

MĂSURAREA SIMULTANĂ A RADONULUI ȘI TORONULUI CU DETECTORI DE URME – SITUAȚIA ACTUALĂ ÎN LUME

Bety-Denissa BURGHELE, Constantin COSMA

Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului

Abstract: Radon and thoron simultaneous measurements using track detectors – current situation in the world. In recent years, there has been increased interest in the exposure of the general population to thoron in their homes. This has been stimulated by the development of new passive techniques to make accurate long-term measurements of both thoron and its progeny. It is estimated that doses from thoron and its progeny account for between 5 and 10 % of the annual dose received by the general population in many countries. In comparison with data on indoor radon, the global database for indoor thoron is much less extensive. Long-term surveys of indoor thoron and its airborne progeny in a number of countries as well as developments in thoron dosimetry have shown that doses from the thoron series can no longer be considered as negligible. To more accurately assess the public health impact of indoor thoron, there is a need for improvements in passive methods to measure thoron progeny and also for the establishment of agreed measurement protocols. Improvements in the calibration of thoron and progeny detectors as well as in the validation of data are also required.

Key words: thoron, progeny, radon, passive techniques.

Introducere

În ultimii ani, datorită dezvoltării sistemelor pasive acurate, se dezvoltă rapid o bază de date ce prezintă concentrații pe termen lung a gazului de toron în interiorul locuințelor și în particular a descendenților toronului, cei din urmă fiind de mare relevanță în ce privește impactul asupra sănătății (McLaughlin, 2010). În majoritatea locuințelor, radonul (^{222}Rn) contribuie mai mult la doză decât toronul (^{220}Rn) datorită timpului mai mare de înjumătățire (3,8 zile) față de toron (55,6 sec). Cu toate acestea, în anumite locații, existând un conținut mare de toriu în materialul de construcții și în sol, toronul poate de asemenea fi o problemă (Kotrappa and Steck, 2010).

În funcție de modul de prelevare a probelor, metodologia de măsurare a ^{220}Rn poate fi în general împărțită în metode *pasive* și metode *active*. Pentru măsurători active ale toronului au fost dezvoltate: metoda celor două filtre, metoda celulei de scintilație, metoda coincidenței de întâziere, metoda three time-gate, metoda camerei electrostatice și metoda spectrometriei alfa. Pentru măsurătorile cu integrare pasivă a toronului, au fost dezvoltate câteva tipuri de sisteme de monitorizare discriminativă a ^{222}Rn și ^{220}Rn bazate pe viteza diferită de a schimba aerul din două camere de difuzie, iar factorul de conversie pentru toron a fost dat prin intermediul experimentului de calibrare în cazul în care referința de concentrație cunoscută în toron a fost determinată prin măsurători active. În continuare sunt prezentați o serie de detectori pasivi folosiți în măsurători de lungă durată.

Sistemul RADUET

Recent, a fost dezvoltat și standardizat de către Tokonami et al. (2005) în Japonia, sistemul pasiv de monitorizare discriminativă bazat pe detectarea urmelor α de ^{222}Rn și ^{220}Rn (versiunea comercială este de asemenea disponibilă sub denumirea de RADUET). Detectorii sunt compacți, ieftini și ușor de folosit; limita superioară de detecție ar trebui să acopere cel puțin $200\text{-}600\text{ Bq/m}^3$ într-o perioadă de expunere de 6 luni, ceea ce reprezintă limita de referință ICRP; contaminarea cu ^{220}Rn poate fi eliminată din răspunsul dat de detector pentru ^{222}Rn . Detectorul (fig. 1) este format din două camere de difuzie, fiecare cameră este constituită dintr-un plastic electroconductiv cu o formă cilindrică și un volum interior de aproximativ 30 cm^3 . Materialul de detecție folosit este o plăcuță de CR-39 lipită cu adeziv pe fundul camerei. Radonul din aer poate pătrunde în cameră prin spațiul invizibil dintre capac și partea inferioară prin difuzie. Deoarece acest spațiu funcționează ca o barieră împotriva difuziei puternice, ^{220}Rn poate pătrunde cu greu în cameră având în vedere

distanța mică pe care o poate parcurge datorită timpului scurt de înjumătățire (55,6 sec), în comparație cu cel al ^{222}Rn (3,82 zile). Pentru a detecta ^{220}Rn mai eficient, una dintre camere este prevăzută cu 6 găuri cu un diametru de 6 mm acoperite cu un burete electroconductiv.

