

# RAPORT FINAL

al proiectului „**Realizarea Camerei de Radon - Stand de Etalonare a Aparaturii de Măsurare a Concentrației de Radon și Descendenți în Aer**” (CARSTEAM), având codul PN-II-PT-PCCA-2011-3.1-0741, în cadrul programului Parteneriate în Domenii Prioritare, proiect PCCA tip I, contract nr. 141/2012

La proiectul CARSTEAM (02.07.2012-31.12.2016) au participat următorii parteneri:  
-Coordonator (CO): Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară “Horia Hulubei” (IFIN-HH);  
-Partener 1 (P1): Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogenice și Izotopice – Rm. Vâlcea (ICSI);  
-Partener 2 (P2): Universitatea din București (UB).

## OBIECTIVE PREVĂZUTE / REALIZATE

Activitatea realizată în cadrul acestui proiect de către cei trei parteneri s-a desfășurat în conformitate cu documentele inițiale ale contractului precum și cu actele adiționale Nr. 1/2013, Nr. 2/2014, Nr. 3/2015 și Nr. 4/2015. În toate activitățile la care au participat, cei trei parteneri au colaborat foarte bine, coordonarea activităților și comunicarea fiind întotdeauna optime.

### ●Obiective prevăzute cu raportări de faze realizate

1. Etapa I, 2012: **Documentare tehnică și științifică pentru realizarea proiectului Camerei de Radon** (activitate de cercetare fundamentală)
  - a. Activitatea I.1. Studiul literaturii științifice publicate în domeniu, achiziția și studiul normelor/documentelor de etalonare, vizite tehnice de documentare în străinătate. – Obiectivele au fost realizate integral.
  - b. Activitatea I.2. Organizarea unui Workshop științific la IFIN-HH despre sinteza documentarii realizate, stabilirea detaliată a soluțiilor tehnice optime și a responsabilităților. – Obiectivele au fost realizate integral.
2. Etapa II, 2013: **Realizarea proiectului de execuție. Construcția componentelor Camerei de Radon (partea I)** [activitate de dezvoltare experimentală]
  - a. Activitatea II.1. Realizarea proiectului de execuție a Camerei de Radon, identificare soluții tehnice, vizite de lucru/documentare/diseminare. – Obiectivele au fost realizate integral.
  - b. Activitatea II.2. Achiziționare materiale și echipamente necesare construcției Camerei de Radon (partea I). – Obiectivele au fost realizate integral.
3. Etapa III, 2014: **Construcția componentelor Camerei de Radon (partea a II-a). Asigurarea condițiilor necesare instalării la IFIN-HH** (activitate de dezvoltare experimentală)
  - a. Activitatea III.1. Achiziționare materiale și echipamente necesare construcției Camerei de Radon (partea a II-a). Construcția componentelor Camerei de Radon conform proiectului de execuție, identificare soluții tehnice. Vizite de lucru/diseminare/documentare. – Obiectivele au fost realizate integral, dar trebuie precizat că, pe parcursul continuării proiectului, s-au identificat noi materiale/echipamente/servicii necesare care au fost achiziționate, conform bugetului disponibil.

- b. Activitatea III.2. Asigurarea condițiilor necesare instalării la IFIN-HH, identificare soluții tehnice. Vizite de lucru/diseminare/documentare. – Obiectivele au fost realizate integral.
- 4. Etapa IV, 2015: **Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH. Participare la o comparare internațională de măsurare a Radonului** (activitate de cercetare fundamentală și de dezvoltare experimentală).
  - a. Activitatea IV.1. Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH. – Obiectivele au fost realizate integral. Trebuie însă precizat că incinta exterioară a Camerei de Radon nu s-a putut realiza în această etapă din cauza dificultății identificării unui furnizor și a unei finanțări mai reduse a proiectului în anul 2015 (incinta exterioară a fost finalizată în Etapa V, 2016).
  - b. Activitatea IV.2. Participarea la o comparare internațională de măsurare a Radonului. – Obiectivul a fost realizat integral, la această activitate participând doar Coordonatorul (IFIN-HH). S-au obținut rezultate foarte bune, comunicate de organizatorii comparării (CEA/LNE-LNHB, Saclay, Franța) în a doua jumătate a anului următor (2016).
  - c. Activitatea IV.3. Redactarea preliminară a documentației de operare a Camerei de Radon. La această activitate au participat partenerii P1 (ICSI) și P2 (UB), fiecare realizând activități diferite: Redactarea preliminară a documentației tehnice a Camerei de Radon (P1), respectiv Realizarea unui studiu științific și tehnic în scopul asigurării unei distribuții cât mai uniforme a radonului în volumul incintei Camerei de Radon. – Obiectivele au fost realizate integral.
  - d. Activitatea IV.4. Vizite de lucru/diseminare/documentare. – Obiectivele au fost realizate integral.
- 5. Etapa V, 2016: **Verificarea și testarea experimentală a Camerei de Radon. Diseminarea rezultatelor proiectului.**
  - a. Activitatea V.1. Verificarea și testarea experimentală a parametrilor Camerei de Radon. – Obiectivele au fost realizate integral, detalii fiind precizate mai jos.
  - b. Activitatea V.2. Redactarea finală a documentației de operare a Camerei de Radon. – Obiectivele au fost realizate integral.
  - c. Activitatea V.3. Etalonarea unui echipament de măsurare a Radonului. – Obiectivul a fost realizat, dar într-o variantă modificată față de aceea prevăzută inițial, conform detaliilor de mai jos.
  - d. Activitatea V.4. Vizite de lucru/diseminare/documentare. – Obiectivele au fost realizate integral.
  - e. Activitatea V.5. Diseminarea rezultatelor prin propunerea unor lucrări la conferințe internaționale, elaborarea unui brevet. – Obiectivele au fost realizate integral, cu precizarea cu documentația pentru brevet este în curs de redactare.

