

Cercetari experimentale privind utilizarea adaosurilor de zgura granulata de furnal in beton. Determinarea experimentală a valorii coeficientului k. Partea 1

Experimental research on the use of granulated blast furnace slag additives in concrete. Experimental determination of the k coefficient value. Part 1

Dan Paul Georgescu¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții București, România
B-dul Lacul Tei nr.124, Sector 2, București, România
E-mail: dgeorgescu@utcb.ro

Rezumat: In aceasta lucrare se prezinta baza teoretica si determinarile experimentale desfasurate la UTCB in vederea determinarii coeficientului k, care indica contributia adaosurilor de zgura din betoane pentru obtinerea unei rezistente echivalente cu cea a unui beton fara adaosuri. Aceasta reprezinta o prima etapa importanta care trebuie parcursa in conformitate cu abordarile moderne privind stabilirea performantelor echivalente ale betonului in cazul utilizarii adaosurilor in beton.

Cuvinte cheie: beton, adaos, zgura, coeficient k,

Abstract: This paper presents the theoretical and experimental determinations performed in UTCB to determine the coefficient k, which indicates the contribution of slag additives in concrete to achieve an equivalent strength to that of concrete without additives. This is an important first step that must be covered in accordance with the modern approach to establish equivalent performance of concrete with additives.

Key words: concrete, additive, slag, k coefficient

1. Introducere

Prezenta lucrare a avut ca obiectiv principal studiul comportarii betoanelor preparate cu diferite procente de zgura, din punct de vedere al rezistentei la compresiune si compararea valorilor rezistentelor cu cele obtinute pentru betoane preparate fara adaosuri de zgura, in vederea determinarii experimentale a valorii coeficientului k.

Determinarea valorii coeficientului k reprezinta o etapa esentiala in abordarile moderne privind performantele echivalente ale betonului in cazul utilizarii unor adaosuri in betoane.

Rezultatele prezentate in lucrare reprezinta o prima etapa in realizarea cercetarilor experimentale privind durabilitatea betoanelor cu adaosuri de zgura comparativ cu durabilitatea betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri de zgura, continand aproximativ aceeasi proportie de adaosuri, rezultate care vor fi prezentate in partea a doua a articolului.

2. Consideratii teoretice privind determinarea valorii coeficientului k

In propunerea privind revizuirea standardului european EN 206-1 [1], in cazul utilizarii zgurii ca adaos in beton, se propune o valoare a factorului $k=0,6$, in cazul in care zgura se conformeaza standardului EN 15167-1 [2].

In propunerea de revizuire se mai prezinta precizari legate de raportul maxim masic intre zgura si ciment si anume: $\frac{zgura}{ciment} \leq 1,0$.

In cazul in care se va utiliza o cantitate mai mare de zgura, nu va fi luata in considerare la calculul raportului $Apa/(ciment + k \cdot zgura)$.

De asemenea, in propunerea de revizuire a standardului se mentioneaza necesitatea aplicarii conceptului echivalent de performanta in vederea stabilirii unor cerinte de compositie pentru cimenturi sau betoane cu adaosuri care sa asigure performante echivalente cu ale unor compositii de betoane preparate cu cimenturi cu o buna comportare in medii echivalente.

Principiile privind modul de determinare a coeficientului k au fost elaborate inca din anul 1967 [3], iar in anul 2011 CEN/TC 104/SC1 N717 [4] a elaborat un raport privind utilizarea adaosurilor, in care se detaliaza acest principiu, prezentand exemple de aplicare la nivel european.

Adaosurile influenteaza in multe directii caracteristicile betonului proaspăt si intarit, prima caracteristica care trebuie luata in considerare fiind rezistenta la compresiune a betonului la 28 de zile.

In betoanele ce au in compositie adaosuri, raportul A/C este inlocuit cu raportul A/ (c + k • a),

unde k = coeficientul de echivalenta

a = adaosul din beton.

Factorul k indica contributia adaosurilor din betoane pentru obtinerea unei rezistente echivalente cu cea a unui beton fara adaosuri.

