

**MINISTERUL SĂNĂTĂȚII AL REPUBLICII MOLDOVA  
CENTRUL NAȚIONAL DE SĂNĂTATE PUBLICĂ  
LABORATORUL ȘTIINȚIFIC IGIENA RADIAȚIILOR**

**METODOLOGIA MONITORIZĂRII SURSELOR NATURALE DE RADON  
(<sup>222</sup>Rn) ȘI EVALUAREA RISCULUI RADIOLOGIC PENTRU POPULAȚIA  
EXPUSĂ**

**Indicații metodice**

**Chișinău, 2014**

Indicațiile metodice au fost elaborate de către colaboratorii Laboratorului Științific Igiena Radiațiilor al Centrului Național de Sănătate Publică al Ministerului Sănătății al Republicii Moldova

#### **Autori:**

Vîrlan Serghei, cerc. șt. st., doctorand  
Corețchi Liuba, dr. hab. biol., conf. cercet.  
Bahnarel Ion, dr. hab. med., profesor universitar  
Ursulean Ion, șef Centru Radioprotecție  
Roșca Andrei, dr. hab. med., profesor universitar  
Apostol Ion, cercetător științific

#### **Referenți:**

**Gr. FRIPTULEAC, dr. hab. med., profesor universitar**  
**V. BAIRAC, dr. hab. med., profesor universitar**

Indicațiile metodice se referă la investigații radiometrice și stabilesc metodologia de determinare a concentrațiilor de radon și descendenților acestuia în încăperi, sol și apă. Sunt descrise metodele de calculare a dozelor *gama* externe și interne și a riscului radiologic pentru populația expusă.

Indicațiile metodice sunt destinate instituțiilor și organizațiilor științifico-practice în domeniul supravegherii sănătății publice pentru evaluarea nivelului de expunere a populației și a expușilor profesional la radiații ionizante.

**Examinat și aprobat la Consiliul de Experți al Ministerului Sănătății din Republica Moldova. Proces verbal nr.    din    2014.**

## CUPRINS

	Pag.
INTRODUCERE.....	4
1. Expunerea populației la sursele naturale de radiații ionizante.....	6
2. Echipamente, tehnici și proceduri de măsurători ale radonului.....	10
3. Cerințe de monitorizare radiologică a personalului expus profesional și a locurilor de muncă.....	11
3.1. Măsurarea debitelor dozei provenite de la expunerea externă.....	11
3.2. Determinarea concentrației de radon prin metode active și pasive....	11
3.3. Metode active de determinare a concentrației de radon. Radonometrul RTM 1688-2.....	12
3.4. Metode pasive de determinare a concentrațiilor de radon.....	16
3.5. Determinarea fluxului de $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq}/\text{m}^2\text{s}$ ).....	19
4. Măsurarea concentrației descendenților radonului.....	20
4.1. Măsurarea concentrațiilor, numărului descendenților radonului.....	22
5. Estimarea dozelor efective pentru persoanele din populație și din grupurile critice.....	23
5.1. Structura dozei efective.....	23
5.2. Determinarea dozei efective generată de fondul local.....	24
5.3. Doza efectivă externă $E_{\gamma}$ (calea terestră).....	25
5.4. Doza efectivă internă.....	25
6. Metodologia evaluării riscului radiologic.....	27
6.1. Calculul riscului.....	28
6.2. Nivelurile admise ale concentrației medii echivalente de echilibru a radonului în aerul încăperilor.....	30
6.3. Evaluarea riscului radiologic asupra sănătății populației prin utilizarea cimenturilor cu cenușă la prepararea betoanelor pentru construcția de locuințe...	31
BIBLIOGRAFIE.....	40
ANEXE.....	42

**Anexă**  
**La hotărârea medicului-șef sanitar de**  
**Stat al Republicii Moldova**  
**nr.     din     a.4**

**INTRODUCERE**

Actualmente sunt identificați peste 20 de izotopi radioactivi ai radonului, dintre care cei mai importanți sunt:  $^{222}\text{Rn}$  sau radonul,  $^{220}\text{Rn}$ , cunoscut sub denumirea de thoron și izotopul  $^{219}\text{Rn}$ , numit și actinon. Ei apar ca produși intermediari în familiile radioactive naturale ale  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  și  $^{235}\text{U}$ .

Fiind un gaz nobil și neparticipând la reacții chimice, radonul este prezent în roci, soluri, apele superficiale și de adâncime, se degajă din materialele solide sau lichide, fiind prezent în concentrații foarte diferite atât în aer, în aerul peșterilor și a minelor, în atmosfera exterioară, cât și în interiorul locuințelor și în gazele naturale. În multe ape și gaze naturale radonul apare, chiar fără prezența radiului părinte, datorită procesului de difuzie sau transport, prin crăpăturile și fisurile rocilor, dizolvându-se în apele subterane. În atmosferă ajunge difuzând spre suprafață din sol, această exhalatie formând fluxul de radon al scoarței terestre [39].

Există cel puțin trei aspecte diferite de mare importanță vizând studiile legate de radon și de răspândirea și migrarea sa [21; 33].

Primul aspect este legat de determinarea radonului și a radiului din apele subterane (fântâni, ape minerale, geotermale, de zăcământ etc.). Pe lângă necesitatea cunoașterii dozei de radiații, primite de populația umană prin folosirea acestor surse de apă (ingestie, tratament balnear, inhalarea radonului emanat, activități specifice subacvatice) evaluarea conținutului de radon din apele subterane este de mare interes în studiile de igiena radiațiilor [23, 41].

Al doilea aspect este legat de potențialul de radon și exhalatia sau fluxul de radon, provenit de la suprafața pământului. În acest context sunt foarte importante eventualele anomalii, care pot pune în evidență fie aglomerări de substanțe radioactive, fie prezența unor falii tectonice. În ultimul timp se ia în considerare și se experimentează posibilitatea prevederii cutremurelor de

pământ cu epicentre localizate pe baza determinărilor variațiilor temporale ale fluxului de radon și a concentrației de radon din sol și din apele de adâncime [30].

Al treilea aspect, foarte important, este condiționat de radonul din interiorul locuințelor. Dacă în aerul exterior concentrația radonului este în medie 4-8 Bq/m<sup>3</sup>, depinzând foarte mult de condițiile geologice și meteorologice, în interiorul locuințelor, prin acumulare, el produce valori de 20-80 Bq/m<sup>3</sup> ajungând, în unele cazuri, până la 2000-4000 Bq/m<sup>3</sup> [1, 17, 18,19, 20].

Valori mărite se pot constata și în cazul lucrărilor în subteran, minelor de uraniu și thoriu, în special, în industria producătoare de combustibil nuclear, industria materialelor fosfatice etc. Studiile, efectuate pe diferite grupuri de mineri, au pus în evidență o corelație sigură dintre concentrația de radon și riscul de cancer pulmonar [5, 4]. Astăzi sunt în curs de desfășurare peste zece studii epidemiologice (USA, Canada, Anglia, Suedia, China, Japonia, Cehia, etc.), precum și un Proiect European Comun (Franța, Belgia, Germania, Luxemburg), desfășurat în regiunea Ardeni-Eifel, care caută să evidențieze legătura dintre riscul de cancer pulmonar și concentrația de radon, chiar și în cazul unor concentrații inferioare, apropiate de cele normale (40-300 Bq/m<sup>3</sup>) [29].

Importanța măsurărilor radonului de interior a generat dezvoltarea diferitelor modele teoretice și efectuate numeroase cercetări experimentale privind migrarea și acumularea radonului în locuințe [28, 31, 32].

Sursele principale ale radonului din locuințe sunt în ordinea importanței: exhalarea radonului din sol, emanarea din materialele de construcție componente ale locuinței, apa folosită pentru spălat și gătit precum și gazul utilizat în bucătării sau în sobe pentru încălzit. În multe țări dezvoltate astăzi există valori recomandate, unele chiar și de intervenție (spre exemplu, 200 Bq/m<sup>3</sup> în Anglia), la depășirea cărora sunt necesare acțiuni suplimentare de reducere a nivelului de radon în locuințe [39].

Dat fiind faptul că teritoriul Republicii Moldova a fost supus influenței consecințelor accidentului nuclear de la Cernobîl, specificul amplasării tectonice cât și utilizarea în construcție a materialelor importate indică asupra necesității monitorizării continue a radioactivității naturale [2, 16, 3].

## 1. EXPUNEREA POPULAȚIEI LA SURSE NATURALE DE RADIAȚII IONIZANTE

Expunerea la radiații a populației din întreaga lume se datorează în cea mai mare parte radioactivității naturale (radon, iradierea externă de origine telurică și cosmică, ingestia de alimente și apă). Este necesar să se estimeze eficace expunerea populației pentru a putea studia legătura între indicatorii de sănătate. Distribuția expunerilor trebuie să fie, de asemenea, studiată la diferite niveluri geografice (regiune, zonă de ocupare a forței de muncă). Acest lucru este o actualizare a estimării expunerii populației Republicii Moldova la radioactivitatea naturală. Estimarea indicatorilor de expunere la radonul rezidențial (de interior), pe baza concentrațiilor măsurate, adaptate pentru caracteristicile sezoniere și de habitat (variație în dependență de regiuni/Bq/m<sup>3</sup>). Estimarea indicatorilor expunerii la radiații *gamma* de origine telurică, bazate pe dozele măsurate, trebuie ajustate la tipul de habitat (cu variația respectivă exprimată în nSv/h). Expunerea la radiația cosmică este evaluată de la altitudine și ponderată la densitatea populației, astfel doza anuală efectivă derivă în urma acestor trei componente.

Studii de valoare privind expunerea populației la sursele naturale, îndeosebi la radon, se efectuează în India, Egipt, Brazilia, Argentina, Canada, SUA, Japonia, Iran, Pakistan, Serbia, Norvegia, Polonia, Franța, Germania, Spania, Italia, Cehia, Turcia, Grecia, Ungaria și România.

Studiul realizat în Complexul Fen (Norvegia), care este o bogată zonă în radionuclizi naturali, în special, în toriu (<sup>232</sup>Th), a demonstrat că în locurile miniere (TENORM) și în cele neperturbate împădurite (NORM), toate cu acces public, concentrațiile de activitate în sol ale <sup>232</sup>Th (3,280 – 8,395 Bq/kg) au fost semnificativ mai mari decât valorile internaționale și cele medii norvegiene depășind nivelul de screening norvegian (1000 Bq/kg) a deșeurilor radioactive, în timp ce rادیu (<sup>226</sup>Ra) a fost prezent la niveluri ușor crescute – 89-171 Bq/kg. Debitul dozei *gamma* terestră a fost ridicat, variind între 2,6-4,4 μGy/h. Anchetele de lungă durată a concentrațiilor de thoron (<sup>220</sup>Rn) și de radon (<sup>222</sup>Rn) în aer, au ajuns respectiv la 1786 și 82 Bq/m<sup>3</sup>, fiind confirmată variația sezonieră în aerul din exterior a fondului *gamma* și a concentrațiilor de <sup>222</sup>Rn. Prin analize corelaționale a fost depistată o relație liniară între nivelurile de radiații din aer și abundența <sup>232</sup>Th în sol. În baza tuturor rezultatelor obținute în urma măsurătorilor efectuate, această zonă norvegiană a fost considerată ca zonă cu concentrații sporite a radiațiilor ionizante naturale (ENRA) [35].

Conform unui studiu efectuat în Brazilia pericolul radioactivității naturale pentru sănătate parvenit de la granitul care căptușește pereții și podeaua într-o odaie de locuit tipică, a fost evaluat

prin metode indirecte pentru a prezice expunerea externă la razele *gama* și concentrațiile de radon. Expunerea la radiațiile *gama* a fost estimată prin metoda de simulare Monte Carlo și validată de măsurători *in situ* folosindu-se un spectrometru cu detector de NaI. Activitatea concentrațiilor  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , și  $^{40}\text{K}$  într-o serie largă de mostre comerciale de granit din Brazilia, măsurate prin utilizarea spectrometriei *gama*, a constituit respectiv 4,5-450, 4,9-160 și 190-2029 Bq/kg. Valorile maxime ale debitului extern de doză *gama* de la pardoseala și pereții acoperiți cu granit, într-o locație tipică, cu suprafața de 5,0 m × 4,0 m și înălțimea de 2,8 m, au constituit 120 nGy/h, ceea ce este comparabil cu expunerea medie la nivel mondial la radiații ionizante terestre externe de 80 nGy/h, datorate surselor naturale, care au fost propuse de Comitetul Științific al Națiunilor Unite.

Concentrațiile de radon din cameră au fost estimate printr-o ecuație simplă de echilibru de expirație și ratele calculate pentru valorile măsurate ale concentrațiilor de  $^{226}\text{Ra}$  și a proprietăților materialelor. Rezultatele au arătat că concentrațiile de radon în camera ventilată în mod corespunzător (0,5 h) va fi mai mică de 100 Bq/m<sup>3</sup>, valoare recomandată ca nivel de referință de către Organizația Mondială a Sănătății [14].

