



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2020 00006**

(22) Data de depozit: **10/01/2020**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/06/2022** BOPI nr. **6/2022**

(41) Data publicării cererii:  
**29/04/2021** BOPI nr. **4/2021**

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE  
- DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI  
INGINERIE NUCLEARĂ "HORIA  
HULUBEI"(IFIN-HH), STR. REACTORULUI,  
NR.30, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:  
• **IOAN MIHAIL-RĂZVAN, STR.PRICOPAN  
NR.26, BL.51, SC.4, ET.2, AP.59,  
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **ȚUGULAN CORNEL-LIVIU, STR.ORĂȘTIE  
NR.22, BL.M2, SC.1, ET.2, AP.55,  
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**RU 2228555 C2; GB 817895 A;  
US 3844833 A; A. ANTOHE & co,  
"METHODS FOR THE REALIZATION OF  
RADIOACTIVE STANDARDS AND FOR  
THE ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY  
MEASUREMENT" PP.231-235, JOURNAL  
OF SCIENCE AND ARTS, 2011**

(54) **METODĂ DE PRODUCERE A UNOR SURSE RADIOACTIVE  
ETALON**



# RO 134918 B1

1 Inventția se referă la o metodă de producere de surse radioactive etalon prin utilizarea  
tehnicilor de imprimare 3D și de contaminare radioactivă stratificată, diferențiată.

3 În ultimii 50 de ani, activitățile nucleare și radiologice din România au avut o dezvoltare  
foarte mare în majoritatea domeniilor de activitate. Dintre acestea, cele mai importante  
5 sunt: industria (domeniul energetic, control nedistructiv, controlul proceselor de producție și  
calității produselor); medicina (terapie, diagnostic, radiologie intervențională, sterilizarea  
7 instrumentalului medical); explorările geologice; educația și cercetarea; controlul preventiv  
la frontieră. Calitatea serviciilor și a produselor oferite, cât și o radioprotecție ridicată a  
9 populației, a expușilor profesionali și a mediului înconjurător sunt strâns legate de acuratețea  
și precizia măsurărilor radiologice implicate în activitățile specifice.

11 Măsurările de radioactivitate au o acuratețe și o precizie foarte ridicată dacă echipa-  
mentele folosite la măsurări sunt calibrate în aceeași geometrie (dacă nu poate fi efectuată  
13 în aceeași geometrie, trebuie aleasă o geometrie cât mai apropiată de geometria reală),  
matrice (matricea etalonului folosit trebuie să fie identică sau foarte apropiată de cea reală)  
15 și etaloanele folosite în calibrare trebuie să fie trasabile la un etalon primar național cu  
echivalență internațională sau direct la un etalon primar internațional. Aceste activități de  
17 calibrare sunt realizate de laboratoarele naționale de metrologie, care dețin de obicei metode  
și infrastructura necesară pentru etalonarea radionuclizilor și participă regulat la comparații  
19 internaționale de măsurare a radioactivității, pentru obținerea gradului de echivalență  
internațională.

21 Sursa radioactivă etalon este emițător de radiații ionizante, datorită conținutului de  
materiale radioactive, cu trasabilitate la un etalon primar de activitate recunoscut la nivel  
23 național sau internațional. Etalonul este un mijloc de măsurare destinat să definească, să  
realizeze, să conserve sau să reproducă unitățile de măsură, în scopul de a le transmite altor  
25 mijloace de măsurare. Etaloanele care prezintă cele mai înalte performanțe metrologice în  
domeniul respectiv sunt etaloane primare. Sursa radioactivă etalon este utilizată pentru  
27 transmiterea unității de măsură a activității mijloacelor de măsurare utilizate în domeniile de  
activitate enumerate mai sus.

29 O sursă radioactivă etalon are următoarele componente: suport fizic, matrice inactivă  
și soluția radioactivă etalon.

