



UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" IASI

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII
"Prof. D. Mangeron" Street, No. 1, 700050 Iasi, ROMANIA
Tel: 40 (232) 278683,
web: www.tuiasi.ro



STUDIU

PRIVIND

EVALUAREA CARACTERISTICILOR DE RADIOACTIVITATE

PENTRU PRODUSE DE CONSTRUCȚII

2015



UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" IASI

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII
"Prof. D. Mangeron" Street, No. 1, 700050 Iasi, ROMANIA
Tel: 40 (232) 278683,
web: www.tuiasi.ro



DECAN

PROF. UNIV. DR. ING. MIHAI BUDESCU

COLECTIV DE ELABORARE

PROF. UNIV. DR. ING. DORINA ISOPESCU

CONF. UNIV. DR. ING. BRÎNDUSA MIHAELA ROBU

PROF. UNIV. DR. ING. IGOR CRETESCU



STUDIUL PRIVIND EVALUAREA CARACTERISTICILOR DE RADIOACTIVITATE IN MATERIALE/PRODUSE UTILIZATE IN CONSTRUCTII

1. INTRODUCERE

Radioactivitatea este un fenomen fizic prin care nucleul unui atom instabil, numit și radioizotop, se transformă spontan într-un atom mai stabil (proces denumit *dezintegrare radioactivă*), degajând energie sub formă de radiații diverse (alfa, beta sau gama). Întrucât o parte din radiația rezultată în urma procesului de dezintegrare este sub forma de fluxuri de particule, atomul pierde și o parte din masa sa inițială (principiul conservării masei).

Fenomenul de radioactivitate este prezent în mod natural pretutindeni, fiind denumit radioactivitate naturală. Astfel, radionuclizii se găsesc în roci, aer, apă, sol și în organismele vii, inclusiv cel uman. Cei peste 60 radionuclizi întâlniți în componentele de mediu (apa, aer, sol) se clasifică în trei categorii:

1. Primordiali – prezenți de la formarea Pământului;
2. Cosmogenici – formați în urma interacțiunii cu radiația cosmică;
3. Produși sau potențați de om – formați prin activitățile antropogene.

Radionuclizii primordiali au un rol foarte important în viața planetei Terra care funcționează ca o mașină termică bazată pe radioactivitate.

Dintre cei mai cunoscuți menționăm : U-235 (uraniu), U-238 (uraniu), Th-232 (toriul), Ra-226 (radiul), Rn-222 (radonul), K-40 (potasiu).

Valori pentru activitatea specifică a
unor radionuclizilor în sol

Valori mondiale
UNSCEAR 2000

RADIONUCLID	Activitatea Specifică medie Bq/kg	Domeniu Bq/kg
K-40	400	140-850
U-238	35	16-110
Ra-226	35	17-60
Th-232	30	11-64



Majoritatea oamenilor petrec 80% din timp in interiorul clădirilor, astfel radioactivitatea naturală provenită din materialele de construcții devine o sursa importantă de expunere la radiații. Toate materialele de construcții conțin o anumita cantitate de radionuclizi. Materialele derivate din roci si soluri conțin radionuclizi naturali din seriile ^{238}U si ^{232}Th precum si radioizotopul ^{40}K . In seria uraniului, segmentul de dezintegrare care începe cu ^{226}Ra este cel mai important. Cei mai importanți radionuclizi naturali care exista in materialele de construcții sunt ^{226}Ra , ^{232}Th si ^{40}K . Expunerea radioactivă datorată materialelor de construcții poate fi clasificată in externă si internă.

Expunerea externă este cauzată de radiațiile gama directe.

Expunerea internă este cauzată de inhalarea radonului (^{222}Rn) si a altui izotop al acestuia, denumit thoron (^{220}Rn) precum si a descendenților acestor radioizotopi.

Radonul face parte din seria radioactivă a uraniului, care este prezent in materialele de construcții. Fiind un gaz inert, radonul poate ajunge cu ușurința in mediile solide, așa cum sunt materialele de construcții. De remarcat faptul ca doar o fracțiune din radonul produs in volumul acestor materiale ajunge la suprafața externa a acestora si implicit este eliberat in aerul din interiorul încăperilor construite pe baza acestor materiale.

