



Universitatea Tehnică
de Construcții București



ROMÂNIA

MINISTERUL EDUCATIEI NAȚIONALE

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI**

RAPORT DE CERCETARE 3

**ÎNCADRAREA BETOANELOR ÎN CLASE DE
REZISTENȚĂ LA ÎNGHEȚ-DEZGHEȚ**

Conducător științific

Prof. Dr. Ing Dan GEORGESCU

Doctorand

Ing. Marius Cristinel MORARU

București – Septembrie 2020

CUPRINS

Introducere
1. Definirea claselor de rezistență la îngheț-dezgheț
2. Cercetări experimentale
2.1. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț în conformitate cu normele românești
2.1.1. Caracteristicile betoanelor preparate cu CEM II/A-M(S-LL) 32,5 R și CEM II/A-S 32,5R
2.1.2. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton realizate în conformitate cu NE 012-1
2.2. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton realizate în conformitate cu standardele europene
2.2.1. CEM II/A-M (S-LL) 32,5R – CEM 1
2.2.2. CEM II/A-M (S-LL) 32,5R – CEM 2
2.2.3. CEM II/A-S 32,5R – CEM 3
3. Clase de rezistență la îngheț-dezgheț
3.1. Rezultate obținute în laborator
3.2. Încadrarea rezultatelor obținute în criterii de evaluare existente în Uniunea Europeană
4. Concluzii
BIBLIOGRAFIE

ÎNCADRAREA BETOANELOR ÎN CLASE DE REZISTENȚĂ LA ÎNGHEȚ-DEZGHEȚ

Introducere

În prezent, în reglementările naționale, asigurarea durabilității se face, așa cum este în majoritatea anexelor naționale de aplicare a EN 206 [1] din Europa, printr-o abordare descriptivă (beton „proiectat să dureze”) făcându-se referire (cu statut de obligativitate) la o serie de cerințe ale compoziției betonului (raport apă/ciment, dozaj minim ciment, aer antrenat, agregate rezistente la îngheț-dezgheț etc.) și ale rezistenței la compresiune (clasa betonului) în funcție de încadrarea elementului într-o anumită clasă de expunere „X”.

Susținerea acestei abordări naționale descriptive se bazează pe un număr mare de rezultate ale unui program experimental complex, conținând cimenturi „candidat” și cimenturi „de referință” precum și încercări/determinări „în situ” pe elemente de construcții tip „stâlp din beton armat” realizate cu ambele categorii de cimenturi.

Pe baza cercetărilor experimentale efectuate se pot determina criterii de performanță pentru rezistența betonului la îngheț-dezgheț (abordare de performanță).

Metodele de încercare utilizate la nivel european sunt:

- CEN/TS 12390-9 - Încercări asupra betonului întărit - Partea 9: Rezistența la îngheț – dezgheț a betonului. Exfoliere;
- CEN/TR 15177 – Testarea rezistenței la îngheț-dezgheț a betonului. Degradări structurale interne.

Metodele de testare a rezistenței la îngheț-dezgheț acceptate pe plan european sunt completate de propuneri de criterii de încadrare, în funcție de rezultatele obținute, în diferite clase de expunere XF. Aplicarea acestora reflectă într-o bună măsură comportarea în timp real a betoanelor supuse la îngheț-dezgheț.

Prevederile anexei naționale SR 13510:2006 [5] sunt corelate cu nivelul de acceptare al unor anumite tipuri de cimenturi și în alte anexe naționale (aparținând unor țări dezvoltate din punct de vedere tehnologic și cu o climă similară - temperat continentală - cu cea a țării noastre) și chiar mai restrictive în anumite aspecte decât cele din Franța și Germania, de exemplu.

Prevederile anexei noastre naționale se opresc, la nivelul anului 2006, la cimenturile CEM I, selectiv la CEM II și punctual doar la tipul CEM III/A urmând ca pe măsură ce se produc noi tipuri de cimenturi acestea să fie testate în vederea definirii unor domenii de utilizare, conform celor prevăzute de NE 012/1:2007 (#5.1.2.) cu caracter obligatoriu. [2]

Tipurile de ciment care fac obiectul acestui raport de cercetare pot fi considerate că reprezintă cimenturi noi, „candidat” pentru care nu există o experiență națională relevantă în utilizare. În plus, cimenturile CEM II/A-M având calcar în compoziție reprezintă cimenturi pentru care pe plan european nivelul de cunoaștere și acceptare în reglementări rămâne destul de limitat.

Asigurarea durabilității betonului prin stabilirea unor nivele (criterii) de performanță funcție de locul de utilizare al betonului (materializat prin clasa de rezistență la acțiuni ale mediului „RX”) reprezintă un pas înainte absolut necesar în condițiile în care, chiar pe plan european, s-a atins un anumit „grad de saturație” în ceea ce privește acceptarea de noi tipuri de ciment „candidat” în diferite clase de expunere prin metoda (actuală) descriptivă.

Acest raport de cercetare are ca scop prezentarea conceptului de clasă de rezistență la acțiunea de îngheț-dezgheț („RXF”) și propuneri de încadrare a betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi în clase de rezistență la îngheț-dezgheț. Alături de acțiunea mediului asupra betonului privind carbonatarea, vor avea loc schimbări la nivelul reglementărilor pentru producerea betonului, dar și a celor de proiectare în ceea ce privește durabilitatea.

Se va prezenta o analiză asupra rezultatelor experimentale obținute în cadrul unor cercetări asupra betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi, realizate în colaborare cu colectivul laboratorului Departamentului de Construcții din Beton Armat, Universitatea Tehnică de Construcții București. De asemenea, se vor propune clase de rezistență la îngheț-dezgheț pentru diferite tipuri de cimenturi.

1. Definirea claselor de rezistență la îngheț-dezgheț

Anexa națională a SR EN 206-1: 2002, SR 13510 [5], aflată în vigoare la data realizării cercetărilor experimentale, prevede pentru cele patru clase de expunere la îngheț-dezgheț valorile limita prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 – Valorile limită recomandate pentru compoziția și proprietățile betonului

	Clase de expunere					
	Atac îngheț-dezgheț					
	XF1	XF2		XF3		XF4
Raport maxim apă/ciment	0,50	0,55 ^a	0,50	0,55 ^a	0,50	0,50 ^a
Clasa minimă de rezistență	C25/30	C25/30	C35/45	C25/30	C35/45	C30/37
Dozaj minim de ciment (kg/m ³)	300	300	320	300	320	340
Conținut minim de aer antrenat (%)	-	a	-	a	-	a
Alte condiții	Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620					d

a) Conținutul de aer antrenat se stabilește în funcție de dimensiunea maximă a granulei. Dacă betonul nu conține aer antrenat cu intenție, atunci performanța betonului trebuie să fie măsurată conform unei metode de încercări adecvate, în comparație cu un beton pentru care a fost stabilită rezistența la îngheț-dezgheț pentru clasa de expunere corespunzătoare.

d) În cazul expunerii în zonele marine se vor utiliza cimenturi rezistente la acțiunea apei de mare.

De asemenea, există recomandări pentru alegerea valorilor limită ale compoziției și proprietăților betonului în funcție de clasa de expunere conform SR EN 206+A1: 2017 (tabelul 2) [1].

Tabelul 2 – Valorile limită recomandate pentru compoziția și proprietățile betonului

	Atac îngheț-dezgheț			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Raportul apă/ciment maxim ^c	0,55	0,55	0,50	0,45
Clasa de rezistență minimă	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37
Dozajul minim de ciment kg/m ³	300	300	320	340
Conținutul minim de aer %	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a
Alte cerințe	Agregate în conformitate cu EN 12620 cu o rezistență suficientă la îngheț-dezgheț			

^a Dacă betonul nu conține aer antrenat, atunci performanța betonului trebuie să fie măsurată utilizând o metodă de încercări adecvată, prin comparație cu un beton, pentru care rezistența la îngheț-dezgheț, pentru clasa de expunere corespunzătoare a fost stabilită.

^c Când este aplicat conceptul valorii k, raportul maxim apă/ciment și dozajul minim de ciment se modifică în conformitate cu 5.2.5.2.

În SR EN 206 [1] se observă modificări ale rapoartelor A/C, dozajelor de ciment și claselor de beton comparativ cu SR EN 206-1:2002. XF2 este singura clasă de expunere la care compoziția este aceeași.

Un exemplu de utilizare a cimenturilor în elemente exterioare XF1 este dată în tabelul 3 pentru mai multe țări din Europa [16]. Întrebarea este: toate aceste betoane au aceleași performanțe?

Tabelul 3 – Compararea aplicațiilor cimenturilor în Europa.
Exemplu: Beton pentru elemente exterioare de construcție (XF1)

Stat	Max. A/C _{eq}	Min. C Kg/m ³	CEM I	CEM II						CEM III		CEM IV		CEM V	
				S		L/LL		M		A	B	A	B	A	B
				A	B	A	B	A	B						
Austria	0,55	300	x	x	x	x	(x)	x	(x)	x	(x)				
Belgia	0,55	300	x	x	x	x	x	x	x	x	x			(x)	
Danemarca	0,55	150	(x)			(x)									
Finlanda	0,60	270	x	x	x	x		x		x	x				
Franța	0,60	280*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Germania	0,60	280	x	x	x	x	o	(x)	(x)	x	x	o	(x)	(x)	(x)
Irlanda	0,60	300	x			x									
Italia	0,60	320	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Olanda	0,55	300	x	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)
Norvegia	0,60	250	x	x		x									
Anglia	0,60	280	x	x	x	x				x	x	(x)	(x)		

Legenda: ☐ Nemenționat, ☒ Utilizare permisă, ☒ (x) Cu limitări, ☒ o Utilizare nepermisă;

Obs.: * și x indică faptul că există calificări, de ex. tipuri de constituenți principali.

În România, la ora actuală, pentru clasa de expunere XF1 raportul A/C maxim este 0,5, dozajul minim de ciment 300 kg/m³, clasa de beton C25/30. Domeniile de utilizare pentru cimenturi sunt prezentate în tabelul F.2.1. și F.2.2. din CP012-1 [24]

Există o propunere de introducere în EN 206 [1] a claselor de rezistență la îngheț-dezghet RXF – cap 4.2, tabelul 3 și respectiv tabelul F.1 din anexa F.

Tabelul 4 (tabelul 3 din pr EN 206) - Clase de rezistență la expunere, valori limită și standarde aplicabile [14]

Clase de rezistență la îngheț-dezghet RXF		
	RXF0,5	RXF1
Valori limita, kg/m ²	0,5	1,0
Standarde aplicabile	CEN/TS 12390-9 CEN/TR15177	

Tabelul 5 (Tabelul F.1 - parțial din pr EN 206) - Clase de rezistență la îngheț-dezghet; valorile considerate satisfăcătoare pentru diferite compoziții de liant (exemplu, valori preliminare)

Valori Preliminare	Clase de rezistență la îngheț-dezghet RXF		
	RXF 0,2	RXF 0,5	RXF 1,0
Tip de ciment sau combinație echivalentă de liant	Raport apă/liant maxim liantul însumează cantitatea de ciment și adaosurile din beton, în limitele definite conform EN 206-1 pentru ciment		
CEM I	0,4	0,45	0,5
CEM II-A	?	?	?
CEM II-B	?	?	?
CEM III-A	?	?	?
CEM III-B	?	?	?
Conținut minim de liant [kg/m ³]	280	280	280
Conținut minim de aer antrenat	4%	4%	-

Metoda alternativă, mai rafinată, care face distincție între diferitele tipuri de lianți în Anexa F din pr EN 206 este prezentată în tabelul 6.

