radionuklidima iznosi 0,01mSv.

3.PRIRODNI RADIONUKLIDI

U prirodne radionuklide ubrajamo:

- prirodni neizmjenjeni radionuklidi
- °kosmogeni radionuklidi
- °primordijalni radionuklidi
- zbog ljudske djelatnosti promjenjeni radionuklidi
- °radionuklidi koji nastaju sagorjevanjem fosilnih goriva
- °radionuklidi koji se nalaze u građevinskom materijalu
- °radionuklidi u vještačkim đubrivima
- °radionuklidi u zatvorenim prostorima

3.1.Prirodni neizmjenjeni radionuklidi

Osim primordijalnih radionuklida koji postoje od nastanka Zemlje,u prirodne neizmjenjene radionuklide spadaju i kosmogeni koji se stvaraju u atmosferi,zemljištu i vodi po dejstvom kosmičkog zračenja.

U prirodne neizmjenjene radionuklide se ubrajaju i radionuklidi koji su nastali spontanom fisijom ruda urana.

Pretpostavlja se da je na Zemlji,prije dvije milijarde godina,zbog kraćeg poluživota ^{235}U sadržaj urana u prirodnom uranu bio znatno veći i iznosio oko 3% .

U tim uslovima,lančana reakcija se može razmatrati u smješi prirodni uran-obična voda.



Slika 2.Ostaci prirodnog reaktora u Gabonu

Prva ideja o tome da je postojao prirodni reaktor javila se kada je analiza uranove rude pokazala da u toj rudi koncentracija ^{235}U 0,717%,a ne 0,720%(opservabilna veličina).

Ruda je bila iz mjesta Gabon(Zapadna Afrika),gdje su naknadne analize rude pokazale još veće osiromašenje sa ^{235}U (0,64%) pri visokom sadržaju urana u rudi(većem od 20%).Sem toga u sastavu uranove rude nađen je višak elemenata(lantanida),koji su produkti fisije.

Detaljno istraživanje rejona prirodnog reaktora pokazalo je da u moćnoj uranovoj žili širine (600-900)m i debljine (4-10)m,sa podzemnim vodama postoji glinena smješa dimenzija (10-20×1)m,sa koncentracijama urana (20-40)%.U njemu se dešavala lančana reakcija.

Prema količini sagorelog urana načinjena je ocjena starosti reaktora od $1,8 \cdot 10^9$ godina,a po količini stvorenog ^{239}Pu dužina trajanja rada od oko $600 \cdot 10^6$ godina i snaga reaktora od oko 25kW.

Na transport i disperziju prirodnih neizmjenjenih radionuklida kroz biosferu uticali su meteorološki i geološki uslovi.

Ugljenik,vodonik,kalijum i uran su široko rasprostranjeni u biosferi,što ima važnu ulogu u razvoju života na Zemlji,kao i učestvovanje u metabolizmu.

Na primjer,nakon erupcije vulkana Sveta Jelena 1980 godine primjećeno je povećanje koncentracije urana u kiši i snjegu.Takođe organizmi su metaboličkim procesima mijenjali sadržaj radioaktivnih supstancija.

3.2. Terestrijalno zračenje

Terestrijalni radionuklidi su najznačajniji izvor jonizujućeg zračenja u životnoj sredini,kako u pogledu ukupnog ozračivanja stanovništva tako i u pogledu visokih doza zračenja.

Ovi radionuklidi se međusobno razlikuju kako po svojim fizičkim i geohemijskim osobinama,tako i u pogledu potencijalnih rizika za stanovništvo.

U primarnim geohemijskim sredinama,koje karakterišu magmatogeni i metamorfogeni procesi,obrazuju se različiti tipovi magmatskih i metamorfnih stijena,ruda i duboke podzemne vode u čiji sastav ulaze i radionuklidi.

Sadržaj ^{40}K prati geohemiju kalijuma, a sadržaj mu je povećan u kiselim stijenama (granit, rioliti). Slično je i za uran i torijum.

U nastavku rada opisaćemo spoljašnje i unutrašnje izlaganje uzrokovano terestrijalnim zračenjem.

4.SPOLJAŠNJE IZLAGANJE (na otvorenom i u zatvorenom prostoru)

Zemljište kao jedna od najvažnijih komponenti životne sredine predstavlja trajan rezervoar terestrijalnih radionuklida i sem spoljašnjeg ozračivanja ima znatan udio i u unutrašnjem ozračivanju čovjeka (putem dugog lanca ishrane).

Zemljište je kompleksan materijal koji se sastoji od mineralne (neorganske) kao i od organske komponente koja uglavnom nastaje raspadom biljnog materijala.

Neorganska ili mineralna komponenta zemljišta se sastoji od čestica nastalih erozivnim dejstvom raznih prirodnih faktora na stijene.

Kako stijene koje ulaze u sastav zemljine kore, posjeduju određenu koncentraciju radionuklida, zaočekivati je da se oni mogu naći i u zemljištu nastalom raspadom stijena.

TABELA 4. KARAKTERISTIČNE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI TERESTRIJALNIH
RADIONUKLIDA U NEKIM STIJENAMA

radionuklid	bazalt	sieniti	granit	krečnjak	peščar
^{40}K [B_q/kg]	210	1400	1290	89	370
^{232}Th [B_q/kg]	6.5	69.2	87.5	7	11
^{238}U [B_q/kg]	5.3	102	59.7	28	19

Iz tabele 4. se vidi da sadržaj svakog od navedenih radionuklida u različitim stijenama varira u relativno širokom opsegu.

Poseban interes predstavlja poznavanje morfoloških, fizičkih, hemijskih i bioloških osobina zemljišta koji utiču na migraciju radionuklida.

Spoljašnje izlaganje na otvorenom prostoru je uzrokovano terestrijalnim radionuklidima koji su prisutni u određenom stepenu u svim tipovima zemljišta.

Glavni doprinos spoljašnjem izlaganju potiče od gama emitujućih radionuklida iz ^{232}Th i ^{238}U niza kao i od ^{40}K .

Ispitivanje nivoa spoljašnjeg izlaganja i sadržaja radionuklida u životnoj sredini vrši se mjerenjem jačine apsorbovane doze zračenja u vazduhu i mjerenjem koncentracije aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine.

Mjerenja jačina apsorbovanih doza zračenja na otvorenom i zatvorenom prostoru rađena su u odvojenim istraživanjima na lokacijama koje nisu blisko povezane, pri čemu se mjerenja na otvorenom prostoru obično vrše dozimetrima postavljenim na visini 1m iznad nekultivisane travnate površine.

Rezultati spektrometrijskih analiza zemljanih uzoraka prikupljenih iz različitih zemalja prikazani su u tabeli 5.

TABELA 5.SADRŽAJ TERESTRIJALNIH
RADIONUKLIDA U UZORCIMA IZ ZEMLJIŠTA

ZEMLJA	Populacija (milioni)	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI U ZEMLJIŠTU(Bq/kg)							
		⁴⁰ K		²³⁸ U		²²⁶ Ra		²³² Th	
		sre.	opseg	sre	opseg	sre	opseg	sre	opseg
Danska	5,24	460	240-610			17	9-29	19	8-30
Estonija	1,47	510	140-1120			35	6-310	27	5-59
Litvanija	3,73	600	350-850	16	3-30			25	9-46
Norveška	4,35	850		50		50		45	
Švedska	8,82	780	560-1150			42	12-170	42	14-94
Belgija	10,16	380	70-900			26	5-50	27	5-50
Njemačka	81.92		40-1340		11-330		5-200		7-134
Irska	3.55	350	40-800	37	8-120	60	10-200	26	3-60
Luksemburg	0.41	620	80-1800			35	6-52	50	7-70
Holandija	15.58		120-370		5-53	23	6-63		8-77
Švajcarska	7.22	370	40-1000	40	10-150	40	10-900	25	4-70
Velika Britanija	58.14		0-3200		2-330	37			1-180
Bugarska	8.47	400	40-800	40	8-190	45	12-210	30	7-160
Mađarska	10.05	370	79-570	29	12-66	33	14-76	28	12-45
Poljska	38.60	410	11-970	26	5-120	26	5-120	21	4-77
Rumunija	22.66	490	250-1100	32	8-60	32	8-60	38	11-75
Rusija	148.1	520	100-1400	19	0-67	27	1-76	30	2-79
Slovačka	5.35	520	200-1380	32	15-130	32	12-120	38	12-80
Albanija	3.40	360	15-1150	23	6-96			24	4-160
Hrvatska	4.5	490	14-710	11 0	83-180	54	21-77	45	12-65
Kipar	0.76	140	0-670			17	0.120		
Grčka	10.49	360	12-1570	25	1-240	25	1-240	21	1-190
Portugal	9.81	840	220-1230	49	26-82	44	8-65	51	22-100
Slovenija	1.92	370	15-1410			41	2-210	35	2-90
Španija	39.67	470	25-1650			32	6-250	33	2-210
Medijana		400	140-850	35	16-110	35	17-60	30	11-64
Otežana srednja vrijednost		420		33		32		45	

Iz tabele 5 se vidi da je koncentracija aktivnosti ^{40}K u zemljištu je za jedan red veličine veća u odnosu na ^{238}U i ^{232}Th . Otežane srednja vrijednost i medijana koncentracija aktivnosti ^{40}K , ^{238}U i ^{232}Th su: 420, 33, 45 Bq/kg odnosno 400, 35, 30 Bq/kg (na globalnom nivou).

