



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN
IASI



UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
DIN CLUJ-NAPOCA

Facultatea de Știința și Ingineria Mediului



TEZĂ DE DOCTORAT

**Contribuția toronului la iradierea naturala a
populației din România și probleme care apar în
măsurarea toronului și radonului**

- Rezumat -

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. Constantin Cosma

Doctorand:

Bety-Denissa Burghele

CLUJ-NAPOCA - 2013

Cuprins

Cuprins	5
1. Introducere	7
1.1. Introducere în radioactivitate	7
1.2. Obiective.....	9
1.2.1. Sinteza tezei	10
2. Toronul.....	11
2.1. Radonul – o privire de ansamblu	11
2.2. Caracteristicile și sursele gazului de toron	12
2.3. Expunerea la toron.....	15
2.4. Măsurarea toronului – metode și tehnici	17
2.4.1. Monitorizarea pasivă.....	17
2.4.2. Monitorizarea activă	20
2.5. Exalații și emanații de toron	21
2.5. Modelarea toronului din interior.....	22
2.7. Variații sezoniere ale toronului în interior.....	23
3. Producții de dezintegrare ai toronului	25
3.1. Caracteristici și surse.....	25
3.2. Măsurarea descendenților toronului – metode și tehnici.....	25
3.2.1. Metoda de scintilație	26
3.2.2. Detectori de urme.....	26
3.3. Expunerea	27
3.4. Comportamentul diurn și sezonier.....	28
4. Contribuța toronului la iradierea naturală din România.....	29
4.1. Măsurătorile de toron în România de-a lungul anilor.....	29
4.2. Studiu de fezabilitate și metodologia.....	34
4.3. Studiu privind nivelul de toron din școli	38
5. Probleme legate de măsurătorile de toron și radon	41
5.1. Intercomparare pentru integrarea detectorilor de toron	41
5.2. Probleme în monitorizarea toronului și radonului pe teren	45
5.3. Variații sezoniere ale toronului și radonului din interior în județul Vaslui	52
5.4. Cartarea radonului și toronului din interior în județul Vaslui	57
5.5. Intercompararea sistemelor de măsurare a radonului în sol	60
5.6. Influența concentrației de CO ₂ asupra dispozitivelor de măsurare a radonului	65
5.7. Tehnici de remedierea a radonului aplicate în 3 locuințe.....	69
6. Concluzii generale.....	75
Referințe	79

Cuvintente cheie:

Toron, radon, produși de dezintegrare, măsurători integrate, metode pasive, metode active, detectori de urme, interior, expunere, doza naturală, variații sezoniere, variații diurne, cartare, remediere.

1. Introducere

1.1. Introducere în radioactivitate

Radioactivitatea, procesul prin care are loc descompunerea sau dezintegrarea spontană a nucleelor, reprezintă un proces natural al naturii la fel ca procesul de formare a elementelor prin reacții nucleare ce are loc în stele; astfel iau naștere izotopi ai elementelor atât stabili cât și instabili. Compoziția izotopică a elementelor se caracterizează prin proprietățile reacțiilor nucleare care au dus la formarea elementelor. Compoziția elementară a planetei Pământ, considerată a fi de aproximativ 4.5×10^9 de ani, deși nu este încă în echilibru chimic, reflectă compoziția materialului din care au luat naștere.

Există aproximativ 340 de radionuclizi în natură, din care aproximativ 70 sunt radioactivi. Aceștia din urmă sunt radionuclizi ce apar în mod natural, și se găsesc mai ales în calitate de izotopi ai elementelor grele. Uraniu și toriu, de exemplu, cunoscuți cu mult înainte de descoperirea radioactivității pot fi găsiți în starea lor naturală, distribuiți în diferite straturi ale scoarței Pământului și în toate tipurile de roci și soluri (Paschoa și Steinhäusler, 2010), precum și în râuri, apel maritime și în organismele biologice (Ouseph, 1975). Radioactivitatea radionuclizilor naturali cum ar fi cei din seriile uraniului (^{235}U and ^{238}U) și toriului (^{232}Th) se datorează, în principal, proceselor de dezintegrare alfa și beta plus des-excitarea gamma a nucleelor. Ca urmare a proceselor de descompunere a rocilor, elementele lor radioactive migrează, astfel, echilibrul radioactiv este rupt, elementele radioactive degradate din uraniu și toriu dezintegrându-se treptat. Elementele de viață scurtă dispar într-un interval de timp relativ scurt, în timp ce elemente radioactive de viață lungă formează sedimente secundare, cum ar fi argila de culoare brună ce prezintă un conținut ridicat de radium. La scurt timp după ce a fost descoperit în 1896 că uraniul emite radiații, în 1898 a fost identificat un element care ar putea emite o radiație chiar mai mare. Acest element a fost radium, din care a derivat termenul de radioactivitate (Cosma și Jurcut, 1996). Radium se găsește în sol, în apele oceanelor și râurilor, prin urmare, produșii săi de dezintegrare (radon, toron și actinon) pot fi găsiți în toate mediile naturale.

1.2. Obiective

Radonul reprezintă unul dintre cei mai importanți factori care contribuie la iradierea naturală a populației. Împreună cu produșii săi de dezintegrare, acesta este clasificat ca fiind unul dintre cauzele principale ale dezvoltării cancerului pulmonar.