Tabelul 6 - Clase de rezistență la îngheț-dezgheț pentru diferite tipuri de ciment sau combinații de lianți [19]

Valori preliminare		Clase de rezistență la îngheț-dezgheț RXF		
		RXF0,2	RXF0,5	RXF1,0
Tip de ciment sau combinație echivalentă de liant				
CEM I		0,40	0,45	0,50
CEM II/A-	V			
	S			
	D			
	L			
	LL			
	M			
CEM II/B	V			
	S			
	D			
	L			
	LL			
	M			
CEM III/A	S			
CEM III/B	S			
Conținut minim de liant [kg/m ³]		280	280	280

Există propuneri de completare a EC2. În tabelul 7 se prezintă propunerea inițială a EC2, inclusiv notațiile privind clasele de rezistență la îngheț-dezgheț.

Tabelul 7 – Propunere de completare a EC2

Degradarea betonului	
Clasa de rezistență la îngheț-dezgheț	
RXF (Mediu)	RXF (Ridicat)
Definiția clasei este de expunere 50 ani la XF4, cu o probabilitate de 10% de depășire a pierderii de beton la suprafață [kg/m ²]	
10	2

Se pot face propuneri de completare a EC2 cu noțiunile de clase de rezistență la îngheț-dezghet, de exemplu în tabelul 8 se prezintă o propunere aflată în discuție pentru utilizarea a 2 clase climatice [19].

Tabelul 8 - Deteriorarea betonului,
clase de rezistență permise pentru clasele de expunere XF

Acțiunea de îngheț - dezghet		
Clasa de expunere EC	Clase de rezistență la îngheț-dezghet minim permise	
	Climat de îngheț sever	Climat de îngheț ușor ¹
XF1	RXF12	RXF12
XF2	RXF12	RXF12
XF3	RXF0,5	RXF1,0
XF4	RXF0,5	RXF1,0
¹ Climatul de îngheț ușor poate fi definit în prevederi valabile local, pe baza climatului zonal, cu privire la ciclurile de îngheț și temperaturi extreme		

- RXF12 este acoperită de DtS (Deemed to Satisfy - Considerate Satisfăcătoare) și textul descriptiv din EN 206 pentru XF1 și XF2
- RXF0,5 presupune că $m_{56} < 0,5 \text{ kg / m}^2$
- RXF1,0 presupune că $m_{56} < 1,0 \text{ kg / m}^2$

și condiție valabilă pentru toate clasele RFX $m_{56} / m_{28} < 2$

RXF0,5 și RXF1,0 pot fi definite cu o clasificare alternativă DtS (Deemed to Satisfy – Considerate Satisfăcătoare) care completează cerința de testare.

O altă propunere de introducere în EC2 prezentată în CEN TC250/SC2/WG1/TG10 N0045 [9] pentru clasificarea rezistenței la îngheț-dezghet în funcție de clasele de expunere este prezentată în tabelul 9.

Rezistența adecvată împotriva acțiunii de îngheț-dezghet doar pentru betoanele moderat saturate (clasele de expunere XF1 și XF2) poate fi obținută prin utilizarea unui beton compozit conform EN 206. Durabilitatea adecvată împotriva acțiunii de îngheț-dezghet a betonului expus la umiditate (clasele de expunere XF3 și XF4) poate fi asumată prin selectarea

clasei RF adecvate conform tabelului 9 cu privire la condițiile climatice la locul de amplasare și la durata de serviciu proiectată (L) a structurii.

Tabelul 9 – Clase de rezistență la îngheț-dezghet
(propunere de tabel 4.2 și 4.5 din EC2, numai partea de îngheț-dezghet)

Deteriorarea betonului		
Rezistență la îngheț / dezghet		
RFW H ² (Înaltă rezistență)	RFW M ² (Rezistență moderată)	RFW L ² (Rezistență scăzută)
RFD H ³ (Înaltă rezistență)	RFD M ³ (Rezistență moderată)	RFD L ³ (Rezistență scăzută)
² Testate conform metodei Slab Test CEN / TS 12390-9 cu apă		
³ Testate conform metodei Slab Test CEN / TS 12390 9 cu soluție de sare		
	Clasa de expunere	
	XF3	XF4
Ierni blânde ¹ Ierni moderate și L<100	RFW L	RFD L
Ierni moderate ² și L≥100 Ierni severe ³ și L<100	RFW M	RFD M
Ierni severe ³ și L≥100	RFW H	RFD H
¹ Puține cicluri de îngheț pe an, temperaturi rareori sub -5 °C. ² Câteva cicluri de îngheț pe an, temperaturi rareori sub -10 °C. ³ Multe cicluri de îngheț pe an, temperaturi ocazional sub -20 °C. L = durata de serviciu proiectată		

Definițiile privind ierni ușoare, moderate și severe pot fi discutate și ajustate.

Ar fi mai bine să se folosească valoarea maximă reală de exfoliere în desemnarea clasei de rezistență, deoarece pot exista discuții suplimentare cu privire la valorile corespunzătoare în ceea ce privește diferitele climaturi de iarnă.

Propunere pentru criterii:

- RFW L și RFD L: $m_{56} < 2,0 \text{ kg / m}^2$, $m_{56}/m_{28} < 2$ sau $m_{110} < 2,0 \text{ kg / m}^2$
- RFW M și RFD M: $m_{56} < 1,0 \text{ kg / m}^2$ sau $m_{110} < 1,0 \text{ kg / m}^2$
- RFW H și RFD H: $m_{56} < 0,5 \text{ kg / m}^2$ sau $m_{110} < 0,5 \text{ kg / m}^2$

Criteriile de mai sus sunt valabile pentru testarea inițială a unei compoziții din beton. Când se testează pentru control sau în structurile existente, valorile maxime de exfoliere pot fi mărite cu 20%.

În Tabelul 10 se prezintă o variantă de clasificare a rezistenței la îngheț-dezgheț, inclusiv încadrarea în clasele de expunere specifice.

Tabelul 10 – Încadrarea betoanelor în clase de expunere la îngheț-dezgheț

Clasa de Expunere	Clasa de rezistență la îngheț-dezgheț	
	Climat moderat de îngheț	Climat sever de îngheț
XF1	RF1 ¹	RF1
XF2	RF1	RF0,2
XF3	RF1	RF0,2
XF4	RF0,2	RF0,2
¹ în climatul moderat de îngheț mediul de testare poate fi apa dulce		

În Tabelul 11 se prezintă o altă propunere, mai puțin restrictivă, legată de acțiunea de îngheț-dezgheț.

Tabelul 11 – Propunere de încadrare a betoanelor în clase de rezistență la îngheț-dezgheț

Clasa de Expunere	Clasa de rezistență minim acceptată	
	Climat de îngheț sever	Climat de îngheț moderat
XF1	RF1 ¹	RF1 ¹
XF2	RF0,5	RF1
XF3	RF0,5	RF1
XF4	RF0,2	RF0,5
1- Testarea poate fi efectuată cu apă proaspătă în loc de soluție de sare		

O problemă cu clasificarea adecvată pentru cele patru clase XF este aceea că există de fapt două scenarii diferite, una cu sare (cloruri) și una fără și eventual diferite mecanisme de degradare.

În conformitate cu reglementarea suedeză [17] referitoare la cerințele pentru cele patru clase XF existente (testarea la îngheț-dezgheț în conformitate cu metoda slab test CEN / TS 12390-9 [3]) avem:

XF1 - Se va utiliza doar cerința privind compoziția ($A/C < 0,6$), metoda fără sare, nu este necesară testarea,

XF2 - Testarea inițială în conformitate cu CEN / TS 12390-9 [3] cu sare, exfoliere $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 56 cicluri sau $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 112 cicluri) sau cerința privind conținutul minim de aer în funcție de dimensiunea agregatelor.

XF3 - Testarea inițială în conformitate cu CEN / TS 12390-9 [3] (fără sare, exfoliere $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 56 de cicluri sau $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 112 cicluri) sau cerința privind conținutul minim de aer în funcție de dimensiunea agregatelor.

XF4 - Testarea inițială în conformitate cu CEN / TS 12390-9 [3] (cu sare, exfoliere $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 56 cicluri sau $< 0,5 \text{ kg/m}^2$ după 112 cicluri) este obligatorie.

În XF4 și în cazul în care criteriul de testare este utilizat și în XF3, testele trebuie efectuate în mod continuu, caz în care exfolierea după 56 de cicluri va fi mai mică de $1,0 \text{ kg/m}^2$.

În mod normal, cerința privind conținutul minim de aer este utilizată în XF2 și XF3 în Suedia. De asemenea, trebuie menționat că cerințele de testare în XF2 și XF3 nu sunt atât de bine investigate ca cerințele din XF4 și trebuie validate și calibrate ulterior în funcție de experiența in-situ.

Cu toate acestea, poate exista o adaptare a metodei bazate pe compoziția betonului pentru a reflecta în mod realist rezistența la îngheț pe termen lung a betonului pentru diferiți lianți. De exemplu, ciclul de îngheț-dezgheț cu metoda existentă începe la vârsta de 28 de zile, ceea ce este în mod clar un dezavantaj pentru betonul cu cenușă zburătoare, în care dezvoltarea rezistenței este mai lentă la început decât în betonul cu ciment Portland CEM I. De asemenea, poate fi și un dezavantaj pentru betonul cu zgură din același motiv. Pentru

betonul cu cenușă / zgură, rezistența la îngheț-dezgheț pe termen lung poate fi mai bine reflectată atunci când se folosește un timp de întărire de 91 de zile. Pentru betoanele cu zgură de 30% sau mai mult, procedura de testare poate implica o anumită expunere la dioxid de carbon, pentru a ține seama de reducerea rezistenței la îngheț din cauza carbonatării. În cazul prezenței unor cantități mai mari de praf de silice, de exemplu > 5% din liant, ar fi adecvată extinderea perioadei la 112 de cicluri, deoarece o creștere bruscă a exfolierii poate să apară după 56 de cicluri. Astfel de modificări în ceea ce privește compoziția liantului ar trebui să fie furnizate în propunerea EN 206 și aplicate în toată Europa.

2. Cercetări experimentale

Programul de cercetare prezentat în acest raport de cercetare constă în determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton, în conformitate cu standardul românesc SR 3518 [10], a normativului NE012-1 [2] și a standardului european CEN/TS 12390-9 [3], metoda slab test și utilizarea rezultatelor obținute la clasificarea betoanelor în clase de rezistență la îngheț-dezgheț.

2.1. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț în conformitate cu normele românești

2.1.1. Caracteristicile betoanelor preparate cu CEM II/A-M 32,5R și CEM II/A-S 32,5R

În acest raport de cercetare se prezintă rezultatele obținute pentru betoanele preparate CEM II/ A-M (S-LL) 32,5R și CEM II/A-S 32,5R, după menținerea probelor la cicluri de îngheț-dezgheț. Cimenturile au următoarele procente de adaosuri:

1. CEM II/ A-M (S-LL) 32,5R – zgură 10%, calcar 7% - CEM 1;
2. CEM II/ A-M (S-LL) 32,5R – zgură 10%, calcar 6% – CEM 2;
3. CEM II/ A-S 32,5R – zgură 17%, calcar 3% – CEM 3.

Cu aceste tipuri de cimenturi s-au preparat betoane cu diferite dozaje de ciment, agregate sort 0-4mm (35%), 4-8mm (15%), 8-16mm (21%) și 16-32mm (29%), aditiv hiperplastifiant (substanța de bază policarboxilați) / superplastifiant (substanța de bază dinaftilmetan-sulfonat) în combinație cu diferiți aditivi antrenori de aer.

