

Program Parteneriate în Domenii Prioritare,

Proiect PCCA Tip I, PN-II-PT-PCCA-2011-3.1-0741 Ctr. 141/2012

“Realizarea Camerei de Radon – Stand de Etalonare a Aparaturii de Măsurare a Concentrației de Radon și Descendenți în Aer”

(acronim CARSTEAM)

Etapa IV /31.12.2015:

Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH. Participare la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC (RST) ÎN EXTENSO

Rezumatul Etapei IV:

Obiectivele Etapei IV: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH. Participare la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

Activitate IV.1: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH.

Activitate IV.2: Participarea la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

Activitate IV.3: Redactarea preliminară a documentației de operare a Camerei de Radon.

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare.

În această etapă a proiectului „Realizarea Camerei de Radon – Stand de Etalonare a Aparaturii de Măsurare a Concentrației de Radon și Descendenți în Aer (CARSTEAM)” s-a finalizat construcția incintei interioare a Camerei de radon și s-a realizat suportul acestei incinte la ICSI Rm. Valcea. Incinta interioară și suportul (plus alte accesorii) au fost transportate de la Rm. Valcea până la Magurele (Ilfov) și instalate la sediul IFIN-HH, Dept. DRMR - locul definitiv de instalare al acestei facilități experimentale. A continuat achiziția de materiale și dotări necesare pentru finalizarea construcției conexiunilor și ale unor accesorii necesare 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 Masuri și Greutăți - Comitetul Consultativ pentru Radiații Ionizante, Secțiunea II, Măsurarea radionuclizilor (CIPM – CCRI(II)). Scopul acestei participări este 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. S-a început redactarea documentației necesare pentru descrierea componentelor și operarea în condiții optime a Camerei de radon. 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, 20th 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, iar lucrările prezentate au fost recent acceptate pentru publicare într-un număr special al revistei Applied Radiation and Isotopes (cotată ISI Thomson), în cursul anului 2016. A fost publicat un articol în revista Metrologia, cotată ISI Thomson.

Coordonatorul proiectului (CO), Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara “Horia Hulubei” - IFIN-HH, cu sediul in Magurele (Ilfov), a fost implicat in urmatoarele activitati:

-participare la Compararea internationala de masurare a activitatii radonului, cod CCRI(II)-K2.Rn-222, organizata in cadrul Comitetului International de Masuri si Greutati - Comitetul Consultativ pentru Radiatii Ionizante, Sectiunea II, Masurarea radionuclizilor (CIPM – CCRI(II));

-instalarea incintei interioare si a altor componente ale Camerei de radon la sediul IFIN-HH, Dept. DRMR, cladirea CPR, camera nr. 248 (colaborare cu ICSI);

-au continuat achizitiile de materiale si dotari, utilizate la constructia conexiunilor si unor accesorii ale Camerei de radon (lucrari in curs);

-au fost diseminate unele rezultate obtinute, prin prezentarea unei lucrari la Conferinta internationala ICRM-2015, Viena, Austria.

In acest context, principala activitate a **Partenerului 1 (P1), Institutul National De Cercetare-Dezvoltare Pentru Tehnologii Criogenice si Izotopice – ICSI Rm. Valcea**, a presupus finalizarea incintei interioare si a suportului Camerei de radon, si transportul si instalarea acestora la sediul IFIN-HH, Magurele, jud. Ilfov. Au fost confectionate si transportate la IFIN-HH si alte accesorii metalice necesare Camerei de radon. Avand in vedere costul ridicat al materialelor folosite pentru activitatea descrisa mai sus, in urma realocarii unor fonduri, a fost realizata o singura vizita de lucru – la IFIN-HH, iar numarul de deplasari a fost redus la maximum. A fost realizata o scurta documentatie tehnica preliminara a Camerei de radon, in care sunt prezentate componentele sistemului si montajul lor, materialele folosite si cerintele generale ale intregului sistem.

Universitatea din Bucuresti, Partenerul 2 (P2), a participat la activitatea IV.1 in special prin studiul posibilitatilor de masurare a radonului si descendentei. In cadrul activitatii IV.3 a elaborat un studiu stiintific si tehnic referitor la distributia radonului si a produsilor de dezintegrare in camera de radon, precum si a factorului de echilibru care afecteaza masurarile produsilor de dezintegrare. In cadrul activitatii IV.4, Prof. Dr. Octavian Sima a participat la conferinta “*20th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications*” (ICRM-2015), Viena, Austria (in perioada 7-13 iunie 2015), parte din cheltuielile de deplasare fiind suportate din proiectul CARSTEAM; a fost coautor al unui numar de trei lucrari prezentate si acceptate spre publicare (dintre care o lucrare are legatura directa cu proiectul CARSTEAM). Prof. Dr. O. Sima a publicat o lucrare in revista Metrologia, cu suport din partea acestui proiect.

Concluzie. Obiectivele etapei a IV-a au fost integral îndeplinite de toți partenerii.

Obiectivele generale ale Proiectului

1. Proiectul tehnic de execuție a Camerei de Radon
2. Construcția Camerei de Radon
3. Utilizarea Camerei pentru etalonarea echipamentelor de măsurare a concentrației de Radon în aer
4. Validarea etalonului primar de Radon de la IFIN-HH prin participare la o comparare internațională
5. Redactarea Manualului și Procedurilor de operare

6. Diseminarea rezultatelor obținute prin participări la conferințe internaționale, articole și brevetarea soluțiilor tehnice originale.

Obiectivele Etapei IV: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH. Participare la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

Activitate IV.1: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH.

Activitate IV.2: Participarea la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

Activitate IV.3: Redactarea preliminară a documentației de operare a Camerei de Radon.

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare.

În conformitate cu planul de realizare propus (modificat succesiv prin Actele Aditionale nr. 1/2013, 2/2014 3 și 4 din 2015), la această etapă au fost realizate în comun de către cei trei parteneri, Coordonator IFIN-HH, Partener 1 - ICSI-Rm. Valcea și Partener 2 - Universitatea București, următoarele tipuri de activități.

Activitățile Coordonatorului Proiectului, IFIN-HH

Activitate IV.1: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH.

Activitate IV.2: Participarea la o comparare internațională de măsurare a Radonului.

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare.

Activitate IV.1: Transportul și asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH.

Această activitate s-a realizat în colaborare cu partenerii de la ICSI Rm. Valcea, fiind descrisă detaliat mai jos, la activitățile efectuate de partenerul P1.

IFIN-HH a continuat achizițiile de dotări și material necesare pentru construcția conexiunilor și unor accesorii necesare Camerei de radon (CR). Astfel, s-au completat și instalat interfețele celor 2 sisteme de senzori de temperatură, presiune și umiditate pentru incinta de măsurare a fondului (monitorizare) și incinta interioară a Camerei de radon (monitorizare și control). S-au analizat condițiile de funcționare ale camerei de radon și s-au înlocuit senzorii de presiune ridicată cu alții, mai adecvați pentru condițiile de mediu în care va funcționa CR (presiune între -1 și +1 atmosferă). Incinta de măsurare a fondului (confectionată din plexiglas) și conexiunile (trecurile) aferente pentru gaz și cabluri de semnal electric, au fost realizate în atelierul Dept. DAT din IFIN-HH. În același atelier, se vor realiza în perioada imediat următoare și alte componente esențiale, cum sunt trecurile de semnal electric pentru CR și containerul de transport al sursei etalon de radon gaz. În camera 248 (IFIN-HH, DRMR, clădirea CPR), unde a fost instalată incinta interioară și suportul CR, s-au montat comutatoare, prize și tablouri electrice noi. Din cauza că incinta interioară a CR a fost livrată la IFIN-HH abia în 22.10.2015 și din cauza întârzierii achiziției unor materiale necesare la IFIN-HH, se înregistrează o întârziere în finalizarea construcției sistemului CR și anexelor. Se va încerca recuperarea acestei întârzieri în luna decembrie 2015 și începutul anului 2016, iar în acest scop se are în vedere extinderea listei de personal IFIN-HH.

