



UNIUNEA EUROPEANĂ



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



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
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

Laborator 4: Stabilirea compoziției betonului. Exemplu de calcul

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

Scop

Laboratorul 4 de Materiale de Instalații vă oferă posibilitatea de a stabili compoziția unui beton uzual, exploatat în aer cu umiditate redusă, fără condiții speciale de durabilitate, de clasă medie de rezistență (C16/20). Pentru aceasta veți putea să vă familiarizați cu recomandările prevăzute de normativul european NE 012/2-2010 care precizează, printre altele, că stabilirea compoziției betonului se face pe bază de încercări preliminare, inclusiv pe baza recomandărilor prevăzute de NE 012/1-2007 adică, de codul de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și precomprimat. Partea I: Producerea betonului.



Obiective

La finalul Laboratorului 4 veți putea să:



1. Calculați compoziția unui beton de clasă medie de rezistență C16/20 exploatat în aer cu umiditate redusă, fără condiții speciale de durabilitate.

Durată

Durata medie de studiu și lucru în grup: 2 ore.





4.1 Noțiuni teoretice

Betonul este un material compozit (multicomponent) obținut din amestecuri, bine omogenizate, de ciment, agregate, apă și aditivi care, după întărirea cimentului, are aspectul unui conglomerat artificial cu rezistențe mecanice și fizico chimice.

Betonul proaspăt reprezintă starea betonului din momentul amestecării componentilor până la punerea lui în lucrare, care trebuie să se efectueze înainte de începutul prizei cimentului.

Betonul întărit reprezintă beton în stare solidă, care a obținut o rezistență semnificativă prin întărirea cimentului; acesta este alcătuit dintr-o matrice de piatră de ciment în care sunt incluse granulele de agregat.

La stabilirea compoziției unui beton proaspăt se urmărește *determinarea cantităților de materiale necesare pentru prepararea unui m^3 de beton*, astfel încât să se asigure obținerea *consistenței, rezistențelor mecanice și durabilității*, în condițiile utilizării unui dozaj economic de ciment.

Normativul NE 012/2-2010 precizează că stabilirea compoziției betonului se face pe bază de încercări preliminare, inclusiv pe baza recomandărilor prevăzute în NE 012/1-2007.

Multă vreme s-a considerat betonul ca fiind un material *durabil în sine*, dar proba timpului a arătat existența unor degradări premature a construcțiilor, în relație directă cu condițiile de mediu. De aceea este necesar ca *betonul să fie proiectat, inclusiv din punct de vedere al compoziției*, în funcție de condițiile de mediu din exploatare.

Rezistența mecanică și durabilitatea sunt două proprietăți importante ale betonului întărit de care trebuie să se țină seama încă din etapa de proiectare a compoziției betonului.

Durabilitatea betonului este proprietatea acestuia de a rezista acțiunilor climatice, chimice, de abraziune sau oricăror altor procese de deteriorare; un beton durabil este acela care-și păstrează forma inițială, caracteristicile și funcționalitatea în condițiile de mediu pentru care a fost proiectat. De exemplu, un beton proiectat să reziste unor medii cu agresivitate chimică nu va fi adecvat pentru medii caracterizate de cicluri de îngheț-dezgheț și agenți de dezghețare.

Durabilitatea betonului definește deci un ansamblu de cerințe prin care, pe timpul duratei de serviciu, betonul să-și îndeplinească funcționalitatea (asigurarea rezistenței și stabilității, fără pierderi semnificative, în condițiile unei mentenanțe uzuale).

Stabilirea (proiectarea, formularea) compoziției unui beton se bazează pe obținerea unui beton proaspăt și întărit, care trebuie să aibă o *consistență potrivită* punerii cu ușurință în lucrare, să fie *rezistent*, conform clasei de rezistență, și să fie *durabil* la acțiunea agenților agresivi din mediu.

Aceste calități pot fi obținute printr-o selectare atentă a materialelor componente și o dozare potrivită, stabilită prin experimentări în laborator.

