



UNIVERSITATEA BABEŞ-BOLYAI CLUJ NAPOCA

TEZĂ DE DOCTORAT

**TRANSPORTUL RADONULUI PRIN MATERIALELE DE
CONSTRUCȚII**

REZUMAT

**Doctorand
Adelina Carmen APOSTU**

**Coordonator științific
Prof.dr. Constantin COSMA**

2011

CUPRINS

1. INTRODUCERE	2
2. SCOPUL CERCETARILOR	2
3. STRUCTURA TEZEI	2
4. CERCETARI EXPERIMENTALE	3
4.1. Influența factorilor de compoziție și a caracteristicilor de rezistență și durabilitate a betoanelor asupra emisie de radon	3
4.1.1. Influența adaosurilor din cimenturi și a cimenturilor fabricate în România asupra radioactivității betoanelor	3
4.1.2. Cercetări experimentale pentru determinarea unor caracteristici de rezistență și durabilitate pentru betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi	8
4.1.2.1. Program de cercetare	8
4.1.2.2. Rezultate obținute	9
4.1.3. Rezultate obținute pentru rata de exalație a radonului din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi	15
4.2. Influența caracteristicilor betonului asupra transportului radonului	19
4.2.1. Influența raportului A/C și a densității betonului asupra porozității aparente și totale a betonului	19
4.2.2. Influența raportului A/C și a densității betonului asupra coeficientului de permeabilitate	20
4.2.3. Influența raportului A/C și a densității betonului asupra coeficientului de difuzie	23
4.2.3.1. Influența raportului A/C asupra coeficientului de difuzie	23
4.2.3.2. Influența densității betonului asupra coeficientului de difuzie	24
4.2.4. Influența permeabilității betonului asupra coeficientului de difuzie	25
5. CONTRIBUȚIA BETOANELOR LA CONCENTRAȚIA DE RADON DIN INTERIOR	26
5.1. Determinarea concentrației de radon din interior, cu ajutorul ratei de exalație a radonului din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi	26
6. MĂSURI DE REDUCERE A RADONULUI DIN INTERIOR	27
6.1. Determinări efectuate pe diferite tipuri de membrane rezistente la intrarea radonului	27
7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUTII PERSONALE	30
7.1. Concluzii generale rezultate în urma studiului literaturii de specialitate	30
7.2. Concluzii rezultate în urma cercetărilor experimentale efectuate	31
7.3. Contributii proprii	36
BIBLIOGRAFIE	38

Cuvinte cheie: radioactivitate, adaos, ciment, beton, aditiv, exalație, difuzie

1. INTRODUCERE

Obiectivul acestei teze a constat în evidentierea caracteristicilor materialelor de construcții, importante pentru transportul radonului. Având în vedere faptul că, dintre toate materialele de construcții, betonul pare a avea cele mai mari contribuții la creșterea concentrației de radon din interior, în teza se prezintă influențele caracteristicilor acestuia asupra exalatiei și creșterii concentrației de radon. S-au realizat amestecuri de betoane utilizând diferite tipuri de cimenturi și s-au analizat influențele adaosurilor din cimenturi asupra exalatiei de radon.

2. SCOPUL CERCETARILOR

Principalul scop al tezei este stabilirea influenței adaosurilor din cimenturi, a factorilor de compoziție și a caracteristicilor de rezistență și durabilitate ale betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi asupra difuziei radonului, a ratei de exalație din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi și respectiv a concentrației de radon din interior.

Am conceput trei programe de cercetare, primul program constând în determinarea influenței adaosurilor din cimenturi, a cimenturilor și respectiv a agregatelor asupra radioactivității betoanelor. Acest lucru s-a realizat prin testarea unor adaosuri ce intra în compoziția cimenturilor, testarea cimenturilor fabricate cu diferite adaosuri și respectiv prepararea și testarea unor betoane cu aceste tipuri de cimenturi pentru a putea evalua influența adaosurilor și implicit a cimenturilor asupra radioactivității betoanelor.

Cel de-al doilea program de cercetare a constat în corelarea unor caracteristici de rezistență (rezistența la compresiune) și durabilitate (porozitate, permeabilitate la apă și aer) ale betoanelor preparate cu cimenturi cu diferite adaosuri și diferite tipuri de aditivi cu ratele de exalație a radonului și respectiv concentrațiile de radon din interior.

În cadrul celui de-al treilea program, am preparat amestecuri de betoane utilizând două tipuri de cimenturi cu adaosuri, pe care am testat eficacitatea a două bariere împotriva radonului.

Măsurătorile le-am realizat utilizând un sistem de măsurare a radonului Pylon AB-5, compus din monitor radon model Pylon AB-5, celule LUCAS, contor pasiv model CPRD împreună cu o cutie specială pentru măsurarea exalatiei de radon, sistem achiziționat în cadrul proiectului „Soluții tehnice pentru protecția construcțiilor existente și noi din România expuse emisiilor radioactive, cerința esențială pentru asigurarea igienei și sănătății oamenilor, în conformitate cu legislația europeană”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării, în cadrul programului național de cercetare-dezvoltare și inovare AMTRANS – Amenajarea Teritoriului și Transporturi [3].

3. STRUCTURA TEZEI

Teza este structurată în șapte capitole, prezentate pe scurt în continuare.

Capitolul 1 prezintă pe scurt sursele de radon. Se prezintă factorii de care depinde migrarea radonului de la locul de formare spre aerul interior, precum și factorii care limitează migrarea acestuia din sol spre clădire.

De asemenea, se scot în evidență factorii care influențează eliberarea radonului din materialele de construcții.

Capitolul 2 evidențiază particularitățile și caracteristicile radonului, caile de intrare ale acestuia, precum și factorii care favorizează transportul radonului în interior. Se prezintă, pe scurt, factorii care influențează variațiile radonului din exterior și din interior.

Capitolul 3 prezintă proprietățile și caracteristicile materialelor componente betonului și ale betonului. Sunt abordate particularitățile alcătuirii microstructurii betonului, caracteristicile specifice (porozitatea, permeabilitatea, difuzia), precum și factorii care influențează aceste caracteristici. De asemenea, se prezintă pe scurt fenomenul de hidratare a cimentului, procesul de fabricație, precum și particularitățile și caracteristicile adaosurilor utilizate la fabricarea cimenturilor (zgura, puzzolana, cenusa zburătoare, calcar).

Celelalte materiale componente ale betonului, agregatele, apa și aditivii, sunt caracterizate pe scurt, subliniind rolul acestora în amestecul de beton.

În cadrul acestui capitol se subliniază principalele caracteristici ale betonului importante pentru emisia radonului: raportul apă/ciment, raportul gel/spațiu, volumul de porii, sistemul de porii, porozitatea, permeabilitatea, difuzia și relațiile dintre acestea.

Capitolul 4 prezintă caracteristicile de eliberare a radonului din beton, precum și factorii care influențează exalația de radon din beton. Astfel, se prezintă o sinteză a unor studii, cercetări și reglementări existente pe plan internațional și, în extenso, rezultatele cercetărilor experimentale efectuate

in vederea stabilirii influentei diverselor tipuri de adaosuri utilizate la fabricarea cimenturilor si respectiv a cimenturilor asupra radioactivitatii betoanelor; a unei corelari intre dozajele de ciment, raportul A/C, caracteristicile de rezistenta si durabilitate ale betonului si rata de exalatie a radonului din beton; a influentei raportului A/C, a densitatii si permeabilitatii betonului asupra difuziei radonului.

Capitolul 5 evidentiaza contribuția betonului și a altor materiale de construcții la creșterea concentrației radonului din interior. In acest capitol se prezinta rezultatele obtinute pentru concentratia de radon din interior in functie de rata de exalatie a radonului obtinuta pentru betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi cu adaosuri.

Capitolul 6 subliniaza metodele de reducere a radonului din clădiri existente, precum si solutiile tehnico-constructive pentru cladiri noi expuse in zone cu potential radioactiv, evidentind particularitatile si eficienta fiecarei metode.

De asemenea, se prezinta rezultatele obtinute prin testarea eficacitatii barierelor împotriva radonului, aplicate pe betoane preparate cu doua tipuri de cimenturi cu adaosuri.

Capitolul 7 este rezervat concluziilor generale rezultate in urma studiului literaturii de specialitate, precum si a celor rezultate in urma cercetarilor experimentale efectuate.

In cele ce urmeaza voi prezenta, pe scurt, rezultatele cercetarilor experimentale efectuate.

4. CERCETARI EXPERIMENTALE

4.1. Influența factorilor de compoziție și a caracteristicilor de rezistență și durabilitate a betoanelor asupra emisiei de radon

4.1.1. Influența adaosurilor din cimenturi si a cimenturilor fabricate in Romania asupra radioactivitatii betoanelor

Programul de cercetare a constatat in testarea unor adaosuri ce intra in compozitia cimenturilor existente pe piata din Romania, a cimenturilor cu diferite adaosuri si respectiv prepararea unor betoane cu aceste tipuri de cimenturi pentru a putea evalua influenta adaosurilor si implicit a cimenturilor asupra radioactivitatii betoanelor.

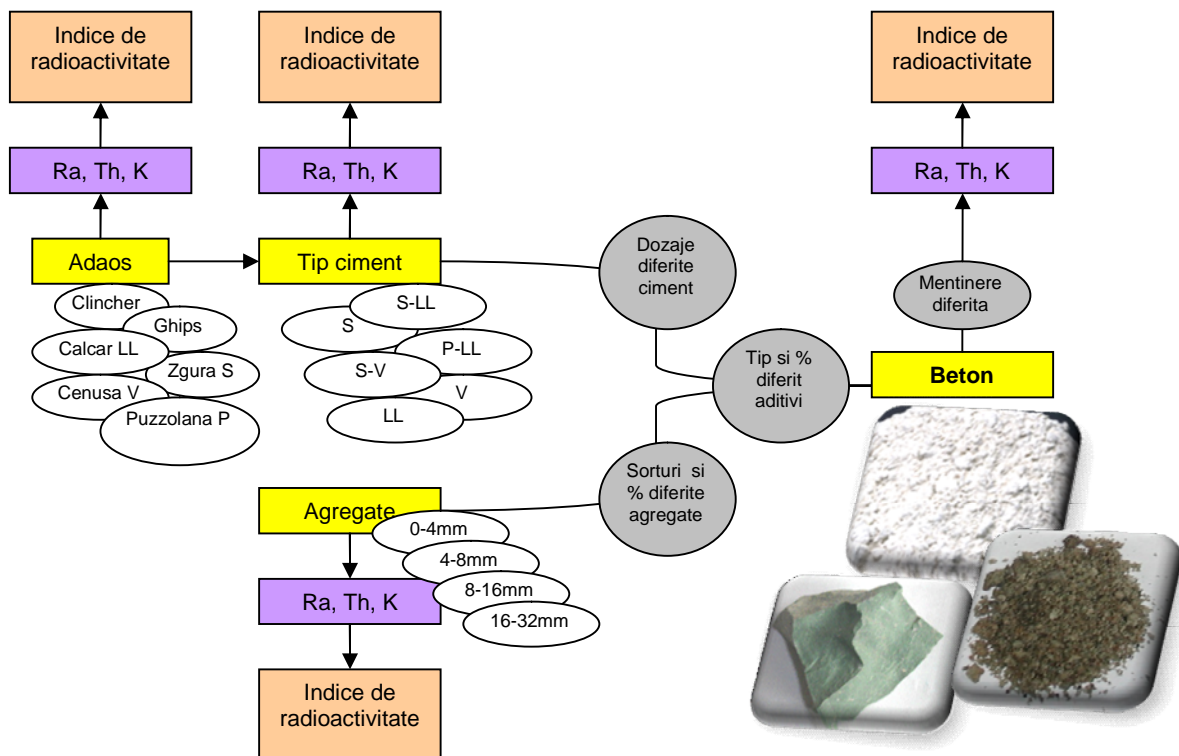


Fig. 4.1.1 -Schema de realizare a programului de cercetare privind determinarea influentei adaosurilor din cimenturi, a cimenturilor si agregatelor asupra radioactivitatii betoanelor

In continuare se prezinta rezultatele obtinute pentru determinarea concentratiilor principalelor elemente radioactive (Ra-226, Th-232, K-40) si a indicelui de radioactivitate pentru diferite adaosuri

utilizate la fabricarea cimenturilor, pentru cimenturi cu adaosuri si respectiv pentru betoane preparate cu aceste tipuri de cimenturi.

1. Adaosuri

Pentru a evalua radioactivitatea adaosurilor utilizate la fabricarea cimenturilor, s-au realizat masuratori prin spectroscopie gama cu detector HP (Ge). Astfel, s-au masurat concentratiile principalelor elemente radioactive pentru diferiti componente folositi la fabricarea cimenturilor.

Rezultatele obținute pentru concentrațiile principalelor elemente radioactive pentru diferiți componenți folosiți la fabricarea cimenturilor sunt prezentate în teza si sunt sintetizate in figura 4.1.2.

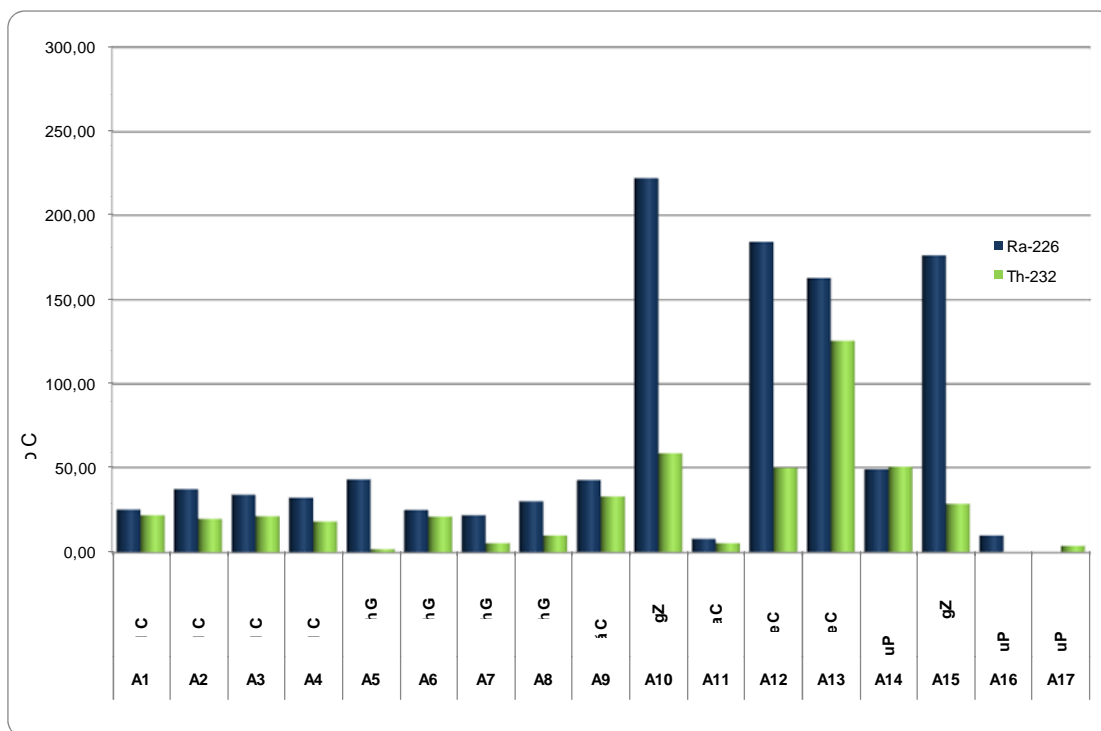


Fig. 4.1.2 – Concentrațiile activității radiului și thoriului

Pentru un același tip de component, rezultatele obținute variază datorită surselor diferite din care acesta provine. De asemenea, din figura 4.1.2, se observă valorile ridicate ale radionuclizilor pentru zgura (A10, A15) și cenusa (A12, A13), comparativ cu cele obținute pentru calcar (A11).

2. Cimenturi

Contribuția adaosurilor testate s-a evaluat prin adăugarea acestora la fabricarea diferitelor tipuri de cimenturi. Astfel, s-au testat cimenturi fără adaosuri (CEM I 42,5R) și cimenturi cu adaosuri de zgura, cenusa, calcar, zgura+calcar, puzzolana+calcar, zgura+cenusa. Cimenturile testate sunt fabricate în România, de diferite fabrici, procentele de adaosuri utilizate pentru un același tip de ciment variind de la o fabrică la alta.

Astfel, pentru a putea evalua radioactivitatea cimenturilor datorată adaosurilor continute de acestea, s-au măsurat concentrațiile radionuclizilor Ra, Th și K și s-au determinat indicii de radioactivitate pentru diferite tipuri de cimenturi.

Valorile obținute pentru concentrația activității radionuclizilor sunt reprezentate grafic în figura 4.1.3, comparativ cu valoarea maximă admisă a radiului pentru ciment reglementată de ordinul Ministerului Sănătății nr. 51/ 1983 [97].

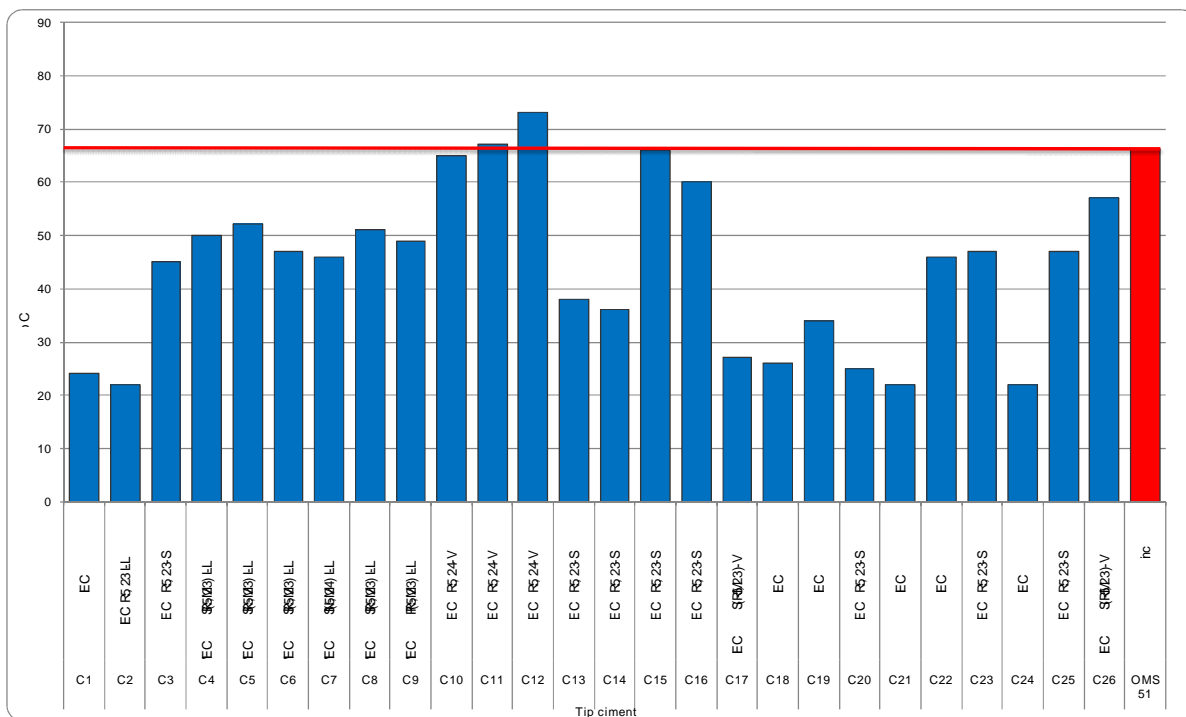


Fig. 4.1.3 – Concentrația activității radionuclidului radiu pentru diferite tipuri de cimenturi

Cimenturile cu adaos de cenusa (II/A-V 42,5R) au valori ale concentrației de radiu apropiate de valoarea maxima admisa in Romania. In cazul cimentului II/A-S 32,5R se observa ca valorile obtinute depind de sursa de zgura si respectiv de procentele utilizate la fabricarea cimentului (6-20%).

In cazul radionuclizilor Th-232 si K-40, toate tipurile de cimenturi testate au valori mult mai mici față de valoarea maximă admisă în România.

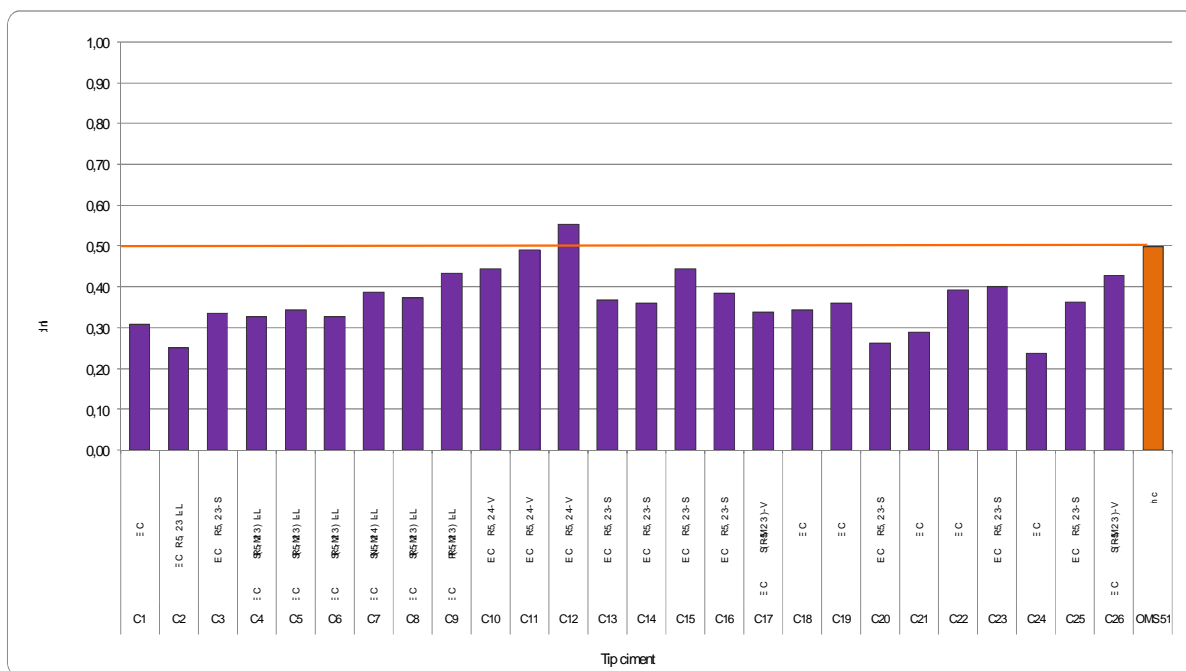


Fig. 4.1.4 – Valorile indicelui de radioactivitate pentru diferite tipuri de cimenturi

Cimentul C12, cu adaos de cenusa, are indicele de radioactivitate mai mare cu 10% față de valoarea maximă admisă în România. Cimenturile cu cenusa, C10 și C11, au valori apropiate (0,45 și respectiv 0,49) de valoarea maximă admisă pentru indicele de radioactivitate.