Activitate IV.2: Participarea la o comparare internațională de măsurare a Radonului

1. Introducere

Comitetul Internațional de Măsură și Greutăți (CIPM) asigură funcționarea Sistemului Internațional de Referință - International Reference System (SIR), care se constituie în suportul tehnic pentru aplicarea Acordului de Recunoaștere Reciprocă a Măsurărilor și Certificatelor de Etalonare [CIPM-MRA (Mutual

Recognition Arrangement)], semnat de tarile participante la Conventia Metrului in anul 1999. Acesta consta dintr-un set de doua camere de ionizare cu put, aflate sub presiune de azot (2 MPa), de tip CENTRONIC IG11/20N. Sistemul functioneaza prin realizarea de Comparari Cheie de Tip K1. Institutele Nationale si cele Desemnate de Metrologie (NMIs si DIs) trimit fiole tip, continand solutii preparate si etalonate de respectivele institute, prin metode absolute sau relative, dintr-un anumit radionuclid, la Biroul International de Masuri si Greutati (BIPM), insotite de un raport de comparare, completat conform cerintelor BIPM, in care se descriu: metoda de masurare, activitatea fiolei si bugetul de incertitudini asociate. La BIPM se masoara curentul de ionizare furnizat in una din camere, la introducerea fiolei cu solutie etalonata, iar din compararea diferitelor rapoarte dintre acestia si activitatea raportata de Institutul participant, normalizate la un curent de ionizare standard furnizat de sursele etalon de ^{226}Ra , existente la BIPM, se poate stabili o activitate echivalenta pentru toti participantii. Media calculata din toate valorile considerate la comparare, dupa analiza statistica si eliminarea rezultatelor neconcordante, este denumita “Valoarea de Referinta a Compararii Cheie – Key Comparison Reference Value (KCRV)”, care se constituie in etalonul mondial pentru radionuclidul respectiv.

Dupa cum se stie, ^{222}Rn este principala sursa naturala de iradiere a persoanelor, iar masurarea sa cu o buna precizie si asigurarea trasabilitatii masurarilor a devenit un subiect prioritar in metrologia mondiala. Primele comparari internationale [1], care se bazau numai pe metode spectrometrice de masurare a unor flacoane cu radon gaz, extras dintr-o solutie de ^{226}Ra , au aratat ca existau mari discrepante in masurarea activitatii radonului gaz. Acesta a fost impulsul care a condus la elaborarea primelor metode absolute de masurare directa a activitatii ^{222}Rn [2],[3], iar ulterior de transmitere a unitatii de masura catre etaloanele secundare [4] si apoi catre aparatura care masoara nivele de radon din mediu, mine, locuinte,etc., prin Camerele de Radon. Validarea metodelor si stabilirea Sistemului de Referinta pentru radon presupunea ca un numar semnificativ de NMIs sau DIs sa trimita fiole cu radon gaz etalon la BIPM, in cadrul compararilor de tip K1. In realitate, din cauza dificultatii institutelor de a trimite recipienti standard cu radon gaz la BIPM, numarul participantilor existenti in prezent in baza de date a compararilor cheie, Key Comparison Data Base (KCDB), Anexa B a CIPM-MRA, este de numai trei: PTB - Germania, IRA-METAS - Elvetia si LNHB - Franta [4]. Din acest motiv, Comitetul Consultativ pentru Radiatii Ionizante al CIPM, Sectiunea II, Masurarea Radionuclizilor, CIPM - CCRI(II) si-a in scris in Planul sau Strategic de Lucru, pentru perioada 2011-2020, organizarea unei comparari cheie de tip K2, la care sa participe laboratoare care dispun de metode absolute de etalonare, menita sa imbunatateasca trasabilitatea internationala pentru acest radionuclid. De asemenea, s-a constatat ca fiolele din sticla folosite la BIPM pentru sistemul SIR au o mare variabilitate geometrica, ceea ce conduce la mari discrepante intre rezultate. O comparare de tipul K2 presupune ca un laborator sa fie organizatorul compararii (laborator pilot), care prepara flacoanele cu gaz radon, avand o aceeaasi concentratie radioactiva, in Bq/m^3 , le expediaza catre participantii care masoara activitatea in propriile laboratoare, utilizand propriile instalatii si metode de etalonare. La finalizarea masurarilor, laboratoarele participante raporteaza rezultatele obtinute sub forma unui Raport de Comparare, care sunt apoi prelucrate, se extrag marimile de interes si se trag concluziile. O fiola, preparata si etalonata de laboratorul pilot, este trimisa la BIPM si este masurata in sistemul SIR al BIPM, pentru stabilirea legaturii dintre cele doua tipuri de comparari (K1 and K2 comparison linking).

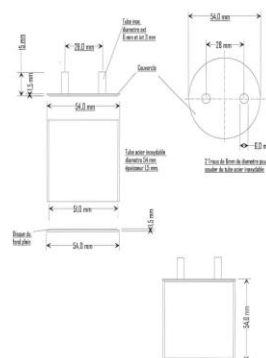
In cazul acestei comparari, codificata CCRI(II)-K2.Rn-222, Institutele care s-au in scris au fost: IFIN-HH (Romania), INMRI-ENEA (Italia), IRA (Elvetia) si KRISS (Coreea de Sud). Laboratorul pilot este LNE-LNHB (Franta), care si-a asumat responsabilitatea prepararii recipientilor cu ^{222}Rn gaz si a expedierii lor catre participantii, precum si colectarea rapoartelor de comparare si prelucrarea rezultatelor.

Pentru IFIN-HH, reprezentat de Laboratorul de Metrologia Radionuclizilor (LMR), participarea la acesta comparare are mai multe motivatii:

- (i) LMR si-a construit sistemul primar de radon, bazat pe folosirea metodei scintilatorului lichid (LSC) si lantul de trasabilitate de la etalonul primar la cele secundare: spectrometrul gama GeHP si Camera de ionizare CENTRONIC IG12/20A, deci poate sa participe la comparare. Mentionam ca in prezent la scara mondiala nu sunt multe laboratoare care sa aiba un astfel de sistem.
- (ii) Metoda de etalonare, care urmeaza sa transmita unitatea de activitate de radon de la etalonul primar la cele secundare si apoi la Etalonul tertiar, Camera de radon – aflata in constructie, si de la acestea la aparatura de masurare apartinand diferitilor utilizatori, trebuie validata intr-o comparare internationala;
- (iii) La finalizarea proiectului, prin punerea in functiune a camerei de radon, LMR va face toate demersurile pentru extinderea acreditarii sale pentru operatii de etalonare de aparatura de masura, folosita de diverse laboratoare care masoara radon; aceasta operatie este posibila in prezent numai prin expedierea aparatelor in strainatate.

2. Organizarea compararii

La meetingul CCRI(II) din luna mai 2013 s-a anuntat intentia de organizare a compararii CCRI(II)-K2.Rn-222, consultandu-se Institutele referitor la intentia de participare. Reprezentanta IFIN-HH, Dr. Maria Sahagia a in scris LMR ca posibil participant. La inceputul anului 2015, Dr. Carole Frechou, membra LNE-LNHB, care a preluat sarcina de laborator pilot, a trimis o circulara “**Questionnaire for CCRI(II)-K2.Rn-222 comparison**” prin care se solicita a se preciza care sunt metodele de etalonare ce vor fi folosite, intervalul de activitati care se pot masura si care trebuie sa fie natura gazului de amestec cu radonul in recipient. Au fost transmise fotografia si desenul recipientului metalic in care urma sa se transporte radonul: un cilindru de otel inoxidabil, cu diametrul de 54 mm, avand robineti tip Swagelok® VCR® fitting, cu conexiune ¼ in. si 2 valve pentru vid inalt . **Figura 1:**



Laboratorul de Metrologia Radionuclizilor a raspuns: Va fi utilizata o combinatie de metode absolute (LSC) si metode relative (Spectrometrie gama si camera de ionizare sub presiune), intervalul de activitati trebuie sa fie intre 100 kBq si 100 MBq, limita de exceptare de la autorizare, iar gazul este de preferat sa fie azot. Urmatorul document primit de la organizator a fost “Protocol for a CCRI(II) Key Comparison of 222Rn”, numar 20150727. S-au trecut in revista compararile anterioare, organizate de NPL-Anglia, faptul ca recipientii din sticla au variabilitati geometrice, si s-au precizat datele preliminare:

- Recipient metalic, conform desenului din Figura 1, volum total 105 cm³ activitate totala in momentul expeditiei, aproximativ 650 kBq. S-a precizat ca la data de 24.06.2015, cand s-a estimat ca recipientii vor ajunge la participanti, activitatea ar trebui sa fie (260±100) kBq;
- Gaz de umplere azot, la presiunea de 10⁻² Pa.

S-a solicitat de la participanti sa transfere radonul in propriile sisteme de radon, sa masoare si sa raporteze activitatea totala a ^{222}Rn din recipient, raportata la data de referinta 1 iulie 2015, ora 12:00 UTC; sa prezinte un buget de incertitudini detaliat.

