



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OIPOSDRU



UNIVERSITATEA
TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

Investește în oameni!

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

AXA PRORITARĂ 1 "Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere".

DOMENIUL MAJOR DE INTERVENȚIE 1.3 "Dezvoltarea resurselor umane în educație și formare profesională"

TITLUL PROIECTULUI: "Școală universitară de formare inițială și continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti - DidaTec"

COD CONTRACT: POSDRU/87/1.3/S/60891

BENEFICIAR: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Modulul 7: Accelerarea întăririi betoanelor. Betoane ușoare. Betoane speciale

Autor: S.I. dr. ing. Larisa Meliță
Departamentul de Căi Ferate, Drumuri, Poduri și Materiale
Universitatea Tehnică de Construcții București

Scop



Modulul 7 al cursului de *Materiale de Instalații* vă prezintă noțiuni legate de accelerarea întăririi betoanelor și vă face o prezentare a betoanelor ușoare și speciale. Astfel, vă sunt prezentate principiile de realizare, caracteristicile tehnice și clasificarea acestora, precum și domeniile lor de utilizare.

Obiective



La finalul Modulului 7 cursantul va putea să:

1. Explice care sunt tratamentele termice ce se aplică betoanelor pentru accelerarea întăririi lor.
2. Precizeze în ce constă tratamentul termic de aburire respectiv de autoclavizare.
3. Precizeze principiul de obținere al betoanelor ușoare.
4. Explice cum se clasifică, care sunt proprietățile și care sunt domeniile de utilizare ale betoanelor ușoare.
5. Să facă o scurtă prezentare a betoanelor cu proprietăți speciale și domeniile lor de utilizare.

Durată



Durata medie de studiu individual: 2 ore.



7.1. Accelerarea întăririi betoanelor

Întărirea betonului, în condiții normale cu obținerea unor rezistențe mecanice impuse, necesită un timp îndelungat, ceea ce constituie un impediment pentru un ritm de lucru intens pe șantier dar, mai ales, în fabricile de prefabricate din beton. De aceea întărirea accelerată a betoanelor este o soluție pentru rezolvarea acestei probleme și se bazează pe mărirea vitezei de hidratare și de întărire a cimentului fără a afecta calitățile betonului întărit. Tot prin accelerarea întăririi betoanelor se reduc spațiile de depozitare ale prefabricatelor din beton, în cursul întăririi, iar decofrarea se face mai repede recuperându-se astfel cofrajele.

Accelerarea întăririi betoanelor se poate face prin mai multe tehnologii de fabricație, în funcție de materialele, condițiile și costurile de execuție; acestea sunt prezentate în continuare.

- a) Prin **utilizarea unor cimenturi cu întărire rapidă**, simbolizate prin **R** (vezi Modulul 4) care au un conținut ridicat de C_3S și o finețe de măcinare mare se poate obține o accelerare a întăririi betoanelor deoarece C_3S are o viteză de hidratare bună, crescând rapid rezistențele mecanice inițiale (vezi fig. 4.2 Modulul 4); finețea de măcinare ridicată mărește viteza de hidratare a cimentului;
- b) **Utilizarea aditivilor acceleratori de întărire** (vezi Modulul 6) cu precădere cei pe bază de $CaCl_2$ contribuie la creșterea rapidă a rezistențelor mecanice inițiale ale betoanelor;
- c) **Tratamentele termice** prin încălzirea betonului cu abur, fără sau cu presiune, la scurt timp după confecționare, accelerează întărirea betoanelor; aceste tratamente se utilizează la obținerea prefabricatelor din beton.

7.1.1. Tratamentul termic fără presiune (aburire) constă în încălzirea elementelor din beton, proaspăt confecționate, cu abur fără presiune, la temperaturi sub $100^{\circ}C$, în condiții de umiditate ridicată ce nu permite evaporarea apei.

Aburirea folosește ca agent de încălzire aburul la presiune normală (1 bar) cu o umiditate relativă de 90-95%. Astfel, după 6-8 ore de tratament se atinge 40-70% din rezistențele mecanice ale betonului întărit la 28 de zile, în condiții normale (vezi Fig. 7.1).

Betoanele tratate termic prin aburire au rezistențele mecanice finale cu 10-20% mai mici decât cele ale betoanelor întărite în condiții normale, sunt mai permeabile, au rezistențele la șoc și la îngheț-dezgheț repetat mai scăzute și au o aderență mai scăzută la armătură. De aceea, pentru a se atinge clasa de rezistență a betonului se folosește un dozaj de ciment mai ridicat decât în cazul întăririi normale, pentru a compensa efectele negative ale aburirii.

Tratamentul termic prin aburire are avantajul că accelerează reacțiile de hidratare hidroliză dar provoacă și o serie de fenomene care duc la scăderea rezistențelor mecanice cum ar fi: *dilatarea diferențiată* a componentilor la încălzire urmată de *contractia diferențiată* la răcire, care creează tensiuni interne ce au ca efect dezvoltarea de microfisuri în betonul întărit; *viteza diferită de deshidratare a betonului* din perioada de tratare termică, față de cea de răcire la temperatura normală din mediului înconjurător, care provoacă în masa betonului o rețea de macropori și capilare; *ecranarea nucleelor* de ciment, mai numeroase datorită unui dozaj sporit de ciment, de către produșii de hidratare formați care împiedică, astfel, utilizarea întregului potențial liant al cimentului.

7.1.2. Tratamentul termic cu presiune (autoclavizare) constă în încălzirea elementelor de beton prefabricate în recipiente cilindrice, închise etanș, numite *autoclave* cu ajutorul vaporilor de apă la temperatura de $180^{\circ}C$ și presiunea de 10 bari, după o întărire prealabilă a betonului de câteva ore în

mediu umed, la temperatura normală. După 10-12 ore de tratament termic rezistențele mecanice ale betoanelor obținute sunt mai mari decât cele la 28 de zile, întărite în condiții normale (Fig. 7.1).