Prepararea și cercetările experimentale efectuate asupra betoanelor s-au făcut în conformitate cu reglementările aflate în vigoare în momentul desfășurării cercetărilor.

Mentionez faptul ca aceste încercări au fost facute în colaborare cu colectivul laboratorului Departamentului Construcții de Beton Armat, Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole, Universitatea Tehnică de Construcții București.

2.1.1.1. Caracteristicile betoanelor proaspete

Betoanele au fost preparate cu aditiv hiperplastifiant/ superplastifiant și în combinație cu aditiv antrenor de aer, la diferite dozaje de ciment, în conformitate cu tabelele 12...14, pentru tasări cuprinse între 100 - 130 mm.

Tabelul 12 – Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM 1

Dozaj ciment (kg/m ³)	Tasare (mm)	Raport A/C	Densitate (kg/m ³)	Aer antrenat (%)
0,6% aditiv hiperplastifiant (policarboxilați)				
370	120	0,43	2405	-
470	115	0,37	2366	-
0,6% aditiv hiperplastifiant + 0,06% antrenor de aer (hidrocarbură sulfonată)				
450	130	0,36	2379	4,0
550	120	0,33	2348	5,1

Tabelul 13 – Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM 2

Dozaj ciment (kg/m ³)	Tasare (mm)	Raport A/C	Densitate (kg/m ³)	Aer antrenat (%)
0,6% aditiv hiperplastifiant (policarboxilați)				
370	125	0,43	2423	-
470	125	0,36	2415	-
0,6% aditiv hiperplastifiant + 0,06% antrenor de aer (hidrocarbură sulfonată)				
450	130	0,36	2389,6	4,0
550	120	0,32	2397,0	3,8

Tabelul 14 – Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM 3

Dozaj ciment (kg/m ³)	Tasare (mm)	Raport A/C	Densitate (kg/m ³)	Aer antrenat (%)
1% aditiv superplastifiant (dinaftilmetan-sulfonat)				
320	105	0,5	2364	-
1,5% aditiv antrenor de aer cu efect de superplastifiant (hidrocarbură sulfonată)				
430	100	0,40	2308	4,9
500	100	0,37	2298	4,9
570	100	0,34	2327	4,8
0,4% aditiv antrenor de aer (tenside sintetice)				
570	100	0,41	2280	6,0

2.1.1.2. Caracteristicile betoanelor întărite

Rezultatele obținute pentru rezistențele la compresiune la 2 și 28 de zile, pentru betoanele preparate cu CEM 1 sunt prezentate în tabelul 15.

Tabelul 15 – Rezistențele la compresiune ale betoanelor preparate cu CEM 1

Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune (N/mm ²)			
		f _{ci} 2 zile	f _{cm} 2 zile	f _{ci} 28 zile	f _{cm} 28 zile
aditiv hiperplastifiant					
370	0,43	19,44	19,00	43,71	42,81
		19,17		41,6	
		18,38		43,11	
470	0,37	24,92	24,84	50,04	49,66
		24,68		49,18	
		24,91		49,76	
aditiv hiperplastifiant + antrenor de aer					
450	0,36	21,83	21,57	53,72	53,74
		21,47		54,28	
		21,40		53,23	
550	0,33	26,59	26,78	55,29	56,56
		26,64		57,07	
		27,10		57,32	

În cazul unei producții continue, clasele obținute sunt C40/50 (dozaj 450 și 550 kg/m³), suplimentarea dozajului de ciment cu 100 kg/m³ neinfluențând remarcabil valoarea rezistenței.

În cazul betoanelor preparate cu CEM 2, rezultatele obținute pentru rezistențele la compresiune la 2 și 28 de zile sunt prezentate în tabelul 16.

Tabelul 16 – Rezistențele la compresiune ale betoanelor preparate cu CEM 2

Dozaj ciment (kg/m³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune (N/mm²)			
		f _{ci} 2 zile	f _{cm} 2 zile	f _{ci} 28 zile	f _{cm} 28 zile
aditiv hiperplastifiant					
370	0,43	28,89	28,83	44,94	44,07
		29,15		43,28	
		28,44		44,00	
470	0,36	34,19	33,17	52,44	52,51
		33,21		53,16	
		32,12		51,94	
aditiv hiperplastifiant + antrenor de aer					
450	0,36	28,93	28,33	50,55	51,07
		26,79		52,22	
		29,26		50,45	

Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune (N/mm ²)			
		f _{ci} 2 zile	f _{cm} 2 zile	f _{ci} 28 zile	f _{cm} 28 zile
550	0,32	32,68	34,31	52,43	53,38
		35,30		54,39	
		34,96		53,31	

În cazul unei producții continue, clasele obținute sunt C35/45 (dozaj 450 kg/m³) și C40/50 (dozaj 550 kg/m³).

Rezultatele obținute pentru rezistențele la compresiune la 2 și 28 de zile, pentru betoanele preparate cu CEM II/A-S 32,5R (CEM 3) sunt prezentate în tabelul 17.

Tabelul 17 – Rezistențele la compresiune ale betoanelor preparate cu CEM 3

Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune (N/mm ²)			
		f _{ci} 2 zile	f _{cm} 2 zile	f _{ci} 28 zile	f _{cm} 28 zile
aditiv superplastifiant					
320	0,50	21,92	21,00	31,32	31,90
		20,90		31,71	
		20,19		32,67	
aditiv antrenor de aer cu efect de superplastifiant					
430	0,40	21,20	21,93	41,82	41,89
		22,28		41,70	
		22,32		42,15	
570	0,34	30,16	30,38	52,36	53,74
		30,72		54,68	
		30,25		54,19	
aditiv antrenor de aer					
570	0,41	19,49	19,52	42,58	43,63
		19,20		44,38	
		19,87		43,93	

Se poate observa influența aditivului antrenor de aer cu efect de superplastifiant în reducerea raportului A/C și implicit în creșterea rezistenței la compresiune.

2.1.2. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton realizate în conformitate cu NE012-1 [2]

În cadrul programului de cercetare s-au testat la îngheț-dezgheț betoane de clase de rezistență, dozaje de ciment și rapoarte A/C în conformitate cu NE012-1 [2]. Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț s-a făcut în conformitate cu standardul românesc SR 3518 [10].

Metoda distructivă în conformitate cu SR 3518 [10] stabilește scăderea rezistenței la compresiune a epruvetelor încercate la îngheț-dezgheț față de epruvetele martor (confecționate în același timp, din același beton și conservate până în momentul încercării în aceleași condiții cu epruvetele care se supun încercării).

Încercările s-au efectuat pe epruvete cubice cu latura de 150mm, confecționate conform SR EN 12390-2 [20] cu vârste de minimum 28 zile.

În timpul primei zile de la turnare epruvetele sunt păstrate în tipare, la o temperatură a aerului de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, fiind protejate împotriva uscării prin utilizarea unor folii de polietilenă. După (24 ± 2) ore, probele sunt decofrate și introduse în apă la o temperatură de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. La vârsta de 7 zile, epruvetele sunt scoase din apă și sunt menținute în aer la o temperatură de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ și la o umiditate de $(65 \pm 5)\%$ timp de 21 de zile. Epruvetele cu vârstă de minimum 28 zile se introduc în apă la temperatura $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ pentru saturare, cu 4 zile înainte de începerea încercării.

Epruvetele destinate încercării se introduc în camera frigorifică, iar epruvetele martor se păstrează în continuare sub apă, sau la umiditate ridicată conform SR EN 12390-2 [20]. Epruvetele saturate introduse în camera frigorifică la $-17 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, se mențin 4 h.

După aceasta epruvetele se scot din camera frigorifică și se introduc imediat fie în apă, fie se stropesc în continuu cu apă la temperatura de $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, timp de 4 h.

După ce epruvetele au fost supuse la ciclurile de îngheț-dezgheț li se determină pierderea de rezistență la compresiune, supunând la încercarea la compresiune, conform SR EN 12390-3 trei dintre epruvetele de încercare și același număr de epruvete martor.

Ca rezistență la îngheț-dezgheț se consideră numărul maxim de cicluri de îngheț-dezgheț succesive pe care epruvetele de beton pot să le suporte fără să sufere o reducere a rezistenței la compresiune mai mare de 25% față de cea a epruvetelor martor.

Pierderile de rezistență în cazul betoanelor preparate cu CEM 1 determinate în conformitate cu SR 3518 [10] după 100 și respectiv 150 de cicluri de îngheț-dezgheț sunt prezentate în tabelul 18.



Tabelul 18 – Pierderea de rezistență a betoanelor preparate cu CEM 1 și aditiv hiperplastifiant, după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune martor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezgheț (N/mm ²)		Pierdere rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	370	0,43	57,05	56,61	53,20	51,39	9,21
					52,38		
			55,34		51,28		
					50,58		
			57,43		49,62		
G150	470	0,37	68,25	67,35	62,04	62,29	7,52
					62,01		
			67,40		61,18		
					62,80		
			66,39		63,39		
					62,29		

Reducerile de rezistență după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț au fost sub 10%.

Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț s-a efectuat și pe betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer, utilizând metoda de apreciere/evaluare a scăderii rezistenței la compresiune a betonului după efectuarea unui anumit număr de cicluri de îngheț-dezgheț.

Astfel, din tabelul 19 se observă, în primul rând, valorile scăzute ale rapoartelor A/C, sub 0,4, ceea ce a condus la realizarea unor betoane de rezistență ridicată.



Tabelul 19 – Pierdere de rezistență a betoanelor cu aer antrenat preparate cu CEM 1, după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune martor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezgheț (N/mm ²)		Pierdere rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	450	0,36	55,36	55,94	50,51	50,49	9,74
					51,68		
			56,00		50,28		
					49,66		
			56,45		51,58		
					49,23		
G150	550	0,33	58,12	58,15	52,95	53,00	8,86
					53,78		
			57,41		51,28		
					54,67		
			58,93		51,72		
					53,59		

Reducerile de rezistență după 100/150 de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare au fost sub 10%.

Pierderile de rezistență pentru betoanele preparate cu CEM 2, determinate în conformitate cu SR 3518 [10], după 100 și respectiv 150 de cicluri de îngheț-dezgheț sunt prezentate în tabelul 20.



Tabelul 20 – Pierderea de rezistență a betoanelor preparate cu CEM 2 și aditiv hiperplastifiant, după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune martor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezgheț (N/mm ²)		Pierderea rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	370	0,43	52,28	53,62	47,56	46,67	12,96
					46,67		
			55,35		45,32		
					47,34		
			53,23		46,11		
G150	470	0,36	60,24	60,32	54,05	55,03	8,77
					53,53		
			61,66		55,4		
					55,89		
			59,05		56,72		
					54,56		

Reducerile de rezistență după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț au fost sub 13%.

În cazul betoanelor preparate cu CEM 2 s-au obținut valori mai mari pentru pierderea de rezistență comparativ cu valorile obținute pentru betoanele preparate cu CEM 1.

Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț s-a efectuat și pe betoanele preparate cu aditiv antrenor de aer, utilizând metoda de apreciere/ evaluare a scăderii rezistenței la compresiune a betonului după efectuarea unui anumit număr de cicluri de îngheț-dezgheț.

Astfel, din tabelul 21 se observă, în primul rând, valorile scăzute ale rapoartelor A/C, sub 0,4, ceea ce a condus la realizarea unor betoane de rezistență ridicată.