LNE-LNHB s-a angajat ca la finalizarea masurarilor sale sa trimita rezultatul sau la Secretariatul CCRI pentru inregistrare, in scopul de a nu suferi influente din partea rezultatelor altor laboratoare. Dupa finalizarea acestei operatii s-a permis participantilor sa trimita la LNE-LNHB propriile rezultate. Un formular excel. de Raport de Comparare a fost trimis participantilor, pentru a fi completat.

Recipientii au fost expediatii la finalul lunii iunie. La IFIN-HH/LMR a fost expediat, prin responsabilitatea LNHB, recipientul codificat GAZ3, volum de 105 cm^3 , sub titlul de colet exceptat de la autorizare, care a sosit in LMR la data de 24.06.2015, in stare buna.

LNHB a solicitat ca recipientul metalic gol sa fie reexpediat la LNHB sub responsabilitatea laboratoarelor participante, dupa finalizarea masurarilor, ceea ce s-a realizat.

3. Masurarea activitatii ^{222}Rn

A fost folosit sistemul etalon primar de radon realizat in cadrul proiectului SEPRAD, intitulat: **“Realizarea sistemului etalon primar de radon al Romaniei pentru asigurarea trasabilitatii nationale si internationale a masurarilor”** ctr. 71-102, 2007-2010. Prezentarea sistemului si a modului sau de folosire sunt detaliate in lucrarile: [5],[6],[7].

Metoda de masurare: Masurarea activitatii s-a bazat pe combinatia dintre masurarea absoluta prin scintilator lichid si masurari paralele relative bazate pe spectrometria gama folosind un detector semiconductor de inalta rezolutie tip GeHP si o camera de ionizare cu put, in geometrie $4\pi\gamma$, de tip CENTRONIC IG12/20A, etalonate anterior pentru doua tipuri de recipient: Flacon din sticla pentru radon gaz si fiola din sticla, umpluta cu scintilator lichid pentru radon dizolvat in scintilator, plecand de la etaloane realizate prin etalonare absoluta.

3.1 Primele masurari cu recipientul GAZ3

Containerul original, primit de la LNHB, avand codul GAZ3, primit in cadrul compararii, a fost mai intai masurat in sistemul de spectrometrie gama GeHP de mai multe ori, in urmatoarele conditii de masura: Distanța de la baza containerului (recipientului GAZ3) pana la suprafata detectorului a fost de 44.2 cm; recipientul a fost plasat in pozitie verticala, cu baza spre detector.

S-au inregistrat ratele de numarare ale celor doua peakuri de absorbtie totala (FAP) ale descendentilor Rn-222 , Pb-214 si Bi-214 , sub forma: $N_{\text{BIPM } 352}$ si $N_{\text{BIPM } 609}$. Nu au fost detectate impuritati emitatoare gama.

3.2 Transferul radonului in instalatia IFIN-HH, Laboratorul de Metrologia Radionuclizilor (LMR).

In Figura 2 se prezinta sistemul de radon al IFIN-HH, care in mod normal este alimentat cu radon de la o sursa de Ra-226 de tip Pylon, cu activitatea de 260 kBq. In cazul de fata sistemul a fost decuplat de la sursa Pylon si s-a atasat la partea stanga a sa recipientul GAZ3.

Au fost doua incercari nereusite de scoatere a radonului din recipient si transfer direct intr-o fiola umpluta cu scintilator lichid, din cauza presiunii foarte mici a gazului din recipient si a rezistentei scintilatorului lichid.



Fig. 2 Sistemul de radon al IFIN-HH

Dupa fiecare incercare, s-au remasurat ratele de numarare: $N_{\text{BIPM } 352}$ si $N_{\text{BIPM } 609}$ pentru a se verifica faptul ca nu s-a pierdut radon din recipient. S-a luat apoi decizia de a face transferul secvential: din recipientul GAZ3, intr-un flacon de radon gaz si ulterior din flaconul gaz in scintilatorul lichid.

Containerul GAZ3 a fost conectat la sistemul de radon (in partea stanga) si a fost usor incalzit; la partea dreapta a fost atasat flaconul standard radon gaz al laboratorului, cu doua cai, numerotat sub forma: Flacon 35, mentinut in azot lichid (-196°C) pentru preluarea radonului. S-a constatat ca cea mai mare parte a radonului s-a transferat in Flaconul 35.

3.3 Determinarea fractiunii de radon transferat in Flaconul 35

Fractiunea de radon transferat din GAZ 3 in Flaconul 35, $(1 - R_{\text{BIPM}})$, s-a determinat astfel.

Containerul GAZ3 a fost remasurat dupa transfer in sistemul GeHP, in aceleasi conditii cu primele masurari, in conditii de echilibru intre radon si descendentii, dupa 5 ore de la momentul transferului. Noile arii de FAP au fost: $N_{\text{BIPM } 352}'$ si $N_{\text{BIPM } 609}'$. Raportul mediu al ratelor de numarare, R_{BIPM} , a fost calculat din ratele de numarare individuale astfel:

$$R_{\text{BIPM } 352} = N_{\text{BIPM } 352}' / N_{\text{BIPM } 352} \text{ si } R_{\text{BIPM } 609} = N_{\text{BIPM } 609}' / N_{\text{BIPM } 609}$$

Valoarea medie, calculata din cele doua valori de rapoarte a fost: $(1 - R_{\text{BIPM}}) = 0,99894 \pm 0,00999$; incertitudinea s-a calculat din incertitudinea de numarare a valorilor FAP.

Avand determinat raportul de transfer, se poate calcula activitatea recipientului original, GAZ3, din activitatea Flaconului de gaz 35 folosind ecuatia (1)

$$A_{\text{GAZ } 3} = A_{\text{Vial } 35} / (1 - R_{\text{BIPM}}) \quad (1)$$

3.4 Masurarea activitatii Flaconului 35, $A_{\text{Vial } 35}$

Au fost efectuate doua tipuri diferite de masurari.

3.4.1. Masurarea activitatii prin metode relative, $A_{35}(\text{HPGE}+\text{IC})$. Masurarea directa a Flaconului cu Spectrometrul GeHP si cu Camera de Ionizare CENTRONIC IG12/20A etalonate, in conditii de echilibru al radonului cu descendentii, folosind valorile eficacitatii si respectiv ale factorului de etalonare pentru cele doua sisteme raportate in lucrarea publicata: *Sahagia et al. 2011*, [8] pentru Flaconul standard 35, $\epsilon_{352} = (1,152 \pm 0,018)$ si $\epsilon_{609} = (0,937 \pm 0,015) \text{ s}^{-1}/10^4 \text{ Bq}$ de radon, respectiv pentru cele doua FAP: 352 keV si 609 keV; factorul de etalonare al camerei de ionizare a fost: $F = (51,91 \pm 0,45) \text{ pA/MBq}$ de radon.

Rezultatele, calculate pentru data de referinta **1 iulie 2015 ora 12:00 UTC** au fost:

Valoarea medie a celor doua FAP: $A_{\text{Vial 35 HPGe}} = (73550 \pm 935) \text{ Bq}$;

$A_{\text{Vial 35 CENTRONIC}} = (73693 \pm 1473) \text{ Bq}$

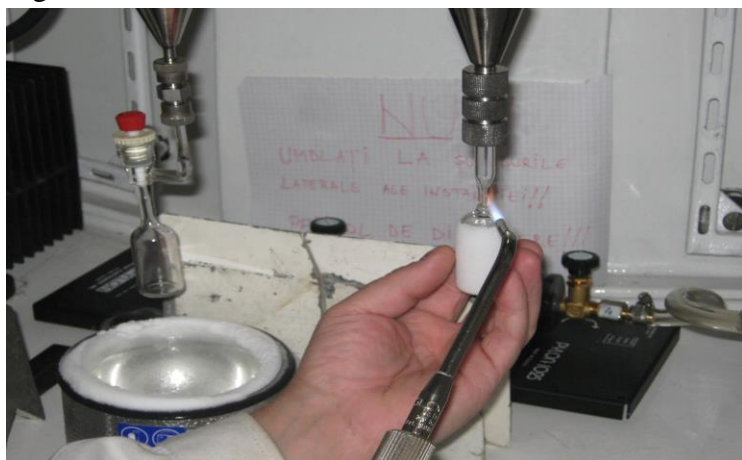
Incertitudinile s-au calculat prin combinarea incertitudinii de etalonare a celor doua instrumente, maximum 1,5% si incertitudinile de numarare (statistice) de 0,75% (spectrometru gama) si 1,3% (Camera de ionizare) respectiv.

