



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

METODOLOGIA DE DETERMINARE PASIVĂ A CONCENTRAȚIILOR DE RADON ÎN AERUL DIN INTERIORUL CLĂDIRILOR

Cristina Daniela HORJU-DEAC, Ancuța Cristina ȚENTER,
Alexandra CUCOȘ, Tiberius DICU, Bety BURGHELE,
Kinga SZACSVAI, Carlos SAINZ

THE METHODOLOGY TO PASSIVE MONITORING OF INDOOR RADON IN BUILDINGS

Radon inside buildings represents the main source of human exposure to ionizing radiation in the world. Studies in many countries have shown that high levels of indoor radon increases the risk of lung cancer. This article present the method selected by the competence European authorities as the most suitable to complete the map of indoor radon concentration in buildings. The 59/2013 EURATOM Directive recommends to all European member countries to implement their legislation in order to protect the population from radon since 2018. The recommended method for measuring the annual concentration of radon in buildings is based on passive monitoring of radon levels by CR-39 radon detectors.

Keywords: indoor radon, passive method, CR-39 detectors

Cuvinte cheie: radon din interior, metoda pasivă, detector CR-39

1. Efectul Radonului

Radioactivitatea scoarței pământului este dată mai ales de prezența elementelor radioactive din familia uraniului-238 și toriului i232. Producții gazoși radioactivi (Radonul - ^{222}Rn , Toronul, ^{220}Rn și Actinonul ^{219}Rn) rezultați din dezintegrearea uraniului, toriului și

actiniului pătrund continuu din sol în aer. Radonul-222 reprezintă mai mult de jumătate din radioactivitatea naturală de fond din mediul înconjurător.

Radonul produs în rocile de suprafața pătrunde în apă, sau se degajă în atmosferă rapid, de unde se poate acumula în interiorul clădirilor în concentrații periculoase de mari.

Principala sursă de radon în clădiri sunt materialele existente sub și în jurul clădirii. A doua sursă de radon în interiorul clădirilor o constituie materialele de construcție. Conform unui raport al UNSCEAR 220 din 1988 cărămida (42-96 Bq/kg), fosfogipsul (27 Bq/kg), zgura, betonul (16-61 Bq/kg) și Nigla (78 Bq/kg) sunt materiale cu cel mai mare conținut radioactiv. Omul își petrece în medie peste 75 % din timp în atmosfera unor încăperi. În timp ce în atmosfera liberă concentrația medie este de 8 Bq/m, în locuințe și alte clădiri valorile sunt mai mari (12-300 Bq/m) putând ajunge la valori de câteva mii de Bq/m.

Radonul este un gaz alfa radioactiv (~ 4...6 MeV) care pătrunde în organismul uman prin inhalarea aerului atmosferic, prin depunerea pe piele a descendenților săi radioactivi sau prin ingerare (apa potabilă simplă sau minerală).

Afecțiunile cele mai frecvente sunt cancer pulmonar, modificări cromozomiale (efectele produse de către dozele mici de radiații alfa acționează, în principal, la nivelul moleculei ADN care constituie o țintă de 10 ori mai mare decât alte molecule din organism).

2. Metoda de analiză pentru măsurătorile de radon în interiorul locuințelor

Monitorizarea nivelului de radon din interiorul locuințelor se realizează prin metoda integrată a detectorilor de urme din corp solid CR-39, în conformitate cu protocoalele de măsurători validate internațional.

Această metodă constă în măsurarea pasivă a concentrației de radon în aerul din interiorul clădirilor cu detectori de urme CR-39 (RadoSys), timp de 6 luni.

Măsurătorile se recomandă a se realiza în principal în zona locuită a casei – living, dormitor, bucătărie - în cadrul a 2 campanii succesive de măsurători integrate a câte 6 luni fiecare, în 2 camere locuite (dormitoare și livinguri), la o înălțime de 1-1,5 m de sol, în conformitate cu protocoalele de măsurători HPA validate internațional.

3. Echipamentele implicate în realizarea măsurătorilor

- **Detectori de urme CR-39** (pentru măsurătorile de radon din interiorul spațiilor locuibile din clădiri, respectiv pentru măsurătorile de fond).

- **Sistemul RadoSys 2000** (*producător RadoSys, Budapesta, Ungaria*) pentru procesarea detectorilor de urme CR-39, alcătuit din următoarele componente: Unitate de dezvoltare RadoBath, Microscop optic RadoMeter și Laptop cu software adecvat pentru citirea urmelor și prelucrarea statistică.

4. Protocolul de măsurare

4.1. Distribuirea detectorilor în casele implicate în proiect

Distribuirea detectorilor și procesarea rezultatelor se realizează în conformitate cu protocolul de măsurători HPA, NRPB și EPA, cu respectarea programului de asigurare a calității: “*Validation scheme for Organisations Making Measurements of Radon in Dwellings: 2008 Revision*”, [6].