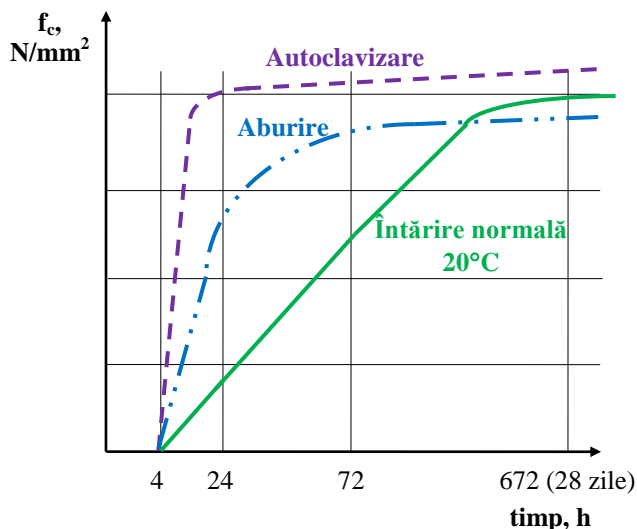


Figura 7.1. Evoluția rezistențelor mecanice la compresiune în timp a betoanelor întărite în condiții diferite: normale, aburire, autoclavizare

În timpul autovclavizării, datorită temperaturilor și presiunii ridicate, au loc reacții chimice între $Ca(OH)_2$, rezultat la hidroliza cimentului, și SiO_2 din agregatele silicioase obținându-se hidrosilicații de calciu care modifică atât compoziția chimică dar și structura betonului întărit.

Prin urmare, acest beton este mai compact, cimentul are o mai bună adeziune la agregate dezvoltând, astfel, rezistențe mecanice superioare față de betonul întărit în condiții normale și are o comportare mai bună la acțiunea agenților fizici și chimici.

La obținerea betoanelor prin autoclavizare se recomandă utilizarea cimenturilor cu un conținut ridicat de C_3S și cu adaosuri silicioase active (zgură metalurgică, cenușă de termocentrală, tras) sau nisip silicios fin măcinat. Tratamentul termic cu presiune permite înlocuirea parțială sau totală a cimentului cu var gras, dacă agregatele silicioase sunt fin măcinate, datorită reacțiilor chimice mai sus menționate cu formare de hidrosilicați de calciu asemănători cu cei din piatra de ciment.

La noi în țară se utilizează tratamentul termic de autoclavizare la fabricarea betonului celular autoclavizat (B.C.A.).

7.2. Betoane ușoare

Betoanele ușoare prezintă caracteristici tehnice deosebit de apreciate în domeniul construcțiilor cum ar fi:

- densitatea aparentă sub 2000 kg/m^3 ;
- capacitatea de izolare termică ridicată;
- rezistența la foc sporită.

Pentru obținerea betoanelor ușoare se utilizează agregate minerale ușoare care au o porozitate mare deci, densitate aparentă mică (sub 1200 kg/m^3); unele se găsesc în stare naturală, iar altele sunt obținute din materiale naturale sau din subproduse industriale. După proveniență agregatele minerale ușoare se clasifică în:

- a) *agregate minerale naturale* cum ar fi: piatra ponce, tuful vulcanic, scoria bazaltică, diatomitul etc.
- b) *agregate minerale artificiale* obținute fie ca produse industriale secundare (zguri de furnal, zguri de focare de cazane, deșeuri ceramice), fie în mod special, cum ar fi: argila expandată-granulitul, perlitul expandat, vermiculitul expandat, zgura expandată, zgura granulată etc.

Exemple:

- ✓ **Piatra ponce** este un material poros care se formează ca urmare a solidificării magmei vulcanice în prezența unor gaze și a vaporilor de apă.
- ✓ **Tuful vulcanic** este un material cu porozitate mare care se formează din depozitele de cenușă vulcanică. Densitatea în grămadă este de $700-1000 \text{ kg/m}^3$, are un conținut de SiO_2 activ $> 30\%$, și o absorbție de apă de până la 30% . Sub formă măcinată este cunoscut sub numele de **tras**.
- ✓ **Scoria bazaltică** s-a obținut ca urmare a răcirii bruște a lavelor vulcanice de natură bazaltică, în prezența apei; are o structură vacuolară și culori variate: negru, brun, roșu închis, cafeniu.
- ✓ **Diatomitul** este o rocă sedimentară silicioasă și poroasă (porozitate $50-60\%$) provenită din sedimentarea resturilor de diatomee prinse într-o masă de opal; este o rocă cu densitatea scăzută, de aceea se folosește ca material pentru izolații termice sau ca agregat la obținerea mortarelor pentru izolații și a betoanelor ușoare.
- ✓ **Zgura metalurgică** se obține ca produs secundar în urma procesului de elaborare a fontei sau, ca urmare a conversiei fierului în procesul de obținere a oțelului. Datorită proprietăților sale hidraulice se folosește în industria cimentului.
- ✓ **Zgura expandată** se obține prin răcirea bruscă a zgurii topite cu o cantitate mică de apă. Materialul solidificat obținut este poros, se concasează și se folosește ca agregat.
- ✓ **Zgura granulată** se obține prin răcirea bruscă a zgurii topite cu exces de apă, obținându-se un material cu aspectul unui nisip cu granule mai mari de 1 mm .
- ✓ **Spărturile ceramice** sunt deșeuri rezultate la obținerea cărămizilor, țiglelor, tuburilor de drenaj etc.
- ✓ **Granulitul** se obține în urma expandării argilelor ușor fuzibile cu un conținut bogat de Fe_2O_3 ; astfel, argila se umezește cu cantități reduse de apă, se modelează sub formă de granule și se arde în cuptoare rotative la $1100-1200^\circ\text{C}$. Expandarea este rezultatul degajării, la temperatura ridicată din cuptor, a unor gaze care apar în urma reacțiilor de disociere sau de combinare a unor oxizi ai argilei.
- ✓ **Perlitul expandat** se obține din roca perlitică naturală (rocă vulcanică solidificată în apă) care se concasează, se macină și se sortează pe fracții granulometrice. Este un material anorganic granular, natural, ce conține SiO_2 ($\approx 75\%$) și Al_2O_3 ($\approx 23\%$); este perfect uscat, ecologic, extrem de ușor, excelent termoizolant, foarte stabil chimic, nedegradabil în timp, care nu arde și poate fi utilizat, la fel de eficient și fără niciun risc, atât la temperaturi obișnuite ale mediului ambiant, cât și în condiții deosebite, la temperaturi extreme, de -200°C sau $+850^\circ\text{C}$. Se utilizează ca agregat ușor la obținerea de mortare, șape, betoane ușoare termoizolante și fonoizolante.
- ✓ **Vermiculitul expandat (vermiculite)** este un material granular, ușor, cu aspect de mică, bogat în ioni de fier, magneziu și silicați. Prin calcinare la temperaturi de $650-1000^\circ\text{C}$ expandează mărindu-și volumul până, chiar, de 30 ori față de volumul inițial. Se utilizează ca agregat ușor în mortare ușoare și rezistente la foc, în horticultură.