Utilizand notatiile din documentul european putem scrie relatia:

$$\omega_o = w_a / (c_a + k \cdot a) \quad (1)$$

unde:

ω_o = raportul apa/ciment al betonului de referinta fara adaosuri

w_a = cantitatea de apa a betonului cu adaosuri (kg/m^3)

c_a = cantitatea de ciment a betonului cu adaosuri (kg/m^3)

a = cantitatea de adaosuri (kg/m^3)

In cazul in care aceste parametri au fost determinati pentru o aceeasi rezistenta, coeficientul k poate fi calculat cu formula:

$$k = (w_a / \omega_o - c_a) / a \quad (2)$$

sau normalizand cu cantitatea de ciment c_a din betonul cu adaosuri.

$$k = (\omega_a / \omega_0 - 1) / (a / c_a) \quad (3)$$

unde $\omega_a = w_a / c_a$ este raportul apa/ciment al betonului cu adaosuri.

In metodele descriptive de proiectare a compositiei betonului, valoarea constantei k are semnificatia unei valori maxime, care poate fi utilizata pentru a dovedi ca raportul apa/ (ciment +k • adaos) al betonului nu depaseste raportul maxim apa/ciment, asa cum este definit pentru betonul fara adaosuri, in functie de o anumita clasa de expunere.

Prin aceasta nu se dau insa informatii privind performantele "echivalente" ale betonului preparat cu adaos fata de betonul fara adaosuri.

Determinarea valorii coeficientului k se bazeaza pe compararea performantelor unui beton de referinta preparat cu un ciment A cu un beton in care o parte din cimentul A a fost inlocuit cu un adaos, in functie de raportul A/C si de cantitatea de adaos.

Principiul de calcul se bazeaza pe relatia care exista intre raportul A/C si rezistenta betonului. Se prefera ca determinarile sa se efectueze pe mai multe compositii de beton, deoarece aceasta sporeste precizia metodei. In general se prefera o relatie liniara care sa descrie dependenta dintre raportul A/C si rezistenta betonului.

Rezistenta la compresiune = $a - b \cdot \text{apa/ciment}$

a; b – coeficienti

sau

$$f_o = A_0 - B_0 \omega_0 \quad (4) \text{ pentru betonul de referinta}$$

$$f_a = A_a - B_a (w/c+a) \quad (5) \text{ pentru betonul cu adaosuri cu raportul a/c}$$

Pe baza rezultatelor cercetarilor experimentale se determina valorile coeficientilor A_0 , A_a , B_0 , B_a pentru diferite rapoarte intre ciment si adaosuri c/a.

In cadrul cercetarilor efectuate pentru aceasta lucrare au fost utilizate rapoartele:

- a/c = 0,11 cu 10% zgura
- a/c = 0,587 cu 37% zgura.

Dupa determinarea valorii coeficientilor se efectueaza egalitatea relatiilor:

$$f_0 \text{ (referinta)} = f_a \text{ (adaos)}$$

$$\left. \begin{array}{l} f_0 = f_a \Rightarrow A_0 - B_0 \omega_0 = A_a - B_a \cdot w / (c+a) \\ \omega_0 = w / (c+k \cdot a) \Rightarrow w = \omega_0 (c+k \cdot a) \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} A_0 - B_0 \omega_0 = A_a - B_a \omega_0 (c+k \cdot a) / (c+a) \\ \text{sau} \\ A_0 - B_0 \omega_0 = A_a - B_a \omega_0 (1+k \cdot a/c) / (1+a/c) \end{array}$$

Astfel, se poate determina valoarea coeficientului k , care nu va avea o valoare unica ci va fi in functie de raportul apa/ciment al betonului de referinta. Se va utiliza relatia:

$$k = \frac{(A_a - A_0)(1 + a/c)}{B_a \times a/c} \times \frac{1}{\omega_0} + \left[\frac{B_0(1 + a/c)}{B_a} - 1 \right] \times \frac{1}{a/c} \quad (6)$$

notatii utilizate:

ω_0 – raportul apa/ciment al betonului de referinta fara adaosuri;

ω_a - raportul apa/ciment al betonului cu adaosuri, $\omega_a = w_a/c_a$

w_a – cantitatea de apa a betonului cu adaosuri (kg/m^3)

c_a - cantitatea de ciment in betoanele cu adaosuri (kg/m^3)

a - cantitatea de adaosuri (kg/m^3)

f_a, f_0 - rezistentele la compresiune ale betonului (MPa)

A_0, A_a, B_0, B_a – coeficienti ai relatiei liniare intre rapoartele A/C si rezistenta la compresiune a betonului pentru betonul de referinta si betonul cu adaosuri.