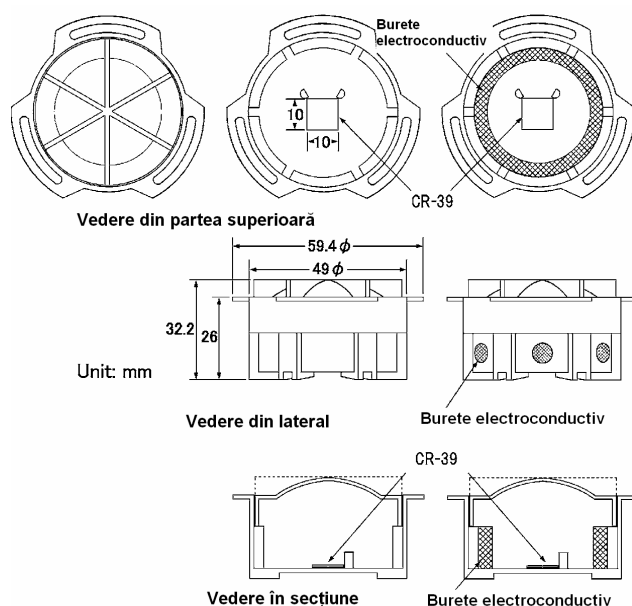


Fig. 1. Vedere de ansamblu a detectorilor discriminativi de radon-toron.

Detectori de urme nucleare în stare solidă (LR 115)

Dispozitivul de măsurare a radonului cu detector LR 115 închis într-o pungă de polietilenă, de densitate mică ($0,92 \text{ g/cm}^3$) a fost larg folosit atât în Italia, cât și în alte țări (fig. 2). Acesta este compus dintr-un suport cilindric de plastic (cu o înălțime de 12 mm și un diametru de 24 mm) și doi detectori LR 115 plasați la capătul inferior al cilindrului. Un film subțire este folosit drept absorbant pentru a reduce energia alfa în intervalul de sensibilitate a LR 115, care a fost evaluată experimental a fi între 1,0-4,25 MeV pentru particulele alfa incidente. Cea mai importantă caracteristică, în ce privește sensibilitatea la toron, este că atât detectorul cât și suportul sunt închise într-o pungă de polietilenă sigilată la căldură $35 \mu\text{m}$ și densitate mică ($0,92 \text{ g/cm}^3$) pentru a preveni intrarea descendenților ^{222}Rn și ^{220}Rn și să reducă semnificativ intrarea gazului de ^{220}Rn .

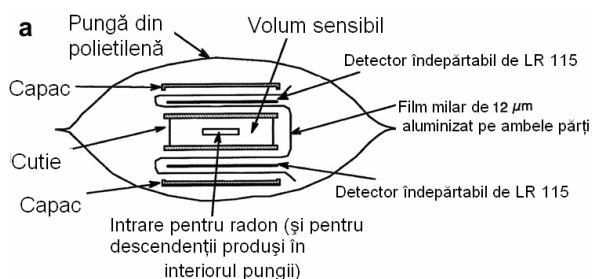


Fig. 2. Dispozitiv de măsurare pasivă a radonului: (a) diagrama și (b) poza (Bochicchio F. et al., 2009).

Rezultatele experimentale au arătat că sensibilitatea la ^{220}Rn a acestui dispozitiv de măsurare pasivă a radonului este extrem de scăzută (semnificativ mai mică decât 1%), în comparație cu sensibilitatea la ^{222}Rn . Acest lucru presupune că măsurătorile de concentrație a radonului obținute cu astfel de dispozitive nu sunt influențate semnificativ de prezența toronului.

