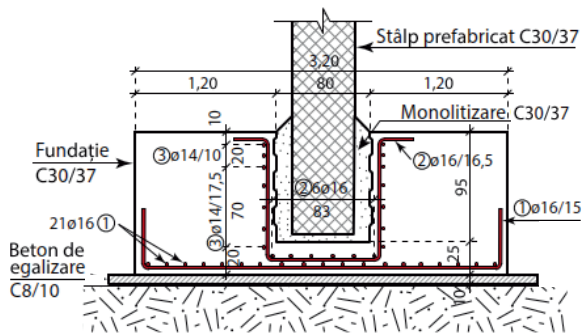


# Stabilirea specificației betonului de ciment proaspăt și întărit conform SR EN 206-1

Ediția a 2-a revizuită și actualizată



#### Beton în fundații:

Produs în conformitate cu SR EN 206

C30/37; XC2, XA1; S3;  $D_{max} = 16 \text{ mm}$ ; Cl 0,20;  $P_{8-10}$

CEM I 42,5 R – SR5; min.  $300 \text{ kg/m}^3$ ; A/C max. 0,55

Aditivi plastifiant și inhibitor de coroziune

Masă volumică beton (nearmat) în stare uscată  $2201 \dots 2400 \text{ kg/m}^3$

Oțel-beton: B 500 B

Acoperire cu beton:  $c_{nom} = 45 \text{ mm}$

Clasa structurală: S4

Clasa de importanță-expunere: III

Categoria de importanță: C

UTPRESS

Cluj-Napoca, 2023

ISBN 978-606-737-632-6

Traian-Nicu Toader

**STABILIREA SPECIFICAȚIEI BETONULUI  
DE CIMENT PROASPĂT ȘI ÎNTĂRIT  
CONFORM SR EN 206-1**

Ediția a 2-a revizuită și actualizată



**UTPRESS**

**Cluj-Napoca, 2023**

**ISBN 978-606-737-632-6**



Editura UTPRESS  
Str. Observatorului nr. 34  
400775 Cluj-Napoca  
Tel.: 0264-401.999  
e-mail: [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro)  
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: Ing. Dan Colțea

Recenzia: Prof.dr.ing. Zoltán Iosif Kiss  
Prof.dr.ing. Călin Grigore Radu Mircea  
Șef lucr.dr.ing. Horia Constantinescu

Pregătire format electronic on-line: Gabriela Groza

Această carte constituie un material didactic și conține informații din surse bibliografice autentice și de încredere. S-au făcut eforturi rezonabile pentru publicarea de date și informații veridice și corecte, însă autorul și editura nu pot să își asume responsabilitatea în totalitate pentru modul în care acestea sunt puse în practică mai departe și de consecințele avute. Unele informații, ilustrații și imagini modificate și expuse în prezenta lucrare sub formă de figuri provin din surse bibliografice puse la liber pe paginile de internet sau în lucrările indicate în bibliografie. Totuși, dacă întâlniți un material reprodus în această carte pentru care aveți drepturi de autor și nu a fost pus la liber pe internet cu acordul dumneavoastră, ne cerem iertare autorilor și proprietarilor de copyright în cauză. Pentru acel material asupra căruia aveți drept de copyright și refuzați includerea lui în această carte didactică, vă rugăm să ne scrieți pe adresele [traian.toader@dst.utcluj.ro](mailto:traian.toader@dst.utcluj.ro) și [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro) pentru a rectifica eroarea printr-o ediție revizuită. Totodată, dacă observați neconcordanțe sau erori, vă rugăm să le trimiteți pe adresa autorului spre a fi corijate printr-o ediție revizuită.

Copyright © 2023 Editura UTPRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

Tiparul executat la Tipografia UTCN.

**ISBN 978-606-737-632-6**

Bun de tipar: 26.04.2023

## Prefață

Dezvoltarea domeniului construcțiilor, așa cum o cunoaștem noi astăzi, se datorează în principal betonului și oțelului. Aceste două materiale de construcții au oferit posibilitatea ca dimensiunea și complexitatea structurilor să fie împinse spre noi limite greu de atins cu alte materiale de construcții. Întrucât calculul construcțiilor din beton armat și oțel s-a dezvoltat foarte mult în ultimii 200 de ani, astăzi rezultatele obținute cu metodele de calcul curente oferă o mare siguranță și încredere proiectanților.

Betonul armat și precomprimat este folosit cu succes la realizarea celor mai variate lucrări ingineresti și a ajuns să fie folosit chiar și în domenii care în trecut erau considerate ca putând fi realizate doar din oțel, cum ar fi podurile de deschideri mari sau construcțiile înalte. Unele din cele mai impresionante construcții sunt realizate din beton armat: Opera Sidney – 1973, Burj Khalifa – 2010, Auditoriul Santa Cruz de Tenerife – 2003, și multe altele.

În cazul betonului armat, pentru a obține structuri sigure, durabile și care să satisfacă cerințele de exploatare în timp, e necesar să se folosească betoane de calitate superioară. Există la ora actuală o multitudine de soluții pentru rețetele de beton, adaptate pentru fiecare situație de proiectare în parte. Pentru a se obține betonul dorit, e necesar să se aleagă și să se specifice corect rețeta betonului, în cunoștință de cauză.

Lucrarea „Stabilirea specificației betonului de ciment proaspăt și întărit” reprezintă o tratare foarte amănunțită a domeniului, bazată pe o consultare critică a unei ample bibliografii și pe o bogată experiență de proiectare a autorului. Ea este un “ghid de navigație” care va înlesni munca inginerului în stabilirea specificațiilor betonului de ciment în proiectarea și executarea elementelor de rezistență din beton, beton armat și beton precomprimat.

Cartea este redactată într-un stil clar, concis, fluent, orientată spre partea practică a problemei, pentru a fi un instrument de ajutor în egală măsură studenților de la facultățile de construcții și inginerilor structuriști. Valoarea publicației e dată și de exemplele de bună practică prezentate, adunate de la specialiști și practicieni în proiectarea și execuția structurilor de beton. Autorul a realizat o lucrare modernă în care utilizează notațiile la zi în domeniul producerii betonului.

Sunt încredințat că această lucrare va fi un sprijin în stabilirea specificațiilor betonului și va fi nelipsită din biblioteca studenților de la facultățile de construcții și a inginerilor structuriști pentru proiectarea structurilor de beton armat și beton precomprimat.

Cluj-Napoca  
Iulie 2022

Prof. dr. ing. Kiss Zoltán I.



## Cuvânt înainte

Această lucrare este un material cu caracter didactic și le este adresată în principal studenților de la facultățile de construcții și inginerilor constructori care își desfășoară activitatea în proiectarea de structuri, producerea betonului și executarea elementelor de rezistență din beton, pentru a le ușura munca și scurta timpul alocat stabilirii specificației betonului de ciment (având ca liant cimentul Portland) în proiectarea și executarea elementelor de rezistență din beton, beton armat și beton precomprimat, ținând cont de prevederile și notațiile la zi utilizate în domeniul producerii betonului. Noțiunile teoretice sunt completate cu exemple concrete de notare și redactare a specificațiilor privind compoziția betonului în acord cu acțiunile mediului înconjurător asupra elementelor de rezistență finale și condițiile de punere în operă a betonului proaspăt.

Prezenta filadă poate fi privită și ca un ghid în elaborarea notațiilor ce însoțesc clasa betonului pe planșele tehnice ale elementelor de beton cu masă volumică normală din perspectiva asigurării rezistenței, nivelului de calitate și durabilității corespunzătoare prevăzute de legiuitor prin reglementările tehnice în vigoare, fiind documentată în principal pe standardele SR EN 206+A2:2021 și SR 13510:2006 (cu eratele aferente), respectiv normativele NE 012/1-2022 și NE 012/2-2022.

Pe lângă versiunea românească a normei europene SR EN 206+A2:2021, „*Beton. Specificație, performanță, producție și conformitate*”, au fost utilizate norme naționale și standarde europene aflate în vigoare și menționate în lista bibliografică de la final. În plus, conținutul lucrării este îmbogățit cu completări de bună practică (înțelese ca ansamblu de măsuri și decizii care aplicate în mod corect din punct de vedere tehnic au dat rezultate favorabile, corespunzătoare așteptărilor, în situații similare) și publicate de specialiști și practicieni în proiectarea și execuția structurilor de beton din România și Germania, de asemenea, titlurile acestor lucrări fiind menționate în lista bibliografică.

Studiind această lucrare, inginerul constructor, va putea cunoaște mai în amănunt ingredientele folosite azi la producerea betonului de ciment cu masă volumică normală, ce le caracterizează și modul în care acestea influențează proprietățile fizico-mecanice ale betonului proaspăt cât și pe cele ale betonului întărit. Fără a avea pretenția ca după parcurgerea acestei lucrări, cititorul, să poată realiza îndată o compoziție de beton reușită, totuși, în urma lecturii trebuie să fi cunoscut mai în profunzime caracteristicile betonului și pe ale ingredientelor utilizabile și să poată opera mai bine cu ele, dar mai ales să poată redacta în cunoștință de cauză, corect și complet specificația betonului proiectat ce trebuie să apară pe planșele tehnice de execuție ale elementelor din beton și a indicațiilor tehnice din caietele de sarcini aferente.

*Prima ediție a acestei lucrări a fost revizuită și actualizată ca urmare a publicării și intrării în vigoare a principalelor surse bibliografice: reglementările tehnice române NE 012/1-2022 și NE 012/2-2023 (intrate în vigoare în Aprilie 2023), respectiv a standardului român și normei europene SR EN 206+A2:2021 (cu tranziția de aplicare încheiată în Decembrie 2022).*

Cluj-Napoca  
Aprilie 2023

Autorul

## Cuprins

Prefață	... iii
Cuvânt înainte	... v
Cuprins	... 1
Lexicon și index	... 3
1. Introducere	... 11
2. Specificația betonului proaspăt și întărit	... 13
3. Betonul proaspăt	... 17
3.1. Conținutul de ciment și raportul apă-ciment	... 17
3.2. Dimensiunea maximă a agregatelor	... 20
3.3. Conținutul de aer	... 21
3.4. Conținutul de cloruri	... 21
3.5. Clasele de consistență	... 22
3.6. Temperatura betonului	... 26
4. Betonul întărit	... 31
4.1. Clasele de rezistență la compresiune	... 31
4.2. Absorbția, porozitatea și permeabilitatea	... 36
4.3. Verificarea clasei betonului livrat	... 38
5. Compoziția betonului	... 41
5.1. Cimentul	... 41
5.1.1. Definiția	... 41
5.1.2. Componentele principale	... 41
5.1.3. Componentele auxiliare minore	... 42
5.1.4. Tipurile de ciment	... 42
5.1.5. Recomandările generale pentru alegerea cimentului	... 44
5.1.6. Tipurile de ciment produse la ora actuală în România	... 46
5.1.7. Dozajul de ciment	... 48
5.1.8. Emisiile de dioxid de carbon	... 49
5.2. Agregatele	... 50
5.3. Apa de amestec	... 56
5.4. Aditivii	... 58
5.5. Adaosurile	... 63
6. Clasele de expunere, de umiditate, structurale și de importanță-expunere	... 69
6.1. Clasele de expunere și de umiditate	... 69
6.2. Clasele structurale și de importanță-expunere	... 76
6.3. Categoria de importanță	... 78
6.4. Stratul de acoperire cu beton	... 83
7. Specificația armăturii proiectate	... 87
8. Exemple de specificație pentru betonul proiectat	... 91
9. Exemple de rețete de beton	...105
10. Exemple de betoane de compoziție prescrisă (grout-uri și mortare cimentoase)	...111
11. Standarde ce reglementează compoziția betonului	...113
Bibliografie	...117
Drepturi de autor și sursele informațiilor originale	...120





## Lexicon și index

<b>în limba română (RO-RO)</b>	<b>în limba engleză (EN-US)</b>	<b>în limba germană (DE-DE)</b>	<b>pagina page Seite</b>
a betona	to pour concrete, to cast concrete	betonieren	
a concepe	to conceive	konzipieren	
a dezvolta	to develop	entwickeln	
a proiecta	to design	entwerfen	
a reprezenta	to shape	gestalten	
acizi hidroxicarboxilici (de ex. acid citric)	hydroxycarboxylic acids (e.g., citric acid)	Hydroxycarbonsäuren (z. B. Zitronensäure)	62.
acoperire cu beton	concrete cover	Betonüberdeckung	12, 14, 20, 75, 76, 83-85, 91, 94, 95-101, 103, 104.
acțiunile mediului înconjurător	environmental actions	Umwelteinwirkungen	13, 46, 69, 71, 73, 76.
adaos	additive	Zusatzstoff	11, 14, 16, 17, 22, 23, 27-29, 42, 45, 50, 113, 115.
adaos pentru beton	additive for concrete	Betonzusatzstoff	48, 50, 63-66, 72, 105, 113, 115.
adaosuri care conțin Bor	Boron containing additives	Borhaltige Zusatzstoffe	53.
aditiv	additive	Zusatzmittel	11, 14, 15, 16, 18, 21, 23, 26, 34, 42, 44, 48, 53, 56, 58-63, 71, 91-93, 95-97, 100, 102-110, 113, 117.
aditiv accelerator de întărire	hardening accelerator	Erhärtungsbeschleuniger	26, 60, 96, 100, 102-104.
aditiv accelerator de priză	solidification accelerator	Erstarrungsbeschleuniger	44, 60, 61, 97, 100.
aditiv antrenor de aer	air entrainer	Luftporenbildner	21, 56, 60, 61, 71, 92, 93, 107, 109.
aditiv impermeabilizator în masă	sealant	Dichtungsmittel	60, 61.
aditiv întârziator de priză	retarder	Verzögerer	26, 44, 60, 61, 92, 93, 95, 106.
aditiv modificator de vâscozitate, stabilizator	viscosity modifier	Viskositätsmodifizierer	60, 110.
aditiv pentru beton	concrete admixtures	Betonzusatzmittel	58, 113, 117.
aditiv puternic reducător de apă, superplastifiant	superplasticizer	Fließmittel	59, 61-63, 103-108.
aditiv reducător de apă, plastifiant	plasticizer	Verflüssiger	15, 19, 44, 59, 60-63, 103, 104, 107, 109, 110.
agenți activi de suprafață sintetici, surfactanți sintetici, agenți tensioactivi, tenside sintetice	synthetic surfactants	synthetische Tenside	61.
<i>Semnificație: numiți și tenside (latină tensus - „tensionat“), sunt substanțe tensioactive care micșorează tensiunea superficială a lichidelor, favorizând dispersia altor substanțe care în mod normal nu se dizolvă în lichidul respectiv.</i>			
agregat	aggregate	Gesteinskörnung, Zuschlag	11-17, 20, 21, 23, 26-30, 31-33, 48-55, 57, 58, 64-68, 71, 73, 83-85, 91-94, 96-102, 104, 108-110, 113, 117.
agregat din gresii	sandstone aggregates	Sandsteingesteinskörnungen	
agregate artificiale	artificial aggregates	künstliche Gesteinskörnungen	

agregate grele	heavy aggregates	schwere Gesteinskörnungen	12, 52, 53.
agregate naturale	natural aggregates	natürliche Gesteinskörnungen	
agregate normale	normal aggregates	normale Gesteinskörnungen	52.
agregate ușoare	lightweight aggregates	leichte Gesteinskörnungen	11, 12, 16, 52, 83, 109, 110, 113.
andocare camioane	truck loading	LKW-verladung	
apă	water	Wasser	11, 13-20, 22-24, 26-30, 31, 34-38, 44, 48, 53, 56-61, 63-67, 70-73, 77, 84, 85, 92, 94, 95, 98, 102, 105-110.
apă de amestec	mixing water	Zugabewasser	15, 27, 56, 58, 67, 105-108, 110.
apă de cristalizare	water(s) of crystallization, water(s) of hydration	Hydratwasser, Kristallwasser	53.
apă de mare	sea water	Meerwasser	56, 71.
apă naturală	natural water	natürliches Wasser	56.
apă potabilă	drinking water	Trinkwasser	56, 57.
apă recuperată	residual water	Restwasser	56.
apă salmastră	brackish water	Brackwasser	56.
<i>Semnificație: apa salmastră este apa cu salinitate scăzută (între 0,5 și 30‰), întâlnită în special în zonele unde un fluviu se varsă în mare sau ocean.</i>			
apă uzată	wastewater	Abwasser	56.
ardezie expandată	expanded shale	Blähschiefer	52.
argilă expandată	expanded clay	Blähton	52, 109, 110.
armătură	reinforcement	Bewehrung, Armierung	11, 12, 14, 15, 17, 20-24, 31, 33, 42, 45, 60, 62, 63, 69, 71, 75, 76, 83-85, 87-90, 94-96, 98-101, 103, 104, 111, 114, 116.
armătură (din oțel)	reinforcement (made of steel)	Stahlbewehrung	
asamblare	assembly	Konstruktion	
baretă	barette	Schlitzwandelement	85.
Baritină (BaSO <sub>4</sub> )	Baryte (BaSO <sub>4</sub> )	Baryt (BaSO <sub>4</sub> )	52.
bazalt	basalt	Basalt	11, 12, 33, 52, 69, 109.
bentonită	bentonite	Bentonit	15, 22, 24, 63, 85, 95, 96.
beton	concrete	Beton	11-42, 44-53, 56-73, 75, 76, 83-89, 91-119.
beton aerat, beton gazos, beton celular	aerated concrete	Porenbeton	11, 12.
beton armat	reinforced concrete	Stahlbeton	11-15, 18, 20, 23, 24, 31, 33, 46-48, 50, 56, 57, 63, 69, 70, 83, 82, 87, 88, 92-94, 96-104, 111, 113-118.
beton autocompactant	self-compacting concrete (SCC)	selbstverdichtender Beton (SVB)	24, 60, 62, 105, 108, 110.
beton cu proprietăți specificate	designed concrete	Beton nach Eigenschaften	13, 14, 16.
beton cu structură deschisă, beton cavernos-poros	concrete with an open cell structure, cavernous-porous concrete	Beton mit offener Zellstruktur, kavernös-poröser Beton	12.
beton de ciment	cement concrete	Zementbeton	11, 32, 115-117.

Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

beton de compoziție prescrisă	prescribed concrete	Beton nach Zusammensetzung	13, 16, 111.
beton de egalizare	concrete of cleanliness	Sauberkeitsschicht	85.
beton fără părți fine	concrete without fine components	Beton ohne Feinbestandteile, Beton mit haufwerksporigem Gefüge	12.
beton greu	heavy concrete	Schwerbeton	11, 12, 16, 52.
beton întărit	hardened concrete	Festbeton	14, 17, 21, 26, 28, 30, 31, 36, 56, 60, 67, 114.
beton monolit	in-situ concrete	Ortbeton	47, 48.
beton nearmat	unreinforced concrete	unbewerter Beton	11-15, 20, 31, 50, 56, 57, 92, 93.
beton cu masă volumică normală, beton obișnuit	normal density concrete, normal concrete	Normalbeton	11, 12, 28, 48, 52.
beton pentru piloți sau pereți mulați	concrete for bored piles or slurry wall	Bohrpfahlbeton, Beton für Bohrpfähle oder Schlitzwandelemente	46, 64.
beton precomprimat	prestressed concrete	Spannbeton	12, 20, 31, 34, 47, 48, 57, 63.
beton prefabricat	precast concrete	Betonfertigteile	47, 48.
beton preparat (în stație de betoane)	ready mixed concrete	Transportbeton	12, 53, 66, 67.
beton preparat pe șantier	site-mixed concrete	Baustellenbeton	
beton proaspăt	fresh concrete	Frischbeton	12-18, 20-23, 26-28, 30, 38, 48-50, 53, 56, 58-59, 62, 67, 91-94, 96, 97, 99, 100, 102, 110, 114.
beton proiectat	designed concrete	Beton nach Eigenschaften	13, 37, 69, 72, 91, 102.
beton refractar	refractory concrete	Feuerfestbeton	12.
beton simplu	plain concrete	unbewerter Beton	11, 23, 92.
beton spumat	foam concrete	Schaumbeton	12.
beton standard, beton conform, beton produs în conformitate cu SR EN 206	Standard concrete, Concrete according to EN 206	Standardbeton, Beton nach DIN EN 206	14, 38, 93, 94, 96-98, 100, 103, 104.
beton ușor	Lightweight concrete	Leichtbeton	38, 93, 94, 96-100, 102-104.
betonare	concreting, casting	Betonieren	14, 15, 17, 34, 36, 47, 48, 58, 92-95, 97, 98, 100, 101, 103.
Borocalcit ( $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	Borocalcite ( $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	Borocalcit ( $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	53.
bule de aer antrenat (bule sferice microscopice)	micro air content	Mikroluftanteil	21, 60, 61.
caiet de sarcini	project specification	Projektspezifikationen	13, 14, 85, 87, 91.
căldură de hidratare a cimentului	heat of hydration of cement	Hydratationswärme von Zement	29, 30, 45.
cărămidă și țiglă ceramică reciclată (spărtură)	brick and tile chippings	Ziegelsplitt	52.
carbura de Bor ( $\text{B}_4\text{C}$ )	Boron carbide ( $\text{B}_4\text{C}$ )	Borkarbid ( $\text{B}_4\text{C}$ )	53.
cenușă volantă de cărbune	coal ash, coal fly ash	Steinkohlenflugasche	
cenușă volantă, cenușă zburătoare	fly ash	Flugasche	41, 43-48, 64-66, 106, 107, 109, 110, 113.
ciment	cement	Zement	11-19, 21-23, 26-30, 32, 34, 37, 41-51, 57-58, 60, 62-72, 84, 85, 91, 92, 94-98, 102, 105-110, 113, 116-118.

clasă de consistență	consistency class	Konsistenzklasse	22, 23, 25, 26, 59, 91, 96, 102, 105.
clasă de expunere	exposure class	Expositionsklasse	13-18, 21, 31, 36, 37, 44-46, 48, 49, 64-66, 69-78, 84, 85, 91-104, 107.
clasă de rezistență la compresiune	compressive strength class	Druckfestigkeitsklasse	31, 38, 44, 45, 48, 84, 91, 108.
clasa minimă de rezistență la compresiune a betonului	minimum compressive strength class of concrete	Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons	17, 33, 34, 76, 98.
cofraj	formwork	Schalung	12, 20, 22, 28, 32, 101, 102, 116.
Colemanit ( $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	Colemanite ( $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	Colemanit ( $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	53.
construcție	construction	Konstruktion	13, 14, 26, 28, 30, 37, 48, 70, 73, 75-82, 84, 86, 87, 92-100, 103, 104, 113-117.
conținut de apă	water content	Wassergehalt	16, 53, 59, 109.
conținut minim de aer	minimum air content of concrete	Mindestluftgehalt des Betons	14.
criblură, agregat grosier de carieră	split	Splitt	50-52, 106-109.
culee	abutment	Widerlager	
curbă granulometrică	grading curve	Sieblinie	15-17, 48, 50, 53, 64.
densitate absolută	true density	Dichte (Reindichte)	52, 63.
densitate aparentă	apparent density	Rohdichte	52, 105-110.
densitate în vrac	bulk density	Schüttdichte	52, 63.
densitatea granulei	grain density	Kornrohichte	52.
desen	drawing	Zeichnung	
desen tehnic	technical drawing	Konstruktionszeichnung	100.
detalii de execuție	execution specification	Ausführungsunterlagen	12, 101.
dezvoltare	develop	Entwicklung	
diabaz	diabase	Diabas	52.
diatomit	diatomite	Kieselgur	52.
dimensionare	dimensioning	Bemessung	95, 98, 101, 102, 115.
dozaj de cenușă volanță, dozaj de cenușă zburătoare	fly ash content	Flugascheanteil	
dozaj minim de ciment	minimum cement content	Mindestzementgehalt	14, 15, 17, 37, 48, 49, 58, 64-66, 69, 71-72, 94, 95, 98, 102.
dozaj, conținut	content	Anteil, Gehalt	13-17, 21, 22, 26, 37, 41-43, 46-50, 52, 53, 57-59, 61, 64-72, 76, 92, 94, 95, 98, 102, 110, 117.
durată de viață proiectată	design working life	Bemessungslebensdauer	84, 92, 95-96.
evaluarea conformității	evaluation of conformity	Beurteilung der Konformität	39.
familie de beton	concrete family	Betonfamilie	
ferociment, ferobeton	ferrocement, Ferro-concrete	Eisenbeton	
Ferofosfor (FeP)	Ferrophosphorus (FeP)	Ferrophosphor (FeP)	53.
Ferosiliciu (FeSi)	Ferrosilicon (FeSi)	Ferrosilicium (FeSi)	42, 53.

Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

fibre	fibers	Fasern	12, 69, 98, 99, 108, 114.
fibre din oțel	steel fibers	Stahlfasern	108.
fibre din polimer	polymer fibers	Polymerfasern	
filer	filler, rock flour	Füller, Gesteinsmehl	63, 64, 105, 106, 108.
filer de cuarț	quartz powder	Quartzmehl	63.
filer de calcar	limestone powder	Kalksteinmehl	63, 105.
foarte termoizolant	highly heat-insulating	Hochwärmedämmend	
formulă empirică	rule of thumb	Faustformel	
<i>Semnificație: formulele empirice sunt variante drastic simplificate ale unor calcule matematice, care au fost validate prin experimente și/sau calcule (prin experiență). Calculele folosind formule empirice sunt ușor de efectuat (calcul în minte) și oferă rezultate orientative, aproximative (mai puțin precise decât formulele științifice).</i>			
fosfați	Phosphates	Phosphate	57, 61.
fracțiunea granulară a agregatului < 0,125 mm	grain fraction of the aggregate < 0.125 mm	Kornanteil der Gesteinskörnung < 0,125 mm	
frită de Borax (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> O)	Borax frit (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> O)	Borfritte (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> O)	53.
<i>Explicație: frită de Borax este un produs intermediar între sticlă și ceramică din Borax.</i>			
fundație	foundation	Fundament	14, 20, 22-24, 59, 70, 76, 84, 85, 92-95, 101, 111, 115, 116.
fundație continuă	strip foundation	Streifenfundament	
fundație de adâncime	deep foundation	Tiefbau	20, 24, 59, 76, 85, 94.
fundație pe chituci (pe reazeme izolate)	pillar foundation	Säulenfundament	
fundație pe piloți	pile foundation	Pfahlgründung	95, 115.
fundație tip radier	slab on grade, slab foundation, plate foundation	Plattenfundament	95-97.
fundație tip radier general	mat foundation, raft foundation	Plattenfundament	
Gabro	Gabbro	Gabbro	52.
grafic	graphic, chart, diagram	Grafik	26, 27, 29.
granit	granite	Granit	52.
granule de fier (Fe)	Iron granules (Fe)	Eisengranalien (Fe)	53.
grindă	beam	Balken	11, 23, 34, 38, 76, 84, 100-102, 111, 116, 118.
grindă principală	girder	Träger	
grindă secundară de acoperiș	purlin	Pfette	
grout, beton de granulație mică, micro-beton	grout	Vergussmörtel, Zementmörtel	12, 13, 20, 47, 48, 62, 111, 112.
granulozitate	granularity, grading	Granularität, Körnigkeit	32, 50, 53-55.
<i>Semnificație: Granulozitatea reprezintă repartiția procentuală a particulelor agregatului natural după mărimea lor.</i>			
Hematit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Hämatit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	53.
Ilmenit (FeTiO <sub>3</sub> )	Ilmenite (FeTiO <sub>3</sub> )	Ilmenit (FeTiO <sub>3</sub> )	53.
infrastructură	infrastructure	Infrastruktur	78.
încercare inițială, test inițial	initial test	Erstprüfung	39, 59, 63.

înțeles, semnificație, sens	meaning	Bedeutung	
lavă spumoasă	foam lava	Schaumlava	52.
lignosulfonați	Lignosulfonates	Ligninsulfonate	61, 62.
Limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	Limonite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	Limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	53.
livrare	delivery	Lieferung	
lucrabilitate	workability	Verarbeitbarkeit	16, 33, 42, 62.
Magnetină ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	52.
material	material	Stoff	11, 12, 15, 16, 23, 41, 42, 44, 46, 50, 52, 59, 63, 72, 77-79, 110, 113, 114, 117, 118.
material cimentos	cementitious material	Zementhaltiges Material	
mediu	medium	mittel	12-14, 17, 28, 46, 69, 71, 73, 75, 76, 78-80, 83-85, 91, 97, 101, 102.
metoda compactării (cu grad de compactare)	compacting test	Verdichtungsmaß	23-25.
metoda răspândirii	slump flow test	Ausbreitmaß	23, 24, 26.
metoda remodelării Vebe	Vebe test	VebePrüfung	22, 24, 25.
metoda tasării	slump test	Setzmaß	22-25.
mică expandată	expanded mica	Blähglimmer	52.
model	pattern, sample, specimen	Muster	
mortar cimentos	cement based mortar, cementitious mortar	Vergussmörtel, Zementmörtel	
naftalen sulfonați	Naphthalene sulfonates	Naphthalinsulfonate	61, 62.
nisip	sand	Sand	50, 52, 53, 105-110, 113.
nisip spumos	foam sand	Schaumsand	52.
nisip/pilitură de fier (Fe)	steel grit (Fe)	Stahlsand (Fe)	53.
oțel	steel	Stahl	11, 12, 14, 21, 22, 45, 60, 69, 83, 87-89, 94, 96-100, 103, 104, 108, 114, 116.
parte fină	fine fraction	Feinanteil	12, 50, 64, 66, 67, 84.
perete mulat	slurry wall	Schlitzwand	15, 17, 20, 45, 46, 50, 59, 76, 85.
perlit expandat	expanded perlite	Blähperlit	109.
piatră ponce	pumice	Bims	52.
piatră ponce naturală	natural pumice	Naturbims	52.
piatră ponce sinterizată	sintered pumice	Sinterbims	52.
piatră spartă	ballast, gravel	Schotter	50, 52.
pietriș spumos	foamy gravel	Schaumkies	52.
pietriș, agregat grosier de balastieră	gravel	Kies	50, 52, 105-108.
pigment	pigment, color pigment	Pigment, Farbpigment	42, 63, 64, 113.
pilă	pier	Pfeiler	75.
pilot	pile	Pfahl	15, 17, 20, 22, 24, 45-46, 50, 59, 64-66, 75, 76, 85, 94-96.

			115, 116.
pilot flotant	friction pile	Reibungspfahl	
piloți forajă	bored piles	Bohrpfähle	17, 20, 22, 24, 45, 46, 50, 59, 64, 66, 76, 85, 94, 95, 115.
pilot forat cu șnec continuu (pilot CFA)	continuous flight auger pile (CFA-pile)	Schneckenbohrpfahl	
<i>Semnificație: pilot realizat cu un șnec continuu având o tijă goală la interior prin care betonul (mortarul, fluidul de injectare) este pompat pe măsură ce șnecul este retras.</i>			
pilot înșurubat	screw pile	Schraubpfahl	
<i>Semnificație: pilotul de îndesare introdus în pământ fără excavare sau înlăturare de material din teren. Astfel de piloți pot fi prefabricați sau turnați monolit. Tehnologia de execuție se bazează pe principiul forării cu șnec. Tubulatura uneltei de forare cuprinde un număr limitat de spire elicoidale la bază, iar forarea se execută sub acțiunea combinată a unei torsiuni și a unei presiuni verticale. Pilotul înșurubat transmite încărcările la teren atât pe fața laterală a fișei (prin frecare combinată cu compresiune) cât și pe vârful (prin compresiune).</i>			
pilot purtător pe vârf	end bearing pile	Spitzendruckpfahl	
<i>Semnificație: pilot ce transmite încărcările la teren, în special, prin compresiune la bază.</i>			
plan, planșă, desen tehnic	plan, drawing, technical drawing	Plan, Zeichnung, technische Zeichnung	13, 14, 32, 38, 78, 85, 87, 91, 95, 97, 98, 100, 101.
polycarboxilați / eteri polycarboxilați	polycarboxylates / polycarboxylate ethers	Polycarboxylate / Polycarboxylatether	61, 62.
pompabilitatea betonului	pumpability of concrete	Pumpbarkeit von Beton	
pori reziduali	residual pores	Restporen	110.
procent de armare	reinforcement ratio	Bewehrungsgrad	11, 24, 102.
producător	producer	Hersteller	13, 16-18, 20, 22, 36, 39, 47, 58, 59, 94, 109, 111.
produs de construcție	construction product	Bauprodukt	
proiectare	design	Entwurf	11-13, 15, 20, 30, 31, 46, 65, 69, 73, 76, 78, 79, 90, 92, 95, 103, 113-118.
proiectare conceptuală	conceptual design	Entwurf	79.
proprietăți	properties	Eigenschaften, Kennwerte	13, 14, 16, 17, 22, 36, 38, 41, 42, 45, 46, 50, 52, 59, 61-63, 67, 90, 115, 117.
protecție	protection	Schutz	12, 45.
protecție împotriva radiațiilor	radiation protection	Strahlenschutz	52.
raport apă-ciment, A/C	water cement ration, W/C	Wasser-Zement-Wert, W/Z	13-20, 23, 34, 37, 44, 48, 63, 64-66, 69-73, 84, 91, 93, 94, 96-100, 102-110.
raport maxim apă-ciment	maximum permissible water-cement value	Höchstzulässiger Wasserzementwert	14, 17, 18, 37, 65, 69, 91, 98, 102.
rășini melaminice	melamine resins	Melaminharze	62.
rășini naturale	root resin	Wurzelharz	
regulă empirică	rule of thumb	Faustregel	28, 30.
<i>Semnificație: o regulă generală (principiu general) permite determinarea unor valori matematice sau tehnice, fără a efectua calcule precise. O astfel de regulă este bazată mai ales pe experiență, fiind dedusă din interpretarea rezultatelor obținute experimental și/sau numeric.</i>			
reprezentare	shaping	Gestaltung	
rezistență caracteristică	characteristic strength	charakteristische Festigkeit	14, 32, 104.
rezistența granulei	grain strength	Kornfestigkeit	52.
rezistență la sulfați	sulfate resistance	Sulfatwiderstand	41, 43, 45, 47, 48, 64, 65, 69, 71, 72, 102, 111, 113, 117.
ridicat	high	hoch	19, 22, 28, 37, 42, 44, 47, 52, 53, 65, 69-73, 80, 102.

rocă calcaroasă	limestone	Kalkstein	52, 109.
rocă silicioasă	quartzite rock	quartzitisches Gestein	52.
șantier, șantier de construcție	site, construction site	Baustelle	16, 18, 20, 34, 37, 38, 46, 62, 102.
scăzut	low	niedrig	19, 37, 44, 52, 69-71, 88, 101.
scăzut spre mediu	low to medium	niedrig bis mittel	
secțiune	section, section cut	Abschnitt	11, 20, 28, 86.
Serpentin ( $Mg_6[(OH)_6Si_4O_{11}] \cdot H_2O$ )	Serpentine ( $Mg_6[(OH)_6Si_4O_{11}] \cdot H_2O$ )	Serpentin ( $Mg_6[(OH)_6Si_4O_{11}] \cdot H_2O$ )	53.
silice ultrafină, praf de silice	silica fume	Silicastaub	42, 43, 45, 63, 65, 66, 73, 106-109, 113.
spațiu deschis	open space	Freifläche	
specificație (a betonului)	specification (of concrete)	Festlegung	13, 22, 87, 91, 93, 94, 96, 98, 103, 114, 117.
stabilizator, aditiv modificator de vâscozitate	stabilizer	Stabilisierer	61, 110.
stâlp	column	Stütze	11, 23, 24, 38, 84, 100-103, 111, 112, 116.
strat de pietriș stabilizat cu ciment	hydraulically bonded gravel base layer	Hydraulisch gebundene Kiestragschicht	
sticlă expandată	expanded glass	Blähglas	52.
suprabetonare	concrete topping	Aufbeton	101, 103, 115.
suprafață specifică	specific surface	spezifische Oberfläche	63.
substructură	substructure	Unterbau, Tiefbau	
suprastructură	superstructure	Überbau	100.
tăietură	cut, section	Schnitt	
test de conformitate	conformity test	Konformitätsprüfung	
tuf vulcanic	trass	Trass	63, 109, 110.
valori de referință	reference values	Anhaltswerte	29, 35, 63.
Vedere (pe desen tehnic)	view	Absicht	
verificare (de conformitate)	verification	Konformitätsnachweis, Nachweis	38, 85.
zaharoză (zahăr)	Sucrose (sugar)	Saccharose (Zucker)	62.
zgură spumoasă de furnal	blast furnace foam slag	Hochofenschaumschlacke, Hüttenbims	52.
zgură granulată de furnal măcinată	ground granulated blast furnace slag	Hüttensandmehl, granuliert glasige Hochofenschlacke	41, 43, 45, 47, 48, 63-66, 113.
zonă	region	Bereich	31, 50, 53-55, 70-72, 80, 101-103, 111, 115-117.
zonă de granulozitate	grading zone, grading curve range, granularity zone, sieve line area	Sieblinienbereich, Granularitätsbereich, Körnigkeitsbereich	50, 53-55.



## 1. Introducere

La proiectarea și construcția de structuri din beton narmat, armat sau/și precomprimat se utilizează, preponderent, betonul de ciment și armăturile din oțel. Betonul este un material compozit cu structură de conglomerat artificial (fig. 1.1) obținut prin întărirea unui amestec bine omogenizat de agregat, liant (ciment), apă, aditivi și adaosuri. Cimentul amestecat cu apa dă naștere pastei de ciment care prin întărire leagă între ele granulele de agregat, asigurând astfel caracterul monolit al betonului. Betonul cu masă volumică normală (betonul obișnuit) se poate obține folosind agregate curente (având masa volumică între 2000 și 3000 kg/m<sup>3</sup>) de râu sau de carieră, iar betonul greu folosind agregate grele ( $\geq 3000$  kg/m<sup>3</sup>), de obicei de carieră, precum bazalt. La producerea betonului ușor se utilizează agregate ușoare având masa volumică  $\leq 2000$  kg/m<sup>3</sup>. În mod frecvent, la realizarea structurilor din beton se utilizează betoane cu masă volumică normală (tab. 1.1), drept urmare, prezenta lucrare se concentrează pe acest tip de betoane ce au o largă utilizare. S-a observat că betoanele obișnuite cu agregate de râu se încadrează uneori în clasa de densitate „D2,4”, iar cele cu agregate de carieră în clasa de densitate „D2,8”, însă nu este o regulă. Ca observație, în SR EN 206 sunt notate clasele de densitate aferente pentru betoane cu masă volumică de maxim 2000 kg/m<sup>3</sup>, în timp ce pentru betoanele obișnuite și grele este specificată doar masa volumică fără clasa de densitate. Totuși, dintr-un aspect practic, în prezenta lucrare au fost extinse clasele de densitate la toate tipurile de beton.

Tabelul 1.1 Clase de densitate (masă volumică) corespunzătoare betoanelor, adaptat după SR EN 206 și C155-2013

Clasa de densitate	Beton aerat, spumat sau celular			Beton ușor						Beton obișnuit	Beton greu
	D0,4	D0,5 D0,6 D0,7	D,08	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0	D2,2 D2,4 D2,6	D2,8 D3,0
Densitate în stare uscată (kg/m <sup>3</sup> )	$\leq 400$	401-700	701-800	801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000	2001-2600	2601-3000
Densitatea betonului simplu (kg/m <sup>3</sup> )	400	500, 600, 700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200, 2400, 2600	2800, 3000

Note:

În practica de proiectare și fabricare a elementelor din beton, s-a observat că densitatea betonului armat cu armături din oțel este mai mare decât cea a betonului simplu. În această privință, se pot folosi următoarele valori orientative:

- La elementele din beton slab armat având un procent de armare de maxim 0,13 %, pe fiecare direcție (armate la procent minim), densitatea medie se poate estima ca fiind densitatea betonului în stare uscată plus 50 kg/m<sup>3</sup>.
- La elementele din beton armat (uzuale) având un procent de armare de maxim 1,00 %, cel puțin într-o secțiune și pe minim una dintre direcții, densitatea medie se poate estima ca fiind densitatea betonului în stare uscată plus 100 kg/m<sup>3</sup>.
- La elementele din beton armat și/sau precomprimat (precum stâlpi puternic solicitați sau grinzi zvelte prefabricate de acoperiș) cu procent de armare între 1,00 și 2,00 %, cel puțin într-o secțiune și pe una sau mai multe direcții, densitatea medie se poate estima ca fiind densitatea betonului în stare uscată plus 150 kg/m<sup>3</sup>.
- La elementele din beton armat, având procente de armare ce depășesc valoarea de 2,00% și nu sunt elemente cu armătură rigidă (secțiuni compozite oțel-beton), densitatea medie se poate estima ca fiind densitatea betonului în stare uscată plus 200 kg/m<sup>3</sup>.

Liantul pentru acest beton este cimentul Portland produs în conformitate cu SR EN 197-1. Cimentul este un liant hidraulic constând dintr-un material mineral măcinat fin care în amestec cu apa formează o pastă care face priză și se întărește prin efectul reacțiilor și proceselor de hidratare. După hidratare, pasta de ciment se întărește și își păstrează rezistența și stabilitatea chiar și sub apă. Compoziția betonului este stabilă în funcție de cauzele care pot produce deteriorarea structurilor de beton armat, precum:

- exploatarea necorespunzătoare a structurii: suprasarcini, incendii, explozii, impacturi, oboseală ș.a.;
- procese fizice: fisurarea betonului, înghețul, dezghețul, dejivrarea, eroziunea ș.a.;
- procese chimice: atacul acizilor, sulfaților și alcaliilor ș.a.;
- procese biologice;
- coroziunea armăturii.



Figura 1.1 Structura unui beton preparat cu agregate de râu 0-16 mm ©EPFL 2021

Aplicabilitatea standardului român și a normei europene SR EN 206+A2:2021 (standard de bază pentru normativele NE 012/1-2022 și NE 012/2-2022) este pentru beton obișnuit, beton greu, beton ușor (beton cu agregate ușoare), beton de înaltă rezistență, beton armat și beton precomprimat. Acest standard nu se aplică pentru beton aerat, beton spumat, beton cu structură deschisă (beton cavernos-poros), beton ușor cu masă volumică mai mică de  $800 \text{ kg/m}^3$ , beton refractar, beton cu dimensiunea agregatului de maxim ( $D_{\max} \leq$ ) 4 mm (exceptând grout-urile sau mortarele cimentoase conforme cu EN 206), sau beton fără părți fine.

Prevenirea deteriorării premature a structurilor de beton nearmat, armat sau/și precomprimat se poate face prin măsuri ce privesc proiectarea, execuția, exploatarea și protecția acestora, înglobând:

- concepția structurală;
- alegerea adecvată a materialelor;
- detaliile de execuție (stratul de acoperire cu beton, geometria și tipul cofrajelor ș.a.);
- execuția lucrărilor (prepararea, transportul și punerea în operă a betonului proaspăt, pregătirea armăturilor ș.a.);
- controlul calității și măsurile speciale din exploatare (tencuieli, peliculizarea cu vopsele sau lacuri anticorozive, folosirea unor folii de protecție din PVC sau cauciuc, utilizarea unor adaosuri la prepararea betonului care măresc rezistența betonului la acțiuni corozive, protecție catodică, utilizarea anozilor de sacrificiu ș.a.);
- utilizarea de armături rezistente la coroziune (din oțel zincat, oțel inoxidabil, oțel, fibre de carbon, fibre bazaltice, fibre de sticlă, armături din oțel protejate cu peliculă epoxidică ș.a.).

Măsurile de protecție a structurii se stabilesc în funcție de destinația ei, durata de viață anticipată și condițiile de mediu.

## 2. Specificația betonului proaspăt și întărit

Cel care elaborează specificația betonului trebuie să numească toate cerințele relevante pentru obținerea proprietăților necesare betonului. Aceste cerințe sunt adresate producătorului de beton, iar elaborarea lor se face de către o persoană calificată care ar putea să fie proiectantul sau executantul construcției din beton sau laborantul, dar numirea precisă a acestei persoane lipsește din reglementările tehnice în vigoare (precum NE 012/1:2022, NE 012/2-2022 sau SR EN 206+A2:2021), precizându-se doar că elaboratorul specificației este o persoană fizică sau un organism care stabilește specificația betonului proaspăt și întărit. Cu toate acestea, chiar dacă nu e precizat dacă e responsabilitatea inginerului proiectant de structură să elaboreze specificația betonului, acesta are dreptul și competența să o elaboreze și să solicite ca betonul produs și pus în operă să respecte specificația emisă.

Conform reglementărilor tehnice în vigoare, se disting trei tipuri de specificație pentru beton:

- specificația betonului proiectat (cu proprietăți specificate) – cu cea mai largă aplicativitate;
- specificația betonului de compoziție prescrisă – este întâlnită cu precădere la betoanele predozate, microbetoane (grout-uri) și betoane de înaltă performanță, livrate la sac;
- specificația betonului de compoziție prescrisă printr-un standard.

Specificația betonului proiectat (cu proprietăți specificate) poate fi exprimată pe planșe și în caietul de sarcini ca:

- un set de cerințe minimale și maxime (clasa de rezistență, tipul și conținutul de ciment, raportul apă-ciment, granulometria etc.), denumită și metoda curentă și/sau ca
- performanțe echivalente ale betonului proaspăt și uscat (clasa de consistență, rezistență la compresiune la vârste tinere, variații de volum etc.) identificate și cuantificate, denumită metoda bazată pe performanța echivalentă a betonului.

Specificația betonului va fi în corelație cu:

- întrebuințarea betonului proaspăt și întărit;
- condițiile de tratare a betonului;
- dimensiunile structurii (din perspectiva căldurii de hidratare);
- agresiunea mediului înconjurător;
- dimensiunea agregatelor utilizate;
- cerințele privind finisarea suprafețelor.

Specificația betonului proiectat este elaborată pe baza temei de proiectare (emisă de către beneficiar sau reprezentatul acestuia) în corelație cu performanțele necesare betonului, iar producătorul de beton este responsabil să furnizeze un amestec care să asigure aceste performanțe. Pe planșele de execuție a elementelor din beton realizate dintr-un beton cu proprietăți specificate, se vor nota următoarele date de bază (în fig. 2.1 sunt notate cu litere **aldine**):

- a) cerință de conformitate cu SR EN 206+A2:2021;
- b) clasa de rezistență la compresiune a betonului (ex. C30/37);
- c) clasele de expunere (ex. XC2, XA1);
- d) clasa de cloruri conținute sau conținutul maxim de cloruri raportat la masa cimentului (ex. Cl 0,20);
- e) dimensiunea nominală maximă a agregatelor (ex.  $D_{max} = 16 \text{ mm}$ );
- f) clasa de masă volumică sau masa volumică specificată (ex. D2,4 sau masă volumică beton (nearmat) uscat 2201...2400 kg/m<sup>3</sup>);
- g) clasa de consistență (ex. S3);

apoi, după caz, următoarele informații suplimentare:

- h) tipul și clasa de rezistență a cimentului, inclusiv specificații speciale (ex. CEM I 42,5 R – SR5);
- i) dozajul minim de ciment (ex. min. 300 kg/m<sup>3</sup>);

- j) raportul maxim apă-ciment (ex. max. A/C 0,55);
- k) cerințe de impermeabilitate a betonului (ex.  $P_8^{10}$ );
- l) tipul și clasa de agregat special – pentru a reduce la minimum efectele dăunătoare ale reacției alcalii-silice;
- m) conținut minim de aer (antrenat)/conținut maxim de aer (oclus) din beton;
- n) tipul și cantitatea de aditivi (dacă este cazul) (ex. aditiv reducător de apă/plastifiant și inhibitor de coroziune);
- o) tipul și cantitatea de adaosuri;
- p) temperatura betonului proaspăt;
- q) viteza de degajare a căldurii în perioada hidratării;
- r) evoluția rezistenței betonului în timp;
- s) rezistența la abraziune;
- t) rezistența la tracțiune prin despicare;
- u) alte cerințe tehnice precum cele legate de aspectul final sau de modul de punere în operă.

După datele privind compoziția betonului, în continuare se notează tipul de armătură și grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor. Notele sunt succedate de clasa structurală, clasa de importanță-expunere și categoria de importanță a clădirii (fig. 2.1). Specificația betonului notată pe planșele de execuție este însoțită de caiete de sarcini privind lucrările de betonare și elemente particulare (de exemplu: sarcini privind turnarea betonului pe timp călduros/friguros, cerințe privind aditivii utilizați, cerințe privind cantitatea și tipurile de adaosuri din beton, ș.a.).

<p><b>Beton: Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021</b>  <b>C30/37; XC2, XA1; CI 0,20; Dmax = 16 mm; S3; <math>P_8^{10}</math></b>  CEM I 42,5 R – SR5; min. 300 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,55  Aditiv reducător de apă/plastifiant și inhibitor de coroziune  Masă volumică beton (nearmat) în stare uscată 2201...2400 kg/m<sup>3</sup> (D2,4)</p> <p>Oțel-beton: B500 B  Acoperire cu beton: <math>c_{nom} = 45</math> mm</p> <p>Clasa structurală: S4  Clasa de importanță-expunere: III (construcții de tip curent)  Categoria de importanță: C (normală)</p>
---

Figura 2.1 Exemplu de notație pe planșă a unui beton cu proprietăți specificate, utilizat la fundații tip bloc cu buzunar din beton armat monolit, într-un mediu înconjurător caracterizat prin clasele de expunere XC2 + XA1 cu cerințe de impermeabilitate grad  $P_8^{10}$ . Se utilizează armături din oțel B500 B, acoperite cu un strat de beton de 45 mm. Construcția este proiectată pentru o durată de viață de 50 ani (clasa structurală S4 – conform CR 0-2012), aparține clădirilor de tip curent (clasă de importanță-expunere III – conform CR 1-1-3/2012, CR 1-1-4/2012, P100-1/2013) și este o construcție de importanță normală (C – conform HG nr. 766/1997)

Așadar, cele cinci clase ce caracterizează betonul sunt:

- clasa de rezistență la compresiune – rezultă din condiții de rezistență (mecanică) a elementelor de rezistență proiectate (caracteristică specifică betonului întărit);
- clasa de expunere – rezultă din condițiile de mediu, fizice, chimice și mecanice la care este expus elementul de rezistență (caracteristică specifică betonului întărit);
- clasa de consistență – rezultă din cerința de lucrabilitate a betonului proaspăt;

- clasa de cloruri – rezultă din cantitatea de cloruri din betonul proaspăt raportat la masa cimentului conținut;
- clasa de masă volumică – rezultă din masa specifică betonului nearmat în stare uscată.

Factorii care influențează parametrii compoziției betonului sunt sintetizați în tab. 2.1.