Celelalte tipuri de cimenturi testate au avut valori ale indicilor de radioactivitate sub valoarea maximă admisă.

3. Agregate

La prepararea betoanelor s-au utilizat agregate sorturi 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm si 16-32 mm, procentele de agregate utilizate, precum si rezultatele determinarilor izotopilor radioactivi realizate pe cantitati de agregate cuprinse intre 157 si 177 g, fiind prezentate in tabelul 4.1.1.

Tabelul 4.1.1 - Rezultatele determinarilor de izotopi radioactivi pentru diferite sorturi de agregate utilizate la prepararea betoanelor

Sort agregate (mm)	Procente agregate utilizate la prepararea betoanelor		Concentrația activității radionuclizilor (Bq/kg)			Indicele de radioactivitate I
	Cod beton B1-B4, B14-B20	Cod beton B5-B13	Ra-226	Th-232	K-40	
0-4	35%	45%	10,4	11,5	506	0,26
4-8	15%	23%	9,2	10,0	528	0,26
8-16	21%	32%	10,0	13,0	555	0,28
16-32	29%	-	6,8	10,0	292	0,17
Valoare maxima admisa OMS 51/1983			29,97	91,39	869,5	

In cazul agregatelor, se observa ca valorile obtinute pentru cele 4 sorturi, pentru radionuclizii Ra-226, Th-232 si K-40 sunt mult mai mici decat valorile maxime admise in Romania.

Cu ajutorul procentelor de agregate utilizate la prepararea betoanelor si respectiv a cantitatii de ciment folosit pentru fiecare tip de beton testat, se poate estima concentratia activitatii radionuclizilor datorata materialelor componente betonului.

4. Betoane

La prepararea betoanelor s-au utilizat:

- cimenturi cu adaosuri de puzzolana (P), zgura (S), calcar (LL), cenusa (V);
- agregate de râu, sorturi 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm, zona 3 de granulozitate, favorabilă, în conformitate cu NE 012-1/2007 [4];
- aditiv plastifiant / superplastifiant sau antrenor de aer, dupa caz.

Programul de cercetare a constatat in determinarea concentratiilor radionuclizilor Ra-226, Th-232 si K-40 din betoane preparate cu unele tipuri de cimenturi cu adaosuri.

Dintre tipurile de cimenturi studiate, au fost alese cele cu cele mai ridicate valori ale concentratiei activitatii de radium si respectiv a indicelui de radioactivitate, pentru a putea evalua radioactivitatea betoanelor preparate cu acestea. Astfel, au fost utilizate urmatoarele tipuri de cimenturi: C10, C11, C12 (CEM II/A-V 42,5R, cu diferite procente si surse de cenusa), C15 (CEM II/A-S 32,5R, cu adaos de zgura), C4, C5, C8 (CEM/II B-M (S-LL) 32,5R cu diferite procente de zgura si calcar) si C9 (CEM/II B-M (P-LL) 32,5R, cu adaosuri de puzzolana si calcar).

Astfel, s-au preparat betoane cu cimenturi cu adaosuri (cimenturi Portland cu adaosuri ce variaza intre 21-35%: CEM II/B-M (S-LL) 32,5R, CEM II/B-M (P-LL) 32,5R, cimenturi Portland cu adaosuri ce variaza intre 6-20%: CEM II/A-V 42,5R si CEM II/A-S 32,5R), la diferite dozaje de ciment, utilizand diferite tipuri si procente de aditivi (superplastifiant/ plastifiant, antrenor de aer) si sorturi de agregate cu granula maxima de 16 mm si respectiv 32 mm. Tipurile de ciment, dozajul de ciment si aditivii utilizati la prepararea betoanelor, cantitatea totala de agregate utilizate, precum si raportul apa/ ciment obtinut sunt prezentate in tabelul 4.1.2.



Tabelul 4.1.2 – Compozitiile betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi

Cod beton	Tip ciment	Dozaj ciment (kg/m ³)	Aditiv (% din cantitatea de ciment)	Apa (l)	Agregate (kg)	Granula maxima agregate (mm)	Raport apa/ciment
B1	CEM II/B-M (P-LL) 32,5R	350	0,4% plastifiant	161,0	1718,0	32	0,46
B2	CEM II/B-M (P-LL) 32,5R	350	0,4% plastifiant	161,0	1718,0	32	0,46
B3	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (1)	320	1% superplastifiant	160,0	1752,0	32	0,50
B4	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (1)	400	1% superplastifiant	160,0	1646,0	32	0,40
B5	CEM II/A-V 42,5R (1)	470	0,7% superplastifiant	211,5	1589,0	16	0,45
B6	CEM II/A-V 42,5R (2)	350	0,7% superplastifiant	192,5	1733,0	16	0,55
B7	CEM II/A-V 42,5R (1)	350	0,7% superplastifiant	189,0	1733,0	16	0,54
B8	CEM II/A-V 42,5R (2)	470	0,7% superplastifiant	211,5	1589,0	16	0,45
B9	CEM II/A-V 42,5R (3)	350	0,7% superplastifiant	189,0	1733,0	16	0,54
B10	CEM II/A-V 42,5R (3)	470	0,7% superplastifiant	206,8	1589,0	16	0,44
B11	CEM II/A-V 42,5R (2)	400	0,05% antrenor+plastifiant	204,0	1666,0	16	0,51
B12	CEM II/A-V 42,5R (1)	400	0,05% antrenor+plastifiant	200,0	1666,0	16	0,50
B13	CEM II A-V 42,5R (1)	400	0,05% antrenor+plastifiant	200,0	1666,0	16	0,50
B14	CEM II B-M (S-LL) 32,5R (2)	340	0,4% plastifiant	159,8	1739,0	32	0,47
B15	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (2)	400	0,4% plastifiant	168,0	1651,0	32	0,42
B16	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (2)	300	0,4% plastifiant	168,0	1773,0	32	0,56
B17	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (3)	320	1% superplastifiant	150,4	1752,0	32	0,47
B18	CEM II/A-S 32,5R	320	1% superplastifiant	160,0	1752,0	32	0,50
B19	CEM II/A-S 32,5R	400	1% superplastifiant	160,0	1646,0	32	0,40
B20	CEM II/B-M (S-LL) 32,5R (3)	400	1% superplastifiant	144,0	1646,0	32	0,36

Probele de beton de dimensiuni 150x150x150 mm au fost realizate in conformitate cu normele in vigoare la data prepararii acestora [4]. Acestea au fost tinute 2 sau 7 zile in apa, apoi au fost mentinute in aer, pana la varsta incercarii (28 zile, 180 zile si 1 an), la o temperatura de 20°C si umiditate 65%.

Valorile obtinute pentru concentratia activitatii Ra-226 variaza intre 15-25 Bq/kg. Valorile obtinute pentru Th-232 variaza intre 10-22 Bq/kg, iar pentru K-40 valorile se situeaza intre 250-770 Bq/kg. Valorile obtinute pentru Ra si Th din betoane sunt asemanatoare celor obtinute in diferite cercetari experimentale internationale [35], situandu-se la partea inferioara a intervalului citat in literatura de specialitate.

Indicii de radioactivitate pentru betoanele studiate sunt prezentate in figura 4.1.5.

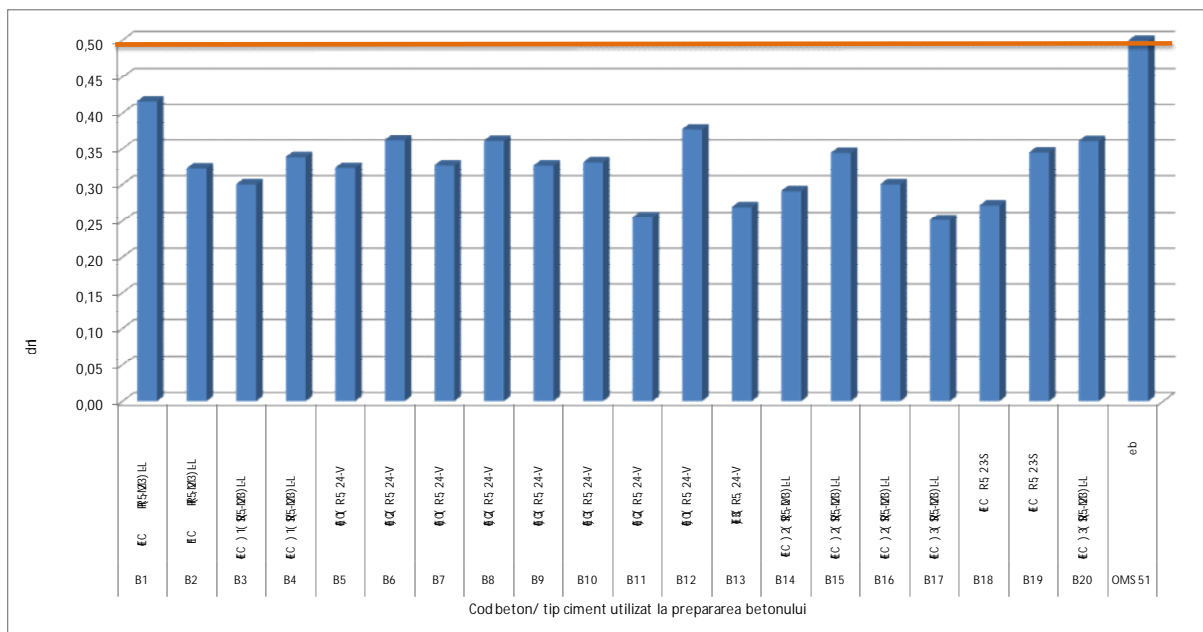


Fig. 4.1.5 – Valorile indicilor de radioactivitate obtinuti pentru betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi cu adaosuri

Betoanele preparate cu acelasi tip de ciment, mentinute in apa 2 zile (B1) au valori ale indicelui de radioactivitate mai mari cu 30% fata de betoanele tratate 7 zile (B2).

Se observa ca pentru betoanele preparate cu acelasi tip de ciment de clasa 32,5, mentinute in aceleasi conditii, valorile indicilor de radioactivitate cresc cu sporirea cantitatii de ciment.

In cazul betoanelor preparate cu ciment de clasa 42,5 se observa diferente mici ale valorilor indicilor de radioactivitate pentru dozaje diferite de ciment.

Pentru acelasi dozaj de ciment, valorile obtinute pentru betoanele mentinute 7 zile in apa si apoi in aer, nu prezinta diferente semnificative, astfel:

- pentru dozaje de ciment de 320 kg/m^3 , s-au obtinut valori ale indicelui de radioactivitate cuprinse intre 0,25 si 0,30.
- pentru dozaje de ciment de 350 kg/m^3 , s-au obtinut valori ale indicelui de radioactivitate cuprinse intre 0,32 si 0,36.
- pentru dozaje de ciment de 400 kg/m^3 , s-au obtinut valori ale indicelui de radioactivitate cuprinse intre 0,26 si 0,38.

Rezultatele obtinute in cadrul acestui program de cercetare pot fi sintetizate in schema prezentata in figura 4.1.6.

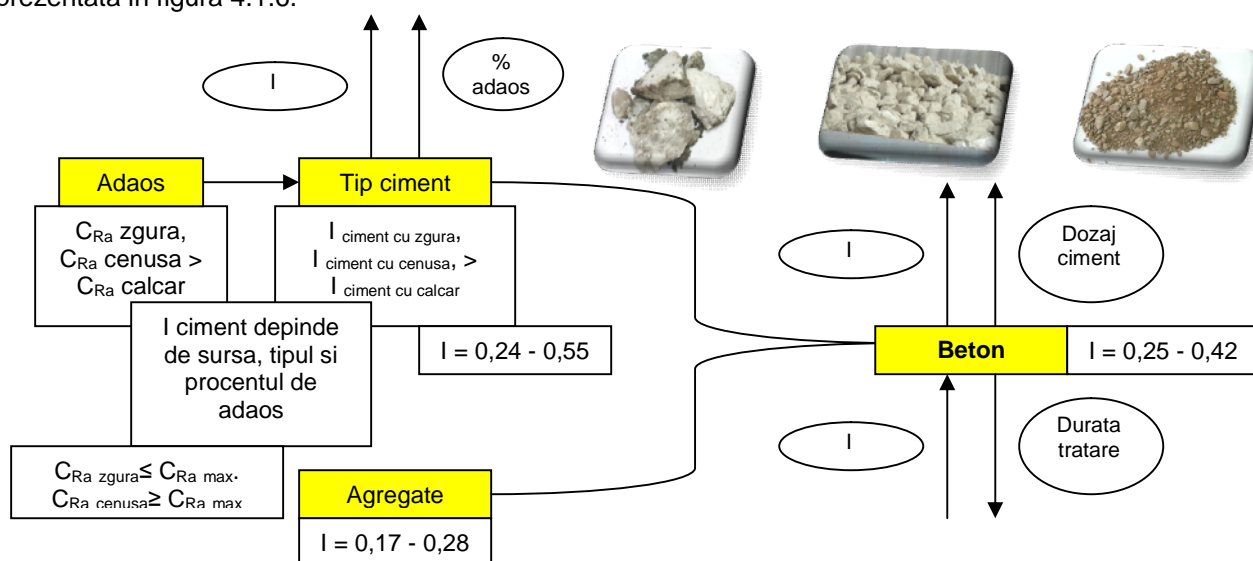


Fig. 4.1.6 - Schitarea rezultatelor obtinute pentru adaosurile din cimenturi, cimenturi, agregate si betoane

4.1.2. Cercetări experimentale pentru determinarea unor caracteristici de rezistență și durabilitate pentru betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi

4.1.2.1. Program de cercetare

Programul de cercetare a constat în determinarea unor caracteristici de rezistență și durabilitate (rezistența la compresiune, porozitate, permeabilitate la apă și aer, etc.) ale betoanelor preparate cu cimenturi cu diferite adaosuri și diferite tipuri de aditivi, în vederea corelării rezultatelor obținute cu ratele de exalație a radonului și respectiv valorile obținute pentru concentrația de radon din interior (fig.4.1.7).

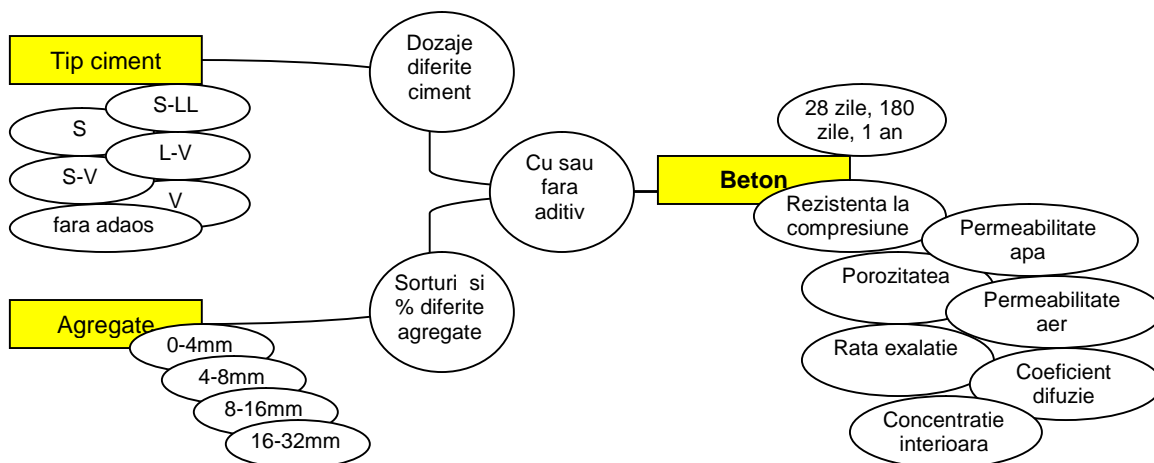


Fig. 4.1.7 - Schema de realizare a programului de cercetare privind corelarea caracteristicilor de rezistență și durabilitate ale betoanelor preparate cu cimenturi cu diferite adaosuri și diferite tipuri de aditivi, cu ratele de exalație a radonului și respectiv concentrațiile de radon din interior

În cadrul programului experimental s-au preparat betoane de clase C12/15...C20/25 cu cimenturi având diferite procente de adaosuri de zgură, zgură + calcar, calcar + cenușă, fără aditiv și respectiv betoane de clase de rezistență C18/22,5...C30/37 cu cimenturi având diferite procente de adaosuri de zgură, zgură + calcar, calcar + cenușă, zgură + cenușă, cenușă și cu diferite dozaje de aditiv superplastifiant (S). De asemenea, s-au preparat epruvete de beton de clase C25/30 și C30/37 cu ciment cu adaos de zgură, cenușă sau fără adaos și diferite dozaje de aditiv antrenor de aer (A). Procentul de aer antrenat a fost aproximativ 3,5%, pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos și respectiv 4,9%, pentru betonul preparat cu ciment fără adaos, pentru un același raport apă/ ciment de aproximativ 0,36.

După preparare, probele de beton au fost menținute 7 zile în apă, apoi au fost menținute în mediu interior, la o temperatură de 20°C și umiditate de 65% până la data încercării.

S-au determinat rezistențele la compresiune, caracteristicile de permeabilitate la aer și respectiv apă a betoanelor având compoziții diferite, după 28 de zile, 180 zile și 1 an de la turnarea acestora. Totodată, s-au determinat valorile porozității și respectiv ratele de exalație a radonului din tipurile de betoane studiate din punct de vedere al rezistenței și durabilității în timp.



4.1.2.2. Rezultate obținute

Rezistența la compresiune

În cadrul programului de cercetare s-au determinat caracteristicile de rezistență, permeabilitate la aer și respectiv la apă a unor betoane având compoziții diferite, pentru a le putea corela cu ratele de exalație a radonului.

În tabelul 4.1.3 se prezintă compoziția betoanelor și caracteristicile betoanelor în stare proaspătă (raportul apă/ciment, conținutul de aer antrenat).

Tabelul 4.1.3 - Compoziția și caracteristicile betoanelor în stare proaspătă

Nr. crt.	Tip adaos în ciment	Clasa prescrisă a betonului	Dozaj ciment (kg/m ³)	Aditiv	A/C	Aer antrenat (%)
1	zgură	C 12/15	300	-	0,55	-
2	zgură + calcar	C 12/15	300	-	0,57	-
3	calcar + cenușă	C 12/15	300	-	0,58	-
4	zgură + calcar	C 16/20	320	-	0,53	-
5	zgură	C 18/22,5	340	-	0,49	-
6	zgură + calcar	C 18/22,5	340	-	0,52	-
7	calcar + cenușă	C 18/22,5	340	-	0,52	-
8	zgură	C 20/25	380	-	0,43	-
9	zgură + calcar	C 20/25	380	-	0,48	-
10	calcar + cenușă	C 18/22,5	330	superplastifiant	0,49	-
11	zgură	C 18/22,5	330	superplastifiant	0,42	-
12	zgură + calcar	C 18/22,5	330	superplastifiant	0,49	-
13	zgură	C 20/25	360	superplastifiant	0,44	-
14	cenușă	C 20/25	360	superplastifiant	0,40	-
15	zgură + cenușă	C 20/25	360	superplastifiant	0,43	-
16	zgură	C 20/25	360	superplastifiant	0,43	-
17	zgură	C 20/25	360	superplastifiant	0,41	-
18	zgură	C 20/25	360	superplastifiant	0,40	-
19	zgură + calcar	C 20/25	360	superplastifiant	0,46	-
20	calcar + cenușă	C 20/25	360	superplastifiant	0,46	-
21	zgură	C 30/37	400	superplastifiant	0,39	-
22	zgură	C 30/37	400	superplastifiant	0,37	-
23	cenușă	C 30/37	400	superplastifiant	0,35	-
24	-	C 25/30	450	antrenor de aer	0,35	4,9
25	zgură	C 25/30	450	antrenor de aer	0,36	3,6
26	zgură	C 30/37	510	antrenor de aer	0,35	3,3
27	cenușă	C 30/37	510	antrenor de aer	0,37	3,8

Rapoartele A/C, dozajele de ciment și condițiile de păstrare utilizate au fost în conformitate cu reglementările aflate în vigoare la data preparării betoanelor.

Rezistențele la compresiune obținute pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant sunt prezentate în figura 4.1.8, evoluțiile în timp a rezistențelor la compresiune a betoanelor preparate fără aditiv și respectiv cu aditiv antrenor de aer fiind prezentate în extenso în cadrul tezei.

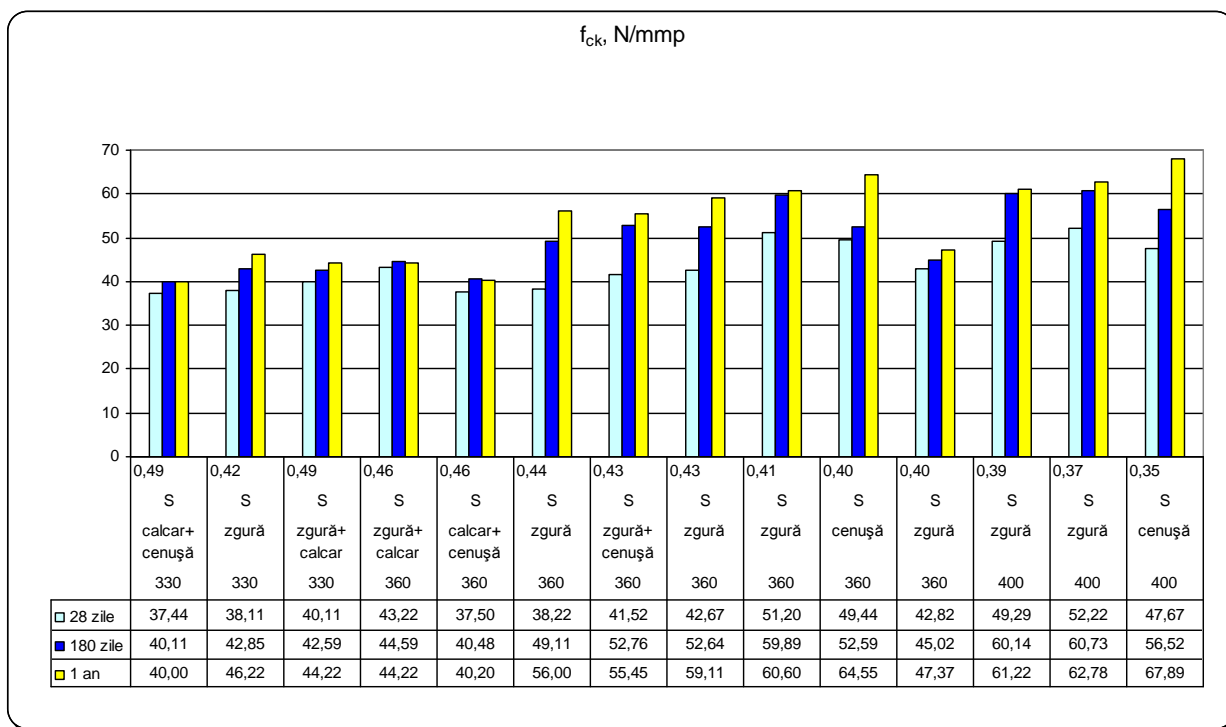


Fig. 4.1.8 - Evoluția în timp a rezistențelor la compresiune a betoanelor preparate cu aditiv superplastifiant

Din punct de vedere al caracteristicilor de rezistență, toate betoanele studiate corespund claselor prescrise, având rezistențe la compresiune superioare celor corespunzătoare claselor.

