

CONTAMINAREA RADIOACTIVĂ A AERULUI DE INTERIOR CU RADIAȚIE TERESTRĂ. STRATEGII DE REMEDIERE ȘI PROTECȚIE

Dr. ing. Carmen MATEESCU

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, București, România;
Academia de Științe Tehnice din România

REZUMAT. Organismele vii sunt expuse permanent la radiații ionizante provenite din surse naturale, între care și elementele chimice radioactive aflate în scoarța terestră. Toate rocile din scoarța terestră conțin uraniu în diverse concentrații, care generează radionuclizi secundari. Radonul este singurul element chimic radioactiv în stare gazoasă, rezultat prin dezintegrarea spontană a radului, care ajunge la suprafața terestră prin porozitățile din sol și se acumulează în spațiile de locuit. Lucrarea prezintă o evaluare obiectivă a factorilor responsabili de contaminarea aerului de interior cu radionuclizi. De asemenea, propune strategii de reducere a nivelului de radon în clădirile vechi și în cele reabilitate termic în scopul reducerii riscurilor pentru sănătate asociate radonului și radionuclizilor descendenți din radon.

Cuvinte cheie: radiații ionizante, radionuclizi, clădiri, anvelopare termică.

ABSTRACT. Living organisms are permanently exposed to ionizing radiation from natural sources, including radioactive chemicals found in the Earth's crust. All rocks in the earth's crust contain uranium in varying concentrations, which generates secondary radionuclides. Radon is the only radioactive chemical element in the gaseous state, resulting from the spontaneous decay of radium, which reaches the earth's surface through pores in the soil and accumulates in living spaces. This paper presents an objective assessment of the factors responsible for indoor air pollution with radionuclides. Also, it proposes strategies to reduce radon levels in old buildings and thermal insulated buildings in order to mitigate the health risks associated with radon and radon-derived radionuclides.

Keywords: ionizing radiation, radionuclides, buildings, thermal rehabilitation.

1. INTRODUCERE

Radiațiile ionizante sunt radiațiile care transportă suficientă energie pentru a elibera electroni din atomi sau molecule, în consecință ionizându-le. Aceste radiații sunt constituite din particule energetice subatomice (particule alfa, beta și neutroni), ioni sau atomi care se deplasează cu viteze mari (în general mai mari de 1% din viteza luminii) și unde electromagnetice de mare energie, precum raze X și raze gama (Fig. 1.1).

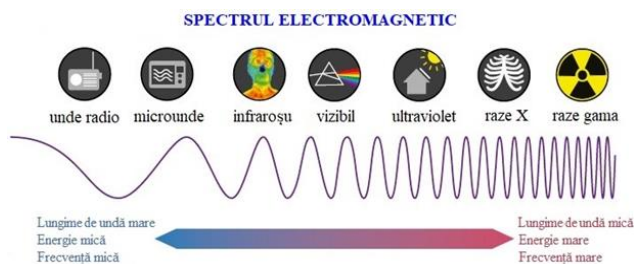


Fig. 1.1. Spectrul de radiații electromagnetice din Univers

Capacitatea nucleilor atomici de a se dezintegra spontan, fără o acțiune exterioară, într-un atom mai stabil, degajând energie sub formă de radiații diverse (alfa, beta sau gama) se numește radioactivitate. Unitatea de măsură pentru radioactivitate este becquerel (Bq), după numele fizicianului Henry Becquerel (1852-1908), unul dintre descoperitorii radioactivității. 1 Bq reprezintă 1 dezintegrare pe secundă ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$)

Radiația alfa reprezintă emisia unei particule alfa din nucleul unui atom (denumit radionuclid), atomul original fiind transformat (dezintegrat) într-un atom al unui alt element chimic având numărul atomic Z mai mic cu 2, iar numărul de masă A mai mic cu 4, decât atomul elementului chimic original. Practic, o particulă alfa este formată din 2 protoni și 2 neutroni, aceasta reprezentând nucleul de heliu. Dezintegrarea alfa poate fi reprezentată schematic astfel (Fig. 1.2).

Energia totală eliberată prin dezintegrare este distribuită între particula alfa, nucleul descendent (aflat în stare energetică excitată) și radiația gama a nucleului descendent, adică radiația emisă de acesta pentru a trece din stare excitată în stare stabilă. Energia unei

particule alfa se situează în intervalul 2–10 MeV, fiind dependentă de radionuclidul emițător. Radionuclizii care emit particule alfa de energie scăzută se dezintegrează cu timpi de înjumătățire lungi, în timp ce radionuclizii ce emit particule alfa de energie mare au timpi de înjumătățire scurți [1].

