

BETON AUTOCOMPACTANT CU CENUȘĂ ZBURĂTOARE SELF COMPACTED CONCRETES WITH FLY ASH ADDITION

MARIA GHEORGHE^{*1}, NASTASIA SACA¹ CĂȚĂLINA GHECEF², RAMONA PINTOI², LIDIA RADU¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții Bucureștim Bd. Lacul Tei, nr. 122-124, sector 2, București, România

²Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții, Șos. Pantelimon nr. 266, sector 2, București, România

Lucrarea prezintă datele experimentale obținute privind proprietățile betonului autocompactant cu cenușă zburătoare, concretizate de lucrabilitate și evoluția rezistenței la compresiune, prin comparație cu cele ale betonului de referință, fără cenușă sau cu filer de calcar. S-au realizat două serii de amestecuri de beton autocompactant în funcție de tipul de ciment – BAC cu CEM I 52,5R și BAC cu CEM II/B-M (S-LL) 42,5N.

Cercetările efectuate în cadrul lucrării, au arătat că adaosul de cenușă, de 20-34% din cantitatea totală de pulberi, este benefic pentru consistența și stabilitatea la segregare a betonului proaspăt. Rezistența la compresiune la vârstă timpurie a fost semnificativ diminuată de adaosul de cenușă, dar evoluția a fost ascendentă până la 360 zile.

This paper presents experimental obtained data regarding the properties of self compacted concrete (SCC) with fly ash content, such as workability, compressive strength evolution over time in comparison with the reference (concrete without fly ash or concrete with limestone filler content). In this way, were realized two series of mixes: SCC with CEM I 52.5R and SCC with CEM II/B-M (S-LL) 42.5N.

Research realized showed that the addition of 20-34% fly ash of total powder amount is beneficial for the consistency and resistance to segregation of concrete in fresh state.

SCC compressive strengths at early age were significantly diminished by fly ash addition, but these are increasing until 360 days.

Keywords: self compacting concrete, fly ash, workability, compressive strength.

1. Introducere

Betonul autocompactant (BAC) a pătruns semnificativ în industria construcțiilor, iar dezvoltarea și diversificarea lucrărilor și aplicațiilor au fost decisiv influențate de progresul cercetării asupra controlului proprietăților reologice ale betonului proaspăt. Este de așteptat ca betonul autocompactant să înlocuiască, pe termen lung, betonul vibrat în multe aplicații, datorită avantajelor: reducerea zgomotului, posibilitatea turnării în structuri monolit sau prefabricate cu armătură densă și geometrie complicată și reducerea costurilor de procesare industrială.

Betonul autocompactant este caracterizat, în stare proaspătă, de patru proprietăți cheie, care măsoară lucrabilitatea [1]:

- capacitatea de umplere - curgere doar sub propria greutate și de umplere completă a spațiilor din cofraje;
- viteza de curgere/umplere a spațiilor din cofraje, evaluată prin vâscozitate;
- capacitatea de trecere - curgere prin deschideri înguste, uniform și continuu, fără blocaje;
- rezistența la segregare: stabilitate, omogenitate, fără separare apă-pastă-agregat, în timpul transportului și punerii în operă.

Stabilirea compoziției betonului autocompactant, cu clasa de rezistență țintă, presupune realizarea unor corelații satisfăcătoare între componentele lucrabilității - un efort limită

1. Introduction

Self compacting concrete (SCC) entered significantly in the construction industry and the development and diversification works and applications have been decisively influenced by the progress of research on control of rheological properties of fresh concrete. Self compacting concrete is expected to replace long-term, vibrated concrete in many applications because of some advantages: reduced noise levels, the possibility of casting the monolith or prefabricated structures with dense reinforcements and complicated geometry, decreasing of the cost of industrial processing.

Fresh SCC is characterized by four important properties, which define the workability [1]:

- filling ability due concrete own weight and completely fill the spaces in formwork;
- flow and fill rate of spaces in formwork, as measure of concrete viscosity;
- passing ability through narrow openings, and flowing uniform and continuous, free from blocking at reinforcement;
- stability to segregation concretized by maintaining of the fresh concrete homogeneity during transport and placing.

Mix design composition of SCC with a certain class of strength involve acquiring satisfactory correlations between workability components - an yield point as low, moderate plastic viscosity and stability to segregation. These characteristics of

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel. 0040- 21-242.12.08/202, e-mail: maria_gh2001@yahoo.com

de curgere cât mai redus, o vâscozitate plastică moderată și stabilitate la segregare. Aceste caracteristici ale betonului autocompactant în stare proaspătă sunt realizabile cu volum relativ mare de pulberi, o cantitate semnificativă de aditiv superplastifiant puternic reducător de apă și o granulozitate adecvată a agregatului. O compoziție generală de beton autocompactant și de beton convențional (vibrat), este prezentată schematic în figura 1.

Pulberile sunt concretizate de cimentul portland și filer (adaos inert, cimentoid sau puzzolană). Proprietățile BAC sunt influențate semnificativ de raportul apă/pulberi, de tipul și proporția de pulberi.

Efectul unui adaos asupra rezistenței la compresiune a betonului poate fi analizat prin stabilirea factorului (k) de eficiență cimentoidă sau puzzolanică [2-6]. Acesta este un factor de multiplicare a adaosului pentru a obține o cantitate echivalentă de ciment, în vederea calculării raportului apă/liant. Cantitatea de liant din beton este dată de cimentul CEM I și de cenușa zburătoare implicată în dezvoltarea structurii de întărire prin reacția puzzolanică cu hidroxidul de calciu eliberat la hidratarea cimentului.

Adaosul de cenușă zburătoare, ca substituent al cimentului în proporție de 30-40%, este considerat benefic pentru lucrabilitatea betonului [2, 7, 8].

Lucrarea prezintă datele experimentale obținute privind lucrabilitatea și rezistențele mecanice ale betonului autocompactant cu cenușă zburătoare, prin comparație cu cele ale betoanelor de referință, fără cenușă sau cu filer de calcar.