Utilizarea aditivilor în compoziția betonului a devenit obligatorie deoarece:

- pot fi modelate anumite proprietăți ale betonului proaspăt și întărit (proprietăți bune de curgere, tendință redusă de segregare, creșterea durabilității etc.),





- pot fi menținute aceste proprietăți în timpul amestecării, transportului, punerii în operă și tratării ulterioare a betonului;

- reduce costurile de manoperă (costul energiei pentru compactare, dozajul de ciment etc.).

Aditivii sunt produse chimice, organice sau anorganice, care se adaugă în betonul proaspăt (0,1-5%, față de ciment), în vederea obținerii unui *beton performant*.

Betonului proaspăt aditivii plastifianți și superplastifianți îi îmbunătățesc *plasticitatea, fluidizându-l* (proprietăți bune de turnare/compactare la rapoarte reduse A/C, fără să-l segreghe), cu obținerea unui beton pompabil, eventual autocompactant, ce se pune în operă rapid (fără vibrație) și cu costuri reduse la manoperă.

În *betonul întărit* rolul aditivilor este multiplu:

- acceleratori de priză și de întărire;
- încetinitori de priză și de întărire;
- impermeabilizanți la apă;
- antrenori de aer;
- antigel;
- inhibitori antibacterieni etc.

În vederea îmbunătățirii consistenței betonului proaspăt și a caracteristicilor de rezistență și de durabilitate ale betonului întărit, la prepararea betonului, NE 012/2-2010 recomandă utilizarea unuia din următoarele tipuri de aditivi:

- aditiv plastifiant/antrenor de aer pentru betoane de clasă mai mică de C 30/37;

- aditiv superplastifiant pentru betoane de clasă egală sau mai mare de C 35/45;

- aditiv întârziator în cazurile în care, din diferite motive (transport, glisare pe timp călduros, adoptarea unor viteze mici de glisare), se depășește durata limită admisă între turnarea a două straturi succesive sau se întrevide realizarea unei rezistențe mai mari de $0,2 \text{ N/mm}^2$ la desprinderea de cofraj.

Aditivii trebuie să aibă un conținut limitat în cloruri ($\leq 0,1\%$) și alcalii ($\leq 0,5\%$, exprimate în echivalent Na_2O), pentru a nu coroda armătura și respectiv a nu ataca suprafața agregatelor, prin reacții alcalii-agregate.

Aditivii sunt comercializați ca produse brevetate de aceea, din motive comerciale, compoziția lor reală nu este dată. Proporția de aditiv este recomandată de producător, în urma încercărilor din laborator, dar ea trebuie ajustată de utilizator în funcție de materialele concrete folosite.

Nu întotdeauna mecanismul de acțiune al aditivilor este complet explicat.

Aditivii sunt în stare lichidă (cei mai utilizați) și solidă. Aditivii lichizi, diluați în apa de amestecare, sunt adăugați în beton, de obicei, cu cantitatea finală de apă; adăugarea se face fie în timpul amestecării componentelor, fie în timpul unei amestecări suplimentare, înainte de punere în operă a betonului.



4.2. Date necesare stabilirii compoziției betonului

Pentru stabilirea compoziției betonului trebuie cunoscute:

- caracteristicile fizico-mecanice (clasa de rezistență);
- condițiile de mediu din exploatare (clasa de expunere);
- caracteristicile materialelor utilizate la prepararea betonului (ciment, apă, agregate, aditivi);
- condițiile de punere în operă, de întărire și de exploatare ulterioară;
- dimensiunea minimă a secțiunii elementelor din beton și distanța minimă dintre barele de armătură (gradul de armare).

4.2.1. Stabilirea tipului de beton de preparat (clasa de rezistență, clasa de expunere și clasa de consistență)

a) Rezistența mecanică (clasa de rezistență)

Rezistența caracteristică (f_{ck}) a betonului este rezistența minimă la compresiune, determinată la 28 de zile, exprimată în MPa, pe epruvete cilindrice ($f_{ck\ cil}$) și/sau cubice ($f_{ck\ cub}$); aceasta clasifică betonul pe **clase de rezistență** (tab. 4.1). Valorile f_{ck} sunt garantate cu o probabilitate de 95%, adică doar 5% din rezultate se pot situa sub f_{ck} .