Radonul și produșii săi de dezintegrare în atmosferă sunt contribuitorii cei mai importanți privind expunerea omului la sursele naturale de radiații ionizante. În Polonia, de exemplu, doza totală anuală efectivă internă de radon constituie 1,36 mSv. În ultimele două decenii au fost reevaluate de trei ori concentrațiile de radon în aerul din interiorul clădirilor de către Institutul Nofer de Medicina Muncii, din or. Łódź. Măsurătorile au fost efectuate la parterul fiecărei clădiri. Concentrația medie anuală de radon a constituit 89 Bq/m<sup>3</sup> în 1998/1999; 75 Bq/m<sup>3</sup> în 2008/2009 și 52 Bq/m<sup>3</sup> în 2005. Presupunând că un om petrece acasă aproximativ 5000 de ore pe an cu ajutorul factorilor respectivi de conversie, s-a constatat că doza de radon/locuitor a variat între 0,9 și 1,1 mSv, ceea ce prezintă valori sub doza medie pentru populația poloneză [38].

În una din zonele cu risc sporit de expunere la radiații naturale, orașul Ramsar (Iran), a cărei radioactivitate naturală se datorează seriei naturale a  $^{238}\text{U}$  și a produselor sale de dezintegrare, în special  $^{226}\text{Ra}$  și  $^{220}\text{Rn}$ , aduse la suprafață cu apa izvoarelor termale, au fost măsurate concentrațiile de radon în 14 surse de apă potabilă din regiune. Rezultatele denotă că toate rezervele de apă prezentau o concentrație de radon mai mare cu 10 kBq/m<sup>3</sup>, decât nivelul de referință. Rezultatele cercetărilor au confirmat cota parte majorată a radonului la doza medie anuală de radiații a publicului, în baza consumului de apă (ingerare) [34].

Studiul epidemiologic privind leucemia precoce în Danemarca (2400 cazuri, 6697 teste) a

demonstrat o slabă asociere, dar statistic semnificativă, a expunerii la radonul rezidențial și dezvoltarea leucemiei acute limfoblastică precoce la copii. Riscul relativ (RR) a constituit 1,56 (95% ÎI – 1,05-2,30) pentru o expunere cumulativă de 1000 Bq/m<sup>3</sup>/an. Pentru o durată de expunere de 10 ani a acestora, RR corespunde unei concentrații de radon de 100 Bq/m<sup>3</sup>. Există două căi de dozare care manifestă interes în cazul în care particulele *alfa* ar putea potențial deteriora celulele *stem* pentru leucemia limfoblastică acută precoce. Una dintre ele este dozarea *alfa* la nivelul măduvei osoase, iar a doua este dozarea la nivelul mucoasei bronhice în cazul depistării unei abundențe de limfocite circulante. Comparativ cu o expunere de aproximativ 1 mSv pe an din produsele naturale externe de fond, radonul și producția sa de dezintegrare contribuie cu încă 10-60% la doza echivalentă primită de măduva osoasă.

O altă cale pentru expunerea T-limfocitelor (sau B) prezintă epiteliul traheobronșic (EIB). Producția de dezintegrare ai radonului inhalat se depozitează pe suprafața relativ mică a suprafețelor căilor respiratorii, livrând o doză semnificativă celulelor bazale adiacente sau mucoasei, generând cancerul bronhopulmonar. Expunerea lor timp de 10 ani la o radioactivitate de 100 Bq/m<sup>3</sup>/an a constituit circa 1 Sv [24].

Obiectivul principal al studiului realizat în orașul Adapazari (Turcia), unul dintre cele mai importante orașe industriale ale țării, a constat în evaluarea riscurilor pentru sănătate, datorate surselor de radiații naturale. Au fost investigate sursele naturale de radiații, radiațiile externe terestre, radiațiile cosmice și expunerile prin inhalare. Rezultatele au stabilit că dozele anuale medii externe de radiații terestre au constituit respectiv 0,08 și 0,35 mSv în aerul exterior și în cel interior.

Dozele medii anuale de radiații cosmice constituiau 0,08 și 0,05 mSv. Valorile dozelor medii anuale formate în rezultatul inhalării radonului și a toronului, au constituit respectiv 1,42 și 0,19 mSv. Doza efectivă medie anuală, datorată unor surse naturale de radiații, a constituit 2,35 mSv. Riscul de dezvoltare a cancerului în rezultatul expunerii la radiații ionizante de fond pentru locuitorii din regiunea studiată a constituit  $0,9 \times 10^{-2}$ , cu durata medie de viață de 70 de ani [27].

Ca și în întreaga lume, în Republica Moldova există două surse principale de expunere a populației la radiații ionizante: radiații utilizate în scopuri medicale și radiațiile naturale, la care se adaugă radiațiile industriale. Totodată, radiațiile ionizante naturale (radiația cosmică – 14,5%; radiația *gama* – 17,1%; radiația internă (din produse alimentare) – 8,6%; radon – 48,3%; medicală – 11,2%; producție – <0,1%; descărcări – <0,1%; profesionale – <0,1%; altele – 0,3%) au cea mai mare pondere. Această distribuție maschează o variabilitate semnificativă a expunerii individuale la



radioactivitatea naturală în funcție de localizarea geografică, caracteristicile habitatului, anotimp, etc.

Principalii factori, care pot influența concentrațiile de radon în locuință, sunt: geologia adiacentă, sezonalitatea, materialele de construcție din care este construit habitatul, tipul de habitat (pavilion/imobil), locația sursei de măsurat (demisol, parter, etaj) și, într-o măsură mai mică, perioada de construcție, ventilația (sau izolarea) și tipul de încălzire. Factorii principali de variabilitate (intra- și inter-regionali) a debitelor dozei de radiații *gamma* de origine telurică sunt: geologia adiacentă, materialele de construcție, tipul de habitat și perioada de construcție.

Măsurătorile concentrației de radon pe teritoriul Republicii Moldova, la exalarea acestuia din sol și în aerul de interior, au fost efectuate de Centrul Național de Sănătate Publică (CNSP), Laboratorul Științific Igiena Radiațiilor (LȘIR), având ca obiectiv studiul distribuției radonului în locuințe și la locul de muncă [45, 44]. Principalele obiective au fost identificarea zonelor cu potențial ridicat de radon, în special, la exalarea acestuia din sol, definirea procentajului de habitate cu o concentrație mai sus de normă [12] și evidențierea factorilor, care influențează concentrațiile de radon. Măsurătorile din locuințe au fost efectuate cu radonometrul RTM 1688-2, în sala principală (de oaspeți) și în dormitor.

Populația generală primește circa 50% din doza de expunere a sa la radiații naturale prin intermediul particulelor *alfa* ( $\alpha$ ) ale  $^{222}\text{Rn}$  și a descendenților săi de dezintegrare. Studiile epidemiologice au arătat o corelație pozitivă între expunerea la  $^{222}\text{Rn}$  și cancerogeneza pulmonară. Totuși, o înțelegere a răspunsurilor de transcripție, implicate în aceste efecte, rămâne limitată. Cu toate acestea, în cadrul unor cercetări a fost utilizată tehnologia genomică pentru determinarea modificărilor subtile în expresia genelor, care pot fi reprezentate prin modificarea stării fiziologice. În general, acest profil a expresiei genelor sugerează că particulele *alfa* inhibă sinteza ADN-ului și a mitozei ulterioare, cauzând stoparea ciclului celular [43].

Radonul a fost identificat ca fiind a doua cauză de dezvoltare a cancerului bronhopulmonar, după consumul de tutun. Informațiile privind concentrațiile de radon din interior sunt necesare pentru a evalua posibilitatea apariției și gravitatea cancerului bronhopulmonar ca urmare a expunerii la radon. Dat fiind faptul că radonul din sol prin fisuri nimereste în locuințe, se poate presupune că măsurătorile concentrațiilor din sol pot fi folosite atât pentru a estima variațiile potențialului de radon din mediul interior, cât și pentru asocieri dintre interior și potențialul de radon din sol, în vederea elaborării unei hărți cu indicarea zonelor cu risc major de expunere la radon [5].

## 2. ECHIPAMENTE, TEHNICI ȘI PROCEDURI DE MĂSURĂTORI ALE RADONULUI

Întrucât în toate mediile de transfer este posibilă prezența radionuclizilor, acestea pot fi evidențiate fie direct, fie prin recoltarea de probe.

### a) Mediul terestru

- se determină doza debit de tip *gama* pe teren ( $\mu\text{Sv/h}$ )
  - dispozitive: radiometru cu sensibilitatea de  $0,01 \mu\text{Sv/h}$
- se recoltează probe de sol, sedimente, material din iaz
  - recoltarea se face cu sondă specială la adâncimi diferite pentru sol
  - probele sunt analizate pentru U, Ra, Th și alte elemente chimice în laborator
  - dispozitivele folosite: analizator multicanal cu detector de germaniu/scintilator NaI, spectrografie de emisie, absorbție atomică.

### b) Mediul aerian

- determinarea pe teren a concentrațiilor de  $^{222}\text{Rn}$  și a descendenților
  - dispozitivele folosite: detector electronic pentru determinarea  $^{222}\text{Rn}$  și a  $^{220}\text{Rn}$  prin spectrometrie alfa, radonometrul RTM 1688-2 cu sensibilitatea de  $2,68\text{-}5,56 \text{ Bq/m}^3$ .
- determinarea pe teren a fluxului de Rn
  - dispozitivele folosite: camera pentru acumularea  $^{222}\text{Rn}$ , cuplată cu radonometrul RTM 1688-2.

### c) Calea acvatică

- determinarea pe teren cu aparatul radonometrul RTM 1688-2 cu un adaptor special pentru determinarea  $^{222}\text{Rn}$  și a  $^{220}\text{Rn}$  din probele de apă; diapazonul  $1,85 \text{ Bq/l} - 9250 \text{ Bq/l}$ ;
- recoltarea a 2 l din: izvoare, fântâni, rețea hidrografică și analizarea în laborator a U = spectrofotometric cu arsenazo III și metalele grele prin absorbție atomică.

Toate dispozitivele utilizate sunt etalonate și verificate metrologic de către organizații autorizate.

Rezultatele obținute fie din investigații de teren (doza debit *gama*, concentrațiile de  $^{222}\text{Rn}$ , determinarea fluxului de  $^{222}\text{Rn}$ ) sau în urma analizării probelor în laborator pentru U,  $^{226}\text{Ra}$ , Th sunt interpretate, alcătuiindu-se hărți cu izoconținuturi în care au fost delimitate arealele contaminate pentru fiecare caracteristică radioactivă în parte.

### **3. CERINȚE DE MONITORIZARE RADIOLOGICĂ A PERSONALULUI EXPUS PROFESIONAL ȘI A LOCURILOR DE MUNCĂ**

Locurile de muncă unde există riscul expunerii la radiații sunt monitorizate prin următoarele tipuri de măsurători:

1. Măsurarea debitelor dozei provenite de la expunerea externă.
2. Măsurarea concentrației radonului.
3. Măsurarea concentrației descendenților radonului.

#### **3.1. Măsurarea debitelor dozei provenite de la expunerea externă**

Supravegherea locurilor de muncă se efectuează prin măsurarea debitului dozei echivalente, utilizându-se diverse tipuri de dozimetre verificate metrologic: Mini RAD, FH și alte aparate cu aceeași sensibilitate.

Pentru stabilirea expunerii medii din zona unui loc de muncă sau la un anumit gen de activitate se efectuează un număr suficient de măsurători în locuri reprezentative, inclusiv locurile de circulație mai intensă sau de staționare a personalului. În acest mod se efectuează măsurători la locurile de muncă de la suprafață sau din subteran, evaluându-se expunerea medie din toate zonele în care s-au desfășurat activități cu materii prime nucleare [11, 25, 10, 26].

#### **3.2. Determinarea concentrației de radon prin metode active și pasive**

Determinarea concentrației de radon se poate efectua prin intermediul metodelor active și a metodelor pasive.

##### **Metode active:**

- a) **metode globale** (*alfa* global)

Cea mai răspândită metodă globală de măsurare a concentrației radonului este metoda camerei de scintilație (flacoanele de scintilație).

b) **metode spectrometrice** (*alfa* spectrometrie)

Prin aceste metode se determină separat  $^{218}\text{Po}$  și  $^{214}\text{Po}$  din seria  $^{238}\text{U}$  și radioizotopii  $^{216}\text{Po}$  și  $^{212}\text{Po}$  din seria  $^{232}\text{Th}$ . Determinările sunt posibile numai prin utilizarea unui detector cu semiconductori de radiații – siliciul.

### 3.3. Metode active de determinare a concentrațiilor de radon. Radonometrul RTM 1688-2

Măsurătorile concentrațiilor de radon în diferite tipuri de sol se efectuează cu radonometrul de tip RTM 1688-2, cu mecanismul de pompare a aerului continuu de către pompa dispozitivului în regim de activitate de 30 minute, cu un interval de măsurare de 5-9 ore pentru un tip de sol (Figura 1).

