

EXHALAȚIA RADONULUI DIN MATERIALELE DE CONSTRUCȚII

Adelina APOSTU*

REZUMAT

În acest articol se prezintă principalele caracteristici de eliberare a radonului din materialele de construcții, precum și rezultatele unor cercetări experimentale efectuate în diverse țări privind determinarea contribuției materialelor de construcții la creșterea concentrației din interior. Valorile admisibile ale caracteristicilor de eliberare din materialele de construcții sunt reglementate la nivel național și / sau european.

Cuvinte cheie: radon, materiale de construcții, radium, rata de emanație, rata de exhalatie, coeficientul de difuzie

1. Introducere

Exhalatia radonului din materialele de construcții este o combinație a două procese. Primul proces este generarea radonului care depinde puternic de concentrația de radium, de coeficientul de emanație al materialului și de materialul ales; al doilea proces este transportul radonului prin microstructura materialului, proces condiționat de umiditatea materialului. [1]

2. Caracteristici de exhalatie a radonului

Concentrația de radium C_{Ra}

Radonul este produs de toate materialele ce conțin radium-226. Concentrația activității de radium (în unități de Becquerel radium-226 pe kg masă uscată) dă direct rata de producere a radonului. De exemplu, dacă o probă conține 23 Bq de Ra-226, atunci înseamnă că radonul este produs cu o rată de 23 atomi/sec.

Rata de emanație a radonului E

În materialele poroase, radiumul este situat în granule. Numai o parte din radonul produs în granule migrează în porii aflați între acestea. Rata de

ABSTRACT

The paper presents the main characteristics related to the radon release of construction materials, as well as the results of experimental research performed in various countries concerning the assessment of the contribution of construction materials to the increase of the concentration of this gas in interior spaces. The acceptable values of the characteristics of radon release of construction materials are prescribed at national and / or international level.

Keywords: radon, construction materials, radium, release rate, exhalation rate, diffusion coefficient

emanație a radonului este numărul atomilor de radon pe secundă pe kg de material uscat (atomi / kgs) care migrează din părțile solide ale materialului și sunt disponibili pentru transport.

Rata de exhalatie este rata cu care radonul este furnizat de porii din material în exterior (fig. 1).

Rata de exhalatie

Considerând o probă dintr-un material de construcție plasată în condiții date de temperatură, umiditate, presiune și concentrație de radon cunoscută, se poate defini rata de exhalatie ca fiind cantitatea netă de radon care migrează din proba respectivă în unitatea de timp (se poate exprima ca număr de atomi de radon care migrează pe secundă – atomi / s – sau ca o cantitate de radon care migrează într-o oră – Bq / kg s) în aer [2]. Rata de exhalatie pentru o probă dată depinde de mediul în care proba este plasată.

Rata de exhalatie a betonului poate varia în timp. De exemplu Roefolt și Scholten [3] au găsit că rata de exhalatie din probele de beton variază cu un factor de 1,5 între 6-12 luni de la turnare. După un an de la turnare, rata de exhalatie variază mai puțin. În timpul următorilor 6-8 ani, rata de exhalatie descrește monoton la 0,3-0,6 din valoarea maximă.

* Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții și Economia Construcțiilor – INCERC București

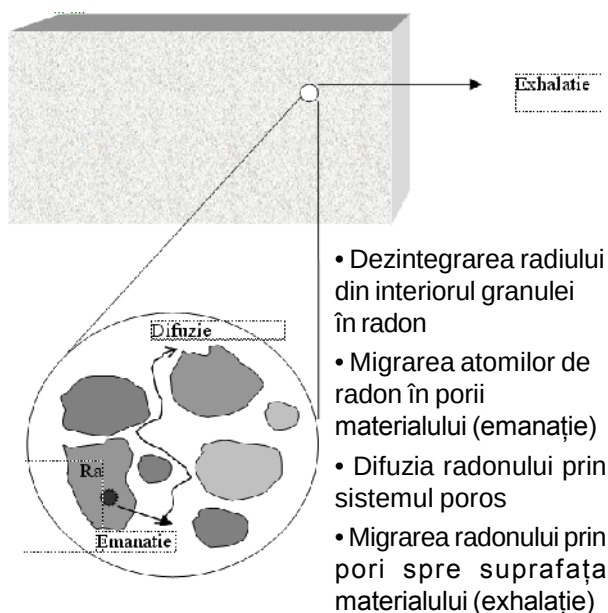


Fig.1. Ilustrarea celor mai importante procese legate de exhalația radonului din diferite matrici

Dijk și de Jong [4] au arătat că ghipsul, ca și betonul în diferite condiții de umiditate au diferite rate de exhalație.

Coefficientul de emanație a radonului h

Coefficientul de emanație se definește ca fiind raportul dintre rata de emanație în pori și rata de generare a radonului în interiorul probei (fracția din cantitatea totală de radon produsă din dezintegrarea radiului care migrează din granule și intră în spațiul poros) $h = E / C_{Ra}$.

Coefficientul de emanație depinde de distribuția radiului în granule, de distribuția mărimii granulelor și de prezența umidității între granule. Teoretic, h poate lua valori între 0 și 100 %. Prezența apei între

granule influențează foarte mult intrarea radonului în pori.

Pentru sol, valoarea maximă a coeficientului de emanație este 20 %. Pentru un material dat (cu distribuția dimensiunilor granulelor dată) coeficientul de emanație este funcție numai de umiditatea probei. Se presupune că h este independent de concentrația de radon din pori.