Detectorii CR-39 se expun pentru o perioadă de timp de 6 luni în camerele locuibile din cadrul clădirilor unde se dorește monitorizarea, la o înălțime de 1-1,5 m de sol și la distanță de 30 cm de perete pentru a se evita interferența cu toronul, 2 detectori/casă.

Detectorii rămân *in situ* pentru o perioadă de 6 luni, după care sunt recuperați și transportați la laborator pentru analiză.

Pentru măsurătorile de fond se utilizează 1-2 detectori.

4.2. Completarea chestionarelor standardizate

Rezultatele individuale privind concentrația de radon din fiecare casă se corelează cu date privind construcția clădirii, gradul de ocupanță și comportamentul rezidenților.

Toate aceste informații personale despre tipul casei, materiale de construcție și comportamentul membrilor familiei rezidente se vor obține prin intermediul unor chestionare standardizate.

Chestionarele se vor aplica tuturor rezidenților în timpul distribuirii detectorilor.

Chestionarul este structurat în 5 secțiuni și solicită de la rezidenți următoarele date:

- **SECȚIUNEA A – DATE GENERALE:** cod de identificare, nume, adresă, coordonate și număr de telefon;

- **SECȚIUNEA B - DATE DESPRE DETECTOR:** identificarea detectorului, perioada de amplasare, rezultatele pentru concentrația de radon din fiecare încăpere măsurată în urma analizei detectorilor de radon expuși în fiecare casă, în cadrul celor două campanii de măsurători;

- **SECȚIUNEA C - DATE DESPRE CASĂ ȘI EFICIENȚA ENERGETICĂ:** tipul locuinței, numărul nivelelor clădirii, existența pivniței, anul construcției, materiale de construcție utilizate la șapă, podea, pereți, tavan, tipul ferestrelor, prezența fisurilor, utilizarea instalațiilor de climatizare, gradul de aerisire, temperatura în camerele investigate etc.;

- **SECȚIUNEA D – EVALUAREA CALITATIVĂ A MEDIULUI INTERIOR ȘI A STĂRII DE SĂNĂTATE A REZIDENȚILOR:** informații despre nivelul de satisfacție privind confortul termic, vizual, acustic, prezența surselor de Compuși Organici Volatili, simptomele pe care le prezintă rezidenții și contextul în care acestea apar.

Prin întrebările formulate se determina detaliile legate de modul de utilizare a clădirii, programul de ocupare, opiniile ocupanților privind calitatea aerului și modul de funcționare al sistemelor din casă, perioadele de supraîncălzire sau confortul în timpul iernii, pentru a analiza posibile corelații între nivelul de radon și alți poluanți casnici aerieni și caracteristicile specifice ale caselor eficiente energetic.

4.3. Procesarea detectorilor după finalizarea expunerii

După finalizarea expunerii, se realizează prelevarea detectorilor, ambalarea corectă într-un plic cu filtru anti-radon, și transportul în siguranță (stocarea într-un alt spațiu poate afecta acuratețea măsurătorilor) către Laboratorul de Radioactivitatea Mediului și Dată Nucleară pentru procesare și analiză. Sistemul de detecție RadoSys 2000 este ilustrat în figura 1, iar figura 2 prezintă

imaginea urmelor în suprafața detectorului dezvoltat, vizibilă pe ecranul microscopului.



Imaginea de ansamblu a unui detector



Instalația pentru dezvoltare din cadrul sistemului RadoSys

Fig. 1 Sistemul RadoSys 2000 folosit pentru măsurarea concentrațiilor de radon rezidențial (Laboratorul de Radioactivitatea Mediului și Datare Nucleară, UBB, Cluj-Napoca, Romania)

Detectorii de urme CR-39 sunt fabricați din plastic, alilidiglicol, și sunt sensibili la radiațiile α cu energii situate în intervalul 0,2-8 MeV.

Tehnica utilizată pentru o expunere este următoarea: detectorul este lipit într-o cutie mică de plastic (Radapot) prevăzută cu orificii pentru a permite intrarea radonului în interiorul lui. Radapotul conține un strat de hârtie specială, un filtru care nu permite intrarea descendenților radonului din aer, în schimb radonul va pătrunde prin difuzie, într-o proporție de 95 %.

Descendenții radonului, care apar în urma dezintegrării în interiorul cutiei, se vor depune pe pereții acestuia înainte de a se dezintegra.

Numărul urmelor care vor apărea în detector va fi proporțional cu concentrația de radon din cutie și cu timpul de expunere. Din numărul de urme, pe baza unei calibrări se poate calcula concentrația.