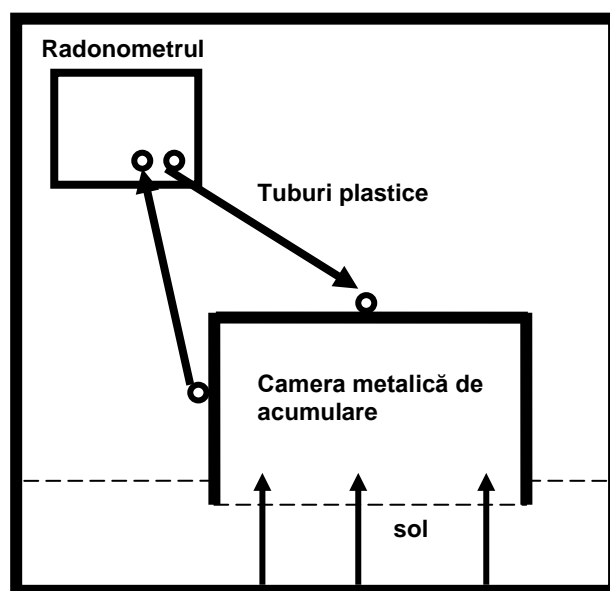


Fig. 1. Schema sistemului de măsurare a concentrației de radon în sol.

Concentrația radonului ( $^{222}\text{Rn}$ ), măsurată de către dispozitiv se calculează prin analizarea cantitativă a produselor sale de dezintegrare de viață scurtă în camera de ionizare.

Imediat după dezintegrare nucleul rezultat – poloniul  $^{218}\text{Po}$ , pentru o perioadă scurtă de timp, capătă o sarcină pozitivă, deoarece unii dintre electroni sunt eliberați în timpul de emisie a particulelor *alfa*. Acești ioni, încărcăți pozitiv, sub influența câmpului electric se acumulează pe

suprafața unui senzor cu semiconductori. Numărul de ioni colectați  $^{218}\text{Po}$  este proporțional cu concentrația de radon în aerul din interiorul camerei de măsurare. Cu toate acestea,  $^{218}\text{Po}$  este, de asemenea, un izotop instabil, cu un timp de înjumătățire de 3,5 minute, iar senzorul poate înregistra doar aproximativ jumătate din particulele emise în urma dezintegrării, ce sunt îndreptate spre suprafața senzorului. Relația dintre dezintegrările înregistrate de radon și  $^{218}\text{Po}$  poate fi determinată după aproximativ 5 cicluri de semiînjumătățire, adică, după aproximativ 15 minute, care este un interval minim de măsurare a concentrației de radon.

Lanțul dezintegrării este continuat de plumb  $^{214}\text{Pb}$ , bismut  $^{214}\text{Bi}$  (*beta* particule) și poloniu  $^{214}\text{Po}$  (particule *alfa*). Aceasta înseamnă că fiecare dezintegrare a poloniului  $^{218}\text{Po}$  provoacă în continuare încă o dezintegrare detectabilă de poloniu  $^{214}\text{Po}$ , care apare cu o întârziere de aproximativ 3 ore, determinată de perioada de semi-înjumătățire a acestor radionuclizi. Energia eliberată în rezultatul dezintegrării  $^{218}\text{Po}$  și  $^{214}\text{Po}$  este diferită, ceea ce permite analizarea acestor nuclizi prin intermediul *alfa* - spectroscopiei.

Radonometrul RTM 1688-2 are două regimuri de măsurare a concentrației de radon – **încet (Slow)**, care ia în calcul nu doar dezintegrarea  $^{218}\text{Po}$ , ci și a  $^{214}\text{Po}$ , și **rapid (Fast)** care ia în calcul doar dezintegrarea  $^{218}\text{Po}$ . Avantajul modului de înregistrare rapid este o reflectare rapidă a fluctuațiilor concentrației, în timp ce modul lent are o sensibilitate de 2 ori mai mare, care, la rândul său, reduce marja de eroare statistică de măsurare, în funcție de numărul de dezintegrări detectate. Pentru măsurarea concentrației de radon la diferite tipuri de rocă se aplică același regim de activitate a dispozitivului – 30 de minute cu modul de pompare continuă a aerului de către pompa dispozitivului.

Modul de efectuare a măsurătorilor concentrației de radon constă din înlăturarea atât a vegetațiilor, cât și a diferitor bariere posibile, ce ar putea influența exhalarea radonului din sol și acumularea lui în camera metalică. Camera metalică este ermetică, făcându-se conexiunea cu dispozitivul prin intermediul a două tuburi, de (intrare și de ieșire) pentru a crea un circuit închis. Astfel, dispozitivul pompează aerul cu conținutul de radon exalat din sol, care se acumulează în camera metalică. Pentru o asigurare mai bună a etanșeității camerei metalice de la suprafața tipului de rocă cercetat, pe perimetrul acestei camere se sapă un șanț astfel ca marginea camerei să fie în sol (Figura 2).



Fig. 2. Efectuarea măsurătorilor concentrațiilor de radon.

Operatorul trebuie să aleagă modul de determinare a concentrației, bazate pe obiectivele și condițiile de studiu. Descompunerea radioactivă este un proces statistic, aceasta însemnând că, chiar dacă concentrația de radon va fi constantă în timp, numărul de dezintegrări detectate  $N$  va varia. Valoarea  $N$  va varia în intervalul apropiat de valoarea medie într-o serie de măsurători. Cu un număr infinit de măsurători în serie, se poate obține valoarea medie "adevărată" a numărului  $N$ . În același timp, la o singură măsurătoare, valoarea  $N$  va fi fie mai sus sau fie mai jos de valoarea "adevărată". Abaterea observată este descrisă prin termenul "marja de eroare statistică". Astfel, rezultatul oricărei măsurători, pe lângă valoarea concentrației de radon, ar trebui să includă o descriere a marjei de eroare în intervalul dat de încredere. Intervalele de încredere, utilizate în mod obișnuit – 1, 2 sau 3 sigma ( $\sigma$ ), corespund fiabilității de 68,3 %; 95,45 % și 99,73 %.

#### Calculul marjei de eroare

Marja de eroare relativă statistică  $E$  pentru un interval de încredere, dat de  $k$ -sigma, poate fi definită prin numărul de impulsuri  $N$ , stabilit cu utilizarea formulei:

$$E [ \% ] = 100\% \cdot k \cdot \frac{\sqrt{N}}{N}$$

Evident, că cu cât numărul de impulsuri înregistrate va fi mai mare, cu atât mai mare va fi precizia măsurătorii. Pe de altă parte, poate fi pusă întrebarea: câte impulsuri trebuie să fie înregistrate pentru o marjă de eroare concretă? Numărul de impulsuri înregistrate este în funcție de doi factori – sensibilitatea și durata perioadei de măsurare (intervalul de măsurare).

Raportul dintre concentrația de radon măsurată  $C_{Rn}$  și numărul de impulsuri  $N$  în intervalul de măsurare  $T$  rezultă din următoarea formulă:

$$C_{Rn} = \frac{N}{T \cdot S},$$

unde,  $S$  – sensibilitatea dispozitivului [impulsuri/(min·kBq/m<sup>3</sup>)].

Sensibilitatea dispozitivului în regim Slow este de 2 ori mai mare în raport cu cel Fast, de aceea în cazul în care intervalul de măsurare depășește 2 ore este preferabil regimul Slow. Pentru regimul Slow sensibilitatea dispozitivului constituie 8 impulsuri/(min·kBq/m<sup>3</sup>), iar pentru regimul Fast – 4. O marjă de eroare de 10% la  $1\sigma$  necesită 100 impulsuri ( $100\% \cdot 1 \cdot \sqrt{(100) / 100} = 10\%$ ).

La utilizarea regimului Fast intervalul de măsurare  $T$  se stabilește în felul următor:

$$T(\text{fast}) = \frac{N}{C_{Rn} \cdot S} = \frac{100 \text{imp}}{0.2 \text{ kBq} / \text{m}^3 \cdot 4 \text{imp} / (\text{min} \cdot \text{ kBq} / \text{m}^3)} = 125 \text{ min}$$

Intervalul rezultat depășește 2 ore, de aceea în acest caz trecerea la regimul Slow se va solda cu o exactitate mai mare la măsurare. Se stabilește intervalul de măsurare 120 min și se află marja de eroare statistică în regimul Slow:

$$N(\text{slow}) = C_{Rn} \cdot T \cdot S = 0.2 \text{ kBq} / \text{m}^3 \cdot 120 \text{ min} \cdot 8 \text{imp} / (\text{min} \cdot \text{Bq} / \text{m}^3) = 192 \text{ impulsuri}$$

$$E(1\sigma) = 100 \% \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{N}}{N} = 100 \% \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{192 \text{imp}}}{192 \text{imp}} = 7.22 \%$$

### Pragul de detectare

Termenul de "pragul de detectare" semnifică concentrația minimă de radon, care generează măsurători diferite de 0 la radonometru într-un anumit interval de măsurare. Ținând seama de caracterul statistic al dezintegrării radioactive, calculele trebuie făcute, luând în vedere intervalul adecvat de încredere.

Important este faptul că, în cazul, în care intervalul de măsurare este prea mic, iar concentrația de radon este neglijabilă, este de așteptat ca numărul de impulsuri înregistrate să fie mai mic sau egal cu 1.

La valori scăzute ale concentrației de radon, în cazul, în care numărul de impulsuri pe intervalul măsurătorii este mai mic decât 16, pentru determinarea numărului necesar de impulsuri în scopul depășirii pragului de detecție, se utilizează distribuția Poisson:

Intervalul de încredere (%)	Numărul minim necesar de impulsuri N la pragul de detecție
63,2	1
95	3
99,75	6

Radonometrul RTM 1688-2, de asemenea, se utilizează și pentru măsurarea radonului în apă (Figura 3).



Fig. 3. Măsurarea radonului în apă cu ajutorul Radonometrului RTM 1688-2.

### 3.4. Metode pasive de determinare a concentrațiilor de radon.

- *Determinarea concentrației de  $^{222}\text{Rn}$  prin metoda urmei gravate*

În timpul executării măsurătorilor de  $^{222}\text{Rn}$  este necesar să se cunoască condițiile meteorologice, respectiv: presiunea barometrică, precipitațiile, temperatura, viteza vântului, perioada zilei când se fac măsurătorile și gradul de acoperire cu nori.

Radonul poate fi determinat printr-o monitorizare pasivă care măsoară concentrațiile de-a



lungul câtorva săptămâni sau luni.

a) **metodologia de activitate cu detectoarele de urme:** acestea au avantajul că nu sunt sensibile la radiații *gama* și electroni, fiind, deci, frecvent folosite numai pentru cercetarea particulelor *alfa* sau ionilor grei. Cele mai folosite materiale ca detectoare de urme, în studiile de radon efectuate, sunt:

- nitratul de celuloză: LR 115;
- policarbonatul: Makrofol, LEXAN;
- alildiglicolul: CR 39 (Figura 4).



Detectorul CR 39

Fig. 4. Monitorizarea radonului cu detectorul CR39 [13].

În sol, se execută mici gropi cu dimensiunile de 20/20/15 cm în care se introduc „detectoare de urme” (Figura 5).

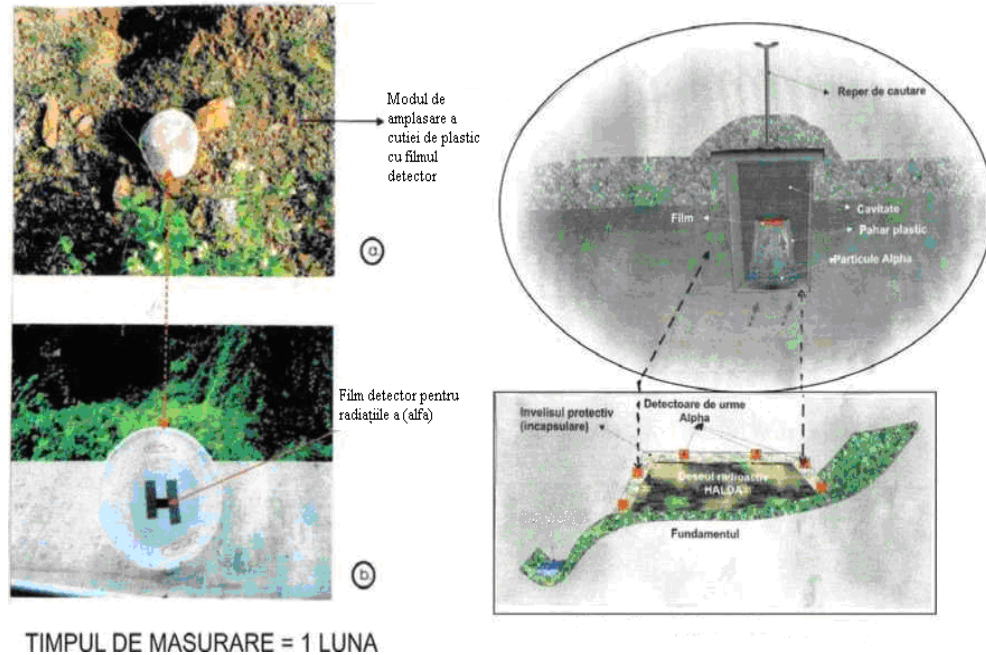


Fig. 5. Sistemul de monitorizare cu „detectoare de urme” [13].

Acestea prezintă niște cutii din plastic cu diametrul de 14 cm și înălțimea de 6 cm, iar pe fundul lor se atașează detectorul LR 115 cu film sensibil la radiații *alfa* (Figura 5). Cutia este așezată cu gura în jos, astfel încât particulele *alfa* ale descendenților radonului, respectiv  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  prin captare să producă un „impact” asupra detectorului. După 1-2 luni de la instalare, acestea sunt scoase (Figura 6).