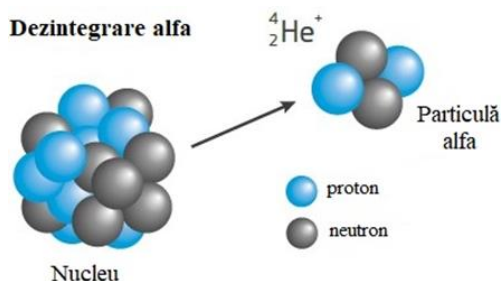


Fig. 1.2. Reprezentarea schematică a dezintegrării alfa.

O particulă alfa produce mii de perechi de ioni până când energia cinetică a acesteia este disipată complet în materialul pe care îl traversează. Particula alfa este cea mai ionizantă dintre particulele emise de sursele naturale, excepție extrem de rară fiind în cazul fisiunii spontane a uraniului. Organismele vii sunt expuse la radiații ionizante provenite din două surse naturale: radiația cosmică (reprezintă doza de expunere externă), care depinde de locație și de altitudine, doza de radiație cosmică dublându-se la fiecare 2000 m; elementele chimice radioactive din scoarța terestră. Până în prezent au fost descoperite în natură circa 340 specii de nuclee atomice (nuclizi), dintre care circa 70 sunt nuclizi radioactivi (radionuclizi). Toate elementele chimice cu număr atomic mai mare de 80 au izotopi radioactivi [4].

Iradieră cu radiații ionizante din exteriorul corpului transmite acestuia o doză de radiații doar pe perioada expunerii. În cazul iradierii prin ingestie sau inhalare de radionuclizi aceștia pot să rămână în interiorul corpului și să iradieze țesuturile timp de mai mulți ani. În aceste cazuri, doza totală de radiație depinde de timpul de înjumătățire a radionuclizilor, de distribuția lor în corp și de viteza cu care aceștia sunt excretați din corp.

2. SURSE DE RADIONUCLIZI ÎN AERUL AMBIENTAL

Rocile și solurile minerale care conțin uraniu și/sau radium generează radon, gaz radioactiv ce ajunge în aerul ambiental. Fiecare atom de radium se dezintegrează, ejectând din nucleu o particulă alfa compusă din doi protoni și doi neutroni. Odată cu emiterea particulei alfa, atomul de radon nou format este propulsat în direcție opusă particulei alfa. Acest

fenomen de recul este factorul cel mai important care determină eliberarea radonului din roci. În același mod se produce și eliberarea radonului din materialele de construcție. Radonul poate ajunge din sol în atmosferă prin următoarele trei procese:

- *Emanare* – atomii de radon formați prin dezintegrarea radiumului sunt eliberați din rocă și ajung în spațiile interstițiale din sol;

- *Transport* – curgerea fluidelor prin strat granular determină antrenarea atomilor de radon emanați, străbătând straturile de sol până la suprafață;

- *Exhalare* – atomii de radon transportați la suprafața solului ajung în atmosferă.

Concentrațiile de radon variază semnificativ în funcție de mediul în care acesta ajunge, adică mediul exterior, interior, sol sau apă. Radonul eliberat din roci sau sol este diluat rapid în atmosferă. Prin urmare, concentrațiile de radon în spațiu deschis sunt în mod normal foarte scăzute și cel mai probabil nu reprezintă un pericol. Concentrația radonului în aerul de exterior se situează în intervalul 2-20 Bq/m³, însă poate ajunge și la 100 Bq/m³ în unele văi, măsurat la primele ore ale dimineții. În aerul de interior, concentrația de radon poate fi mai mică de 20 Bq/m³, ajungând chiar la maxime de 110 000 Bq/m³.

Nivelul de radon în apele subterane este în general mult mai ridicat decât în apele de suprafață, deoarece toate apele subterane curg printre roci unde uraniu și radium sunt întotdeauna prezenți, în diferite concentrații. La suprafață, dimpotrivă, apele tind să elibereze radonul printr-un proces de aerare naturală.