2. Condiții experimentale. Materiale, compoziții de BAC și metode de analiză

2.1. Materiale

Constituenții solizi ai amestecurilor de beton autocompactant, BAC, au fost cimenturile portland, filere de calcar, cenuși zburătoare de termocentrală, agregat fin și grosier de râu.

S-au folosit două tipuri de aditivi superplastifianți, SP.

2.1.1. Cimenturile

Tipurile de ciment conform SR EN 197 [9], utilizate, au fost CEM I 52,5R, cu densitatea 3120 kg/m³ și CEM/II B-M (S-LL) 42,5N cu densitatea 3050 kg/m³.

Cimentul CEM I este în mod curent utilizat pentru producerea de elemente prefabricate din BAC, cu viteză mare de întărire (după 16-24 ore atinge 75-80% din rezistența finală). Cercetarea efectuată, referitoare la BAC cu ciment unitar, a urmărit influența tipului și cantității de adaos (cenușă zburătoare și/sau filer de calcar) asupra proprietăților betonului autocompactant. De asemenea, utilizarea cimentului CEM/II B-M (S-LL)

fresh self compacting concrete are developed with relatively high powders volume, a significant dosage of the superplasticizer and high range water reducing admixture and a adequate particle size distribution of the aggregate. A general SCC mix and conventional concrete mix (vibrated) is schematically showed in Figure 1.

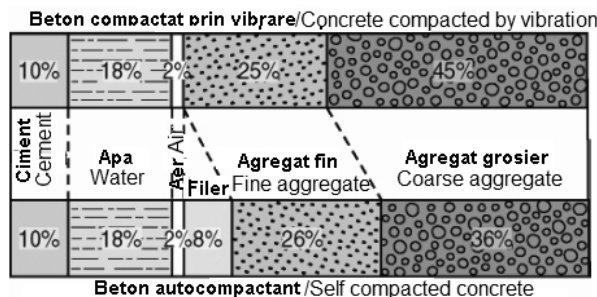


Fig. 1 - Compoziții de beton autocompactant și de beton vibrat
Some SCC and conventional concrete mixes.

The powders are combinations of Portland cement with different fillers as inert inorganic addition, cementitious or pozzolana additions. SCC properties are significantly influenced by water/ powder ratio, by the type and proportion of powders. The effect of addition on compressive strength of concrete can be analyzed by the cementitious/pozzolana efficiency factor (k) [2-6]. It is the multiplier factor of addition to obtain an equivalent amount of cement, in order to calculate the water/binder ratio. The binder is concretized by the CEM I type cement and of the fly ash part involved in the hardening structure development by pozzolana reaction with calcium hydroxide released by cement hydration.

SCC workability is improved by a fly ash addition ranging of 30-40% cement substitute [2, 7, 8].

This paper presents experimental data regarding the workability and compression strengths of SCC with fly ash content in comparison with the reference - without fly ash or concrete with limestone filler content.

2. Experimental. Materials, SCC Composition and method of analysis

2.1. Materials

Solid constituents of self compacted concrete were Portland cement, limestone filler, fly ashes, fine and coarse river aggregates. We used two superplasticizer admixtures, SP.

2.1.1. Cements

Cements according to EN 197 [9] used were CEM I 52.5 R with density around to 3120kg/m³ and CEM / II BM (S-LL) 42.5 N with density around to 3050 kg/m³. CEM I is currently used for production of precast SCC, with rapid hardening (after 16-24 hours reaches 75-80% of final strengths). The research carried out SCC The

42,5N a fost necesară pentru cercetarea realizării de beton autocompactant economic, cu lucrabilitatea adecvată, păstrată o durată mai mare, pentru aplicații de beton monolit.

2.1.2. Filere

Filerul de calcar a avut caracteristicile: densitatea 2780 kg/m^3 , conținut de CaCO_3 , 95,6%, și 91,3% particule cu dimensiunea sub $90\mu\text{m}$.

Cenușa a avut caracteristicile: $\text{SiO}_2=51\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=24,4\%$, $\text{CaO}=8,3\%$, densitatea 1790 kg/m^3 , $R_{45\mu\text{m}}=59\%$, indice de activitate puzzolanică 78,6%.

Caracteristicile principale ale cenușii 2 sunt: $\text{SiO}_2=51,4\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=22,4\%$, $\text{CaO}=7,2\%$, densitatea 1854 kg/m^3 , $R_{45\mu\text{m}}=68\%$, indicele de activitate puzzolanică 61,7%.

2.1.3. Agregatele

Agregatele pentru realizarea betonului autocompactant au fost selectate conform cerințelor SR EN 12620:2000 [10]: nisip sort 0-4 mm, agregat grosier sort 4-8 și 8-16 mm. Cantitatea de particule mai fine de $0,125 \text{ mm}$ din nisip a fost calculată și inclusă în volumul de pulberi, împreună cu cimentul și filerul.

2.1.4. Aditivi superplastifianți

S-au utilizat aditivi polieter-carboxilați notați SP1 (Chryso Premia 180) și SP2 (Sika Viscocrete 2620). Aceștia sunt adecvați, în special, pentru prefabricate din BAC armat.

2.2. Compoziții de beton autocompactant cu cenușă de termocentrală

2.2.1. Factorul de eficiență, k

Liantul hidraulic total, în cazul betonului autocompactant cu ciment și cenușă de termocentrală, a fost calculat pe baza echivalării unei cantități de cenușă cu liantul hidraulic. Cantitatea maximă de cenușă zburătoare, conform EN 450 [11] luată în considerație ca adaos substituent parțial al cimentului, a fost estimată conform CP 012 – 2007 [12], prin raportul cenușă zburătoare/ciment CEM I = n, iar $n \leq 0,33$. A rezultat că partea de cenușă activă = $n \times$ ciment CEM I.