Korišćenjem doznog koeficienta koji daje odnos jačine apsorbovane doze zračenja u vazduhu i koncentracije aktivnosti radionuklida u zemljištu može se proračunati jačina apsorbovane doze zračenja u vazduhu (tabela 6)

TABELA 6. PROCJENA SPOLJAŠNJEG IZLAGANJE DOBIJENA NA OSNOVU RAZLIČITIH KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU

Radionuklid	Koncentracija aktivnosti (Bq/kg)		Dozni koeficient ($\text{nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$)	Jačina ap.doze u vazduhu (nGy/h)	
	Medijana	Otež.sre.vrij.		Medijana	Otež.sre.vrij.
^{40}K	400	420	0,0417	17	18
^{238}U	35	33	0,462	16	15
^{232}Th	30	45	0,604	18	27
UKUPNO				51	60

Otežana srednja vrijednost jačine apsorbovane doze zračenja uzrokovana terestrijalnim zračenjem na otvorenom prostoru iznosi 60nGy/h. (tabela 6)

Direktno mjerenje jačine apsorbovane doze zračenja u vazduhu je sprovedeno u poslednjih nekoliko decenija u mnogim zemljama. (podaci predstavljeni u tabeli 7 obuhvataju 70% svjetske populacije.)

TABELA 7. SPOLJAŠNJE IZLAGANJE STANOVNIŠTVA UZROKOVANO TERESTRIJALNIM ZRAČENJEM ŠIROM SVIJETA

ZEMLJA	POPULACIJA (MILIONI)	JAČINA APSORBOVANE DOZE ZRAČENJA U VAZDUHU (nGy/h)				ODNOS
		NA OTVORENOM		U ZATVORENOM P.		
		SREDNJA	OPSEG	SREDNJA	OPSEG	
Alžir	28.78	70	20-133		14-2100	
Egipat	63.27	32	8-93			
Namibija	1.58					
Sudan	27.29	53	26-690			
Kanada	39.68	63	43-101			
Kuba	11.02	42	26-53			
Meksiko	92.72	78	42-140			
USA	269.4	47	14-118	38	12-160	0.8
Čile	14.42	51	21.83	61	25-105	1.2
Paragvaj	4.96	46	38-53			
Brunej	0.30	33	3-70			
Kina	1232	62	2-340	99	11-420	1.6

Tajvan	20	57	17-87			
Hong Kong	6.19	87	51-120	200	140-270	2.3
Indija	944.6	56	20-1100			
Indonezija	200.45	55	47-63			
Japan	125.4	53	21-77	53	21-77	1.0
Kazahstan	16.82	63	10-250	70	20-100	1.1
Malezija	20.58	92	55-130	96	65-130	1.0
Filipini	69.28	56	31-120			
Tajland	58.70	77	2-100	48	2-22	0.6
Iran	69.98	71	36-130	115	70-165	1.6
Sirija	14.57	59	52-67			
Danska	5.24	52	35-70	54	19-260	1.0
Estonija	1.47	59	14-230			
Finska	5.13	71	45-139	73	22-184	1.0
Island	0.27	28	11-83	23	14-32	0.8
Litvanija	3.73	58	36-85	85	34-195	1.5
Norveška	4.35	73	20-1200	79	20-1250	1.1
Švedska	8.82	56	40-500	110	20-2000	2.0
Austrija	8.11	43	20-150			
Belgija	10.16	43	13-80	60	32-90	1.4
Francuska	58.33	68	10-250	75		1.1
Njemačka	81.92	50	4-350	70	13-290	1.4
Irska	3.55	42	1-180	62	10-140	1.5
Luksemburg	0.41	49	14-73			
Holandija	15.58	32	10-60	64	30-100	2.0
Švajcarska	7.22	45	15-120	62	20-200	1.4
Velika Britanija	58.14	34	8-89	60		
Bugarska	8.47	70	48-96	75	57-93	1.1
Mađarska	10.05	61	15-130	95	11-236	1.6
Poljska	38.60	45	18-97	67	28-167	1.5
Rumunija	22.66	59	21-122	83	30-170	1.4
Rusija	148.1	65	12-102	74	24-147	1.1
Slovačka	5.35	67	24-154	79	36-180	1.2
Albanija	3.40	71	20-350	100	20-300	1.4
Kipar	0.76	18	9-52			
Grčka	10.49	56	30-109	67	36-131	1.2
Italija	57.23	74	3-228	105	0-700	1.4
Portugal	9.81	84	4-230	101	4-280	1.2
Slovenija	1.92	56	4-147	75	40-250	1.3
Španija	39.67	76	40-120	110	57-180	1.4
Australija	18.06	93		103		1.1
Novi Zeland	3.6			20	1-73	
Medijana		57	18-93	75	20-200	0.6-2.3
Otežana srednja vrijednost		59		84		1.4

Otežana srednja vrijednost jačine apsorbovane doze zračenja na otvorenom prostoru iznosi 59nGy/h(na globalnom nivou), dok u zemljama svijeta srednja vrijednost varira u opsegu od 18nGy/h do 93nGy/h.(tabela 7)

Iz tabele 7 može se vidjeti da su najniže srednje vrijednosti jačina apsorbovanih doza zračenja na otvorenom prostoru na Kipru,Islandu,Holandiji i Velikoj Britaniji i niže su od 40nGy/h,dok su najveće u Australiji,Maleziji i Portugalu i veće se od 80nGy/h.

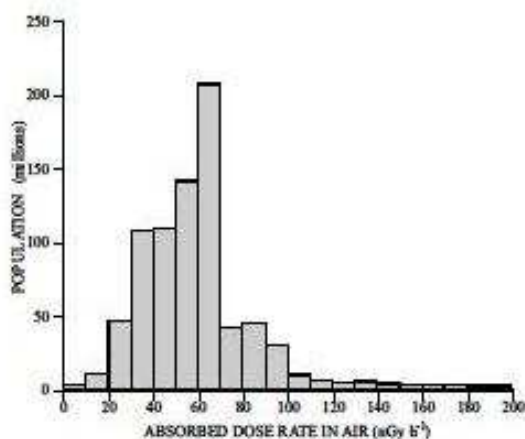
TABELA 8 .POREĐENJA REZULTATA O JAČINI APSORBOVANE DOZE ZRAČENJA NA OTVORENOM PROSTORU DOBIJENE IZ KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA U ZEMLJIŠTU U ODNOSU NA DIREKTNA MJERENJA

Zemlja	Jačina apsorbovane doze zračenja u vazduhu(nGy/h)		
	Iz koncentracija aktivnosti radionuklida	Direktna mjerenja	Odnos
Luksemburg	72	49	1,5
Irska	58	42	1,4
Švedska	77	56	1,4
Indija	69	56	1,2
Kina	107	87	1,2
Norveška	86	73	1,2
USA	55	47	1,2
Švajcarska	49	45	1,1
Kazahstan	65	63	1
Belgija	44	43	1
Portugal	86	84	1
Malezija	93	92	1
Egipat	32	32	1
Slovenija	56	56	1
Rumunija	58	59	1
Kina	58	62	0,9
Poljska	42	45	0,9
Estonija	54	59	0,9
Japan	45	53	0,8
Litvanija	48	58	0,8
Tajland	62	77	0,8
Rusija	52	65	0,8
Bugarska	56	70	0,8
Mađarska	48	61	0,8
Alžir	54	70	0,8
Iran	53	71	0,7
Danska	39	52	0,7
Siriya	33	59	0,6

Na osnovu poređenja rezultata iz tabele 8 primjećujemo da se javljaju određena odstupanja od 30% pa i više.

Kao primjer zemalja gdje se javljaju određena odstupanja, navešćemo Luksemburg i Švedsku gdje su koncentracije aktivnosti ^{40}K u zemljištu jako visoke, dok u Siriji koncentracija aktivnosti svih radionuklida u zemljištu je izuzetno niska.

U nekoliko zemalja procjenjena je raspodjela izloženog stanovništva u odnosu na različit opseg vrijednosti jačina apsorbovane doze zračenja na otvorenom prostoru.



GRAFIK 1. RASPODJELA STANOVNIŠTVA U 25 ZEMALJA U ZAVISNOSTI OD JAČINE APSORBOVANE DOZE ZRAČENJA NA OTVORENOM KOJA JE UZROKOVANA TERESTRIJALNIM ZRAČENJEM

Medijana jačine apsorbovane doze zračenja u vazduhu (uključujući 788 miliona stanovnika u 25 zemalja) kreće se u opsegu od 50 nGy/h do 59 nGy/h. (grafik 1).