3. Rezultatele cercetarilor experimentale

Cercetarile experimentale au constat in determinarea rezistentelor la compresiune, la diferite termene, a unor betoane preparate numai cu ciment de tip CEM I 42,5R si respectiv cu betoane cu CEM I 42,5R si adaosuri de zgura.

Betoanele au fost preparate pentru diferite dozaje de ciment si respectiv ciment si adaosuri de zgura 10% si respectiv 37%), aditiv superplastifiant, dozaj 1% din cantitatea de liant.



Rezultatele au fost utilizate pentru determinarea valorii coeficientului k .

In tabelele 1, 2 si 3 se prezinta compozitiile de beton utilizate. Mentionam ca pentru cele trei categorii de amestecuri s-au utilizat cantitati egale de liant, L (ciment, ciment plus 10% zgura si ciment plus 37% zgura).

Compozitiile betoanelor preparate cu CEM I 42,5R

Ciment (kg/m ³)	Apa (l)	Aditiv (l)	Aggregate (kg)	sort 0-4 mm	sort 4-8 mm	sort 8-16 mm
270	170.83	2.55	1893.43	757.37	378.69	757.37
300	159.33	2.83	1854.97	741.99	370.99	741.99
340	154.33	3.21	1801.10	720.44	360.22	720.44
370	158.33	3.49	1779.94	711.98	355.99	711.98
430	166.67	4.06	1704.35	681.74	340.87	681.74

Compozitiile betoanelor preparate cu CEM I 42,5R si 10% zgura

Ciment (kg/m ³)	Zgura (kg/m ³)	Apa (l)	Aditiv (l)	Aggregate (kg)	sort 0-4 mm	sort 4-8 mm	sort 8- 16 mm
243	27	160.00	2.55	1893.43	757.37	378.69	757.37
270	30	156.00	2.83	1854.97	741.99	370.99	741.99
306	34	143.33	3.21	1801.10	720.44	360.22	720.44
333	37	152.50	3.49	1779.94	711.98	355.99	711.98
387	43	153.33	4.06	1704.35	681.74	340.87	681.74

Compozitiile betoanelor preparate cu CEM I 42,5R si 37% zgura

Ciment (kg/m ³)	Zgura (kg/m ³)	Apa (l)	Aditiv (l)	Aggregate (kg)	sort 0-4 mm	sort 4-8 mm	sort 8- 16 mm
170.10	99.90	156.67	2.55	1893.43	757.37	378.69	757.37
189.00	111.00	146.00	2.83	1854.97	741.99	370.99	741.99
214.20	125.80	141.67	3.21	1801.10	720.44	360.22	720.44
233.10	136.90	150.00	3.49	1779.94	711.98	355.99	711.98
270.90	159.10	147.67	4.06	1704.35	681.74	340.87	681.74

Rezultatele obtinute pentru caracteristicile betoanelor proaspete sunt prezentate in tabelele 4 - 6.

Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM I 42,5R

Ciment (kg/m ³)	A/L	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)
270	0.64	150	2379
300	0.54	150	2405
340	0.46	150	2439
370	0.44	150	2400
430	0.40	150	2433



Tabel 5

Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM I 42,5R si 10% zgura

Ciment (kg/m ³)	Zgura (kg/m ³)	A/L	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)	Observatii
243	27	0.60	110	2398	Beton necoeziv
270	30	0.53	135	2424	Beton necoeziv
306	34	0.43	125	2446	-
333	37	0.42	145	2414	-
387	43	0.37	105	2418	-



Tabel 6

Caracteristicile betoanelor proaspete preparate cu CEM I 42,5R si 37% zgura

Ciment (kg/m ³)	Zgura (kg/m ³)	A/L	Tasare (mm)	Densitate (kg/m ³)	Observatii
170.10	99.90	0.59	120	2424	Beton necoeziv, Separare apa
189.00	111.00	0.50	150	2420	Beton necoeziv, Separare apa
214.20	125.80	0.43	145	2445	Beton necoeziv
233.10	136.90	0.41	150	2421	-
270.90	159.10	0.35	145	2443	-



In tabelele 7 - 9 se prezinta rezistentele la compresiune la 2, 7 si 28 de zile obtinute pentru cele 3 variante de amestecuri.