Sistemul RADOPOT

Un sistem de monitorizare pasivă simplu a fost dezvoltat în Ungaria pentru măsurători integrale a concentrației de ^{220}Rn din interior (fig. 3). Dispozitivul a fost remodelat dintr-un sistem de monitorizare a ^{222}Rn , deja existent, cu detectori de alil-diglicol-carbonat (CR-39). Sistemul este compus dintr-un mic vas cilindric ($\Phi = 35 \text{ mm}$, $H = 55 \text{ mm}$) din plastic cu tratament antistatic realizat de producător. Înaintea măsurătorii, folosind puțin material adeziv ce poate fi ușor îndepărtat se lipește detectorul de CR-39 în mijlocul vasului având partea sensibilă înspre interiorul vasului, apoi capacul este fixat cu șuruburi pentru a fixa strâns partea inferioară a vasului. În timpul unei perioade de expunere, ^{222}Rn din aer poate intra în vas prin spațiul invizibil dintre capac și partea inferioară a vasului, prin difuzie. După expunere, plăcuța de CR-39 este îndepărtată și supusă corodării chimice. Concentrația de ^{222}Rn din timpul perioadei de expunere poate fi calculată din densitatea de urme de pe CR-39, factorul de conversie al ^{222}Rn și timpul de expunere. Datorită construcției sale simple și prețului scăzut, acest sistem de monitorizare a radonului a fost larg folosit în cercetări pe teren din întreaga lume.

Pentru a măsura concentrația de ^{220}Rn viteza schimbului de aer din vasul original a fost intensificat. Patru găuri ($\Phi = 12 \text{ mm}$) sunt deschise, la distanțe egale pe pereții vasului și acoperite cu filtru din fibra de celuloză (Whatman ® No. 41), devenind astfel un sistem de monitorizare a ^{220}Rn . Filtrul de hârtie este folosit datorită rezistenței mecanice ridicate, costului mic și permeabilității înalte. Filtrarea previne intrarea în vas a descendenților radon/toron, asigurând astfel stabilirea echilibrului radioactive între $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ și progenitațiile lor de viață scurtă. Monitorul pentru radon este atașat de cel pentru toron folosind o bandă adezivă dublă. Dispozitivul, compus din cele două tipuri de monitoare are un volum de 110 cm^3 și o greutate de doar 20 g. Mai mult decât atât, construcția acestuia este mult mai simplă decât sistemele anterioare de monitorizare discriminativă.

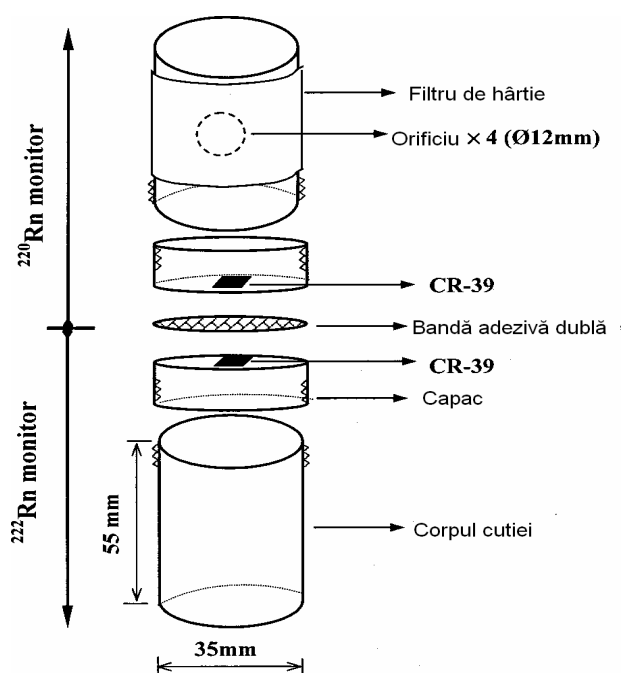


Fig. 3. Schema de construcție a dispozitivului pasiv de monitorizare a ^{222}Rn și ^{220}Rn .

Sistemul de monitorizare prezentat (RADOPOT) are un factor de conversie mare (1,32) și o limită de detecție mică ($12,9 \text{ Bq/m}^3$) față de alte sistemele de monitorizare anterioare. Prin urmare, concentrația ^{220}Rn poate fi calculată mai ușor și mai precis. Mai mult decât atât, acest sistem de monitorizare RADOPOT este cel mai mic și cel mai ușor, prin urmare este preferat pentru utilizări practice în măsurători pe scară largă (Zhuo et al., 2002).