31 În cadrul ramurii metrologia radiațiilor ionizante, datorită multitudinii de radionuclizi  
existenți (având proprietăți fizico-chimice complexe și specifice) și a aplicabilităților extinse  
33 în domenii foarte variate, existența de standarde naționale de radioactivitate pentru fiecare  
dintre ele, presupune o activitate complexă și solicitantă. Următorul pas, cel al menținerii  
35 lanțului național de trasabilitate prin transferul unității de radioactivitate către utilizatorii finali,  
are propriile dificultăți caracteristice, ceea ce înseamnă că dezvoltarea și furnizarea de surse  
37 radioactive etalon de geometrii specifice nu este o sarcină ușoară.

Domeniul tehnic la care se referă invenția este metrologia radiațiilor ionizante.

39 În cadrul acestei invenții s-a avut în vedere studierea și validarea adecvării utilizării  
tehnicilor de proiectare și imprimare 3D de ultimă generație în procesul de dezvoltare a  
41 surselor etalon de radioactivitate cu geometrie complexă. Geometria aleasă ca prototip a fost  
cea de tip "filtru de prelevare efluenți gazoși radioactivi", care poate fi mai complexă decât  
43 altele, datorită diversității de forme, dimensiuni, structură interioară și conținut mixt de  
radionuclizi. Tehnicile de imprimare 3D oferă posibilitatea de a dezvolta surse etalon  
45 orientate spre „utilizatorul final” și o gamă aproape nelimitată de forme și dimensiuni, în  
funcție de caracteristicile imprimantei utilizate.

# RO 134918 B1

Din clasa "filtru de prelevare efluenți gazoși radioactivi", în realizarea acestui prototip a fost aleasă geometria unui filtru volumic cu cărbune activ de retenție a radionuclidului I-131 în formă gazoasă (tip TE1C produs de F&J SPECIALTY PRODUCTS, SUA). Acest filtru după contaminare cu efluent radioactiv gazos are ca și particularitate o distribuție spațială a activității volumice neomogenă, neomogenitate ce poate introduce erori foarte mari în măsurările de radioactivitate.	1 3 5
A fost aleasă ca prototip geometria filtru de prelevare efluenți gazoși pentru că acest tip de sursă etalon presupune o geometrie foarte complexă și o distribuție neomogenă, aspecte dificil de abordat. Prin validarea metodei de producere a sursei radioactive tip filtru de prelevare efluenți gazoși radioactivi utilizând tehnicile 3D de proiectare și imprimare a suportului sursei se validează și producerea unor surse mai puțin complexe din punct de vedere al geometriei sau al distribuției omogene a materialului radioactiv.	7 9 11
Invenția se concretizează în producerea de surse radioactive etalon volumice gama cu matrici neomogene obținute prin utilizarea tehnicilor de imprimare 3D și de contaminare stratificată diferențiată.	13 15
În țara noastră nu s-a utilizat până în prezent tehnica de proiectare și imprimare 3D pentru reproducerea unei geometrii volumice complexe și nici metoda de contaminare stratificată pentru simularea unei matrici radioactive neomogene în producerea surselor volumice etalon utilizate pentru calibrarea echipamentelor de măsurare a radioactivității.	17 19
În prezent, în România se produc prin diverse metode tradiționale, ce nu implică utilizarea imprimării 3D și nici a contaminării neomogene stratificate, următoarele tipuri de surse radioactive etalon volumice:	21
Soluții radioactive etalon ambalate în fiole din sticlă sau flacoane de 1 ml-10 ml, închise la flacăra sau etanșate. Soluțiile sunt omogene, transparente, incolore și fără urme de precipitat sau formațiuni biologice. Acestea au activitatea și masa bine precizate. Aceste soluții radioactive etalon sunt utilizate pentru etalonarea calibratoarelor de radioizotopi, echipamente folosite în radioterapie.	23 25 27
Surse etalon gama de activitate volumică sub forma unor cilindrii având substanța radioactivă distribuită uniform într-o matrice de: echivalent apă - tip V-XY-2G; sol - tip V-XY-2GS; zeolit - tip V-XY-2GZ. Aceste surse etalon sunt utilizate pentru calibrarea sistemelor spectrometrice gama, utilizate pentru măsurarea contaminării apei și soluțiilor apoase, contaminării solului și contaminării cerealelor.	29 31
Sursele menționate anterior au suportul fizic bazat pe o geometrie simplă (tip fiolă din sticlă sau plastic și cilindrii din Plexiglas) și activitatea volumică este distribuită omogen în matricile suport neradioactive.	33 35
Metoda adoptată în această cerere presupune construirea, utilizând tehnica de proiectare și imprimare 3D, a unor ambalaje de geometrie volumică complexă a unui tip de filtru de prelevare a radioizotopului gazos I-131. De asemenea, prin metoda contaminării stratificată diferențială a grafitului activ dezvoltată în acest brevet este simulată activitatea volumică neomogen distribuită a acestui tip de filtru.	37 39
În măsurările efectuate pentru protecția și remedierea mediului, protecția populației, protecția personalului expus profesional și managementul deșeurilor radioactive probele radioactive care trebuie măsurate, de cele mai multe ori, au geometrii de măsurare complexe și matricile radioactive neomogene. Pentru a putea acționa corect în aceste situații e foarte important să se evalueze foarte bine zonele contaminate și nivelul contaminării, expunerea populației și a personalului, iar în domeniul managementului deșeurilor radioactive este foarte important să cunoști activitatea unui deșeu, deoarece în funcție de valoarea acesteia se stabilesc metodele de tratare, condiționare și se ia decizia dacă deșeurile radioactive va fi stocat intermediar sau depozitat final.	41 43 45 47 49

