



UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE ȘTIINȚA MEDIULUI



TEZĂ DE DOCTORAT

(rezumat)

UTILIZAREA DETECTORILOR DE URME ÎN STUDIUL RADONULUI: EXPUNERE REZIDENȚIALĂ ȘI INSTITUȚIONALĂ

Conducător științific
Profesor universitar dr. **CONSTANTIN COSMA**

Doctorand:
HENING KINGA

CLUJ-NAPOCA
- 2015 -

Introducere.....	3
I. Radioactivitatea.....	4
II. Radonul.....	5
III. Radonul în diferiți factor de mediu.....	5
IV. Detectarea radonului.....	7
V. Metoda experimentală.....	10
Calcularea timpului optim de dezvoltare.....	12
Determinarea poziției optime a poziționării detectorilor de urme.....	16
Dependența densității de urme a detectorilor deformați în funcție de timpul de depozitare.....	18
Intercompararea aparatelor de măsurare a radonului.....	20
VI. Radonul în spații închise.....	20
Acumularea radonului în aerul din interior.....	20
Măsurarea concentrației de radon în locuințe.....	23
Măsurarea concentrației de radon în școli și grădinițe.....	32
Măsurarea radonului în stațiuni balneare.....	36
VII. Concluzii.....	39
Bibliografie.....	43

Cuvinte cheie:

radioactivitate, echilibru radioactiv, radon, detector de urme, densitate de urme, expunere rezidențială.

INTRODUCERE

La aproape 120 de ani de la descoperirea radioactivității, studiul diferitelor aspecte legate de radiațiile nucleare este încă de mare interes. Un domeniu aparte în care radioactivitatea și radiațiile joacă un rol important este cel a radioprotecției.

Cu toate că radiul (părintele radonului) este unul dintre primele elemente radioactive descoperite, implicația lui în iradierea populației a făcut ca studiile să fie intens abordate în ultimul timp. Peste 65% din iradierea surselor naturale existente se datorează radonului [1].

Conform organizației mondiale de sănătate (WHO), omul secolului XXI își petrece 80% din timp în spații închise (locuință, loc de muncă, etc.). Radonul din locuințe necesită o atenție specială, deoarece atât dozele individuale cât și cele provenite de la descendenții săi pot influența sănătatea umană.

Radonul reprezintă unul dintre cei mai studiați “factori” carcinogeni ai mediului.

Eforturile recente de a investiga direct legătura dintre radonul rezidențial și cancerul pulmonar sunt datorate efectelor negative ale radonului asupra sănătății.

În majoritatea țărilor, în cadrul unor proiecte de cercetare, este monitorizată concentrația radonului din diferiți factor de mediu (aer, apă, sol) și este determinată doza primită de populație.

În acest context, monitorizarea locuințelor la expunerea radonului dobândesc o importanță socială, deoarece diminuarea concentrației de radon ajută la menținerea sănătății.

Din acest motiv în lucrarea de față s-a propus o adaptare a uneia dintre metodele cunoscute de determinare a radonului din interior precum și studii utilizând această metodă asupra concentrației de radon din spații închise, în principal locuințe, școli grădinițe, etc.

Prima parte a lucrării constituie un amplu studiu documentar a datelor din literatura de specialitate referitoare la radon, prezența acestuia în diferiți factori de mediu, metode de măsurare, efectele asupra sănătății, etc.

În partea a doua a lucrării sunt prezentate metodele experimentale utilizate de autor pentru îmbunătățirea metodei de măsurare a radonului cu metoda detectorilor de urme CR-39.

Printre obiectivele studiului se regăsește măsurarea concentrației radonului din interior în zonele de studiu alese: jud. Alba-case, jud. Bacău-școli, jud. Bihor-case și băi termale, jud. Bistrița Năsăud-case, jud. Brașov-case, București-case, jud. Cluj-case și școli, jud. Covasna-mofete, jud. Galați-case, jud. Gorj-case, jud. Mehedinți băi termale și mine, jud. Mureș-mină, jud. Satu-Mare-școli, jud. Sibiu-case și școli, jud. Prahova-mină.

Primul capitol al lucrării este un capitol introductiv, unde sunt prezentate mecanismele dezintegrării radioactive și caracteristicile principale ale seriilor radioactive.

În capitolul doi sunt prezentate proprietățile fizice și chimice respectiv generarea și migrarea radonului. De asemenea sunt prezentate efectele radonului asupra sănătății umane, mărimile specifice folosite și normele legislative din domeniu radioprotecției.

Capitolul trei prezintă radonul în diferiți factor de mediu .

Metodele de măsurare a radonului și prezentarea detaliată a metodei detectorilor de urme CR-39 sunt descrise în capitolul patru. Tot în acest capitol este prezentat modul în care se face calibrarea detectorilor pentru a putea fi folosiți în măsurători și la exerciții de intercomparare cu alte laboratoare de specialitate.

Capitolul cinci conține contribuția experimentală referitoare la îmbunătățirea metodei detectorilor de urme de tip CR-39. S-a determinat timpul optim de dezvoltare a detectorilor, poziționarea corectă, posibilitatea de re folosire a cutiilor de detector deja expuse. S-a verificat dependența densității de urme a detectorilor de tip CR-39 în funcție de timpul de depozitare. Prin mai multe experimente de intercomparare a metodei detectorilor de urme de tip CR-39 cu alte metode de măsurare folosite în măsurarea radonului din interior, s-a verificat factorul de calibrare al aparatului furnizat de producător.

Capitolul șase conține rezultatele obținute în cazul determinării concentrațiilor de radon în spații închise, din zonele de interes. S-a măsurat concentrația radonului în spații închise (906 locații), în diferite zone ale României.

În ultimul capitol, capitolul șapte, sunt reunite toate concluziile care pot fi extrase din investigațiile experimentale.

CAPITOLUL I.

RADIOACTIVITATEA

În acest capitol sunt prezentate radiațiile nucleare, tipurile de dezintegrare (radiația alfa, beta respectiv gamma).

Radioactivitatea reprezintă fenomenul în care are loc emiterea uneia sau a mai multor particule încărcate sau neutre, care au o masă de repaus zero sau diferită de zero, din interiorul nucleului atomic. Datorită acestui fenomen, nucleul atomului trece dintr-o stare instabilă în altă stare mai stabilă.

CAPITOLUL II.

RADONUL

În acest capitol sunt prezentate proprietățile-, generarea și sursele-, migrarea radonului, fluxul de radon, mărimile și unitățile specifice utilizate în detectarea radonului, sunt discutate efectele radonului asupra sănătății populației și reglementările naționale și internaționale privind concentrația de activitate a radonului.

CAPITOLUL III.

RADONUL ÎN DIFERIȚI FACTORI DE MEDIU

În sol principala sursă a radonului este radiul. Cantitatea de radon din sol depinde de concentrația de radiu, de structura solului și a rocii de sprijin, respectiv de proprietățile fizice și chimice a acestora. Datorită structurii geologice specifice locale concentrația de radon emanată în aer poate varia semnificativ din loc în loc [29].

Radiul se găsește în minerale care conțin uraniu, thoriu sau actiniu. Concentrația radiului din sol depinde nu numai de concentrația de uraniu ci și de concentrația de calciu respective bariu din solul respectiv, unele procese chimice putând influența această concentrație. Concentrația de radiu variază în funcție de tipul rocii respectiv al solului între valorile de 10-100 Bq/kg. [30].

În general solurile, din perspectiva concentrației de radon se pot categoriza ca și zone cu risc crescut, zone cu risc mediu și cu risc mic.

Zona de risc crescut este locul unde concentrația de radon din sol depășește valoarea de 50 kBq/m³. În această categorie intră acele locuri, unde solul este bogat în uraniu (radiu), sau are o permeabilitate mare.

Zona cu risc mediu este locul unde concentrația de radon a solului variază între 10-50 kBq/m³ și solul are o permeabilitate medie.

Zona cu risc mic este categorizat ca și solul unde concentrația de radon nu depășește valoarea de 10 kBq/m³ și solul are o permeabilitate mică.

Pentru atmosfera liberă, concentrația de radon din aer este puternic influențată de valoarea momentană și locală a fluxului de radon din sol cât și de mișcarea maselor de aer din atmosferă în legătură directă cu condițiile meteorologice.

Radonul emanat din sol se diluează rapid în aer și concentrația lui scade pe măsură ce crește înălțimea de la suprafața solului.

În ultimii ani tot mai mare accent se pune pe determinarea radonului din clădiri cunoscând efectul descendenților asupra sănătății și faptul că se acumulează în spații închise.

Primele rezultate ale determinărilor de radon din atmosfera locuințelor au fost publicate de către Hultquist (Suedia), după care acest tip de măsurători a fost abandonat timp de 25-30 ani.

Concentrația de radon din interior depinde de concentrația de radon din solul de sub clădire, parametrii fizici și chimici a solului, structura clădirii, modul și frecvența de aerisire, factori meteorologici (presiunea, temperatura, umiditatea).

Principala sursă de radon în interior este solul de sub clădire. În general, concentrația de radon din încăperi are ca sursă, cca. 60% solul, cca. 20% materialele de construcție, aerul exterior cca.18%. Consumul de apă contribuie cam cu 1,8% iar consumul de gaz cu mai puțin de 1% [31].

În figura 1. se pot urmări principalele căi de intrare a radonului în spații închise. (crăpăturile dinspre exterior, în special din pivnițe și sisteme de canalizare, care fac legătura direct cu solul, dar și din pereți, și din materialele de construcție).

Caracteristicile locale ale solului (pe care este construită clădirea) precum și materialul care intră în fundamentul clădirii vor influența decisiv concentrația radonului din interior. Deci, spărturile și crăpăturile în fundație sau neetanșeitățile din jurul țevilor vor constitui căile principale de acces a radonului în spațiile închise.

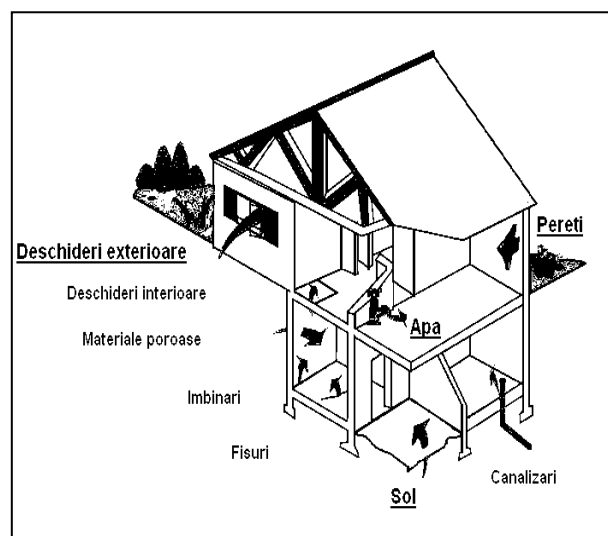


Figura 1.: Căile de intrare și de transfer ale radonului într-o locuință

Așa cum se poate vedea mai sus a doua sursă principală a radonului în locuințe sunt materialele de construcție. Materialele de construcții clasice (argilă, nisip, piatră, granit etc.) conțin radioelemente naturale în diferite concentrații, în funcție de specificul locului de proveniență.

În ultimii ani s-au experimentat și s-au produs o serie de materiale de construcții noi care tind să le înlocuiască pe cele clasice.

Ventilația corespunzătoare reprezintă măsura cea mai viabilă pentru a micșora concentrația radonului din interioare. Depresurizarea și viteza de ventilație variază însă în funcție de anotimp sau ora din zi.

Emanația radonului în spațiile închise depinde și de condițiile meteorologice.

CAPITOLUL IV.

DETECTAREA ȘI MĂSURAREA RADONULUI

Detectarea separată a radonului este dificilă din cauza interferenței adusă de radioactivitatea descendenților săi. Particulele alfa emise de toron și de produșii de dezintegrare ai radonului se diferențiază mai greu de cele emise de radon. Radonul, thoronul și descendenții acestora se pot măsura separat prin spectrometrie alfa sau gama, în funcție de principalele energii după care pot fi identificați [1, 21]. Majoritatea metodelor de măsurare a radonului și a descendenților săi se bazează pe detecția particulelor alfa emise.

Măsurătorile de radon se poate grupa: după detectarea particulelor alfa provenite de la radon sau descendenți (măsurători directe sau indirecte); după tehnicile de măsurare (metodă activă și pasivă), după metoda de prelevare (luare de probe instantanee, luare de probe continuu de câteva zile sau săptămâni sau măsurători integrate); respectiv după tipul detectorului folosit (cameră de ionizare, celule Lucas, detectori de urme, etc.).

În măsurarea radonului detectorii cei mai frecvent utilizați sunt camerele de ionizare, celulele de scintilație, detectorii cu semiconductori, detectori cu cărbune, detectori cu electreți, detectori de urme cu corp solid.

Detectori de urme cu corp solid

Detectorii de urme cu corp solid sunt reprezentați de materiale din plastic sau polimeri care au proprietatea de a lăsa urme detectabile la impactul particulelor alfa prin suprafața lor [67]. Materialele cele mai frecvent utilizate sunt reprezentate de azotatul de celuloză (LR-115)

și materialele plastice (CR-39 și Makrofol). Trecerea radiației alfa prin detector lasă o urmă de-a lungul parcursului său de 20-70 μm .

Denumirea acestor detectori în literatura de specialitate este: Solid State Nuclear Track Detector, SSNTD.

Acest tip de detectori se folosesc foarte mult la măsurătorile pasive de lungă durată, fiind tehnica cea mai utilizată în ultima perioadă în această direcție [60-62].

Pentru a construi un model care să descrie apariția urmelor în detectori de urme de corp solid, trebuie ținut cont de proprietățile care au fost observate experimental [70].

Este cunoscut faptul că o particulă grea încărcată, parcurgând un anumit material, cea mai mare parte a energiei sale se pierde prin ionizarea și excitarea atomilor materialului.

Un procent foarte mic din pierderea de energie se datorează ciocnirilor elastice cu atomii materialului. Energia cedată materialului aproape în totalitate se transformă în energie termică, astfel pe traiectoria particulelor materialul va suferi un ușor șoc termic.

Actualmente se folosește **teoria exploziei de ioni** („ion explosion spike”) [74]. După acest model mecanismul de formare a urmelor este prezentat în figura 2.

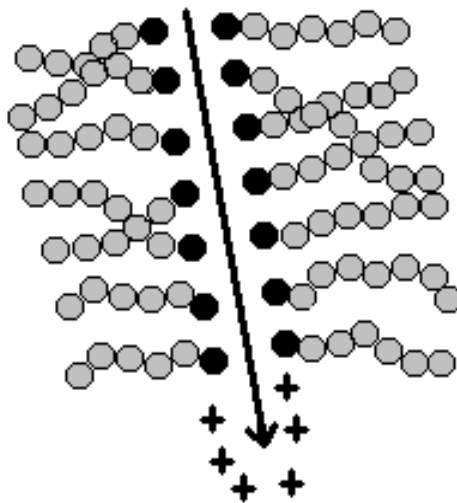


Figura 2.: Diagrama schematică a ruperii lanțurilor polimerice la pătrunderea unei particule grele încărcate

De-a lungul traiectoriei sale particula grea încărcată, ionizează atomii materialului solid. Forțele de respingere electrostatice care apar vor disloca atomii ionizanți, în felul acesta creând un mare număr de vacante și defecte interstițiale. Acest proces numai atunci se va petrece dacă sarcina spațială mare de pe traiectoria particulelor nu scade repede (de exemplu

prin recombinare cu electroni) și dacă forțele care apar sunt destul de mari ca să poată disloca atomii.

