

TIBERIUS DICU

**RADON IN INDOOR ENVIRONMENTS: FROM GENOTOXICITY STUDIES TO
MITIGATION SYSTEMS**

REZUMATUL TEZEI DE ABILITARE

Contrar credinței populare, riscul de expunere la radiațiile ionizante datorate concentrației anuale de activitate a radonului din spațiile interioare (AIRAC) este mai mare decât cel asociat energiei nucleare și chiar mai mare decât cel indus de principala sursă artificială de radiații ionizante—medicina radiologică. Dintre cele 20.000 de respirații pe care le realizăm zilnic, aproximativ 16.000 provin din surse interioare, ceea ce face ca AIRAC să fie responsabilă pentru aproape 50% din expunerea globală la radiațiile ionizante. În Europa, radonul contribuie la 60% din expunerea totală la radiații ionizante, iar în România acest procent poate ajunge la 75%.

Ca principal factor de mediu în apariția cancerului pulmonar, radonul este responsabil pentru 8–15% din cazurile diagnosticate la nivel mondial. Odată inhalat, radonul afectează în principal tractul respirator, o fracțiune infimă fiind absorbită în fluxul sanguin. Deși radonul este în mare parte exalat înainte de a se dezintegra, descendenții săi de viață scurtă, precum poloniu-218 și poloniu-214, se pot depune la nivelul căilor respiratorii, unde particule alfa emise pot provoca leziuni materialului genetic. Aceste efecte sunt mutagene și includ rupturi simple și duble ale catenei ADN-ului, aberații cromozomiale, formarea de micronuclei și mutații genetice.

Cu toate acestea, expunerea la radon poate fi controlată și redusă, prevenind astfel apariția multor afecțiuni severe. Primul pas în această direcție este monitorizarea nivelului de AIRAC în fiecare clădire, deoarece radonul variază semnificativ în timp și spațiu, ceea ce face imposibilă extrapolarea rezultatelor de la o zonă la alta sau chiar de la o clădire la alta. O serie de factori influențează nivelul radonului în interior. Fiind un gaz radioactiv

rezultat din dezintegrarea Ra-226, radonul se infiltrează în clădiri prin difuzie și convecție, provenind din sol și materialele de construcție.

Principalele direcții de cercetare în domeniul radonului se concentrează pe trei aspecte esențiale: (i) efectele expunerii la radon asupra sănătății, (ii) metodele de identificare a clădirilor cu concentrații ridicate de radon și (iii) aplicarea măsurilor preventive în cazul clădirilor noi, respectiv a celor de remediere în cazul celor existente în vederea minimizării expunerii la radon.

Prima direcție include studii de tip caz - martor menite să stabilească retrospectiv o legătură între expunerea la radon și incidența cancerului pulmonar, precum și investigații la nivel celular, analizând leziunile genetice induse de radiațiile ionizante rezultate din dezintegrarea radonului și a descendenților săi.

A doua direcție abordează două strategii distincte:

- Identificarea clădirilor cu risc ridicat, analizând principalii factori care influențează acumularea radonului în interior. Printre aceștia se numără caracteristicile constructive (tipul materialelor de construcție, pardoseala, ferestrele, prezența pivniței etc.), factorii fizici și meteorologici (temperatura, presiunea atmosferică, viteza vântului etc.), specificul geologic, precum și comportamentul utilizatorilor. Pentru această analiză se utilizează modele statistice multiparametrice și tehnici de învățare automată, cu scopul de a dezvolta modele predictive pentru clădirile predispușe la concentrații ridicate de radon.
- Optimizarea metodologiei de măsurare a radonului în spațiile interioare, prin reducerea timpului de monitorizare fără a compromite semnificativ acuratețea rezultatelor. Aceasta necesită utilizarea factorilor de corecție temporală personalizați, adaptați tipului de clădire, pentru a compensa variațiile diurne și sezoniere ale concentrației de radon.