Cilindrul are diametrul de 150 mm și înălțimea de 300 mm, iar cubul are latura de 150 mm; raportul rezistențelor $f_{ck\ cil}/f_{ck\ cub} \cong 0,8$ (tab. 4.1).

Rezistența caracteristică este rezistența la compresiune determinată în anumite condiții experimentale, impuse de standard (o anumită viteză de încărcare, perpendicular pe direcția de turnare - pentru cub), pe epruvete păstrate 1 zi (maximum 3 zile) în tipar și apoi până la 28 de zile sub apă sau în aer umed (cu o umiditate relativă de 95%), SR EN 12390-2.

Se pot utiliza și epruvete de alte dimensiuni; rezistențele lor la compresiune pot fi echivalate cu rezistența pe cub cu latura de 150 mm, pe baza unor relații de echivalență, fără ca aceste rezultate să fie utilizate pentru determinarea clasei betonului.

Rezistența caracteristică a betonului este stabilită inițial de fabricantul de beton, pe baza a 35 de încercări; betonul proaspăt este prelevat într-o perioadă mai mare de 3 luni. Apoi fabrica continuă încercările, în perioada de producție, pentru controlul de conformitate.

Compoziția este acceptată pentru clasa aleasă dacă rezistența medie (f_{cm}), la 28 de zile, este superioară rezistenței caracteristice (f_{ck}), cu o marjă de siguranță de minimum 6 MPa (stațiile de betoane foarte performante obțin rezistența caracteristică cu $f_{cm} \geq f_{ck} + 6$, iar cele mai puțin performante cu o marjă de siguranță mai mare, adică $f_{cm} \geq f_{ck} + (10-12)$).

Betoanele de clasă superioară clasei C50/60 sunt considerate betoane de înaltă rezistență.

Tabelul 4.1. Clasele de rezistență la compresiune pentru betoane normale^{a)} și betoane grele^{b)}

Clase de rezistență la compresiune	Rezistența caracteristică minimă pe cilindri, $f_{ck,cil}$ N/mm ²	Rezistența caracteristică minimă pe cuburi, $f_{ck,cub}$ N/mm ²
C8/10	8	10
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
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

- a) beton normal- masa volumică, după uscare în etuvă, cuprinsă între 2000 și 2600 kg/m³;
b) beton greu – masa volumică, după uscare în etuvă > 2600 kg/m³

b) Durabilitatea betonului (clasa de expunere)

Multe betoane sunt expuse la diferite acțiuni agresive; pentru acestea este stabilită compoziția în funcție de clasa de expunere.

Notăția utilizată pentru identificarea ***claselor de expunere*** este formată din două litere și o cifră. Prima literă este X (de la “eXposure”) urmată de o alta care se referă la mecanismul de degradare considerat, astfel:

C de la “Carbonation” – carbonatare,
D de la “Deicing salt” – sare pentru dezgheț,
S de la “Sea water” – apă de mare,
F de la “Frost” – îngheț,
A de la “Aggressive environment”- mediu agresiv chimic,
M de la “Mechanical abrasion” – atac mecanic prin abraziune.

A doua literă este urmată de o cifră care se referă la nivelul de umiditate pentru XC, XD, XS și XF (de exemplu, XC1, XC2, XC3, XC4) și la nivelul de agresivitate pentru XA și XM (de exemplu, XA1, XA2, XA3), tab. 4.2.

Atacul chimic, de exemplu, este produs de apele ce conțin SO₄⁻², pH (acid), CO₂, NH₄⁺, Mg⁺², tab 4.2.



Din tab. 4.2 se constată creșterea clasei de expunere de la XA1 la XA3 pe măsură ce agenții chimici agresivi au concentrații din ce în ce mai mari; betonul potrivit trebuie să fie cât mai compact (A/C din ce în ce mai mic și cu un dozaj crescut de ciment) și de rezistență crescută.