Tabel 7

Caracteristicile de rezistență ale betoanelor intarite preparate cu CEM I 42,5R

Dozaj ciment (kg/m^3)	A/L	Rezistență la compresiune (N/mm^2)					
		2 zile		7 zile		28 zile	
270	0.64	20.24	19.96	33.66	31.92	36.62	36.85
		20.00		30.47		36.41	
		19.65		31.64		37.52	
300	0.54	27.72	27.51	40.91	41.66	48.18	48.51
		26.96		42.14		48.38	
		27.85		41.93		48.96	
340	0.46	37.00	36.55	49.79	48.86	51.55	54.72
		36.28		48.44		56.66	
		36.38		48.34		55.94	
370	0.44	40.24	40.96	48.54	50.15	56.25	55.74
		41.46		51.47		56.66	
		41.18		50.45		54.31	
430	0.40	45.27	45.32	52.18	51.12	61.61	61.90
		46.78		50.84		61.63	
		43.90		50.33		62.46	

Tabel 8

Caracteristicile de rezistență ale betoanelor intarite preparate cu CEM I 42,5R și 10% zgura

Dozaj zgura (kg/m^3)	Dozaj ciment (kg/m^3)	A/L	Rezistență la compresiune (N/mm^2)					
			2 zile		7 zile		28 zile	
27	243	0.60	19.56	19.62	31.15	30.93	38.44	37.81
			19.44		30.42		38.01	
			19.87		31.22		36.99	
30	270	0.53	27.94	27.81	39.00	39.77	44.88	46.12
			27.61		40.09		48.33	
			27.89		40.22		45.14	
34	306	0.43	36.07	36.69	47.25	48.40	58.52	56.45
			36.47		49.62		56.39	
			37.53		48.33		54.44	
37	333	0.42	38.46	39.31	52.47	50.34	57.16	58.70
			40.36		50.33		59.52	
			39.11		48.21		59.41	
43	387	0.37	42.06	43.16	55.35	55.15	60.24	60.39
			42.32		54.88		59.37	
			45.11		55.22		61.57	

Caracteristicile de rezistență ale betoanelor intarite preparate cu CEM I 42,5R și 37% zgura

Dozaj zgura (kg/m ³)	Dozaj ciment (kg/m ³)	A/L	Rezistență la compresiune (N/mm ²)					
			2 zile		2 zile		2 zile	
99.9	170.1	0.59	11.93	12.30	22.13	21.66	31.38	30.62
			12.79		21.52		29.51	
			12.17		21.34		30.98	
111.0	189.0	0.50	17.13	17.25	31.74	31.97	43.61	43.27
			17.80		31.78		41.58	
			16.82		32.39		44.63	
125.8	214.2	0.43	22.33	22.67	38.60	39.72	54.63	52.77
			22.84		40.44		52.80	
			22.84		40.11		50.88	
136.9	233.1	0.41	24.05	24.32	42.43	43.53	54.75	54.89
			24.87		44.89		54.61	
			24.03		43.27		55.31	
159.1	270.9	0.35	30.96	31.45	50.84	49.98	56.84	57.67
			31.75		48.76		58.20	
			31.64		50.33		57.98	

Pe baza acestor rezultate s-au trase diagramele rezistență la compresiune la 2, 7 și 28 de zile în funcție de raportul apa/ liant (fig. 1...3) și respectiv dependența rezistenței la compresiune la varsta de 28 de zile în funcție de raportul apa/ liant (fig. 4...6).