Sursa cea mai importantă de radon in aerul de interior este reprezentata de solul pe care aceste clădiri sunt construite, materialele de construcții care intra in componenta pardoselilor, fiind răspunzătoare de prezenta acestor radionuclizi in aerul de interior. Concentrațiile de radon din interiorul clădirilor sunt de obicei mici, aprox. $10\text{-}20\text{ Bq/m}^3$, reprezentând numai 5-10% din valoarea standard impusa de Comisia Europeana (200Bq/m^3)

Materialele de construcții reprezintă sursa principală de thoron din aerul interior, însă concentrațiile acestui izotop sunt reduse. Activitatea thoronului din interiorul clădirii poate fi semnificativă, doar in cazurile in care materialele de construcții utilizate prezinta concentrații ridicate de thorium.



In conformitate cu NP 008-97 - Normativ privind igiena compoziției aerului in spatii cu diverse destinații, concentrația de substanțe poluante in interiorul unităților funcționale se limitează după cum urmează:

1. Conținutul de formaldehida din aer (degajata sub forma de substanțe volatile in special din materiale de construcții: rășini sintetice, coloranți, etc.) nu trebuie sa depășească valoarea de $0,035 \text{ mg/m}^3$, ca valoare medie înregistrată pe parcursul celor mai defavorabile 30 de minute dintr-un interval de 24 de ore.
2. Conținutul de monoxid de carbon trebuie sa fie cât mai scăzut, dar nu mai mult de 6 mg/m^3 aer, in cele mai defavorabile 30 de minute dintr-un interval de 24 de ore.
3. Conținutul de bioxid de carbon din aer nu trebuie sa depășească 1600 mg/m^3 aer (cca 0,05%).
4. Radioactivitatea conținutului de radon 220 si/sau radon 222 (toron) din aer (provenit din sol sau din materiale de construcții) nu va depăși valoarea medie anuala de 140 Bq/m^3 . Conținutul in elemente radioactive naturale a materialelor de construcții trebuie sa corespundă cu radioactivitatea materiilor prime din care provin, fiind interzisa adăugarea intenționată de elemente radioactive naturale sau artificiale.
5. Se interzice utilizarea ca materiale pentru construcții civile, sociale si industriale, a deșeurilor radioactive sau a sterilului, a nisipului, a zgurii si a șlamului rezultat din prelucrarea îngrășămintelor chimice, care au un conținut de elemente radioactive naturale sau artificiale peste valoarea materiei prime de baza ce se utilizează in mod curent in construcții.

Menționam ca in Romania se "interzice producerea, importul si furnizarea de materiale pentru construcția de locuințe si alte clădiri sociale având in produsul finit concentrații (Bq/ kg) în ^{226}Ra , ^{232}Th si ^{40}K care nu respecta relația (1), astfel încât sa nu se depășească in interiorul clădirilor nivelul de proiectare pentru radon de 200



Bq/m³, pentru clădirile care urmează să fie construite începând cu anul 2005 și de 400 Bq/m³ pentru cele construite înainte de 2005, conform cu "Normele sanitare de baza privind desfășurarea în siguranță a activităților nucleare", avizate de președintele CNCAN cu nr.3984/LB/31.03.2004 și aprobate prin ordinul ministrului sănătății nr.381/05.04.2004.

1.1. Concentrațiile radionuclizilor în materialele de construcții

Pentru a stabili nivelurile de radioactivitate și limitele pentru materialele de construcții și respectiv expunerea datorată utilizării lor, multe studii au fost elaborate de laboratoare specializate ale Ministerului Sănătății (Ordinul Ministerului Sănătății nr. 51/1983). Pentru nivelurile limita admisibile pentru radioactivitatea materialelor de construcții au fost alese valorile maxime obținute pentru materialele de construcții folosite frecvent în România care sunt prezentate în Tabelul 1. Comparativ, se prezintă concentrațiile radionuclizilor de radium, thoriu și potasiu în materiale de construcții în țările Uniunii Europene, Tabelul 2.