Concentrația radonului și thoronului în porii umpluți cu aer crește cu umiditatea solului sau materialului (fig. 2). Acest lucru se datorează distanței mici de recul în apă față de aer. Un atom de radon ce intră într-un por care este umplut parțial sau total cu apă are o probabilitate ridicată de a fi stopat în lichid, fără a se putea implanta în altă granulă. De aici, el poate fi transferat spre un por cu aer.

Coefficientul de difuzie D

Exhalația radonului din materiale de construcții, cum ar fi betonul, rezultă, în principal, din difuzia moleculară. Coeficientul de difuzie variază între $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ și $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Valoarea coeficientului de difuzie depinde puternic de material, de fapt de mărimea, densitatea și forma porilor. Coeficientul de difuzie a radonului în beton este cu aproximativ două ordine de mărime mai mic decât în nisip și, de asemenea, procesul de emanație arată o creștere liniară cu conținutul de umiditate al porilor. Cel mai probabil această diferență este datorată faptului că betonul are o rețea foarte fină de pori [1].

Coefficientul de difuzie variază în funcție de tipul fluidului din pori. Coeficienții de difuzie în

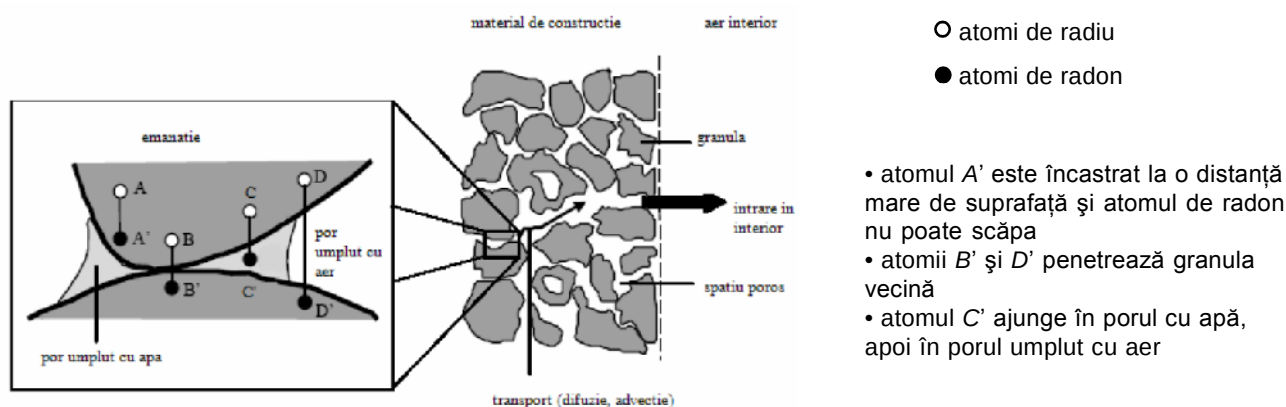


Fig. 2. Ilustrarea schematică a emanației, transportului și mecanismului de exhalație a radonului și thoronului din sol și materiale de construcții în aerul interior

diferite medii poroase sunt prezentați în Tabelul 1, [6].

3. Variația caracteristicilor de exhalatie a radonului

Ratele de exhalatie a radonului pe unitatea de masă (Em) sau suprafață (Es) pentru materialele de construcții (Tabelul 2) arată că pentru un același material, intervalul de valori este foarte mare. Se observă că betonul are cea mai mare variație a ratei de exhalatie pe unitatea de masă [1].

Betonul poate elibera pe unitatea de suprafață o mare cantitate de radon, în timp ce valori mici ale ratei de exhalatie pe unitatea de suprafață sunt caracteristice BCA și ghipsului.

Exhalatia radonului din beton este influențată de conținutul activității de radium, de coeficientul de emanație, de compoziția betonului și de

umiditatea și vârsta betonului. Influența fiecăruia din acești factori va fi discutată în continuare.

Influența concentrației activității de radium și a coeficientului de emanație

S-a observat că zgura de furnal are cea mai ridicată concentrație a activității de radium. În Tabelul 3 se prezintă concentrația activității de radium (C_{Ra}) și rata de exhalatie a radonului pe unitatea de masă Em pentru materialele componente betonului [1].

Rezultatele măsurărilor C_{Ra} efectuate de diferiți cercetători pentru materialele componente betonului indică valorile cele mai ridicate pentru cenușă (160 ± 30 Bq / kg). Concentrația activității de radium pentru agregate variază între 70 și 200 Bq / kg, în timp ce pentru ciment, nisip de râu, ghips și var, valorile sunt mai mici.

Într-un studiu realizat de Tso [7] s-au comparat C_{Ra} , h și Em pentru beton obținute în mai multe țări. Valorile concentrației activității de radium pentru beton fără cenușă zburătoare sunt cuprinse în intervalul 10-100 Bq / kg, în timp ce coeficientul de emanație variază între 1-30 %. Nu există nici o corelație între concentrații ridicate de radium și rate de exhalatie mari, dar o combinație de valori ridicate de C_{Ra} și h determină valori crescute ale Em . Există o relație liniară între C_{Ra} și Es , valabilă pentru unele materiale de construcții (beton, cărămidă, ghips, pietriș și nisip):

$$Es = 0,033C_{Ra} - 0,042 \quad (1)$$

Pentru cele mai multe materiale naturale sau artificiale au fost măsurate concentrațiile de