Există trei surse principale responsabile de nivelul crescut de radon în aerul de interior:

- *Solul*. Radonul face parte din lanțul de dezintegrare a ²³⁸U, fiind descendent al ²²⁶Ra. Prin urmare, oriunde radiumul este prezent radonul poate avea niveluri ridicate. Rocile și solurile de sub construcție și împrejurimile casei sunt una dintre cauzele prezenței radonului în interiorul locuinței.

- *Materialele de construcție*. În multe cazuri, materialele de construcție pot reprezenta prima cauză responsabilă de concentrații crescute de radon în locuință. Este cazul cimentului albastru (ciment Portland), care conține concentrații ridicate de precursori de radon [3].

- *Apa*. Foarte rar se întâmplă ca apa menajeră din blocurile de locuințe să prezinte concentrații ridicate de radon, însă radonul se regăsește în apa termală din bazine și centre spa [6].

Având în vedere că materialele de construcție derivă din roci naturale, acestea emit radon (izotopii ²²²Rn și ²²⁰Rn), precum și radiații gama. Figura 2.1 ilustrează căile prin care radonul ajunge în aerul din locuințe: fisuri în pardoseală solidă, îmbinări între plăcile de materiale de construcție, fisuri în pereți, spații din

pardoseli suspendate, spații din jurul conductelor de apă menajeră, canalizare și conductelor de gaz, cavități în interiorul pereților, sistemele de alimentare cu apă etc. ext de bază.

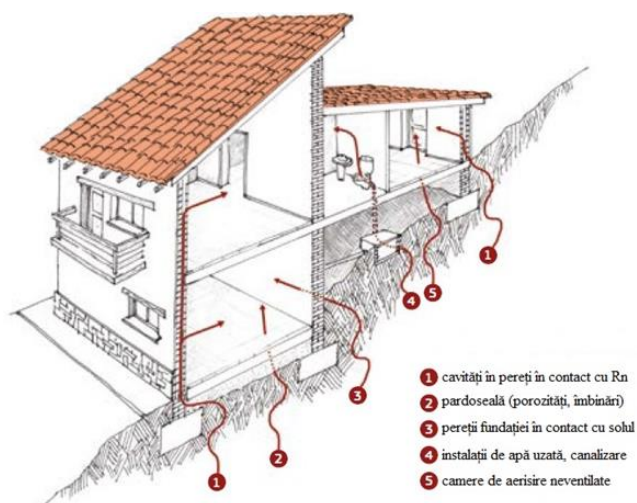


Fig. 2.1. Căile de poluare a aerului ambiental cu radon

Contaminarea aerului de interior cu radon și alți radionuclizi rezultați din dezintegrarea acestuia se face prin intermediul fundației construcției, a materialelor de construcție, precum și a instalațiilor de alimentare cu apă și gaz.

Radonul este prezent în orice tip de sol și se acumulează în orice tip de locuință, nouă sau veche, cu sau fără izolație. Prin urmare, singura modalitate de a cunoaște riscul de expunere la radon și a lua măsurile de remediere adecvate este măsurarea concentrației de radon din clădiri cu locuințe, cu acces public și cu locuri de muncă. Directiva CE 2013/59/Euratom din 5 decembrie 2013, privind stabilirea normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante, și Ordinul președintelui CNCAN nr. 185/22.07.2019 impun ca "Statele Membre trebuie să identifice zonele unde este de așteptat ca nivelul de radon (concentrația medie anuală) într-un număr semnificativ de clădiri să depășească nivelul național de referință" și stabilesc ca acest nivel de referință pentru radonul din aerul ambiental să nu depășească 300 Bq/m^3 [8, 9]. Organizația Mondială a Sănătății recomandă ca valoare limită cea de 100 Bq/m^3 , iar când aceasta nu poate fi aplicată, să nu se depășească 200 Bq/m^3 . În România, autoritatea națională competentă responsabilă de raportarea datelor pentru realizarea și actualizarea hărții este Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN), prin datele măsurate de Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Cluj-Napoca.

Calitatea aerului din interior este influențată direct de stilul de viață al rezidenților, în principal de

frecvența și eficiența ventilării spațiilor, fumat etc., precum și de preferințele individuale în ceea ce privește volumul și suprafața camerelor, decorarea excesivă cu mobilier, covoare și țesături, care acumulează și rețin radionuclizi solizi.