Tabelul 2.1 Relația dintre parametrii compoziției betonului și factorii pe baza cărora se stabilește compoziția betonului

Parametrul	Factori
Clasa de rezistență la compresiune a betonului	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tensiunea maximă în betonul din elementul proiectat</li> <li>▪ clasa de ductilitate a structurii (proiectare seismică)</li> <li>▪ clasa de expunere</li> </ul>
Clasa de expunere	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ condiții de serviciu și expunere</li> </ul>
Clasa de consistență a betonului proaspăt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ condiții de transport și punere în operă</li> <li>▪ tipul de agregat</li> <li>▪ forma și dimensiunile elementului</li> <li>▪ desimea armăturilor (distanța dintre armături și densitatea armării)</li> </ul>
Diametrul maxim de agregat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ forma și dimensiunea elementului</li> <li>▪ desimea armăturilor</li> <li>▪ condiții de preparare a betonului și transportul betonului proaspăt</li> </ul>
Conținutul maxim de cloruri	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tipul elementului (beton nearmat, armat sau precomprimat)</li> </ul>
Gradul (clasa) de impermeabilitate	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ cerințe de impermeabilitate impuse prin proiect</li> </ul>
Tipul cimentului	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ clasa de rezistență la compresiune a betonului pe faze tehnologice și finale</li> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ masivitatea elementului și dimensiunile structurii</li> <li>▪ condiții de tratament (ex. tratament termic)</li> <li>▪ reactivitatea potențială a agregatelor față de alcaliile din materialele componente</li> </ul>
Dozajul minim de ciment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ curba granulometrică pentru agregate</li> <li>▪ modul de execuție (dacă e element prefabricat sau nu)</li> <li>▪ tipul de element (ex. piloți, pereți murați)</li> <li>▪ condițiile de execuție (ex. betonare sub apă, betonare în soluție de bentonită)</li> </ul>
Raportul apă-ciment maxim	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ clasa de rezistență la compresiune a betonului</li> <li>▪ gradul de impermeabilitate</li> <li>▪ gradul de omogenitate asigurat la prepararea betonului</li> <li>▪ modul de execuție (dacă e element prefabricat sau nu)</li> </ul>
Tipul de agregat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ clasa de rezistență la compresiune a betonului</li> <li>▪ cerințe de rezistență sau aspect (ex. cromatic) impuse prin proiect</li> </ul>
Tipul de aditiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ condiții de transport și punere în operă</li> <li>▪ clasa de consistență pentru betonul proaspăt</li> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ cerințe de rezistență și durabilitate impuse prin proiect</li> <li>▪ forma și dimensiunea elementului</li> <li>▪ desimea armăturilor</li> </ul>
Masa volumică a betonului uscat	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ masa volumică a agregatelor utilizate</li> <li>▪ curba granulometrică pentru agregate utilizată</li> <li>▪ densitatea matricei de beton proaspăt</li> </ul>
Curba granulometrică pentru agregate	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ compoziția granulometrică pentru agregate utilizată la prepararea betonului</li> </ul>
Cantitatea de apă de amestecare	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ raportul apă-ciment maxim</li> <li>▪ clasa de consistență pentru betonul proaspăt</li> <li>▪ diametrul maxim de agregat utilizat</li> <li>▪ tipul și dozajul de adaosuri minerale</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tipul și dozajul de aditiv folosit</li> </ul>
Tipul de adaos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ cerințe de durabilitate impuse prin proiect</li> <li>▪ clasa de expunere</li> <li>▪ curba granulometrică pentru agregate</li> <li>▪ temperatura mediului la turnare</li> <li>▪ durata transport/punere în operă</li> </ul>

Pe bonul de livrare a betonului proaspăt eliberat de producătorul de beton, este nevoie să fie specificate datele de bază și informațiile suplimentare (după caz) cu privire la specificația betonului produs și livrat. Așadar, pe lângă informațiile de ordin administrativ (de exemplu: numele centralei de fabricare a betonului, numărul de serie a betonului, identificarea vehiculului, nume cumpărător, locația șantierului ș.a.), conform NE012/1:2022 și C155-2013, pe bonul de livrare trebuie menționate următoarele:

- pentru beton cu proprietăți specificate (de către proiectant, de exemplu):
  - clasa de rezistență;
  - clase de expunere;
  - clasa de conținut de cloruri;
  - clasa de consistență ori valoarea specificată (de către proiectant sau executant, de exemplu);
  - valorile limită de compoziție a cimentului (inclusiv conținutul de apă al agregatelor), atunci când sunt specificate (de către proiectant, de exemplu);
  - tipul și clasa de rezistență a cimentului, atunci când sunt specificate (de către proiectant, de exemplu);
  - tipul aditivilor și adaosurilor, atunci când sunt specificate (de către proiectant sau executant, de exemplu);
  - la introducerea de aditivi pe șantier, se notează în copiile bonului de livrare: cantitatea de aditiv, volumul de beton din malaxor, ora la care s-a adăugat și timpul de amestecare. Adaosul de apă la livrarea betonului proaspăt este interzis;
  - proprietăți speciale, dacă au fost cerute (de către proiectant, de exemplu);
  - dimensiunea nominală maximă a agregatelor;
  - clasa de masă volumică sau masa volumică specificată, atunci când se utilizează beton ușor sau beton greu;
  - pentru betonul ușor se vor mai nota: tipul agregatelor ușoare, rezultate ale încercărilor efectuate recent pentru acest beton ușor, evoluția rezistenței, sursa materialelor componente, masa volumică.
- pentru beton de compoziție prescrisă:
  - detalii privind compoziția, precum dozajul de ciment și tipul de aditivi;
  - la introducerea de aditivi pe șantier, se notează în copiile bonului de livrare: cantitatea de aditiv, volumul de beton din malaxor, ora la care s-a adăugat și timpul de amestecare. Adaosul de apă la livrarea betonului proaspăt este interzis;
  - raportul apă-ciment, clasa de consistență sau valoarea consistenței, în funcție de cerințe;
  - dimensiunea nominală maximă a agregatului;
  - pentru betonul ușor se vor mai nota: tipul agregatelor ușoare și masa volumică.

### 3. Betonul proaspăt

Compoziția betonului va fi stabilită astfel încât să evite fenomenele de segregare și de separare a apei din betonul proaspăt, dacă nu există prescripții contrare. În compoziția betonului, toate ingredientele trebuie dozate ca masă. Pentru a obține proprietățile mecanice specifice clasei betonul trebuie să fie compactat (ex. prin vibrare) sau autocompactat.

Se disting două feluri de segregare: segregarea determinată de tendința agregatelor mai grosiere de a se separa spre exterior (prin rostogolire la distanță mai mare pe o pantă, ori de scufundare cu mai mare ușurință decât particulele fine) și separarea pastei de ciment (ciment și apă) din amestec (apare în special în amestecurile umede). Primul tip de segregare apare cu precădere la betoanele de consistența pământului umed ori vârtoase (betoane semiuscate), iar cel de-al doilea la compoziții cu un conținut prea mare de apă.

Alți factori care influențează segregarea sunt granulația agregatelor utilizate (curba granulometrică), modul de manipulare al betonului proaspăt (ex. turnarea prin cădere de la o înălțime prea mare, transportul betonului proaspăt la distanță mare și malaxarea incorectă), vibrarea (compactarea) improprie a betonului proaspăt.

Fenomenul de separare a apei din betonul proaspăt (mustirea) constă în ridicarea la suprafața betonului a excedentului de apă. Mustirea poate avea următoarele efecte dăunătoare: producerea fisurilor de contracție, aderență diminuată a armăturii în beton, o permeabilitate crescută a betonului întărit, obținerea unor suprafețe poroase și permanent prăfoase și/sau aderență diminuată între straturile de beton turnate succesiv.

#### 3.1. Conținutul de ciment și raportul apă-ciment

Cantitatea minimă de ciment necesară în vederea asigurării durabilității este specificată în funcție de clasa de expunere a betonului (a se vedea cap. 6). Prin asigurarea cantității minime de ciment necesare se conferă betonului alcalinitatea adecvată, condiție necesară pentru protecția armăturilor împotriva coroziunii. Dozajul minim de ciment (cantitatea de ciment per  $1 \text{ m}^3$  de beton) trebuie să respecte valorile precizate în anexa F din NE 012/1:2022, asemenea și raportul maxim apă-ciment. Totuși, respectarea dozajului minim de ciment și a raportului maxim apă-ciment nu înseamnă că implicit se obține clasa minimă de beton dorită. Aceste valori reprezintă doar limitele inferioară, respectiv superioară ce nu e permis a fi depășite. După ce betonul este precizat în proiect cu proprietățile specificate (a se vedea cap. 2), în continuare este responsabilitatea producătorului de beton, ca pe baza rezultatelor încercărilor de laborator pentru fiecare compoziție și clasă de beton, să determine dozajul de ciment și raportul apă-ciment efectiv necesare pentru obținerea clasei minime de rezistență la compresiune a betonului.

Pe măsură ce cantitatea de ciment din beton este mai mare, va crește și rezistența la compresiune a betonului, ținând seama că pentru dozaje de ciment peste cca  $600 \text{ kg/m}^3$  creșterea rezistenței betonului se aplatizează, o parte din ciment nemaireacționând cu apa din amestec. Dozajul maxim de ciment tip I, SR și HI se recomandă să fie  $600 \text{ kg/m}^3$  pentru  $D_{\max} \geq 16 \text{ mm}$ , respectiv  $700 \text{ kg/m}^3$  pentru  $D_{\max} \leq 8 \text{ mm}$ . Pentru ciment tip II/A-S dozajul maxim recomandat este  $700 \text{ kg/m}^3$ . Pentru a asigura betonului o rezistență mare la compresiune și la atacuri (inclusiv la pătrunderea substanțelor agresive) (a se vedea cap. 6), raportul apă-ciment va fi cât mai mic, dar suficient pentru a se asigura o lucrabilitate corespunzătoare a betonului proaspăt. Orientativ, raportul minim apă-ciment este cca 0,15 pentru a umple porii din pasta de ciment, 0,23 pentru a asigura reacția de hidratare a cimentului și 0,30 pentru a se asigura contactul apei cu toate particulele de ciment (conform GP 115-2011).

La piloți forajați și pereți mulați, raportul maxim apă-ciment și raportul apă/(ciment + adaosuri) (raport apă-ciment echivalent) este 0,60. Conținutul minim de ciment este  $325 \text{ kg/m}^3$  atunci când betonarea se face în mediu uscat, respectiv  $375 \text{ kg/m}^3$  atunci când betonarea se face sub apă. Atunci când dimensiunea maximă de agregat este mai mică de 4 mm, este indicat ca dozajul de ciment să fie mărit. La instalarea

piloților de îndesare executați in situ, dozajul de ciment pentru betonul semiuscat turnat la instalarea piloților va fi minim  $350 \text{ kg/m}^3$ , iar clasa betonului minim C25/30. La micropiloți se prevede ca  $D_{\max} \leq 16 \text{ mm}$  și cantitatea de părți fine ( $D \leq 0,125 \text{ mm}$ , incluzând adaosurile și cimentul) de minim  $375 \text{ kg/m}^3$ . La piloții forțați și cei de îndesare executați in situ cantitatea minimă de părți fine va fi  $450 \text{ kg/m}^3$  atunci când agregatul grosier are diametru cuprins între 4 și 8 mm, respectiv va fi  $400 \text{ kg/m}^3$  pentru agregat grosier cu diametru de peste 8 mm.

Pentru pereții mulați, în SR EN 206-1+A2:2021 (D.3.2), se prevede ca atunci când se utilizează agregate cu diametru de maxim 32 mm dozajul minim de ciment să fie  $350 \text{ kg/m}^3$ , pentru  $D_{\max} = 22 \text{ mm}$  dozajul minim de ciment să fie  $380 \text{ kg/m}^3$ , iar atunci când  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$  dozajul minim de ciment să fie  $400 \text{ kg/m}^3$ . Atunci când betonul turnat în pereții mulați are agregate cu  $D_{\max} = 32 \text{ mm}$ , conținutul de nisip ( $D \leq 4 \text{ mm}$ ) va fi de minim 40% din masa totală a agregatelor și cantitatea de părți fine ( $D \leq 0,125 \text{ mm}$ , luând în calcul inclusiv cimentul și alte părți fine) în amestecul de beton cuprins între 400 și  $550 \text{ kg/m}^3$ .

La elemente prefabricate, în NE 013-2002 sunt indicate valorile maxime pentru raportul apă-ciment, valori care pot fi mai restrictive decât cele asociate claselor de expunere (subcapitolul 6.1).

Tabelul 3.1.1 Raportul A/C maxim pentru beton folosit la realizarea elementelor prefabricate din beton armat și precomprimat

Clasa betonului	Clasa cimentului		
	32,5	42,5	52,5
C16/20	0,54	0,56	-
C20/25	0,45	0,47	-
C25/30	0,44	0,45	-
C30/37	0,38	0,43	-
C35/45	-	0,40	0,45
C40/50	-	0,35	0,38
C50/60	-	0,33	0,35
C55/65	-	0,32	0,34
C60/75	-	0,30	0,32
C70/85	-	0,27	0,30
C80/95	-	-	0,28
C90/105	-	-	0,26
C100/115	-	-	0,25

Odată cu creșterea cantității de apă de preparare din beton, la un dozaj de ciment constant, rezistența la compresiune a betonului scade. Rezistența la compresiune a betonului determinată pe cuburi cu latura de 150 mm pe probe de beton uscat,  $f_{c,dry,cubes}$ , în relație cu raportul apă-ciment, **A/C**, este redată în fig.3.1.1 pentru betoane de rezistență normală și de înaltă rezistență. Relațiile de calcul a rezistenței la compresiune a betonului determinate pe cuburi în condiții de umiditate obișnuită versus rezistența la compresiune a betonului pe cuburi în stare uscată, sunt:

- pentru betoane de rezistență normală (maxim C50/60):  $f_{c,cube} = 0,92 \cdot f_{c,dry,cube}$
- pentru betoane de înaltă rezistență (peste C55/67):  $f_{c,cube} = 0,95 \cdot f_{c,dry,cube}$

Dacă betonul proaspăt livrat pe șantier este mai vârtos (în mod voit de către producătorul betonului) decât clasa de consistență prevăzută prin proiect sau de către executant, atunci se poate adăuga o cantitate de aditiv plastifiant diluat în cuva malaxoare, în proporția indicată de producătorul de aditivi și de comun acord cu stația de betoane (producătoarea betonului). După adăugarea aditivului, este obligatorie malaxarea suficientă a amestecului pentru o durată de timp indicată de laboratorul stației de betoane, dar nu mai puțin de 1 min./ $\text{m}^3$  sau de 5 min pentru o cantitate mai mică de  $5 \text{ m}^3$  (conform CP 012/1:2007, 9.8).



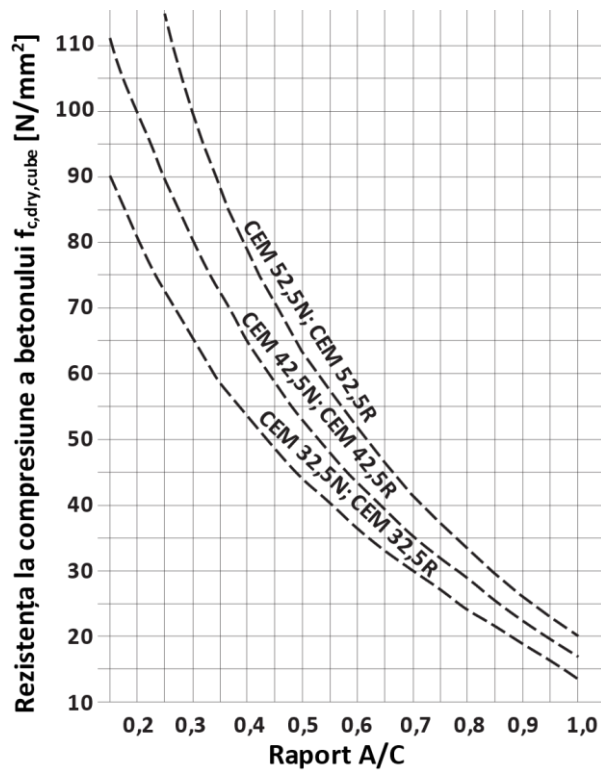


Figura 3.1.1 Variația rezistenței la compresie a betonului determinată pe cuburi cu latura de 150 mm, în stare uscată, în funcție de raportul A/C și clasa de rezistență a cimentului

Introducerea necontrolată a apei în betonul livrat pe șantier („revitalizarea” betonului proaspăt) are ca efecte creșterea necontrolată a raportului apă-ciment, scăderea rezistenței la compresie a betonului, creșterea riscului de fisurare din contracție, apariția unor probleme de durabilitate, necesitatea unor lucrări de întreținere timpurii și reducerea duratei de serviciu (fig. 3.1.2). În consecință, este interzisă adăugarea apei în betonul proaspăt în lipsa unor recomandări clar specificate în dispozițiile scrise emise de către producătorul de beton.

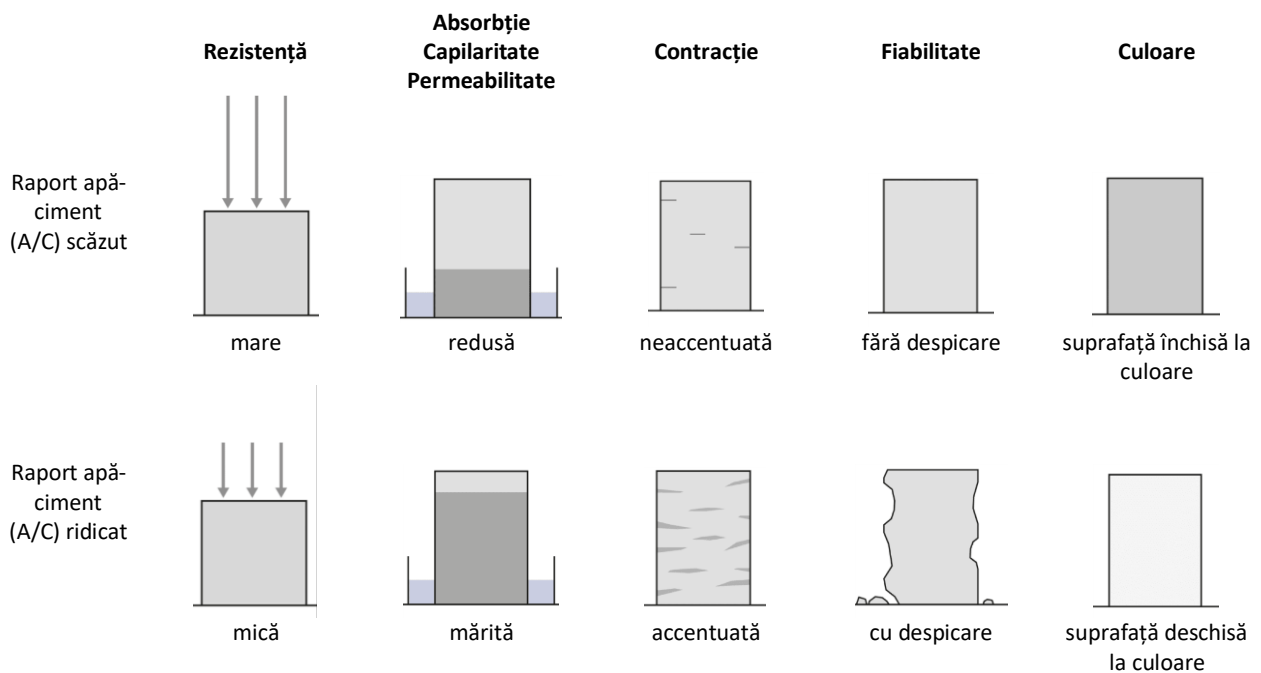


Figura 3.1.2 Influența raportului A/C asupra rezistenței la compresie, absorbției / capilarității / permeabilității, fisurării din contracție, fiabilității și culorii betonului ©HOLCIMPARTNER.CH 2021

### 3.2. Dimensiunea maximă a agregatelor

Stabilirea dimensiunii maxime nominale superioară a agregatului ( $D_{max}$ ) din beton se face ținând cont de grosimea acoperirii cu beton a armăturilor, distanța dintre armături și de dimensiunea minimă a secțiunii elementelor (tab. 3.2.1). O parte dintre aceste prevederi sunt cuprinse în NE 012/2-2022, iar altele sunt specificate de către producătorii de beton sau reies din practica de proiectare și de șantier (prevederi de bună practică).

Măsurarea dimensiunii maxime a agregatului se determină pe betonul proaspăt și nu trebuie să fie superioară celei specificate, conform SR EN 206+A2, SR EN 933-1 și SR EN 12620.

Tabelul 3.2.1 Stabilirea dimensiunii maxime a agregatelor din beton

Factorul de influență				Recomandări privind dimensiunea maximă a agregatelor, $D_{max}$		
<i>Aderența și protecția anticorozivă a armăturilor aderente</i>						
Stratul minim de acoperire cu beton al armăturilor, $c_{nom}$				$1,3 \cdot c_{nom}$		
Distanța minimă dintre barelor de armătură, $s_{s,min}$				$s_{s,min} - 5 \text{ mm}$		
<i>Dimensiunea minimă a elementului din beton, <math>b_{min}</math></i>						
Betonul subturnat foarte fluid (de tip grout)*				$b_{min} / 3$		
La betoanele subturnate și foarte fluide (de tip grout), grosimea maximă a stratului de beton nu va depăși $10 \cdot D_{max}$ .						
Betonul nearmat				$b_{min} / 3$		
Beton armat din planșee				$b_{min} / 3$		
Betonul armat și betonul precomprimat				$b_{min} / 4$		
Betonul din elementele turnate în cofraj glisant				$b_{min} / 6$		
Betonul din elementele subțiri pentru diverși recipiente				$b_{min} / 6$		
Betonul turnat sub apă				32 mm		
<i>Rostul la elementele alcătuite din bolțari sau panouri prefabricate asamblate prin precomprimare</i>						
Betonul turnat în rost cu grosime de până la 25 mm				3 mm		
Betonul turnat în rost cu grosime de peste 25 mm				7 mm		
Beton turnat în piloți foraj și pereți mulați (fundații de adâncime)				Minimul dintre (lumina dintre armături/4) și 32 mm		
Beton turnat în piloți de îndesare				Minimul dintre (lumina dintre armături/3) și 32 mm		
Beton turnat în micropiloți				Minimul dintre (lumina dintre armături/4) și 16 mm		
Beton turnat în fundații în condiții submersibile				Minimul dintre (diametrul tubului imersat și/sau diametrul tubului prin care se pompează)/6		
<i>Elemente din beton armat monolit cu cerințe de impermeabilitate (aflate sub cota terenului amenajat)</i>						
		Grosime minimă	Clasa minimă	Raport A/C maxim	<i>Lumina minimă dintre armăturile dispuse pe cele două fețe ale peretelui și dimensiunea maximă a agregatelor recomandată</i>	
Presiune hidrostatică constantă și ocazională (inclusiv acoperișuri terasă)	Perete	240	C30/37	A/C 0,55	< 120 mm	Doar prefabricat
					120 mm	8 mm
					140 mm	16 mm
		140 mm			16 mm	
		180 mm			32 mm	
		280				

	Placă	250			Fără prevederi speciale	Fără restricții speciale
Pământ umed și apă ce curge liber pe perete	Perete	200	C25/30	A/C 0,60	Fără prevederi speciale	Fără restricții speciale
	Placă	150				

Notă: Betonul pompabil va avea diametrul maxim al agregatelor cel mult 1/3 din diametrul interior al conductei.

### 3.3. Conținutul de aer

În betonul proaspăt se disting două tipuri de aer, aer oclus (introdus nepremeditat) și aer antrenat (introdus premeditat). Aerul din betonul întărit se află sub formă de pori, rezistența la compresiune a betonului fiind invers proporțională cu volumul porilor din beton.

Aerul oclus este aerul încorporat în beton sub formă de goluri de aer antrenate neintenționat, de dimensiune mai mare sau egală cu 1 mm. Cantitatea de aer oclus poate fi determinată folosind metoda gravimetrică sau metoda volumetrică cu presiune (conform SR EN 12350-7:2003).

Tabelul 3.3.1 Valori minime ale aerului antrenat funcție de dimensiunea maximă a agregatelor

Dimensiunea maximă a agregatelor (mm)	Aer antrenat (% volum) valori medii	Aer antrenat (% volum) valori individuale
8	≥ 6,0	≥ 5,5
16	≥ 5,5	≥ 5,0
22	≥ 5,0	≥ 4,5
32	≥ 4,5	≥ 4,0
63	≥ 4,0	≥ 3,5

Aerul antrenat este aerul încorporat în beton în timpul amestecării, în mod intenționat, sub forma unor bule de aer microscopice sferice cu diametru cuprins între cca 0,01 mm și 0,3 mm. Acesta se obține adăugând la compoziția betonului un aditiv antrenor de aer. Utilizarea unui aditiv antrenor de aer în mod controlat și verificat experimental, poate influența în mod pozitiv rezistența la îngheț-dezghet a betonului. În consecință, pentru betoanele aflate în clasa de expunere XF4 (tab. 6.2) este obligatorie utilizarea unui aditiv antrenor de aer, în timp ce pentru clasele de expunere XF2 și XF3 utilizarea este opțională. Totuși, o pondere prea mare a porilor capilari „deschiși” („de trecere”) va conduce la un rezultat opus, prin reducerea rezistenței la îngheț-dezghet a betonului. Valorile minime ale aerului antrenat depinde de dimensiunea maximă a agregatelor (tab. 3.3.1).

### 3.4. Conținutul de cloruri

Nu se vor utiliza clorură de calciu și aditivi pe bază de cloruri în compoziția betonului pentru elemente ce conțin armătură din oțel, armătură de precomprimare din oțel și/sau piese metalice înglobate. În vederea asigurării unei durabilități corespunzătoare structurilor din beton la acțiunea clorului conținut de agregate și de beton, în compoziția betonului se permite un conținut maxim de clor conform tab. 3.4.1.

Tabelul 3.4.1 Conținutul maxim permis de clor din agregate și din beton (conform NE 012/1)

Utilizarea betonului	Conținut maxim de cloruri al agregatelor folosite la producerea betonului	Conținut maxim de ioni de clor (Cl-) din beton raportat la masa cimentului*	Clasa de cloruri** conținute în beton
Beton care nu conține armături de oțel sau alte piese metalice înglobate (cu excepția pieselor de ridicare)	0,15%	1,00%	Cl 1,0

rezistente la coroziune)			
Beton care conține armături de oțel și/sau cu piese metalice înglobate	0,04%	0,20%	Cl 0,20
		0,40%	Cl 0,40
Beton care conține armături de precomprimare de oțel	0,02%	0,10%	Cl 0,10
		0,20%	Cl 0,20

\*Când sunt utilizate adaosuri de tip II și sunt luate în calculul conținutului de ciment, atunci conținutul de cloruri este exprimat ca procent din masa ionilor de clor față de masa de ciment + masa totală de adaosuri care au fost luate în considerare.

\*\*Pentru o utilizare specifică a betonului, clasa de utilizare este în funcție de prevederile valabile pe locul de utilizare a betonului.

### 3.5. Clasele de consistență

Lucrabilitatea betonului proaspăt este proprietatea acestuia de a asigura umplerea cofrajelor și înglobarea armăturilor, cu păstrarea omogenității. Lucrabilitatea se apreciază pe baza consistenței betonului evaluată prin metodele specifice din tab. 3.5.1. Astfel, se disting următoarele clase de consistență ale betonului proaspăt în funcție de metoda utilizată:

- clase de consistență după tasarea conului (conform SR EN 12350-2), fig. 3.5.1, utilizabile pentru  $D_{max} \leq 40$  mm;
- clase de consistență după remodelarea Vebe (conform SR EN 12350-3), fig. 3.5.2, utilizabile pentru  $D_{max} \leq 63$  mm;
- clase de consistență după indicele sau gradul de compactare (conform SR EN 12350-4), fig. 3.5.3, utilizabile pentru  $D_{max} \leq 63$  mm;
- clase de consistență după diametrul corespunzător încercării cu masă de răspândire (conform SR EN 12350-5), fig. 3.5.4, utilizabile pentru  $D_{max} \leq 63$  mm;
- clase de consistență după o altă metodă de încercări, ca urmare a unui acord între elaboratorul specificației (proiectant) și producător (stația de betoane), pentru betoane destinate unor aplicații aparte (de exemplu: beton vacuumat, betoane de consistența „pământului umed” care au un conținut redus de apă, betoane semiuscate pentru elemente din beton extrudat (de exemplu: fâșii cu goluri), betoane foarte fluide pompabile la înălțimi de sute de metri (600 m – turnul Buraj Khalifa (2010), 450 m – turnul Taipei (2004)) și păstrându-și omogenitatea, betoane turnate sub apă (unele fundații de suprafață sau de adâncime), betoane pentru lucrări de subturnare (de exemplu: subzidirii, betonări sub plăci de bază), betoane turnate în soluție de bentonită (de exemplu: piloți forajii).

**Metoda tasării conului** constă în utilizarea unui trunchi de con cu înălțimea de 300 mm, baza mare cu diametrul de 200 mm și baza mică cu diametrul de 100 mm (fig. 3.5.1). Trunchiul de con se așază cu baza mare în jos pe o suprafață netedă, plană și impermeabilă, apoi se umple cu beton proaspăt în trei straturi. Fiecare strat se bate de 25 de ori cu o bară de oțel lungă de 600 mm și cu diametrul de 16 mm, rotunjită la capăt, iar la final suprafața superioară se nivelează în dreptul cotei buzei superioare a trunchiului de con. Imediat după umplere trunchiul de con se ridică lent și continuu (între 2 și 5 secunde), iar betonul nemaifiind susținut se va tasa. Se măsoară diferența de înălțime între betonul susținut și cel lăsat liber, diferența numindu-se tasare.

**Metoda remodelării Vebe** se efectuează cu ajutorul aparatului (viscozimetruului) Vebe. Acest aparat constă într-o masă vibrantă pe care se află un vas cilindric înalt de 200 mm și cu diametrul de 240 mm. În interiorul vasului cilindric se așază un trunchi de con înalt de 300 mm, având diametrul bazei mari de 200 mm și al bazei mici de 100 mm (fig. 3.5.2). O tijă metalică fixă cu două brațe este atașată aparatului, un braț având la capăt o greutate, iar celălalt un disc transparent. Procedura de testare constă în umplerea trunchiului de con cu beton proaspăt, idem metodei tasării conului, iar după ce trunchiul de con este

umplut cu beton se așază în cilindrul de pe masa vibrantă. Ulterior, trunchiul de con este ridicat lent și continuu (între 2 și 5 secunde), după ce trunchiul de con se îndepărtează se rotește brațul cu discul transparent astfel încât să acopere cilindrul și se fixează. Compactarea se realizează prin vibrație, deformarea considerându-se completă atunci când discul cu care se presează proba de beton proaspăt a acoperit betonul și toate cavitățile de la suprafața betonului au dispărut. Aprecierea se face prin observare vizuală, alegerea punctului final al testului fiind o posibilă sursă de erori. Timpul necesar compactării se exprimă în secunde Vebe și reprezintă timpul necesar reformării complete a conului de beton.

**Metoda cu grad de compactare** (metoda Walz) a fost elaborată de Walz în anii '60 în Germania. Metoda constă în utilizarea unui vas standard (o prismă dreptunghiulară de înălțime 400 mm cu baza un pătrat de latură 200 mm) care se umple cu betonul proaspăt până deasupra buzei vasului (fig. 3.5.3). Apoi, cu o riglă se îndepărtează excesul de material și se vibrează betonul din vas până când volumul de beton atinge compactarea maximă. Gradul de compactare reprezintă raportul dintre înălțimea volumului de beton înainte și după compactare.

**Metoda cu masă de răspândire** constă în măsurarea răspândirii unei grămezi de beton proaspăt supus vibrației. Aparatul constă dintr-o masă de formă pătrată cu latura de minim 700 mm, cântărind cca 24 kg, având suprafața plană, netedă și impermeabilă și montată astfel încât să poată fi supusă unui șoc prin cădere pe verticală, pe o înălțime de maxim 40 mm. Un trunchi de con cu înălțimea de 200 mm și diametrele bazelor de 200 mm, respectiv 130 mm, este plasat în centrul mesei (fig. 3.5.4). Acesta se umple cu beton în două straturi compactate fiecare prin 10 bătăi cu ajutorul unui mai de lemn (40 x 40 x 490 mm). După 30 de secunde de la finalizarea umplerii, se scoate forma continuu (între 1 și 3 secunde) și masa este supusă unei scuturări prin cădere, de 15 ori în 15 secunde. În urma scuturărilor betonul se împrăștie pe masă și se măsoară diametrul maxim și minim al suprafeței de împrăștiere a betonului. Împrăștiere betonului reprezintă media aritmetică dintre diametrul maxim și minim al suprafeței de împrăștiere.

Tabelul 3.5.1 Clase de consistență

Metoda	Clasa	Caracteristici	Consistența	Pompabil	Tipul de elemente
Tasare	S1	Tasare între 10 și 40 mm	Vârtos	Nu	(1) Fundații din beton simplu sau slab armat, elemente masive.
	S2	de la 50 la 90 mm	Moale		(2) Fundații din beton armat, stâlpi, grinzi, pereți structurali, având armături rare și procente mici de armare.
	S3	de la 100 la 150 mm	Foarte moale	Da	(3) Elemente din beton armat având procente de armare medii, fără aglomerări de armături și care permit compactarea corespunzătoare a betonului (de ex. majoritatea elementelor din beton armat), beton turnat sub apă, beton turnat în uscat pentru fundații de adâncime (ex. piloți forajați).
	S4	de la 160 la 210 mm	Fluid		(4) Elemente sau monolitizări cu armături dese sau cu dificultăți de compactare, precum și elemente zvelte (de ex. elemente prefabricate de acoperiș, alte elemente filigrane, monolitizarea stâlpilor prefabricați în pahare ș.a.), beton turnat sub apă folosind tub etanș (ex. piloți forajați, alte fundații de adâncime).
	S5	peste 220 mm	Foarte fluid		(5) Elemente din beton a căror realizare necesită o tehnologie de execuție cu betoane foarte fluide (de ex. subturnări în spații înguste,

					injectări), beton turnat sub fluid de foraj (ex. piloți foraj și alte fundații de adâncime turnat sub soluție de bentonită).
Vebe	V0	Vebe mai mare de 31 s	Extrem de uscat (pământ umed)	Nu	-
	V1	între 30 și 21 s	Foarte vârtos (mai ud decât pământul umed)		-
	V2	între 20 și 11 s	Vârtos		-
	V3	între 10 și 6 s	Vârtos-Plastic		(1)
	V4	între 5 și 3 s	Plastic-Semifluid		(2)
Compactare	C0	Indice de compactare peste 1,46	Foarte vârtos	Nu	-
	C1	între 1,45 și 1,26	Vârtos		(1)
	C2	între 1,25 și 1,11	Plastic		(1)
	C3	între 1,10 și 1,04	Moale		(2)
	C4	sub 1,04 (doar la betoane ușoare)	-	Da	(3)
Răspândire	F1	Diametrul răspândirii sub 340 mm	Vârtos	Nu	(1)
	F2	între 350 și 410 mm	Plastic		(1)
	F3	între 420 și 480 mm	Moale		(2)
	F4	între 490 și 550 mm	Foarte moale	Da	(3)
	F5	între 560 și 630 mm	Fluid		(4)
	F6	peste 640 mm (peste 700 mm se aplică prevederile de la betoane autocompactante)	Foarte fluid		(5)

Cele mai des utilizate metode sunt metoda tasării conului și metoda răspândirii, acestea fiind adecvate pentru betoanele cu o lucrabilitate medie și mare. Pentru betoane foarte vârtose (cu lucrabilitate redusă) se recomandă utilizarea metodei compactării sau a metodei Vebe.

În general, între cele patru metode specifice de evaluare a consistenței betonului proaspăt nu există o corelare, în consecință consistența betonului necesară punerii în operă trebuie stabilită de la caz la caz, în funcție de metoda utilizată.



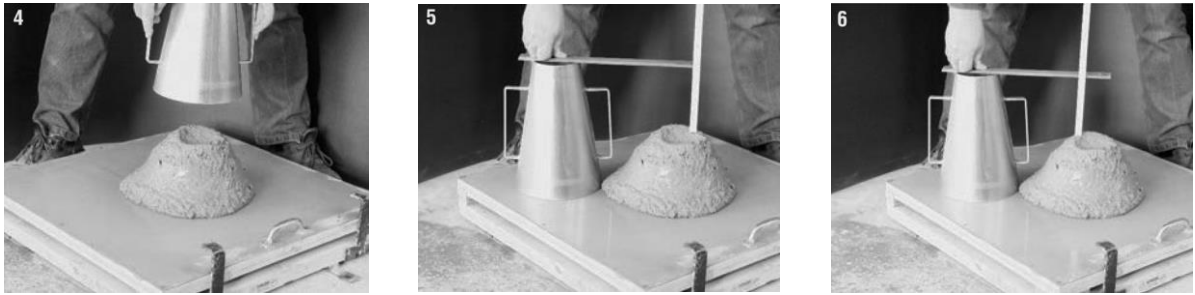


Fig. 3.5.1 Determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda tasării ©Putzmeister 2011

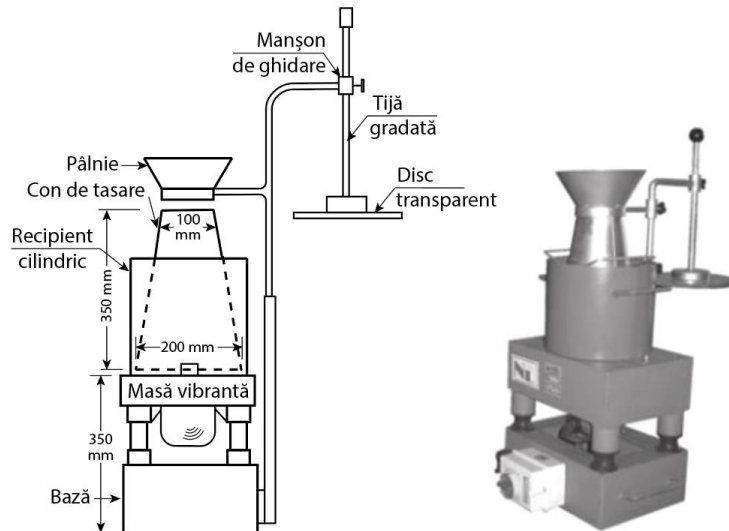


Fig. 3.5.2 Schema viscozimetruului Vee-Bee utilizat la determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda vebe

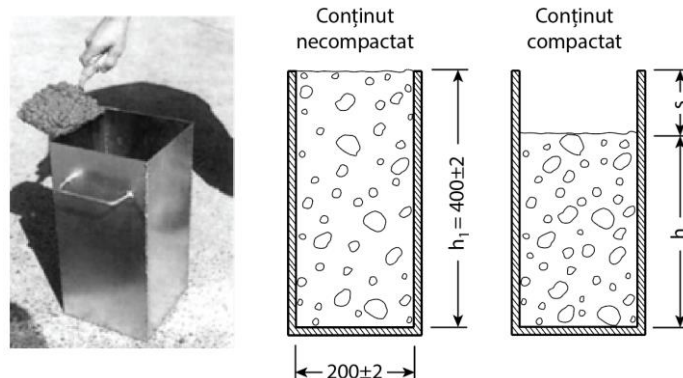


Fig. 3.5.3 Schema dispozitivului utilizat la determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda cu grad de compactare ©Betonmarketing 2013

Turnarea betonului, după consistență, se poate face astfel:

- prin cădere liberă (direct din cuvă agitatoare, din autoagitator sau camion automalaxor): beton de consistență minim vârtos;
- din bunker sau benă: beton de consistență minim moale;
- prin tuburi sau cu pompa: beton de consistență minim foarte moale.

Factorii care influențează consistența betonului sunt:

- dozajul de ciment (cap. 5.1.7)
- curba granulometrică pentru agregatele utilizate (cap. 5.2)
- raportul apă-ciment (cap. 3.1) și cantitatea de apă utilizată (cap. 5.3)
- aditivii utilizați (cap. 5.4)
- adaosurile utilizate (cap. 5.5)

Diametre uzuale pentru furtunul pompei de beton sunt 51/69, 65/89, 76/105, 100/130, 125/155, 152/184 mm (diametru interior/diametru exterior).

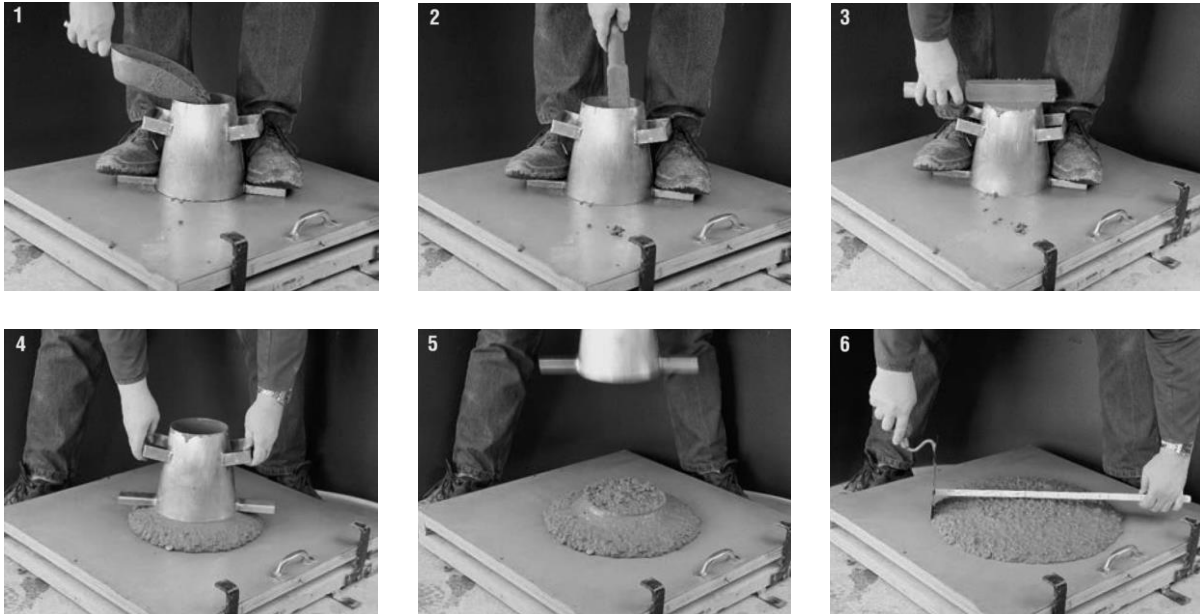


Fig. 3.5.4 Determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda răspândirii ©Putzmeister 2011

### 3.6. Temperatura betonului

Temperatura betonului proaspăt în momentul livrării trebuie să fie:

- a)  $\geq +5$  °C, dacă temperatura aerului ambiant este mai mare de +5 °C;
- b)  $\geq +5$  °C, dacă temperatura aerului ambiant este între +5 °C și -3 °C, iar dozajul de ciment este minim 240 kg/m<sup>3</sup> și nu s-a folosit ciment cu căldură de hidratare redusă (de ex. CEM II A-V 42,5R);
- c)  $\geq +10$  °C și maxim 20 °C, dacă temperatura aerului ambiant este între +5 °C și -3 °C, iar dozajul de ciment este sub 240 kg/m<sup>3</sup> sau s-a folosit ciment cu căldură de hidratare redusă (de ex. CEM III A 42,5N-LH);
- d)  $\geq +10$  °C și maxim 20 °C, dacă temperatura aerului ambiant este între -10 °C și -3 °C. Elementul de beton va fi menținut cald la o temperatură de minim +10 °C timp de cel puțin 3 zile de la turnarea betonului. În acest caz, sunt obligatorii măsurile corespunzătoare de turnare pe timp friguros prin protejarea betonului împotriva înghețului. Se recomandă și utilizarea cimenturilor cu degajarea mare de căldură (de ex. CEM I 42,5R) și/sau aditivi acceleratori de întărire și anti-îngheț;
- e)  $\leq +25$  °C, pentru betoane masive la structuri de rezistență și la construcții hidrotehnice;
- f)  $\leq +30$  °C, indiferent de temperatura aerului ambiant. În caz contrar se iau măsuri speciale pentru asigurarea păstrării calității betonului întărit, precum utilizarea unor aditivi întârzieți de priză.

Pe timp călduros se recomandă turnarea betonului seara și noaptea, iar pe timp friguros în miezul zilei. La temperaturi ale aerului ambiant sub -10 °C nu se recomandă turnarea betonului.

Atunci când este necesară creșterea temperaturii betonului proaspăt, aceasta se poate face prin încălzirea apei la temperaturi cuprinse între +60 °C și +80 °C și încălzirea agregatelor (fig. 3.6.1).



Dacă este necesară scăderea temperaturii betonului proaspăt, agregatele pot fi prerăcite cu apă, ținând cont de apa conținută de agregatele proaspăt spălate și scăzând-o din cantitatea totală necesară de apă pentru compoziția betonului.

**Determinarea temperaturii betonului proaspăt.** Pe baza temperaturii ingredientelor betonului (ciment, agregate, apă) se poate afla temperatura betonului proaspăt folosind graficul din fig. 3.6.1, unde temperatura cimentului este considerată egală cu +5 °C. Pentru alte temperaturi ale cimentului este necesară corectarea valorii temperaturii betonului proaspăt astfel: o creștere a temperaturii cimentului cu 10 °C va cauza o creștere a temperaturii betonului proaspăt cu aproximativ 1 °C.

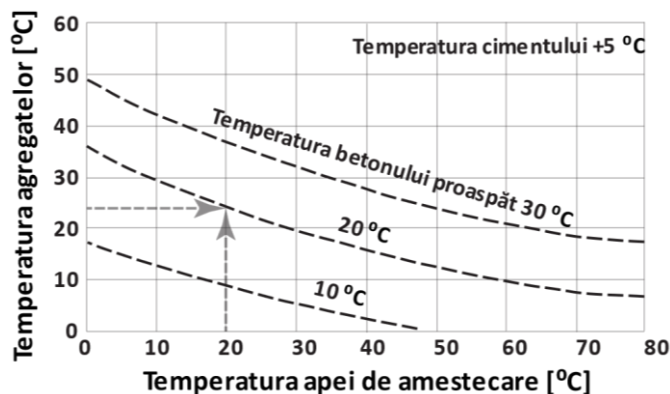


Fig. 3.6.1 Determinarea temperaturii betonului proaspăt

Exemplul 1. Să se determine temperatura betonului proaspăt folosind graficul din fig. 3.6.1 și cunoscând:

- temperatura agregatelor,  $T_{\text{agreg}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- temperatura apei de amestec,  $T_{\text{apă}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- temperatura cimentului,  $T_{\text{cem}} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$

*Rezolvare:*

Temperatura betonului proaspăt (citită de pe grafic),  $T_{\text{beton}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Corectarea temperaturii betonului în corelație cu temperatura cimentului,  $T_{\text{cor}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura corectată a betonului proaspăt,  $T_{\text{beton,cor}} = 20 + 6 = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura betonului proaspăt poate fi determinată și utilizând ecuația de mai jos:

$$T_{\text{beton}} = \frac{0,84 \cdot (g_{\text{cem}} \cdot T_{\text{cem}} + g_{\text{adaos}} \cdot T_{\text{adaos}} + g_{\text{agreg}} \cdot T_{\text{agreg}}) + 4,20 \cdot g_{\text{apă}} \cdot T_{\text{apă}}}{0,84 \cdot (g_{\text{cem}} + g_{\text{adaos}} + g_{\text{agreg}}) + 4,20 \cdot g_{\text{apă}}}$$

unde

- $T_{\text{beton}}$ ,  $T_{\text{cem}}$ ,  $T_{\text{adaos}}$ ,  $T_{\text{agreg}}$ ,  $T_{\text{apă}}$  – temperatura betonului proaspăt, a cimentului, a adaosurilor (din beton), a agregatelor și a apei [°C]
- $g_{\text{cem}}$ ,  $g_{\text{adaos}}$ ,  $g_{\text{agreg}}$ ,  $g_{\text{apă}}$  – dozajul de ciment, adaosuri (din beton), agregate și apă dintr-un metru cub de beton [kg/m<sup>3</sup>]
- $c = 0,84$  – capacitatea termică specifică a cimentului, a adaosurilor și a agregatelor [kJ/(kg·°C)]
- $c_{\text{apă}} = 4,20$  – capacitatea termică specifică a apei [kJ/(kg·°C)]

Exemplul 2. Calculați temperatura betonului proaspăt cunoscând:

- temperatura agregatelor,  $T_{\text{agreg}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- temperatura apei de amestec,  $T_{\text{apă}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- temperatura cimentului,  $T_{cem} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$
- dozajul de ciment per metru cub de beton,  $g_{cem} = 300 \text{ kg/m}^3$
- dozajul de agregate per metru cub de beton,  $g_{agreg} = 1900 \text{ kg/m}^3$
- dozajul de apă per metru cub de beton,  $g_{apă} = 175 \text{ kg/m}^3$

Rezolvare:

$$T_{beton} = \frac{0,84 \cdot (300 \cdot 65 + 0 + 1900 \cdot 23) + 4,20 \cdot 175 \cdot 20}{0,84 \cdot (300 + 0 + 1900) + 4,20 \cdot 175} \approx 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### Regulă empirică:

Pentru modificarea temperaturii betonului (cu masă volumică normală) proaspăt cu  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , având în compoziția sa ciment cca  $300 \text{ kg/m}^3$ , agregate cca  $1900 \text{ kg/m}^3$  și apă cca  $170 \text{ kg/m}^3$ , atunci se poate proceda astfel:

- să se modifice temperatura cimentului cu cca  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- sau să se modifice temperatura apei de amestec cu cca  $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- sau să se modifice temperatura agregatelor cu cca  $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Temperatura optimă de întărire a betonului este între  $+15$  și  $+25^\circ\text{C}$ , viteza de evoluție a rezistenței mecanice scăzând odată cu scăderea temperaturii mediului ambiant. Evoluția scăderii rezistenței mecanice a betonului ce are în compoziția sa cimenturi cu adaos (CEM II, CEM III) concomitent cu scăderea temperaturii este mai pronunțată decât atunci când sunt utilizate cimenturi fără adaos (CEM I). După temperatură, al doilea factor important pentru întărirea betonului, ce caracterizează mediul ambiant, este umiditatea. Menținerea unei umidități cât mai ridicate pe perioada de întărire are un efect benefic asupra rezistenței mecanice, reducerii fisurării și creșterii durabilității betonului. În condiții de umiditate ridicată sunt favorizate reacțiile de hidratare-hidroliză specifice cimentului, este redus riscul fisurilor de contracție plastică (în perioada inițială matricea de ciment are o rezistență insuficientă pentru preluarea tensiunilor de întindere) și este stimulată reacția puzzolanică care produce blocarea porilor capilari cu noi produși de reacție (crescând astfel durabilitatea betonului). Atunci când condițiile de mediu nu sunt cele optime, controlul temperaturii și al umidității mediului ambiant în care se află elementul din beton imediat după turnare, se realizează prin măsuri specifice de tratare în conformitate cu NE 012/1-2022, NE 012/2-2022, PE 713 și C16/1985.