Tabelul 1

Valoarea coeficientului de difuzie pentru diferite medii poroase

MEDIU	COEFICIENT DE DIFUZIE (m^2 / s)
Roci dense	$0,05 \times 10^{-6}$
Roci cu porozitatea 6,2 %	$0,2 \times 10^{-6}$
Roci cu porozitatea 7,4 %	$0,27 \times 10^{-6}$
Roci cu porozitatea 12,5 %	$0,5 \times 10^{-6}$
Roci cu porozitatea 25 %	3×10^{-6}
Aer	$10-12 \times 10^{-6}$
Apă	$0,0113 \times 10^{-6}$
Sol aluvionar	$3,6-4,5 \times 10^{-6}$
Cenușă zburătoare	$0,02 \times 10^{-6}$

Tabelul 2

Ratele de exhalatie a radonului pe unitatea de masă și suprafață

MATERIAL	Em ($\mu Bq / kgs$)	Es (mBq / m^2s)
Beton	1,4-21	0,05-6,2
Beton ușor	–	0,12-0,51
Nisip calcaros	–	0,35-3
Cărămidă	0,94-16	0,003-2,9
Ghips	2,2-6,39	0,006-0,79

Tabelul 3

Concentrația activității de radium și rata de exhalatie pentru diferite materiale

COMPONENTE	C_{Ra} (Bq / kg)	Em ($\mu Bq / kgs$)
Ciment Portland	29 (10-49)	–
Cenușă zburătoare	95	100
Zgură de furnal	120	–
Ciment de zgură	82 (49-116)	–
Nisip sort > 0,125 mm	13-78	$8,8 \pm 0,1$
Argilă	1750	$38,5 \pm 0,03$
Pietriș	77 (10-130)	–

Ra-226, Th-232 și K-40, în funcție de dimensiunea particulelor (Tabelul 4). Cu scăderea dimensiunii particulelor, crește densitatea materi-alului și suprafața porilor pe unitatea de volum, rezultând cantități mai mari de radionuclizi absorbiți la suprafața granulelor, conducând astfel la creșterea atât a concentrației de Radium, cât și a ratei de emanație.

În concluzie, variații mari ale C_{Ra} pentru componentele betonului pot fi asociate la variații mari ale ratelor de exhalație pe unitatea de masă și pe unitatea de suprafață.

O combinație între valori ridicate pentru C_{Ra} și h conduc, cel mai probabil, la rate de exhalație ridicate.

Van Dijk and De Jong [4] au măsurat ratele de exhalație pe unitatea de suprafață pentru diferite tipuri de betoane în care fracțiile componentelor au fost menținute constante, variind numai tipul cimentului:

- Proba de beton ce conține ciment cu zgură a avut cele mai ridicate valori ale concentrației activității de radium ($15,8 \pm 1,1$ Bq / kg) și ale ratei de exhalație pe unitatea de suprafață ($1,03 \pm 0,08$ mBq / m²s).

- Proba de beton ce conține ciment Portland și cenușă zburătoare a avut o concentrație de radium mai ridicată decât proba de beton confecționată numai din ciment Portland, cele 2 probe având valori ale ratei de exhalație pe unitatea de suprafață E_s comparabile.

Tabelul 4

*Concentrații ale diverselor materiale radioactive
funcție de mărimea granulelor componente*

PROBA	FRAȚIE (mm)	CONCENTRAȚIA C (Bq / kg)		
		Ra-226	Th-232	K-40
Nisip	> 1	33 ± 1	32 ± 1	1130 ± 68
	> 0,125	33 ± 1	42 ± 1	810 ± 49
	< 0,063	167 ± 8	237 ± 7	690 ± 41
Argilă	> 0,150	90	190	330
	< 0,063	101 ± 5	79 ± 2	1090 ± 65
	< 0,053	130	270	410
Cenușă zburătoare	> 0,150	65	95	600
	< 0,053	115	160	630
Zgură de furnal	> 0,150	120	133,3	130
	< 0,053	120	130	130

Roefols și Scholten [3] au obținut rezultate similare. Valorile pentru rata de exhalație pe unitatea de masă Em pentru beton cu ciment Portland au fost mai scăzute ($3-7$ μBq / kg s) decât cele ale betonului cu ciment și zgură ($7-12$ μBq / kg s), o diferență în acord cu conținutul de radium. Totuși, prin incorporarea cenușii zburătoare, valorile ratei de exhalație pe unitatea de masă pentru probe de beton cu ciment Portland și pentru probe cu ciment cu zgură scad cu 26 % deși concentrațiile activității de radium cresc.

Influența raportului apă / ciment (A / C) și a timpului de tratare asupra ratelor de exhalație a radonului din beton a fost studiată de Ulbak [14]. Pentru cele două tipuri de betoane, cu și fără cenușă zburătoare, nu s-au observat schimbări semnificative în exhalația radonului pentru raport A / C între 0,2-1,0 și diferite condiții de tratare.

În alt studiu realizat de Roefols și Scholten [3], valorile Em și h pentru beton cu ciment cu zgură cresc de 2,4 ori cu creșterea raportului A/C, de la 0,4 la 0,65. Deși la rapoarte A / C mici, o descreștere a valorii Em cu creșterea timpului de tratare este așteptată, au fost măsurate diferențe nesemnificative pentru un timp de tratare de 3 și respectiv 28 zile.

De asemenea, înlocuirea agregatelor de râu cu calcar sau agregate de mare nu are influență asupra ratei de exhalație pe unitatea de masă.

Înlocuirea agregatelor cu spărturi de beton sau zidărie reciclate determină o creștere a ratei de exhalație pe unitatea de masă de 1,5 ori.