Organizația Mondială a Sănătății a declarat radonul ca fiind a doua cauză de cancer pulmonar, după fumat. Pe lângă această preocupare în creștere în ceea ce privește radonul, importanța toronului a fost recent recunoscută. Gazul de toron este prezent pretutindeni, împreună cu radonul, uneori nivelul toronului în interior depășindu-l pe cel al radonului. Prin urmare, atunci când se analizează expunerea la radon o atenție specială trebuie acordată existenței toronului în proba analizată, altfel riscul de expunere la radon va fi subestimat. Importanța acestei cercetări se reflectă din interesul în creștere manifestat în ultimii ani de cercetători din întreaga lume exprimat prin multitudinea de lucrări care tratează acest subiect la nivel mondial în special ca un potențial gaz carcinogen.

În contextul interesului crescut arătat de comunitatea științifică internațională asupra importanței monitorizării radonului și impactul său asupra sănătății publice, în România, până în prezent, nu s-au înregistrat studii sistematice la nivel național care să includă o cartare a radonului sau toronului, și, în consecință, nu există nici o bază legislativă în ceea ce privește protecția împotriva radonului rezidențial. Obligațiile României, ca Stat Membru al Uniunii Europene, în ceea ce privește politica de mediu, sunt clar stabilite în Tratatul Comisiei Europene, Art. 174 (acesta face referire la necesitatea de conservare, protecție și îmbunătățire a mediului, protecția sănătății umane, utilizarea rațională a resurselor naturale și promovarea de măsuri specifice care vizează abordarea problemelor de mediu la nivel regional). Prin urmare, anumite măsuri sunt necesare în scopul cuantificării în mod corect a concentrațiilor de radon și toron, atât în interior cât și în exterior, identificarea zonelor de risc și, totodată, cartografierea acestora. Acest proces, reprezintă o necesitate și o prioritate în conformitate cu standardele naționale și europene de protecție a populației.

Obiectivul principal al acestui proiect este acela de a contribui la familiarizarea publicului cu nivelul de radioactivitate din mediul în care trăiește. Ca un al doilea obiectiv, se dorește contribuția la o procesul de pregătire al unei hărți de radon-toron, care, va oferi comunității științifice o bază de date cu informații care pot fi folosite pentru studii ulterioare sau pentru evidențierea regiunilor cu niveluri ridicate de radiații naturale.

Teza abordează două subiecte suprapuse care prezintă un interes crescut în întreaga lume însă nu atât de mult în România. Primul subiect este axat pe măsurătorile de toron existente în România și estimarea contribuției toronului la doza naturală primită de către populație. Al doilea obiectiv al cercetării este reprezentat de o mare varietate de inconveniențe care de multe ori reduc acuratețea măsurătorilor.

1.2.1. Sinteza tezei

Teza este structurată pe șase capitole. În primele patru capitole este descris studiul literaturii de specialitate care reprezintă fundamentul teoretic necesar pentru efectuarea corectă a cercetării stabilite. **Capitolul 1** prezintă o introducere în domeniu, motivația pentru punerea în aplicare a unui astfel de proiect și obiectivele cercetării. Următoarele două capitole (**Capitolul 2**, **Capitolul 3**) descriu informațiile relevante și la obiect în ceea ce privește caracteristicile, metodele și tehnicile de măsurare disponibile în cazul toronului, ai produșilor săi de dezintegrare și ale radonului.

Următoarele două capitole prezintă contribuții originale asupra subiectului. **Capitolul 4** cuprinde 3 subcapitole în care se analizează nivelul toronului din România și contribuția sa la iradierea naturală a populației. **Capitolul 5** cuprinde 7 subcapitole axate pe investigarea dinamicii toronului și radonului în interior și descrie de asemenea, stagiul de cercetare efectuat timp de 4 luni de mobilitate la Institutul de Radiochimie și Radioecologie al Universității Pannonia din Veszprém, Ungaria pe parcursul căruia s-a analizat potențiala influență a concentrației de CO₂ asupra dispozitivelor de monitorizare a radonului în mediu.

În ultimul capitol (**Capitolul 6**) sunt reunite toate concluziile care pot fi trase din investigațiile experimentale și care pot fi un indicator pentru cercetări viitoare.

Referințele bibliografice utilizate în cadrul acestei teze sunt enumerate în **Referințe**.

4. Contribuția toronului la iradierea naturală din România

4.1. Măsurătorile de toron în România de-a lungul anilor

Prima jumătate a anilor '90 a marcat începutul măsurătorilor de toron printr-un studiu în aer liber (Encian și col., 2005) în care s-a folosit filtrarea aerului și măsurători de beta total. În continuare s-au efectuat teste de exalație a gazului de toron în mediul urban din Cluj-Napoca (Cosma și col., 2005) folosindu-se cărbune activ și metoda celulelor Lucas, aceasta din urmă fiind, de asemenea, utilizată pentru măsurători de exalație a gazului din sol în apropierea mofetelor (Papp și col., 2010). În ultimii ani, accentul s-a îndreptat spre măsurătorile pe termen lung în interiorul locuințelor prin utilizarea detectorilor de urme (Burghele și col., 2011; Burghele și Cosma, 2012, 2013; Burghele, 2013) care, până la data redactării acestei teze însumau 145 de măsurători realizate pe teritoriul României. O listă a datele publicate cu privire la măsurătorile de gaze compuși descendenți ai toronului din România este prezentată în Tabelul 2.

Tabelul 2. Situația măsurătorilor de toron din România

Author	No. of locations	Type of survey (period)	^{220}Rn	Measuring sistem/method	Annual effective dose (mSv/yr)
Encianu et al., 2005	1	outdoor (1994 - 1997)	0.18 (Bq/m ³)	air filtering and gross beta measurements	-
Cosma et al., 2005	3	exhalation from soil	2986±180 (mBq/m ² s)	charcoal	-
			2423±146 (mBq/m ² s)	LUK3C - scintillation cell	-
Burghele et al., 2011	35	indoor	106±77 (Bq/m ³)	RADUET	-
Burghele and Cosma, 2012	35	indoor	70±4(Bq/m ³)		0.02
Burghele and Cosma, 2013	15	indoor	91 ± 57 (Bq/m ³)	RADUET	-
	6	indoor	15±10 (Bq/m ³)	RAD7	-
	7	exhalation - wall - flor	395±96 (Bq/m ³) 66±43 (Bq/m ³)	RAD7	- -

Concentrația medie de toron calculată din datele existente este de 58.7 Bqm⁻³, această valoare fiind de 2.1 ori mai mică decât media concentrației de radon la nivelul României.