Tabelul 21 – Pierderea de rezistență a betoanelor cu aer antrenat preparate cu CEM 2, după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune martor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezgheț (N/mm ²)		Pierderea rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	450	0,36	56,69	57,95	53,47	52,16	9,99
					52,72		
			59,12		52,08		
					51,51		
			58,03		52,16		
G150	550	0,32		63,4	51,01	56,13	11,48
			64,31		57,09		
					56,71		
			63,78		55,98		
					56,25		
			62,12		56,39		
					54,34		

Reducerile de rezistență după 100/ 150 de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare au fost sub 12%.

În cazul betoanelor preparate cu CEM 3, pierderile de rezistență, după 100 de cicluri de îngheț-dezgheț sunt prezentate în tabelul 22.

Tabelul 22 – Pierderea de rezistență a betoanelor preparate cu CEM 3 și aditiv superplastifiant, după 100 și 150 de cicluri de îngheț-dezghet

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune maritor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezghet (N/mm ²)		Pierdere rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	320	0,50	45,25	44,55	41,19	41,52	6,79
					41,68		
			44,31		40,65		
					41,60		
			44,08		42,14		
G150	320	0,50		46,02	41,86	42,30	8,09
			45,71		42,41		
					42,15		
			46,64		42,84		
					42,97		
					41,87		
			45,71		41,55		

Tabelul 23 – Pierderea de rezistență a betoanelor preparate cu CEM 3 și aditiv antrenor de aer, după 100 și 150 de cicluri de îngheț-dezghet și agenți de dezghețare

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune maritor (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezghet (N/mm ²)		Pierdere rezistenței la compresiune (%)
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	430	0,40	53,79	53,28	49,01	48,65	8,69
					48,32		
			53,36		49,16		
					48,15		
			52,69		48,00		
G150	430	0,40		53,10	49,25	48,17	9,27
			53,35		48,25		
					48,56		
			52,73		48,81		
					47,88		
					47,50		
			53,21		48,04		

Tabelul 24 – Pierderea de rezistență a betoanelor preparate cu CEM 3 și aditiv antrenor de aer, după 100 și 150 de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare

Nr. cicluri	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Rezistența la compresiune mator (N/mm ²)		Rezistența la compresiune după 100/150 cicluri îngheț-dezgheț (N/mm ²)		Pierdere rezistenței la compresiune %
			val.indiv.	val.medie	val.indiv.	val.medie	
G100	570	0,34	60,04	60,68	55,90	56,14	7,49
					56,75		
			61,07		56,68		
					56,45		
			60,93		55,70		
					55,34		
G150	570	0,34	61,07	61,10	55,73	56,08	8,21
					56,80		
			61,72		56,70		
					54,87		
			60,50		55,93		
					56,46		

Betoanele preparate cu CEM 1 și CEM 3 încadrate în aceeași clasa de beton C40/50 au valori similare după 150 de cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare (tabelul 25).

Tabelul 25 – Pierdere rezistenței la compresiune a betoanelor după 150 cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare

Tip ciment	Dozaj ciment (kg/m ³)	Raport A/C	Pierdere rezistenței la compresiune după 150 cicluri (%)
CEM 3	570	0,34	8,21
CEM 1	550	0,33	8,86
CEM 2	550	0,32	11,48



Betoanele preparate cu cele trei tipuri de cimenturi au avut pierderi de rezistență mai mici decât valoarea impusă de SR 3518 [10] (25%).

De asemenea, se poate sublinia importanța aditivului hiperplastifiant utilizat la prepararea betoanelor cu CEM 1 și CEM 2 pentru reducerea raportului A/C și implicit creșterea rezistenței la compresiune.

2.2 Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton realizate în conformitate cu standardele europene

În Europa cele mai frecvente metode de testare se efectuează în conformitate cu standardul CEN/TS 12390-9 [3]. Acest standard descrie o metodă de referință (slab test) și două metode de testare alternative (cube test și CF/CDF test).

În introducerea standardului CEN /TS 12390-9 se precizează că, în special, în cazul utilizării unor materiale componente noi sau a unor compoziții noi acestea trebuie să fie testate în conformitate cu metodele prezentate.

Aplicarea metodelor nu poate reproduce complet condițiile reale, dar în orice caz metodele trebuie corelate cu situațiile practice pentru a oferi rezultate credibile.

De asemenea, aplicarea unor valori limită impune stabilirea unei corelări cu rezultatele obținute în laborator și experiența comportării în medii reale. Având în vedere natura acțiunii de îngheț-dezgheț a betonului, această corelare trebuie să aibă în vedere condiții locale.

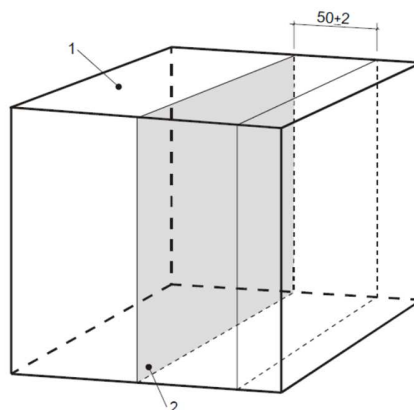
Standardul descrie metodele de testare privind rezistența la îngheț-dezgheț pentru determinarea cantității de material exfoliat.

Metodele sunt utilizate inclusiv în cazul acțiunii de îngheț-dezgheț și a agenților de dezghețare pentru a compara materiale componente noi sau compoziții noi față de material, cu materiale sau compoziții de beton care au furnizat performanțe adecvate in-situ, sau pentru a compara rezultatele obținute experimental cu valori limită, absolute stabilite pe baza experienței locale.

Nu sunt stabilite corelații între rezultatele obținute prin aplicarea acestor trei metode.

→ **Slab test (metodă de referință)**

Probele sunt obținute prin tăiere (figura 1) și sunt supuse atacului de îngheț-dezgheț în prezența apei de 3 mm adâncime, apă deionizată sau soluție de 3% NaCl.



1. Suprafața de turnare
2. Suprafața de testare

Fig. 1 - Orientarea suprafeței de testare

Rezistența la îngheț-dezgheț este evaluată prin măsurarea masei de beton exfoliat de pe suprafața expusă după 56 de cicluri de îngheț-dezgheț.

Testul necesită patru probe, una din fiecare patru cuburi. Prima zi după turnare cuburile sunt menținute în tipare și protejate împotriva uscării prin utilizarea unei folii de polietilenă la o temperatură a aerului de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

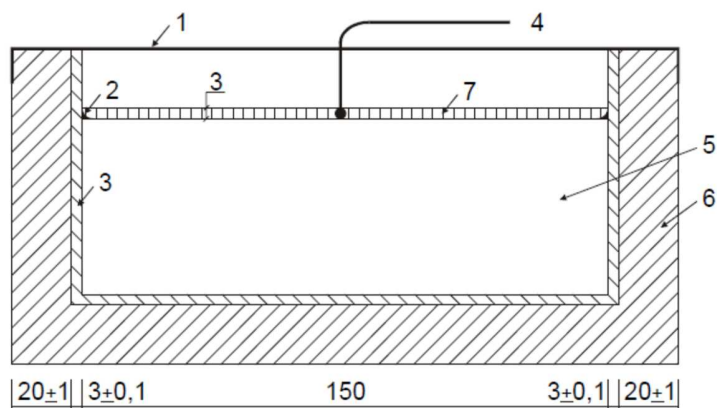
După această dată cuburile sunt decofrate și introduse în apă la o temperatură de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

La vârsta de 7 zile cuburile sunt scoase din apă și introduse într-o cameră climatică până la începerea testului.

În ziua 21 se taie o probă de (50 ± 2) mm grosime din treimea mijlocie a cubului.

După tăiere se spală proba și se reintroduce în camera climatică.

La vârsta de (25 ± 1) zile a betonului se confecționează suportul probei (figura 2).

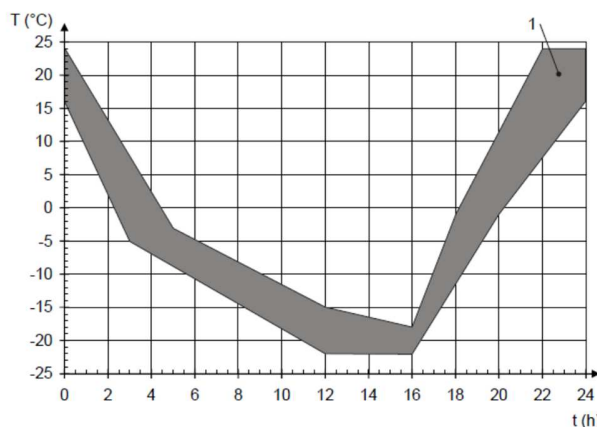


1. Folie de polietilenă
2. Adeziv
3. Banda cauciuc
4. Dispozitiv înregistrare temperatură
5. Proba
6. Material termoizolator
7. Mediu de îngheț

Fig. 2 - Pregătirea probei pentru testare

La vârsta de 28 de zile se toarnă apă, 3 mm adâncime, la o temperatură de $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ pe suprafața probei de beton, și se menține la acest nivel timp de (72 ± 2) h.

Testul începe la vârsta de 31 de zile a betonului, respectându-se ciclurile de îngheț-dezgheț prezentate în figura 3.



1. Temperatura din centrul probei

Fig. 3 – Ciclul timp (t) - temperatură (T) în centrul probei de încercat

După (7 ± 1) (14 ± 1) (28 ± 1) (42 ± 1) și 56 de cicluri se aplică următoarea procedură :

- Se colectează materialul exfoliat de la suprafață, se periază suprafața de beton expusă;
- Se toarnă cantitatea de apă suficientă pentru a avea o adâncime de 3 mm (67 ml)
- Se introduce proba în frigider
- Se determină apoi masa de material exfoliat, uscat la masă constantă $(110 \pm 10) ^\circ\text{C}$.
- Se rotunjește cantitatea de material exfoliat la 0,1g.

$$m_{s,n} = m_{s,\text{before}} + (m_{v+s} - m_{v(+f)}) \quad (1)$$

unde:

$m_{s,n}$ reprezintă masa materialului exfoliat după n cicluri de îngheț-dezgheț, rotunjită la 0,1g

$m_{s,\text{before}}$ reprezintă masa materialului exfoliat determinată anterior;

m_{v+s} reprezintă masa vasului conținând materialul exfoliat (prin periere) filtrat (din apă) și a filtrului;

$m_{v(+f)}$ reprezintă masa vasului gol și a filtrului uscat

Rezultatele se exprimă cu ajutorul expresiei:

$$s_n = \frac{m_{s,n}}{A} \cdot 10^3 \quad (2)$$

s_n reprezintă masa materialului exfoliat raportată la suprafața, după n cicluri de îngheț-dezgheț

$m_{s,n}$ - în conformitate cu relația (1)

A = aria totală a suprafeței testate calculată înainte de pregătirea dispozitivului de încercare

Această metodă poate fi utilizată și în cazurile în care se utilizează și alte condiții referitoare la:

a) geometria probei poate fi diferită, de exemplu dacă este prelucrată dintr-o carotă extrasă dintr-o lucrare existentă, dar grosimea ei trebuie să fie întotdeauna 50 ± 2 mm.

b) Utilizarea unei alte suprafețe de testare față de cea indicată în metoda raportată la suprafața de turnare.

c) Prevederea unor alte condiții de tratare și de începerea testului la altă vârstă decât 31 de zile.

d) Utilizarea unor alți agenți de dezghețare.

e) Numărul de cicluri poate fi mai mare de 56. În câteva cazuri, de exemplu în cazul testării pavelor sau bordurilor pot fi utilizate 28 de cicluri.

