

# BETONUL AUTOCOMPACTANT – INFLUENȚA FILERELOR ASUPRA PROPRIETAȚILOR

## SELF COMPACTED CONCRETE –THE FILLERS INFLUENCE ON THE PROPERTIES

MARIA GHEORGHE\*, NASTASIA SACA, LIDIA RADU

Universitatea Tehnică de Construcții București, Blv. Lacul Tei, nr. 124, sector 2, 72302

### Abstract

The work aim was to study the influence on limestone filler (L) and volcanic tuff filler (VT) on the self compacted concrete (SCC) main properties referring to workability and compression strengths time-evolution. The using fillers addition to SCC is due to its positive influence on viscosity and segregation resistance.

The SCC workability is defined by the two rheological parameters, a low yield stress and an adequate plastic viscosity. SCC workability testing was carried out. These rheological parameters were described by flow ability measured by slump flow test and flowing rate, measured by  $T_{500}$  slump flow and V funnel test. The yield stress was described by SCC spreading diameter and the plastic viscosity was evaluated as SCC flow resistance measured by flow time,  $T_{500}$  or V funnel time. Also, was measured passing ability (L-box) and segregation stability (visual stability index).

The rheological properties (slump-flow) of the SCC precursory cement - filler paste, the aggregate particle size and the fine particles/coarse particles volumes ratios were the main parameters of SCC mix design.

The limestone powder played a beneficial role on the fresh SCC mobility and on the hardening rate in the first 10...48 hrs. The  $f_{c2}/f_{c28}$  ratio of limestone filler SCC samples was varied from 0,70 to 0,9. The volcanic tuff filler slightly worsened SCC flowability and early strength development. The  $f_{c2}/f_{c28}$  ratio of volcanic tuff SCC samples was varied from 0,53 to 0,69. On the other hand the volcanic tuff powder has had a better positive influence on the longer term compression strength development than limestone filler.

**Keywords:** limestone and volcanic tuff fillers; self compacted concrete; workability; compression strength.

### 1. Introducere

Betonul autocompactant (BAC) este un beton fluid care se compactează la densitatea maximă posibilă, sub efectul propriei greutate și se autofinisează. Caracteristica proeminentă a BAC este lucrabilitatea măsurată de fluiditate/mobilitate, abilitate de trecere printre barele de armătură și rezistență la segregare. Betonul autocompactant, BAC a generat un mare interes de la obținerea sa în Japonia de către Okamura în 1980 [1-3] și, de asemenea, în alte țări - Franța, Suedia, Germania, Olanda, Anglia, China și SUA. Avantajele SCC (self compacted concrete) includ realizarea de elemente structurale cu armare densă și geometrie complexă, reducerea costurilor de manoperă și a zgomotului generat de vibratoare la punerea în operă - *European Guidelines for Self compacting Concrete* [4-6]. Betonul autocompactant poate fi încadrat în categoria *betonului verde* (green concrete), datorită economiei de energie și micșorării poluării sonore [7, 8]. Betonul autocompactant prezintă dezavantaje, concretizate în costurile mai mari ale materialelor (pulberi minerale și aditivi chimici), precum și un nivel ridicat de expertiză, pentru proiectarea și realizarea amestecurilor care îndeplinesc cerințele privind clasele de lucrabilitate și de rezistență mecanică [9, 10].

---

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel. 0040-21-242 12 08/202, e-mail: [maria\\_gh2001@yahoo.com](mailto:maria_gh2001@yahoo.com)

Proiectarea amestecului de beton autocompactant se bazează pe proprietățile de lucrabilitate impuse betonului proaspăt [2, 11, 12] sau pe optimizarea distribuției granulometrice a particulelor de agregat, pe principiul împachetării la un volum minim de goluri, care controlează volumul (minim) de pastă [13, 14]. Una din cele mai folosite metode utilizează modelarea reologică a betonului autocompactant și a constituenților - pastă (ciment+filer+apă+aditivi), mortarul (pastă+nisip) și betonul (mortar+agregat grosier) [6, 14].

Abilitatea de curgere și umplere a cofrajelor armate dens și de înglobare a armăturii sub efortul propriei greutate, fără vibrație, este determinată de proprietățile reologice în stare proaspătă. Proprietățile reologice cheie ale betonului autocompactant proaspăt sunt efortul limită de curgere cu valoare redusă, asociat cu rezistența la curgere adecvată, definită de vâscozitatea plastică. Limita de curgere este descrisă experimental de consistența betonului și se determină prin testul de răspândire din tasare. Vâscozitatea, este măsurată ca valoare convențională, dată de viteza de curgere evaluată de timpul de răspândire din tasare (T500) sau timpul de curgere prin pâlnia V [15]. Limita de curgere și vâscozitatea plastică, caracteristicile reologice principale ale BAC, sunt corelate cu volumul de pulberi și volumul de pastă (care controlează vâscozitatea) și cu aditivii superplastifianți – SP (pentru micșorarea efortului limită de curgere). Filerile reglează vâscozitatea, măresc rezistența la segregare [4, 5], modifică distribuția porilor către dimensiuni mai mici, și, prin aceasta, modifică variația umidității betonului, care controlează deformațiile de contracție și fluaj [16].