Valoarea medie $A_{35 \text{ HPGe} + \text{IC}} = (73622 \pm 872) \text{ Bq}$ la 1 iulie 2015 ora 12:00 UTC

3.4.2 Transferul activitatii de la masurarea unei fiole cu scintilator lichid: masurare absoluta, Scintilator Lichid (LSC) si masurari relative asupra Fiolei LSC: Spectrometru GeHP si Camera de Ionizare etalonate.

Flaconul 35 a fost apoi conectat la sistemul de radon si s-a facut un transfer cantitativ de la Flaconul 35 la Fiola 36, umpluta cu 20 ml de scintilator OPTIFLUOR O si mentinuta in azot lichid. Flaconul 35 a fost din nou incalzit usor la flacara pentru realizarea transferului. In Figura 3 se prezinta cei doi recipienti: Flaconul 35 de gaz in partea stanga si Fiola 36 LS in partea dreapta.

Fig. 3 Transferul radonului in Fiola de LS



Si in acest caz a fost facut transferul gravimetric, iar valoarea sa s-a determinat in acelasi mod cu transferul de la GAZ3 la Flaconul 35. Valorile $(1-R_{\text{Vial 35}})$ au fost masurate din nou cu ambele sisteme si au rezultat: $(1-R_{\text{Vial 35}})_{\text{HPGe}} = (0,4540 \pm 0,0031)$ si $(1-R_{\text{Vial 35}})_{\text{CENTRONIC}} = (0,4771 \pm 0,0035)$, cu o valoare medie: $(1-R_{\text{Vial 35}}) = [0,4656 \pm 0,0116 (2.5\%)]$. In mod similar cu ecuatiea (1), se calculeaza activitatea Flaconului 35 prin transfer de la Fiola 36, LS, $A_{\text{Vial 35 Transfer LSC}}$, astfel:

$$A_{\text{Vial 35 Transfer LSC}} = A_{\text{Amp 36}} / (1-R_{\text{Vial 35}}) \quad (2)$$

Masurarea activitatii Fiolei 36

Fiola 36 a fost mai intai masurata cu cele doua sisteme, etalonate in aceeasi lucrare *Sahagia et al. 2011* [8]: Valorile eficacitatii pentru Fiola 36 au fost $\epsilon_{352} = (0,989 \pm 0,009)$ si $\epsilon_{609} = (0,800 \pm 0,007) \text{ s}^{-1}/10^4 \text{ Bq}$ de radon, pentru cele doua FAP; factorul de etalonare al camerei de ionizare a fost: $F = (50,45 \pm 0,45) \text{ pA/MBq}$ de radon. Valorile activitatii, la data de referinta, au fost:

$A_{36 \text{ HPGe}} = (33342 \pm 367) \text{ Bq}$ si $A_{36 \text{ IC}} = (33651 \pm 291) \text{ Bq}$ la 1 iulie 2015, 12:00 UTC

Valoarea medie a masurarilor relative a fost $A_{36 \text{ HPGe} + \text{IC}} = (33496 \pm 234) \text{ Bq}$

Fiola 36 a fost apoi masurata prin metoda Scintilatorului Lichid dupa un timp de 9-11 zile de la data prepararii sale, urmarind metodele raportate in lucrarile *Cassette et. al. 2006* [3] si *Sahagia et al. 2010* [5], atunci cand activitatea a scazut suficient de mult, astfel incat sa se poata masura prin acesta metoda. Ratele de numarare inregistrate au fost corectate pentru dezintegrarea ^{214}Po ($T_{1/2} = 163 \mu\text{s}$) pe durata timpului mort de tip extensibil al contorului, $\tau = 40.07 \mu\text{s}$. Activitatea totala a fost corectata si fata de suma activitatilor descendente din lantul Pb-210 si anume suma activitatilor ^{210}Pb and ^{210}Bi acumulati in sursa in perioada scursa de la preparare pana la masurare, care a urcat pana la o proportie de 0,39%. Activitatea calculata din curba de extrapolare de dezintegrare corectata [5] a fost:

$$A_{\text{Amp 36 LSC}} = (35029 \pm 458) \text{ Bq la 1 iulie 2015, 12:00 UTC}$$

Valoarea medie a activitatii $A_{\text{Amp 36}}$, calculata din media valorii determinate in mod relativ cu cea absoluta, LSC, este: $A_{\text{Amp 36}} = \frac{1}{2}(33496+35029) = (34262 \pm 514) \text{ Bq la 1 iulie 2015, 12:00 UTC}$. Incertitudinea s-a calculat ca deviatia standard a mediei rezultate din cele trei metode.

In acest caz, activitatea Flaconului 35, calculata din activitatea medie a Fiolei 36 (LSC+HPGe+IC), folosind relatia (2), este $A_{\text{Vial 35 Transfer Amp 36}} = 34262 / 0,4656 = 73586 \text{ Bq}$; Incertitudinea este $\pm 2134 \text{ Bq}$, adica $(1,5^2 + 2,5^2)^{1/2} \% = 2,9 \%$.

3.4.3 Valoarea medie a activitatii A_{Vial35} , calculata din 3.4.1 direct si din 3.4.2, transfer la Fiola 36, LS, este: $A_{\text{Vial35}} = \frac{1}{2}*(73622+73586)=73604 \text{ Bq}$; Incertitudinea= $\frac{1}{2}*(872^2+2134^2)^{1/2} \text{ Bq}=1076 \text{ Bq}$ (1,46%).

3.5. Activitatea containerului original LNHB pentru comparare, GAZ3, s-a calculat din activitatea Flaconului 35 folosind ecuatia (1): $A_{\text{GAZ3}} = A_{\text{Vial35}}/0,99894=73604 / 0,99894=73682 \text{ Bq}$ Incertitudinea standard compusa pentru intervalul de acoperire $k=1$ s-a calculat prin combinarea incertitudinilor activitatii Flaconului 35 si incertitudinea factorului de recuperare folosit in ecuatia (1):

$$(1,46^2 + 1^2)^{1/2} \% = 1,77 \% \quad (1304 \text{ Bq})$$

Rezultatul Final a fost: $A_{\text{GAZ3}} = (73680 \pm 1300) \text{ Bq}$, la 1 iulie 2015, 12:00 UTC

4. Raportarea rezultatului

Dupa raportarea rezultatului obtinut de LNE-LNHB catre CIPM-CCRI, responsabila compararii a permis participantilor sa raporteze rezultatele. LMR a trimis organizatorilor doua rapoarte:

- Raportul oficial, document excel, completat conform cerintelor organizatorului;
- Raportul de comparare explicativ, traducerea in limba engleza a unei versiuni prescurtate a raportului prezentat la punctul 3 al prezentei. Anexa 1: Copy of Radon –intercomparison-result.

Bibliografie

- [1] Dean, J.C.J., Burke, M., 1994. *An intercomparison of ^{222}Rn measurement systems in European laboratories*. Nucl. Instrum. Methods A 339(1994) 264–270.
- [2] Picolo, J.L. *Absolute measurement of radon 222 activity*. Nucl. Instrum. Methods A 369(1996) 452–457.
- [3] P.Cassette, M.Sahagia, L.Grigorescu, M.C.Lepy, J.L.Picolo. *Standardization of Rn-222 by LSC and comparison with alpha and gamma spectrometry*. Appl. Radiat.Isot.64,10-11(2006)1465-1470
- [4] C. Michotte, G. Ratel, P. Cassette. *Update of the BIPM.RI(II)-K1. ^{222}Rn -222 comparison of activity measurements for the radionuclide ^{222}Rn to include the LNE-LNHB*, Draft B Update Report for Rn-222 2011/11/03.
- [5] M. Sahagia, D.Stanga, A.C.Watjen, A.Luca, P.Cassette, C.Ivan, A.Antohe. *The Rn-222 standard system established at IFIN-HH, Romania*. Appl. Radiat. Isot. 68 (2010) 1503 -1506

- [6] M.Sahagia, A. Luca, A.C.Watjen, A.Antohe, C.Ivan, D.Stanga, C.Varlam, I.Faurescu, L.Toro, M.Noditi, Ph. Cassette *The primary Romanian radon standard, a common project: IFIN-HH, Bucharest; ICSI, Rm.Valcea; ISP, Timisoara; CEA/LNE-LNHB, Saclay (France).* Progress of Cryogenics and Isotopes Separation 63,1 (2010)113-129
- [7] M. Sahagia, A.Luca, A.C.Watjen, A.Antohe, C.Ivan, D.Stanga, C.Varlam, I.Faurescu, L.Toro, M.Noditi, P.Casette. *Results obtained in measurements of Rn-222 with the Romanian standard system* Rom. Journ. Phys. 56, 5-6 (2011) 682-691
- [8] M. Sahagia, A.Luca, A.C.Watjen, A.Antohe, C.Ivan, C.Varlam, I.Faurescu, P.Cassette. *Establishment of the Rn-222 traceability chain with the Romanian Standard System.* Nuclear Instrum. and Meth. in Phys. Res. A, 631(2011)73-79.