Tabel 1. Concentrațiile radionuclizilor de radium, thoriu și potasiu în materialele de construcții uzuale din România (Bq/kg)
(cf. EU Radiation Protection 112, 1999)

Produse pentru construcții	²²⁶ Ra		²³² Th		⁴⁰ K	
	Media	Valoare maxima	Media	Valoare maxima	Media	Valoare maxima
Var	13,30	40,70	8,20	18,50	68,00	148,00
Ipsos natural	17,80	43,29	9,60	27,01	103,00	277,50
Mortar	5,90	7,77	5,90	12,21	426,00	610,50
BCA	16,70	32,19	15,60	36,33	163,00	451,60
Ciment	33,90	66,23	17,80	97,31	152,00	503,20
Beton	27,80	78,44	20,00	38,48	201,00	451,40
Roci diverse	25,20	62,90	21,50	75,85	434,00	1369,00
Agregate de balastiera	7,80	29,97	27,40	91,39	557,00	869,50
Cărămida din argila arsa	35,90	99,90	32,20	53,28	493,00	832,50
Argila	24,80	30,34	49,30	66,60	861,00	1139,60



Tabel 2. Concentrațiile radionuclizilor de radium, thorium și potasiu în materialele de construcții și produsele secundare folosite în construcții în UE (cf. EU Radiation Protection 112, 1999)

Produse pentru construcții	Activitate specifică normală (Bq/kg)			Activitate specifică maximă (Bq/kg)		
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Beton	40	30	400	240	190	1600
Betoane aerate și ușoare	60	40	430	2600	190	1600
Cărămizi	50	50	670	200	200	2000
BCA	10	10	330	25	30	700
Roci naturale pentru construcții	60	60	640	500	310	4000
Ghips natural	10	10	80	70	100	200
Fosfogips	390	20	60	1100	160	300
Zgura	270	70	240	2100	340	1000
Cenușa	180	100	650	1100	300	1500

1.2 Rezultate obținute în etapele I, II

Comparativ, se prezintă în continuare concentrația medie a radionuclizilor de radium, thorium și potasiu în materialele și produsele de construcții analizate în cadrul laboratorului specializat din Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași (Tabelul 3 și Figura 1).

Tabel 3. Concentrațiile radionuclizilor de radium, thorium și potasiu în materialele de construcții analizate în laborator TUIași, (Bq/kg)

A. Beton celular autoclavizat - B.C.A.

A	Probe de material	Radium / Uranium ²²⁶ Ra (Bq/kg)	Thorium ²³² Th (Bq/kg)	Potasiu ⁴⁰ K (Bq/kg)	Valoare Indice radioactivitate I
beton celular autoclavizat	A (BCA)	13,50	5,94	168,50	0,13090
	B (BCA)	5,15	8,02	427,10	0,19960
	C (BCA)	23,60	12,40	247,10	0,22300
	D (BCA)	2,67	17,10	208,90	0,16400
	E (BCA)	2,52	8,81	139,90	0,09910
	F (BCA)	77,19	33,92	177,09	0,48590
MEDIA		20,77	14,37	228,10	0,22

**B. Cărămida**

B	Probe de material:	Radiu / Uraniu ^{226}Ra (Bq/kg)	Thoriu ^{232}Th (Bq/kg)	Potasiu ^{40}K (Bq/kg)	Valoare Indice radioactivitate I
caramida	I (CAR)	85,83	45,60	737,85	0,76
	J (CAR)	105,68	85,51	850,24	1,06
	K (CAR)	49,95	64,20	596,30	0,69
	L (CAR)	89,25	73,33	832,15	0,94
	M1 (CAR)	98,22	79,50	217,00	0,80
	N (CAR)	111,72	71,84	700,41	0,97
MEDIA		90,11	70,00	655,66	0,87