De asemenea, adaosurile puzzolanice, prin reacția puzzolanică, contribuie la dezvoltarea structurii de rezistență și la creșterea rezistenței la atac chimic a betonului [17]. Un studiu remarcabil despre activitatea hidrochimică a trasului și metode de evaluare, este cel prezentat de Ionescu – Bujor în Ședința Academiei Romane 4mai/ 1924 [18].

Lucrarea de față prezintă rezultate experimentale realizate la Universitatea Tehnică de Construcții București, incluse în rapoartele tehnice ale proiectului CEEX, 2006-2008 [19].

Scopul lucrării prezentate în acest articol a fost de investigare a influenței filerelor – de calcar (L) – de referință - și de tuf vulcanic (VT), asupra proprietăților BAC în stare proaspătă și întărită. Așa cum s-a menționat performanțele corespunzătoare BAC, în stare proaspătă sunt: limita redusă de curgere și vâscozitatea adecvată, ca parametri de evaluare a lucrabilității. Proiectarea compoziției BAC a urmat, în general, metoda Okamura și Ozawa [1-3], care conduce la obținerea betonului autocompactant cu volum mai mare de pastă decât cel optim, dar răspunde cerințelor unui BAC foarte lucratil, utilizat în tehnologia elementelor prefabricate armate dens. Au fost stabilite proprietățile reologice ale BAC, în stare proaspătă : clasa de consistență SF2/SF3 (660...780mm, răspândire din tasare); clasa de vâscozitate VS2 (> 2 s caT<sub>500</sub>) și abilitatea de trecere prin cutie L cu trei bare, clasa PA2 (≥ 0,8), conform EFNARC- *European Guidelines for Self compacting Concrete*. Clasele de rezistență proiectate au fost C30/37; C40/50 și C55/60, conform SR EN 206-1.

## 2. Partea experimentală

### 2.1. Materiale și metode

Programul de cercetare a debutat cu selectarea materialelor – ciment, filere, agregate și aditivi puternic reducători de apă.

Cimenturile CEM I 42,5R (Carpatciment) și CEM I 52,5R (Lafarge) (SR EN 197-1), cu suprafața specifică de 3300 cm<sup>2</sup>/g și, respectiv, 4088 cm<sup>2</sup>/g, au fost utilizate.

Filerul de calcar (L) comercial și tuful vulcanic (TV) procesat prin măcinarea deșeurilor de prelucrare ale rocii zeolitice de Perșani-judetul Brasov [20] are caracteristicile mineralogice și fizice date în tabelul 1. Forma și textura suprafeței particulelor de calcar și de tuf vulcanic sunt descrise de imaginile SEM din figura 1 și 2. De asemenea, în figura 3 este prezentat spectrul EDAX al tufului vulcanic, prin care se poate aprecia preponderența mineralului zeolitic - aluminosilicat de potasiu și calciu - probabil, philipsithe (Ca,K<sub>2</sub>[Al<sub>3</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>16</sub>].7H<sub>2</sub>O [19]. Indicele de activitate la 28 de zile al tufului vulcanic a fost bun, de 90,5%.

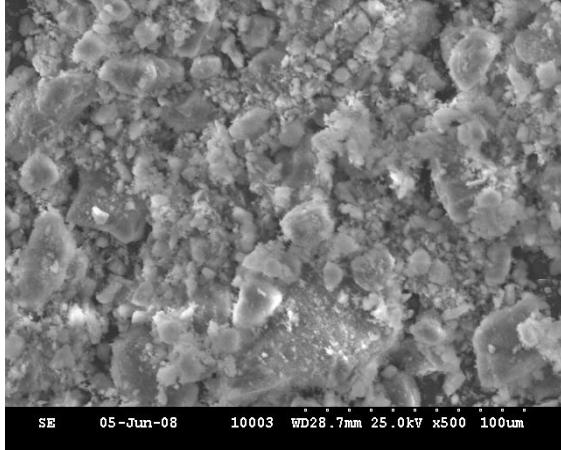
**Tabelul 1**

Caracteristicile mineralogice și fizice ale filerelor /Mineralogical and physical characteristics of fillers