A treia direcție de cercetare se axează pe implementarea preventivă a metodelor de reducere a expunerii la radon în clădirile noi și pe aplicarea unor soluții eficiente pentru clădirile existente. În cazul clădirilor noi, măsurile de prevenție includ instalarea unor sisteme de colectare și evacuare a radonului de sub placa de beton, precum și aplicarea unei bariere anti-radon, menită să reducă schimburile de gaze între sol și interiorul clădirii. Pentru clădirile existente, strategiile de remediere sunt adaptate în funcție de caracteristicile construcției și concentrațiile de radon măsurate. Se poate interveni fie prin tratarea sursei, utilizând metode similare celor aplicate în clădirile noi, fie prin tratarea

aerului interior, prin creșterea numărului de schimburi de aer între interior și exterior, asigurând astfel o ventilație optimizată și o reducere eficientă a nivelului de radon.

Pentru a înțelege mai bine riscurile asociate radonului și pentru a implementa măsuri de reducere a expunerii, această lucrare analizează sistematic principalele aspecte ale cercetării asupra radonului ale autorului, de la studii fundamentale la soluții aplicate de remediere.

Capitolul 1 prezintă cele mai importante realizări științifice și academice în domeniul radonului și al expunerii la radiațiile ionizante. Cu peste 80 de publicații (dintre care 48 indexate ISI), trei brevete și contribuții semnificative la politicile de sănătate publică, aceste rezultate au avut un impact major asupra strategiilor naționale de evaluare a riscurilor asociate radonului.

Capitolul 2 evidențiază evoluția hărții radonului rezidențial în România, de la varianta preliminară cu 1.747 de măsurători la varianta actuală, care include 6.374 de măsurători. Această extindere a permis o evaluare a distribuției radonului și identificarea zonelor prioritare la radon, poziționând România printre țările cu cele mai ridicate concentrații de radon din interior la nivel global. Rezultatele au fost integrate și în harta europeană a radonului realizată de Comisia Europeană.

Capitolul 3 analizează doza efectivă anuală primită de locuitorii zone miniere de uraniu Băița-Ștei, România. Măsurătorile din peste 300 de locuințe au indicat concentrații ridicate de radon, 28% dintre locuințe depășind nivelul de referință de 300 Bq/m³. Studiul a evidențiat influența materialelor de construcție, a ventilației și a pivnițelor asupra acumulării de radon, subliniind necesitatea aplicării unor măsuri de remediere.

Capitolul 4 examinează riscurile pentru sănătate asociate expunerii la radon, concentrându-se pe efectele genotoxice și riscul de cancer pulmonar. Un studiu din zona Băița-Ștei a indicat leziuni semnificative la nivelul ADN-ului și alterări ale mecanismelor de reparare celulară, confirmând o radiosensibilitate crescută asociată expunerii cronice la concentrații ridicate de AIRAC. Studiile realizate în județele Cluj și Alba au evidențiat o corelație clară între expunerea rezidențială la radon și incidența cancerului pulmonar, subliniind necesitatea monitorizării sistematice și implementarea unor strategii de remediere.

Capitolul 5 explorează metodologii pentru determinarea factorilor de corecție temporală în evaluările radonului, comparând metodele pasive și active în locuințe și spații de lucru. Un sistem inovator de monitorizare a calității aerului interior (ICA) a fost dezvoltat, integrând măsurători în timp real pentru radon, CO, CO₂ și COV.

Capitolul 6 analizează factorii care influențează concentrația radonului în interior, utilizând modele statistice și de învățare automată. Studiul a identificat predictorii-cheie, precum perioada de construcție a clădirii, prezența pivniței, tipul pardoselii și condițiile geologice.

Capitolul 7 prezintă o analiză a strategiilor de remediere a radonului, bazată pe un studiu efectuat în 30 de locuințe din România. Depresurizarea sub placă s-a dovedit a fi cea mai eficientă metodă, reducând nivelul de radon cu până la 95%.

Capitolul 8 conturează perspectivele de dezvoltare profesională, punând accent pe îmbunătățirea procesului educațional, cercetare și colaborări științifice. Strategiile includ utilizarea instrumentelor moderne de predare, evaluări asistate de AI și ateliere interactive.

La finalul fiecărui capitol sunt date referințele bibliografice.

Această lucrare evidențiază importanța integrării evaluării riscurilor asociate radonului cu managementul calității aerului interior, contribuind la un mediu construit mai sigur și mai sănătos.