4.2. Studiu de fezabilitate și metodologia

Măsurătorile preliminare au început la începutul anului 2011 în trei județe (Bihor, Satu Mare și Sălaj) situate în partea de nord-vest a României (Burghele și col., 2011). Un număr de 35 de detectori RADUET au fost amplasați în diferite tipuri de clădiri cum ar fi: locuințe, beciuri, școli sau birouri. Locațiile au fost alese în așa fel încât să implice diferite tipuri de materiale de construcție și un factor de ocupare diferit. Toți detectorii au fost suspendați la 30 cm de perete, cu ajutorul unei sârme, în încăperile de la primul nivel al clădirii.

După o expunere de trei luni, detectorii au fost colectați și aduși în Laboratorul de Radioactivitate a Mediului (Facultatea de Știința și Ingineria mediului a Universității "Babes-Bolyai" din Cluj-Napoca, România), pentru procesare. Prima etapă de prelucrare constă în prepararea soluției și detectorilor pentru dezvoltare. Al doilea pas reprezintă corodare chimică, urmată de a treia etapă, citirea urmelor.

Tabelul 5. Rezultatele obținute în timpul studiului preliminar din NV României.

County		Salaj	Bihor	Satu Mare
Concentration (Bqm ⁻³)	²²² Rn (min-max)	28 – 385	85-435	33-342
	²²² Rn (avg. ± SD)	194 ± 153	260 ± 247	154 ± 76
	²²⁰ Rn (min-max)	23 – 60	50-64	61-246
	²²⁰ Rn (avg. ± SD)	41 ± 16	57 ± 10	128 ± 86
	EEC _{Tn}	0.82	1.14	2.57
Thoron Effective Dose (mSv)		0.01	0.01	0.04

Concentrația medie de toron pentru cele trei județe a variat între 41 Bqm⁻³ și 128 Bqm⁻³, cu o concentrație medie totală de 75 Bqm⁻³ reprezentând o activitate mai mică comparativ cu cele raportate de alte țări (Gulan și col., 2012) și o contribuție redusă la doza efectivă, variind între 0,003 mSv/an și 0,07 mSv/an. Concentrația medie a produșilor de dezintegrare a toronului a fost de 1.5 Bqm⁻³ reprezentând o concentrație mai mare decât cea măsurată anterior în România (Iacob și col., 2005). Raportul Tn/Rn a fost calculat a fi 0,21 pentru Sălaj și Bihor și 0.83 pentru județul Satu Mare.

4.3. Studiu privind nivelul de toron din școli

Un nou studiu de toron / radon a fost început în partea de nord-vest a României și a inclus 35 de școli din cadrul aceluiași trei județe investigate anterior.

Dintre 35 de detectori radon – toron, 24 au identificat prezența toronului cu variații ale concentrației în intervalul de 3 Bqm⁻³ până la 235 Bqm⁻³, înregistrând astfel valori maxime mai mari decât cele raportate de alte țări (Vaupotič și col., 2012).

Tabelul 6. Doza efectivă și concentrațiile medii de Rn și Tn măsurate în sezonul de primăvară

County	²²² Rn AM+SD (Bq m ⁻³)	²²² Rn effective dose/season (mSv)	²²⁰ Rn AM+SD (Bq m ⁻³)	²²⁰ Rn effective dose/season (mSv)	Total dose (mSv)
Salaj	180 ± 15	0.32	11 ± 4	0.004	0.32
Bihor	295 ± 14	0.52	55 ± 1	0.02	0.54
Satu Mare	169 ± 22	0.3	144 ± 9	0.05	0.35

AM – media aritmetică; SD – deviația standard.

În urma acestui studiu s-a concluzionat că toate școlile investigate prezintă un nivel de radon și toron mai mic decât nivelul de acțiune pentru locurile de muncă propuse de ICRP 1993 și o locație în care a fost depășit nivelul de referință pentru radon în locuințe recomandat de ICRP 115. Activitățile de toron s-au situat predominant sub 100 Bqm⁻³. Doza efectivă sezonieră (3 luni) calculată pentru expunerea la toron în cele 3 județe, a variat între 0.004 mSv și 0.05 mSv.

5. Probleme legate de măsurătorile de toron și radon

5.2. Probleme în monitorizarea toronului și radonului pe teren

Distribuția spațială a indicat o activitate mai mare de toron în vecinătatea pereților și o activitate scăzută spre centrul camerei, în timp ce concentrația de radon a urmat un model relativ constant indiferent de distanța față de perete.

Măsurători ale emisiilor au subliniat faptul că pereții (materialul de construcție) reprezintă sursa de toron și podeaua (umplutura) de radon.

După măsurători diurne într-o clădire din cărămidă roșie a fost observată o activitate scăzută a toronului dimineața, urmată de o scădere sub limita de detecție a aparatului, în timpul după-amiezii. Toronul a prezentat o activitate în creștere după miezul nopții atunci când temperatura începe să scadă. Pe de altă parte, activitatea radonului nu pare să fie influențată nici de temperatura nici de umiditate: acesta prezintă un comportament aproape constant pe tot parcursul zilei și o ușoară creștere a activității în timpul nopții.