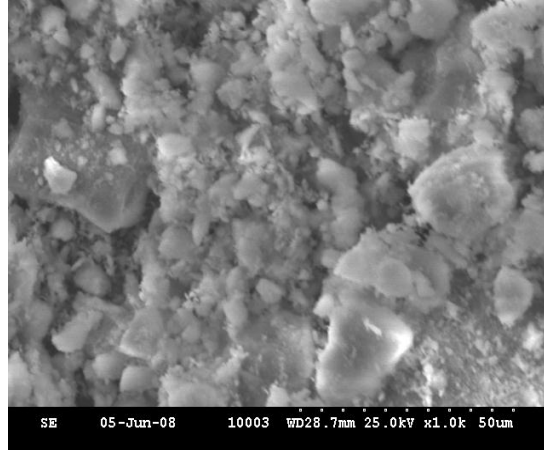
Filer/ Filer	Compoziția mineralogică /Mineralogical origin	Comp. ox. principali. /Main oxyde comp. %	Finețea/ fine particles as R <sub>0,125</sub> %	Densitatea/ Density, kg/m <sup>3</sup>	Densitatea în grămadă/ loose aggregate density	Indice de activitate* /activity index, %

Calcar /limestone	calcit/calcite (>97 % CaCO <sub>3</sub> )	CaO =51 % SiO <sub>2</sub> =0.6%	39,4	2678	1023	-
Tuf vulcanic /volcanic tuff	zeoliți feldspati alterați /zeolithes; tainted feldspars	SiO <sub>2</sub> = 62% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 13%	21,7	2028	780	90,5

\*conform/according to SR EN 196-1:06

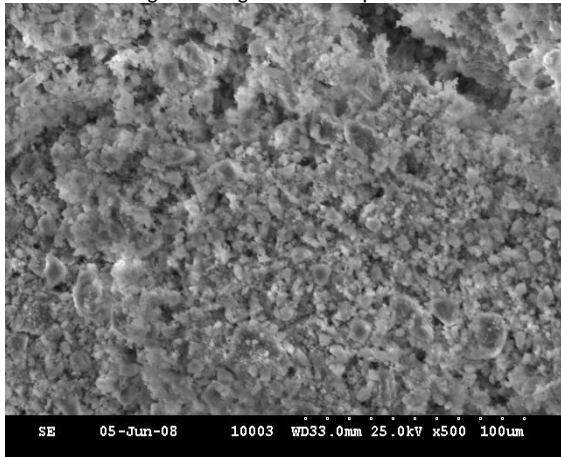


a)

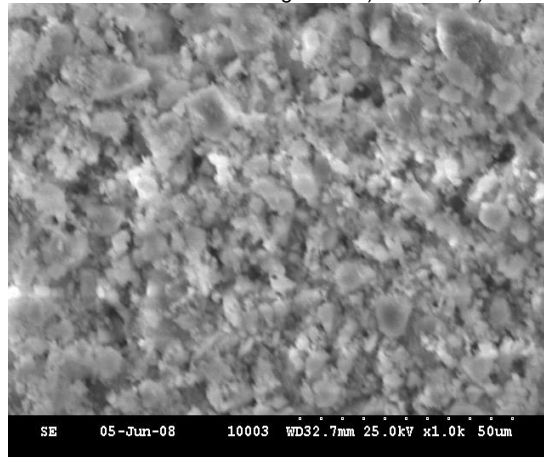


b)

Fig. 1 - Imagini SEM ale particulelor de tuf vulcanic / The volcanic tuff SEM imagines: 1a) x500 si 1b) x1000



a)



b)

Fig. 2 - Imagini SEM ale particulelor de calcar / The limestone SEM imagines : a) x500 și b) x1000 .

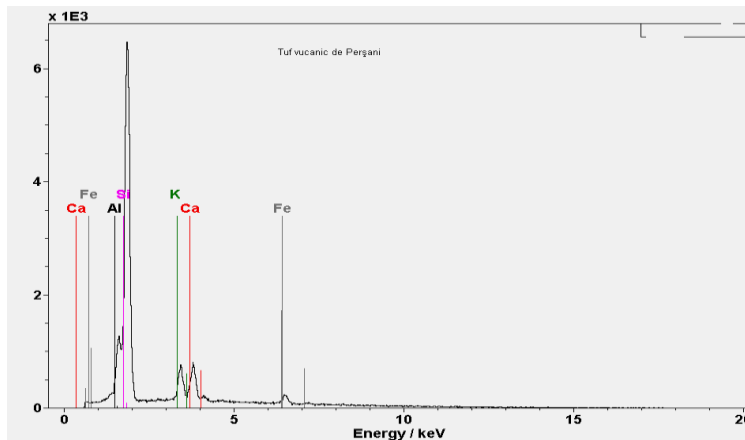


Fig. 3. Spectrul EDAX al tufului vulcanic /The volcanic tuff EDAX spectrum.