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare.

-In perioada 8-12 iunie 2015 s-a desfasurat la Universitatea Tehnica din Viena, Austria, Conferinta "ICRM2015, 20-th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications". La sectiunea Liquid Scintillation Counting Techniques a fost acceptata si prezentata lucrarea Poster P-36: "**Standard sources for the measurement of ^{210}Pb - ^{210}Po chain activity**", autori: A.Antohe*, M.Sahagia, A.Luca, M-R.Ioan, C.Ivan. Lucrarea a parcurs intregul ciclu de peer review, referenti: Dr. Karsten Kossert de la PTB-Germania si Dr. Philippe Cassette de la LNE-LNHB-Franta. Lucrarea poarta mentiunea: "**Acknowledgement.** This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research, CNCS – UEFISCDI, project number PN-II-PT-PCCA-2011-3.1-0741".

-A fost propus rezumatul lucrarii "Radon gas activity measurements in the frame of an international comparison", autori A.Luca, M.Sahagia, A.Antohe, M.-R.Ioan, L.Serbina, C.Ivan, la conferinta internationala "International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry" (RANC-2016), 10-15 aprilie 2016, Budapesta, Ungaria.

Concluzie: Coordonatorul si-a indeplinit toate obiectivele prevazute in prezenta etapa.

Activitatile Partenerului 1, ICSI – Rm. Valcea

Activitate IV.1: Transportul si asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare

S-a urmarit finalizarea incintei interioare a camerei de radon si realizarea suportului camerei de radon. De asemenea, o etapa importanta a fost transportul camerei de radon la sediul IFIN-HH, coordonatorul proiectului, iar apoi montarea si punerea pe pozitie a suportului si incintei interioare a camerei de radon.

In etapa realizarii suportului camerei de radon s-au intampinat mai multe probleme care au necesitat reprojectarea suportului si alegerea unei solutii tehnice care a permis finalizarea acestui component. In cazul reperelor: DFN-2013-16.08.01.00 - Structura picior fata; DFN-2013-16.08.02.00- Structura picior spate; DFN-2013-16.08.03.00-Structura picior mijloc, ce presupuneau realizarea unor profile curbate din teava rectangulara cu sectiunea 80mm x 80mm si perete cu grosimea de 2 mm (achizitionate conform desenelor de executie), nu s-au putut realiza din motive tehnologice (gatuirea materialului si distrugerea profilului in procesul de roluire la dimensiunile conforme desenului primit).

O varianta investigata a constat in alegerea unui tevi rectangulare cu sectiunea 80mm x 80mm si o grosime a peretelui de 5 mm, precum si o marire a campului de toleranta pentru dimensiunile radiale, aprox. de 3% din valoarea nominala. Aceasta cerinta tehnologica investigata din dorinta de a respecta desenele primite ar fi presupus o crestere in greutate cu aprox 130 kg si aprovizionarea altor profile rectangulare. De asemenea fixarile realizate cu elemente de asamblare tip suruburi M8 presupuneau realizarea filetului conjugat in profilul 80x80 cu grosime de 2 mm ceea ce conducea la suspiciunea ca eforturile din structura nu vor putea fi sustinute. S-a realizat modificarea zonelor de filetare cu elemente suplimentare din tabla (cu grosimea 8 sau 10 mm) ce s-au sudat pe zonele exterioare aferente reperelor: structura picior fata, mijloc si spate, etc.

In conditiile date, solutia gasita de INCDTCI-ICSI, cu acordul coordonatorului de proiect, a fost de modificare a desenelor de executie si a formei reperelor respective, pentru a permite realizarea din elemente sudate sub forma de poligon regulat cu 7 sau 12 laturi, mai usor de realizat la nivelul Institutului. Atat desenele cat si reperiile suportului au fost realizate.

In data de 22.10.2015 s-a realizat transportul si montajul suportului camerei de radon si a corpului interior al camerei de radon. Greutatea partilor enumerate era de peste 1400 kg, iar dimensiunile suportului erau de aprox. lungime 3 m, latime 1,5 m si inaltime 2 m. Tinand cont de dimensiunile de gabarit enumerate a fost necesara efectuarea deplasarii cu camionul institutului. Echipa INCDTCI-ICSI Rm. Valcea ce a realizat deplasarea si montajul la sediul IFIN-HH, Magurele (Ilfov), a fost formata din: Dr. fiz. Ionut Faurescu, ing. Dorin Schitea si teh. Ion Neamtu. In urma acestei actiuni de predare-primire si receptie calitativa si cantitativa a incintei interioare de etalonare, suportului acesteia si altor accesorii, s-a incheiat Procesul verbal de predare-primire nr. inreg. IFIN-HH 2954/22.10.2015 (nr. inreg. ICSI, 14859/23.10.2015). S-au predat catre coordonatorul de proiect urmatoarele componente:

- Camera de radon propriu-zisa (incinta interioara de etalonare)	1 Buc.
- Sertar interior camera	1 Buc.
- Conexiuni camera de radon	7 buc.
- Ramificatie cruce DN50	1 Buc.
- Ramificatie teu DN 50	2 Buc.
- Cot DN 50	2 Buc.
- Picior + rama inchidere fata suport camera	1 Buc.
- Picior + rama inchidere spate suport camera	1 Buc.
- Picior mijloc suport camera	1 Buc.
- Lonjeron suport camera	4 Buc.
- Surub + saiba $\Phi 8$	24 Buc.

Intr-o prima etapa, echipa coordonatorului de proiect IFIN-HH si echipa ICSI au verificat respectarea prevederilor specificatiei tehnice, constatand urmatoarele: produsele au fost fabricate conform cerintelor tehnice prevazute in proiectul de executie intocmit de IFIN-HH si discutat in sedintele de lucru din 08.05.2014 si 12.11.2014 (conform minuta de sedinta nr. 5017/08.05.2014, respectiv 14101/12.11.2014).

Toate materialele achizionate pe parcursul proiectului au fost folosite la constructia incintei

interioare a Camerei de Radon si a suportului Camerei de Radon. S-a insistat pe verificarea pentru conformitate a componentelor obtinute din materialele primite de la IFIN-HH. In urma debitarii si prelucrarii mecanice a acestor produse primite de la IFIN-HH in anul 2014 [3 placi de tabla otel inox ANSI 304 (2 de 1500x3000x4 mm, 1000x2000x15 mm) si 30 m liniari teava rectangulara de 80x80x2 mm], nu au ramas resturi de material neutilizate. Din acestea s-au efectuat urmatoarele repere: Corp incinta interioara (nr. desen 16.01.01.01), Capac incinta 1 + Capac incinta 2 (nr. desene 16.01.01.08, 16.01.02.01, 16.01.02.02), Broasca-lagar 111, Broasca-lagar 211, Broasca-lagar 511 si Broasca-lagar 512 (parti componente ale produselor receptionate); Placa lagar usa (nr desen 16.01.02.04) - 2 buc., Palier balama (nr desen 16.01.01.06.00) - 1 buc., Capac rulment articulatie (nr desen 16.01.06) - 2 buc., ISO flansa cu gauri DN100 - 1 buc., Flansa exterioara ISO FN DN 100 - 1 buc., Broasca lagar: 4 buc., Capac blocare sistem inchidere: 4 buc., Flansa DN50 - 14 buc., Flansa DN40 - 1 buc.; repere componente ale suportului se sustinere al Camerei de radon propriu-zisa (incinta interioara de etalonare): Lonjeroane - 4 buc., Picior fata - 1 buc., Picior spate - 1 buc., Picior mijloc - 1 buc., Rama inchidere fata - 1 buc., Rama inchidere spate - 1 buc..

Reprezentantii ICSI Rm. Valcea au asistat personalul IFIN-HH la descarcarea si transportul in laborator al produselor predate. De asemenea, au montat in laborator elementele componente ale suportului Camerei de Radon.