Cantitatea de cenușă implicată în procesul activ de dezvoltare a hidrocompușilor de întărire este corelată cu potențialul de eliberare a hidroxidului de calciu la hidratarea cimentului. Hidroxidul de calciu eliberat la hidroliza cimentului (o cantitate limitată de tipul și dozajul acestuia), participă la reacția puzzolanică cu silicea/alumina reactive din cenușă, cu formarea de hidrocompuși de întărire. Pe de altă parte, coeficientul k este cu atât mai mare, cu cât cimentul are un potențial mai mare de eliberare a hidroxidului de calciu prin hidratare-hidroliză. Pentru cimentul CEM I 32,5 se consideră $k = 0,2$, iar pentru CEM I 42,5 și clasele superioare, $k = 0,4$ [12]. Prin urmare, liantul total

paper has followed the influence of filler type and amount of addition (fly ash and/or limestone filler) on the properties of self compacting concrete carried out with CEM I. Also, the use of CEM/II BM (S-LL) 42.5 N was both economically argued and by the need to obtain SCC with longer time adequate workability required by the monolithic applications.

2.1.2. Fillers

Limestone filler has the following characteristics: density 2780 kg/m^3 , CaCO_3 content 95.6% and particle with $d < 90\mu\text{m}$ up to 91.3%. The fly ash 1 had the features: density of 1790 kg/m^3 , $R_{45\mu\text{m}}=59\%$, pozzolanic activity index of 78.6%, $\text{SiO}_2=51\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=24.4\%$, $\text{CaO}=8.3\%$. The fly ash 2 had the features: density of 1854 kg/m^3 , $R_{45\mu\text{m}}=68\%$, pozzolanic activity index of 61.7%, $\text{SiO}_2=51.4\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=22.4\%$, $\text{CaO}=7.2\%$.

2.1.3. Aggregates

Aggregate used in SCC were selected according to SR EN 12620:2000 [10], sand 0-4mm, coarse aggregate 4-8 and 8-16 mm. The amount of fine sand with particle size smaller than 0.125 mm was calculated and included in the volume of powder together with cement and filler.

2.1.4. Superplasticizer admixtures

Admixtures used were based on commercial modified polyether carboxylates noted SP1 (Chryso Premia 180) and SP2 (Sika Viscocrete 2620). These admixtures are especially proper to reinforced precast concrete.

2.2 Composition of self compacted concrete with fly ash content

2.2.1. Efficiency factor, k

The total amount of hydraulic binder, in the case of SCC with fly ash, was calculated based on the equivalence of a quantity of fly ash with hydraulic binder. The maximum amount of fly ash according to EN 450 [11] taken into account as partial substitute of cement, fulfils the requirement stipulated in the CP 012-2007 [12], regarding the value of the fly ash/cement CEM I ratio = n and $n \leq 0.33$. As consequence, the part of active fly ash = $n \times$ CEM I.

The fly ash pozzolanic reaction availability in hardening structure development is correlated with the potential release of calcium hydroxide by cement hydration. Calcium hydroxide released by cement hydration (depending by type and amount of this) is involved in the pozzolanic reaction with reactive silica/alumina provided by the fly ash and leads to the hydrates formation.

On the other side, k is even greater, the more cement has a higher potential for release of calcium hydroxide by hydration-hydrolysis reactions. Efficiency factor, k is approximated at

(disponibil pentru formarea hidrostructurilor de întărire), din amestecul de pulberi, este dat de relația: $liantul\ total = cimentul\ CEM\ I + k \times n \times ciment\ CEM\ I$

2.2.2. Compoziții de BAC

Principiul de stabilire a compoziției a avut la bază rezistența la compresiune (adecvată pentru clasele C30/37, C35/45 și C40/50) și lucrabilitatea, proprietăți direct influențate de tipul și dozajul de ciment, tipul de filler (de calcar sau cenușă), raportul apă/ciment, respectiv apă/liant, raportul nisip/pietriș și aditivul SP, puternic reducător de apă.

S-au realizat două serii de amestecuri de beton autocompactant în funcție de tipul de ciment – BAC cu CEM I 52,5R și BAC cu CEM II/B-M (S-LL) 42,5N. Scopul realizării acestor compoziții a fost estimarea influenței factorilor compoziționali asupra consistenței precum și a evoluției rezistenței la compresiune de la o zi la 360 zile.

Seria I (tabelul 1) include amestecurile de BAC cu ciment CEM II și cenușă, în proporție de la 15% la 34%, în amestecul total de pulberi (cenușă+ciment), pentru clasa prestabilită C30/37. Dozajele de ciment au variat de la 350 la 425 kg/m³, raportul ciment/cenușă a variat de la 2,0/1 la 5,7/1 și rapoartele nisip/pietriș au avut valori apropiate; de 1,2/1 și 1,3/1. Compoziția de referință, C4, nu a avut cenușă volantă. Rapoartele apă/ciment au crescut cu raportul cenușă/pulberi și cu raportul nisip/pietriș, la același tip și conținut de aditiv superplastifiant SP1.

Seria a II-a de probe de beton autocompactant (tabelul 2) a fost realizată cu CEM I 52,5R și cenușă zburătoare în proporție de 20 până la 34% din cantitatea de pulberi.

0.2 for the cement CEM I 32.5 and at 0.4 for CEM I 42.5 and upper strength classes [12].

Therefore, the total binder (available to development hardening structure) of the powder mix is given by the relation: $total\ binder = cement\ CEM\ I + k \times n \times cement\ CEM\ I$.

2.2.2 . SCC mixes

The SCC mix design principle was based on main properties the compressive strength (suitable for classes C30/37, C35/45 and C40/50) and the workability which are directly influenced by the compositional parameters as the type and dosage of cement and of the filler (fly ash or limestone), the water/cement ratio, respectively, water/binder ratio, the sand/gravel ratio and by the superplasticizer and HRWR admixture.