În cazul în care se utilizează aceste aplicații alternative, probele sunt tăiate la o grosime de 50 ± 2 mm cu 10 zile înainte de începerea testului. În aceste 10 zile probele sunt expuse într-o cameră climatică pentru 7 zile și apoi saturate 3 zile înainte de începerea testului.

→ Criterii europene de evaluare pentru exfoliere, metoda slab test:

1. *Clasa de expunere XF4 (dozaj de ciment 320 kg/m^3 și raport $A/C = 0.5$, aer antrenat)*
Cantitatea de material exfoliat trebuie să fie mai mică de 1 Kg/m^2 după 56 de cicluri de îngheț-dezgheț.

Criterii propuse de UTCB și acceptate de MDRAP, metoda slab test:

2. *Clasa de expunere XF1 (dozaj de ciment 320 kg/m^3 și raport $A/C = 0.5$)*
Cantitatea de material exfoliat trebuie să fie mai mică de $1,3 \text{ Kg/m}^2$ după 56 de cicluri.
3. *Clasa de expunere XF3 (dozaj de ciment 320 kg/m^3 și raport $A/C = 0.5$)*
Cantitatea de material exfoliat trebuie să fie mai mică de 1 Kg/m^2 după 56 de cicluri.
4. *Clasa de expunere XF2 (dozaj de ciment 320 kg/m^3 și raport $A/C = 0.5$, aer antrenat)*
Cantitatea de material exfoliat trebuie să fie mai mică de $1,3 \text{ Kg/m}^2$ după 56 de cicluri.

2.2.1.CEM II/A-M(S-LL) 32.5R - CEM 1

Programul experimental a constatat în determinarea rezistenței la îngheț-dezghet a probelor prin măsurarea cantității de material exfoliat în conformitate cu standardul CEN/TS 12390-9. [3]

S-au preparat compoziții de betoane utilizând dozaj de ciment de 320 kg/m³, în conformitate cu datele prezentate în tabelul 26.

Tabelul 26 – Caracteristicile betoanelor proaspete

Dozaj aditiv	Raport A/C	Dozaj ciment (kg/m ³)	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)
1% hiperplastifiant	0,50	320	180	2430
1% hiperplastifiant+ 0.2% antrenor de aer	0,50	320	185	2425

În tabelul 27 se prezintă rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune a betoanelor menținute în apă până la termenul de încercare.

Tabelul 27 – Caracteristicile de rezistență ale betoanelor întărite

Raport A/C	Dozaj ciment (kg/m³)	Rezistența la compresiune (N/mm²)				Clasa de beton
		2 zile		28 zile		
0,50	320	19,23	19,47	38,94	39,12	C25/30
		20,04		39,39		
		19,14		39,02		
0,50	320	17,00	17,37	37,68	38,73	C25/30a
		16,81		39,69		
		18,29		38,82		

■ Pentru clasele de expunere XF1, XF3:

Rezultatele privind exfolierea betonului efectuate cu metoda slab test sunt prezentate în tabelul 28.

Tabelul 28 – Cantitatea de beton exfoliat după n cicluri de îngheț-dezgheț, fâșii de beton de 50x150x150 mm

Dozaj ciment (kg/m ³)	A/C	Serie	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²
			cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
320	0,5	834	2,12	6,88	3,46	12,46	0,55	0,39	10,30	22,76	1,01	0,90
			1,64	4,00	2,94	8,58	0,38		12,26	20,84	0,93	
			1,68	1,96	1,98	5,62	0,25		11,82	17,44	0,78	
		total	5,44	12,84	8,38	26,66	1,18		34,38	61,04	2,71	

În conformitate cu criteriile acceptate de MDRAP, pentru un dozaj de 320 kg/m³ și A/C = 0,5, se poate observa ca betoanele îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasele de expunere XF1 și XF3.

■ **Pentru clasele de expunere XF2, XF4:**

Cantitatea de material exfoliat s-a determinat pe fâșii de beton de 50x150x150 mm, pentru un dozaj de ciment de 320 kg/m³ și un raport A/C=0.5, betoane preparate cu aditiv antrenor de aer.

Rezultatele privind exfolierea betonului efectuate cu metoda slab test sunt prezentate în tabelul 29.

Tabelul 29 – Cantitatea de beton exfoliat după n cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare, fâșii de beton de 50x150x150 mm

Serie	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²
	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
835	1,60	1,64	1,86	5,10	0,23	0,23	11,74	16,84	0,75	0,78
	1,66	1,62	1,92	5,20	0,23		13,44	18,64	0,83	
	1,72	1,64	1,82	5,18	0,23		11,86	17,04	0,76	
total	4,98	4,90	5,60	15,48	0,69		37,04	52,52	2,33	

În conformitate cu criteriile acceptate de MDRAP pentru XF2, se poate observa că betoanele îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasa de expunere XF2.

În cazul clasei de expunere XF4, cantitatea de material exfoliat trebuie sa fie mai mica de 1Kg/m² după 56 de cicluri de îngheț-dezghet. Se observă ca valoarea obținuta după 56 de cicluri este mai mica decât cea aferentă criteriului european.

Expunere	XF1	XF2	XF3	XF4
Metoda	Slab test**	Slab test**	Slab test**	Slab test*
CEM II/A-M (CEM 1)	X	X	X	X

X = criteriu îndeplinit,

*) criteriul european

**) criterii propuse de UTCB și avizate de MDRAP

2.2.2. CEM II/A-M(S-LL) 32.5R - CEM 2

S-au preparat compoziții de betoane utilizând dozaj de ciment de 320 kg/m³, în conformitate cu datele prezentate în tabelul 30.

Tabelul 30 – Caracteristicile betoanelor proaspete

Dozaj aditiv	Raport A/C	Dozaj ciment (kg/m ³)	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)
1% hiperplastifiant	0.50	320	160	2415
1% hiperplastifiant+ 0.2% antrenor de aer	0.50	320	170	2402

În tabelul 31 se prezintă rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune a betoanelor menținute în apă până la termenul de încercare.

Tabelul 31 – Caracteristicile de rezistență ale betoanelor întărite

Raport A/C	Dozaj ciment (kg/m³)	Rezistența la compresiune (N/mm²)				Clasa de beton
		2 zile		28 zile		
0.50	320	22.47	22.61	41.78	41.11	C25/30
		22.62		41.38		
		22.74		40.16		
0.50	320	18.98	18.77	38.12	39.18	C25/30a
		18.55		39.94		
		18.77		39.48		

■ Pentru clasele de expunere XF1, XF3:

Rezultatele privind exfolierea betonului efectuate cu metoda slab test sunt prezentate în tabelul 32.

Tabelul 32 – Cantitatea de beton exfoliat după n cicluri de îngheț-dezghet, fâșii de beton de 50x150x150 mm

Dozaj ciment (kg/m³)	A/C	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m²	Sn, medie, kg/m²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m²	Sn, medie, kg/m²
		cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
320	0.5	5.64	2.86	1.86	10.36	0.46	0.38	9.74	20.10	0.89	0.89
		5.26	1.86	2.14	9.26	0.41		17.80	27.06	1.20	
		2.02	2.18	1.88	6.08	0.27		6.80	12.88	0.57	
total		12.92	6.90	5.88	25.70	1.14		34.34	60.04	2.67	

În conformitate cu criteriile propuse de UTCB și acceptate de MDRAP, pentru un dozaj de 320 kg/m³ și A/C = 0.5, se poate observa că betoanele îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasele de expunere XF1 și XF3.

■ Pentru clasele de expunere XF2, XF4:

Cantitatea de material exfoliat s-a determinat pe fâșii de beton de 50x150x150 mm, pentru un dozaj de ciment de 320 kg/m³ și un raport A/C=0.5, betoane preparate cu aditiv antrenor de aer.

Rezultatele privind exfolierea betonului efectuate cu metoda slab test sunt prezentate în tabelul 33.

Tabelul 33 – Cantitatea de beton exfoliat după n cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare, fâșii de beton de 50x150x150 mm

Dozaj ciment (kg/m³)	A/C	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m²	Sn, medie, kg/m²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m²	Sn, medie, kg/m²
		cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
320	0.5	2.86	1.80	1.94	6.60	0.29	0.28	4.20	10.80	0.48	0.61
		3.10	2.04	1.98	7.12	0.32		5.80	12.92	0.57	
		1.76	1.90	1.84	5.50	0.24		11.90	17.40	0.77	
total		7.72	5.74	5.76	19.22	0.85		21.90	41.12	1.83	

Betoanele preparate cu CEM 2 îndeplinesc criteriile pentru încadrarea în clasele XF2 și XF4.

Expunere	XF1	XF2	XF3	XF4
Metoda	Slab test**	Slab test**	Slab test**	Slab test*
CEM II/A-M (CEM 2)	X	X	X	X

X = criteriu îndeplinit,

*) criteriul european

***) criterii propuse de UTCB și avizate de MDRAP

2.2.3. CEM II/A-S 32,5R – CEM 3

În acest subcapitol se prezintă rezultatele obținute privind performanțele betoanelor preparate cu cimentul tip CEM II A-S 32,5R.

Programul experimental a constatat în determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț prin determinarea cantității de material exfoliat.

S-au preparat compoziții de betoane utilizând dozaje de ciment 320 kg/m³ și doua tipuri de aditivi (aditiv superplastifiant, substanța de baza: dinaftilmetan-sulfonatul și aditiv antrenor de aer cu efect de superplastifiant, substanța de bază: hidrocarbura sulfonată), în conformitate cu datele prezentate în tabelele 34 și 35.

Tabelul 34 – Compozițiile betoanelor preparate cu CEM 3

Dozaj ciment (kg/m ³)	Apa (l)	Aditiv (l)	Agregate (kg)	sort 0-4 mm	sort 4-8 mm	sort 8-16 mm	sort 16-32 mm	A/C
1% aditiv superplastifiant								
320	157,30	2,71	1890,30	661,60	283,54	396,96	548,19	0,50
1,5% aditiv antrenor de aer cu efect de superplastifiant								
320	155,57	4,44	1890,30	661,60	283,54	396,96	548,19	0,50

Tabelul 35 – Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM 3

Dozaj ciment (kg/m ³)	Aditiv	A/C	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)
320	1% superplastifiant	0,5	190	2352
320	1,5% antrenor de aer	0,5	170	2329

În tabelul 36 se prezintă rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune a betoanelor preparate cu CEM 3 cu aditiv superplastifiant la 2 și 28 de zile, probe menținute în apă până la termenul de încercare.

Tabelul 36 – Caracteristicile de rezistență ale betoanelor preparate cu CEM 3, dozaj de ciment 320 kg/m³, A/C=0,5

Aditiv	Rezistența la compresiune (N/mm ²)				Clasa de beton obținuta
	2 zile		28 zile		
1% superplastifiant	17,58	17,05	44,34	41,93	C25/30
	16,88		40,29		
	16,70		41,16		

În tabelul 37 se prezintă rezultatele obținute pentru rezistența la compresiune a betoanelor preparate cu CEM 3 cu aditiv antrenor de aer, la 2 și 28 de zile, probe menținute în apa până la termenul de încercare.

Tabelul 37 – Caracteristicile de rezistență ale betoanelor cu aer antrenat preparate cu CEM 3, dozaj de ciment 320 kg/m³, A/C=0,5

Aditiv	Rezistența la compresiune (N/mm ²)				Clasa de beton obținuta
	2 zile		28 zile		
1,5% antrenor de aer cu efect de superplastifiant	11,15	11,29	27,80	27,22	C16/20a
	11,43		25,81		
	11,29		28,06		

■ Pentru clasele de expunere XF1 și XF3

În tabelul 38 se prezintă rezultatele obținute privind exfolierea betonului obținute prin metoda slab test.

