

## TEHNIKE MJERENJA PRODUKATA RASPADA RADONA U ZRAKU

## THE MEASUREMENT TECHNIQUES RADON DAUGHTERS IN AIR

**Mr. Zejnil Trešnjio, viši asistent**  
Univerzitet Džemal Bijedić u Mostaru, Nastavnički fakultet

**Dr. Feriz Adrović, docent**  
Univerzitet u Tuzli, Prirodno-matematički fakultet

**Ključne riječi:** radon, produkti raspada radona, mjerenje, zrak

### REZIME

*Postoje različite metode i tehnike za detekciju jonizujućih zračenja. U svim tim mjernim tehnikama i metodama, posredno i neposredno, alfa, gama ili beta zračenja su detektibilni fenomeni. Kada se radi o radonu, mjerenje koncentracije radona može se obaviti neposredno, mjerenjem koncentracije samog radona, ili indirektno, preko njegovih potomaka. Detekcija radona može se izvršiti mjerenjem nivoa alfa, beta i gama zračenja pri njihovoj interakciji sa različitim materijalima, koji se koriste u tehnikama mjerenja. U radu su opisani najčešće korištene mjerne tehnike detekcije potomaka radona, sa posebnim osvrtom na sljedeće elemente: princip mjerenja, mjerna nesigurnost, prednosti i nedostaci pojedine metode, kao i područje primjene.*

**Key words:** radon, radon daughters, measurement, air

### SUMMARY

*Different methods and techniques for the detection of ionizing radiation have been used. Alpha, Beta and Gamma rays are directly and indirectly detectible phenomena in all these used measurement techniques and methods. The radon concentration measurement can be made directly, or indirectly on the basis of the measurement of its daughters. The detection of radon can be made via the measurement of the levels of Alpha, Beta or Gamma rays, during the interaction with different materials used in the measurement techniques. This work describes most often-used measurement techniques for the detection of radon daughters, particularly addressing the following elements: measurement principle, measurement uncertainty, advantages and disadvantages of certain methods, as well as the application to a variety of fields.*

### 1. UVOD

Produkti raspada radona koji su prisutni u zraku (često zvani potomci raspada radona) nastaju tamo raspadom jezgre radona. Pri tome se radi o lancu raspada više kratkoživećih nuklida radona. Nasuprot radonu, produkti raspada radona se lako odvajaju na površinama. Najveći dio produkata raspada nošenih zrakom, nataloži se na aerosolnim česticama. Dio nenataloženih produkata raspada je od posebnog značaja, zbog njegove velike vjerovatnoće izdvajanja u traktu disanja.

Praktično svi uređaji za mjerenje produkata raspada radona rade prema postupku filtera. Pumpa usisava zrak koji treba da se ispita preko mjernog filtera, pri tome se na filteru izdvajaju produkti raspada koji su sadržani u zraku. Aktivnost filtera se dobiva nakon ili već u toku procesa sakupljanja pomoću detektora zračenja, koji mjere, alfa, beta i/ili gama zračenje. Iz toga se mogu izračunati koncentracije pojedinih produkata raspada u zraku ili potencijalne koncentracije alfa-energije (PAEK). Mada su mjerni postupci bez filtera i pumpe u razvoju, dosada praktično nema primjenljivog sistema ove vrste.

Rezultati mjerenja produkata raspada daju koncentracije pojedinih produkata raspada u zraku u  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  ili potencijalne koncentracije alfa energije (PAEK) u  $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $\text{MeV}\cdot\text{cm}^{-3}$  ili radnom nivou (WL). Radi bolje uporedbe sa koncentracijom radona, često se navodi potencijalna koncentracija alfa-energije u obliku ravnotežne-ekvivalentne koncentracije (equilibrium equivalent concentration, EEC) u  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $1 \text{ Jm}^{-3} = 1,8\cdot 10^8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

## 2. PRINCIP MJERENJA

Princip mjerenja veoma zavisi od izbora vrste filtera, načina prolaska zraka, vrste detektora zračenja, vremenskog toka i postupka izračunavanja. Tako su nastali mnogobrojni tipovi mjernih uređaja.