#### • Gradul de atingere a rezultatelor estimate

În toate etapele, cei trei parteneri au conlucrat la realizarea camerei de radon, a documentației necesare pentru operare și a unor studii experimentale. Principala contribuție a coordonatorului și partenerului P1 a fost realizarea proiectului de execuție, construcția și asamblarea pieselor și a accesoriilor camerei de radon, participarea la o comparare internațională de măsurare a activității radonului. Partenerul P2 a contribuit foarte mult în domeniul metodelor de măsură și procedurilor de analiză a rezultatelor măsurărilor, inclusiv pentru descendenții radonului. În ceea ce urmează, sunt indicate succint principalele rezultate științifice obținute în cadrul proiectului. Referitor la ultima etapă a proiectului (V/2016), sunt

aduse mai jos precizări suplimentare față de raportul de etapă care a avut termenul de predare în 5.12.2016 (proiectul s-a încheiat la 31.12.2016).

În prima etapă a proiectului, au fost studiate mai multe referințe bibliografice, conținând date despre tipurile de camere de radon și caracteristicile lor, așa cum sunt cele deja realizate, care funcționează la marile laboratoare cu experiență din domeniu, fie la Institutele Naționale de Metrologie, fie la alte entități cu responsabilități naționale de asigurarea etalonării aparaturii folosite la măsurarea radonului și a descendenților săi. Principalale documente studiate au fost din lista următoare:

1. J.L.Piccolo, D. Pressianov, P.Blanchis, M.Barbier, N. Michielsens, D.Grassin, V.Voisin, K.Turek. *A radon 222 traceability chain from primary standard to field detectors. Appl. Radiat Isot.* 52 (2000)427 - 434.,
2. J.M. Lee, K.H.Ahn, H.S.Chai, T.S.Park. *Development of radon calibration chamber at KRISS. Appl. Radiat. Isot.* 61(2004)237-241.
3. P.De Felice, G.Sciocchetti, P.Baldasini, E.Saldano, G.Cotellesa. *The national standard for Rn222 activity measurements developed at ENEA, Italy. IRPA9 -1996 International Congress on Radiation Protection of IRPA. Proc Vol.2, pp 141 – 143.*
4. A.Honig, A.Paul, S.Röttger, U.Keiser. *Environmental control of the German reference chamber. Nuclear Instr. Meth. A* 416(1998)525-530;
5. A.Campagno, A.Parlato, S.Rizzo, E.Tomarchio. *A chamber to test the response of radon detectors to changing environmental conditions. Environmental Protection Dosimetry* 145,2-3(2011)312-315..
6. I.Lopez-Coto, J.Bolivar, J.L Mas, R.Garcia-Tenorio, A.Vargas. *Development and operational performance of a single calibration chamber for radon detectors. Nucl. Instrum. Methods. A* 579(2007)1135-1140.

Cerințele referitoare la aparatura utilizată în măsurarea activităților/concentrațiilor de radon sunt prezentate în unele standarde ale Comisiei Electrotehnice Internaționale. Dată fiind utilizarea lor restrânsă în România, acestea nu au fost traduse și adoptate ca standarde românești, dar au putut fi achiziționate în forma lor originală, în limba engleză. Acestea sunt: CEI 61577-Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments – Instrumentație de radioprotecție – Instrumente de măsurare a radonului și a descendenților săi.

Standardul cuprinde patru părți:

Partea 1: Principii generale (ed. 2, 2006);

Partea 2: Instrumente de măsurare a radonului

Partea 3: Instrumente de măsurare a descendenților radonului.

Partea 4 (61263): Instrumente pentru măsurarea instantanee a energiei potențiale alfa în mediul miner.

În cadrul UB, accentul a fost pus pe studierea literaturii de specialitate referitoare la camera de radon, în special pe aspectele privind procedurile de etalonare, pe analiza influenței diferiților factori ambientali în decursul măsurării și de asemenea, pe studiul procedurilor de evaluare prin calcul (mai ales prin simulare Monte Carlo) a răspunsului instrumentului de măsurare. La realizarea acestui obiectiv a contribuit și participarea la o conferință internațională (cu trei lucrări prezentate), precum și diseminarea în cadrul unui Workshop organizat de IFIN-HH în 15.11.2012. Toți partenerii au participat la Workshop, unde s-au discutat și adoptat principalele soluții tehnice pentru proiectarea camerei de radon, dar și modul de realizare a proiectului și contribuția fiecărui partener. Rezultatele au fost consemnate într-un Proces Verbal al Workshopului.

Tot în cadrul primei etape, au fost efectuate vizite tehnice de documentare în străinătate: doi reprezentanți ai Coordonatorului, Dr. Aurelian Luca, directorul proiectului și Ing. Leonardo Șerbina – proiectantul camerei, au fost la Institutul de Radioprotecție și Siguranță Nucleară - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saclay, Franța, în perioada 11-12 octombrie 2012 și la Laboratorul National Henri Becquerel - Laboratoire National Henri Becquerel (LNHB). Au fost studiate camera de radon de la IRSN și accesoriiile sale, condițiile de etalonare, precum și instalația și metoda de producere a surselor etalon de radon gaz la LNHB. De asemenea, un reprezentant al Coordonatorului, Dl. Ing. Leonardo Șerbina și un reprezentant al Partenerului 1, Dl. Ing. Dorin Schitea, au efectuat o vizită de documentare la ENEA - Institutul Național de Metrologia Radiațiilor Ionizante – Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI), unde este instalat un sistem de etalonare, bazat pe o cameră de radon.