Urmele primare pot fi studiate numai cu metode complicate (de exemplu cu microscopul electronic de transmisie), care fac vizibile variațiile structurale ale materiei, localizate pe domenii mici. Cu metode chimice aceste urme pot fi făcute vizibile și cu ajutorul unui microscop optic [75].

Fiecare metodă de tratare chimică se bazează pe faptul că viteza de solubilitate a materialului este mai mare în zona deteriorată de radiație decât în locul unde nu a fost atins de radiație. În urma tratării chimice, în locul urmelor primare vor apărea găuri mici în formă de con, care cu înaintarea procesului chimic se vor mări și vor deveni mai plate. Acest proces poate fi urmărit calitativ în următoarea figura 3.

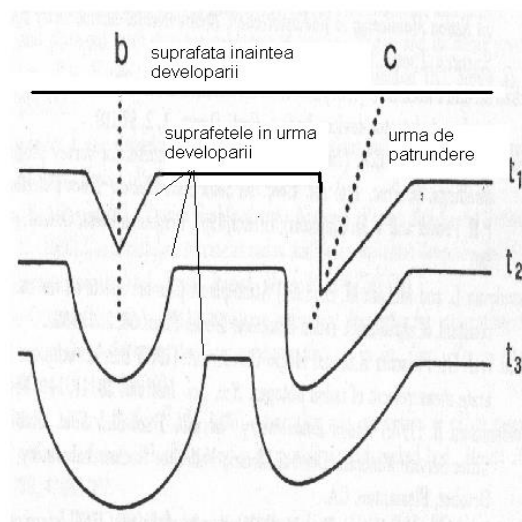


Figura 3.: Caracteristicile dezvoltării într-un detector de urme de corp solid

Materialele cel mai des folosite la detectori de urme de corp solid sunt polimerii.

Detectorul de urme CR-39 este din plastic, alidiglicol, și este sensibil la radiațiile α , care au energiile între 0,2-8 MeV [73,75].

Tehnica folosită este următoarea: detectorul este lipit într-o cutie mică de plastic, numita de producator Radaport, sau Radamon. Cutia este prevăzută cu orificii pentru a permite intrarea radonului în interiorul lui. Radamonul are un strat de hârtie specială, care nu lasă să pătrundă descendenții radonului din aer, în schimb radonul va intra 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 [74]. Detectorul CR-39, va detecta atât particulele α emise de radon, cât și pe cele emise de descendenții acestuia.

Detectorul CR-39, va detecta atât particulele α emise de radon, cât și pe cele emise de descendenții acestuia [70]. În figura următoare (Figura 4) se văd urmele produse de radiația alfa în materialul detectorului de urme CR-39.

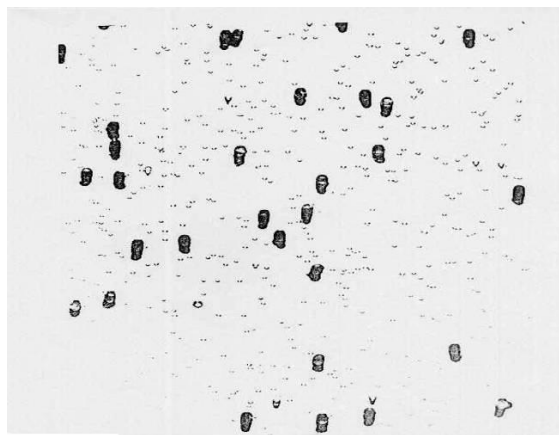


Figura 4.: Fragmente de fisiune și urme α în detectorul de tip CR-39

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.

CAPITOLUL V.

METODA EXPERIMENTALĂ

Detectorii de urme nucleare, indiferent că sunt emulsii nucleare sau dielectricei developați chimic, necesită mărire optică pentru vizualizarea și numărarea urmelor. În aplicațiile de rutină, analiza unui număr mare de detectori este foarte dificilă, mai ales în cazul în care trebuie examinate densități mari de urme. O soluție pentru automatizarea numărării urmelor este dată de dezvoltarea electrochimică, caz în care urmele nucleare din dielectricei solizi sunt aduse la mărimi macroscopice astfel încât nu mai fiind necesară utilizarea microscopului optic. Studiarea unor suprafețe mari ale detectorilor devine astfel mult mai ușoară.[70].

Majoritatea aparatelor de dezvoltare electrochimică existente necesită folosirea unor reactivi chimici atât la începutul cât și la sfârșitul procesului de dezvoltare. Acest fapt poate crea probleme și durează un timp îndelungat, mai ales în cazul în care se dezvoltă un număr mare de detectori.

Aparatul RadoSys 2000 îndepărtează aceste dificultăți [76], utilizând etching-ul chimic.

RadoSys2000 reprezintă un set complet de instrumente dedicate măsurării activității concentrației de radon integrată în timp. (figura 5.)

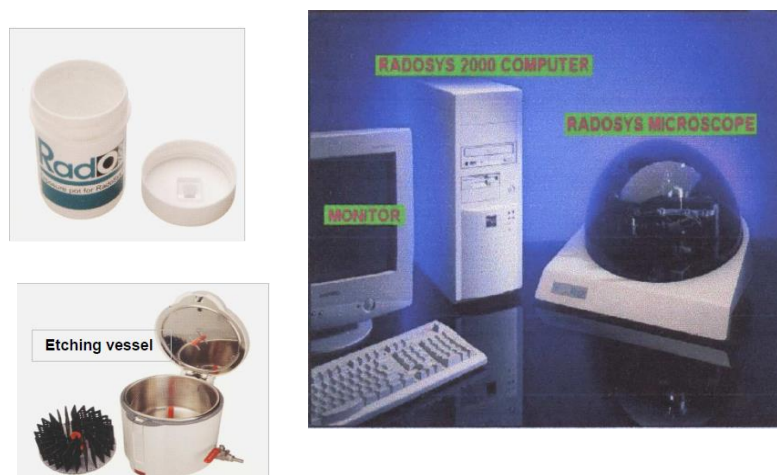


Figura 5.: Aparatul RadoSys 2000 (dreapta), cu Radapotul în care se expune detectorul (colț stânga sus) și cu instalația utilizată la dezvoltare (colț stânga jos)

Pentru a evidenția urmele în detectorul CR-39 acesta trebuie tratat într-o soluție de NaOH, într-un termostat fixat la temperatura de 90°C.

Densitatea urmelor care apar în detector va fi proporțională cu concentrația de radon din cutie. Din numărul de urme, pe baza unei calibrări se calculează concentrația cu ajutorul formulei de mai jos.

$$C_{Rn} = \frac{\rho \cdot F_c}{t} \quad (1)$$

unde:

C_{Rn} - concentrația de radon calculat, [Bq/m³]

ρ - densitatea de urme, [track/mm²]

F_c - factor de calibrare, [kBqh/m³/(tracks/mm²)]

t - timpul de expunere, [h]

În utilizarea detectorilor de urme, ca și în cazul altor aparate de măsură este foarte important calibrarea metodei folosite.

Pentru a avea o măsurare corectă a concentrației de radon cu ajutorul detectorilor de urme trebuie ținut cont de următoarele factori:

- A. timpul optim de dezvoltare a detectorilor
- B. poziționarea corectă a detectorilor în încănta spațiului închis unde se măsoară concentrația de radon
- C. dependența densității de urme a detectorilor deplodați în funcție de timpul de depozitare

Pentru a afla concentrația optimă a soluției de gravare respectiv timpul optim de dezvoltare s-a recalibrat metoda utilizată.

CALCULAREA TIMPULUI OPTIM DE DEZVOLTARE

Experimentele au fost făcute la Institutul de Cercetare Interdisciplinară din cadrul Universității Babeș-Bolyai, Facultatea de Știința Mediului, Cluj-Napoca.

Aparatul de măsurare, Radim 3A, a fost amplasat într-o cameră artizanală de radon împreună cu o sursă de radon. (Figura 6.)

Pentru a verifica concentrația de radon cu ajutorul detectorilor de urme s-a verificat concentrația găsită este cea existentă (masurată prin alte metode)

La fiecare experiment au fost condiții similare. În camera de radon din incinta laboratorului pe lângă sursa de radon am pus detectori de urme CR-39 respectiv aparatul Radim.



Figura 6.: Camera de radon folosită în laboratorul de cercetare al Universității Babeș-Bolyai

Pentru a verifica concentrația de radon cu ajutorul detectorilor de urme s-a verificat concentrația găsită este cea existentă (masurată prin alte metode)

La fiecare experiment au fost condiții similare. În camera de radon din incinta laboratorului pe lângă sursa de radon am pus detectori de urme CR-39 respectiv aparatul Radim.

S-a verificat corectitudinea măsurărilor cu detectori de urme în trei cazuri diferite.

A). Detectorii au fost amplasați împreună cu aparatul Radim în camera de radon, unde concentrația radonului a provenit din exhalatia dată de un beton special. Timpul de expunere a fost de 8 zile.

La dezvoltarea detectorilor s-a pornit de la concentrația dată de către furnizor, Radosys, de $c=6.25\text{mol}$, $t=90^{\circ}\text{C}$ și s-a studiat densitatea urmelor în diferite timpuri de dezvoltare.

Detectori au fost scoși din soluția de dezvoltare după un timp de 3,5h, 4h, 4,5h, 5,5h. Detectorii după ce erau scoși din soluție au fost spălați cu apă distilată, uscați și citiți de fiecare dată de câte 5 ori. După citire au fost reintroduși în soluția de NaOH pentru redevelopare.

După cum a fost prezentat în capitolul 4.2.2., urmele din materialul detectorului prin dezvoltare ajung la diferite mărimi. Mărimea lor este proporțională cu timpul de dezvoltare. Cu cât timpul de dezvoltare este mai lungă mărimea urmelor este mai mare (este mai mare decât aria urmei sesizată de către aparat).

Media aritmetică și geometrică a concentrației de radon în funcția timpului de dezvoltare

Tabel 1.: Media aritmetică și geometrică a concentrației de radon în funcție de $t_{\text{de dezvoltare}}$

$t_{\text{de dezvoltare}}$ (h)	3,5	4	4,5	5,5
$\langle C_{\text{Rn}} \rangle$ (Bq/m ³)	2964±424	3275±174	3734,625±303	3383,875±295
GEOMEAN	2934	3271	3724	3372
MEDIAN	3168	3334	3740	3338

Din rezultatele obținute se poate demonstra faptul că timpul lung de dezvoltare distruge urmele de pe detector. Acesta duce la o densitate de urme mică, din care rezultă o concentrație mai mică decât cea reală.

După cum se vede din rezultate, la concentrația de **6,25mol** a soluției de gravare timpul optim este de **4,5h**. (Figura 7).

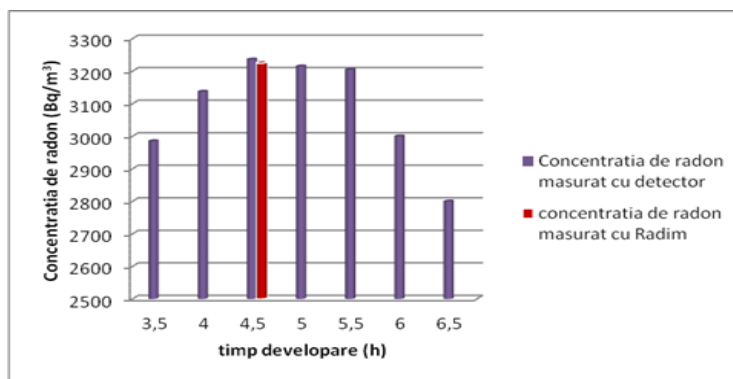


Figura 7.: Variația concentrației de radon în funcția timpului de dezvoltare.

B). A doua metodă pentru a verifica timpul optim de dezvoltare pentru detectorii de urme CR-39 a fost asemănătoare cu prima metodă. Diferența a fost următoarea: Nu aceleași detectori au fost dezvoltați respectiv redevolpați ca și în cazul precedent, ci diferiți detectori. Cu această metodă s-a propus să se verifice dacă s-a omis o eroare de măsură prin faptul că detectorii din experimentul prezentat anterior după citirea lor s-au redevelopat.

Pentru a doua metodă, în camera de radon (figura 6.), pe lângă sursa de radon și aparatul Radim (aparat de control), s-au expus 21 de detectori.

După expunere au fost dezvoltați în aceeași condiții. (soluție de NaOH, cu concentrația de 6,25mol, la o temperatură de 90 °C, dar timp de dezvoltare diferit. În intervalul de 3h-6h au fost luate din baia de gravare trei-trei detectori.

În urma dezvoltării au fost citiți de 3 ori cu aparatul RadoSys-2000. S-a utilizat un factor de calibrare de 2,6317, concentrația de radon fiind determinată după formula 1. Rezultatele obținute se află în tabelul 2.

Tabel 2. : Concentrația medie și geometrică al radonului în funcție de timpul de dezvoltare

$t_{\text{developeare}}$ (h)	$\langle C_{Rn} \rangle$ (Bq/m ³)	GEOMEAN	MEDIAN
3	2637±7	2636	2637
3,5	2880±65	2879	2897
4	3095±37	3094	3078
4,5	3533±273	3525	3586
5	3271±73	3270	3245
5,5	2872±60	2872	2888
6	2604±31	2604	2587

Concentrația de radon măsurat cu aparatul radim: $C_{Rn}=3473\text{Bq/m}^3$

Din datele experimentale rezultă, că timpul de dezvoltare optim pentru detectorii CR-39, folosiți de noi este de 4,5h, corespund concentrației măsurate cu aparatul radim.

Cu ajutorul acestor date s-a calculat curba de saturație luând în considerație timpul de dezvoltare a detectorilor. Acest lucru se observă și în figura 8.

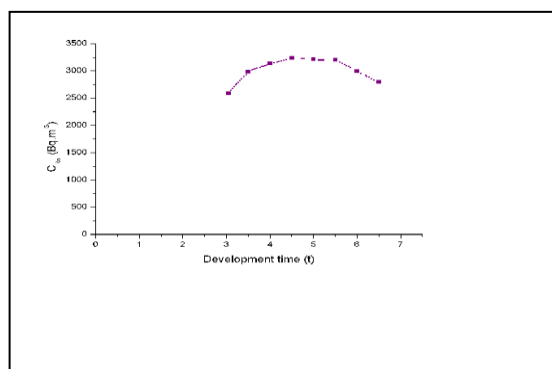


Figura 8. : Curba de saturație pentru timpul de dezvoltare

În cele două experimente și metode susnumite în condiții de laborator s-a experimentat timpul optim de dezvoltare. La densități mari de urme, respectiv concentrații de radon mari acest timp a fost de 4,5h.

C). Pentru a optimiza și mai bine timpul necesar tratării chimice s-a propus verificarea metodei la concentrații mai mici de radon (față de cel din laborator).

Pentru acest tip de experiment au fost expuși detectori de urme CR-39 în locuințe. Timpul de expunere a fost de 3 luni. După expunere au fost tratați de asemenea într-o soluție de NaOH de 6.25 molar la temperatura de 90⁰C. Pentru a studia numărul de urme pe unitatea de suprafață s-au extras detectorii din soluția de NaOH la diferite perioade de timp.

Urmele au fost citite cu ajutorul sistemului optic de citire, iar rezultatele au fost prelucrate după cum se observa în figura 9.