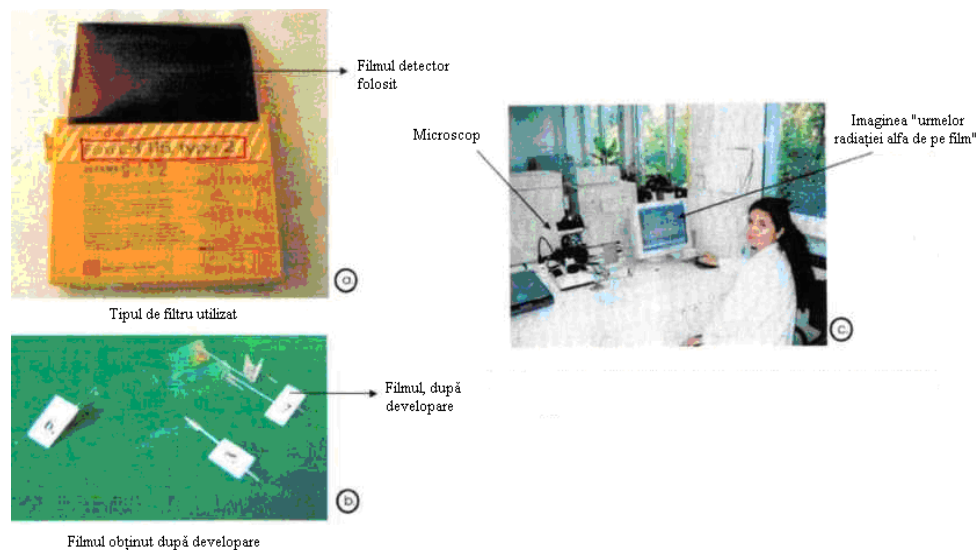


Fig. 6. Dispozitivul (microscop-calculator) pentru investigarea „urmelor radiației *alfa*” de pe filmul „detector”.

Analizarea detectoarelor se efectuează prin numărarea individuală sau descifrarea automată (sub microscop) a urmelor produse de radiațiile *alfa* (mici găuri care devin vizibile la microscop), după ce în prealabil aceste detectoare au fost „developate”.

Procesul de developare este de două tipuri: developare chimică și electrochimică. Developarea se face cu o soluție de KOH 30% într-o baie termostată la 70°C, timp de 2 ore. Influența chimică sau electrochimică se bazează pe acțiunea agentului chimic asupra detectorului, viteza de corodare fiind mult mărită în locurile unde legăturile chimice din polimer au fost distruse de radiațiile *alfa*, astfel în acel loc apare o gaură (urme) care devine vizibilă la microscop (Figura 7).

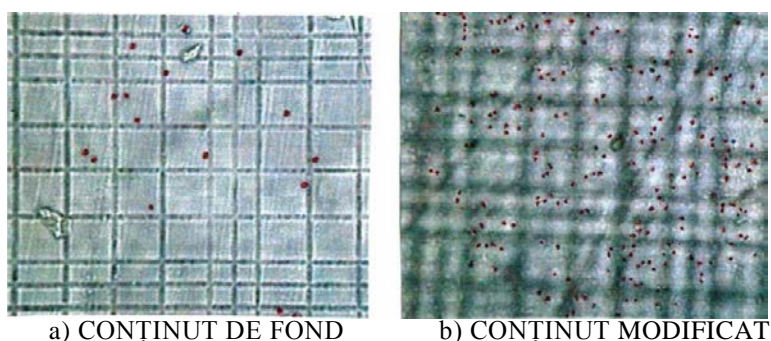


Fig. 7. Rezultatul determinărilor radonului prin metoda „urmei gravate” (detectorul folosit: LR115).

Toate măsurătorile cu aceste detectoare de urme necesită o calibrare foarte îngrijită, deci pentru a putea fi măsurate concentrațiile de radon din aer, detectoarele sunt expuse în camere de calibrare cu o atmosferă de radon bine cunoscută.

### 3.5. Determinarea fluxului de $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq}/\text{m}^2\text{s}$ )

Pentru determinarea fluxului de  $^{222}\text{Rn}$  este necesară o incintă pentru acumularea gazului ( $^{222}\text{Rn}$ ) și un dispozitiv pentru determinarea acestuia. În unele situații este necesară cunoașterea fluxului de radon ca o consecință a emanației radonului, specifică unei anumite suprafețe sau volum de substanță radioactivă. Minereul radioactiv de uraniu eliberează radon în mod continuu, acesta fiind produsul de dezintegrare al radiului  $^{226}\text{Ra}$ . Emanația radonului se caracterizează prin coeficientul de emanație ( $n$ ), definit ca raportul dintre concentrația de  $^{222}\text{Rn}$ , eliberată în mediul înconjurător ( $C$ ) și întreaga cantitate de  $^{222}\text{Rn}$  formată în același timp ( $C+d$ ),  $d$  fiind concentrația

rămasă la locul de formare:

$$\eta = \frac{C}{C+d} \quad (6.3)$$

Dacă raportăm coeficientul de emanare la unitatea de suprafață prin care se emană radonul vom obține fluxul de radon, exprimat în Bq/m<sup>2</sup>·s.

Fluxul de radon se determină în baza formulei:

$$F = \frac{V}{S \cdot t} \cdot (C_{RnA} - C_{Rn0}) \quad \left[ \frac{Bq}{m^2 \cdot s} \right] \quad \text{unde:}$$

V – volumul incintei de acumulare a <sup>222</sup>Rn [m<sup>3</sup>]

S – suprafața incintei [m<sup>2</sup>]

t – timpul de măsurare [s]

C<sub>RnA</sub> – concentrația de <sup>222</sup>Rn după acumulare [Bq/m<sup>3</sup>]

C<sub>Rn0</sub> – concentrația de <sup>222</sup>Rn la timpul 0 [Bq/m<sup>3</sup>]

În România, eliberările de radon după dezafectarea incintelor în care au fost depozitate deșeuri radioactive, sunt limitate la 0,74 Bq/m<sup>2</sup>·s [8, 7].

#### 4. MĂSURAREA CONCENTRAȚIEI DESCENDENȚILOR RADONULUI

**Unități specifice ale dozimetriei radonului.** Radioactivitatea aerului, datorată produșilor de dezintegrare ai radonului, este exprimată prin mărimea „Concentrația energiei potențiale *alfa*” (PAEC), iar unitatea de măsură este Bq/m<sup>3</sup> sau WORKING LEVEL (WL) – Nivelul de lucru.

Această unitate a fost introdusă în 1950 pentru standardizarea expunerii la radon a muncitorilor din minele de uraniu [42].

- 1 WL – corespunde concentrației descendenților de viață scurtă ai <sup>222</sup>Rn de 100 pCi/l = 3700 Bq/m<sup>3</sup>;
- 1 WL este orice combinație a descendenților de viață scurtă ai radonului care într-un litru de aer vor emite în urma tuturor emisiilor *alfa* o energie de 1,3x10<sup>5</sup> MeV (2x10<sup>-5</sup> J/m<sup>3</sup>).

Efectele inhalării produșilor de filiație ai radonului sunt proporționale cu energia degajată de aceștia la nivelul pulmonului și se exprimă în literatura de specialitate prin „*expunerea la radon*”.

„Expunerea la radon” are ca unitate specifică WLM și reprezintă expunerea unui individ la o concentrație a „energiei *alfa* potențiale” de 1 WL timp de 170 ore (o lună de lucru).

- 1 WLM = 1 WL x 170 h = 3700 Bq/m<sup>3</sup> x 170 h
- Coeficienții respectivi de conversie între unitățile folosite în dozimetria Rn, expunerea anuală în WLM (E), expunerea anuală în mSv (H) și concentrația radonului în Bq/m<sup>3</sup> (C) sunt prezentați în formulele ce urmează:

$$E/C = \frac{WLM}{Bq/m^3} = 0,00126 \qquad H/E = \frac{mSv}{WLM} = 5 \text{ sau } WLM \times 5 = mSv$$

- O altă mărime de interes în toate studiile legate de radonul din aer este „concentrația echivalentă de echilibru” (*Equivalent Equilibrium Concentration – EEC*) măsurată în unități de activitate pe unitatea de volum (Bq/m<sup>3</sup>), sau CEE.

Pentru aceasta, se determină simultan din același loc concentrația radonului și concentrația descendenților *alfa* emițători, iar proporția în care echilibrul este realizat la locul investigației este dată de relația:

$$E_{Rn} = \frac{C_D}{C_{Rn}} \times 100 \quad , \text{ în care:}$$

$E_{Rn}$  – este proporția în care este realizată starea de echilibru radon/descendenți (%);

$C_D$  – concentrația descendenților *alfa* activi (Bq/m<sup>3</sup>);

$C_{Rn}$  – concentrația radonului (Bq/m<sup>3</sup>).

Cunoscându-se starea de echilibru în locul determinării se poate afla concentrația echivalentă de echilibru după relația:

$$EEC = C_{Rn} \times \frac{E_{Rn}}{100} \quad , \text{ unde:}$$

EEC – concentrația echivalentă a radonului cu descendenții săi *alfa* activi;

$C_{Rn}$  – concentrația radonului;

$E_{Rn}$  – proporția echilibrului, calculată după relația sus-menționată.

În general, starea de echilibru se determină semestrial și de fiecare dată în situații noi care pot influența acumularea radonului și a descendenților acestora în atmosfera locurilor de muncă, de exemplu, la modificări esențiale de aeraj.

Factorul de echilibru caracterizează calitatea aerajului la locul de muncă. Cu cât factorul de echilibru este mai mic decât 1, cu atât aerul este mai bun, descendenții radonului neputând ajunge la echilibru cu radonul, iar cu cât factorul de echilibru este mai apropiat de 1 aerajul este mai slab. La valoarea 1 descendenții ajung în echilibru 100% cu radonul.

În termeni de concentrație echivalentă de echilibru, limita dozei efective pentru personalul expus profesional la 20 mSv/an este dată de o concentrație a radonului de  $1110 \text{ Bq/m}^3 = 30 \text{ pCi/l}$ , aflat în echilibru cu descendenții săi.

#### 4.1. Măsurarea concentrațiilor, numărului descendenților radonului

Aceste tipuri de măsurători sunt cunoscute ca măsurători ale concentrației „energiei potențiale alfa” (PAEC).

În acest scop determinarea nivelului de lucru (WL) – descendenții  $^{222}\text{Rn}$  poate fi efectuată și cu dispozitivul Pylon, care funcționează astfel (Figura 8):

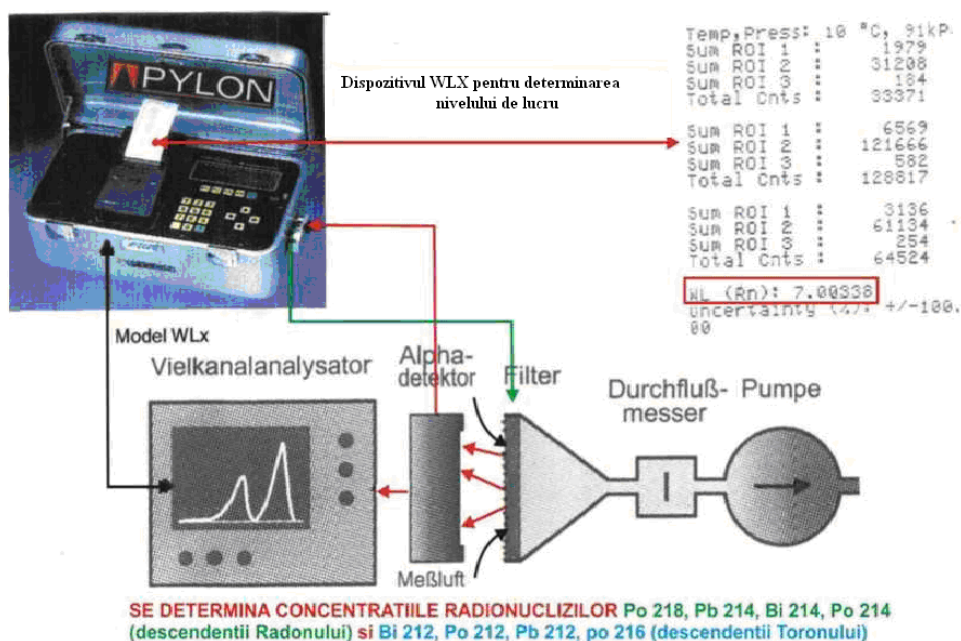


Fig. 8. Determinările WL (descendenților) cu dispozitivul Pylon.

- aspiră aerul cu un debit de 2 l/min printr-un filtru pe care se depun descendenții;
- impulsurile radiațiilor, generate de descendenții de pe filtru, sunt înregistrate cu un detector care separă radionuclizii funcție de energia lor;

- rezultatele sunt imediat printate în unități WL;
- filtrul se înlocuiește după fiecare determinare.

Analizarea descendenților se poate efectua și prin alte metode, care pot fi selectate funcție de necesități: metoda continuă, metoda *alfa* spectral, metoda Kusnetz sau metoda Tsivoglou, rezultatele fiind date în WL [13].