Descrierea lucrarilor efectuate:

S-au desfasurat activitati de proiectare, executie si montaj a suportului aferent camerei de radon. S-a conceput o structura demontabila pentru a putea amplasa incinta in laboratoare cu usi de acces cu deschidere medie, a inlesni o manipulare fara mijloace de ridicat, transportul in zone destul de greu accesibile (scari, holuri, etc) si montaj rapid si facil.

Analiza detaliata a elementelor proiectului initial si al profilelor de materiale indicate in etapa anterioara de proiectare a condus la adoptarea unor solutii constructive diferite pentru unele repere din ratiuni tehnologice, de posibilitate de realizare fizica a produsului si a unui cost redus, fara a se altera rolul functional al acestora in ansamblu. Reperele vizate au fost in principal elementele de forma circulara aferente piciorului fata, mijlociu si spate, precum si ramele fata si spate ce necesitau realizarea printr-un procedeu de deformare plastica la rece. Din punct de vedere al tehnologiei existente nu se putea obtine o suprafata continua si neteda datorita grosimii de doar 2 mm a profilului rectangular; solutia tehnica ce se putea adopta in situatia data era alegerea unui profil cu grosimea peretelui de minim 4 mm, ceea ce ar fi condus la cresterea masei intregului ansamblu, situatie ce nu era de dorit. Reproiectarea acestor elemente s-a realizat prin modificarea formei acestora in poligoane regulate cu 7 si 12 laturi pentru reperele: SCR-00-01-02 si SCR-00-04-03, asamblate nedemontabil prin sudura in mediul protejat. Materialul utilizat pentru fabricarea reperelor pentru suportul incintei este otel inoxidabil marca AISI 304 sub forma de semifabricat de tip table, bare si profile rectangulare 80x80x2 mm.

Structura de asezare a camerei de radon este compusa din 3 parti principale nedemontabile: suport frontal (SCR-00-01-00), suport median (SCR-00-02-00), suport spate (SCR-00-04-00), patru lonjeroane longitudinale (SCR-00-03-00) si doua parti auxiliare: suport capac fata (SCR-00-06-00) si

suport capac spate (SCR-00-05-00) ce se monteaza prin intermediul balamalelor (SCR-00-04-10) si (SCR-00-05-04) pe suportul frontal si cel din spate. Sistemul de Inchidere a fost reproiectat prin modificarea urmatoarelor elemente: Zavor (SCR-00-09-05): s-a realizat o suprafata de ghidare interioara in vederea evitarii blocarii acestuia pe durata deplasarii liniare prin actionarea manerului; Maner (SCR-00-09-10): s-a inlocuit roata de manevra cu trei tije filetate dispuse echidistant; Parghie (SCR-00-09-04): s-a modificat profilul conjugat cu elementul zavor si modul de larmuire in placile suport, dispuse de o parte si de alta a acestuia si adaugarea unor elemente suplimentare de ghidare: (SCR-00-09-06), pentru a evita blocarea zavorului prin actionarea manerului.

Toate elementele livrate au fost curatate cu solutii profesionale de curătare a inoxului respectiv solutie de curătare AVESTA 401 si solutie de pasivare AVESTA 101.

Etapă descărcării, transportului în laborator și montajul în laborator a componentelor livrate a reprezentat o provocare datorită gabaritului camerei de radon (lungime – 1,5 m, diametrul – 1,35 m și greutatea de aprox. 1400 Kg) și dimensiunilor holurilor de acces în laborator. Variantele posibile au fost următoarele: o varianta cu o lungime mai mare, lină și fără obstacole, însă cu uși mai înguste (1,24 m), iar o altă variantă cu o lungime mai mică (aprox. 10 m), cu mici obstacole și o singură ușă de culoar cu o lățime de 1,80 m și 2 m înălțime. Dimensiunile usii de acces în laborator (1,46 m lățime și 2 m înălțime) și culoarul de acces spre laborator de doar 1,70 m lățime au fost limitări de care a trebuit să se țină cont. Procesul de descarcare și transport în laborator al componentelor este ilustrat mai jos, în **Fig. 4**:



Transportul componentelor camerei de radon în laborator s-a efectuat cu ajutorul a doi transpaleti din dotarea IFIN-HH: unul electric (max. 1000 kg), iar altul manual (max. 2500 kg). Odată transportate în laborator componentele suportului camerei de radon, s-a trecut la montarea acestora. După montajul suportului, s-a poziționat pe acesta camera de radon propriu-zisă (incinta interioară de etalonare), iar tot ansamblul s-a așezat în poziția finală din laborator, **Fig. 5**:



Activitate IV.3: Redactarea preliminară a documentației de operare a Camerei de Radon.

Documentație tehnică preliminară a Camerei de radon:

Pornind de la cerințele standardului “CEI 61577-Radiation protection instrumentation - Radon and radon decay product measuring instruments – Instrumentație de radioprotecție – Instrumente de măsurare a radonului și a descendenților săi” coordonatorul de proiect a considerat că modelul conceptual al camerei de radon trebuie să îndeplinească condițiile impuse echipamentelor utilizate în monitorizarea pe teren a nivelului de radon.

În figura 6, mai jos, este prezentat modelul conceptual care cuprinde următoarele componente: o camera interioară, un înveliș secundar ce asigură circulația aerului pentru controlul temperaturii atmosferei de lucru, o cămașă exterioară ce închide în interiorul ei sistemul de monitorizare și achiziție date pentru parametrii climatici, conexiuni instalații exterioare (producere aerosoli, monitorizarea concentrației și dimensiunii aerosolilor, transport sursă radon) și suport ansamblu.

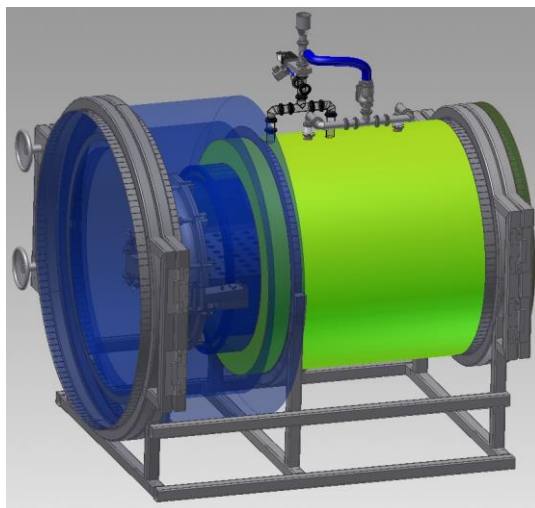


Fig. 6. Vedere frontală a modelului conceptual propus

Incinta interioara a camerei de radon este partea cea mai importanta a intregului proiect. Daca partea de izolatie este pentru unele laboratoare optionala, temperatura constanta fiind asigurata prin climatizarea incaperii in care este amplasata intreaga instalatie, etanseitatea si siguranta in operare a incintei interioare este o cerinta obligatorie in succesul proiectului.

Pornind de la modelul conceptual si respectându-l, dimensiunile camerei de radon s-au determinat astfel încât sa se asigure un volum de 1 m³ al atmosferei de lucru.

Materialele utilizate pentru marea majoritate a componentelor sunt din otel inoxidabil marca ANSI 304: pentru incinta interioara si capace, tabla cu grosimea de 4 mm, pentru guler capac si guler incinta tabla cu grosimea de 25 mm.

O alta componenta importanta a camerei de radon este suportul acesteia (fig. 7). Pentru a fi usor de transportat si eventual mutat într-o altă locatie acesta este alcătuit din mai multe componente după cum urmează:

<i>Componentă</i>	<i>Nr. Bucăți</i>
Suport fata	1
Suport median	1
Suport spate	1
Suport capac fata	1
Suport capac spate	1
Lonjeron	4
Șurub + Saiba Φ8	24 + 24

Montajul si rigidizarea structurii se realizează cu ajutorul lonjeroanelor prin fixarea acestora de suportul frontal, median si spate prin intermediul organelor de asamblare tip surub, saibă, piulita.