# RO 134918 B1

1 În foarte multe cazuri, geometriile de măsurare sunt complexe și radioactivitatea  
volumică nu este omogen distribuită în matricea probei care urmează a fi măsurată, iar  
3 erorile de măsurare cu un echipament calibrat cu surse volumice etalon, care nu au  
geometria și nici matricea radioactivă foarte apropiată cu cea a probei care se măsoară, pot  
5 fi foarte mari.

7 Calibrarea echipamentelor cu care erau măsurate aceste tipuri de filtre se efectuau  
cu surse etalon volumice în suport sursă cu geometrii cilindrice care nu aveau suprafețe tip  
9 grilă, iar matricea radioactivă era omogenă. Aceste diferențe introduceau erori foarte mari  
în procesul de măsurare a filtrelor volumice de prelevare a efluenților gazoși radioactivi. Prin  
11 această sursă etalon, pentru măsurările filtrelor de prelevare a efluenților gazoși radioactivi,  
trasabilitatea măsurărilor este asigurată în mod corect.

13 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în producerea surselor volumice  
etalon cu activitatea distribuită neomogen pentru calibrarea echipamentelor de măsurare cu  
15 care trebuie să se măsoare filtre active de retenție a unui radionuclid gazos în geometrie  
complexă a cărei distribuție spațială a nivelului de retenție este furnizat de producător sau  
determinat de utilizator.

17 Metoda de producere a unor surse radioactive etalon prin utilizarea tehnicilor de  
imprimare 3D și de contaminare radioactivă stratificată diferențiată care simulează cât mai  
19 exact un filtru cu grafit activ de retenție a unui radionuclid în formă gazoasă, conform  
invenției, constă în realizarea următoarelor etape: proiectarea, imprimarea suportului,  
21 carcasei, sursei etalon, crearea sursei inactive compusă dintr-un corp și un capac al carcasei  
din plastic, un filtru de retenție aerosoli plasat pe fundul carcasei, grafit activ de retenție a  
23 radionuclidului în formă gazoasă și un filtru de retenție aerosoli plasat între grafitul activ și  
capacul carcasei și simularea matricei neomogene prin contaminare stratificată diferențiată  
25 a grafitului activ cu soluția radioactivă de interes, primul strat de grafit activ - nivel de  
contaminare de 62,57% din totalul soluției etalon, al doilea strat de grafit activ - nivel de  
27 contaminare de 23,57% din totalul soluției etalon și un al treilea strat de grafit activ - nivel de  
contaminare de 13,86% din totalul soluției etalon.