## 5. ESTIMAREA DOZELOR EFECTIVE PENTRU PERSOANELE DIN POPULAȚIE ȘI DIN GRUPURILE CRITICE

### 5.1. Structura dozei efective

Doza de radiații este o mărime ce caracterizează energia depusă pe o țintă de către o radiație. Conceptul de doză include o multitudine de abordări [37] privind definirea dozei din diverse puncte de vedere [9, 10].

**Modul de iradiere.** Un organism poate fi supus unei expuneri externe și/sau unei expuneri interne. Corespunzător acestor două tipuri de expuneri are loc o iradiere externă și/sau o iradiere internă; se poate vorbi totodată *de o doză externă și o doză internă.*

**Căile de transport.** Transportul radionuclizilor de la sursa de unde provin la un organism sau în mediu se face pe următoarele căi:

- terestră
- aeriană
- acvatică

Doza efectivă este o sumă de componente:

$$E_T = E_{\text{ext}} + E_{\text{int}}$$

$E_T$  – doza efectivă totală

$E_{\text{ext}}$  – doza efectivă externă; se mai notează cu  $E_\gamma$ , deoarece corespunde iradierii externe prin radiație *gama*.

$E_{\text{int}}$  – doza efectivă internă care corespunde încorporării directe sau indirecte de radionuclizi prin inhalare sau ingestie.

$$E_{\text{int}} = E_{\text{inh}} + E_{\text{ing}}$$

$E_{\text{inh}}$  – se referă la inhalarea radonului și a prafului radioactiv

$E_{\text{ing}}$  – se referă la ingestia apei, laptelui, cărnii, vegetației și peștelui. Aceste componente pot

fi reunite în următoarea formulă prin care se calculează doza efectivă [13, 29]:

$$E_T = E_\gamma + E_{hRn} + E_{h,i} + E_i^a + E_i^c, \text{ în care:}$$

$E_T$  – doza efectivă totală

$E_\gamma$  – doza efectivă prin iradiere externă *gama*

$E_{hRn}$  – doza efectivă prin inhalarea radonului

$E_{h,i}$  – doza efectivă prin inhalarea prafului radioactiv

$E_i^a$  – doza efectivă prin ingerarea apei și a alimentelor

$E_i^c$  – doza efectivă prin ingerarea accidentală a unor materiale contaminate.

La determinarea dozei efective totale, care, de regulă, se calculează pentru un an, se ține cont de existența în natură a unui fond de radiații denumit, de obicei, fondul ( $E_{fond}$ ), care trebuie scăzut din valoarea măsurătorii, iar valoarea care depășește fondul natural se numește doză suplimentară și are formula:

$$E_{sup} = E_T - E_{fond}$$

## 5.2. Determinarea dozei efective generată de fondul local

Întrucât omul trăiește într-un spațiu geografic caracterizat printr-un substrat geologic și altitudine diferite, se formează o doză efectivă anuală, ce caracterizează fondul local.

Doza efectivă totală are două componente:

- doza efectivă, datorată iradierii externe *gama* – este determinată experimental, măsurându-se debitul dozei *gama* în locul în care s-ar găsi individul ipotetic pentru care se efectuează investigația.
- doza efectivă internă, datorată inhalării și ingestiei radionuclizilor, este determinată indirect, măsurându-se concentrația radioactivă pentru U, Ra și Rn precum și cantitatea medie încorporată a substanțelor care sunt inhalate și ingerate de om (apa, aerul, alimentele, etc.).

Ținând cont de expresia dozei efective totale:  $E_T = E_\gamma + E_{hRn} + E_{h,i} + E_i^a + E_i^c$  se măsoară valorile de fond pentru toate căile (acvatică, terestră, aeriană), iar măsurătorile (doza debit *gama*, concentrațiile de Rn, recoltarea probelor de apă și de praf radioactiv) se efectuează ținându-se cont de următoarele aspecte:

- la o depărtare suficient de mare de orice sursă de radiații, pentru ca măsurătorile să nu fie viciate;
- să nu caracterizeze unele depozite geologice cu răspândire mică în zonă, dar cu un fond



radioactiv ridicat;

- măsurătoarea se efectuează la înălțimea de 1 m deasupra solului (pentru doza debit *gama* și Rn);
- apa se recoltează din rețeaua hidrografică, izvoare la o depărtare de 500 m amonte de arealul incintei amenajate pentru depozitarea deșeurilor de la prepararea minereurilor uranifere.

Din concentrațiile obținute în teren sau în urma analizării în laborator, se determină dozele efective pentru fiecare modalitate de expunere și cale de transport.

Formulele de calcul ale componentelor dozei sunt aceleași, atât la determinarea fondului, cât și la determinarea dozei efective, datorate sursei radioactive.

### 5.3. Doza efectivă externă $E_{\gamma}$ (calea terestră)

Cunoscând valoarea dozei debit *gama*, obținută prin măsurători în teren, se calculează doza externă  $E_{\gamma\text{fond}}$  cu ajutorul unei formule:

$$E_{\gamma\text{ fond}} = t \cdot D_{\gamma} \cdot 10^{-3} \text{ [mSv / an] , unde:}$$

$t$  – timpul de expunere [ore/an] = 7000 ore

$D_{\gamma}$  – doza debit *gama* [ $\mu\text{Sv/h}$ ]

$E_{\gamma\text{ fond}}$  – doza efectivă totală anuală [mSv/an], datorată fondului local.

### 5.4. Doza efectivă internă:

Doza efectivă internă se calculează în baza formulei:  $E_{\text{int}} = E_{\text{inh}} + E_{\text{ing}}$

#### a) Doza efectivă anuală prin inhalare:

a<sub>1</sub>) Inhalare Rn + descendenții de viață scurtă (calea aeriană):  $E_{\text{hRn}}$

- se efectuează monitorizarea concentrației de  $^{220}\text{Rn}$  și  $^{222}\text{Rn}$  prin măsurători periodice;
- concentrația de fond a radonului sau toronului este determinată în direcția opusă direcției vântului;
- pentru măsurători sunt alese intervale de timp în care umiditatea relativă a aerului să fie cât mai apropiată de cea normală.

Doza efectivă anuală, exprimată în mSv/an, provocată de inhalarea de radon, se calculează după următoarea formula:

$$E_{hRn} = C_{Rn} \cdot t_{exp} \cdot r \cdot C_{ech} \cdot DC \text{ [mSv / an] , unde:}$$

$C_{Rn}$  – concentrația de radon în aer [ $Bq/m^3$ ]

$t_{exp}$  – durata expunerii [ore/an]

$r$  – rata de respirație [ $m^3/h$ ]

$DC$  – coeficientul de conversie activitate doză [ $mSv/Bq$ ], pentru persoane din public  $DC = 6,3 \times 10^{-6}$

$C_{ech}$  – coeficientul de echilibru dintre radon și descendenții săi

$C_{ech} = 0,7$  în exterior sau  $0,4$  atât în interior, cât și în exterior .

### **a<sub>2</sub>) Doza internă prin inhalare de praf radioactiv (calea aeriană): $E_{hi}$**

Dacă există aerosoli în aer (pulbere de uraniu + toriu) se calculează doza efectivă anuală, produsă de cantitatea de uraniu + toriu existentă, atunci în formulă se introduc următoarele componente:

- activitatea (A) pentru fiecare element;
- durata expunerii în ore (t);
- cantitatea de aer inhalată într-o oră de o persoană (V);
- coeficientul de conversie (DC) – un factor dependent de nuclid pentru conversia activității inhalate în doză.

Formula de calcul utilizată este:  $E_{hi} = A \cdot t \cdot V \cdot DC \cdot 1000 \text{ [mSv/an]}$ , unde:

A – [ $Bq/m^3$ ] funcție de conținutul în sursă a radioelementului t – [ore/an]

V – rata de respirație [ $m^3/h$ ] –  $0,92 \text{ m}^3/h$  populație – timp liber.

DC – [ $Sv/Bq$ ] (din tabele, pentru timpul de absorbție S, specific fiecărui tip de radioelement prezent)

Reamintim că  $E_{hRn} + E_{hi}$  reprezintă o parte a dozei efective interne, generată prin inhalare (Rn + praf radioactiv).

### **b) Doza efectivă anuală prin ingerare $E_{ing}$ :**

b<sub>1</sub>) Ingerarea de apă (calea acvatică).

Formula de calcul utilizată este:  $E_a = C_r \cdot I_r \cdot DC_j \cdot 1000 \text{ [mSv/an]}$ , unde:

$C_r$  – concentrația de activitate a elementului ingerat [ $Bq/l$ ]

$I_r$  – rata de ingestie l/an

$DC_j$  – coeficientul de conversie [ $Sv/Bq$ ] din tabele, pentru fiecare radioelement prezent

b<sub>2</sub>) Ingerarea de alimente, pește, fructe, prin transfer al radioelementelor din apa și solul contaminat.

Formula de calcul folosită:  $E_b = C_{rad} \cdot M_{ing} \cdot DC \cdot 10^3 \text{ [mSv/an]}$ , unde:

$M_{ing}$  – cantitatea ingerată [kg/an];

DC – coeficientul de conversie activitate - doză, [Sv/Bq] din tabele, pentru fiecare radioelement prezent;

$C_{rad}$  – concentrația de activitate a radionuclidului în aliment [Bq/g]. Această componentă este calculată, în special, pentru determinarea dozei efective suplimentare și nu în scopul determinării dozei efective generate de fond, care este nesemnificativă.

b<sub>3</sub>) Materiale contaminate – sol, mъл fin de pe haldă, etc. ( $E_i^c$ ) (calea terestră)

$E_i^c = C_{rad} \cdot M_{ing} \cdot DC \cdot 10^3$  [mSv / an], unde:

$M_{ing}$  – cantitatea ingerată [kg/an];

DC – coeficientul de conversie activitate – doză [Sv/Bq];

$C_{rad}$  – concentrația de activitate a radionuclidului [Bq/g].

## 6. METODOLOGIA EVALUĂRII RISCULUI RADIOLOGIC

Metodologia evaluării riscului radiologic se bazează pe principiul: sursă-cale-receptori. Acest principiu presupune existența unei surse „suficiente” pentru a produce efecte asupra receptorilor și o „cale” prin intermediul căreia componentele de „hazard” din sursă să ajungă în receptori.

Estimarea riscului include două etape:

**În prima etapă** se face estimarea existenței unui risc potențial pentru receptori, prin identificarea și caracterizarea următoarelor:

- a) sursele de contaminare și potențialii contaminanți;
- b) căile de expunere;
- c) prezența receptorilor umani;
- d) factori specifici locului (sol, climă, topografie, hidrografie, etc.).

### Sursele de contaminare și potențialii contaminanți

Sursele de contaminare din industria minieră uraniferă, rezultate din sistarea activității de exploatare, sunt :

- „surse punctuale” – efluenții gazoși și aerosolii (prin eliminarea aerului viciat din subteran) și a contaminanților: Rn + descendenții de viață scurtă;

- „surse punctuale “ – efluenții lichizi (ape de mină sau ape de șiroire, ce spală haldele de minereu sărac), dacă se deversează direct în rețeaua hidrografică – contaminanți: U și Ra;
- „surse punctuale” – haldele de minereu și minereu sărac – prin contaminanți: emisii de Rn, iradiere *gama*, uraniu și descendenții  $\alpha$  activi din particule de praf, antrenate de vânt;
- „o sursă punctuală” rezultată din alte activități miniere (încărcarea, descărcarea, relocarea minereului sărac) – contaminanți: emisii de Rn, pulberi radioactive.

### Potențiale căi de expunere

Pentru estimarea riscului sunt posibile următoarele căi de expunere [28] a potențialilor receptori umani din proximitatea surselor:

- Calea terestră – expunerea la radiații  $\gamma$ .
- Calea acvatică – ingestia de apă din mină contaminată; ingestia produselor vegetale sau animale, recoltate din zona poluată.
- Calea aeriană – ingestia accidentală de sol contaminat; inhalarea de Rn cu descendenții de viață scurtă; inhalarea prafului cu descendenții de viață lungă.

### Potențialii receptori

- ființe umane – muncitorii (mineri); persoane din grupul critic;
- resursele de apă – de suprafață (râuri) și freatice;
- recolte, animale domestice și/sau sălbatice.

**A doua etapă de estimare a riscului** constă în estimarea calitativă a dozelor potențialilor receptori și include trei stadii:

- a. Calculul concentrațiilor din punctul de expunere, referitor la concentrația contaminanților generați de surse, în diferite medii de dispersie (apă, aer, praf), în punctele unde se presupune că ar fi receptorul.
- b. Estimarea dozei: se calculează conform metodologiei AIEA [15].
- c. Calcularea riscului: se efectuează în baza ipotezei că acesta este dat de produsul dintre pericol și expunere (probabilitate – magnitudine).