Conform cercetărilor efectuate în Olanda, betonul ce conține ciment cu zgură are, în cele mai multe cazuri, valori ridicate ale concentrației de radium și ale ratei de exhalație pe unitatea de suprafață, probabil din cauza faptului că cimentul cu zgură are cele mai ridicate valori ale concentrației activității de radium. În general, adăugarea cenușii zburătoare (de asemenea cu valori ridicate ale C_{Ra}) crește valorile concentrației de radium a betonului, dar descrește rata de exhalație a radonului prin creșterea compactității betonului.

Exhalațiile din beton par a fi independente de timpul de tratare, dar cu creșterea raportului A / C crește valoarea ratei de exhalație pe unitatea de masă și, respectiv, coeficientul de emanație [1].

Influența vârstei materialului de construcție

Roefols și Scholten [3] au măsurat rata de exhalatie a radonului pe unitatea de masă pentru 4 probe de beton de compoziții diferite (diferite tipuri de cimenturi, proporții diferite ciment-agregate, diferite rapoarte A/C), supuse la umidități relative de 50 % timp de 8 ani. Tendința înregistrată a fost similară pentru cele 4 probe: o creștere cu un factor de 1,5 pentru primele 6-12 luni, urmată de o descreștere.

În 1996 Van Dijk și De Jong au măsurat C_{Ra} , h și Es pentru 3 probe de beton cu ciment Portland, ciment cu zgură și ciment Portland cu cenușă zburătoare și au comparat valorile cu rezultatele obținute într-un studiu din 1991 [4]:

- Valorile obținute pentru C_{Ra} au fost aceleași pentru cele 3 probe;
- Pentru probele confecționate din ciment Portland cu zgură și Es au fost aceleași;
- Pentru probe conținând ciment Portland și ciment Portland cu cenușă, valorile η și Es cresc cu un factor egal cu 2 față de valorile obținute în 1991;
- Concentrațiile de radium au fost aceleași pentru toate tipurile de probe, diferențele în compoziția probelor și condițiile de expunere neputând explica factorul de creștere egal cu 2 a ratei de exhalatie pe unitatea de suprafață și respectiv a coeficientului de difuzie. Autorii au presupus ca o posibilă explicație diferența dintre vârsta probelor (6-7 luni față de 4 ani).

Mai mult, s-a aratat într-un alt studiu că exhalatia radonului din suprafața materialelor de construcție scade în timp, de la 10 mBq/m²s pentru un beton de mai puțin 5 ani vechime la 2 mBq/m²s pentru un beton de peste 20 ani [8]. Conținutul de radium al pereților nu se schimbă, descreșterea eliberării fiind cauzată de efectul vârstei, deci de reducerea conținutului de apă.

În concluzie, exhalatia radonului depinde puternic de concentrația de radium, de coeficientul de emanație al materialului, de alegerea tipului de ciment și de conținutul de apă al materialului. Pentru a compara ratele de exhalatie a radonului, măsurătorile trebuie făcute la aceleași valori

standardizate de temperatură și umiditate. Distribuția radiului în interiorul granulelor minerale joacă, de asemenea, un rol important [15].

Cercetări efectuate în diferite țări arată că exhalatia radonului din materialele de construcție este dependentă de vârstă. S-au investigat ratele de exhalatie a radonului din beton și de asemenea din pastă de ciment și amestec mortar-nisip pe o perioadă de 1 an. Aceste rezultate, combinate cu o analiză a măsurătorilor de exhalatie a radonului, subliniază că cel mai important factor răspunzător de variațiile în timp este conținutul de umiditate al probei.

Pentru a obține o descriere completă a transportului de radon prin beton funcție de umiditatea betonului, se folosește dependența coeficientului de difuzie a radonului și coeficientului de emanație funcție de cantitatea de apă din beton.

Studii experimentale [3, 8, 9] efectuate asupra ratelor de exhalatie a radonului din beton arată că această proprietate este dependentă de timp. În fig. 3 se observă că valorile ratelor de exhalatie pe unitatea de masă pentru beton cresc în primele 100 zile după producerea betonului, urmată de o valoare aproximativ constantă.

În fig. 4, sunt prezentate, comparativ, date obținute în două studii, folosind același tip de ciment (70 % zgură și 30 % ciment Portland).

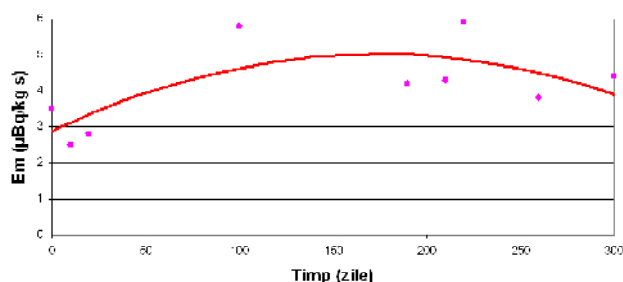


Fig. 3. Variația ratei de exhalatie a radonului pe unitatea de masă, din probe de beton, funcție de timp

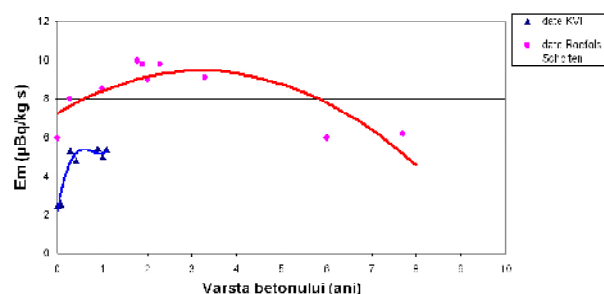


Fig. 4. Dependența de timp a ratei de exhalatie a radonului pe unitatea de masă

Roefols și Scholten au concluzionat, în studiul lor că în primul an după turnarea probelor, valorile E_m cresc de aproximativ 1,5 ori, deși valorile probelor individuale (identice ca formă și compoziție) variază considerabil în această perioadă.