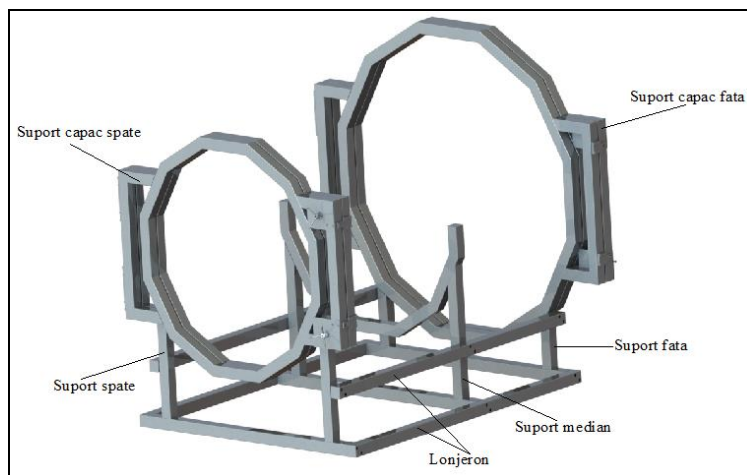


Fig. 7. Suportul camerei de radon

Ordinea de montaj este următoarea:

- se aduce in pozitie suportul fata si se fixează primul lonjeron, la baza acestuia;
- se fixează si al doilea lonjeron de suportul fata, tot la baza, in partea opusa a acestuia, rigidizând-se structura;
- se aduce in pozitia de montaj si suportul median si se fixează prin intermediul organelor de asamblare, de o parte sa de alta a acestuia;

- se aduce in pozitia de montaj suportul spate si se rigidizează întreaga structura prin strângerea elementelor de asamblare situate la baza acestuia, de o parte si de alta;
- se montează si celelalte doua lonjeroane, situate mai sus de o parte si de alta a structurii nou create;
- se strâng la un cuplu de 8-10 Nm elementele de asamblare utilizate la pasii precedenti;
- se montează prin intermediul balamalelor suportul capacului fata si suportul capacului spate.

Obiectivele prezentei etape au fost realizate in totalitate de catre Partenerul 1, ICSI, Rm. Valcea.

Activitatile Partenerului 2, Universitatea din Bucuresti

Activitate IV.1: Transportul si asamblarea componentelor Camerei de Radon la IFIN-HH.

Activitate IV.3: Redactarea preliminară a documentatiei de operare a Camerei de Radon.

Activitate IV.4: Vizite de lucru/diseminare/documentare.

Universitatea din Bucuresti (UB) a colaborat cu coordonatorul proiectului si cu partenerul P1 pentru realizarea activitatilor din cadrul proiectului. A participat astfel la **activitatea IV.1**, in particular prin abordarea problematiei masurarii produsilor de dezintegrare ai radonului ^{222}Rn si eventual ai toronului ^{220}Rn . A fost studiata posibilitatea de determinare a acestora utilizand metode active (bazate pe colectarea produsilor de dezintegrare [1]) sau pasive (bazate pe iradierea detectorului fara o concentrare prealabila a acestora); s-a analizat varianta de colectare a descendentilor pe filtru si masurarea ulterioara a filtrului, sau colectarea electrostatica in vecinatatea unui detector de siliciu (SSB, PIPS). Pentru metodele pasive s-a analizat utilizarea detectorilor solizi de urme (CR39, LR-115). De asemenea, a fost considerata problema gradului de echilibru radioactiv intre produsii de dezintegrare si radon, avand in vedere procesele de depunere a descendentilor radonului pe suprafete si perturbarea introdusa de aparatura montata in camera de radon.

In cadrul **activitatii IV.3** s-a studiat distributia asteptata a radonului in camera, si de asemenea distributia produsilor de dezintegrare. Aceste aspecte sunt foarte importante pentru a permite utilizarea camerei de radon in scopul etalonarii instalatiilor de masurare a radonului, respectiv descendentilor. Intr-adevar, activitatea totala a radonului introdusa in camera este cunoscuta, dar pentru determinarea concentratiei in domeniul in care se afla instalatia care urmeaza sa fie etalonata pentru radon este necesar sa se cunoasca volumul total in care se distribuie radonul (afectat de prezenta dispozitivelor introduse in camera) si distributia spatiala a acestuia. In cazul produsilor de dezintegrare problema este mai complicata, deoarece intre radon si acestia nu este realizat echilibrul radioactiv si distributia spatiala este neomegena. Produsii de dezintegrare ai radonului ^{222}Rn (descendentii radonului) de interes sunt ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po ; in cazul radonului ^{220}Rn , acestia sunt ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Po , ^{208}Tl (descendentii toronului). Prima problema priveste distributia radonului. Aceasta problema poate fi separata in doua, si anume distributia radonului in fiola dupa deschiderea fiolei, si respectiv distributia radonului in Camera de Radon. In ambele cazuri acelasi fenomen fizic guverneaza variatia spatiala si in

timp a concentratiei de radon, si anume difuzia si dezintegrarea radonului. Este mai convenabil sa se trateze separat cele doua probleme. In ambele cazuri trebuie rezolvata ecuatia de difuzie a radonului:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \nabla^2 c - \lambda c + S \quad (3)$$

In aceasta ecuatie c este concentratia de radon, D este coeficientul de difuzie, λ este constanta de dezintegrare, iar S este sursa de radon. Ecuatia descrie faptul ca concentratia c variaza in timp intr-un volum elementar datorita iesirii nete de radon prin suprafata volumului elementar (termenul de difuzie), datorita dezintegrarii si datorita producerii de radon in acel volum (termenul S).

A fost pusa la punct o procedura matematica de rezolvare a acestui tip de ecuatii. Am rezolvat separat problema distributiei radonului in fiola sursa dupa deschiderea acesteia, considerand concentratia la momentul initial constanta, termenul sursa nul, iar conditia de frontiera cu flux de radon nul pe suprafata laterala si pe baza fiolei, dar difuzie neingradita pe baza superioara. Coeficientul de difuzie depinde de presiune, iar pentru valoarea $D=0,11 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (corespunzator difuziei la presiunea atmosferica) valoarea $1/\xi_{1,1}$ este 32 s, $v_1= 0,0627 \text{ cm}^{-1}$, $\mu_1= 0,524 \text{ cm}^{-1}$, in timp ce pentru $D=0,011 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ $1/\xi_{1,1}$ este 326 s, iar v_1 si μ_1 raman neschimbate. Armonicele superioare se atenuaza mai rapid, deci comportarea este determinata de aceasta componenta. Pentru o fiola cu raza de 0,5 cm si lungimea de 3 cm, concentratia trebuie sa scada de $4,3 \cdot 10^5$ ori in procesul de difuzie, necesitand astfel un timp foarte lung.

In ceea ce priveste distributia radonului in camera de radon dupa deschiderea fiolei, daca se neglijeaza instalatiile introduse in camera, solutia se poate obtine cu aceleasi ecuatii, dar cu functii proprii corespunzatoare conditiei de frontiera ca fluxul de radon pe suprafata sa fie 0 (camera complet izolata). Pentru o camera cu $R=49,6 \text{ cm}$, $H=130 \text{ cm}$, daca $D=0,11 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ se obtine valoarea $1/\xi_{1,1}$ de 78,6 s si din nou distributia spatiala este guvernata de prima armonica, cu valorile proprii $v_1= 0,0021 \text{ cm}^{-1}$, $\mu_1= 0,0012 \text{ cm}^{-1}$. Ecuatiile de difuzie se modifica in cazul in care deplasarea moleculelor de radon se face nu doar prin difuzie moleculara, ci si prin convecție si difuzie turbulentă. Acest caz poate fi rezolvat formal cu aceleasi ecuatii, prin inlocuirea coeficientului de difuzie moleculara cu un coeficient de difuzie efectiv, care are valori mult mai mari. Distributia se omogenizeaza mult mai repede in acest caz. Prin urmare, este recomandabila folosirea unui ventilator in interiorul camerei de radon.