### 6.1. Calculul riscului

Pentru a exprima cantitativ acest risc radiologic a fost adoptat un sistem de clasificare [39] în care, atât probabilitatea că acțiunea radiațiilor să-și atingă ținta, cât și acestei acțiuni asupra receptorului, sunt clasificate conform unui punctaj arbitrar, după cum urmează:

a) **Probabilitatea** ca acțiunea radiațiilor să-și atingă ținta în suficientă măsură pentru a produce daune este divizată în:

- ◆ Mare (4) – sigur sau aproape sigur are loc.
- ◆ Medie (3) – rezonabil se va produce.
- ◆ Ușoară (2) – rar va avea loc.
- ◆ Mică (1) – nu se va întâmpla practic niciodată.

b) **Gradul de acțiune** asupra receptorului se clasifică similar sau analogic:

- ◆ Foarte mare, coeficientul 5: doza efectivă anuală suplimentară va fi peste 5 mSv/an;
- ◆ Puternică, coeficientul 4: doza efectivă anuală suplimentară va fi de circa 5 mSv/an;
  - nenorociri umane;
  - boli pe termen lung;
  - schimbări semnificative ale ecosistemelor;
  - distrugerea unor specii – pagube ireparabile;
- ◆ Moderată, coeficientul 3: doza efectivă anuală suplimentară se va estima la 3 mSv/an;
  - producerea de boli pe termen scurt;
  - schimbări ale ecosistemelor fără dispariția speciilor;
- ◆ Slabă, coeficientul 2: doza efectivă anuală suplimentară va fi în jur de 2 mSv/an;
  - diferite boli la oameni;
  - câteva schimbări ale ecosistemului cu efecte negative în funcționarea ecosistemului;
  - pagube reparabile;
- ◆ Neglijabilă, coeficientul 1: doza efectivă anuală suplimentară evaluată la 1mSv/an sau mai mică;
  - aspecte negative pentru populație;
  - nu sunt schimbări ale ecosistemului;

c) **Riscul radiologic** (*probabilitatea x gradul acțiunii*)

A fost elaborată o matrice a determinării riscului radiologic pentru populația din arealul

industrii miniere uranifere, coeficientul de risc fiind definit ca produsul dintre coeficientul probabilității ca acțiunea radiațiilor să-și atingă ținta și coeficientul gradului acțiunii (Tabelul 1). Această matrice, evaluează cantitativ riscul radiologic pe baza coeficientului de risc, care are valori cuprinse între 1 și 20, după cum urmează:

Tabelul 1. Matricea determinării riscului radiologic pentru populația din arealul industriei miniere uranifere

Probabilitatea ca radionuclizii să ajungă, prin diferite căi, la receptorul uman	Gradul de acțiune – valoarea dozei efective anuale în mSv/an a persoanei din populația iradiată suplimentar				
	Foarte mare (5)	Mare (4)	Moderată (3)	Slabă (2)	Neglijabilă (1)
Mare (4)	20	16	12	8	4
Medie (3)	15	12	9	6	3
Ușoară (2)	10	8	6	4	2
Mică (1)	5	4	3	2	1

## 6.2. Nivelurile admise ale concentrației medii echivalente de echilibru a radonului în aerul încăperilor

1. Concentrația medie echivalentă de echilibru (CMEE) anuală a Radonului-222 în aerul încăperilor proiectate, construite sau reconstruite, cu aflarea permanentă a oamenilor, nu trebuie să depășească  $150 \text{ Bq/m}^3$ .
2. În edificiile deja construite CMEE a Radonului-222 în aerul încăperilor nu trebuie să depășească  $200 \text{ Bq/m}^3$ .
3. La valori superioare ale CMEE ale Radonului-222 se întreprind măsuri de radioprotecție pentru evitarea pătrunderii Radonului în aerul încăperilor (ermetizarea dușumelei încăperilor parterului, ventilarea calitativă a spațiului deasupra dușumelei, utilizarea materialelor impermeabile pentru acoperirea pereților) și ameliorarea gradului de ventilare a încăperilor.
4. În cazurile când măsurile de radioprotecție nu au redus CMEE a Radonului-222 în aerul încăperilor până la o valoare mai mică de  $400 \text{ Bq/m}^3$  se adoptă decizia de reprofilare a încăperilor sau strămutare a locatarilor (cu acordul acestora).
5. Posibilitatea, necesitatea, volumul și termenele de efectuare a măsurilor vizând reducerea CMEE

în încăperi sunt determinate de o comisie în componența reprezentanților administrației publice locale: serviciilor comunale, organizațiilor de construcție, serviciilor arhitectului principal, centrului de sănătate publică teritorial și locatarilor [22].

### **6.3. Evaluarea riscului radiologic asupra sănătății populației la utilizarea cimenturilor cu cenușă pentru prepararea betoanelor în construcția de locuințe.**

#### **Dispozitivele de detecție și analizare.**

##### **Analizarea concentrației principalilor radionuclizi în materialele de construcții**

Analizările în cauză se efectuează prin spectrometrie *gama*, utilizând un analizor multicanal DOZA cu detector de semiconductor: scintilator din NaI cu dimensiunile de 63 x 63 mm.

Principiul fizic al metodei este emisia de radiații *gama*, care sunt detectate de un detector și apoi, printr-un sistem electronic special, sunt convertite în impulsuri a căror amplitudine este proporțională cu energia radiațiilor emise. În acest mod se identifică și se dozează elementele emițătoare de radiații *gama*, în cazul nostru acestea fiind Ra, Th și K. Rezultatele sunt înregistrate în activitate – Bq/kg, Bq/g.

##### ***Principalii radionuclizi poluanți, potențial existenți în materialele de construcții.***

Principalele elemente radioactive naturale poluante sunt următoarele:

1. Elementele din seriile naturale a  $^{238}\text{U}$  și  $^{235}\text{U}$ , care împreună cu  $^{234}\text{U}$ , formează un amestec denumit uraniu natural (Unat.).
2. Elementele din seria naturală a  $^{232}\text{Th}$ .
3. Radionuclidul  $^{40}\text{K}$ .

Seria naturală a  $^{238}\text{U}$  este alcătuită din două familii radioactive:

- familia uraniului:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Po}$ ,  $^{234}\text{U}$  și  $^{230}\text{Th}$ .
- familia radiului:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Po}$  și  $^{206}\text{Pb}$ .

Uraniul  $^{235}\text{U}$  din amestecul Unat are o pondere foarte mică (0,7%) și nu prezintă un risc radiologic semnificativ.

Radionuclizii  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  fac parte din structura formulei indicatorului de radioactivitate, adică indicatorul care caracterizează nivelul de radioactivitate al unui produs.

**Interpretarea spectrogramei.** Radionuclizii, determinați prin metoda spectrometriei *gama*, se deosebesc prin valorile radiațiilor *gama*, pe care ei le emit, astfel că pentru fiecare radionuclid se selectează cel puțin câte o radiație *gama* specifică. Concentrația elementului se obține prin raportarea intensității radiației *gama* specifice a aceluiași radionuclid, dintr-o probă necunoscută, la intensitatea radiației *gama* specifică a aceluiași radionuclid dintr-un etalon cu o concentrație cunoscută pentru aceeași valoare energetică [6, 31, 32].

În tabelul 1 sunt prezentate câteva linii *gama* energetice specifice elementelor radiu, toriu și potasiu. S-au ales aceste elemente deoarece indicele de radioactivitate se calculează pe baza cunoașterii activității lor.

Tabelul 1. Principalele linii energetice specifice radiului, toriului și potasiului

Element	Linii energetice (KeV)
<sup>226</sup> Ra	352, 609, 1760
<sup>232</sup> Th	583, 910, 970, 2620
<sup>40</sup> K	1460

Pe spectrogramă intensitatea radiației *gama* de o anumită valoare, emisă de către un anumit radionuclid, apare sub forma unui pisc (peak) cu o anumită arie (număr de impulsuri). Concentrația radionuclidului se determină, față de un etalon cunoscut, după formula:

$$C_{pr} = \frac{A_{pr}}{A_{et}} = KC_{et} \quad (10.1)$$

$C_{pr}$  – concentrația probei necunoscute;

$C_{et}$  – concentrația etalonului cunoscut;

$A_{pr}$  – aria picului probei;

$A_{et}$  – aria picului etalonului.

Pentru optimizarea calculelor la aplicarea formulei sus-numite am intervenit cu următoarele corecții: corecția de scădere a fondului natural; corecția de greutate; corecția timpului de măsură.

### Determinarea indicatorului de radioactivitate

Principalii radionuclizi naturali, care contribuie la caracterizarea radiologică a unui material de construcție pentru locuințe sau alte construcții sociale, sunt: <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th și <sup>40</sup>K.

Introducerea în materialele de construcție pentru locuințe și alte construcții sociale, spitale, școli, grădinițe, birouri etc. a deșeurilor radioactive, provenite din aplicațiile nucleare sau a sterilului, rezultat din activitățile de minerit uranifer, a nisipului, a zgurii și a șlamului, rezultat



de la centralele termoelectrice pe bază de cărbune și de la combinatele de îngrășăminte chimice, care au un conținut de elemente radioactive naturale sau artificiale peste valoarea materiilor prime de bază, folosite în mod curent în construcții, este interzisă fără avizarea MS.

Se interzice producerea, importarea și furnizarea de materiale pentru construcția locuințelor și a altor clădiri sociale, având în produsul finit concentrații ( $Bqkg^{-1}$ ) de  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  și  $^{40}K$ , care nu respectă relația:

$$\frac{^{226}Ra}{300Bqkg^{-1}} + \frac{^{232}Th}{200Bqkg^{-1}} + \frac{^{40}K}{3000Bqkg^{-1}} \leq 0,5$$

### Clasificarea obiectivelor de construcții

Obiectivele de construcții sunt divizate în următoarele grupuri:

1. Obiectivele locative, de menire social-culturală sau industrială construite, reconstruite sau după o reparație capitală la darea lor în exploatare.
2. Obiectivele locative, de menire social-culturală, industrială sau altă menire date în exploatare până la adoptarea RNI [12].
3. Obiectivele industriale și de drumuri, unde este exclusă aflarea de durată lungă a persoanelor și construirea drumurilor în perimetrul teritoriului zonelor de trai și a zonelor cu perspectivă de construcție.
4. Unele obiective izolate de tip închis sau deschis cu menire industrială, drumuri, obiective subterane ș.a., exploatarea cărora nu este legată de aflarea sau care în perimetrul zonelor de trai sunt acoperite cu un strat de pământ sau alt material cu o grosime nu mai mică de 0.5 m.

În dependență de clasificarea obiectelor sus-menționate nivelurile admisibile ale parametrilor igienico-radiologici reglementați nu trebuie să depășească valorile indicate în tabelul 2.

Tabelul 2. Nivelurile admisibile ale parametrilor radioactivității naturale reglementați pentru obiectivele de construcții

Parametrii igienico-radiologici reglementați	Nivelurile admisibile pentru grupurile obiectivelor de construcții			
	1	2	3	4
Debitul dozei echivalente în încăperi, mSv/h	$\leq 0.25$	$\leq 0.5$	Nu se normează	Nu se normează
Activitatea echivalentă medie anuală pe volum a Radonului în aerul încăperilor, Bq/m <sup>3</sup>	$\leq 100$	$\leq 150$	Nu se normează	Nu se normează
Activitatea efectivă specifică a radionuclizilor naturali (A <sub>eff.</sub> ) în materialele de construcții	$\leq 300$ clasa - I	$\leq 600$ clasa - II	$\leq 1350$ clasa - II	Nu se normează

## **Cerințe de radioprotecție de la sursele naturale în condiții de producere**

Doza efectivă, determinată de iradierea de la sursele naturale în condiții de producere pentru angajații, care nu sunt incluși în categoria "personal", nu trebuie să depășească 5 mSv/an.

Valorile numerice ale factorilor radioactivi corespunzătoare acțiunii monofactoriale a dozei efective de 5 mSv/an, vizând media respirației de 8,1 mii m<sup>3</sup>/an și condiții de echilibru radioactiv al radionuclizilor familiilor Uraniului și Thoriului în praful zonei de muncă constituie:

- debitul dozei medii anuale a iradierii *gama* la locul de muncă – 3,8 mSv/h;
- activitatea echivalentă medie anuală de echilibru pe volum a <sup>222</sup>Rn în aerul zonei de respirație – 310 Bq/m<sup>3</sup>;
- activitatea echivalentă medie anuală de echilibru pe volum a Thoronului (Rn-220) în aerul zonei de respirație – 68 Bq/m<sup>3</sup>;
- activitatea specifică a Uraniului – 238 în praful spațiului de muncă – 28/f kBq/kg;
- cantitatea medie anuală de praf în aerul zonei de respirație, mg/m<sup>3</sup>;
- activitatea specifică în praful zonei de muncă a Thoriului - 232, aflat în echilibru cu ceilalți reprezentanți ai familiei sale – 24/f, kBq/kg.

Doza de iradiere cosmică nu limitează sarcina de producere a echipajelor aeriene, care efectuează zboruri la înălțimea de până la 10 km.

### **Criteriile pentru adoptarea deciziilor privind utilizarea materialelor de construcții și a îngrășămintelor minerale**

Pentru adoptarea deciziilor la utilizarea materialelor de construcție se stabilesc următoarele criterii:

Activitatea efectivă specifică (*A<sub>eff</sub>*) a radionuclizilor naturali în materialele de construcții dobândite din zăcăminte (piatră spartă, prundiș, nisip, piatră de but și curmată, materie primă de ciment, cărămidă etc.), din produsele derivate ale industriei, sau din deșeurile produselor industriale, utilizate la fabricarea materialelor de construcții (cenușă, zgură ș.a.) nu trebuie să depășească pentru materialele utilizate la construirea edificiilor locative și publice noi (clasa I) după cum urmează:

$A_{eff} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_K \leq 300 \text{ Bq/kg}$ , unde  $A_{Ra}$  și  $A_{Th}$  – activitatea specifică a Ra-226 și Th-232, aflați în echilibru cu celelalte elemente ale familiilor Radonului și ale Thoronului;  $A_K$  – activitatea specifică a K-40 (Bq/kg).