Vrsta primjenjenog detektora zračenja utiče na zahtjeve materijala filtera. Kroz mjerni filter ne smije proći nikakva nazivna vrijednost udjela usisanog produkta raspada. Za Beta i Gama mjerenja dovoljni su filteri sa više od 98% stepeni učinka razdvajanja. Alfa mjerenja obuhvataju samo odvojenu aktivnost na površini filtera. Dakle, sakupljeni produkti raspada ne treba da prodiru u filter mjerenja. Ovdje se preporučuju membranski filteri sa veličinom pora maksimalno 3  $\mu\text{m}$ . Uređaji za određivanje nenataloženog udjela produkata raspada primjenjuju većinom žičane mreže za odvajanje nenataloženih produkata raspada.

Ispitivanje osjetljivosti jednog mjernog uređaja zavisi, između ostalog, i od protoka zraka, dakle od snage pumpe. Najčešće se primjenjuju protoci zraka između 0,1  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$  i 1  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ . Uređaji za mjerenje većih koncentracija mogu raditi i sa protokom zraka od 0,05  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ . Osjetljiva kratkovremenska mjerenja zahtjevaju, takozvani uzorak velike zapremine sa protokom zraka od 20  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$  do 100  $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ . Glavni problem kod ovih mjerenja su greške pri uzimanju uzoraka. U najviše slučajeva, ovo dovodi do visoke difuzione brzine nenataloženih produkata raspada. Često se produkti raspada izgube, dok se oni odvajaju već u okolini uređaja ili u uskim prolazima zraka. Uređaji sa malim protokom zraka ( $<0.01 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ) ili kod pauza sakupljanja mogu također dati velike vrijednosti mjerenja, kada se dodatni produkti raspada izdvajaju putem difuzije na mjernom filteru ili detektoru.

U praksi se razlikuju sistemi sastavljeni iz odvojenih uređaja za sakupljanje i uređaja za mjerenje aktivnosti, kao i uređaji koji sadrže filter i detektor zajedno. Kod prvog sistema se filter nakon uzimanja uzorka odnosi i stavlja na uređaj za mjerenje aktivnosti. Uređaji sa filterom i detektorom u jednoj jedinici rade većinom automatski i omogućavaju također kontinuirano mjerenje. Za referentno mjerenje pogodniji su sistemi sa odvojenim uređajem za sakupljanje, jer detektor neometta strujanje zraka do filtera. Jednom pogodnom konstrukcijom može se u velikoj mjeri izbjeći preraspodjela produkata raspada.

## 3. OPŠTE OSNOVE PRORAČUNA

U ocjenu mjerenja produkata raspada spada proračun sakupljene aktivnosti na mjernom filteru za vrijeme procesa sakupljanja preovladavajuće koncentracije u zraku. Osnova zato su diferencijalne jednačine, koje opisuju sakupljanje i pretvaranje produkata raspada na filteru. Za lanac raspada iz  $n$  radionuklida važi opšti slučaj:

$$\frac{dA_i}{dt} = c_i \cdot Q + \lambda_i \cdot (A_{i-1} - A_i) \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (1)$$

gdje je:  $A_i$  - Aktivnost radionuklida  $i$  na filteru ( u Bq )  
 $c_i$  - Koncentracija aktivnosti radionuklida u zraku ( u Bq m<sup>-3</sup> )  
 $Q$  - Protok zraka ( u m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> )  
 $\lambda_i$  - Konstanta raspada radionuklida  $i$  ( u h<sup>-1</sup> )

Za radon vrijedi:

$i=1$ : Po-218;  $i=2$ : Pb-214;  $i=3$ : Bi-214;  $i=4$ : Po-214;  $A_0=0$ ,  
pri čemu su funkcije iste za Bi-214 i Po-214.

Za vrijeme faze sakupljanja protok zraka je  $Q > 0$ . Za vrijeme transporta filtera iz kolektora do sistema detektora ili za vrijeme brojanja bez istovremenog sakupljanja vrijedi  $Q = 0$ . Diferencijalne jednačine (1) mogu se riješiti analitički ili numerički.