Sistemul Alpha - PREM

A fost dezvoltat un nou sistem de monitorizare discriminativă pasivă radon-toron pentru monitorizarea ^{222}Rn și ^{220}Rn individual (Sciocchetti et al., 2010). Acesta este constituit dintr-un cuplu de dispozitive cu integrare pasivă având la bază CR-39, detector nuclear de urme (NTD). Prototipul experimental se bazează pe aplicarea unui nou concept de instrumente NTD dezvoltat de ENEA, denumit Alpha-PREM, (acronim de la *piston radon exposure meter*) ce permite controlul expunerii detectorului cu o tehnică de sampling patentată (Int. Eu. Pat. and US Pat.). Dispozitivul cuprinde următoarele părți: o cameră de difuzie cilindrică prevăzută cu un piston mobil și gol în interior și un capac de închidere prevăzută cu nișe pentru a găzdui unu sau mai mulți NTD. Filmul de CR-39 este ținut în loc de un cadru conductiv împins de capul pistonului pentru a fixa marginile filmului. Camera de difuzie este făcută din plastic electroconductiv cu un volum interior de aproximativ 40 cm³. Capacul a fost turnat prin injecție din policarbonat transparent, permițând citirea codului unic gravat pe suprafața detectorului. Detectorul nuclear de urme folosit pentru acest prototip este un film de CR-39 cu o suprafață de 25 mm² poziționată la fundul camerei. Alte geometrii (ex. 10x10, 37x13 mm² sau altele) și diferite materiale de detecție (LR-115 sau policarbonat) pot fi folosite.

Esența inovării A-PREM este pistonul mobil ce alunecă pe pereții cilindrici ai camerei de difuzie, ceea ce permite controlul volumului camerei de la o valoare maximă până la zero, respectiv prin retragerea sau împingerea pistonului prevenind astfel expunerea elementului de detecție (fig. 4). Tehnica ce dă comanda de pornire/oprire a expunerii detectorului se bazează pe controlul volumului.



Fig. 4. Imagine a prototipului demontat (stânga): camera de difuzie, pistonul cu cadru de prindere din aluminiu, capacul transparent cu spațiu special pentru filmul de 10 mm² CR-39. Noul prototip A-PREM (centru) cu pistonul în poziția retrasă și poziția împinsă. Sistemul de măsurare discriminativ radon/toron (dreapta): de remarcat orificiul din piston a detectorului NTD-Rn/Tn (stânga) și detectorul standard NTD-Rn (dreapta).

Prototipul A-PREM a fost proiectat cu un sistem de prelevare care, atunci când măsoară ^{222}Rn , elimină ^{220}Rn ca pe un „factor de confuzie” cu un dispozitiv, ca o metodă alternativă la tehnica membranei folosită pentru a minimiza intrarea ^{220}Rn . Sampling-ul prin difuzie a aerului încărcat cu ^{222}Rn și ^{220}Rn se bazează pe „drumul” prin două porturi din piston: o mică gaură ce permite intrarea aerului făcută pe suprafața pistonului și filtrul de pe capătul „permeabil” al pistonului ce oprește intrarea progeniților de ^{222}Rn și ^{220}Rn . Datorită timpului de viață a ^{220}Rn de aproximativ 55.6 secunde, micul orificiu pentru intrarea aerului acționează ca o „barieră” de întârziere și permite doar intrarea ^{222}Rn în camera de difuzie. Optimizând aceste mici găuri de intrare a aerului, concentrația ^{220}Rn poate fi minimizată la nivele detectabile care nu ajung niciodată în interiorul camerei de difuzie. Lucrări experimentale progresează în investigarea acestui efect.

Sistemul de măsurare discriminativă toron-radon se bazează pe un cuplu de două dispozitive A-PREM, denumite NTD-Rn și, respectiv, NTD-Rn/Tn. Dispozitivul NTD-Rn este cel clasic folosit pentru măsurători de radon. Spre deosebire de dispozitivele pasive NTD bazate pe tehnica găurii de aer, A-PREM nu necesită remodelarea prin adăugarea unui filtru pentru a îmbunătăți sensibilitatea la ^{220}Rn . Pentru dispozitivul NTD-Rn/Tn s-a făcut doar o gaură mare de

intrare a aerului în pistonul în jurul micului orificiu de admisie a aerului. Tehnologia A-PREM având la bază un orificiu foarte mic de admisie a aerului nu necesită o membrană pentru minimizarea influenței ^{220}Rn . Din acest motiv, atât NTD-Rn cât și NTD-Rn/Tn din sistemul discriminativ Rn/Tn pot fi folosite cu același mod de filtrare. Membranele de plastic nu sunt recomandate datorită caracteristicilor timp-răspuns ale camerei de difuzie luând în considerare schimbările de scurtă durată ale concentrației radonului.