**În etapa a doua (2013)**, s-a realizat proiectul de execuție a Camerei de Radon, pe baza soluțiilor tehnice identificate de parteneri, inclusiv prin vizite de lucru/documentare/diseminare în țară și străinătate. La Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară “Horia Hulubei” - IFIN-HH (Coordonatorul proiectului), Dr. ing. Leonardo Șerbina a realizat modelul conceptual 3D al proiectului, cu ajutorul programului CAD - Autodesk Inventor, în mai multe variante care au fost optimizate, ținând cont de: cerințele impuse unui stand de etalonare a aparaturii de măsurare a concentrației de radon și a descendenților săi în aer (conform Standardului CEI 61577- Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments), spațiul avut la dispoziție în laboratorul de radon, utilizarea sistemului de producere a surselor etalon de radon gaz și altor dotări existente la IFIN-HH, posibilitățile tehnice ale partenerilor și colaboratorilor lor. În data de 12.09.2013, IFIN-HH a organizat o ședință de lucru cu partenerii în care s-au discutat și stabilit concret soluțiile tehnice necesare construcției componentelor camerei de radon. Apoi, în ultima parte a anului 2013, au fost realizate desenele de execuție necesare, care au fost transmise partenerului ICSI Rm. Valcea, în scopul construirii și asamblării componentelor camerei de radon în cursul următoarelor etape ale proiectului. În paralel, la IFIN-HH au fost definite subansamblurile și anexe/accesoriiile Camerei de Radon și s-au stabilit echipamentele necesare care trebuie achiziționate de IFIN-HH.

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare Pentru Tehnologii Criogenice și Izotopice – ICSI Rm. Vâlcea (Partenerul 1) s-a implicat activ în definirea modelului conceptual, lucru realizat și prin sedința de lucru organizată de coordonatorul de proiect în 12.09.2013, la care au participat Carmen Varlam, responsabil proiect, Ionuț Făurescu și Dorin Schitea, proiectanții și coordonatorii execuției proiectului. S-au propus soluții tehnice, dar s-au evidențiat și anumite limitări tehnice ale echipamentelor din dotarea INCDTCI-ICSI Rm. Vâlcea. După primirea modelului-concept 3D de la IFIN-HH, s-a trecut la evaluarea capacităților financiare din cadrul acestei etape prin definirea listei de materiale aferente modelului conceptual propus. Materialele necesare au fost achiziționate în timpul derulării proiectului de IFIN-HH și ICSI. Modelul conceptual are în total următoarele dimensiuni estimate: lungime de 2400 mm, lățime de 2000 de mm și înălțime de aproximativ 1800 mm. În urma prioritizării subansamblurilor, s-a primit acceptul de la coordonatorul de proiect de a concentra eforturile de execuție în această etapă a incintei interioare, cea în care trebuie să se obțină atmosfera controlată omogenă a concentrației de radon. Astfel, s-a realizat proiectul de execuție a incintei interioare a camerei de radon, proiect ce conține 24 de desene de execuție a subansamblelor aferente, și s-a trecut la achiziționarea materialelor necesare.

La UB, au continuat studiile privind măsurarea radonului și a descendenților, în condiții de incertitudine controlată, element esențial care condiționează performanțele camerei de

radon. A fost dezvoltat un program de simulare Monte Carlo pentru măsurarea prin spectrometrie  $\gamma$  a activității descendenților radonului într-o sursă fiolă conținând  $^{226}\text{Ra}$  în soluție, în care sunt incluse pentru prima dată în literatura de specialitate efecte privind distribuția radonului la interfața gaz – lichid, distribuția neuniformă a descendenților, depunerea acestora pe suprafața fiolei, formarea unui menisc la contactul aer – lichid în fiolă. Programul a fost testat prin măsurări deosebit de precise și detaliate realizate la PTB Braunschweig (Germania), iar rezultatele au făcut obiectul unei lucrări publicate.

**În etapa a treia (2014)**, s-a urmărit definirea completă a modelului conceptual al Camerei de Radon și a cerințelor impuse unui stand de etalonare a aparaturii de măsurare a concentrației de radon și a descendenților săi în aer, realizarea proiectului de execuție a Camerei de Radon la ICSI Rm. Vâlcea (construcția Camerei de Radon – incinta interioară), asigurarea condițiilor necesare instalării Camerei de Radon la IFIN-HH, efectuarea unor vizite de lucru și documentare, precum și diseminarea rezultatelor prin participări la manifestări științifice naționale și internaționale și prin publicarea unor articole în reviste cotate ISI Thomson.

Coordonatorul proiectului (CO), Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară “Horia Hulubei” - IFIN-HH, cu sediul în Măgurele (Ilfov), a fost implicat în următoarele activități:

- completarea și clarificarea unor detalii ale proiectului de execuție;
- colaborare cu ICSI Rm. Vâlcea pentru identificarea unor soluții tehnice optime și achiziții de materiale strict necesare pentru construcția incintei interioare a Camerei de Radon;

- pregătiri pentru aducerea Camerei de Radon la IFIN-HH, incluzând aici: reamenajarea parțială a Laboratorului de Radon din IFIN-HH, Dept. DRMR, Laboratorul de Metrologia Radionuclizilor (LMR); achiziționarea unor dotări și materiale necesare; efectuarea unor măsurări de monitorizare în timp a concentrației radioactive de Radon ( $\text{Bq/m}^3$ ) din Laboratorul de Radon (Fondul de radon). Astfel, valoarea medie a concentrației de radon (fondul) determinată în laboratorul de radon, în timpul săptămânii de lucru (când funcționează sistemul de ventilație al clădirii), este de circa  $38 \text{ Bq/m}^3$ , adică o valoare cu mult sub nivelul de referință de  $100 \text{ Bq/m}^3$  stabilit pentru locuințe și clădiri de interes public (Directiva Consiliului Uniunii Europene Nr. 59/2013/Euratom, care trebuie implementată și în România, începând cu anul 2018).