29 Folosind aceste surse etalon pentru calibrarea echipamentelor cu care se măsoară  
filtrele de prelevare a radionuclizilor gazoși este asigurată trasabilitatea măsurării în mod  
31 corect, iar aceasta are ca efect creșterea acurateții și preciziei măsurărilor.

33 Alte avantaje, extrem de importante, ale metodei de producere de surse radioactive  
etalon volumice gama cu matrici neomogene, prin utilizarea tehnicilor de imprimare 3D și de  
contaminare radioactivă stratificată diferențiată, sunt:

35 - poate fi utilizată pentru orice alt radionuclid;  
- pot fi create rapid geometrii de etalonare extrem de complexe și dedicate fiecărei  
37 situații în parte;

- utilizând imprimanta 3D se micșorează timpul de expunere al personalului în timpul  
39 preparării și se micșorează riscul de contaminare a personalului;

- trasabilitatea metrologică este menținută și neîntreruptă datorită metodei de  
41 preparare gravimetrică (cu balanțe etalonate) și soluție etalon trasabilă la etalonul național.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig.1, care  
43 reprezintă o sursă pilot radioactivă.

45 Sursa pilot (fig.1), produsă prin tehnica 3D de proiectare și imprimare, este compusă  
din: corpul carcasei din plastic **1**; capacul carcasei din plastic **2**; filtrul de aerosoli plasat pe  
fundul carcasei **3**; primul strat de grafit activ contaminat cu 62,57% din totalul soluției radio-  
47 active etalon **4**; al doilea strat de grafit activ contaminat cu 23,57% din totalul soluției radio-  
active etalon **5**; stratul trei de grafit activ contaminat cu 13,86% din totalul soluției radioactive

# RO 134918 B1

etalon 6; filtrul de aerosoli plasat între grafitul activ și capacul carcasei 7. Pentru simularea matricei radioactivă neomogenă a filtrului pilot, straturile de grafit activ au fost contaminate diferit, conform curbei de retenție furnizată de producător.	1 3
Proiectarea și imprimarea sursei volumice etalon	
Sursa etalon pilot a fost creată pentru simularea cât mai exactă a unui filtru cu grafit activ de retenție a radionuclidului I-131 în formă gazoasă de tip TE1C produs de F&J SPECIALTY PRODUCTS, SUA. Au fost măsurate cotele suportului fizic (capac și corp) al filtrului și au fost proiectate cu programul SOLID WORKS 2019. În fig. 1 sunt prezentate capacul și corpul suportului sursei volumice etalon pilot.	5 7 9
Părțile componente ale suportului sursei volumice etalon pilot au fost construite cu imprimanta 3D tip Form 2, producător Formlabs din SUA, cu rezoluția de imprimare de 100 um. Materialul folosit la imprimare a fost transparent pentru a putea evalua cu o incertitudine foarte mică grosimea straturilor care vor fi contaminate.	11 13
Metoda simulării unei matrice neomogene prin contaminare stratificată diferențiată a matricei inactice a etalonului	15
Filtrul de prelevare a radionuclizilor gazosi tip TE1C produs de F&J SPECIALTY PRODUCTS, SUA are matricea radioactivă, reținută de cărbunele activ, neomogenă. Curba de retenție a acestui filtru este furnizată de producător. Curba de retenție a unui radionuclid gazos a acestui tip de filtru este o curbă logaritmică. Curba de retenție este următoarea:	17 19
$y = 0,942 * x^2 - 15,412 * x + 105,41 \quad (1)$	
Pentru a nu utiliza grafit cu proprietăți diferite de cel al filtrului de tip TE1C, la crearea sursei volumice etalon pilot a fost extras cărbunele activ dintr-un filtru nou (necontaminat). De asemenea, din aceleași considerente, au fost folosite pentru construirea etalonului și cele două filtre de aerosoli din filtru desfăcut care sunt plasate între capacul tip grilă și stratul de carbon activ, respectiv între stratul de carbon activ și fundul tip grilă al filtrului. Înălțimea totală a stratului de carbon activ este de 21 mm. Pentru a simula retenția reală a radionuclidului gazos, stratul total de carbon a fost împărțit în trei substraturi de câte 7 mm fiecare. În fig.1 este prezentată schița ansamblului, realizat cu ajutorul programului SOLID WORKS 2019, din care este compus etalonul produs.	21 23 25 27 29
Efluentul gazos radioactiv intră în filtru prin capacul tip grilă și este evacuat prin fundul tip grilă. În continuare vom folosi următoarele denumiri:	31
- stratul I, pentru primul strat de 7 mm de carbon activ de la capacul filtrului; - stratul II, pentru stratul din milocul filtrului; - stratul III, pentru stratul din apropierea fundului filtrului.	33
Folosind curba de retenție furnizată de producător au fost calculate nivelele de contaminare pentru fiecare strat, și anume:	35
- pentru stratul I nivelul de contaminare este de 62,57% din totalul soluției radioactive etalon;	37
- pentru stratul II nivelul de contaminare este de 23,57% din totalul soluției radioactive etalon;	39
- pentru stratul III nivelul de contaminare este de 13,86% din totalul soluției radioactive etalon.	41
Pentru realizarea contaminării stratificate diferențiată a fost utilizată o soluție apoasă de Tc-99m. A fost ales acest radionuclid pentru că are un timp de înjumătățire foarte scurt și este ideal pentru astfel de teste, din punct de vedere al radioprotecției. Acesta soluție a fost etalonată cu instalația de etalonare în activitate a surselor și soluțiilor radioactive cu camera de ionizare sub presiune în geometrie 4πsr și electrometru din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară - Horia Hulubei	43 45 47