Za veću grupu stanovništva u Rusiji medijana se kreće u opsegu od 60 nGy/h do 69 nGy/h.

Svi građevinski materijali u manjoj ili većoj mjeri sadrže prirodne radionuklide, pri čemu se u većini slučajeva koncentracija prirodnih radionuklida u građevinskim materijalima kreće unutar faktora 2 od srednje vrijednosti u Zemljinoj kori.

Radioaktivnost građevinskog materijala zavisi od minerala koji su upotrebljeni za njihovu proizvodnju kao što su granit, aluminijumski škriljac i vulkanski tuf koji imaju povišen sadržaj prirodnih radionuklida.

Pijesak i šljunak imaju specifičnu aktivnost radijuma blisku srednjoj vrijednosti za zemljišta.

Koncentracija radijuma u građevinskim materijalima zavisi i od mjesta proizvodnje sirovine.

Npr. Skandinavske zemlje imaju povišen sadržaj radijuma u odnosu na druge zemlje, zbog vrste zemljišta koje preovlađuju i to najviše vulkanski tuf i granit.

Povećan sadržaj prirodnih radionuklida može nastati kao posledica korišćenja sekundarnih sirovina iz industrijskih postupaka, a to su materijali kao što su elektrofilterski pepeo dobijen sagorijevanjem boksitne rude i druge sekundarne sirovine koje se koriste u prirodi ili se koriste kao konstituent građevinskog materijala.

Podaci o jačini apsorbovane doze zračenja u zatvorenim prostorijama nisu tako potpuni kao oni na otvorenom prostoru (podaci u tabeli 7 obuhvataju 45% svjetske populacije)

Otežana srednja vrijednost jačine apsorbovane doze zračenja u zatvorenom prostoru iznosi 84nGy/h (na globalnom nivou), dok u svijetu srednja vrijednost varira u opsegu od 20nGy/h do 200nGy/h.

Najniže srednje vrijednost jačine apsorbovane doze zračenja u zatvorenim prostorijama su na Novom Zelandu, Islandu i SAD-u i niže su od 40nGy/h, a najviše su u

Mađarskoj, Kini, Portugalu, Austriji i kreću se u opsegu od 95nGy/h do 115nGy/h.

U tabeli 7 dat je i odnos izlaganja u zatvorenom i na otvorenom prostoru.

Ovaj odnos kreće se u opsegu od 0,6 do 2,3 sa otežanom srednjom vrijednošću od 1,4.

Stoga je izlaganje u zatvorenom prostoru (koje potiče od terestrijalnog zračenja) veće za 40% od izlaganja na otvorenom prostoru.

Odnos manji od jedan je zabilježen na Tajandu, Islandu i USA gdje se drvo značajno koristi kao građevinski materijal. Povećanje ovog odnosa (>2) rezultat je povećanja nivoa terestrijalnog zračenja u zatvorenom prostoru (u Švedskoj i Hong Kongu) u odnosu na otvoreni prostor ili sniženog nivoa terestrijalnog zračenja na otvorenom prostoru (Holandija) u odnosu na zatvoreni prostor.

Da bismo procijenili srednju godišnju efektivnu ekvivalentnu dozu uzećemo u obzir faktor konverzije apsorbovane doze u ekvivalentnu u vazduhu od 0,7 Sv/Gy i pretpostavku da stanovništvo u svijetu u prosjeku provodi 80% vremena u zatvorenom prostoru i 20% na otvorenom prostoru.

Komponente godišnje efektivne ekvivalentne doze se određuju na sledeći način:

zatvoreni prostor: $84\text{nGy/h} \cdot 8760\text{h} \cdot 0,8 \cdot 0,7\text{Sv/Gy} = 0,41\text{mSv}$

otvoreni prostor: $59\text{nGy/h} \cdot 8760\text{h} \cdot 0,2 \cdot 0,7\text{Sv/Gy} = 0,07\text{mSv}$

Stoga srednja vrijednost godišnje efektivne ekvivalentne doze koja je uzrokovana terestrijalnim zračenjem iznosi 0,48mSv, dok se u pojedinim zemljama kreće u opsegu od 0,3mSv do 0,6mSv.

4.1. PODRUČJA U SVIJETU SA POVEĆANOM JAČINOM APSORBOVANE DOZE ZRAČENJA U VAZDUHU

U svijetu postoje područja sa povećanom jačinom apsorbovane doze zračenja u vazduhu koja se karakterišu povišenim sadržajem uranovih i torijumovih minerala u zemljištu.

U ovim oblastima jačina apsorbovane doze zračenja u vazduhu može dostići i do nekoliko hiljada nGy/h. Postoje različiti uzroci povišenih nivoa izlaganja u ovim oblastima.

Neki rezultiraju iz naslaga monacitnog pijeska koji ima visok sadržaj torijuma kao što su oblasti Guarpari u Brazilu, Yangjiang u Kini, Kerala i Madras u Indiji ...

Neki su vulkanska zemljišta kao u Minas Gerais u Brazilu, ostrvu Nuie u Pacifiku kao i u nekim djelovima Italije.

Područja povišenih jačina apsorbovanih doza zračenja Ramsar i Mahalat u Iranu su uzrokovana depozitima ^{226}Ra iz voda koje potiču iz termalnih izvora.

Može se primjetiti da izlaganja u visokofonskim područjima mogu varirati sa vremenom kako se depoziti pijeska sa plaža mijenjaju pod uticajem plime. Izgradnja puteva i urbanizacija ovih područja uzrokuju značajno smanjenje prirodnog fona u ovim oblastima.

TABELA 9. PODRUČJA U SVIJETU SA POVEĆANOM JAČINOM APSORBOVANE DOZE ZRAČENJA U VAZDUHU

Zemlja	Oblast	Karakteristika oblasti	Približna populacija	Jačina apsorbirane doze u vazduhu(nGy/h)
Brazil	Guarpari	Monacitni pijesak (priobalni pojas)	73 000	90-170(ulice) 90-90 000(plaže)
	Minas Gerais Pokos de Kaldas	Vulkanske naslage	350	110-1300
Kina	Yangjiang Guangdong	Monacitne čestice	80 000	370 (srednja)
Egipat	Delta Nila	Monacitni pijesak		20-400
Francuska	Centralni region	Granit	70 000	20-400
	Jugozapad	Uranovi minerali		10-10 000
Indija	Kerala	Monacitni pijesak (priobalni pojas)	100 000	200-4000 1800(srednja)
	Delta Ganga			260-440
Iran	Ramsar	Termalni izvori	2000	70-17 000
	Mahalat			800-4000
Italija	Lazio	Vulkansko zemljište	5 100 000	180(srednja)
	Kampanja		5 600 000	200(srednja)
	Orvijedo		21 000	560(srednja)
	Južna Toskana		100 000	150-200
Ostrvo Nuie	Pacifik	Vulkansko zemljište	4500	1100
Švajcarska	Alpi	Prisustvo ^{226}Ra u kraškom zemljištu	300 000	100-200

5.UNUTRAŠNJE IZLAGANJE

Kada se izuzmu radon i njegovi kratkoživeći potomci, unutrašnje izlaganje potiče od terestrijalnih radionuklida koji se unose u organizam ingestijom i inhalacijom.

U tabeli 10 su predstavljeni rezultati mjerenja koncentracija radionuklida iz Th i U niza u vazduhu u nekim zemljama.

Iz tabele 10 vidimo da je najveća koncentracija ^{210}Pb u vazduhu ,dok su koncentracije ostalih radionuklida manje 10,50 i 1000 puta.

U Tabeli 11 data je procjena godišnje efektivne ekvivalentne doze koja potiče od inhalacije radionuklida iz Th i U niza.