Betoanele ușoare se utilizează la obținerea de elemente din beton (simple sau comprimate) cu greutate redusă, ușor de fabricat și cu proprietăți termoizolatoare.

Clasificarea betoanelor ușoare se face după mai multe criterii așa cum sunt prezentate în continuare:

Tabel 7.1. Clasificarea betoanelor ușoare după domeniul de utilizare și principalele caracteristici fizico-mecanice, SR EN 206-1

Tipuri de betoane ușoare	ρ , kg/m ³	λ , W/m·K	$f_{c\text{ cub}}$, N/mm ²
Betoane ușoare de structură (de rezistență)	1350 - 1900	> 0,75	≥ 15
Betoane ușoare de rezistență și termoizolație	800 - 1350	$\leq 0,75$	5 - 15
Betoane ușoare termoizolatoare	300 - 800	$\leq 0,4$	≤ 5

Tabel 7.2. Clasificarea betoanelor ușoare după rezistența caracteristică (f_{ck}), SR EN 206-1

Clasa rezist.	LC 8/9	LC 12/13	LC 16/18	LC 20/22	LC 25/28	LC 30/33	LC 35/38	LC 40/44	LC 45/50	LC 50/55	LC* 55/60	LC* 60/66	LC* 70/77	LC* 80/88
$f_{ck\text{ cil}}$, N/mm ²	8	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80
$f_{ck\text{ cub}}$, N/mm ²	9	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66	77	88

* beton ușor de înaltă rezistență

Tabel 7.3. Clasificarea betoanelor ușoare după densitate, SR EN 206-1

Clasa de densitate	D1.0	D1.2	D1.4	D1.6	D1.8	D1.10
Densitatea, kg/m ³	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	1800-2000

După modul de obținere, betoanele ușoare se clasifică în:

- betoane ușoare compacte;
- betoane macroporoase;
- betoane celulare;
- betoane cu agregate vegetale.

7.2.1. Betoane ușoare compacte

Se obțin cu agregate minerale ușoare naturale sau artificiale, cu granulozitate continuă în care golurile dintre granule sunt umplute cu mortar. Densitatea redusă a acestor betoane se datorează porozității agregatelor (fig. 7.2a).

Betoanele ușoare compacte au, în general, o consistență mai redusă și o tendință de segregare mai mare decât betoanele obișnuite cu agregate minerale grele. Pentru a se evita segregarea, în timpul vibrării la prepararea betoanelor ușoare, se adaugă adaosuri hidrofobizante care au și rolul de a reduce absorbția de apă a agregatelor ușoare. Compactarea se realizează prin vibrare sau vibropresare, iar caracteristicile tehnice ale betoanelor ușoare compacte sunt variate deoarece depind de natura și de cantitatea materialelor componente.

Se folosesc la executarea de blocuri și panouri mari pentru pereți, plăci și fâșii pentru planșee și acoperișuri, plăci termoizolante, elemente de rezistență din beton armat și beton precomprimat etc. Datorită utilizării și la obținerea de elemente de rezistență, betoanele ușoare compacte se mai numesc și betoane ușoare de rezistență sau de structură.

Utilizarea acestor betoane este avantajoasă datorită reducerii greutatei proprii unei construcții care determină, astfel, reducerea secțiunii fundațiilor, a elementelor portante și micșorarea coeficientului de armare.

7.2.2. Betoane macroporoase

Se obțin cu agregate minerale grele compacte sau ușoare poroase, nisipul este parțial sau total eliminat, iar cimentul și apa se dozează astfel încât fiecare granulă de agregat să fie învelită cu o peliculă subțire și uniformă de pastă de ciment care sudează granulele doar în punctele de contact, fără a umple golurile dintre ele (fig. 7.2b și fig. 7.2c).