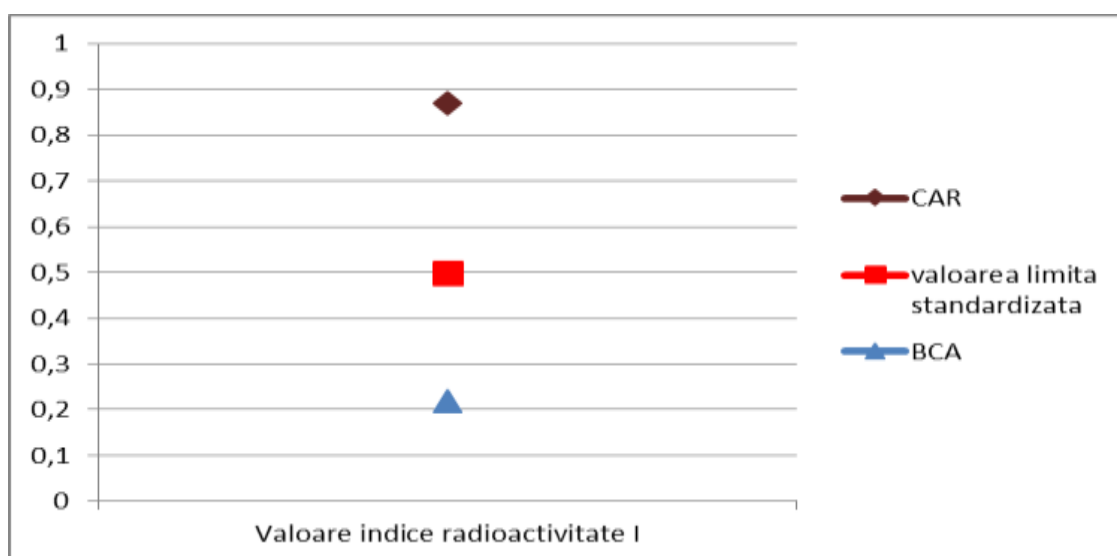


Fig. 1. Valorile medii ale indicilor de radioactivitate in materialele de construcții (BCA și cărămidă) analizate în laborator UTI în etapele I și II

2. REZULTATE OBTINUTE IN ETAPA III

Probele au fost prelucrate și analizate conform standardelor în vigoare, cu sistem spectrometric de înaltă rezoluție, cu detector GeHp – analizor multicanal MCA.

Au fost luate în considerare normele de referință prevăzute de OMS nr. 381/2004 cu modificările și completările ulterioare privind Normele sanitare de baza pentru desfășurarea în siguranță a activităților nucleare, Cap.I. – Autorizarea produselor care au fost supuse iradierii sau care conțin material radioactiv, Art.12.



Probele trimise de beneficiar (indiferent de natura acestora) au fost în prealabil uscate în cuptor la 105 °C, fiind apoi măcinate și sitate printr-o sită fină cu ochiurile de 0.5 mm. Pulberea rezultată în urma sitării a fost cântărită și introdusă într-o cutie standard de măsurare (vas Marineli). Probele astfel pregătite au fost lăsate timp de 20 de zile pentru atingerea echilibrului radioactiv, după care au fost investigate prin spectrometrie gama, cu ajutorul unui analizor de radioactivitate multi-canal prevăzut cu detector GeHp.

Nu s-au identificat radionuclizi artificiali, care ar fi putut rezulta de la eventuale accidente/incidente nucleare. După determinarea individuală a concentrațiilor radionuclizilor naturali prezenți, s-a procedat la interpretarea rezultatelor conform Ordinul OMS 381/2004, completat și revizuit în 2010: **Se interzice producerea, importul și furnizarea de materiale pentru construcția de locuințe și alte clădiri sociale, având în produsul finit concentrații măsurate în (Bq/kg) ale următorilor radioizotopi: ^{226}Ra , ^{232}Th și ^{40}K , pentru care indicele de radioactivitate I este mai mare de 0.5.**

Indicele de radioactivitate se determină considerând concentrația radionuclizilor respectivi în (Bq/kg) conform relației:

$$I = \frac{C_{\text{Ra}-226}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{\text{Th}-232}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{\text{K}-40}}{3000 \text{ Bq/kg}} \leq 0.5 \quad (1)$$

2.1. Analiza produselor de construcții furnizate de beneficiar

Au fost analizate un număr de 6 probe/4 produse după cum urmează:

- ghips-carton - 2 probe diferite, identificate **G** și **H**,
- beton - 2 probe identificate **P** și **R**,
- vată minerală – 1 probă identificată **O**,
- lemn de brad – 1 probă identificată **S**.

Au fost efectuate măsurători, conform standardului de încercare, iar valorile sunt prezentate în Tabelul 4. În Figurile 2 și 3 sunt prezentate rezultatele din Tabelul 4, grafice care evidențiază variația radionuclizilor, respectiv variația indicilor de radioactivitate.