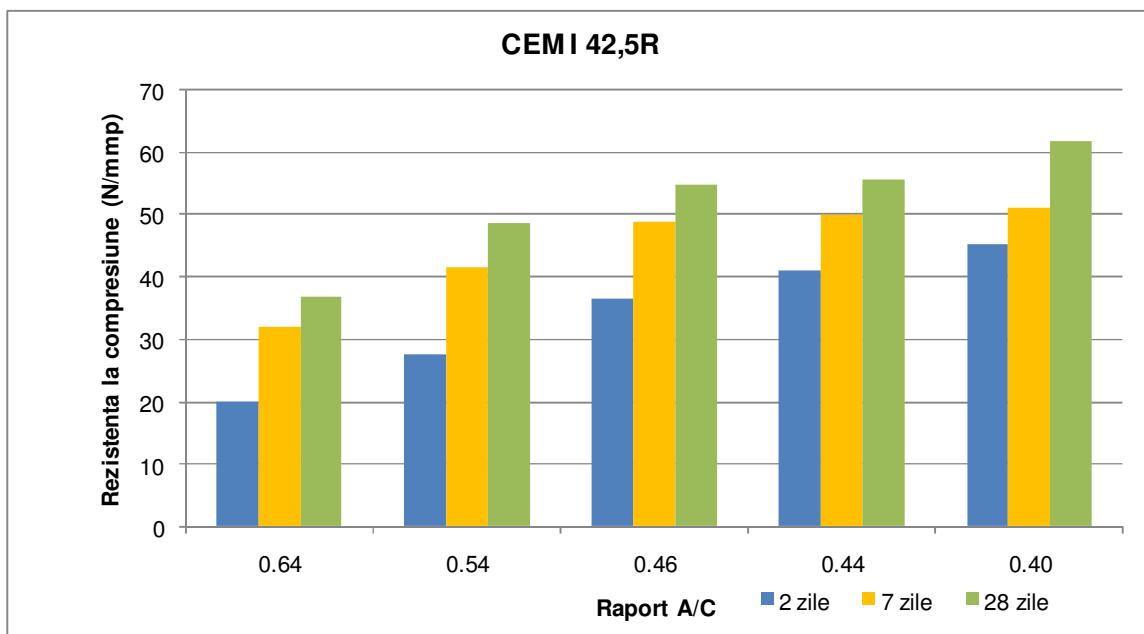


Fig. 1 – Rezistență la compresiune a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R

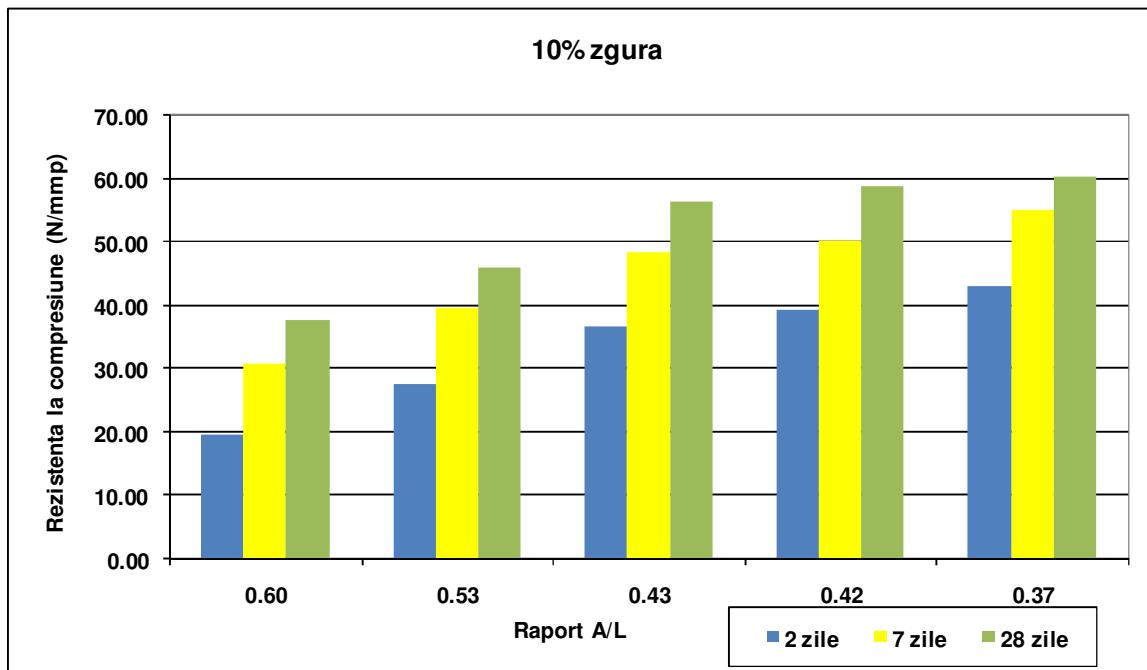


Fig. 2 – Rezistenta la compresiune a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R si 10% zgura