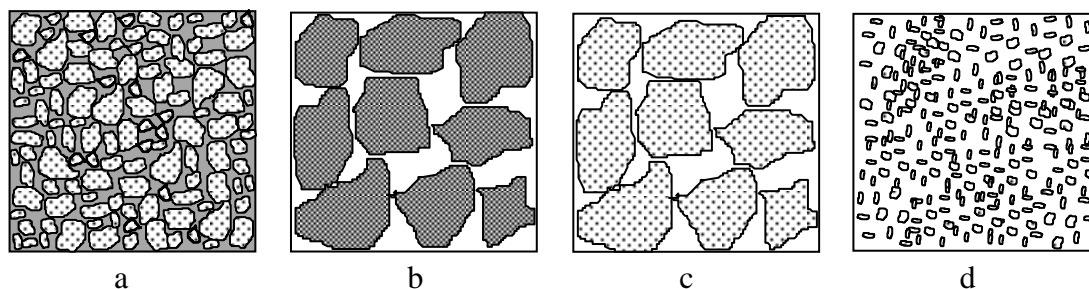


Figura 7.2. Betoane ușoare compacte (a), betoane macroporoase grele (b), betoane macroporoase ușoare (c), betoane celulare (d)

Dozajul de ciment nu depășește, în general, 150 kg/m^3 , iar raportul A/C are valoarea medie de 0,4-0,5. După întărire, volumul porilor poate ajunge până la 35% din volumul aparent al betonului care, influențează rezistențele la compresiune ce se pot situa între $1,5-10 \text{ N/mm}^2$. Tot datorită porozității mari betoanele macroporoase au conductivitatea termică λ , cuprinsă între $0,29-0,70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Clasificarea betoanelor macroporoase, după natura agregatului, este prezentată în tab. 7.4.

Tabel 7.4 Clasificarea betoanelor macroporoase

Densitatea, kg/m^3	Volum de goluri, %		
	A	B	C
1000-2000	25 - 35	20 - 25	< 20

în care:

A – betoanele de tip A, obținute cu agregate grele sau ușoare, formate dintr-un singur sort de agregate;

B - betoanele de tip B, obținute cu agregate grele și/sau ușoare, formate din unul sau mai multe sorturi de agregate;

C – betoanele de tip C, obținute cu agregate ușoare alcătuite din mai multe sorturi de agregate, la care se admite și o cantitate redusă de nisip.

Betoanele macroporoase, obținute cu agregate poroase, datorită porozității deschise, au o mare permeabilitate la apă de aceea se impune, atunci când sunt folosite la construirea de pereți exteriori, aplicarea unei tencuieli bine îngrijite pe suprafața acestora pentru a nu permite pătrunderea apei provenite din precipitațiile atmosferice.

Betoanele macroporoase obținute cu agregate grele prezintă difuzie capilară și rețin apa foarte puțin, iar datorită golurilor au rezistență bună la îngheț-dezghet.

Se utilizează la confecționarea de blocuri mici și mari de zidărie, șape și plăci termoizolante, structuri termoizolante la panouri mari, drenaje.

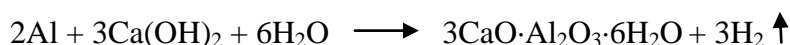
7.2.3. Betoane celulare

Sunt betoane cu densitatea aparentă, $\rho_a < 1200 \text{ kg/m}^3$, cu porozitatea sub 85%, din care cca. 50% (% volum) îl ocupă porii închiși de formă sferică cu diametrul sub 1 mm, uniform distribuiți în masa betonului.

Betoanele celulare se obțin cu agregate silicioase fin măcinate (nisip silicios de râu, cenușă de termocentrală, tras, diatomit), ciment Portland, cu sau fără adaosuri, var sau un amestec de var cu ciment și apă (fig 7.2d).

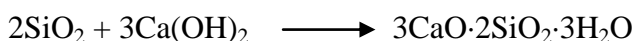
Structura poroasă a betoanelor celulare se poate obține prin două moduri:

- a) Prin provocarea unei reacții chimice, urmată de degajare de gaze în amestecul de beton proaspăt. Ca generatoare de gaze se pot utiliza, cel mai frecvent, pulberea de Al (0,2% față de ciment), sau pulberile de Zn, Mg etc. care reacționează cu Ca(OH)_2 din liant și formează hidrogenul ce induce porozitate betonului.



- b) Prin amestecarea betonului proaspăt cu o spumă, preparată separat cu ajutorul unui săpun industrial. Spuma trebuie să fie poroasă, stabilă și să nu influențeze negativ procesul de priză și întărire al liantului.

Amestecurile pentru betoane celulare, după ce sunt turnate în tipare, se întăresc prin autoclavizare, în prezența vaporilor de apă la o presiune a acestora de 10-14 bari, la temperatura medie de 180°C , timp de 10-12 ore. În aceste condiții materialul silicios fin măcinat devine activ și reacționează cu Ca(OH)_2 utilizat ca liant sau rezultat din hidroliza cimentului, formându-se hidrosilicații de calciu:



Betoanele celulare autoclavizate (B.C.A.) au o rezistență satisfăcătoare la gelivitate, datorită porozității închise ($\phi_{\text{pori}} = 0,5\text{-}2 \text{ mm}$), și la foc. Produsele obținute din aceste betoane au avantajul de a putea fi prelucrate ușor prin tăiere, cioplire, găurire și prezintă unele calități: au dimensiuni exacte, fețe plane și paralele, culoare deschisă. Armarea elementelor din beton celular autoclavizat se face cu carcase din oțel sudate, acoperite cu 1-2 straturi compacte pe bază de ciment, bitum, materiale din polimeri, pentru a le proteja împotriva coroziunii care este favorizată de porozitatea mare a betonului celular și a pH-ului redus.

Principalele caracteristici ale B.C.A. sunt prezentate în tab. 7.5.

Tabel 7.5 Caracteristici ale B.C.A.