Tabel 4. Concentrațiile radionuclizilor analizați în probele de material furnizate de beneficiar, etapa III

Probe de material	Radiu/Uraniu ^{226}Ra (Bq/kg)	Thoriu ^{232}Th (Bq/kg)	Potasiu ^{40}K (Bq/kg)	Valoare Indiceradioactivitate I
G (ghips-carton subțire)	95,52	30,92	45,51	*0,4882
H (ghips-carton gros)	75,55	38,91	158,3	*0,4992
P (beton)	53,78	26,94	350,12	*0,4307
**R(beton turnat F.C.I)	45,33	25,77	210,11	*0,3500
	Radiu/Uraniu ^{226}Ra (Bq/proba)	Thoriu ^{232}Th (Bq/proba)	Potasiu ^{40}K (Bq/proba)	
O (vata minerală)	6,021	0,302	5,802	***0,0235
S (lemn de brad)	6,602	3,301	26,51	***0,0473

Notă: *Se observă că nicio probă nu depășește limitele maxime admisibile.

** proba R – beton preparat in laborator.

*** valori care se refera la probe neomogene (cu conținut ridicat de aer) și cu densitate foarte diferita (de cca 10 ori mai mica) fata de celelalte materiale analizate și interpretarea conform metodologiei naționale prezentate poate conduce la valori eronate conform studiilor de specialitate.

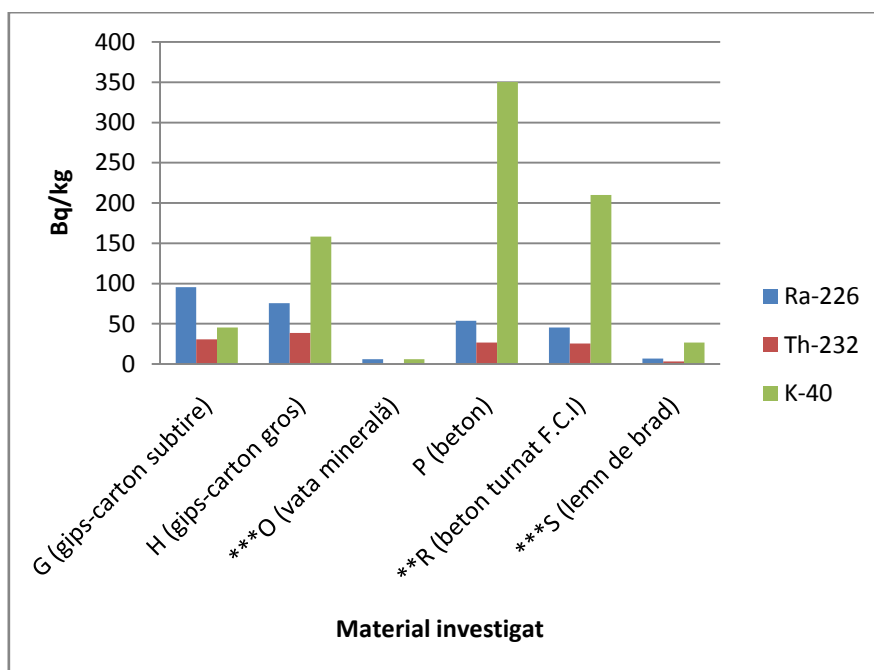
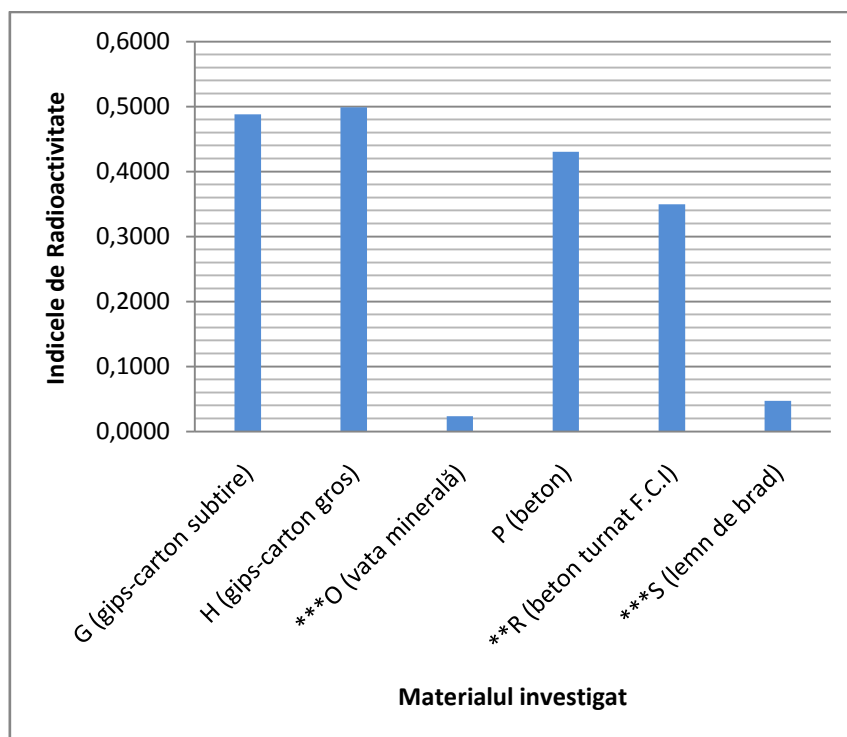