Investigațiile diurne efectuate într-o clădire de 50 de ani construită din chirpici au arătat un comportament destul de constant pentru activitatea toronului de-a lungul întregului interval investigat. Spre deosebire de investigațiile realizate în clădirea din cărămidă roșie activitatea radonului în acest caz a prezentat valori constante în timpul zilei și o scădere accentuată după miezul nopții. S-a constatat faptul că nu există variații ale concentrației celor două gaze ce pot fi corelate cu variațiile de temperatură sau umiditate.

5.3. Variații sezoniere ale toronului și radonului din interior în județul Vaslui

Studiul prezentat în acest subcapitol a fost realizat pe parcursul a doi ani (2012-2013). În prima parte a acestui interval de timp (aprilie – iulie 2012), reprezentând un sezon extrem de secetos pentru zona de studiu au fost amplasați 15 detectori RADUET. Alți 15 detectori au fost amplasați urmărirea vară (2013) ce s-a dovedit a fi un sezon neobișnuit de ploios. În aceleași locații au fost efectuate măsurători pe timp de iarnă (2012 - 2013) cu alți 30 de detectori RADUET.

Tabel 6. Rezumatul statistic al concentrațiilor de toron și radon în interior măsurate pe fiecare sezon

Gas concentration (Bqm ⁻³)	Summer (drought season)	Winter	Summer (rainy season)	Annual mean
Thoron	94	82	79	80
Radon	248	216	146	196

Prezentul studiu vine să confirme studiu anterior efectuat în Transilvania cu privire la variabilitatea sezonieră a radonului conform căruia radonul prezintă activități ridicate în timpul sezonului de iarnă și activități reduse în timpul sezonului de vară. În cazul toronului, al doilea set de date confirmă informațiile din bazele de date internaționale prin faptul că, în timpul sezonului ploios s-a observat o scădere a concentrației activității de toron în interior, în timp ce prima etapă a studiului a adus în atenție o nouă tendință în domeniu, concentrația activității de toron în interior prezentând o tendință de creștere în sezonul secetos.

5.4. Cartarea toronului și radonului din interior în județul Vaslui

Județul Vaslui este situat în partea de centru-est a României și are teritoriul organizat în 3 municipii, 2 orașe și 81 de comune cumulând într-o suprafață totală de 5318 km² și o populație totală de 37.5151 de persoane. Întregul său teritoriu a fost împărțit în celule de 10 km x 10 km în conformitate cu JRC (Dubois și col., 2010) și Harta de Radon din România (Cosma și col., 2013). Pe parcursul ultimilor doi ani (2012-2013) 90 detectori de radon și 60 detectori de toron (de tip RSKS și RADUET proiectați de Radosys Ltd. Ungaria) au fost amplasați pentru perioade de trei luni în locuințe, instituții publice și private din 15 sate și un oraș repartizate pe 9 celule ale județului Vaslui, prin urmare, pe o suprafață de 900 km². Amplasarea și procesarea detectorilor a fost efectuată în conformitate cu Protocolul de măsurare HPA-NRPB (Miles și Howarth, 2008).

Radonul și toronul din interior au fost cartografiați pentru 9 celule care acoperă aproximativ 18% din teritoriul de sud-vest al județului. Figura 13 prezintă media aritmetică a concentrațiilor de radon și toron calculată din măsurătorile efectuate pe fiecare celulă.

Concentrația anuală de radon de la 90 de măsurători efectuate în județul Vaslui au arată un nivel mediu de radon în interior pentru acest județ de 186 Bqm⁻³. Concentrațiile anuale de toron de la 60 de măsurători de interior au variat între 12 Bqm⁻³ și 559 Bqm⁻³ cu 18% din date prezentând valori peste 100 Bqm⁻³ și 5% peste limita de intervenție recomandată pentru radon, rezultând într-un nivel mediu de toron în interior pentru județul Vaslui de 80 Bqm⁻³. Contribuția toronului la doza naturală primită de populația județului Vaslui, care locuiește în zona de studiu, variază între 0.06 mSv/an and 3.13 mSv/an. În concluzie se poate ușor observa că, în unele situații, contribuția toronului la doza naturală nu mai poate fi ignorată așa cum se întâmplă în prezent.

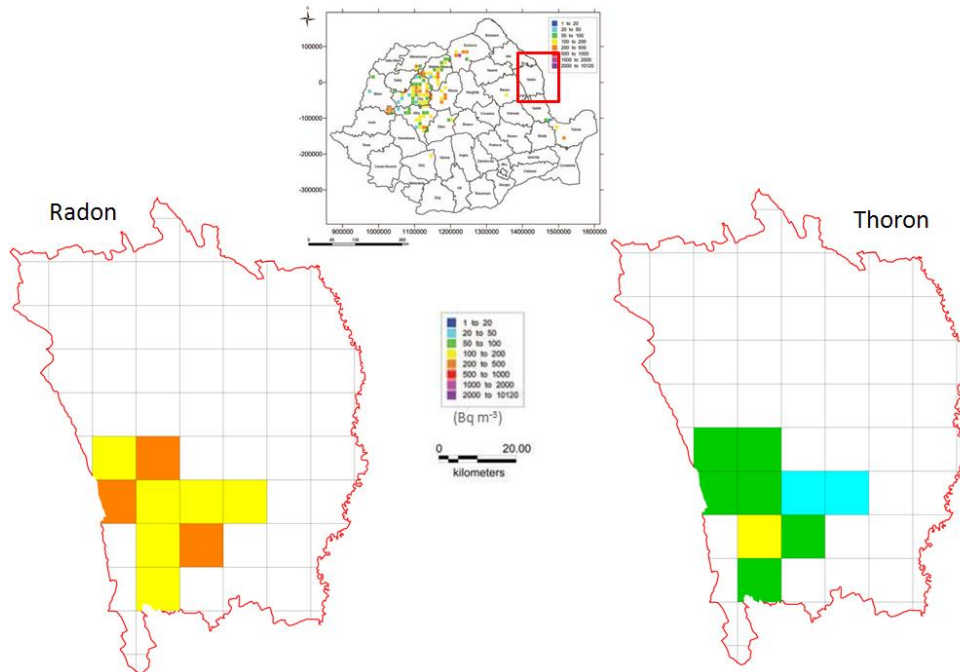


Figure 13. Media aritmetică a radonului și toronului în interior per grid în județul Vaslui.