ρ , kg/m^3	P, %	λ , $\text{W/m} \cdot \text{K}$	$f_{\text{c cub}}$, N/mm^2	E, N/mm^2	Contractia, mm/m
300-1200	≤ 85	0,093-0,35	≤ 15	1000-5000	0,25-0,50

B.C.A.-ul se utilizează la fabricarea de pereți exteriori autoportanți și neportanți, pereți portanți, pereți despărțitori, pereți din panouri mari preasamblate, acoperișuri de hale industriale, precum și la izolarea termică a construcțiilor.

7.2.4. Betoane cu agregate vegetale

În condițiile actuale, când se pune mare accent pe realizarea de construcții cu materiale tot mai puțin poluante, betoanele cu agregate vegetale încep să fie din ce în ce mai folosite. Se obțin din ciment, apă și agregate vegetale cum ar fi: talaș, rumeguș, coji de orez, puzderie de in și cânepă, mineralizate în prealabil. Pentru toate tipurile de agregate, cu excepția cojilor de orez, se poate folosi ca mineralizator o soluție formată din sulfat feros (2%), silicat de sodiu (6%) și clorură de calciu (4%), procente masice față de agregat. Pentru cojile de orez, care au o compoziție mai complexă (bogate în zaharuri și grăsimi), se folosește ca stabilizator laptele de var.

Betoanele cu agregate vegetale au densitatea aparentă, $\rho_a = 500 - 1000 \text{ kg/m}^3$, prezintă proprietăți termoizolatoare și fonoabsorbante, au aderență bună la mortare și contracție mare la uscare. Se utilizează la executarea de plăci termoizolatoare pentru pereți și acoperișuri, blocuri de zidărie, corpuri de umplură.

7.3 Betoane speciale

Betoanele speciale au apărut din necesitatea asigurării unor proprietăți speciale, particulare betoanelor, deosebite de cele obișnuite, cerute de domeniile lor de aplicare. O scurtă prezentare a acestor betoane este redată în continuare.

7.3.1. Betoanele de înaltă performanță sunt betoanele care au o rezistență la compresiune mai mare de 60 N/mm^2 , precum și unele caracteristici îmbunătățite cum ar fi: modulul de elasticitate, deformațiile, durabilitatea etc.

În funcție de rezistența la compresiune acestea se clasifică în două categorii:

- Betoane de înalte performanțe*, cu rezistența medie la compresiune, la 28 de zile, între $60 - 80 (100) \text{ N/mm}^2$;
- Betoane de foarte înalte performanțe* cu rezistența medie la compresiune, la 28 de zile, peste $80 (100) \text{ N/mm}^2$.

Pentru obținerea acestor betoane, cu o compactitate foarte bună, trebui să se ia în considerare următoarele:

- folosirea unui ciment de clasă superioară (de exemplu CEM 52,5)
- reducerea raportului A/C sub 0,35 cu menținerea consistenței cerute betonului, prin folosirea de aditivi superplastifianți și puternic reducători de apă;
- utilizarea de agregate provenite din roci primare dure, care să asigure rezistențe mecanice superioare betoanelor;
- utilizarea de aditivi antrenori de aer care să contribuie la creșterea rezistenței la îngheț-dezghet;
- creșterea compactității betonului prin completarea scheletului granular al acestuia cu adaosuri din materiale granulare reactive și ultrafine ca: puzzolane ultrafine, silice ultrafină (SUF).

Betoanelor de înaltă performanță sunt utilizate la confecționarea stâlpilor construcțiilor înalte, podurilor, lucrărilor de artă, structurilor marine, tunelurilor, construcțiilor nucleare, prefabricatelor etc.

Exemple:

Câteva construcții celebre din lume executate cu betoane de înalte și foarte înalte performanțe:

- ✓ Columbia Center Seattle, SUA, cu 76 de etaje, construită în 1983, cu $f_c = 66 \text{ N/mm}^2$;
- ✓ Pacific First Center Seattle, SUA, cu 44 etaje, construită în 1989, cu $f_c = 115 \text{ N/mm}^2$;
- ✓ Bibliotheque Nationale de France, Paris, cu 18 etaje (79 m), construită între 1993-1997, cu $f_c = 69-86,5 \text{ N/mm}^2$;
- ✓ Moscheea Hasan II Maroc, construită între 1988-1989, cu $f_c = 92 \text{ N/mm}^2$.

7.3.2. Betoane de ultra înaltă performanță

a) **Betonul cu pudre reactive (BPR)** este realizat din nisip foarte fin, ciment, cuarț, silice ultrafină (SUF), cu dimensiunile granulelor ce nu depășesc $600 \mu\text{m}$ și fibre de oțel. Utilizarea unui superplastifiant și silicei ultrafine la fabricarea BPR permite reducerea raportului apă/liant chiar sub valoare de 0,15.

Betoanele din pudre reactive sunt caracterizate prin:

- porozitate foarte redusă;
- grad foarte ridicat de impermeabilitate la apă, aer, agenți agresivi, ioni de clor;
- rezistență foarte mare la îngheț-dezghet;
- durabilitate excepțională.

În funcție de modul de obținere BPR au performanțe diferite; există două tipuri de BPR:

- i) **BPR 200**, cu rezistența la compresiune în jur de 200 N/mm^2 , care se obțin cu tratament termic la 90°C ;
- ii) **BPR 800**, cu rezistența la compresiune în jur de 800 N/mm^2 , obținute prin presare și cu un tratament termic la 250°C aplicat după priză.

b) **Betonul special industrial (BSI)** se aseamănă cu betonul cu pudre reactive, cu deosebirea că nu necesită presarea lui înaintea sau în timpul prizei și nicio tratare termică. BSI are, ca și BPR *proprietăți sensibil îmbunătățite* printre care: rezistența la gelivitate, rezistența la acțiuni chimice agresive, rezistența la uzură, rezistența la șoc etc. De aceea acest tip de beton, poate fi folosit atât pentru obținerea elementelor prefabricate din beton, cât și pentru confecționarea elementelor monolit și reprezintă un concurent pentru betonul cu pudre reactive. Se estimează utilizări viitoare ale BSI la execuția unor lucrări de artă, a clădirilor înalte, a coșurilor de fum, a turnurilor de răcire etc.