#### 4. TEHNIKE MJERENJA

Većina postupaka koji se koriste za mjerenje produkata raspada radona su pogodni za kratkovremenska pojedinačna mjerenja. Nakon jednokratnog sakupljanja slijedi prebrojavanje (mjerenje izdvojene aktivnosti na filteru) i izračunavanje. Uređaji koji kontinuirano rade sakupljaju tokom jednog dužeg vremenskog perioda (jedna do dvije sedmice) a u isto vrijeme i prebrojavaju. Oni daju vremenski prikaz (tok) koncentracije produkata raspada. Isto tako integrirani uređaji sakupljaju i prebrojavaju kontinuirano. Ali na kraju mjerenja daju samo jednu brojnu vrijednost.

Kod radon koncipiranih postupka mjerenja, pri dužem vremenu sakupljanja, produkti raspada torona mogu smetati, i čak da rezultate mjerenja učine neupotrebljivim. Zbog toga se preporučuje da se, nekoliko sati poslije sakupljanja, ispita da li je mjerni filter radioaktivan i da li i nakon dužeg vremenskog perioda sadrži još produkte raspada torona.

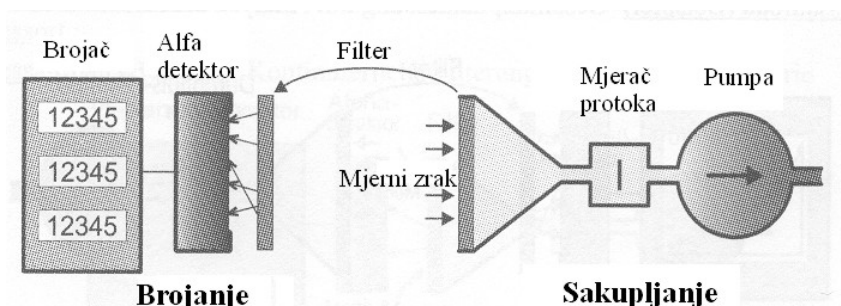
Ukratko ćemo navesti neke poznate postupke mjerenja produkata raspada radona. Ovi postupci jedva da imaju komercijalno održive uređaje u prvobitnim oblicima. U većini slučajeva oni su promjenjeni, djelimično su pretvoreni u pojednostavljene uređaje. Takva pojednostavljenja mogu da dovedu do ograničenja u području primjene. Bez obzira na tehničku izvedbu uređaja i kvaliteta softera obrade podataka prije izračunavanja uobičajene su korekcije neobrađenih podataka. U to spadaju na pr. korekcije okoline ili preklapanje maksimuma u jednom spektru. Kod kontinuirane alfa spektrometrije koriguje se također i udio alfa zračenja kod Bi-212 (produkt raspada torona) u području energije kod maksimuma za Po-218.

##### 4.1 Ukupno mjerenje alfa čestica u tri vremenska intervala

Alfa čestice se broje tokom tri vremenska intervala i to uvijek u trajanju od nekoliko minuta. Budući da mjerenje aktivnosti počinje tek nakon postupka sakupljanja, ovo mjerenje se mora ograničiti na manje minuta, da bi dobili potrebnu informaciju o kratkoživećem Po-218. Jedna dobra osjetljivost mjerenja se može postići kroz primjenu većeg filtera (20 cm prečnik) i sa visokim stepenom prolaza zraka (do 100 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>).

Osjetljivost mjerenja zavisi od protoka zraka. Tako na pr. za vrijeme sakupljanja od 5 min i pri protoku od 100 l h<sup>-1</sup>, mjerna osjetljivost iznosi 0,1 Bq m<sup>-3</sup>. Mjerna nesigurnost u ovom

slučaju iznosi 30% i smanjuje se sa povećanjem protoka zraka. Ovaj postupak je pogodan za velike protoke zraka i može se koristiti kako na otvorenom tako i u laboratorijskim mjerenjima.