Tabelul 4.2. Valorile limită pentru clasele de expunere la atacul chimic al apelor de suprafață și subterane și compoziția recomandată a betonului

Caracteristici chimice	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ , mg/L	≥ 200 și ≤ 600	> 600 și ≤ 3000	> 3000 și ≤ 6000
pH	≤ 6,5 și ≥ 5,5	< 5,5 și ≥ 4,5	< 4,5 și ≥ 4
CO ₂ agresiv, mg/L	≥ 15 și ≤ 40	> 40 și ≤ 100	> 100 până la saturație
NH ₄ ⁺ , mg/L	≥ 15 și ≤ 30	> 30 și ≤ 60	> 60 și ≤ 100
Mg ²⁺ , mg/L	≥ 300 și ≤ 1000	> 1000 și ≤ 3000	> 3000 până la saturație
Compoziția recomandată betonului			
A/C maxim	0,55	0,50	0,45
Dozaj minim de ciment (C, kg/m ³ beton)	300	320	360
Clasa minimă de beton	C30/37		C35/45

c) Clasa de consistență a betonului

Consistența betonului este proprietatea de bază a betonului proaspăt ce reprezintă aptitudinea acestuia de a se deforma, pentru a umple bine cofrajele și a îngloba armăturile, cu un consum minim de energie, și de a-și păstra omogenitatea la transport și la punere în lucrare, fără să segegre. Clasele de consistență sunt prezentate în lucrarea nr.5.

Se propune obținere unui beton proaspăt de *consistență plastică*, clasa **S3** (tab. 4.3), exprimată prin tasare (100-150 mm), ce poate fi pus în operă cu un consum mic de energie.

Tabelul 4.3. Clase de tasare ("Slump")

Clasa	Tasarea, în mm
S1	de la 10 până la 40
S2	de la 50 până la 90
S3	de la 100 până la 150
S4	de la 160 până la 210
S5	≥ 220

Consistența se stabilește în funcție de: dimensiunea minimă a secțiunii elementului de beton, distanța minimă dintre barele de armătură, metoda de compactare etc.

Dacă grosimea secțiunii este mică, cu colțuri sau cu părți greu accesibile, betonul trebuie să aibă o consistență mare (plastic sau fluid) astfel încât să se poată asigura o bună omogenitate cu un consum rezonabil de energie.

O proprietate strâns legată de consistență este coeziunea betonului, cea care-l face să nu segegre. Această proprietate depinde de proporția de particule fine din amestec, în special la amestecurile sărace în ciment; de aceea trebuie acordată o mare atenție granulozității agregatului și în particular fracțiunilor foarte fine.



Betonul ales, în această lucrare de laborator, este un beton uzual, exploatat în aer cu umiditate redusă, fără condiții speciale de durabilitate, de clasă medie de rezistență (C16/20), cu un ciment de clasă mică de rezistență, fin măcinat (CEM IIAS32,5R), cu un dozaj economic de ciment, cu un aditiv superfluidizant și accelerator de priză (Zeta concentrat).

Clasa **C16/20** este stabilită în funcție de mărimea solicitării la care este supus betonul.

4.2.2. Alegerea componentelor betonului

a) Alegerea tipului de ciment se face în funcție de condițiile din execuție și exploatare:

- lucrări executate în condiții normale de temperatură (5 - 30⁰C), pe timp friguros sau călduros;
 - turnare de elemente masive;
 - betoane exploatate în ape cu agenți agresivi (cloruri, sulfați, săruri de dezghețare etc).
- Pentru condiții normale, alegerea tipului de ciment se face conform tab. 4.4.

Betonul studiat în lucrarea de față este exploatat în aer (cu umiditate redusă) și în condiții normale de temperatură, de aceea vom alege cimentul **CEM IIA-S 32,5 R**.

Pentru betoane exploatate în condiții diferite decât cele normale, de exemplu, sunt recomandate anumite tipuri de cimenturi:

- cimenturi hidrotehnice (notate cu H, de exemplu H II A-S), pentru elemente masive;
- cimenturi rezistente la sulfați (notate cu SR, de exemplu SR II A-S), pentru betoanele exploatate în apă cu agresiune sulfatică;
- ciment cu termicitate ridicată, pentru betoane turnate pe timp friguros (sub 5 ⁰C);
- ciment unitar (CEM I), pentru betoane rezistente la îngheț-dezgheț etc.