După un an, diferențele dintre probele individuale (cu și fără compoziție identică) sunt considerabil reduse și s-a observat o scădere a valorii ratei de exhalație E_m cu creșterea vârstei betonului.

Ratele de exhalație a radonului din probele Kernfysisch Versneller Instituut – Olanda sunt de 3-4 ori mai mici decât cele obținute de Roefols și Scholten, posibil din cauza timpului diferit de păstrare în apă (28 zile pentru probele KVI și numai 7 zile pentru Roefols și Scholten).

O cauză posibilă pentru dispersia valorilor E_m este diferența dintre duratele de păstrare a probelor de beton. Aceste variații pot fi datorate diverselor grade de saturare cu apă existente în momentul efectuării măsurătorilor. În general, probele ținute în interior, înfășurate în folie de plastic, arată valori ridicate ale E_m .

Ratele de exhalație a radonului pentru amestecuri (paste de ciment, mortar) obținute în laboratorul KVI au fost măsurate pe o perioadă de 200 zile (fig. 5). Cele 2 probe au fost păstrate în folii de plastic în prima săptămână. Valorile E_m pentru probele de pastă de ciment cresc de 1,5 ori de la sfârșitul perioadei de tratare (ziua 7) până la 200 zile. Această creștere este comparabilă cu cea măsurată pentru beton.

Suma ratelor de exhalație a radonului pentru componentele uscate este comparabilă cu valorile măsurate pentru beton.

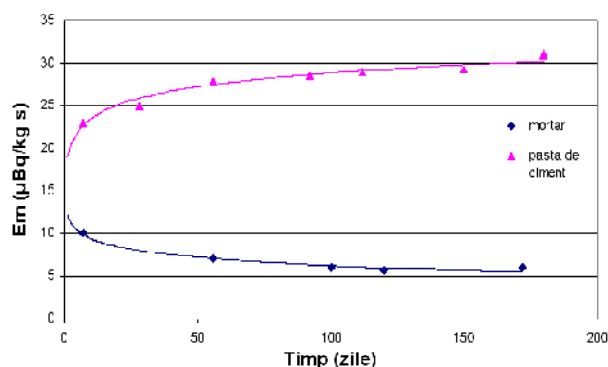


Fig. 5. Variația ratei de exhalație pe unitatea de masă, funcție de timp

Dependența de timp a ratei de exhalație a radonului din beton este o contribuție a mai multor factori, cel mai important fiind gradul de saturare cu apă.

Influența temperaturii și umidității

Rata de exhalație a radonului depinde puternic de conținutul de umiditate al materialului (beton, sol etc). Explicarea acestui fenomen este bazată pe 2 efecte opuse. Prezența apei în porii interiori diminuează energia de recul a atomilor de radon emanați și, deci, reduce absorbția radonului pe suprafața interioară a porilor. Acest efect crește cantitatea de radon din pori care va participa ulterior în procesul difuziei. Celălalt efect reduce exhalația radonului deoarece când porii sunt saturați cu apă, coeficientul de difuzie a radonului scade cu două ordine de mărime față de cazul porilor umpluți cu aer.

Rata de exhalație a radonului pe unitatea de masă E_m pentru betonul cu ciment Portland a fost măsurată după 8 ani, la diferite umidități relative. Schimbările inițiale ale E_m pentru betonul proaspăt sunt în legătură cu schimbările umidității interne, în timp ce, odată cu trecerea timpului, se observă o clară dependență de condițiile de umiditate atmosferică. În condiții de umiditate scăzută, valoarea E_m se reduce drastic. Betoanele expuse condițiilor din interior arată valori similare cu betoanele expuse la umiditate relativă de 50 % [1].

Pentru umiditate mai mare de 50-70 %, se observă că E_m crește, în timp ce pentru umidități de 75 și 100 % valorile E_m sunt comparabile. Aceste rezultate sunt în acord cu datele furnizate de Stranden [9] pentru beton și, de asemenea, de Fleischer [10] pentru sol.

Efectul conținutului de umiditate asupra ratei de exhalație E_m pentru probele de beton a fost investigat de Stranden [9]. Măsurătorile au început pe un cub umed (ținut în apă 90 ore), apoi s-a încălzit treptat (la 70-200°C), conținutul de apă fiind redus treptat până la uscarea completă la 200°C pentru 90 ore. Valoarea E_m a fost măsurată în fiecare etapă. S-au observat diferențe (de 20 ori mai mari) pentru probele complet uscate față de cele cu 5 % umiditate.

Valoarea ratei de exhalatie pe unitatea de masă pentru 0-3 % conținut de apă a fost de 3-6 ori mai ridicată decât valorile de referință pentru starea uscată.

Studiul [9] investighează efectul temperaturii asupra variației Em . Deși efectul arată o dependență de conținutul inițial de umiditate al betonului, valorile Em cresc cu creșterea temperaturii (la 50°C, valorile sunt în medie de 4,5 ori mai mari decât la 4°C).