TABELA 10. KONCETACIJA RADIONUKLIDA IZ Th i U NIZA U VAZDUHU
(vrijednosti su date u $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

Zemlja	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{228}Th	^{235}U
USA	0,9-5	0,6	0,6	10-1000	10-40	0,4	1	0,04
Njemačka	0,3-1,7	0,3-1,7	1,2-3,3	28-2250	12-80	0,2-0,9		
Holandija				410				
Norveška	0,02-0,06	0,02-0,07				0,01-0,07		
Poljska	1-18		0,8-32	40-710				
Švajcarska				20-2000				
Ref.vrij.	1	0,5	1	500	50	0,5	1	0,5

TABELA 11. PROCJENA SREDNJE GODIŠNJE EKVIVALENTNE DOZE KOJA POTIČE OD INHALACIJE RADIONUKLIDA IZ Th i U NIZA

radionuklid	Koncentra. u vazduhu	Efektivni dozni koeficijent ($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$)			godišnja efe.ekvivalentna doza(mSv)			
		odojčad	djeca	odrasli	odojčad	djeca	odrasli	otež.v.
^{238}U	1	9,4	4	2,9	0,018	0,022	0,021	0,021
^{234}U	1	11	4,8	3,5	0,021	0,027	0,026	0,026
^{230}Th	0,5	35	16	14	0,033	0,045	0,051	0,048
^{226}Ra	1	11	4,9	3,5	0,021	0,027	0,026	0,026
^{210}Pb	500	3,7	1,5	1,1	3,5	4,2	4	4
^{210}Po	50	11	4,6	3,3	1	1,3	1,2	1,2
^{232}Th	0,5	50	26	25	0,048	0,073	0,091	0,084
^{228}Ra	1	10	4,6	2,6	0,019	0,026	0,019	0,021
^{228}Th	1	130	55	40	0,25	0,31	0,29	0,29
^{235}U	0,05	10	4,3	3,1	0,001	0,001	0,001	0,001
ukupno					5	6	5,8	5,8

Godišnja efektivna ekvivalentna doza,kao rezultat inhalacije radionuklida iz Th i U niza koji su prisutni u vazduhu se dobija korišćenjem činjenice da u toku jedne godine odojčad,djeca i odrasli inhalacijom unesu 1900 m^3 , 5600 m^3 i 7200 m^3 vazduha kao i korišćenjem podataka o

efektivnom doznom koeficijentu koji predstavlja očekivanu efektivnu ekvivalentnu dozu po jediničnom unošenju radionuklida inhalacijom i izražava se u $\mu\text{Sv/Bq}$.

Godišnja efektivna ekvivalentna starosna otežana doza koja potiče od inhalacije radionuklida iz Th i U niza iz vazduha iznosi $6\mu\text{Sv}$ i ona uglavnom potiče od Pb-210.

Unos radionuklida ingestijom zavisi od stepena potrošnje hrane i vode kao i koncentracije terestrijalnih radionuklida u njima.

Potrošnja hrane po stanovniku varira širom svijeta u zavisnosti od niza faktora kao što su klima, dostupnost hrane, kultura prehrane i prehrambene navike.

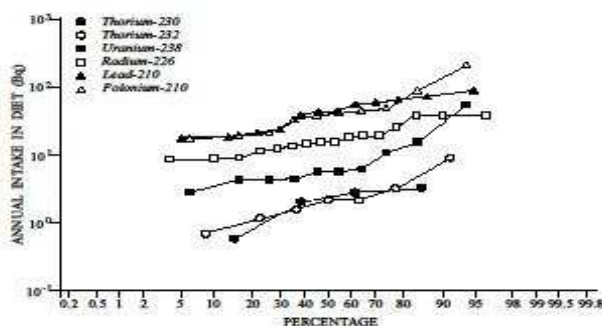
Takođe lokalno proizvedena hrana je znatno dopunjena uvoznim namjericama proizvedenim u drugim regionima i državama.

Procjene unosa hrane za stanovništvo dobijene su na osnovu tržišta hrane za neki region ili statističkih podataka kojima raspolažu pojedine države.

U tabeli 12 su dati podaci o godišnjem unosu radionuklida iz Th i U niza putem ishrane širom svijeta.

TABELA 12. GODIŠNJI UNOS RADIONUKLIDA IZ Th i U NIZA
PUTEM ISHRANE (vrijednosti su date u Bq)

Zemlja	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th	^{235}U
Porto Riko			9,1						
USA	5.5-6.2	2.2-3.7	10-24	16-23	22	1.1-2.2	13-16	7.3-8	
Argentina			9,5		18				
Brazil			40				40		
Kina	57		12-32	75-100	68-130	9,3	66		2,6
Indija	2,9		8,8	46	20	3,3	47		
Japan	3,2-6.6	0,6	9-15	73-80	220	0,6-0,8			
Belgija			16						
Bugarska				22-28					
Češka			40						
Francuska	4,4		14-19	18					
Njemačka	11	3,4	40	62		2,2	17	17	
Italija			11-19	40	40				
Holandija			27						
Poljska	6,4	2,1	19-20	45	44	1,2			
Rumunija	5,8		19	57	51	2,2		2,2	
Rusija	16			58-84	40-55				
Velika Britanija	4,4		11-16	16-30	28-44				
Ref.vrijed.	5,7	3	22	30	58	1,7	15	3	0,2



GRAFIK 2.GODIŠNJA RASPODJELA RADIONUKLIDE IZ Th i U NIZA KOJI SE UNOSE PUTEM ISHRANE

Na grafiku 2 je predstavljena godišnja raspodjela godišnjeg radionuklida iz Th i U koji se unose putem ishrane širom svijeta.

Raspodjela je približno log-normalna i obuhvata red veličine za svaki radionuklid.

Sa grafika vidimo da je su najveće aktivnosti ^{210}Po i ^{210}Pb (koji imaju približni iste raspodjele) dok je najniža aktivnost ^{232}Th i ^{230}Th .

Procjena srednje godišnje efektivne ekvivalentne ingestione doze za radionuklide iz Th i U niza data je u tabeli 13.

TABELA 13.PROCJENA SREDNJE GODIŠNJE EFEKTIVNE EKVIVALENTNE INGESTIONE DOZE ZA RADIONUKLIDE IZ Th i U NIZA

radionuklid	Unesena aktivnost(Bq)			Ekviv.doz.koeficijent ($\mu\text{Sv/Bq}$)			Ingestiona doza(μSv)			
	odojč.	djeca	odrasli	odojč	djeca	odrasli	odojč.	djeca	odrasli	Ote.v.
^{238}U	1,9	3,8	5,7	0,12	0,068	0,045	0,23	0,26	0,25	0,25
^{234}U	1,9	3,8	5,7	0,13	0,074	0,049	0,25	0,28	0,28	0,28
^{230}Th	1	2	3	0,41	0,24	0,21	0,42	0,48	0,64	0,58
^{226}Ra	7,8	15	22	0,96	0,80	0,28	7,5	12	6,3	8
^{210}Pb	11	21	30	3,6	1,9	0,69	40	40	21	28
^{210}Po	21	39	58	8,8	2,6	1,2	180	100	70	85
^{232}Th	0,6	1,1	1,7	0,45	0,29	0,23	0,26	0,32	0,38	0,36
^{228}Ra	5,5	10	15	5,7	3,9	0,69	31	40	11	21
^{228}Th	1	2	3	0,37	0,15	0,072	0,38	0,30	0,22	0,25
^{235}U	0,1	0,2	0,2	0,13	0,071	0,047	0,011	0,012	0,012	0,01
ukupno							260	200	100	140

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna ingestiona doza je procjenjena na osnovu ekvivalentnih doznih koeficijenata za unošenje pojedinačnih radionuklida ingestijom izraženih u $\mu\text{Sv/Bq}$ kao i na osnovu procjene unesene aktivnosti određenog radionuklida putem ishrane.

Efektivna ekvivalentna starosna otežana doza podrazumjeva distribuciju djelova populacije od 0,05,0,3 i 0,65 respektivno za odojčad ,djecu i odrasle.

Otežana srednja godišnja efektivna ekvivalentna starosna ingestiona doza uzrokovana unošenjem terestrijalnih radionuklida ingestijom iznosi $140\mu\text{Sv}$,pri čemu najveći dio ove doze potiče od ^{210}Po .

(tabela 13)

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza koja potiče od unošenja terestrijalnih radionuklida u organizam ingestijom i inhalacijom iznosi $310\mu\text{Sv}$,od čega $170\mu\text{Sv}$ potiče od ^{40}K ,dok preostali dio doze uglavnom potiče od dugoživećih radionuklida iz Th u U niza.

Kako ukupna doza koja potiče od unošenja terestrijalnih radionuklida u organizam nije jako velika,tako ni rasponi u kojima se ona mijenja nisu značajni($0,2\text{mSv/god}$ - $0,8\text{mSv/god}$ na globalnom nivou).

Kalijum je esencijalni element koji je u organizmu pod homeostatskom kontrolom.

Prosječan stanovnik putam hrane u svoj organizam unese godišnje oko 44kBq ^{40}K ,ali se najveći dio izluči ekstremumima i ravnotežni sadržaj u organizmu žena je $4,2\text{kBq}$,a muškaraca $4,2\text{kBq}$.