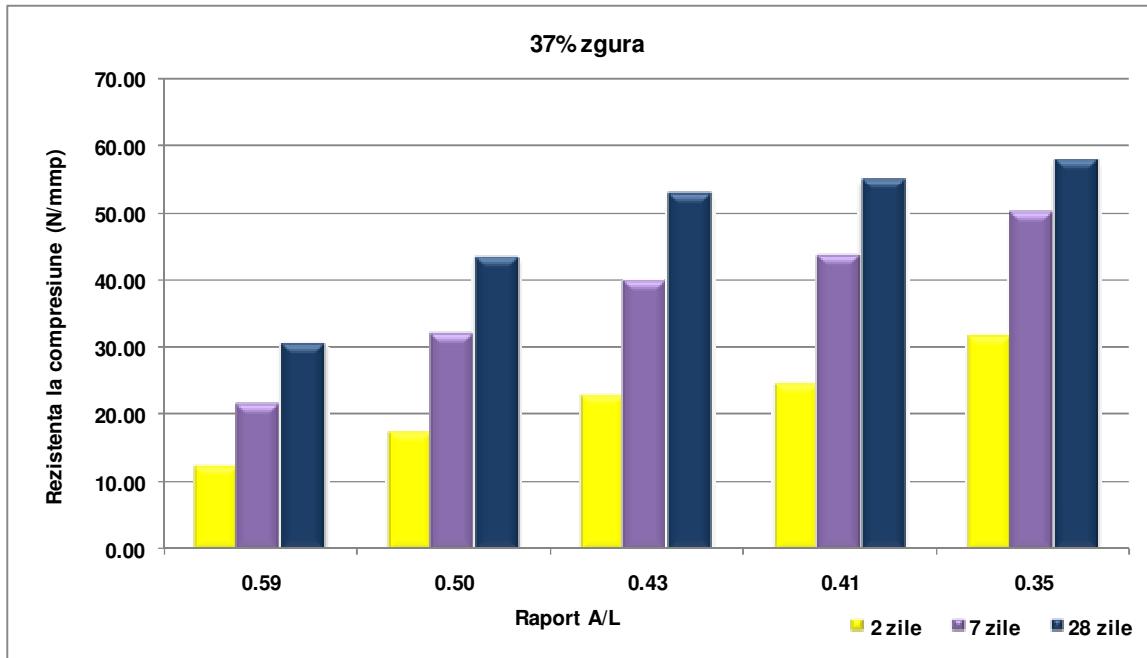


Fig. 3 – Rezistenta la compresiune a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R si 37% zgura