There were carried out two series of self compacting concrete mixes according to the type of cement – SCC with CEM I 52.5 R and SCC with CEM II/B-M (S-LL) 42.5 N. These compositions was realized in order to estimate the influence of compositional factors on the SCC consistency, the evolution of compressive strength during from earlier age of 1 day to 360 days.

Series I (Table 1) includes mixtures of SCC with CEM II and fly ash 2, in amount of 15% to 34% addition of the total powders quantity (fly ash and cement), for the preset strength class C30/37. Cement dosages ranged from 350 to 425 kg/m³, the cement/ash ratio was from 2,0/1 to 5.7/1 and sand/gravel ratio had values close to 1.2/1 and 1.3/1. The reference, C4, did not contain fly ash addition. Water/cement ratios increased with the fly ash/powder ratio and sand/gravel ratio, at the same type and content of superplasticizer admixture, SP1.

Tabelul 1

Seria I de compoziții de BAC cu ciment tip CEM II și cenușă zburătoare
Series I of SCC mixes with CEM II cement type and fly ash

Material/Cod beton Material/Concrete code		C1	C2	C3	C4ref	C5	C6	C7
Ciment CEM/II B-M (S-LL) 42,5N	kg/m ³	370	390	390	425	383	350	383
Cenușă zburătoare 2/Fly ash 2	kg/m ³	180	150	70	0	108	120	90
Filer de calcar/Limestone filler		0	0	0	0	0	0	0
Pulberi/Powders	kg/m ³	550	540	460	425	491	470	473
Raport cenușă/pulberi / Fly ash/powders ratio		0.32	0.34	0.15	-	0.22	0.25	0.19
Nisip/Sand	kg/m ³	918	918	918	918	945	945	945
Pietriș 4/16 / Gravel 4/16	kg/m ³	747	747	747	747	713	713	713
Aditiv SP1 / SP1 HRWRA*	%	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Apă / Water	L/m ³	209	200	180	175	185	200	182.5
Raport apă/ciment / Water/Cement ratio		0.57	0.51	0.46	0.41	0.48	0.57	0.48
Raport ciment/cenușă / Cement/fly ash ratio		2.0/1.0	2.6/1	5.7/1	-	3.5/1	2.9/1	4.2/1

* Aditiv puternic reducător de apă / High range water reducing admixtures

Compozițiile de referință, C9_{ref} și C41_{ref}, conțin filer de calcar, un dozaj de ciment de 370 și, respectiv, 440 kg/m³. Raportul apă/liant a fost influențat de cantitatea de pulberi și de tipul de aditiv (SP1 sau SP2).

2.3. Metodele experimentale de încercare a caracteristicilor betonului autocompactant

2.3.1. Determinarea lucrabilității BAC

Încercarea lucrabilității s-a efectuat conform procedurilor Ghidului EFNARC [1] și a urmărit realizarea claselor de consistență conform SR EN 206-9:2010 [13].

2.3.2. Determinarea caracteristicilor betonului în stare întărită

Rezistența la compresiune a fost măsurată prin încercări pe cuburi cu L=15 cm, conform SR EN [14].

Series II of SCC (Table 2) was carried out with CEM I 52.5R and fly in quantity of 20 up to 34% of total powder amount. The reference SCC mixes C9_{ref} and C41_{ref} with the cement dosage was of 370 and respectively 440 kg/m³ containing limestone filler. The water/binder ratio was greatly influenced by the powders type and by the superplasticizer (SP1 or SP2) type.

2.3 Experimental methods for testing the characteristics of self compacting concrete

2.3.1. SCC workability

The workability was verified according to EFNARC [1] and follow to fulfil the requirements of SR EN 206-9:2010 [13] regarding consistency classes.

2.3.2. Properties of hardened concrete

Compressive strengths were measured by tests on the 15 cm³ cube samples according to SR EN [14].

Tabelul 2

Seria a II-a de compoziții de BAC cu ciment tip CEM I și cenușă zburătoare/ Series II of SCC mixes with CEM I cement type and fly ash

Material/Cod beton Material/Code of concrete	C9 _{ref}	C10	C24	C13	C14	C27	C41 _{ref}	C41	C31
CEM I 52,5R	370	370	370	344	344	344	440	440	400
Filer calcar / Limestone filler	130	0	0	86	0	0	110	0	0
Cenușă zburătoare 2 Fly ash 2	0	130	120	110	172	172	0	0	0
Cenușă zburătoare 1 Fly ash 1	0	0	0	0	0	0	0	110	150
Pulberi/Powders	500	500	490	540	516	516	550	550	550
Raportul cenușă/pulberi Fly ash/powders ratio	-	0.31	0.29	0.20	0.33	0.33	-	0.2	0.27
Liant total / Total binder	500	418.8	414	388	389.2	389.2	550	550	532
Nisip/Sand	925	932	918	925	925	925	951	951	951
Pietriș 4/16 / Gravel 4/16	750	750	752	750	750	750	689	689	689
Aditiv SP1 / SP 1 HRWRA	1.6	1.6	1.5	0	0	0	0	0	0
Aditiv SP2 / SP2 HRWRA	0	0	0	1.8	2.1	1.8	1.6	1.6	1.6
Apă / Water	172.5	200	196	182.5	203	200	166.8	172.8	189
Apă/Ciment / Water/Cement ratio	0.46	0.54	0.53	0.53	0.59	0.58	0.38	0.39	0.45
Apă/Liant / Water/Binder ratio	0.46	0.48	0.47	0.47	0.53	0.52	0.38	0.31	0.35
Raport ciment/cenușă / Cement/fly ash ratio	-	2.8/1	3.0/1.0	3.1/1	2.0/1.0	2.0/1.0	-	4.0/1.0	3.0/1.0

3. Rezultate obținute și comentarii

3.1. Proprietățile BAC în stare proaspătă

Lucrabilitatea BAC, ca proprietate complexă, a fost evaluată prin răspândirea din tasare (flow slump, SF), ca măsură a efortului limită de curgere, de timpul de curgere T500 (VS) și de timpul de curgere prin pâlnia V (VF), ca măsură a vâscozității și de abilitatea de trecere printre barele cutiei L (PA) [1, 13].