Cele mai mari creșteri ale rezistenței la compresiune între 28 și 180 zile se observă la betoanele preparate cu ciment cu zгурă, evoluțiile cele mai lente întâlnindu-se la betoanele preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă.

Între 180 zile și 1 an, s-au obținut creșteri de rezistență însemnate pentru betoanele preparate cu aditiv și ciment cu adaos de zгурă și respectiv cenușă. În general, la betoanele preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă se observă o uniformizare a rezistențelor între 180 de zile și 1 an.

Pentru o aceeași clasă de beton, se observă că betoanele preparate cu ciment cu adaos de zгурă au o rezistență la compresiune mai mare decât a celorlalte betoane, indiferent dacă sunt sau nu preparate cu aditiv. Rezistențe la compresiune mai scăzute s-au obținut în cazul betoanelor preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă. Desigur, un factor esențial îl constituie valoarea rezistenței cimenturilor.

Porozitatea

Valorile obținute pentru porozitatea betoanelor la vârstele de 28, 180 zile și 1 an sunt prezentate în figura 4.1.9. Probele au fost menținute în mediu interior, la o temperatură de 20°C și umiditate de 65% înainte de începerea testelor pentru determinarea porozității betonului.

Porozitatea scade în timp, mai accentuat pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zгурă și respectiv cu cenușă. Betoanele preparate cu ciment cu zгурă și calcar prezintă o uniformizare a valorilor porozității în timp, indiferent de tipul de aditiv utilizat la prepararea betoanelor.



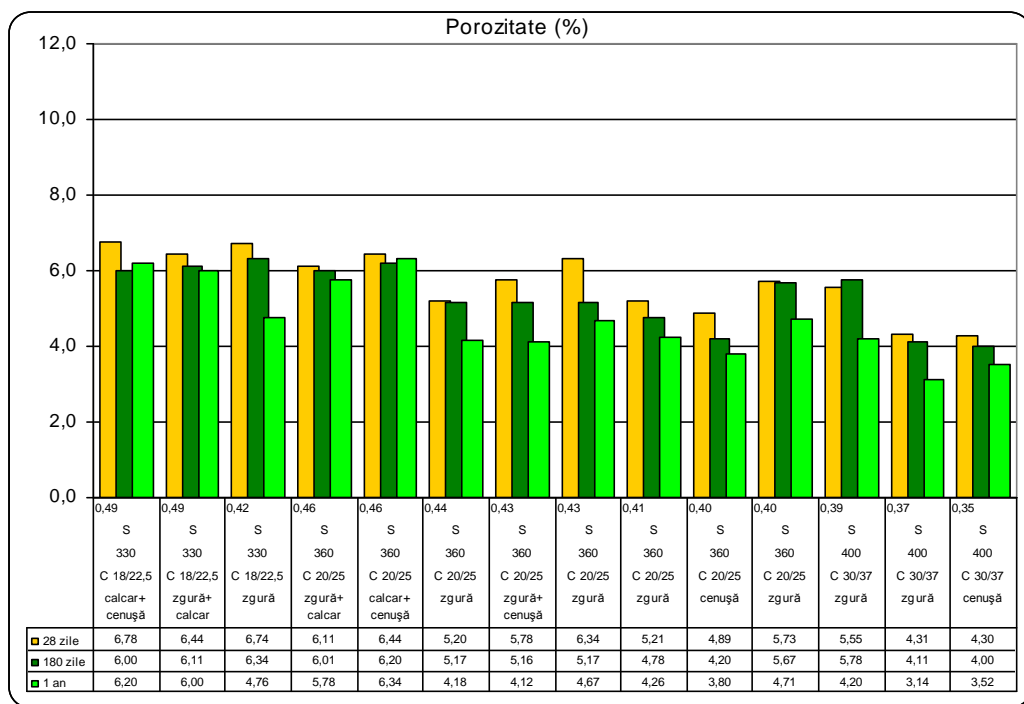


Fig. 4.1.9 - Evoluția în timp a porozității betoanelor preparate cu aditiv superplastifiant

Permeabilitate la apa și la aer

Probele de beton au fost testate și din punct de vedere al permeabilității, măsurându-se adâncimea de pătrundere a apei la o presiune de 4, 8 sau 12 barr (grad de permeabilitate P4, P8 sau P12) și respectiv adâncimea de scurgere a aerului (coeficientul de permeabilitate la aer).

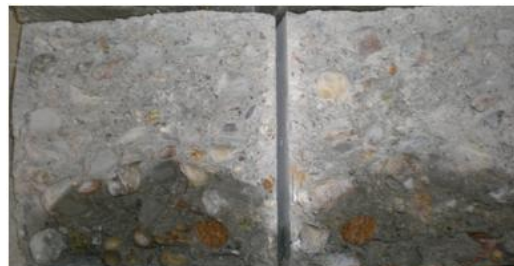
Determinarea coeficientului de permeabilitate la aer s-a realizat prin metoda Torrent.

Scurgerea aerului se face unidirecțional și perpendicular pe suprafața expusă, în același mod în care se face transportul agenților agresivi către interiorul betonului. Prezența umidității în cadrul structurii betonului poate avea o influență semnificativă în ceea ce privește permeabilitatea sa la aer sau apă.

Scopul urmărit a fost efectuarea unei analize comparative între adâncimea de scurgere a aerului în beton, determinată prin metoda Torrent (L) și adâncimea de pătrundere a apei (h) la o presiune de 4, 8 sau 12 barr și respectiv corelarea acestora cu emisiile de radon. Rezultatele obținute sunt prezentate în figura 4.1.9 și în extenso în cadrul tezei.

În urma cercetărilor experimentale efectuate s-a constatat că valorile coeficientului de permeabilitate la aer cresc în timp, astfel în rezumat se vor prezenta rezultatele obținute la vârsta de un an de la turnarea betoanelor. Menționez că în teza sunt prezentate și rezultatele obținute la 28 și respectiv 180 de zile.

Cercetările de laborator au indicat că permeabilitatea betonului se reduce cu creșterea cantității de materiale cimentoide hidratate și cu descreșterea raportului A/C.



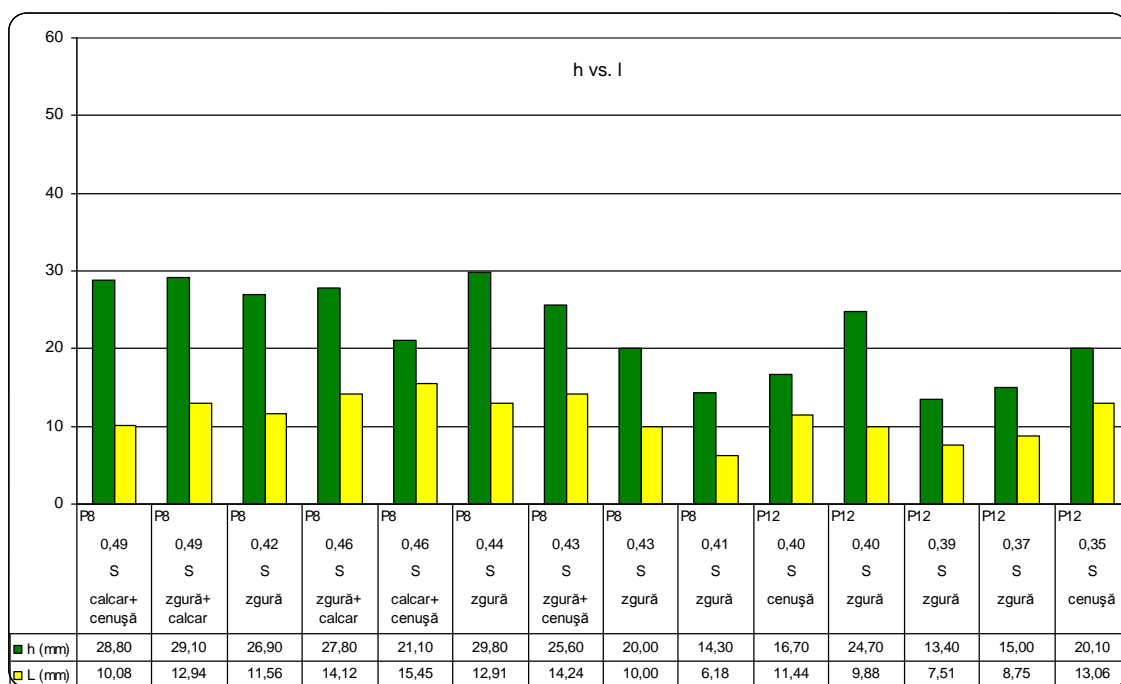


Fig. 4.1.10 - Adâncimea de pătrundere a apei (P8 și P12) și adâncimea de scurgere a aerului pentru betoane preparate cu aditiv superplastifiant, la vârsta de 1 an

Adâncimea de scurgere a aerului pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant reprezintă, în general, între 40-60% din adâncimea de pătrundere a aerului, pentru 8 și 12 barr.

Pentru betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer, valorile obținute pentru adâncimea de scurgere a aerului reprezintă, în medie, 50-55%, cea mai mare valoare obținându-se pe betoanele cu ciment cu adaos de cenușă (56%), cea mai mică valoare, de 50%, a fost măsurată pentru betoanele cu ciment cu adaos de zgură.

Comparând betoanele preparate cu același dozaj de ciment, betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură prezintă adâncimi de scurgere a aerului mai mici decât celelalte tipuri de betoane studiate, indiferent dacă sunt sau nu preparate cu aditivi. În general, adâncimi ridicate de scurgere a aerului s-au obținut pentru betoanele preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă.

Analizând rezultatele obținute se poate aprecia că adâncimea de scurgere a aerului L(mm) determinată prin metoda Torrent, variază în funcție de tipul de ciment, de tipul de aditiv și de vârsta betonului.

Adâncimea de pătrundere a apei și respectiv adâncimea de scurgere a aerului scad cu reducerea raportului A/C.

În cazul betoanelor preparate cu aditiv superplastifiant, la rapoarte apă/ciment reduse, s-au obținut valori mai mici ale adâncimii de scurgere a aerului decât în cazul betoanelor preparate cu rapoarte A/C ridicate, în special în cazul betoanelor preparate cu cimenturi cu adaos de zgură. Aceleași concluzii se pot formula și pentru betoanele preparate fara aditiv.

Adancimea de scurgere a aerului in betoane creste in timp, indiferent de tipul de aditiv utilizat.

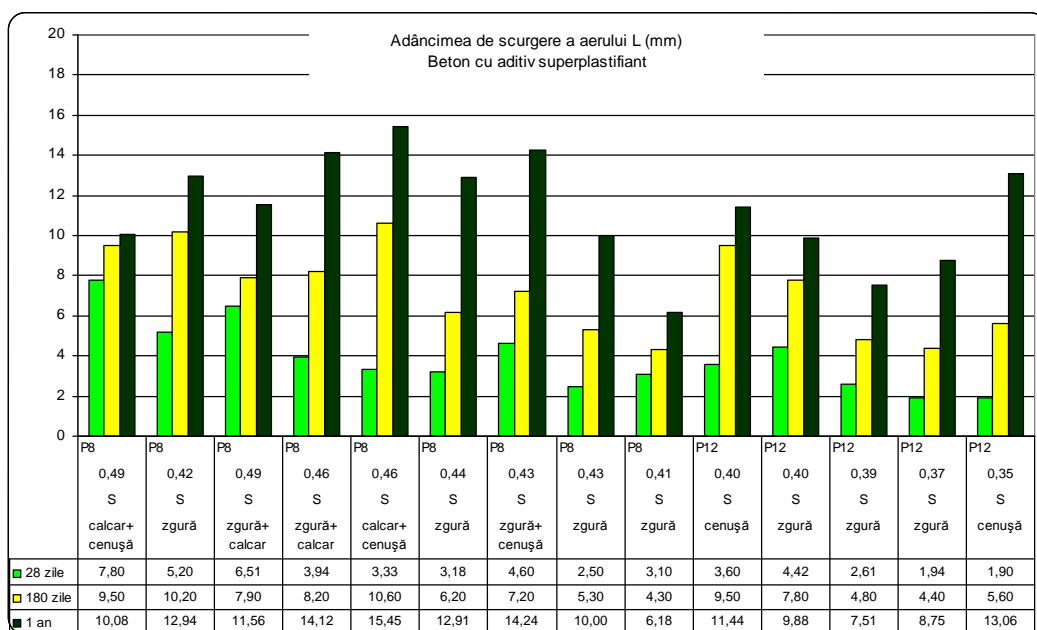


Fig. 4.1.11 - Variația în timp a adâncimii de scurgere a aerului pentru betoane preparate cu aditiv superplastifiant

De asemenea, a fost determinat coeficientul de permeabilitate la aer pentru betoanele preparate cu diferite tipuri de cimenturi, rezultatele obținute fiind prezentate în figura 4.1.12.

Coeficientul de permeabilitate urmează aceeași evoluție ca și adâncimea de scurgere a aerului, cu valori mai mici pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură, pentru un același dozaj de ciment, respectiv pentru un raport A/C asemănător, indiferent dacă betoanele sunt sau nu preparate cu aditivi.

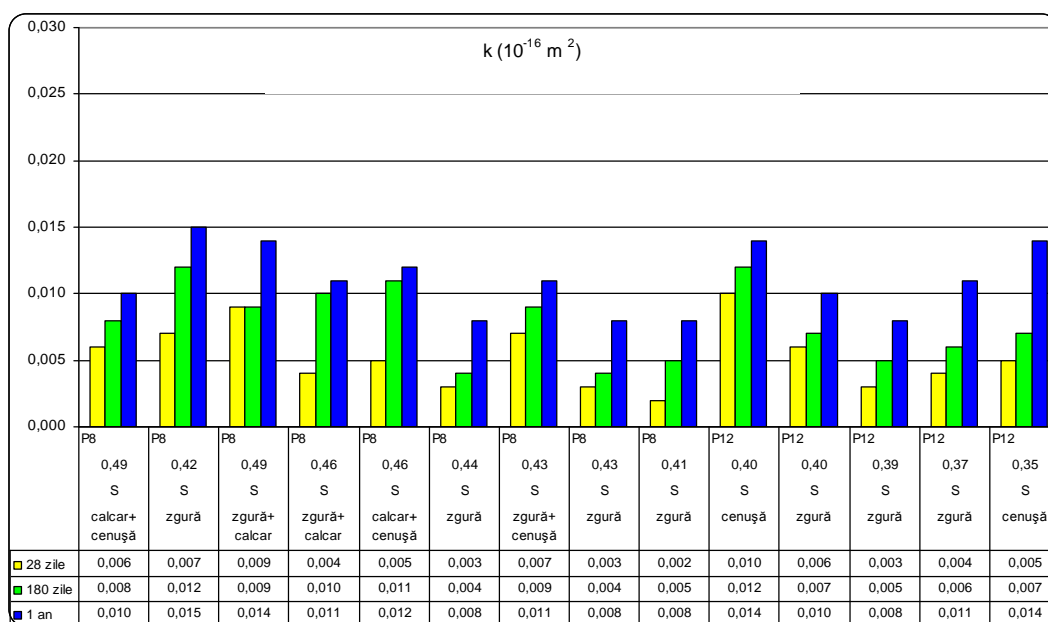


Fig. 4.1.12 - Variația în timp a coeficientului de permeabilitate la aer pentru betoane preparate cu aditiv superplastifiant

Pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant și respectiv antrenor de aer, valorile obținute pentru coeficientul de permeabilitate sunt cu câteva ordine de mărime mai mici decât cele obținute pentru betoanele fără aditiv.

Coeficientul de permeabilitate evoluează în timp, între vârstele de 28 zile și 1 an, creșterile fiind cuprinse între 25%-60%, evoluții mai lente obținându-se pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură și respectiv pentru betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer și ciment cu adaos de cenușă.

Influența densității și porozității asupra coeficientului de permeabilitate la aer este ilustrată în continuare.

Coeficientul de permeabilitate la aer pentru betoane preparate cu același tip de ciment crește cu porozitatea betoanelor.

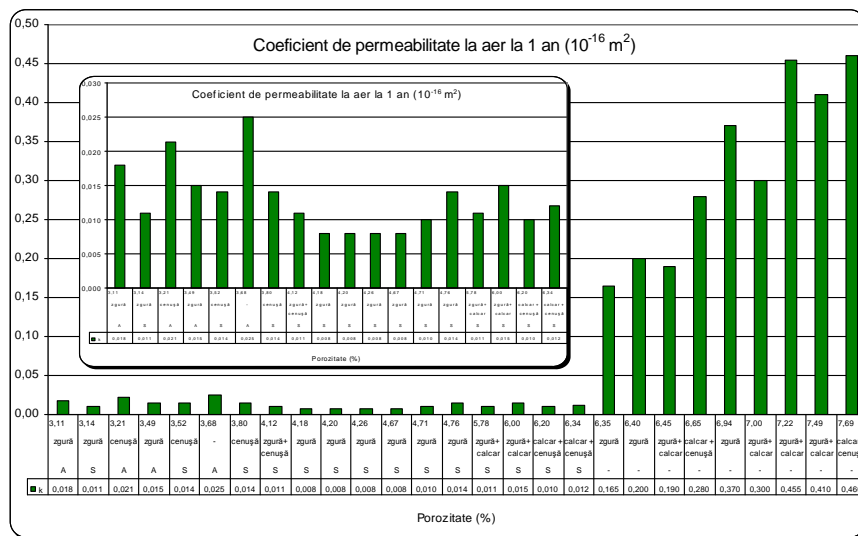


Fig. 4.1.13 - Variația coeficientului de permeabilitate în funcție de porozitatea betonului, la vârsta de 1 an

La vârsta de 1 an, valorile obținute pentru coeficientul de permeabilitate a betoanelor preparate cu aditiv sunt mai mici de 15-20 ori față de valorile obținute pentru betoanele fără aditiv. Se observă, și în acest caz, rolul aditivului folosit la prepararea betoanelor.

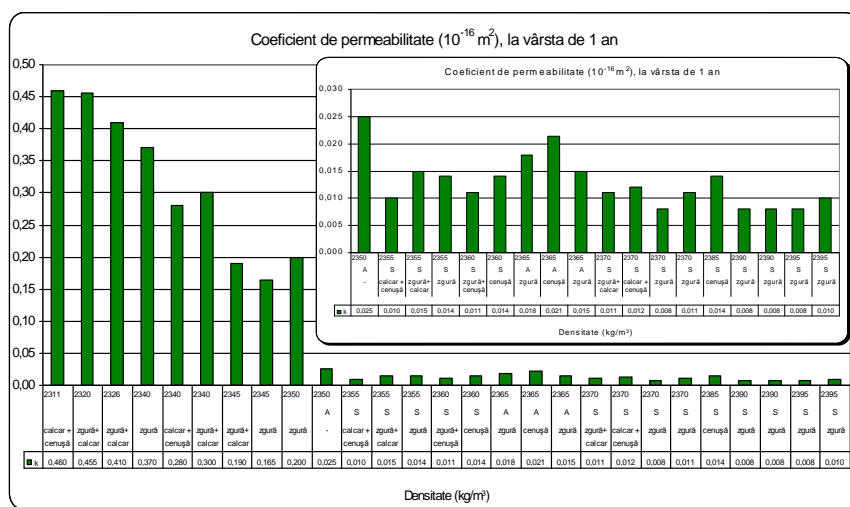


Fig. 4.1.14 - Variația coeficientului de permeabilitate în funcție de densitatea betonului, la vârsta de 1 an

Pentru betoanele preparate cu același tip de ciment, coeficientul de permeabilitate la aer scade cu creșterea densității betonului.

Pentru o aceeași rezistență la compresiune, cele mai mici valori ale coeficientului de permeabilitate s-au obținut pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură.

Coeficientul de permeabilitate la aer scade cu creșterea rezistenței la compresiune, valori mai mari ale coeficientului obținându-se la betoanele preparate fără aditiv.

Dintre toate betoanele studiate, cele preparate cu ciment cu zgură au structura mai densă, sunt mai puțin permeabile și respectiv mai puțin poroase decât celelalte tipuri de betoane, fapt ce reiese din

rezultatele obținute pentru adâncimea de pătrundere a apei, pentru adâncimea de scurgere a aerului și respectiv pentru coeficientul de permeabilitate a aerului.

Caracteristicile de rezistență și durabilitate prezentate confirmă calitatea betoanelor studiate, în special a betoanelor preparate cu aditiv superplastifiant și respectiv antrenor de aer.

4.1.3. Rezultate obținute pentru rata de exalație a radonului din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi

Probele de beton preparate cu diferite tipuri de cimenturi au fost testate și din punct de vedere al exalației de radon la vârstele de 28 zile, 180 zile și 1 an. Rezultatele obținute pentru ratele de exalație a radonului pe unitatea de suprafață a betonului sunt prezentate în figura 4.1.15. Menționez ca la măsurarea exalației s-a utilizat sistemul de măsurare a radonului Pylon AB-5, compus din monitor radon model Pylon AB-5 împreună cu o cutie specială în care au fost introduse probele de beton.