Pentru a determina efectul umidității sezoniere asupra ratei de exhalatie pe unitatea de suprafață pentru beton, Yamanishi [11] măsoară Es în timpul unui an, pe 3 probe de beton inițial uscate, plasate în medii cu diferite umidități, de exemplu mediu uscat, mediu cu umiditate scăzută (40 %), mediu cu umiditate ridicată (90 %).

Față de starea uscată, conținutul de apă al betonului pe unitatea de masă crește cu 2,4 % în mediu cu umiditate ridicată și respectiv cu 0,88 % în mediu cu umiditate scăzută.

Umiditatea influențează mult procesul de exhalatie a radonului (de exemplu pentru nisip) [12].

Un studiu detaliat al dependenței ratei de exhalatie a radonului Em funcție de umiditate s-a efectuat pe cuburi de beton. Inițial s-a măsurat Em pentru proba de beton la 28 zile, apoi după 6 luni. Valorile obținute (fig. 6) indică o creștere de 1,7 ori, în funcție de schimbarea valorii umidității betonului de la 0,90 la 0,82. În timpul acestor 6 luni în care proba a fost ținută în folie de plastic pentru a conserva umiditatea, s-a măsurat greutatea probei periodic.

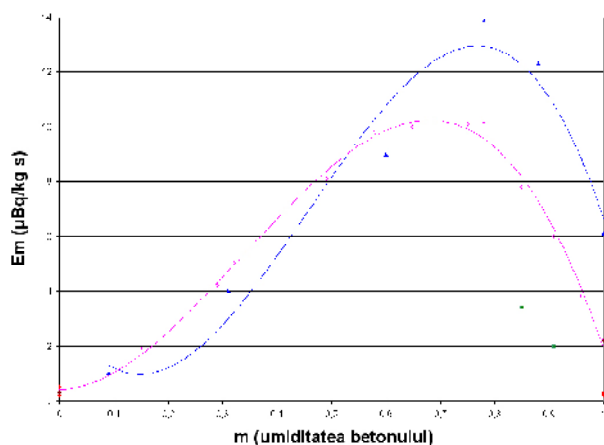


Fig. 6. Ratele de exhalatie a radonului pe unitatea de masă a betonului, funcție de saturarea cu apă a probei

Cubul de beton a fost imersat în apă aproape un an și s-a măsurat periodic până la obținerea masei constante. Apoi s-a măsurat valoarea Em (corespunzător $m = 1$). Același cub a fost uscat treptat la 250°C (până la uscarea completă) și la fiecare pas a fost măsurată rata de exhalatie a radonului (fig. 6). După aceasta serie de măsurători, rata de exhalatie a radonului pentru $m = 0$ și $m = 1$ a fost repetată. S-a efectuat un al doilea set de măsurători ale Em pe același cub de beton, rezultatele obținute fiind reprezentate prin ▲ în fig. 6. Al doilea profil este modificat față de primul datorită alterării structurii betonului în timpul uscării la temperatură ridicată.

Se observă că apa joacă un rol important în stimularea sau întârzierea eliminării radonului, în funcție de gradul de saturare.

Pentru a estima coeficientul de emanație η în beton trebuie să luăm în considerare valorile concentrației activității de radu C_{Ra} și ale ratei de exhalatie a radonului pe unitatea de masă Em . Variațiile observate au fost presupuse a fi cauzate de diferențele în conținut în umiditate al probelor când au fost făcute măsurătorile.

Coeficientul de emanație se poate calcula cu relația:

$$\eta = R / C_{Ra} M \lambda_{Rn} \quad (2)$$

unde M este masa în stare uscată a probei (kg); C_{Ra} – concentrația de radu (Bq / kg); R – rata de exhalatie a radonului (Bq / s); λ_{Rn} – constanta de dezintegrare a radonului ($2,1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$).

Rezultatele obținute pentru beton sunt date în fig. 7, împreună cu datele obținute de Van der Spoel [12] pentru măsurători similare pe probe de nisip.

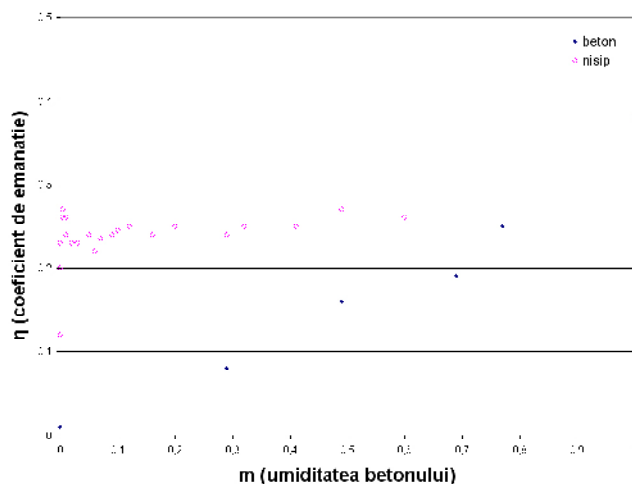


Fig. 7. Dependența coeficientului de emanație de umiditatea betonului și, respectiv, pentru nisip

Fig. 7 indica că, în cazul betonului, coeficientul de emanație se comportă diferit față de cel al nisipului.

Umiditatea influențează emanația radonului din beton în mod diferit datorită diferențelor din structura porilor și distribuția mărimii porilor.

Ratele de exhalație a radonului din cuburi de beton variază funcție de timp datorită, în primul rând, schimbărilor conținutului de apă din beton.