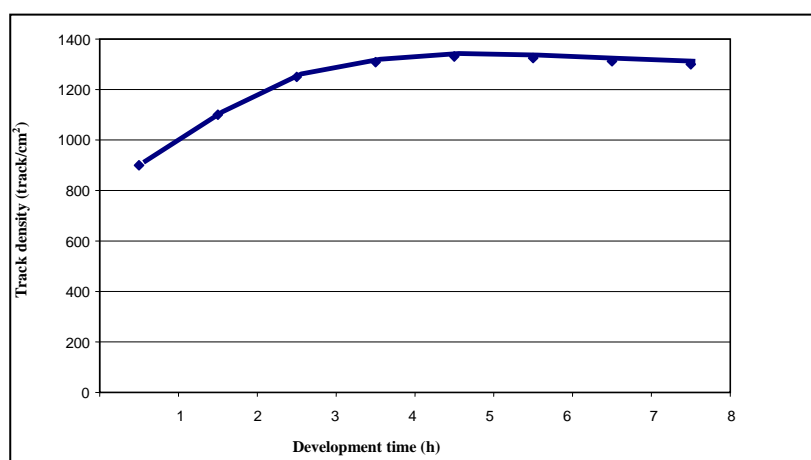


Figura 9.: Optimizarea timpului de corodare pentru detectorul de corp solid CR-39

Din grafic se poate observa că timpul optim de corodare este situat în intervalul 4,5-5,5 ore. În cazul în care timpul de dezvoltare este mai lung, nu vor apărea alte urme, însă cele existente se vor mări scăzând astfel rezoluția detectorului. (după cum s-a demonstrat și în cele două metode anterioare).

Acest aspect este esențial atunci când avem detectori cu densități de urme foarte mari.

DETERMINAREA POZIȚIEI OPTIME A POZIȚIONĂRII DETECTORILOR DE URME

A). Sub camera de radon s-a montat 8 detectori împreună cu aparatul Radim, ca și aparat control. Sursa de radon a fost un bloc de beton cu Ra și Cs. Timpul de expunere a fost de 7 zile.

Cutiile au fost puse sub camera de radon în așa fel ca să se concretizeze poziționarea și închiderea optimă. Astfel 2 cutii au fost puși în poziția verticală, cu capacul strâns, 2 în poziția verticală cu capac nestrâns. Ceilalți 4 cutii cu detectori au fost poziționate invers decât cei în poziția verticală. (2 cutii cu capac strâns, respectiv 2 cu capac nestrâns). Rezultatele sunt prezentate în tabelul 3.

Tabel 3.: Concentrația de radon pentru detectori aflați în diferite poziții

Detector	Poziția detectorului	Densitatea de urme (track/mm²)	C_{Rn} (Bq/m³)
B71061	Normal, strâns	9,227	2557
B71020	Normal, strâns	10,662	2955
B71082	Normal, nestrâns	11,303	3132
B71083	Normal, nestrâns	13,739	3807
B71075	Răsturnat, strâns	10,581	2932
B71071	Răsturnat, strâns	11,289	3128
B70998	Răsturnat, nestrâns	14,180	3807
B71019	Răsturnat, nestrâns	13,554	3756

După cum se vede din rezultate, este diferență în cazul în care cutia detectorului este bine închisă sau este nestrânsă. În cazul în care cutia a fost bine strânsă, concentrația de radon este mai mică de 1,26 ori. În cazul în care cutiile au fost răsturnate, diferența între concentrațiile măsurate cu detectorii aflate în cutii strânse a fost de 0,8 mai mici decât cele aflate în cutii nestrânse.

În funcție de poziționarea cutiei în care au fost lipite detectorii, nu s-a adeverit la concentrațiile măsurate o diferență semnificativă. În cazul cutiilor strânse, diferența între normal/răsturnat a fost de 0,91, respectiv pentru cei nestrânși, diferența între normal/răsturnat a fost de 0,92.

B). Detectorii CR-39 se pot expune în diferite tipuri de cutii: radamon, radapot,etc. Unul dintre experimente consta în faptul că în camera de radon, aflata în dotare la laboratorul de cercetare, s-au pus împreună cu aparatul Radim (aparat control) și detectori de urme în trei tipuri de cutii. (figura 10.). În experiment din fiecare tip de cutie a fost câte cinci bucăți.



RSE-cutii albe



RSF-cutii negre lungi



RSF-cutii negre plate

Figura 10.: Cutii pentru detectorii de urme folosite în laborator

Concentrațiile medii obținute în urma experimentului au fost: pentru cutii de tip *RSE-CUTII ALBE* $\langle C_{Rn} \rangle = 521 (\text{Bq}/\text{m}^3)$, pentru *RSF-CUTII NEGRE LUNGI* $\langle C_{Rn} \rangle = 619 (\text{Bq}/\text{m}^3)$, iar pentru cei *RSF-CUTII NEGRE PLATE* $\langle C_{Rn} \rangle = 520 (\text{Bq}/\text{m}^3)$. Detectorii introduși în cutiile RSF au arătat concentrație asemănătoare cu cea dată de aparatul Radim. Măsurătorile efectuate cu primele două tipuri de camere de expunere dau valori mai mici decât cele reale cu aproximativ $100/600 = 16,6 \%$.

C). S-a experimentat re folosirea cutiilor pentru expunerea detectorilor. În acest studiu am folosit detctori introduși în cutii noi respectiv în cutii expuși deja.

După dezvoltarea și citirea detectorilor de urme CR-39, concentrația de radon este prezentat în figura 11.

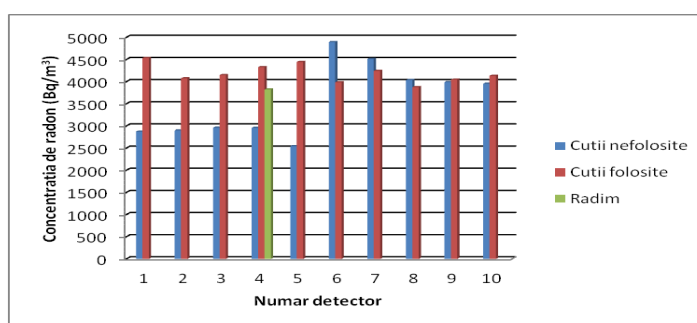


Figura 11.: Variația concentrației de radon în funcție de tipul de cutii în care a fost expus detectorul

Din rezultate se constată o diferență între concentrațiile măsurate cu detectori care au fost puse în cutii nefolosite și cele măsurate cu detectori aflați în cutiile deja folosite. În cazul cutiilor nefolosite valoarea medie al radonului a fost de **3562Bq/m³**, iar cu cele folosite concentrația medie era de **4181Bq/m³**.

Detectorii din cutiile deja folosite au arătat o concentrație mai mare decât în cazurile în care erau puși în cutii nefolosite. Explicația constă în faptul că din măsurătorile precedente pe peretele cutiei au rămas descendenți ai radonului, care încă radiază. Pe lângă acest fapt se poate observa că cele 10 detectori au arătat concentrații mai asemănătoare, cu o deviație standard de ± 206 (~5%)

În cazul detectorilor expuși în cutiile nefolosite concentrațiile sunt mai mici dar mai împrăștiate (deviația standard de ± 810) iar deviația standard procentuală de (9%)

După cum se reflectă din grafic, concentrația de radon registrată de detectorii din diferitele cutii nu diferă mult de cel măsurat cu aparatul Radim. Totuși diferență există și dacă am exclude fenomenul de îmbătrânire măsurătorile ne atrag atenția despre importanța refolosirii cutiilor (camerelor de expunere) vechi datorită contaminării acestora mai ales în cazul primei expuneri la concentrații mari și apoi reutilizarea pentru concentrații mici.

DEPENDENȚA DENSITĂȚII DE URME A DETECTORILOR DEVELOPAȚI ÎN FUNCȚIE DE TIMPUL DE DEPOZITARE

Cum detectorii de urme sunt folosiți în general la măsurarea radonului în spații rezidențiale pentru aceleași condiții de expunere se pune un număr mare de detectori. După expunere urmează dezvoltarea, depozitarea și citirea detectorilor. În cazul în care detectorii nu sunt bine spălați și uscați cu apă distilată, pot rămâne urme de soluție de NaOH pe suprafață. Acest fapt poate duce la adâncirea urmelor. Din această cauză există riscul ca rezultatele obținute să nu fie reale.

Pentru a verifica reacția în timp a detectorilor developeți, s-au analizat detectori expuși în spații închise. Aceștia au fost citiți imediat după dezvoltare respectiv peste 5 luni.

71,42%-a dintre detectori dacă erau citiți mai târziu au arătat concentrații mari, 42,86% aveau deviația mai mare de 10%.

Aceste rezultate arată faptul că există legătură între perioada de dezvoltare și timpul de depozitare al detectorilor. Din păcate acest lucru nu este favorabil pentru citirea târzie a detectorilor deja developeți.

INTERCOMPARAREA APARATELOR DE MĂSURARE A RADONULUI

Prin mai multe experimente de intercomparare a metodei detectorilor de urme de tip CR-39 cu alte metode de măsurare folosite în măsurarea radonului din interior, s-a verificat eficiența aparatului de citire aflat în laboratorul de cercetare.

În scopul stabilirii randamentului de măsurare a radonului din interior, măsurătorile s-au realizat cu mai multe aparate de specialitate aflate în dotarea laboratorului (Alphaguard, Radim, Luk 3A, Ramon, Charcoal, detectori de urme CR-39).

Deviația standard a fost cuprinsă în intervalul 6-12%.

În cadrul mai multor experimente de intercomparare cu mai multe laboratoare (IFIN-HH, București, România; Pannon University, Veszprem, Ungaria; Institute of Radiological Sciences din Chiba, Japonia) s-a urmărit perfecționarea metodei detectorilor de urme CR-39, în scopul reducerii erorilor de măsurare.

Prin toate metodele de experimentare s-a perfecționat utilizarea detectorilor de urme de corp solid.

CAPITOLUL VI. RADONUL ÎN SPAȚII ÎNCHISE

ACUMULAREA RADONULUI ÎN AERUL DIN INTERIOR

În timp ce în atmosfera liberă concentrația medie a radonului este de 8 Bq/m^3 , în clădiri valorile concentrației sunt mai mari ($12\text{-}300 \text{ Bq/m}^3$) și poate ajunge la valori foarte mari, câteva mii de Bq/m^3 [80].

Acumularea radonului în spații închise depinde de principala sursă de radon, care este solul de sub clădire. Pe lângă aceasta depinde și de parametri fizici și chimici a solului, structura clădirii, modul și frecvența de aerisire, încălzirea clădirii, factori meteorologici (presiunea atmosferică, temperatura, umiditatea relativă). Trebuie luat în considerare o creștere a concentrației de radon prin faptul că locuitorii economisesc energie prin izolarea imobilelor. Schimbarea geamurilor obișnuite cu cele termopane, izolarea bună a pereților duce la acumularea concentrației de radon, fiind mult redusă ventilația naturală.

În cazul în care materialele folosite la fundație îmbătrânesc apar fisuri prin care radonul poate intra ușor. O fundație solidă, izolează foarte bine și poate reduce difuzia din sol a radonului.

Concentrația de radon de interior depinde și de activitățile casnice și în primul rând de aerisirea (ventilația naturală) acestor spații. Putem diferenția ventilația naturală amintită mai înainte și putem vorbi de ventilația artificială, aerisirea casei prin deschiderea geamurilor, ușilor, folosirea aparatelor de aer condiționat. În cazul în care aerisim cu ferestre și uși deschise, concentrația de radon va scădea în -15-20 min. la valoarea concentrației din aerul exterior. (figura 12) [81].

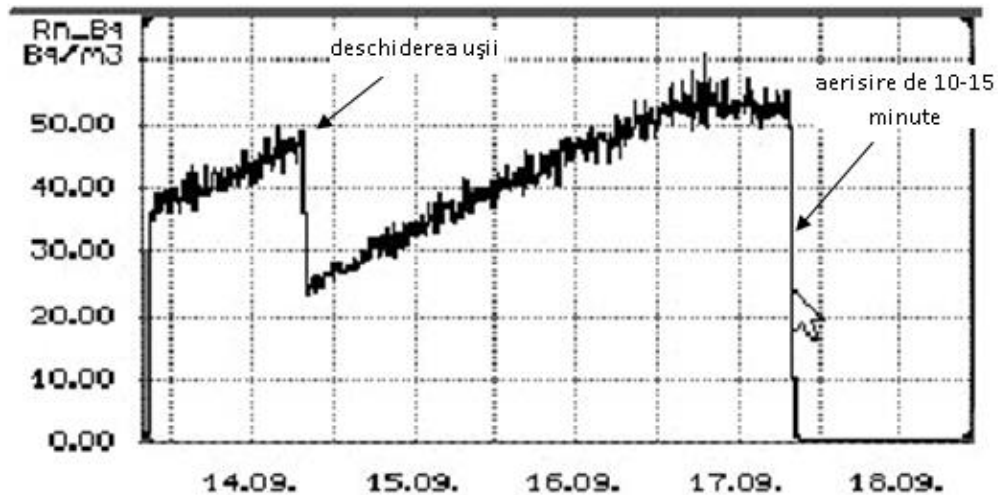


Figura 12.: Scăderea concentrației de radon din încăperi datorită aerisirii

Datorită multitudinii factorilor care influențează concentrația de radon din locuințe este foarte dificilă determinarea valorii reprezentative a concentrației de radon. Pentru acesta radonul se evaluează prin media anuală a concentrației înlăturând fluctuațiile zilnice și sezoniere. Pentru calcularea concentrației anuale de radon în spații închise se folosesc formule de calcul [82].

$$C_{Rn \text{ annual}} = 0,75 \cdot C_{Rn \text{ iarna}} \quad (2)$$

unde:

$C_{Rn \text{ annual}}$ - concentrația de radon medie anuală (Bq/m^3)

$C_{Rn \text{ iarna}}$ - concentrația de radon măsurată pe perioadă de iarnă (Bq/m^3)

$$C_{Rn \text{ annual}} = 1,5 \cdot C_{Rn \text{ vara}} \quad (3)$$

unde:

$C_{Rn \text{ annual}}$ - concentrația de radon anuală (Bq/m^3)

$C_{Rn \text{ vara}}$ - concentrația de radon măsurată pe perioadă de vară (Bq/m^3)

În spațiile închise, rezidențiale sau publice, este oportun ca pentru măsurarea concentrației de radon să se utilizeze detectori de urme cu corp solid.

Selecția amplasamentelor pentru măsurătorile de radon va ține cont de factori geografici și geologici.

În studiul radonului în locuințe și instituții publice, zonele de interes au fost selecționate în așa fel, încât să fie acoperit atât zone de câmpie (Satu Mare, Galați, București) cât și zone deluroase (Alba, Cluj, Bistrița, Mureș, Sibiu) respectiv zone muntoase (Bihor, Gorj, Prahova, Covasna, Harghita).

În figura 13 este prezentată harta României cu zonele studiate.