Fig. 2. Variația radionuclizilor in probele analizate (valori din Tabel 4)



**Fig. 3. Variația indicelui de radioactivitate in probele analizate
(valori din Tabel 4)**

2.2. Buletine de analiza

Buletinele de analiza pentru Etapa III sunt prezentate in cap.4 din prezentul raport si au fost întocmite cu valorile măsurate din Tabel 4.

2.3. Concluzii

Rezultatele obținute pentru materialele si produsele de construcții analizate in Etapa III evidențiază ca valorile concentrațiilor radionuclizilor de radium, thorium si potasiu nu depășesc valorile maxime admise impuse de reglementările legale valabile.

3. CONCLUZII FINALE RAPORT

In conformitate cu prevederile Comisiei Europene stipulate in: Radiation Protection 112 "Radiological Protection Principles concerning the Natural



Radioactivity of Building Materials", din 1999, elaborată de Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, radioactivitatea materialelor utilizate în construcții trebuie evaluate și raportate la un nivel de concentrare a radionuclizilor stabilit în criteriile limită naționale. Indicele de radioactivitate nu trebuie să depășească următoarele valori stabilite în Uniunea Europeană, în funcție de nivelul de concentrare, precum și de modul în care materialul este utilizat într-o clădire. Astfel pentru indicele de radioactivitate se pot stabili următoarele valori maxime prezentate în Tabelul 5:

Tabel 5. Valori maxime admise ale indicelui de radioactivitate în funcție de nivelul de concentrare a radionuclizilor

Nivel de concentrare a radionuclizilor	0,3 mSv a ⁻¹	1,0 mSv a ⁻¹
	Indice de radioactivitate	
Materiale utilizate în cantități mari/vrac	$I \leq 0,5$	$I \leq 1,0$
Materiale de exterior	$I \leq 2,0$	$I \leq 6,0$

Nivelul de concentrare a radionuclizilor de „0,3 mSv a⁻¹” este considerat un nivel minim, în timp ce nivelul de concentrare a radionuclizilor de „1,0 mSv a⁻¹” este considerat un nivel maxim admis.

Unele materiale de construcții naturale utilizate în mod tradițional conțin radionuclizii naturali astfel încât, pentru nivelul de concentrare 1,0 mSv a⁻¹, indicele de radioactivitate maxim admis ar putea fi depășit. Unele dintre aceste materiale au fost folosite deja de zeci de ani sau secole. În aceste cazuri consecințele și costurile rezultate din renunțarea la utilizarea unor astfel de materiale se impune să fie analizate, iar decizia ar trebui să includă și evaluarea costurilor financiare și sociale. Reglementările tehnice, prin limitele minime/maxime pe care le impun, trebuie să fie un compromis între ceea ce se dorește și ceea ce este realizabil sub aspect tehnologic.

Indicele de radioactivitate trebuie să fie utilizat doar ca un instrument de screening pentru identificarea materialelor care ar putea fi de interes sub aspectul



asigurării sănătății populației. Orice decizie care restricționează utilizarea unui material/produs trebuie să se bazeze pe un nivel de concentrare specific, identificat prin studii de caz. O astfel de evaluare ar trebui să se bazeze pe scenarii în care materialul/produsul este folosit într-un model care să-l caracterizeze prin cantitate și destinație. Scenariile în care rezultă concentrații teoretice maxime, ar trebui să fie evitate. De exemplu, pentru mai multe materiale au fost studiate efectele de placare pe concentrația de radon, care s-au dovedit a varia în funcție de permeabilitatea stratului de acoperire.