Tabelul 38 – Cantitatea de beton exfoliat după 56 de cicluri de îngheț-dezghet

C15	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²
Aditiv	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
1% superplastifiant	0,12	0,08	0,20	0,40	0,02	0,03	0,34	0,74	0,03	0,04
	0,28	0,36	0,50	1,14	0,05		0,28	1,42	0,06	
	0,20	0,22	0,12	0,54	0,02		0,18	0,72	0,03	
total	0,60	0,66	0,82	2,08	0,09		0,80	2,88	0,13	

Betoanele preparate cu CEM 3 îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasele de expunere XF1 și XF3.

■ **Pentru clasele de expunere XF2 și XF4**

Rezultatele privind exfolierea betonului obținute prin metoda slab test sunt prezentate în tabelul 39.

Tabelul 39 – Cantitatea de beton exfoliat după n cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare, fâșii de beton de 50x150x150 mm

C15	7 cicluri	14 cicluri	28 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 28 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²	56 cicluri	Total cantitate beton exfoliat după 56 cicluri	Sn, kg/m ²	Sn, medie, kg/m ²
Aditiv	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g	cantitate beton exfoliat, g				cantitate beton exfoliat, g			
1,5% antrenor de aer cu efect de superplastifiant	0,58	0,36	0,12	1,06	0,05	0,04	0,42	1,48	0,07	0,06
	0,44	0,36	0,14	0,94	0,04		0,60	1,54	0,07	
	0,18	0,26	0,10	0,54	0,02		0,32	0,86	0,04	
total	1,20	0,98	0,36	2,54	0,11		1,34	3,88	0,17	

Betoanele preparate cu CEM 3 îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasele de expunere XF2 și XF4.

Expunere	XF1	XF2	XF3	XF4
Metoda	Slab test**	Slab test**	Slab test**	Slab test*
CEM II/A-S (CEM 3)	X	X	X	X

X = criteriu îndeplinit,

*) criteriu european

**) criterii propuse de UTCB și avizate de MDRAP

Valorile Sn obținute în cazul betoanelor preparate cu ciment Portland cu zgură CEM II/A-S 32,5R sunt inferioare celor obținute pentru betoanele preparate cu cele doua cimenturi Portland compozite CEM II/A-M(S-LL) 32,5R, toate încadrându-se în criteriile de evaluare pentru rezistența la îngheț-dezgheț prin exfoliere.

Rezultatele obținute pentru cantitatea de beton exfoliat pentru cele trei tipuri de betoane se vor folosi în continuare pentru a propune încadrări în clase de rezistență la îngheț-dezgheț.

3. Clase de rezistență la îngheț-dezgheț

3.1. Rezultate obținute în laborator

Încercările pentru determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț s-au efectuat în conformitate cu standardul CEN/TS 12390-9. [3]

În Tabelele 40 (îngheț-dezgheț fără agenți de dezghețare) și 41 (îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare) se prezintă rezultatele înregistrate pentru rezistența la îngheț-dezgheț și încadrarea în clase de rezistență la îngheț-dezgheț pe tipuri de ciment.

Tabelul 40 - Rezultatele înregistrate pentru rezistența la îngheț-dezgheț și încadrarea în clase de rezistență la îngheț-dezgheț pe tipuri de ciment

Tip ciment	Dozaj ciment (kg/m ³)	A/C	Rez. compres. 28 zile (N/mm ²)	Sn, kg/m ² (56 cicluri)	Clase rezistență la îngheț- dezgheț
CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	320	0,5	41,93	0,04	RXF0,2
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	320	0,5	39,12	0,90	RXF1
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	320	0,5	41,11	0,89	RXF1

Se observă comportari similare ale betoanelor preparate cu CEM 1 și CEM 2.

Tabelul 41 - Rezultatele înregistrate pentru rezistența la îngheț- dezgheț și agenți de dezghețare și încadrarea în clase de rezistență la îngheț-dezgheț pe tipuri de ciment

Tip ciment	Dozaj ciment (kg/m ³)	A/C	Rez. compres. 28 zile (N/mm ²)	Sn, kg/m ² (56 cicluri)	Clase rezistență la îngheț- dezgheț
CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	320	0,5	27,22	0,06	RXF0,2
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	320	0,5	38,73	0,78	RXF1
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	320	0,5	39,18	0,61	RXF1

Chiar până la introducerea curentă în practică a claselor de rezistență la acțiuni ale mediului, aceste încercări sunt utile pentru a putea recomanda/ promova anumite cimenturi cu diferite aplicații.

Variantele existente până la ora actuală pentru clasificarea rezistenței la îngheț-dezgheț în funcție de clasele de expunere sunt prezentate în continuare.

3.2. Încadrare rezultate obținute în criterii de evaluare existente în UE

Criteriile de evaluare a rezistenței la exfoliere a betonului după cicluri de îngheț-dezgheț în prezența a 3% NaCl, în conformitate cu metoda Boras prezentată în standardul suedez SS 137244 [11] sunt:

- Beton foarte bun: $m_{56} < 0,1 \text{ kg/m}^2$
- Beton bun: $m_{56} < 0,2 \text{ kg/m}^2$ sau
 $m_{56} < 0,5 \text{ kg/m}^2$ și $m_{56}/m_{28} < 2$ sau
 $m_{112} < 0,5 \text{ kg/m}^2$
- Beton acceptabil: $m_{56} < 1 \text{ kg/m}^2$ și $m_{56}/m_{28} < 2$ sau
 $m_{112} < 1 \text{ kg/m}^2$
- Beton inacceptabil: $m_{56} > 1 \text{ kg/m}^2$ și $m_{56}/m_{28} > 2$ sau
 $m_{112} > 1 \text{ kg/m}^2$

În conformitate cu criteriile prezentate mai sus, în tabelele 42 și 43 se prezintă clasificarea betoanelor în conformitate cu rezultatele obținute experimental.

Tabelul 42 - Evaluarea rezistenței betonului după cicluri de îngheț-dezgheț

Tip ciment	m_{28} , kg/m ²	m_{56} , kg/m ²	Criteriu de evaluare
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	0,39	0,90	Beton acceptabil
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	0,38	0,89	Beton acceptabil
CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	0,03	0,04	Beton foarte bun

Tabelul 43 - Evaluarea rezistenței betonului după cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare

Tip ciment	m_{28} , kg/m ²	m_{56} , kg/m ²	Beton acceptabil
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	0,23	0,78	Beton acceptabil
CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	0,28	0,61	Beton acceptabil
CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	0,04	0,06	Beton foarte bun

Raportul m_{56}/m_{28} este mai mare de 2 pentru betoanele preparate cu CEM II/A-M, cu sau fără agenți de dezghețare, acest aspect conduce la ideea ca la betoanele preparate cu CEM II/A-M se exfoliază o cantitate mai mare între 28 și 56 de cicluri comparativ cu CEM II/A-S.

În Tabelul 44 se prezintă o variantă de clasificare a rezistenței la îngheț-dezgheț, inclusiv încadrarea în clasele de expunere specifice, în conformitate cu clasificarea prezentată în tabelul 10. Definițiile climatelor moderat/ sever sunt încă în discuție.

Tabelul 44 – Încadrarea betoanelor în clase de expunere la îngheț-dezghet

Clasa de expunere	Clasa de rezistență la îngheț-dezghet	
	Climat moderat de îngheț	Climat sever de îngheț
XF1	RF1	RF1
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2
XF2	RF1	RF0,2
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	
XF3	RF1	RF0,2
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	
XF4	RF0,2	RF0,2
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3

Betoanele preparate cu cimenturile studiate se pot încadra în conformitate cu tabelul 11 în clasele prezentate în tabelul 45.

Tabelul 45 – Încadrarea betoanelor în clase de rezistență la îngheț-dezghet

Clasa de Expunere	Clasa de rezistență minim acceptată	
	Climat de îngheț sever	Climat de îngheț moderat
XF1	RF1	RF1
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2
XF2	RF0,5	RF1
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
		II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1
		II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2
XF3	RF0,5	RF1
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
		II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1
		II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2
XF4	RF0,2	RF0,5
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3

Utilizând propunerea de completare a EC2 din tabelul 9 putem formula criteriile de evaluare pentru betoanele expuse la îngheț-dezghet prezentate în tabelele 46 și 47.

Tabelul 46 – Criterii de evaluare pentru betoanele expuse la îngheț-dezghet, probe menținute în apă

	Clasa de expunere	
	XF3	XF4
Ierni blânde ¹ Ierni moderate și L<100	RFW L*	RFD L*
	$m_{56} < 2,0 \text{ kg / m}^2$	$m_{56} < 2,0 \text{ kg / m}^2$
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 II/A-S 32,5R - CEM 3
Ierni moderate ² și L≥100 Ierni severe ³ și L<100	RFW M	RFD M
	$m_{56} < 1,0 \text{ kg / m}^2$	$m_{56} < 1,0 \text{ kg / m}^2$
	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 II/A-S 32,5R - CEM 3
Ierni severe ³ și L≥100	RFW H	RFD H
	$m_{56} < 0,5 \text{ kg / m}^2$	$m_{56} < 0,5 \text{ kg / m}^2$
	II/A-S 32,5R - CEM 3	II/A-S 32,5R - CEM 3
¹ Puține cicluri de îngheț pe an, temperaturi rareori sub -5 °C. ² Câteva cicluri de îngheț pe an, temperaturi rareori sub -10 °C. ³ Multe cicluri de îngheț pe an, temperaturi ocazional sub -20 °C. L = durata de serviciu proiectată		

*) Raportul $m_{56}/m_{28}<2$ este o propunere suplimentară pentru RFW L și RFD L. Și în acest caz, $m_{56}/m_{28}<2$ pentru CEM II/A-S și $m_{56}/m_{28}>2$ pentru CEM II/A-M.

Tabelul 47 – Criterii de evaluare pentru betoanele expuse la îngheț-dezghet cu agenți de dezghetare

Tip ciment	m_{56} , kg/m ²	Criteriu de evaluare
II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1	0,78	RFW L, RFD L RFW M, RFD M
II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2	0,61	RFW L, RFD L RFW M, RFD M
II/A-S 32,5R - CEM 3	0,06	RFW H, RFD H

În conformitate cu propunerea de completare a EC2 prezentată în tabelul 8, betoanele preparate cu cele trei tipuri de cimenturi se pot încadra în clase de rezistență la îngheț-dezgheț în funcție de clasele de expunere.

Tabelul 49 – Clase de rezistența permise pentru clasele de expunere XF

Clasa de expunere	Clase de rezistența la îngheț-dezgheț minim permise	
	Climat de îngheț sever	Climat de îngheț ușor ¹
XF1	CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 CEM II/A-S 32,5R - CEM 3
XF2	CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 CEM II/A-S 32,5R - CEM 3
XF3	CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 CEM II/A-S 32,5R - CEM 3
XF4	CEM II/A-S 32,5R - CEM 3	CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 1 CEM II/A-M (S-LL) 32,5R - CEM 2 CEM II/A-S 32,5R - CEM 3
¹ Climatul de îngheț ușor poate fi definit în prevederi valabile local, pe baza climatului zonal, cu privire la ciclurile de îngheț și temperaturi extreme		

Se pot face propuneri pentru durata de viață în funcție de clasa de expunere și cantitatea de beton exfoliat.[22]

Clasa de expunere	Cantitate de beton exfoliat, kg/m ²		
	Durata de viață proiectată, ani		
	50	100	200
XF1	$m_{56} \leq 0,5$	$m_{56} \leq 0,2$	$m_{56} \leq 0,1$
XF3	$m_{56} \leq 0,2$	$m_{56} \leq 0,1$	$m_{112} \leq 0,1$
XF2, agenti	$m_{56} \leq 0,5$	$m_{56} \leq 0,2$	$m_{56} \leq 0,1$
XF4, agenti	$m_{56} \leq 0,2$	$m_{56} \leq 0,1$	$m_{112} \leq 0,1$

Utilizând rezultatele experimentale obținute, CEM II/A-S poate fi utilizat în toate clasele de expunere pentru durate de viață de 50 și 100 ani. Pentru o durată de viață de 200 ani, sunt necesare determinări ale cantității de beton exfoliat după 112 cicluri de îngheț-dezgheț, pentru clasele de expunere XF3 și XF4.