5.7. Tehnici de remediere a radonului aplicate în 3 locuințe

Trei case au fost alese dintr-un sat situat în apropiere de fosta mină de uraniu Băița-Ștei în care măsurătorile de interior pe termen lung efectuate timp de doi ani (2010-2011) au indicat cel puțin o camera cu concentrație de radon mai mare de 300 Bq m^{-3} , nivelul de referință recomandată de ICRP 115.

Pentru fiecare locuință au fost colectate, în medie, 15 probe de aer din fisurile găsite în podele sau la contactul cu pereții, locuri care reprezintă posibilele scurgeri de radon în interiorul locuinței. Valorile mai mari de 1 kBq m^{-3} confirmă prezența scurgerilor; astfel de valori au fost găsite în toate cele trei case.

Concentrația gazului de radon din sol a fost investigat, de asemenea, prin colectarea a câte 15 probe de gaz din solul ce înconjoară locuința. În același timp s-au realizat măsurători de permeabilitate a solului, în scopul determinării potențialului de radon și indexul solului.

Măsurători continue ale concentrației de radon din interior au fost efectuate folosind mai multe dispozitive de detectare a radonului, cum ar fi: Sarad, Radim, AlphaGuard, Rad7 sau Ramon.

Pe lângă radon anomaliile gamma au fost de asemenea, investigate folosind Gamma Scouts și spectrometrie gamma.

Toate investigațiile de diagnosticare au avut ca scop principal identificarea sursei de radon. Concluzia generală indică fundația casei ca principală sursă de radon care este în toate

cazurile umplută cu pietre de pe halda de steril de la fosta mină de uraniu. În scopul reducerii nivelului de radon identificat în cele trei locuințe au fost aplicate diferite tehnici de remediere (Burghele și col., 2012.) testate anterior în detaliu (Cucuș și col., 2011; Cosma și col., 2013-b).

Testarea tehnicilor de remediere aplicate pe cele 3 case s-a bazat pe calculul eficienței prin compararea concentrațiilor anuale (din măsurători integrate) înainte și după implementarea tehnicilor.

Tabelul 11. Datele raportate înainte și după aplicarea tehnicilor de remediere obținute prin măsurători integrate și eficiența pentru fiecare caz.

Code	Annual concentration (Bqm ⁻³)		Efficiency (%)
	before	after	
A1	1139	133	88,3
A2	1062	100	90,6
B1	1543*	315	79,6
B2	1205	456	62,2
C1	761	137	82,0
C2	711*	98	86,2
C3	595	116	80,5
C4	944	83	91,2

* - valori determinate din măsurători continue

Prin urmare, cu eficiențe cuprinse între 79% și 91%, și concentrații ale activității de radon după remediere situate în principal sub 200 Bqm⁻³ cele trei case supuse experimentului ar putea fi considerate "libere" de radon.

6. Concluzii generale

Așa cum este detaliat în această teză, concentrația descendenților de toron măsurată în locuințele din România a crescut de la $1,07 \text{ Bq m}^{-3}$ (grab-sampling) în 1996, la $1,6$ în 2013 (detectori de urme). Valoarea medie a concentrației de toron în România calculată din totalul de 145 de măsurători existente este de 58.7 Bqm^{-3} reprezentând o valoare cu 2,1 ori mai mică decât media concentrației de radon. Cu toate acestea, datele cu privire la concentrațiile de toron, radon și descendenții acestora sunt încă destul de puține pentru o statistică națională, motiv pentru care în România este dezbătută în continuare necesitatea unei legislații în ceea ce privește referințele sau nivelurile de acțiune pentru aceste gaze cancerigene. Pentru a depăși această deficiență, un studiu la scară largă care ar oferi o statistică națională nu numai despre toron și descendenții săi dar și despre radon și descendenții acestuia în interiorul locuințelor este foarte necesară și ar trebui prin urmare încurajată.

Studiile de fezabilitate realizate pe trei județe diferite, au indicat concentrații ale toronului cuprinse între 41 Bqm^{-3} și 128 Bqm^{-3} , cu o concentrație medie de 75 Bqm^{-3} , care reprezintă o activitate mai mică comparativ cu cele raportate de alte țări și, prin urmare, o contribuție redusă la doza efectivă, cu valori variind între $0,003 \text{ mSv/an}$ și $0,07 \text{ mSv/an}$. Investigațiile ulterioare concentrate pe locații specifice, și anume școli, au venit să confirme că nivelul de toron este, în general, mai mic de 100 Bqm^{-3} în timp ce activitatea de radon este în cea mai mare parte peste 100 Bqm^{-3} , dar fără a depăși 500 Bqm^{-3} . Doza efectivă sezonieră (3 luni) calculată pentru expunerea la toron în cele 3 județe, a variat între 0.004 mSv și 0.05 mSv .

În scopul evaluării fiabilității datelor sistemele noastre de măsurare au fost testate în prealabil prin intermediul exercițiilor internaționale de intercomparare.