O problemă foarte importantă, care apare în cazul tuturor acestor detectori sau a aparaturii dozimetrice folosite, constă în calibrarea lor pentru a putea fi folosiți în măsurători efective și pentru

a se putea intercompara rezultatele tuturor măsurătorilor efectuate în diferite regiuni ale globului de diferite laboratoare.

Procesarea detectorilor după recoltare, în cadrul Laboratorului de Radioactivitatea Mediului și Date Nucleară, implică următoarele etape:

1. Developarea chimică într-o soluție de NaOH de concentrație 6,25M, la o temperatură de 90 °C timp de 3,6 h.
2. Citirea urmelor cu ajutorul microscopului automatic RadoSys-2000.
3. Prelucrarea statistică a rezultatelor și interpretarea numărului de urme citit la microscop, în scopul calculului concentrației de radon.

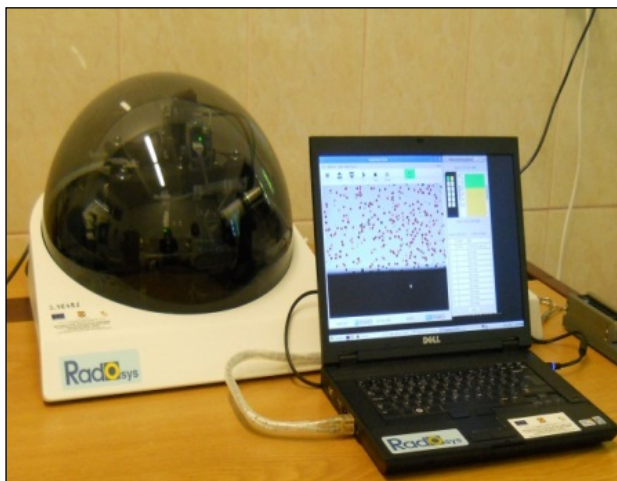
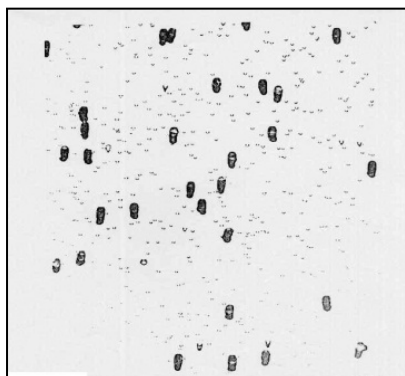


Fig. 2 Urme vizibile în suprafața detectorului dezvoltat

După transportul în siguranță la Laboratorul de Radioactivitatea Mediului și Date Nucleară, detectorii



se extrag din cutia (Radapot) în care au fost expuși și se introduc în suporturile din plastic (slide-uri) concepute special pentru dezvoltare. Se prepară soluția și se introduc detectorii în Unitatea de dezvoltare. După finalizarea dezvoltării, detectorii se spală într-o soluție de neutralizare timp de 10 minute pentru eliminarea tuturor impurităților și se lasă la

uscat timp de 24 de ore.

După uscare, urmele de particule alfa de pe suprafața filmului sensibil de plastic se citesc cu ajutorul microscopului optic RadoMeter. Numărul urmelor de pe suprafața detectorului este proporțional cu concentrația de radon din locația măsurată.

Concentrația medie de radon în Bq/m³ se calculează pe baza densității urmelor de particule alfa/mm², cu formula:

$$C_{Rn} = \rho \cdot F_c / t$$

unde:

C_{Rn} - concentrația de radon calculată [Bq m⁻³],

ρ - densitatea de urme măsurată [urme mm⁻²],

F_c -factorul de calibrare comunicat de catre producator pentru fiecare serie de detectori,

t - timpul de expunere [zile] (Cosma et al., 2009).

Casele vor fi evaluate pe baza concentrațiilor medii anuale de radon.

4.4. Asigurarea calității și controlului

Metodele de măsurare sunt periodic îmbunătățite în scopul de a asigura acuratețea sistemului de măsurare, incluzând deopotrivă calibrarea detectorilor în laboratorul de Radioactivitatea Mediului și Datare Nucleară din cadrul Facultății de Știința și Ingineria Mediului a Universității Babeș-Bolyai [1], cât și prin participarea cu succes la exerciții internaționale de intercomparare cu o serie de laboratoare validate internațional: Institutul Național de Științe Radiologice NIRS, Chiba, Japonia; Laboratorul de Radon din cadrul Universității Cantabria, Santander, Spania; Institutul de Fizică Nucleară PAN, Cracovia, Polonia; Universitatea din Pannonia, Veszprem, Ungaria; RADON Company, Praga, Republica Ceha și Laboratorul SARAD Geolab din Dresda, Germania. Laboratorul de Radioactivitatea Mediului și Datare Nucleară a obținut erori sub 5 %, ceea ce în practica măsurătorilor de radon reprezintă un rezultat foarte bun. La

cel mai recent exercițiu de intercomparare organizat de către NIRS (National Institute of Radiological Science, Japonia), rezultatele Laboratorului de Radioactivitatea Mediului și Dată Nucleară au fost incluse în categoria celor mai bune obținând erori sub 4 % [1], [5].