Ventilația prin unități centralizate de ventilație trebuie limitată pe cât posibil pentru a evita pătrunderea accelerată a radonului pe căile menționate mai sus. Pe de altă parte, ventilația naturală prin deschiderea frecventă a ferestrelor este recomandată, reducând astfel concentrația de radon și implicit poluarea spațiilor de interior cu radionuclizi descendenți cu durata de viață îndelungată.

Anveloparea termică, ca măsură de eficientizare energetică a locuinței prin reducerea infiltrării aerului din exterior și reducerea transferului termic prin pereții locuinței, este asociată, în numeroase studii, cu creșterea concentrației de radon din aerul de interior [5]. De regulă, anveloparea termică se efectuează pentru incintele care se află deasupra solului, însă nu și pentru spațiile care se află în contact cu solul, precum subsoluri, pivnițe, camere tehnice etc. În consecință, prin anvelopare termică se creează o diferență de presiune între aerul mai cald din interior și cel din exterior, în sensul depresurizării spațiilor în care temperatura este mai ridicată, facilitând astfel aerul de sub locuință, din subsol și alte spații subterane, să fie aspirat în spațiile de locuit. Pe de altă parte, ventilatoarele care evacuează aerul din locuință facilitează admisia gazelor din sol pentru a înlocui aerul lipsă. În acest fel, aerul din sol conținând radon pătrunde în locuință prin fisuri vizibile și invizibile din pardoseală, prin porozitățile din pereți, pe la gurile de vizitare și instalațiile de utilități. Locuințele încălzite, cu fundație slab etanșezată, permit ca aproximativ 20% din aerul de interior să provină din aerul subteran, astfel că nivelul de radon din aerul ambiental ajunge să fie foarte ridicat chiar și pe solurile cu conținut de radon moderat sau scăzut.

3. MĂSURI DE REMEDIERE/PROTECȚIE

Organizația Mondială a Sănătății (WHO, 2009) a clasificat radonul ca fiind agent cancerigen, riscul de cancer pulmonar crescând cu 16% pentru fiecare expunere de 100 Bq/m^3 [2, 7]. Însă riscul pentru sănătate nu este dat de gazul radon însuși, ci de produșii săi de dezintegrare cu viață scurtă, care, la rândul lor, emit radiații alfa. Aceștia sunt particule solide care se atașează de particulele de aerosoli, crescând astfel șansa de inhalare și de fixare în țesutul pulmonar.

Dintre cei trei parametri răspunzători de poluarea cu radon – concentrație, permeabilitate și presiune – singurul care poate fi controlat este presiunea [7]. Dacă presiunea de sub fundația de beton va fi redusă astfel încât să devină mai mică decât presiunea din interiorul

clădirii, gazele din sol nu vor pătrunde în clădire. Măsurile de remediere sunt de două tipuri:

1. Măsurile de prevenire a pătrunderii radonului din sol – pentru clădiri existente și clădiri noi;

2. Măsurile de reducere a concentrației de radon în spațiul interior – pentru clădiri existente.

Strategiile de prevenire a poluării cu radon se bazează pe reversul acestei diferențe de presiune, care se realizează prin utilizarea unui sistem de depresurizare activ (cu ventilator integrat) sau pasiv (fără ventilator). Sistemele de depresurizare se utilizează încă din anii 70, inițial în Canada. În plus, se pot utiliza și membrane impermeabile, aplicate între fundație și interiorul locuinței. Principalele strategii de prevenire și remediere a poluării cu radon sunt menționate în continuare.

1. *Depresurizarea activă a solului (DAS)* – pentru clădiri existente. Aceste sisteme sunt opțiunea preferată de constructori și constau în următoarele elemente (Fig. 3.1):

- Puncte de aspirație, localizate sub fundație sau placa de contact cu solul (stratul de material agregat permeabil);
- Punctul de evacuare, amplasat neapărat astfel încât să fie minimizată expunerea umană, de exemplu deasupra acoperișului;
- Ventilator cu operare continuă, amplasat deasupra spațiului de locuit;
- Manometru pentru monitorizarea performanței, precum diferențele de presiune de pe conductă, sub ventilator.