Pentru un anumit tip de beton, diferențe de un ordin de mărime pot apare în ratele de exhalație a radonului datorită schimbării conținutului de umiditate. Pentru a determina ratele de exhalație a betonului se recomandă efectuarea măsurătorilor simultan cu cele ale conținutului de umiditate.

Pentru a modela rata de exhalație pe unitatea de suprafață E_s ($Bq / m^2 s$), s-a folosit o placă de beton de 20 cm grosime. Rezultatele prezentate în fig. 8 arată că E_s începe de la o valoare diferită de zero pentru umiditatea betonului $m = 0$, crește până la maxim la $m = 0,7$ și scade rapid pentru $m > 0,8$.

Acest rezultat precum și faptul că în clădiri umiditatea relativă variază între 30 și 70 % înseamnă că mediul interior corespunde situației în care exhalația radonului este la valoarea maximă.

Dacă considerăm o cameră model cu un volum $V = 4 \times 8 \times 2,5 m^3$ și cu plăci și pereți de beton de 20 cm grosime (neglijând ușile și ferestrele, suprafața totală de beton este $A = 124 m^2$), concentrația de radon din cameră C (Bq / m^3), rezultă că exhalația radonului din beton se poate calcula ca funcție de umiditatea relativă din interior folosind valorile E_s din fig. 8:

$$C = A E_s / \lambda V \quad (3)$$

unde λ este rata de ventilație din cameră.

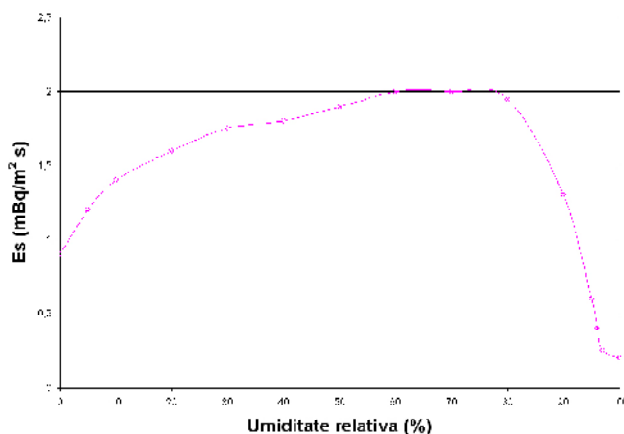


Fig. 8. Rata de exhalație E_s pentru o placă de beton de 20 cm, funcție de umiditatea relativă

În fig. 9, valoarea C calculată este prezentată pentru valori ale lui λ de 0,4; 1 și $1,6 h^{-1}$. Aceste rate de ventilație sunt bazate pe rezultatele cercetărilor efectuate în Olanda, unde au fost găsite $\lambda = 0,4 \div 1,6 h^{-1}$.

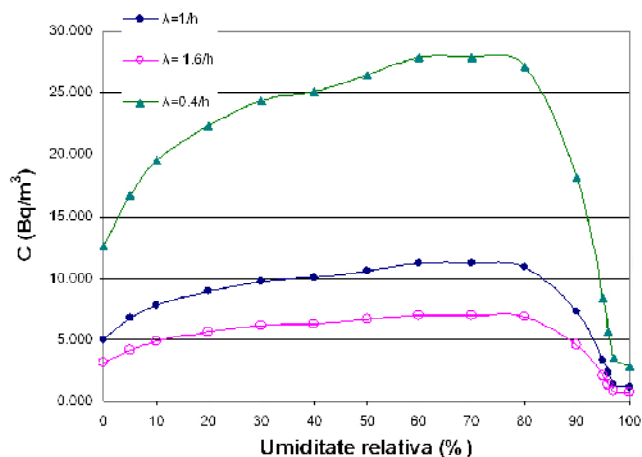


Fig. 9. Concentrația de radon funcție de umiditatea relativă într-o cameră de volum $8 \times 4 \times 2,5 m^3$, cu pereți și plăci de beton de 20 cm grosime

Fig. 9 arată că, într-o cameră model, concentrația de radon este extrem de sensibilă la rata de ventilație.

Concentrația de radon C și rata de ventilație λ sunt invers proporționale. Aceasta înseamnă că pentru a determina concentrația de radon dintr-o clădire trebuie măsurate simultan concentrația de radon și rata de ventilație.

Concentrația de radon într-o cameră model poate fi, de asemenea, calculată prin aplicarea schemei IPR (indice de performanță a radiației):

$$C = 0,5 M E_m / \lambda V \quad (4)$$

unde: M este masa totală a betonului din cameră; E_m – rata de exhalație a betonului pe unitatea de masă ($Bq / kg s$); 0,5 – factor de corecție (corectează faptul că numai jumătate din cantitatea de radon se eliberează în cameră).

E_m se poate măsura pe un cub de beton neacoperit (de 150 mm), menținut la umiditate relativă de 50 %. Pentru această evaluare, bazată pe standarde de beton olandeze, s-a obținut o valoare pentru E_m de $9,7 \times 10^{-6} Bq / kg s$.

Densitatea betonului la umiditatea relativă de 50 % a fost calculată din densitatea în stare uscată, porozitate și gradul de saturare cu apă:

$$\rho_{50\%} = 2.330 kg / m^3$$

Masa totală a betonului în camera model este $M = 0,2 A\rho_{50\%}$.

Introducând aceste valori în ecuația (1) obținem concentrația de radon dintr-o cameră estimată cu schema IPR (Tabelul 5).