Activitatea specifică a radionuclizilor naturali în îngrășămintele minerale cu fosfor și amelioranți nu trebuie să depășească:  $A_U + 1,24A_{Th} < 2,8 \text{ kBq/kg}$ , unde  $A_U$  și  $A_{Th}$  – activitățile specifice ale Uraniului-238 (sau Radiului-226) și Thoriului-232 (sau Thoriului-228), aflați respectiv în echilibru radioactiv cu ceilalți reprezentanți ai familiilor radioactive ale Uraniului și Thoriului.

Pentru materialele, utilizate la construcția drumurilor în perimetrul localităților și a zonelor în perspectivă de construire, de asemenea, la construirea edificiilor industriale (clasa II) activitatea specifică a radionuclizilor naturali trebuie să fie:  $A_{eff.} \leq 600 \text{ Bq/kg}$ .

Pentru materialele utilizate la construcția obiectelor industriale izolate, unde este exclusă aflarea permanentă a persoanelor, a drumurilor în afara localităților, a obiectivelor subterane, a drumurilor în zonele de trai cu condiția acoperirii acestora cu un strat de pământ nu mai mic de 0,5 m (clasa III):  $A_{eff.} \leq 1350 \text{ Bq/kg}$ , când  $A_{eff.}$  depășește 1350 Bq/kg, problema posibilelor sfere de utilizare a acestor materiale se rezolvă în fiecare caz aparte prin concordare cu serviciul de Sănătate Publică al Republicii Moldova.

Valorile indicate ale activității efective specifice trebuie evaluate ca medii constând din nu mai puțin de 5 mostre de materiale de construcții sau de îngrășăminte minerale, recepționate (colectate) de la furnizor.

Depistarea în unele mostre a nivelurilor, care depășesc valorile sus-menționate servește drept argument pentru efectuarea investigațiilor suplimentare, adoptarea unor decizii speciale sau suspendarea activităților.

#### **Metodele de colectare a mostrelor pentru analizarea spectrometrică-gama a materialelor de construcții și a îngrășămintelor minerale**

Controlului componenței radionuclizilor sunt supuse toate tipurile de materiale recepționate (importate) pentru lucrările de construcții și montaj, sau fabricate de combinatele industriei materialelor de construcții și a îngrășămintelor minerale în laboratoarele acreditate, conform legislației în vigoare.

Mostrele trebuie să fie reprezentative pentru lotul de materie primă, adică să reflecte integral proprietățile lotului la acel moment. Pentru aceasta din zece locuri diferite de materie primă se colectează 5 mostre cu greutatea de 1-3 kg fiecare, se amestecă pe un suport cu o lopată și se selectează o mostră medie cu o greutate nu mai mică de 1.0-3.0 kg.

Mostrele colectate cu o masă nu mai mică de 1.0-3.0 kg, mărunțite până la mărimea de 1-2 mm, și ambalate în pachete duble din polietilenă cu pașaportul mostrei (Anexa nr. 1), plasat între pachete sunt transmise în laborator pentru efectuarea analizei *gama*-spectrometrice.

Rezultatele controlului radioactivității naturale a materialelor de construcții și a îngrășămintelor minerale se întocmește printr-un certificat (Anexa nr.2), un exemplar al căruia este transmis producătorului. Utilizarea materialului de construcții se efectuează în conformitate cu clasificarea pe tipuri de utilizare (Anexa nr. 2).

### **Nivelurile admisibile ale debitului dozei echivalente (DDE) a iradierii externe-*gama* în încăperile locative**

Dacă debitul dozei echivalente a iradierii externe în interiorul edificiilor construite și exploatate nu depășește cu mai mult de 0,25 mSv/h, debitul dozei la loc deschis nu sunt necesare intervenții.

Dacă debitul dozei de expoziție a iradierii externe în interiorul edificiilor construite și exploatate depășește debitul dozei la loc deschis, mai mult de 0.25 mSv/h, se recomandă adoptarea de măsuri pentru diminuarea lui.

În cazul imposibilității reducerii debitului dozei iradierii externe până la un nivel mai mic de 0.5 mSv/h a fondului extern-*gama* la loc deschis se decid măsuri de reprofilare a clădirii sau strămutare a locatarilor (cu acordul acestora).

### **Metodele de măsurare a debitului dozei iradierii *gama* la obiective**

Iradierea *gama* de la radionuclizii, ce se conțin în materialele de construcții este o iradiere relativ uniformă a organismului uman. Debitul dozei de expoziție (DDE) a iradierii *gama* în încăperile locative (fondul *gama*), în majoritatea cazurilor, se include în diapazonul valorilor, care diferă de cele medii de 2-3 ori, ceea ce este legat de utilizarea materialelor de construcții cu conținut sporit al radionuclizilor naturali.

Pentru măsurarea debitului dozei iradierii *gama* externe în încăperi și la loc deschis trebuie să fie utilizate dispozitive dozimetrice cu un nivel al sensibilității de 0,1 mR și un nivel maxim de dependență al înregistrării de energie a iradierii, care nu va depăși 30% în diapazonul energiilor de la 30 keV până la 3 MeV.

Nu se recomandă efectuarea măsurătorilor DDE cu ajutorul dispozitivelor care au în calitate de detector camere de scintilație (de exemplu SRP-68) din cauza dependenței neliniare a sensibilității detectoarelor de scintilație de energia iradierii (majorarea valorilor indicațiilor în domeniul energiilor joase).

La depistarea anomaliilor DDE, determinate cu dispozitivele de tipul CPII, trebuie să se facă măsurători cu mijloacele de măsurare mai exacte (de exemplu, camere de ionizare cu presiune înaltă, dozimetre termoluminescente, spectrometre *gama*).

Este permisă folosirea dispozitivelor pentru aprecierea debitului dozei echivalente care furnizează datele în microsieveți pe oră (mSv/h).

Pentru recalcularea indicațiilor în mR/h datele obținute în mSv/h se înmulțesc cu 100 și se împart la 0.9. De exemplu, 0.10 mSv/h corespunde cu 11 mR/h.

Toate dispozitivele utilizate trebuie să dețină certificat de verificare al controlului metrologic din anul curent.

În medie, pe teritoriul Republicii Moldova, debitul dozei iradierii *gama* la loc deschis constituie 0,07-0,18 mSv/h, iar în încăperi – 0,10-0,20 mSv/h.

Măsurătorile DDE la loc deschis trebuie să fie efectuate în locurile cu relief neted, la înălțimea de 1m de la suprafața solului, la o distanță nu mai mică de 10 m de la clădirile joase și la 30 m de la clădirile înalte.

În încăperi măsurătorile se efectuează în centrul camerei, la înălțimea de 1m de la podea (o măsurătoare la fiecare 20 m<sup>2</sup> ai încăperii examinate). Rezultatele măsurătorilor (nu mai puțin de 3 măsurători într-un punct) se înregistrează cu indicarea obligatorie a tipului dispozitivului și a datei ultimului control metrologic al acestuia.

Când DDE depășește 0,50 mSv/h, se întreprind măsuri de cercetare a proporțiilor, provenienței și a surselor de majorare a fondului *gama* în scopul selectării măsurilor de diminuare a acestuia. Aceste măsuri sunt reale numai în cazurile când nivelul sporit al fondului este determinat de utilizarea la acoperișuri sau a teritoriului învecinat clădirilor a materialelor cu conținut sporit al radionuclizilor naturali, care pot fi înlăturate.

Dacă aceste materiale intră în componența pereților sau a tavanului, atunci unica măsură poate fi schimbul destinației încăperilor sau a clădirii în întregime.

Măsurătorile se efectuează în fiecare apartament al clădirii, care se dă în exploatare. Rezultatele măsurătorilor se includ într-un proces-verbal cu indicarea dispozitivului folosit și a datei ultimei

verificări a acestuia. Un exemplar al procesului-verbal (originalul) se anexează la documentele comisiei de dare în exploatare a casei, iar altul este transmis în Centrul teritorial de Sănătate Publică.

În edificiile deja construite măsurătorile DDE se efectuează la dorința și cu participarea reprezentanților proprietarilor de imobile, cu utilizarea metodelor de măsurare a DDE în încăperi.

### **Nivelurile admisibile ale concentrației medii echivalente de echilibru a radonului în aerul încăperilor**

Concentrația medie echivalentă de echilibru anuală a  $^{222}\text{Rn}$  în aerul încăperilor proiectate, construite sau reconstruite, cu aflarea permanentă a oamenilor, nu trebuie să depășească 100 Bq/m<sup>3</sup>.

În edificiile deja construite MEE a  $^{222}\text{Rn}$  în aerul încăperilor nu trebuie să depășească 150 Bq/m<sup>3</sup>.

La depistarea valorilor superioare ale MEE ale  $^{222}\text{Rn}$  se întreprind măsuri de radioprotecție, îndreptate spre evitarea pătrunderii gazului în aerul încăperilor (ermetizarea dușumelei încăperilor parterului, ventilația eficientă a spațiului deasupra dușumelei, utilizarea materialelor impermeabile pentru acoperirea pereților) și ameliorarea gradului de ventilare a încăperilor.

În cazurile când măsurile de radioprotecție nu au condus la reducerea MEE a  $^{222}\text{Rn}$  în aerul încăperilor până la o valoare mai mică de 300 Bq/m<sup>3</sup> se adoptă decizia de reprofilare a încăperilor sau de strămutare a locatarilor (cu acordul acestora).

Posibilitatea, necesitatea, volumul și termenele de efectuare a măsurilor, vizând reducerea MEE în încăperi, sunt determinate de o comisie în componența reprezentanților serviciilor comunale, locatarilor, organizațiilor de construcție, serviciului arhitectului principal și al centrului de sănătate publică teritorial.

### **Determinarea concentrației medii anuale echivalente de echilibru (CMAEE) a $^{222}\text{Rn}$ în aerul încăperilor**

Pentru determinarea valorilor concentrației  $^{222}\text{Rn}$  și a produșilor descendenți ai acestuia în aerul încăperilor pot fi utilizate dispozitive de tipul SAS-R-2, RB-4, RGA-0.1, IZV-3M, RAS-04 (măsurători activi) sau dispozitive similare de import.

Pentru aprecierea CMAEE se pot utiliza radonometre integrale pasive cu durata expoziției nu mai mică de o lună.

Pentru determinarea CMAEE a  $^{222}\text{Rn}$  (luând în considerare PDR), indicațiile radonometrelor se înmulțesc cu coeficientul 0.5 (coeficientul mediu de echilibru).

În edificiile locative, care urmează a fi date în exploatare, măsurătorile se efectuează cu ferestrele și ușile de la intrare închise și sistemul de încălzire conectat. Măsurătorile se realizează în nu mai puțin de două camere ale fiecărui apartament de tip urban sau rural.

În edificiile de producție, care se dau în exploatare, măsurătorile se efectuează în fiecare încăpere, unde sunt locuri de lucru permanente.

Rezultatele măsurătorilor la obiectivul dat în exploatare (debitul de expoziție și concentrația <sup>222</sup>Rn) se perfectează printr-un certificat (Anexa nr. 3) un exemplar (originalul) fiind anexat la actul de dare a obiectului în exploatare al Comisiei de Stat pentru primirea în exploatare, iar copia este păstrată la Centrul de Sănătate Publică teritorial.

În certificatul eliberat obligatoriu de organele abilitate se indică tipul dispozitivelor utilizate, numărul și termenul de valabilitate al adeverinței de atestare metrologică și metoda de măsurare utilizată.

Anual, până la 01 februarie, se efectuează generalizarea și analizarea rezultatelor controlului materialelor de construcții și a îngrășămintelor minerale, a CMAEE și DDE în încăperi. Un exemplar al bilanțului anual se expediază în adresa Centrului Național de Sănătate Publică al Ministerului Sănătății, iar copia este înmănată organizației-producătoare sau importatore la aceste materiale (Anexele nr. 4-6).