Clasele de consistență prestabilite (țintă) au fost SF1// VS2/VF2// PA2 și SF2// VS2/VF2// PA2.

În tabelul 3 sunt date valorile consistenței SF,

3. Results and discussion

3.1. The properties of fresh SCC

The SCC workability was carried out by testing of the slump-flow (SF) as a measure of yield value, the flow time, T500 (VS) and V funnel time (VF) as a measure of viscosity, and three bars L box passing ability (PA) [1, 13].

The consistency target classes designed were SF1//VS2/VF2//PA2 and SF2//VS2/VF 2//PA2

In Table 3 are given values of the SF consistency, the flow time T500 /VF and the passing ability of series I SCC mixes.

Tabelul 3

Caracteristicile BAC proaspăt, seria I/Characteristics of series I fresh SCC mixes		C1	C2	C3	C4 _{ref}	C5	C6	C7
Caracteristica/Characteristic								
Masa volumică/ Unit weight of concrete, kg/m ³		2260	2290	2290	2344	2300	2240	2320
Răspândirea din tasare/Slump-flow, mm	Inițială/initial	720	680	670	720	660	630	620
	după 0,5h/after 0.5 h	710	650	650	700	640	nd*	nd
	după 1h/after 1 h	710	nd	612	680	600	nd	nd
T500, s		4	7	7	2	10	7	7
VF, s		10	13	13	7	15	15	18
Trecere prin cutie L cu trei bare/Passing ability using L-box, %		95	90	90	80	84	84,	82

*nd – nedeterminat/untested

ale timpului de curgere T500/VF și abilității de trecere printre bare a amestecurilor BAC, *seria I*. Cenușa volantă a favorizat tendința de menținere a consistenței în limitele clasei prestabilite, pe durată de o oră, și stabilitatea bună la segregare. Proba C4_{ref}, fără cenușă a prezentat o tendință mai accentuată de separare a pastei, la încercarea de răspândire din tasare, comparativ cu betoanele cu cenușă.

În tabelul 4 sunt date valorile caracteristicilor de curgere ale betonului autocompactant *seria II pentru clasa SF2//VS2/VF2//PA2 cu CEM I și cenușă 29...34%*. Lucrabilitatea a fost semnificativ influențată de cantitatea mai mare de pulberi, de raportul apă/pulberi prestabilit conform clasei de rezistență și de tipul/cantitatea de aditiv superplastifiant. Astfel, s-au obținut valori ale răspândirii din tasare, SF, mai mici, adecvate clasei de consistență SF1.

Fly ash had a positive influence on the flowing characteristics, by maintaining consistency values appropriated of preset class, after an hour and a good segregation stability of SCC. The reference C4_{ref} without fly ash showed a significant tendency to separate cement paste during slump spreading, compared with fly ash SCC.

In Table 4 are showed fresh SCC flow characteristic values, *series II SCC mixes, with 29...34% fly ash content and CEM I type cement*. The workability target class was SF2//VS2/VF2//PA2. Workability was significantly influenced by the greater amount of powders, the water/powder ratio designed according to compressive strength class and the type/amount of superplasticizer. Therefore, we obtained some lower values of the slump-flow spreading, SF, appropriate to SF1 consistency class.

Tabelul 4

Caracteristicile BAC proaspăt, seria a II-a/ Characteristics of series II fresh SCC mixes		C9 _{ref}	C10	C24	C13	C14	C27	C41 _{ref}	C41	C31
Caracteristica/Characteristic										
Masa volumică/ Unit weight of concrete kg/m ³		2360	2280	2220	nd	nd	nd	2405	2328	2314
Răspândirea din tasare/ Slump-flow, mm	Inițială/initial	680	650	610	690	700	680	690	790	710
	după 0,5h/after 0.5 h	600	640	610	690	680	680	640	710	700
	după 1h/after 1 h	nd	640	610	680	680	670	nd	nd	nd
T500, s		5	10	8.4	2.2	3	5	3	8	4
VF, s		9	11	12.3	9	9	16.5	6	12	9
Trecere prin cutie L cu trei bare/ Passing ability using L-box, %		92	89	94.2	83	83	83	85	89.4	85

Tabelul 5

Rezistența la compresiune (f_c) a probelor de BAC, seria I/ Compressive strength (f_c) of SCC series I samples

Vârsta beton, zile/ Concrete age, days	f _c , MPa						
	C1	C2	C3	C4 _{ref}	C5	C6	C7
1	15	13.8	18	22.5	20.5	15.7	20.5
7	32	34.5	36.8	38.5	32.3	32	35.5
28	46.3	47.7	48.5	47.8	47.9	43.5	47.8
90	53.7	57.8	52.8	52.6	57.3	50	50
360	59.4	60.6	54.2	57.8	60.1	nd	nd

Aditivii superplastifianți au contribuit, selectiv, la modificarea favorabilă a caracteristicilor de curgere standard ale betonului autocompactant. Un aspect interesant de cercetat l-a constituit influența aditivului SP asupra liantului *in integrum*, inclusiv fracția cimentoidă/puzzolanică (cenușa). S-a constatat că, pentru o compoziție dată de

Superplasticizer admixtures contributed selectively and decisively to a favorable change of standard flow characteristics of fresh SCC. An interesting aspect of the investigation was the influence of SP on binder *in integrum*, including cementitious/pozzolanic material (fly ash).

It was found that for a designed SCC mix, a

beton, aditivul superplastifiant (SP1 sau SP2), în dozaj adecvat, tehnic și economic, a contribuit în mod decisiv la diminuarea efortului de curgere (corelat cu creșterea diametrului turtei de răspândire) și la micșorarea vâscozității (a timpului de curgere).