Tabelul 5

*Estimarea concentrației de radon
într-o cameră de beton cu schema IPR*

λ (h^{-1})	C (Bq / m^3)
0,4	31,3
1,0	12,5
1,6	7,8

Comparând aceste valori cu concentrațiile maxime (obținute la umiditate relativă de aproximativ 60-70 %) în fig. 9 se observă că rezultatele IPR sunt cu 12 % mai ridicate.

Dozele estimate cu IPR nu consideră nici o dependență a ratei de exhalatie pe unitatea de masă de umiditatea relativă, această supraestimare fiind întâlnită la toate valorile umidității.

Motivul pentru această supraestimare este dublu:

- Schema IPR presupune că lungimea de difuzie a radonului în beton este mare comparativ cu grosimea peretelui de beton (> 20 cm), fapt ce conduce la concluzia că testele pe cuburi de beton mai mici de 15 cm pot fi utilizate pentru a estima exhalatia radonului din pereți de 20 cm grosime;
- Schema IPR folosește rata de exhalatie a radonului din cuburi de beton neacoperite în care difuzia este tridimensională, la estimarea eliberării radonului din pereți în care difuzia este unidimensională.

Prima presupunere nu este pe deplin satisfăcută deoarece, cum arată și fig. 10, lungimea de difuzie a radonului în beton este aproximativ 27 cm pentru beton uscat, dar numai de 13 cm pentru beton la umiditate relativă de 55 %.

Lungimea de difuzie este funcție de umiditatea betonului și se poate calcula din relația:

$$l = \sqrt{\frac{D_e}{\lambda_{Rn}}} \quad (5)$$

unde: D_e este coeficientul de difuzie efectiv, dependent de m prin relația:

$$D = D_o \exp [-a \times (m + bm^5)],$$

$$D_o = (1,77 \pm 0,06) \times 10^{-8} (\text{m}^2 / \text{s}),$$

$$a = 2,57 \pm 0,08;$$

$$b = 2,55 \pm 0,08 [1]$$

Toate aceste considerații conduc la concluzia că modelarea contribuției materialelor de construcții la creșterea concentrației radonului din interior prin măsurarea ratelor de exhalatie pe probe în condiții de laborator, nu dau rezultate comparabile cu cele obținute din cercetările teoretice.

Exhalatia radonului din beton într-o clădire depinde de umiditatea relativă din interior, fiind maximă pentru $RH = 30-70$ %.

Exhalatia radonului din beton poate fi calculată folosind schema IPR în clădiri și supraestimând cantitatea de beton cu 10-25 % (se neglijează ușile și ferestrele).

Schema IPR și modelul de calcul ce determină contribuția materialelor de construcții la creșterea concentrației de radon din interior dau rezultate mai scăzute decât cele estimate în cercetările efectuate. Aceasta indică că există încă un proces semnificativ care contribuie la concentrația radonului din interior. Cele 2 modelări se bazează pe cantități determinate numai prin difuzie nu și prin advecție. Conform observațiilor lui Aldenkamp și Stoop [13], diferențe mici de presiune pot cauza mărirea concentrației de radon din sol cu un ordin de mărime. Dacă asemenea mecanisme sunt prezente în materialele de construcții, cum ar fi betonul, atunci nepotrivirile dintre calcule și date pot fi explicate. Dacă, asemenea, mecanismul este prezent, inversarea direcției fluxului de aer poate reduce concentrația de radon cu un ordin de mărime.

Bibliografie

- [1] Ioana Cozmuta, *Radon Generation and Transport, A Journey through matter*
- [2] Claus Andersen, *Radon 222 Exhalation from Danish building materials: H + H Industri A / S Results, RISO R1135, 1999*
- [3] L.M.M. Roefols, L.C. Scholten, *The effect of aging, humidity and fly-ash additive on the radon exhalation from concrete*, Health Physics, 67, 1994
- [4] W. Van Dijk, P. de Jong, *Determining the radon exhalation rate of building materials using liquid scintillation counting*, Health Physics, 61, 1991

- [5] I.Cozmata, E.R. van der Graff and R.J. Meijer, *Modelling Radon Transport in Concrete*
- [6] Thompkins R.W, *The Safe Design of a Uranium Mine*, 2nd US Mine Ventilation Symp. Nevada
- [7] Tso M.W., *Radon Release from Building Materials from Hong Kong*, Health Physics, 1994
- [8] K.N.Yu, *The variation of radon exhalation rates from building surfaces of different ages*, Health Physics, 68, 1995
- [9] E.Stranden, *The influence of moisture and temperature on radon exhalation*, Rad. Prot. Dos. 7, 1984
- [10] R.L. Fleischer, *Moisture and radon emanation*, Health Physics 52, 1987
- [11] H. Yamanischi, *Effect of humidity on radon exhalation rate from concrete*, *Radon and Thoron in the Human Environment*, World Scinetific Publishing, 1998
- [12] W.H.Van der Spoel, *Radon transport in sand, a laboratory study*, *PhD thesis*, Technical University of Eindhoven, Netherlands, 1998
- [13] F.J.Aldenkamp, P.Stoop, *Sources and transport of indoor radon – measurements and mechanism*, *PhD thesis*, University of Groningen, Netherlands, 1994
- [14] K.Ulbak, *Radon exhalation from samples of concrete with different porosities and fly ash additives*, Rad. Prot. Dos, 7, 1982
- [15] C. Cosma, F. Dancea, T. Jurcut, D. Ristoiu, *Determination of Radon-222 Emanation Fraction and Diffusion Coefficient in Concrete Using Accumulation Chambers Applied Radiation and Isotopes*, 54, 467-473, 2001