Studii diverse au arătat că unele tipuri de finisaje pot reduce radiația de radon din pereți, iar altele nu. De asemenea corelația dintre concentrația radiației măsurată în condiții de laborator și concentrația radiației măsurată în situ, nu este pe deplin înțeleasă și poate varia semnificativ de la un tip de materiale de construcții la altul. În general, ventilația este factorul-cheie care afectează concentrația de radon din interior și, în medie, o cameră cu aer condiționat are o concentrație de radon mai mare decât o cameră fără aer condiționat din aceeași categorie de clădire. Totodată, pe lângă ventilație, destinația și modul de utilizare a clădirii pot influența semnificativ concentrația de radon.

Scopul verificărilor este de a restricționa introducerea pe piața construcțiilor a materialelor/produselor cu niveluri mari de concentrare a radionuclizilor. Prin urmare, nivelul de concentrare a radionuclizilor, exprimat prin indicele de radioactivitate, precizat și definit în reglementări naționale, ar trebui să fie determinat în așa fel încât majoritatea materialelor de construcții întâlnite pe piață să poată fi identificate corect sub raportul consecințelor rezultate din utilizarea lor.

Măsurătorile efectuate după perioada de timp impusă de standardul de încercare pentru asigurarea stabilirii echilibrului, arată că aceste valori cresc, atingând o valoare maximă după aproximativ 21 zile. În același timp măsurători efectuate după o perioadă mult mai lungă de timp (câteva luni) conduc la scăderea concentrației radionuclizilor, ceea ce impune necesitatea stabilirii echilibrului radioactiv într-un timp cât mai lung. De exemplu, în încercările efectuate în acest



studiu, in cazul probei J (CAR) pentru care s-au repetat măsurătorile după 5 luni, rezultatele obținute la 150 zile se prezinta conform Tabelului 6 de mai jos:

Tabel 6. Concentrațiile radionuclizilor analizați în proba de cărămidă J(CAR) după 150 zile de la prelucrare

Proba	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	I Indice de radioactivitate
J(CAR)	78,8	57,5	738,6	0,796367

De asemenea, având in vedere ca indicele de radioactivitate se raportează la unitatea de masa, consideram ca, in cazul stabilirii acestuia pentru materiale cu densități foarte mici, este necesara modificarea metodologiei de evaluare prevăzută in reglementările naționale, pentru a asigura un nivel de comparație si o încadrare corespunzătoare privind emanațiile de radionuclizi naturali a materialului/produsului analizat, utilizat in construcții. De exemplu, unele state folosesc in acest scop o relație de evaluare a indicelui de radioactivitate modificata (2) unde se utilizează mărimile: $A_x(\rho d)$ - concentrația limita pentru densitatea suprafeței de radiație si ϵ - concentrația efectiva a radonului:

$$I = \frac{CRa-226}{A_{Ra}(\rho d)} (1 - \epsilon) + \frac{CTh-232}{A_{Tk}(\rho d)} + \frac{CK-40}{A_K(\rho d)} + \frac{\epsilon CRa-226}{A_{Rn}(\rho d)} \leq 1,0 \quad (2)$$

Rezultatele obținute pentru materialele/produsele de construcții analizate in acest studiu nu au fost suficiente pentru a concluziona cu certitudine asupra valorile indicilor de radioactivitate specifici, dar acestea evidențiază ca, concentrațiile radionuclizilor de radium, thorium si potasiu se încadrează in zona de valori de la mediu la maxim acceptata in Uniunea Europeana, fără însă a depăși valorile maxime. Cărămida, un produs utilizat în mod tradițional in construcții, conține radionuclizii naturali astfel încât, indicele de radioactivitate maxim admis in UE este respectat si, in anumite condiții se poate încadra in prevederile regulamentului Comisiei Europene „Radiation Protection 112”. Având in vedere cele precizate anterior, in aceasta situație se impun si măsurători in situ in scenariu/studii de caz bine definite (sub aspect cantitativ,



precum și sub aspectul existenței sau nu a plăcii reprezentată prin tencuiala umedă sau uscată).

Reprezentarea grafică a valorilor medii obținute în măsurătorile efectuate în laboratorul TUIași pe grupe de materiale/produse este prezentată în Fig. 4.

