

*Serghei Andrievschi, Valeriu Lungu, Alexandr Lozan*

## **Rezistența la compresiune a betonului preparat în malaxoarele cu bare**

### **Rezumat**

*Utilizarea malaxoarelor cu amestecare forțată cu organe de amestecare în formă de bare conduce la intensificarea procesului de amestecare, micșorarea duratei de amestecare și obținerea unui amestec omogen de înaltă calitate. Experiențele efectuate au demonstrat că rezistența la compresiune a betonului mai mare decât cea reglementată de standard se obține când durata de amestecare în stare uscată constituie 5,5 s, iar împreună cu apa – 8 s.*

Amestecarea componentelor mixturilor de mortar și de beton care sunt unele din materialele de bază în construcție, proiectarea și confecționarea malaxoarelor se bazează pe principiile tradiționale, și anume pe acțiunea volumetrică a organului de amestecare în formă de paletă asupra mediului de lucru. Paletele formează șuvoaie de material în interiorul cărora amestecarea nu se petrece – toată masa de material din fața paletelor este împinsă înainte sau înainte și lateral. Din această cauză cheltuielile de energie în procesul amestecării sunt neeficiente, pentru obținerea calității necesare a amestecului durata de amestecare se majorează semnificativ.

Intensificarea proceselor de amestecare și creșterea gradului de omogenizare a amestecului, sunt obținute nu datorită majorării consumului de energie, ci prin utilizarea unui nou principiu de amestecare folosind organe de amestecare în formă de bare care asigură în procesul rotirii divizarea forțată a componentelor într-un număr mare de șuvoaie și îmbinarea ulterioară în viteză a lor. Repetarea de nenumărate ori a acestor procese conduc la migrația particulelor atât în lungul malaxorului cât și în direcție radială în sensuri opuse.

Majorarea gradului de omogenizare a amestecului conduce la creșterea rezistenței mecanice a articolelor fabricate, la micșorarea consumului de lianți, la micșorarea devierii parametrilor mecanici și fizici ai articolelor și majorarea fiabilității lor.

Experiențele precedente au demonstrat că pentru obținerea omogenității înalte sunt necesare 3-5 rotații ale arborelui malaxorului [1, 2] cu șase rânduri longitudinale și 11 rânduri transversale de bare. În rezultatul efectuării a 5 rotații se obțin  $1,07 \cdot 10^{10}$  șuvoaie unice în planuri longitudinale și  $4,3 \cdot 10^9$  șuvoaie unice în planuri transversale. Concomitent particulele migrează de la peretele lateral de stânga spre peretele lateral de

dreapta și invers de 30 ori (15 de la peretele de stânga spre dreapta și 15 de la peretele de dreapta spre stânga). Afară de aceasta particulele migrează de la suprafața arborelui spre suprafața interioară a tobei și invers. La o rotație a arborelui au loc șase migrații depline. La 5 rotații au loc 15 migrații depline de la centru spre suprafața interioară a tobei și 15 în direcție inversă.

După cum vedem, teoretic putem obține un amestec extrem de omogen în orice punct al tobei.

S-a hotărât de a utiliza aceste malaxoare nu numai pentru prepararea amestecurilor uscate (nutrețuri combinate, amestecuri pentru confecționarea saboșilor, amestecuri de rumeguș), semiuscate (soluri pentru sere) ci și la prepararea betonului de construcție.

Pentru cercetări s-a adoptat rețeta care asigură obținerea betonului de marca 200 (ciment portland CEM II/B-LL 32.5R- 310 kg/m<sup>3</sup>; prundiș concasat 5/20 mm, 1098 kg/m<sup>3</sup>; nisip 0-5 mm (modul granulometric-2.1), 722 kg/m<sup>3</sup>; apă (potabila) 202 l/m<sup>3</sup>).

Volumul geometric al malaxorului cu bare constituie 25 dm<sup>3</sup>, coeficientul de umplere

s-a adoptat egal cu 0,36.

Factorii variabili au fost  $x_1$  – durata amestecării componentelor în stare uscată

$$\tilde{x}_1 = 5 - 10 - 15 s,$$

$x_2$  - durata amestecării componentelor împreună cu apa

$$\tilde{x}_2 = 5 - 10 - 15 s,$$

S-a utilizat planul D-optimal pentru doi factori [3] (tabelul de mai jos). În tabel valorile factorilor sunt prezentate în formă codificată (prin "+" este indicată valoarea codificată +1, iar prin "-" valoarea codificată -1).

Amestecul de beton preparat se turna în forme cu latura de 100 mm și se îndesa cu motovibratorul de tipul BM1 200/3 cu frecvența 3000 rot/min.

Încercările cuburilor de beton după 28 de zile s-au efectuat la presa cu capacitatea maximă de 3000 kN și cea minimă de 30 kN, viteza de încărcare 0,5 Mpa/s.