# RO 134918 B1

1 (IFIN-HH), Laboratorul de Metrologia Radiațiilor Ionizante (LMRI). Această instalație este  
trasabilă la etalonul primar de activitate (deținut de același laborator) bazat pe metoda de  
3 etalonare absolută a surselor și soluțiilor radioactive prin metoda coincidentelor 4πPC-y,  
adică metoda care utilizează instalația care conține un detector proporțional (PC) cu  
5 geometrie de detecție 4π steradiani și un detector gama.

Pentru etalonarea soluției apoase radioactive de Tc-99m au fost efectuate  
7 10 măsurări de fond. Media aritmetică a fondului a fost de 0,0883 pA.

Au fost testate camera de ionizare sub presiune în geometrie 47isr oi electrometru  
9 cu sursa test a instalației (Cs-137). În urma testului s-a stabilit că parametrii de funcționare  
a instalației sunt stabili.

11 A fost introdusă fiola cu soluția apoasă de Tc-99m în puțul camerei de ionizare cu  
ajutorul suportului cilindric. Au fost înregistrate 10 valori ale curentului ( $I_{tot}$ ), a căror medie  
13 aritmetică este 176,9686 pA.

S-a calculat curentul de ionizare,  $I = I_{tot} - I_F$  exprimat în pA. Fiind un radionuclid de  
15 viață scurtă s-a efectuat corecția de dezintegrare pe timpul măsurării.

Activitatea soluției, exprimată în Bq, a fost calculată cu relația:

$$17 \quad A = I/K \quad (2)$$

unde K este factorul de etalonare, determinat la calibrarea instalației pentru soluții  
19 apoase de Tc-99m în fiole de sticlă de 5 ml și are valoarea de 6,694. Valoarea rezultată  
pentru soluția apoasă de Tc-99m este de 226 MBq.

21 S-a extras aproximativ 0,265 ml din soluția etalonată pentru a obține o soluție apoasă  
de Tc-99m cu activitatea de 20 MBq. S-a adăgat apă distilată până la 5 ml, după care s-a  
23 omogenizat soluția care a fost folosită la contaminarea controlată a straturilor de carbon  
activ.

25 Au fost contaminate straturile de carbon activ cu soluția, a cărei preparare a fost  
descrișă mai sus, după cum urmează:

- 27 - stratul III cu 0,1217 g din soluție;
- stratul II cu 0,2096 g din soluție;
- 29 - stratul I cu 0,5496 g din soluție.

Pentru cântărire a fost folosită Semi-microbalanța METTLER M5, METTLER  
31 TOLEDO MXS/M.