Podaci o koncentraciji aktivnosti radionuklida iz Th i U u različitim tkivima u nekim zemljama dati su u (tabelama 14-20)

Tabela 14. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{238}U U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Nigerija					340
Kanada					120
USA	6,2-15	1,5-4,1	4,8-12		11-52
Brazil					130-150
Kina		27			410
Indija	21	3	4,2	5,3	140
Japan					17-59
Nepal					110
Austrija			62		10
Velika Br.		3,1		2,4	150
Srbija i Crna					2,7
Rusija	67-84	72-140	66-68	81-95	74-120
Australija					23
Medijana	21	3	27	5	100
Ref.vrij.	20	3	30	5	100

Tabela 15. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{230}Th U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Nigerija					110
Kanada					41
USA	12-31	6	6-11		45-130
Kina	29	27			120 (58-220)
Japan	19	12	1	1,4	24
Medijana	19	9	5	1	76
Ref.vrij.	20	9	5	1	20-70

Tabela 16. KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI ^{226}Ra U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
16 zemalja	3,6	3,6	3,6	3,6	230
31 zemlja	4,1	4,1	4,1	4,1	260
Ref.vrij.	4,1	4,1	4,1	4,1	260

Tabela 17. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{210}Pb U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Finska		90	170	30	2400
Rusija	240	450	270	140-270	5000
Japan	240	560	430	30-230	2600
USA	230	340	160	140	
Medijana	240	400	220	110	2600
Ref.vrij.	200	400	200	100	3000

Tabela 18. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{210}Po U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Finska		510	490	110	2200
Rusija	330	970	760	110-220	2400
Velika Brit.	200	630	640	120	2200
Japan	370	1700	1200	40-310	2600
USA	190	410-540	420	130-220	2900
Medijana	270	630	640	120	2400
Ref.vrij.	200	600	600	100	2400

Tabela 19. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{232}Th U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Nigerija					86
Kanada					15
USA	9,1-32	2,2-30	1,9-4,1		21-35
Kina	38				68(34-140)
Indija	24	3,6	6,8	2,2	8
Japan	22	2,1	1	0,8	11
Velika Br.	22				62
Srbija i Crna					50
Medijana	22	3	3	1	38
Ref.vrij.	20	3	3	1	6-24

Tabela 20. KONCENTRACIJA AKTIVOSTI ^{228}Ra U TKIVIMA
(vrijednosti su date u mBq/kg)

ZEMLJA	PLUĆA	JETRA	BUBREZI	MIŠIĆI	KOSTI
Nigerija					320
Kanada					23
USA	9-10	2,6-3,3	2,6-3,3		39-230
Kina	41				290(140-570)
Japan	19	3,9	1,3	1,5	100
Medijana	19	3	2	2	100
Ref.vrij.	20	3	2	2	100

Uranijum i uranijumovi potomci su značajni alfa emiteri, ali obzirom na kratak domet alfa-čestice, štetno radijaciono dejstvo se ispoljavaju tek unešeni u čovjekov organizam. Pored štetnog radijacionog dejstva, uranijum unesen u organizam izaziva i specifičan intoksikacioni efekat čiji karakter zavisi od načina na koji je došlo do intoksikacije (ingestija, inhalacija), kao i od vrste uranijumovog jedinjenja koje ju je izazvalo (lakorastvorno-uranijum u stanju U^{6+} , slaborastvorno-uranijum u stanju U^{4+}). Oko 70% rastvornog oblika uranijuma koji je inhalacijom ili ingestijom dospio u krvotok, izluči se preko urina u toku prvih 24 sata. Ostatak se deponuje u bubrezima i kostima gdje radijacionim dejstvom na koštano srž uslovljava specifične biohemijske promjene krvi. Patomorfološka ispitivanja mogu pokazati i izmjene na plućima, limfnim čvorovima, jetri. Koncentracija aktivnosti uranijuma je približno ista u različitim tipovima kostiju (pršljenovi, rebra, butne kosti).

Relativni sadržaj ^{238}U u skeletu iznosi 500mBq, uzimajući da je referentna vrijednost koncentracije aktivnosti ^{238}U u kosti iznosi 100mBq/kg.

Fisenne i Welford su zabilježili da se koncentracija aktivnosti ^{238}U u pršljenovima kod stanovnika Njujorka povećala dva puta u opsegu od 14 do 73 godine, dok se u plućima povećala tri puta tokom istog perioda. Značajnije varijacije nisu primjećene u jetri i bubrezima.

Liangquin i Guiyun nisu primjetili značajnija odstupanja u koncentraciji aktivnosti ^{238}U u kostima odraslih stanovnika Pekinga, ali je koncentracija ^{238}U u kostima kod djece bila dva puta veća nego kod odraslih.

Širok opseg koncentracija aktivnosti urana u uzorcima iz Pekinga (94-2600 mBq/kg u suvoj kosti) najbolje ilustruje velike razlike.

Srednja vrijednost koncentracija aktivnosti uranijuma u mekim tkivima iznosi 3mBq/kg, mada su određena mjerenja pokazala veće koncentracije uranijuma u plućima i bubrezima.

Prateći proces unošenja radionuklida u organizam ingestijom i inhalacijom, torijum se deponuje na površini kosti i zadržava tokom dugog perioda.

Na osnovu referentnih koncentracija aktivnosti koje su date u tabeli 15 i znajući da su mase kortikalne i trabekularne kosti 4kg i 1kg može se procijeniti maksimalno opterećenje (body burden) za ^{230}Th i ^{232}Th od: 210mBq i 70mBq.

U tabelama 12-18 dati su i podaci o koncentracijama aktivnosti ^{226}Ra , ^{210}Pb i ^{210}Po u raznim tkivima.

Radijum je dugoživeći alfa emiter (u organizmu se tretira kao i kalcijum) koji se ugrađuje se u površinski mineralizirani sloj kosti i deponovan tamo dugo ozračuje koštano tkivo i izaziva sarkom kostiju.

Na osnovu serije mjerenja dobijene iz 16 zemalja UNSCEAR (1977 godina), srednja aritmetička vrijednost koncentracije aktivnosti radijuma u suvoj kosti je iznosila 300mBq/kg.

Kako se dio radijuma koji se unosi u organizam raspoređuje u mekim tkivima (17%) srednja vrijednost koncentracije aktivnosti u mekim tkivima je iznosila oko 4,8 mBq/kg.

Otežane srednje vrijednosti koncentracija aktivnosti ^{226}Ra za istu seriju mjerenja su nešto niže i iznose 230mBq/kg i 3,6mBq/kg za kosti i meka tkiva.

Na osnovu proširene serije mjerenja u 31 zemlji (koja obuhvata 60% populacije) Fishenne je nedavno publikovao vrijednost medijane od 260 Bq/kg za ^{226}Ra u kostima, dok je srednja otežana vrijednost koncentracije aktivnosti 310mBq/kg.

^{210}Pb se deponuje u kostima, dok se ^{210}Po nakon unošenja u organizam uglavnom raspoređuje u mekim tkivima.

Neka ranija mjerenja su pokazala da je odnos koncentracija aktivnosti $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ u kostima 0,8, dok je taj odnos u plućima i ostalim mekim tkivima 0,5 i 1 respektivno.

Mjerenja pokazuju da je koncentracija aktivnosti ^{210}Po u plućima pušača oko tri puta veća u odnosu na nepušače.

5.1.Radon

Globalna opasnost po zdravlje stanovništva i visok učinak ovog inertnog gasa su osnovni razlozi zašto je radon u posljednje vrijeme veoma aktuelan u svijetu.

Period poluraspada radona je 3,82 dana i njegovim raspadanjem nastaju kratkoživeći potomci ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po i dugoživeći ^{210}Pb čiji je period poluraspada 22,3 godine.

Radijum je predek radona i najveća količina radona u zemljištu upravo potiče od radijuma, koji je vezan za magnezijum, kalcijum ili barijum.

Radijum je široko rasprostranjen u zemljištu i može biti u ravnoteži sa ^{238}U pri čemu njegova koncentracija zavisi od tipa zemljišta i mogućih kontaminenata iz spoljašnjosti.

Radon do površine dospjeva procesom difuzije kroz pore i šupljine pri tome se vezuje za vazduh ili vodu dok je u podzemlju.

Usled interakcije podzemnih voda sa stijenama ili rudama dolazi do prevođenja određenih radionuklida u mobilnu fazu a samim tim i do razdvajanja radionuklida zbog razlike u geohemijskim osobinama.

Proces difuzije u unutrašnjosti zemljišta je moguć usled razlike koncentracija radona, pri razmatranju vertikalne raspodjele.

Što je zemljište više porozno ono ima veći koeficijent difuzije, pa određene vrste zemljišta koje imaju višu vrijednost koeficijenta difuzije više propuštaju radon, tako da se može reći da je u zavisnosti od karakteristika samog zemljišta zavisi količina radona koja emanira iz zemljišta. Stijene koje oslobađaju najveću koncentraciju radona su granitne i vulkanske, aluminijumski škriljci a sedimentne stijene sadrže niže koncentracije ovog gasa, ali su one i manje porozne pa zato vrše manju emisiju u spoljašnjost.

Detaljnije analize pokazuju da između 10% i 50% ukupno nastalih jezgara radona u površinskom sloju zemljišta uspije da emanira u atmosferu.

Zemljišta su klasifikovana u zavisnosti od distribucije veličine najmanjih djelića-veličina granulacije.

Poroznost zemljišta pri izučavanju procesa difuzije radona zavisi od stepena i veličine pora u zemljištu, što su pore veće i ako je učešće pora veće onda je stepen difuzije radona veći.

Takođe je bitan faktor vlažnost zemljišta, gdje mali stepen vlažnosti zemljišta omogućava veći stepen difuzije radona kroz zemljište.