Filtrele din fibră de sticlă și cele din hârtie, cu un timp de difuzie de aproximativ 1 minut, s-au dovedit a avea un răspuns dinamic potrivit pentru a înregistra variații de scurtă durată în concentrația ^{222}Rn . Filtrul din hârtie oferă avantajele prețului scăzut, rezistenței mecanice ridicate și permeabilității foarte mari.

Concluzii

În tabelul 1 sunt prezentate o serie de măsurători, începând din 2004 până în prezent, realizate pe termen lung, ce redau concentrațiile de toron obținute utilizând detectori de urme în stare solidă.

Tabelul 1

Măsurători ce redau concentrațiile de toron obținute utilizând detectori de urme în stare solidă

Țara	Nr. case	Concentrația de toron (Bq/m³) (minim-maxim)
China (2004) Shanxi	193	10 – 865
China (2006) Gansu	151	1471
Serbia (2006)	137	2 – 945
Corea (2007)	450	731
Canada (2008) Ottawa	93	5 – 924
Canada (2009) Winnipeg	117	5 – 297
Irlanda (2010)	205	<1 – 174
India (2010) Orrisa	19	7 – 62
Ungaria (2010) Kovagosyolos	80	4 – 714
Slovenia (2010)	2	33 – 700
România (2011)	30	63 – 227

Cercetări recente realizate pe termen lung în ce privește toronul și descendenții acestuia în numeroase țări cât și evoluția dozimetriei pentru toron au arătat că dozele din seriile toronului nu mai pot fi considerate neglijabile. Pentru a evalua mai exact impactul asupra sănătății publice în ce privește toronul din interiorul locuințelor, este nevoie de îmbunătățiri ale metodelor pasive pentru a măsura progenitățile toronului și, de asemenea, pentru stabilirea unor protocoale de măsurare. Îmbunătățiri în metodele de calibrare a toronului, detectori de progenități cât și metode de validare a datelor sunt încă necesare.

Mulțumiri

Această lucrare a fost realizată cu suportul financiar al proiectului POSDRU CUANTUMDOC „STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE” ID79407, proiect finanțat de Fondul Social European și Guvernul României.

Bibliografie

1. Bochicchio F., Ampollini M., Tommasino L., Sorimachi A., Tokonami S., 2009 - Sensitivity to thoron of an SSNTD – bases passiv radon measuring device. Experimental evaluation and implication for radon concentration measurements and risk assessment, Radiation Measurements 44:1024-1027

2. Kotrappa P., Steck D., 2010 - *Electret ion chamber – based passive radon – thoron discriminative monitors*, Radiation Protection Dosimetry, 141(4):386-389
3. McLaughlin J., 2010 - *An overview of thoron and its progeny in the indoor environment*, Radiation Protection Dosimetry, pp 1-6
4. Sciocchetti G., Sciocchetti A., Giovannoli P., DeFelice P., Cordellini F., Cottelessa G., Pagliari M., 2010 - *A new passive radon-thoron discriminative measurement system*, Radiation Protection Dosimetry, 141(4):462-467
5. Tokonami S., Takahashi H., Kabayashi Y., Zhuo W., 2005 - *Up-to-date radon-thoron discriminative detector for a large scale survey*, Review of Scientific Instruments 76:113505-113509
6. Zhuo W., Tokonami S., Yonehara H., Yamada Y., 2002 - *A simple passive monitor for integrating measurements of indoor thoron concentrations*. Review of Scientific Instruments [serial online]. August; 73(8):2877

Date de contact

Bety-Denissa BURGHELE: Universitatea Babeş-Bolyai din Cluj-Napoca, Facultatea de Ştiinţa şi Ingineria Mediului, Str. Fântânele, nr. 30, 400294 Cluj-Napoca, România, e-mail: burghele.bety@ubbcluj.ro