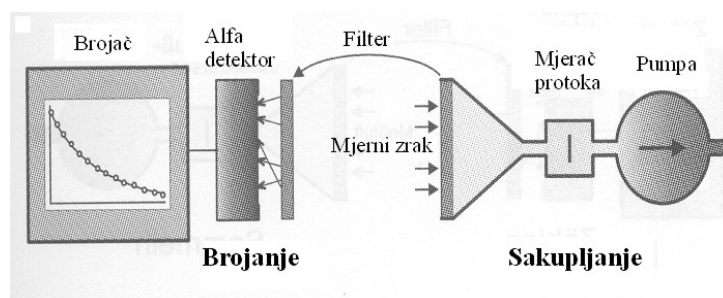


Slika 1. Ukupno mjerenje alfa čestica u tri vremenska intervala

Vrijeme brojanja, a time i preciznost mjerenja Po-218 mogu se povećati, ako mjerenje aktivnosti već počne tokom postupka sakupljanja. Zato se moraju u jednu mjernu jedinicu staviti zajedno mjerni filter i alfa detektor.

#### 4.2 Ukupno mjerenje alfa čestica sa dodatnom analizom krive opadanja

Kroz jedan mjerni filter tokom nekoliko minuta najprije se usisava ispitivani zrak. Nakon toga se uzima filter iz uređaja za sakupljanje i stavlja u uređaj za mjerenje aktivnosti sa automatskim brojačem, radi određivanja aktivnosti alfa čestica u filteru.



slika 2. Ukupno mjerenje alfa čestica sa dodatnom analizom krive opadanja

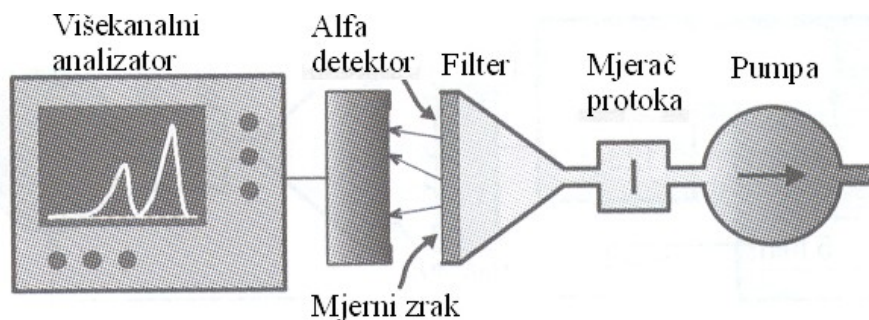
Uvijek nakon kraćih vremenskih intervala koji slijede jedan za drugim registruje se rezultat brojanja. Tako dobijena kriva opadanja se upoređuje sa već izračunatom krivom za različite mješavine produkata raspada. Iz krive koja se najbolje podudara sa datim krivuljama da se zaključiti o kakvoj mješavini produkata raspada se radi. U drugom koraku se računa apsolutna vrijednost aktivnosti za odgovarajuću mješavinu uzimajući u obzir faktor kalibracije.

Pri protoku zraka od  $1000 \text{ l h}^{-1}$  i vremenu sakupljanja od 5 min mjerna osjetljivost iznosi  $30 \text{ Bqm}^{-3}$ . Nesigurnost mjerenja kod ovog postupka iznosi 15% (bez statistike brojanja).

#### 4.3 Filtriranje i alfa spektrometrija

Alfa spektrometrija daje više informacija nego ukupno brojanje alfa čestica. Radi toga su dovoljna dva intervala brojanja, da bi imali dokaze o pojedinim produktima raspada radona. Kod istovremenog dobivanja beta zračenja dovoljan je jedan interval brojanja. Alfa spektrometrija dozvoljava također mjerenje produkata raspada torona u toku relativno kratkog vremena, dok se zračenje Po-212 dobiva odvojeno. Osim toga pogrešne funkcije sistema detektora i neodgovarajući filter mogu se prepoznati po obliku spektra.

Postupci navedeni u prethodnim tačkama ne dozvoljavaju nikakvo kontinuirano mjerenje pojedinih produkata raspada. Sa spektrometrijom ovaj cilj je moguće postići, ako filter i alfa detektor čine jednu jedinicu, tako da je moguće istovremeno uzimati uzorke i mjeriti aktivnost. Da bi dobili precizan izvještaj o koncentraciji pojedinih produkata raspada, nije dovoljno samo kontinuirano izračunavanje alfa zračenja Po-218 i Po-214 tokom filtriranja, ako ne postoje dodatne informacije o odnosima koncentracija mjerenja pojedinačnih nuklida. Rezultati mnogobrojnih mjerenja pojedinačnih nuklida pokazuju u ovom pogledu, da na pr. pretpostavka istih odnosa koncentracija  $C_{Po-218}/C_{Pb-214}=C_{Pb-214}/C_{Bi-214}$  je skoro ispunjena.