Ukoliko je veći stepen vlažnosti zemljišta, onda su pore popunjene sa vodom i onemogućen je intenzivan proces difuzije radona kroz zemljište.

Prostiranje radona kroz vazduh zavisi od meteoroloških uslova kao što su temperatura, atmosferski pritisak i vjetar a svi ovi faktori su povezani sa dnevnom satnicom. Koncentracija radona na otvorenom i u zgradama temeljno se proučava zbog zdravstvenih razloga.

Dnevne varijacije koncentracije radona su vezane za atmosferske promjene, pa je oko ponoći i u ranim jutarnjim časovima prisutna maksimalna koncentracija radona usled temperaturske inverzije koja sprečava vertikalno strujanje vazduha.

Nakon svitanja dolazi do postepenog zagrijavanja tla i do izdizanja vazduha sa površine tla i tada dolazi do smanjenja koncentracija radona.

Kako radon ima dugo vrijeme poluživota on se može daleko prenjeti od mjesta formiranja vazдушnim tokom, dok kratko vrijeme poluraspada torona (55s) sprečava njegovu difuziju na veća rastojanja (iako treba imati u vidu da je torijum češće izotopski obilniji od urana u zemljištu).

Srednja vrijednost koncentracije radona na otvorenom uz površinu zemlje kreće se (5-15) Bq/m³

Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama zavisi od različitih faktora:

1. građevinskih materijala
2. sastava tla na kome leži građevina, stijena i zemlje
3. koncentracije Rn u vodovodnoj vodi
4. meteoroloških uslova koji utiču na brzinu toka gasa u zgradi
5. ventilacije zgrade
6. raspada radona

Putevi ulaska radona u unutrašnjost zgrada su otvori i pukotine u betonskim pločama i blokovima, loše veze između zidova i ploča loša izolacija između pojedinih građevinskih materijala odvodne cijevi i drugo.

Gradijent pritiska pokreće vazduh gdje je stalno prisutan niži pritisak u zatvorenim prostorijama s sa njim i radon kroz građevinske materijale pa se može reći da radon iz zemlje i procesom advekcije ulazi u zatvorene prostorije.

TABELA 21. KONCENTRACIJA RADONA U ZATVORENIM PROSTORIJAMA ŠIROM SVIJETA (data u Bq/m³)

Zemlja	Populacija (milioni)	Aritmetička sredina	Geometrijska sredina	Maksimalna vrijednost	Standardna devijacija
Alžir	28.78	30		140	
Egipat	63.27	9		24	
Gana	17.83			340	
Kanada	29.68	34	14	1720	3.6
USA	269.4	46	25		3.1
Argentina	35.22	37	26	211	2.2

Čile	14.42	25		86	
Paragvaj	4.96	28		51	
Kina	1232	24	20	380	2.2
Hong Kong	6.19	41		140	
Indija	944.6	57	42	210	2.2
Indonezija	200.45	12		120	
Japan	125.4	16	13	310	1.8
Kazahstan	16.82	10		6000	
Malezija	20.58	14		20	
Pakistan	140.0	30		83	
Tajland	58.7	23	16	480	1.2
Jermenija	3.64	104		216	1.3
Iran	69.98	82		3070	
Sirija	14.57	44		520	
Danska	5.24	53	29	600	2.2
Estonija	1.47	120	92	1390	
Finska	5.13	120	84	20000	2.1
Litvanija	3.73	55	22	1860	
Norveška	4.35	73	40	50000	
Švedska	8.82	108	56	85000	
Austrija	8.11		15	190	
Belgija	10.16	48	38	12000	2.0
Francuska	58.33	62	41	4690	2.7
Njemačka	81.92	50	40	<10000	1.9
Irska	3.55		37	1700	
Luksemburg	0.41	110	70	2500	2.0
Holandija	15.58	23	18	380	1.6
Švajcarska	7.22	70	50	10000	
Velika Brit.	58.14	20		10000	
Bugarska	8.47		22	250	
Češka	10.25	140		20000	
Mađarska	10.05	107	82	1990	2.7
Poljska	38.60	41	32	432	2.0
Rumunija	22.66	45		1025	
Slovačka	5.35	87		3750	
Kipar	0.76	7	7	78	2.6
Grčka	10.49	73	52	490	
Italija	57.23	75	57	1040	2.0
Portugal	9.81	62	45	2700	2.2
Slovenija	1.92	87	60	1330	2.2
Španija	39.67	86	42	15400	3.7
Australija	18.06	11	8	420	2.1
Novi Zeland	3.60	20	18	90	
Medijana		46	37	480	2.2
Srednja vr.		39	30	1200	2.3

Kao najrealnija vrijednost za srednju godišnju koncentraciju radona u zatvorenim prostorijama uzima se aritmetička sredina svih rezultata. Ova vrijednost najviše odgovara realnim uslovima života i odslikavaju prosječnu izloženost radonu.

Aritmetička i geometrijska sredina koncentracija radona od 40 Bq/m^3 i 30 Bq/m^3 odgovara raspodjeli radona u zatvorenim prostorijama širom svijeta sa standardnom devijacijom od 2,5. Za karakterizaciju kontaminacije atmosfere radonom i njegovim kratkoživećim potomcima koristi se nekoliko fizičkih veličina:

- ekvivalentna doza koja predstavlja dozu mjerenu osjetljivošću raznih tkiva na zračenje
 - zapreminska aktivnost radona predstavlja aktivnost radona u jedinici zapremine i izražava se u Bq/m^3
 - ukupna energija emitovanih alfa-čestica za jedan atom u lancu raspada radona. Ova vrijednost se može očitati sa tablica radioaktivnih lanaca
 - koncentracija potencijalne energije (PAEC) je suma potencijalnih alfa energija u jednom kubnom metru vazduha bilo koje smješe kratkoživećih radonovih ili toronovih potomaka. Jedinica za PAEC je vansistemska WL-Working Level. Jednom WL odgovara energija alfa zračenja od $1,3 \cdot 10^{14} \frac{\text{eV}}{\text{m}^3}$.
 - ravnotežna ekvivalentna koncentracija radona (EEC) odnosi se na ravnotežnu smještu kratkoživećih radonovih potomaka u vazduhu i ako je koncentracija radona u radioaktivnoj ravnoteži sa njegovim potomcima koji imaju isti PAEC kao i neravnotežna smješa na koju se odnosi
 - faktor ravnoteže (F) se definiše kao količnik ravnoteže ekvivalentne koncentracije radona C_e i stvarne koncentracije radona C_o
- $$F = C_e / C_o \quad (4)$$

Uticaj radona na živi svijet vrši se primarno jonizacijom koju vrše atomi radona na atome u tkivima živog svijeta.

Uticaj jonizovanih atoma na funkciju ćelije je veliki i ukoliko je veći broj atoma u ćeliji jonizovan, dolazi do disbalansa u pojedinim ćelijama.

Manifestovanje negativnih efekata kod čovjeka (usled jonizacije u ćelijama) je pojava malignih oboljenja, upravo usled promjena u načinu funkcionisanja grupa ćelija.

Potrebno je poznavati ponašanje radonovih potomaka u atmosferi, jer je njihov doprinos radijacionom zdravstvenom riziku veći od samog radona.

Oko 80% novoformiranih potomaka je pozitivno naelektrisano i hemijski su veoma aktivni, pa interaguju sa negativnim jonima u atmosferi prirajajući se za prirodne aerosoli.

Nepripojeni potomci se kao slobodni klasteri od samo nekoliko molekula lebde u vazduhu i imaju najizraženiji negativni zdravstveni rizik.

Kada se radon i njegovi kratkoživeći potomci, (slobodni ili pripojeni) udahnu zadržavaju se djelimično u nosu, usnoj šupljini ili gornjim djelovima traheje.

Odgovarajući odnos apsorbovane doze je 95% u traheo-bronhijalnom dijelu, a samo 5% za gornje djelove disajnih puteva.

Da bi procjenili srednju godišnju efektivna ekvivalentnu dozu koja potiče od inhalacije radona i njegovih potomaka pretpostavimo da prosječan stanovnik provede 80% vremena godišnje u zatvorenom prostoru (gdje je aritmetička sredina koncentracije radona $40\text{Bq}/\text{m}^3$), a ostatak vremena provede na otvorenom prostoru.

Uzevši da su vrijednosti faktora ravnoteže na otvorenom i u zatvorenom prostoru 0,6 i 0,4 kao i vrijednost doznog konverzionog faktora od $9\text{nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1}$ dobijamo sledeće vrijednosti za ekvivalentnu dozu:

U zatvorenom prostoru: $40\text{Bqm}^{-3} \cdot 0,4 \cdot 7000\text{h} \cdot 9\text{nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1} = 1\text{mSv}$

Na otvorenom prostoru: $10\text{Bqm}^{-3} \cdot 0,6 \cdot 1760\text{h} \cdot 9\text{nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1} = 0,095\text{mSv}$

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza koja potiče od inhalacije radona i njegovih potomaka iznosi $1,15\text{mSv}$.