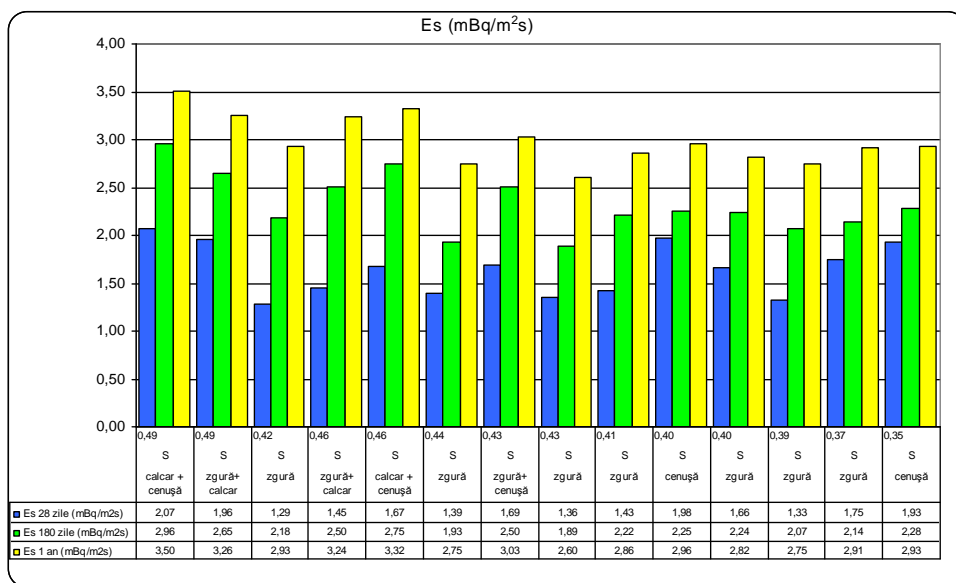


Fig. 4.1.15 - Variația în timp a ratei de exalație pe unitatea de suprafață, pentru betoane preparate cu aditiv superplastifiant

Valorile ratei de exalație cresc în timp, valorile obținute la 28 de zile după preparare fiind cuprinse între (1,29-2,44) mBq/m²s, ajungând ca, la 1 an după prepararea betoanelor, valorile să varieze între (2,33-3,79) mBq/m²s.

Ratele de exalație a radonului pe unitatea de masă a betonului sunt prezentate în figura 4.1.6

Valorile ratei de exalație E_m variază între (7-12,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 28 de zile, (11-16,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 180 de zile și (14,5-20,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 1 an, valorile din partea superioară a intervalelor fiind pentru betoanele preparate fără aditiv.

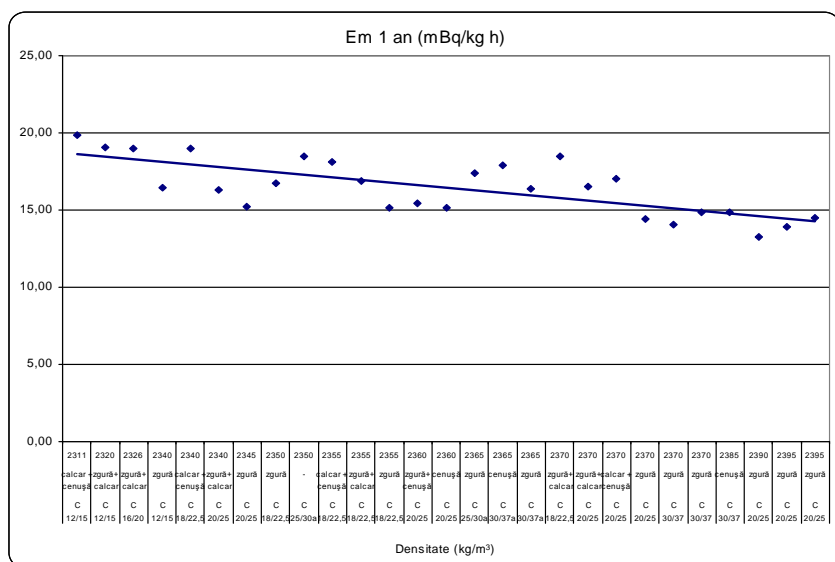


Fig. 4.1.16 - Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă, la vârsta de 1 an, în funcție de densitatea betonului

Se observă că, odată cu creșterea densității betonului, rata de exalație pe unitatea de masă scade, indiferent de vârsta betonului.

Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă, în funcție de porozitatea betonului, la diferite vârste, este prezentată în figura 4.1.17.

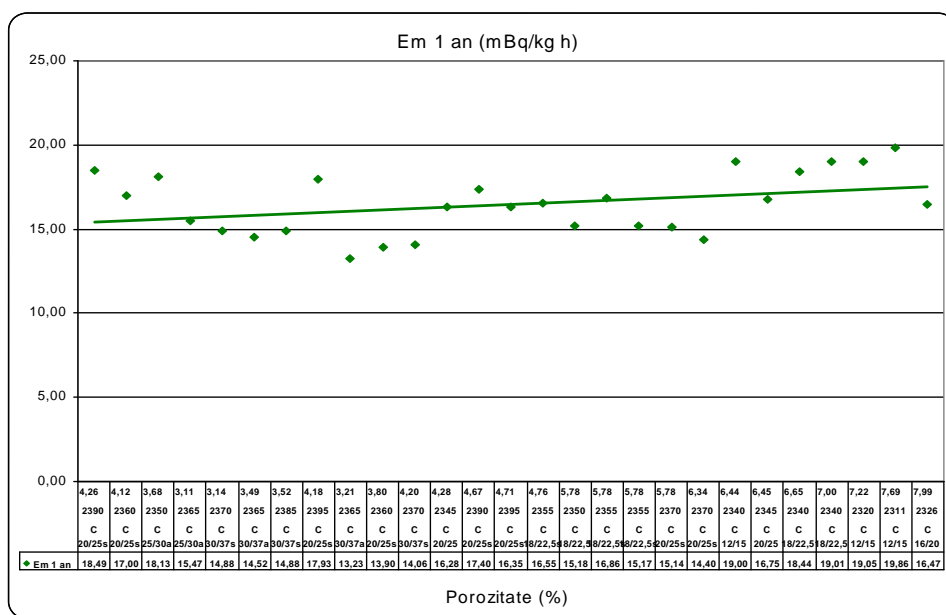


Fig. 4.1.17 - Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă, la vârsta de 1 an, în funcție de porozitatea betonului

Valorile ratei de exalație pe unitatea de masă cresc cu creșterea porozității betonului, indiferent de vârsta betonului.

Porozitatea betonului scade în timp, mai accentuat pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură și respectiv cu cenușă.

S-au obținut valori mari ale porozității, în special pentru betoanele preparate fără aditivi.

Pentru o aceeași clasă de beton, variația ratei de exalație Em în funcție de compoziția betoanelor este reprezentată în figura 4.1.18.

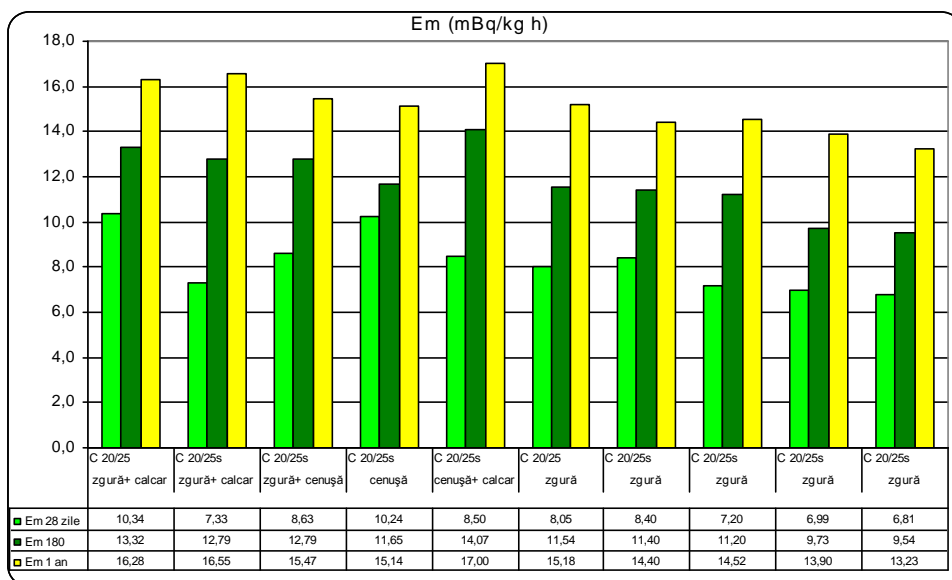


Fig. 4.1.18 - Valorile ratei de exalație pentru betoane de clasa C20/25, preparate cu și fără aditiv superplastifiant (S)

Pentru o aceeași clasă de beton, ratele de exalație a radonului din betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură sunt mai mici decât ale betoanelor preparate cu celelalte tipuri de cimenturi, indiferent de aditivul utilizat.

Valorile ratei de exalație Em variază între (7-12,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 28 de zile, (11-16,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 180 de zile și (14,5-20,5) mBq/kg h pentru betoanele cu vârsta de 1 an, valorile din partea superioară a intervalelor fiind pentru betoanele preparate fără aditiv.

Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă în funcție de coeficientul de permeabilitate la aer a betonului la vârsta de 1 an de la preparare este prezentată în figura 4.1.19.

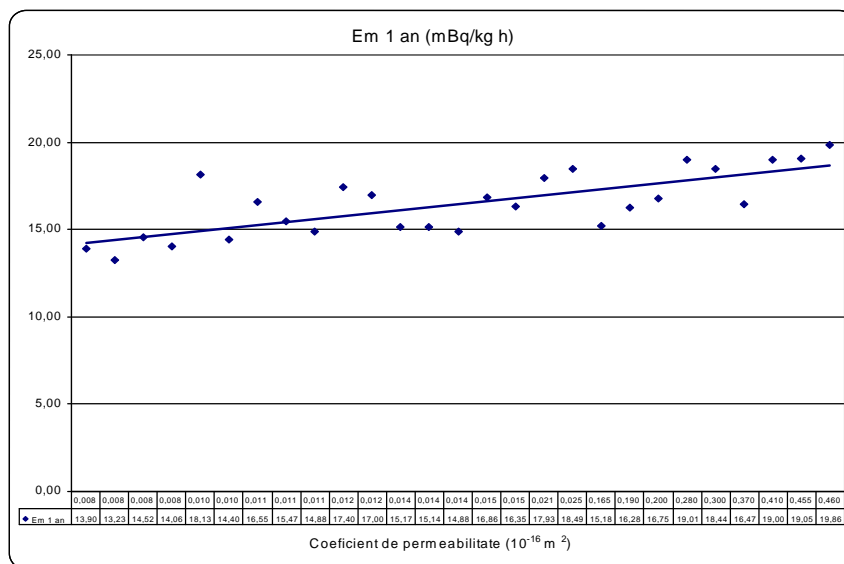


Fig. 4.1.19 - Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă, la vârsta de 1 an, în funcție de coeficientul de permeabilitate la aer

Valorile ratei de exalație pe unitatea de masă cresc cu valorile coeficientului de permeabilitate, indiferent de vârsta betonului.

Rata de exalație a radonului pe unitatea de masă variază liniar cu coeficientul de permeabilitate, obținându-se valori mari ale Em pentru valori ridicate ale coeficientului de permeabilitate, deci pentru betoane cu densitate mică și porozitate mare.

În funcție de raportul A/C, betoanele au rate de exalație diferite, în general acestea fiind mai mari pentru rapoarte A/C ridicate.

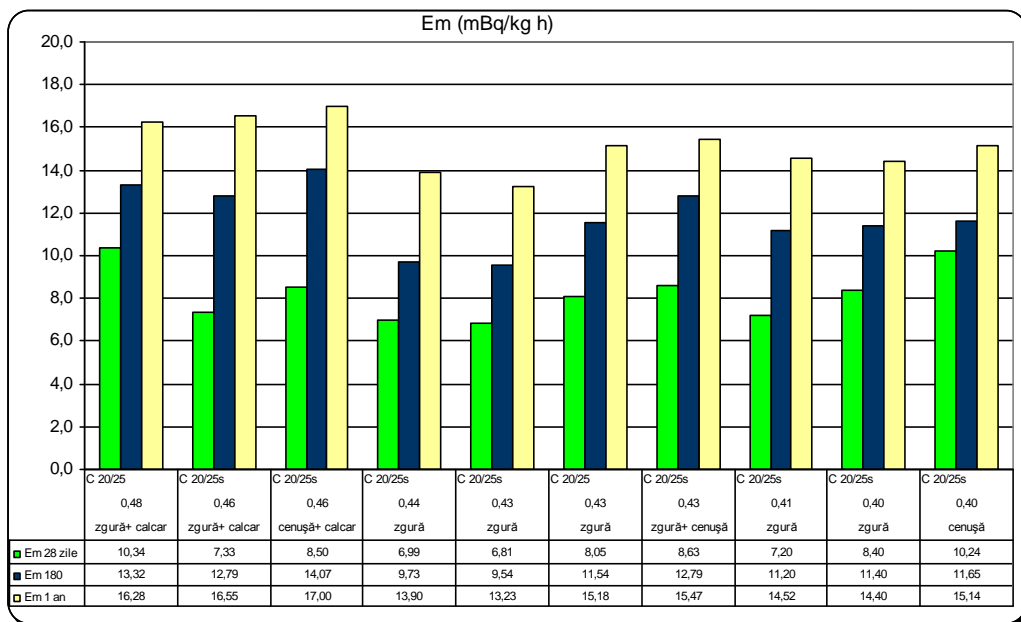


Fig. 4.1.20 - Variația ratei de exalație a radonului pe unitatea de masă în funcție de raportul A/C, pentru betoane de clasă C20/25

Concluziile acestui program de cercetare sunt sintetizate în schemele prezentate în figurile 4.1.21 - 4.1.23.

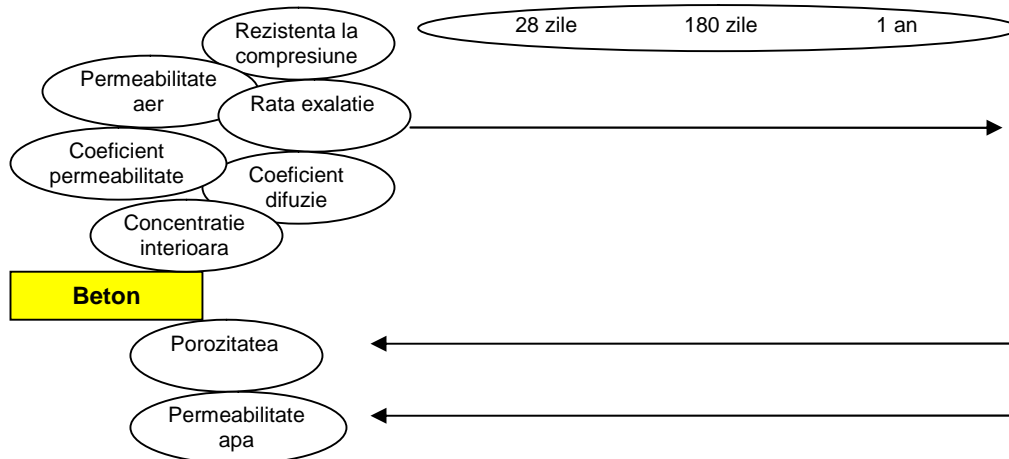


Fig.4.1.21 - Variatia in timp a caracteristicilor betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi

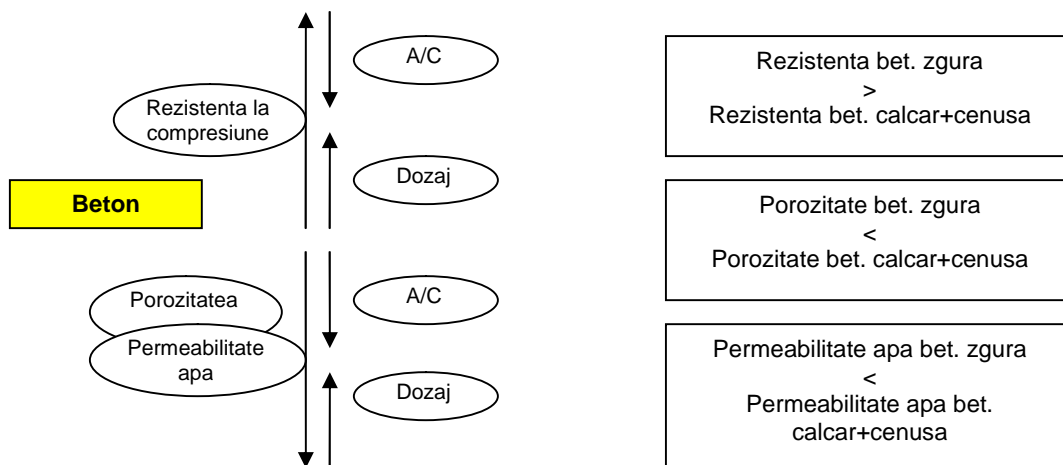


Fig.4.1.22 - Influenta raportului A/C, a dozajului de ciment si a adaosurilor asupra caracteristicilor betoanelor preparate cu diferite cimenturi cu adaosuri

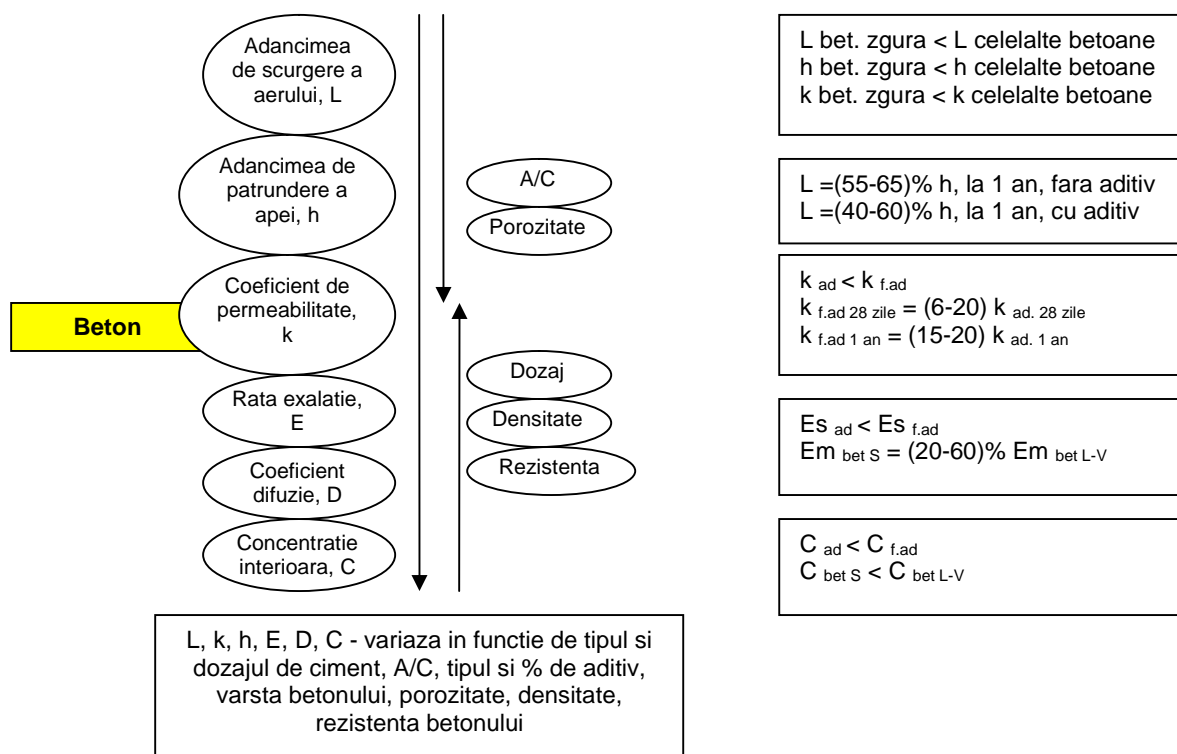


Fig. 4.1.23 - Schitarea rezultatelor obtinute privind corelarea caracteristicilor betoanelor cu rata de exalatie si concentratia de radon din interior

4.2. Influența caracteristicilor betonului asupra transportului radonului

Radonul poate fi transportat datorită diferențelor de concentrație (transport difuziv). Transportul difuziv este considerat a fi principalul proces pentru exalația radonului din materialele de construcție și, de asemenea, se consideră că joacă un rol deosebit în transportul radonului din sol în subsolul clădirii.

Pentru a obține o bună descriere a transportului radonului prin beton sunt necesare mai multe informații despre structura betonului, porozitatea și permeabilitatea sa, procesele care cauzează transportul radonului, interacțiunea radonului cu mediul, factorii care contribuie la generarea radonului, etc.

Caracteristicile betonului (ce depind de compoziția acestuia și, în special, de raportul A/C) care influențează transportul radonului prin beton sunt, în principal, porozitatea, permeabilitatea, difuzia, umiditatea și densitatea.

Pentru betoane menținute în condiții controlate de temperatură și umiditate, porozitatea totală a betonului (Rogers, [111]) se poate calcula cu formula:

$$P_t = 1 - d/G$$

unde:

d = densitatea betonului in conditii controlate de temperatura (20°C) si umiditate (65%) (g/cm³)

G = densitatea solidelor (2,6x10³kg/m³).

4.2.1. Influenta raportului A/C si a densitatii betonului asupra porozitatii aparente si totale a betonului

Cu ajutorul rezultatelor obtinute experimental prezentate in cap. 4.1.2, in continuare se prezinta valorile porozitatii aparente si respectiv totale. Probele de beton utilizate in aceste experimente au fost preparate conform normativelor aflate in vigoare la data realizarii cercetarilor. De mentionat este faptul ca probele au fost mentinute, dupa preparare si decofrare, 7 zile in apa si apoi pana la data incercarii (28 de zile si respectiv 1 an) in aer.

Porozitatea totala $P_t = P_{ap} + P_2$, unde P_2 este volumul porilor inchisi. Valorile porozitatii totale sunt mai mari cu 0,01-0,04 decat cele ale porozitatii aparente, $P_2 = 0,01 - 0,04$. Volumul porilor inchisi creste cu reducerea raportului A/C.

În figura 4.2.1 se prezintă valorile obținute pentru porozitatea totala a betonului obtinuta cu ajutorul relatiei cu Rogers si cele obținute experimental pentru porozitatea aparentă, la 1 an de la turnarea betonului.

Volumul porilor inchisi la varsta de un an de la turnare este mai mare decat cel obtinut la varsta de 28 de zile, $P_2 = 0,03-0,05$, pentru $A/C > 0,39$ si respectiv $P_2 = 0,06$, pentru $A/C < 0,37$.