Principala activitate a partenerului P1 Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogenice și Izotopice – ICSI Rm. Vâlcea a presupus identificarea soluțiilor tehnice necesare și construcția componentelor Camerei de Radon, conform proiectului de execuție realizat la IFIN-HH.

Au avut loc două ședințe de lucru la sediul INCDTCI – ICSI Rm. Vâlcea între reprezentanții Partenerului 1 și Coordonatorului proiectului, respectiv Dr. Ing. Carmen VARLAM, Drd. Dorin SCHITEA și Dr. Fiz. Ionuț FĂURESCU din partea ICSI Rm. Vâlcea și Dr. Ing. Aurelian LUCA și Dr. Ing. Leonardo ȘERBINA din partea IFIN-HH. În prima ședință, desfășurată în perioada 07-08.05.2014, s-au stabilit detaliile cu privire la desfășurarea proiectului pe parcursul anului 2014 și responsabilitățile partenerilor. În a doua ședință, în 11-12.11.2014, s-a prezentat și inspectat incinta interioară a Camerei de Radon, stabilindu-se o serie de măsuri tehnice care trebuie puse în practică în perioada imediat următoare, înainte de transportul Camerei de Radon la sediul IFIN-HH, planificată pentru anul 2015.

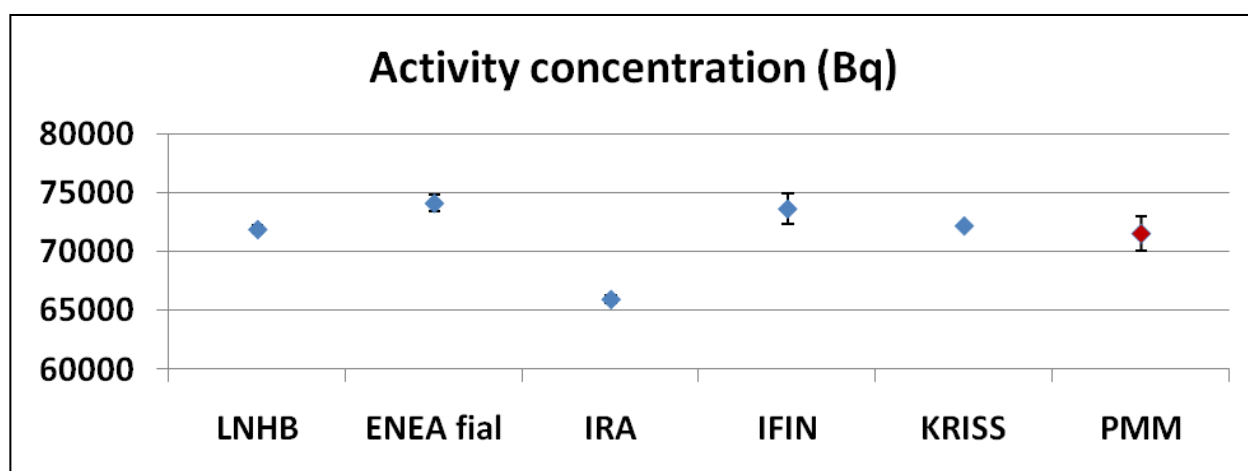
Partenerul 2, UB, a dezvoltat o procedură de evaluare realistă a incertitudinilor măsurărilor prin spectrometrie gama. O parte dintre rezultate au fost incluse într-o lucrare publicată în prestigioasa revistă Metrologia, împreună cu colegi din Franța și Anglia. De asemenea, au fost extinse programele dezvoltate anterior pentru măsurarea descendenților

radonului prin metode active și au fost incluse rezultate recente privind răspunsul detectorilor solizi de urme utilizați pentru măsurarea radonului și descendenților, în software-ul original elaborat pentru calculul factorului de calibrare al acestor detectori. Prof. Dr. Octavian Sima, Responsabil de proiect al Partenerului 2, a efectuat o vizită în laboratoarele Austrian Federal Office of Metrology and Surveying (BEV), Viena, Austria, și anume la camera de radon și laboratorul de spectrometrie gama. Dânsul a participat ca membru în Comitetul Științific al Comitetului Internațional de Metrologia Radionuclizilor (ICRM) la întâlnirea de la Viena a acestui comitet. În cadrul vizitei, Prof. Dr. O. Sima a avut ocazia să prezinte programele de simulare Monte Carlo pentru rezolvarea unor probleme din metrologia radionuclizilor dezvoltate la Universitatea din București, Facultatea de Fizică. Prezentarea a fost primită cu mare interes, astfel de acțiuni contribuind la sporirea vizibilității și creșterea prestigiului cercetării românești pe plan internațional. Vizita a avut loc în perioada 23-27 noiembrie 2014.