La turnarea în cofraje glisante (conform NE 012/2/2010), temperatura betonului proaspăt este prevăzută în funcție de dimensiunea minimă a secțiunii elementului ( $b_{min}$ ), astfel:

- minim  $10^\circ\text{C}$  și maxim  $30^\circ\text{C}$  dacă  $b_{min} < 0,3 \text{ m}$ ;
- minim  $5^\circ\text{C}$  și maxim  $30^\circ\text{C}$  dacă  $0,3 \text{ m} \leq b_{min} < 1,0 \text{ m}$ ;
- minim  $5^\circ\text{C}$  și maxim  $25^\circ\text{C}$  dacă  $1,0 \text{ m} \leq b_{min} \leq 2,0 \text{ m}$ ;
- minim  $5^\circ\text{C}$  și maxim  $20^\circ\text{C}$  dacă  $b_{min} > 2,0 \text{ m}$ .

**Determinarea temperaturii betonului întărit.** Timpul necesar până la atingerea temperaturii maxime în miezul unui element de construcție din beton poate fi estimat, după cum urmează:

- dacă  $b \leq 3,5 \text{ m}$ :  $t_{max} \approx b + 0,5$  [zile];
- dacă  $b > 3,5 \text{ m}$ :  $t_{max} \approx b + 1,0$  [zile];

unde:

- $b$  – grosimea elementului de construcție exprimată în metri;
- $t_{max}$  – timpul până la atingerea temperaturii maxime în miezul elementului de construcție din beton.

Evoluția temperaturii în miezul unei element de construcție poate fi calculată aproximativ, astfel:

$$T_{max} \approx T_{beton} + \Delta T_{miez,H} \text{ } [^\circ\text{C}]$$

unde:

- $T_{max}$  – temperatura maximă în miezul elementului de construcție [°C];
- $T_{beton}$  – temperatura betonului proaspăt [°C];
- $\Delta T_{miez,H}$  – creșterea de temperatură în miez [°C].

Creșterea de temperatură în miez cauzată de căldura de hidratare poate fi estimată folosind următoarea ecuație:

$$\Delta T_{miez,H} \approx \frac{g_{cem} \cdot H_{cem}(t)}{Q_{beton}} \quad [^{\circ}C]$$

unde:

- $H_{cem}(t)$  – căldura de hidratare a cimentului după  $t$  zile [kJ/kg];
- $Q_{beton}$  – capacitatea termică/(m<sup>3</sup> beton):

$$Q_{beton} \approx c \cdot (g_{cem} + g_{adaos} + g_{agreg}) + c_{ap\acute{a}} \cdot g_{ap\acute{a}} \quad [kJ/(m^3 \cdot ^{\circ}C)]$$

- $g_{cem}$ ,  $g_{adaos}$ ,  $g_{agreg}$ ,  $g_{ap\acute{a}}$  – dozajul de ciment, adaosuri (din beton), agregate și a apă dintr-un metru cub de beton [kg/m<sup>3</sup>];
- $c = 0,84$  – capacitatea termică specifică a cimentului, a adaosurilor și a agregatelor [kJ/(kg·°C)];
- $c_{ap\acute{a}} = 4,20$  – capacitatea termică specifică a apei [kJ/(kg·°C)].

Cimenturile cu căldură de hidratare redusă, LH (low heat), vor avea maxim 270 J/g valoarea căldurii de hidratare determinată la 7 zile (conform SR EN 196-8), respectiv la 41 ore (conform SR EN 196-9), fiind trecută în fișa tehnică a produsului. Exemple de astfel de cimente sunt CEM II A-S LH, CEM II B-M (S-V) LH și CEM III/A LH. Există și cimente speciale având o căldură de hidratare foarte redusă, notate cu VLH (very low heat), având în compoziția lor o cantitate mică de clincher (ex. CEM III/B VLH, CEM III/C VLH, CEM IV/A VLH, CEM IV/B VLH, CEM V/A VLH și CEM V/B VLH). Valori de referință pentru căldura de hidratare a cimenturilor în funcție de timp pot fi găsite în tab. 3.6.1 și pe graficul din fig. 3.6.2.

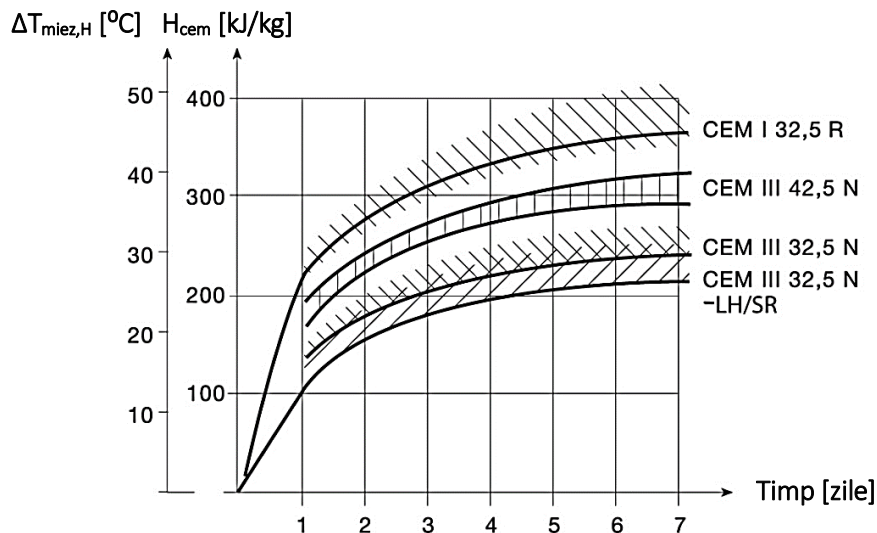


Fig. 3.6.2 Evoluția în timp a căldurii de hidratare a cimentului, exemplificată pentru diferite tipuri de ciment, considerând un dozaj de ciment de 300 kg/(m<sup>3</sup> beton) ©Beton.wiki 2021

Tabelul 3.6.1 Căldura de hidratare a cimentului, stabilită folosind calorimetrul (conform SR EN 196-8), depozitat într-o boxă izotermă la temperatura de 20 °C

Clasa de rezistență a cimentului	Căldura de hidratare $H_{cem,00}$ [kJ/kg] după ... zile				Căldura de hidratare $H_{cem,00}$ [kJ/kg]	
	1	3	7	28	CEM I și CEM II	CEM III
32,5N	60 ... 175	125 ... 250	150 ... 300	200 ... 375	375 ... 525	355 ... 440
32,5R și 42,5N	125 ... 200	200 ... 335	275 ... 375	300 ... 425		
42,5R; 52,5N și 52,5 R	200 ... 275	300 ... 350	325 ... 375	375 ... 425		

Exemplul 3. Să se determine temperatura betonului întărit în miezul elementului de construcție din beton,  $T_{max}$ , după 3 zile, cunoscând:

- grosimea elementului de construcție exprimată în metri,  $b = 2,0$  m
- temperatura betonului proaspăt,  $T_{beton} = 20$  °C
- tipul cimentului CEM III/B 32,5N LH/SR
- dozajul de ciment per metru cub de beton,  $g_{cem} = 300$  kg/m<sup>3</sup>
- dozajul de agregate per metru cub de beton,  $g_{agreg} = 1900$  kg/m<sup>3</sup>
- dozajul de apă per metru cub de beton,  $g_{apă} = 150$  kg/m<sup>3</sup>

Rezolvare:

1. Timpul până la atingerea temperaturii maxime în miezul elementului de construcție din beton:

$$t_{max} \approx 2,0 + 0,5 = 2,5 \text{ zile} \approx 3 \text{ zile}$$

2. Temperatura de hidratare a cimentului după 3 zile:

$$H_{cem}(3) = 188 \text{ kJ/kg}$$

3. Capacitatea termică/(m<sup>3</sup> beton):

$$Q_{beton} \approx 0,84 \cdot (300 + 0 + 1900) + 4,2 \cdot 150 = 2478 \text{ kJ}/(m^3 \cdot ^\circ C)$$

4. Creșterea de temperatură în miezul de beton:

$$\Delta T_{miez,H} \approx \frac{300 \cdot 188}{2478} = 22,8 \text{ }^\circ C \approx 23 \text{ }^\circ C$$

5. Temperatura în miezul de beton calculată:

$$T_{max} \approx 20 + 23 = 43 \text{ }^\circ C$$

6. Temperatura la suprafața betonului după 3 zile:

#### Regulă empirică:

Pentru a preveni fisurarea din contracție termică, diferența de temperatură dintre suprafața betonului și miezul elementului nu trebuie să fie mai mare de 15 °C.

Aceasta înseamnă că temperatura suprafeței în a 3-a zi trebuie să fie  $\geq 28$  °C (= 43 - 15). Acest lucru poate fi realizat, de exemplu, prin acoperirea cu prelate termoizolante.

Despre fisurarea elementelor din beton ca urmare a contracției timpurii (chimică, autogenă, tasare, plastică, la uscare) și a contracției de durată (la uscare, autogenă, termică, carbonatate) se poate consulta ghidul de proiectare pentru controlul fisurării elementelor din beton, GP 115-2011.

## 4. Betonul întărit

### 4.1. Clasele de rezistență

Clasa de rezistență a betonului reprezintă valoarea caracteristică (cu fractilul de 5%) a rezistenței la compresiune a betonului determinată pe cilindru ( $f_{ck}$ ), respectiv pe cub ( $f_{ck,cube}$ ), exprimată în MPa și măsurată la vârsta de 28 de zile. Valoarea la compresiune se calculează conform prevederilor din SR EN 1992-1-1:2004 (3.1.2) și SR EN 206+A2:2021 (4.3), cilindrii având 150 mm diametru și 300 mm înălțime, iar cuburile 150 mm latura. Clasele de rezistență la compresiune pentru betoane de masă volumică normală și betoane grele sunt redată în tab. 4.1.1, cerințele pentru betonul din elemente prefabricate în tab. 4.1.2, iar în tab. 4.1.3 sunt valorile modulului de elasticitate secant ( $E_{cm}$ ) pentru beton cu diferite tipuri de agregate, determinat la vârsta de 28 de zile.

Tabelul 4.1.1 Clase de rezistență la compresiune pentru beton

	Clasa de rezistență la compresiune	Rezistența caracteristică minimă pe cilindri, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Rezistența caracteristică minimă pe cuburi, $f_{ck,cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Beton nearmat	Beton armat	Beton precomprimat cu armătură		Structuri care preiau solicitări seismice		
						post-întinsă	pre-întinsă	DCL	DCM	DCH
Betoane de rezistență normală	C8/12	8	12							
	C12/15	12	15							
	C16/20	16	20							
	C20/25	20	25							
	C25/30	25	30							
	C30/37	30	37							
	C35/45	35	45							
	C40/50	40	50							
	C45/55	45	55							
	C50/60	50	60							
Beton de înaltă rezistență	C55/67	55	67					Conform „Ghid pentru proiectarea structurilor din beton de înaltă rezistență în zone seismice”, GP 124-2013.		
	C60/75	60	70							
	C70/85	70	85							
	C80/95	80	95							
	C90/105	90	105							

O categorie distinctă sunt **betoanele hidrotehnice** (conform PE 713). Elementele din beton pot fi permanent sub apă (cu clasele de expunere XC1, XD2, XA, XM), periodic în contact cu apa în zonele de variație a nivelului apei (XC2, XC4, XD4, XF1, XF3, XA, XM) sau deasupra zonei de variație a nivelului apei (X0, XC1, XC3, XD1, XF1, XF3, XA, XM). Clasele de rezistență la compresiune pentru betonul hidrotehnic sunt CH 7,5, CH 10, CH 15, CH 20, CH 22,5, CH 27,5, CH 30, CH 35 și CH 40. „CH” denotă clasa de rezistență la compresiune a betonului hidrotehnic la vârsta de 90 zile, iar numărul denotă valoare rezistenței la compresiune exprimată în MPa, determinată pe cuburi cu latura de 150 mm, cu fractilul de 5%, în conformitate cu STAS 6102-86. Principalele caracteristici ale betoanelor hidrotehnice sunt: rezistența mecanică (compresiune și întindere), rezistența la îngheț-dezghet (grade de gelivitate a betonului: G50, G100 și G150), impermeabilitatea (grade/clase de impermeabilitate: P4, P6, P8, P12 sau P16), degajarea de

căldură la întărirea betonului în elemente masive, omogenitatea betonului, rezistența la acțiunea agresivă a apei și reacția dintre alcaliile din ciment și agregate.

O a treia categorie sunt **betoanele rutiere** (conform NE 014-2002). Acestea sunt utilizate pentru realizarea îmbrăcăminților din beton de ciment și sunt clasificate după clasa de rezistență la încovoiere, principala caracteristică mecanică a acestor betoane. Valoarea rezistenței caracteristice la încovoiere este determinată pe epruvete prismatice (150 x 150 x 600 mm) de beton, la vârsta de 28 de zile, cu fractilul de 5%. Clasele de beton rutier sunt BcR 5,0, BcR 4,5, BcR 4,0 și BcR 3,5. Pe planșe și în documentele ce însoțesc proiectul se notează clasa betonului și numărul standardului SR 183-1:1995 sau SR 183-2:1998. De exemplu, notarea unui beton cu rezistența caracteristică la încovoiere 4,5 N/mm<sup>2</sup> executat în sistem cu cofraje va fi: *BcR 4,5 conform SR 183-1:1995*. Din codul NE 012/1-2022 se aplică doar acele prevederi care nu contravin normativului NE 014-2002. Curbele privind limitele de granulozitate ale agregatelor sunt specificate în NE 014-2002, făcându-se o distincție între betonul turnat în cofraje fixe și cel turnat în cofraje glisante.

**Clasa de rezistență a betonului** se stabilește pe baza **proiectării structurale și asigurării durabilității structurii**.

În anumite cazuri, este necesară stabilirea rezistenței la compresiune înainte sau după 28 zile (precum diferite faze tehnologice: decofrare, aplicare forță de precomprimare, manipulare element prefabricat ș.a.). Atunci, rezistența la compresiune se poate estima ca fiind:

$t > 28 \text{ zile}$	$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ MPa}$ $f_{cm}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f_{c,i}(t)$	conform SR EN 1992-1-1	$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}(t)}{\gamma_c}$
$t = 28 \text{ zile}$	$f_{ck} = f_{cm} - 8 \text{ MPa}$ $f_{cm} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f_{c,i}$	conform SR EN 1992-1-1	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$
$3 < t < 28 \text{ zile}$	$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ MPa}$ $f_{cm}(t) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n f_{c,i}(t)$ sau estimată ca: $f_{cm}(t) = e^{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0,5}\right]} \cdot f_{cm}$	conform SR EN 1992-1-1	$f_{cd}(t) = \frac{f_{ck}(t)}{\gamma_c}$
$t \leq 72 \text{ ore}$	prin determinări (aplicabil mai ales betoanelor cu rezistențe inițiale mari)	conform SR EN 1992-1-1	$f_{cd}(t) = \frac{f_{ck}(t)}{\gamma_c}$

unde

$f_{cm}$  este rezistența medie la compresiune a betonului pe cilindru la vârsta de 28 zile

$f_{cm}(t)$  este rezistența medie la compresiune a betonului determinată pe cilindru la vârsta de  $t$  zile

$f_{c,i}$  rezistența la compresiune determinată pe cilindrul „i”

$f_{cm,cube}$  este rezistența medie la compresiune a betonului determinată pe cub la vârsta de 28 zile

$s$  este un coeficient care depinde de tipul cimentului, astfel:

Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

$s = 0,20$  pentru CEM 42,5R, CEM 52,5N și CEM 52,5R (clasa R de întărire)

$s = 0,25$  pentru CEM 32,5R, CEM 42,5N (clasa N de întărire)

$s = 0,38$  pentru CEM 32,5N (clasa S de întărire)

$f_{ck}$  este rezistența la compresiune a betonului pe cilindru la vârsta de 28 zile, cu valoare caracteristică

$f_{ck}(t)$  este rezistența la compresiune a betonului pe cilindru la vârsta de  $t$  zile, , cu valoare caracteristică

$f_{cd}$  este rezistența la compresiune a betonului pe cilindru la vârsta de 28 zile, cu valoare de calcul

$f_{cd}(t)$  este rezistența la compresiune a betonului pe cilindru la vârsta de  $t$  zile, cu valoare de calcul

Tabelul 4.1.2 Cerințe privind clasa de rezistență minimă la compresiune pe faze tehnologice, respectiv gradul (clasa) de impermeabilitate minim la încercările preliminare ale betoanelor în elemente prefabricate, conform NE 013-2002

Clasa de rezistență la compresiune	Rezistența caracteristică minimă pe cilindri/cub, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )				Gradul (Clasa) de impermeabilitate minim necesar
	la vârsta de 28 de zile	la decofrare elemente de beton armat	la livrare elemente de beton armat	la transferul forței de pretensionare asupra betonului și armăturii nepretensionate ale elementului	
C16/20	16/20	12/13	14,5/18,5	-	P <sub>4</sub> <sup>10</sup>
C20/25	20/25	14/16,5	18,5/23	-	
C25/30	25/30	17,5/20	23/28	23,5/28	P <sub>8</sub> <sup>10</sup>
C30/37	30/37	20/23,5	28,5/35	27,5/33,5	
C35/45	35/45	22,5/27,5	31,5/40,5	30/38,5	P <sub>12</sub> <sup>10</sup>
C40/50	40/50	25/30	35/43,5	34/42	
C45/55	45/55	27,5/32,5	38,5/47	37,5/45,5	≥ P <sub>12</sub> <sup>10</sup>
C50/60	50/60	30/35	42/51,5	41,5/50	
C55/67	55/67	32,5/38,5	45,5/55,5	45/54,5	≥ P <sub>16</sub> <sup>10</sup>
C60/75	60/75	35/42,5	50/61	49/61	
C70/85	70/85	40/47,5	56/68,5	57/69	≥ P <sub>16</sub> <sup>10</sup>
C80/95	80/95	45/52,5	64/75,7	65/77	
C90/105	90/105	50/57,5	71/83	73,5/85,5	

Tabelul 4.1.3 Influența tipului de agregate asupra modului de elasticitate secant al betonului, conform SR EN 1992-1:2004

	Clasa de rezistență la compresiune	Modul de elasticitate, $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
		cu agregate cuarțoase	cu agregate calcaroase	cu agregate din gresie	cu agregate bazaltice
		100%	90%	70%	120%
Betoane de rezistență normală	C8/10	<b>26000</b>	23400	18200	31200
	C12/15	<b>27000</b>	24300	18900	32400
	C16/20	<b>29000</b>	26100	20300	34800
	C20/25	<b>30000</b>	27000	21000	36000

	C25/30	<b>31000</b>	27900	21700	37200
	C30/37	<b>33000</b>	29700	23100	39600
	C35/45	<b>34000</b>	30600	23800	40800
	C40/50	<b>35000</b>	31500	24500	42000
	C45/55	<b>36000</b>	32400	25200	43200
	C50/60	<b>37000</b>	33300	25900	44400
Beton de înaltă rezistență	C55/67	<b>38000</b>	34200	26600	45600
	C60/75	<b>39000</b>	35100	27300	46800
	C70/85	<b>41000</b>	36900	28700	49200
	C80/95	<b>43000</b>	38700	30100	51600
	C90/105	<b>44000</b>	39600	30800	52800

Conform SR EN 1992-1-1:2004, pentru valoarea modului de elasticitate secant al betonului la vârste mai mici de 3 zile este obligatoriu să se facă determinări pe probe, în timp ce pentru estimarea acestuia la vârste cuprinse între 3 și 28 de zile este dată relația:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0,3} \cdot E_{cm}$$

Utilizând în compoziția betonului un raport apă-ciment mic și folosirea unor aditivi precum superplastifianți și acceleratori de întărire, se pot obține betoane cu rezistențe inițiale la compresiune foarte mari (de ex. beton având rezistența la compresiune la 14 ore de la turnare  $f_{ck}(14h) = 40$  MPa). Suplimentar, aceste performanțe se pot îmbunătăți prin utilizarea unui tratament termic, procedeu mai ușor de implementat în fabrici pentru prefabricate de beton decât pe șantier. Cercetările efectuate de Sándor și Kiss (Sándor, 2014 și 2015) arată că atunci când se utilizează betoane cu rezistențe inițiale foarte mari (precum cele pentru elemente prefabricate din beton precomprimat) la vârste tinere ale betonului (8-72 ore), modulul de elasticitate secant  $E_{cm}(t)$  nu crește la fel de repede precum rezistența la compresiune  $f_{cm}(t)$ . Din acest motiv, pentru valori ale rezistenței la compresiune la vârste de mai mici de 3 zile, utilizând relația de calcul din SR EN 1992-1-1:2004 pentru  $f_{cm}(t)$ , se obțin valori mult mai mici decât cele obținute experimental.

Pentru problema modului de elasticitate la betoane cu rezistențe inițiale mari la vârste mici (8-72 ore) și studiată de către Sándor și Kiss (Sándor, 2014 și 2015), rezultatele testelor de laborator sunt redată în tab. 4.1.4. Folosind rezultatele determinate pe cale experimentală și adaptând relația din SR EN 1992-1-1, se observă că modulul de elasticitate se poate estima corect pentru vârste cuprinse între 12 și 72 ore folosind relația de mai jos. Astfel, se efectuează calculul modului de elasticitate la momentul de timp  $t$  doar prin raportare la modulul de elasticitate obținut la vârsta de 28 de zile (fără a mai ține cont de valoarea rezistenței la compresiune a betonului la momentul  $t$  obținută experimental):

$$E_{cm}(t) = e^{0,3 \cdot s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0,5}\right]} \cdot E_{cm}$$

Studiind valorile din tab. 4.1.4, se observă că pentru a reuși realizarea transferului forței de precomprimare la doar 14 ore de la betonarea grinzilor, după ce rezistența la compresiune a betonului din grinzi a atins rezistența minimă prevăzută în NE 013-2002 (aici tab. 4.1.2), clasa de rezistență a betonului a fost mult mai mare decât cea aferentă clasei minime de rezistență a betonului considerată prin proiect. De exemplu, elementele din beton precomprimat proiectate cu o clasă de beton C40/50 pentru a putea fi executate într-un timp cât mai scurt, în fabrică a fost utilizat un beton de clasă C70/85 pentru care la vârsta de 14 ore de la betonare rezistența la compresiune a fost suficientă pentru a putea realiza transferul.



Pentru determinarea rezistenței la compresiune au fost utilizate probe cubice cu latura de 150 mm, iar pentru determinarea modulului de elasticitate secant au fost utilizate probe prismatice de 100 x 100 x 300 mm. Epruvetele au fost păstrate în aceleași condiții în care sunt păstrate în mod uzual elementele prefabricate, adică la o temperatură de cca 20 °C și o umiditate relativă de 50%. Suplimentar, pentru a avea și valori de referință, rezultatele încercărilor la 28 zile (672 ore) au fost dublate cu încercări pe probe tot la 28 zile (672 s ore) dar păstrate în condiții standard cu o umiditate relativă de 100% prin imersare în apă.

Tabelul 4.1.4 Valorile rezistențelor medii ( $f_{cm,cube}$  și  $f_{cm}$ ) și a modulului de elasticitate secant ( $E_{cm}$ ) pe betoane având rezistențe inițiale mari la vârste mici, determinate la intervale de ordinul orelor în cadrul studiului efectuat de Sándor și Kiss (Sándor, 2014 și 2015)

t (ore)	Clasă obținută la 28 zile - C70/85 (clasa minimă indicată prin proiect: la 28 zile - C40/50, iar la transfer $f_{c,transfer,cube} = 42$ MPa)			Clasă obținută la 28 zile - C75/90 (clasa minimă indicată prin proiect: C45/55, iar $f_{c,transfer,cube} = 45,5$ MPa)			Clasă obținută la 28 zile – C80/95 (clasa minimă indicată prin proiect: C50/60, iar $f_{c,transfer,cube} = 50$ MPa)		
	$E_{cm}(t)$	$f_{cm,cube}(t)$	$f_{cm}(t)$	$E_{cm}(t)$	$f_{cm,cube}(t)$	$f_{cm}(t)$	$E_{cm}(t)$	$f_{cm,cube}(t)$	$f_{cm}(t)$
	determinat experimental	echivalat		determinat experimental	echivalat		determinat experimental	echivalat	
	GPa	MPa	MPa	GPa	MPa	MPa	GPa	MPa	MPa
8	20,93	15,77	12	22,62	22,20	17	23,14	25,14	20
10	23,31	27,13	22	26,72	34,28	27	26,68	36,42	29
12	26,63	35,48	28	27,91	44,41	34	28,82	46,55	37
<b>14</b>	<b>27,98</b>	<b>42,62</b>	<b>32</b>	<b>29,25</b>	<b>48,08</b>	<b>38</b>	<b>30,58</b>	<b>52,80</b>	<b>42</b>
16	29,29	48,34	38	30,72	52,02	42	31,71	56,70	51
18	31,17	52,37	42	32,03	56,94	46	32,75	58,74	48
21	31,38	57,52	47	32,90	60,51	50	33,84	64,76	53
24	31,94	61,67	51	33,11	64,26	53	34,28	66,53	55
27	32,35	63,65	53	33,72	65,53	54	34,93	68,06	56
30	33,05	66,49	54	34,80	67,15	55	35,56	72,21	58
36	33,65	70,57	56	35,62	73,23	59	35,97	75,40	60
48	36,77	72,32	58	36,64	78,24	63	36,50	78,45	63
72	37,40	80,30	65	37,66	81,68	66	37,73	83,70	68
168	39,50	86,91	71	39,64	91,18	76	40,72	91,74	76
<b>672</b>	<b>41,97</b>	<b>94,41</b>	<b>79</b>	<b>42,43</b>	<b>97,81</b>	<b>83</b>	<b>42,55</b>	<b>104,50</b>	<b>89</b>
<b>672 s</b>	<b>42,27</b>	<b>94,32</b>	<b>79</b>	<b>43,23</b>	<b>99,68</b>	<b>84</b>	<b>43,64</b>	<b>105,31</b>	<b>90</b>
SR EN 1992	$E_{cm} = 41$	$f_{ck,cube} = 85$	$f_{ck} = 70$	$E_{cm} = 42$	$f_{ck,cube} = 90$	$f_{ck} = 75$	$E_{cm} = 43$	$f_{ck,cube} = 95$	$f_{ck} = 80$
	C70/85			C75/90			C80/95		

În tabelul 4.1.5 este indicată evoluția în timp a rezistenței la compresiune a betonului determinată pe cilindri și a modulului de elasticitate secant la compresiune a betonului, utilizând relațiile din SR EN 1992-1-1:2004. Trebuie menționat că pentru betoane cu rezistențe inițiale mari, rezistența la compresiune a betonului în primele 3 zile este subevaluată (valori marcate în tabel cu \*), conform determinărilor de laborator din (Sándor, 2014 și 2015).

Tabelul 4.1.5 Evoluția în timp a rezistenței la compresiune ( $f_{ck}$ ) și a modulului de elasticitate secant ( $E_{cm}$ ) pentru beton, raportate la cele obținute la vârsta de 28 de zile, utilizând relațiile de calcul din SR EN 1992-1-1:2004

t timpul de la betonare	Clasă de întărire rapidă (CEM 42,5R, CEM 52,5N și CEM 52,5 R)		Clasă de întărire normală (CEM 42,5N și CEM 32,5 R)		Clasă de întărire lentă (CEM 32,5N)	
	$f_{cm}(t)/f_{cm}$	$E_{cm}(t)/E_{cm}$	$f_{cm}(t)/f_{cm}$	$E_{cm}(t)/E_{cm}$	$f_{cm}(t)/f_{cm}$	$E_{cm}(t)/E_{cm}$
12 ore	0,27*	0,68	-	-	-	-
14 ore	0,31*	0,70	-	-	-	-
16 ore	0,33*	0,72	-	-	-	-
18 ore	0,36*	0,74	-	-	-	-
21 ore	0,39*	0,76	-	-	-	-
1 zi	0,42*	0,77	-	-	-	-
27 ore	0,45*	0,79	-	-	-	-
30 ore	0,47*	0,80	-	-	-	-
36 ore	0,51*	0,82	-	-	-	-
2	0,58*	0,85	-	-	-	-
3	0,66*	0,88	0,60	0,86	0,46	0,80
7	0,82	0,94	0,78	0,93	0,68	0,90
14	0,92	0,97	0,90	0,96	0,85	0,95
21	0,97	0,99	0,96	0,99	0,94	0,98
<b>28</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
90	1,09	1,02	1,11	1,03	1,18	1,05
360	1,15	1,04	1,19	1,05	1,31	1,08

Notă: \*) valorile rezistenței la compresiune a betonului pentru primele 3 zile este subevaluată în cazul utilizării unor betoane cu rezistențe inițiale mari.

#### 4.2. Absorbția, porozitatea și permeabilitatea

În mod curent, principala proprietate a betonul întărit este rezistența la compresiune. Totuși, în funcție de specificul lucrării, betonul trebuie caracterizat și prin următoarele proprietăți: absorbție, porozitate și/sau permeabilitate (tab. 4.2.1). Determinarea rezistenței la compresiune, într-un laborator cu dotare standard, este ordinară, fiind necesare o presă hidraulică și un dispozitiv de măsurare a forței (de ex. un traductor de forță și un computer cu softul aferent), însă pentru determinarea celorlalte proprietăți e nevoie de o dotare suplimentară.

Prin determinarea absorbției sunt caracterizate betoanele utilizate la elemente care pot îngheța în stare saturată (de exemplu: pavele, borduri, îmbrăcămînți rutiere ș.a.), corespunzând claselor de expunere XF2, XF3 și XF4. Astfel **absorbția** se referă la fenomene fizice precum suucțiunea capilară sau osmoza (a nu se confunda cu „adsorbția” care se referă la fenomenul fizico-chimic constând în imobilizarea ionilor, permanent sau temporar). Acest parametru poate caracteriza durata de serviciu a betonului. Totuși, legislația nu prevede ca proiectantul să specifice în proiect valorile limită ale absorbției betonului, notarea clasei de expunere ținând loc de această informație. În consecință, responsabilitatea determinării absorbției betonului revine producătorului de beton (de ex. stația de betoane).

**Porozitatea** este în relație directă cu durata de serviciu a betonului. Porii din beton sunt spații pline cu gaz, aer sau apă din matrice, care nu pot prelua eforturi mecanice. În consecință, rezistența betonului la compresiune este invers proporțională cu porozitatea (pe măsură ce volumul de pori crește, rezistența la compresiune a betonului scade). Nici de această dată proiectantul nu e responsabil să precizeze valorile limită ale porozității betonului folosit în proiect. Știind cum porozitatea betonului influențează rezistența la compresiune a acestuia, se observă că un beton de clasă ridicată cu un raport apă-ciment rezonabil va avea o porozitate scăzută. Creșterea raportului apă-ciment are ca și consecință creșterea porozității capilare și implicit diminuarea durabilității. Acesta este un motiv în plus pentru a nu fi adăugată apă în beton pe șantier. În plus, porozitatea betonului influențează negativ și rezistența betonului la atacul îngheț-dezghet și la atacul chimic (cu cât ponderea porilor capilari e mai redusă, cu atât agenții agresivi pătrund mai greu). Rezistența la atac chimic este influențată și de dozajul de ciment, timpul de hidratare al cimentului, raportul apă-ciment cât și de tratarea betonului după turnare.

Tabelul 4.2.1 Gradul (Clasa) de impermeabilitate aferent claselor de expunere, rezultat prin corelarea reglementărilor tehnice în vigoare NE 012/1-2022 și NE 013-2002, respectiv cea anterioară NE 012-99

Clase de expunere	Gradul (Clasa) de impermeabilitate	Presiunea apei (bari sau daN/cm <sup>2</sup> ) utilizată la încercări	Adâncimea limită de pătrundere a apei (mm)		Raport apă-ciment maxim permis
			100	200	
X0 XC1	P <sub>4</sub>	4	P <sub>4</sub> <sup>10</sup>	P <sub>4</sub> <sup>20</sup>	0,60 (doar la X0) 0,55
XC2, XC3, XC4 XF1, XF3 XA1	P <sub>8</sub>	8	P <sub>8</sub> <sup>10</sup>	P <sub>8</sub> <sup>20</sup>	0,50
XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3 XF2, XF4 XA2, XA3	P <sub>12</sub>	12	P <sub>12</sub> <sup>10</sup>	P <sub>12</sub> <sup>20</sup>	0,45

Evaluarea permeabilității constă în măsurarea directă a adâncimii de pătrundere a apei în beton, ca urmare a aplicării unei presiuni pe fața elementului, folosind o metodă standardizată. Un beton cu porozitate și absorbție mari (adică o pondere mare a porilor capilari) va avea și **permeabilitate** mare. Pe măsură ce rezistența la compresiune crește și raportul apă-ciment scade, permeabilitatea betonului va fi mai redusă și durata de serviciu va crește. Reglementările tehnice în vigoare (NE 012/1-2022 și NE 012/2-2022) nu includ condiționări la modul descriptiv, privind permeabilitatea atunci când se stabilește compoziția betonului proiectat. Prin respectarea cerințelor de clasă minimă de rezistență a betonului, raport maxim A/C și dozaj minim de ciment, într-o oarecare măsură se asigură indirect un anumit grad de impermeabilitate. Așadar, nu are caracter obligatoriu specificarea în proiect a gradului de impermeabilitate pentru întregul beton utilizat. Totuși, la elemente sau structuri aflate în apă poate fi o bună practică specificarea impermeabilității betonului prin impunerea unui grad de impermeabilitate „P” (NE 012/2-2022, Anexa K). Acesta constituie un criteriu de performanță pentru betonul proiectat, notarea completă a gradului de impermeabilitate la apă a betoanelor fiind  $P_n^x$ , unde  $n$  – reprezintă valoarea prescrisă a presiunii maxime a apei, exprimată în N/mm<sup>2</sup>, iar  $x$  – este valoare prescrisă a adâncimii limită de pătrundere a apei, exprimată în mm (tab. 4.2.1). Permeabilitatea betonului se determină pe cale experimentală și se cuantifică prin valoarea presiunii apei utilizate la încercări (conform anexei K din NE 012/2-2022) și prin adâncimea maximă de pătrundere a apei (conform SR EN 12390-8). Până la intrarea în vigoare a unor reglementări noi pentru condițiile privind permeabilitatea la apă (precum clase tehnice, metode de încercare, ș.a.) și revizuirea standardelor existente (precum PE 713 „Execuția și controlul betoanelor în construcții hidrotehnice”), gradele de impermeabilitate se determină conform prevederilor din aceeași anexă K.

În SR EN 12390-8 sunt descrise principiul de testare, aparatura necesară, forma epruvetelor, modul de lucru și interpretarea rezultatelor. Pe scurt, testarea constă în aplicarea apei sub presiune pe suprafața

betonului întărit, apoi epruveta este despicate și se măsoară adâncimea pătrunderii a frontului de apă. Forma epruvetei poate fi cubică, cilindrică sau prismatică, respectând ca dimensiunea minimă a suprafeței pe care se face încercarea să fie de minim 150 mm, iar celelalte dimensiuni de minim 10 mm. Modul de lucru începe cu pregătirea epruvetei după ce vârsta betonului a atins 28 de zile, suprafața de expus (exclus suprafețe date cu mistria) la presiunea apei asprindu-se inițial cu o perie de sârmă. Apoi, epruveta se așază în aparat și se aplică apa cu o presiune de cca 500 kPa timp de cca 72 h. Ulterior, epruveta se îndepărtează din aparat, se șterge de apă, de despică, iar imediat după uscarea suprafeței despicate se marchează frontul apei pe epruvetă. Adâncimea maximă de pătrundere a apei sub zona de încercare se măsoară cu o precizie de mm și se notează, ea reprezentând rezultatul încercării.

Verificarea betonului întărit pentru asigurarea unui anumit grad de impermeabilitate este necesară **doar în cazul prezenței acțiunii presiunii apei.**

### **4.3. Verificarea clasei betonului livrat**

Controlul de conformitate este, în primul rând, parte integrantă din controlul producției. Suplimentar, rezistența la compresiune a betonului e confirmată/identificată prin încercări recente utilizând proceduri standardizate, ce pot fi realizate la cererea beneficiarului sau ale unui terțe părți implicate (de ex. firma de asigurare).

Confirmarea clasei betonului se face printr-o încercare de identificare ce are ca scop verificarea rezistenței la compresiune pentru un anumit volum de beton. Această încercare de identificare se face în baza unui plan de eșantionare și de încercări pentru un volum particular de beton considerat. Volumul poate fi definit ca:

- un singur amestec sau o singură șarjă de beton în caz că sunt dubii asupra calității;
- betonul furnizat pentru etajul fiecărei clădiri, pentru un ansamblu de elemente structurale (de ex. grinzi, plăci, stâlpi, pereți) aparținând unui etaj, unei clădiri sau unui tronson;
- betonul livrat pe un șantier de-a lungul unei săptămâni, dar maxim 400 m<sup>3</sup>.

Pentru un volum particular de beton se va defini numărul de probe de prelevat. Apoi, prelevarea probelor va fi făcută din diferite amestecuri sau șarje (dacă sunt mai multe), caz în care betonul proaspăt este turnat în tipare de cub, cilindru sau prismă, iar apoi sunt conservate (conform SR EN 12350-1). Un alt mod de prelevare este prin carotare (tăiere în uscat sau cu apă) direct din structuri de rezistență deja executate (conform SR EN 12390). Unitatea în care se realizează testele este necesar să fie autorizată de autoritățile competente și să aibă verificarea aparatului la zi.

Rezistența la compresiune a epruvetelor se determină conform SR EN 12390-3, rezultatele încercărilor provenind de la minim două epruvete (când betonul este supus unui control de certificarea a producției), respectiv de la minim trei epruvete (când betonul nu a fost supus unui control de certificare a producției) prelevate din același eșantion și încercate la aceeași vârstă. Atunci când împrăștierea rezultatelor pentru două sau mai multe probe din același eșantion este mai mare de 15% din valoarea medie, rezultatele de pe respectivele probe se vor elimina. Prin excepție, se permite eliminarea unui singur rezultat dacă este identificat un motiv bazat pe investigații aprofundate.

Criteriile de identificare pentru rezistența la compresiune sunt notate în tab. 4.3.1. Identificarea betonului este efectuată atât pentru valoarea rezistenței la compresiune a probelor luate individual, cât și pentru valoarea medie a rezistenței la compresiune determinată pe „n” probe. Betonul este considerat ca provenit dintr-o populație conformă dacă ambele criterii din tabel sunt satisfăcute pentru toate cele „n” epruvete prelevate din volumul definit de beton.

Pe lângă identificarea clasei de rezistență la compresiune a betonului, pot fi efectuate controale de identificare care să vizeze și alte proprietăți, precum rezistența la întindere directă, rezistența la întindere din încovoiere, permeabilitatea, consistența ș.a.

Tabelul 4.3.1 Criterii de identificare pentru rezistența la compresiune (SR EN 206)

Numărul „n” al rezultatelor de rezistență la compresiune pentru volumul definit de beton	Criteriul 1	Criteriul 2
	Media a „n” rezultate $f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Fiecare rezultat individual al încercărilor $f_{c,i}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Beton supus unui control de certificare a producției		
1	Neaplicabil	$\geq f_{ck} - 4$
2-4	$\geq f_{ck} + 1$	$\geq f_{ck} - 4$
5-6	$\geq f_{ck} + 2$	$\geq f_{ck} - 4$
Beton nesupus unui control de certificare a producției		
3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$

Notă: Criteriile de identificare din tab. 4.3.1 pentru beton supus unui control de certificare a producției, dau o probabilitate de 1% de eliminare a unui volum de beton conform.

**Producătorul** betonului este **responsabil** de evaluarea conformității în condițiile specificate ale betonului, prin încercări inițiale și prin controlul producției (inclusiv control de conformitate).

Se poate stipula prin contract sau prin prevederi valabile la locul punerii în operă a betonului ca evaluarea și supravegherea controlului producției să fie efectuată de către un organism de inspecție aprobat, cât și certificarea de către un organism de certificare aprobat.

Prin NE 012/2-2022 este reglementat că prevederile SR EN 1992-1-1 au în vedere **numai** proiectarea și executarea structurilor din **clasa de fiabilitate RC2**. În proiectarea și executarea structurilor din **clasa de fiabilitate RC3 sunt necesare prevederi speciale. Proiectanții sunt responsabili de întocmirea unor caiete de sarcini speciale și specifice lucrărilor respective, având un nivel de exigență ridicat.**

În anexa F din NE 012/2-2022 este reglementată recepția structurii unei construcții. În cazurile în care se solicită de către proiectant, constructorul trebuie să prezinte beneficiarului rapoarte de încercări prin metode distructive și/sau nedistructive pe betonul întărit. Dacă nu s-au efectuat încercările obligatorii pe cilindri/cuburi prelevate la locul de punere în operă, la frecvențele stabilite, sau dacă rezultatele se situează sub clasa prevăzută în proiect, trebuie să se efectueze încercări distructive și/sau nedistructive pe betonul întărit. Se recomandă efectuarea metodelor distructive simple sau în combinație cu metode nedistructive care să confirme nivelul de calitate al lucrărilor executate. Alegerea elementelor și numărului necesar de încercări se face de către proiectant pe baza reglementărilor în vigoare. Încercările prin metode nedistructive se efectuează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice aplicabile. În final, rezultatele obținute pentru încercările in situ se analizează, iar prelucrarea acestora nu va include și valorile determinate pe corpurile de probă prelevate la stația de betoane.



## 5. Compoziția betonului

### 5.1. Cimentul

#### 5.1.1. Definiția

Cimentul este un liant hidraulic care trebuie să aibă suma proporțiilor oxidului de calciu (CaO) și dioxidului de siliciu reactiv (SiO<sub>2</sub>) minim 50% din masă, fiind denumit în standarde ca CEM (conform SR EN 197-1:2011). În norma SR EN 197-1:2011 sunt specificate cerințele de compoziție și cerințele de conformitate pentru:

- cimenturi uzuale;
- cimenturi uzuale cu căldură de hidratare redusă;
- cimenturi uzuale rezistente la sulfați cu rezistență inițială mică și cu căldură de hidratare redusă;
- cimenturi de furnal cu rezistența inițială mică și cu căldură de hidratare redusă.

#### 5.1.2. Componentele principale

Componentele principale ale cimentului sunt:

- (1) *Clincher de ciment Portland (K)*. E obținut prin sinterizarea unui amestec de materii prime în proporții stabilite cu exactitate. Conține oxizi CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și cantități mici de alte materiale.

Clincherul de ciment Portland încorporat în cimentul Portland rezistent la sulfați (CEM I) și în cimenturile puzzolanice rezistente la sulfați (CEM IV) trebuie să conțină o anumită cantitate de aluminat tricalcic (C<sub>3</sub>A), calculată astfel:

$$C_3A = 2,65 A - 1,69 F$$

unde *A* reprezintă procentul de oxid de aluminiu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) din masa clincherului, iar *F* reprezintă procentul de oxid de fier (III) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) din masa clincherului, ambele determinate conform SR EN 196-2. Se poate întâmpla să se obțină din calcul o valoare negativă a C<sub>3</sub>A, în acest caz fiind înregistrată valoarea 0%.

La cimenturile Portland rezistente la sulfați și cimenturile puzzolanice rezistente la sulfați, în clincherul de ciment Portland conținutul de C<sub>3</sub>A nu trebuie să depășească:

- în cazul CEM I: 0%, 3% sau 5%;
- în cazul CEM IV/A și CEM IV/B: 9%.

- (2) *Zgură granulată de furnal (S)*. E obținută prin răcirea rapidă a unei topituri de zgură, conține minimum două treimi din masă zgură vitroasă și prezintă proprietăți hidraulice dacă este activată corespunzător. Conține oxizi CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și cantități mici de alți compuși.
- (3) *Puzzolană naturală (P)*. Este de obicei un material de origine vulcanică sau o rocă sedimentară cu compoziție chimică și mineralogică conformă cu prevederile din SR EN 197-1:2011 (5.2.3.1).
- (4) *Puzzolană naturală calcinată (Q)*. Este un material de origine vulcanică, argilă, șist sau rocă sedimentară, activat prin tratament termic și conform cu prevederile din SR EN 197-1:2011 (5.2.3.1).
- (5) *Cenușă zburătoare (V, W)*. Se obține din depunerea electrostatică sau mecanică a particulelor pulverulente conținute în gazele de ardere de la focarele cazanelor alimentate cu cărbune pulverizat. Cenușa zburătoare silicioasă (V) este o pulbere fină cu proprietăți puzzolanice ce conține dioxid de siliciu reactiv (SiO<sub>2</sub>), oxid de aluminiu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), oxid de fier (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) și alți compuși. Cenușa zburătoare calcică (W) este o pulbere fină cu proprietăți hidraulice și/sau puzzolanice ce conține oxid de calciu (CaO), dioxid de siliciu reactiv (SiO<sub>2</sub>), oxid de aluminiu (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), oxid de fier

( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) și alți compuși. Cenușile zburătoare utilizate la producerea cimentului trebuie să respecte prevederile din SR EN 450-1.

- (6) *Șist calcinat (T)*. Este produs într-un cuptor special la o temperatură de aproximativ 800 °C, care măcinat fin are proprietăți hidraulice pronunțate, asemănătoare cimentului Portland, precum și proprietăți puzzolanice.
- (7) *Calcar (L, LL)*. Calcarul, utilizat la producerea cimentului, va conține carbonat de calciu ( $\text{CaCO}_3$ ), argilă și carbon organic (TOC), respectând proporțiile minime specificate în SR EN 197-1:2011 (5.2.6):
  - LL: nu trebuie să depășească 0,2% din masă;
  - L: nu trebuie să depășească 0,5% din masă.
- (8) *Silice ultrafină (D)*. Este un produs secundar al procesului de topire la producerea siliciului și a aliajelor de ferosiliciu, provenind de la reducerea cuarțului de puritate ridicată în cuptoarele cu arc electric. Silicea ultrafină constă în particule sferice, foarte fine, având un conținut de dioxid de siliciu amorf de minim 85% din masă. Dimensiunea particulelor este tipic mai mică de 1 μm.

### 5.1.3. Componentele auxiliare minore

Componentele auxiliare minore ale cimentului sunt materiale minerale naturale anorganice, sau materiale minerale anorganice derivate din procesul de fabricare a clincherului, sau materiale anorganice precum cele precizate în rândul componentelor principale dar nu sunt incluse drept principale în ciment. Cantitatea maximă de componente auxiliare minore din ciment este de 5% (procent de masă). În continuare sunt numite componentele auxiliare minore permise, altele decât cele ce pot fi și componente principale.

- (1) *Sulfat de calciu*. Este adăugat în timpul fabricării cimentului pentru reglarea prizei. Poate fi ghips (sulfat de calciu dihidratat  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) sau anhidrit (sulfat de calciu anhidru,  $\text{CaSO}_4$ ) sau orice amestec al acestora.
- (2) *Aditivi*. Sunt componente adăugate pentru îmbunătățirea fabricării sau a proprietăților cimentului. Cantitatea totală maximă este de 1,0% din masa cimentului (excepție fac pigmentii), din care cantitatea de aditivi organici sub formă uscată e maxim 0,2% din masa cimentului. Dacă se depășesc aceste valori maxime, atunci cantitate maximă de aditivi utilizați trebuie să fie declarată pe ambalaj și/sau documentul de livrare.

Aditivii nu trebuie să corodeze armătura nici să altereze proprietățile cimentului, ale betonului sau mortarului realizat cu cimentul respectiv.

Atunci când sunt utilizați în ciment aditivi pentru betoane, mortare sau paste în conformitate cu seria EN 934, notarea standard a aditivilor trebuie declarată pe saci și/sau documentele de livrare.

### 5.1.4. Tipurile de ciment

Cele cinci tipuri principale de ciment sunt CEM I (ciment Portland), CEM II (ciment Portland compozit), CEM III (ciment de furnal), CEM IV (ciment puzzolanic) și CEM V (ciment compozit), ele făcând parte din familia cimenturilor uzuale cuprinse de SR EN 197-1:2011. Fiecare tip de ciment cu adaosuri se produce în mai multe variante de compoziție și se diferențiază prin procentul de clincher și procentele din celelalte componente principale. Compoziția și notarea celor 27 de cimenturi uzuale este sumarizată în tab. 5.1.4.1, considerând conținutul componentelor auxiliare ca fiind maxim 5% din masa cimentului. Totuși, pe lângă aceste cimenturi uzuale se pot folosi și alte cimenturi speciale fabricate la cerere.



Sunt șapte **tipuri de ciment** din familia cimenturilor uzuale care sunt **rezistente la sulfați**:

- CEM I-SR 0, ciment Portland rezistent la sulfați având un conținut de  $C_3A$  (aluminat tricalcic) din K (clincherul de ciment Portland) = 0%;
- CEM I-SR 3, ciment Portland rezistent la sulfați având un conținut de  $C_3A$  din K  $\leq 3\%$ ;
- CEM I-SR 5, ciment Portland rezistent la sulfați având un conținut de  $C_3A$  din K  $\leq 5\%$ ;
- CEM III/B-SR, ciment de furnal rezistent la sulfați (nu există cerințe privind conținutul de  $C_3A$  din K);
- CEM III/C-SR, ciment de furnal rezistent la sulfați (nu există cerințe privind conținutul de  $C_3A$  din K);
- CEM IV/A-SR, ciment puzzolanic rezistent la sulfați având un conținut de  $C_3A$  din K  $\leq 9\%$ ;
- CEM IV/B-SR, ciment puzzolanic rezistent la sulfați având un conținut de  $C_3A$  din K  $\leq 9\%$ .

Tabelul 5.1.4.1 Compoziția și notarea cimenturilor uzuale

Tipul cimentului			Componente principale (fără clincher de ciment Portland (K))	
Tipuri principale	Denumire	Simbol	Denumirea	procent din masă
CEM I	Ciment Portland	CEM I	-	0
CEM II	Ciment Portland cu zgură	CEM II/A-S	zgură granulată de furnal (S)	6...20
		CEM II/B-S		21...35
	Ciment Portland cu silice ultrafină	CEM II/A-D	silice ultrafină (D)	6...10
	Ciment Portland cu puzzolană	CEM II/A-P	puzzolană naturală (P)	6...20
		CEM II/B-P		21...35
		CEM II/A-Q	puzzolană naturală calcinată (Q)	6...20
		CEM II/B-Q		21...35
	Ciment Portland cu cenușă zburătoare	CEM II/A-V	cenușă zburătoare silicoasă (V)	6...20
		CEM II/B-V		21...35
		CEM II/A-W	cenușă zburătoare calcică (W)	6...20
		CEM II/B-W		21...35
	Ciment Portland cu șist calcinat	CEM II/A-T	șist calcinat (T)	6...20
		CEM II/B-T		21...35
	Ciment Portland cu calcar	CEM II/A-L	calcar cu carbon organic maxim 0,5% din masă (L)	6...20
		CEM II/B-L		21...35
		CEM II/A-LL	calcar cu carbon organic maxim 0,2% din masă (LL)	6...20
CEM II/B-LL		21...35		
Ciment Portland compozit	CEM II/A-M	toate componentele principale sunt posibile (S,D,P,Q,V,W,T,L,LL)	12...20	
	CEM II/B-M		21...35	
CEM III	Ciment de furnal	CEM III/A	zgură granulată de furnal (S)	36...65
		CEM III/B		66...80
		CEM III/C		81...95
CEM IV	Ciment puzzolanic	CEM IV/A	puzzolană (D,P,Q,V, W)	11...35
		CEM IV/B		36...55
CEM V	Ciment compozit	CEM V/A	zgură granulată (S),	18...30

		CEM V/B	puzzolane (P,Q) și cenușă zburătoare silicioasă (V)	31...49
--	--	---------	---	---------

Cimentul este un material hidraulic sub formă de pulbere, fabricat în baza standardului SR EN 197-1:2011 și produs în trei clase de rezistență: **32,5**, **42,5** și **52,5**. Pentru fiecare clasă de rezistență standard sunt definite trei clase de rezistență inițială, o clasă cu rezistență inițială uzuală (normală), notată cu **N**, o clasă cu rezistență inițială mare, notată cu **R** și o clasă cu rezistență inițială mică, notată cu **L** (clasa L se aplică doar pentru cimenturile CEM III). Rezistența inițială a cimentului se determină la vârsta de 2 zile sau la 7 zile și trebuie să corespundă condițiilor din tab. 5.1.4.2.