Exemplu:

- ✓ Prima aplicație a BSI s-a făcut în Franța, la renovarea structurilor interne ale refrigeratoarelor centralei nucleare de la Cattenom, Lorraine. S-au folosit grinzi din BSI precomprimat în care s-a avut în vedere greutatea redusă a acestor elemente.

c) **Betonul compact cu fibre din oțel (BCFO)** este alcătuit din aceleași categorii de materiale componente ca și betonul cu pudre reactive. Caracteristicile acestuia sunt prezentate în tab.7.6.

Tabel 7.6. Câteva proprietăți ale betonului compact cu fibre de oțel (BCFO)

Caracteristica	Valoare numerică
Rezistența la compresiune, N/mm^2	150-400
Rezistența la întindere din încovoiere, N/mm^2	100-300
Modulul de elasticitate, kN/mm^2	50-100
Densitatea aparentă, kg/m^3	3000-4000

BCFO se utilizează la confecționarea de: stâlpi, grinzi și dale de planșeu, îmbinări de elemente prefabricate, structuri în zone seismice, platforme marine, pardoseli, protecții anticorozive etc.

Exemple:

- ✓ Proiect danezo-englez în care s-au utilizat 42.000 de plăci din BCFO la calea ferată a unui tunel; s-a garantat integritatea plăcilor într-un mediu agresiv pentru o durată de exploatare de 100 ani;
- ✓ Proiect în care au participat specialiști din Danemarca, Franța și Spania care a urmărit utilizarea pe scară largă a BCFO la realizarea de stâlpi, grinzi și îmbinări.

d) Betonul cu bare din polimeri armați cu fibre de sticlă - Engineered Cementitious Composite (ECC) este o alternativă la betonul armat cu bare de oțel fiind folosit, în special, la obținerea de grinzi rezistente ușoare. În acest tip de beton barele de oțel sunt înlocuite cu bare din polimeri armați cu fibre de sticlă (E), acoperite cu nisip grosier pentru îmbunătățirea aderenței la matricea de ciment a betonului. Este performant la solicitări din încovoiere (are ductilitate ridicată), prezintă rezistență la forfecare, are capacitate mare de absorbție a energiei și rezistență la șoc mecanic; de asemenea, prezintă o bună stabilitate chimică în raport cu matricea de ciment.

e) Betonul armat dispers cu fibre de carbon este un beton rezistent la șoc mecanic (de 4-5 ori rezistența la șoc mecanic a betonului armat cu fibre din sticlă), are rezistențe mari la temperaturi ridicate (1500°C în lipsa oxigenului și 400°C în prezența oxigenului) dacă se obține cu ciment aluminos. Fibrele de carbon utilizate au densitate mică ($1500\text{-}1900 \text{ kg/m}^3$), rezistențe mari/foarte mari la întindere ($3500\text{-}6000 \text{ N/mm}^2$) și alungire la rupere foarte mică (0,2 -2,3%). Se utilizează la obținerea de planșee subțiri, plăci cu simplă sau dublă curbura, conducte, iar constructorii de poduri cred că fibrele de carbon ar putea revoluționa acest sector de activitate.

Exemple:

- ✓ Primul pod de autostradă construit în Europa care folosește module sandwich din fibre de carbon și din fibre de sticlă, se întinde deasupra noii autostrăzi a aeroportului din Asturia, în nordul Spaniei;
- ✓ Prototipul finanțat de Uniunea Europeană, testat acum cu succes, se afla pe drumul spre aeroportul Oviedo pe Costa Verde, Spania și are o întindere de peste 46 m; cântărește 200 de tone (mai puțin de jumătate din greutatea unui pod din beton armat construit convențional) și a fost terminat în două zile. Construcția portantă din fibre de carbon și de sticlă a fost montată într-o zi de lucru, iar stratul de beton pentru carosabil a fost turnat în cea de-a doua zi, fără să fie nevoie de lucrări de cofraj. Autostrada a fost închisă pentru construcția podului mai puțin de două zile; în cazul unei construcții convenționale, ar fi fost închisă câteva săptămâni.

7.3.3. Betonul autocompactant (BAC) a apărut și s-a dezvoltat în Japonia, începând cu anul 1988, din dorința de a se obține betoane durabile, prin îmbunătățirea calității procesului de punere în lucrare și vibrare a betonului convențional.

Conform “Codului de practică pentru producerea betonului” CP012/1-2007, BAC este un beton fluid, obținut cu ajutorul unor aditivi superfluidizanți sau aditivi mari reducători de apă, rezistent la segregare și care poate fi pus în lucrare fără vibrare. Materialele componente sunt cele specifice unui beton obișnuit: ciment, agregate, apă, aditivi, adaosuri și eventual fibre, cu următoarele precizări:

- a) Se pot folosi toate tipurile de *ciment* date de SR EN 197-1 funcție de cerințele specifice fiecărei utilizări a betonului respectiv;
- b) *Adaosurile* folosite au ca scop îmbunătățirea și menținerea coeziunii materialelor componente, păstrarea rezistenței la segregare a amestecurilor de beton autocompactant, contribuind și la creșterea durabilității lor. Se utilizează două tipuri de adaosuri: adaosuri de *Tip I - inerte sau semi-inerte* cum ar fi: filerile minerale (de calcar, dolomitice etc.) pigmentii și adaosurile de *Tip II – puzzolanice* ca: cenușa zburătoare (conform SR EN 450), silica ultrafină (conform SR EN 13263) și hidraulice ca: zgura granulată de furnal măcinată;
- c) *Agregatele*, în general, au dimensiunea maximă a granulelor sub 20 mm și trebuie să corespundă cerințelor SR EN 12620 sau SR EN 13055, pentru agregate ușoare, dar și cerințelor de durabilitate date de SR EN 206;
- d) *Aditivii* utilizați sunt aditivii superplastifianți sau aditivi mari reducători de apă, conform SR EN 934-2, care determină consistența specifică betonului autocompactant;
- e) *Fibrele* folosite sunt fie din oțel, cu rolul de a modifica ductilitatea/tenacitatea betonului întărit, fie fibre polimerice cu scopul îmbunătățirii stabilității betonului autocompactant precum și pentru prevenirea fisurării datorită contracției betonului.

Calitatea de beton autocompactant este asigurată de:

- abilitatea de a umple complet suprafețele, colțurile și volumele cofrajului în care este turnat;
- abilitatea de a trece printre armături chiar și în zonele puternic armate fără a se produce separarea constituenților sau blocarea acestora;
- abilitatea de a reține componentele grosiere ale amestecului în suspensie, pentru a evita segregarea componentelor.

Datorită calităților sale deosebite se constată o extindere a utilizării betonului autocompactant, iar în multe țări europene producția de BAC reprezintă peste 20% din producția totală de beton realizată. Producția de BAC în industria de prefabricate a cunoscut o dezvoltare susținută în perioada 1996-2004.

Exemplu:

- ✓ Ponderea de BAC în Danemarca, în perioada 1996-2004, a fost de 30%, în Suedia de 50% și în Olanda de 60% față de volumul total de beton prefabricat.

7.3.4. Betoanele hidrotehnice sunt acele betoane care se găsesc în contact permanent sau periodic cu apa asigurând construcțiilor durabilitate în astfel de condiții; se utilizează la construirea de baraje, ecluze, canale colectoare, diguri etc. Betoanele hidrotehnice trebuie să prezinte rezistențe mecanice bune, rezistență la gelivitate, contracție mică la întărire, permeabilitate mică la apă și o exotermicitate redusă. De aceea, cimentul care se folosește la obținerea betoanelor hidrotehnice este

cimentul Portland cu căldură de hidratare redusă ($Q_h < 270 \text{ J/g}$) cu un conținut bogat în C_4AF și C_2S (vezi Cap. 4.4) cu tendință redusă de fisurare.

7.3.5. Betoanele rutiere sunt utilizate la realizarea construcțiilor rutiere (îmbrăcămînți pentru șosele, autostrăzi), a pistelor pentru aerodromuri dar și la confecționarea operelor de artă. Primele îmbrăcămînți rutiere din beton de ciment s-au realizat în anul 1865 în Scoția. În anul 1888, s-au executat lucrări asemănătoare și în Germania, iar în 1892 în S.U.A.

Betoanele rutiere trebuie să îndeplinească o serie de proprietăți specifice cum ar fi: rezistență la întindere și uzură, rugozitate sporită, contracție mică, rezistență la îngheț - dezgheț și sensibilitate redusă la efectul fondanților chimici folosiți pentru combaterea poleiului. Materialele de bază care se folosesc la obținerea acestor betoane sunt: agregatele naturale (pietriș, nisip), produsele de carieră prelucrate (sub formă de piatră spartă și cribluri), cimenturi de tipuri și mărci obișnuite sau speciale, apă, aditivi (plastifianți, antrenori de aer etc.), alte materiale (oțel-beton, fibre de oțel, materiale pentru rosturi etc.). Cimenturile rutiere sunt cimenturi Portland unitare cu un conținut ridicat de alit și compuși aluminofertici, iar conținutul de C_3A din clincher nu trebuie să depășească 6%.

Exemple:

- ✓ Cimentul rutier CD 40;
- ✓ Cimenturile CEM I 32.5 R, CEM I 42.5 N și CEM 42.5 R.

7.3.6. Betoanele de ciment și polimeri sunt betoanele în care liantul anorganic (cimentul) constituie partea componentă predominantă, iar liantul organic (polimerul), aflat în cantități mai mici contribuie la îmbunătățirea aderenței dintre piatra de ciment și agregate și dintre particulele de ciment, formând împreună un liant complex. Rolul polimerului este de a crește rezistența la tracțiune, rezistența chimică și gradul de impermeabilitate al betonului precum și pentru a-i conferi acestuia o consistență bună, o densitate mai mare și o limită de curgere mai mică. Ca polimeri se utilizează latexuri sub formă de emulsii de tipul elastomerilor poliacetatului de vinil, copolimerului butadien-stiren, copolimerii acrilici, rășinile fenol-formaldehidice, rășinile fenolice solubile, rășinile epoxidice poliesterii etc. Se utilizează la executarea de lucrări speciale rezistente la abraziune și șoc mecanic (pardoseli, piste speciale), la obținerea de elemente din beton solicitate la încovoiere și tracțiune, la confecționarea de rezervoare și tuburi cu grad ridicat de impermeabilitate, dar și la lucrări de reparații datorită bunei aderențe la betonul vechi. Acest tip de beton trebuie protejat împotriva radiațiilor ultraviolete.

Exemplu:

- ✓ Podul pietonal din localitatea Lleida Spania, construit în anul 2004 peste linia de cale ferată de mare viteză Madrid-Barcelona, este confecționat din beton cu polimeri armat cu fibre de sticlă *high-tech* (GFRP).