**În etapa a patra (2015)**, s-a efectuat transportul incintei interioare și a altor componente ale Camerei de radon realizate la ICSI Rm. Vâlcea până la Măgurele, jud. Ilfov, la sediul IFIN-HH, Dept. DRMR, laborator LMR din clădirea CPR, camera 248 - locul definitiv de instalare al acestei facilități experimentale. În 22.10.2015, a fost întocmit și semnat Procesul Verbal de predare-primire și recepție calitativă și cantitativă a camerei de radon (incinta interioară), a suportului de susținere și a unor conexiuni (montajul a fost efectuat de specialiștii de la ICSI). A continuat achiziția de materiale și dotări necesare pentru continuarea construcției conexiunilor și ale unor accesorii ale ansamblului Camerei de radon.

IFIN-HH a participat în anul 2015 la o comparare internațională de măsurare a activității radonului, cod CCRI(II)-K2.Rn-222, organizată în cadrul Comitetului Internațional de Măsură și Greutăți - Comitetul Consultativ pentru Radiații Ionizante, Secțiunea II, Măsurarea radionuclizilor (CIPM – CCRI(II)). Scopul acestei participări a fost validarea metodei absolute de etalonare a activității radonului (metoda dezvoltată în IFIN-HH), dar și asigurarea trasabilității și echivalenței metrologice internaționale pentru măsurările efectuate la IFIN-HH. Rezultatele preliminare, comunicate de organizatori (CEA/LNE-LNHB, Saclay, Franța), sunt foarte bune, *Fig. 1*. Rezultatul raportat de IFIN-HH a fost:  $(73680 \pm 1300)$  Bq la 1 iulie 2015, 12:00 UTC (Coordinated Universal Time). La comparare au mai participat laboratoare din Franța (LNHB), Italia (ENEA), Elveția (IRA) și Coreea de Sud (KRISS).

*Fig. 1. Rezultatele preliminare ale comparării internaționale de măsurare a activității radonului CCRI(II)-K2.Rn-222:*



În această etapă, s-a început redactarea documentației necesare pentru descrierea

componentelor și operarea în condiții optime a Camerei de radon; sunt prezentate componentele sistemului și montajul lor, materialele folosite și cerințele generale ale întregului sistem. Au continuat vizitele de lucru necesare instalării componentelor principale ale Camerei de radon la IFIN-HH, precum și diseminarea rezultatelor obținute până în prezent. Astfel, două lucrări având legătură directă cu proiectul au fost prezentate cu succes în cadrul unei prestigioase manifestări științifice internaționale, 20<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications (ICRM-2015), care a avut loc la Viena, Austria. Conferința și evenimentele științifice asociate au avut loc în perioada 7-12 iunie 2015. De asemenea, a fost publicat un articol în revista Metrologia, cotată ISI Thomson.

Pentru Universitatea din București (Partener 2), problema cea mai importantă abordată în studiul tehnic și științific realizat în anul 2015 a fost aceea a distribuției spațiale a radonului și a descendenților, precum și a gradului de echilibru radioactiv între radon și descendenți. A fost calculată evoluția distribuției radonului în cameră după deschiderea fiolei cu radon, atât în cazul difuziei moleculare, cât și în prezența ventilării. A fost evaluată de asemenea evoluția temporală și spațială a concentrației descendenților radonului, evidențiindu-se rolul concentrației aerosolilor, a raportului dintre fracțiunea atașată și neatașată aerosolilor, a ventilației, a geometriei camerei și echipamentelor, asupra acestor concentrații. O concluzie importantă a studiului este aceea că gradul de echilibru între radon și descendenți depinde în mod complex de factorii amintiți, astfel că nu se poate realiza suficient de precis etalonarea aparaturii de măsurare a descendenților radonului utilizând valoarea măsurată a activității radonului și valori presupuse ale gradului de echilibru; pentru etalonarea cu incertitudini mici este necesară în prealabil măsurarea activității descendenților radonului în condițiile concrete în care va avea loc etalonarea aparaturii de măsurare a descendenților radonului.

**În etapa a cincea (2016)**, ultima etapă a proiectului, s-au realizat: incinta exterioară a sistemului camerei de radon (cu izolație termică din poliuretan Elastopor® H 1723/3/35, produs de firma BASF Espanola S.L. din Barcelona, Spania), incinta de măsurare a fondului și o serie de conexiuni necesare pentru: aspirarea / evacuarea de radon gaz și aer tehnic de înaltă puritate în incinta interioară, aspirarea aerului în incinta exterioară, evacuarea apei de spălare a incintei interioare, conectarea pompei de vid, treceri electrice 220 V pentru alimentarea electrică a aparatelor de măsură și ventilatoarelor din incinta interioară, treceri de semnal tip serial RS 232, montajul senzorilor de temperatură, presiune și umiditate în poziția finală. A continuat achiziția de materiale, dotări și servicii necesare pentru finalizarea construcției ansamblului camerei de radon. S-a efectuat verificarea și adaptarea conexiunilor camerei de radon. S-au testat funcționarea sistemelor de senzori de temperatură, presiune și umiditate, a pompei de vid, a celor două ventilatoare și patru electrovalve, precum și conexiunea la calculatorul personal a două instrumente diferite de măsurat concentrația de radon în aer. Foarte recent (după raportarea etapei V/2016 de la începutul lunii decembrie 2016), s-a testat experimental de mai multe ori etanșeitatea incintei interioare, prin realizarea unei presiuni interioare mai scăzute decât aceea atmosferică (depresiune de până la 180 mbar = 17,64 kPa) cu ajutorul pompei de vid. Din păcate, s-a constatat că, după câteva minute de la oprirea funcționării pompei de vid, presiunea în incinta interioară revine la valoarea presiunii atmosferice din laborator (circa 102,7 kPa, la temperatura de 20,6 grade C și umiditate relativă 20 %), ceea ce înseamnă că există o problemă de etanșare a incintei interioare. În aceste condiții, nu se poate realiza o atmosferă de referință (etalon) de radon în camera de radon cu scopul etalonării unui instrument de măsurat concentrația de radon în aer în domeniul (1.000-10.000) Bq/m<sup>3</sup> (conform activității V.3/2016 din cadrul proiectului), deoarece există riscul ca gazul radioactiv să difuzeze în aerul din laborator și etalonarea să fie efectuată incorect. Identificarea exactă și remedierea problemei de etanșeitate vor necesita mai mult timp, putând fi realizate doar după încheierea proiectului nr. 141/2012.