Tabelul 5.1.4.2 Condiții mecanice și fizice ale pastei de ciment definite ca valori caracteristice, conform SR EN 197-1:2011

Clasă de rezistență	Rezistența la compresiune [MPa]			Timp inițial de priză [min]	Stabilitate (expansiune) [mm]
	Rezistență inițială		Rezistență standard		
	2 zile	7 zile	28 zile		
32,5 L	-	≥ 12	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 N	-	≥ 16			
32,5 R	≥ 10	-			
42,5 L	-	≥ 16	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 N	≥ 10	-			
42,5 R	≥ 20	-			
52,5 L	≥ 10	-	≥ 52,5	-	≥ 45
52,5 N	≥ 20	-			
52,5 R	≥ 30	-			

### 5.1.5. Recomandările generale pentru alegerea cimentului

Alegerea tipului de ciment în funcție de temperatura la punere în operă și a clasei de rezistență a betonului este sintetizată în tab. 5.1.5.1, iar în funcție de particularitățile de execuție a lucrării și de dimensiunile elementelor din beton în tab. 5.1.5.2.

Pentru același dozaj de ciment/m<sup>3</sup> și raport A/C (în domeniul reglementat), cu cât clasa de rezistență a cimentului este mai mare cu atât rezistența la compresiune a betonului va fi mai mare.

Dacă se dorește obținerea unei clase de beton cu rezistență la compresiune mărită, se recomandă utilizarea cimenturilor de clasă mai mare și aditivi reducători de apă. Pentru turnări la temperaturi scăzute se vor folosi cimenturi cu întărire rapidă „R” și aditivi acceleratori de priză, iar pentru turnări la temperaturi ridicate, cimenturi cu întărire normală „N” sau lentă „L” și aditivi întârziatori de priză.

Tabelul 5.1.5.1 Recomandări de utilizare a cimenturilor în funcție de temperatura de punere în operă și a clasei de rezistență a betonului, conform NE 012/1-2022

Clasa de rezistență a cimentului recomandată	Tipul de ciment	Turnare pe timp friguros < +5 °C	Turnare pe timp călduros > +25 °C	Clasa betonului dorită	Atingerea rezistenței betonului la 28 zile, la temperaturi de +5...+25 °C, utilizat la alte clase de expunere decât XD, XS, XA și XF
32,5 N sau R	CEM II A	Recomandabil	Recomandabil	C 8/10 ... C 30/37	Viteza medie de atingere a rezistenței, beton de clasă până la C25/30
	CEM II B	Puțin recomandabil	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>		
	CEM III A	Puțin recomandabil	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>		
42,5 N sau R	CEM I	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>	Puțin recomandabil	C 25/30 ...	Viteză mare de atingere a rezistenței, beton de clasă de peste

Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

	CEM II A	Recomandabil	Recomandabil	C 80/95	C25/30
	CEM II B	Recomandabil	Recomandabil		
52,5 N sau R	CEM I	Foarte recomandabil <sup>1)</sup>	Puțin recomandabil	C40/50 ... C90/105	Viteză foarte mare de atingere a rezistenței

<sup>1)</sup> A se studia și prevederile art. 9.5 „Tratare și protecție” și anexa F a NE 012/2.

Proprietatea cimentului numită căldură de hidratare denotă cantitatea de căldură degajată prin hidratarea unui ciment într-o perioadă de timp dată. La hidratarea cimentului se degajă întotdeauna o cantitate de căldură, indiferent de tipul său. Conform SR EN 196-8 și SR EN 196-9, căldura de hidratare a cimenturilor uzuale nu trebuie să depășească 270 J/g. Cimenturile cu căldură de hidratare redusă sunt notate prin „LH” (conform SR EN 19701:2011), cele cu căldură de hidratare foarte redusă prin „VLH” (conform SR EN 14216:2004), iar cimenturile cu căldură de hidratare limitată sunt notate cu „H” (conform SR 3011:1996, dar din 2012 înlocuit de SR EN 197-1:2011).

În notarea cimenturilor rezistente la sulfați se adaugă la final „SR”, conform SR EN 197-1:2011.

Cimenturile sunt identificate cel puțin prin notarea tipului de ciment (tab. 5.1.4.1) și a clasei de rezistență (tab. 5.1.4.2). Dacă în aceeași fabrică de ciment sunt produse cimenturi diferite în conformitate cu aceeași notare standard, atunci se adaugă la notație un număr între paranteze rotunde.

Tabelul 5.1.5.2 Alegerea tipului de ciment ținând seama de clasa de expunere conform NE 012/1-2022, SR EN 197-1, SR EN 206, SR 3011, STAS 10092, SR 7055, DIN 1164-10, DIN 1164-11 și DIN 1164-12

Clasa de expunere și tipurile de ciment indicate	XO XC2	XC1	XC3, XC4 XA1, XA2 <sup>1)</sup> , XA3 <sup>1)</sup> XM1, XM2, XM3	XD1, XD2, XD3 XS1, XS2, XS3	XF1	XF2, XF4 <sup>2)</sup>	XF3	Piloți foraj și pereți mulați	Compatibilitate cu armătură pretensionată din oțel
CEM I									
CEM II	A/B S								
	A D								
	A/B P/Q								
	A V								
	B V								
	A/B T								
	A LL								
	B LL								
	A L								
	B L								
A M									
S-D; S-T; S-LL; D-T; D-LL; T-LL									
S-P; S-V; D-P; D-V; P-V; P-T; P-LL; V-T; V-LL							doar CEM II/A-M (S-V)	<sup>3)</sup> și fără adaos de (P)	
B M									
S-D; S-T; D-T S-P; D-P; P-T S-V; D-V; P-V; V-T							doar CEM II/B-M (S-V)	<sup>3)</sup> și fără adaos de (P)	
S-LL; D-LL; P-LL; V-LL; T-LL								<sup>3)</sup> și fără adaos de (P)	
CEM III									
A									

**Notatie componente:** S-zgură granulată de furnal; P-puzzolană naturală; Q-puzzolană naturală calcinată; V și W-cenușă zburătoare; T-sist calcinat; L și LL-calcar; D-silice ultrafină.

<sup>1)</sup> În caz de atac chimic sulfatic peste clasa de expunere XA1 este obligatorie utilizarea cimenturilor rezistente la sulfați.

<sup>2)</sup> Pentru expunere în clasa XF4, dacă se dorește folosirea cimentului CEM III/A atunci acesta va avea clasa de rezistență 42,5 sau 32,5 R, cu zgură în cantitate de maxim 50% din masă și se va demonstra comportarea corespunzătoare a betonului sub efectul acțiunilor de îngheț-dezghet și a agenților de dezghetare sau a apei de mare.

<sup>3)</sup> Cimenturile pot conține cenușă zburătoare (S) cu o pierdere la aprindere de până la 5% din masă. Cimenturile având conținut de puzzolană naturală (P) nu sunt permise.

**Betoane uzuale.** Pentru betoane uzuale, turnate în elemente subțiri (având grosimi de maxim 1,50 m), se pot folosi cimenturi cu rezistența „N” sau „R”.

**Betoane masive.** Atunci când grosimea elementelor este mai mare de 0,80 m sau au grosimea de cel puțin 0,5 și un volum de minim 100 m<sup>3</sup>, se folosesc cimenturi cu căldură de hidratare redusă „LH”, în anumite doze, care nu permit apariția de fisuri de contracție termică. Dozajul de ciment „LH” este important deoarece supradozarea sa în compoziția betonului poate diminua modul de gestionare a riscului de fisurare din contracție termică prin limitarea căldurii de hidratare a cimentului.

Atunci când nu se iau măsuri specifice de prevenire a fisurării, la elementele care au dimensiuni și constrângeri (de exemplu: elemente cu contracția împiedicată) de natură a cauza o comportare termică generatoare de fisuri, în practică este util fie considerate ca fiind elemente masive (conform ghidului de proiectare GP 115-2011). În ghidul de proiectare pentru controlul fisurării elementelor masive și a pereților structurali de beton armat datorită contracției împiedicate, notat GP 115-2011, se specifică limite apropiate între betonul convențional și cel masiv.

Prepararea, turnarea și tratarea pe șantier a betonului masiv se face diferit de betonul uzual. Astfel se impun cerințe suplimentare menționate în reglementările tehnice aplicabile: NE 012/2-2022, GP 115:2011 și PE 713.

**Piloți foraj și pereți mulați.** Tipurile de ciment permise în compoziția betonului pentru piloți foraj și pereți mulați, conform SR EN 197-1, SR EN 1536 și DIN SPEC 1164, sunt marcate în tab. 5.1.5.2. Pentru utilizarea altor tipuri de ciment este necesar acord tehnic. Cimenturile Portland compozit (CEM II) sunt de preferat deoarece au un efect benefic asupra proprietăților betonului, precum lucrabilitate îndelungată și degajare de căldură la hidratare moderată. Cimentul de alumina nu trebuie utilizat.

Alegerea cimentului trebuie făcută pornind de la standardul SR EN 197-1:2011 ținând seama de:

- tehnologia de executare a lucrării;
- utilizarea finală a betonului;
- condițiile de tratare (ex. tratament termic);
- dimensiunile structurii (dezvoltarea căldurii de hidratare);
- agresiunile mediului înconjurător la care este expusă structura (clasele de expunere), tab. 5.1.5.2;
- reactivitatea potențială a agregatelor față de alcaliile din materialele componente.

### **5.1.6. Tipurile de ciment produse la ora actuală în România**

Tipurile de ciment produse la ora actuală în România sunt redate în tab. 5.1.6.1. Unitățile de producție a cimentului din România sunt:

- CARPATCEMENT (Grup HeidelbergCement, Germania) cu fabrici la Tașca (anterior la Bicz) - Neamț, Chișcădaga - Hunedoara și Fieni (prima fabrică de ciment încă în funcțiune din România, 1914) - Dâmbovița. Anterior acesteia, prima fabrică deschisă în România a fost la Brăila, 1888);
- HOLCIM (Grup LafargeHolcim, Franța-Elveția) cu fabrici la Câmpulung Muscel - Argeș și Aleșd - Bihor, plus o stație de măcinare la Turda - Cluj;
- ROMCIM (Grup CRH, Irlanda) cu fabrici la Medgidia - Constanța și Hoghiz - Brașov, plus o stație de măcinare la Tg. Jiu - Gorj.

Tabelul 5.1.6.1 Caracteristicile tipurilor de ciment fabricate momentan în România, în acord cu anexa M, tab. M.1 din NE 012/1-2022

Tipul de ciment (conform EN 197-1)	Sensibilitate la frig	Degajare de căldură la hidratare	Utilizare preferențială	Contra-indicații	Producător
<b>CEM I 42,5R</b> Ciment Portland, cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială mare	Insensibil	Ridicată	Elemente monolite și prefabricate. Betonare pe timp friguros. Destinat în special elementelor prefabricate	Betoane masive, mortare, șape	CARPATCEMENT HOLCIM ROMCIM
<b>CEM I 52,5R</b> Ciment Portland, cu clasa de rezistență 52,5, cu rezistență inițială mare					
<b>CEM I 52, 5R Alb</b> Ciment Portland, cu clasa de rezistență 52,5, cu rezistență inițială mare, de culoare alb			Betoane colorate și elemente decorative. Mortare uscate și adezivi. Plus toate utilizările specifice cimenturilor de tip CEM I 52,5 R		ROMCIM
<b>CEM I 42,5R SR5</b> Ciment Portland, cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială mare și rezistent la sulfați cu un conținut de C <sub>3</sub> A din K ≤ 5%			Betoane rezistente la sulfați. Elemente monolite și prefabricate. Betonare pe timp friguros. Destinat în special elementelor prefabricate		
<b>CEM I 52,5R SR5</b> Ciment Portland, cu clasa de rezistență 52,5, cu rezistență inițială mare și rezistent la sulfați cu un conținut de C <sub>3</sub> A din K ≤ 5%					
<b>CEM II A-S 52,5R</b> Ciment Portland cu zgură, cu clasa de rezistență 52,5, cu rezistență inițială mare	Puțin sensibil	Moderată	Elemente monolite și prefabricate. Beton, beton armat și beton precomprimat. Microbetoane și mortare speciale		HOLCIM
<b>CEM II A-V 42,5R</b> Ciment Portland cu cenușă zburătoare silicioasă (V), cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială mare					ROMCIM
<b>CEM II A-LL 32,5R</b> Ciment Portland cu calcar, care conține între 6% și 20% din masă calcar cu conținut de TOC de maximum 0,2% din masă (LL), cu clasa de rezistență 32,5, cu rezistență inițială mare			Elemente monolite. Beton, beton armat. Mortare		CARPATCEMENT
<b>CEM II A-LL 42,5R</b> Ciment Portland cu calcar, care conține între 6% și 20% din masă calcar cu conținut de TOC de maximum 0,2% din masă (LL), cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială mare			Elemente monolite și prefabricate. Beton, beton armat și beton precomprimat. Microbetoane și mortare speciale		HOLCIM
<b>CEM II A-M (S-LL) 32,5R</b> Ciment Portland compozit, care conține în total o cantitate de zgură granulată de furnal (S) și calcar (LL) cuprinsă între 12% și 20% din masă, cu clasa de rezistență 32,5, cu rezistență inițială mare			Elemente monolite. Beton, beton armat. Mortare		CARPATCEMENT

<b>CEM II A-M (S-LL) 42,5R</b> Ciment Portland compozit, care conține în total o cantitate de zgură granulată de furnal (S) și calcar (LL) cuprinsă între 12% și 20% din masă, cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială mare			Elemente monolite și prefabricate. Beton, beton armat și beton precomprimat. Microbetoane și mortare		CARPATCEMENT ROMCIM
<b>CEM II B-M (S-V) 32,5R</b> Ciment Portland compozit, care conține în total o cantitate de zgură granulată de furnal (S) și cenușă zburătoare silicioasă (V) cuprinsă între 21% și 35% din masă, cu clasa de rezistență 32,5, cu rezistență inițială mare	Sensibil		Elemente monolite. Beton, beton armat. Mortare		ROMCIM
<b>CEM II B-M (S-V) 42,5N</b> Ciment Portland compozit, care conține în total o cantitate de zgură granulată de furnal (S) și cenușă zburătoare silicioasă (V) cuprinsă între 21% și 35% din masă, cu clasa de rezistență 42,5, cu rezistență inițială uzuală (normală)		Limitată	Betoane masive (cu grosime mai mare de 0,8m sau de cel puțin 0,5m și un volum de peste 100m <sup>3</sup> ), inclusiv pentru construcții hidrotehnice		
<b>CEM III A 42,5N-LH</b> Ciment de furnal, care conține între 36% și 65% zgură granulată de furnal (S), de clasă de rezistență 42,5, cu o rezistență inițială uzuală (normală) și rezistent la sulfați	Foarte sensibil	Redusa	Betoane rezistente la sulfați. Betoane masive (cu grosime mai mare de 0,8m sau de cel puțin 0,5m și un volum de peste 100m <sup>3</sup> ), inclusiv pentru construcții hidrotehnice	Betonare pe timp friguros	CARPATCEMENT ROMCIM

### 5.1.7. Dozajul de ciment

Dozajul minim de ciment este dat de clasa de expunere în care se încadrează elementul din beton (cap. 6). Lucrabilitatea betonului este influențată de cantitatea de ciment dintr-un m<sup>3</sup> de beton proaspăt, iar pentru exemplificare este realizat tab. 5.1.7.1.

Tabelul 5.1.7.1 Consistența betonului obișnuit având conținutul minim de ciment indicat, diametrul maxim de agregat 32 mm și ciment de clasă 32,5 conform SR EN 197-1

Clasa de rezistență la compresiune a betonului	Dozaj minim de ciment <sup>1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )		
	vârtos	plastic	moale
C 8/10	210	230	260
C 12/15	270	300	330
C 16/20	290	320	360

<sup>1)</sup> Dozajul de ciment din tabel trebuie:

- majorat cu 10% atunci când se folosesc agregate D<sub>max</sub> = 16 mm
- majorat cu 20% atunci când se folosesc agregate D<sub>max</sub> = 8 mm
- micșorat cu 10% atunci când se folosește ciment de clasă 42,5
- micșorat cu 10% atunci când se folosesc agregate D<sub>max</sub> = 63 mm

De exemplu, pentru un amestec de beton folosind curba granulometrică A 32 sau B 32, teoretic, este necesar ca volumul pastei de ciment (apă + ciment + pori) raportat la volumul total al compoziției de beton proaspăt să fie: 0,15 pentru a umple porii dintre agregate; 0,21 (pentru A/C = 0,5) sau 0,18 (pentru A/C = 0,7) pentru a umple porii dintre agregate și a înveli integral suprafața exterioară a tuturor agregatelor cu un film din pastă de ciment; 0,28 pentru a avea o lucrabilitate corespunzătoare (valoare influențată și de clasa de consistență dorită, de tipul de ciment și tipul de agregate, respectiv de utilizarea de aditivi și adaosuri în beton), fig. 5.1.7.1. Valorile sunt extrase din cursurile profesorului Thienel K. Ch., 2007-2020.

Pentru betonul pompabil dozajul de ciment trebuie să fie cuprins între 350 și 500 kg/m<sup>3</sup>. Înainte de începerea pompării betonului, conducta se va amorsa cu un mortar cu un dozaj de ciment de minim 300 kg/m<sup>3</sup>.

La elemente prefabricate, dozajul minim de ciment pentru betoane de clasă maxim C35/45 se va considera cel aferent claselor de expunere (subcapitolul 6.1). Pentru clase de beton egale sau mai mari de C40/50, dozajul minim de ciment tip CEM I este 400 kg/m<sup>3</sup>, iar dacă este utilizat ciment tip CEM II/A-S atunci este 440 kg/m<sup>3</sup>.

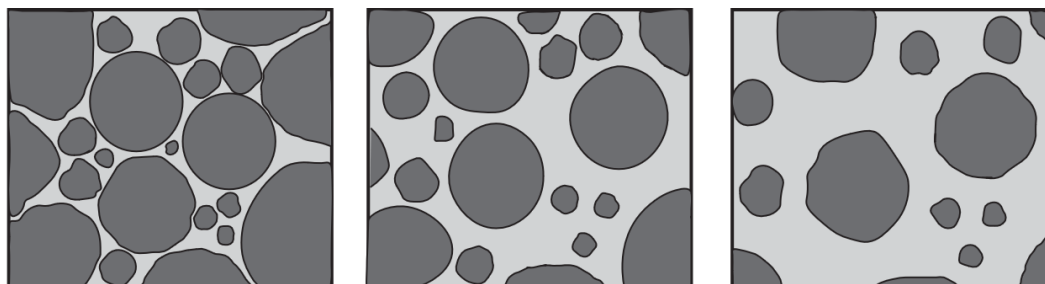


Fig. 5.1.7.1 Matricea betonului proaspăt evidențiind volumul pastei de ciment care: umple porii dintre agregate (stânga), umple porii dintre agregate și învelește într-un film agregatele (centru), conferă și o lucrabilitate corespunzătoare betonului proaspăt (dreapta)

### 5.1.8. Emisiile de dioxid de carbon

În procesul de producție a cimentului sunt emise cantități semnificative de dioxid de carbon, acestea fiind estimate la cca 7% din totalul emisiilor mondiale de CO<sub>2</sub>. În anul 2019, totalul de emisii CO<sub>2</sub> a fost estimat la 31,5 miliarde tone, din care 2,3 miliarde tone ar fi rezultat din producția cimentului. Producția anuală de ciment la nivelul Globului este în creștere, azi fiind triplă față de cea din urmă cu 20 ani și dublă față de cea din urmă cu 15 ani, momentan fiind produse anual cca 4,4 miliarde tone ciment și utilizate pentru obținerea a cca 14 milioane m<sup>3</sup> de beton (conform statisticilor publicate). Cea mai mare creștere a producției de ciment este în China, unde a ajuns să se producă jumătate din cantitatea mondială anuală de ciment. Totuși, cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> nu depinde doar de producția totală de ciment, ci este influențată puternic și de tipul de combustibil utilizat la producerea clincherului, distanța pe care se transportă ingredientele pentru ciment, tipul de ciment (ce procentaj de clincher se utilizează), precum și de tehnologia utilizată în fabrici. În cele mai multe cazuri, durabilitatea elementului de beton este direct proporțională cu cantitatea de clincher din ciment, ceea ce face ca o structură cu o durabilitate mare să necesite o cantitate mai mare de energie înglobată și implicit să fie emis mai multe CO<sub>2</sub>.

Există un demers întâlnit în multe țări spre a reduce cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> în producția cimentului. În anul 2020, media cantității de emisii de CO<sub>2</sub> la nivel mondial a fost de sub 600 kg CO<sub>2</sub>/tonă ciment, față de 800 kg CO<sub>2</sub>/tonă ciment în anul 2000, o scădere de peste 25%. În tab. 5.1.8.1 este redat rezultatul unui studiu de caz privind cantitatea de emisii de dioxid carbon per tipuri de ciment, realizat de MPA (Mineral Products Association) pentru anul producției 2019, considerând date de la fabricile de ciment din Marea Britanie.

Tabelul 5.1.8.1 Cantitatea de emisii de dioxid de carbon aferentă producției cimentului (studiu de caz pentru fabricile de ciment din Marea Britanie, an producție 2019)

Tipul de ciment	CEM I	CEM II/A-LL CEM II/A-L	CEM II/A-V	CEM II/B-V	CEM II/B-S	CEM III/A	CEM III/B	CEM IV/B-V
Emisii de dioxid de carbon per tona de ciment [kg]	860	842...721	825...686	694...555	712...585	594...350	359...232	564...381

## 5.2. Agregatele

Agregatele sunt materiale minerale granulare apte de a fi utilizate în beton ce trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 12620. Ele au o pondere de cca 80% din masa betonului și pot fi naturale, artificiale sau reciclate. După ce sunt sortate în funcție de mărimea lor prin trecere prin site/ciururi cu ochiuri pătrate cu dimensiuni în mm de 0,063, 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 22,4, 25, 31,5, 40 și 63, agregatele sunt apoi clasificate pe diferite mărimi:

- nisip sorturi 0-1, 0-2, 0-3 sau 0-4 mm (de balastieră sau de carieră);
- mărgăritar sort 4-8 mm (de balastieră);
- pietriș concasat sort 4-8 mm (de balastieră obținut prin concasarea bolovanilor);
- agregate grosiere (pietriș) sorturi 8-16, 16-22,4 și 16-31,5 mm (de balastieră);
- agregate amestec natural de nisip și pietriș 0-63 mm (de balastieră);
- agregate grosiere (criblură) sorturi 4-8, 8-16, 16-25 mm (de carieră, dublu concasate);
- savură sort 0-8 mm (de carieră, simplu concasat);
- agregate grosiere amestec (split) sorturi 0-25, 0-40, 0-63 mm (de carieră, simplu concasate);
- piatră spartă sorturi 16-63, 25-63, 40-63 (de carieră).

În compoziția betonului, agregatele sunt introduse respectând zonele de granulozitate (compoziția granulometrică) recomandate și dozajul indicat în rețeta de beton.

Se recomandă utilizarea agregatelor similare – de aceeași origine geologică și același tip, pentru ca ele să aibă performanțe similare în beton. Caracteristicile fizico-mecanice ale agregatelor le afectează pe cele ale betonului, precum greutatea specifică, modulul de elasticitate sau rezistența mecanică.

Nisipul utilizat la prepararea betonului trebuie să fie aspru și colțuros la pipăit, să nu conțină argilă, granule de cărbune, particule de mică, humus, reziduuri petroliere, resturi vegetale și nici săruri (să nu fie extras din zona litoralului).

La piloți foraj și pereți mulați, cantitatea de părți fine (inclusiv ciment și adaosuri) cu diametrul particulei  $< 0,125$  mm va fi minim  $400 \text{ kg/m}^3$  pentru compoziții de beton cu  $D_{\max} > 8$  mm, respectiv va fi minim  $450 \text{ kg/m}^3$  pentru  $D_{\max} \leq 8$  mm.

La elemente prefabricate, pentru producerea betoanelor de clasă egală sau mai mare de C50/60 se utilizează amestecuri de agregate ce conțin agregate de concasaj din roci dure (având forma bună a granulelor = criblură) în proporție de 25...70% din masa amestecului de agregate. Agregatele de concasaj e nevoie să fie spălate (0,5% conținut maxim de părți levigabile) și să reprezinte sorturile de peste 3 sau 8 mm. Nu este admisă folosirea nisipului de concasaj în compoziția betonului de înaltă rezistență, întrucât afectează negativ proprietățile betonului proaspăt și întărit.

La pietrișul utilizat la prepararea betonului trebuie ca granulele mari să nu fie acoperite cu argilă, granulele să aibă formă rotunjită și nu aplatizată (fig. 5.2.1), granulele să aibă rezistență adecvată la compresiune (de ex. granulele să nu se spargă ușor la lovire cu ciocanul) și să nu conțină argilă sau impurități organice. În cazul piloților foraj și a pereților mulați se vor utiliza agregate cu formă rotunjită, agregatele de alte forme nefiind permise.

Balastul este permis a fi utilizat ca agregat doar la clase de beton de maxim C12/15 și utilizat în elemente din beton narmat.

Pentru betoanele uzuale (de clasă maxim C40/50) adesea se folosesc în compoziția betonului agregate de balastieră (de râu) având o rezistență mecanică suficientă, iar agregate de carieră concasate se utilizează, de regulă, pentru clase de minim C30/37. Se pot folosi și agregate de râu concasate, adecvate tot pentru clase de maxim C40/50.

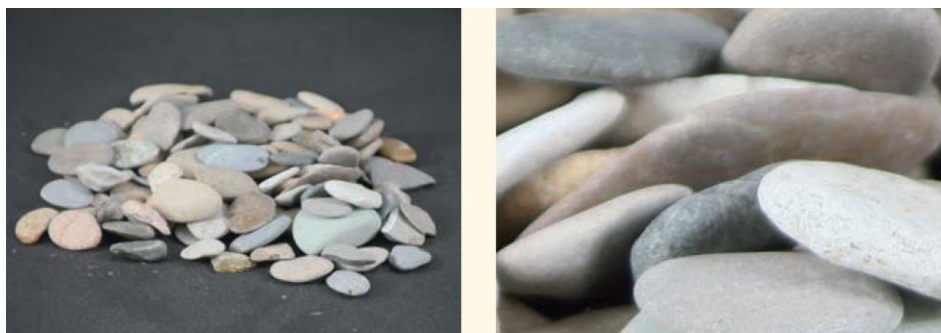




Agregate de balastieră din granule de formă rotunjită



Agregate de concasare (cribluri și splituri) din granule de formă colțuroasă



Agregate de balastieră din granule de formă aplatizată

Fig. 5.2.1 Agregate de balastieră din granule de formă rotunjită, agregate de carieră concasate (cribluri și splituri) din granule de formă colțuroasă, agregate de balastieră din granule de formă aplatizată ©Putzmeister 2011

La betonul ciclopian (element masiv din beton care înglobează în volumul său bolovani de piatră) proporția de bolovani înglobați trebuie să fie de maximum 30% și clasa betonului utilizat de minim C8/10. La elementele care sunt expuse atacului chimic sau care trebuie să respecte condiții de impermeabilitate, nu se va folosi betonul ciclopian. Mai multe indicații cu privire la betoanele ciclopiene sunt notate în anexa F din NE 012/2-2022.

Dacă agregatele conțin tipuri de silice sensibile la atacul alcaliilor (oxid de sodiu  $\text{Na}_2\text{O}$  și/sau oxid de potasiu  $\text{K}_2\text{O}$  prezente în ciment sau în compoziția betonului) și betonul este expus la umiditate (clase de umiditate în tab. 6.5), atunci sunt necesare acțiuni pentru prevenirea reacțiilor dăunătoare alcalii-silice. Agregatele care reacționează cu hidroxizii alcalini prezenți în lichidele interstițiale din beton pot provoca umflarea, apoi fisurarea și în final ruperea betonului. Printre reacțiile posibile se numără adesea reacțiile alcalii-silice (cele între alcalii și unele forme de silice) și mai rar reacțiile alcalii-carbonat.

În compoziția betonului obișnuit (de masă volumică normală) se utilizează agregate de densitate normală, precum roci silicioase (nisip, mărgăritar, pietriș ș.a.) extrase din balastiere și roci magmatice (savură, criblură, nisip, piatră spartă ș.a.) extrase din cariere (prelucrate prin concasare). La producerea betonului greu se utilizează (și) agregate grele precum roci Gabro, diabazice și/sau bazaltice. În ce privește betoanele ușoare, în compoziția acestora se utilizează agregate de densitate normală cât și agregate având densitate mică. Densitatea agregatelor și proprietățile fizico-tehnice ale acestora sunt notate în tab. 5.2.1.

Tabelul 5.2.1 Proprietăți fizico-tehnice ale agregatelor

<b>Agregate normale</b>				
<i>Material</i>	<i>Densitate aparentă [kg/m<sup>3</sup>]</i>		<i>Rezistența la compresiune [N/mm<sup>2</sup>]</i>	
Rocă silicioasă (sedimentară)	2400...2700		70...240	
Rocă calcaroasă (sedimentară)	2300...2700		80...180	
Rocă granitică (magmatică)	2600...2800		160...240	
Rocă Gabro (magmatică)	2800...3000		170...300	
Rocă diabazică (magmatică)	2800...2900		180...250	
Rocă bazaltică (magmatică)	2900...3050		250...400	
<b>Agregate ușoare</b>				
<i>Grupa materialului</i>	<i>Densitatea granulei [kg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Densitate în vrac [kg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Densitate absolută [kg/m<sup>3</sup>]</i>	<i>Rezistența granulei [apreciativ]</i>
Piatră ponce naturală	700...1600	400...700	2200...2400	scăzută
Lavă spumoasă	1700...2200	800...1000	2800...3100	medie spre ridicată
Zgură spumoasă de furnal	1000...2200	400...1100	2900...3000	scăzută spre medie
Piatră ponce sinterizată	900...1800	400...1000	2600...3000	scăzută spre ridicată
Cărămidă și țiglă ceramică reciclată (spărtură)	1200...1800	1000...1500	2500...2800	medie
Argilă expandată	600...1400	300...800	2500...2700	scăzută spre ridicată
Ardezie expandată				
<b>Agregate ușoare cu proprietăți termoizolante</b>				
Sticlă expandată	300...900	200...400	2500...2700	scăzută spre medie
Diatomit	200...400	200...300	2600...2700	foarte scăzută
Perlit expandat	100...300	50...150	2100...2400	foarte scăzută
Mică expandată	100...350	60...170	2500...2700	foarte scăzută
Nisip spumos	100...300	100...300	2500...2700	foarte scăzută
Pietriș spumos				
<b>Agregate grele și agregate cu rol împotriva radiațiilor</b>				
<i>Material</i>	<i>Densitate aparentă [kg/m<sup>3</sup>]</i>		<i>Componente relevante pentru protecția la radiații [% din masă]</i>	
<b>Agregate grele naturale</b>				
Baritină (BaSO <sub>4</sub> )	4000...4300		BaSO <sub>4</sub> – conținut ≥ 85	
Magnetină (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	4650...4800		Fe–conținut: 60...70	

Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	4700...4900	Fe-conținut: 60...70
Ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ )	4550...4650	Fe-conținut: 35...40
<b>Agregate grele artificiale</b>		
Ferofosfor ( $\text{FeP}$ )	6000...6200	Fe-conținut: 65...70
Ferosiliciu ( $\text{FeSi}$ )	5800...6200	Fe-conținut: 80...85
Granule de Fier ( $\text{Fe}$ )	6800...7500	Fe-conținut: 90...95
Nisip/pilitură de Fier ( $\text{Fe}$ )	7500	Fe-conținut: $\approx$ 95
<b>Agregate cu conținut ridicat de apă de cristalizare</b>		
Limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	3500...3650	Apă de cristalizare-conținut: 10...12
Serpentin ( $\text{Mg}_6[(\text{OH})_6\text{Si}_4\text{O}_{11}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	cca 2600	Apă de cristalizare-conținut: 11...13
<b>Adaosuri care conțin Bor</b>		
Colemanit ( $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	2300...2400	conținut de Bor $\approx$ 13
Borocalcit ( $\text{CaB}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )		
frită de Borax ( $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ )	2400...2500	conținut de Bor $\approx$ 15
carbură de Bor ( $\text{B}_4\text{C}$ )	cca 2500	conținut de Bor $\approx$ 78

Pentru alegerea compoziției granulometrice a agregatelor utilizate la prepararea betonului, se folosesc zonele de granulozitate date în anexa L din NE 012/1-2022. Prin aceste zone de granulozitate (figurile 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 și 5.2.6) se indică procentul de volum de agregat de diferite mărimi necesar pentru a obține o compoziție adecvată a betonului preparat. Zonele marcate cu cifre și cuprinse între două curbe granulometrice denotă:

- ① zonă de granulozitate defavorabilă (cu granulație mare);
- ② zonă de granulozitate favorabilă pentru compoziție granulometrică discontinuă (cu granulație discontinuă);
- ③ zonă de granulozitate favorabilă (cu granulație mare spre medie);
- ④ zonă de granulozitate utilizabilă (cu granulație medie spre fină);
- ⑤ zonă de granulozitate defavorabilă (cu granulație fină).

Consistența betonului este afectată și de curba granulometrică a agregatelor utilizate. Betoane de consistență mai fluidă decât cele indicate în tab. 5.2.2 se pot obține doar utilizând aditivi plastifianți sau superplastifianți.

Tabelul 5.2.2 Consistența betonului proaspăt preparat cu un conținut de agregate aferent curbei granulometrice indicate și o cantitate de apă exprimată în  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Curba granulometrică	Consistența betonului proaspăt în funcție de cantitate de apă exprimată mai jos în $\text{kg}/\text{m}^3$		
	vârtos	plastic	moale
A 32	130	150	170
B 32	150	170	180
C 32	170	190	210

A 16	140	160	180
B 16	160	180	200
C 16	190	210	230
A 8	155	180	200
B 8	190	205	230
C 8	210	230	250

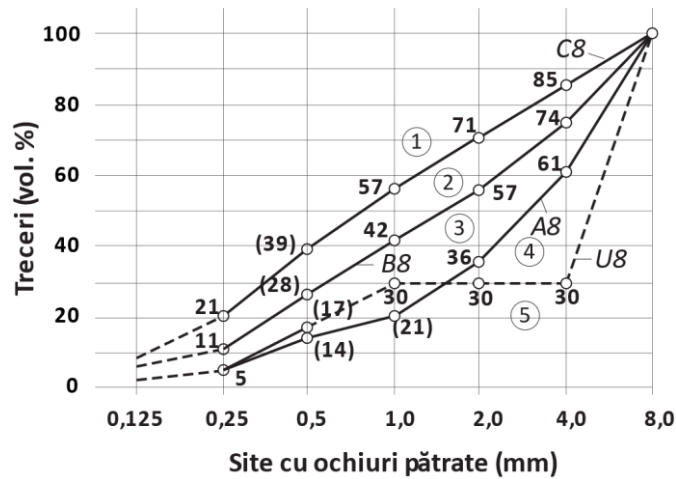


Fig. 5.2.2 Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 8 mm, după NE 012/1-2022 (anexa L) și DIN 1045-2 (anexa L)/ISO 3310-2

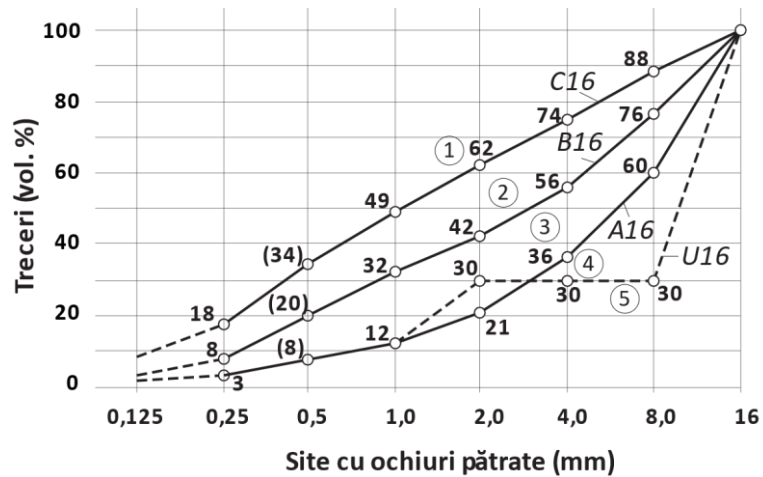


Fig. 5.2.3 Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 16 mm, după NE 012/1-2022 (anexa L) și DIN 1045-2 (anexa L)/ISO 3310-2

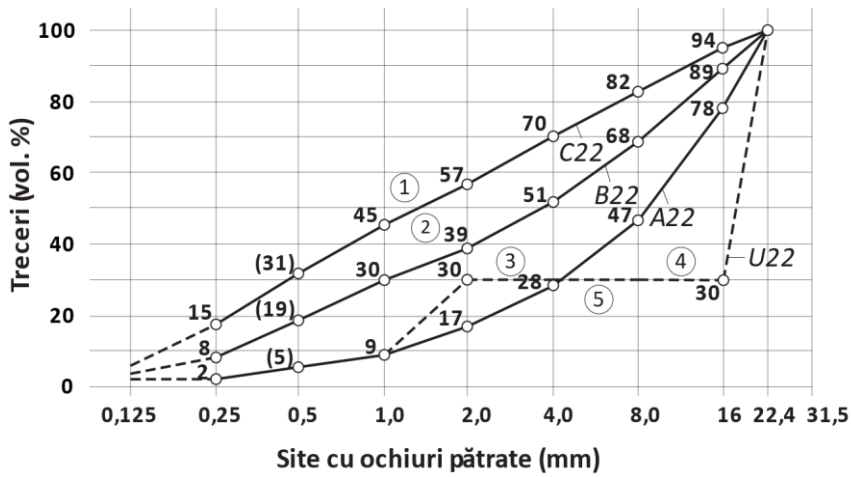


Fig. 5.2.4 Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 22 mm, după NE 012/1-2022 (anexa L) și DIN 1045-2 (anexa L - adaptată)/ISO 3310-2

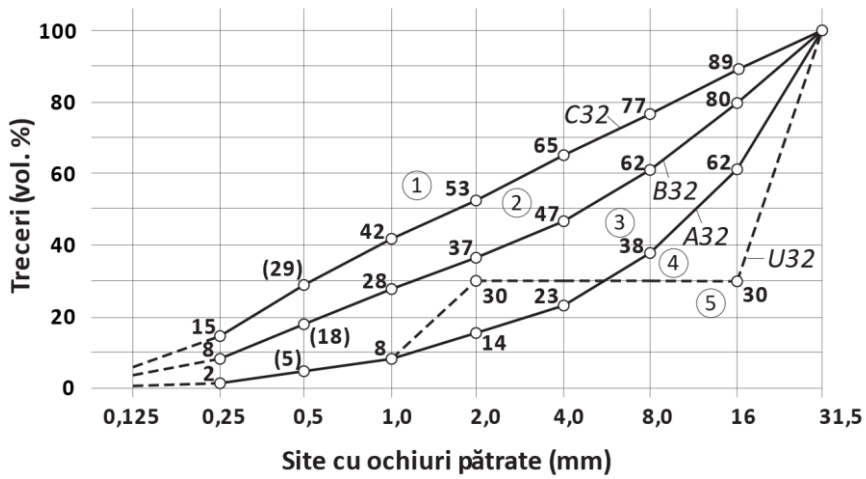


Fig. 5.2.5 Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 32 mm, după NE 012/1-2022 (anexa L) și DIN 1045-2 (anexa L)/ISO 3310-2

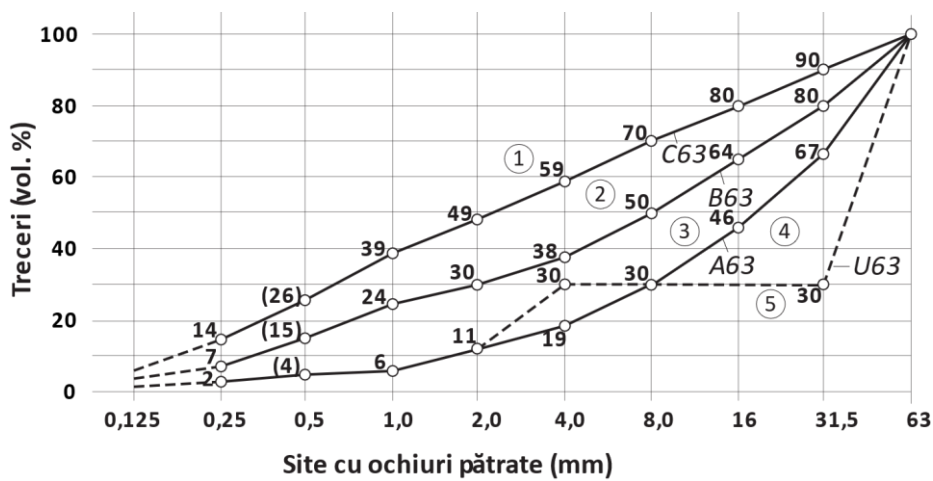


Fig. 5.2.6 Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a agregatelor de 63 mm, după NE 012/1-2022 (anexa L) și DIN 1045-2 (anexa L - adaptată)/ISO 3310-2

### 5.3. Apa de amestec

Indicații cu privire la utilizarea unei ape de amestec corespunzătoare pentru beton sunt oferite în tab. 5.3.1 (conform SR EN 1008). Din perspectiva aptitudinii de utilizare a apei pentru producerea betonului, în funcție de originea ei, se pot distinge următoarele tipuri:

- (a) **Apă potabilă** (din rețeaua publică sau din alte surse). Corespunzătoare, nu necesită nici o testare suplimentară.
- (b) **Apă naturală** din surse subterane și de suprafață. Poate fi corespunzătoare, dar necesită testare înainte de prima utilizare, iar apoi lunar până când se cunoaște fluctuația compoziției apei. Ulterior se poate adopta o frecvență de testare mai mică.
- (c) **Apă recuperată** din procese din industria betonului sau **apă combinată**. Poate fi corespunzătoare, dar necesită încercări conform anexei A din SR EN 1008. Dacă este corespunzătoare, apa recuperată sau combinată poate fi utilizată pentru beton de clasă maxim C50/60 și LC55/65. Așadar, este necorespunzătoare pentru beton de înaltă rezistență dar și pentru beton de orice clasă ce conține aditiv antrenor de aer. Nu se recomandă pentru beton aparent.
- (d) **Apă de mare** sau **apă salmastră**. Poate fi corespunzătoare doar pentru beton nearmat, dar necesită testare înainte de prima utilizare, iar apoi anual și de câte ori este necesar.
- (e) **Ape uzate**. Necorespunzătoare, decizie în acord și cu normele germane (DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN EN 1008), acestui tip de ape fiindu-le alăturate inclusiv cele de origine industrială, toate fiind considerate necorespunzătoare.

Apa recuperată ca apă de amestecare pentru prepararea betonului, după SR EN 1008, este cea apă recuperată din procese din industria betonului, precum:

- apa excedentară din betonul proaspăt;
- apa folosită la spălarea interiorului malaxoarelor, benelor de amestecare ale camioanelor malaxoare sau agitatoarelor și a pompelor de beton;
- apa tehnologică de la debitarea cu fierăstrăul, măcinarea sau insuflarea cu apă a betonului întărit.

Înainte de a fi testată și utilizată, apa recuperată va fi separată de părțile solide și apoi omogenizată în bazine sau instalații similare. Apa recuperată din procese tehnologice din industria betonului poate conține particule fine a căror dimensiune este în general sub 0,25 mm.

Tabelul 5.3.1 Diferite tipuri de apă ce pot fi folosite ca apă de amestecare pentru beton

Tipul de beton	Apă potabilă	Apă naturală din surse subterane și de suprafață	Apă recuperată din procese din industria betonului sau apă combinată	Apă de mare sau apă salmastră	Ape uzate
Nearmat	Corespunzătoare	Poate fi corespunzătoare			Necorespunzătoare
Armat	Corespunzătoare	Poate fi corespunzătoare		Necorespunzătoare	
Precomprimat	Corespunzătoare	Poate fi corespunzătoare		Necorespunzătoare	

Pentru ca apa studiată spre a fi utilizată ca apă de preparare pentru beton să fie conformă cu prevederile reglementărilor tehnice în vigoare (SR EN 206 și SR EN 1008), este obligatoriu ca la toate cele 19 puncte din tab. 5.3.2, parametrilor apei studiate să îi corespundă calificativul acceptată sau condiționată și cu cerințele suplimentare respectate.

Tabelul 5.3.2 Criterii de evaluare a eligibilității apei de amestec pentru beton

Nr. crt.	Parametru	Stare/Cantitate	Eligibilitate	Stare/Cantitate	Eligibilitate
<b>Examinare preliminară</b>					
1	Uleiuri și grăsimi	Nu mai mult de urme vizibile	Acceptată	Urme vizibile	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
2	Detergenți	Spumă care dispare în maxim 2 minute	Acceptată	Spumă stabilă	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
3	Culoare	Galben pal sau mai pal (exceptând apa recuperată și apa combinată)	Acceptată	Mai închisă decât galben pal	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
4	Substanțe în suspensie	≤ 4 ml	Acceptată	> 4 ml	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
5	Miros	Niciun miros cu următoarele excepții: miros de apă potabilă, miros ușor de ciment (la apa recuperată), miros ușor de hidrogen sulfurat (la prezența zgurii de furnal). La apele care nu sunt recuperate sau combinate, după adăugarea acidului clorhidric apa rămâne fără miros.	Acceptată	Miros puternic, altul decât mirosul apei potabile	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
6	Acizi	pH ≥ 4	Acceptată	pH < 4	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
7	Substanțe humice	Culoare maro-gălbui sau mai deschisă, după adăugare NaOH	Acceptată	Culoare mai închisă decât maro-gălbui	Condiționată de respectarea timpilor de priză*)
<b>Analiză chimică</b>					
8	Substanțe dizolvate	< 100 mg/l	Acceptată	-	-
9	Conținut de clorură	≤ 500 mg/l	Acceptată pentru beton nearmat, beton armat și beton precomprimat		
		≤ 1000 mg/l	Acceptată pentru beton nearmat și armat		
		≤ 4500 mg/l	Acceptată doar pentru beton nearmat		
10	Conținut de sulfat	≤ 2000 mg/l	Acceptată	> 2000 mg/l	Respinsă
11	Alcalii	Conținut acidului de sodiu echivalent al apei ≤ 1500 mg/l	Acceptată	> 1500 mg/l	Condiționată de utilizarea exclusiv a unor agregate nereactive față de alcalii sau de luarea unor măsuri de prevenire a reacțiilor alcalii-silice de deteriorare
12	Substanțe dizolvate	NaCl ≤ 100 mg/l și NaCl-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ≤ 100 mg/l și NaCl-Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ≤ 100 mg/l	Acceptată	> 100 mg/l	Respinsă
<b>Contaminări dăunătoare</b>					
13	Zaharuri	≤ 100 mg/l	Acceptată	> 100 mg/l	Respinsă
14	Fosfați	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≤ 100 mg/l	Acceptată	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 100 mg/l	Respinsă
15	Nitrați	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ≤ 500 mg/l	Acceptată	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > 500 mg/l	Respinsă
16	Plumb	Pb <sup>2+</sup> ≤ 100 mg/l	Acceptată	Pb <sup>2+</sup> > 100	Respinsă

				mg/l	
17	Zinc	$Zn^{2+} \leq 100$ mg/l	Acceptată	$Zn^{2+} > 100$ mg/l	Respinsă
Timp de priză și rezistență					
18	*)Timpul de priză inițial determinat pe probe de beton realizate cu apa studiată trebuie să aibă durată minim 1 h și să nu difere cu mai mult de 25% de timpul de priză inițial determinat pe probe de beton realizate cu apă distilată sau deionizată. În ce privește timpul de priză final, acesta trebuie să fie de maxim 12 h și să nu difere cu mai mult de 25% de timpul de priză al probelor de beton realizate cu apă distilată sau deionizată.				
19	Rezistența medie la compresiune determinată la vârsta de 7 zile pe probele de beton realizate cu apa studiată, trebuie să fie minim 90% din rezistența medie la compresiune determinată la vârsta de 7 zile pe probele de beton realizate cu apă distilată sau deionizată.				

Cantitatea orientativă pentru apa de amestecare utilizată la prepararea betonului în corelație cu clasa de rezistență la compresiune a betonului și cu clasa de consistență a betonului proaspăt, în lipsa aditivilor, este rezumată în tabelul 5.3.3.

Tabelul 5.3.3 Cantitatea (orientativă) de apă de amestecare utilizată la prepararea betonului în corelație cu ingredientele utilizate și consistența betonului proaspăt

Clasa betonului	Tipul agregatului	Dimensiunea maximă a agregatului	Cantitatea de apă [L/m <sup>3</sup> ] aferentă consistenței			
			Vârtos	Plastic	Moale	Foarte moale
C8/10...C20/25	Agregat de balastieră	8	155	165	180	200
		31,5	170	185	200	220
	Agregat de concasare	8	170	185	200	220
		31,5	185	205	220	240
≥ C25/30	Agregat de balastieră	8	165	180	195	205
		31,5	185	200	215	230
	Agregat de concasare	8	185	200	215	230
		31,5	205	220	235	255

#### 5.4. Aditivii

Aditivii sunt produse chimice în formă lichidă sau solidă care, adăugați în compoziția betonului, pot să modifice caracteristicile amestecului în stare proaspătă și/sau întărită. Cel mai des, aditivii pentru beton, sunt comercializați în formă lichidă și nu în formă de pulbere, deoarece lichidul se dispersează mult mai ușor în masa betonului. Utilizarea aditivilor pentru beton se face conform NE 012/1-2022 și SR EN 934-2/2003. Pentru stabilirea dozajului optim de aditivi se fac teste de laborator pe betonul proaspăt și întărit.