Koncentracija torona na otvorenom prostoru iznosi 10Bqm^{-3} , što približno odgovara i koncentraciji torona u zatvorenom prostoru.

Proračun efektivne ekvivalentne doze za toron dobijamo uz korišćenje podataka o ekvivalentnoj ravnotežnoj koncentraciji torona, težinskog faktora za toron, vrijednost doznog konverzionog faktora od 40nSv za toron, kao i činjenice koliko prosječan stanovnik provede na otvorenom i u zatvorenom prostoru.

U zatvorenom prostoru: $0,3\text{Bqm}^{-3} (EEC) \cdot 0,4 \cdot 7000\text{h} \cdot 40\text{nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1} = 0,084\text{mSv}$

Na otvorenom prostoru: $0,1\text{Bqm}^{-3} (EEC) \cdot 0,6 \cdot 1760\text{h} \cdot 40\text{nSv}(\text{Bqhm}^{-3})^{-1} = 0,007\text{mSv}$

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza koja potiče od inhalacije torona i njegovih potomaka iznosi $0,09\text{mSv}$.

6. PRIRODNI PROMJENJENI RADIONUKLIDI LJUDSKIM UTICAJEM (BEZ NUKLEARNIH TEHNIKA)

Čovjek je počeo da učestvuje u emisiji, širenju i distribuciji radioaktivnih supstancija kada je naučio da koristi vatru, počeo sa upotrebom vještačkih đubriva i vađenjem ruda i minerala.

Primjenom vatre, pored ^{14}C oslobađaju se uran i torijum.

Poljoprivrednim tehnikama, kao što je obogaćivanje i navodnjavanje radionuklidi su unošeni u obradivo zemljište.

Rudarskim tehnikama se pored metala, nesvjesno oslobađaju i radionuklidi u životnu sredinu.

Izloženost prirodnim, zbog ljudske djelatnosti promjenjenim radionuklidima uslovljena je tehnološkim poboljšanjima, kao što je pri putovanju avionima veća izloženost kosmogenim radionuklidima, kao i život u blizini termoelektrana.

6.1.Sagorjevanje fosilnih goriva

Otkrićem uglja, nafte, gasa i treseta kao goriva na početku industrijalizacije, emitovanje radionuklida se znatno uvećalo.

Globalna proizvodnja uglja 1985 godine iznosila je $3,1 \cdot 10^{12}$ kg.

Najveći proizvođači bili su: Kina $8,1 \cdot 10^{11}$ kg, SAD $7,4 \cdot 10^{11}$ kg i Sovjetski Savez $4,9 \cdot 10^{11}$ kg.

Ugalj sadrži primordijalne radionuklide ^{40}K , ^{238}U i ^{232}Th , kao i njihove potomke.

TABELA 22. KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI PRIRODNIH RADIONUKLIDA U UGLJU, PEPELU I ŠLJACI IZ TERMOELEKTRANA

	KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI			(Bq/kg)
	UGALJ		PEPEO	ŠLJAKA
	U SVIJETU	KINA		
^{238}U	1-1300	36	200	48-100
^{232}Th	2-320	30	30	44-120
^{226}Ra	7-100		240	4-250
^{210}Pb	10-50		930	30-3900
^{210}Po	10-41		1700	7-190
^{228}Th			110	90-560
^{228}Ra	13-35		130	20-67
^{40}K	1-800	104	265	240-1200

Analiza 800 uzoraka uglja sa područja SAD je pokazala koncentraciju aktivnosti ^{238}U u intervalu (1-1000)Bq/kg, dok Kina koja ima 26% svjetske proizvodnje uglja ima veću srednju vrijednost.

Iako koncentracija aktivnosti ^{238}U varira i do tri reda veličine, njena srednja vrijednost je konstantna.

Za godišnju proizvodnju 1GW električne energije potrebno je oko $3 \cdot 10^9$ kg uglja.

Oko 40% ukupne količine iskopanog uglja troši se u termoelektranama za proizvodnju električne energije, dok se 50% koristi za proizvodnju koksa ili u industriji, a preostalih 10% se koristi u domaćinstvu.

Kada se posmatra oslobađanje radionuklida iz uglja, mora se uzeti u obzir cio proces-od iskopavanja u rudarskim basenima, preko sagorjevanja, do taloženja pepela i šljake.

Ciklus počine iskopavanjem uglja u rudnicima, gdje se ventilacijom oslobađaju radon, toron i drugi radioaktivni gasovi i drugi gasoviti potomci iz tri radioaktivna niza.

U ovom procesu godišnje se oslobodi (30-800)TBq radona u atmosferu.

Tokom sagorjevanja u termoelektranama na temperaturama od 1700°C ugalj se pretvara u pepeo, dok se nesagorene organske materije kao šljaka nakupljaju u kotlovima.

Isparljivi minerali i pepeo u većoj ili manjoj mjeri, u zavisnosti od sistema za prečišćavanje se oslobađaju u atmosferu.

Sagorjevanjem organskih komponenti u uglju, zapremina uglja se smanjuje na pepeo i šljaku što neminovno dovodi do koncentrisanja radionuklida u njima. Zbog toga su koncentracije prirodnih radionuklida u pepelu i šljaci iz termoelektrana značajno veće od njihovih koncentracija u Zemljinoj kori.

Velike količine pepela i šljake ostaju nakon sagorjevanja fosilnih goriva u termoelektranama, oko $2,8 \cdot 10^8$ t, jedan dio se koristi za proizvodnju cementa i betona, kao i izgradnju puteva i u poljoprivredi kao đubrivo.

Nema zvaničnih podataka o količinama oslobođenih radionuklida sagorjevanjem uglja u domaćinstvima ali pretpostavlja se da se oslobodi $0,7 \text{ TBq } ^{40}\text{K}$ i $0,3 \text{ TBq}$ radionuklida koji pripadaju U i Th serijama izuzimajući toron i radon.

Sagorjevanjem nafte i prirodnog gasa oslobađa se mnogo manja količina pepela, kao i radionuklida.

U termoelektranama koje koriste naftu potrebno je oko $2 \cdot 10^9$ kg nafte za proizvodnju 1GW električne energije.

Za proizvodnju 1GW električne energije u termoelektranama koje koriste prirodan gas potrebno je oko $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ tog energenta.

U Švedskoj i Finskoj treset se koristi kao organsko gorivo za proizvodnju električne energije. Treset može da sadrži od 40 pa do $1000 \text{ Bq/kg } ^{238}\text{U}$.

6.2. Vještačka đubriva

Fosfatne stijene sadrže prirodne radionuklide ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K kao i potomke tri radioaktivna niza.

U tabeli 23 dat je pregled koncentracija aktivnosti radionuklida koji se nalaze u fosfatnim stijenama na nekim područjima.

TABELA 23. KONCENTRACIJSKA AKTIVNOST PRIRODNIH RADIONUKLIDA U FOSFATNIM STIJENAMA IZ RAZLIČITIH ZEMALJA

	KONCENTRACIJSKA AKTIVNOST			(Bq/kg)
	^{232}Th	^{238}U	^{226}Ra	^{40}K
Kina	25	150	150	
Maroko	20-30	1500-1700	1500-1700	10-200
Rusija	25-92	44-90	30-390	44-230
USA	10-78	150-4800	150-4800	48

Pri upotrebi vještačkih đubriva povećava se sadržaj ^{238}U u zemljištu, a kao posledica i u biljkama i drugim karikama ishrane.

Ukoliko se fosfatno đubrivo proizvodi iz fosfatnih ruda sa visokim sadržajem uranijuma(Maroko,Jordan),gotovo sav sadržaj uranijuma prelazi u superfosfat,pa tako poljoprivredni regioni(zajedno sa površinskim i podzemnim vodama) postaju oblasti malog,ali trajnog povećanja prirodne radioaktivnosti.

Nuzprodukt proizvodnje superfosfara-fosfogips u istim procesu nosi sa sobom radijum iz uranovog niza,pa tako deponije ovog materijala,uglavnom skoncentrisane na pojedinim mjestima predstavljaju lokalitete sa primjetno povećanom koncentracijom radionuklida iz uranovog niza. Fosfatna đubriva sadrže po 1kg P_2O_5 od (1700-9200)Bq ^{238}U i (480-1700)Bq ^{222}Ra .

6.3.Rudarstvo

Pri dobijanju mineralnih sirovina-metala i nemetala,oslobađaju se prirodni radionuklidi koji se nalaze u Zemljinoj kori.

Eksploatacijom i preradom mineralnih sirovina radionuklidi se oslobađaju u biosferu.

Pijesak cirkonijuma ili monocitat sadrži ^{238}U i ^{232}Th sa koncentracijom aktivnosti većom od 500 Bq/kg što ne predstavlja problem za radon.

Proizvodi od gline i ilovače,na primjer cigle i keramika,su u širokoj upotrebi.

Pri proizvodnji gline godišnje se oslobodi više od 1TBq ^{222}Rn ,dok u pećima za sušenje pri temperaturama većim od 1100°C oslobađaju se ^{210}Pb i ^{210}Po .