Investigațiile de toron în interior au indicat o activitate mai ridicată de toron în imediata apropiere a pereților și o activitate scăzută spre centrul camerei, în timp ce concentrația de radon urmează un model relativ constant indiferent de distanța de la perete. Măsurătorile de emisie de pe suprafețe au subliniat faptul că pereții (materialul de construcție) reprezintă sursa de toron și podea (umplutura) de radon.

În urma efectuării de măsurători diurne într-o clădire construită din cărămidă roșie a fost observată o activitate scăzută a toronului dimineața, urmată de o scădere sub limita de detecție, în timpul după-amiezii când temperatura crește. Toronul a prezentat o activitate în creștere, după miezul nopții, atunci când temperatura începe să scadă. Pe de altă parte, activitatea radonului nu pare să fie influențată nici de temperatură nici de umiditate, acesta prezintă un comportament aproape constant pe tot parcursul zilei și o ușoară creștere a activității în timpul nopții.

Investigațiile diurne efectuate într-o clădire de 50 de ani construită din chirpici au arătat un comportament destul de constant pentru activitatea toronului de-a lungul întregului interval. Spre deosebire de clădirea din cărămidă roșie, activitatea radonului a fost la fel de constantă pe timpul zilei, dar în scădere accentuată după miezul nopții. Nici unul dintre cele două gaze nu pare să fie influențate de temperatură sau umiditate.

Cercetările aprofundate descriu variațiile sezoniere ale ^{220}Rn și ^{222}Rn în interior măsurate în timpul a două sezoane de vară (secetos - ploios) și un sezon de iarnă. Experimentul vine să confirme studiul anterior efectuat în Transilvania cu privire la variabilitatea sezonieră a radonului, conform căreia radonul prezintă activități mai mari în timpul sezonului de iarnă și activități reduse în timpul sezonului de vară. În cazul toronului, al doilea set de date confirmă informațiile din bazele de date internaționale prin faptul că, în timpul sezonului ploios concentrația toronului în interior scade, în timp ce prima etapă a studiului a adus în atenție o noutate în domeniu, faptul că la temperaturi atmosferice ridicate are loc o creștere a concentrației de toron.

Măsurători ale concentrației anuale de radon efectuate în 90 de locații din județul Vaslui au concluzionat într-un nivel mediu de radon în interior pentru acest județ de 186 Bqm^{-3} . Concentrațiile anuale de toron de la 60 de măsurători de interior au variat între 12 Bqm^{-3} și 559 Bqm^{-3} astfel, 18% din date prezentând valori peste 100 Bqm^{-3} și 5% peste limita de intervenție recomandată pentru radon, rezultând într-un nivel mediu de toron în interior pentru județul Vaslui de 80 Bqm^{-3} . Contribuția toronului la doza naturală primită de populația județului Vaslui, care locuiește în zona de studiu, variază între 0.06 mSv/an and 3.13 mSv/an . În concluzie se poate ușor observa că, în unele situații, contribuția toronului la doza naturală nu mai poate fi ignorată așa cum se întâmplă în prezent.

În urma testării eficienței instrumentelor de măsurare a radonului din sol, la două site-uri de referință, a fost observat un acord bun între rezultatele noastre și cele obținute de 217 organizații de succes. Pe de altă parte, a fost sugerat că instrumentele de monitorizare activă a radonului pot fi afectate de concentrația de CO_2 din proba de aer analizată.

Cu toate acestea, deoarece cunoașterea nu este niciodată de ajuns, după doi ani de investigații de radon trei case au fost alese dintre cele ce au prezentat un nivel de radon în interior mai mare decât nivelul de acțiune sugerată de către autoritățile, în care s-au aplicat metode de remediere a nivelului de radon existent. Testarea tehnicilor de remediere aplicate pe cele 3 case s-a bazat pe calculul eficienței prin compararea concentrațiilor anuale (din măsurători integrate) înainte și după implementarea tehnicilor. Concentrația activității de radon a scăzut semnificativ în toate cele trei locații după aplicarea metodelor de remediere, confirmând faptul că punerea în aplicare a conductelor de drenaj este una dintre metodele cele mai eficiente pentru controlul radonului.

Lista de lucrări științifice:

Teza de față a fost realizată pe baza următoarelor lucrări științifice publicate și în curs de publicare:

1. Armencea (Mutoiu) E. S., Armencea A., **Burghel B.**, Cucos (Dinu) A., Malos C., Dicu T., Indoor Radon Measurements in Bacău County. Romanian Journal of Physics, Vol. 58, Supplement, pp.: S189–S195, 2013. **(IF: 0,414)**
2. **Burghel B.D.**, Cosma C., Intercomparison between radon passive measurements and active measurements and problems related to thoron measurements, Romanian Journal of Physics, Vol. 58, Supplement, pp.: S56-S61, 2013. **(IF: 0,414)**
3. **Burghel B.D.**, Cosma C., Măsurarea simultană a radonului și toronului cu detectori de urme – Situația actuală în lume. Ecoterra Journal of Environmental Research and Protection. 01/2011; 28:43-48. **(BDI)**
4. **Burghel B.D.**, Cosma C., Thoron and radon measurements in Romanian schools, Radiation Protection Dosimetry; Nov2012, Vol. 152 Issue 1-3, p.:38-41. **(IF: 0,909)**
5. **Burghel B.D.** and Moldovan M.C., Intercomparison of radon in soil instruments at reference site in Czech Republic. Annals of the West University of Timisoara – Physics Series (in press).
6. **Burghel B.D.**, Moldovan M., Papp B., Niță D.C., Rusu (Dumitru) O., Cucos A., Cosma C., Sainz C. Neznal Matej, Neznal Martin. Applied techniques to diminish radon concentration in three dwellings of Băița-Ștei, România. Ecoterra Journal of Environmental Research and Protection, no. 33, pp. 7-12, 2012. **(BDI)**
7. **Burghel B.D.**, O privire de ansamblu asupra măsurătorilor de toron în România, Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare, Ed. Politehnicum, Iași, pp.: UBB (1-8), 2013.
8. **Burghel B.D.**, Papp B., Horvat Z., Cosma C., Preliminary indoor radon and thoron measurements in north-western Romania, VI Magyar Radon Forum, Veszprém-Hungary, 2011. pp. 159-162 (ISBN: 978-615-5044-51-9).
9. Cosma C., Cucos A., Papp B., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Truță A., Niță D., **Burghel B.**, Suci L. & Sainz C., Radon and remediation measures near Băița-Ștei old uranium mine (Romania). Acta Geophysica, vol. 61, no. 4, Aug. 2013, pp. 859-875. DOI: 10.2478/s11600-013-0110-8 (b). **(IF: 0,617)**
10. Cosma C., Dumitru O. A., Niță D. C., Begy R., Cucos A., Iurian A., Moldovan M., Papp B., Dicu T., **Burghel B.**, Suci L., Sainz C., 2012 Preliminary results of natural