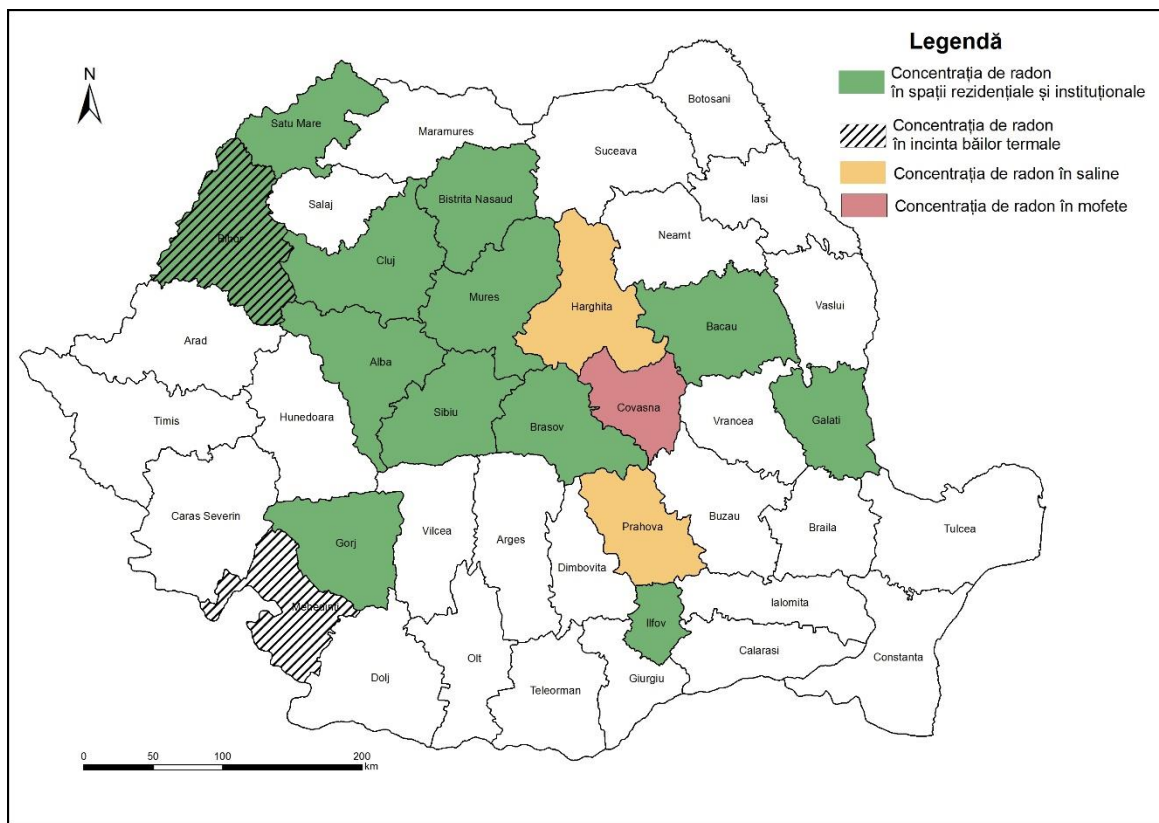


Figura 13.: Harta României cu zonele studiate

În acest studiu s-a măsurat concentrația de radon în 15 județe din România în locuințe, școli, mofete, băi termale, mine de sare. (jud. **Alba**-case, jud. **Bacău**-școli, jud. **Bihor**-case și băi termale, jud. **Bistrița Năsăud**-case, jud. **Brașov**-case, **București**-case, jud. **Cluj**-case și școli, jud. **Covasna**-mofete, jud. **Galați**-case, jud. **Gorj**-case, jud. **Mehedinți** băi termale și mine, jud. **Mureș**-mină, jud. **Satu-Mare**-școli, jud. **Sibiu**-case și școli, jud. **Prahova**-mină).

Pentru măsurarea radonului din interior s-au utilizat detectori solizi de urme CR-39, expuși pe perioade de timp de 2-3 luni. Metoda detectorilor de urme reprezintă soluția convenabilă care permite supravegherea pe termen lung a radonului din zona rezidențială și instituțională. Această metodă a fost validată de National Radiological Protection Board, NRPB, și de agenția americană EPA [83, 84].

În conformitate cu protocolul de măsurători NRPB, detectorii au fost plasați în zonele locuite din case, cum ar fi dormitoare și camere de locuit, la o înălțime de 1-1.5 m de sol, pentru a detecta concentrația de radon de interior. Casele investigate sunt cu un singur etaj.

Developarea în laborator și citirea automată a urmelor înregistrate de detectori s-a realizat cu ajutorul echipamentului RadoSys-2000 (Elektronika, Budapesta, Ungaria), în condiții optime. Datele de expunere rezultate direct din măsurători au fost corectate prin aplicarea corecției sezoniere obținându-se valorile medii anuale ale concentrațiilor de activitate a radonului. [82]

Pentru a verifica comportamentul detectorilor de urme de corp solid, aceștia au fost amplasați și în alte locații decât cea a locuințelor, în băi termale, saline respectiv mofete. Rezultatele obținute în acest studiu sunt prezentate în următoarele subcapitole.

Măsurarea concentrației de radon în locuințe

După analizarea rezultatelor obținute în urma studiilor efectuate se poate specifica faptul că folosirea detectorilor de urme este relativ ușoară în măsurarea concentrației de radon în spații închise atât în locuințe cât și în instituțiile școlare. Avantajul lor este că pot fi folosite pentru măsurători simultane.

Din rezultatele obținute s-a specificat concentrația cea mai frecvent apărută în zonele studiate, ținând cont de faptul că s-a ales zone cu formă geologică și geografică diferită, cu o varietate de case construite.

Pentru determinarea concentrațiilor de radon în locuințe și instituții publice au fost amplasați 906 de detectori de tip CR-39.

În tabelul 4 și figura 14 sunt prezentate valorile concentrațiilor de radon măsurate cu detectori de urme CR-39 în spații închise din România.

Tabel 4.: Valorile concentrației de radon în zonele măsurate din România

Frecvența de apariție	Alba	Bacău	Bihor	Bistrița	Brașov	București	Cluj	Galați	Gorj	Satu Mare	Sibiu
0-40	1	1	52	28	5	3	44	0	9	0	11
41-80	2	5	66	44	33	8	68	4	6	0	19
81-120	3	3	47	24	34	4	34	2	2	5	6
121-160	4	2	30	9	27	1	16	4	2	9	2
161-200	2	2	12	8	21	0	9	0	2	1	3
201-240	1	2	12	5	16	1	10	1	0		4
241-280	2		6	0	14	2	3		1		
281-300	1		7	1	6	1	9		1		
>300	1		18	2	30		9		1		

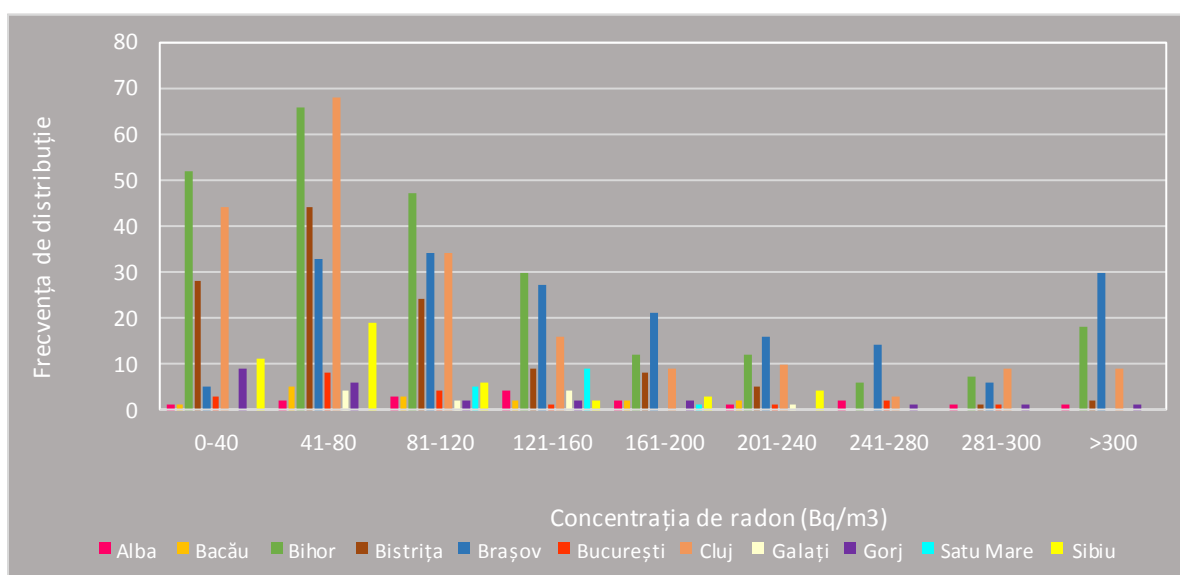


Figura 14.: Distribuția concentrației de radon în zonele studiate

În cele 906 de măsurături în zonele studiate în 17% concentrațiile de radon au fost $<40\text{Bq/m}^3$, 28% s-au încadrat în intervalul de $41-80\text{Bq/m}^3$, în cea de $81-120\text{Bq/m}^3$ erau 18%. Valorile maxime anuale au fost înregistrate în județul Bihor, localitatea Ștei (1604Bq/m^3) și în județul Cluj, localitatea Cluj-Napoca (1127Bq/m^3).

Comisia Europeană recomandă valoarea de 300Bq/m^3 [28] ca fiind activitatea maximă admisă pentru radonul rezidențial. Potrivit rezultatelor obținute doar în 86 de cazuri din toate, aproximativ 9,5% din locuințele examinate prezintă concentrații superioare acestor valori, impunându-se aplicarea unor tehnici de remediere.

S-a dovedit că vibrațiile provenite din cauza circulației intense a accentuat acumularea radonului cu aproximativ 50% mai mult față de concentrația de radon măsurată în zona necirculată. Pentru a putea demonstra acest lucru s-au amplasat detectori în locuințe situate

exact lângă șosea intens circulată (șoseaua internațională E81), sau mai puțin circulată. (localitatea Unirea, jud. Alba). În cazul în care o șosea este foarte aglomerată, evident vibrațiile contribuie atât la accelerarea difuziei prin pori cât și la transportul prin fisuri și goluri. Acest fapt poate duce la acumularea mai accentuată a radonului în locuințele care sunt situate exact lângă șosea. În figura 15 sunt prezentate punctele de măsurare.



Figura 15.: Harta localității Unirea, jud. Alba

Valorile obținute în locuințe, pe perioada mai-iunie și octombrie-decembrie, în localitatea Unirea, județul Alba sunt prezentate în tabelul 35, respectiv figura 16.

Din datele obținute rezultă că $C_{Rnmin}=38Bq/m^3$, $C_{Rnmax}=303Bq/m^3$, $\langle C_{Rn\text{ anual}} \rangle = 165Bq/m^3$, media geometrică este de $144Bq/m^3$ și mediana de 140.

Tabel. 5.: Valorile concentrației de radon în locuințele din localitatea Unirea, jud. Alba

Nr.	Cod detector	ρ [urme/mm ²]	C_{Rn} [Bq/m ³]	$C_{\text{anuală}}$ [Bq/m ³]	Zona studiată
1	D38504	5.62915	178	267	intens circulată
2	D38530	5.54368	182	273	
3	D38528	6.37701	202	303	
4	218679	15.2054	297	223	
5	218519	8.22173	148	111	
6	216614	19.5194	385	289	
7	218632	12.0328	229	172	
8	218769	11.4524	217	163	
9	D38532	0.77872	25	38	necirculată
10	D38506	1.35565	43	65	
11	D38531	2.93684	93	140	
12	218205	7.31251	125	94	
13	218641	9.07293	169	127	
14	D38527	2.93684	93	140	
15	D38510	2.6377	84	126	
16	D38507	2.10351	67	101	

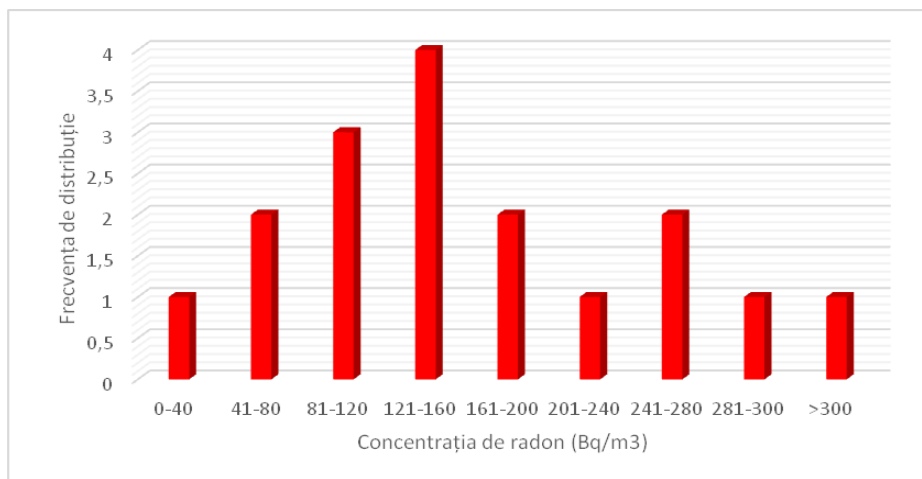


Figura 16.: Valorile concentrației de radon în localitatea Unirea, jud. Alba

Concentrația cea mai frecventă este în intervalul de 121-160Bq/m³ în 23,52% din cazuri. Urmează în procent de 18,75% intervalul de 81-120Bq/m³. Intervalele de 41-80 Bq/m³, 161-200 Bq/m³ și 241-280 Bq/m³ apar în 12,5% dintre cazuri. Valori peste concentrația maximă admisă de către UE, cea de 300Bq/m³ [28], a fost prezentă în 6,25% din cazuri. Media anuală a concentrației de radon în zona străzii foarte circulată a fost de 225Bq/m³, iar cea pentru zona izolată de 104Bq/m³. S-a dovedit că vibrațiile provenite din cauza circulației intense a accentuat acumularea radonului cu aproximativ 50% mai mult față de concentrația de radon măsurată în zona necirculată.

Prin măsurători efectuate în zona Ștei, județul Bihor, respectiv Cluj-Napoca, județul Cluj s-a demonstrat contribuția materialelor de construcție în acumularea concentrației de radon din interior. Rezultatele sunt prezentate după cum urmează:

Măsurarea radonului în casele din zona ștei, jud. Bihor

Localitatea Ștei și zona studiată se află în județul Bihor, pe malul Crișului Băița. În figura 17 este prezentată harta zonei respective cu localitățile în care s-a măsurat concentrația de radon. În bazinul Crișului Negru la aproximativ 25 km de orașul Ștei, a fost găsit în anul 1949 un mare zăcământ de uraniu la Băița, județul Bihor. A fost considerat cel mai mare zăcământ de uraniu din țară. În acest loc s-a exploatat uraniu în perioada 1950-2000.

Mina de uraniu este situată în amonte de satul Băița. Acesta este cea mai apropiată zonă locuită. În unele localități precum Băița Plai, Nucet respectiv Fănațe există halde provenite de la minele din zonă. Unele dintre halde conțin deșuri de uraniu.

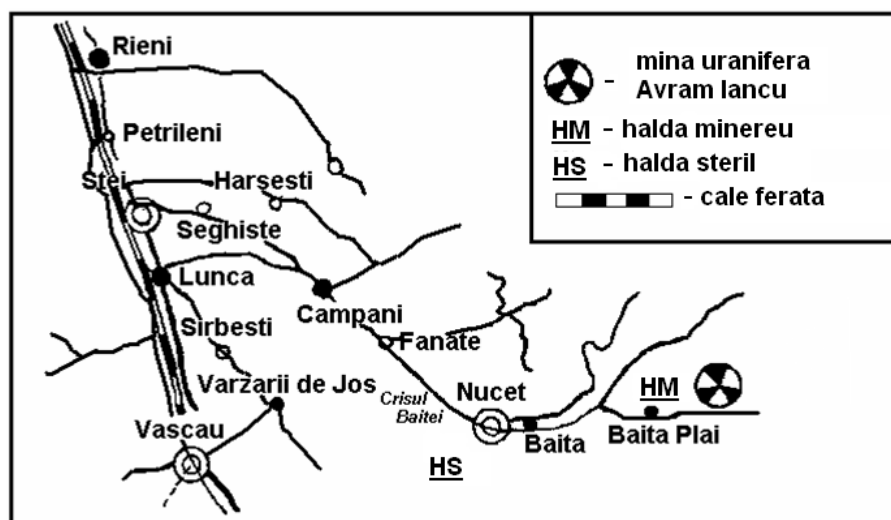


Figura 17.: Zona uraniferă Ștei-Băița. [85].