7.3.7. Betoanele de protecție împotriva radiațiilor (betoanele antiradiante) se folosesc la construirea de centrale termonucleare care trebuie să asigure atât protecție împotriva radiațiilor (neutronilor, particulelor α , β , γ), specifice reactoarelor nucleare, dar să asigure și termoizolarea /conservarea energiei termice. Sunt betoane de mare densitate care conțin agregate foarte grele ($\rho_a \geq 4000 \text{ kg/m}^3$) naturale cum ar fi: baritina ($BaSO_4 > 90\%$), hematita, magnetita (Fe_3O_4), limonita ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), ilmenita ($FeTiO_3$), zgurele plumboase și artificiale ca: oțelul, ferofosforitul ($Fe_2O_3 - P_2O_3$) etc. La fabricarea acestor betoane se folosesc cimenturi care conțin și elemente chimice ca: bor,

bariu, litiu și hidrogen, ce au rolul de a capta neutronii și particulele care rezultă în urma reacțiilor nucleare din reactoare; raportul A/C este redus prin utilizarea superplastifiantilor, iar dozajul de ciment este peste 350 kg/m^3 .

7.3.8. Betoanele refractare sunt exploatate la temperaturi ridicate de aceea sunt obținute din ciment aluminos (cu un conținut de alumină $>40 \%$, vezi Modulul 5) și agregate refractare cum ar fi: șamota ușoară, perlitul expandat, diatomitul, corindonul, alumina tubulară, zgura granulată de furnal etc. Cele mai fabricate betoane refractare sunt: *betoanele refractare termoizolatoare* și *betoanele refractare dense*.

Betoanele refractare termoizolatoare se utilizează în locurile unde rolul lor funcțional este de izolare termică sau de micșorarea a greutății construcției propriu zise. Cimentul utilizat este cimentul refractar aluminos cu priză hidraulică, iar agregatele sunt, în general, materiale cu porozitate ridicată: șamota ușoară, alumina spumată, perlitul, vermiculitul, fibrele minerale etc.

Betoanele refractare dense prin întărire se transformă într-o piatră artificială, capabilă să mențină proprietățile mecanice prescrise, în condiții de exploatare, la temperaturi ridicate în timp. Se obțin din ciment refractar aluminos cu priză hidraulică și agregate provenite din materiale bine sinterizate (vitrificate) sau topite electric.

Betoanele refractare trebuie să aibă o întărire destul de rapidă, la temperatura ambiantă și să intre în regim prin pierderea treptată a rezistenței la încălzire apoi, să-și mărească rezistența la temperaturi mai ridicate ca urmare a sinterizării sale parțiale; să prezinte rezistență la șoc termic, refractaritate bună, contracție mică la uscare și ardere, să aibă un început de deformare sub sarcină suficient de mare.

Bibliografie



1. Ion Robu, Maria Popescu, *Matériaux de Construction*, 2, Institut de Construction, Bucharest, 1993.
2. Maria Georgescu, Annemarie Puri, *Chimia Lianților Anorganici*, Editura Politehnica Press, București, 2004, ISBN 973-8449-71-5.
3. Maria Popescu, *Materiale de Construcții*, Institutul de Construcții București, 1990.
4. Liliana Crăciunescu, Eugenia Popa, *Materiale de Construcție*, Editura Matrix Rom, București, 2004, ISBN 973-685-787-5.
5. Maria Gheorghe, *Materiale de Construcție*, Vol. 1, Editura Conspress, București, 2010, ISBN 978-973-100-107-4.
6. Ion Teoreanu, *Bazele tehnologiei lianților*, Editura Tehnică, București, 1975.
7. Iosif Buchman, *Betoane speciale*, Timișoara, 2009, <http://www.scribd.com/doc/42660590/Iosif-Buchman-Betoane-Speciale>
8. Enciclopedia Wikipedia http://ro.wikipedia.org/wiki/Pagina_principal%C4%83
9. <http://www.pedelta.es/en/Proyectos/Puentes/Peatonales/GFRP-lleida>



Test de autoevaluare – MODULUL 7

Completați spațiile libere:

1. **Tratamentele termice sunt procedee de accelerare a întăririi betonului prin încălzirea betonului.....la scurt timp după confectionare.**
2. **Tratamentul termic fără presiune (aburire) constă în încălzirea elementelor din beton, proaspăt confectionate, cu abur fără presiune, la temperaturi sub.....**
3. **Tratamentul termic cu presiune (autoclavizare) constă în încălzirea elementelor de beton prefabricate în recipiente cilindrice, închise etanș, numite cu ajutorul vaporilor de apă la temperatura de și presiunea de**
4. **La obținerea betoanelor prin autoclavizare se recomandă utilizarea cimenturilor cu un conținut ridicat de și cu adaosuri**

Bifați căsuța corespunzătoare:

5. **Betoanele ușoare sunt betoanele cu densitatea aparentă sub 2000 kg/m^3 .**
Adevărat ☐ Fals ☐
6. **Betoanele macroporoase, obținute cu agregate poroase, datorită porozității deschise, au o mare permeabilitate la apă.**
Adevărat ☐ Fals ☐
7. **Betoanele celulare au densitatea aparentă, $\rho_a > 1200 \text{ kg/m}^3$.**
Adevărat ☐ Fals ☐
8. **Betonul autocompactant (BAC) este un beton fluid, obținut cu ajutorul unor aditivi superfluidizanți sau aditivi mari reducători de apă.**
Adevărat ☐ Fals ☐





Răspunsuri

1. Cu abur cu /sau fără presiune (pag. 2)
2. 100°C (pag. 2)
3. Autoclave, 180°C , 10 bari; (pag. 2)
4. C_3S , silicioase active (pag.3)
5. Adevărat (pag. 3)
6. Adevărat (pag. 6)
7. Fals (pag. 7)
8. Adevărat (pag 11)