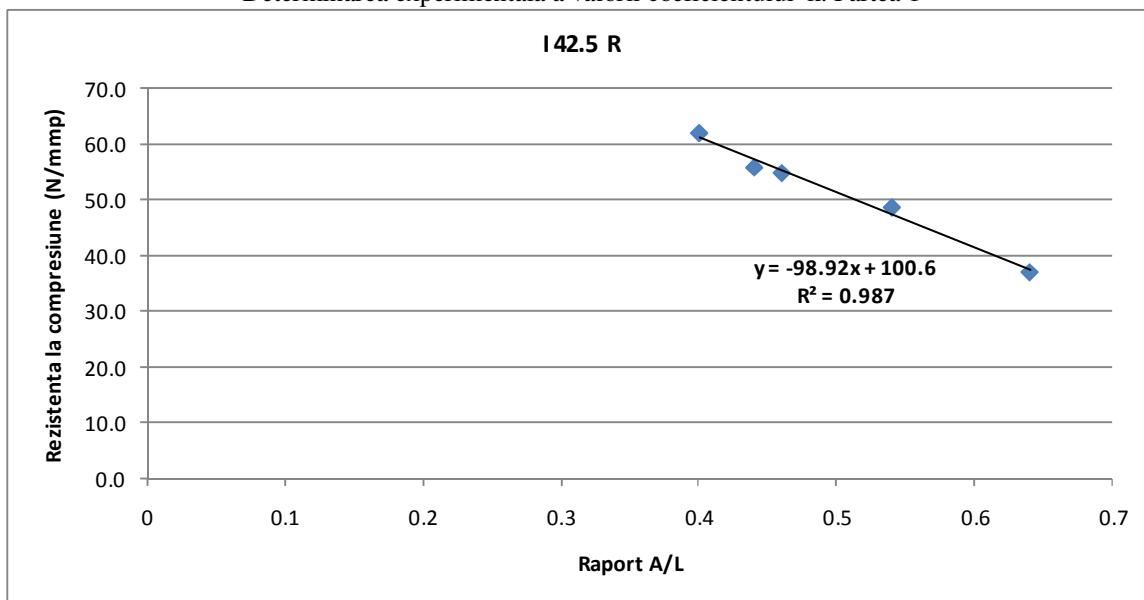


Fig. 4 – Rezistență la compresiune la 28 de zile a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R

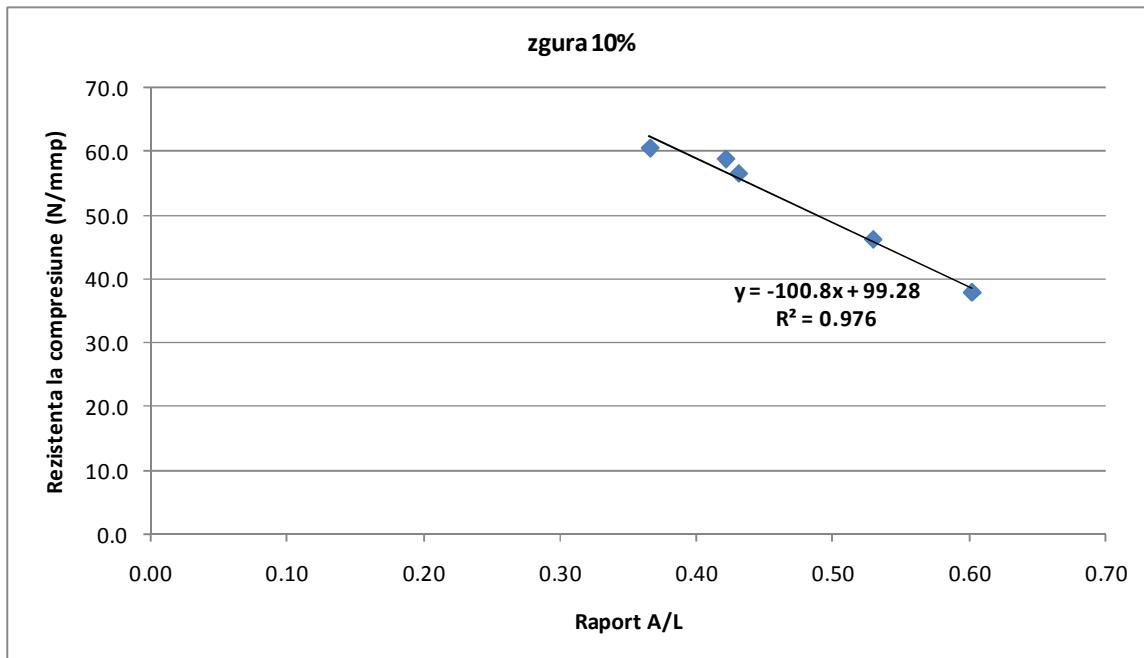


Fig. 5 – Rezistență la compresiune la 28 de zile a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R și 10% zgura