Tabelul 4.4. Alegerea tipului de ciment pentru condiții normale de execuție și exploatare ale betonului (NE 012-1/2007)

Clasa de rezistență a cimentului	CEM I	CEM IIA	CEM IIB	CEM IIIA
32,5 N sau R		Viteza medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)	Viteza medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)	Viteza medie de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă până la C25/30)
42,5 N sau R	Viteza mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C25/30)	Viteza mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C25/30)	Viteza mare de atingere a rezistenței la 28 zile (beton de clasă de peste C25/30)	
52,5 N sau R	Viteză foarte mare de atingere a rezistenței la 28 zile			

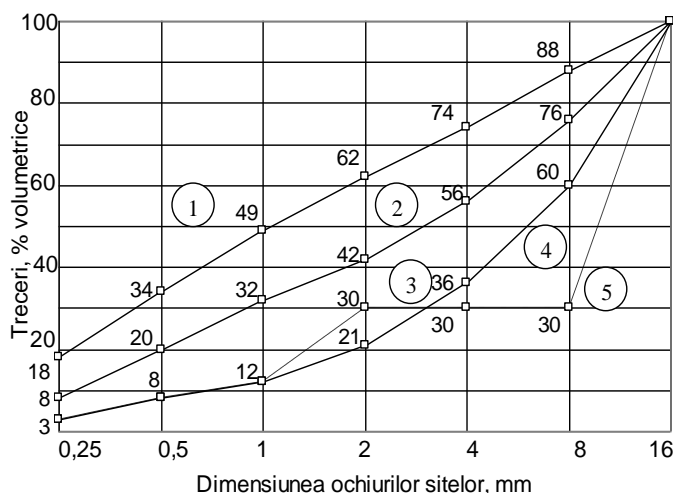


b) Alegerea agregatelor

Dimensiunea maximă a granulelor de agregat de balastieră (D_{\max}) este selecționată astfel:

- cu 5 mm mai mică decât distanța dintre armături;
- $\leq 1/3,5$ din dimensiunea cea mai mică a elementului de beton, cu excepția plăcilor;
- $\leq 1/3$ din grosimea plăcilor din beton sau din grosimea stratului de beton ce acoperă armătura;
- $< 1/6$ din grosimea elementului de beton care se toarnă în cofraj glisant (NE 012-2/2010).

Cu betonul proaspăt din lucrarea de față se vor turna mai multe epruvete, iar cea mai mică dintre ele este un cub cu latura de 100 mm; conform condiției $D_{\max} \leq 1/3,5$ din 100 mm, alegerea lui D_{\max} din seria standard (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63) este de **16 mm**.



Clasa betonului studiat (C16/20) este o clasă de rezistență medie și de aceea se va folosi un **agregat de balastieră** cu o curbă de granulozitate din domeniul **favorabil** (zona 3, fig. 4.1).

Figura 4.1. Zone de granulozitate pentru dimensiunea maximă a granulelor de 16 mm

- 1, 5. Zone defavorabile
2. Zonă utilizabilă
3. Zonă favorabilă
4. Zonă favorabilă pentru compoziție granulometrică discontinuă

c) Alegerea aditivului. Acesta se alege în funcție de proprietățile pe care se dorește să le aibă betonul proaspăt și întărit (SR EN 934-2). De exemplu, se propune să se prepare un beton proaspăt uzual, *fluidizat*, nesegregabil, ce poate fi pus în lucrare prin pompare, folosit la elemente structurale, cu armare densă și geometrie complexă și cu o *accelerare a începutul de priză*, care să permită betonări pe timp de iarnă (în condiții de temperaturi exterioare scăzute ($\approx 10^\circ\text{C}$)), sau o decofrare rapidă, datorită obținerii unor rezistențe inițiale mari (în primele zile). De aceea, s-a ales aditivul Zeta concentrat, care *fluidizează* betonul și *accelerează* priza cimentului.