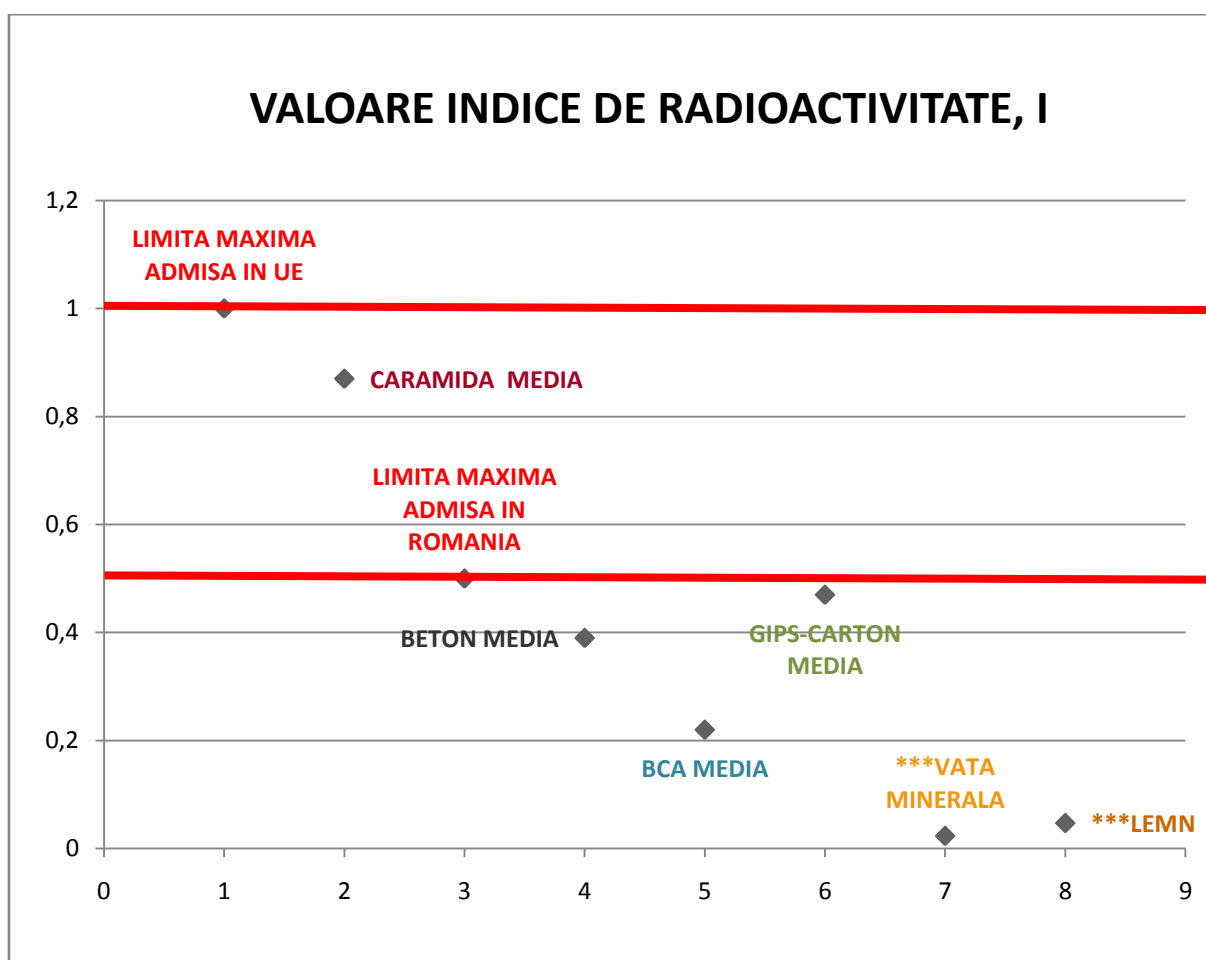


Fig. 4. Valorile medii ale indicilor de radioactivitate în materialele de construcții analizate în laborator TUIași (***) valori care se referă la probe neomogene, cu conținut ridicat de aer)

În concluzie se poate spune că fenomenul de radioactivitate este foarte complex, datorită transformărilor și echilibrelor care au loc în timpul procesului de dezintegrare, iar valorile prezentate pentru indicele de radioactivitate pot suferi modificări în favoarea oportunităților de folosire a materialelor respective în construcții civile și industriale.