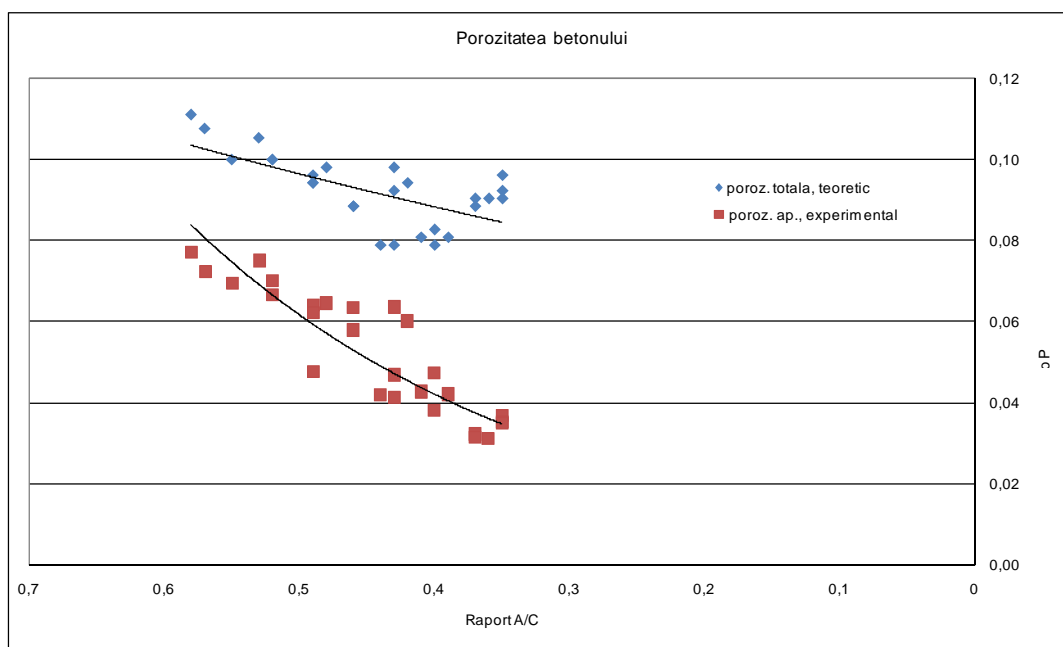


Fig. 4.2.1 - Valorile obținute pentru porozitatea totala a betonului si cele obținute experimental pentru porozitatea aparentă, la varsta de un an

Valorile porozității totale scad mai lent cu reducerea raportului A/C decât cele ale porozității aparente a betonului. Raportul dintre porozitatea aparenta a betonului determinata experimental si porozitatea totala scade cu reducerea raportului A/C.

4.2.2. Influenta raportului A/C si a densitatii betonului asupra coeficientului de permeabilitate

Utilizand rezultatele obtinute in cap. 4.1.2, in continuare se face o comparatie intre valorile obtinute experimental si valorile obtinute prin calcul pentru coeficientul de permeabilitate utilizand valorile determinate experimental pentru densitatea betonului si raportul A/C.

Coeficientul de permeabilitate la 28 de zile si respectiv 1 an a fost calculat cu ajutorul relatiei Rogers [109] utilizand valorile obtinute experimental pentru densitatea betonului:

$$k = 0,22 \exp(-12,4 d)$$

unde d = densitatea betonului, (g/cm³).

Fata de betoanele preparate cu cimenturi cu adaosuri, cele ce contin cimenturi fara adaosuri, au valori mai mari ale coeficientului de permeabilitate.

La varsta de 1 an de la turnare, betoanele preparate fara aditivi prezinta valori masurate ale coeficientului de permeabilitate mult mai mari decat cele calculate, oricare ar fi raportul A/C si tipul de ciment utilizat.

In cazul betoanelor cu aditivi, valorile determinate experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt mai mici decat valorile teoretice, indiferent de raportul A/C, tipul de aditiv si respectiv tipul de ciment utilizat la prepararea betoanelor.

În figura 4.2.2 se prezintă variațiile coeficientului de permeabilitate, valori determinate experimental vs. valori determinate teoretic în funcție de densitatea betonului masurata la varsta de 28 zile.

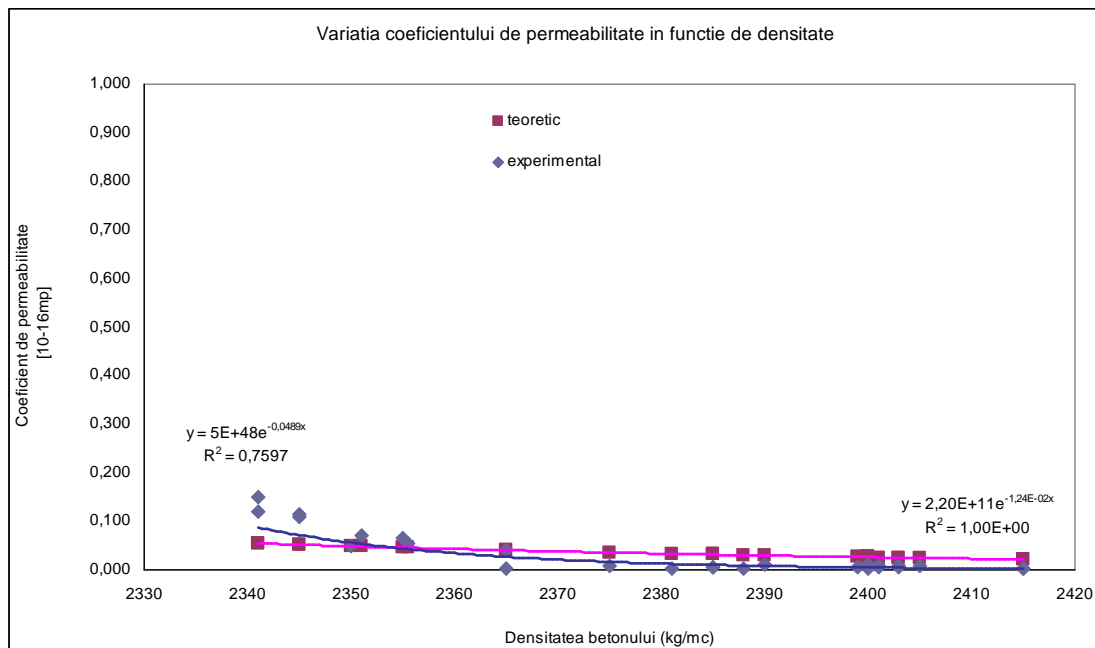


Fig. 4.2.2 - Valori ale coeficientului de permeabilitate, determinate experimental și respectiv teoretic, în funcție de densitatea betonului măsurată la vârsta de 28 de zile

Pentru betoane cu varste de 28 de zile, valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor determinate teoretic.

În figura 4.2.3 se prezintă variațiile coeficientului de permeabilitate, valori determinate experimental vs. valori determinate teoretic în funcție de densitatea betonului masurata la varsta de 1 an.

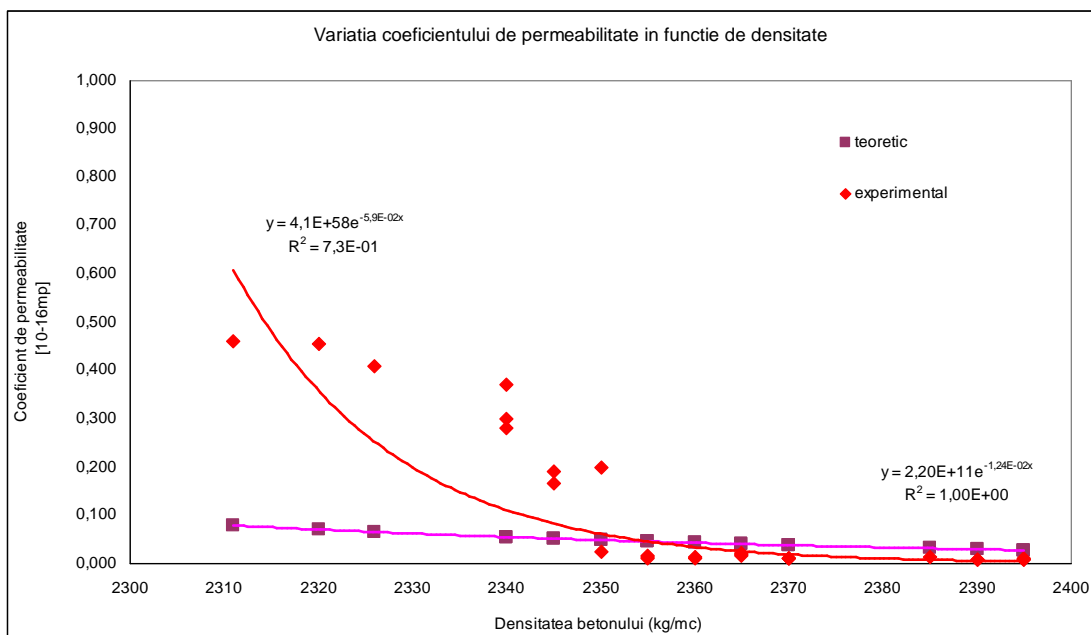


Fig. 4.2.3- Valori ale coeficientului de permeabilitate, determinate experimental și respectiv teoretic, în funcție de densitatea betonului măsurată la vârsta de 1 an

Pentru betoane cu densități mai mari de 2350 kg/m^3 (valori obținute pentru betoane preparate cu aditivi), valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor determinate teoretic. Astfel, relația lui Rogers este verificată pentru betoane cu densități mai mari de 2350 kg/m^3 .

În figurile 4.2.4 și 4.2.5 se prezintă variațiile coeficientului de permeabilitate, valori determinate experimental vs. valori determinate teoretic în funcție de raportul A/C obținut la prepararea betoanelor.

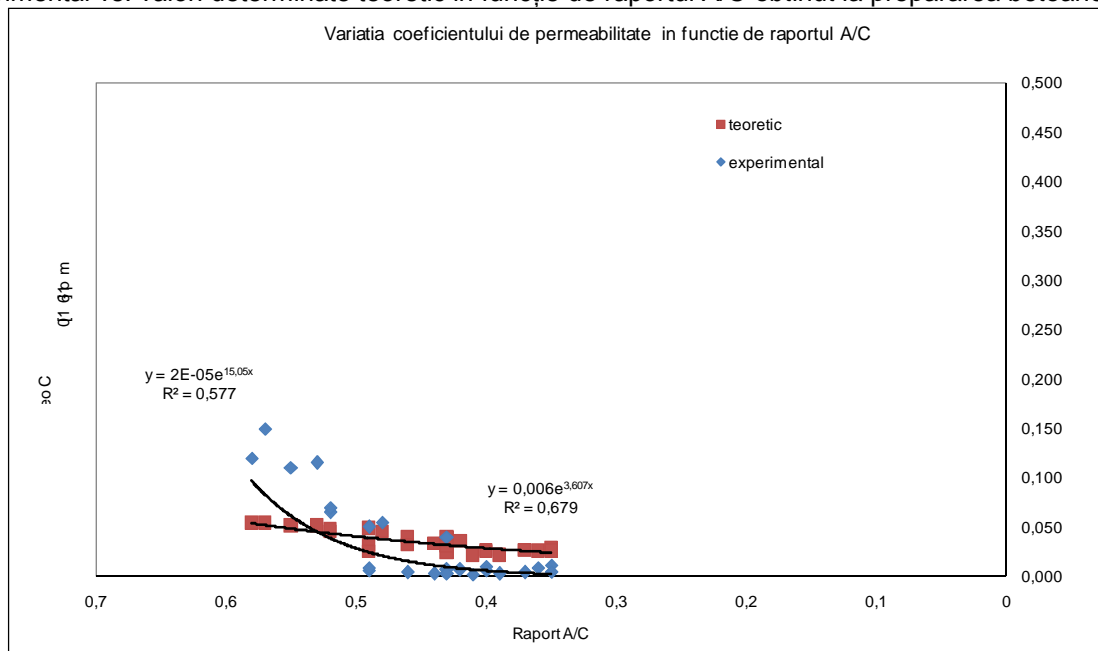


Fig. 4.2.4 - Variațiile coeficientului de permeabilitate, valori determinate experimental și respectiv teoretic, în funcție de raportul A/C, la 28 de zile de la turnarea probelor

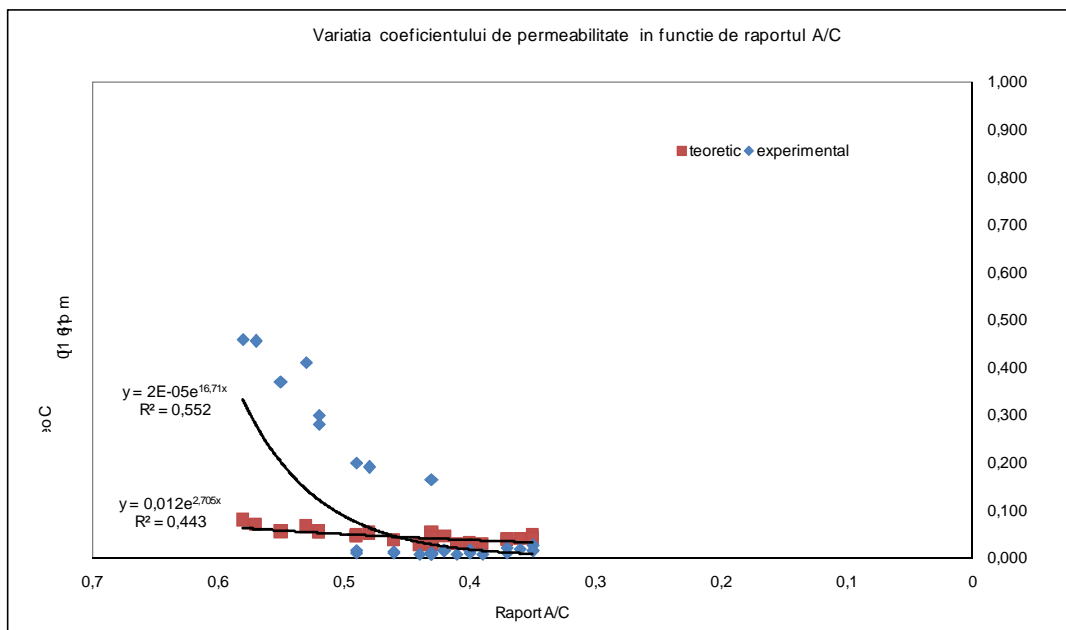


Fig. 4.2.5 - Variațiile coeficientului de permeabilitate, valori determinate experimental și respectiv teoretic, în funcție de raportul A/C, la 1 an de la turnarea probelor

Pentru betoane preparate cu aditivi, cu varste de un an și rapoarte A/C mai mici de 0,45, valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor calculate cu relația lui Rogers.

Coeficientul de permeabilitate scade cu creșterea dozajului de ciment și implicit cu reducerea raportului A/C.

4.2.3. Influența raportului A/C și a densității betonului asupra coeficientului de difuzie

4.2.3.1. Influența raportului A/C asupra coeficientului de difuzie

Dependența coeficientului de difuzie de raportul A/C a fost determinată de mulți autori. De exemplu, Rogers [109] a găsit o corelare între cei doi parametri (model RAETRAD), și anume:

$$D = 1,5 \times 10^{-10} \exp(11,4 A/C)$$

Pentru rapoarte A/C cuprinse între 0,52 și 0,67, Rogers a obținut valori ale coeficientului de difuzie cuprinse între $1,8 \times 10^{-8}$ și $4,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Nielson și Rogers [111] au găsit o relație de dependență între coeficientul de difuzie și raportul A/C și anume:

$$D = 7,7 \times 10^{-10} \exp(8,7 A/C).$$

În figura 4.2.6 se prezintă valorile calculate, utilizând relațiile de mai sus, ale coeficientului de difuzie a radonului pentru rapoartele A/C obținute în cazul betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi.

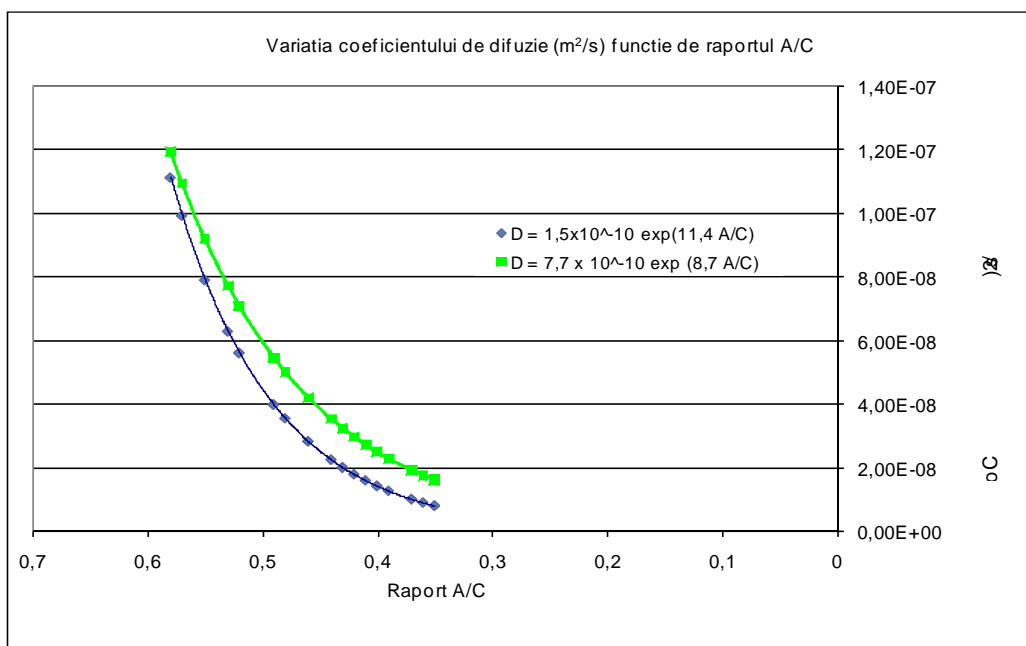


Fig.4.2.6 - Variația coeficientului de difuzie în funcție de raportul A/C

Coeficientul de difuzie scade cu creșterea dozajului de ciment și implicit cu reducerea raportului A/C.

Pentru rapoarte A/C mari, rezultatele obținute prin cele două curbe de corelare sunt apropiate. Valorile obținute prin relația de corelare a lui Rogers sunt mai mici decât cele obținute prin relația Nielson & Rogers.

4.2.3.2. Influența densității betonului asupra coeficientului de difuzie

Dependența coeficientului de difuzie de densitatea betonului este mult mai utilă deoarece densitatea betoanelor este mult mai ușor de determinat pentru betoanele puse în operă. Nielson și Rogers [111] au găsit o astfel de relație de dependență:

$$D = 0,084 \exp(-0,0064d)$$

În figura 4.2.7 se prezintă valorile coeficienților de difuzie a radonului prin betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi, în funcție de densitatea acestora măsurată la vârsta de 1 an. Coeficientul de difuzie a radonului scade cu creșterea densității betonului.

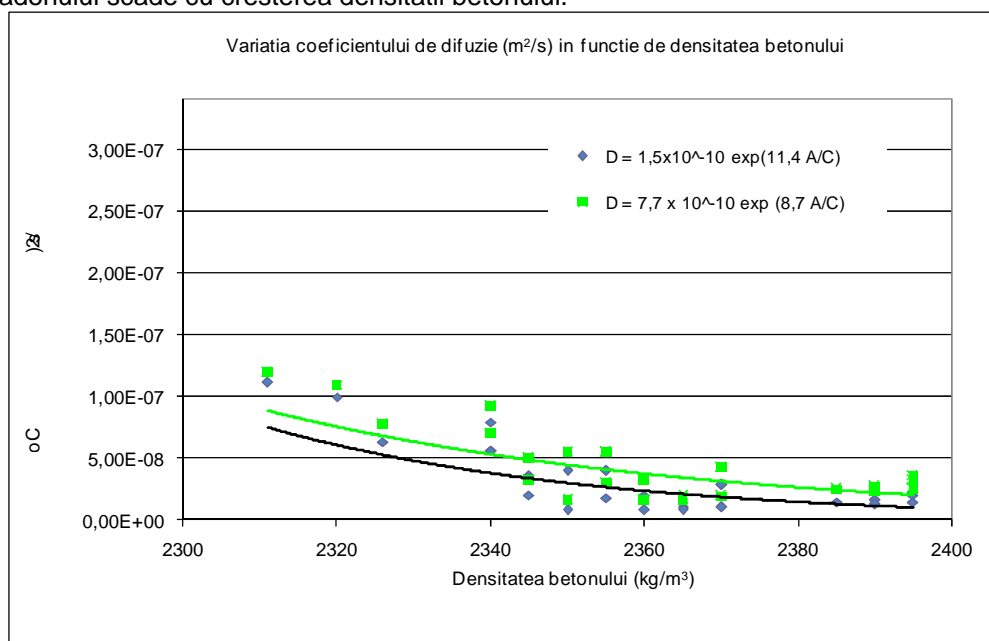


Fig.4.2.7- Variația coeficientului de difuzie în funcție de densitatea betonului, la 1 an

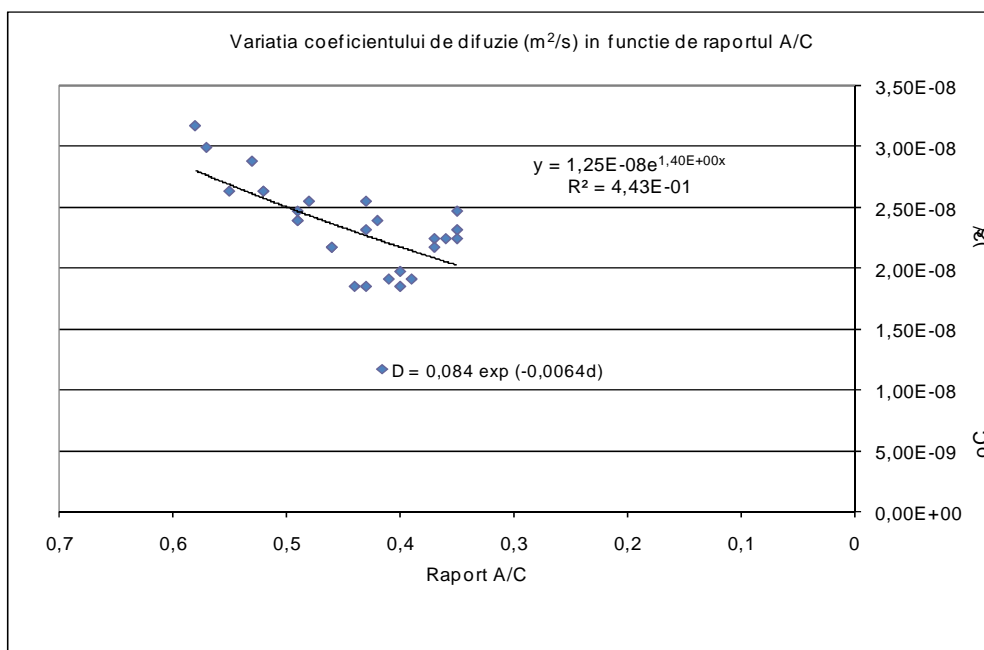


Fig.4.2.8 - Variația coeficientului de difuzie în functie de raportul A/C, la 1 an

Coeficientul de difuzie scade cu reducerea raportului A/C, indiferent de varsta betonului.