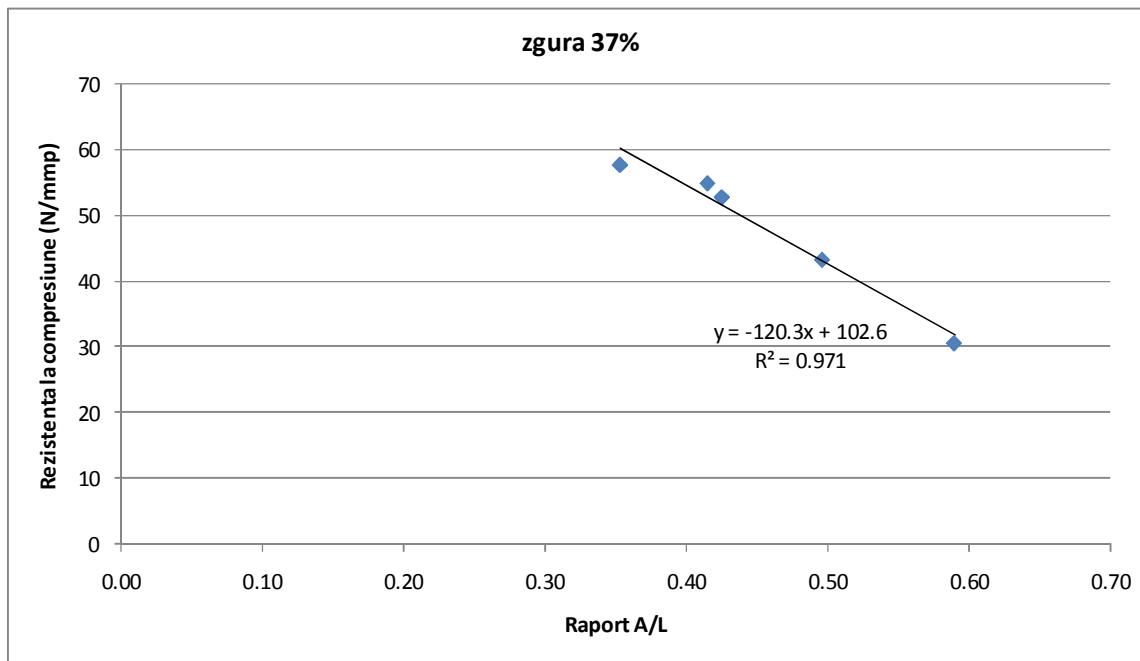


Fig. 6 – Rezistenta la compresiune la 28 de zile a betoanelor preparate cu CEM I 42,5R si 37% zgura

Diagramele prezentate in fig. 4, 5 si 6 au fost utilizate pentru determinarea coeficientilor A_0 , B_0 pentru betonul de referinta si respectiv A_a si B_a pentru cele doua tipuri de betoane avand proportii diferite de adaosuri.

S-au obtinut urmatoarele rezultate:

$$f_0 = 100,6-98,92 \omega_0$$

$$f_a = 99,28-100,8 w/(c+a) \text{ (10% zgura)}$$

$$f_a = 102,6-120,3 w/(c+a) \text{ (37% zgura)}$$

Aplicand relatia (6) obtinem, pentru betonul cu adaos de zgura 10%, relatia:

$$k = -0,132/\omega_0 + 0,812 \quad (7)$$

iar pentru betonul cu adaos de zgura 37%:

$$k = 0,0473/\omega_0 + 0,524 \quad (8)$$

Aplicand relatiile (7) si (8) pentru diferite rapoarte apa /ciment $\omega_0=0,45; 0,5; 0,60, 0,65$, pentru ambele procente de adaosuri s-a obtinut o valoare minima acoperitoare a coefficientului k de 0,5, valorile variind intre 0,52 si 0,62.

4. Concluzii

Betoanele in stare proaspata preparate cu dozaje mai reduse de ciment si adaosuri de zgura prezinta un aspect necoeziv.

Rezultatele inregistrate si prelucrarile efectuate conduc la concluzia ca, pentru tipurile de materiale utilizate, este indicata o valoare a factorului k egala cu 0,5.

Determinarea valorii coeficientului k reprezinta o etapa esentiala in abordarile moderne privind performantele echivalente ale betonului in cazul utilizarii unor adaosuri in betoane.

Pe baza acestor rezultate se poate trece la o alta etapa de cercetare care trebuie sa aiba drept scop determinarea si compararea valorilor unor caracteristici de durabilitate a betoanelor preparate cu cimenturi cu adaosuri de zgura si respectiv cu betoane cu adaosuri de zgura utilizand aceleasi procente de adaosuri, adica stabilirea performantelor echivalente.

Bibliografie

- [1] EN 206-1 - Beton. Partea 1: Specificație, performanță, producție și conformitate
- [2] EN 15167-1 : 2006 - Title: ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout - part 1: definitions, specifications and conformity criteria
- [3] Smith, I A - The design of Fly Ash Concrete – Proceedings Institution of Civil Engineers, London, 1967, Vol.36, pg.769-770
- [4] CEN/TC 104/SC1 N717, Use of k-value concept, equivalent of concrete performance concept and equivalent, 2011