## BIBLIOGRAFIE

1. Bahnarel I. ș.a. Monitoringul concentrațiilor de radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) pe teritoriul Republicii Moldova. În: Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină, 2012, nr. 4 (43), p. 165-166. ISSN 1729-8687.
2. Bahnarel I., Corețchi L. Contribuții la monitorizarea radioactivității mediului. În: ACADEMOS, 2011, nr. 1(20), p. 77-81.
3. Corețchi L., Bahnarel I., Apostol I., Vîrlan S. Probleme Actuale și tehnologii de reducere a impactului negativ al concentrațiilor avansate de radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) în mediul ambiant. În: Bulletin of the Academy of Sciences of Moldova 4(36) 2012, p.181-186. ISSN 1857-0011.
4. Corețchi L., Cucereanu A., Bahnarel I., Cernat V. Studiarea incidenței cancerului glandei tiroide la populația din Republica Moldova în relație cu accidentul nuclear de la Cernobil. În: Sănătate publică, economie și management în medicină, 2012, nr 2, p. 45-47. ISSN 1729-8687.
5. Corețchi L.Ș., Furtună D., Corețchi L.I., Vîrlan S., Cornescu A., Bahnarel I. Efectele medico-biologice ale expunerii la Radon. În: Sănătate Publică, economie și management în medicină Chișinău, 2011, nr. 2, p. 24-27.
6. ICPMRR – Evaluarea riscului radiologic asupra sănătății populației prin folosirea la construcția de locuințe a structurilor de întărire pe baza de noi sisteme compozite liante, Contract 712/2006. Responsabil proiect: geofiz. Ioan Pordea.
7. Norme de securitate Radiologică privind dezafectarea instalațiilor de minerit și/sau prepararea a minereurilor de uraniu și/sau toriu (NMR-03), CNCAN (2003).
8. Norme de securitate Radiologică privind managementul deșeurilor radioactive provenite de la mineritul și prepararea minereurilor de uraniu și toriu (NMR-02), CNCAN (2002).
9. Norme de securitate Radiologică privind radioprotecția operațională în mineritul și prepararea minereurilor de uraniu și toriu (NMR-01), CNCAN (2002).
10. Norme fundamentale de Radioprotecție. Cerințe și reguli igienice (NFRP-2000). Monitorul oficial al R. Moldova, nr.40-41, 2001.
11. Norme fundamentale de Securitate Radiologică NSR-01, CNCAN (2002).
12. Ursulean I. ș. a. Regulament și norme igienice privind reglementarea expunerii la radiații a populației de la sursele naturale. Nr.06-5.3.35 din 05.03.2001. În: Monitorul Oficial al R.Moldova nr.92-93/239 din 03.08.2001.
13. Vasilescu (Manea) C. E. Contribuții la studiul surselor naturale de radon din Romania și evaluarea riscului radiologic pentru populația expusă. Rezumatul tezei de doctorat, București, 2011.
14. Anjos R.M., et. al. External *gamma*-ray dose rate and radon concentration in indoor environments covered with Brazilian granites. In: Journal of Environmental Radioactivity, 2011, vol. 102(11), p. 1055-1061.
15. Assessment of doses to the Public from Ingested Radionuclides. Safety Report Series nr 14, IAEA, Vienna, 1999.
16. Bahnarel I., Corețchi L., Moldovan M. Medical and biological aspects of the Chernobyl nuclear accident influence on the population of the Republic of Moldova. Ch.: Î.S.F.E.-P. „Tipografia Centrală”, 2006, 160 p.
17. Corețchi L. et all. Assessment of radon concentration in the Republic of Moldova. In: Book of abstract. The 6 th Annual International Conference on Sustainable Development Through Nuclear Research and Education, May 22-24, 2013 Pitești, România, Institute for Nuclear Research, p. 67.
18. Corețchi L., Bahnarel I., Strail T. Investigations of radon concentration in the Republic of Moldova. In: European Conference on Individual Monitoring of Ionizing Radiation. Athens, Greece, March, 8-12, 2010, p. 266.
19. Corețchi L., Streil T., Bahnarel I. Radon mapping strategy in the Republic of Moldova. In: Third European IRPA Congress Abstracts. Helsinki, Finland, 14-18 June 2010, p. 80.
20. Corețchi L., Bahnarel I. et all. Assessment of geological influence on radon concentration in the Republic of Moldova. In: First East European Radon Symposium. Scientific Programme and Book of Abstracts, Cluj-Napoca, România, September 2-5, 2012, p. 50. ISBN: 978-973-53-0857-5.
21. Cosma C., Cucuș Dinu A., Dicu T. Preliminary results regarding the first map of residential radon in some regions in Romania. In: *Radiation Protection Dosimetry Journal*, 2013, vol. 155, nr. 3, p. 343-50.



22. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. In: Official Journal of the European Union, Volume 57, 17 January 2014, 73 p.
23. European Commission. Council Directive Laying Down Requirements For The Protection Of The Health Of The General Public With Regard To Radioactive Substances In Water Intended For Human Consumption. Brussels, 28.3.2012, 16 p.
24. Harley N.H., Robbins E.S. Radon and leukemia in the Danish study: another source of dose. In: Health Phys., 2009, vol. 97(4), p. 343-347.
25. ICRP 68, Dose Coefficients for Intake of Radionuclides by Workers (1995).
26. International Commission on Radiological Protection, *Recomandations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1990.
27. Kapdan E. et al. Determination of the health hazards due to background radiation sources in the city of Adapazari, Northwestern Turkey. In: Isotopes Environ Health Stud, 2011, vol. 47(1), p. 93-100.
28. Manea C. et al. Determination of additional effective dose and radiological risk assessment for exposed population in Lisava mining area (Banat area). In: *Revista de chimie*, 2012, vol. 63, nr. 2. p. 182-186.
29. Manea C. et al. Radiological risk assessment by determining the additional effective dose received by the population in Ciudanovița Mining area (Banat - Romania). In: *Revista de chimie*, 2011, vol. 62, nr. 10, p. 986-992.
30. Manea C. et al. The distribution of radon concentration and debit gamma dose in Bucharest area. In: *Analele Universității București – chimie*, 2011, vol. 20, nr. 1, p. 73-78.
31. Manea C. et al. The estimation of cements radioactivity obtained by electrofilter ashes addition due to thermal power station base don coal from Oltenia coafield, Romania. In: *Analele Universității din București - chimie*, 2008, Anul XVII (serie nouă), vol. I, pag. 45-49.
32. Manea C. et al. The radiological risk assessment due to the radioactivity of thermal power station ashes added in building materials. In: *Revista de chimie*, 2010, vol.55, nr. 1, p. 23-28.
33. Moldovan Mircea et al. [Radon concentration in drinking water and supplementary exposure in Baita-Steii mining area, Bihor county \(Romania\)](#). In: *Radiation Protection Dosimetry Journal*, 2014, vol. 158, nr.4, p. 447-52.
34. Mowlavi A.A., Shahbahrami A., Binesh A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of the Ramsar region in Iran. In: *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2009, vol. 45(3), p. 269-272.
35. Mrdakovic Popic J. et al. Outdoor  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  and terrestrial gamma radiation levels: investigation study in the thorium rich Fen Complex, Norway. In: *Journal of Environmental Monitoring*, 2012, vol. 14(1), p. 193-201.
36. Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of Raw Materials, (IAEA Safety Standards Series No. RS – G – 1.6, 2004).
37. Operational radiation Protection – a Guide to optimization. SS nr. 101, IAEA, Vienna, 1990
38. Olszewski J., Skubalski J. Radon concentrations in selected residential buildings in the city of Łódź. In: *Med. Pr.*, 2011, vol. 62(1), p. 31-36.
39. Radiation Protection Against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Report Series, No. 33, IAEA, Viena, 2003.
40. Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Radiation protection RP112 European Commission.1999.
41. Ravikumar et all. Spatio-temporal Variation in Radon Concentration in Groundwater with Respect to Rock Types: A Case Study from Chitradurga District, Karnataka. In: *Journal Geological Society of India*, vol.83, February 2014, p.156-164.
42. The long Term Stabilization of Uranium Mill Tailing, IAEA – TECDOC – 1403, Viena (2004).
43. Todorovic N. et al. Effects of alpha particle radiation on gene expression in human pulmonary epithelial cells. In: *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2012, vol. 215(5), p. 522-535.
44. Ursulean I., Corețchi L., Chiruță I., Vîrlan S. Estimation of indoor radon concentrations in the air of residential houses and mines in the Republic of Moldova. In: **Romanian Journal of Physics**, 2013, Volume 58, Number Suppl., p. 291-297 (IF 0.34).
45. Vîrlan S. et all. Assessment of Radon concentration in the Republic of Moldova. In: Individual monitoring and environmental dosimetry – as important components of the radiation protection culture. Conferința Națională a Societății Române de Radioprotecție, 13 noiembrie, 2013, p. 59.

PAȘAPORTUL MOSTREI N\_\_\_\_\_

1. Denumirea mostrei \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

lotul total \_\_\_\_\_

2. Data și locul colectării \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Furnizorul (organizația, județul, municipiul) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Organizația, numele, funcția persoanei, care a colectat mostra pentru  
investigare \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Semnătura \_\_\_\_\_

denumirea instituției sau a laboratorului abilitat cu funcții de investigare a radioactivității materialelor de construcții

### CERTIFICAT

de calitate a radioactivității materialelor de construcții

Tipul materialului \_\_\_\_\_

Expeditor: \_\_\_\_\_

Nr. mostrei	Radiu-226 Bq/kg	Thoriu-232 Bq/kg	Potasiu-40 Bq/kg	C-ef Bq/kg	Clasa de utilizare	Tipul mostrei	Locul colectării

Concluzie: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Tipurile posibile de utilizare: - Clasa - C-ef.Bq/kg

(a sublinia necesarul)

- Toate tipurile de utilizare - I -  $\leq$  - 300
- Construcții industriale și de drumuri - II -  $\leq$  - 600
- Construcții industriale și de drumuri - III -  $\leq$  - 1350

în afara habitatului

Șeful instituției sau a laboratorului acreditat:

Semnătura \_\_\_\_\_ Nume, Prenume \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ a. \_\_\_\_\_

## CERTIFICAT

de cercetare al CMEE a Radonului și DDE în încăperi

Denumirea obiectului cercetat \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ a.

Nr. adeverinței de atestare metrologică \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Valabil până \_\_\_\_\_

Metodele de măsurare \_\_\_\_\_

Nr. d/o	Tipul materialului	Furnizor	C-ef Bq/kg	Concluzii (clasa)

Concluzii: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Măsurătorile au fost efectuate de:

Semnătura \_\_\_\_\_ Nume, Prenume \_\_\_\_\_

Funcția \_\_\_\_\_

Au asistat:

Semnătura \_\_\_\_\_ Nume, Prenume \_\_\_\_\_

Funcția \_\_\_\_\_

**BILANȚUL CONTROLULUI RADIOACTIVITĂȚII MATERIALELOR  
DE CONSTRUCȚII ȘI A ÎNGRĂȘĂMINTELOR MINERALE**

În anul \_\_\_\_\_

Nr. d/o	Tipul materialului	Furnizor	C-ef Bq/kg	Concluzii (clasa)

Șeful organizației sau a

laboratorului acreditat \_\_\_\_\_ Nume, Prenume \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**BILANȚUL REZULTATELOR MĂSURĂTORILOR DDE ȘI A  
CERCETĂRIILOR RADONULUI ÎN ÎNCĂPERI**

În anul \_\_\_\_\_

Nr. d/o	Tipul casei (apartamentului)	Adresa	DDE mediu mSv/h în		Cr Bq/m <sup>3</sup>
			încăperi	stradă	

Șeful organizației sau a

laboratorului acreditat \_\_\_\_\_ Nume, Prenume \_\_\_\_\_

**CERTIFICAT**  
**DE MĂSURARE A RADONULUI ÎN EDIFICIILE LOCATIVE**

Condiția necesară pentru obținerea rezultatului măsurărilor este completarea de către locatarul apartamentului (casei) a formularului respectiv.

Inițierea măsurătorii:

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014

Finisarea măsurătorii:

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2014

\* Orașul, Raionul \_\_\_\_\_

\* Localitatea \_\_\_\_\_

\* Strada \_\_\_\_\_

\* Casa Nr \_\_\_\_\_

\* Apartamentul \_\_\_\_\_

\* Etajul \_\_\_\_\_

\* Telefonul \_\_\_\_\_

\* Numele, prenumele locatarului

---

\* numărul etajelor \_\_\_\_\_

\* numărul apartamentelor \_\_\_\_\_

\* numărul locatarilor în apartament (casă) \_\_\_\_\_

\* numărul copiilor până la 16 ani \_\_\_\_\_

I. Tipul casei:

- Rural

- Urban

1. Materialul de construcții:

- Coteleț

- Panouri

- Lemn

- Blocuri de zgură

- Lampaci

- Piatră

- Cărămidă

## 2. Ventilare artificială

- Nu

- Ventilator

- Condiționer

## 3. Încăperea în care s-a efectuat măsurătoarea:

- Dormitor

- Camera de locuit (salon, sufragerie)

- Cabinet

- Bucătăria

- Camera pentru copii

## II. Etajul:

### 1. Acoperirea pereților:

- Tapete

- Vopsea

- Tencuială, văruire

- Faianță (Gresie)

- Mușama

### 2. Fereastra în încăperea în care au fost efectuate măsurătorile:

- Deschisă permanent

- Deschisă periodic

- Închisă permanent

## III. Dușumeaua:

### 1. Materialul dușumelei:

- Scândură

- Parchet

### 2. Tipul materialului, situat între dușumea și solul subiacent:

- Lemn

- Beton armat

- Nisip

- Zgură
- Var
- Lut
- Altele

3. Ventilația spațiului dintre dușumea și sol:

- Este
- Lipsește

IV. Amplasarea subsolului:

- Subiacent camerei unde au fost efectuate măsurătorile
- Parțial

Se perfectează de către organizația care a efectuat măsurătorile

Denumirea organizației, adresa \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Numele, Prenumele persoanei care a efectuat măsurătorile \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ funcția \_\_\_\_\_

Metoda și dispozitivul utilizat pentru măsurători, termenul de valabilitate a  
testului metrologic \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Numărul de înregistrare al măsurătorii \_\_\_\_\_

Concentrația echivalentă de echilibru a Radonului-222 \_\_\_\_\_ Bq/m<sup>3</sup>.