Este necesară verificarea compatibilității aditivilor cu cimenturile utilizate prin încercări preliminare.

Dozajul minim de aditiv este de 0,2% din cantitatea de ciment. În cazul dozajelor mai mici e obligatorie dispersarea aditivului într-o parte din apa de amestec și abia ulterior adăugat la compoziția betonului. Dozajul maxim de aditiv este cel recomandat de către producătorul de aditivi și nu mai mult de 5% din cantitatea de ciment. În caz contrar, este obligatoriu studiul dozajului de aditiv asupra performanței și durabilității betonului.

Aditivii se adăugă în timpul preparării betonului sau cu puțin timp înainte de betonare, conform instrucțiunilor producătorilor, de aditivi și de beton. După adăugarea aditivului, timpul minim de amestecare este de 4...5 minute.



Pentru obținerea claselor de consistență  $\geq S4$ ,  $V4$ ,  $C4$  sau  $\geq F4$  este obligatorie utilizarea de aditivi reducători de apă (plastifianți) sau aditivi puternic reducători de apă (superplastifianți), fig. 5.4.1, exceptând betonul turnat în piloți forajați și pereți mulați (fundații de adâncime) pentru care e permisă obținerea de betoane fluide și fără plastifianți.

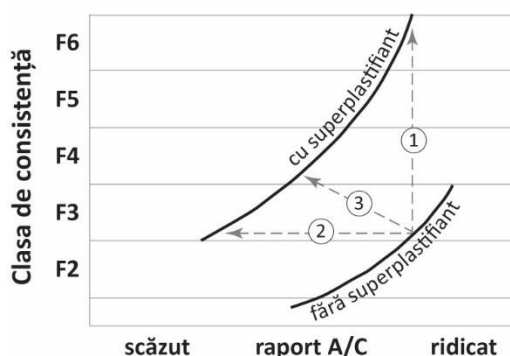


Figura 5.4.1 Posibilități de utilizare a plastifianților și a superplastifianților

Tipurile de aditivi, descrierea acestora și denumirea comercială a câtorva aditivi disponibili la ora actuală în România, sunt centralizați în tab. 5.4.1. Pe piață există un număr foarte mare de produse concurente, fiecare aditiv putând avea propriile mecanisme de acționare și cu efecte personalizate asupra betoanelor. S-a constatat că aditivii de același tip dar de la producători diferiți, adăugați la compoziția betonului pot să nu aibă o influență identică sub toate aspectele fizico-chimice. Mai mult, studiile arată că efectele aceluiși aditiv pe clase diferite de beton sunt diferite. În consecință, alegerea aditivilor utilizați la prepararea betonului este necesar să fie făcută pe baza unor cerințe multicriteriale în funcție de proprietățile de material care se doresc a fi îmbunătățite și de experiența producătorului de beton. Pentru câțiva aditivi, în tab. 5.4.2 este indicată substanța aditivă și proprietățile acestora. Dacă sunt utilizați mai mulți aditivi în același amestec de beton, atunci e obligatoriu să se verifice compatibilitatea lor prin încercări inițiale. Se recomandă utilizarea de aditivi de la un singur producător la prepararea amestecului pentru un beton.

Tabelul 5.4.1 Tipuri de aditivi

Nr. crt.	Tipul de aditiv	Descriere	Producător și denumirea comercială
1	Aditiv reducător de apă (plastifiant)	Permite reducerea conținutului de apă din amestecul de beton fără a afecta consistența (ramura 2, fig. 5.4). Sau, păstrând conținutul de apă, crește tasarea/răspândirea betonului proaspăt (ramura 1, fig. 5.4). Sau, permite reducerea conținutului de apă concomitent cu creșterea fluidității (lucrabilității) betonului proaspăt (ramura 3, fig. 5.4).	Betonchemie: <i>Pantarhit 35 K (BV)</i> Mapei: <i>Vibromix C1 și L4 (pentru betoane de consistență uscată și ulterior vibro-compactate sau extrudate)</i> Sika: <i>Plastiment BV-101 N, 101 S, 404 și 440; Plastiment-540 BV</i>
2	Aditiv puternic reducător de apă (superplastifiant)	Permite o mare reducere a conținutului de apă din amestecul de beton fără a afecta consistența (ramura 2, fig. 5.4). Sau, păstrând conținutul de apă, crește considerabil tasarea/răspândirea betonului proaspăt (ramura 1, fig. 5.4). Sau, permite o mare reducere a conținutului de apă concomitent cu creșterea considerabilă a fluidității (lucrabilității) betonului proaspăt (ramura 3, fig. 5.4).	Betonchemie: <i>Pantarhit U, S, MN și L (FM); Pantarhit RC 168, 169, 170, 175, 530, 540, 550, 572, 600, 610, 630, 187W și 610W (FM); Pantarhit C 120, 150, 200 și 210 (FM); Pantarhit PC 125, 140, 150, 170, 180 și 670 (FM); Pantarhit FT 500 și 750 (FM)</i> Isomat: <i>Reotol-SPL; Adium-110, 130, 145 și 150</i> Mapei: <i>Dynamon Easy 21 și 31; Dynamon SR 3, 41 și 914; Dynamon SX; Dynamon SX 24 și 32; Dynamon NRG 1044</i>

			Sika: SikaPlast-10, 50, 425, 518, 760 și 917; Sika ViscoCrete-155, 1020, 12 HE Plus, 18 HE, 19 HE, 20 HE Plus, 20 HE Gold și 40 HE
3	Aditiv pentru reținerea apei	Are ca efect reducerea pierderii de apă printr-o reducere a exudării betonului.	-
4	Aditiv antrenor de aer	Permite încorporarea unei cantități controlate de bule de aer, uniform distribuită în timpul amestecării, care se păstrează și după întărire.	Betonchemie: Pentapor 66, 2000, 2005, 2010 și 2077 (LP) Mapei: Mapeair AE 1, 10 și 20 Sika: Sika LPS A-94 3; Sika Luftporenbildner
5	Aditiv accelerator de priză	Face posibilă reducerea timpului de început al trecerii amestecului de la starea plastică la cea rigidă.	Isomat: Adinol-Rapid Sika: Sika Frostschutz FS 1 (aditiv anti-îngheț); Sika Sigunit-49 AF (pentru torcrete semiuscate); Sika L-53 AF (pentru torcrete umede și uscate)
6	Aditiv accelerator de întărire	Permite creșterea vitezei de dezvoltare a rezistenței inițiale a betonului, cu sau fără afectarea timpului de priză.	Betonchemie: Pantaquick C100 (BE) Isomat: Adinol-Rapid 2H Mapei: Dynamon HAA; Mapefast CF/L și CF/P Sika: Sika Beschleuniger BE 5, Sika Frostschutz N (aditiv anti-îngheț)
7	Aditiv întârziator de priză	Face posibilă mărirea timpului de început al trecerii amestecului de la starea plastică la cea rigidă.	Betonchemie: Pantarhol Maxretard 55 (VZ); Pantarhol 85 și 90 (VZ); Pantarhol 95 CY (VZ) Isomat: Bevetol-VZ Mapei: Mapetard Sika: Sika Verzögerer VZ 1, Sika Retarder liquid
8	Aditiv impermeabilizant în masă	Are ca efect reducerea absorbției capilare a betonului întărit.	Betonchemie: Durahit WP 107, 500 și 800 (DM); Durahit Crystal Ad 1000; Protect HCS (ST); Protect HWR-80 (DM); Antipor Hydrocem 60 (pentru beton semi-uscat) Isomat: Aquamat-Admix; Adynol-DM Mapei: Vibromix S (pentru betoane semi-umede și ulterior vibro-compactate sau extrudate) Sika: Sika Dichtungsmittel DM 2, Sika WT-200 P, Sika WT-110 L RO; SikaPaver AE-400 (reducere eflorescențele)
9	Aditiv modificator de vâscozitate (stabilizator)	Are ca efect formarea unei paste de ciment omogene și cu vâscozitate redusă, dar cu o lucrabilitate bună și îmbunătățind compactarea betonului. Poate înlătura segregarea și sângerarea betonului.	Betonchemie: Antipor Hydrocem 50 (pentru betoane semi-umede și ulterior vibropresate) Mapei: Viscostar 3K (pentru betoane autocompactante); Mapeplast UW (pentru turnări subacvatiche) Sika: Sika Stabilizer-4R (pentru beton autocompactant)
10	Aditiv reducător de contracții	Reduce semnificativ contracțiile betonului datorate procesului de hidratare a cimentului.	Mapei: Expancrete Sika: Sika Control 40 și 50
11	Aditiv inhibitor de coroziune	Acționează ca inhibitor de coroziune pentru armăturile din oțel prin formarea pe suprafața armăturilor a unui film protector care întârzie apariția coroziunii și reduce viteza de coroziune.	Sika: Sika FerroGard-901 și 903
12	Aditiv plastifiant	Are efecte combinate asupra betonului,	Betonchemie: Pentarhit 15, 35, 45 și 50 (BV);

	și întârziator de priză	cele ale unui aditiv plastifiant (funcție primară) și cele ale unui aditiv întârziator de priză (funcție secundară).	<i>Pentarhit 45 S (BV)</i> Isomat: <i>Bevetol-SPL, Retadol</i>
13	Aditiv superplastifiant și întârziator de priză	Are efecte combinate asupra betonului, cele ale unui aditiv superplastifiant (funcție primară) și cele ale unui aditiv întârziator de priză (funcție secundară).	Isomat: <i>Adium-132</i>
14	Aditiv plastifiant și accelerator de priză	Are efecte combinate asupra betonului, cele ale unui aditiv plastifiant (funcție primară) și cele ale unui aditiv accelerator de priză (funcție secundară).	Betonchimie: <i>Pentarhit 30 W (BV)</i>
15	Aditiv superplastifiant și accelerator de priză	Are efecte combinate asupra betonului, cele ale unui aditiv superplastifiant (funcție primară) și cele ale unui aditiv accelerator de priză (funcție secundară).	Betonchimie: <i>Pantarhit F (FM)</i> Mapei: <i>Dynamon NRG 1010 și 1020</i>
16	Aditiv plastifiant cu efect anti-îngheț și accelerator de priză	Are efecte combinate asupra betonului, cele ale unui aditiv superplastifiant (funcție primară) cu efect anti-îngheț și cele ale unui aditiv accelerator de priză (funcție secundară).	Betonchimie: <i>Antifrost 30 (BV); Antifrost 45 (BE)</i>
17	Aditiv impermeabilizator în masă și plastifiant	Are efecte combinate asupra betonului, cele ale unui aditiv impermeabilizator în masă (funcție primară) și cele ale unui aditiv plastifiant (funcție secundară).	Isomat: <i>Plastiproof</i>

Aditivii multifuncționali notați în tab. 5.4.1 de la 12 la 17, au o funcție primară și o alta secundară, iar adăugați la compoziția betonului produc efectele combinate a doi aditivi. Pentru un mai bun control asupra modului în care proprietățile betonului sunt influențate prin adăugarea de aditivi, se recomandă evitarea aditivilor multifuncționali (aditivi cu acțiune compusă).

Tabelul 5.4.2 Substanțe active pentru aditivi

Denumirea	Proprietăți	Aplicații
Lignosulfonați (activi la suprafața particulelor)	- pot întârzia priza - cu efect puternic plastifiant - tind să aibă efect de antrenor de aer - produs secundar din industria celulozei - cu potențial comercial	Reducător de apă / Plastifiant
Naftalen sulfonați (activi la suprafața particulelor)	- cu efect puternic plastifiant - produs sintetic - când sunt de slabă calitate pot avea efect de antrenor de aer	Reducător de apă / Plastifiant
Rășini melaminice (dispersanți)	- cu efect plastifiant, dar necesită dozaj mare - nu întârzie priza - cu efect adeziv - excelent pentru beton cu conținut obligatoriu de aer antrenat	și Puternic reducător de apă / Superplastifiant
Policarboxilați / Eteri policarboxilați (dispersanți)	- cu efect puternic plastifiant, uneori în dozaj mic - cu efect plastifiant îndelungat - conferă o coeziune bună amestecului de beton	
Rășini naturale (produs natural)	- cca 50% conținutul de bule de aer antrenat - structura porilor poate fi ușor distrusă - disponibilitate limitată	Aditiv antrenor de aer
Surfactanți sintetici / tenside sintetice (produs sintetic)	- cca 80% conținutul de bule de aer antrenat - structura porilor e stabilă - disponibilitate bună	
Fosfați	- efect foarte bun - potrivit pentru întârzierea prizei > 24 h - fără efect de lichefiere - creștere moderată, constantă a efectului odată cu dozajul	Aditiv întârziator de priză

Zaharoză (zahăr) (produs organic)	- efect foarte bun - potrivit pentru întârzierea prizei > 24 h - a fi utilizat de preferat pentru mortare și grout-uri	
Acizi hidroxicarboxilici (de ex. acid citric) (produs organic)	- efect bun - are efect de lichefiere - potrivit pentru întârzierea prizei câteva ore	
Lignosulfonați (produs organic)	- efect redus - are efect de lichefiere	

În fig. 5.4.2 este reprezentată durata de acțiune a plastifianților și a superplastifianților în raport cu diametrul de răspândire a probelor de beton proaspăt (metoda cu masă de răspândire), în funcție de tipul substanței active utilizate. În cazul aditivilor superplastifianți având substanța activă o rășină melaminică, de obicei sunt adăugați în amestecul de beton proaspăt la livrarea pe șantier.

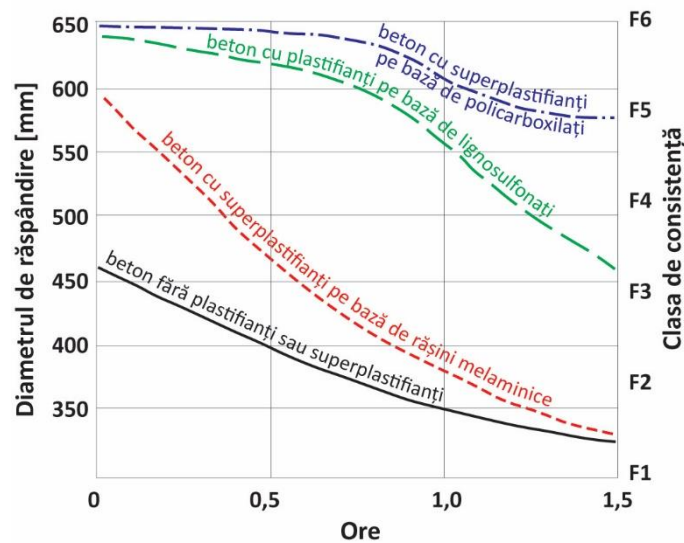


Figura 5.4.2 Durata de acțiune a plastifianților/superplastifianților considerată imediat după adăugarea lor în amestecul de beton proaspăt, pentru un beton cu un dozaj de 320 kg/m<sup>3</sup> de ciment CEM I și o temperatură T = 20°C

Pentru tipurile de aditivi recomandați pentru a obține diferite proprietăți ale betonului proaspăt și/sau întărit, se poate utiliza tab. 5.4.3.

Tabelul 5.4.3 Condiții de utilizare a aditivilor

Nr. crt.	Tipul de beton, tehnologia și condițiile de turnare	Aditivi recomandați
1	Beton având clasa de rezistență cuprinsă între C8/10 și C30/37, turnat cu bena sau pompat	Plastifiant sau Superplastifiant
2	Betoane având consistența foarte moale sau și mai fluide (clasa de tasare minim S3 sau F4)	
3	Beton având clasa de rezistență minim C35/45, turnat pe șantier	Superplastifiant
4	Beton fluid, precum cel utilizat la monolitizări (îmbinări umede între prefabricate) sau în elemente cu armare densă	
5	Beton foarte fluid (precum grout sau beton autocompactant), utilizat la subturnări, refacerea aderenței dintre armătură și betonul turnat într-o baza anterioară (injectări în teci), alte injectări, elemente în care betonul poate fi vibrat (compactat)	
6	Beton cu rezistență înaltă la compresiune	
7	Beton cu permeabilitate redusă	Plastifiant sau Superplastifiant + Impermeabilizator în masă (după caz)

8	Beton turnat în elemente masive	Plastifiant sau Superplastifiant + Întârziator de priză
9	Beton turnat prin tehnologii speciale ce necesită autocompactare	
10	Beton turnat pe timp călduros	
11	Beton turnat pe timp friguros	Plastifiant cu efect anti-îngheț + Accelerator de priză (plastifiantul aici e utilizat cu rol de reducător de apă)
12	Beton cu rezistențe mari la termene scurte, precum betonul utilizat la elemente prefabricate și la beton precomprimat	Accelerator de întărire
13	Beton armat sau precomprimat expus atacului turnat în elemente expuse atacurile ce pot cauza coroziunea armăturii (XC, XD, XS)	Plastifiant sau Superplastifiant + Inhibitor de coroziune (după caz)
14	Beton în elemente expuse la îngheț-dezghet	Antrenor de aer

Pentru o lucrabilitate corespunzătoare a betoanelor cu raport apă-ciment redus, se recomandă utilizarea aditivilor de tip reducător de apă/plastifianți pentru clase de beton de până la C30/37, iar pentru betoane de clase superioare se pot folosi aditivi puternic reducător de apă/superplastifianți.

### 5.5. Adaosurile

Adaosurile (de liant în beton) sunt materiale minerale fin divizate utilizate în compoziția betonului spre îmbunătățirea unor proprietăți sau pentru a-i conferi proprietăți speciale. Orientativ, raportul dintre cantitatea de adaos,  $m_{\text{ADAOS}}$ , și cantitatea de ciment,  $m_{\text{CEM}}$ , este de minim 5%. Se disting două tipuri de adaosuri (tab. 5.5.1): adaosuri considerate practic inerte (adaos de tip I) și adaosuri puzzolanice sau hidraulic latente (adaos de tip II). Printre adaosurile ce pot fi utilizat în compoziția betonului se numără:

- filere (de calcar, de cuarț) (adaos de tip I) conform SR EN 12620;
- pigmenti (adaos de tip I) conform SR EN 12878;
- bentonită (adaos de tip I);
- cenuși volante (adaos de tip II) conform SR EN 450;
- silice ultrafină (adaos de tip II) conform SR EN 13263;
- tuf vulcanic (adaos de tip II) conform DIN 51043;
- zgură granulată de furnal fin măcinată (adaos de tip II) conform SR EN 15167-1.

Tabelul 5.5.1 Proprietăți și valori de referință pentru adaosuri folosite în compoziția betonului

Denumire	Tip	Suprafață specifică [cm <sup>2</sup> /g]	Densitate absolută [kg/dm <sup>3</sup> ]	Densitate în vrac [kg/dm <sup>3</sup> ]
Filer de cuarț	I	≥ 1000	≈ 2,65	1,3 ... 1,5
Filer de calcar		≥ 3500	2,6 ... 2,7	1,0 ... 1,3
Pigmenți		50.000 ... 200.000	4,0... 5,0	-
Bentonită		-	2,0 ... 3,0	0,7 ... 0,9
Cenuși volante	II	2000 ... 8000	2,2 ... 2,4	0,9 ... 1,1
Silice ultrafină		150.000 ... 350.000	≈ 2,2	0,3 ... 0,6
Tuf vulcanic		≥ 5000	2,4 ... 2,6	0,7 ... 1,0
Zgură granulată de furnal fin măcinată		≥ 2750	2,4 ... 3,0	0,9 ... 1,1
Ciment (ca etalon de referință)		3000 ... 4500 (pentru CEM I)	2,9 ... 3,1	0,9 ... 1,2 (necompactat) 1,6 ... 1,9 (compactat)

Utilizarea adaosurile este condiționată de efectuarea de încercări inițiale pe probele de beton cu adaosul dorit în compoziție și de folosirea adaosurile în conformitate cu reglementările tehnice menționate mai devreme. Betonul care conține cenușă trebuie să fie evaluat continuu din cauza variațiilor adaosurilor, în corelație cu centrul de colectare (CET-ul) de adaosuri.

**Filerile** sunt părți fine din agregate cu diametrul mai mic de 0,063 mm (SR EN 12620), respectiv 0,125 mm (NE 012/1-2022). În standardul SR EN 12620, se consideră că atunci când conținutul total de părți fine este mai mic de 3% acestea pot fi considerate ca nedăunătoare. Părțile fine acționează ca un lubrifiant între granulele mari de agregate, îmbunătățind lucrabilitatea și reținând apa. Totodată, filerile se folosesc și pentru a îmbunătăți curba granulometrică a agregatelor din compoziția betonului. Cantitatea necesară de apă pentru hidratarea cimentului este cea corespunzătoare unui raport apă-ciment de cca 0,15. Apa adăugată peste această valoare este pentru asigurarea contactului apei cu toate particulele de ciment și pentru a obține lucrabilitatea necesară.

**Pigmenții**, pentru a fi utilizați ca adaosuri în beton, e obligatoriu să fie conform SR EN 12878. Pigmenții permisi sunt cei anorganici din categoria B, aceștia fiind introduși în compoziția betonului într-o cantitate de 2 până la 8% din cantitatea de ciment. Pigmenții sunt de obicei de origine minerală, durabilitatea betonului astfel colorat având loc atunci când sunt utilizați pigmenți rezistenți la lumină și stabili în piatra de ciment. Pigmenții sunt disponibili sub formă de pulbere, granule sau în soluții apoase. E obligatoriu ca reducerea rezistenței la compresiune a betonului având pigmenți adăugați să fie de maxim 8% comparativ cu același beton fără pigmenți.

Adaosurile minerale inerte de tip I (**filere și pigmenți**) nu influențează contracția liberă a betonului.

Când se folosesc adaosuri de tip II se va înlocui noțiunea „raport apă-ciment” cu „raport apă/(ciment + k x adaos), unde k este un coeficient a cărui valoare e specifică adaosului respectiv (tab. 5.5.2). Raportul apă/(ciment + k x adaos) mai este denumit și raport apă-ciment echivalent.

**Cenușa volantă (zburătoare).** În cazul cenușii volante, raportul dintre cantitatea de cenușă,  $m_{CV}$ , și cantitatea de ciment,  $m_{CEM}$ , este maxim 0,33, iar dacă se utilizează o cantitate mai mare de cenușă atunci excedentul nu poate fi luat în considerație pentru calculul raportului apă/(ciment +  $k_{CV}$  x cenușă volantă) și nici pentru stabilirea dozajului minim de ciment. Cenușile volante (puzzolanice) nu influențează contracția la uscare dar reduc căldura generată de hidratare.

Conform SR EN 197-1, pentru beton preparat cu cimentul tip CEM I următoarele valori sunt permise pentru k:

- CEM I 32,5                       $k_{CV} = 0,2$
- CEM I 42,5 și 52,5             $k_{CV} = 0,4$

Dozajul minim de ciment aferent unei clase de expunere poate fi diminuat cu o cantitate maximă de k x (conținutul minim de ciment – 200)  $kg/m^3$ , cu condiția ca în final cantitatea de (ciment + cenușă volantă) să fie mai mare sau egală decât conținutul minim în ciment prevăzut în NE 012/1-2022 pentru clasa de expunere în cauză.

Pentru utilizarea cenușii volante în compoziția betonului imersat se va considera:

- $(m_{CEM} + m_{CV}) \geq 350 \text{ kg}/m^3$  și
- $(m_{APĂ}/m_{CEM})_{echiv} = m_{APĂ}/(m_{CEM} + 0,7 \cdot m_{CV}) \leq 0,60$

Atunci când se folosește cenușă volantă în compoziția betonului pentru piloți foraj, dozajul minim de ciment este cel din tab. 5.5.3.

Pentru clasele de expunere XA2 și XA3, nu se recomandă utilizarea coeficientului k în cazul betoanelor produse cu ciment CEM I rezistent la sulfați și cenușă volantă, unde substanța agresivă este sulfatul.

Pentru utilizarea cenușii volante în compoziția betonului rezistent la sulfați (clasa de expunere XA1) se va considera:

- $m_{CV} \leq 0,43 \cdot m_{CEM}$ , pentru tipurile de ciment: CEM I; CEM II/A-S; CEM II/B-S; CEM II/A-V; CEM II/A-LL; CEM II/A-M având componente principale zgură granulată de furnal (S), cenușă zburătoare silicioasă (V), șist calcinat (T), calcar având conținutul de carbonat de calciu, argilă și carbon organic maxim 0,2% din masa cimentului (LL); CEM II/B-M (S-T)
- $m_{CV} \leq 0,43 \cdot m_{CEM}$ , pentru tipurile de ciment: CEM II/A-T; CEM II/B-T; CEM III/A.

Utilizarea cenușii volante în beton cu agregate reactive la alcalii este reglementată prin SR EN 206 și SR EN 450-1. Prevederi suplimentare în corelație cu clasa de umiditate sunt oferite în norma germană Alkali-Richtlinie DAfStb.

Proiectarea betonului expus la umiditate ca urmare a reacției alcaliilor (bazelor) cu agregatele reactive din beton este reglementată prin standardul român SR 5440-2009, aflat în vigoare. Suplimentar, referire la reacția alcalii-silice se face prin clasele de umiditate WO, WF și WA în norma germană DIN 1045-2, respectiv WS în norma germană pentru drumuri din beton TL Beton-StB. Descrierea acestor clase este sintetizată în tab. 6.5

**Silicea ultrafină.** În cazul silicei ultrafină, raportul dintre cantitatea de silice,  $m_{SU}$ , și cantitatea de ciment,  $m_{CEM}$ , este permis maxim 0,11, iar dacă se utilizează o cantitate mai mare de silice ultrafină atunci excedentul nu poate fi luat în considerație pentru calculul raportului apă/(ciment + k x silice ultrafină) și nici pentru stabilirea dozajului minim de ciment. Praful de silice ultrafină este un adaos mineral de tip II hidraulic latent ce reduce contracția la uscare și mărește căldura generată de hidratare.

Conform SR EN 197-1, pentru compoziții cu ciment CEM I se poate folosi  $k_{SU} = 2,0$ , cu excepția când raportul apă-ciment specificat e mai mare de 0,45 și clasele de expunere sunt XC și/sau XF, în acest caz folosindu-se  $k_{SU} = 1,0$ .

Dozajul minim de ciment aferent unei clase de expunere poate fi înlocuit cu dozajul (ciment + k x praf de silice), cu condiția ca în cazul claselor de expunere ce necesită dozaj minim de ciment de 300 kg/m<sup>3</sup>, fracțiunea din dozajul de ciment substituit cu praf de silice să fie de maxim 30 kg/m<sup>3</sup>.

**Zgură granulată de furnal fin măcinată.** Raportul dintre cantitatea de zgură,  $m_{ZF}$ , și cantitatea de ciment,  $m_{CEM}$ , este permis să fie maxim 1,0. Atunci când în compoziția betonului se folosește ciment CEM I și CEM II/A, se va considera coeficientul  $k_{ZF} = 0,6$ . Prescripțiile privind utilizarea cenușii zburătoare în betonul imersat sau pentru producția de beton cu rezistență ridicată la sulfatați nu se aplică și zgurii granulate de furnal fin măcinată.

Utilizarea puzzolanei în compoziția betonului poate avea următoarele efecte:

- îmbunătățirea lucrabilității păstrând aceeași cantitate de apă;
- reducerea sângerării;
- creșterea gradului de impermeabilitate;
- reducerea căldurii de hidratare, a gradului de contracție și astfel tendința de fisurare;
- îmbunătățirea rezistenței la atac chimic;
- previne formarea eflorescențelor cauzate de formarea legăturilor de hidroxid de calciu Ca(OH)<sub>2</sub>.

În tabelul 5.5.2 este notat conținutul maxim admis de adaosuri de tip II în compoziția betonului, ținându-se cont și de tipul de ciment utilizat. Un caz aparte îl reprezintă piloții, dacă betonul turnat în piloți conține cenușă zburătoare, atunci se va respecta dozajul minim de ciment din tab. 5.5.3.

Tabelul 5.5.2 Conținutul maxim admis de cenușă volantă și de silice ultrafină în compoziția betonului

Cenușă volantă (CV)	Silice ultrafină (SU)	Cenușă volantă și Silice ultrafină	Zgură granulată de furnal fin măcinată (ZF)
<i>Conținutul maxim de adaosuri pentru a asigura alcalinitatea amestecului</i>			
$m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,33$ $m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,15^{1)}$	$m_{SU}/m_{CEM} \leq 0,11$	$m_{SU}/m_{CEM} \leq 0,11$ $m_{CV}/m_{CEM} \leq 3 \cdot (0,22 - m_{SU}/m_{CEM})^{7)}$ $m_{CV}/m_{CEM} \leq 3 \cdot (0,15 - m_{SU}/m_{CEM})$	$m_{ZF}/m_{CEM} \leq 1,0$ $m_{ZF}/m_{CEM} \leq 0,15^{1)}$
<i>Conținutul de adaosuri luat în calcul la stabilirea raportului maxim adaos/ciment echivalent</i>			
$m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,33^{2)}$ $m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,25^{3)}$ $m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,15^{1)}$	$m_{SU}/m_{CEM} \leq 0,11$	$m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,33$ $m_{SU}/m_{CEM} \leq 0,11$	$m_{ZF}/m_{CEM} \leq 0,33^{2)}$ $m_{ZF}/m_{CEM} \leq 0,25^{3)}$ $m_{ZF}/m_{CEM} \leq 0,15^{1)}$
<i>Coeficientul k</i>			
$k_{CV} = 0,4$	$k_{SU} = 1,0$	$k_{CV} = 0,4$	$k_{ZF} = 0,4$

		$k_{SU} = 1,0$	$k_{ZF} = 0,6^8)$
<i>Raportul apă-ciment echivalent (<math>m_{AP\bar{A}}/m_{CEM}</math>)<sub>echiv</sub></i>			
$m_{AP\bar{A}}/(m_{CEM} + k_{CV} \cdot m_{CV})^9)$	$m_{AP\bar{A}}/(m_{CEM} + k_{SU} \cdot m_{SU})^6)$	$m_{AP\bar{A}}/(m_{CEM} + k_{CV} \cdot m_{CV} + k_{SU} \cdot m_{SU})^6)$	$m_{AP\bar{A}}/(m_{CEM} + k_{ZF} \cdot m_{ZF})^6)$
<i>Dozaj redus de ciment <math>m_{CEM,min}</math></i>			
$m_{CEM} + m_{CV} \geq m_{CEM,min}^9)$	$m_{CEM} + m_{SU} \geq m_{CEM,min}$	$m_{CEM} + m_{CV} + m_{SU} \geq m_{CEM,min}^6)$	$m_{CEM} + m_{ZF} \geq m_{CEM,min}^6)$
<i>Tipuri de ciment admise</i>			
CEM I CEM II/A-D CEM II/A-S, CEM II/B-S CEM II/A-T, CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-P, CEM II/A-V <sup>4)</sup> CEM II/A-M (S, D, P, V, T, LL) <sup>5)</sup> CEM II/B-M ((S-D), (S-T), (D-T)) <sup>5)</sup> CEM III/A <sup>4)</sup> CEM III/B cu un conținut maxim de zgură granulată de furnal de maxim 70% din masă <sup>6)</sup>	CEM I CEM II/A-S, CEM II/B-S CEM II/A-P CEM II/B-P CEM II/A-V CEM II/A-T, CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-M (S, P, V, T, LL) <sup>5)</sup> CEM II/B-M ((S-T), (S-V)) <sup>5)</sup> CEM III/A, CEM III/B	CEM I CEM II/A-S, CEM II/B-S CEM II/A-T, CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-M ((S-T), (S-LL), (T-LL)) CEM II/B-M (S-T) CEM III/A	CEM I CEM II/A-D CEM II/A-S, CEM II/B-S CEM II/A-T, CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-P, CEM II/A-V CEM II/A-M (S, D, P, V, T, LL) CEM II/B-M ((S-D), (S-T), (D-T)) CEM III/A <sup>4)</sup> CEM III/B cu un conținut maxim de zgură granulată de furnal de maxim 70% din masă <sup>6)</sup> Pentru alte tipuri de cimente, utilizarea zgurii granulate de furnal fin măcinată poate fi reglementată prin agremente tehnice emise de Autoritățile Statului competente.
<sup>1)</sup> $m_{CV}/m_{CEM} \leq 0,15$ pentru CEM cu componentă principală silice ultrafină (D) <sup>2)</sup> pentru CEM fără componente principale puzzolană naturală (P), cenușă zburătoare silicioasă (V) și D <sup>3)</sup> pentru CEM cu componente principale P sau V sau D <sup>4)</sup> pentru clasa de expunere XF4 se acordă atenție conform NE 012/1-2022 <sup>5)</sup> pentru prevederi speciale în funcție de clasele de expunere se consultă NE 012/1-2022 <sup>6)</sup> pentru toate clasele de expunere cu excepția XF2 și XF4 <sup>7)</sup> pentru CEM I <sup>8)</sup> pentru CEM I și CEM II/A <sup>9)</sup> pentru utilizarea cenușii volante în compoziția betonului imersat se va considera: $(m_{CEM} + m_{CV}) \geq 350 \text{ kg/m}^3$ și $(m_{AP\bar{A}}/m_{CEM})_{echiv} = m_{AP\bar{A}}/(m_{CEM} + 0,7 \cdot m_{CV}) \leq 0,60$			

Tabelul 5.5.3 Dozajul minim de ciment pentru piloți forai atunci când se utilizează cenușă volantă în beton preparat cu agregate având dimensiunea granulelor de maxim 16 mm, respectiv 32 mm

Dozaj minim [kg/m <sup>3</sup> ]	Dimensiunea maximă a granulei de agregat utilizat	
	16 mm	32 mm
Ciment $m_{CEM}$	300	270
Ciment + Cenușă volantă ( $m_{CEM} + m_{CV}$ )	400	350

În final, cantitatea totală de ciment + adaos tip II trebuie să fie mai mare sau egală decât conținutul minim în ciment prevăzut în norma SR EN 206 pentru clasa de expunere în cauză. Conținutul maxim admis de părți fine în betonul preparat cu agregate având dimensiunea cuprinsă între 16 și 63 mm, conform NE 012/1-2022, este notat în tab. 5.5.4 în corelație cu dozajul de ciment.



Tabelul 5.5.4 Conținutul maxim admis de părți fine în beton preparat cu agregate având dimensiunea granulelor cuprinsă între 16 și 63 mm

Clasa betonului	Dozaj de ciment [kg/m <sup>3</sup> ]	Conținut maxim de părți fine < 0,125 mm [kg/m <sup>3</sup> ]
≤ C50/60 (sau LC50/55)	≤ 300	400
	300...400	Dozaj de ciment + 100
	≥ 400	500
> C50/60 (sau LC50/55)	≤ 400	500
	400...450	Dozaj de ciment + 100
	450..500	550
	≥ 500	600

Atunci când în compoziția betonului este un conținut mic de parte fină se poate produce pierderea apei din beton, în literatura de specialitate fenomenul fiind denumit „sângerarea betonului”. Iar un conținut prea mare de parte fină în compoziția betonului poate avea ca efect obținerea unui beton proaspăt de consistență vârtoasă și lipicioasă ce ar necesita apă de amestecare suplimentară, măsură care ar cauza performanțe reduse ale betonului întărit, din punct de vedere al proprietăților fizice și mecanice.



## 6. Clasele de expunere, de umiditate, structurale și de importanță-expunere

### 6.1. Clasele de expunere și de umiditate

Structurile de rezistență pot fi expuse la diferite condiții de mediu, fizice, chimice și mecanice și care se răsfrâng sub formă de acțiuni ce pot afecta suprafața betonului, structura betonului sau/și armăturile (fig. 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3 și 6.1.4). Aceste condiții sunt clasificate în șapte clase de expunere a câte maxim patru trepte (tab. 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3 și 6.1.4) și o clasă de umiditate a câte patru subclase, acțiunea acestora nefiind considerată ca ipoteză de încărcare în proiectarea structurală.

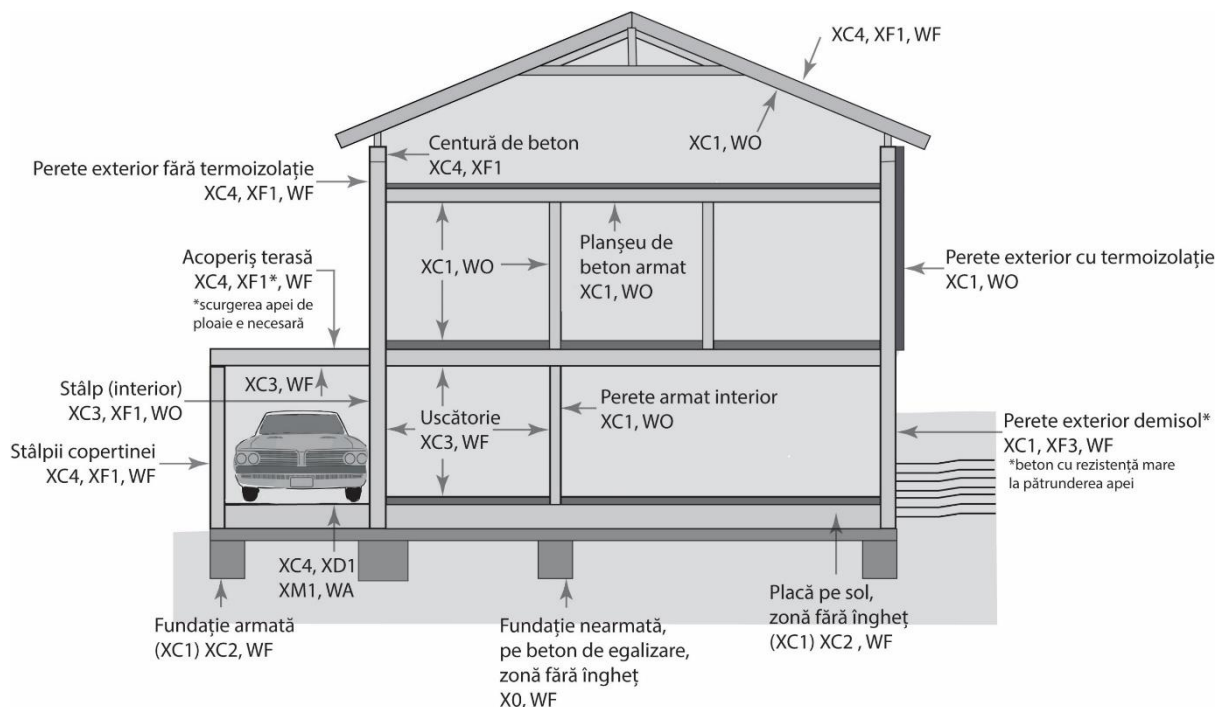


Figura 6.1.1 Clase de expunere și de umiditate pentru clădiri civile ©Heidelberg Cement 2017

Caracteristicile betonului asociate durabilității, de care este necesar să ținem seama în etapa de proiectare, sunt:

- rezistența la carbonatare (la pătrunderea CO<sub>2</sub>), risc descris de clasele de expunere XC;
- rezistența la difuzia (pătrunderea) ionilor de clor, risc descris de clasele de expunere XD și XS;
- rezistența la atacul din îngheț-dezgheț, risc descris de clasele de expunere XF;
- rezistența la atacul chimic (prin reacția acizilor, sărurilor de amoniu, sărurilor de magneziu și a apei fără duritate cu piatra de ciment; prin reacția sulfatilor cu aluminații din beton), risc descris de clasele de expunere XA;
- rezistența la abraziune prin uzură, risc descris de clasele de expunere XM;
- rezistența la atacul chimic al bazelor (alcaliilor) (prin reacția alcaliilor cu agregatele reactive din beton), risc descris de clasele de umiditate W.

Elementele din beton armat încadrate într-o clasă de expunere XC trebuie proiectate să reziste la carbonatare (pătrunderea prin difuzie a CO<sub>2</sub>, clasa de expunere XC), cu alte cuvinte, pe durata de serviciu (de exemplu 50 de ani pentru clasa structurală 4) frontul de carbonatare (adâncimea de pătrundere a CO<sub>2</sub>) trebuie să nu atingă suprafața armăturilor înglobate. În sine, armăturile înglobate sunt protejate împotriva coroziunii datorită pH-ului ridicat bazic dat de cimentul hidratat.

În ceea ce privește clasele de expunere XD și XS, betonul proiectat trebuie să fie rezistent la difuzia ionilor de clor, adică pe durata de serviciu frontul de pătrundere a ionilor de clor să nu atingă suprafața armăturilor înglobate. În tab. 6.1.1 sunt sintetizate clasele de expunere cu efecte posibile asupra coroziunii

armăturii și unele specificații minimale privind betonul ce trebuie utilizat, considerându-se cele mai exigente valori prevăzute în normele în vigoare și în sursele bibliografice.

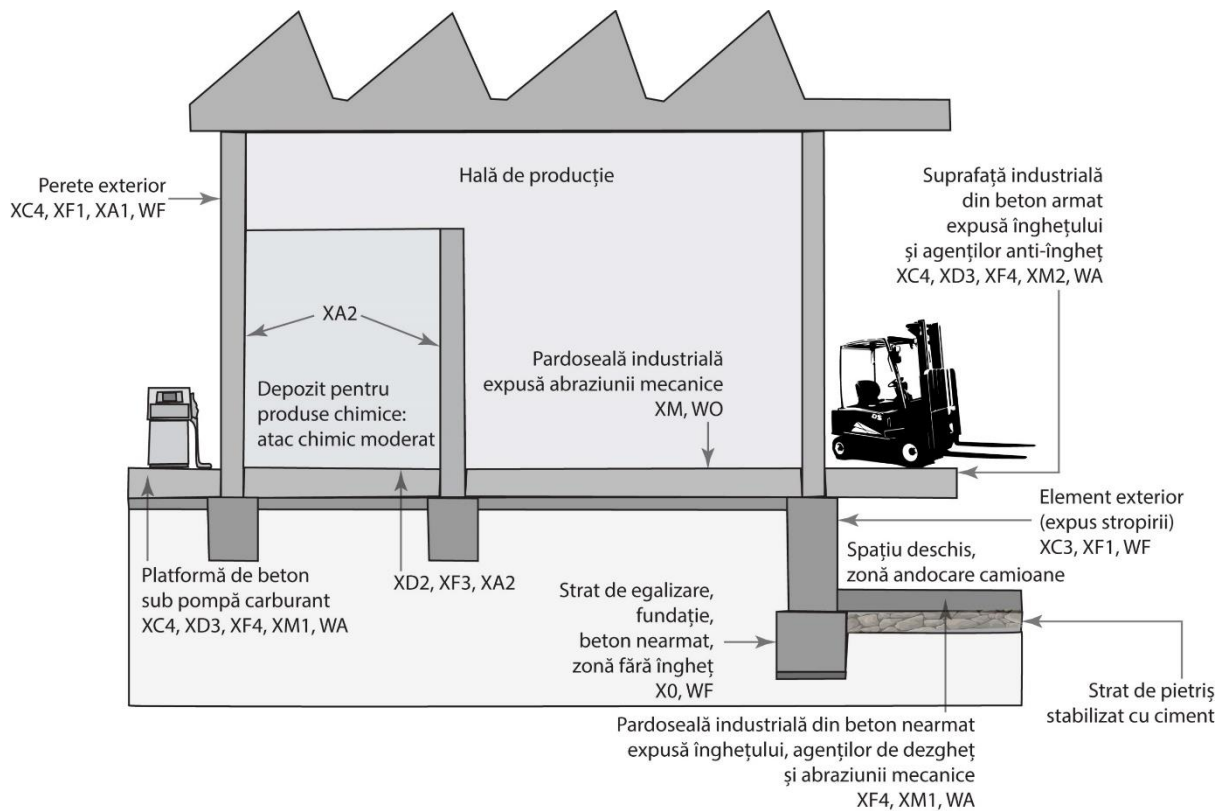


Figura 6.1.2 Clase de expunere și de umiditate pentru clădiri industriale ©Heidelberg Cement 2017

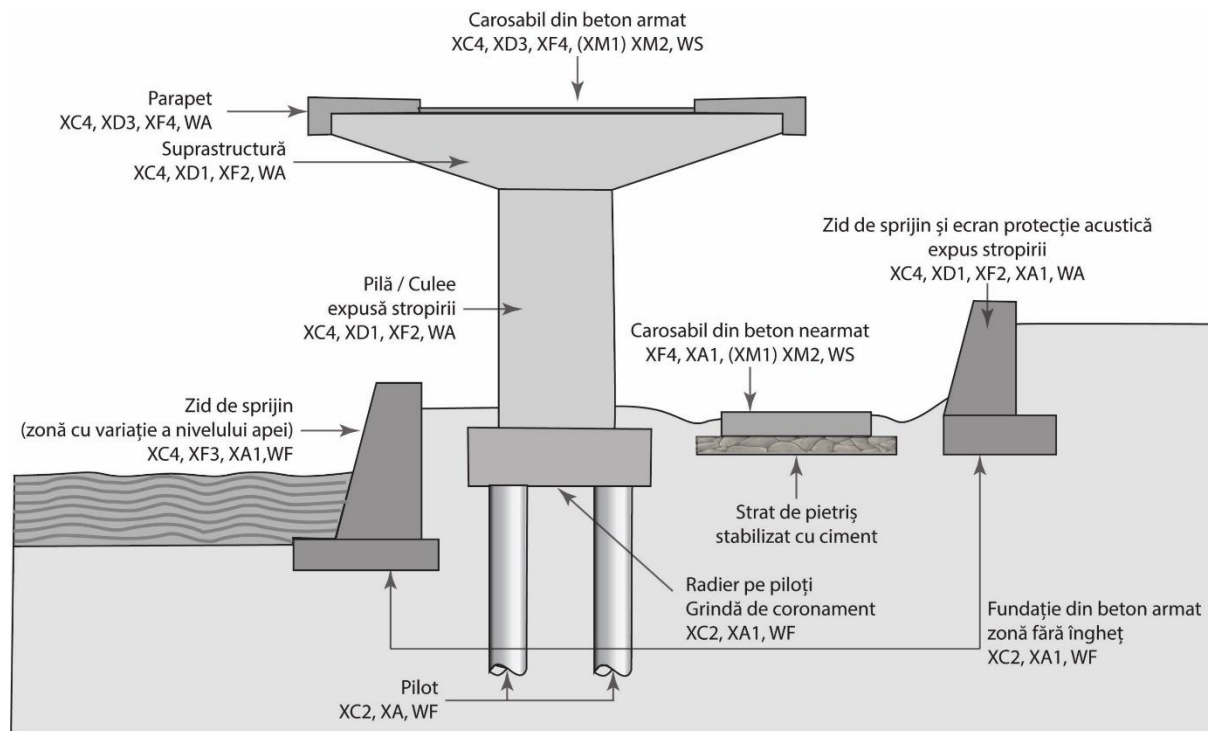


Figura 6.1.3 Clase de expunere și de umiditate pentru construcții de artă și căi de comunicație (căi ferate, drumuri și poduri) ©Heidelberg Cement 2017

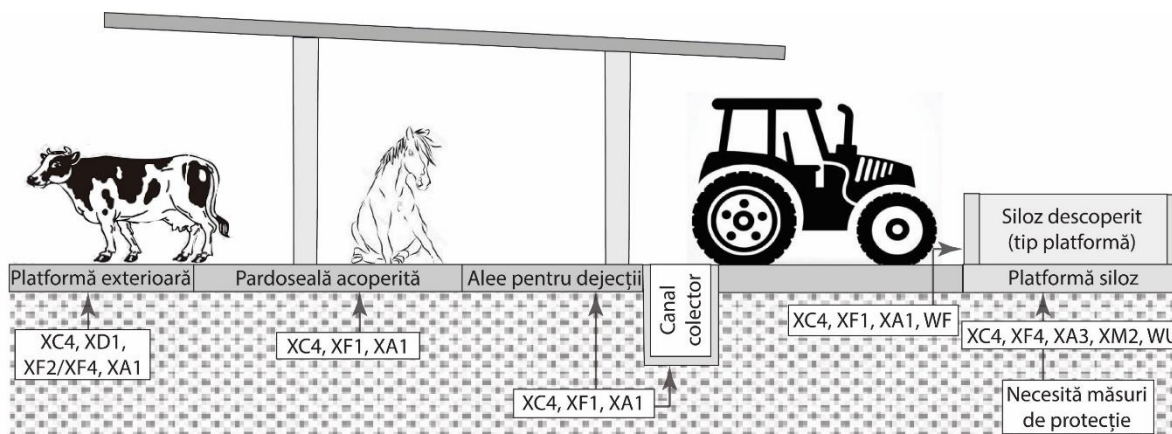


Figura 6.1.4 Clase de expunere și de umiditate pentru construcții agricole/agrozootehnice ©Kerscher-beton 2021

Atunci când suprafața elementului din beton se protejează prin acoperire cu pelicule minerale sau bituminoase rezistente și (dacă e cazul) impermeabile în acord cu natura agresivității mediului, pentru clasele de expunere XC, XD și XS nu mai este necesară respectarea cerințelor minime privind compoziția betonului.