4.2.4. Influența permeabilității betonului asupra coeficientului de difuzie

In figura 4.2.9 se prezinta variatiile coeficientului de difuzie in functie de valorile obtinute pentru coeficientul de permeabilitate masurat la varsta de 1 an.

Coeficientul de difuzie creste linear cu coeficientul de permeabilitate, indiferent de varsta betonului.

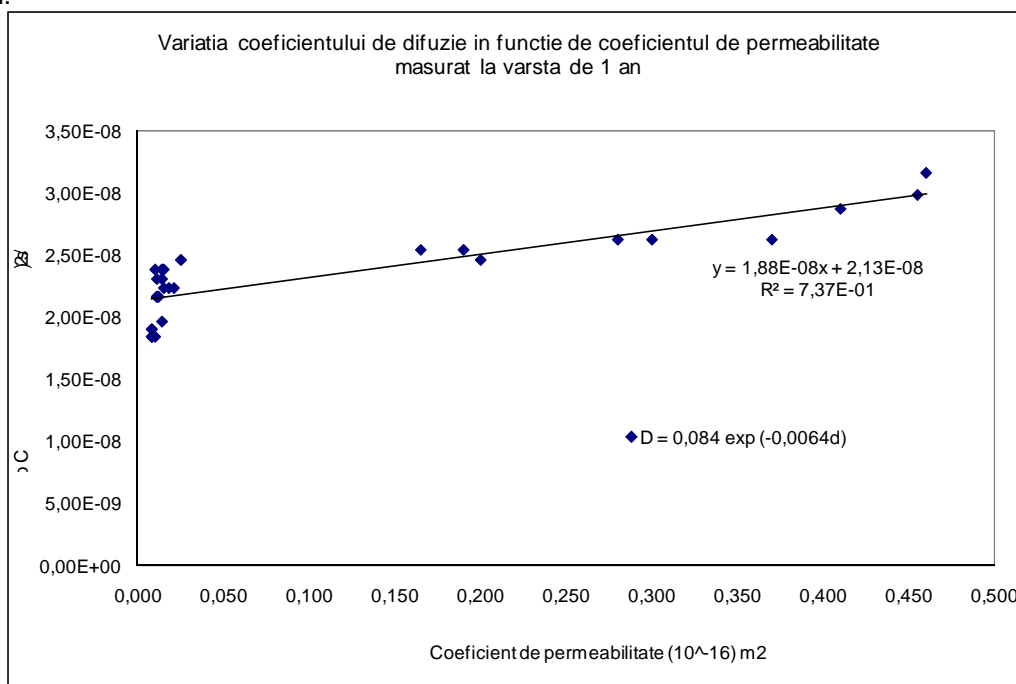


Fig. 4.2.9 - Variatiile coeficientului de difuzie in functie de valorile obtinute pentru coeficientul de permeabilitate masurat la varsta de 1 an

Coeficientii de difuzie a radonului prin beton variaza intre $1,62 \times 10^{-8}$ si $1,1 \times 10^{-7}$ m²/s (date obtinute cu relatia Rogers) sau, in conformitate cu datele obtinute cu relatia Nielson & Rogers (1991), intre 8×10^{-9} si $1,1 \times 10^{-7}$ m²/s.

La vârsta de 28 de zile, betoanele preparate fara aditivi, cu rapoarte A/C cuprinse între 0,5 și 0,4, au valori ale coeficientilor de permeabilitate determinate experimental, asemanatoare cu cele determinate teoretic. In cazul betoanelor preparate fara aditivi, cu rapoarte A/C mai mari de 0,5, valorile determinate experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt mai mari decat valorile determinate teoretic. Betoanele preparate cu aditivi au coeficienti de permeabilitate determinati experimental mai mici decat cei calculati cu relatia lui Rogers, indiferent de raportul A/C sau tipul de ciment utilizat la prepararea acestora.

5. CONTRIBUȚIA BETOANELOR LA CONCENTRAȚIA DE RADON DIN INTERIOR

5.1. Determinarea concentrației de radon din interior, cu ajutorul ratei de exalație a radonului din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi

Cu ajutorul rezultatelor obținute prin măsurarea ratelor de exalație a radonului din beton, prezentate în subcapitolul 5.2 din teza, s-au determinat concentrațiile de radon din interiorul camerei model, acestea fiind prezentate, pentru exemplificare, în figura 5.1.1 pentru betoanele cu vârsta 1 an. De menționat este faptul ca rezultatele obtinute pentru concentratia de radon din aerul interior, datorate exalatiei la 28 de zile și respectiv 180 de zile de la turnarea betoanelor, sunt prezentate in lucrarea in extenso.

La calculul concentrației interioare de radon s-a utilizat relația $C = E \times V / \lambda_v$, unde λ_v este rata de ventilare, iar V este volumul clădirii.

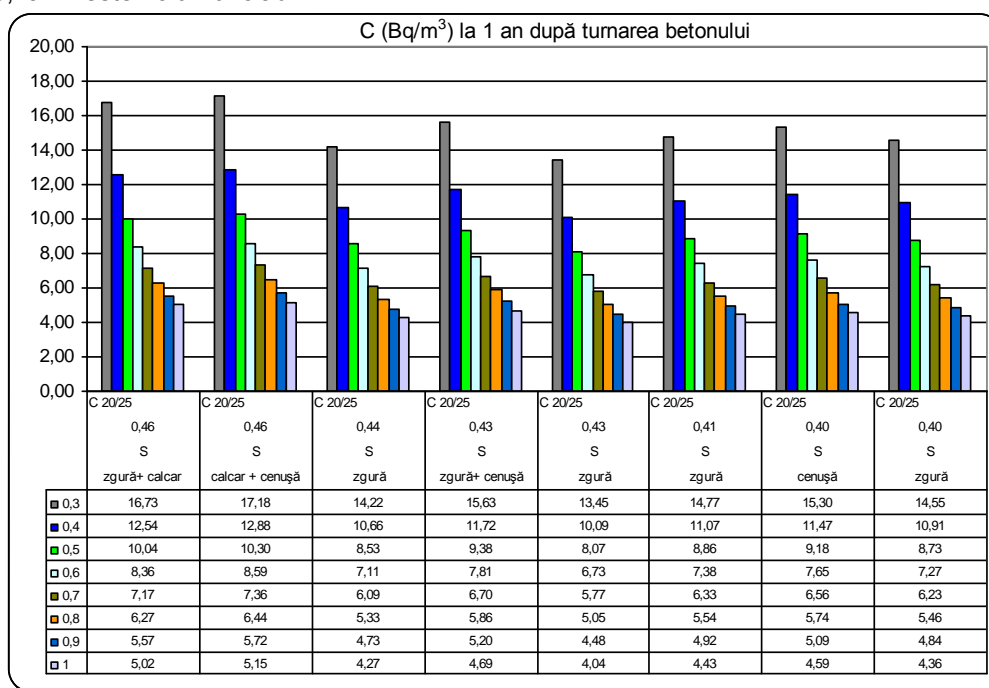


Fig. 5.1.1 - Evoluția concentrației de radon din interior în funcție de rata de ventilare, pereți realizați din beton de clasă C20/25 cu aditiv superplastifiant

Se observă că, în cazul unei camere realizate din betoane preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă, concentrațiile de radon sunt mai ridicate decât în cazul folosirii celorlalte tipuri de betoane preparate cu ciment cu adaosuri de zgură și calcar și respectiv cu ciment cu adaos de zgură, indiferent de vârsta betoanelor studiate.

Pentru o cameră realizată din beton preparat cu ciment cu adaos de zgură și aditiv superplastifiant, după vârsta de la 1 an de la turnarea betoanelor, s-a obținut cea mai mică valoare a concentrației de radon, de aproximativ 14 Bq/m³, la o rată de ventilare a camerei de 0,3 h⁻¹.

Valoarea maximă obținută pentru concentrația de radon din interior este 20 Bq/m³, valoare obținută pentru o cameră realizată din beton preparat fără aditiv cu ciment cu calcar și cenușa, la vârsta de 1 an de la prepararea acestuia, la o rată de ventilare a camerei egală cu 0,3 h⁻¹.

Dacă nu există căi de intrare a radonului din sol și dacă aerul exterior are o concentrație de 8 Bq/m³ (valoare obișnuită pentru exterior), clădirea poate determina o creștere a concentrației de radon cu până la 28 Bq/m³.

Valorile obținute pentru concentrațiile de radon din interior, provenit din tipurile de betoane testate, nu sunt semnificative.

6. MĂSURI DE REDUCERE A RADONULUI DIN INTERIOR

6.1. Determinări efectuate pe diferite tipuri de membrane rezistente la intrarea radonului

Pentru a testa eficacitatea diverselor bariere împotriva radonului, aplicate pe betoane, au fost turnate cuburi de beton cu latura de 100 mm, caracteristicile acestora fiind prezentate în tabelul 6.1.1. De menționat este faptul ca aceste determinari au fost realizate de autoare in cadrul programului de cercetare-inovare AMTRANS finantat de Ministerul Cercetarii si Educatiei [3].

Tabelul 6.1.1 – Caracteristicile betoanelor A si B

A: Beton preparat cu ciment II/A-S 32,5R (adaos de zgură)	
B: Beton preparat cu ciment II/B-M (S-V) 32,5R (adaos de zgură și cenușă)	
Dozaj ciment	420 Kg/m ³
Raport A/C	0,5
Apă	210 litri/m ³
Agregate: sort 0-3 mm	650 Kg/m ³
sort 3-7 mm	425 Kg/m ³
sort 7-16 mm	610 Kg/m ³

Probele au fost menținute 7 zile în apă. După vârsta de 28 zile au fost determinate caracteristicile betoanelor, rezultatele obținute fiind prezentate în tabelul 6.1.2.

Tabelul 6.1.2 – Caracteristicile betoanelor

Proba	Permeabilitatea la aer, k (10 ⁻¹⁶ m ²)	Adâncimea de scurgere a aerului, L (mm)	Adâncimea de pătrundere a apei la 6 barr, h (mm)
A	0,031	12,20	21,00
	0,044	14,70	9,00
	0,013	7,80	15,00
Media	0,029	11,57	15,00
B	0,071	18,60	15,00
	0,082	19,90	23,00
	0,017	9,10	28,00
Media	0,056	15,87	22,00

Câte 2 cuburi din fiecare serie au fost acoperite cu 2 tipuri de bariere. Suprafețele betoanelor nu au fost tratate într-un mod special înaintea aplicării barierelor, aplicarea și uscarea fiind realizate la temperatura camerei.

Toate încercările au fost făcute în aceleași condiții de umiditate și temperatură. S-a folosit sistemul Pylon AB 5.

Cele 2 bariere utilizate în acest experiment sunt:

1) *Produs epoxidic T* – bicomponent pe bază de rășini epoxidice, utilizat ca strat primar (grund) și/ sau ca strat intermediar/ final de protecție;

2) *Vopsea acrilico-stirenică N* – produs monocomponent anticoroziv pe bază de polimeri în dispersie apoasă, utilizată ca strat de protecție și finisare pentru suprafețe de beton, cărămidă, ceramică.

Barierile au fost aplicate în 2 straturi, pe fiecare față a cubului, conform specificațiilor producătorilor.



Având în vedere că structura betonului din cuburi prezintă diferențe, presupunem ca referință rata de exalație a radonului dintr-un cub de beton neacoperit. Au fost măsurate ratele de exalație pentru cuburile neacoperite (E_0) și pentru cele acoperite (E) de cele 2 bariere, rezultatele fiind prezentate în tabelul 6.1.3.

Tabelul 6.1.3 - Ratele de exalație a radonului, proba A

Proba beton A	Rata de exalație (Bq/s)	Valoare medie (Bq/s)	Reducere (%)
Cub de beton neacoperit	1,83E-05	1,83E-05	-
	1,46E-05		
	1,83E-05		
	2,19E-05		
	1,46E-05		
	1,83E-05		
	2,19E-05		
Cub de beton acoperit cu 2 straturi de produs epoxidic	1,46E-05	1,52E-05	16,67
	1,46E-05		
	1,83E-05		
	1,83E-05		
	1,46E-05		
	1,10E-05		
Cub de beton acoperit cu 2 straturi de produs pe bază de polimeri	1,83E-05	1,77E-05	3,33
	1,83E-05		
	1,46E-05		
	2,19E-05		
	1,46E-05		
	1,83E-05		

Tabelul 6.1.4- Ratele de exalație a radonului, proba B

Proba beton B	Rata de exalație (Bq/s)	Valoare medie (Bq/s)	Reducere (%)
Cub de beton neacoperit	1,83E-05	2,28E-05	-
	2,56E-05		
	1,83E-05		
	2,19E-05		
	2,19E-05		
	2,56E-05		
	2,19E-05		
	2,92E-05		
Cub de beton acoperit cu 2 straturi de produs epoxidic	2,19E-05	1,83E-05	20,00
	1,83E-05		
	1,83E-05		
	1,83E-05		
	1,83E-05		
	1,46E-05		
Cub de beton acoperit cu 2 straturi de produs pe bază de polimeri	2,56E-05	2,13E-05	6,67
	2,19E-05		
	1,83E-05		
	1,83E-05		
	2,19E-05		
	2,19E-05		

Rata de exalație a radonului din cubul neacoperit preparat cu CEM II/B–M 32,5R este mai mare cu 24% față de cea obținută pentru cubul neacoperit preparat cu CEM II/A–S 32,5R. Acest lucru poate fi

explicat prin porozitatea mai mare a betonului preparat cu CEM II/B-M 32,5 R și respectiv permeabilitatea la aer de aproximativ 2 ori mai mare față de cea obținută pentru betonul preparat cu CEM II/A-S 32,5 R.

În cazul cuburilor acoperite cu produsul epoxidic, reducerea ratei de exalație a fost mai mare cu aproximativ 20 % în cazul cubului B față de cubul A.

Același lucru se observă și în cazul produsului pe bază de polimeri, dar reducerea obținută pentru cubul B este dublă față de reducerea obținută pentru cubul A.

Cel mai important aspect care trebuie semnalat este că, pentru ambele probe (A și B), reducerea obținută prin aplicarea celor 2 componente ale produsului epoxidic este de aproximativ 5 ori mai mare față de cea obținută cu produsul pe bază de polimeri în dispersie apoasă (pentru seria A) și respectiv de aproximativ 3 ori mai mare (pentru seria B).

Rezultatele sunt similare celor obținute de specialiștii de la laboratorul KVI din Olanda.

Concluziile acestui studiu sunt prezentate în figura 6.1.1.

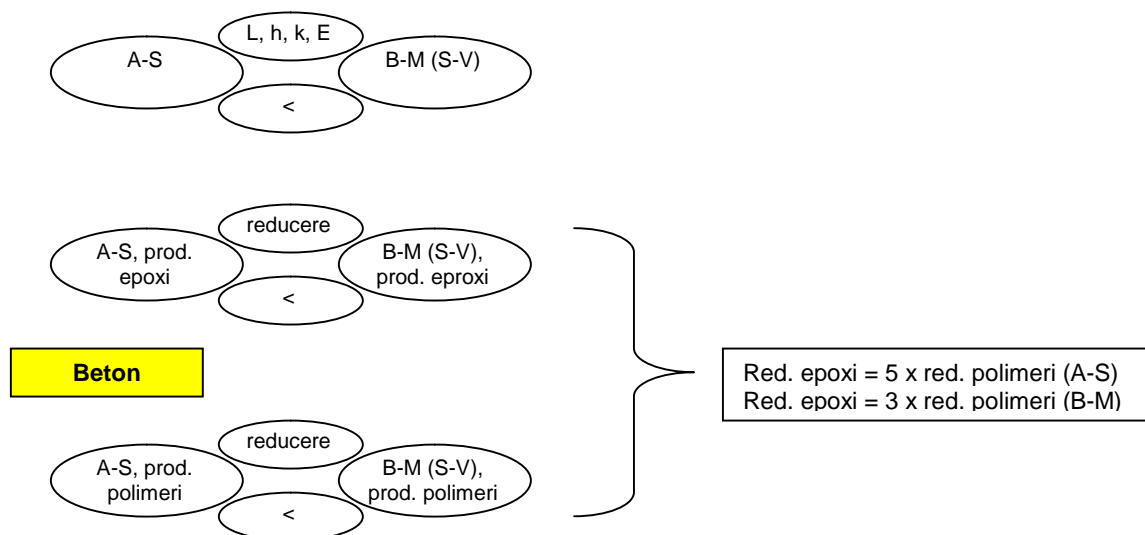


Fig.6.1.1 - Determinări efectuate pe 2 tipuri de membrane rezistente la intrarea radonului

7. CONCLUZII SI CONTRIBUTII PERSONALE

Lucrarea tratează aspecte legate de prezenta radonului în materialele de construcții, în special în beton, subliniind influența caracteristicilor materialelor componente betonului (diferite tipuri de cimenturi, agregate), precum și influența caracteristicilor betonului asupra exalației de radon și respectiv asupra concentrației de radon din interiorul clădirilor. De asemenea, se prezintă rolul factorilor de mediu asupra emisieii de radon din materialele de construcții și, pe scurt, principalele metode de reducere a radonului din clădiri existente și noi.

7.1. Concluzii generale rezultate în urma studiului literaturii de specialitate

Caracteristicile fizice ale betonului care influențează transportul radonului prin beton sunt porozitatea, permeabilitatea, difuzia radonului prin beton, densitatea betonului, raportul apă/ciment, raportul gel/ spațiu.

Principalele idei care se pot extrage în urma studiului literaturii de specialitate sunt:

- În beton, valoarea coeficientului de permeabilitate scade foarte mult la diminuarea raportului apă/ ciment și depinde foarte mult de umiditatea betonului. O schimbare de la starea aproape saturată, la starea de beton uscat determină o creștere a coeficientului de permeabilitate la aer cu aproximativ două ordine de mărime.
- Coeficientul de difuzie se modifică cu vârsta betonului, deoarece structura poroasă a acestuia se modifică în timp, îndeosebi cât hidratarea cimentului continuă.
- Difuzia gazelor prin beton este puternic afectată de păstrarea în mediu umed, o tratare prelungită a betonului reducând coeficientul de difuzie de aproximativ șase ori.

- Difuzia radonului prin beton poate fi considerată un mecanism important de patrundere a radonului în clădiri. Coeficientul de difuzie a radonului prin pori crește cu raportul apă/ciment al betonului.
- Descreșterea coeficientului de difuzie este rapidă la umidități ridicate, ceea ce înseamnă că, odată cu creșterea cantității de apă în spațiul poros, apare blocarea transportului difuziv.
- Coeficientul de difuzie estimat se schimbă rapid pentru coeficienți de emanație între 0,1 și 0,3 și o grosime a plăcii de beton între 4 și 15 cm.
- Valorile concentrației de radon variază în funcție de rata de ventilație a aerului din interior.
- Eliberarea radonului din beton, într-o clădire, depinde de umiditatea relativă din interior, fiind maximă pentru umiditate cuprinsă între 30 și 75%.
- Concentrația radonului din interior depinde de amplasamentul și neetanșeitățile clădirilor, de permeabilitatea și umiditatea solului, de rata de ventilație a spațiului interior, etc.

Exalația radonului din beton este o combinație între generarea radonului, care depinde de concentrația de radium, de coeficientul de emanație a betonului și de tipul materialelor utilizate la prepararea betonului și de transportul radonului prin microstructura betonului, proces condiționat de umiditatea acestuia.

Astfel ca exalația radonului din beton este influențată de concentrația activității de radium din beton, de coeficientul de emanație, de coeficientul de difuzie a radonului, de structura și finisarea pereților, plăcilor din beton, de capacitatea de ventilație a încăperii, de umiditatea și vârsta betonului, etc.

În ceea ce privește ratele de exalație a radonului din beton, se pot formula câteva concluzii și anume:

- Ratele de exalație a radonului din beton sunt dependente de vârsta betonului. Valorile ratelor de exalație pe unitatea de masă cresc în primele 180-720 zile după producerea betoanelor. După această vârstă, ratele de exalație scad în timp.
- Umiditatea aerului, în timpul păstrării betonului, influențează mult rata de exalație. Rata de exalație a radonului crește cu umiditatea până la 70-75%.
- Cenușa folosită la prepararea betonului reduce factorul de exalație a radonului din beton.
- Rata de exalație poate fi redusă într-un anumit tip beton, chiar dacă conținutul de radium al acestuia este ridicat.
- Dependența de timp a ratei de exalație a radonului din beton este o contribuție a mai multor factori, cel mai important fiind umiditatea betonului. Apa joacă un rol important în stimularea sau întârzierea eliminării radonului în funcție de gradul de saturare al materialului.
- Valorile ratelor de exalație a radonului cresc cu creșterea umidității betonului, îndeosebi pentru umidități între 50-80%.
- Rata de exalație a radonului din beton are o puternică dependență de temperatură, la 50°C fiind de aproximativ 3,5 ori mai mare decât rata de exalație la 20°C; în general, la temperaturi mai mari de 50°C, rata de exalație nu mai variază.

În lucrare s-au prezentat principalele metode de reducere a radonului din clădiri existente și noi. Recomandările prezentate pe scurt pentru aplicarea tehnicilor de construcție rezistente la radon sunt bazate pe informații obținute din numeroase proiecte de cercetare, aplicate în Europa și, în mare parte, în SUA.

Tehnicile de construcție prezentate se pot aplica pentru clădiri individuale cu unul sau două nivele, cu sau fără subsol, care sunt specifice zonelor rurale sau de la periferia localităților.

Pentru clădiri care urmează a fi construite, combinația polietilenă – carton gudronat poate fi aplicată ca barieră împotriva radonului.

Eficiența aplicării sistemelor de reducere variază între 50-99% în funcție de metoda folosită, de caracteristicile clădirii și ale solului, de factorii climatici, etc.

Din cercetările experimentale și din analizele beneficiu – risc efectuate pentru fiecare metodă propusă s-a ajuns la concluzia că aplicarea sistemului de depresurizare sub placa de beton este cea mai eficientă pentru reducerea radonului.