Odată cu dezvoltarea acestei zone au apărut case noi, care au fost construite și din material de la haldele de deșeurii care conțineau uraniu. Un factor auxiliar îl reprezintă utilizarea ca materiale de construcții provenite din albia Crișului Băița: piatră de fundație, pietriș, nisip. În aceste locuințe nu numai solul de sub casă influențează concentrația de radon ci în mare parte și materialul de construcție utilizat.

Măsurătorile au început în anul 2003-2004. În perioada de iarnă, timp de 4 luni s-au plasat în prima fază 24 de detectori în 8 localități din zona Ștei-Băița.

Tabel 5.: Concentrația de radon măsurată în cele două perioade în zona Ștei-Băița

Perioada de măsurare	$C_{Rnmin.}$ (Bq/m ³)	$C_{Rnmax.}$ (Bq/m ³)	$\langle C \rangle_{anual}$ (Bq/m ³)	Media geometrică (Bq/m ³)	Median
2003-2004 (24 măsurători)	92	1988	410	277	228
2006-2007 (255 măsurători)	11	1604	150	93	89
Total (279 măsurători)	11	1988	172	135	95

Pentru campania din 2003-2004 s-au ales locuințe pentru care se știa din măsurători anterioare că au concentrații mari de radon. [86]. Unele dintre clădiri studiate au fost construite cu deșeurii din exploatarea minei Băița. Din acest motiv rezultatele au fost mai mari, concentrația minimă a fost de 92Bq/m³, iar cea maximă de 1988Bq/m³.

În campania 2006-2007, zona studiată s-a extins. S-au făcut măsurători nu numai în locuințele care au fost construite cu deșeuri din exploatarea minei Băița ci și în cele care nu folosiseră astfel de materiale. Concentrația de radon minimă a fost de 11Bq/m^3 , iar cea maximă de 1604Bq/m^3 .

Diferența mare dintre $C_{\text{Rn anual}}=410\text{Bq/m}^3$, respectiv media geometrică de 277Bq/m^3 (campania 2003-2004) și cea de $C_{\text{Rn anual}} 150\text{Bq/m}^3$, respectiv media geometrică de 93Bq/m^3 (campania 2006-2007) se datorează selecției de mai sus.

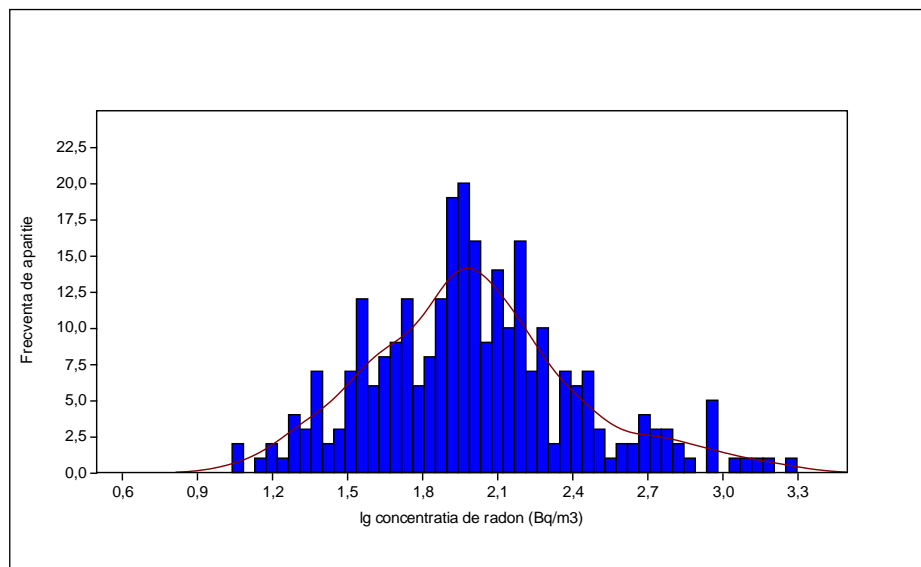


Figura 18.: Distribuția lognormală a concentrației de radon din zona Ștei-Băița, județul Bihor

Pentru zona Ștei-Băița, din date rezultă o distribuție dublă-lognormală, cu două maxime. Primul maxim este caracteristic pentru case obișnuite, al doilea maxim se datorează locuințelor care au fost construite cu deșeuri cu conținut mare de minereu radioactiv

Măsurători de radon în Cluj-Napoca, județul Cluj

Pentru a determina concentrația de radon din aerul spațiilor închise s-au plasat detectori de urme CR-39 în locuințele din Cluj-Napoca, 86 de case, respectiv 34 de blocuri. Zona studiată a fost împărțită pe cartiere.(figura 19). În acest studiu detectorii au fost expuși timp de 200-210 zile în lunile iunie 2007-ianuarie 2008.

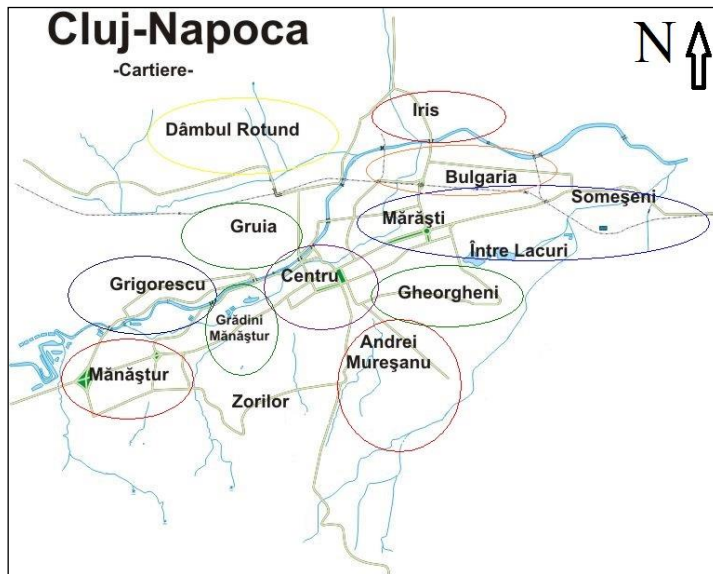


Figura 19. Cartierele în care au fost expuși detectorii

În alegerea locuințelor s-a luat în considerație și materialele ce au fost folosite la construcție. Materialele folosite în construcția caselor și blocurilor sunt prezentate în figura 20.

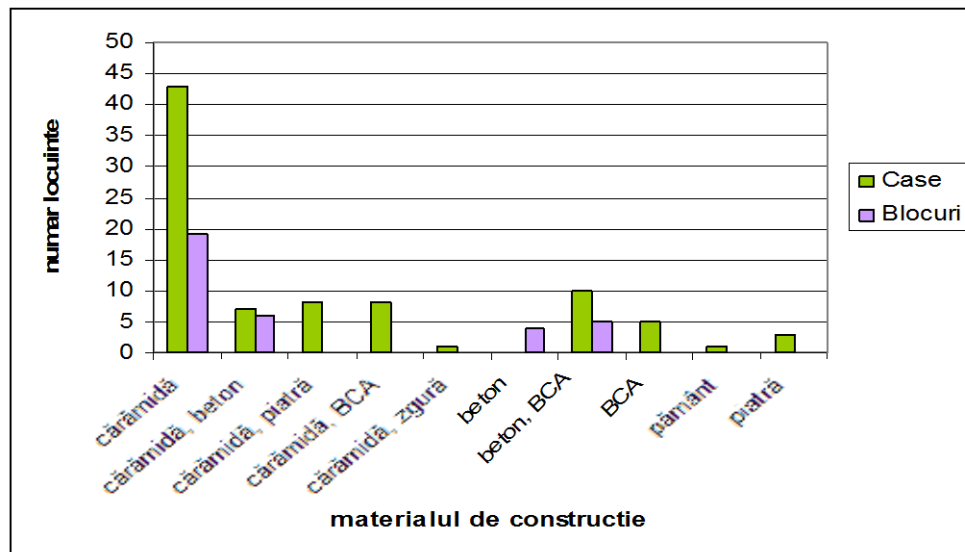


Figura 20.: Materialele de construcție utilizate la locuințele studiate

Cel mai frecvent material folosit atât pentru case cât și pentru blocuri a fost cărămida, urmată de combinația beton-BCA. Combinațiile cărămidă-piatră, cărămidă-BCA, respectiv BCA și piatră s-au folosit doar în cazul caselor. Blocurile au fost construite doar din cărămidă, beton sau combinația lor.

Din cele 86 de case studiate, 50% (43 case) au fost construite din cărămidă, 1,16% (1 casă) din pământ, 3,5% (3 case) din piatră, 9,3% (8 case) din combinația cărămidă+BCA,

8,14% (7 case) cărămidă+beton. Combinația cărămidă+piatră figura în 10,5% (9 case) din cazuri și 17,44 (15 case) din beton+BCA.

Concentrațiile de radon separate pe materialele de construcții sunt prezentate în tabelul următor:

Tabel 6.: Variația concentrației anuale de radon în funcție de materialul de construcție

Material construcție	Nr. case	C_{Rnmin} anual [Bq/m ³]	C_{Rnmax} anual [Bq/m ³]	$\langle C_{Rn}$ anual [Bq/m ³]
cărămidă	43	17	1119	181
pământ	1	345	345	345
piatră	3	47	423	203
cărămidă+piatră	9	41	1127	345
cărămidă+beton	7	15	144	100
cărămidă+BCA	8	72	227	124
beton+BCA	15	35	497	125

Concentrațiile maxime s-au măsurat în casele construite din cărămidă (1119Bq/m³) și combinația cărămidă+piatră (11127Bq/m³). Valorile minime s-au măsurat în casele construite din cărămidă (17Bq/m³) respective combinația cărămidă+beton (15Bq/m³). Cele două concentrații maxime au fost măsurate în case din cartiere învecinate. (Bulgaria și Mărăști).

Concentrația de radon cea mai frecvent întâlnită se încadrează în intervalul de 41-80Bq/m³, adică în 26.8% din cazuri, 12.8% între 0-40Bq/m³, 20% peste 81-120Bq/m³. În procent de 9.3% au fost concentrații între 121-160Bq/m³, 4.6% pentru 161-200Bq/m³ respectiv pentru intervalul 201-240Bq/m³. Doar 17.4% dintre cazuri au depășit concentrația mai mare decât 300Bq/m³, maxima admisă de către UE. [28].

Știind că sursa cea mai importantă a radonului din interior este solul, s-a analizat modul în care variază concentrația acestui gaz odată cu creșterea nivelului. În acest sens s-au plasat detectori de urme CR-39 în 34 de blocuri din cartierele orașului Cluj–Napoca. În fiecare construcție s-a respectat următorul procedeu de expunere: în fiecare bloc, în aceeași scară, pe aceeași coloană a fost poziționată la un metru de podea câte un detector, pentru trei nivele diferite (la parter, etaj I. și etaj III.).

În figura 21. putem observa fluctuația radonului pe verticală. În toate cele 34 de blocuri concentrația de radon scade cu altitudinea, confirmând teoria din literatura de specialitate.

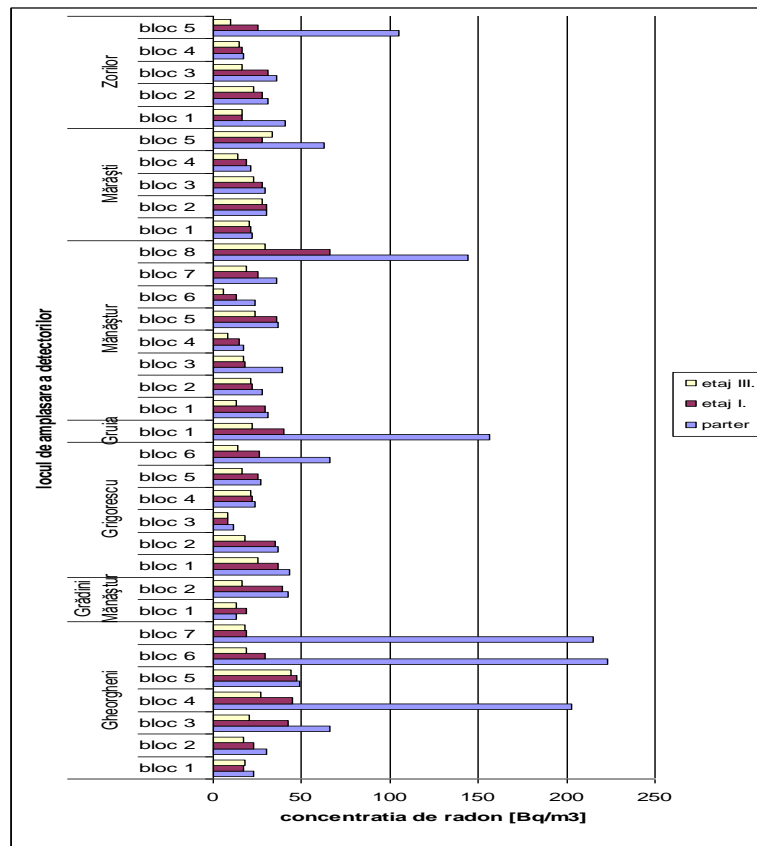


Figura 21.: Concentrația de radon în blocurile studiate din Cluj-Napoca, pe nivele

În tabelul 7 este prezentată concentrația medie de radon pe nivele în funcție de materialul de construcție folosit.

Tabel 7.: Concentrația de radon măsurată pe nivele în funcție de materialul de construcție

Nivel	$\langle C_{Rn\text{anual}} \rangle$ cărămidă [Bq/m ³]	$\langle C_{Rn\text{anual}} \rangle$ beton [Bq/m ³]	$\langle C_{Rn} \rangle$ cărămidă/ $\langle C_{Rn} \rangle$ beton
parter	82	105	0,8
etaj I.	40	48	0,8
etaj III.	28	31	0,9

Se poate observa o scădere liniară, în funcție de nivel, atât în cazul blocurilor construite din cărămidă cât și la cele construite din beton. Concentrația de radon scade pe nivel cu aproximativ 50% în ambele cazuri. Nu este diferență semnificativă referitor la materialul de construcție privind concentrația de radon. (tabel 7.)

Din figura 22 reiese faptul că concentrația de radon arată o distribuție lognormală. Concentrațiile cele mai frecvente au fost în intervalul de 41-80Bq/m³. Aceste valori corespund celor măsurate în Transilvania. [82], [87-90].

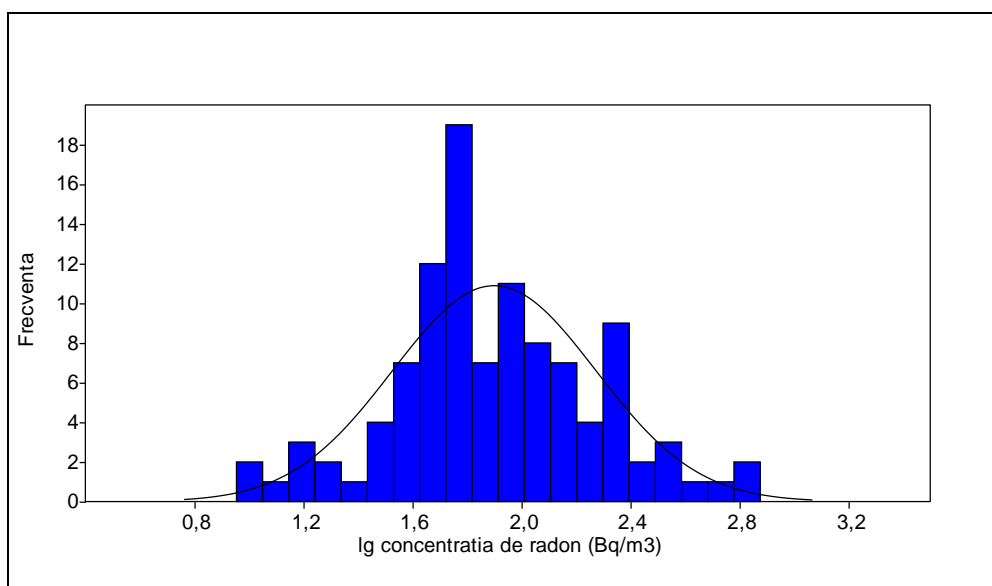


Figura 22.: Distribuția logaritmică a concentrației de radon măsurat în județul Cluj

Măsurarea concentrației de radon în școli și grădinițe

Radonul din aerul din interior necesită o atenție specială, deoarece atât dozele individuale cât și cele provenite de la descendenții săi pot influența sănătatea. Copii, adolescenții sunt mai afectați de acestia. [7], [9].