Activitatea totală a sursei etalon volumice pentru calibrarea instalațiilor cu care se  
33 măsoară filtrele pentru prelevare efluenți gazoși radioactivi a fost de  $(4,58 \pm 0,07)$  MBq la  
data de 07.03.2019.

35 Validarea invenției folosind programe care au la bază simularea Monte Carlo

Metoda de construire a geometriei filtrului de prelevare efluenți gazoși radioactivi  
37 utilizând tehnica de proiectare și imprimare 3D și de simulare a unei distribuții spațiale  
neomogenă (mai exact având o distribuție spațială echivalentă cu o funcție logaritmică de  
39 la intrarea în filtru până la ieșirea din volumul activ al filtrului) a unui radionuclid a fost  
validată prin măsurarea etalonului cu un spectrometru gama de înaltă rezoluție cu detector  
41 Ge hiperpur și calcularea eficacității de detecție experimental, folosind valoarea activității  
sursei determinată în urma etalonării (corectată cu timpul de dezintegrare), comparată cu  
43 eficacitatea de detecție obținută prin folosirea unui program de calcul care are la bază  
simularea Monte Carlo.

45 Trasabilitatea a fost asigurată prin prepararea gravimetrică (utilizând aparate de  
cântărit cu precizie ridicată cu certificate de etalonare valabile) cu soluție radioactivă  
47 etalonată cu etalonul primar al României. Programul GESPECOR de modelări Monte Carlo  
a fost validat în laborator prin comparații ale unor calibrări cu alte surse etalon certificate în

# RO 134918 B1

gemetrii și radionuclizi diferiți și calibrări cu programul GESPECOR. Deasemenea, programul GESPECOR a fost validat internațional printr-un număr foarte mare de intercomparări efectuate de organisme internaționale care activează în domeniul metrologiei radionuclizilor (de exemplu, BIPM-EURAMET). Având în vedere cele relatate anterior, considerăm că folosirea programului GESPECOR pentru validarea metodei de producere a sursei etalon utilizând tehnica imprimării 3D și contaminarea diferențiată stratificată, are un nivel foarte ridicat de încredere.

Sistemul spectrometric gama de înaltă rezoluție de Ge hiperpur folosit la validarea metodei de producere a sursei etalon volumice cu distribuție spațială a activității radionuclidice neomogenă are următoarele părți componente:

- detector semiconductor de germaniu hiper-pur (Ge HP), producător Canberra SUA, Model GC 2520, cu preamplificator încorporat tip iPA-SL;
- amplificator model 2024, producător Canberra;
- sursă de înaltă tensiune model 2861A (0-5kV), producător Canberra;
- analizor multicanal model MP2-1E - Multiport II, Ethernet USB, producător Canberra;
- ecran de plumb cu grosimea de 50 mm și folie de cupru cu grosimea de 3 mm;
- software cu licență: Canberra S502C - GEME 2000 Basic (cu USB GENIE software key).

Pentru calculul eficacității de detecție prin metode de simulare Monte Carlo a fost utilizat programul GESPECOR, versiunea 4.2.

Din motive de protecție a personalului, pentru proiectul pilot de producere a sursei volumice cu distribuție spațială neomogenă a fost folosit, pentru contaminarea cărbunelui activ radionuclidul Tc-99m, deoarece acesta are linia energetică principală de emisie gama la o energie relativ mică (140,511 keV), timpul de înjumătățire scurt, iar soluția radioactivă poate fi achiziționată relativ ușor. Un alt motiv pentru care a fost folosit acest radionuclid este acela că pentru emisia radiației gama de la energia de 140,511 keV nu sunt necesare efectuarea corecțiilor de sumare prin coincidențe.

Pentru validarea acestei metode au fost achiziționate spectre la următoarele distanțe detector-sursă etalon: 200 mm, 300 mm, 400 mm și 500 mm. Au fost efectuate măsurări la diferite distanțe detector-sursă, deoarece o dată cu creșterea acestei distanțe, erorile de măsurare datorate matricei radioactive neomogene și de geometrie devin neglijabile.