Tabelul 6.1.1 Clase de expunere cu posibile efecte asupra armăturilor din beton

	Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere	Clasa minimă de beton Raport maxim apă-ciment Dozaj minim de ciment
Fără risc de coroziune sau atac	X0	Pentru beton ciclopian fără armătură sau metal înglobat: în orice mediu în afară de cazurile în care avem îngheț-dezgheț, abraziune sau atac chimic. (min. C8/10) Beton nearmat, beton armat sau cu piese metalice înglobate: foarte uscat. (min. C12/15)	Beton la interiorul clădirilor având umiditatea aerului ambiant foarte scăzută.	C 8/10 A/C 0,75 180 kg/m <sup>3</sup>  C12/15 A/C 0,65 275 kg/m <sup>3</sup>
Coroziunea oțelului beton datorată carbonatării	XC1	Uscat sau permanent umed	Beton la interiorul clădirilor cu umiditatea aerului ambiant scăzută (inclusiv bucătăriile, băile și spălătoriile clădirilor de locuit). Beton imersat tot timpul în apă.	C 20/25 A/C 0,65 260 kg/m <sup>3</sup>
	XC2	Umed, rareori uscat	Suprafața elementului de beton e în contact cu apa îndelung (precum rezervoare de apă). Numeroase fundații.	C 25/30 A/C 0,60 280 kg/m <sup>3</sup>
	XC3	Umiditate moderată	Beton la interiorul clădirilor cu umiditatea aerului ambiant medie sau ridicată (de ex. bucătării și spălătorii profesionale, altele decât cele din locuințe). Beton în exteriorul clădirilor ferit de ploaie (precum hale deschise).	C 30/37 A/C 0,55 280 kg/m <sup>3</sup>

	XC4	Cicluri alternante umed-uscat	Suprafața elementului de beton este în contact cu apa, dar nu așa timp îndelungat ca și la clasa de expunere XC2 (precum suprafețele exterioare expuse intemperiei).	C 30/37 A/C 0,50 300 kg/m <sup>3</sup>
Coroziunea oțelului beton datorată clorurilor	XD1	Umiditate moderată	Suprafața betonului e expusă la clorurile din aer (de ex. suprafețe expuse agenților de dezghețare din zona carosabilă sau garaje).	C 30/37 A/C 0,55 300 kg/m <sup>3</sup>
	XD2	Umed, rareori uscat	Bazine pentru înot, rezervoare, elemente expuse apelor industriale cu conținut de cloruri.	C 30/37 A/C 0,50 320 kg/m <sup>3</sup>
	XD3	Cicluri alternante umed-uscat	Elemente aparținând podurilor, zidurilor de sprijin expuse stropilor de apă cu conținut de cloruri. Șosele, dalele parcarilor auto.	C 35/45 A/C 0,45 320 kg/m <sup>3</sup>
Coroziunea oțelului beton datorată clorurilor din apa de mare	XS1	Expunere la sarea marină din aer, dar fără contact direct cu apa de mare.	Structurile de pe coastă sau din proximitatea ei (agresivitatea atmosferică marină afectează construcțiile din beton armat pe o distanță de cca 5 km față de țărm).	C 35/45 A/C 0,50 300 kg/m <sup>3</sup>
	XS2	Permanent sub apă	Elementele structurilor marine.	C 35/45 A/C 0,45 320 kg/m <sup>3</sup>
	XS3	Zone de variație a nivelului apei mării (maree), zone stropite, acoperite de ceață sau brumate.		C 35/45 A/C 0,45 340 kg/m <sup>3</sup>

## Note:

- Elementul de beton armat trebuie inclus într-una din clasele de expunere „XS” atunci când este amplasat în zona de influență a Mării Negre, adică la o distanță de până la 5 km față de țărm.
- Pentru clasele de expunere XD2, XD3, XS2 și XS3, la elementele masive (grosimea elementelor mai mare de 80 cm sau de cel puțin 0,5m și un volum de peste 100m<sup>3</sup>) se folosește și ciment cu căldură redusă de hidratare.
- Alături de respectarea valorilor limită corespunzătoare claselor de expunere și prezentate în tabel, se vor respecta și exigențele la executarea lucrărilor din reglementările aplicabile, mai ales NE 012/2-2022.
- Reducerea riscului de coroziune a armăturilor înglobate este asociată cu clase de beton ridicate, rapoarte mici A/C și un beton cu porozitate scăzută. Suplimentar, pentru creșterea durabilității, se poate prevedea un strat de acoperire mai gros decât minimul indicat de SR EN 1992-1-1.

Betonul rezistent la atacul din îngheț-dezgheț va avea în compoziție doar agregate rezistente la acest atac, conform SR EN 12620. În cazul riscului de atac sulfatic, în clasele XA2 și XA3 se utilizează ciment rezistent la sulfați. Dacă betonul este expus unui alt atac chimic decât sulfatic, atunci nu este necesară utilizarea unui astfel de ciment. Clasele de expunere cu posibile efecte asupra betonului sunt redate în tab. 6.1.2, iar în tab. 6.1.3 sunt sintetizate criteriile de apreciere a gradului de agresivitate chimică, considerându-se cele mai exigente valori prevăzute în normele în vigoare și în sursele bibliografice.

Tabelul 6.1.2 Clase de expunere cu posibile efecte asupra betonului

	Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere	Clasa minimă de beton Raport maxim apă-ciment Dozaj minim de ciment
Îngheț-Dezgheț	XF1	Saturație moderată de apă fără agenți anti-îngheț	Suprafețe verticale de beton expuse ploii și înghețului.	C 30/37; A/C 0,50; 300 kg/m <sup>3</sup> Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620
	XF2	Saturație moderată de apă cu agenți anti-îngheț	Suprafețele verticale de beton a structurilor de drumuri expuse la îngheț și la agenții anti-îngheț din aer.	C 35/45; A/C 0,50; 320 kg/m <sup>3</sup> Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620.
				Sau
				C 30/37; A/C 0,55; 300 kg/m <sup>3</sup> E obligatorie utilizarea unui aditiv antrenor de aer, rezultând în final minim un conținut de 4% aer antrenat. Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620.
	XF3	Saturație mare de apă fără agenți anti-îngheț	Suprafețe orizontale de beton expuse ploii și înghețului.	C 35/45; A/C 0,50; 320 kg/m <sup>3</sup> Agregate rezistente la îngheț-dezgheț conform SR EN 12620.
Sau				
XF4	Saturație mare de apă cu agenți anti-îngheț sau apă de mare	Drumuri și poduri expuse agenților anti-îngheț. Suprafețe de beton expuse stropirii cu agenți anti-îngheț și înghețului. Zonele stropite ale structurilor marine expuse înghețului.	C 30/37; A/C 0,45; 340 kg/m <sup>3</sup> E obligatorie utilizarea unui aditiv antrenor de aer, rezultând în final minim un conținut de 4% aer antrenat. În cazul expunerii în zonele marine se utilizează cimenturi rezistente la acțiunea apei de mare.	
Atac chimic	XA1	Mediu cu agresivitate chimică scăzută după EN 206-1 (inclusiv nămoluri indiferent de conținutul de săruri de amoniu NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).	Soluri naturale și apă freatică.	C 30/37; A/C 0,55; 300 kg/m <sup>3</sup>
	XA2	Mediu cu agresivitate chimică moderată după EN 206-1	Soluri naturale și apă freatică.	C 35/45; A/C 0,50; 320 kg/m <sup>3</sup> Dacă agresiunea chimică prezintă componentă sulfatică (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) atunci trebuie utilizat un ciment cu rezistență moderată sau ridicată la sulfați.
	XA3	Mediu cu agresivitate chimică ridicată după EN 206-1	Soluri naturale și apă freatică.	C 35/45; A/C 0,45; 360 kg/m <sup>3</sup> Dacă agresiunea chimică prezintă componentă sulfatică (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) atunci trebuie utilizat un ciment cu rezistență ridicată la sulfați.
*Cerințe pentru <b>betonul turnat sub apă</b> . Pentru elemente portante când betonul e turnat sub apă raportul A/C va fi maxim 0,60. Suplimentar, în cazul prezenței atacului chimic (XA), dozajul minim de ciment este 350 kg/m <sup>3</sup> la o dimensiune maximă a granulei de 32 mm.				

Tabelul 6.1.3 Criterii pentru aprecierea gradelor de agresivitate chimică a apelor subterane și a solului după SR EN 206+A2:2021

Caracteristici chimice	Metode de încercări de referință	XA1	XA2	XA3
Ape de suprafață și subterane				
Factor pH	SR ISO 4316	≤6,5 ... ≥5,5	<5,5 ... ≥4,5	<4,5 ... ≥ 4,0
Carbonați (CO <sub>2</sub> ) [mg/l]	SR EN 13577	≥15 ... ≤40	>40 ... ≤100	>100 până la saturație
Săruri de amoniu (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) [mg/l]	SR EN 7150-1 sau SR ISO 7150-2	≥15 ... ≤30	>30 ... ≤60	>60 ... ≤100
Magnezină (Mg <sup>2+</sup> ) [mg/l]	SR ISO 7980	≥300 ... ≤1000	>1000 ... ≤3000	>3000 până la saturație
Sulfăți <sup>a)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [mg/l]	SR EN 196-2	≥200 ... ≤600	>600 ... ≤3000	>3000 ... ≤6000
Sol				
Sulfăți <sup>b)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [mg/kg] total	SR EN 196-2	≥2000 ... ≤3000 <sup>c)</sup>	>3000 ... ≤12000	>12000 ... ≤24000
Gradul de aciditate	DIN 4030-2	> 200 Bauman Gully	Nu se întâlnește în practică	
<sup>a)</sup> Pentru clasele XA2 și XA3 se utilizează ciment rezistent la atac sulfatic (SR). <sup>b)</sup> Pentru valori SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 600 mg/l și/sau SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > 1500 mg/kg în soluri se acordă atenție suplimentară (de ex. se folosește ciment special + adaos de cenușă). <sup>c)</sup> În cazul acumulării de ioni de sulfat în beton datorită alternanței perioadelor uscate și perioadelor umede, sau prin ascensiune capilară, pentru clasa de expunere XA1, cantitatea de sulfăți trebuie să se păstreze în limita de 2000...3000 mg/kg.				

Elementele din beton solicitate la uzură prin abraziune (mecanică sau hidro) vor avea un beton proiectat să reziste atacului dat de abraziune pe întreaga durată de serviciu. În consecință, cantitatea de material exfoliat trebuie limitată la un nivel sigur, rezonabil din punct de vedere tehnic. Specificațiile privind acest atac sunt redată în tab. 6.1.4, considerându-se cele mai exigente valori prevăzute în normele în vigoare și în sursele bibliografice.

Tabelul 6.1.4 Clase de expunere a betonului la uzură prin abraziune mecanică și hidroabraziune, atac cu posibile efecte asupra betonului

	Denumirea clasei	Grad de uzură	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere	Clasa minimă de beton Raport maxim apă-ciment Dozaj minim de ciment
Solicitarea mecanică a betonului prin uzură	XM1	moderată	Pardoseli industriale expuse circulației vehiculelor echipate cu anvelope. Zone expuse frecării navelor (de ex. pereții camerei de blocare deasupra de -1,0 m sub apă), zone cu încărcătură moderată de reziduuri și viteză de curgere moderată).	C 30/37; A/C 0,55; 300 kg/m <sup>3</sup>
	XM2	Intensă (importantă)	Pardoseli industriale expuse circulației motostivuitoarelor echipate cu anvelope sau bandaje de cauciuc. Creste de dig și bazine de liniștire cu încărcătură moderată de reziduuri și viteză de curgere ridicată.	C 35/45; A/C 0,45; 320 kg/m <sup>3</sup>
				sau C 30/37; A/C 0,55; 300 kg/m <sup>3</sup> Dacă suprafața betonului este tratată, de exemplu prin vacuumare.
XM3	foarte intensă (extremă)	Pardoseli industriale expuse circulației motostivuitoarelor echipate cu bandaje de elastomeri/metalice sau utilajelor echipate cu șenile. Suprafețe aparținând construcțiilor hidrotehnice expuse abraziunii prin aluviuni și bazinelor de liniștire (cu încărcătură mare de reziduri și viteză ridicată de curgere a apei).	C 35/45; A/C 0,45; 320 kg/m <sup>3</sup>	



Proiectarea betonului expus la umiditate ca urmare a reacției alcaliilor (bazelor) cu agregatele reactive din beton este reglementată prin standardul român SR 5440-2009, aflat în vigoare. Suplimentar, referire la reacția alcalii-silice se face prin clasele de umiditate WO, WF și WA în norma germană DIN 1045-2, respectiv WS în norma germană pentru drumuri din beton TL Beton-StB. Descrierea acestor clase este sintetizată în tab. 6.1.5.

Tabelul 6.1.5 Clase de umiditate a betonului ca urmare a reacției alcaliilor cu agregatele reactive din beton, atac cu posibile efecte asupra betonului

	Denumirea clasei	Descrierea mediului înconjurător	Exemple informative ilustrând alegerea claselor de expunere
Uzura betonului	WO	Beton care, după uscare, rămâne în mare parte uscat pe durata perioadei de serviciu. (uscat)	Elemente la interiorul clădirilor. Elemente în contact cu aerul exterior dar care nu sunt expuse precipitațiilor, la rouă, umezelii din sol și/sau care nu sunt expuse la o umiditate relativă a aerului >80%.
	WF	Beton care este frecvent sau pentru o perioadă lungă de timp umed. (umed)	Elemente exterioare neprotejate. Elemente la interiorul clădirilor având umiditatea aerului ambiant predominant >80% (de exemplu: bazine interioare, spălătorii, alte camere comerciale umede). Elemente pentru care punctul de rouă este la interior (de exemplu: coșuri de fum, stații de schimb de căldură, camere de filtrare și adăposturi de animale). Elemente masive cu dimensiunea minimă mai mare de 0,80m sau de cel puțin 0,5m și un volum de peste 100m <sup>3</sup> (indiferent de pătrunderea umezelii)
	WA	Beton care este frecvent sau pentru o perioadă lungă de timp umed și este expus frecvent sau pentru o perioadă lungă de timp la alcalii din exterior. (umed + alimentare alcalină din exterior)	Elemente expuse apei de mare. Elemente expuse acțiunii sării fără solicitări dinamice suplimentare (de exemplu: suprafețe stropite cu apă, suprafețe din parcuri la sol și parcuri multietajate). Structuri ale clădirilor industriale și agricole expuse sărurilor alcaline (de exemplu: rezervoare pentru depozitarea dejecțiilor lichide de la grajduri).
	WS	Beton în clasa de expunere WA și suplimentar e solicitat dinamic intens. (umed + aport direct de alcalii din exterior + solicitări dinamice puternice)	Elemente expuse la efectul degivrant al sării cu solicitări dinamice suplimentare (de exemplu: drumuri din beton).

Pentru câteva dintre agresiunile întâlnite frecvent asupra elementelor din beton și transmise prin mediul înconjurător, în tab. 6.1.6 sunt notate efectele și parametrii acestora.

Tabelul 6.1.6 Exemple de degradări suferite de beton și armătură ca urmare a acțiunii agresiunilor transmise prin mediul înconjurător

Agresiunea răsfrântă prin mediul înconjurător	Clasa de expunere	Efectul agresiunii	Parametrii efectului
Carbonatare	XC	Depasivarea armăturilor	Adâncimea de carbonatare la nivelul stratului de acoperire cu beton
		Apariția fisurilor în betonul stratului de acoperire	Creșterea maximă a razei armăturii (corodate) la care nu apare fisurare
			Creșterea razei armăturii datorită coroziunii
Atac dat de cloruri	XD, XS	Depasivarea armăturilor. Exfolierea betonului de la suprafață	Conținut (critic) de cloruri pentru apariția depasivării, grosimea stratului de acoperire
Atac din îngheț-dezgeț fără sare	XF1, XF3	Inițierea degradărilor specifice	Grad critic de saturație, grad de saturație

Atac din îngheț-dezghet cu sare	XF2, XF4		Temperatura betonului, temperatura betonului pentru apariția exfolierilor
---------------------------------	----------	--	---

Pentru piloți foraj și pereți mulați (fundații de adâncime), clasa minimă de rezistență la compresiune a betonului este cuprinsă între C20/25 și C45/55, în funcție de clasa de expunere. Prin excepție, în cazul pereților din piloți secanți, betonul din piloții primari (sunt nearmați) se admite beton de clasă mai mică de C20/25 dar cel puțin C12/15. Se va lua în considerare agresivitatea chimică a terenului/apei subterane prin stabilirea rețetei de beton sau a unui tubaj (cămașă) nerecuperabil (permanent).

Tabelul 6.1.7 Exemple de combinații de clase de expunere

Descrierea mediului ambiant elementului de construcție studiat	Combinația de clase de expunere	
	Beton nearmat	Beton armat și/sau precomprimat
<i>Elementul de beton se află la interior</i>		
Interiorul clădirilor de locuit, de birouri sau comerciale	X0	XC1
Plăcile planșeelor parcaje subterane		XC4, XD3, XM1
<i>Elementul de beton se află la exterior</i>		
Fundații sub nivelul de îngheț (zone ferite de îngheț)	X0	XC2
Garaje deschise și acoperite, pasaje etc. (zone expuse înghețului dar ferite de ploaie)	XF1	XC3 + XF1
Elemente expuse ploii și înghețului	XF1	XC4 + XF1
Elemente ale infrastructurii rutiere orizontale (zone expuse la îngheț-dezghet cu agenți de dezghetare)	XM2 + XF4	XM2 + XD3 + XF4 + XC4
Elemente verticale expuse stropirii (zone cu îngheț-dezghet și agenți de dezghetare)	XF4	XF4 + XD4 + XC4
<i>Elementul de beton se află în mediul marin</i>		
Elemente exterioare ale construcției și expuse ploii și aerului marin (la distanță mai mică de 5 km de coastă), fără a fi în contact cu apa de mare	XF2	XC4 + XS1 + XF2
Elemente structurale sub apa de mare (imersate)	XA1 (XA2)	XC1 + XS2 + XA1 (XA2)
Elemente expuse stropirii cu apă de mare (ex. pereții cheiurilor)	XF4 + XA2 (XA1)	XC4 + XS3 + XF4 + XA2 (XA1)

Atunci când elementul de beton este expus unui atac chimic ce provine din atmosferă cu agenți agresivi în stare gazoasă (ex. Bioxid de sulf, Hidrogen sulfurat, Acid fluorhidric, Clor, Acid clorhidric, Oxizi de azot, Amoniac ș.a.) sau solidă (ex. Clorură de sodiu, potasiu sau amoniu; Sulfat de sodiu, potasiu, amoniu sau calciu; Azotat de sodiu, potasiu, bariu, plumb sau magneziu; Oxid și Hidroxid de fier sau aluminiu; Praf de siliciu ș.a.), încadrarea în subclasa de expunere (XA 1b – agresivitate foarte slabă, XA 2b – agresivitate slabă, XA 3b – agresivitate medie, XA 4b – agresivitate puternică) se face utilizând NE 012/2-2022 (Anexa I) și C170 („Instrucțiuni tehnice pentru protecția elementelor din beton armat și beton precomprimat supraterane în medii agresive naturale și industriale”).

Stă în **responsabilitatea proiectantului** ca pe baza informațiilor pe care le are la dispoziție să stabilească cât mai corect **clasele de expunere** în funcție de condițiile mediului înconjurător în care se află **elementul de construcție**. Atunci când elementul de rezistență este expus la substanțe chimice cu agresivitate mare și ori de câte ori este necesar, la proiectarea compoziției betonului se va cere unui institut de specialitate efectuarea de studii pentru stabilirea acestei compoziții. În general, rezistența betonului la atac chimic ține de impermeabilitatea sa. În caz de incertitudini la stabilirea compoziției, se poate opta pentru protejarea suprafeței expuse a betonului cu o peliculă impermeabilă.

## 6.2. Clasele structurale și de importanță-expunere

Durata de viață a structurii construcției trebuie specificată și poate fi simplificat evaluată precum în tab. 6.2.1. Această clasificare este identică cu cea din codul CR 0-2012 cât și cu cea din anexa națională a standardului SR EN 1990:2004/NA:2006. În funcție de durata de viață (de exploatare) proiectată, construcțiile sunt clasificate în categorii (CR 0-2012 și SR EN 1990:2004) care sunt identice cu clasele structurale utilizate la proiectarea structurilor din beton (SR EN 1992-1:2004). Clasa structurală influențează direct grosimea necesară a stratului de acoperire cu beton peste armături.

Tabelul 6.2.1 Clasificarea construcțiilor în clase structurale

Categoria duratei vieții proiectate (Clasa structurală)	Durata de viață proiectată a structurii construcției, în ani	Exemple
1 (S1)	10	Structuri temporare
2 (S2)	10 – 25	Părți de structură care pot fi înlocuite (de ex. grinzi șevalet, reazeme)
3 (S3)	15 – 30	Structuri pentru construcții agricole sau similare
4 (S4)	50 – 100	Structuri pentru clădiri și alte construcții curente
5 (S5)	≥ 100	Structuri pentru clădiri monumentale și construcții ingineresti importante (de ex. poduri)

Notă: Structurile sau părți ale structurilor care pot fi dezmembrate pentru a fi refolosite nu vor fi considerate ca temporare.

În funcție de rolul în societate pe care construcțiile îl au în activități de răspuns post-hazard și cumulat cu posibilele consecințe umane și economice, construcțiile sunt clasificate în clase de importanță-expunere. Codurile și standardele de proiectare în care e precizată această clasificare sunt CR 0-2012, CR 1-1-3/2012, CR 1-1-4/2012, P100-1/2013 și SR EN 1998-1:2004, iar o sinteză a clasificării este în tab. 6.2.2. Pentru evaluarea acțiunii zăpezii, vântului și seismului, fiecare clasă de importanță-expunere are asociat un factor de importanță-expunere cu care se înmulțește valoarea caracteristică a acțiunii.

Tabelul 6.2.2 Clasificarea construcțiilor în clase de importanță-expunere

Clasa de importanță-expunere	Clădiri și construcții ingineresti	Factor de importanță-expunere
Clasa I	Construcții pentru care păstrarea integrității lor pe durata hazardului este vitală pentru protecția civilă, iar funcțiunile lor sunt esențiale pe durata post-hazardului.	Acțiunea zăpezii: $\gamma_{l,s} = 1,15$  Acțiunea vântului: $\gamma_{l,w} = 1,15$  Acțiunea seismică: $\gamma_{l,e} = 1,40$
	(a) Spitale și alte construcții din sistemul de sănătate; (b) Stații de pompieri, poliție, jandarmerie și parcaje pentru vehiculele serviciilor de urgență; (c) Stații de producere și distribuție a energiei; (d) Construcții care conțin gaze toxice, explozivi și/sau alte substanțe toxice; (e) Centre de comunicații și/sau de coordonare a situațiilor de urgență; (f) Adăposturi pentru situații de urgență; (g) Construcții cu funcțiuni esențiale pentru administrația publică, ordinea publică, gestionarea situațiilor de urgență, apărarea și securitatea națională; (h) Construcții care adăpostesc rezervoare de apă și/sau stații de pompare esențiale pentru situații de urgență; (i) Construcții cu înălțimea totală supraterană de peste 45 m; (j) Alte construcții de aceeași natură.	
Clasa II	Construcții care prezintă un pericol major pentru siguranța publică în cazul prăbușirii sau avarierii grave.	Acțiunea zăpezii: $\gamma_{l,s} = 1,10$
	(a) Spitale și alte construcții din sistemul de sănătate, altele decât cele din clasa I, având capacitatea mai mare de 100 persoane în aria totală expusă; (b) Școli, licee, universități sau ale clădiri din sistemul de educație, având capacitatea mai mare de 250 persoane în aria totală expusă; (c) Aziluri de bătrâni, creșe, grădinițe sau alte spații similare de îngrijire a	Acțiunea vântului: $\gamma_{l,w} = 1,15$  Acțiunea seismică:

	<p>persoanelor;</p> <p>(d) Clădiri multietajate de locuit, de birouri și/sau cu funcțiuni comerciale, având capacitatea mai mare de 300 persoane în aria totală expusă;</p> <p>(e) Săli de conferințe, spectacole sau expoziții, tribune de stadioane sau săli de sport, având capacitatea mai mare de 200 persoane în aria totală expusă;</p> <p>(f) Clădiri din patrimoniul cultural național și muzee.</p> <p>(g) Clădiri parter, inclusiv de tip mall, având capacitatea mai mare de 1000 persoane în aria totală expusă;</p> <p>(h) Parcaje supraterane multietajate cu o capacitate mai mare de 500 autovehicule, altele decât cele din clasa I;</p> <p>(i) Penitenciare;</p> <p>(j) Construcții a căror întrerupere a funcțiunii poate avea un impact major asupra populației, altele decât cele din clasa I, cum sunt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- construcții care deservește centrale electrice,</li> <li>- stații de tratare, epurare, pompare a apei,</li> <li>- stații de producere și distribuție a energiei,</li> <li>- centre de telecomunicații,</li> <li>- construcții în care se depozitează explozivi, gaze toxice și alte substanțe periculoase,</li> <li>- rezervoare supraterane și subterane pentru stocare de materiale inflamabile (gaze, lichide), castele de apă, turnuri de răcire pentru centrale termoelectrice;</li> </ul> <p>(k) Parcuri industriale cu construcții unde au loc procese tehnologice de producție</p> <p>(l) Construcții cu înălțimea totală supraterană cuprinsă între 28 și 45 m;</p> <p>(m) Alte construcții de aceeași natură.</p>	$\gamma_{I,e} = 1,20$
Clasa III	Construcții de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase	<p>Acțiunea zăpezii:</p> $\gamma_{I,s} = 1,00$ <p>Acțiunea vântului:</p> $\gamma_{I,w} = 1,00$ <p>Acțiunea seismică:</p> $\gamma_{I,e} = 1,00$
Clasa IV	Construcții de mică importanță pentru siguranța publică, cu grad redus de ocupare și/sau de mică importanță economică, construcții agricole, construcții temporare etc.	<p>Acțiunea zăpezii:</p> $\gamma_{I,s} = 1,00$ <p>Acțiunea vântului:</p> $\gamma_{I,w} = 1,00$ <p>Acțiunea seismică:</p> $\gamma_{I,e} = 0,80$

Note:

1. Factorul de importanță-expunere pentru acțiunea zăpezii nu se aplică în cazul încărcării din zăpadă utilizată la evaluarea masei construcției pentru calculul forței seismice de proiectare.
2. În cazul clădirilor de locuit și de birouri, gradul de ocupare al ariei totale expuse se referă la un singur tronson în ansamblurile de clădiri similare.
3. Numărul de persoane din aria totală expusă se referă la capacitatea proiectată a clădirii.
4. Prevederi privind factorii de importanță-expunere utilizați la proiectarea componentelor nestructurale se dau în capitolului 10 din P100-1/2013.
5. Pentru proiectarea la foc a clădirilor, se va folosi încadrarea construcțiilor în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice și legislației aplicabile, în vigoare.

### 6.3. Categoria de importanță

În conformitate cu metodologia aprobată de către Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului (MLPAT) prin Hotărârea de Guvern (H.G.) nr.766/1997 și modificată de H.G. 1.231/2008, intitulată *Regulament privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor*, sunt stabilite următoarele categorii de importanță pentru construcții:

- construcții de importanță excepțională (A);
- construcții de importanță deosebită (B);

- construcții de importanță normală (C);
- construcții de importanță redusă (D).

Categoriile de importanță se stabilesc în funcție de următorii 6 factori determinați, cu câte 3 criterii asociate fiecăruia:

- (1) **Importanța vitală** decurge din riscul de a provoca decesul, rănirea sau îmbolnăvirea oamenilor, sau efecte de distrugere în viața animală sau vegetală, datorită unor disfuncții ale construcției privind rezistența, stabilitatea, izolarea termică, etanșeitatea, durabilitatea ș.a.. Criteriile asociate sunt:
  - (i) oamenii implicați direct în cazul unor disfuncții ale construcției;
  - (ii) oamenii implicați indirect în cazul unor disfuncții ale construcției;
  - (iii) caracterul evolutiv al efectelor periculoase, în cazul unor disfuncții ale construcției.
- (2) **Importanța social-economică și culturală** decurge din funcțiunile și performanțele funcționale ale construcției în domeniile social, economic și cultural. Criteriile asociate sunt:
  - (i) mărirea comunității care apelează la funcțiunile construcției și/sau valoarea bunurilor materiale adăpostite de construcție;
  - (ii) ponderea pe care funcțiunile construcției o au în comunitatea respectivă;
  - (iii) natura și importanța funcțiilor respective.
- (3) **Implicarea ecologică** face referire la relația construcție-mediul înconjurător (biosfera: plante și animale, terenul, apa, aerul). Criteriile asociate sunt:
  - (i) măsura în care realizarea și exploatarea construcției intervine în perturbarea mediului natural și a mediului construit;
  - (ii) gradul de influență nefavorabilă asupra mediului natural și construit;
  - (iii) rolul activ în protejarea/refacerea mediului natural și construit.
- (4) **Necesitatea luării în considerare a duratei de utilizare (existența)** rezultă dintr-o caracteristică proprie construcțiilor, de regulă această durată este foarte mare (egală sau chiar mai mare decât durata de viață a oamenilor). Acest factor e luat în considerare mai ales în cazul construcțiilor noi, în fazele de concepție-proiectare și exploatare, prin asigurarea durabilității. Criteriile asociate sunt:
  - (i) durata de utilizare preconizată;
  - (ii) măsura în care performanțele alcătuirilor constructive depind de cunoașterea evoluției acțiunilor (solicitărilor) pe durata de utilizare;
  - (iii) măsura în care performanțele funcționale depind de evoluția cerințelor pe durata de utilizare.
- (5) **Necesitatea adaptării la condițiile locale de teren și de mediu** este un atribut important și specific construcțiilor, intervenind în toate fazele (concepție-proiectare, execuție, exploatare) datorită interacțiunii construcție-teren-mediul ambiant. Criteriile asociate sunt:
  - (i) măsura în care asigurarea soluțiilor constructive este dependentă de condițiile locale de teren și de mediu;
  - (ii) măsura în care condițiile locale de teren și de mediu evoluează defavorabil în timp;
  - (iii) măsura în care condițiile locale de teren și de mediu determină activități/măsuri deosebite pentru exploatarea construcției.
- (6) **Volumul de muncă și de materiale necesare** constă, de regulă, în valori mari. Criteriile asociate sunt:
  - (i) ponderea volumului de muncă și de materiale înglobate;
  - (ii) volumul și complexitatea activităților necesare pentru menținerea performanțelor construcției pe durata de existență a acesteia;
  - (iii) activități deosebite în exploatarea construcției impuse de funcțiunile acesteia.

La cererea investitorului (pentru construcții noi) sau la cererea proprietarului (pentru construcții existente, lucrări de intervenție sau alte cazuri), proiectantul stabilește categoria de importanță pentru

fiecare construcție, iar apoi categoria va fi înscrisă în toate documentele tehnice privind construcția (autorizația de construire, proiectul de execuție, cartea tehnică a construcției și documentele de asigurare). După specificul lucrărilor, proiectantul poate fi: arhitectul proiectant, inginerul proiectant responsabil de structură, de fațadă, de anvelopa clădirii, de fizica (higrotermica, acustica) construcției, de infrastructură, de lucrări de artă ingineresti (poduri, podețe, viaducte, pasarele, tuneluri, linii de cale ferată), de instalații, sau de altă specialitate specifică lucrării de construcție.

Metodologia de stabilire a categoriei de importanță a construcției este publicată în Buletinul Construcțiilor, nr. 4/1996. Pentru stabilirea categoriei de importanță a unei construcții se parcurg următorii pași:

- analizarea caracteristicilor principale ale construcției din perspectiva celor șase factori determinanți;
- evaluarea punctajului factorilor determinanți, apreciind influența pe care fiecare criteriu asociat o are în stabilirea importanței construcției;
- încadrarea preliminară a construcției în categoria de importanță rezultată;
- analizarea globală și definitivarea categoriei de importanță aleasă pentru construcție.

Analizarea caracteristicilor principale ale construcției are la bază:

- pentru construcții noi: tema-program privind realizarea construcției, dar și alte documente precum specificații contractuale, prevederi legale ș.a.;
- pentru construcții existente: cartea tehnică a construcției și alte documente cu privire la scopul intervențiilor, implicațiilor acestora ș.a.. În cazul lipsei cărții construcției sau a unor informații relevante (precum date tehnice privind intervențiile survenite de-a lungul timpului) se va realiza reconstituirea acesteia și completa cu datele necesare.

Pentru calculul punctajului fiecărui factor determinant se utilizează relația:

$$P(n) \cdot k(n) = (n) \cdot \frac{p(i)}{n(i)}$$

unde

$P(n)$  – punctajul factorului determinant ( $n$ ), iar  $n$  este numărul de ordine al fiecăruia din cei șase factori determinanți;

$k(n)$  – coeficientul de unicitate;

$p(i)$  – punctajul corespunzător criteriilor ( $i$ ) asociate factorului determinant ( $n$ );

$n(i)$  – numărul criteriilor ( $i$ ) asociate factorului determinant ( $n$ ), dacă se consideră 3 criterii atunci ( $n$ ) = 3.

Apoi, valoarea punctajului factorului determinant rezultată din calcul se rotunjește prin adaos la număr întreg.

Punctajul pentru fiecare criteriu asociat factorilor determinanți se acordă pe baza nivelului influenței pe care are acel criteriu, după cum urmează:

- 0 factor inexistent;
- 1 factor cu nivel de influență redus;
- 2 factor cu nivel de influență mediu;
- 4 factor cu nivel de influență apreciabil;
- 6 factor cu nivel de influență ridicat.

Atunci când se apreciază nivelul de influență se vor:

- considera efectele în ipoteza producerii situației celei mai defavorabile;
- aprecia situațiile corespunzătoare asociate altor funcțiuni sau caracteristici ale construcției.

Coeficientul de unicitate,  $k(n)$ , poate lua valori între 1 și 2. De regulă este egal cu 1, dar în cazul unor construcții cu caracter deosebit, unic, poate fi considerat supraunitar. Se pot considera construcții cu caracter deosebit construcțiile din zone protejate sau construcțiile cu structură de rezistență unicat (de exemplu atunci se poate considera valoarea 1,2), construcții monumente istorice sau lucrări ingineresti de artă precum poduri sau tuneluri (caz în care, de exemplu, se poate considera valoarea 1,5), construcții de importanță majoră precum reactorul unei centrale nucleare (atunci s-ar considera valoare 2, de exemplu).

Pe baza punctajului obținut se face încadrarea preliminară a construcției în categoria de importanță aferentă, astfel:

- $\geq 30$  categoria de importanță excepțională (A);
- 18 ... 29 categoria de importanță deosebită (B);
- 6 ... 17 categoria de importanță normală (C);
- $\leq 5$  categoria de importanță redusă (D).

Definirea categoriei de importanță se încheie cu analiza globală a construcției prin reexaminarea aprecierilor privind categoriile asociate factorilor determinați și motivarea acestora în scris (în anexa fișei). În urma reexaminării poate rezulta că încadrarea preliminară (pe baza punctajului socotit) s-a dovedit adecvată sau poate rezulta că e necesară modificarea încadrării preliminare, caz în care se va motiva în scris prin argumentarea punctajului inițial sau a altor considerente suplimentare. În tab. 6.3.1 este stabilită categoria de importanță pentru câteva construcții.

Tabelul 6.3.1 Exemple de stabilire a categoriei de importanță pentru diferite tipuri de construcții

Factorii determinați și criteriile asociate	Șosea Cluj-Oradea			Casă unifamilială în Cluj-Napoca			Platformă betonată la sol cu 5 locuri de parcare			Bloc de locuințe cu 8 niveluri și 50 de apartamente în Sibiu			Reactor Cernavodă						
	n	k(n)	p (i)	P(n)	k(n)	p (i)	P(n)	k(n)	p (i)	P(n)	k(n)	p (i)	P(n)	k(n)	p (i)	P(n)			
1	i		1			1			1				4			4			
	ii	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1,2	1	3	2	6	10			
	iii		0			0			0			2			6				
2	i		4			1			1			4			6				
	ii	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1,2	1	3	2	6	12			
	iii		2			1			1			1			6				
3	i		2			0			0			2			2				
	li	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	2	2	2	6	6			
	iii		1			0			0			0			1				
4	i		6			2			2			4			6				
	ii	1	2	3	1	1	2	1	0	1	1,2	1	3	1	6	5			
	iii		2			1			1			2			2				
5	i		2			1			2			4			4				
	ii	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1,2	4	4	1	4	5			
	iii		2			1			0			2			6				
6	i		4			1			1			6			6				
	ii	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1,2	2	4	1	6	6			
	iii		1			0			0			2			4				
Punctaj total					13			6			5			19			44		
Categorია de importanță		C			C			D			B			A					

Notă: Notațiile utilizate sunt cele din metodologie.

## Fișă de evaluare pentru consemnarea categoriei de importanță a construcției

**Stabilirea categoriei de importanță a construcției**

Proprietar

Adresa construcției

Scurtă prezentare a construcției

Categorია de importanță stabilită

Determinarea punctajului acordat a)

Număr factor n	Coeficient de unicitate k(n)	Criteriile asociate			Punctaj factor determinant P(n)
		p(i)	p(ii)	p(iii)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Motivații detaliate în anexă la prezenta fișă.					Total

a) Notații conform procedurii privind stabilirea categoriei de importanță pentru construcții.

PROIECTANT  
(nume, prenume)  
(specialitate)  
(semnătură)



#### 6.4. Stratul de acoperire cu beton

Grosimea stratului de acoperire cu beton este denumit după standardul SR EN 1992-1-1:2004 ca fiind acoperirea nominală ( $c_{nom}$ ) (a se vedea fig. 6.4.1) și este egală cu o acoperire minimă ( $c_{min}$ ) plus o suplimentare ( $\Delta c_{dev}$ ) ce ține seama de toleranța de execuție a elementului privind poziționarea armăturii:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Menirea asigurării acoperirii minime cu beton a armăturii este:

- conlucrarea dintre armătura de rezistență și beton în toate stadiile de lucru;
- evitarea fisurării;
- protecția armăturii împotriva coroziunii (durabilitate);
- rezistență la foc suficientă (conform SR EN 1992-1-2).

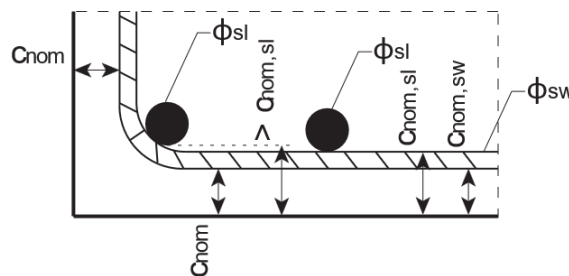


Figura 6.4.1 Stratul de acoperire cu beton pentru un element liniar

Acoperirea minimă ( $c_{min}$ ) este egală cu cea mai mare valoare care satisface atât condițiile de aderență cât și pe cele de mediu (condiții de durabilitate):

$$c_{min} = \max \begin{cases} c_{min,b} \\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} \\ 10mm \end{cases}$$

în care:

- $c_{min,b}$  – acoperirea minimă față de cerințele de aderență (tab. 6.4.1);
- $c_{min,dur}$  – acoperirea minimă față de cerințele de mediu (de durabilitate) (tab. 6.4.2);
- $\Delta c_{dur,\gamma}$  – marjă de siguranță, se recomandă valoarea 0;
- $\Delta c_{dur,st}$  – reducerea acoperirii minime în cazul oțelului inoxidabil, în absența unor precizări suplimentare se recomandă valoarea 0;
- $\Delta c_{dur,add}$  – reducerea acoperirii minime în cazul unei protecții suplimentare, în absența unor precizări suplimentare se recomandă valoarea 0.

Tabelul 6.4.1 Acoperirea minimă,  $c_{min,b}$ , din condiții de aderență\*

Beton armat	Bare individuale		$\geq \phi$ pentru $D_{max} \leq 32$ mm ( $\phi$ – diametrul barei, $D_{max}$ – diametrul maxim de agregat)
	Bare grupate		$\geq \phi + 5$ mm pentru $D_{max} > 32$ mm ( $\phi$ – diametrul barei, $D_{max}$ – diametrul maxim de agregat)
Beton precomprimat	Preîntinse	bare netede sau toroane	$\geq 1,5 \cdot \phi$ ( $\phi$ – diametrul toronului sau sârmei netede)
		bare profilate	$\geq 2,5 \cdot \phi$ ( $\phi$ – diametrul sârmei amprentate)
	Postîntinse	canal circular	Diametrul canalului $\leq 80$ mm
		canal dreptunghiular	Maxim (cea mai mică latură, jumătate din cea mai mare latură) $\leq 80$ mm

Notă:

\*Acoperirea minimă,  $c_{min,b}$ , din condiții de aderență se mărește cu 5mm atunci când diametrul maxim de agregat este mai mare de 32mm precum și atunci când se utilizează agregate ușoare.

Tabelul 6.4.2 Acoperirea minimă,  $c_{min,dur}$ , din condiții de durabilitate în cazul armăturilor pentru beton armat, respectiv al armăturilor pentru beton precomprimat (armături pretensionate)\*

Clasa structurală	Clasa de expunere						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10 (10)*	10 (15)*	10 (20)*	15 (25)*	20 (30)	25 (35)*	30 (40)*
S2	10 (10)*	10 (15)*	15 (25)*	20 (30)*	25 (35)	30 (40)*	35 (45)*
S3	10 (10)*	10 (20)*	20 (30)*	25 (35)*	30 (40)	35 (45)*	40 (50)*
S4	10 (10)*	15 (25)*	25 (35)*	30 (40)*	35 (45)	40 (50)*	45 (55)*
S5	15 (15)*	20 (30)*	30 (40)*	35 (45)*	40 (50)	45 (55)*	50 (60)*
S6	20 (20)*	25 (35)*	35 (45)*	40 (50)*	45 (55)	50 (60)*	55 (65)*

Notă:

\*Acoperirea minimă a armăturilor pretensionate neaderente este recomandată să fie în acord cu Acordul Tehnic European aferent produselor utilizate.

Pentru o durată de utilizare a structurii de 50 de ani se recomandă încadrarea în clasa structurală S4. Această clasă se poate mări sau micșora (tab. 6.4.3) în funcție de clasa de expunere sau alte situații speciale (de ex. durată de viață proiectată a structurii mai mare, utilizarea unei clase de rezistență a betonului superioare celei minime necesare din condiții de mediu, o calitate a execuției superioară, un control special a calității). Modificarea clasei structurale este necesară ori de câte ori ne aflăm în cel puțin unul din cazurile din tab. 6.4.3. În același timp, clasa structurală minimă recomandată este S1.

Tabelul 6.4.3 Clasa structurală recomandată pentru determinarea acoperirii minime,  $c_{min,dur}$ , din condiții de mediu

Criteriu	Clasa de expunere			
	X0/XC1	XC2/XC3	XC4/XD1/XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Durata de utilizare din proiect de 100 de ani	crește cu 2 clase			
Clasa de rezistență <sup>(1),2)</sup>	≥ C30/37	≥ C35/45	≥ C40/50	≥ C45/55
	scade cu 1 clasă			
Element asimilabil unei plăci (poziția armăturilor e neafectată de procesul de construcție sau elementul e necirculabil în timpul construcției)	scade cu 1 clasă			
Control special al calității de producție a betonului	scade cu 1 clasă			

Note:

1. Clasa de rezistență și raportul apă-ciment se consideră că sunt în interdependență. Pentru a obține o permeabilitate redusă a betonului se poate utiliza o compoziție specială (tip de ciment, raport apă-ciment, părți fine).
2. Limita poate fi redusă cu o clasă de rezistență dacă aerul antrenat este peste 4%.

Atunci când se utilizează beton armat cu armături rezistente la coroziune sau atac (de exemplu: armături confecționate din inox, oțel inoxidabil, oțel zincat, oțel protejat cu peliculă epoxidică, fibre de carbon, fibre bazaltice sau fibre de sticlă) pentru clasele de expunere XC, XD și XS nu mai este necesară respectarea cerințelor minime a acoperirii minime cu beton a armăturilor din condiții de mediu.

În cazul claselor de expunere XF și XA este suficientă acoperirea cu beton ce reiese folosind tabelele 6.4.1 și 6.4.2.

În cazul claselor de expunere XM se recomandă acordarea unei atenții suplimentare agregatelor utilizate (conform SR EN 206). O opțiune este mărirea stratului de acoperire (grosime de sacrificiu) ținând cont de abraziunea betonului, recomandându-se astfel: 5 mm grosime de sacrificiu pentru XM1, 10 mm pentru XM2 și 15 mm pentru XM3.

**Toleranța de execuție la montajul armăturilor** (fig. 6.4.2) mai este denumită și **devierea maxim permisă**, ea fiind  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$  la plăci și  $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$  la restul elementelor de rezistență (de ex. stâlpi, pereți, grinzi, fundații, etc.). Atunci când execuția se realizează în condiții mai exigente cu supravegherea strictă a măsurării acoperirii, toleranța se poate reduce până la maxim  $5 \text{ mm}$  pentru toate tipurile de elemente. În plus, dacă se garantează utilizarea unui aparat de măsurat foarte exact pentru verificarea poziție armăturilor, toleranța se poate reduce până chiar la  $0 \text{ mm}$ , caz în care elementele neconforme e obligatoriu să fie respinse (de ex. elemente prefabricate).

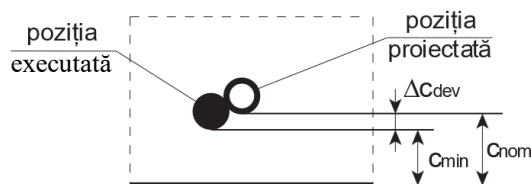


Figura 6.4.2 Abaterea nedorită în execuție

### Acoperirea nominală minimă din condiții de execuție

În situația în care betonul este turnat peste o suprafață de beton turnată într-o etapă anterioară (la elemente prefabricate, preturnate sau monolite cu rosturi de turnare), pentru acoperirea minimă de beton a armăturii (de la fața de contact) se poate accepta valoarea corespunzătoare condițiilor de aderență dacă sunt satisfăcute condițiile:

- clasa betonului să fie cel puțin C25/30;
- timpul de expunere al suprafeței respective a betonului la mediul exterior să fie scurt (<28 zile);
- suprafața elementului cu care va fi betonul în contact este una rugoasă și curățată (ex. spălată sau aspirată).

Când betonul e turnat pe suprafețe neregulate sau denivelate, se recomandă în general, mărirea acoperirii cu beton considerându-se o deviere admisibilă mai mare. Creșterea este în funcție de mărimea neregularităților, dar în final  $c_{nom} \geq 40 \text{ mm}$  pentru turnare în contact cu un sol pregătit (inclusiv prin beton de egalizare) și  $c_{nom} \geq 75 \text{ mm}$  pentru beton în contact direct cu solul (de ex. fundații). Tot așa, se recomandă mărirea acoperirii armăturilor pentru orice suprafață ce prezintă iregularități (de ex. suprafețe striate, beton cu agregate aparente, etc.) cu cel puțin  $5 \text{ mm}$ .

Pentru fundații de adâncime, precum pereți îngropați, pereți mulați, barete sau piloți, reglementările tehnice (ex. NP 123-4, SR EN 1536+A1+NA) prevăd ca stratul de acoperire cu beton pentru barelor longitudinale să respecte și următoarele valori:

- $c_{nom,sl} \geq 50 \dots 75 \text{ mm}$  (în funcție de diametru și tipul de pământ, de ex. minim  $50 \text{ mm}$  pentru diametrul pilotului de maxim  $600 \text{ mm}$ , minim  $60 \text{ mm}$  pentru diametrul pilotului mai mare de  $600 \text{ mm}$ , respectiv minim  $75 \text{ mm}$  pentru piloții ce traversează pământuri moi) la piloții forțați în uscat și netubați;
- $c_{nom,sl} \geq 80 \text{ mm}$  la piloții forțați sub noroi (inclusiv fluide de foraj precum soluție de bentonită);
- $c_{nom,sl} \geq 60 \text{ mm}$  la piloții forțați în tubaj nerecuperabil;
- $c_{nom,sl} \geq 75 \text{ mm}$  la barete, în cazul în care praful de bioxid de siliciu este utilizat ca înlocuitor de ciment, atunci când betonul a fost turnat sub apă, când carcasa de armătură este montată după turnarea betonului, sau ori de câte ori pereții găurii de foraj nu au suprafețe uniforme;
- $c_{nom,sl} \geq 50 \text{ mm}$  la piloți prefabricați din beton;
- $c_{nom,sl} \geq 40 \text{ mm}$  la fundații de adâncime realizate cu tubaj permanent sau cămășuală.

În general, la fundații de adâncime, acoperirea cu beton în funcție de execuție (cu scopul asigurării curgerii libere a betonului) este specificată în caietul de sarcini și pe planșele de execuție cu valori țintă și

nu în raport cu toleranțele de execuție. Astfel, acoperirea nominală finală trebuie considerată cea mai mare dintre valoare acoperirii minime din considerente de condiții de mediu plus de aderență, respectiv acoperirea minimă în funcție de execuție.

După ce acoperirea nominală este determinată din condiții de aderență, de durabilitate și prescriptive (constructive), se va verifica dacă distanța de la centrul de greutate al barei și până la marginea secțiunii de beton este suficientă pentru satisfacerea gradului de rezistență precizat prin Scenariul de siguranță la foc aferent construcției proiectate. **Acoperirea nominală trebuie specificată pe planuri.**

## 7. Specificația armăturii proiectate

În stabilirea specificației pentru armătura proiectată ce urmează a fi notată pe planșele de rezistență și includerea măsurilor suplimentare în caietele de sarcini, este necesară utilizarea reglementărilor tehnice în vigoare (SR EN 1992-1:2004, P100-1/2013+2019, ST 009-2011, SR EN 10080:2005, prEN 10138-1, 2, 3 și 4). Cel mai des utilizate armături nepretensionate (pasive) și pretensionate (active) sunt cele din oțel. Armăturile nepretensionate pot fi sub formă de bare, sârme (derulate din colaci), plase sudate și carcasse cu zăbrele plane sau spațiale, având suprafața netedă, cu nervuri, amprentată. Armăturile pretensionate se realizează din sârme, bare sau cabluri. Cea mai utilizată armătură pretensionată este toronul răsucit cu suprafață neamprentată (după ST 009-2011), cu alte cuvinte un cablu de construcție simplă cu structură deschisă compus din 7 sârme din oțel (6 sârme răsucite în jurul celei de a 7a care e poziționată central) (după prEN 10138-1,2,3,4).

Conform anexei naționale SR EN 1992-1:2004/NB:2008, este permisă utilizarea de armături nepretensionate pentru beton armat având valoarea maximă pentru limita de curgere caracteristică  $f_{yk} = 500$  Mpa. În lipsa altor specificații tehnice de produs, modulul de elasticitate al armăturilor se poate considera astfel:

- $E_s = 200.000$  Mpa, pentru armături nepretensionate din oțel pentru beton armat;
- $E_p = 205.000$  Mpa, pentru sârme și bare cu rol de armături pretensionate din oțel;
- $E_p = 195.000$  Mpa, pentru toroane cu rol de armături pretensionate din oțel;
- $E_p = 205.000$  Mpa, pentru bare cu rol de armături pretensionate din oțel;
- $E_s = 210.000$  Mpa, pentru oțel structural (plasat exterior sau înglobat ca armătură rigidă).

În tab. 7.1 este dată clasificarea armăturilor din oțel pe categorii de ductilitate (după ST 009-2011) în funcție de categoria de ductilitate, alungirea la forță maximă ( $A_{gt}$ ), alungirea la rupere ( $A_n$ ) și raportul dintre rezistența la tracțiune și limita de curgere ( $R_m/R_e(R_{p0,2})$ ), respectiv raportul dintre limita de elasticitate convențională la 0,1% și rezistența la întindere ( $F_{p0,1}/F_p$ ). Iar în tab. 7.2 sunt date caracteristicile armăturilor nepretensionate din oțel, respectiv ale armăturilor pretensionate din oțel în tab. 7.3.