7.2. Concluzii rezultate in urma cercetarilor experimentale efectuate

Principalele idei ce se pot formula in urma cercetarilor experimentale realizate pe mai multe tipuri de adaosuri, utilizate la prepararea cimenturilor, pe cimenturi cu sau fara adaosuri si respectiv pe betoane realizate cu diferite tipuri de cimenturi sunt prezentate in continuare.

Adaosuri

Pentru un acelasi tip de adaos, rezultatele obtinute variaza datorita surselor diferite din care acesta provine. De asemenea, se observa valorile ridicate ale radionuclizilor pentru zgura si cenusa, comparativ cu cele obtinute pentru calcar.

Cimenturi

- Contributia adaosurilor testate s-a evaluat prin adaugarea acestora la fabricarea diferitelor tipuri de cimenturi. Astfel, s-au testat cimenturi fara adaosuri si cimenturi cu adaosuri de zgura, cenusa, calcar, zgura+calcar, puzzolana+calcar, zgura+cenusa. Cimenturile testate sunt fabricate in Romania, de diferite fabrici, procentele de adaosuri utilizate pentru un acelasi tip de ciment variind de la o fabrica la alta.
- Cimentul cu adaos de cenusa, CEM II/A-V 42,5R, are o valoare a concentrației activității de rادیu mai mare sau egala cu valoarea maximă admisă, in functie de sursa și respectiv de procentul de cenușă utilizat la fabricarea cimentului.
- In ceea ce priveste cimentul cu adaos de zgura, CEM II/A-S 32,5R acesta are concentrații de rادیu cuprinse între 45 și 66 Bq/kg, diferențe datorate surselor și procentelor de zgură utilizate la fabricarea cimentului.
- Toate tipurile de cimenturi testate au valori mult mai mici ale concentrației de thoriu și respectiv potasiu față de valorile maxime admise în România.
- Cel mai mic indice de radioactivitate s-a obținut pentru cimentul cu adaos de calcar, CEM II/A-LL 32,5R, valoare care reprezintă 50% din valoarea maximă admisă.
- Cimenturile fără adaos, CEM I 42,5R, au indici de radioactivitate cuprinși între 0,31 și 0,34, valori mai mari decât cele obținute pentru cimentul cu adaos de calcar, rezultate corelate cu cele obținute pentru clincher și respectiv calcar.
- In cazul cimenturilor cu adaos de zgură și calcar, s-au obtinut valori ale indicelui de radioactivitate între 0,33 - 0,39 datorită procentelor diferite de zgură utilizate la fabricarea cimenturilor.
- Cimenturile cu adaos de zgură, CEM II/B-S 32,5R, au indici de radioactivitate de 0,36 și respectiv 0,37, sensibil mai mari decât valoarea obținută (0,34) pentru CEM II/A-S 32,5R, diferență datorată procentului mai mare de zgură al CEM II/B-S 32,5R.
- In cazul CEM II/A-S 32,5R, valorile obținute pentru indicii de radioactivitate sunt 0,45 și respectiv 0,39, valori datorate surselor diferite de zgură utilizate.
- Cimentul cu adaos de puzzolană și calcar, CEM II/B-M (P-LL) 32,5R, are indicele de radioactivitate de 0,43, valoare care reprezintă 86% din valoarea maximă admisă.
- In cazul cimenturilor cu adaos de cenușă, CEM II/A-V 42,5R, se observă ca valorile indicelui de radioactivitate sunt apropiate de valoarea maximă admisă.

Agregate

Valorile obtinute pentru cele 4 sorturi de agregate utilizate la prepararea betoanelor, pentru radionuclizii Ra-226, Th-232 si K-40 sunt mult mai mici decat valorile maxime admise in Romania.

Cu ajutorul valorilor obtinute pentru cimenturi si agregate si respectiv a procentelor de agregate utilizate la prepararea betoanelor si a cantitatii de ciment folosit pentru fiecare tip de beton testat, se poate estima concentratia activitatii radionuclizilor datorata betonului folosind reteta de preparare a betonului.

Betoane. Indici de radioactivitate

In cazul betoanelor s-a observat ca durata de mentinere a acestora in apa influenteaza concentratiile activitatii radionuclizilor si respectiv indicii de radioactivitate. Astfel, pentru betoane preparate cu acelasi tip de ciment, valorile indicilor de radioactivitate obtinuti pentru betoane mentinute 7 zile in apa dupa decofrarea acestora si apoi in aer pana la data incercarii variaza intre 0,25 si 0,38, pentru betoane mentinute 2 zile in apa obtinandu-se un indice de radioactivitate mai mare cu 30%. Cresterea duratei de mentinere in apa determina imbunatatirea microstructurii betonului.

Sporirea dozajului de ciment utilizat la prepararea betoanelor conduce la cresterea indicelui de radioactivitate. Pentru un acelasi dozaj de ciment si tipuri diferite de cimenturi se observa ca betoanele

menținute 7 zile în apă și apoi în aer, au un indice de radioactivitate ce variază între 0,25 (dozaj de ciment de 320 kg/m³) și 0,38 (dozaj de ciment de 400 kg/m³).

Betoane. Rezistența la compresiune

Caracteristicile de rezistență prezentate confirmă calitatea betoanelor studiate, în special a betoanelor preparate cu aditiv superplastifiant și respectiv antrenor de aer.

Pentru o aceeași clasă de beton, se observă că betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură au o rezistență la compresiune mai mare decât a celorlalte betoane, indiferent dacă sunt sau nu preparate cu aditiv. Rezistențe la compresiune mai scăzute s-au obținut în cazul betoanelor preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă. Desigur, un rol important îl are și rezistența cimentului.

Betoane. Porozitate

Porozitatea scade în timp, mai accentuat pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură și respectiv cu cenușă comparativ cu betoanele preparate cu zgură și calcar.

Betoane. Permeabilitatea la apă și la aer

Dintre toate betoanele studiate, cele preparate cu ciment cu zgură au structura mai densă, sunt mai puțin permeabile și respectiv mai puțin poroase decât celelalte tipuri de betoane, fapt ce reiese din rezultatele obținute pentru adâncimea de pătrundere a apei, pentru adâncimea de scurgere a aerului și respectiv pentru coeficientul de permeabilitate a aerului.

Permeabilitatea de aer este influențată de timp, în special în cazul betoanelor de rezistențe mici și moderate.

Comparând betoanele preparate cu același dozaj de ciment, cele preparate cu ciment cu adaos de zgură prezintă adâncimi de scurgere a aerului mai mici decât celelalte tipuri de betoane studiate, indiferent dacă sunt sau nu preparate cu aditivi. În general, adâncimi ridicate de scurgere a aerului s-au obținut pentru betoanele preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă.

Adâncimea de scurgere a aerului variază în funcție de tipul de ciment, de tipul de aditiv și de vârsta betonului.

Valorile obținute pentru adâncimea de scurgere a aerului reprezintă, în medie, aproximativ 10-65% din valoarea înălțimii pătrunderii apei determinată pentru probele supuse unei presiuni de 4, 8 sau 12 barr. În cazul betoanelor preparate fără aditiv, acest interval variază între 30-65%, pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant 10-60%, iar pentru cele cu aer antrenat 15-55%, valorile crescând în timp.

Adâncimea de pătrundere a apei și respectiv adâncimea de scurgere a aerului scad cu reducerea raportului A/C.

În cazul betoanelor preparate fără aditiv, la dozaje mari de ciment, de 400-470 kg/m³, se observă o creștere mai lentă a adâncimii de scurgere a aerului în timp decât în cazul betoanelor preparate cu dozaje mici de ciment, în special în cazul betoanelor preparate cu cimenturi cu zgură. Aceleași concluzii se pot trage și pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant.

Și în cazul betoanelor preparate cu aditiv antrenor de aer, cele cu ciment cu adaos de zgură au o adâncime de scurgere a aerului mai mică decât celelalte betoane studiate.

Betoane. Coeficient de permeabilitate

Pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant și respectiv antrenor, valorile obținute pentru coeficientul de permeabilitate sunt cu câteva ordine de mărime mai mici decât cele obținute pentru betoanele fără aditiv.

Diminuarea coeficientului de permeabilitate este cu atât mai rapidă cu cât raportul A/C este mai mic. Prin folosirea aditivilor la prepararea betoanelor se obțin rapoarte A/C mai mici și implicit caracteristici de rezistență și durabilitate îmbunătățite.

Coeficientul de permeabilitate urmează aceeași evoluție ca și adâncimea de scurgere a aerului, cu valori mai mici pentru betoanele preparate cu ciment cu zgură, pentru un același dozaj de ciment.

Coeficientul de permeabilitate evoluează în timp, între vârstele de 28 zile și 1 an, creșterile fiind cuprinse între 25%-60%. Evoluții mai lente s-au obținut pentru betoanele preparate cu aditiv superplastifiant și ciment cu adaos de zgură și respectiv pentru betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer și ciment cu adaos de cenușă.

Pentru betoanele preparate fără aditiv, la vârsta de 28 de zile, coeficientul de permeabilitate la aer are valori de 6-20 ori mai mari față de valorile coeficientului de permeabilitate obținut pentru betoane preparate cu aditiv, la rapoarte A/C similare.

La vârsta de 1 an, valorile obținute pentru coeficientul de permeabilitate a betoanelor preparate cu aditiv sunt mai mici de 15-20 ori față de valorile obținute pentru betoanele fără aditiv, la rapoarte A/C similare.

Coeficientul de permeabilitate la aer scade cu creșterea densității betonului și respectiv cu creșterea rezistenței la compresiune, valori mai mari ale coeficientului obținându-se la betoanele preparate fără aditiv, la rapoarte A/C similare. Creșterea duratei de menținere în apă reduce permeabilitatea și porozitatea betonului prin îmbunătățirea microstructurii acestuia.

La vârsta de 28 de zile, betoanele preparate fără aditivi, cu rapoarte A/C cuprinse între 0,5 și 0,4, au valori ale coeficienților de permeabilitate determinate experimental, asemănătoare cu cele determinate teoretic. În cazul betoanelor preparate fără aditivi, cu rapoarte A/C mai mari de 0,5, valorile determinate experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt mai mari decât valorile determinate teoretic.

Betoanele preparate cu aditivi au coeficienți de permeabilitate determinați experimental mai mici decât cei calculați cu relația lui Rogers, indiferent de raportul A/C sau tipul de ciment utilizat la prepararea acestora.

La vârsta de 1 an de la turnare, betoanele preparate fără aditivi prezintă valori măsurate ale coeficientului de permeabilitate mult mai mari decât cele calculate, oricare ar fi raportul A/C și tipul de ciment utilizat. În cazul betoanelor cu aditivi, valorile determinate experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt mai mici decât valorile teoretice, indiferent de raportul A/C, tipul de aditiv și respectiv tipul de ciment utilizat la prepararea betoanelor.

Pentru betoane cu vârste de 28 de zile, valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor determinate teoretic.

Pentru betoane preparate cu aditivi, cu vârste de un an și rapoarte A/C mai mici de 0,45, valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor calculate cu relația lui Rogers.

Pentru betoane cu densități mai mari de 2350 kg/m^3 (valori obținute pentru betoane preparate cu aditivi), valorile obținute experimental pentru coeficientul de permeabilitate sunt asemănătoare celor determinate teoretic. Relația lui Rogers verificându-se pentru betoane cu densități mai mari de 2350 kg/m^3 .

Betoane. Rata de exalație

În ceea ce privește rata de exalație a radonului din beton, se pot formula câteva concluzii care pot fi sintetizate după cum urmează:

- Rata de exalație a radonului pe unitatea de masă se reduce cu creșterea densității betonului, indiferent de vârsta betonului.
- Valorile ratei de exalație pe unitatea de masă cresc cu porozitatea betonului, indiferent de vârsta betonului.
- Valorile ratei de exalație E_m cresc în timp, cu valori între (7-12,5) mBq/kg pentru betoanele cu vârsta de 28 de zile, (11-16,5) mBq/kg pentru betoanele cu vârsta de 180 de zile și (14,5-20,5) mBq/kg pentru betoanele cu vârsta de 1 an, valorile din partea superioară a intervalului fiind obținute pentru betoanele preparate fără aditiv.
- Rata de exalație a radonului pe unitatea de masă variază liniar cu coeficientul de permeabilitate, obținându-se valori mari ale E_m pentru valori ridicate ale coeficientului de permeabilitate, deci pentru betoane cu densitate mică și porozitate mare.
- Ratele de exalație obținute pentru betoanele preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă sunt cu aproximativ 20-60% mai mari decât valorile obținute pentru betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgură.
- Rata de exalație a radonului din beton variază în funcție de tipul și procentul de adaos din ciment, de dozajul de ciment, de existența, tipul și dozajul aditivului, de raportul apă/ciment, de porozitatea, densitatea și vârsta betonului.
- Valorile ratei de exalație pe unitatea de suprafață cresc în timp, valorile obținute la 28 de zile după preparare fiind cuprinse între (1,29-2,44) mBq/m²s, ajungând ca, la 1 an după prepararea betoanelor, valorile să varieze între (2,33-3,79) mBq/m²s.
- Adâncimea de pătrundere a gazului și rata de exalație a radonului variază în funcție de tipul de ciment, de tipul de aditiv și de vârsta betonului.
- Rata de exalație a radonului, adâncimea de pătrundere a apei și respectiv adâncimea de pătrundere a gazului scad cu reducerea raportului A/C.
- Ratele de exalație a radonului din betoane preparate fără aditiv sunt mai mari decât cele preparate cu aditiv superplastifiant sau antrenor de aer, la rapoarte A/C similare.

- În cazul betoanelor preparate cu ciment cu zgură s-au obținut valori mai mici ale ratei de exalație a radonului decât în cazul celorlalte tipuri de betoane. Cele mai mari valori s-au obținut pentru betoanele preparate cu adaosuri de calcar și cenușă.
- Ratele de exalație a radonului din beton variază liniar cu adâncimea de pătrundere a gazului în beton.

Factorii care influențează rata de exalație a radonului din beton sunt prezentați în fig. 7.2.1. Se poate observa dependența acestora de caracteristicile betonului, de factorii de mediu și de materialele componente ale betonului.

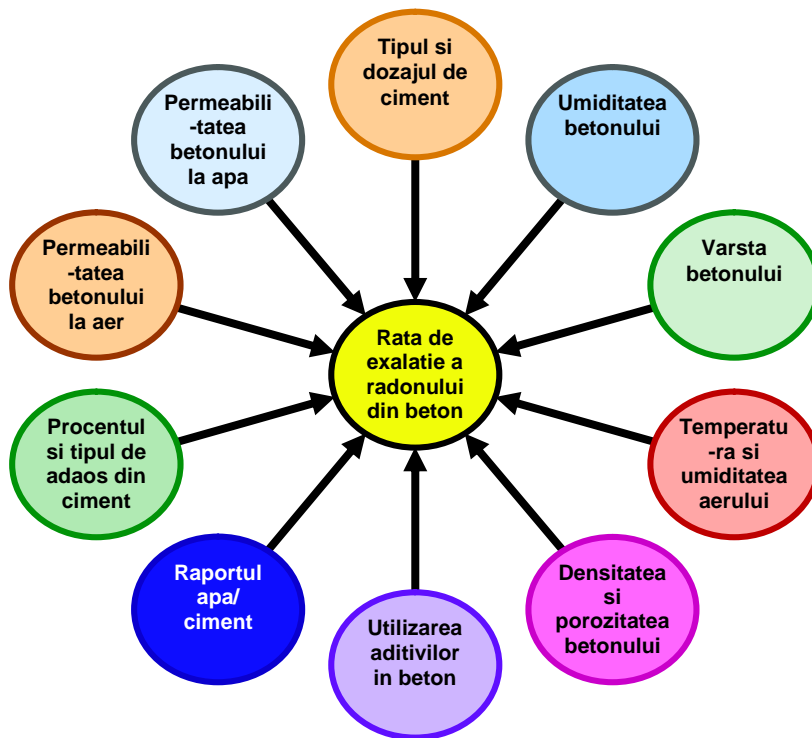


Fig. 7.2.1 - Factorii care influențează rata de exalație a radonului din beton

Betoane. Coeficient de difuzie

Pentru rapoarte A/C determinate experimental, cuprinse între 0,38 și 0,58, s-au obținut valori ale coeficientului de difuzie cuprinse între $8,1 \times 10^{-9}$ și $1,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Coeficientul de difuzie a radonului scade cu creșterea densității betonului și respectiv cu reducerea raportului apă/ciment.

Coeficientul de difuzie crește liniar cu coeficientul de permeabilitate, indiferent de vârsta betonului.

Betoane. Concentrații de radon în interior

În cazul unei încăperi realizate din betoane preparate cu ciment cu adaosuri de calcar și cenușă, concentrațiile de radon sunt mai ridicate decât în cazul folosirii celorlalte tipuri de betoane preparate cu ciment cu adaosuri de zgură și calcar și respectiv cu ciment cu adaos de zgură, indiferent de vârsta betoanelor studiate.

Cele mai mici concentrații de radon au fost obținute în încăperi realizate din betoane cu ciment cu adaos de zgură, mai ales în cazul betoanelor preparate cu aditiv.

Pentru o cameră realizată din beton preparat cu ciment cu adaos de zgură și aditiv superplastifiant, după vârsta de la 1 an de la turnarea betoanelor, s-a obținut cea mai mică valoare a concentrației de radon, de aproximativ 14 Bq/m^3 , la o rată de ventilare a camerei de $0,3 \text{ h}^{-1}$.

Valoarea maximă obținută pentru concentrația de radon din interior este 20 Bq/m^3 , valoare obținută pentru o cameră realizată din beton preparat fără aditiv cu ciment cu calcar și cenușă, la vârsta de 1 an de la prepararea acestuia, la o rată de ventilare a camerei egală cu $0,3 \text{ h}^{-1}$.

Dacă nu există căi de intrare a radonului din sol și dacă aerul exterior are o concentrație de 8 Bq/m^3 (valoare obișnuită pentru exterior), clădirea poate determina o creștere a concentrației de radon cu până la 28 Bq/m^3 .

Valorile obținute pentru concentrațiile de radon din interior, provenit din tipurile de betoane testate, nu sunt semnificative.

Betoane. Bariere împotriva radonului

În ceea ce privește determinările efectuate pentru a testa eficacitatea diverselor bariere împotriva radonului, s-au obținut reduceri semnificative prin utilizarea produselor epoxidice aplicate pe fețele probelor de betoane preparate cu cimenturi cu adaosuri de zgura și respectiv zgura și cenușă.

7.3. Contribuții proprii

Principalele contribuții ale autoarei, ale căror rezultate sunt prezentate în teza la capitolele 4, 5 și 6, se referă la:

- Stabilirea influenței adaosurilor din cimenturi, a cimenturilor și agregatelor asupra radioactivității betoanelor;
- Corelarea unor caracteristici de rezistență (rezistența la compresiune) și durabilitate (porozitate, permeabilitate la apă și aer) ale betoanelor preparate cu cimenturi cu diferite adaosuri și diferite tipuri de aditivi cu ratele de exalație a radonului;
- Determinarea influenței dozajelor de ciment și raportului A/C asupra exalației de radon;
- Stabilirea influenței raportului A/C, a densității și permeabilității betonului asupra difuziei radonului;
- Stabilirea influenței ratei de exalație din betoane preparate cu diferite tipuri de cimenturi asupra concentrației de radon din interior;
- Determinarea reducerii ratei de exalație a radonului cu ajutorul produselor epoxidice.

Din datele prezentate în teza se poate observa dependența concentrațiilor radionuclizilor și respectiv a indicelui de radioactivitate de tipurile și procente de adaosuri utilizate la fabricarea cimenturilor, în special în cazul folosirii cenușii și a zgurii. În cazurile utilizării adaosurilor cu concentrații ridicate de radionuclizi, trebuie să se determine procente care se pot folosi la fabricarea cimenturilor, procente care nu determină depășirea limitelor admise în România.

De asemenea, în urma cercetărilor experimentale efectuate se pot formula câteva concluzii legate de influența caracteristicilor betonului asupra transportului de radon (figura 7.3.1).

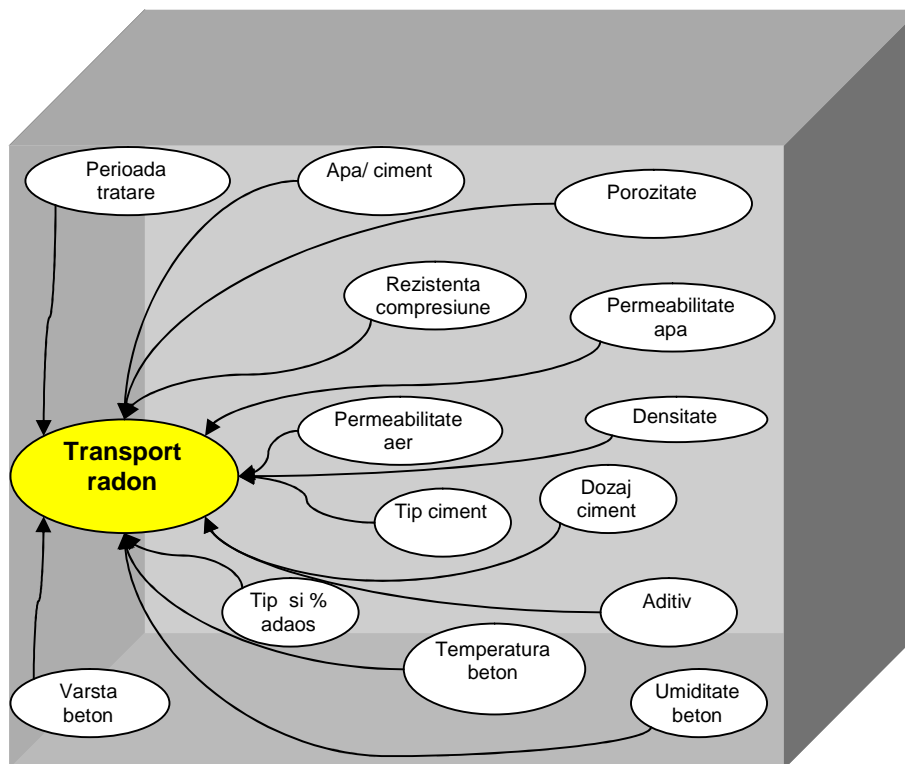


Fig.7.3.1 - Dependența transportului de radon din beton de caracteristicile acestuia

La prepararea betoanelor trebuie utilizati aditivi, in conformitate cu legislatia in vigoare. Aditivii determina o distributie mai uniforma a particulelor de ciment in cadrul amestecului de beton, reducand raportul A/C si determinand astfel rezistente la compresiune mai mari, o structura interna imbunatatita si mai putin poroasa.