Scopul studiului a fost măsurarea concentrației de radon în școlile din patru județe: Bacău (orașul Onești), Cluj (orașul Cluj-Napoca), Satu Mare (orașul Satu Mare) și Sibiu (orașul Agnita).

Punctele de măsurare, în toate cazurile, au fost selectate astfel încât școlile să fie din zone diferite (de exemplu în centrul și periferia orașului). S-a ținut cont și de distanța de zonele aglomerate.

Onești, județul Bacău

S-a măsurat concentrația de radon în 15 școli și grădinițe din oraș. Durata măsurătorilor a fost de o lună pe perioadă de primăvară

Făcând o medie a acestor concentrații, se obținut o valoare de **84 Bq/m³**, iar pentru cea anulă a fost de **119Bq/m³**. $C_{Rnmin}=29Bq/m^3$, $C_{Rnmax}=237Bq/m^3$, media geometrică a fost $103Bq/m^3$ și mediana de 116.

Distribuția valorilor este prezentată în figura 23.

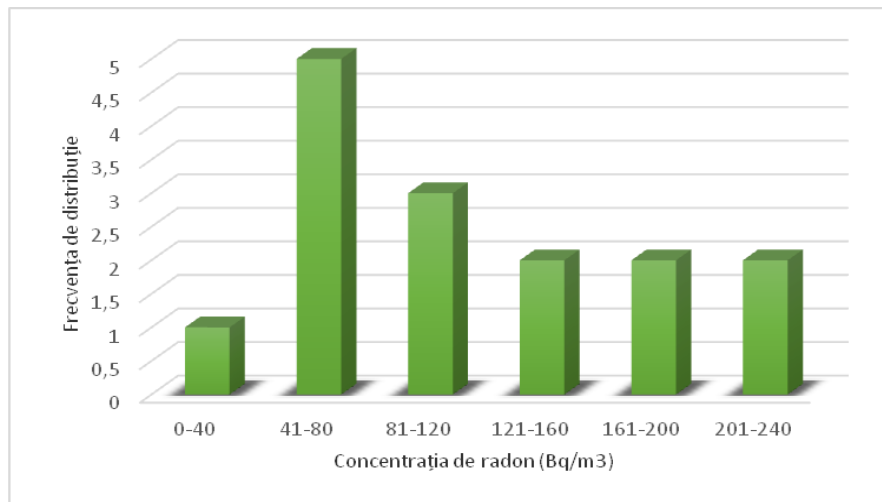


Figura 23.: Distribuția concentrației de radon în școlile din Onești, jud. Bacău

Din datele obținute, rezultă că în cea mai mare parte, 33,33% din cazuri concentrația de radon se încadrează în intervalul de 41-80Bq/m³, 20% se încadrează în intervalul de 81-120Bq/m³. În procent de câte 13,33% concentrația a fost între 121-160Bq/m³, 161-200Bq/m³, și 201-240Bq/m³.

În urma prelucrării datelor nu au rezultat valori mai mari decât concentrația maximă admisă de către UE. [28].

Pentru 26,66% din cazuri, în care valorile au fost în intervalul de 161-240Bq/m³ ca și metodă de reducere a radonului s-a propus conducerii instituțiilor aerisirea cât mai frecventă a claselor.

Cluj-Napoca, județul Cluj

Conform protocolului de alegerea locației, în orașul Cluj Napoca din cele 100 de școli funcționale în număr de 62 au fost supuse campaniei de măsurare a radonului. Timpul de expunere a fost de 35 zile pe timp de primăvară.

Făcând o medie a acestor concentrații, se obținut pentru valoarea anulă concentrația medie de radon de **133Bq/m³**. $C_{Rnmin}=23Bq/m^3$, $C_{Rnmax}=690Bq/m^3$, media geometrică a fost de 95Bq/m³ și mediana de 83.

Din datele obținute, rezultă că în 16,13% dintre cazuri concentrația de radon este mai mică decât 40Bq/m³, 33,9% corespunde intervalului de 41-80Bq/m³, 12,9% pentru intervalul de 81-120Bq/m³, 9,67% pentru concentrațiile dintre 121-160Bq/m³, 8% pentru cei din 161-200Bq/m³, 4,8% pentru 201-240Bq/m³, 3,2% pentru 241-280Bq/m³. În doar 11,3%

concentrația de radon în clase a depășit valoarea maximă admisă de către UE, cea de 300Bq/m^3 . [28].

În 22 de școli din cele 62 studiate ventilația naturală a fost foarte intensă, deoarece geamurile și ușile claselor nu se putea închide corespunzător. A fost o problemă analizând problema radonului și faptul că sălile școlile construite în anii 1970-1990 au un perete cu geamuri în proporție de 80%. Acest lucru s-a adeverit în urma rezultatelor obținute. În aceste școli concentrația de radon a fost în intervalele de $30\text{-}75\text{Bq/m}^3$.

Concentrațiile mai mari decât cea admisă de lege au fost măsurate în instituțiile aflate în aceași zone cu locuințele din Cluj-Napoca.

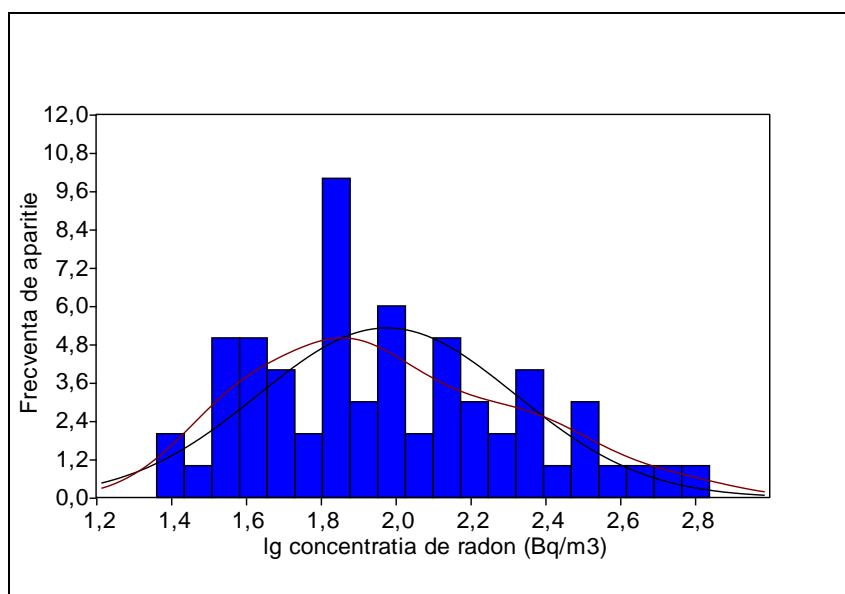


Figura 28.: Distribuția logaritmică a concentrației de radon măsurat în școli din Cluj-Napoca

În figura 28 este prezentată distribuția logaritmică a concentrației de radon măsurat în școli din Cluj-Napoca, județul Cluj. Rezultatele au o distribuție lognormală.

Concentrațiile de radon în școli se încadrează în intervalele concentrațiilor măsurate în locuințele din Cluj-Napoca. Valorile se încadrează luând în considerație și zona în care se află. (cartier, stradă).

Măsurători de radon în școlile din Satu Mare

În campania de măsurarea concentrației de radon în școli a participat și orașul Satu Mare. În cele 15 școli din localitate s-au pus detectori de urme CR-39 în săli de clasă situate la parterul clădirilor. Campania a fost în anul 2009, perioada de primăvară.

Concentrația minimă anuală a fost de $C_{Rmin}=85\text{Bq/m}^3$, $C_{Rmax}=167\text{Bq/m}^3$.

$\langle C_{Rn \text{ anual}} \rangle = 126 \text{ Bq/m}^3$, media geometrică a fost de 125 Bq/m^3 , iar mediana de 125.

Concentrația de radon cel mai frecvent apărută a fost cea de $121-160 \text{ Bq/m}^3$ în 53,33% din cazuri urmată de intervalul $81-120 \text{ Bq/m}^3$ în proporție de 33,33%. Concentrația de radon nu a depășit valoarea maximă admisă [28].

În toate dintre cazuri perețile școlilor nu prezentau fisuri, geamurile și ușile claselor studiate au fost corespunzătoare. Acestea puteau fi cauza ventilației natural scăzute.

Concentrația de radon măsurată în cele 15 instituții nu prezenta abatere mare, după cum rezultă din valoarea mediane, cea de 125.

Agnita, județul Sibiu

În orașul Agnita, județul Sibiu au fost două campanii pentru măsurarea radonului în spații închise (locuințe și școli și grădinițe). În cazul locuințelor am avut 20 de măsurători, în cazul școlilor 25. Rezultatele au fost prezentate în tabelul 47 (pentru locuințe), respective tabelul 54 (pentru școli și grădinițe).

Din rezultatele obținute s-a calculat situația referitor la distribuția concentrației de radon în zona studiată. (figura 29).

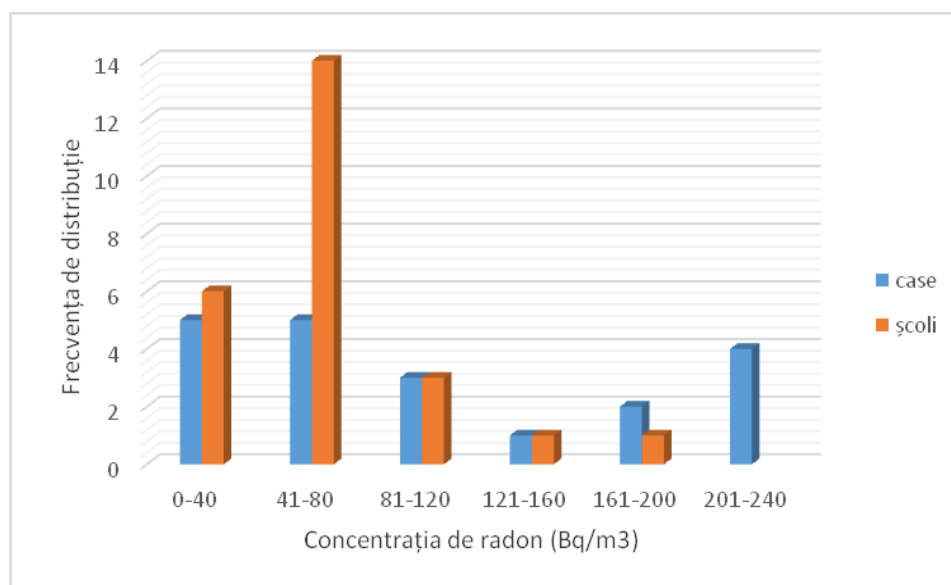


Figura 29.: Distribuția concentrației de radon în locuințele și instituțiile școlare din Agnita

Concentrația de radon cel mai frecvent apărută a fost cea de $121-160 \text{ Bq/m}^3$ în 53,33% din cazuri urmată de intervalul $81-120 \text{ Bq/m}^3$ în proporție de 33,33%. Concentrația de radon nu a depășit valoarea maximă admisă [28].

În toate dintre cazuri perețile școlilor nu prezentau fisuri, geamurile și ușile claselor studiate au fost corespunzătoare. Acestea puteau fi cauza ventilației natural scăzute.

Concentrația de radon măsurată în cele 15 instituții nu prezenta abatere mare, după cum rezultă din valoarea medianei, cea de 125.

Măsurarea radonului în stațiuni balneare

În ultima campanie pentru determinarea concentrației de radon cu detectori de urme CR-39 au participat stațiunile balneare.

În general populația folosește sursele naturale de vindecare a diferitelor boli. Aceste surse sunt mofetele, băile termale, salinele. În aceste centre de tratamente, cum ar fi mofetele și băile termale, radonul vine la suprafață cu împreună cu gazele sau cu apa termală.

Măsurători de radon în mofete

Pentru a studia concentrația de radon în mofete, s-a ales cele mai des folosite de către pacienți, după cum urmează: Mofeta Bene din Covasna, Mofeta Banu din Covasna, Mofeta din incinta Spitalului cardiologic din Covasna, Mofeta Băile Tușnad și Mofeta din incinta Hotelului Balvanyos.

Detectorii CR-39 au fost expuși în mofete în perioada de vară. Rezultatele concentrației de radon măsurate sunt prezentate în tabelul următor.

Tabel 8.: Concentrația de radon în mofetele din județul Harghita și Covasna

Detector	C_{Rn} [Bq/m ³]	Locul de măsurare
B71011	2181	Mofeta <i>Bene</i> , Covasna, 1m de sol
B71084	4574	Mofeta <i>Bene</i> , Covasna, aproape de nivelul solului
B71036	982	Mofeta <i>Baile Tusnad</i>
B71030	61	Mofeta <i>Banu</i> , Covasna, la 0,5m de sol
B71038	592	Spital cardiologic Covasna, mofeta
B71040	90	Mofeta <i>Hotel-Balvanyos</i>

Bazat pe concentrațiile de radon măsurate în mofete s-a calculat doza efectivă primită de pacienți de-a lungul unui tratament, cca. 5h.

Doza efectivă de radiație primită prin inhalarea radonului și a descendenților acestuia a fost calculată cu formula:

$$E_{Rn} = C_{Rn} \cdot K \cdot F \cdot t \quad (39)$$

unde:

E_{Rn} -doza efectivă (Sv)

C_{Rn} -concentrația de radon măsurat (Bq/m³)

K-factor de conversie (9nSv considerat de ICRP; 12nSv considerat de UNSCEAR)

F-factor de echilibru (0,4)

t- timpul de tratament

Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 9.

Tabel 9.: Doza efectivă primită de către pacienți în perioada tratamentului în mofete

Loc măsurare	t_{expunere} [h]	C_{Rn} [Bq/m ³]	E_{Rn} [Sv]
Mofeta <i>Bene</i>	5	2181	0,0392 (ICRP)
			0,0523 (UNSCEAR)
Mofeta <i>Baile Tusnad</i>	5	982	0,0177 (ICRP)
			0,0236 (UNSCEAR)
Mofeta <i>Banu,</i>	5	61	0,0011 (ICRP)
			0,0015 (UNSCEAR)
Spital cardiologic Covasna, mofetă	5	592	0,011 (ICRP)
			0,014 (UNSCEAR)
Mofeta <i>Hotel-Balvanyos</i>	5	90	0,0016 (ICRP)
			0,0022 (UNSCEAR)

Concentrațiile mari obținute în mofetele folosite ca și bază de tratament nu au efect dăunător asupra pacienților, deoarece ședința de tratament nu depășește 10-15minute/zi.

Aceste rezultate sunt în acord cu rezultatele deja publicate.[95].

Măsurarea radonului în băi termale

În cazul în care gazele care provin din subsol în drumul lor se întâlnesc cu apa freatică apar apele minerale sau apele termale. Astfel ajunge și radonul în aerul sălilor de tratament.

Pentru acest studiu s-a ales Băile Herculane din județul Mehedinți respectiv Băile Felix și Băile 1 Mai din județul Bihor.