Slika 3. Filtriranje i alfa spektrometrija

Između jednog kratkotrajnog pojedinačnog mjerenja i jednog kontinuiranog mjerenja mogu se ostvariti također i drugi ciklusi mjerenja. Nakon početka jednog procesa sakupljanja, moguće je u svako vrijeme izračunavanje vrijednosti. Kratko nakon početka mjerenja je separacija pojedinačnih nuklida najpreciznija. Naročito kod izračunavanje kontinuiranih mjerenja pri jakim vremenskim oscilacijama koncentracija dolazi po pravilu do greške, dok je većina postupaka izračunavanja i kalibriranja koncipirana za konstantne koncentracije. Kod radioaktivne ravnoteže stvara se na pr. alfa spektar aktivnosti filtera sa malim PEAK za Po-218 i velikim za Po-214. Kod drugih smjesa produkata raspada i smanjenog PAEK-a mogu da nastanu slični spektri, koji tada vode do istih rezultata izračunavanja.

Bitne karakteristike ove mjerne tehnike su: kontinuirano određivanje pojedinih produkata raspada; lako prepoznavanje neprikladnosti filtera; mala osjetljivost kod pojedinačnih mjerenja; mjerna nesigurnost od oko 10% (bez statistike brojanja); mogućnost primjene u kućama, rudnicima, na otvorenom i u laboratorijama.

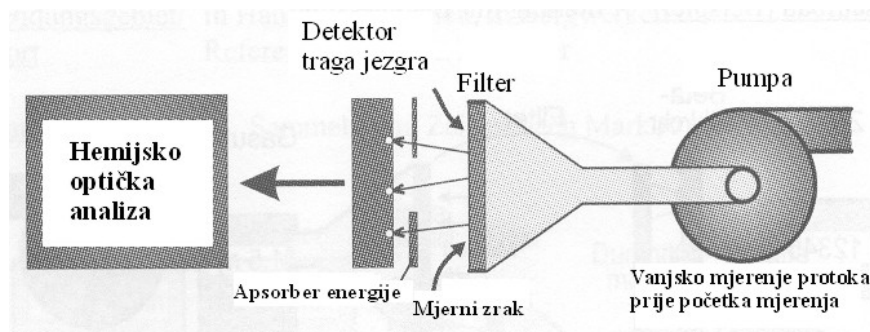
#### 4.4 Filtriranje i dokazivanje sa detektorom traga jezgra

Ovaj postupak je veoma sličan kontinuiranom postupku za direktno mjerenje PAEK-a opisanom u tački 4.3. Sa pasivnim detektorom dobija se umjesto vremenskog toka PAEK-a samo vremenski integral sa vremenom sakupljanja. Pojedinačni detektor nema potrebe za elektronikom, umjesto nje potrebna je laboratorijska analiza.

Mjerni filter i sistem detektora moraju sačinjavati jednu jedinicu, da bi se omogućilo istovremeno uzimanje uzorka i mjerenje aktivnosti. Tokom vremena sakupljanja od nekoliko dana do sedmica zbrajaju se produkti raspada radona i istovremeno se registruju. Nakon završetka mjerenja slijedi hemijsko/optička analiza detektora. Dugim sakupljanjem i zbrajanjem ekspozicije detektora i integralni PAEK- ovi su prilično proporcionalni jedan prema drugom. Nesigurnost kroz nepoznatu smjesu produkata raspada iznosi oko 5%. U praksi ova nesigurnost kod ovog postuka je znatno veća.

Detektor je plastična folija veličine mjernog filtera. On registruje alfa zračenje produkata raspada radona izdvojenih na filteru. Kao dobar materijal dokazali su se alil-diglikol-poli-karbonat, bifetil-poli-karbonat i celuloze-nitrat. Dotične alfa čestice prodiru do 60µm u

površinu i razbijaju tamo polimer veze. Kasnije nagrizanje stvara vidljive "jamice" ili "rupice" u području od 1  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$ , prečnika. Gustoća tragova je proporcionalna srednjem PAEK-u za vrijeme mjerenja. Slično kao kod pasivnih dozimetara radona kao sredstva koriste se natron lužina, kali lužina, lužina + alkohol, ili lužina + alkohol kao sredstvo nagrizanja u promjenljivom električnom polju (elektro-hemijsko nagrizanje).