În prima etapă au fost calculate eficacitățile de detecție pentru cele șase geometrii de măsurare. Formula de calcul a eficacității ( $\epsilon$ ) este:

$$\epsilon = \frac{(A - A_F) \cdot F_D}{t \cdot s \cdot \Lambda}$$

unde  $\Lambda$  este aria netă a peakului de la 140,511 keV,  $A_F$  este aria netă a aceluiași peak din spectrul de fond al instalației (dacă este cazul),  $t$  timpul de achiziție al spectrului (aceiași pentru etalon și fond),  $F_D$  factorul de corecție pentru dezintegrarea radionuclidului în timpul achiziției,  $s$  este probabilitatea de emisie a radiației gama considerate, iar  $\Lambda$  este activitatea sursei etalon la momentul începerii măsurării. Rezultatele obținute în urma calibrării în eficacitate folosind sursa etalon produsă sunt prezentate în Tabelul 1.

# RO 134918 B1

1 Eficacitățile de detecție determinate cu sursa etalon produsă în acest brevet

Tabelul 1

Nr. crt.	Distanță etalon-detector (cm)	Radionuclid	Energie (keV)	Eficacitate de detecție, $\epsilon$	Incertitudine eficacitate de detecție, $u$
1	50	Tc-99m	140,511	$3,50 \times 10^{-4}$	0,03
2	40	Tc-99m	140,511	$5,36 \times 10^{-4}$	0,05
3	30	Tc-99m	140,511	$9,10 \times 10^{-4}$	0,08
4	20	Tc-99m	140,511	$18,27 \times 10^{-4}$	0,17

11 Pentru validarea metodei de producere de surse radioactive etalon cu geometrii volumice complexe de tip filtru de prelevare efluenți gazoși radioactivi a fost utilizat  
13 programul GESPECOR, versiunea 4.2 care are la bază simulările de tip Monte Carlo. Rezultatele simulărilor efectuate pentru cele patru distanțe detector - etalon la energia de  
15 emisie gama de 140,511 keV a Tc-99m cu acest program sunt prezentate în Tabelul 2.

17 Abaterea,  $E$ , dintre valoarea eficacității de detecție obținută cu sursa etalon produsă și programul GESPECOR de simulări Monte Carlo este calculată cu ecuația:

$$19 E = \frac{Ef_{SursaEtalon} - Ef_{GESPECOR}}{Ef_{GESPECOR}} * 100$$

21 Începând cu distanța detector - sursă volumică etalon de 30 cm abaterile datorate neomogenității matricei radioactive sunt neglijabile. Diferența dintre eficacitățile obținute  
23 experimental cu cele teoretice pentru măsurările a căror distanțe detector - sursă sunt de 30 cm, 40 cm și 50 cm este foarte mică, practic țin de natura probabilistică a fenomenului de  
25 radioactivitate.

27 Abaterea dintre eficacitățile de detecție determinate cu sursa etalon și programul GESPECOR

Tabelul 2

Nr. crt.	Distanță etalon-detector (cm)	Eficacitate de detecție determinată cu etalonul, $\epsilon$	Incertitudine eficacitate de detecție determinată cu etalonul, $u$	Eficacitate de detecție determinată cu GESPECOR, $\epsilon$	Incertitudine eficacitate de detecție determinată cu GESPECOR, $u$	Eroare, %
1	50	$3,50 \times 10^{-4}$	$0,03 \times 10^{-4}$	$3,46 \times 10^{-4}$	$0,05 \times 10^{-4}$	-0,35
2	40	$5,36 \times 10^{-4}$	$0,05 \times 10^{-4}$	$5,26 \times 10^{-4}$	$0,07 \times 10^{-4}$	0,16
3	30	$9,10 \times 10^{-4}$	$0,08 \times 10^{-4}$	$8,91 \times 10^{-4}$	$0,09 \times 10^{-4}$	0,17
4	20	$18,27 \times 10^{-4}$	$0,17 \times 10^{-4}$	$18,26 \times 10^{-4}$	$0,19 \times 10^{-4}$	-2,22

39 În concluzie, se vede foarte clar că rezultatele obținute experimental sunt în perfectă  
41 concordanță cu cele teoretice (obținute în urma unor simulări de tip Monte Carlo).