În ambele cazuri s-au folosit detectori de urme CR-39, care au fost expuși la 1-1,5m de sol în bazele de tratament. Pe lângă radonul din aerul spațiului de tratament s-a verificat și comportarea detectorilor de urme în aerul cu o umiditate relativă foarte ridicată, de 80-95%.

Băile Herculane

Tabel 10.: Concentrația de radon măsurată în Băile Herculane, județul Mehedinți

Detector	ρ_{urme} [urme/mm ²]	C_{Rn} [Bq/m ³]	C_{Rn} anual [Bq/m ³]	Locul expunerii
H40885	11,5633	262	393	Bază tratament 1
H40886	14,8433	336	504	piscină
H40874	5,6659	98	147	Bază tratament 2
H40881	2,6424	46	69	Bază tratament bazin sulf

Concentrațiile de radon variază între 69Bq/m³ și 504Bq/m³. (tabel 10.). Aceste valori sunt mari atât pentru pacienți cât și pentru salariați care stau 8h/zi sala respectivă. Studiind frecvența de distribuție, în 50% din cazuri concentrațiile depășesc valoarea maximă admisă de lege, cea de 300Bq/m³. [28]

Băile Felix-1 Mai

Tabel 11.: Concentrația de radon măsurată în Băile Felix, județul Bihor

Detector	ρ_{urme} [urme/mm ²]	C_{Rn} [Bq/m ³]	C_{Rn} anual [Bq/m ³]	Locul expunerii
H40871	1,1834	26	39	Felix, sala tratament 1.
H40873	1,7415	39	59	Felix, Sala duș subacvatic
H40880	1,3995	31	47	Felix, birou
H40883	1,1941	27	41	Felix, chiosc alimentar

Tabel 12.: Concentrația de radon măsurată în Băile 1 Mai, județul Bihor

Detector	ρ_{urme} [urme/mm ²]	C_{Rn} [Bq/m ³]	C_{Rn} anual [Bq/m ³]	Locul expunerii
H40875	1,0363	23	35	1 Mai, sala bazin mare 1
H40877	7,1831	159	239	1 Mai, sala bazin mare 2
H40882	3,5078	78	117	1 Mai, sala bazin mic

În băile termale din județul Bihor, Felix și 1 Mai, rezultatele obținute nu depășesc concentrația maximă admisă pentru locuri de muncă. [28].

Umiditatea relativă mare (80-90%) nu a influențat eficiența detectorilor de urme.

Radonul în saline

Minele de sare sunt folosite în vindecarea bolilor respiratorii. În acest studiu s-a ales două saline frecventate des de populație, cea de la Slănic Prahova din jud. Prahova respectiv cea de la Praid, jud. Harghita.

Slănic Prahova

Trei detectori au fost expuși în diferite puncte în mina Unirea din salina Slănic Prahova. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul următor.

Tabel 62.: Concentrația de radon măsurată în mina Unirea din Slănic Prahova

Nr	Detector	$\langle\rho_{cor}\rangle$ [urme/mm ²]	C _{Rn} [Bq/m ³]	C _{Rn} anual [Bq/m ³]
1	K61619	0.5605	7	11
2	K61622	0.4125	5	8
3	K61624	0.363	5	8

Deoarece sarea nu este radioactiv și stratul gros izolează bine, concentrația de radon măsurată a fost foarte mică, aproape cât a fost fondul detectorului.

PRAID

În mina de sare din Praid au fost expuși expuși 12 detectori de tip CR-39, în diferite locuri în mină. Concentrația de radon a arătat valori foarte stabile, $\langle C_{Rn} \rangle_{salina} = 16 \text{ Bq/m}^3$.

Cu aceste măsurători s-a demonstrat că în cazul minelor de sare concentrația de radon este scăzută.

Valorile găsite se situează cu mult sub valorile găsite în peșteri și alte mine. Deoarece concentrațiile măsurate sunt foarte mici, rezultă că în blocul de sare nu sunt fisuri unde ar putea intra radonul în cantități mai mari.

Acest fapt este benefic cei ce suferă de boli respiratorii.

În urma studiilor prezentate în capitolul VI., s-a dovedit că detectorii de urme pot fi folosite atât în spații rezidențiale cât și în condiții extreme de natură, cum ar fi concentrația mare de CO₂ (mofete), umiditatea relativă mare (băi termale) cât și în aerul plin cu particule de sare (minele de sare).

CAPITOLUL VII.

CONCLUZII

Prezența în scoarța terestră a radiului determină degajarea radonului în atmosferă. În interiorul clădirilor concentrația de radon este mai mare în comparație cu concentrația radonului din atmosferă datorită acumulării acestuia în spațiile închise. Acumulările radonului în spațiile locuibile depind în mod direct de structura solului pe care este așezat spațiul respectiv și de compoziția materialelor de construcție.

În cadrul lucrării s-a studiat metoda detectorilor de urme CR-39 respectiv eficiența măsurătorilor de radon în locuințe și instituții publice folosind metoda mai sus menționată.

Pentru detectarea radonului din spații închise s-a folosit metoda detectorilor de urme de corp solid de tip CR-39. Această metodă reprezintă o soluție convenabilă care permite supravegherea pe termen lung a radonului din interiorul clădirilor.

Metoda detectorului de tip CR-39 este o metodă ieftină față de celelalte metode de măsurare a radonului, având mai multe avantaje printre care: se poate monta ușor detectorul în cutie, având dimensiuni mici este simplu amplasarea în locul studiat. Cel mai mare avantaj, din punct de vedere statistic, este faptul că simultan se pot măsura concentrații de radon în mai multe puncte de măsurare. Acest lucru este favorabil în cazul în care se fac măsurători într-o localitate sau într-o zonă de interes.

Principalul obiectiv al lucrării a fost îmbunătățirea metodei detectorilor de urme de tip CR-39.

S-a determinat experimental prin trei metode timpul optim necesar tratării chimice a detectorilor de urme de tip CR-39.

Timpul optim pentru dezvoltare s-a demonstrat a fi 4,5h. Cunoașterea timpului exact de dezvoltare este foarte important.

S-a determinat experimental poziționarea bună a detectorilor de urme în timpul expunerii.

S-a demonstrat faptul că este diferență în cazul în care cutia detectorului este sau nu este închisă corespunzător. În cazul în care cutia este bine strânsă, concentrația radonului a fost mai mică de 1,26 ori.

În cazul în care cutiile au fost răsturnate, diferența între concentrațiile măsurate cu detectorii aflați în cutii strânse a fost de 0,8 mai mici decât cele aflate în cutii nestrânse.

În funcție de poziționarea cutiei în care au fost lipiți detectorii, nu a apărut o diferență semnificativă a concentrației de radon. În cazul cutiilor strânse, diferența între normal/răsturnat a fost de 0,91, respectiv pentru cei nestrânși, diferența între normal/răsturnat a fost de 0,92.

Poziția cutiei în care se află detectorul expus nu influențează rezultatul obținut.

S-a demonstrat experimental faptul că concentrația de radon măsurată cu detector de urme depinde de tipul de cutie în care este lipit acesta.

S-a verificat experimental posibilitatea de re folosire a cutiilor de detector deja expuse.

Detectorii din cutiile deja folosite au arătat o concentrație mai mare de 1,17 decât în cazurile în care erau puși în cutii nefolosite.

S-a verificat dependența densității de urme a detectorilor de depozitați în funcție de timpul de depozitare. S-a demonstrat că există legătură între perioada de dezvoltare și timpul de depozitare al detectorilor.

Prin mai multe experimente de intercomparare a metodei detectorilor de urme de tip CR-39 cu alte metode de măsurare folosite în măsurarea radonului din interior, s-a verificat eficiența aparatului de citire aflat în laboratorul de cercetare.

Prin toate metodele de experimentare s-a perfecționat utilizarea detectorilor de urme de corp solid.

Radonul din locuințe necesită o atenție specială, deoarece atât dozele individuale cât și cele provenite de la descendenții săi pot influența sănătatea.

În acest context, monitorizarea locuințelor la expunerea de radon dobândesc o importanță socială pentru îmbunătățirea stării de sănătate a populației.

Concluziile rezultate în urma măsurărilor efective în cadrul tezei (case, școli, grădinițe, stațiuni balneare), în 15 județe ale țării, total 906 de măsurători sunt după cum urmează:

Valorile concentrației de radon au variat de la 9 Bq/m³ pentru o locuință situată în orașul Huedin, județul Cluj până la 1604 Bq/m³ pentru o casă situată în localitatea Ștei, județul Bihor.

Media aritmetică a concentrației de radon măsurate este de 138 Bq/m³, de 1, 68 ori mai mare decât valoarea medie a concentrației de radon raportată în România. [82], [87], [88].

Concentrațiile măsurate în localitatea Ștei sunt superioare valorilor măsurate în celelalte localități, permișând astfel formularea ipotezei scăderii concentrației de radon odată cu îndepărtarea de sursa de radieră.

În cele 906 de măsurături în zonele studiate în 17% concentrațiile de radon au fost <40Bq/m³, 28% s-au încadrat în intervalul de 41-80Bq/m³, în cea de 81-120Bq/m³ erau 18%.

Un procentaj de 9,5% din locuințele măsurate depășesc nivelul de acțiune recomandat de către Comisia Europeană, valoarea de 300Bq/m³. [28].

Totalitatea rezultatelor obținute arată că expunerea la radonul din interior constituie o serioasă problemă de sănătate publică în zonele studiate.

Valorile măsurate ale concentrațiilor de radon în case prezintă o distribuție log-normală în următoarele locații: zona Ștei-Băița, județul Bihor, județul Bistrița-Năsăud, județul Brașov și județul Cluj.

Analizând totalitatea datelor obținute, se constată că există diferențe semnificative între concentrațiile de radon în locuințe situate în aceeași localitate, ca urmare a utilizării diferitelor materiale de construcție.

S-a dovedit că vibrațiile provenite din cauza circulației intense a accentuat acumularea radonului cu aproximativ 50% mai mult față de concentrația de radon măsurată în zona necirculată.

S-a demonstrat faptul că concentrația de radon scade cu altitudinea, confirmând teoria din literatura de specialitate. S-a observat o scădere liniară, în funcție de nivel, atât în cazul blocurilor construite din cărămidă cât și la cele construite din beton.

După analizarea rezultatelor obținute în urma studiilor efectuate s-a dovedit că detectorii de urme pot fi folosite atât în spații rezidențiale cât și în condiții extreme de natură, cum ar fi concentrația mare de CO₂ (mofete), umiditatea relativă mare (băi termale) cât și în aerul plin cu particule de sare (minele de sare).

Radonul din locuințe necesită o atenție specială, deoarece atât dozele individuale cât și cele provenite de la descendenții săi pot influența sănătatea. În acest context, monitorizarea locuințelor la expunerea de radon dobândesc o importanță socială pentru îmbunătățirea stării de sănătate a populației, nu în ultimul rând familiarizarea acestuia cu nivelul de radioactivitate din mediul în care trăiește.

Cu îmbunătățirea metodei detectorilor de urme CR-39 metoda a devenit mai exactă și mai ușor folosită, iar cu măsurătorile efective din teză s-a contribuit la procesul pregătirii hărții de radon al României, care va oferi comunității științifice o bază de date cu informații care pot fi folosiți pentru studii ulterioare sau pentru evidențierea regiunilor cu niveluri ridicate de radiații naturale.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. C. Cosma, T. Jurcuț: Radonul și mediul înconjurător, Editura Dacia, 1996
- [2]. Geocronologie Nucleară
- [3]. http://www.chemistry.pomona.edu/chemistry/periodic_table/elements/radon/isotopes.htm
- [4]. M. Wilkening: Radon in the environment, Elsevier, 1990
- [5]. ICRP-47. Radiation Protection of Workers in Mines. Annuals of the ICRP 16 Pergamon Press, 1986
- [6]. BEIR IV. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters. National Academy Press, Washington, D. C., 1988,
- [7]. WHO, Handbook on indoor radon.-WHO *Library Cataloguing in Publication*, 2009
- [8]. A. Cavallo: *The Radon Equilibrium Factor and Comparative Dosimetry in Homes and Mines*, Radiation Protection Dosimetry, 92, 295-298, 2000
- [9]. UNSCEAR Report, 2000. *Sources and effects of ionizing radiation, UN, New York; Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure*. IAEA SRS No. 21. Vienna, 2000
- [10]. G. Gallelli, D. Panatto, P. Lai, P. Orlando and D. Risso: *Relevance of main factors affecting radon concentration in multi-story buildings in Liguria (Northern Italy)*, Journal of Environmental Radioactivity 39, 117-128, 1998
- [11]. G. S. Islam, S. C. Mazumdar, M. A. Ashraf: *Influence of various room parameters upon radon daughter equilibrium indoors*, Radiation Measurements 26, 193-201, 1996
- [12]. Falkenbach, A., Kovacs A., J. Franke, A. Jörgens, K. Ammer., *Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases—review and meta-analysis of controlled clinical trials*, Rheumatology International. Vol 25 no. 3, 205-210, 2005
- [13]. Averbeck, D., Testard, I, Boucher, D. *Changing views on ionizing radiation-induced cellular effects*, Int. J. Low Radiat. 3, 117-134; 2006
- [14]. Kant, K., Chauhan, R. P., Sharma, G. S., Chakarvarti, S. K.: *Hormesis in humans exposed to low-level ionizing radiation*, Int. J. Low Rad29iat. 1, 76-87, 2003
- [15]. Kant, K., Chakarvarti, S. K.: *Radiation hormesis, the validity of the linear no-threshold hypothesis*, Int. J. Low Radiat. 3, 66-73, 2006

- [16]. Lázár, I., Tóth, E., Marx, G., Cziegler, G., Köteles, G. J.: *Effects of residential radon on cancer incidence*, J. Radioanalyt. Nucl. Chem. 258, 519-524, 2003
- [17]. Ghiassi-Nejad M. J., Karam, M., Skushima, P. A., Niromand-Rad, T., Cameron, A., J.R., *Cancer incidence in areas with elevated levels of natural radiation*, Int. J. Low Radiat. 2, 20-27, 2006
- [18]. Azzam, E.I., de Toledo, S.M., Raaphorst, G.P., Mitchel, R.E.J., *Low-Dose Ionizing Radiation Decreases the Frequency of Neoplastic Transformation to a Level below the Spontaneous Rate in C3H 10T1/2 Cells*. Radiation Research, 146, 4, 369-373, 1996
- [19]. S. Darby, D. Hill, A. Auvinen, J.M. Barros-Dios, H. Baysson et. al, *Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe*, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health 32 (Supplement 1), p.1-84, 2006
- [20]. I. Uzan-Elbez, L. Rodriguez-Rodrigo, M. T. Porfiri, N. Taylor, C. Gordon, P. Garin, I.P. Girard, EISS Team: *Alara applied to ITER design and operation*, Fusion Engineering and Design, 75-79, p.1085-1089, 2005
- [21]. I. Cozmuța, C. Cosma, G. Meesen, *Asupra măsurătorilor retrospective de ^{222}Rn* , Lucrare de Disertație, 1996
- [22]. C. Cosma, A. Poffijn, K. Hening, **A. Dinu**, *Radon exposure versus other sources of ionizing radiation. Comparative presentation in Belgium and Romania*, Environment & Progress Vol. 6/2006, Cluj Napoca, p. 83-89, 2006.
- [23]. ICRP Publication 65: *Protection against radon-222 at home and the work*, Pergamon Press, Oxford 1994
- [24]. BEIR VI, National Research Council, *Biological Effects of Ionizing Radiation, The health effects of exposure to indoor radon*, US Washington DC: National Academy of Sciences, 1999
- [25]. EC, 1990, Commission recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. (90/143/Euroatom), Official Journal of the European Commission 199639 L80 26-27, 1990.
- [26]. EC, 1996. Council Directive 96/29/Euroatom of 13 May 1996 laying down the basic safety standards for the protection of health of workers and the general public against the

dangers of ionizing radiation. Official Journal of the European Commission 1996 39 L159 1-114, 1996.