Rezultatele încercărilor permit obținerea de recomandări cu privire la proiectarea corectă a unui beton rezistent la exfoliere. Durabilitatea betonului expus la îngheț-dezgheț în prezența sărurilor de dezghețare poate fi asigurată printr-un raport apă/ciment scăzut.

Rezultatele încercărilor confirmă faptul că rezistența la îngheț-dezgheț a betoanelor depinde de mai mulți factori, care determină structura betonului. Exfolierea suprafeței betonului este un fenomen foarte complicat din cauza numărului mare de factori independenți care o produc.

3. Concluzii

Încadrarea betoanelor în clase de rezistență la îngheț-dezgheț utilizând rezultatele metodelor de testare europene și criteriile propuse în comitetele tehnice de elaborare a standardelor europene în domeniu, reprezintă elementul de noutate al acestui raport de cercetare.

Faptul că rezistența la îngheț-dezgheț scade pe măsura creșterii procentului de adaosuri din cimenturi este cunoscut și acceptat, acest aspect fiind reflectat în diferite norme naționale de aplicare a EN 206 [1]. O parte din această diminuare a rezistenței poate fi compensată prin alegerea corespunzătoare a compoziției betonului (o clasă de beton ridicată, utilizarea aditivilor antrenori de aer și asigurarea unui raport apă/ciment redus), precum și de o corectă punere în operă asociată cu o tratare eficientă și suficientă.

Rezistența la atacul din îngheț-dezgheț este, în mod substanțial, îmbunătățită dacă se respectă următoarele condiții general valabile: utilizarea unui raport apă/ciment redus, utilizarea unui dozaj adecvat de ciment, alegerea unei clase de ciment în concordanță cu rezistența betonului, utilizarea unui adaos antrenor de aer la prepararea betonului, tratarea

eficientă și suficientă a betonului, menținerea betonului o perioadă cât mai îndelungată în aer uscat înainte de a fi expus la îngheț-dezgheț .

Anumite cercetări efectuate „în situ” și în laborator au arătat o comportare, în general, corespunzătoare la atacul dat de îngheț-dezgheț a cimenturilor cu adaos de zgură, în diferite clase de expunere la acest atac. Importante sunt alegerea corectă a compoziției betonului (clasa, raport apă/ciment, etc.), o bună punere în operă și tratare a betonului, precum și tipul și dozajul de adaosuri din ciment.

Efectele negative ale îngheț-dezghețului asupra betoanelor preparate cu ciment Portland compozite CEM II/A-M (bineînțelese depinzând de componentele M) pot fi similare sau chiar mai pronunțate decât efectele produse asupra betoanelor preparate cu ciment Portland cu zgură CEM II/A-S, de exemplu.

Experimentele efectuate prezintă în mod comparativ modul de comportare al cimenturilor Portland compozite CEM II/A-M(S-LL) prin comparație cu un ciment “de referință” CEM II/A-S. În aceasta situație, a testării unor cimenturi „candidat” la îngheț-dezgheț, abordarea comparativă, folosind criterii relative, trebuie asociată cu abordarea bazată pe criterii de performanță. Compararea cu cimentul candidat face parte din abordarea de performanță. Existența metodelor/ criteriilor de apreciere conduce la necesitatea introducerii claselor de durabilitate ca sistem unitar de apreciere.

Încercările de laborator au fost efectuate respectând standardele în vigoare la data efectuării determinărilor. Aplicarea metodelor europene și interpretarea rezultatelor pe baza criteriilor specificate în propunerile de îmbunătățire a standardelor europene reprezintă o direcție de studiu pentru definirea unor domenii de utilizare a cimenturilor studiate la diferite nivele de intensitate ale acțiunii de îngheț-dezgheț.

Programul de cercetare a constatat în determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț pe probe de beton, în conformitate cu standardul românesc SR 3518 [10], a normativului NE012-1 [2] și respectiv a standardului european CEN/TS 12390-9 [3] prin metoda slab test și utilizarea rezultatelor obținute la clasificarea betoanelor în clase de rezistență la îngheț-dezgheț.

Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț prin norme românești

Betoanele preparate cu CEM 1 și CEM 3 încadrate în aceeași clasă de beton C40/50 au valori similare după 150 de cicluri de îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare (tabelul 25).

Betoanele preparate cu cele trei tipuri de cimenturi au avut pierderi de rezistență mai mici decât valoarea impusă de SR 3518 [10] (25%).

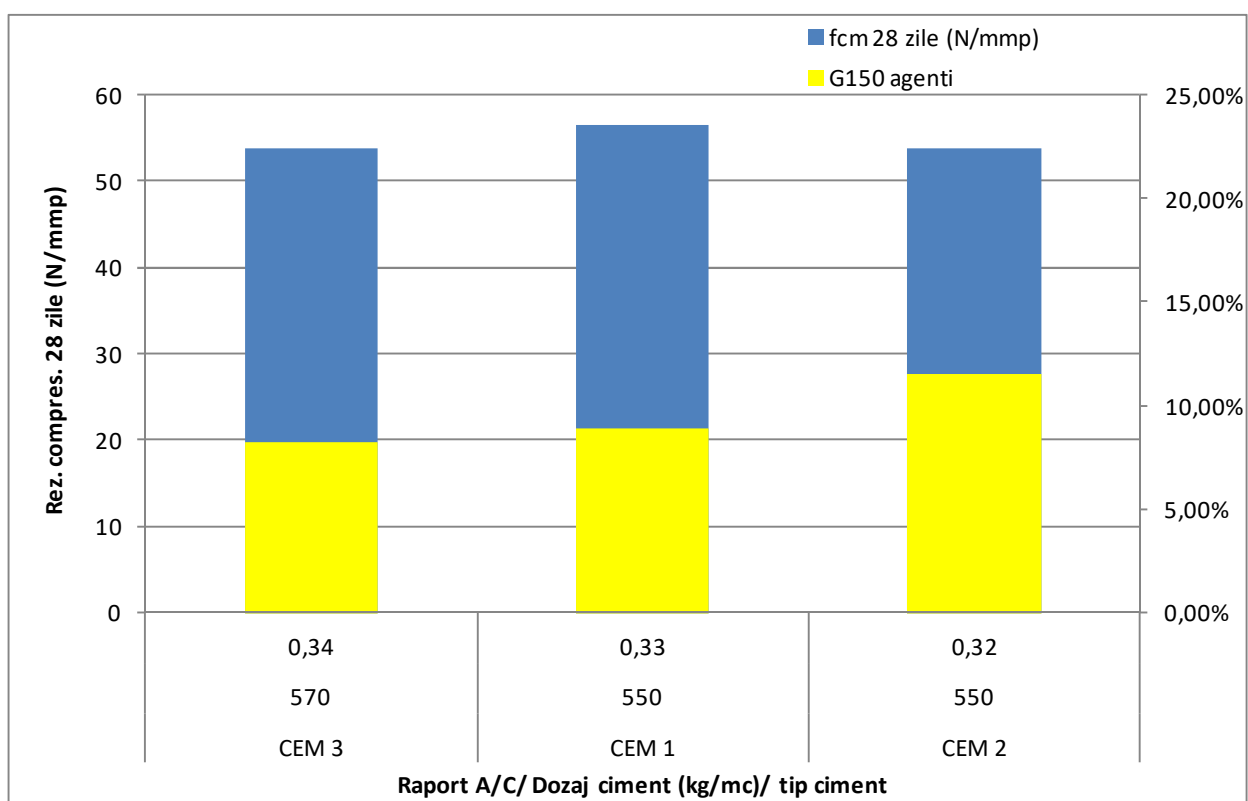


Fig. 4 – Comparația pierderilor de rezistență fcm 28 zile / G150 cu agenți de dezghețare

De asemenea, se poate sublinia importanța aditivului hiperplastifiant utilizat la prepararea betoanelor cu CEM 1 și CEM 2 pentru reducerea raportului apă/ciment și implicit creșterea rezistenței la compresiune.

Determinarea rezistenței la îngheț-dezgheț prin norme europene

Pentru a putea compara mai eficient betoanele preparate cu cele trei tipuri de cimenturi, s-au utilizat aceleași compozitii, dozaj de ciment 320 kg/m³ și A/C=0,5, încercările fiind efectuate în conformitate cu CEN/TS 12390-9. [3]

Rezistențele la compresiune obținute pentru cele trei tipuri de betoane sunt diferite. Rezistențele betoanelor preparate cu CEM II/A-S (CEM 3) sunt mai ridicate decât cele obținute pentru betoanele preparate cu cimenturile CEM II/A-M (CEM 1 și CEM 2). Valorile obținute pentru CEM 1 și CEM 2 sunt aproximativ egale, fapt ce se reflectă și la valorile cantității de beton exfoliat, după efectuarea ciclurilor fără agenți de dezghețare.

Valorile S_n obținute în cazul betoanelor preparate cu CEM II/A-S sunt inferioare celor obținute pentru betoanele preparate cu cele doua cimenturi CEM II/A-M, toate încadrându-se în criteriile de evaluare pentru rezistența la îngheț-dezgheț prin exfoliere.