Oțelurile OB37 și PC52 se consideră având clasa de ductilitate C sau  $C_s$ , iar la oțelul B500 și alte sortimente se va indica obligatoriu și clasa de ductilitate, de exemplu **B500 C**. Simbolul ce denotă „armătură din oțel pentru beton” nu este reglementat în România și în UE, totuși cel mai răspândit simbol utilizat (ex. Germania și Marea Britanie) este „B” succedat de valoarea caracteristică a rezistenței la întindere și clasa de ductilitate. **Notarea clasei de ductilitate și verificarea acesteia în documentații și pe produse este obligatorie.**

La armături pretensionate din oțel marcajul cuprinde, după caz:

- (a) pentru sârme
- Y (denotă oțel de precomprimare);
  - valoarea rezistenței la rupere (Mpa);
  - C (denotă tragere la rece);
  - diametrul sârmei (mm);
  - T1 sau T2 sau T3 sau T4 (denotă tipul amprentării);
  - R1 sau R2 (denotă clasa de relaxare);
  - F1 sau F2 (denotă clasa de oboseală);
  - C1 sau C1L sau C2 dacă e cazul (denotă clasa de coroziune);
  - **Y 1860 C  $\phi$ 7,0 T2 R1 F1 C1L** (exemplu de notație completă).
- (b) pentru toroane
- Y (denotă oțel de precomprimare);
  - valoarea rezistenței la rupere (Mpa);
  - T (denotă toron);

- 2 sau 3 sau 7 (denotă numărul de sârme ce alcătuiesc toronul);
  - diametrul toronului (mm);
  - I dacă este cazul (denotă produs amprentat);
  - R1 (denotă clasa de relaxare);
  - F1 sau F2 (denotă clasa de oboseală);
  - C1 sau C2 (denotă clasa de coroziune);
  - **Y 1860 T7  $\phi$ 12,9 R1 F2 C2** (exemplu de notație completă).
- (c) pentru bare
- Y (denotă oțel de precomprimare);
  - valoarea rezistenței la rupere (Mpa);
  - H (denotă laminare la cald);
  - diametrul nominal al barei (mm);
  - R dacă este cazul (denotă produs cu nervuri);
  - R1 (denotă clasa de relaxare);
  - F1 (denotă clasa de oboseală);
  - C1 sau C2 (denotă clasa de coroziune);
  - **Y 1230 H  $\phi$ 26,0 R1 F1 C1** (exemplu de notație completă).

În SR EN 1992-1, pentru armături pretensionate sunt definite trei clase de relaxare:

- (a) Clasa 1: sârmă sau toron cu relaxare normală ( $\rho_{1000} = 8\%$  sau se ia din certificat);
- (b) Clasa 2: sârmă sau toron cu relaxare scăzută ( $\rho_{1000} = 2,5\%$  sau se ia din certificat);
- (c) Clasa 3: bare laminate la cald care au fost supuse la un tratament complementar ( $\rho_{1000} = 4\%$  sau se ia din certificat).

Tabelul 7.1 Clasificarea armăturilor din oțel pentru beton armat și precomprimat pe categorii de ductilitate

Tipul armăturii	Categoria de ductilitate	Alungirea la forță maximă, $A_{gt}$ (%)	Alungirea la rupere, $A_n$ (%)	Raportul $R_m / R_e$ (%)
Armătură nepretensionată	$A_s$	min. 1,5	min. 6	min. 1,03
		min. 1,0		min. 1,02
	A	min. 2,5	min. 6	min. 1,05
		min. 2,0		min. 1,03
	B	min. 5,0	min. 10	min. 1,08
	C	min. 7,5	min. 16	min. 1,15 max. 1,35
	$C_s$	min. 10,0	min. 20	min. 1,25
		min. 7,5	min. 16	
Armătură pretensionată	D	min. 3,5	<b>Tipul de produs</b>	<b>Raportul <math>F_{p0,1} / F_p</math> (%)</b>
			sârme individuale și grupate (toroane) având $\phi_{s\grave{a}rm\grave{a}} \geq 3\text{mm}$	min. 0,85 max. 0,95
			toroane având $\phi_{s\grave{a}rm\grave{a}} < 3\text{mm}$	min. 0,85 max. 0,97
			bare	min. 0,80 max. 0,95

Tabelul 7.2 Caracteristicile armăturilor nepretensionate din oțel pentru beton armat

Tipul armăturii	Marcă oțel	Diametrul nominal (mm)	Limita de curgere, $f_{yk}$ (Mpa)	Rezistența de rupere la întindere, $f_t$ (Mpa)	Denumirea comercială	Proveniența
Armătură nepretensionată: Bare	B255	6; 8; 10; 12	255	360	OB 37	(RO)
	B235	14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 50	235			
	B355	6; 8; 10; 12; 14	355	510	PC 52	
	B345	16; 18; 20; 22; 25; 28	345			
	B335	32; 36; 40; 50	335			
	B420	6; 8; 10; 12	420	590	PC 60	
	B405	14; 16; 18; 20; 22; 25; 28	405			
	B395	32; 36; 40; 50	395			
	B500	6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28	500	550 (525)	Bst 500S, B 500	
B490	10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40	490	590	B60,50	(H)	
Armătură nepretensionată: Colaci, Produse derulate și Carcase cu zăbrele	B490	3; 4	490	590 (600)	STNB	(RO)
	B440	4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7,1	440	540 (550)		
	B390	8; 8,5; 9,0; 9,5; 10	390	490 (500)		
	B500	3; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10	500	550 (525)	Bst 500M	(RO), (B), (D), (H), (M), (T), (U)
	B460	6; 8; 10	460	510	SPPB	(RO)
România (RO), Bulgaria (B), Germania (D), Ungaria (H), Moldova (M), Turcia (T), Ucraina (U)						

Notă: Diametrele nominale până la 10 mm inclusiv, trebuie să fie multiplu de 0,5 mm, iar peste 10 mm să fie un număr întreg de mm.

Tabelul 7.3 Caracteristicile armăturilor pretensionate din oțel pentru beton precomprimat

Tipul armăturii	Marcă oțel	Diametrul nominal (mm)	Rezistența de rupere la întindere, $f_{pk}$ (Mpa)	Rezistența de calcul, $f_{pd}$ (Mpa)	Aspectul suprafeței armăturii
Armătură pretensionată: Sârmă trasă la rece	Y 2110	1,5	2110	1650	neted
	Y 2010	2,0	2010	1570	neted
	Y 1910	1,5; 2,5	1910	1490	neted
	Y 1860	2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0	1860	1460	neted sau amprentat
	Y 1770	2,5; 3,0; 3,2; 3,7; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 7,0	1770	1390	neted sau amprentat
	Y 1720	4,0	1720	1350	neted
	Y 1670	3,0; 4,0; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 6,9; 7,0; 7,5; 8,0	1670	1310	neted sau amprentat
	Y 1620	4,5; 6,0; 7,11	1620	1270	neted sau amprentat
	Y 1570	5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 8,5; 8,8; 9,0; 9,4; 9,5; 9,7; 10,0; 10,5; 11,0; 12,2	1570	1230	neted sau amprentat
	Y 1520	5,0	1520	1190	amprentat
	Y 1470	6,0; 7,0	1470	1150	amprentat
Toroane cu 2 sârme	Y 1860	4,5	1860	1460	neted sau amprentat
	Y 1770	5,6; 6,0	1770	1390	
Toroane cu 3 sârme	Y 2160 și Y 2060	5,2	2160, respectiv 2060	1650 și 1570	neted sau amprentat

	Y 1960	4,8; 5,2; 6,5; 6,85	1960	1530	
	Y 1920	6,3; 6,5	1920	1500	
	Y 1860	4,85; 6,5; 6,9; 7,5; 8,6	1860	1460	
	Y 1770	7,5	1770	1390	
<b>Toroane cu 7 sârme</b>	Y 2160	6,85	2160	1690	neted sau amprentat
	Y 2060	6,4; 6,85; 7,0; 8,6; 11,3; 12,5; 12,9	2060	1610	
	Y 1960	9,0; 9,3; 9,6; 11,0; 11,3; 12,5; 12,9; 15,2; 15,3; 15,7; 18,0	1960	1530	
	Y 1860	6,9; 9,0; 9,3; 9,6; 11,0; 12,5; 12,9; 15,2; 15,3; 15,7; 18,0	1860	1460	
	Y 1770	15,2; 15,3; 15,7; 18,0	1770	1390	
	Y 1670	12,0; 15,2	1670	1310	
<b>Toroane cu 7 sârme compactate</b>	Y 1860	12,7; 15,2	1860	1460	neted
	Y 1820	15,2	1820	1420	
	Y 1700	18,0	1700	1330	
<b>Bare</b>	Y 1230	26,0; 26,5; 32,0; 36,0; 40,0	1230	960	neted sau cu nervuri
	Y 1100	15,0; 20,0	1100	860	
	Y 1050	17,5; 26,0; 26,5; 32,0; 36,0; 40,0; 47,0	1050	820	
	Y 1030	25,5; 26,0; 26,5; 32,0; 36,0; 40,0; 50,0	1030	810	

Notă:

1. Limita de elasticitate convențională corespunzătoare unei alungiri de 0,1% este  $f_{p0,1k} = 0,9 \cdot f_{pk}$ , putând a se considera această valoare în lipsa alteia mai exacte.

2. Rezistența la de calcul la întindere a armăturilor pretensionate se calculează ca  $f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s$ , iar pentru situații de proiectare permanente și tranzitorii  $\gamma_s = 1,15$  (considerat și pentru valorile din tabel), respectiv pentru situații accidentale 1,00.

3. Printre toroanele uzuale utilizate în România sunt cele de marcă Y 1660, Y 1770 și Y 1860, cu 7 sârme, având diametrele nominale:

- 6,9 mm ( $A_p = 30 \text{ mm}^2$ ), TBP6;
- 8,0 mm ( $A_p = 40 \text{ mm}^2$ ), TBP8;
- 9,0 mm, 9,2 mm și 9,3 mm ( $A_p = 50 \text{ mm}^2$ ), TBP9;
- 9,5 mm, 9,6 mm ( $A_p = 55 \text{ mm}^2$ ), TBP9;
- 11,0 mm ( $A_p = 70 \text{ mm}^2$ ), TBP11;
- 12,2 mm ( $A_p = 90 \text{ mm}^2$ ), TBP12;
- 12,5 mm ( $A_p = 95 \text{ mm}^2$ ), TBP12;
- 12,9 mm ( $A_p = 100 \text{ mm}^2$ ), TBP 12;
- 15,2 mm ( $A_p = 140 \text{ mm}^2$ ), TBP 15;
- 15,7 mm ( $A_p = 150 \text{ mm}^2$ ), TBP 15.



## 8. Exemple de specificație pentru betonul proiectat

În stabilirea specificației pentru betonul proiectat ce urmează a fi notată pe planșele de rezistență și includerea măsurilor suplimentare în caietele de sarcini, dacă se dorește, se pot urma pașii din tab. 8.1.

Tabelul 8.1 Sumarul aspectelor de luat în seamă în stabilirea specificației pentru betonul proiectat (cu proprietăți specificate)

Nr. crt.	Aspecte de luat în considerare pentru betonul cu proprietăți specificate	Reglementări tehnice aplicabile	Poziție în text
1	Stabilirea clasei de expunere	NE 012/1-2022; PE 713	6.1
2	Aprecierea dacă elementul este din beton masiv sau susceptibil la fisurare din contracție	NE 012/2-2022; GP 115:2011; PE 713	5.1.5 5.1.6
3	Investigarea dacă elementul din beton este expus unui mediu chimic-agresiv, sulfatic (conform studiu geotehnic și analiză chimică a apei)	NE 012/1-2022; PE 713	5.1.5 6.1
4	Stabilirea tipului sau tipurilor de ciment care pot fi folosite în funcție de clasele de expunere	NE 012/1-2022; PE 713	5.1.5 5.1.6
5	Stabilirea clasei de rezistență la compresiune a betonului în funcție de condițiile de durabilitate	NE 012/1-2022; PE 713	6
6	Stabilirea raportului maxim A/C	NE 012/1-2022; PE 713	3.1 6
7	Stabilirea dimensiunii nominale maxime a agregatelor	SR EN 12620; NE 012/1-2022; P713	3.2
8	Stabilirea clasei de cloruri	NE 012/1-2022	3.4
9	Stabilirea clasei de consistență	NE 012/1-2022	3.5
10	Cerințe privind impermeabilitatea betonului, dacă e necesar	NE 012/1-2022; NE 014:2002; PE 713	4.2
11	Cerințe speciale privind agregatele utilizate, dacă e necesar	NE 012/1-2022; NE 014:2002; PE 713	5.2
12	Cerințe speciale privind utilizarea unor anumite tipuri de aditiv în beton, dacă e necesar	NE 012/1-2022	5.4
13	Includerea unui caiet de sarcini privind turnarea betonului pe timp friguros și/sau călduros, dacă e necesar	NE 012/2-2022; C16/1985	3.6
14	Cerințe privind temperatura betonului proaspăt, după caz	NE 012/1-2022; C16/1985; PE 713	3.6
15	Cerințe privind viteza de degajare a căldurii în perioada hidratării cimentului	NE 012/1-2022; C16/1985; PE 713	3.1 5.1
16	Stabilirea grosimii stratului de acoperire cu beton	SR EN 1992-1:2004+AC+NA	6.4
17	Stabilirea clasei structurale	SR EN 1992-1:2004+AC+NA; CR 0-2012; SR EN 1990:2004	6.2
18	Stabilirea clasei de importanță-expunere	CR 0-2012; CR 1-1-3/2012; CR 1-1-4/2012; P100-1/2013; SR EN 1998-1:2004	6.2
19	Încadrarea în categorie de importanță	H.G. nr.766/1997; H.G. 1.231/2008	6.3

Exemplul 1. Să se stabilească specificația betonului pentru un zid de sprijin de greutate realizat din beton nearmat, turnat monolit, executat pe timp călduros (temperaturi peste +25 °C) și în vecinătatea imediată a carosabilului, cunoscând că:

- elevația este expusă direct intemperiilor și ploii, dar și stropilor de apă cu conținut de cloruri (din agenții de dezghețare) din zona carosabilă
- o parte din fundație este sub nivelul pânzei freatice
- cota superioară a fundației este sub adâncimea de îngheț, pe întreaga lungime a zidului
- apele pluviale și agenții de dezghețare sunt colectați printr-o rigolă de suprafață fără a se infiltra în pământ și a ajunge la fundație
- în Studiul Geotehnic, din analiza chimică a solului și a apei subterane reiese că lipsește atacul chimic
- în urma dimensionării zidului de sprijin a reieșit că este nevoie de beton clasa C12/15 în elevație, respectiv clasa C8/10 în fundație;
- în proiectarea zidului s-a considerat o greutate proprie a betonului corespunzătoare clasei D2,4 (masă volumică beton nearmat în stare uscată 2201...2400 kg/m<sup>3</sup>);
- dimensiunea minimă a fundației este de 850 mm, iar a elevației 300 mm;
- lungimea zidului este de 30 m;
- durata de viață proiectată este 75 ani;
- clasa de importanță-expunere III (construcții de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase);
- lucrarea se încadrează în categoria de importanță normală, C.

*Rezolvare:*

*Deoarece atât fundația cât și elevația sunt din beton nearmat, clasele de expunere pentru fundație sunt: X0, iar pentru elevație: XF2.*

*Betonul din elevație are clasa de umiditate WA, iar cel din fundație are clasa de umiditate WF.*

*Din perspectiva claselor de expunere e necesar beton minim C8/10 în fundație și minim C30/37 în elevație și agregate rezistente la îngheț-dezgheț (obligatoriu aditiv antrenor de aer, altfel minim C35/45). În consecință, clasa de rezistență a cimentului adecvată este 32,5 pentru fundație, respectiv 32,5 sau 42,5 pentru elevație.*

*Întrucât fundația zidului se încadrează la structuri masive, iar betonarea se realizează pe timp călduros, este adecvată utilizarea unui ciment Portland compozit având căldură de hidratare moderată (ex. CEM II B-M (S-V) 32,5R) în amestec cu un ciment de furnal care în sine are o căldură de hidratare redusă (ex. CEM III A 32,5N-LH), pentru a evita fisurarea din contracții la întărire. Pentru elevație, fiind din beton simplu, cu o lungime de 30 m și cu betonare pe timp călduros, este adecvată utilizarea unui ciment cu căldură de hidratare limitată (CEM II B-M (S-V) 42,5N). Întrucât betonarea se va realiza pe timp călduros se recomandă utilizare cimenturilor Portland compozit și/sau a cimenturilor de furnal, plus aditiv întârziator de priză.*

*Betonul din fundație poate fi turnat direct din camionul automalaxor, în consecință un beton proaspăt de consistență vârtos este suficient, clasa de consistență după tasare: S1. Pentru turnarea betonului din elevație este necesară utilizarea unui bunker sau a unei bene, clasa de consistență după tasare: S2.*

*Dimensiunile minime ale fundației și elevației permit folosirea unor agregate mari,  $D_{max} = 63$  mm.*

*Întrucât structura este din beton nearmat, rezultă clasa de cloruri Cl 1,0.*

*Structura este supusă presiunii apei, așadar se adoptă clasa de permeabilitate adecvată, conform NE 012/2-2022 (Anexa K). Gradul de impermeabilitate este relevant pentru elevație întrucât mărginește un mal de pământ cu conținut de apă, dar nu și pentru fundație. Drept urmare, gradul de impermeabilitate recomandat pentru elevație – având clasa de expunere XF2 – este  $P_{12}^{10}$ . Raportul maxim apă-ciment este 0,55 pentru clasa de expunere XF2, dar 0,45 pentru clasa de permeabilitate  $P_{12}^{10}$ .*

Clasa structurală corespunzătoare unei durate de viață proiectate de 75 de ani este S4.

În continuare, în chenar este notată specificația betonului conform NE 012/1-2022, cu litere **aldine** fiind informațiile minime obligatorii prevăzute de reglementările tehnice în vigoare. Ca mai apoi, specificației betonului să îi urmeze: specificarea clasei structurale, a clasei de importanță-expunere și a categoriei de importanță, ultimele trei caracterizând structura de rezistență a construcției.

<b>Beton nearmat:</b>	<b>Produs în conformitate cu NE 012/1</b>
<b>pentru fundație:</b>	<b>C8/10; X0, WF; CI 1,00; Dmax = 63 mm; S1</b> CEM II B-M (S-V) 32,5R și CEM III A 32,5 N-LH; min. 180 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,75 Aditiv întârziator de priză Masă volumică beton (nearmat) în stare uscată 2201...2400 kg/m <sup>3</sup> Betonarea se va realiza seara și noaptea Temperatura betonului proaspăt $T_{\text{beton}} \leq +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>pentru elevație:</b>	<b>C30/37; XF2, WA; CI 1,00; Dmax = 63 mm; S2; P<sub>12</sub><sup>10</sup></b> CEM II B-M (S-V) 42,5N; min. 320 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,45 Agregate rezistente la îngheț-dezghet Aditiv antrenor de aer Aditiv întârziator de priză Masă volumică beton (nearmat) în stare uscată 2201...2400 kg/m <sup>3</sup> Betonarea se va realiza seara și noaptea Temperatura betonului proaspăt $T_{\text{beton}} \leq +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>Clasa structurală: S4</b>	
<b>Clasa de importanță-expunere: III (construcții de tip curent)</b>	
<b>Categoria de importanță: C (normală)</b>	

Exemplul 2. Să se stabilească specificația betonului proaspăt și întărit precizând și tipul de ciment corespunzător a fi utilizat la realizarea unor piloți cu lungime de cca 10 m, având diametrul de 80 cm, fiind executați prin foraj netubat. În urma investigațiilor geologice, s-a observat că acești piloți urmează să traverseze un masiv de sare pe o lungime de 4 m. Amplasamentul este în vecinătatea cursului râului Someșul mic, fiind riscul ca betonarea să fie efectuată sub apă. Clădirea are prevăzută o durată de exploatare cuprinsă între 50 și 100 ani, rezultând clasa structurală S4. Clasa de importanță-expunere este III (construcții de tip curent), iar categoria de importanță B (deosebită).

*Rezolvare:*

*Sarea este o clorură de sodiu, în consecință clasa de expunere este XD sau echivalent XS. Fiind vorba de un masiv de sare ce înconjoară elementul de rezistență, se poate considera cea mai severă subclasă, adică XD3 sau XA 4b (din condiții echivalent lui XA3 sau XS3). Așadar, clasa minimă pentru beton este C35/45, raportul apă-ciment maxim 0,45 și dozajul minim de ciment 360 kg/m<sup>3</sup>. Totuși, la betonare sub apă dozajul minim de ciment este 375 kg/m<sup>3</sup>, iar clasa de consistență adecvată betonului proaspăt este S4.*

*Întrucât piloții prin geometria lor pot fi încadrați în rândul elementelor masive, este prudentă utilizarea unor cimenturi cu degajare moderată sau limitată de căldură la hidratare.*

*Luând în considerare tipul de element (pilot forat), clasa de expunere (XD), masivitatea elementului și tipurile de ciment care se produc în România la ora actuală, următoarele cimenturi sunt adecvate pentru a fi utilizate:*

- CEM II A-LL 42,5R (producător HOLCIM) – ciment cu o degajare moderată de căldura la hidratare, puțin sensibile la frig, adecvat betoanelor monolite;
- CEM II B-M (S-V) 42,5R (producător ROMCIM) – ciment cu degajare limitată de căldură la hidratare, sensibil la frig, adecvat elementelor masive (de ex. cu grosime de minim 80 cm sau de cel puțin 0,5m și un volum de peste 100m<sup>3</sup>) și construcțiilor hidrotehnice.

*Întrucât elementele sunt piloți, este necesar să fie utilizate agregate cu formă rotunjită, de râu.*

*Acoperirea cu beton este maximul dintre 75 mm (din condiții de execuție – betonare fundații de adâncime sub apă) și 45 mm + 10 mm = 55 mm (din condiții de durabilitate + toleranță). Rezultă  $c_{nom} = 75$  mm.*

*În continuare, în chenar este notată specificația betonului conform NE 012/1-2022, cu litere **aldine** fiind informațiile minime obligatorii prevăzute de reglementările tehnice în vigoare. Ca mai apoi, specificației betonului să îi urmeze: precizarea grosimii stratului de acoperire cu beton pentru armături, specificarea clasei structurale, a clasei de importanță-expunere și a categoriei de importanță, ultimele trei caracterizând structura de rezistență a construcției.*

<b>Beton armat:</b>	<b>Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021</b>
<b>pentru piloți:</b>	<b>C35/45; XC4, XD3, XA3, WF; Cl 0,20; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>12</sub><sup>10</sup></b> CEM II A-LL 42,5R sau CEM II B-M (S-V) 42,5R; min. 375 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,45 Agregate cu formă rotunjită, de râu Diametru interior/exterior furtun pompă beton: minim 51/69 mm
<b>Oțel-beton: B500 B</b>	
<b>Acoperire cu beton:</b>	<b><math>c_{nom} = 75</math> mm (piloți)</b>
<b>Clasa structurală: S4</b>	
<b>Clasa de importanță-expunere: III (construcții de tip curent)</b>	
<b>Categoria de importanță: B (deosebită)</b>	

Exemplul 3. Să se stabilească specificația betonului pentru fundația tip radier pe piloți aparținând structurii unui bloc de locuințe cu 8 niveluri. Lucrările la infrastructura clădirii se desfășoară pe timp friguros (temperaturi sub +5 °C), piloții sunt de tip piloți forajați armați, fără tubaj, iar pentru prevenirea surpării forajului se utilizează soluție de bentonită. Din proiectarea fundației se mai cunosc următoarele:

- radierul are o grosime de 1000 mm, este armat cu bare de diametru maxim 25 mm (pe cele două fețe), respectiv cu bare de diametru fi 16 (în zona mediană), la distanță minimă de 100 mm;
- piloții au o lungime de 7m, diametrul de 400 mm, sunt armați longitudinal cu  $\Phi 16/100$  mm (lumina între armături măsurată pe direcție transversală este 84mm, iar pe direcție radială este 250 mm), transversal cu fretă  $\Phi 8/100$  (200) mm;
- grosimea stratului de acoperire cu beton în piloți este 80 mm, iar în radier 45 mm;
- din dimensionare a rezultat în radier clasa de beton necesară C20/25, iar în piloți C16/20;
- din Studiul Geotehnic reiese că radierul și piloții se încadrează în clasele de expunere XC2 și XA2, fără a fi prezentă componentă sulfatică ( $SO_4^{2-}$ );
- dimensiunile clădirii în plan sunt 50 x 42 m, iar înălțimea totală 25 m;
- durata de viață proiectată este 50 ani;
- funcțiunea este clădire multietajată de locuit, proiectată pentru o capacitate de 250 de persoane;
- clasa de importanță-expunere III (construcții de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase);
- din punct de vedere a proiectării seismice, structura a fost dimensionată în clasa de ductilitate medie DCM
- lucrarea se încadrează în categoria de importanță deosebită, B.

*Rezolvare:*

*Clasele de expunere, atât pentru piloți cât și pentru radier, sunt XC2 și XA2.*

*Atât radierul cât și piloții se află în clasa de umiditate WF.*

*Clasa de beton din piloți va fi maximul dintre clasa de beton rezultată din dimensionare (aici C16/20), clasa de beton minimă pentru piloți forajați armați (aici C20/25) și clasa de beton minim necesar pentru clasa de expunere aferentă cea mai exigentă (aici XC2 și XA2, așadar C35/45), rezultă C35/45.*

*Clasa de beton din radier va fi maximul dintre clasa de beton rezultată din dimensionare (aici C20/25) și clasa de beton minim necesar pentru clasa de expunere aferentă cea mai exigentă (aici XC2 și XA2, așadar C35/45), rezultă C35/45.*

*Pentru alegerea tipului de ciment adecvat, este necesar să fie luate în considerare următoarele aspecte din tema de proiectare: agresivitatea chimică (XA2 fără componentă sulfatică), betonarea se realizează pe timp călduros, radierul este o structură masivă, dar piloții nu. În consecință, pentru ambele tipuri de elemente este necesar un ciment puțin sensibil la frig, iar pentru radier, suplimentar, cimentul utilizat trebuie să aibă o căldură de hidratare cât mai mică. Un ciment de tip Portland compozit este potrivit, dar nu CEM II B-M (S-V) întrucât are sensibilitate la frig. Se alege CEM II A-LL 42,5R (pentru radier cu aditivi întârzieți de priză deoarece este un element masiv). Mai adecvată era alegerea unui ciment cu întărire normală, CEM II A-LL 42,5N, dar momentan singurele cimente cu întărire normală care se mai produc în România sunt CEM II B-M (S-V) 42,5N și CEM III A 42,5N-LH, ambele fiind sensibile, respectiv foarte sensibile la frig.*

*Dozajul minim de ciment pentru beton din piloți este dat de maximul dintre dozajul minim de ciment pentru beton turnat sub apă ( $375 \text{ kg/m}^3$ ) și dozajul minim de ciment aferent clasei de expunere cu cea mai mare exigență (aici  $320 \text{ kg/m}^3$ ), așadar rezultă  $375 \text{ kg/m}^3$ .*

*Dozajul minim de ciment va fi pentru betonul din radier dozajul minim de ciment aferent clasei de expunere cu cea mai mare exigență, aici  $320 \text{ kg/m}^3$ .*

Raportul A/C maxim pentru piloți va fi minimul dintre cel aferent unui beton turnat sub apă (0,60) și cel aferent clasei de expunere cu cea mai mare exigență (aici 0,50), rezultă 0,50.

Raportul A/C maxim pentru betonul din radier va fi cel aferent clasei de expunere cu cea mai mare exigență, aici 0,50.

Pentru turnarea betonului din piloți și radier este necesară utilizarea unei pompe, ceea ce înseamnă că e necesară o clasă de consistență după tasare S5 pentru piloți (turnare sub fluid de foraj, aici soluție de bentonită), respectiv S4 pentru radier. La radier se va utiliza un beton fluid, deoarece elementul are o armare densă, iar grosimea sa mare (1000 mm) face dificilă compactarea betonului proaspăt turnat.

Pentru piloți diametrul maxim de agregat este  $\min(84/4; 32 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$  și se alege  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$ . Pentru radier diametrul maxim de agregat este  $\min(75-5; 1,3 \cdot 45) = 58,5 \text{ mm}$ , se alege  $D_{\max} = 31,5 \text{ mm}$ . Pentru aceste dimensiune de granulă este nevoie ca diametrul interior al furtunului pompei de beton să fie  $\geq 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$  (piloți), respectiv  $\geq 3 \cdot 31,5 = 95 \text{ mm}$  (radier), în consecință rezultă ca fiind necesare pompe având furtunul cel puțin de 51/69, respectiv 100/130. La piloți, diametrul exterior maxim de furtun este limitat la lumina dintre armături măsurată în sens radial (aici 250 mm – grosime inele de rigidizare carcasă = 230 mm). Pentru piloți turnați monolit este obligatoriu să se utilizeze agregate cu formă rotunjită de râu.

Întrucât elementele infrastructurii sunt din beton armat, se poate folosi clasa de cloruri Cl 0,20 sau Cl 0,40, se alege Cl 0,20.

Gradul de impermeabilitate recomandat este  $P_{12}^{10}$  pentru piloți și radier, aferent clasei de expunere celei mai exigente, aici XA2.

Dacă temperatura aerului ambiant este cuprinsă între  $-3^{\circ}\text{C}$  și  $+5^{\circ}\text{C}$  și dozajul de ciment este minim  $240 \text{ kg/m}^3$ , atunci temperatura betonului proaspăt e necesar să fie  $T_{\text{beton}} \geq +5^{\circ}\text{C}$ . În cazul în care temperatura aerului ambiant este între  $-10^{\circ}\text{C}$  și  $-3^{\circ}\text{C}$ , atunci temperatura betonului proaspăt va fi  $+10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{beton}} \leq +20^{\circ}\text{C}$  și elementul de beton va fi menținut cald la o temperatură de minim  $+10^{\circ}\text{C}$  timp de cel puțin 3 zile. Se recomandă utilizarea unor aditivi acceleratori de întărire și anti-îngheț.

Acoperirea cu beton indicată corespunde atât cerințelor de aderență și durabilitate cât și celor privind execuția.

Clasa structurală corespunzătoare unei durate de viață proiectate de 50 de ani este S4.

Întrucât clădirea multietajată de locuit are sub 300 de persoane în zona expusă și înălțimea este mai mică de 28 m, rezultă că se încadrează în clasa de importanță-expunere III (construcții de tip curent, care nu aparțin altei clase).

Întrucât din punct de vedere al proiectării seismice, structura a fost dimensionată în clasa de ductilitate medie DCM, rezultă că mustățile pentru elementele verticale de rezistență trebuie să fie din oțel de clasă de ductilitate B. Pentru restul armăturilor din radier, precum și celor din piloți, e necesar să fie tot de clasă B.

În continuare, în chenar este notată specificația betonului conform NE 012/1-2022, cu litere **aldine** fiind informațiile minime obligatorii prevăzute de reglementările tehnice în vigoare. Ca mai apoi, specificației betonului să îi urmeze: precizarea grosimii stratului de acoperire cu beton pentru armături, specificarea clasei structurale, a clasei de importanță-expunere și a categoriei de importanță, ultimele trei caracterizând structura de rezistență a construcției.

<b>Beton armat:</b>	<b>Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021</b>
<b>pentru radier:</b>	<b>C35/45; XC2, XA2, WF; Cl 0,20; Dmax = 32 mm; S4; P<sub>12</sub><sup>10</sup></b> CEM II A-LL 42,5R; min. 320 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,50 Aditiv accelerator de priză și anti-îngheț Betonarea se va realiza în miezul zilei Temperatura betonului proaspăt e necesar să fie $T_{\text{beton}} \geq +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , dacă temperatura aerului ambiant este cuprinsă între $-3^{\circ}\text{C}$ și $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperatura betonului proaspăt va fi $+10 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{beton}} \leq +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ și elementul de beton va fi menținut cald la o temperatură de minim $+10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ timp de cel puțin 3 zile, atunci când temperatura aerului ambiant scade până la cel mult $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (sub această temperatură se opresc lucrările de betonare). Diametru interior/exterior furtun pompă beton: minim 100/130 mm
<b>pentru piloți:</b>	<b>C35/45; XC2, XA2, WF; Cl 0,20; Dmax = 16 mm; S5; P<sub>12</sub><sup>10</sup></b> CEM II A-LL 42,5R; min. 375 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,50 Agregate cu formă rotunjită, de râu Betonarea se va realiza în miezul zilei Temperatura betonului proaspăt e necesar să fie $T_{\text{beton}} \geq +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , dacă temperatura aerului ambiant este cuprinsă între $-3^{\circ}\text{C}$ și $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sub temperaturi de $-3^{\circ}\text{C}$ se opresc lucrările de betonare, temperatura mediului ambiant la adâncime neputând fi verificată corespunzător. Diametru interior/exterior furtun pompă beton: minim 51/69 mm
<b>Oțel-beton: B500 B</b>	
<b>Acoperire cu beton: <math>c_{\text{nom}} = 45 \text{ mm}</math> (radier)</b>	
<b><math>c_{\text{nom}} = 80 \text{ mm}</math> (piloți)</b>	
<b>Clasa structurală: S4</b>	
<b>Clasa de importanță-expunere: III (construcții de tip curent)</b>	
<b>Categoria de importanță: B (deosebită)</b>	

Exemplul 4. Să se stabilească tipul de ciment necesar și aditivii recomandați a fi utilizați la realizarea unei structuri din beton armat alcătuită din pereți și planșee dală de beton armat turnat monolit. Se mai știe că structura se execută în timpul verii, temperaturile putând depăși  $+25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , iar dimensiunea structurii în plan este  $30 \times 60 \text{ m}$  și are 10 niveluri. Clasa de beton necesară este C25/30.

*Rezolvare:*

*Din cauza rigidității mari la translații și rotații în plan orizontal a structurii de rezistență, a realizării ei în variantă monolită și a execuției lucrărilor de betonare pe timp călduros, este foarte recomandată utilizarea (și a) unui ciment cu căldură de hidratare redusă (LH) sau foarte redusă (VLH).*

*Se alege ciment CEM II B-M (S-V) 32,5R în amestec cu CEM III A 42,5N-LH, proporțiile urmând a fi determinate experimental pe compoziții de beton, având ca țel obținerea unui beton care la întărire să aibă contracții minime. Mai sunt recomandate utilizarea unui aditiv întârziator de priză și turnarea betonului seara și noaptea. Temperatura betonului proaspăt va fi  $T_{\text{beton}} \leq +25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

Exemplul 5. Să se stabilească specificația betonului pentru o parcare la sol realizată dintr-o dală de beton armat cu armătură tip plasă STNB ( $\phi 8/200/200$ ) și cu armătură dispersă din fibre de polietilenă. Suprafața betonului rămâne aparentă. Parcarea este parțial acoperită și este destinată autovehiculelor și utilajelor cu anvelope, încadrându-se astfel în categoria pardoselilor industriale. Se mai cunosc:

- dimensiunea în plan a parcării este 20 x 12 m;
- grosimea dalei este de 180 mm și acoperirea minimă cu beton este 45 mm la partea inferioară, iar pe fețele laterale și la partea superioară 50 mm;
- dimensionarea a fost efectuată pentru beton de clasă C30/37;
- după întărirea betonului, dala se va tăia (rost pe 1/3 din înălțime) în panouri cu dimensiunea de maxim 6 x 6 m;
- lucrările de betonare se desfășoară primăvara (temperaturi cuprinse între +5 și +25 °C);
- în exploatare platforma este expusă la apă de ploaie, la îngheț-dezghet și la agenți de degivrare pe bază de clor;
- clasa de importanță-expunere III (construcții de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase);
- lucrarea se încadrează în categoria de importanță redusă, D.

*Rezolvare:*

*La clase de expunere XD se impune ca betonul să fie rezistent la difuzia ionilor de clor pentru ca aceștia să nu atingă suprafața armăturilor de oțel înglobate. Aceasta se poate realiza prin respectarea raportului maxim A/C, a dozajului minim de ciment, a clasei minime de rezistență la compresiune a betonului și a gradului de impermeabilitate, toate aferente clasei de expunere XD3.*

*Ținând cont de datele de mai sus, putem încadra dala din beton în clasele de expunere XC4, XD3, XF3, XM1 și în clasa de umiditate WA. De aici rezultă clasa minimă de beton C35/45, raportul maxim A/C 0,45 și dozajul minim de ciment 320 kg/m<sup>3</sup> (cerințele pentru clasa de expunere XD3 sunt pentru cazul de față cele mai exigente).*

*În alegerea tipului de ciment nu există restricțiile timpului friguros sau călduros, elementul nu este de mari dimensiuni și este segmentat în panouri cu o arie de cel mult 36 m<sup>2</sup>, în consecință este adecvată alegerea unui ciment de tip Portland compozit (CEM II) cu o rezistență la compresiune de 42,5N sau R (indicat în tab. 5.1.5.1 pentru clasa de beton C35/45) și cu o degajare de căldură la hidratare moderată. Din tab. 5.1.6.1 se alege un ciment produs în România și care satisface cerințele acestea, de exemplu CEM II A-M (S-LL) 42,5R.*

*Din cauza fenomenului de îngheț-dezghet este obligatoriu ca agregatele utilizate să fie rezistente la îngheț-dezghet.*

*Pentru elementele de beton aflate în clasa de expunere WA (betonul este frecvent sau pentru o perioadă lungă de timp umed și expus alcaliilor din exterior), precum suprafețele parcarilor la sol expuse acțiunii sării trebuie avut în vedere ca agregatele utilizate în compoziția betonului să nu fie sensibile la atacul alcaliilor (oxid de sodiu Na<sub>2</sub>O și/sau oxid de potasiu K<sub>2</sub>O).*

*Pentru clasa de expunere XD3 este indicat ca acoperirea minimă să fie de 45 mm, la care adăugând toleranța de execuție a armăturilor (10 mm) rezultă o acoperirea nominală egală cu 55 mm pe toate fețele elementului. În consecință, acoperirea cu beton ce a reieșit din condiții de rezistență, uzură și execuție trebuie majorată. Întrucât pentru suprafețe de beton aparținând XM1 se recomandă creșterea grosimii stratului de acoperire cu 5mm (grosime de sacrificiu), în final grosimea acoperirii va fi de 60 mm la partea superioară și pe fețele laterale.*

*În continuare, în chenar este notată specificația betonului conform NE 012/1-2022, cu litere **aldine** fiind informațiile minime obligatorii prevăzute de reglementările tehnice în vigoare. Ca mai apoi, specificației betonului să îi urmeze: precizarea grosimii stratului de acoperire cu beton pentru armături din oțel (plasa*



Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

STNB), specificarea clasei structurale, a clasei de importanță-expunere și a categoriei de importanță, ultimele trei caracterizând structura de rezistență a construcției.

<b>Beton armat:</b>	<b>Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021</b>
<b>dală pe sol:</b>	<b>C35/45; XC4, XD3, XF3, XM1, WA; Cl 0,20; Dmax = 32 mm; S4; P<sub>12</sub><sup>10</sup></b> CEM II A-M (S-LL) 42,5R; min. 320 kg/m <sup>3</sup> ; A/C max. 0,45 Agregate rezistente la îngheț-dezghet Agregate care nu conțin tipuri de silice sensibile la atacul alcaliilor Temperatura betonului proaspăt e necesar să fie T <sub>beton</sub> ≥ +5 °C
<b>Oțel-beton:</b>	<b>STNB</b>
<b>Armătură dispersă:</b>	<b>fibre de polietilenă</b>
<b>Acoperire cu beton:</b>	<b>c<sub>nom</sub> = 60 mm (la partea superioară și pe fețele laterale)</b> <b>c<sub>nom</sub> = 55 mm (la partea inferioară)</b>
<b>Clasa structurală:</b>	<b>S4</b>
<b>Clasa de importanță-expunere:</b>	<b>III (construcții de tip curent)</b>
<b>Categoria de importanță:</b>	<b>D (redușă)</b>

Exemplul 6. Să se stabilească specificația pe planșe pentru suprastructura unei clădiri cu cadre din beton armat monolit (stâlpi, grinzi, placă). Din punct de vedere al proiectării la acțiuni seismice, structura este dimensionată în clasă de ductilitate medie (DCM). Structura de rezistență este tip cadru spațial cu noduri rigide, dimensionată pentru beton C16/20 și oțel B345 C. Structura se execută în timpul iernii, temperaturile putând scădea sub +5 °C. Diametrele maxime de armături utilizate în stâlpi și grinzi sunt  $\phi 8$  mm pentru etrieri și  $\phi 22$  mm pentru armături longitudinale, iar în plăci  $\phi 12$  mm. În timpul execuției plăcile sunt circulabile (pentru lucrările de armare și betonare). Durata de exploatare a clădirii este 50 ani.

Rezolvare:

Structura este în clasa de expunere XC1, drept urmare clasa betonului trebuie mărită la C20/25. Unei durate de exploatare a clădirii de 50 de ani îi corespunde clasa structurală S4. Nici clasa de beton utilizată și nici modul de execuție a plăcii nu permit reducerea clasei structurale la stabilirea acoperirii nominale cu beton. În aceste condiții, acoperirea nominală este:

- o la stâlpi și grinzi

$$c_{nom} = \max \begin{cases} c_{nom,sl} - \phi_{sw} = (c_{min} + \Delta c_{dev}) - \phi_{sw} = (22 + 10) - 8 = 24 \text{ mm} \\ c_{nom,sw} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) + \Delta c_{dev} = \max(8; 15; 10) + 10 = 25 \text{ mm} \end{cases}$$

$$c_{nom} = 25 \text{ mm}$$

- o la plăci

$$c_{nom} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) + \Delta c_{dev} = \max(12; 15; 10) + 5 = 20 \text{ mm}$$

Ținând cont de condițiile date, în chenarul de mai jos este elaborată specificația pentru planșele ce conțin desene tehnice de execuție a elementelor structurale.

**Beton armat: Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021**

**C20/25; XC1, WO; CI 0,20; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>4</sub><sup>10</sup>**

CEM II A-LL 32,5R; min. 260 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,65

Agregate de balastieră

Aditiv accelerator de priză și de întărire

Diametru interior/exterior furtun pompă beton: minim 51/69 mm

Apa pentru amestec se va încălzi la +60 ... +80 °C

Agregatele vor fi încălzite înainte de prepararea betonului

Betonarea se va realiza în miezul zilei

Elementele proaspăt turnate se vor proteja împotriva frigului cu prelate termoizolante

Temperatura betonului proaspăt va fi +10 °C ≤ T<sub>beton</sub> ≤ +20 °C

Dacă temperatura aerului scade sub -3 °C, atunci elementul de beton va fi menținut

cald la o temperatură de minim +10 °C cel puțin 3 zile de la turnarea betonului

Dacă temperatura aerului scade sub -10 °C atunci lucrările de betonare încetează

**Oțel-beton: B345 C**

**Acoperire cu beton: c<sub>nom</sub> = 25 mm (stâlpi și grinzi)**

**c<sub>nom</sub> = 20 mm (placă)**

**Clasa structurală: S4**

**Clasa de importanță-expunere: III (construcții de tip curent)**

**Categoria de importanță: C (normală)**

Exemplul 7. Să se stabilească specificația pe planșele unui proiect în faza Proiect Tehnic și Detalii de Execuție (P.T. + D.E.) pentru următoarele prefabricate: pahar din beton armat, stâlp din beton armat, predală din beton armat, fâșie cu goluri din beton precomprimat, grindă de planșeu beton armat precomprimat, grindă de acoperiș din beton armat precomprimat și pană din beton armat. Elementele aparțin structurii unei hale parter și etaj parțial, cu stâlpi încastrați la bază, peste elementele de planșeu se toarnă suprabetonare armată, iar grinzile și paneele sunt articulate la capete (noduri grindă-stâlp de tip articulată). Legătura dintre suprabetonare și stâlpi se face cu armături având cuple mecanice la capete. Se mai cunoaște că:

- elementele de rezistență sunt situate la interiorul clădirii, clădirea fiind închisă iar umiditatea aerului ambiant scăzută. Excepție fac paharele, ele fiind parte din fundație și astfel aflându-se în pământ;
- conform investigațiilor de natură geotehnică, pânză freatică este la 0,50 m sub cota inferioară tălpii fundațiilor, iar solul prezintă agresivitate chimică moderată fiind prezent și atac chimic sulfatic;
- din punct de vedere al proiectării la acțiuni seismice, structura este dimensionată în clasă de ductilitate înaltă (DCH), iar elementele principale pentru preluarea încărcării seismice (proiectate cu zone disipative/plastic potențiale) sunt stâlpii;
- elementele sunt produse pe tot timpul anului;
- în fabrică, temperatura mediului ambiant este menținută între +5 °C și +25 °C, iar în timp friguros, elementele proaspăt turnate sunt protejate (prin acoperire cu prelate termoizolante și/sau încălzirea cofrajelor) spre a menține temperatura de minim + 10 °C;
- la elementele precomprimate, transferul forței de precomprimare se face când rezistența betonului a atins cel puțin 80% din rezistența medie la compresiune aferentă clasei de beton (la vârsta de 28 de zile);
- fâșiile cu goluri sunt armate unidirecțional și sunt realizate cu un extruder (cu beton de consistență plastică);
- fâșiile cu goluri sunt dimensionate ca elemente din beton precomprimat, cu beton de clasă C50/60 și agregat având  $D_{max} = 16$  mm (din condiții specifice tehnologiei de extrudare a betonului);
- clasele de beton rezultate din dimensionarea elementelor sunt: C25/30 (pahar), C30/37 (stâlp, predală), C40/50 (pană), C50/60 (grindă de planșeu și fâșie cu goluri), C60/75 (grindă de acoperiș);
- structura de rezistență se încadrează în clasa structurală S4. Conform SR EN 1992-1:2004 și anexei naționale (NA), pentru elementele realizate dintr-o clasă de beton de minim C30/37, pentru elementele de tip placă, cât și pentru situațiile în care este asigurat un control special al calității, este permisă reducerea grosimii stratului de acoperire cu beton a armăturilor conform tab. 4.5N din SR EN 1992-1:2004 și NA. Ținând cont de acestea, acoperirea cu beton este:  $c_{nom} = 35$  mm (pahare),  $c_{nom} = 25$  mm (fâșii cu goluri),  $c_{nom} = 20$  mm (stâlpi, grinzi de planșeu, grinzi de acoperiș, panee),  $c_{nom} = 15$  mm (predale);
- gradul de rezistență la foc este II;
- clădirea este parte dintr-un parc industrial, în localitatea Brașov.

#### Rezolvare:

*Clasa de expunere pentru toate elementele este XC1, cu excepția paharelor care sunt în XC4+XA2 (atac chimic sulfatic).*

*Toate elemente sunt în clasa de umiditate WO, excepția fiind paharele WF.*

*Pentru pahar clasele de expunere sunt XC4 + XA2 și rezultă clasa de beton necesară minim C35/45. Din dimensionare a rezultat tot C25/30 clasa necesară, așadar, se va folosi un beton C35/45.*

Pentru stâlp, clasa de rezistență a betonului conform unei expuneri XC1 este C20/25, conform cerințelor P100-1/2013 la stâlpii participanți la acțiuni seismice în clasa DCH e necesar minim C20/25, iar dimensionarea a fost făcută cu C30/37. În final, rezultă clasa C30/37.

Pentru elementele de rezistență ce se încadrează în clasa de expunere XC1, clasa minimă de beton din perspectiva durabilității este C20/25. Întrucât din condiții de rezistență mecanică (în urma dimensionării) au fost folosite clase de beton superioare, în final se vor folosi acestea.

În ce privește consistența betonului proaspăt: la fâșia cu goluri din condițiile specifice tehnologiei de fabricație prin extrudarea betonului e necesar un beton semiuscat (clasa de consistență prin remodelare Vebe: V1); la pahar, stâlp, grinzi, pană e nevoie de o clasă de consistență după tasare: S4 (din cauza armării dense în zone precum: buza superioară a paharului, consolele și furcile stâlpilor, capetele decupate/zona de capăt ale grinzilor); pentru betonul din predală e suficient o clasă de consistență după tasare: S3 (procentele de armare fiind medii, fără aglomerări de bare).

În corelație cu armarea elementelor și geometria cofrajului, s-a ales utilizarea unor agregate având  $D_{max} = 16$  mm pentru toate elementele, excepție făcând paharul, pentru care se poate folosi și agregate având  $D_{max} = 32$  mm.

Clasa de cloruri se alege Cl 0,20 pentru elementele din beton armat, respectiv Cl 0,10 pentru cele din beton precomprimat.

Pentru clasa de expunere XC1 e nevoie ca betonul să aibă un grad de impermeabilitate cel puțin  $P_4^{10}$ , pentru clasa XC4 se cere  $P_8^{10}$ , iar pentru clasa XA2 se cere  $P_{12}^{10}$ . Totuși, specificarea gradului de impermeabilitate devine relevant doar în prezența presiunii apei.

Elementele sunt produse pe tot timpul anului (atât pe timp călduros cât și pe timp friguros), dar întrucât temperatura mediului ambiant din fabrică este menținută între  $+5$  °C și  $+25$  °C, așadar utilizarea cimenturilor Portland este recomandată (CEM I). O grupă de elemente e realizată cu beton de clasă C25/30 până la C35/45 (pahar, stâlp, predală), iar o alta cu beton de clasă C40/50 sau mai mare, în consecință pentru prima grupă cimentul CEM I 42,5 este adecvat, iar pentru cea de-a doua grupă CEM I 52,5. Elementele de rezistență fiind prefabricate și unele precomprimate, este necesar ca decofrarea, manipularea și transportul lor să poată fi realizate în cel mai scurt timp pentru a fi livrate și montate pe șantier. Drept urmare, se vor folosi cimenturi cu întărire rapidă și aditiv accelerator de întărire (pentru o rezistență mare la compresiune a betonului la termene scurte).

La elementele realizate cu o clasă de beton C30/37 sau C35/45, este adecvat cimentul CEM I 42,5R, iar pentru elementele din beton de clasă C40/50 sau mai mare, ciment CEM I 52,5R este unul recomandabil. Paharele fiind expuse la atac chimic sulfatic este necesar ca cimentul utilizat să aibă și rezistență moderată sau ridicată la sulfați, rezultă că se va folosi CEM I 42,5R SR5.

Pentru raportul maxim A/C și dozajul minim de ciment sunt considerate cele mai exigente valori aferente claselor de expunere în care au fost încadrate elementele de beton proiectate. Suplimentar, pentru elemente prefabricate vor fi respectate și valorile maxim permise pentru raportul A/C indicat în NE 013-2002 (aici, în tab. 3.1.1). În aceeași normă, sunt prevăzute și dozaje minime de ciment pentru betonul utilizat la elemente prefabricate. Atunci când clasa de beton este mai mare sau egală cu C40/50 dozajul minim de ciment este  $400$  kg/m<sup>3</sup> pentru CEM I, respectiv  $440$  kg/m<sup>3</sup> pentru CEM II/A-S.

În practică s-a observat că obținerea unor betoane de înaltă rezistență este mai ușor realizabilă cu agregate de carieră. În consecință, pentru betoane de clasă mai mare sau egală cu C50/60 se recomandă utilizarea agregatelor de carieră în locul celor de balastieră.

Deoarece betoanele utilizate sunt de consistență foarte moale (S3) sau fluide (S4), iar unele sunt betoane de înaltă rezistență, sunt recomandați aditivi plastifianți sau superplastifianți.

Transferul forței de precomprimare se face când rezistența betonului a atins cel puțin 80% din rezistența medie la compresiune aferentă clasei de beton. În norma NE 013-2002 (aici, în tab. 4.1.2) este specificată rezistența caracteristică minimă la transferul forței de pretensionare asupra betonului.

Întrucât clădirea este parte dintr-un parc industrial, ea se încadrează în categoria de importanță II (deosebită), iar localitatea Brașov din punct de vedere al zonării seismice (conform P100-1/2013) se încadrează în zonă cu accelerația terenului de proiectare  $a_g = 0,20g$  și perioada de colț  $T_c = 0,7s$ .