În schimb, s-a efectuat o etalonare relativă a monitorului tip Radon Scout produs de firma SARAD GmbH din Germania (echipament aflat în dotarea IFIN-HH), folosind ca instrument de referință un monitor AlphaGUARD sn EF 2278, produs tot în Germania de firma Saphymo GmbH, certificat de etalonare emis de producător în 30.04.2014. Măsurările s-au efectuat prin comparare directă a concentrației de radon (acumulat în mod natural în încăpere) din laboratorul de radon al LMR. Directorul de proiect adresează mulțumiri colegilor din IFIN-HH, Dept. DMDR, în special dlui dr. Laurențiu Done, care au pus la dispoziția LMR monitorul de radon AlphaGUARD pentru acest tip de etalonare.

A continuat redactarea documentației necesare pentru descrierea componentelor și operarea în condiții optime a Camerei de Radon și a incintei de fond (documente tip manual și proceduri). Partenerii de la Universitatea din București au redactat instrucțiuni pentru măsurarea corectă a descendenților radonului în aer, fiind evaluate mai multe metode experimentale posibile de analiză.

Pentru etalonarea echipamentelor de măsurare a radonului a fost redactată o procedură de lucru (descrierea etapelor necesare), care va fi aplicată experimental și, eventual, îmbunătățită după remedierea problemei de etanșeitate a incintei interioare din ansamblul camerei de radon.

În anul 2016 au fost efectuate câteva vizite de lucru ale partenerilor de la ICSI, necesare proiectării, confecționării, instalării și ajustării/modificării unor componente principale și secundare ale Camerei de Radon de la IFIN-HH (sistem de aspirație aer din camera secundară; sistem de aspirație aer și radon; trecere electrică 220 V; trecere alimentare radon). Toate aceste componente au fost realizate la ICSI și verificate individual, eventual, perfecționate la IFIN-HH.

S-a realizat diseminarea rezultatelor obținute până în prezent. Astfel, cele două lucrări prezentate în anul 2015 în cadrul prestigioasei manifestări științifice internaționale 20<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications (ICRM-2015), care a avut loc la Viena, Austria, au fost publicate în revista Applied Radiation and Isotopes (cotată ISI Thomson) în volumul special nr. 109 apărut în luna martie 2016.

Alte trei lucrări au fost prezentate în 2016 la două conferințe internaționale importante:

7<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology – Low Level Radioactivity Measurement Techniques, Seattle, SUA (26-30 septembrie 2016), respectiv First International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC-2016), Budapesta, Ungaria, 10-15 aprilie 2016. Lucrarea de la conferința RANC-2016 a fost acceptată și se publică în revista Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (la începutul anului 2017), iar cele două lucrări de la conferința ICRM-LLRMT 2016 au fost acceptate pentru publicare în revista Applied Radiation and Isotopes (2017).

De asemenea, au fost inițiate demersurile necesare pentru depunerea unei cereri de brevet de invenție național la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci (OSIM) în perioada imediat următoare, drepturile de proprietate intelectuală urmând a fi partajate între cei trei parteneri în prezentul proiect, proporțional cu finanțarea primită de fiecare partener în cadrul proiectului.

Contribuția științifică a UB la ultima etapă a constat în elaborarea de metode optimizate de măsurare a descendenților radonului (metode active). Au fost propuse protocoale de măsurare specifice, în funcție de aparatura disponibilă (spectrometre  $\alpha$ , spectrometre  $\gamma$ , detectori pentru măsurări  $\alpha$  globale). De asemenea, a fost elaborată pentru prima dată în literatura de specialitate o procedură realistă, detaliată, de evaluarea incertitudinilor, bazată pe propagare a distribuțiilor folosind simularea Monte Carlo. Lucrarea, având ca autori pe O. Sima (UB), A. Luca și M. Sahagia (IFIN-HH), a fost prezentată la conferința ICRM-LLRMT, Seattle, SUA, și a fost acceptată pentru publicare în revista Applied Radiation and Isotopes.