Procjenjuje se da se u rudnicima bakra oslobađa ^{222}Ra ,dok topionice bakra rasijavaju $^{238,234}U$, $^{232,230}Th$, ^{210}Pb .

Takođe jalovišta na koja se deponuju ostatci od prerade rude takođe predstavljaju lokalitete sa povišenom prirodnom radioaktivnošću.

6.4.Tricijum,Kripton i Torijum

Mnogi proizvodi u svakodnevnoj upotrebi sadrže radioaktivne supstancije,na primjer luminiscentne boje,elektrostatički i antistatički uređaji i detektori dima.

Detektori dima sadrže i do 259MBq ^{85}Kr ,dok elektronske cijevi od (37-185)kBq.

Do skoro torijum se u obliku oksida koristio za pravljenje gasnih lampi,oko (250-400) mg torijuma po lampi.

Tokom rada otpušteni su radionuklidi ^{224}Ra , ^{212}Bi i ^{212}Pb ,tako da je zbog radioaktivnosti isparenja prestala njihova proizvodnja.

Takođe torijum se koristio kao dodatak nekim vrstama stakla i keramike kao i elektrodama za zavarivanje.

Mnogo ovih proizvoda odbačeno je zbog nedostataka i obično su odlagani na mjesta koja nisu predviđena za odlaganje radioaktivnih supstancija.

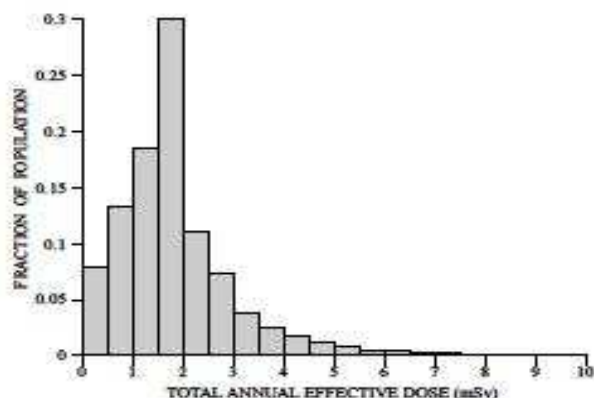
7.ZAKLJUČAK

U nekoliko zemalja procjenjena je raspodjela populacije(koja je data u milionima) u odnosu na različite opsege izlaganja prirodnim izvorima zračenja.

Podaci predstavljeni u tabelu 24 su kombinovani sa raspodjelom prikazanom na grafiku 3.

TABELA 24.RASPODJELA POPULACIJE U ODNOSU NA UKUPNO IZLAGANJE PRIRODNIM IZVORIMA ZRAČENJA

Zemlja	GODIŠNJA EFEKTIVNA EKVIVALENTNA DOZA(mSv)										
	<1,5	1,5-1,9	2-2,99	3-3,99	4-4,99	5-5,99	6-6,99	7-7,99	8-8,99	9-9,99	>10
Kina		1130	4370	770	160	46	11	5	5		
Japan	60211	63306	1247								
Malezija	12490	4240									
Danska		800	2800	900	400	200	50	30	30	20	20
Finska	223	1376	2039	687	310	154	87	82	37	29	123
Litvanija	1680	854	770	275	80	14	28	19	5	5	
Belgija	280	3300	4500	1400	440	150	70	30	14	7	29
Holandija	14023	779	701	39	39						
Bugarska		990	6051	1836							
Mađarska	560	2101	3325	1683	1010	633	388	184	102	61	153
Rumunija		4653	8717	5312	2951	567	500				
Rusija	80941	32000	20027	6642	3067	1685	1029	675	465	333	1236
Albanija	50	200	2500	300	300	100	50				
Italija	150	15125	25800	7825	4175	2175	1025	500	150	150	200
Portugal	3650	2076	1994	792	770	113	39				
UKUPNO	174258	131800	80471	27691	13542	5791	3266	1520	803	605	1761



GRAFIK 3.RASPODJELA POPULACIJE U 15 ZEMALJA U ODNOSU NA UKUPNU EFEKTIVNU EKVIVALENTNU DOZU

Srednja godišnja efektivna ekvivalentna doza za datu raspodjelu iznosi 2mSv.

Raspodjela raste u nekoliko doznih intervala do maksimuma izlaganja i onda opada sa karakterističnim repom date raspodjele.

Da bi se dobila glatka kriva ona je dodatno izdjeljena.

Opšti oblik raspodjele je potpuno relevantan.

U Tabeli 25 prikazano je usrednjeno izlaganje prirodnim izvorima zračenjima širom svijeta.

TABELA 25.USREDNJEANO IZLAGANJE PRIRODNIM IZVORIMA ZRAČENJA ŠIROM SVIJETA

IZVORI ZRAČENJA	GODIŠNJA EFE. EKVIVALENTNA DOZA(mSv)	
	SREDNJA	OPSEG
KOSMIČKO ZRAČENJE		
jonizaciona komponenta	0,30	
neutronska komponenta	0,08	
kosmogeni radionuklidi	0,01	
UKUPNO	0,39	0,3-1
TERESTERIJALNO ZRA.		
na otvorenom prostoru	0,07	
u zatvorenom prostoru	0,41	
UKUPNO	0,48	0,3-0,6
INHALACIJA		
Radionuklidi iz U i Th niza	0,006	
Radon	1,15	
Toron	0,10	
UKUPNO	1,26	0,2-10
INGESTIJA		
K	0,17	
Radionuklidi iz U i Th niza	0,12	
UKUPNO	0,29	0,2-0,8
UKUPNO	2,4	1-10

Iz tabele 25 vidimo da se godišnja efektivna ekvivalentna doza na svjetskom nivou kreće u opsegu od 1 do 10mSv sa srednjom vrijednošću od 2,4mSv.

LITERATURA

1. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects Of Atomic Radiation) 2000. Source and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York
Annex B: Exposures from natural radiation sources
2. K.N. MUKHIN; Experimental Nuclear Physics. Vol II. Moscow 1987
3. RICHARD TYKVA, DIETER BERG; Man-Made and Natural radioactivity in Environmental Pollution and Radiochronology; Kluwer Academic Publisher 2004
4. J. SLIVKA, I. BIKIT, M. VESKOVIĆ, L.J. ČONKIĆ; Gama spektrometrija, specijalne metode i primene
5. Bogdanský D.; Nuclear Energy, Principles and Prospects; Springer 2004
6. Ivan Draganić; Radioaktivni izotopi i zračenja; Beograd 1981

BIOGRAFIJA

Rođen sam u Sarajevu, 1.08.1981 godine. Osnovnu školu "Radojica Perović" završio sam u Podgorici. Dalje školovanje sam nastavio u gimnaziji "Petar I Petrović Njegoš" u Danilovgradu. U periodu od 2000 do 2005 godine pohađao sam osnovne studije na Prirodno-Matematičkom fakultetu u Podgorici, odsjek za fiziku, smjer istraživački. Školske 2010/2011 upisao sam master studije na Prirodno-Matematičkom fakultetu, departman za fiziku, istraživački modul-usmjerenje nuklearna fizika.



KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada: VR	Master rad
Autor: AU	Popović Vladimir
Mentor: MN	Dušan Mrđa
Naslov rada: NR	Globalna raspodjela prirodne radioaktivnosti
Jezik publikacije: JP	srpski(latinica)
Jezik izvoda: JI	srpski/engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2012
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mjesto i adresa: MA	Prirodno-matematički fakultet,Trg Dositeja Obradovića 4,Novi Sad
Fizički opis rada: FO	7 poglavlja/34 strane/25 tabela/3 slike/3 grafika
Naučna oblast: NO	Fizika
Naučna disciplina: ND	Nuklearna fizika
Predmetna odrednica/ključne riječi: PO	Prirodna radioaktivnost
Čuva se: ČU	Biblioteka departmana za fiziku,PMF Novi Sad
Važna napomena: VN	nema
Izvod: IZ	

Datum prihvatanja teme od NN vijeća: DP	
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: KO	

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Documentation type: TD	Monograph publication
Type of record: TR	Textual printed material
Content code: CC	Final paper
Author: AU	Popović Vladimir
Menthor: MN	Dušan Mrđa
Title: TI	Global distribution of natural radioactivity
Language of text: LT	Serbian(latin)
Language of abstract: LA	English
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2012
Publisher: PU	Author reprint
Place publication: PP	Faculty of Science and Mathematics Trg Dositeja Obradovića 4,Novi Sad
Physical description: PD	7 chapters/34 pages/25 tables/3 pictures/3 graphs
Scientific field: SF	Physics
Scientific discipline: SD	Nuclear physics
Subject/Key words: S/KW	Natural radioactivity
Holding data: HD	Library of Department of Physics Novi Sad
Note: N	none
Abstract: AB	

Accepted by the scientific board: ASB	
Defended on: DE	
Thesis defend board: DB	