De remarcat este faptul ca tratarea umeda 7 zile a betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri conduce la imbunatatirea microstructurii betonului si implicit la reducerea exalatiei de radon si a concentratiei de radon din interior.

Prin rezultatele obtinute, se confirma calitatea betoanelor preparate cu cimenturi cu zgura, chiar daca rezultatele obtinute pentru zgura in ceea ce priveste continutul radioactiv nu prevedeau acest lucru. Betoanele preparate cu ciment cu adaos de zgura sunt mai putin permeabile la apa si aer, au porozitate mai mica decat a celorlalte tipuri de betoane studiate, au rata de exalatie redusa si determina o concentratie de radon in interior mai mica decat celelalte tipuri de betoane (figura 7.3.2).



Fig. 7.3.2 - Concentratia de radon din interior in functie de tipurile de adaosuri utilizate la fabricarea cimenturilor

Un parametru foarte important in relatia beton - radon este raportul apa/ ciment, raport care influenteaza caracteristicile betonului si implicit concentratia de radon din interiorul constructiilor.

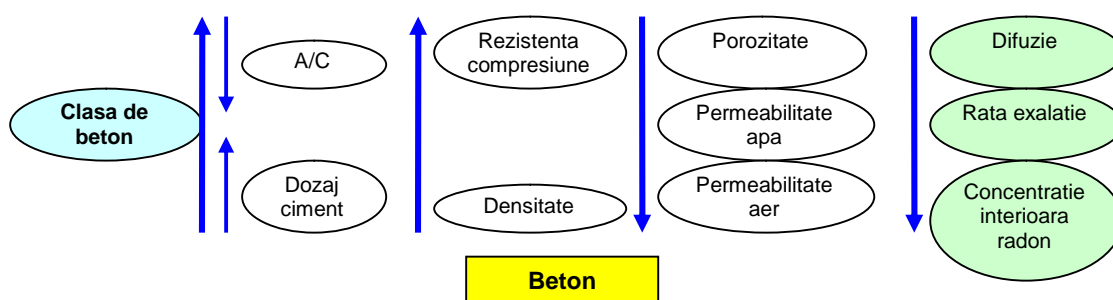


Fig.7.3.3 - Influenta clasei de beton asupra difuziei, ratei de exalatie si concentratiei interioare de radon

Concluzionand rezultatele obtinute in cadrul cercetarilor experimentale, din figura 7.3.3, se poate observa mai usor importanta cresterii clasei de beton in reducerea concentratiei de radon din interiorul constructiilor.

BIBLIOGRAFIE

1. Aldenkamp F.J., Stoop P., Sources and transport of indoor radon - Measurements and mechanism, PhD thesis, University of Groningen, Netherlands, 1994;
2. Andersen Claus E., Radon-222 Exhalation from Danish Building Materials: H + H Industri A/S Results, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, August 1999;
3. Apostu A., Cosma C., Georgescu D., Soluții tehnico-constructive pentru proiectarea construcțiilor noi amplasate în zone cu caracteristici radioactive din punct de vedere al asigurării sănătății ocupanților, AMTRANS, 5B01, MEC, 2003-2005;
4. ASRO, NE 012-1, Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 1: Producerea betonului
5. ASRO, SR EN 1008 - Apa de preparare pentru beton
6. ASRO, SR EN 12620 - Agregate pentru beton
7. ASRO, SR EN 197-1 – Ciment. Partea 1. Compoziție, specificații și criteriile de conformitate ale cimenturilor uzuale
8. ASRO, SR EN 934-2 - Aditivi pentru beton
9. ASRO, STAS 2414 – Betoane. Determinarea densității, compactității, absorbției de apă și porozității betonului întărit
10. ASTM E1465 - 08a Standard Practice for Radon Control Options for the Design and Construction of New Low-Rise Residential Buildings;
11. ASTM E2121 - 08, Standard Practices for Installing Radon Mitigation Systems in Existing Low-Rise Residential Buildings;
12. Azimi Dariush, Prediction of Seasonal Radon Concentration from Weekly Screening Measurements, Indoor Built Environment no.3, vol.5/1996;
13. Barnea, M., Calciu, Al., Ecologie umană, sănătatea populației umane în interdependență cu mediul, editura medicală, București 1997;
14. BEIR VI National Research Council, Health effects of exposure to radon, National Academy of Sciences, Washington DC, 1999;
15. Berissi R, Bonnet G& Grimaldi G., Mesure de la porosité ouverte des béton hydrauliques". Bull. Liasoon Labor. Pout Chaussée. No 142 (Mars-Avr.1986) 59-67;
16. Bochicchio F., McLoughlin J.P., Piermattei S., Radon in indoor air, European Commission, Report EUR 16123, p.1-50, 1995;
17. BRE, Radon new build : model solution no.1, BRE Report BR 211;
18. BRE, How to reduce Radon Levels in Your Home , 2000;
19. BRE, A Guide to reducing Radon Levels in the Home, Environmental Protection UK, 2003;
20. BRE, Radon new build: model solution nr. 2 -Full protection, BRE Report BR 211;
21. Brooks James R. - Radon and Your Home, March, 1998
22. Build M., Olivier J.P, Conception des betons: La structure poreuse. Presses Ponts et Chaussées, Paris 1992.
23. Chen C.J., Weng P.S., Chu T. C. Radon Exhalation Rate from Various Building Materials, Health Physics 64 (1993) 613;
24. Chiosila, I., Radioecologie, managementul accidentului nuclear, Editura Universității București, 1996;
25. CNCAN: <http://www.cncan.ro/bd/norme/2005>;
26. Cohen B.L., A Catalog of Risks Extended and Updated, Health Physics, Vol. 61, p. 317-335, 1991;
27. Cosma C., Apostu A., Georgescu D., Begy R.– Evaluarea radioactivității diferitelor tipuri de cimenturi din România, Revista Romana de Materiale 2 (39) /2009, ISSN 1583-3186;
28. Cosma C., Dancea F., Jurcut T., Ristoiu D., Determination of radon-222 emanation fraction and diffusion coefficient in concrete using accumulation chambers applied radiation and isotopes, 54/2001;
29. Cosma C., Jurcut T., Radonul și mediul înconjurător, Editura Dacia 1996;
30. Cosma C., Poffijn A., Szacsvai K., Indoor radon exposure in Transylvania (Romania), Proceedings of IRPA Regional Congress, Brasov, Romania, 24-28 September 2007;
31. Cosma C., Szacsvai K., Dinu A., Ciorba D., Dicu T., Suci L., Preliminary integrated indoor radon measurements in Transilvania, Isotopes in Environmental and Health Studies, 45, p. 1-10, 2009;
32. Cozmuta I., Cosma C., Meesen G, Asupra măsurătorilor retrospective de ²²²Rn, Lucrare de Disertație, 1996;
33. Cozmuta I., E.R. Van der Graff and R.J. Meijer, Modelling Radon Transport in Concrete;

34. Cozmuta I., ER van der Graaf, RJ de Meijer, Experimental study on the moisture dependence of radon - release rates of concrete
35. Cozmuta I., Radon Generation and Transport - A journey through matter, dec.2001;
36. Cozmuta I., Radon transport in concrete, web.
37. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios J.M, Baysson H. et. al, 2006, Residential radon and lung cancer- detailes results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 32, p.1-84, 2006;
38. Department of Nuclear Safety, Factors Affecting Radon Entry and Final Concentrations, Illinois, 1998.
39. Duenas C. et al., Release of Rn-222 from some soils, Annales Geophysicae 15/1997;
40. Dwivedi K.K. et al., Measurement of Indoor Radon in Some Dwellings in Aizawl (India), Indoor Environment no.4-6/1995;
41. Electric-Warrior Pauline, Indian Radon Pilot Project, Jicarilla Apache Nation, Environmental Protection Office;
42. EPA, A Physician's Guide - Radon (The Health Threat with a Simple Solution), sept. 1993;
43. EPA, Concrete, Fly-ash and the Environment Proceedings, 1988;
44. EPA, A Citizen's Guide to Radon (The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon), may 1992;
45. EPA, Build Radon Out, 2001;
46. EPA, EPA Assessment of risk from radon in homes, EPA 402-R-03-003, United States Environmental Protection Agency, 2003;
47. EPA, Model Standards and Techniques for Control of radon in New Residential Buildings, March 1994;
48. EPA, Model Standards and Techniques for Control of Radon in New Residential Buildings, U.S. EPA, Air and Radiation (6604-J), EPA 402-R-94-009, Martie1994;
49. EPA, Radon in New Home Construction - A Guide for Installing Affordable Radon Control System in New Homes, Hazardous Materials and Waste Management Division Radiation Management Unit;
50. EPA, Radon Mitigation Standards, oct. 1993, revised april 1994;
51. EPA, Radon Reduction in New Construction - An Interim Guide, aug. 1997;
52. EPA, Radon Resistant Construction Techniques for New Residential Construction. Technical Guidance, EPA/625/2-91/032, February 1991;
53. EPA, Radon-Resistant Construction For New Homes, web;
54. Ferlay J, Autier P, Boniol M, Heanue M, Colombet M, Boyle P, Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe 2006, Annals of Oncology, 18, p. 581-592, 2007;
55. Field R.W, Krewski D, Lubin J.H, Zielinski J.M, Alavanja M, Catalan V.S, Klotz J.B, Letourneau E.G, Lynch C.F, Lyon J.L, Sandler D.P, Schoenberg J.B, Steck D.J, Stolwijk J.A, Weinberg C, Wilcox H.B., An overview of the North American case-control studies of residential radon and lung cancer, J Toxicol Environ A., 69(7), p. 599-631, 2006;
56. Figg, J., Methods of measuring the air and water permeability of concrete. Mag. Concrete. Res. 25(85) (1973) 213-214;
57. Fleischer R.L. , Moisture and radon emanation, Health Physics 52/1987;
58. Frumkin H., Samet J.M., Environmental Carcinogens: radon. CA Cancer J Clin, 51, p. 337-44, 2001;
59. Gadd M.S. and Borak T.B., In-situ determination of the diffusion coefficient of Rn-222 in concrete, Health Physics vol.68 nr.6/95
60. Gheorghe Raluca, Milu Constantin, Modoran Georgeta, Gheorghe Dan, Dobrescu Elisabeta, The additional exposure due on the use of uncommon Building Materials in Romania; Rom. J. of Biophysis, 3, 157 (1993),
61. Hansen AJ, Ottassen NS&Petersen CG., Gas Permeability of concrete in situ; theory&practice ACI SP - 82 (1984) P543-556;
62. Haquin Gustavo, Natural Radioactivity and Radon in Building Materials;
63. Henschel, Bruce, Radon Reduction Techniques for Detached Houses, Technical Guidance, E.P.A., Jan. 1988;
64. Hilsdorf, H.K., Durability of concrete - a measurable quantity IABSE Rep 57(1) (1989) 111-123;
65. Hofmann W., Overview of radon lung dosimetry, Radiat. Prot. Dosim., 79, p. 229-236, 1998;
66. Hong CZ and Parrott LJ - Air permeability of cover concrete and the effect of curing (British Cement Association - october 1989);

67. Hoshino M., Institutul Tehnologic Hokkaido, Japonia 1998, 21, pag. 336-340;
68. Iacob O., Grecea C., Botezatu E., Population exposure to inhaled radon and thoron progeny, The natural radiation environment, NRE - VII, p. 232-237, 2005;
69. ICRP, Protection Against Radon-222 At Home And At Work. Publication 65, Pergamon Elsevier, (1993);
70. Ionescu Ion , Ispas Traian, Proprietatile si tehnologia betoanelor. Editura tehnica, 1997
71. Jacobi W., Activity and potential a energy of 222Rn and 220Rn daughters in diferent air atmosphere, Health Physics, 22, p. 441-450, 1972;
72. Janson MPM et al., Modelling Rn Transport in Dutch Dwellings, RIVM, Dec 1998
73. Jonassen N. and McLaughlin J.P., Exhalation of Radon-222 from Building Materials and Walls, in: The Natural Radiation Environment 111, Vol. 2, Symp. Proc. (Edited by T. F. Gesell and W. M. Lowder), Houston (1978);
74. Kormos Fiammetta et al., Studii privind determinarea constituentilor monori din cenusile de termocentrala din Romania, Revista Romana de Materiale vol. XXXIII nr.1/2003;
75. Kovler et al., Radon Exhalation of Cementitious Materials Made with Coal Fly Ash: Part 1 -Scientific Background and Testing of the Cement and Fly Ash Emanation, J. Environ. Radioact. 82 (2005) 321;
76. Kovler K et al., Natural Radionuclides in Building Materials available in Israel, Building Environ. 37 (2002) 531;
77. Kovler K., Radiological Constraints of Using Building Materials and Industrial by-Products in Construction, Constr. Build. Mater, 2008;
78. Kovler, K., Radioactivity from Building Materials;
79. Kresl, M., Concentration of Radon in the Atmosferic Ground Layer and its Migration in Rocks, Projects no.31121, Grant Agency of the Academy of Sciences of Czech Republic, 1991-1993
80. Kropp I., Relations Between Different Types of Permeability and Selected Durability Characteristics of Concrete, Draft Report, Tilem TC 116 - PCD (November 1990);
81. Ladygiue R. et.al, Radioactivity measurements in the Radiation protection Centre, Lithuania;
82. Lawrence, C.D., Transport of Oxygen Through Concrete in Chemistry and Chemically - related properties of cement (British Ceramic Society, London 1984);
83. Leung J. K. C., Tso M. Y. W., and Ho C. W., Radon Action Level For High-Rise Buildings, Health Phys. 76 (1999);
84. Marcu, GH., Marcu, T., Elemente radioactive, poluarea mediului si riscurile iradierii, Editura Tehnica, Bucuresti 1996;
85. Mehta K.P., Monteiro P.J.M., Concrete-Microstructure, properties and materials, editia 3, McGraw Hill, NY, 2003;
86. Meng, Universitatea Tehnica, Aachen, Germania, 1996, 29, pag. 195-205;
87. Mensi R., Scoala nationala de ingineri, Tunisia, P. Acker, A. Attolou, LCPC, Paris, Franta, 1988, vol.21, pag.3-12;
88. Milu C., Masurarea expunerii la radon, Curierul de Fizica 15, 2, 7 (1995)
89. Molin Ch., Evaluation of Field Test Methods for Gas Permeability: Draft Report RILEM TC 116 PCD (July 1990);
90. Mustonen R., Pennanen M., Annanmaki M. and Oksanen E., Enhanced Radioactivity of Building Materials, Final Report of the contract No 96-ET-003 for the European Commission, Radiation and Nuclaeer Safety Authority -STUK, Finland, 1997, Radiation Protection 96;
91. NCRP 103, Control of Radon in Houses, National Council of Radiation Protection, Bethesda, MD, 1989, pg.11;
92. Neville A., Proprietatile betonului, Ed. Tehnica, Bucuresti, 2002;
93. Nicoara, Simona, Mocsy, Ildiko, Some aspects of Indoor air Quality in Romania, Indoor Built Environment, vol.6, no.4/1997;
94. NP 008-97 - Normativ privind igiena compozitiei aerului în spatii cu diverse destinatii, concentratia de substante poluante în interiorul unitatilor functionale;
95. Oncescu, M., Panaitescu, I., Dozimetria si ecranarea radiatiilor Roentgen si gama, Academia Româna, Bucuresti 1992;
96. Ordinul ministrului sanatatii nr. 381/2004 privind aprobarea Normelor sanitare de baza pentru desfasurarea în siguranta a activitatilor nucleare;
97. Ordinul ministrului sanatatii nr. 51/1983;
98. RILEM / IUPAC, Structura porilor si proprietatilor materialelor, Praga, septembrie 18-21,1973;
99. RILEM, Materiale si structuri, Efectul încarcarii asupra modului de rupere al betonului. R.N. Swamy, Universitatea din Sheffield, UK 1989, 127, pag. 15-22;
100. RILEM, Materiale si structuri, Caracterizarea materialelor poroase;

101. RILEM, Materiale si structuri, Determinarea proprietatilor higroscopice ale pastelor de ciment întarire. Veronique Baroghel, Bernand Perrin, LCPC, Paris, Franta, 1997, 30, pag. 340-348;
102. RILEM, Materiale si structuri, Diferente înregistrate la raportul apa/ciment, porozitate si din punct de vedere al aspectului microscopic între stratul superior si cel inferior al interfetei pasta-agregat;
103. RILEM, Materiale si structuri, Influenta mediului de întarire a betonului asupra porozitatii pastei de ciment. R.G. Palet, D. C. Killoh, British Cement Association, Slough, United Kingdome, 1988, vol.21, pag.192-197;
104. RILEM, Materiale si structuri, Întarirea betonului: analiza si model;
105. RILEM, Materiale si structuri, Materiale eterogene: reguli de comportare. Etienne Guyon, Scoala superioara de fizica si chimie industriala, Paris, Franta, 1988, 21, pag.89-105;
106. Roelofs L. M. M.; Scholten L. C., The effect of aging, humidity, and fly-ash additive on the radon exhalation from concrete, Health Physics, ISSN 0017-9078, 1994, vol. 67, no.3, pp. 266-271 (18 ref.);
107. Rogers V.C. and Nielson K.K. - Multiphase radon generation and transport in porous materials, Health Physics, 60:807-815, 1991
108. Rogers V.C. and Nielson K.K., Technical Basis for a candidate Building Materials Radium Standars, EPA/600/SR-96/022, martie 1996.
109. Rogers V.C. et al. - Radon Generation and Transport Through Concrete Foundations - EPA/600/SR-94/175, November 1994;
110. Rogers V.C. et al., Radon diffusion coefficients for aged residential concretes, Health Physics, vol 68 no.6, June 1995;
111. Rogers V.C. et al., Radon diffusion coefficients for residential concretes, Health Physics, vol 67 no.3, September 1994;
112. RP 112, Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Directorate General, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, European Commission 1999;
113. Siehl Agemar et al., Prediction of indoor radon based on geological information and soil gas measurements in Germany,
114. SNM Committee on Radiobiological Effects of Ionozing Radiation, Facts Concerning Environmental Radon, The Journal of Nuclear Medicine, vol.35 no.2, febr.1994
115. Spencer, J.E. - Radon Gaz - A geologic Hazard in Arizona, Down - to-Earth Series 2,1992
116. Strandén, E., Assessment of the Radiological Impact by Using Fly Ash in Cement. Health Phys. 45 (1983) 145;
117. Strandén, E., Kolstad, A.K., Lind, B., The Influence of Moisture and Temperature on Radon Exhalation. Radiation Protection Dosimetry 7 (1984) 55;
118. Taner A.B., Radon migration in the ground, Natural Environment III, NTIS, US Department of Commerce, Springfield, (1980);
119. TENORM, Geology of Norm; 2004
120. Teodoreanu Ion ; Moldovan Vasile, Durabilitatea betonului. Editura tehnica, Bucuresti, 1982;
121. Thompkins R.W., The Safe Design of a Uranium Mine, 2nd US mine ventilation Symposium, Nevada;
122. Torrent R.J. , G. Forenser G. , The permeability of Cover Concrete;
123. Torrent R.J., On site evaluation of the permeability of the Concrete. Third CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete Nice, France 1994;
124. Tso M.W., Radon Release from Building Materials from Hong Kong, Health Physics, 1994;
125. U.S. Department of Energy, Slab insulation, Office of Building Technology;
126. Ulbak K. , Jonassen N. and Baekmark K. , Radon Exhalation from Samples of Concrete with Different Porosities and Fly Ash Additives, Radiation Protection Dosimetry 7:45-48 (1984);
127. UNSCEAR, United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to General Assembly with Scientific Annexes, New York, 2000;
128. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York, 1993;
129. Urosevic V., Nikezic D. - Radon transport through concrete and determination of its diffusion coefficient, Radiation Protection Dosimetry, vol.104 no.1, pp 65-70, 2003.
130. Van de Spoel W.H., Radon transport in sand, a laboratory study, PhD thesis, Technical University of Eindhoven, Netherlands, 1998;
131. Van Dijk W., P. de Jong, Determining the radon exhalation rate of building materials using liquid scintillation counting, Health Physics, 61, 1991;
132. Vander Pal M. , Radon Transport in Autoclaved Aerated Concrete, 2003;
133. WHO, World Health Organization, <http://www.WHO.int/whosis/database;>
134. Wiegand J. , Radon in Urban Areas, 2005;
135. Xuan X.Z., Lubin J.H. et al., A cohort study in Southern China of miners exposed to radon and radon decay products, Health Phys, Vol. 64, p.120-131, 1993.

136. Yamanischi H., Effect of humidity on radon exhalation rate from concrete, Radon and Thoron in the Human Environment, World Scientific Publishing, 1998;
137. Yu K.N., The Effects of Typical Covering Materials on the Radon Exhalation Rate from Concrete Surfaces, Radiation Protection Dosimetry 48:367-370 (1993);
138. Yu K.N., The variation of radon exhalation rates from building surfaces of different ages, Health Physics 68/1995;
139. *** Fate and Transport of the Agent in the Environment;
140. *** FYI - Radon gas, a piece of mind, Home & Business Inspection Services, LLC.
141. *** Materialele de constructie si sanatatea, Comisia privind asezarile umane, a-15-a sesiune, Nairobi, 1995;
142. *** Rn-222 and Rn-220 Fundamentals, web.

www.kvi.nl; <http://www.epa.gov>; www.radon.com; www.cca.org.nz; <http://www.health-detect.com>; www.suro.cz; www.hull.ac.uk; www.ibes.be; www.healthandenergy.com; <http://www.risoe.dk>; www.aesradon.com; www.torromeo.com; www.lbl.gov; www.esto-epa.org; <http://archrecord.construction.com>; <http://www.irpa12.org.ar>; www.radonseal.com; www.muscleride.com; www.hse.gov.uk; www.indoorairalliance.org; www.dynamicvent.com; <http://radonrescue.com>; www.radonrepair.com; www.webphysics.iupui.edu; <http://www.bfs.de>; <http://www.wag.caltech.edu>; www.areahomesrealty.com; <http://greenlineblog.com>; <http://www.sosmold.com>; www.southshorewaterproofing.com; www.homesaferadon.com; www.energy.cr.usgs.gov; www.mitigationtech.com; <http://energy.cr.usgs.gov>; <http://radon.utoledo.edu>; <http://homeandgarden.canoe.ca>; www.insulationsolutions.com; www.homeaire.com; <http://www.all-health.co.uk>; www.purifiedliving.com; www.kaszny.com; www.tyvekhome.com.