- radioactivity measurements in some building materials from uranium mine area Băița, Romania by gamma spectrometry. *Ecoterra- Journal of Environmental Research and Protection*, 2012, No.33, pp.:78-83. **(BDI)**
11. Cucuș (Dinu) A., Cosma C., Dicu T., Begy R., Moldovan M., Papp B., Niță D., **Burghelle B.**, Sainz C. Thorough investigations on indoor radon in Băița radon-prone area (Romania) *Science of The Total Environment* 01/2012; 431:78-83. **(IF: 3,258)**
 12. Cucuș (Dinu) A., Cosma C., Dicu T., Papp B., Begy R., Moldovan M., Niță D.C., **Burghelle B.**, Cîndea C., Fulea D., Sainz C., Neznal Martin, Neznal Matej. Radon diagnostic measurements in a pilot house from Baita Region, Romania. *STUDIA UBB AMBIENTUM*, LVI, 1, 2011, pp. 31-41. **(BDI)**
 13. Frunzeti N., Moldovan M., **Burghelle B.D.**, Cosma C., Papp B., Popita G.E., Stoian L.C., Flux measurements of ^{222}Rn , CH_4 and CO_2 along with soil gas concentrations (^{222}Rn , CO , NO_2 and SO_2) over a methane reservoir in Transylvania (Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, August 2013, Vol. 8, No. 3, p. 75 – 80. **(IF: 1,450)**
 14. Jobbágy V., **Bety-Denissa B.**, Solid thoron source preparation in a porous mineral matrix. *Radiation Protection Dosimetry* (2010) 141(4): 440-443.doi: 10.1093/rpd/ncq244 **(IF: 0.909)**.
 15. Moldovan M., **Burghelle B.D.**, Papp B., Niță D.C., Rusu (Dumitru) O., Cucuș A., Cosma C., Sainz C. Neznal Matej, Neznal Martin. Diagnosis and applied remediation techniques on radon in Băița-Ștei, România. *Ecoterra Journal of Environmental Research and Protection*, no. 33, pp. 90-94, 2012. **(BDI)**
 16. Moldovan M., Cosma C., Cucuș (Dinu) A., Dicu T., Begy R., Papp B., Niță D., **Burghelle B.**, Brișan N., Sainz C., Radon concentration in drinking water from Băița-Ștei mining area, Bihor County (Romania), *Journal of Environmental Radioactivity* (in press). **(IF: 1.484)**
 17. Nita D. C., Moldovan M., Sferle T., Ona V. D., **Burghelle B. D.**, Radon Concentrations in Water and Indoor Air in North-West Regions of Romania, *Romanian Journal of Physics*, Vol. 58, Supplement, pp.: S196–S201, 2013. **(IF: 0,414)**
 18. Papp B., Cosma C., Cucuș Dinu A., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Niță D.C., **Burghelle B.**, Cîndea C., Fulea D., Sainz C., International Intercomparisons of Radon Devices and Solid State Nuclear Detectors in Czech Republic, *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Ambientum*. 12/2011; Vol. 56((2)/2011):pp. 56 – 67. **(BDI)**

Participări la Conferințe/Workshop-uri:

1. VIth Hungarian Radon Forum and Radon in Environment Satellite Workshop, Veszprém, Hungary, 2011.
2. Ediția a II-a: Contribuții științifice în tehnologii și echipamente pentru evaluarea și protecția mediului, Arcalia, România, 2011.
3. Environment & Progress. Environment-Research, Protection and Management, Cluj-Napoca, România, 2011.
4. International Symposium on Natural Exposure and Low Dose Radiation. Epidemiological Studies. Hirosaki, Japan, 2012.
5. Terrestrial Radionuclides in Environment. International Conference on Environmental Protection, Veszprém, Hungary, 2012.
6. First East European Radon Symposium (FERAS), Cluj-Napoca, Romania, 2012.
7. The XIth International Workshop on Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Prague, Czech Republic, 2012.
8. Environmental Legislation Safety Engineering and Disaster Management (ELSEDIMA), Cluj-Napoca, Romania, 2012
9. Workshop Internațional pe tema: Tehnici de remediere a radonului din locuințe. Harta de radon pentru regiunile de centru, vest și nord-vest ale României, Arcalia, România, 2012.
10. Physics Conference, TIM12, Timișoara, România, 2012.
11. Workshop: Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare. Prezentarea rezultatelor obținute de doctoranzi. Iași, România, 2012.
12. VIIth Hungarian Radon Forum and Radon in Environment Satellite Workshop, Veszprém, Hungary, 2013.