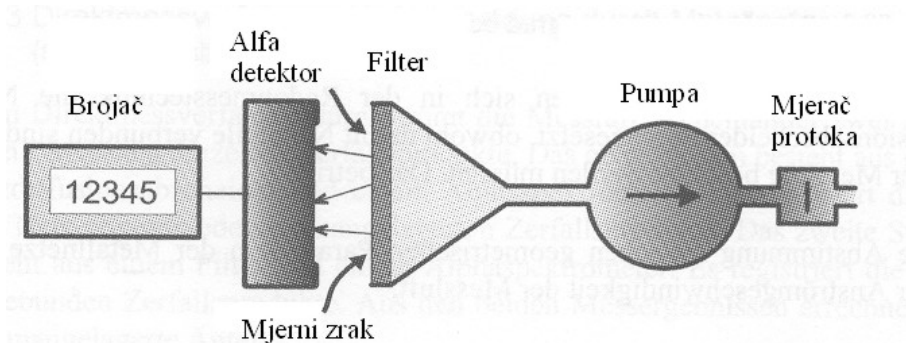


Slika 4. Filtriranje i dokazivanje sa detektorom traga jezgra

Tragovi se optički broje. To se može raditi mikroskopom i okom ili također sa jednim sistemom obrade slike. Faktor kalibracije zavisi, pored mehaničke konstrukcije mjernog uređaja, također i od materijala detektora, zatim uslova nagrizanja i podešenosti optičkog sistema za analizu. Dugoživeći produkti raspada torona obogaćuju se na mjernom filteru znatno jače nego oni za radon. Zbog toga oni mogu da i kod manje koncentracije torona ometati mjerenje produkata raspada radona i da tako rezultat što više učine neupotrebljivim. Zato se preporučuje, da nakon nekoliko sati poslije završetka sakupljanja, provjeri da li je filter mjerenja oslobođen aktivnosti ili još uvijek sadrži dugoživeće produkte raspada torona, i ako je potrebno korigovati rezultat mjerenja.

#### 4.5 Filtriranje i dokazivanje sa elektronskim alfa detektorom

Ovaj postupak je veoma sličan kontinuiranom postupku za direktno mjerenje PEAK-a. Umjesto vremenskog toka PEAK-a daje se samo vremenski integral o vremenu sakupljanja. Isključivo se odnosi na kontinuirano memorisanje odnosa zbrajanja. Mjerni filter i sistem detektora moraju sačinjavati jednu jedinicu, da bi se omogućilo istovremeno uzimanje uzorka i mjerenje aktivnosti. Tokom jednog vremenskog perioda sakupljanja od nekoliko dana do sedmica sakupljaju se produkti raspada radona na mjernom filteru i istovremeno se registruju.



Slika 5. Filtriranje i dokazivanje sa elektronskim alfa detektorom

Tokom dužih vremenskih perioda sakupljanja i zbrajanja, broj izbrojanih alfa čestica i integralni PAEK-ovi su približno proporcionalni. Nesigurnost mjerenja nepoznate mješavine produkata raspada iznosi otprilike 5%. U praksi, ovoj nesigurnosti mjerenja doprinosi mjerenje protoka zraka i geometrijski raspored sistema za mjerenje. Kod relativno malog prolaza zraka već je moguće postići jednu dobru osjetljivost mjerenja.

Dugoživeći produkti raspada torona obogaćuju se na mjernom filteru znatno jače nego oni kod radona. Radi toga oni mogu, ne korištenjem alfa spektrometrije, da ometaju mjerenje produkata raspada radona, također i kod malih koncentracija torona i da rezultat postane čak i neupotrebljiv. Kod primjene alfa spektrometrije za određivanje aktivosti može se ovaj postupak također razlikovati u produktima raspada radona i torona, odnosno istovremeno se mjeriti. U praksi je za ovo dovoljna podjela alfa spektra u dva energetska područja.