Moleculele lungi de aditiv Zeta, solubile în apă (conțin dinaftil metan sulfonat de sodiu), sunt adsorbite la suprafața particulelor de ciment, împiedicându-le aglomerarea, prin încărcarea suprafeței cu sarcină electrică negativă și/sau prin împiedicare sterică.

d) Alegerea raportului apă/ciment (A/C) și a dozajului de ciment (C)

Raportul maxim A/C și dozajul minim de ciment (C) sunt stabilite **experimental** iar valorile lor orientative sunt centralizate sub forma unor tabele, pentru o *compoziție preliminară*, în funcție de tipul de beton pe care vrem să-l obținem, în strânsă legătură cu aditivul ales. Astfel, pentru betonul ales în lucrare putem folosi, de exemplu, datele din tabelul 4.5.

Compoziția va deveni *definitivă* după verificarea în laborator a consistenței alese pentru betonul proaspăt (**S3**, în cazul ales) și a rezistenței la compresiune pentru betonul întărit: $f_{cm} \geq f_{ck} + 6$.

Tabelul 4.5. Valorile experimentale recomandate de fabricantul de aditiv pentru stabilirea compoziției unui beton exploatat în aer, cu ciment CEM IIA-S 32,5 R și cu aditiv ZETA (1% față de ciment)

Clasa beton	Clasa de consistență	Agregat D_{min}/D_{max}	Dozaj ciment (C) kg/m^3	Raport A/C
C16/20	S2	0/32	260	0,67
C16/20	S3	0/16	280	0,70
C20/25	S2	0/32	280	0,60
C20/25	S3	0/16	300	0,52
C25/30	S2	0/32	320	0,52
C25/30	S3	0/16	300	0,52
C30/37	S2	0/32	370	0,44
C30/37	S3	0/16	380	0,43

Conform tabelului 4.5. valorile recomandate ale raportului maxim A/C și dozajului minim de ciment sunt **0,70** și respectiv **C=280 kg/m³**.

Pentru betoane expuse la agenți agresivi, în funcție de clasa de expunere a betonului, sunt date tabele corespunzătoare, ca de exemplu tab. 4.2 (NE 012-1/2007).

În concluzie, datele selecționate pentru stabilirea compoziției betonului sunt:

- clasa de rezistență a betonului **C16/20**;
- ciment **CEM II A-S 32,5 R** (ciment cu adaos de zgură ("Slag") și de clasă 32,5 MPa);
- **raport A/C = 0,70**;
- **dozajul de ciment 280 kg ciment/m³ beton**;
- **agregat de balastieră**, cu $D_{max} = 16 \text{ mm}$, și cu o curbă de granulozitate din **zona 3**;
- consistența betonului proaspăt **S3** și $\rho_{a \text{ beton}} \cong 2,4 \text{ kg/dm}^3$ (se determină experimental);.

La aceste date se mai adaugă:

- volumul de beton de preparat = 20 dm^3 ;
- $\rho_{\text{ciment}} = 3 \text{ kg/dm}^3$;
- $\rho_{\text{agregat}} = 2,7 \text{ kg/dm}^3$;
- $\rho_{\text{aditiv}} = 1,18 \text{ kg/dm}^3$;
- porozitatea = 2 %.

4.3. Calculul dozajelor componentelor

a) Dozajul de apă, A (L apă/m³ beton)

Cunoscând raportul $A/C = 0,70$ și dozajul de ciment $C = 280$ kg ciment/m³ beton, calculăm dozajul de apă $A = C \cdot \frac{A}{C} = 280 \cdot 0,70$, L apă/m³ beton.

b) Dozajul de aditiv, Ad , (kg soluție concentrată/m³ beton)

Aditivul, conform recomandării fabricantului, se adaugă 1%, adică 1 kg soluție concentrată față de 100 kg ciment):

$$Ad = \frac{280}{100}, \text{ kg/m}^3 \text{ beton sau } \frac{280}{100 \cdot 1,18}, \text{ L/m}^3 \text{ beton}$$

c) Dozajul de agregate, Agr (kg agregat/m³ beton)