În continuare, în chenar este notată specificația betonului conform NE 012/1-2022, cu litere **aldine** fiind informațiile minime obligatorii prevăzute de reglementările tehnice în vigoare. Ca mai apoi, specificației betonului să îi urmeze: precizarea grosimii stratului de acoperire cu beton pentru armături, specificarea clasei structurale, a clasei de importanță-expunere și a categoriei de importanță, ultimele trei caracterizând structura de rezistență a construcției.

### **Elemente din beton armat**

**Beton:** Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021

**pahar:** C35/45; XC4, XA2 (atac chimic sulfatic), WF; Cl 0,20; Dmax = 32 mm; S4; P<sub>12</sub><sup>10</sup>  
CEM I 42,5R SR5; min. 320 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,40  
Aditiv accelerator de întărire + Aditiv superplastifiant

**stâlp:** C30/37; XC1, WO; Cl 0,20; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
CEM I 42,5R; min. 260 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,43  
Aditiv accelerator de întărire + Aditiv plastifiant

**predală:** C30/37 XC1, WO; Cl 0,20; Dmax = 16 mm; S3; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
CEM I 42,5R; min. 260 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,43  
Aditiv accelerator de întărire + Aditiv plastifiant

**pană:** C40/50; XC1, WO; Cl 0,20; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
CEM I 52,5R; min. 400 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,38  
Aditiv accelerator de întărire + Aditiv superplastifiant

**Oțel-beton:** B500 B (pahare, predale, pane, armătură transversală din stâlpi)  
B500 C (armătura longitudinală din stâlpi și cea din suprabetonare-cu rol de centură)  
STNB (predale)

**Acoperire cu beton:**  $c_{nom} = 35$  mm (pahare)  
 $c_{nom} = 20$  mm (stâlpi, pane)  
 $c_{nom} = 15$  mm (predale)

**Clasa structurală:** S4

**Clasa de importanță-expunere:** II (construcții de tip curent)

**Categoria de importanță:** B (deosebită)

**Grad de rezistență la foc:** II

Zonă seismică de calcul:  $a_g = 0,20g$  și  $T_c = 0,7s$

În continuare, este detaliat calculul grosimii stratului de acoperire cu beton necesar pentru elementul tip fâșie cu goluri. Unei durate de exploatare a clădirii de 50 de ani îi corespunde clasa structurală S4. Întrucât fâșiile cu goluri sunt elemente asimilabile unei plăci, iar poziția armăturilor nu este afectată de procesul de construcție (în timpul execuției fâșiilor nu se calcă pe armături), atunci S4 se poate micșora cu 1 clasă (tab.6.4.3). Apoi, utilizând C50/60 și având clasa de expunere XC1, S4 se mai poate micșora cu încă 1 clasă (tab.6.4.3), rezultând S2 pentru calculul lui  $c_{min,dur} = 15$  mm pentru armături pretensionate. Toleranța la poziționare armăturilor pretensionate, acestea fiind doar armături preîntinse între culeile standului de pretensionare și fixate exclusiv la capete (distanța dintre capete = cca 75 m, identică cu lungimea standului de precomprimare), este considerată 10 mm. Știind că se utilizează toron cu diametrul de 12,9 mm, rezultă:

$$c_{nom} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}) + \Delta c_{dev} = \max(12,9; 15; 10) + 10 = 25 \text{ mm}$$

### **Elemente din beton armat și/sau precomprimat**

**Beton:** Produs în conformitate cu SR EN 206+A2:2021

**fâșii cu goluri:** C50/60; XC1, WO; CI 0,10; Dmax = 16 mm; V1; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
 CEM I 52,5R; min. 400 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,35  
 Agregate de carieră  
 Aditiv accelerator de întărire + Aditiv superplastifiant  
**Rezistență caracteristică la transfer (pe cub):**  $f_{ctransfer, cube} = 50$  MPa

**grinzi de planșeu:** C50/60; XC1, WO; CI 0,10; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
 CEM I 52,5R; min. 400 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,35  
 Agregate de carieră  
 Aditiv accelerator de întărire + Aditiv superplastifiant  
**Rezistență caracteristică la transfer (pe cub):**  $f_{ctransfer, cube} = 50$  MPa

**grinzi de acoperiș:** C70/85; XC1, WO; CI 0,10; Dmax = 16 mm; S4; P<sub>4</sub><sup>10</sup>  
 CEM I 52,5R; min. 400 kg/m<sup>3</sup>; A/C max. 0,30  
 Agregate de carieră  
 Aditiv accelerator de întărire + Aditiv superplastifiant  
**Rezistență caracteristică la transfer (pe cub):**  $f_{ctransfer, cube} = 69$  MPa

**Oțel-beton:** B500 B (grinzi de planșeu, grinzi de acoperiș)

**Oțel-pretensionat:** Y1860 T7  $\phi$ 12,9 R2 F2 C1 (fâșii cu goluri, grinzi de planșeu, grinzi de acoperiș)  
 tensiune de control  $\sigma_{pk} = 1000$  MPa  
 TBP  $\phi$ 12,9 A<sub>p</sub> = 100 mm<sup>2</sup>, forța de precomprimare P<sub>k</sub> = 100 kN  
 Y1860 T7  $\phi$ 9,2 R2 F2 C1 (fâșii cu goluri, grinzi de acoperiș)  
 TBP  $\phi$ 9,2 A<sub>p</sub> = 50 mm<sup>2</sup>, forța de precomprimare P<sub>k</sub> = 50 kN

**Acoperire cu beton:**  $c_{nom} = 25$  mm (fâșii cu goluri)  
 $c_{nom} = 20$  mm (grinzi de planșeu, grinzi de acoperiș)

**Clasa structurală:** S4

**Clasa de importanță-expunere:** II (construcții de tip curent)

**Categoria de importanță:** B (deosebită)

**Grad de rezistență la foc:** II

## 9. Exemple de rețete de beton

Tabelul 9.1 Rețete pentru beton C16/20, C25/30 și C30/37, având clasa de consistență după tasare S2, fără aditivi și adaosuri

Clasa de rezistență la compresiune	C16/20	C25/30	C30/37
Clasa de consistență	S2		
CEM I 32,5	370	-	-
CEM I 42,5	-	369	-
CEM I 52,5	-	-	350
Apă	185	204	210
Nisip sort 0-1	272	365	711
Nisip sort 1-3	181	274	
Nisip sort 3-7	363	365	528
Pietriș sort 7-16	363	821	582
Pietriș sort 16-31	635	-	-
Raport apă-ciment	0,50	0,65	0,60
Densitatea aparentă a betonului	2370	2400	2380

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.

Tabelul 9.2 Adaptarea rețetei unui beton de clasă constantă pentru diferite clase de consistență

Clasa de consistență	F5	F6	>F6 beton autocompactant
Ciment	300	350	350
Filer	100	150	200
Apă	180	180	180
Aditiv puternic reducător de apă / Superplastifiant (lichid)	1,5 ... 6,0	3,5 ... 10,5	3,5 ... 10,5
Nisip sort 0-2	700	650	625
Pietriș sort 2-8	525	500	475
Pietriș sort 8-16	525	500	475
Raport (apă + aditiv lichid) / ciment	≈ 0,62	≈ 0,53	≈ 0,53

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.

2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.

Tabelul 9.3 Rețete de beton de înaltă rezistență C55/67 – C70/85

Clasa de rezistență	C55/67	C55/67	C60/75	C60/75	C60/75	C70/85	C70/85	C70/85	C75/90
CEM I 52,5R	-	-	-	480	-	-	-	420	450
CEM I 42,5R	-	420	320	-	340	380	420	-	-
CEM III 42,5	200	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM III 32,5	200	-	-	-	-	-	-	-	-
Filer de calcar	-	-	-	-	-	-	-	60	70
Silice ultrafină	-	-	30	48	30	30	40	-	-
Cenușă volată	100	-	80	-	80	60	-	-	-
Apă	150	134	125	152	141	130	147	154	165
Aditiv puternic reducător de apă / Superplastifiant (lichid)	16		12,5	13,5		15		5,5*	6*
Nisip sort 0-2	605	650	640	-	640	630	630	-	-
Nisip sort 0-4	-	-	-	530	-	-	-	783	823
Pietriș sort 2-8	390	420	400	-	410	380	405	-	-
Pietriș sort 4-8	-	-	-	-	-	-	-	302	325
Pietriș sort 8-16	740	790	780	-	880	790	765	676	560
Criblură sort 4-8	-	--	-	530	-	-	-	-	-
Criblură sort 11-16	-	-	-	706	-	-	-	-	-
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină)	0,42	0,32	0,39	0,31	-	0,35	0,32	0,38	0,38
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină + 0,4 · cenușă volată)	0,38	-	0,36	-	0,35	0,33	-	-	-
Densitatea aparentă a betonului	2400	2415	2400	2390	2520	2420	2410	2400	2400

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.
2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.

\*Aditiv tip superplastifiant Sika Viscocrete 20HE, dozaj 1,3%

Tabelul 9.4 Rețete de beton de înaltă rezistență C80/95 – C100/115

Clasa de rezistență	C80/95	C80/95	C80/95	C80/95	C80/95	C80/95	C80/95	C100/115	C100/115
CEM I 52,5R	-	520	520	480	450	450	450	450	450
CEM I 42,5R	390	-	-	-	-	-	-	-	-
Filer de calcar	-	-	-	85	-	-	-	-	-
Silice ultrafină	35	52	52	-	45	40	45	45	45
Cenușă volată	60	-	-	-	-	-	-	-	100
Apă	135	140	135	176	139	136	127	139	139
Aditiv puternic reducător de apă / Superplastifiant (lichid)	6	11	15,6	6,3*		7	9		



Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

Aditiv întârziator de priză (lichid)	-	-	-	-	-	-	1,8	
Nisip sort 0-2	625	-	-	-	660	625	620	830
Nisip sort 0-4	-	530	686	796	-	-	-	-
Pietriș sort 2-8	400	-	-	-	355	400	-	-
Criblură sort 2-5	-	-	-	-	-	-	270	480
Criblură sort 5-8	-	-	-	-	-	-	210	
Pietriș sort 4-8	-	-	-	311	-	-	-	-
Criblură sort 4-8	-	530	343	-	-	-	-	-
Criblură sort 8-11	270	706	-	-	760	290	350	770
Criblură sort 11-16	490		686	-		470	420	
Pietriș sort 8-16	-	-	-	547	-	-	-	-
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină)	0,33	0,26	0,26	0,38	0,28	0,29	0,28	-
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină + 0,4 · cenușă volantă)	0,31	-	-	-	-	-	-	0,26
Densitatea aparentă a betonului	2410	2490	2385	2400	2410	2420	2500	2815

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.
  2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.
- \*Aditiv tip superplastifiant Sika Viscocrete 20HE, dozaj 1,3%

Tabelul 9.5 Rețete de beton de clasă C30/37 pentru diferite clase de expunere

Clasa de rezistență	C30/37									
	XA2	XF4	XF4, XM2	XF4, XM2	XF4	X0, XC1, XC2, XC3, XD1, XS1, XA1, XM1	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XS1, XF1, XF2, XF3, XF4, XA1, XM1, XM2			
Clasa de umiditate	N/A	WA sau WS	WA sau WS	WA sau WS	WA sau WS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Clasa de consistență	S5	C1	C1	F2	C3, F3	F2	F2	F2	F2	F2
CEM I 32,5R	-	350	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM I 42,5R	-	-	430	-	-	-	-	-	-	-
CEM I 52,5R	-	-	-	-	350	350		350		
CEM II A-V 42,5R	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II A-LL 42,5N	-	-	-	340	-	-	-	-	-	-
Apă	221	147	176	153	153	193		165		
Aditiv reducător de apă / Plastifiant (lichid)	-	-	2,6	1,0	-	-	-	3,65**		
Aditiv puternic reducător de apă / Superplastifiant (lichid)	3,6*	-	-	-	7,0*	-	-	-	-	-
Aditiv antrenor de aer (concentrat)	-	7	1,7	0,8	1,1	-	-	-	-	-
Nisip sort 0-2	-	526	541	546	545	583		583		-

Nisip sort 0-4	749	-	-	-	-	-	838	-	838
Pietriș sort 2-8	-	328	-	-	270	655	-	655	-
Pietriș sort 4-8	333	-	-	-	-	-	400	-	400
Pietriș sort 8-16	583	437	-	-	-	582		582	
Pietriș sort 16-22	-	530	-	-	-	-	-	-	-
Criblură sort 5-8	-	-	1099	-	-	-	-	-	-
Criblură sort 8-11	-	-	-	281	-	-	-	-	-
Criblură sort 11-16	-	-	-	374	555	-	-	-	-
Criblură sort 16-22	-	-	-	658	540	-	-	-	-
Raport (apă + aditiv lichid) / ciment	0,50	0,42	0,42	0,44	0,46	0,55		0,47	
Densitate aparentă	2340	2325	2250	2352	2421	2363	2363	2339	2285

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.
2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.

\*Aditiv tip superplastifiant Sika Viscocrete 2320, dozaj 0,8% (= 3,6kg/m<sup>3</sup> beton)

\*\*Aditiv tip plastifiant Sika Plastiment BV440, dozaj 1,1% (= 3,65kg/m<sup>3</sup> beton)

Tabelul 9.6 Rețetă generală pentru beton de ultraînaltă rezistență de clasă C150 până la C230

Clasa de rezistență	C150 ... C230
Clasa de consistență	F4 ... F6
CEM I 42,5R HS-NA	500 ... 800
Apă	160 ... 190
Aditiv puternic reducător de apă / Superplastifiant (lichid)	25 ... 60
Silice ultrafină	100 ... 230
Filer (praf de piatră foarte fin) (cuart)	150 ... 300
Nisip	600 ... 1000
Fibre din oțel	0 ... 230
Raport (apă + aditiv lichid) / ciment	0,22 ... 0,28
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină)	0,18 ... 0,21
Densitate aparentă	2340

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.
2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.

Tabelul 9.7 Sumar privind proporțiile utilizate în compoziția betoanelor de înaltă rezistență autocompactante, conținând geopolimeri, testate pentru a fi pompabile la înălțimi de până la 600 m (turnul Burj Khalifa, Dubai)

Clasa de rezistență	C50	C50	C60	C80	C80	C80
Clasa de consistență	beton pompabil (F4, F5, F6, >F6)					

Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

Diametrul maxim de agregat, Dmax	[mm]	14	20	10	10	14	20
CEM I 52,5	[kg/m <sup>3</sup> ]	338	328	376	400	384	380
Silice ultrafină (aprox. 5 ... 10%)	[kg/m <sup>3</sup> ]	25	25	25	50	48	44
Cenușă volantă (zburătoare) (13 ... 20%)	[kg/m <sup>3</sup> ]	112	82	94	100	96	60
Raport (apă + aditiv lichid) / (ciment + silice ultrafină + k · cenușă volantă)	[-]	0,36	0,36	0,35	0,29	0,30	0,27
Agregate fine	[%]	50	49	51	49	49	50
Nisip de dună fin	[μm]	600					
Nisip și criblură	[-]	rocă calcaroasă concasată					

Tabelul 9.8 Rețete de beton cu agregate ușoare de rezistență și izolație

Clasa de rezistență la compresiune	LC30/33	LC25/28	LC12/13	LC8/9	LC8/9	<LC8/9	<LC8/9	<LC8/9
Clasa de consistență	S1	S1	S2	S1	S4	S1	S4	F5
Clasa de masă volumică	D2,0	D2,0	D1,8	D1,6	D1,4	D1,2	D0,8	D0,8
Diametrul maxim de agregat Dmax [mm]	16	16	16	16	4	4	4	9
Clasa de conductivitate termică	CT105	CT105	CT105	CT55	CT55	CT40	CT24	CT24
CEM II/A- V 42,5R	375	330	-	375	-	-	-	-
CEM II/A- M (S-LL) 32,5R	-	-	330	-	300	300	300	-
CEM III/A 32,5	-	-	-	-	-	-	-	330
Apă efecace	127	182	197	160	178	221	131	165
Aditiv reducător de apă / Plastifiant (lichid)	3,8	3,3	3,3	3,8	3	3	3	-
Aditiv antrenor de aer	-	-	-	-	-	-	1	2
Nisip sort 0-4	705	545	710	737	366	360	-	-
Nisip ușor 0-2	-	-	-	-	-	-	-	200
Argilă expandată 1-4 (producător Liapor)	-	-	-	-	-	-	-	25
Argilă expandată 2-9 (producător Liapor)	-	-	-	-	-	-	-	170
Argilă expandată 4-8	-	-	-	77	-	-	-	-
Argilă expandată 8-16	-	-	-	145	-	-	-	-
Scorie bazaltică 4-8	222	-	-	-	-	-	-	-
Scorie bazaltică 8-16	410	-	-	-	-	-	-	-
Cărămidă reciclată 2/4	-	78	-	-	-	-	-	-
Cărămidă reciclată 4/8	-	156	-	-	-	-	-	-
Cărămidă reciclată 8/16	-	324	-	-	-	-	-	-
Perlit expandat 200G grosier (masă volumică 200 kg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	93	-	123	-
Perlit expandat 90S grosier (masă volumică 90 kg/m <sup>3</sup> , pentru șape)	-	-	-	-	-	92	-	-

Tuf vulcanic 4/8	-	-	194	-	-	-	-	-
Tuf vulcanic 8/16	-	-	367	-	-	-	-	-

Note:

1. Cantitățile sunt exprimate în kg și sunt necesare pentru obținerea a 1 m<sup>3</sup> de beton.
2. În calculul raportului apă-ciment, cantitatea totală de apă se calculează ca apă de amestec + aditivi în formă lichidă.
3. Cantitatea de apă eficace denotă diferența între cantitatea totală de apă conținută în betonul proaspăt și cantitatea de apă ce poate fi absorbită de agregat.
4. Clasa de conductivitate termică denotă intervalul de variație a valorii conductivității termice, în funcție de clasa de masă volumică, interval definit prin limita superioară a acestuia. Iar prin conductivitate termică se înțelege mărimea fizică prin care se caracterizează capacitatea unui material de a transmite căldura, atunci când este supus unei diferențe de temperatură.

Tabelul 9.9 Rețete de beton cu agregate ușoare autocompactant

Clasa de rezistență la compresiune	LC30/33			LC35/38		
	>F6, beton autocompactant					
Clasa de consistență	>F6, beton autocompactant					
Clasa de masă volumică	D1,3			D1,6		
	Dozaj în volum	Densitate aparentă	Masă uscată	Dozaj în volum	Densitate aparentă	Masă uscată
	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Ciment II/A-LL 42,5R	109	3,03	330	111	3,03	337
Apă de amestec	164	1,00	164	188	1,00	188
Aditiv reducător de apă / Plastifiant (lichid)	-	-	6,5	-	-	3,4
Aditiv modificator de vâscozitate / Stabilizator	-	-	1,3	-	-	1,0
Nisip sort 0-2	-	-	-	211	2,62	554
Argilă expandată 0-2 mm (produs Liapor K-Sand)	257	1,22	314	-	-	-
Argilă expandată 2-10 mm (produs Liapor F6.5)	336	1,19	400	378	1,19	450
Cenușă volantă (produs SAFAMENT)	95	2,32	220	96	2,32	223
Pori reziduali	39	-	-	16	-	-
<i>Total</i>	<i>1000</i>	-	<i>1428</i>	<i>1000</i>	-	<i>1752</i>

### 10. Exemple de betoane de compoziție prescrisă (microbetoane, grout-uri și mortare cimentoase)

În tab. 10.1 este o selecție de betoane predozate (ambalate la sac) de granulație mică (grout-uri) sau mortare fine cu rezistență mare la compresiune, care se comercializează momentan în România, având ca utilizare: subturnări la elemente din beton sau metalice, monolitizări între elemente prefabricate sau fixări de ancore în beton.

Tabelul 10.1 Betoane de compoziție prescrisă (beton predozat, livrat la sac)

Clasa de rezistență	Tipul	Caracteristici	Destinație	Producător și denumirea comercială
C40/50	Beton de umplere	- Dmax = 5 mm - clasa de consistență F4 / F5 - întărire normală - impermeabil, foarte fluid și expandabil	- monolitizări prefabricate din beton (inclusiv monolitizări stâlpi în fundații pahar)	<i>EuroGrout:</i> <i>Verfüllbeton C40/50</i>
C45/55	Mortar pentru consolidări și reparații	- Dmax = 2,5 mm - fluid - contracție controlată - armat dispers	- consolidarea structurală și reparația stâlpilor și grinzilor din beton armat și precomprimat - repararea grinzilor de planșeu și plăcilor de beton după scarificarea zonelor deteriorate - refacerea pardoselilor din beton (industriale, stradale, aeroportuare) - chituirea rosturilor rigide dintre elementele din beton	<i>Mapei:</i> <i>MAPEGROUT COLABILE TI 20</i>
C55/67 și C50/60	Mortare fine pentru subturnări (grout-uri)	- Dmax = 1 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări în grosimi de 10 ... 25 mm	<i>EuroGrout:</i> <i>EuroGrout 01,</i> <i>EuroGrout HS 01</i> <i>(rezistent la sulfați)</i>
		- Dmax = 2 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări în grosimi de 10 ... 50 mm	<i>EuroGrout:</i> <i>EuroGrout 02</i>
C60/75 și C50/60	Mortar fin pentru subturnări (grout)	- Dmax = 4 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări în grosimi de 20 ... 100 mm	<i>EuroGrout:</i> <i>EuroGrout 04,</i> <i>EuroGrout HS 04</i> <i>(rezistent la sulfați)</i>
C65/80	Mortar expandabil fluid de înaltă performanță cu contracții reduse	- Dmax = 1 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări și turnări în grosimi de 3 ... 10 mm - umplere cavități și goluri - consolidări structurale și montare bare de armătură	<i>Sika: SikaGrout - 311</i>
		- Dmax = 3 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări și turnări în grosimi de 10 ... 40 mm - umplere cavități și goluri - consolidări structurale și montare bare de armătură	<i>Sika: SikaGrout - 314</i>
		- Dmax = 8 mm - foarte fluid și expandabil	- pentru subturnări și turnări în grosimi de 25 ... 80 mm - umplere cavități și goluri - consolidări structurale și restaurări	<i>Sika: SikaGrout - 318</i>
		- Dmax = 4 mm - fluid și expandabil	- pentru subturnări și turnări în grosimi de 10 ... 50 mm - umplere cavități și goluri - consolidări structurale - fixare ancore în beton	<i>Sika: SikaGrout - 212</i>

C65/80	Mortar de umplere și subturnare	- clasa de consistență F3 / F4 - întărire rapidă - expandabil	- monolitizări prefabricate din beton - fixarea elementelor metalice în elemente de zidărie și beton - grosimi/goluri 20 ... 50 mm	<i>Ceresit: CX 15</i>
C70/85	Beton de subturnare	- Dmax = 8 mm	- monolitizări prefabricate din beton, pentru turnări în grosimi de 50 ... 200 mm - subturnări la aparate de reazem poduri, stâlpi metalici, stâlpi turbine eoliene	<i>EuroGrout: EuroGrout 08 EuroGrout Super 08 (cu întărire rapidă)</i>
		- Dmax = 16 mm	- monolitizări prefabricate din beton, pentru turnări în grosimi de 60 ... 400 mm - subturnări la aparate de reazem poduri, stâlpi metalici, stâlpi turbine eoliene	<i>EuroGrout: EuroGrout 16, EuroGrout Super 16 (cu întărire rapidă)</i>
C80/95	Beton de subturnare	- Dmax = 5 mm - foarte fluid și expandabil	- fixare ancore - subturnări la aparate de reazem poduri, stâlpi metalici, stâlpi turbine eoliene	<i>EuroGrout: EuroGrout Hochfest</i>

## **11. Standarde ce reglementează compoziția betonului, respectiv proiectarea, execuția și testarea structurilor din beton, beton armat și beton precomprimat**

Legislația națională pentru construcții din România este compusă din legi și hotărâri de Guvern (Ordonanțe de Urgență), iar reglementările naționale sunt reprezentate de standarde, coduri, norme, specificații tehnice, ghiduri și instrucțiuni tehnice.

### **Legislație națională pentru construcții și Reglementări naționale pentru Structuri de beton**

**SR EN 206+A2:2021**  
**Beton. Specificație, performanță, producție și conformitate**

**NE 012/1-2022**  
**Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului**

**NE 012/2-2022**  
**Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 2: Executarea lucrărilor din beton**

C 248-1993 Instrucțiuni tehnice pentru realizarea betoanelor de nisip

#### **Privind caracteristicile materialelor utilizate la producerea betonului**

##### *Cimenturi*

SR EN 197-1 Cimenturi uzuale + *Erate* SR EN 197-1/A1:2004; SR EN 197-1/A3:2007

SR EN 14216:2015 Cimenturi speciale cu căldură de hidratare foarte redusă VLH

SR 3011 Cimenturi cu căldură de hidratare limitată și cu rezistență la sulfați (din 2012 înlocuit cu SR EN 197-1:2011)

SR 7055:1996 Ciment Portland alb

STAS 10092-78:1996 Ciment pentru drumuri și piste de aeroporturi

##### *Apa*

SR EN 1008 Apa de preparare pentru beton

##### *Agregate*

SR EN 12620 Agregate pentru beton

C155-2013 Normativ privind producerea betoanelor ușoare

SR EN 13055-1 Agregate ușoare

##### *Adaosuri*

SR EN 450 Cenușă zburătoare

SR EN 13263-1, 2 Silice ultrafină pentru beton

SR EN 15167-1 Zgură granulată de furnal măcinată pentru utilizare în beton

SR EN 12878 Pigmenți

##### *Aditivi*

SR EN 934-2 Aditivi pentru beton

C 237-1992 Instrucțiuni de utilizare a aditivului complex ADCOM la prepararea betoanelor de ciment

**Privind caracteristicile materialelor utilizate la structurile din beton**

ST 009-2011 Specificație tehnică privind produse din oțel utilizate ca armături  
SR EN 10080:2005 Oțel pentru armarea betonului  
prEN 10138-1, 2, 3 și 4 Oțel pentru precomprimare. Armături și kit-uri pentru post-tensionare  
ST 043-2001 Specificație tehnică privind cerințele și criteriile de performanță pentru ancorarea în beton cu sisteme mecanice și metode de încercare.  
ST 042-2002 Specificație tehnică privind ancorarea armăturilor cu rășini sintetice la lucrările de consolidare a elementelor și structurilor din beton armat-proiectare, execuție.

**Privind testarea, încercarea și evaluarea betonului din probe și structuri**

SR EN 12350-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Încercări pe beton proaspăt  
SR EN 12390 Încercări pe beton întărit  
SR EN 12504-1, 2, 3 Încercări pe beton în structuri  
SR EN 13791 Evaluarea rezistenței betonului din structuri și elemente prefabricate + *Erată SR EN 13791/C91:2007*  
ASTM C173 Metode de încercare pentru determinarea conținutului de aer al betonului proaspăt, prin metoda volumetrică  
ISO 4316: 1977 Agenți activi de suprafață. Determinarea pH-ului soluțiilor apoase  
C26 Încercări nedistructive  
C54 Carote  
C 181-1988 Îndrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor și seriei zero la elemente prefabricate, din punct de vedere al comportării la solicitări statice  
GE 039-2001 Ghid pentru determinarea experimentală in situ și în laborator a modulului static și dinamic de elasticitate a betonului  
GP 075-2002 Ghid privind stabilirea criteriilor de performanță și a compozițiilor pentru betoanele armate dispers cu fibre metalice

**Privind bazele proiectării structurilor**

*Acțiuni în construcții*

CR 0-2012 Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor + *Completare*  
SR EN 1990:2004 Bazele proiectării structurilor + *Anexa națională + Revizuirii*

*Acțiuni în construcții*

CR 1-1-3/2012 Evaluarea acțiunii zăpezii + *Completare*  
CR 1-1-4/2012 Evaluarea acțiunii vântului + *Completare*  
SR EN 1991-1-1 Densități, greutatea proprie și încărcările utile pentru clădiri + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-2 Acțiuni asupra structurilor expuse la foc + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-3 Acțiuni din zăpadă + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-4 Acțiuni din vânt + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-5 Acțiuni termice + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-6 Acțiuni în timpul execuției + *Anexă națională*  
SR EN 1991-1-7 Acțiuni accidentale din impact și explozie



### Privind proiectarea structurilor și elementelor din beton

#### *Proiectarea structurilor și elementelor din beton*

SR EN 1992-1:2004 Proiectarea structurilor de beton + *Anexa națională + Revizuire*

NP 007-97 Cod de proiectare pentru structuri în cadre din beton armat

CR 2.1.1.1/2013 Cod de proiectare a construcțiilor cu pereți structurali de beton armat

GP 124—2013 Ghid pentru proiectarea structurilor din beton de înaltă rezistență în zone seismice

GP 115—2011 Ghid de proiectare pentru controlul fisurării elementelor masive și pereților structurali de beton armat datorită contracției împiedicate

C170—1987 Instrucțiuni tehnice pentru protecția elementelor din beton armat și beton precomprimat supraterane în medii agresive naturale și industriale”

#### *Proiectare seismică*

P100-1:2013 Cod de proiectare seismică + *Revizuire 2019*

SR EN 1998-1 Proiectarea structurilor pentru rezistență la cutremur + *Anexă națională*

SR EN 1998-5 Proiectarea fundațiilor și a structurilor de susținere, aspecte geotehnice + *Anexă națională*

#### *Proiectarea planșelor*

CR 2-01-A/1998 Planșee dale și planșee ciuperici (faza - redactare finală)

GP 118-2012 Ghid pentru proiectarea planșeelor dală în zone seismice (faza - proiect)

NE 020-2003 (P 134-2003) Normativ privind proiectarea planșeelor compuse din tablă cutată-beton (revizuire P 134-1993)

#### *Proiectarea altor structuri*

P 133-04 Normativ pentru proiectarea coșurilor industriale din beton armat

NP 108-04 Cod de cerințe privind proiectarea, execuția, urmărirea în timp și consolidarea coșurilor industriale din beton armat

C 122-1989 Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și executarea lucrărilor de construcții din beton aparent cu parament natural

C 226-1987 Norme tehnice pentru proiectarea și executarea panourilor monostrat din betoane ușoare cu adaosuri de cenușă și spumați, pentru hale parter

P 59-1986 Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și folosirea armării cu plase sudate a elementelor de beton

P 73-1978 Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și executarea recipientilor din beton armat și beton precomprimat pentru lichide + *Îmbunătățiri la P 73—1978*

#### *Proiectarea fundațiilor*

NP 112-2014 Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață

NP 113-04 Normativ privind proiectarea, execuția, monitorizarea și recepția pereților îngropați

NP 123:2010 Normativ privind proiectarea geotehnică a fundațiilor pe piloți

SR EN 1536-2004 Piloți foraj

SR EN 12699-2004 Piloți de îndesare

GP 113-04 Ghid privind proiectarea și execuția minipiloților foraj

#### *Consolidări*

GP 080-2003 Ghid privind proiectarea și execuția consolidării prin precomprimare a structurilor din beton armat și din zidărie

NP 093-2003 Normativ de proiectare a elementelor compuse din betoane de vârste diferite și a conectorilor pentru lucrări de cămășuieli și suprabetonări

PD 124-2002 Normativ pentru dimensionarea ranforsărilor din beton de ciment ale sistemelor rigide, suple și semirigide

Pentru **produse prefabricate din beton**

EN 13369 Elemente prefabricate din beton. Reguli generale  
EN 1168 Fâșii cu goluri  
prEN 12794 Piloți  
EN 12843 Stâlpi pentru antene  
EN 13224 Elemente de planșeu cu nervuri  
EN 13225 Elemente structurale liniare  
EN 13693 Elemente speciale de acoperiș  
prEN 13747 Plăci pentru sisteme de planșeu  
prEN 13978 Garaje din elemente de beton precomprimat  
prEN 14843 Scări  
prEN 14991 Elemente de fundații  
prEN 14992 Elemente pentru pereți. Performanța și proprietățile produselor  
P 103-1982 Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare  
P 119-1983 Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea, executarea și exploatarea căilor de rulare pe grinzi din beton armat și beton precomprimat + *Modificări la P 119 – 83*  
GP 081-2003 Ghid privind proiectarea și execuția rezervoarelor mici din elemente prefabricate în zone rurale.

Privind **execuția structurilor din beton**

NE 012/2-2022 Normativ pentru executarea lucrărilor din beton  
SR EN 13670-1:2010 Execuția structurilor de beton  
NE 013 – 2002 Cod de practică pentru execuția elementelor prefabricatelor din beton, beton armat și beton precomprimat  
NP 120-2014 Normativ privind cerințele de proiectare, execuție și monitorizare a excavațiilor adânci în zone urbane  
NE 014-2002 Normativ privind executarea îmbrăcămișilor rutiere din beton de ciment  
C 235-1991 Îndrumător tehnic pentru executarea panourilor mari prefabricate neportante din blocuri ceramice cu goluri  
C 156-1989 Îndrumător pentru aplicarea prevederilor STAS 6657/3. Elemente prefabricate de beton, beton armat și beton precomprimat. Procedee, instrumente și dispozitive de verificare a caracteristicilor geometrice  
C 212-1987 Instrucțiuni tehnice pentru aplicarea procedeului tehnologic de vacuumare a betonului  
C 41-1986 Normativ pentru alcătuirea, executarea și folosirea cofrajelor glisante  
C 221-1985 Instrucțiuni tehnice privind optimizarea tratamentelor termice în fabricile de prefabricate cu ajutorul metodei ultrasonice de impuls  
C 222-1985 Instrucțiuni tehnice privind utilizarea metodelor acustice prin șoc la controlul calității elementelor prefabricate  
C 28-1983 Instrucțiuni tehnice pentru sudarea armăturilor de oțel-beton  
C 130-1978 Instrucțiuni tehnice pentru aplicarea prin torcretare a mortarelor și betoanelor  
P 42-1971 Normativ pentru executarea construcțiilor din panouri mari

## Bibliografie

- (1) Buletinul Construcțiilor nr. 4/1996, „Metodologia de stabilire a categoriei de importanță a construcției” (Regulament privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor), Ordin nr. 31/N din 2.10.1995 (O.M.L.P.A.T. nr. 31/N/02.10.1995), 1995
- (2) C155-2012 „Normativ privind producerea betoanelor ușoare”, 2012
- (3) CP 012/1-2007 „Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton și beton armat”, ASRO, 2008
- (4) (constă în comasarea lui NE 012-1 :2007, SR EN 206-1 :2002 și SR 13510:2006), 2007
- (5) GP 124 – 2013 „Ghid pentru proiectarea structurilor din beton de înaltă rezistență în zone seismice”
- (6) GP 115-2011 „Ghid de proiectare pentru controlul fisurării elementelor masive și pereților structurali de beton armat datorită contracției împiedicate”, 2011
- (7) GP 124 – 2013 „ Ghid pentru proiectarea structurilor din beton de înaltă rezistență în zone seismice”, 2013
- (8) Hotărâre de Guvern (H.G.) nr. 766/1997 modificată de H.G. nr. 1.231/2008 ”Regulament privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor”, publicată în Monitorul Oficial (M.Of.), Partea I, nr. 352/10.12.1997 + M.Of. Partea I, nr. 619/10.10.2008, 1997 și 2008
- (9) NE 012/1-2007 „Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: producerea betonului”, 2007
- (10) NE 012/2-2010 „Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat – Partea 2: Executarea lucrărilor din beton”, 2010
- (11) NE 013 – 2002 „Cod de practică pentru execuția elementelor prefabricatelor din beton, beton armat și beton precomprimat”, 2002
- (12) NE 014-2002 Normativ privind executarea îmbrăcăminților rutiere din beton de ciment
- (13) NE 012-99 „Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: producerea betonului”, 1999
- (14) P100-1/2013 „Cod de proiectare seismică. Partea 1-a. Prevederi de proiectare pentru clădiri” + Erată 2019, 2013 și 2019
- (15) PE 713/2004 „Instrucțiuni privind betoanele hidrotehnice” – Normativ pentru execuția și controlul betoanelor în construcții hidrotehnice. Faza de proiectare: studiu, 2013
- (16) SR EN 206-1:2002 „Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate”, 2002
- (17) SR EN 13670-1:2010 „Execuția structurilor de beton”, 2010
- (18) SR EN 12620:2013 „Agregate pentru beton”, 2013
- (19) SR EN 934-2/2003 „Aditivi pentru beton, mortar și pastă. Partea 2: Aditivi pentru beton. Definiții, condiții, conformitate, marcare și etichetare”
- (20) SR EN 1008/2003 H 31 „Apa de preparare pentru beton. Specificații de prelevare, încercare și evaluare a aptitudinii de utilizare a apei, inclusiv a apelor recuperate din procese ale industriei betonului, ca apă de preparare pentru beton.”
- (21) SR EN 1992-1-1:2004 „Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri”, 2004
- (22) SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008 „Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională”, 2008
- (23) SR EN 1992-1-1:2004/AC:2008 „Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Erată”, 2008
- (24) SR EN 1992-1-2:2006 „Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton. Partea 1-2: Reguli generale – Calculul comportării la foc”, 2006
- (25) SR 13510:2006 „Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate. Document național de aplicare a SR EN 206-1”, 2006
- (26) SR 7055:1996 „Ciment Portland alb”, 1996
- (27) SR EN 197-1:2011 „Ciment – Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate ale cimenturilor uzuale”, 2011
- (28) SR 3011:1996 „Cimenturi cu căldură de hidratare limitată și cu rezistență la agresivitatea apelor cu conținut de sulfat”
- (29) SR 5440-2009 „Încercări pe betoane. Verificarea potențialului de reacție alcalii-silice pentru agregate”, 2009
- (30) STAS 10092-78 „Ciment pentru drumuri și piste de aeroporturi”, 1978
- (31) Aciu C., Manea D., Netea A. Gh. – Building materials applied chemistry. Laboratory works, editura Mediamira Publishing House, 2008
- (32) Aldred J. - Burj Khalifa – a new high for high-performance concrete, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering 2010 163:2, pp.66-73, 2010
- (33) Aldred J. - Pumping concrete to 601 metres in a single lift, GHD, Dubai, pp. 456-462, 2020
- (34) Aldred, J.M. - Pumping concrete on the Burj Dubai, Terence C. Holland Symposium on Advances in Concrete Technology - 9th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Warsaw Poland, Ed. George C. Hoff pp. 497-514, 2007
- (35) BetonMarketing – „Frischbeton Eigenschaften und Prüfungen”, Zement-Merkblatt Betontechnik B4 3.2013, Verein Deutscher Zementwerke e.V. (editor). Autor Biscopping M., 2013

- (36) Błaszczński T. Z., Król M. R. - Geopolymers in construction, Civil and environmental engineering reports 16 (1), ed. De Gruyter Open, pp.25-40, 2015
- (37) Constantinescu H., Gherman O., Negrutiu C., Sosa P. I. - Mechanical Properties of Hardened High Strength Concrete, Procedia Technology 22, pp. 219 – 226, 2016
- (38) Georgescu D. P. – Considerații privind aplicarea și corelarea noilor reglementări naționale din domeniul producerii betonului, proiectării, execuției și evaluării calității lucrărilor din beton, Revista Română de Inginerie Civilă, Vol. 4 (2), Matrix Rom, 2013
- (39) Grünwald A., Peck M, (Informations Zentrum Beton GmbH) - Fahrbahndeckenbeton für Straßen, publicat în [www.beton.org](http://www.beton.org), Informations Zentrum Beton GmbH, Erkrath, 2015 (link: <https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/basiswissen/zement-merkblaetter/S1.pdf>)
- (40) Heidelberg Cement – Betontechnische Daten (Ausgabe 2017). Autori: Küchlin D., Hersel O., Bachmann R., Boos P., Dietermann M., Löschnig P., 2017
- (41) Heidelberg Cement – Minighid de proiectare a durabilității betonului (ediția 1). Semnat de Gavrilescu R., Carpatcement Fieni 100, 2017
- (42) Holcim – Betontechnische Daten. Ein Tabellenwerk für Praktiker. Holcim (Deutschland) GmbH, 2019
- (43) Kiss Z., Oneț T. – Beton armat, editura U.T. Pres, Cluj-Napoca, 1999
- (44) Kiss Z., Oneț T. – Proiectarea structurilor de beton după SR EN 1992-1, Abel, 2008 și 2010 (ediție revizuită)
- (45) MPA – Fact Sheet 18. Embodied CO<sub>2</sub>e of UK cement, additions and cementitious material. [https://cement.mineralproducts.org/documents/Factsheet\\_18.pdf](https://cement.mineralproducts.org/documents/Factsheet_18.pdf)
- (46) Muntean A. - Con tracția betoanelor de înaltă rezistență și performanta (BIRP), 2010
- (47) Muntean G., Muntean R., Oneț T. – Probleme privind durabilitatea betoanelor provocate de procesele chimice. Lucrare publicată la conferință, 2009
- (48) Negruțiu C. M. – Metode practice de estimare a durabilității unei structuri de beton armat, editura U.T. PRESS, Cluj-Napoca, 2014
- (49) Neville A. M. – Properties of Concrete/Proprietățile betonului, Pitman Publishing Ltd. (ediția a 2a – tradusă în limba romană de Constantinescu D., ed. Tehnică București, 1979), 1975
- (50) Oneț T. – Durabilitatea betonului armat, Editura Tehnică București, 1994.
- (51) Puskás A., Virág J., Faur A. – Îndrumător pentru proiectarea structurilor în cadre din beton armat. Clasa de ductilitate medie, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2015
- (52) Putzmeister – „Betontechnologie für Betonpumpen”, Putzmeister Concrete Pumps GmbH (editor). Autori: Kasten K. cu sprijinul lui Bergemann D., Wirsching H.-J. și Klasfszky C., tipărit de editura Satz und Druck, Stuttgart, Germania, 2011 (ediția a 6a)
- (53) RILEM – „Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests”, Report of Technical Committee TC145 WS. Editori: Bartos P.J.M., Sonebi M., Tamimi A.K., editura RILEM Publications S.a.r.l., ISBN 2-912143-32-2, 2002
- (54) Sándor G.-Á., Kiss Z. – „Influența vârstei betonului la transfer asupra deformațiilor grinzilor precomprimate”, AICPS Review, 1-2, București, pp. 100-104, 2014
- (55) Sándor G.-Á. – Optimizarea calculului grinzilor precomprimate. Teză de doctorat, conducător științific Kiss Z., Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 2015
- (56) Sanjuán M. Á., Andrade C., Mora P., Zaragoza A. - Carbon Dioxide Uptake by Cement-Based Materials: A Spanish Case Study. Applied Sciences., vol. 10(1) pp. 339, 2020
- (57) Schlaich M., El Zareef M. – Infrleichtbeton, Beton- und Stahlbetonbau, Editura Ernst & Sohn, Vol. 103, 3, pp. 175-182, 2008
- (58) Schlaich M., El Zareef M. – Infra-lightweight concrete, Tailor Made Concrete Structures – Walraven & Stoelhorst (editori), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-47535-8, pp. 707-713, 2008
- (59) Schneider K.J. – Bautabellen für Ingenieure (Andrej Albert - 21 Auflage) , Werner Verlag, Bundesanzeiger Verlag , Köln, 2014
- (60) Thienel K.-Ch. – „Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens” – Vorlesungen über Beton 2013-2021, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Universität der Bundeswehr München, 2013 și 2021
- (61) Uwasu M., Hara K., Yabar H. - World cement production and environmental implications, Environmental Development, Vol. 10, pp. 36-47, 2014
- (62) Zilch K., Zehetmaier G. – Bemessung im konstruktiven Betonbau (2 Auflage), Springer, 2010
- (63) ZTV-W LB 215 (2004) - Änderung 1 (2008), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt; Ausgabe 2008
- (64) ZTV-W LB 215 (2004), Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (LB 215), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen, Wasserstraßen; Ausgabe 2004
- (65) <https://actu.epfl.ch/image/109322/original/2568x1445.jpg>
- (66) <https://blog.bizvibe.com/blog/top-10-cement-companies-world>
- (67) <https://www.agendaconstructiilor.ro/files/sustenabilitate-csr/producatorii-de-ciment-anunta-ca-vor-reduce-semnificativ-emisiile-pana-in-anul-2030.html>

## Stabilirea specificație betonului de ciment proaspăt și întărit, conform SR EN 206

- (68) <https://www.holcimpartner.ch/de/betonpraxis/betontechnologische-grundlagen>
- (69) <https://www.civilalliedgyan.com/2020/03/workability-test-of-fresh-concrete-by-vee-bee-consistometer.html>
- (70) <https://www.beton.wiki/index.php?title=Datei:HydrWaerme.jpg>
- (71) <https://www.beton.wiki/images/archive/e/e6/20191126081950%21HydrWaerme.jpg>
- (72) <https://www.betontechnische-daten.de/de/9-1-1-beispiele-zur-anwendung-der-expositions-und-feuchtigkeitsklassen>
- (73) <https://www.kerscher-beton.de/transportbeton.html>
- (74) <https://plan31.ro/>
- (75) <https://www.holcim.com/who-we-are/our-stories/our-co2-emissions-reduction>

### Titluri suplimentare utilizate pentru ediția revizuită din 2023:

- (1) NE 012/1-2022 „Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat. Partea 1: Producerea betonului”, 2023
- (2) NE 012/2-2022 „Normativ pentru producerea și executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat – Partea 2: Executarea lucrărilor din beton”, 2023
- (3) Georgescu Dan – „Sinteză a modificărilor aduse prin revizuirea normativelor NE 012/1 și NE 012/2” (prezentare PowerPoint)”, Universitatea tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 2022
- (4) SR EN 206+A2:2021 „Beton. Specificație, performanță, producție și conformitate”, 2022
- (5) [https://www.bhb-stahl.de/assets/files/Downloads/betonstahl/b500b\\_staebe/bhb\\_din\\_488\\_1.pdf](https://www.bhb-stahl.de/assets/files/Downloads/betonstahl/b500b_staebe/bhb_din_488_1.pdf)
- (6) <https://otelstructuri.ro/ro/plasa-sudata-eco>
- (7) <https://www.pittini.it/wp-content/uploads/Pittini-Group-Bars-SPF295-B500.pdf>
- (8) <https://heatonmanufacturing.co.uk/steel-reinforcement-grades/>

## **Drepturi de autor și sursele informațiilor originale expuse sub formă de figuri refăcute sau prelucrate**

**Copertă 1:** Concept fundație, fotografie și desen tehnic – inspirat din sursa: *arhivă S.C. Plan 31 Ro S.R.L. (www.plan31.ro)*

**Figura 1:** Structura unui beton preparat cu agregate de râu 0-16 mm – prelucrat din sursa: EPFL - RE:CRETE footbridge <https://actu.epfl.ch/.../2568x1445.jpg>

**Figura 3.1.1** Variația rezistenței la compresiune a betonului determinată pe cuburi cu latura de 150 mm, în stare uscată, în funcție de raportul A/C și clasa de rezistență a cimentului – inspirat din sursa: *Holcim, 2019*

**Figura 3.1.2** Influența raportului A/C asupra rezistenței la compresiune, absorbției / capilarității / permeabilității, fisurării din contracție, fiabilității și culorii betonului – modificat după sursa: [holcimpartner.ch/...grundlagen](http://holcimpartner.ch/...grundlagen)

**Fig. 3.5.1** Determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda tasării – modificat după sursa: *Putzmeister, 2011*

**Fig. 3.5.2** Schema consistometrului Vee-Bee utilizat la determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda vebe – modificat după sursa: [www.civilalliedgyan.com/...vee-bee-consistometer.html](http://www.civilalliedgyan.com/...vee-bee-consistometer.html)

**Fig. 3.5.3** Schema dispozitivului utilizat la determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda cu grad de compactare – modificat după sursa: *BetonMarketing, 2013*

**Fig. 3.5.4** Determinarea clasei de consistență a betonului cu metoda răspândirii – modificat după sursa: *Putzmeister, 2011*

**Fig. 3.6.2** Evoluția în timp a căldurii de hidratare a cimentului, exemplificată pentru diferite tipuri de ciment, considerând un dozaj de ciment de 300 kg/(m<sup>3</sup> beton) – modificat după sursa: <https://www.beton.wiki/index.php?title=Datei:HydrWaerme.jpg> și <https://www.beton.wiki/images/archive/e/e6/20191126081950%21HydrWaerme.jpg>

**Fig. 5.1.7.1** Matricea betonului proaspăt evidențiind volumul pastei de ciment care: umple porii dintre agregate (stânga), umple porii dintre agregate și învește într-un film agregatele (centru), conferă și o lucrabilitate corespunzătoare betonului proaspăt (dreapta) – inspirat din sursa: *Cursuri profesor Thienel K. Ch., 2007-2021*

**Fig. 5.2.1** Agregate de balastieră din granule de formă rotunjită, agregate de carieră concasate (cribluri și splituri) din granule de formă colțuroasă, agregate de balastieră din granule de formă aplatizată – modificat după sursa: *Putzmeister, 2011*

**Figura 5.4.2** Durata de acțiune a plastifiantilor/superplastifiantilor considerată imediat după adăugarea lor în amestecul de beton proaspăt, pentru un beton cu un dozaj de 320 kg/m<sup>3</sup> de ciment CEM I și o temperatură T = 20°C – modificat după sursa: *Cursuri profesor Thienel K. Ch., 2007-2021*

**Figura 6.1.1** Clase de expunere și de umiditate pentru clădiri civile – modificat după sursa: <https://www.betontechnische-daten.de/de/9-1-1-beispiele-zur-anwendung-der-expositions-und-feuchtigkeitsklassen> și *Heidelberg Cement – Betontechnische Daten (Ausgabe 2017)*

**Figura 6.1.2** Clase de expunere și de umiditate pentru clădiri industriale – modificat după <https://www.betontechnische-daten.de/de/9-1-1-beispiele-zur-anwendung-der-expositions-und-feuchtigkeitsklassen> și *Heidelberg Cement – Betontechnische Daten (Ausgabe 2017)*

**Figura 6.1.3** Clase de expunere și de umiditate pentru construcții de artă și căi de comunicație (căi ferate, drumuri și poduri) – modificat după sursa: <https://www.betontechnische-daten.de/de/9-1-1-beispiele-zur-anwendung-der-expositions-und-feuchtigkeitsklassen> și *Heidelberg Cement – Betontechnische Daten (Ausgabe 2017)*

**Figura 6.1.4** Clase de expunere și de umiditate pentru construcții agricole/agrozootehnice – modificat după sursa: <https://www.kerscher-beton.de/transportbeton.html>

**Figura 6.4.1** Stratul de acoperire cu beton – inspirat de sursa: *Puskás A., Virág J., Faur A., 2015*

**Figura 6.4.2** Abaterea nedorită în execuție – inspirat de sursa: *Kiss A., Oneț T., 2008*

*Notă: Informațiile, ilustrațiile și imaginile și expuse în prezenta lucrare provin și din surse bibliografice puse la liber (cu acces nerestricționat) pe paginile de internet indicate, ale instituțiilor și firmelor la care sunt afiliați autorii sau editorii acestora. Pentru imaginile utilizate a fost cerută permisiunea de republicare în prezenta lucrare.*