5. Concluzii

- Conform Directivei Euratom 59/2013, până în 2018 fiecare țară, membră UE, are obligația de a prezenta o situație concretă privind măsurile luate, legate de creșterea protecției populației împotriva expunerii la radiația naturală și artificială.

- În ce privește expunerea la radon, această Directivă prevede evaluarea și micșorarea riscului cauzat de expunerea la radon în locuințe și clădiri publice (școli, grădinițe etc.). Această acțiune implică următoarele: efectuarea de măsurători sistematice și elaborarea unei hărți de radon la nivelul întregii țări în coordonatele recomandate de Comunitatea Europeană, cu evidențierea zonelor de risc.

- Metoda armonizată European, recomandată pentru măsurarea nivelului de radon în aerul unei clădiri este cea prezentată în studiul de față, bazată pe detectorii CR-39 de radon.

Acknowledgement The research is supported by the project ID P_37_229, SMIS 103427, Contract Nr. 22/01.09.2016, with the title „Smart Systems for Public Safety through Control and Mitigation of Residential Radon linked with Energy Efficiency Optimization of Buildings in Romanian Major Urban Agglomerations SMART-RAD-EN” supported by the Competitiveness Operational Programme 2014-2020, POC-A.1-A.1.1.4 -E-2015 competition.

BIBLIOGRAFIE

[1] Cosma, C., Cucos, (Dinu) A., Dicu, T., *Towards the first map of residential radon concentration in Romania*, Jradiation Protection Dosimetry, in press, 2012.

- [2] Cosma, C., Dicu, T., Dinu, A., Begy, R. (Eds.), *Radon and lung cancer*, Editura Quantum, Cluj-Napoca, ISBN 978-973-88835-2-9, 166 pp, 2009.
- [3] Cosma, C., Cucuș-Dinu, A., Papp, B., Begy, R., Sainz, C., *Soil and building material as main sources of indoor radon in Băița-Ștei radon prone area (Romania)*. *Journal of Environmental Radioactivity*, **116**, 2013, 174-179. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.09.006
- [4] Cosma, C., Papp, B., Moldovan, M., Cosma, V., Cindea, C., Suci, L., Apostu, A., *Measurement of radon potential from soil using a special method of sampling*. *Acta Geophysica*, **58** (5), 2010, 947-956.
- [5] Cucuș, (Dinu) A., Cosma, C., Dicu, T., Begy, R., Moldovan, M., Papp, B., Niță, D., Burghel, B., Sainz, C., *Through investigations on indoor radon in Băița radon-prone area (Romania)*, *Science of the Total Environment*, 431 (1), 2012, 78-83.
- [6] Miles, J.C.H., Howarth, C.B., *Validation scheme for organization making measurements of radon in dwellings: 2008 Revision*, Health Protection Agency Radiation Protection Division, 2008.
- [7] Papp, B., Cosma, C., Cucuș-Dinu, A., *International Intercomparison Exercise of active radon devices and passive detectors at The First East European Radon Symposium (FERAS 2012)*, *Romanian Reports in Physics*, Volume 68, Number 4, P. 1-10, 2016.
- [8] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*, ediția a doua revăzută și adăugită, Editura Academiei Române, București 2005 și Editura AGIR, București, 2005.

Șef.lucr.Dr.Ing. Cristina Daniela HORJU-DEAC
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor
crisdd19@yahoo.com

Dr. Ancuța Cristina ȚENTER
Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului
ancuta.radutenter@gmail.com

Cercetător științific II Dr. Ing. Alexandra CUCUȘ (DINU)
Cercetător senior, Manager Proiecte
Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Știința și Ingineria Mediului
alexandra.dinu@ubbcluj.ro

Prof.univ.Dr.Carlos SAINZ
Universitatea Babeş-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Ştiinţa şi Ingineria Mediului
carlos.sainz@unican.es

Lector Dr.Tiberius DICU
Universitatea Babeş-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Ştiinţa şi Ingineria Mediului
tiberius.dicu@ubbcluj.ro

Dr. Bety BURGHELE
Universitatea Babeş-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Ştiinţa şi Ingineria Mediului
bety.burghele@ubbcluj.ro

Dr.Kinga SZACSVAI
Universitatea Babeş-Bolyai Cluj-Napoca
Facultatea de Ştiinţa şi Ingineria Mediului
kinga.szacsvai@ubbcluj.ro