Calculul se face pe baza principiului compactității maxime, ceea ce presupune că 1000 dm³ (1 m³) de beton vor fi umpluți cu: ciment, apă, aditiv, agregate și pori (P), adică:

$$1000 = V_{\text{cim}} + V_{\text{apă}} + V_{\text{agr}} + V_{\text{ad}} + P \quad \text{unde: } P = \frac{2}{100} \cdot 1000 = 20 \text{ dm}^3.$$

Exprimăm relația anterioară în dozaje masice utilizând densitățile date:

$$\frac{Agr}{\rho_{\text{agr}}} = 1000 - \frac{C}{\rho_{\text{cim}}} - \frac{A}{\rho_{\text{apa}}} - \frac{Ad}{\rho_{\text{ad}}} - P;$$

înlocuind valorile densităților date se obține dozajul de agregate:

$$Agr = 2,7 \left(1000 - \frac{C}{3} - \frac{A}{1} - \frac{Ad}{1,18} - 20 \right).$$

4.4. Calculul cantităților de componente necesari pentru 20 dm³ beton

Cunoscând dozajele (C, A, Agr, Ad, pentru 1000 dm³ beton) vom calcula **cantitățile** necesare pentru 20 dm³ beton:

$$\text{Ciment (kg/20 dm}^3) = \frac{C}{50}, \quad \text{Apa (L/20 dm}^3) = \frac{A}{50},$$

$$\text{Aditiv (kg soluție/20 dm}^3) = \frac{Ad}{50} \quad \text{sau L soluție/20 dm}^3 = \frac{Ad}{50 \cdot 1,18}$$

$$\text{Agregate (kg/20dm}^3) = \frac{Agr}{50}.$$

Agregatul, găsit prin calcul, va fi exprimat pe sorturi granulare, folosind o curbă de granulozitate, trasată în zona favorabilă (zona 3, fig. 4.1).

- cantitatea de ciment, -----kg,
- cantitatea de apă, -----L;
- cantitatea de aditiv,-----L;
- cantitatea de agregate, kg, pe sorturi astfel:

	- 0 - 4 -----kg;
	- 4 - 8 -----kg;
	- 8 - 16 -----kg.

- Se va stabili clasa de rezistență (C16/20), clasa de expunere (fără condiții speciale de durabilitate) și clasa de consistență (S₃) pentru tipul de beton ales (uzual) urmând pașii de la § 4.2.1.
- Se vor alege componenții betonului: tipul de ciment (CEM IIA-S 32,5), agregatele (agregate de balastieră cu D_{max} 16 mm și cu o curbă de granulozitate din domeniul favorabil), aditivul (Zeta concentrat), raportul A/C (0,7) și dozajul de ciment economic (280 kg/m³ beton) conform § 4.2.2
- Se vor face calculele corespunzătoare dozajelor componentilor: apă, aditivi, agregate pentru 1 m³ de beton conform § 4.3, cimentul fiind ales din tabelul 4.5
- Se va face calcul cantităților de componenți necesari pentru 20 dm³ de beton conform § 4.4.

- Rezultatele obținute pentru stabilirea compoziție unui beton de clasă C16/20 vor fi discutate și comentate împreună cu profesorul coordonator de laborator;
- Cantitățile calculate pentru cei 20 dm³ beton vor fi utilizate ulterior pentru prepararea, în laborator (vezi Laborator 5), a unui beton de clasă C16/20;
- Urmăriți evaluarea profesorului coordonator cu privire la activitățile desfășurate de dumneavoastră, în cadrul laboratorului, precum și transmiterea concluziilor și recomandărilor.

✓ S-a calculat și comentat compoziția unui beton de clasă C16/20 respectându-se indicațiile date de NE 012/2-2010 și NE 012/1-2007.

1. Popescu, M., Mitu, C., Meliță, L., *Materiale de Instalații – Lucrări de laborator*, Editura Conspress, București, 2012, ISBN 978-973-100-199-9, pag. 30-37.