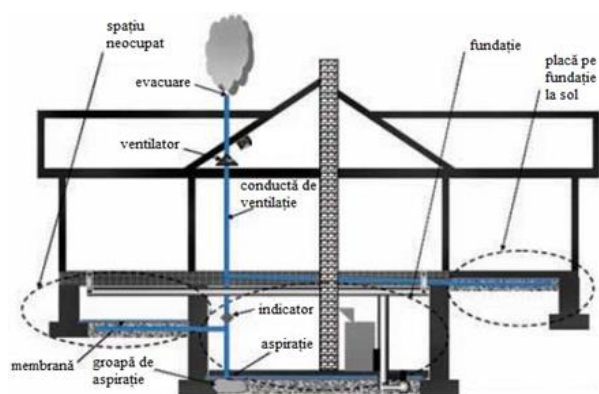


Fig. 3.1. Sistem de depresurizare activă a solului

2. *Depresurizarea pasivă a solului (DPS)* – pentru clădiri noi. Sistemul DPS este similar cu DAS, cu următoarele diferențe (Fig. 3.2): eficiența DPS depinde de flotabilitatea termică a aerului din conducta de aerisire și de capacitatea sa de depresurizare ușoară a solului. Pentru a fi eficient, trebuie avute în vedere următoarele:

- Sistemul DPS trebuie să aibă un strat permeabil uniform sub toate elementele aflate în contact cu solul;

- Conducta de aerisire trebuie să fie direcționată în principal prin porțiunea încălzită a clădirii și orice secțiune a conductei de aerisire din zonele neîncălzite trebuie să fie izolată;
- Traseul conductei de aerisire trebuie să permită instalarea ușoară a unui ventilator dacă sistemul DPS nu reușește să asigure o reducere suficientă a radonului;
- Gura de evacuare a aerului trebuie să fie deasupra celui mai înalt acoperiș;
- Conducta va fi etichetată la fiecare nivel accesibil pentru a evita confuzia cu conductele sanitare.
- Elementele clădirii care sunt în contact cu solul trebuie etanșizate pentru a se preveni infiltrarea gazelor din sol;
- Întrucât diferențele de presiune dintre aerul din conducta de ventilație și aerul din spațiul locuit sunt foarte mici, singura modalitate de monitorizare a performanțelor este monitorizarea periodică sau continuă a nivelului de radon;
- De regulă, eficiența DPS este de aprox. 50%. Creșterea performanțelor acestora se poate face prin montarea unor ventilatoare mici, de max. 75W.

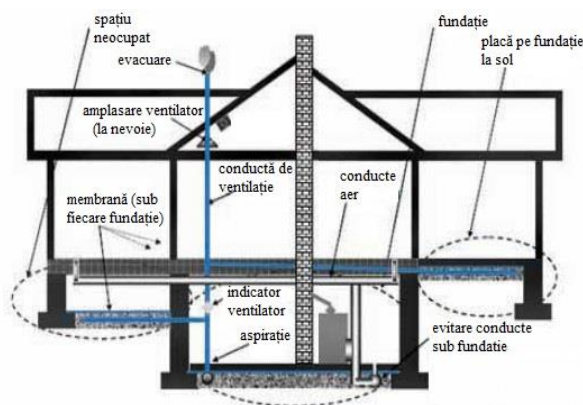


Fig. 3.2. Sistem de depresurizare pasivă a solului.

3.3. Etanșizarea suprafețelor

Etanșizarea suprafețelor care separă spațiul de locuit de sol este o măsură ce poate îmbunătăți performanțele măsurilor de depresurizare activă sau pasivă, reducând evacuarea aerului din interior, astfel crescând presiunea inversă a aerului. Ca măsură singulară de prevenire, etanșizarea are potențial limitat, în special pe termen lung.

4. Instalarea de bariere și membrane

Barierele și membranele dintre sol și spațiul de interior pot fi utilizate fie ca metodă de sine stătătoare în prevenirea poluării spațiului de locuit cu radon, fie în

combinație cu DAS și DPS. De asemenea, membranele ajută la limitarea transferului umidității din exterior spre interior. Totuși s-a demonstrat că eficiența acestora este redusă; nu s-au înregistrat reduceri semnificative ale concentrației de radon pe o perioadă de 10 ani. Gazele din sol pot pătrunde în interior prin orice alte deschideri.

5. Ventilarea spațiilor neocupate

Ventilarea spațiilor neocupate dintre sol și spațiile ocupate poate reduce nivelul de radon din locuință, cu condiția ca podeaua dintre spațiul ocupat și cel neocupat să fie impermeabilă la aer. Pentru aceasta se utilizează un ventilator, fie pentru a presuriza sau a depresuriza spațiul neocupat. Totuși, depresurizarea spațiilor nelocuite prin intermediul unui ventilator determină pierderi de căldură.