Omogenitatea dispersiilor rezultatelor experimentale s-a apreciat cu ajutorul criteriului Cochran

$$G_{\text{exp}} = \frac{s^2\{Y\}_{\text{max}} - 0,7938}{\sum s^2\{Y_i\} / 3,33} = 0,238 < G_t = 0,64 \quad (\alpha = 0,05; N = 9; f_1 = 1).$$

Vedem că criteriul G experimental este mai mic decât cel tabelar ceea ce înseamnă că dispersiile în tot planul sunt omogene.

Analiza de regresie a rezultatelor a condus la obținerea polinomului de gradul doi care descrie dependența rezistenței la compresiune a betonului de factorii  $x_1$  și  $x_2$ .

$$\hat{Y} = 21,51 + 0,99x_1 - 1,4x_2 - 0,795x_1x_2 - 1,07x_1^2 + 0,08x_2^2.$$

Nr. de ordine	$x_1$	$x_2$	Rezistența la compresiune, MPa			Dispersia $S_i^2\{Y\}$
			$Y_1$	$Y_2$	$\bar{Y}$	
1	+	+	19,52	19,44	19,48	0,0032
2	+	-	24,22	23,21	23,72	0,5101
3	-	-	19,65	20,19	19,92	0,1458
4	-	+	19,46	18,26	18,86	0,72
5	+	0	21,18	21,26	21,22	0,0032
6	-	0	19,19	20,23	19,71	0,5408
7	0	+	19,43	20,69	20,06	0,7938
8	0	-	23,45	22,91	23,18	0,1458
9	0	0	21,93	20,96	21,45	0,4705

$$\sum 3,33$$

Semnificația coeficienților de regresie s-a apreciat utilizând criteriul  $t$  Student. Valoarea tabelară a coeficientului  $t_{tab} = 2,26$  ( $\alpha = 0,05$ ;  $f_2 = 9$ ). Dispersia reproductibilității

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{N(m-1)} = \frac{3,33}{9(2-1)} = 0,37.$$

Abaterea medie pătratică  $S(Y) = 0,61$ . Abaterea medie pătratică a coeficienților de regresie:

$$S\{b_i\} = \sqrt{0,166667} \cdot S(Y) = 0,25;$$

$$S\{b_{ij}\} = \sqrt{0,25} \cdot S(Y) = 0,305;$$

$$S\{b_{ii}\} = \sqrt{0,5} \cdot S(Y) = 0,43;$$

$$S\{b_0\} = \sqrt{0,555555} \cdot S(Y) = 0,45;$$

Criteriul  $t$  s-a determinat cu relația

$$t_i = \frac{b_i}{S\{b_i\}}.$$

Valorile lui  $t$ :  $t_1=3,96 > t_{tab} = 2,26$ ;  $t_2=5,6 > t_{tab} = 2,26$ ;  $t_{12}=2,61 > t_{tab} = 2,26$ ;

$t_{11}=2,49 > t_{tab} = 2,26$ ;  $t_{22}=0,19 < t_{tab} = 2,26$ ;  $t_0=47,8 > t_{tab} = 2,26$ .

Vedem că toți coeficienții, afară de efectul pătratic al factorului  $x_2$ , sunt semnificativi. După eliminarea lui  $b_{22}$  ecuația de regresie va fi următoarea

$$\hat{Y} = 21,51 + 0,99x_1 - 1,4x_2 - 0,795x_1x_2 - 1,07x_1^2.$$

Aprecierea corespunderii modelului obținut cu procesul cercetat s-a efectuat utilizând criteriul Fischer

$$F_{exp} = \frac{S_{necor}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{0,0929}{0,37} = 0,25,$$

unde  $S_{necor}^2$  – dispersia necorespunderii.

$$S_{necor}^2 = \frac{SS_{rem}}{f_{necor}} = \frac{0,2788}{3} = 0,0929; SS_{rem} = \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 = 0,2788;$$

$$f_{necor} = N - k - 1 = 9 - 5 - 1 = 3; f_2 = N(m-1) = 9(2-1)=9;$$

Valoarea tabelară a coeficientului Fischer  $F_{lab} = 4,25$  ( $\alpha = 0,05$ ;  $f_2 = 9$ ;  $f_{necor} = 3$ ). Deoarece valoarea experimentală a criteriului F este mai mică decât valoarea lui tabelară facem concluzia că modelul obținut descrie adecvat procesul cercetat.

S-au construit graficele care descriu dependențele rezistenței la compresiune a betonului de durata de amestecare în stare uscată (factorul  $x_1$ ) pentru  $x_2 = 0$  și de durata de amestecare împreună cu apa (factorul  $x_2$ ) pentru  $x_1 = 0$ . S-au construit de asemenea izoliniile rezistenței la compresiune care demonstrează cum se schimbă valoarea rezistenței la varierea concomitentă a factorilor.