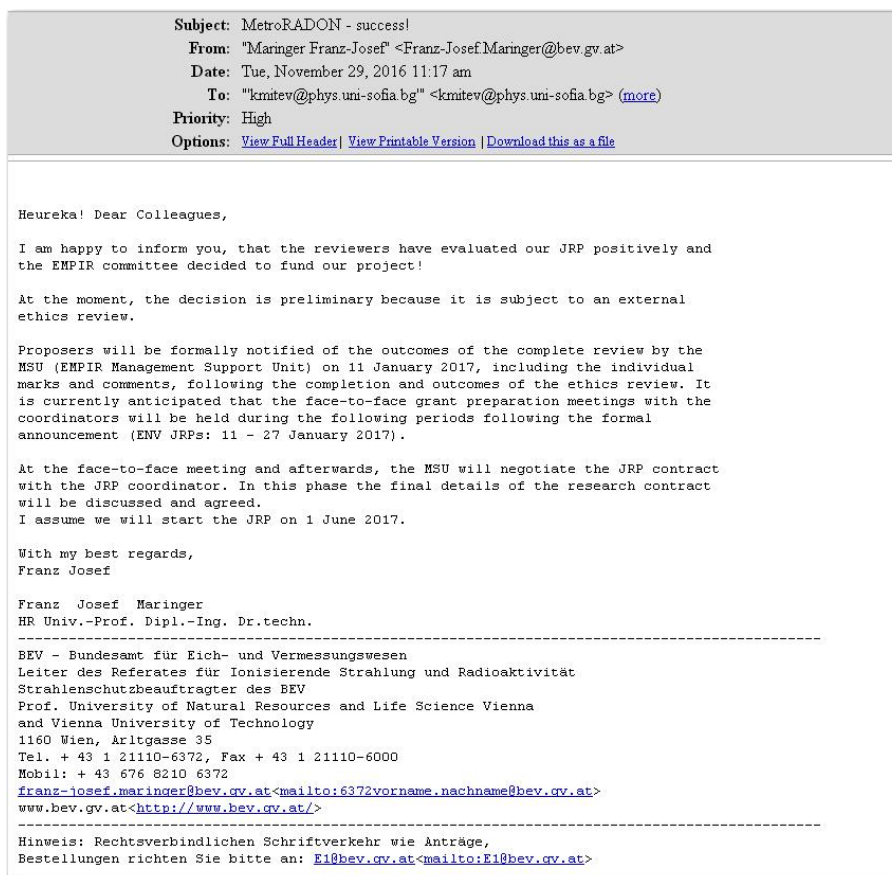


- **Realizări științifice și impactul rezultatelor:**

**1. Principala realizare este Camera de Radon și accesoriile sale (Fig. 2),** care vor putea fi utilizate atât pentru etalonarea (calibrarea) aparatelor de măsurat concentrația de radon în aer, cât și pentru diverse cercetări științifice. Acest lucru va permite oferirea de sprijin tehnic pentru implementarea în România a prevederilor “Directivei 2013/59/EURATOM a Consiliului Uniunii Europene din 5 decembrie 2013 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante și de abrogare a Directivelor 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom și 2003/122/Euratom” , care devine obligatorie din 6.02.2018 în toate țările Uniunii Europene. Documentația de descriere a componentelor, operare și etalonare, realizată în cadrul proiectului, va putea fi folosită în viitor la redactarea documentației de acreditare a IFIN-HH pentru etalonarea aparatelor care măsoară concentrația de radon în aer.

**2. Rezultatele foarte bune obținute de IFIN-HH la Compararea internațională de măsurare a activității radonului cod CCRI(II)-K2.Rn-222,** organizată în cadrul Comitetului Internațional de Măsură și Greutăți - Comitetul Consultativ pentru Radiații Ionizante, Secțiunea II, Măsurarea radionuclizilor (CIPM – CCRI(II), asigură trasabilitatea și echivalența metrologică internațională pentru măsurările efectuate la IFIN-HH.

**3. Pe baza experienței și rezultatelor obținute până acum (proiectele SEPRAD, <http://proiecte.nipne.ro/pn2/19-proiecte.html>, și cel prezent – CARSTEAM), IFIN-HH a fost acceptat ca partener la o propunere de proiect european de cercetare; proiectul a fost aprobat în noiembrie 2016 pentru finanțare prin Programul HORIZON 2020, European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), cf. mesajului e-mail de mai jos (captură de ecran). Proiectul se numește “Metrology for radon monitoring” (SRT-v03 MetroRADON), va începe în iunie 2017, va dura 3 ani, iar IFIN-HH este partener (finanțat din fonduri europene) împreună cu 16 institute de cercetare și universități din alte 11 țări europene.**



4. **În anul 2016 a fost acceptat la finanțare și un nou proiect de cercetare în cadrul PN III/Programul 5/Subprogramul 5.2/Modulul CEA-RO, contract nr. C5-09 (proiect de colaborare bilaterală IFA-CEA Franța), pentru o perioadă de 3 ani, care va permite realizarea unor perfecționări tehnice ale camerei de radon și efectuarea de etalonări/comparări/cercetări în colaborare cu partenerii francezi de la CEA/LNE-LNHB.**
5. **Au fost propuse metode optimizate de determinare a activității descendenților radonului și realizarea software-ului necesar pentru analiza datelor experimentale.**
  - a. Măsurări ale activității descendenților în aer (metode active și metode pasive);
  - b. Măsurări ale activității descendenților în sursa de radon bazată pe fiola cu  $^{226}\text{Ra}$  în soluție.
6. **Au fost realizate proceduri realiste de evaluare a incertitudinilor măsurărilor de radon și descendenți, incluzând aspecte neglijate anterior în studiile de specialitate**
  - a. Includerea tuturor proceselor stocastice relevante (distribuția descendenților în aer, colectarea pe filtru cu ajutorul unei pompe cu funcționare descrisă de un proces stocastic, dezintegrarea și detecția) și propagarea distribuțiilor prin metoda Monte Carlo;
  - b. Dezvoltarea unui software pentru evaluarea tuturor componentelor incertitudinii în măsurarea  $\gamma$  spectrometrică.
7. **S-a efectuat studiul teoretic al distribuției radonului și a descendenților în camera de radon, și a gradului de echilibru radioactiv.**