[27]. EC, 1997. Recommendations for the implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards concerning significant increases in exposure due to natural radiation sources. Radiation Protection 88. European Commission, Office for Official Publications of the European Commission. Radiation Protection Series, 1997.

[28]. COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM, Official Journal of the European Union, 2014

[29]. Vasile Mutihac, Maria Iuliana Stratulat, Roxana Magdalena Fechet, *Geologia României*, Editura Didactică și Pedagogică, R.A., 2007

[30]. Abumurad K. M., Al-Tamimi M: *Emanation power of radon and its concentration in soil and rocks*, Radiation Measurement, 34, pp.423-426, 2001

[31]. Bányász Gy., Déri Zs., Hening K., Köteles Gy., Krézsek Cs., Mócsy I., Néda T., Toró L., *Radon a Kárpát-Medencében, (Radonul in Bazinul Carpatic)*, Editura Abel, 2008

[32]. Van Deynse, A. Cosma, A. Poffijn, *A passive radon dosimeter based on the combination of a track etch detector and activated charcoal*, Radiation Measurements, 31, pp.325-330, 1999

[33]. L. Xinwei, Z. Xiolan, *Study of the radon concentrations in drinking water from three main cities of Shaanxi Province, China*, Environmental Geology, 45/8, pp.1082-1086, 2004

[34]. Z. A. Tayyeb, A. R. Kinsara & S. M. Farid: *A Study on the Radon Concentrations in Water in Jeddah (Saudi Arabia) and the Associated Health Effects*, J. Environ. Radioactivity, Vol. 38, No. 1, pp. 97-104, 1998

[35]. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources, effects and risks of ionizing radiation*. New York, United Nations, 1988

[36]. Commission Recommendation of 20 Dec. 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies, Official Journal of the European Communities 344/85, 2001.

[37]. C. Cosma, M. Moldovan, T. Dicu, T. Kovacs, *Radon in water from Transylvania (Romania)*, Radiation Measurements, 43, pp. 1423-1428, 2008

- [38]. D.C. Nita, M. Moldovan, T. Sferle, V.D. Ona, B. D. Burghele, *Radon concentrations in water and indoor air in North – West Regions of Romania*, Romanian Journal Physics, Vol. 58, pp. 196-201, 2013
- [39]. M. Moldovan, V. Benea, D.C. Niță, B. Papp, B.D. Burghele, N. Bican-Brișan, C. Cosma, *Radon and radium concentration in water from North-West of Romania and the estimated doses*, Radiation Protection Dosimetry, 162(1-2), pp.96-100, 2014
- [40]. M. Oncescu, *Radioactivitatea naturală în România*, Soc. Română de Radioprotecție, București, 1994.
- [41]. C. Cosma, A. Poffijn, K. Hening, A. Dinu, *Radon exposure versus other sources of ionizing radiation. Comparative presentation in Belgium and Romania*, Environment & Progress Vol. 6/2006, Cluj Napoca, p. 83-89, 2006
- [42]. Y.Soroka and A. Molchanov, *Radiation and radon survey of Akchatau(Kazakhstan) and experience with radon remedial measures*, Radiation protection dosimetry Vol.78.No.3,pp.231-236, 1998
- [43]. Neznal, M; Neznal, M, *Measurement of Radon from the Ground Surface: Can the Parametre Be Used for a Determination of Radon Potential of Soil?* In: Neznal, M, *Radon Investigation in CR Vol 9 Praha Czech Geological Survey and Radon corp*,2002.
- [44]. I. Robu, G. Ilie, I. Pordea, *Evaluarea riscului radiologic al utilizării cenușilor de termocentrală în materiale de construcții, (Assesment of radiologic risk arising from the use of thermo-power plant ash in building materials*, Romanian Journal of Materials, 41 (2), pp.110-117, 2011
- [45] H. Zafrir, G. Steinitz, U. Malik, G. Haquin, N. Gazit-Yaari, *Response of Radon in a seismic calibration explosion, Israel*, Radiation Measurements 44, pp. 193–198, 2009.
- [46]. H.P.Jaishi, S.Singh, R.P.Tiwari, R.C.Tiwari, *Correlation of radon anomalies with seismic events along Mat fault in Serchhip District, Mizoram, India*, Applied Radiation and Isotopes 86, 79–84, 2014
- [47]. Nagy L. Gy., *Radiokémia és izotóptechnika*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [48]. T. Limoto, S. Tokonami, Y. Morishita T. Kosako: *Application of activated charcoal radon collectors in high humidity environments*, Journal of Environmental Radioactivity, 78(1), 69-76, 2004,

- [49]. G. Gervino, R. Bonetti, C. Cigolini, C. Marino, P. Prati, L. Pruiti: *Environmental radon monitoring: comparing drawbacks and performances of charcoal canisters, alpha-track and E-PERM detectors*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 518(1-2), 452-455, 2004
- [50]. F. Bochicchio, J.P. McLoughlin, S. Piermattei, *Radon in indoor air*, Report No.15, European Commission, Report EUR 16123 EN, p.1-50, 1995
- [51]. A. George, *Passive integrated measurements of indoor radon using activated carbon*, Health Physics, Vol. 45, p. 867-877, 1984.
- [52]. P. Green, Saeed A.Durrani et al., *On the optimisation on etching conditions for CR-39 and other plastic track detectors, solid state nuclear detectors*, Pergamon Oxford Press and New York, p. 179-182, 1982.
- [53]. G. Messen, A. Poffijn et al., *Study of passive detectors for retrospective radon measurements*, Radiation Measurements, Vol. 125, p. 591-594, 1995.
- [54] S.C. Scarpitta, N.H. Harley, *An improved Rn-222 canister using a two-stage charcoal system*, Health Physics, Vol 60, p. 177-183, 1991
- [55]. E. Strandén, A.K. Kolstad, B. Lind, *The ETB Dosemeter, A Passive integrating radon dosimeter combining Activated Charcoal and TLD*, Radiation Protection Dosimetry, p. 241-245, 1983
- [56]. R. Rolle, *Rapid Working Level Monitoring*, Health Physics, Vol. 22, p. 233-241, 1972
- [57]. A.G. Scott, A. Field, *Method for Measurement of Radon Daughter in Air*, Health Physics, Vol. 41, p. 403-405, 1981
- [58]. F. Bochicchio, S. Risica: *Active radon and radon daughter monitors*, *Proceedings of the International Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection*, Environmental Radioactivity and Earth Sciences, ICTP, Trieste, Italy, April 3-14, 1989
- [59]. C. Cosma, D. Ristoiu, T. Jurcut, M. Moldovan, *Five Methods for Radon Exhalation Measurement. Proc. The International Intercomparison Measurement of Soil-Gas Radon Concentration, of Radon Exhalation Rate from Building Materials and of Radon Exhalation Rate From the Ground*, Czech Republic, September 19 - 20, Pg.143-148, 2002.
- [60]. Cosma C., I Mocsy., Moldovan M., Neda T., Szacsvai K., Cosma V. A., Vasilescu A., Suciú I., Purghel L., Dicu T., *Intercomparison of active and pasive radon devices*

measurements, (*Intercompararea măsurării de radon cu aparate active și pasive*), The International Radiation Protection Association (IRPA) Regional Congress for Central and Eastern Europe, Brasov, Romania, 2007 (apărut pe CD)

[61]. Szacsvai K., Cosma C., Mócsy I., Nédá T., Moldovan M., Cosma V., Vasilescu A., Dicu T., *First steps in the intercomparison of radon measurements, (Etapă preliminară în intercompararea măsurării de radon)*, A V-a Conferință de Știința Mediului din Bazinul Carpatic, Editura Abel, pp.463-468, ISSN 1842-9815, 2009

[62]. B. Papp, A. Cucos (Dinu), M. Moldovan, R. Begy, T. Dicu, D.C. Niță, C. Sainz, C. Cosma, *International intercomparison exercise on natural radiation measurements under field conditions*, Rom. Journ. Phys., Vol. 58, Supplement, P. pp. S210–S220, 2013

[63]. Ádám L.: *Radioizotópok a bányászatban*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966

[64]. C. R. Cothorn, Jr. J. E. Smith: *Environmental Radon, Environmental Science Research*, Plenum Press, New York and London, 1987

[65]. B.L. Cohen, *Radon Daughter Risks to Miners and Others*, Health Physics, Vol. 45, p. 169-171, 1983

[66]. C. Cosma, I. Pop, Stela Râmboiu, T. Jurcuț, *Environmental radioactive aspects of the geothermal water use in Oradea*, World Geothermal Congress, Rome, Vol.4, p. 2791-2794, 1995.

[67]. F. Bochicchio, J.P. McLoughlin, S. Piermattei, *Radon in indoor air, Report No.15, European Commission*, Report EUR 16123 EN, p.1-50, 1995

[68]. P. Green, Saeed A.Durrani et al., *On the optimisation on etching conditions for CR-39 and other plastic track detectors, solid state nuclear detectors*, Pergamon Oxford Press and New York, p. 179-182, 1982,

[69]. W.W. Nazaroff, *Measurements techniques in Radon and its decay products in indoor air*, Wiley Interscience, New York, p. 491-504, 1988

[70]. Richard V.Griffith, Luigi Tommasino, *Etch Track Detectors in Radiation Dosimetry, The Dosimetry Of Ionizing Radiation, Vol.III*, Academic Press, 1990

[71]. Luigi Tommasino, *Applications of Nuclear Track Detectors in Radiation-Protection Monitoring, Radiation Emergency Medicine, Vol.1., No.1-2*, pp.47-55, 2012.

- [72]. K.D. Cliff, R.F Holub, E.O Knutson, H. Lettner, S.B. Solomon, *International Intercomparison of Measurements of Radon and Radon Decay Product*, Badgastein, Austria, Septembrie 23-30, 1991.
- [73]. S. A. Durrani, R. Ilic, Eds, *Radon Measurements by Etched Track Detectors*, World Scientific Press, London, 1997
- [74]. K.D. Cliff, R.F Holub, E.O Knutson, H. Lettner, S.B. Solomon, *International Intercomparison of Measurements of Radon and Radon Decay Product*, Badgastein, Austria, Septembrie 23-30, 1991.
- [75]. S. A Durrani, R. K. Bulk, *Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications*, Pergamon Press, Oxford, 1987
- [76]. Radosys System. Available online at: <http://www.radosys.com22>
- [77]. G. Somogyi, *Development of etched nuclear tracks*, Nuclear Instruments Methods, 173, 216, 1980
- [78]. R. Mishra, C. Orlando, L. Tommasino, S. Tonnarini, R. Trevisi, *A better understanding of the background of CR-39 detectors*, Radiation Measurements 40, p. 325-328, 2005.
- [79]. G.K. Gillmore, P.S. Phillips, A.R. Denman, *The effects of geology and the impact of seasonal correction factors on indoor radon levels: a case study approach*, Journal of Environmental Radioactivity 84, p. 469-479, 2005
- [80]. C. Cosma, D. Ristoiu, T.Jurcut, S. Râmboiu, A. Poffijn, *Influence of Thermal Comfort and Building Material on Air Radon Concentration*, Proceedings of EPIC/ENTPE Conference 18-21. Nov. Lyon, pg. 226-232, 1998
- [81]. Mócsy Ildikó, Fulea Corina, Simon Krisztina: *The influence of ventilation in rooms upon the effective dose equivalent, from inhalation of ²²²Rn and their short lived daughters*; Berlin, 1987
- [82]. Cosma C., Szacsvai K., Dinu A., Ciorba D., Dicu T., Suciú L. *Preliminary integrated indoor radon measurements in Transylvania (Romania)*, Isotopes in Environmental and Health Studies, 1477-2639, Volume 45, Issue 3, Pages 259 – 268, 2009
- [83]. J.C.H. Miles and C.B. Howarth, *Validation scheme for laboratories making measurements of radon in dwelling: 2000 Revision NRPB – M1140*, National Radiological Protection Board, Chilton, p.11, 2000

- [84]. EPA *Assessment of risk from radon in homes*, EPA 402-R-03-003, United States Environmental Protection Agency, 2003
- [85]. S. Ramboiu, *Efectele contaminării cu Radon-222 și produși de filiație asupra organismului*, Teza de doctorat, Cluj Napoca, 2001.
- [86]. Sandor, G.N., Poffijn, A., Cosma, C., *Indoor radon survey in an uranium area from Romania. In: Radon in the Living Environment*, pp. 1101-1104. Athens, Greece, 1999
- [87]. Cosma C., Szacsvai K., Dinu A., Ciorba D., Dicu T., Suci L. *Preliminary integrated indoor radon measurements in Transylvania (Romania)*, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 1477-2639, Volume 45, Issue 3, Pages 259 – 268, 2009
- [88]. Cosma C., Ciorba D., Timar A., Szacsvai K., Dinu A., *Radon exposure and lung cancer risk in Romania*, (Expoziția de radon și cancerul pulmonar în România), *Journal of Environmental Protection and Ecology*, Volume 10, Issue 1 pp.94-104, 2009.
- [89]. Truta-Popa L. A, Dinu A, Dicu T, Szacsvai K, Cosma C, Hofmann W, *Preliminary lung cancer risk assessment of exposure to radon progeny for Transylvania, Romania*, *Health Physics*, Volume: 99, Issue: 3, pp.: 301-307, 2010
- [90]. Szacsvai K., Cosma C., Cucos A., *Indoor radon exposure in Cluj-Napoca City, Romania*, *Romanian Journal of Physics*, Volume 58, Number Suppl. pp.S273–S279, 2013
- [91]. Vasilescu (Manea) Carmen Elisabeta *Contribuții la studiul surselor naturale de radon din România și evaluarea riscului radiologic pentru populația expusă*, teză de doctorat, București, 2011
- [92]. Takahiro Kataoka, Reo Etani, Yuji Takata, Yuichi Nishiyama, Atsushi Kawabe, Masayuki Kumashiro, Takehito Taguchi, Kiyonori Yamaoka, *Radon Inhalation Protects Against Transient Global Cerebral Ischemic Injury in Gerbils*, *Inflammation*, 2014, Volume 37, Issue 5, pp 1675-1682, 2014.
- [93]. Norie Kanzaki, Takahiro Kataoka, Reo Etani, Kiyonori Yamaoka, *Recent studies on anti-inflammatory effects of radon Inhalation in mice*, *Inflammation & Cell Signaling* 2015; 2: e601. doi: 10.14800/ics.601; 2015
- [94]. Martina Winklmayr, Christian Kluge, Wolfgang Winklmayr, Helmut Küchenhoff, Martina Steiner, Markus Ritter, Arnulf Hartl, *Radon balneotherapy and physical activity for osteoporosis prevention: a randomized, placebo-controlled intervention study*, *Radiation and Environmental Biophysics*, 2015, Volume 54, Issue 1, pp 123-136, 2015.

[95]. B. Papp, A. Szakács, T. Neda, N. Frunzeti, K. Szacsvai, C. Cosma, *Soil radon and thoron activity concentrations and CO₂ flux measurements in the neogene volcanic region of the Eastern Carpathians (Romania)*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol.9, No.1., pp.261-268., 2014.

[96]. Tamas Neda, Alexandru Szakacs, Constantin Cosma, Ildiko Mocsy, *Radon concentration measurements in mofettes from Harghita and Covasna Counties, Romania*, Journal of Environmental Radioactivity 99 pp. 1819–1824, 2008.

[97]. Ferlay J., Autier P., Boniol M., Heanue M., Colombet M., Boyle P., *Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe 2006*, Annals of Oncology, 18, pp. 581-592, 2007