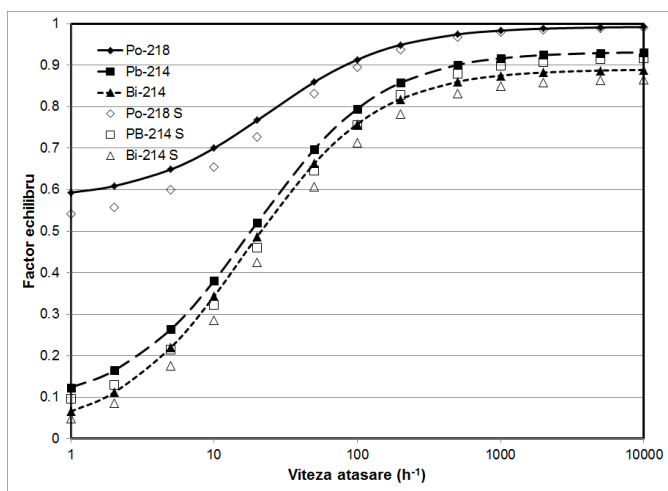
Problema distributiei descendentilor este mai complexa. Descendentii radonului sunt elemente chimice active (Po, Pb, Bi) si ca urmare pot sa se ataseze aerosolilor din camera sau pot sa se depuna pe suprafete (fenomenul de plate-out). Procesul de atasare la aerosoli este cuantificat prin viteza de atasare X , dependenta de concentratia aerosolilor din incinta si de distributia acestora dupa dimensiuni. In acelasi timp, datorita reculului la dezintegrarea α , nucleul de recul se poate dezlipi de aerosol, proces caracterizat prin viteza de desprindere R ; in conditii tipice $R=0,8$ pentru nuclizii care se dezintegreaza α si $R \approx 0$ pentru nuclizii care se dezintegreaza β . Depunerea pe suprafete poate fi caracterizata macroscopic prin viteza de plate-out, diferita pentru fractiunea atasata v_a si neatasata aerosolilor v_f ; intr-adevar, mobilitatea depinzand mult de masa particulei, viteza de depunere pentru fractiunea atasata este substantial mai mica decat pentru fractiunea libera. Problema poate fi rezolvata considerand separat

difuzia fractiunii libere si respectiv a fractiunii atasate, introducand in ecuatiile de difuzie corespunzatoare termenii de formare prin dezintegrarea nuclidului parinte sau prin trecerea dintr-o fractiune in alta si termenii de disparitie prin dezintegrare, depunere si trecere in cealalta fractiune. Conditile de frontiera sunt de anulare a fluxului dinspre suprafata spre interior. Ecuatiile sunt cuplate prin termenii de sursa. Datorita depunerii pe suprafete, concentratia activitatii descendentei radonului in aer nu mai este in echilibru radioactiv cu concentratia activitatii radonului, raportul activitatilor respective fiind numit factor de echilibru.

O abordare mai simpla este reprezentata de modelul lui Porstendorfer [2], pe care l-am aplicat anterior in calculul sensibilitatii detectorilor solizi de urme [3, 4]. In Fig. 8 se prezinta variatia factorului de echilibru pentru descendentei radonului in functie de viteza de atasare, adica implicit in functie de concentratia aerosolilor in camera de radon si de distributia acestora dupa dimensiuni. O parametrizare a vitezei de atasare poate fi gasita in [2].

In figura 8 se observa ca factorul de echilibru difera substantial de valoarea ideala egala cu 1. Este intotdeauna mai mare pentru ^{218}Po decat pentru ^{214}Pb si ^{214}Bi , deoarece timpul de injumatatire al primului nuclid este mult mai mic decat al celorlalti si prin urmare probabilitatea de depunere este mult mai mica (distanța strabatuta de la formare pana la dezintegrare este mult mai mica si sansa de a ajunge pe suprafete sau aerosoli este mai mica). Prin marirea vitezei de atasare X factorul creste, deoarece o fractiune mai mare de activitate este atasata aerosolilor, iar acestia, datorita mobilitatii mai mici, au o probabilitate mai mica de depunere pe suprafete, ramanand in proportie mai mare in volumul camerei. Introducerea unor obiecte in interiorul camerei mareste fractiunea depusa si deci micsoreaza factorul de echilibru.

Fig. 8. Factorul de echilibru in functie de viteza de atasare, pentru $v_l=0.05 \text{ cm/s}$ si $v_a=0.0005 \text{ cm/s}$ in interiorul camerei de radon. Curbele cu linii corespund cazului in care nu exista instalatii sau obiecte in camera de radon, curbele indicate doar prin simboluri corespund situatiei in care in interior exista obiecte cu o suprafata S egala cu suprafata sectiunii axiale a camerei:



Dezechilibrul între produsele de dezintegrare ale radonului și radon se manifestă și printr-o distribuție spațială neomogenă a produsilor de dezintegrare. Pentru obținerea unui grad de omogenizare mai bun este necesară ventilarea aerului din interiorul camerei. Curentul de aer nu trebuie însă să fie puternic, deoarece ventilarea antrenează mișcarea produsilor de dezintegrare, ceea ce modifică viteza de depunere. Dacă viteza de depunere a fracțiunii neatașate aerosolilor rămâne practic nemodificată, viteza de depunere a produsilor atașați crește, ducând astfel la micșorarea factorului de echilibru. Variația relativă a vitezei de depunere v_a depinde de dimensiunea aerosolilor.

In concluzie, rezultatele obținute arată că pentru calibrarea detectorilor care măsoară produsele de dezintegrare ale radonului nu poate fi aplicată ipoteza echilibrului radioactiv între radon și acești produși. Mai mult, raportul dintre activitatea produsilor de dezintegrare și radon depinde într-un mod complex de situația particulară din camera de radon (instalații și obiecte introduse în interior, concentrația aerosolilor, presiune).

Bibliografie

1. O. Sima, Comprehensive software for the assessment of ^{222}Rn and ^{220}Rn decay products based on air sampling measurements, Appl. Radiat. Isot. 67, 867-871 (2009).
2. J. Porstendorfer, Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in air. Report EUR 14411 EN, pp. 69-150, 1993
3. O. Sima, Computation of the calibration factor for the cup type SSNTD Radon monitor, Radiation Measurement 25, 603-606 (1995)
4. O. Sima, Monte Carlo simulation of the SSNTD Radon detector, Radiation Measurement 34, 181-186 (2001)

În cadrul activității IV.4, Prof. Dr. Octavian SIMA, responsabil al proiectului din partea Universității din București, a participat la conferința “20th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications”, Viena, Austria (deplasare în perioada 7-13 iunie 2015), parte din cheltuielile de deplasare fiind suportate din proiectul CARSTEAM. Participarea la conferință a avut ca obiectiv principal prezentarea unui număr de trei lucrări la care O. Sima a fost coautor (doar prima lucrare este raportată în cadrul proiectului CARSTEAM, fiind menționat suportul financiar acordat de UEFISCDI):

1. **O. Sima, M. C. Lepy, *Application of the GUM Supplement 1 to uncertainty estimation of Monte Carlo computed efficiency in gamma-ray spectrometry* – prezentare orală**
2. T. Vidmar, A. Camp, S. Hurtado, H. Jäderström, J. Kastlander, M.-C. Lépy, G. Lutter, H. Ramebäck, O. Sima, A. Vargas, *Equivalence of computer codes for calculation of coincidence summing correction factors – Part II* – prezentare orală
3. D. Stângă, O. Sima, D. Gurău, *Uncertainty Assessment in the Free Release Measurement by Gamma Spectrometry of Rotating Waste Drums* - poster

Toate lucrările amintite au fost acceptate pentru publicare în revista Applied Radiation and Isotopes și vor fi tipărite în cursul anului viitor. Un alt obiectiv pentru participarea la conferință l-a constituit informarea privind cele mai recente cercetări în domeniul radonului (producere de surse etalon, metode de măsurare, proprietăți ale radonului și toronului), prezentate de colegi din Germania,

Austria, Franta, Coreea, Bulgaria. In afara de aceasta, trebuie mentionat ca Prof. O. Sima a avut si alte indatoriri in cadrul conferintei: a fost membru al Comitetului Stiintific, a fost organizator si moderator al sectiunii de spectrometrie gama, a fost organizator si moderator al adunarii grupului de lucru de spectrometrie gama al Comitetului International pentru Metrologia Radionuclizilor, a fost referent coordonator pentru lucrarile prezentate la sectiunea de spectrometrie gama si referent pentru lucrari prezentate la sesiunea de tehnici de masura pentru probe cu radioactivitate de nivel redus. De asemenea, a participat la Adunarea Generala a Comitetului International pentru Metrologia Radionuclizilor si a fost raportor pentru activitatea grupului de lucru de spectrometrie gama, si in cadrul aceleiasi adunari a fost desemnat coordonator al grupului de lucru de spectrometrie gama pentru perioada 2015-2017.

Lucrari publicate cu suport din contractul 141/2012:

M. C. Lepy, A. Pearce, O. Sima, Uncertainties in gamma-ray spectrometry, *Metrologia* 52, S123–S145 (2015).

Obiectivele prezentei etape au fost realizate in totalitate de catre Partenerul 2, Universitatea din Bucuresti.

Concluziile etapei: Toți partenerii și-au îndeplinit obligațiile asumate pentru Etapa a IV-a a proiectului.

Director de Proiect,

Dr. Aurelian Luca