Alte participări:

1. Summer School of Radioecology coordonată de *Dr. Tibor Kovács* și organizată de Institute of Radiochemistry and Radioecology, Veszprém, Ungaria, iunie 2011.
2. Training in Radon Intercomparison Measurements at Radon Reference Site (RIM), coordonat de *Milan MATOLIN și Martin Neznal* și organizat în cadrul XIth International Workshop on Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Praga, Republica Cehă, septembrie 2012.
3. Training in Applications of Liquid Scintillation Techniques coordonat de *Stanislaw Chalupnik* (Central Mining Institute, Katowice, Polonia) și organizat de Institute of Radiochemistry and Radioecology, Veszprém, Ungaria, mai 2013.
4. Stagiul de mobilitate în cadrul studiilor de doctorat (finanțat prin proiectul POSDRU/107/1.5/S/79407) la Institute of Radiochemistry and Radioecology, University of Pannonia, Veszprém, Ungaria, februarie-mai 2013.

Referințe

- Burghele B.D.**, Cosma C., Intercomparison between radon passive measurements and active measurements and problems related to thoron measurements, *Romanian Journal of Physics*, volume 58, Supplement, p. S56-S61, 2013.
- Burghele B.D.**, Cosma C., Thoron and radon measurements in Romanian schools, *Radiation Protection Dosimetry* (2012), Vol. 152, Issue 1-3, p.: 38-41.
- Burghele B.D.**, Moldovan M., Papp B., Niță D.C., Rusu (Dumitru) O., Cucuș A., Cosma C., Sainz C., Neznal Matej, Neznal Martin. Applied techniques to diminish radon concentration in three dwellings of Băița-Ștei, România. *Ecoterra - Journal of Environmental Research and Protection*, no. 33, pp. 7-12, 2012.
- Burghele B.D.**, Papp B., Horvat Z., Cosma C., Preliminary indoor radon and thoron measurements in north-western Romania, VI Magyar Radon Forum, Veszprém-Hungary, 2011. pp. 159-162 (ISBN: 978-615-5044-51-9).
- Burghele B.D.**, O privire de ansamblu asupra măsurătorilor de toron în România, Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare, Ed. Politehnicum, Iași, pp.: UBB (1-8), 2013.
- Cosma C., Cucuș A., Papp B., Begy R., Dicu T., Moldovan M., Truță A., Niță D., **Burghele B.**, Suciuc L. & Sainz C., Radon and remediation measures near Băița-Ștei old uranium mine (Romania). *Acta Geophysica* (2013), Vol. 61, No. 4, pp.: 859-875. DOI: 10.2478/s11600-013-0110-8 (b).
- Cosma C., Cozar O., Jurcut T., Baciuc C., Pop I., Simultaneous measurement of radon and thoron exhalation rate from soil and building materials, *Natural Environmental Radioactivity Series* (2005), Vol. VII, pp.: 699-706.
- Cucuș (Dinu) A., Cosma C., Dicu T., Papp B., Begy R., Moldovan M., Niță D.C., **Burghele B.**, Cîndea C., Fulea D., Sainz C., Neznal Martin, Neznal Matej. Radon diagnostic measurements in a pilot house from Baita Region, Romania. *Studia UBB Ambientum* (2011) Vol. LVI, No. 1, pp.: 31-41.
- Dubois G., Bossew P., Tollefsen T., De Cort M., First steps towards a European atlas of natural radiation: status of the European indoor radon map, *Journal of Environmental Radioactivity* (2010), Vol. 101, Issue 10, pp.: 786-798.
- Encian I., Cosma C., Damian G., Studii asupra radonului și toronului din aerul atmosferic în Municipiul Bistrița, în perioada 1994-1997, *Environment & Progress* – 3/2005, pp. 155-159.
- Gulan L., Milic G., Bossew P., Omori Y., Ishikawa T., Mishra R., Mayya Y.S., Stojanovska Z., Nikezić D., Vucković B. and Zunic Z., Field experience on indoor radon, thoron and their

- progenies with solid state detectors in a survey of Kosovo and Metohija (Balkan Region), *Radiation Protection Dosimetry* (2012), Vol. 152, No. 1-3, pp. 189-197.
- Iacob O., Grecea C., Botezatu E., Population exposure to inhaled radon and thoron progeny, *Radioactivity in the Environment* (2005), Vol. 7, pp.: 232-237.
- ICRP 115 (International Commission on Radiological Protection). Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. ICRP Publication 115Ann. ICRP, 40; 2010.
- ICRP 1993. International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work. Publication 65. Pergamon Press (1993).
- Miles, J. C. H. and Howarth, C.B. Validation scheme for organizations making measurements of radon in dwellings: 2008 Revision. Health Protection Agency. Radiation Protection Division (2008).
- Ouseph P.J. Laboratory Instrumentation and techniques. Volume 2: Introduction to Nuclear Radiation Detectors. Plenum Press, New York and London. 1975.
- Papp B., Szakács A., Néda T., Papp Sz. and Cosma C., Soil radon and thoron studies near the mofettes at Harghita Bai (Romania) and their relation to the field location of fault zone, *Geofluids* (2010) 10, 586-593.
- Paschoa A.S., Steinhäusler F., CHAPTER 3 - Terrestrial, Atmospheric, and Aquatic Natural Radioactivity, *Radioactivity in the Environment* (2010), Vol. 17, pp.: 29-85.
- Vaupotič J., Bezek M., Kávási N., Ishikawa T., Yonehara H., Tokonami S., Radon and thoron doses in kindergartens and elementary schools. *Radiation Protection Dosimetry* (2012), Vol. 152, No. 1-3, pp.: 247-252.