**Fig. 2. Camera de Radon și accesoriile sale de la IFIN-HH (la finalul proiectului Parteneriate nr. 141/2012).**

- **Lucrări publicate:**

1. R. Suvaila, I. Osvath, O. Sima, Improving the assessment of activity in samples with non-uniform distribution using the sum peak count rate, *Appl. Radiat. Isot.* 81, 76-80 (2013).
2. M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, C. Ivan, R. Ioan, B. Neacsu, Realization of the metrological traceability chain of Rn-222, *Rom. J. Phys.*, vol. 58, Supplement, p. S230-S242, Bucharest (2013).
3. D. Glavic-Cindro, C. Varlam, D. Faurescu, I. Vagner, J. Kozar-Logar, Slovenian – Romanian Bilateral Intercomparison on Tritium Samples, *Appl. Radiat. Isot.* 87, 418-424 (2014).
4. O. Ott, O. Sima, Q. Zhao, Distribution of the  $^{222}\text{Rn}$  decay products from a  $^{226}\text{Ra}$  solution in a PTB ampoule – Implications for calibration, *Appl. Radiat. Isot.* 87, 365-371 (2014).
5. M. C. Lépy, A. Pearce, O. Sima, Uncertainties in gamma-ray spectrometry, *Metrologia* 52, S123–S145 (2015).
6. O. Sima, M. C. Lépy, Application of GUM Supplement 1 to uncertainty of Monte Carlo computed efficiency in gamma-ray spectrometry, *Appl. Radiat. Isot.* 109, 493-499 (2016).
7. A. Antohe, M. Sahagia, A. Luca, M.-R. Ioan, C. Ivan, Measurement of liquid scintillation sources of  $^{210}\text{Pb}$  obtained from  $^{222}\text{Rn}$  decay, *Appl. Radiat. Isot.* 109, 286-289 (2016).
8. M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, M.-R. Ioan, C. Ivan, Recent work and results of the Radionuclide Metrology Laboratory from IFIN-HH, *Rom. Rep. Phys.* 68 (1), 177-190 (2016).
9. A. Luca, M. Sahagia, A. Antohe, M.-R. Ioan, L. Serbina, C. Ivan, “Radon gas activity measurements in the frame of an international comparison”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 311, iss. 2, 1075-1079 (2017), DOI 10.1007/s10967-016-5033-9

- **Lucrări în curs de publicare (acceptate de referenți):**

1. O. Sima, A. Luca, M. Sahagia, Monte Carlo simulation of air sampling methods for the measurement of radon decay products, *Appl. Radiat. Isot.* (2017)
2. O. Sima, Efficiency computation for gamma-ray spectrometry assessment of samples with intrinsic inhomogeneity, *Appl. Radiat. Isot.* (2017).

- **Participări la conferințe internaționale:**

1. 6<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology – Low Level Radiation Measurement Techniques”, Jeju, Republica Coreea (17-21 septembrie 2012), participant O. Sima (Univ. București):
  - a. Coautor pentru trei lucrări prezentate (una în legătură cu proiectul);
  - b. Membru în Comitetul Științific;
  - c. Moderator pentru două sesiuni.

2. Simpozionul internațional “FIRST EAST EUROPEAN RADON SYMPOSIUM” *FERAS 2012* September 2nd – 5th, 2012. Cluj-Napoca, România, M. Sahagia (IFIN-HH), membră în Comitetul Științific și moderatorul unei sesiuni, a prezentat Lecția Invitată: REALIZATION OF THE METROLOGICAL TRACEABILITY CHAIN OF RADON-222, autori: M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, C. Ivan, R. Ioan, B. Neacsu.
3. 19<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications, Antwerp, Belgia (17-21 iunie 2013), participanți M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, D. Faurescu, O. Sima
  - a. Coautori pentru șase lucrări prezentate (două în legătură cu proiectul);
  - b. Membru în Comitetul Științific (O. Sima);
  - c. Moderator pentru două sesiuni (O. Sima);
  - d. Referent coordonator pentru lucrările prezentate la sesiunea de spectrometrie  $\gamma$  (O. Sima)
  - e. Organizator al sesiunii grupului de lucru de spectrometrie  $\gamma$  (O. Sima).
4. 20<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications”, Viena, Austria (7-13 iunie 2015), participanți M. Sahagia, A. Luca, A. Antohe, M.-R. Ioan (IFIN-HH) și O. Sima (Univ. București):
  - a. Coautori pentru șapte lucrări prezentate (două în legătură cu proiectul);
  - b. Membru în Comitetul Științific (O. Sima);
  - c. Moderator pentru sesiunea de spectrometrie  $\gamma$  (O. Sima);
  - d. Referent coordonator pentru lucrările prezentate la sesiunea de spectrometrie  $\gamma$  (O. Sima); referent la sesiunile de spectrometrie  $\gamma$  și date nucleare de dezintegrare (A. Luca);
  - e. Organizator al sesiunii grupului de lucru de spectrometrie  $\gamma$  (O. Sima).
5. 7<sup>th</sup> International Conference on Radionuclide Metrology – Low Level Radioactivity Measurement Techniques”, Seattle, SUA (26-30 septembrie 2016), participant O. Sima (Univ. București):
  - a. Coautor pentru trei lucrări prezentate (două în legătură cu proiectul);
  - b. Membru în Comitetul Științific;
  - c. Moderator pentru două sesiuni;
  - d. Associate Guest Editor (Referent coordonator) pentru lucrările prezentate la sesiunea Radiometrics.
6. First International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC-2016), Budapesta, Ungaria, 10-15 aprilie 2016, o lucrare orală despre proiect, prezentată de A. Luca (IFIN-HH).

Director de proiect,  
Dr. Aurelian Luca