Noutatea invenției

43 Cu ajutorul metodelor de imprimare 3D, în conformitate cu invenția prezentată, impedimente tehnologice, legate de geometria sursei și a matricii radioactive neomogene,  
45 sunt depășite, crescând precizia și reducând incertitudinile măsurărilor, menținându-se totodată și lanțul de trasabilitate metrologică. Deasemenea, până în acest moment în  
47 România nu a mai fost validată o metodă de producere a surselor etalon prin simulări de tip Monte Carlo.



# RO 134918 B1

## Revendicare

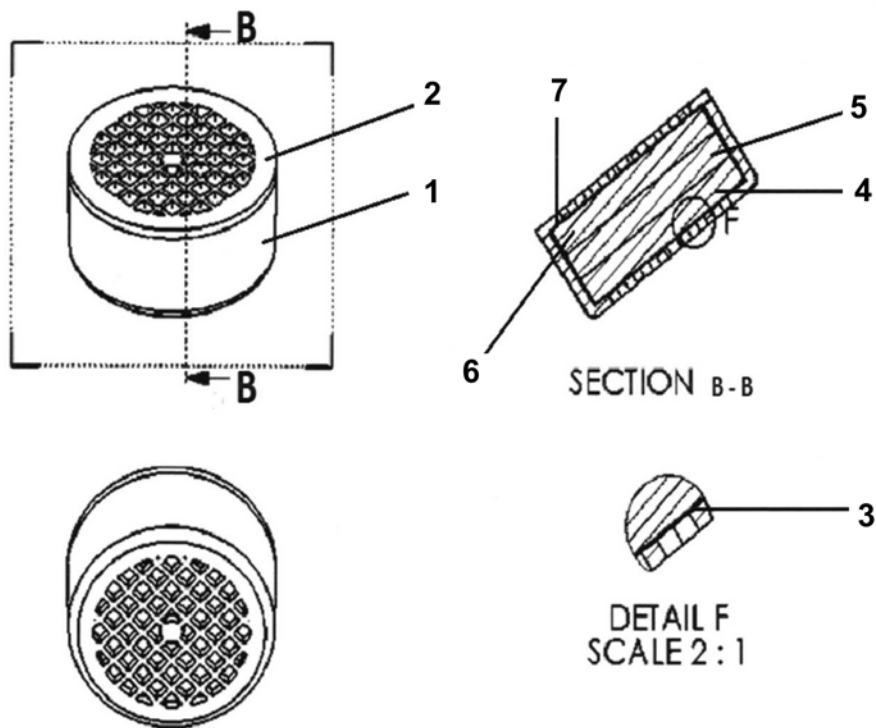
	1
Metodă de producere a unor surse radioactive etalon <b>caracterizată prin aceea că</b>	3
constă în realizarea următoarelor etape: proiectarea, imprimarea carcasei sursei etalon prin	
utilizarea tehnicilor de imprimare 3 D, crearea sursei inactive compusă dintr-un corp (1) și	5
un capac (2) al unei carcase din plastic, un filtru (3) de retenție aerosoli plasat pe fundul	
carcasei, grafit activ de retenție a radionuclidului în formă gazoasă și un filtru (7) de retenție	7
aerosoli plasat între grafitul activ și capacul (2) carcasei și simularea matricei neomogene	
prin contaminare radioactivă stratificată diferențiată a grafitului activ cu soluția radioactivă	9
de interes, primul strat de grafit activ (4) - nivel de contaminare de 62,57% din totalul soluției	
etalon, al doilea strat de grafit activ (5) - nivel de contaminare de 23,57% din totalul soluției	11
etalon și un al treilea strat de grafit activ (6) - nivel de contaminare de 13,86% din totalul	
soluției etalon.	13

(51) Int.Cl.

**G21G 4/06** (2006.01);

**G21H 5/00** (2006.01);

**B29C 64/171** (2017.01)



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 303/2022