3.2. Caracteristicile BAC în stare întărită

3.2.1. Evoluția rezistenței la compresiune

Seria I de probe BAC, cu rezistența la compresiune corespunzătoare clasei C30/37, conține probe cu CEM II 42,5N și adaos de cenușă zburătoare, precum și proba de referință, (C4ref), doar cu ciment CEM II 42,5N. Rezistența la compresiune la 28 de zile, f_{c28} , este adecvată, ca rezistență inițială, pentru C30/37, clasa prestabilită.

Toate probele au avut valori medii ale f_{c28} de la 43,5 la 48,5MPa (tabelul 5).

Rezistența la compresiune a probelor de la C1 la C7 a avut o evoluție continuu crescătoare până la 90 și 360 zile. La 360 de zile, BAC cu cenușă atinge valori mai mari ale rezistenței la compresiune, decât BAC de referință. La vârsta timpurie (1 zi), rezistența BAC a fost sensibil micșorată de adaosul de cenușă. Odată cu creșterea vârstei betonului s-a modificat evoluția rezistenței. Astfel, diferențele mari între f_{c1z} a BAC de referință și cele ale probelor BAC cu diferite proporții de adaos de cenușă, se diminuează odată cu vârsta betonului. Prin urmare, raportul între rezistența la 360 zile și cea la n zile ($n < 360$), devine din ce în ce mai mic, aspect concretizat de valorile $f_{c360z}/f_{c1z} > f_{c360z}/f_{c28z}$, prezentate grafic în figura 2.

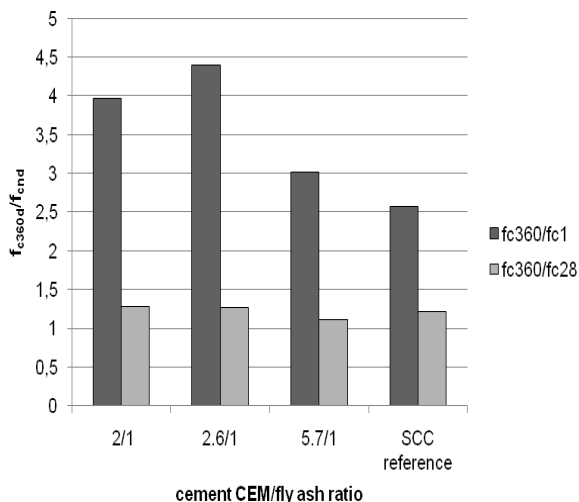


Fig 2. - Influența adaosului de cenușă asupra evoluției rezistenței la compresiune a BAC seria I/Influence of fly ash addition on the compressive strength of SCC, series.

Creșterea dozajului de liant total alcătuit din ciment și cantitatea de cenușă activă, care contribuie la formarea hidrosilicaților de calciu, cu hidroxidul de calciu eliberat de ciment (conform dozajului), a avut o influență favorabilă asupra creșterii rezistenței la compresiune la 90 și 360

technical and economical adequate amount of the superplasticizer (SP1 or SP2), contributed decisively to a decrease of the yield point (correlated with the spread diameter increase) and the viscosity (decrease of the flow time).

3.2. Characteristics of the hardened SCC

3.2.1. Compressive strength evolution

The series I of the SCC samples, with compressive strength class C30/37, includes samples prepared with CEM II 42.5 N and fly ash addition and a reference sample (C4ref) only with CEM II 42.5 N cement. Compressive strength at 28 days, f_{c28} , was appropriate, as regarding the initial results, for the designed strength class C30/37.

All samples had compressive strength, f_{c28} average values, ranging between 43.5 and 48.5 MPa and are showed in Table 5.

The compressive strength values of the samples, ranging from C1 to C7, had a continuously increasing trend to 90 and 360 days concrete age. The 360 days – compressive strength of the fly ash SCC, reached higher values than the reference. The early-compressive strength (at 1 day age), was significantly decreased by the fly ash addition. With increasing concrete age compressive strength development mode is changed. Thus, the large difference between the 1 day-compressive strength, f_{c1z} , of reference SCC and the fly ash SCC was diminishing in time, with SCC age increase. Therefore, the relationship f_{c360z}/f_{cnz} between the

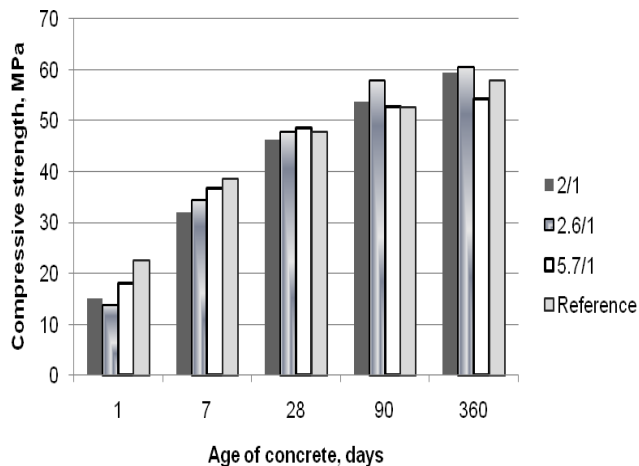


Fig. 3 - Influența raportului CEM IIB-M/cenușă asupra evoluției rezistenței la compresiune a BAC/Influence of CEM II/B-M / fly ash ratio on the compressive strength of SCC.

360 days - and n days - compressive strength ($n < 360$) becomes lower, as according to relationship $f_{c360z}/f_{c1z} > f_{c360z}/f_{c28z}$, showed graphically in Figure 2. Increasing of the dosage of total binder composed by cement and active fly ash, which contributes to the formation calcium silicate

zile, aspect redat grafic în figura 3.

Prin examinarea figurii 3 se poate selecta raportul ciment CEM II/cenușă favorabil creșterii de rezistență a betonului. Concret, se observă că proba cu raportul ciment CEM II/cenușă de 2,6/1 a prezentat cea mai bună evoluție a rezistenței, deoarece a avut cea mai scăzută rezistență la o zi (13,8 MPa), dar cea mai mare la 360 de zile (60,6 MPa).