6. Ventilarea spațiilor ocupate

În general, pentru o bună calitate a aerului de interior este recomandat schimbul natural de aer între interior și exterior. În cazul prevenirii poluării cu radon, ventilarea are efecte diferite, ducând în același timp la pierderi de energie, în special în zone cu climat extrem. În cazul în care cauza poluării cu radon este dată de materialele de construcție, ventilarea spațiilor este obligatorie.

4. CONCLUZII

Radonul este un gaz natural radioactiv, provenind din lanțul de dezintegrare a uraniului. Este prezent în toate tipurile de sol. Producții de dezintegrare radioactivă ai acestuia nu sunt gaze, ci solide. Ele se atașează de particulele de praf din aer și ajung în organism prin inhalare și ingestie.

Directiva CE 2013/59/Euratom și Ordinul președintelui CNCAN nr. 185/22.07.2019 au stabilit nivelul de referință pentru concentrația de radon în aerul de interior de 300 Bq/m³.

Sursele principale responsabile de nivelul crescut de radon în aerul de interior sunt solul, materialele de construcție și apa.

Prin anvelopare termică se crează o diferență de presiune între aerul mai cald din interior și cel din exterior, făcând ca aerul de sub locuință să fie aspirat în spațiul de locuit. Ventilatoarele care evacuează aerul din locuință facilitează admisia gazelor din sol pentru a înlocui aerul evacuat.

Radonul pătrunde în locuință prin fisuri din pardoseală, porozități din pereți, pe la gurile de vizitare și instalațiile de utilități.

Strategiile de remediere și protecție se bazează în principal pe reversul diferenței de presiune (scăderea presiunii aerului sub spațiul de locuit), prin depresurizare activă sau pasivă a solului. Alte strategii implică etanșizarea suprafețelor, instalarea de bariere și membrane, ventilarea spațiilor neocupate, ventilarea naturală a spațiilor ocupate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Cinelli, G., De Cort, M., Tollefsen, T. (Eds.), *European Atlas of Natural Radiation*, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2019.
- [2] Darby, S., Hill, D et all. *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*, 2005.
- [3] Del Claro, F., Paschuk, S.A., Correa, et all., *Radioisotopes present in building materials of workplaces*. Radiation Physics and Chemistry, 140, p. 141 – 145, 2017.
- [4] Eisenbud, M. Gesell, T., Chapter 6 - Natural Radioactivity. In: *Environmental Radioactivity (Fourth Edition)*, Academic Press, San Diego, p. 134-200, 1997.
- [5] Jiránek, M., Kačmaříková, V., *Dealing with the increased radon concentration in thermally retrofitted buildings*, Radiation Protection Dosimetry, 160, p. 43–47, 2014.
- [6] Moreno, V., Bach, J., Zarroca, et all., *Characterization of radon levels in soil and groundwater in the North Maladeta Fault area (Central Pyrenees) and their effects on indoor radon concentration in a thermal spa*, Journal of Environmental Radioactivity, 189, p. 1–13, 2019.
- [7] Zeeb, H., Shannoun, F., *Who Handbook On Indoor Radon A Public Health Perspective*, ISBN 9789241547673, 2009.
- [8] Directiva CE 2013/59/Euratom/2013, privind stabilirea normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante.
- [9] Ordinul președintelui CNCAN nr.185/2019 pentru aprobarea Metodologiei pentru determinarea concentrației de radon în aerul din interiorul clădirilor și de la locurile de muncă.

Despre autor

Dr. ing. **Carmen MATEESCU**

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, București, România

Carmen Mateescu este doctor în inginerie chimică, specializarea ingineria mediului, și cercetător științific cu experiență de cercetare – dezvoltare de peste 25 ani în domeniul tehnologiilor de mediu, energiilor regenerabile (energie din biomasă) și caracterizării materialelor. S-a implicat în realizarea de produse și tehnologii inovative, fiind autor sau co-autor a 12 brevete de invenție și cereri de brevet de invenție în domeniul valorificării bioresurselor și protejării mediului. Este membru AGIR, membru al Asociației Biocombustibilii în România, membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România și membru supleant al EuroCase Bioeconomy Platform.