#### **4.6 Filtriranje i dokazivanje sa termo-luminescentnim detektorom (TLD)**

Ovaj postupak je veoma sličan kontinuiranom postupku za direktno mjerenje PAEK-a opisanom pod tačkom 4.34. Umjesto vremenskog toka PAEK-a prikazuje se samo njegov vremenski integral u zavisnosti od vremena sakupljanja. Termo-luminescentni detektori su pasivni pojedinačni detektori koji ne zahtjevaju nikakvu elektroniku i umjesto nje potrebno je samo imati jedan specijalni uređaj za analizu.

Mjerni filter i sistem detektora moraju sačinjavati jednu jedinicu, da bi se istovremeno mogli uzimati uzorci i mjeriti njihova aktivnost. Tokom perioda sakupljanja od nekoliko dana do sedmica, produkti raspada radona sakupljaju se na mjernom filteru i istovremeno se registruju. TLD bi se trebao odabrati sa što je moguće višom osjetljivošću za zračenje. Dok TLD obuhvata također i zračenje iz okoline, u mjernom uređaju sadržana je i druga TLD-referenca za korekciju. Oba TLD treba da registruju okolinsko zračenje sa istom vjerovatnoćom dokaza. TLD-referens smije registrovati samo jedan mali dio aktivnosti filtera.

Nakon završetka mjerenja slijedi analiza putem zagrijavanja detektora. Pri tome se stvara svjetlost. Količina svjetlosti je mjera za primljenu dozu zračenja TLD-a. Iz razlike obiju TLD-indikacija dobija se ekspozicija sistema detektora kroz produkte raspada radona. Tokom dužih vremenskih perioda sakupljanja i zbrajanja, ekspozicija detektorskog sistema i integralni PAEK-ovi su približno proporcionalni. Nesigurnost mjerenja nepoznate mješavine produkata raspada iznosi otprilike 5%. U praksi se javljaju i druge nesigurnosti mjerenja.

## **5. ZAKLJUČAK**

Uglavnom se obuhvaćeni svi principi mjerenja pod odabranim uslovima skupa parametara sa kojima se navedene diferencijalne jednačine (1) mogu uz odgovarajuće uslove riješiti. Za izračunavanje koncentracije pojedinih produkata raspada teorijski su potrebna tri parametra (na pr. tri brojeve vrijednosti za vrijeme tri vremenska intervala).

Svi klasični postupci izračunavanja polaze od pretpostavke da su za vrijeme mjerenja koncentracije i protoka zraka uslovi bili konstantni. Mjerni postupci koji također mogu uzimati u obzir i izmjenjene koncentracije i protoke zraka su znatno skuplji i vrlo su rijetki u upotrebi.

Kod postupaka sa filterom navedenim u ovom radu mjerni rezultat zavisi linearno od protoka zraka odnosno od usisanog volumena zraka. Radi toga svaki uređaj mora mjeriti protok zraka. Rezultat mjerenja protoka zraka uračunava se ili u račun procjene ili se koristi za regulisanje sabirne pumpe. Ako se filter ne stavlja tokom vremena sakupljanja, a pumpa stabilno radi, onda se možemo odreći ugrađivanja mjerača protoka zraka. Umjesto toga protok zraka se određuje jednom ili se kontrolira redovno pomoću jednog eksternog mjerača

protoka zraka. Mjerenje volumena i protoka zraka odnosi se uvijek na realne uslove tokom mjerenja.

Izbor jednog pogodnog mjerača protoka zraka i njegova pravilna ugradnja u uređaj su od posebnog značaja. Pozicija ugradnje mjerača protoka u ukupnom sistemu je veoma kritična i mora se veoma pažljivo odabrati.

## 6. LITERATURA

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP): *Measurement of Radon and Radon Daughters in air*, 1988;
- [2] Fachverband für Strahlenschutz e.V.: *Übersicht über die Messung von Radon and Radonfolgeprodukten*, 1994;
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP): *Protection against radon-222 at home and at work*, 1994;
- [4] Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, (SSK 92); *Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der BDR und deren Bewertung*, 1992.