La majorarea duratei de amestecare a componentelor în stare uscată  $x_1$  (fig.1) pentru durata de amestecare umedă constantă și egală cu 10 s observăm că rezistența la compresiune a betonului crește și atinge valoarea maximă de 21,73 MPa la durata de 12 s, apoi puțin se micșorează la majorarea de mai departe a lui  $x_1$ . Majorarea duratei de amestecare împreună cu apa  $x_2$  (pentru  $x_1 = const$  și egal cu 10 s) conduce la micșorarea rezistenței betonului, dependența fiind liniară. Totuși, valoarea minimă depășește valoarea rezistenței reglementate de GOST, și anume 19,65 MPa.

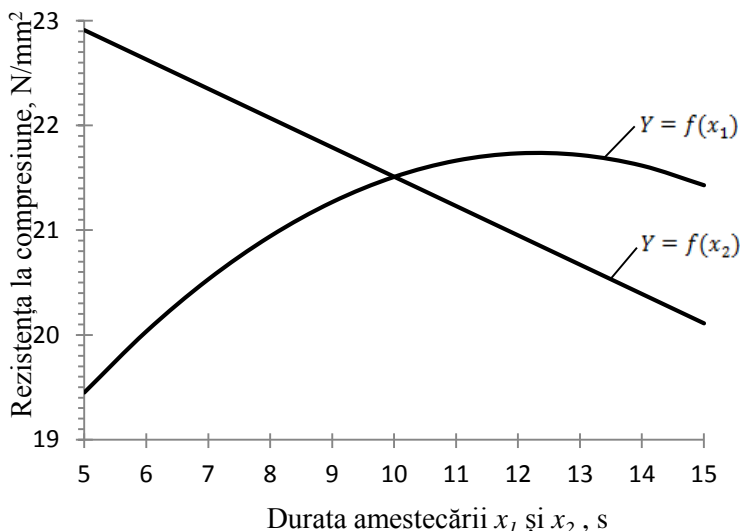


Fig. 1. Dependența rezistenței la compresiune de durata de amestecare uscată  $x_1$  și de durata amestecării împreună cu apa  $x_2$

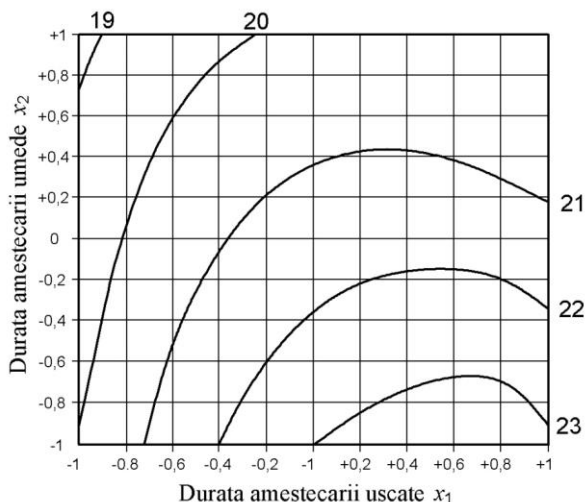


Fig. 2. Izoliniile rezistenței la compresiune a betonului în MPa

Majoritatea datelor experimentale (fig.2) depășesc valoarea prescrisă de standard, iar valoarea maximă a rezistenței se obține pentru următoarele valori ale factorilor:  $\tilde{x}_1 = 13,5$  s și  $\tilde{x}_2 = 5$  s.

Rezultatele experiențelor au demonstrat că amestecarea în stare uscată a componentelor este factorul dominant de care depinde omogenitatea amestecului și, deci rezistența la compresiune a betonului. Amestecarea împreună cu apa trebuie să asigure umezirea tuturor particulelor – proces care în malaxorul cu bare are loc într-un timp foarte scurt.

### Concluzii:

1. Malaxorul cu organe de lucru în formă de bare asigură o omogenitate înaltă a amestecului care garantează creșterea rezistenței betonului la compresiune cu 17% în comparație cu rezistența de 19,65 MPa reglementată de standard.

2. Regimul de preparare a amestecului de beton care garantează obținerea betonului cu rezistență la compresiune mai mare de 19,65 MPa este următorul: durata amestecării componentelor în stare uscată – 5,5 s; durata amestecării împreună cu apa – 8 s. Numărul total de șuvoaie unice care se formează în planurile longitudinale și cele transversale pe parcursul a 13,5 s constituie  $1,45 \cdot 10^{25}$ , numărul de migrații depline în lungul malaxorului tot în acel răstimp este 81, în direcție radială au loc tot 81 de migrații depline.

## **Bibliografie**

1. Andrievschi Serghei, Danița Andrei. Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție al Republicii Moldova nr.3448, BOPI nr. 12/2007, 2007.12.31
2. Andrievschi Serghei, Lozan Alexandr. Malaxor cu acțiune ciclică. Brevet de invenție de scurtă durată al Republicii Moldova nr.583, BOPI nr. 1/2013, 2013.01.31
3. Каталог планов второго порядка/Голикова Т.И., Панченко Л. А., Фридман М. З. –М.: Изд-во Моск, ун-та, 1974. Ч.1 - 1974.-387 с, Ч.2.-1974.-384 с.