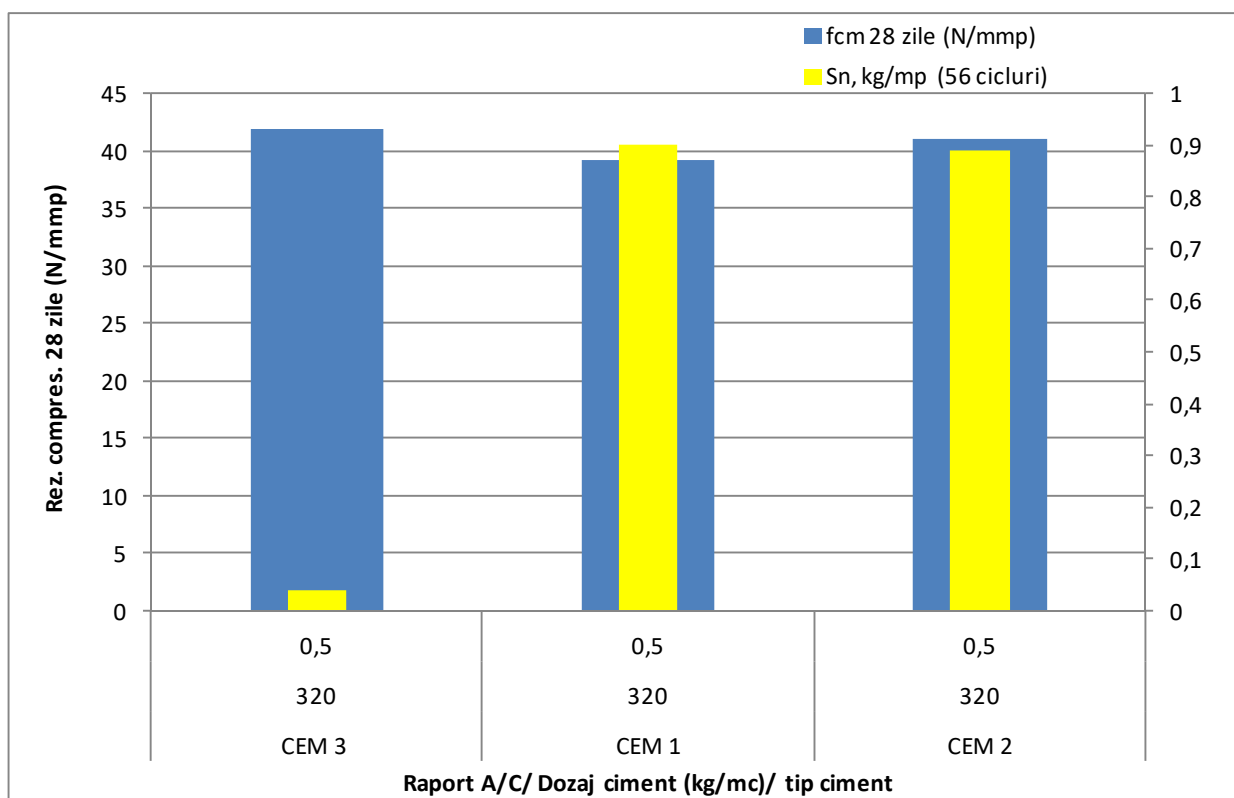


Fig. 5 – Comparația maselor materialului exfoliat după 56 cicluri de îngheț-dezgheț, fără agenți de dezghețare

În ceea ce privește betoanele expuse la îngheț-dezgheț cu agenți de dezghețare, valorile pentru cantitatea de beton exfoliat obținute pentru CEM 3 sunt inferioare celor obținute pentru CEM 1 și CEM 2 (tabelele 38 și 39).

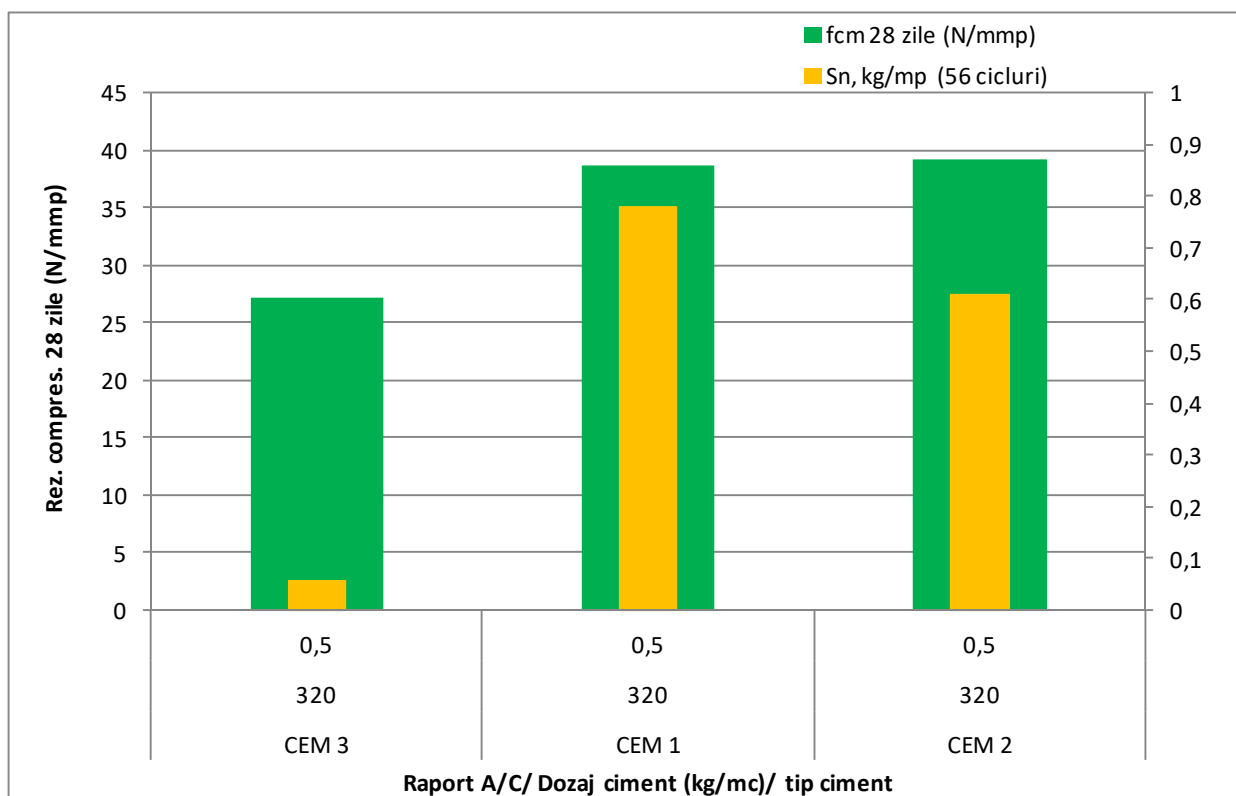


Fig. 6 – Comparația maselor materialului exfoliat după 56 cicluri de îngheț-dezgheț, cu agenți de dezghețare

Betoanele preparate cu cele trei tipuri de cimenturi îndeplinesc criteriul pentru încadrarea în clasele de expunere XF.

Expunere	XF1	XF2	XF3	XF4
Metoda	Slab test**	Slab test**	Slab test**	Slab test*
CEM II/A-M (CEM 1)	X	X	X	X
CEM II/A-M (CEM 2)	X	X	X	X
CEM II/A-S (CEM 3)	X	X	X	X

X = criteriu îndeplinit,

*) criteriu european

**) criterii propuse de UTCB și avizate de MDRAP

Rezultatele obținute pentru cantitatea de beton exfoliat pentru cele trei tipuri de betoane se pot folosi în continuare pentru a propune încadrări în clase de rezistență la îngheț-dezghet.

În ceea ce privește raportul $m_{56}/m_{28} < 2$ care apare în mai multe propuneri de completare a normelor, în cazul betoanelor preparate cu CEM II/A-M acesta este mai mare de 2, acest aspect conduce la ideea că betoanele preparate cu CEM II/A-M se exfoliază mai mult între 28 și 56 de cicluri comparativ cu CEM II/A-S. În acest caz este necesară suplimentarea încercărilor pentru determinarea cantității de beton exfoliat a betoanelor preparate cu CEM II/A-M.

Pentru a putea completa propunerile pentru EN 206 prezentate în tabelele 5 și 6 trebuie făcute teste pentru determinarea cantității de beton exfoliat prin metoda slab test pentru betoanele cu diferite dozaje de ciment, mai mari de 280 kg/m^3 , cu minim 4% aer antrenat. Rapoartele apă/ciment obținute pentru diferite clase de rezistență la îngheț-dezghet pot fi de asemenea asociate fiecărui tip de ciment în parte.

Utilizând rezultatele experimentale obținute și criteriile de performanță prezentate, cimentul tip CEM II/A-S poate fi utilizat în toate clasele de expunere pentru durate de viață de 50 și 100 ani. Pentru o durată de viață de 200 ani, sunt necesare determinări ale cantității de beton exfoliat după 112 cicluri de îngheț-dezghet, pentru clasele de expunere XF3 și XF4.

Rezultatele încercărilor permit obținerea de recomandări cu privire la proiectarea corectă a unui beton rezistent la exfoliere.

Ca direcție de cercetare viitoare se observă necesitatea realizării mai multor teste pe diferite amestecuri de beton cu rapoarte apă/ciment cuprinse între 0,6 și 0,4, pentru a observa

încadrarea betoanelor preparate cu diferite tipuri de cimenturi în clasele de rezistență la îngheț-dezghet.

În lipsa existenței în practică a conceptului de rezistență la acțiuni ale mediului (deocamdată), aceste încercări sunt utile în scopul promovării anumitor sortimente de ciment, recomandate pentru utilizarea în diverse aplicații speciale.

BIBLIOGRAFIE

1. SR EN 206 +A1:2017, Beton. Specificație, performanță, producție și conformitate;
2. NE 012/1-2007 Normativ pentru producerea betonului și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului;
3. CEN/TS 12390-9 : 2016 Testing hardened concrete - Part 9: freeze-thaw resistance with de-icing salts;
4. SR EN 197- 1:2011 Ciment - Compoziție, specificații și criterii de conformitate;
5. SR 13510:2006 - Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate;
6. Dan Georgescu, Radu Gavrilescu, Abordări moderne pentru asigurarea performanțelor betonului în ceea ce privește durabilitatea – Revista Româna de Materiale 2013;
7. CEN-TC104-SC1-WG1_N0110 - Performance criteria for resistance;
8. CEN/TC 250/SC 2/WG 1 - PT1prEN1992-1-1 2017-10-30 D2;
9. SR EN 1992-1-1:2004 Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton; Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri;
10. SR 3518:2009, Încercări pe betoane. Determinarea rezistenței la îngheț-dezghet prin măsurarea variației rezistenței la compresiune și/sau modulului de elasticitate dinamic relativ;
11. SS 137244:2005 - Concrete testing - Hardened concrete - Scaling atfreezing (Standard Suedez);
12. Daria Jozwiak-Niedzwiedzka - Scaling resistance of different concretes tested with Boras method;
13. EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings;
14. Steinar Leivestad – Durability, Concrete, Environment and Sustainability în the Eurocodes, 02.05.2019, Standard Norge;
15. CEN 104/SC1/WG1 N55 - European experience with performance testing for durability and the specification of durability by performance;
16. Christoph Müller, VDZ, Latest developments în the standardization of concrete, JRC Side-event to the Standardization Summit - Construction Standards, 3 June Riga;
17. CEN TC250/SC2/WG1/TG10 N0045, Freeze thaw Resistance on concrete – Classification, februarie 2017;
18. Andrei Shpak, Stefan Jacobsen - Requirements and recomandations for frost durable concrete. Test methods. Overview of national and international standards, codes,

- committees, representative projects. WP2 Production and documentation of frost durable concrete: air entrainment, cracking and scaling în performance testing, 2019;
19. CEN/TC250/SC2/WG1 N479;
 20. SR EN 12390-2:2009. Încercare pe beton întărit. Partea 2: Pregătirea și păstrarea epruvetelor pentru încercări de rezistență;
 21. SR EN 12390-3:2009. Încercare pe beton întărit. Partea 3: Rezistența la compresiune a epruvetelor;
 22. Erika Holt, Tuula Råman, Mika Tulimaa, Implementing Environmentally-friendly and Durable Concrete to Finnish Practice;
 23. CP 012/1- 2007: Cod de practica pentru producerea betonului;
 24. SR EN 12390-9:2009. Încercare pe beton întărit. Partea 9: Rezistență la îngheț-dezghet. Exfoliere;
 25. UTCB: 2012 - Stabilirea, în funcție de domeniul de utilizare, a cerințelor pentru caracteristicile betonului determinate prin aplicarea standardelor europene armonizate. Metode bazate pe încercări - cercetare (prenormativă) – Preambul;
-

Autorul tezei de doctorat este angajat al S.C. HeidelbergCement România S.A. ocupând funcția de Consultant Tehnic Clienți. Cele conținute în acest raport de cercetare reprezintă opinii personale ale autorului și nu poziția oficială a Companiei, neimplicând în niciun fel Grupul HeidelbergCement.