Probele de BAC din seria a II-a de compoziții, cu CEM I și cu adaos de cenușă și proba de referință cu filer de calcar, au avut valorile medii ale rezistenței la compresiune în domeniul 40 – 63 MPa, prezentate în tabelul 6.

hydrates as a consequence of reaction with calcium hydroxide released by cement through hydrolysis process (according to the dosage) had a favorable effect on increasing of the compressive strength at 90 and 360 days, as you can see in Figure 3.

By examination of Figure 3 can be selected more favorable cement/fly ash ratio for compressive strength increase. Specifically, it is clear that sample with the cement/fly ash ratio of 2.6/1 showed the best compressive strength development, because the 1 day-compressive strength was the lowest (13.8 MPa) and the highest at 360 days-compressive strength (60.6 MPa).

Tabelul 6

Rezistența la compresiune a probelor de BAC, seria II-a / Compressive strength of SCC series II samples

Cod BAC/Code of concrete	f_c , MPa				
	1	7	28	90	360
C9 _{ref}	37.8	53	59.6	64.5	67.8
C10	20	43.3	51.5	58.5	64.1
C24	15	42.8	55.5	60.2	nd
C13	28.5	42.5	43.5	48.6	nd
C14	25.8	55.5	59.5	65.1	67.8
C27	23	57.3	63.5	69.7	71.5
C41 _{ref}	40.2	46.5	55.8	58.9	nd
C41	29.1	39.5	45.6	49.5	nd
C31	26.5	34.2	40.5	45.9	nd

Evoluția rezistenței la compresiune a fost pozitivă până la termenul de încercare de 360 zile.

Rezistența la compresiune timpurie, la o zi, a fost categoric diminuată de un conținut echivalent de adaos de cenușă.

Influența dozajului de liant total, conform coeficientului de eficiență, k , și a raportului apă/liant este dată în graficele din figura 4.

Rezistența la compresiune a probelor de BAC de referință, cu ciment CEM I și filer de calcar a avut, în general, valori mai mari decât cea a probelor BAC cu CEM I și cenușă, calculat ca liant total, pe baza coeficientului k , (figura 4a).

The series II of the SCC mixes, with CEM I and fly ash addition, including the reference with limestone filler, too, had the average compressive strength values ranging from 40 to 63 MPa, showed in Table 6.

The compressive strength development has an increasing trend during all test period of 360 days. Early 1 day-compressive strength was significantly decreased by the equivalent binder content of fly ash added. The influence of dosage of total binder according to efficiency coefficient, k , and of the water/binder ratio are given in Figure 4.

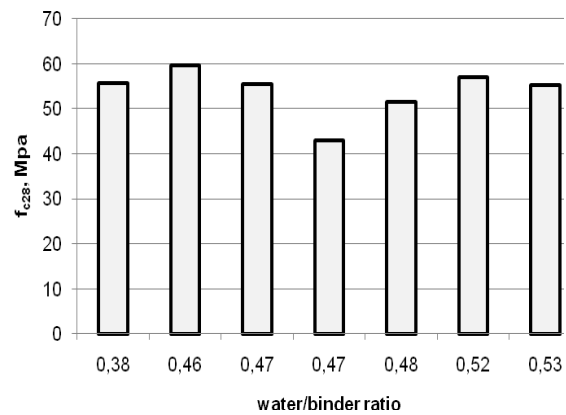
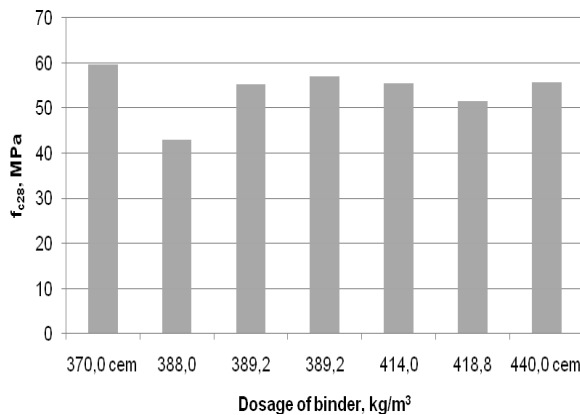


Fig. 4 – Influența dozajului de liant a) și b) a raportului apă/liant asupra rezistenței la compresiune la 28 de zile a BAC/Influence of binder dosage a) and b) of water/binder ratio on the 28 days compressive strengths of SCC, series II.

Raportul apă/liant a crescut cu cantitatea de adaos de cenușă în amestecul de pulberi. Rezultatele obținute, în cadrul încercărilor de laborator, au arătat că raportul apă/liant al probelor cu cenușă a avut o influență mai mică decât dozajul de liant efectiv (ciment+cenușă), asupra rezistenței la compresiune a betonului (figura 4b).

4. Concluzii

1. Programul de cercetare prezentat în cadrul lucrării a avut ca scop obținerea betonului autocompactant cu adaos de cenușă de termocentrală, în proporție de 20...34%, astfel încât rezistența la compresiune să aibă valori în domeniul 45 – 60 MPa.

Obiectivele lucrării au fost cercetarea influențelor factorilor compoziționali și, în special, a adaosului de cenușă de termocentrală, asupra rezistențelor mecanice și a lucrabilității betonului autocompactant. Factorii compoziționali principali, studiați ca variabile pentru lucrabilitate și rezistență la compresiune, au fost cimentul (CEM I 52,5R sau CEM II/B-M 42,5N), raportul apă/ciment (liant), adaosul (filerul), raportul cenușă/ciment și aditivul superplastifiant.

2. Betonul autocompactant cu cenușă de termocentrală a prezentat modificări ale caracteristicilor, în comparație cu betonul fără adaos de cenușă.

- Adaosul de cenușă a mărit efortul limită de curgere, respectiv, a micșorat abilitatea de umplere încercată prin răspândirea din tasare. Vâscozitatea, dată de timpul de răspândire (T500) și timpul de curgere prin pâlnia V, a crescut cu adaosul de cenușă, dar mai puțin semnificativ.

- Cenușă a avut un aport benefic asupra creșterii coeziunii betonului proaspăt, a stabilității la segregare, cât și a menținerii, în timp, a clasei de consistență prestabilite.

- Evoluția rezistenței la compresiune a BAC cu cenușă zburătoare a fost pozitivă până la termenul ultim de încercare, de 360 zile.

- Rezistența la compresiune timpurie a fost categoric diminuată de adaosul de cenușă.

- După 90 de zile, unele probe de BAC cu cenușă au atins valori mai mari ale rezistenței la compresiune, decât ale BAC de referință.

REFERENCES

1. xxx, EFNARC - The European Guidelines for Self-Compacting Concrete / Specification, Production and Use, May, 2005.
2. P.L. Domone, A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete. Cement and Concrete Composites, 2007, **29**(1), 1.
3. xxx, Comité Euro-International du Béton CEB-FIP Model Code 1990: design code, Thomas Telford, 1993.
4. xxx, BRE Design of normal concrete mixes, 2nd ed., Building Research Establishment, Watford, UK, 1997.
5. xxx, ASRO SR EN 206-1:2006, Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity

The compressive strength of the reference SCC samples, with cement CEM I and limestone filler, had, generally, greater values than the compressive strength of the SCC samples, with cement CEM I and fly ash calculated as total binder based on the k coefficient (Figure 4a).

The water/binder ratio increased due to higher fly ash proportion into powder mix. The data obtained in the laboratory test showed that the water/binder ratio of samples with fly ash had less relevance than the effective dosage of binder (cement+fly ash) on the SCC compressive strength (Figure 4b).

4. Conclusions

1. The research program showed in this paper aimed to obtain self compacting concrete with fly ash addition ranging from 20 to 34% of the powder amount, so that the compressive strength values of the hardened SCC be included between 45 – 60 MPa.

The main objectives of this research were to analyze the mix components influence, especially fly ash addition, on the SCC mechanical strengths and the workability. The main compositional factors studied as variables of the consistency and of the compressive strengths, were the cement (CEM I 52.5R or CEM II/B-M 42.5N), water/cement (binder) ratio, the addition (filler) type, the fly ash/cement ratio, and the superplasticizer admixture.

2. The self compacting concrete with fly ash addition showed some changes of the characteristics in comparison with the reference concrete, without fly ash.

- The fly ash addition increased yield point, respectively, decreased the filling ability tested by flow-slump test.

- Viscosity, described by the flow time (T500 time) and the V funnel time, was slightly increased.

- The fly ash addition had an unequivocally beneficial contribution on the fresh concrete cohesion and on the segregation resistance and of the designed consistency class maintaining in time.

- The compressive strengths of the SCC with fly ash showed a continuous increasing up to 360 days time.

- The early compressive strength was diminished by fly ash addition.

- Some SCC samples with fly ash addition achieved higher values of the compressive strength than reference SCC after 90 days.

6. M.Georgescu, N. Saca and G. Voicu, Hydration-hydrolysis processes in blended cements with limestone filler and fly ash content, Romanian Journal of Materials, 2008, **38**(4), 260.

7. N. Miura, N. Takeda, R. Chikamatsu and S. Sogo, Application of superworkable concrete to reinforced concrete structures with difficult construction conditions. In: Proc. ACI SP 140 High performance concrete in sever environment, Detroit, 1993, p. 163.
8. N. Bouzoubaa and M. Lachemi, Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results, Cement and Concrete Research, 2001, **31**(3), 413.
9. xxx, SR EN 197-1: 2002 Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
10. xxx, ASRO SR EN 12620:2003 - Aggregates for concrete.
11. xxx, SR EN 450: 2003 - Fly ash for concrete - Definitions, requirements and quality control.
12. xxx, INCERC – Code of practice for the execution of concrete, reinforced concrete and prestressed concrete. Part 1. Production of concrete. Indicative NE 012-1: 2007.
13. xxx, SR EN 206-9: 2010- Concrete - Part 9: Additional Rules for Self-compacting Concrete (SCC).
14. xxx, SR EN 12390-3: 2003 - Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS

SHCC2-Rio, December 12, 2011 to December 14, 2011

UFRJ Campus, Rio de Janeiro, Brazil

Sponsor(s): **RILEM, COPPE/UFRJ**

The Second RILEM International Conference on Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC2-Rio) will cover most aspects related to SHCC Materials (including Textile Reinforced Concrete). Contributions are called for oral and poster presentation. All papers will be peer reviewed and published in the conference proceedings, but the oral presentations will be invited by the conference organizers. Two poster sessions will be organized and a rich discussion of all contributions will be stimulated. The conference will be mainly organized in the following subjects that are closely related to the closing activities of the RILEM TC HFC and to the ongoing activities of the RILEM TC FDS.

- Test methods for mechanical characterization
- Structural design and performance
- Durability characterization and design
- Theoretical considerations and computational methods
- Sustainability
- Practical Applications

For more information, contact: Flavio de Andrade Silva
Federal University of Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil
E-mail: fsilva001@uol.com.br, **Phone:** +55 21 8181-3767

6th Middle East Symposium on Structural Composites, December 16, 2011 to December 19, 2011

Luxor, Egypt

Sponsor(s): **Egypt Chapter ACI**

The Sixth Middle East Symposium on Structural Composites for Infrastructure Applications 2011 - Smart and Sustainable Structures.

For more information, contact:
Dr. Amr Abdelrahman, 11 Omar Ibn El-Khatib, Sefarat District, Nasr City, Cairo, Egypt
Website: www.mesc6-egypt.com, **E-mail:** info@mesc6-egypt.com
Phone: +2 02 2671 8873, **Fax:** +2 02 2671 8873