Filerile au fost investigate prin analiză termică, iar rezultatele obținute, referitoare la curbele TG și DTG, sunt prezentate în tabelul 2.

**Tabelul 2**

Efectele termice și pierderea de masă ale filerelor L și VT conform curbelor DTG și TG / Thermal effects and mass loss of L and VT fillers from DTG and TG curves

Filer/Filler	T <sub>max</sub> Endo /endo effet T <sub>max</sub> , °C	Interval temperatură (Pierdere de masă)/ Temp area, °C (weight loss, %)	Pierdere totală de masă, /Total weight loss %, at 20...900°C
L	897	20...680°C (0,66) 680...900°C (33,57)	34,23
TV	119; 192	119...192 °C (8,83)	10,83

Filerul de calcar conține preponderent carbonat de calciu, cu aproximativ 34% pierdere de masă, ca CO<sub>2</sub>, în intervalul 680 - 900°C, destul apropiat de cantitatea stoechiometrică (44%). Tuful vulcanic, de tip zeolitic, a avut pierderea de masă de 10,83% în intervalul 119 - 192°C, ca apă zeolitică.

Compoziția granulometrică a agregatelor din amestecul de beton autocompactant are un rol major asupra lucrabilității și a rezistenței la segregare. Caracteristicile fizice ale agregatului sunt date în tabelul 3.

**Tabelul 3**

Caracteristicile fizice ale agregatului/ Aggregate physical characteristics

Caracteristica/Characteristic	Nisip de râu/River sand	Agregat grosier de râu/River coarse aggregate 4/16 mm	Piatra spartă/Crushed stone, 4/8mm
Desitatea aparentă/Volumic mass, kg/m <sup>3</sup>	2600	2665	2674
Densitatea în gramadă îndesată/packed density, kg/m <sup>3</sup>	1702	1665	1651
Absorbția apei/Water absorption, %	nd	4,6	4,8

Probele de BAC s-au realizat cu aditivi puternic reducători de apă din grupa eterilor policarboxilați (Glenium ACE 30 și 60). Compatibilitatea cimenturilor și adaosurilor cu aditivii a fost studiată pe paste precursorale ale betonului autocompactant (înainte de introducerea agregatelor) și s-a stabilit dozajul optim pentru o valoare țintă a consistenței.

## 2.2. Stabilirea compoziției BAC

Stabilirea compoziției probelor de beton autocompactant a debutat cu stabilirea valorilor țintă pentru lucrabilitatea betonului proaspăt și pentru clasa de rezistență.

Proiectarea compoziției BAC, așa cum s-a menționat în cap. 1 – Introducere, a avut caracter secvențial, începând cu obținerea și investigarea caracteristicilor reologice ale pastei ca matrice a betonului autocompactant, conform metodei propuse de Okamura și Ozawa [3], care a fost adoptată de European Specification and Guidelines for SCC [6]. Metoda adoptată compoziției de BAC cu volum mare de pastă și este recomandabilă pentru elemente structurale armate dens și include etapele:

- Stabilirea compoziției pastei/matricei BAC, prin optimizarea raportului volumic apă/pulberi, a tipului și dozajului de aditiv SP pentru atingerea criteriilor de performanță adecvate BAC. Această etapă ține seama de faptul că fluiditatea și stabilitatea la segregare a betonului autocompactant sunt controlate, în mare parte, de caracteristicile de curgere ale pastei (matricei) din alcătuirea BAC;
- Obținerea betonului, prin încercări succesive, cu rapoartelor volumice stabilite între pastă/nisip/agregat grosier.

Inițial s-a determinat raportul Volum apă/Volum pulberi ( $V_A/V_P$ ), pentru o curgere zero a pastei, măsurată ca răspândire nulă, pentru diferite proporții de ciment și de adaosuri minerale pulverulente/filer. S-au preparat paste de ciment+filer +nisip 0125 cu diferite rapoarte apa/pulbere,  $V_A/V_P$ , respectiv, 1,1;1,2;1,3 și 1,4. Consistența pastelor s-a determinat prin metoda răspândirii din tasare (s-a folosit un vas tronconic mic cu dimensiunile : D = 100 mm, d= 70mm și H = 60mm).

S-a calculat răspândirea relativă ca măsură a capacității de curgere, cu relația :

$$\Gamma_p = \left( \frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1,$$

unde,  $D_m$  este diametrul mediu al turtei de răspândire, mm ;  $D_0$  este diametrul mare al vasului tronconic.

Din ecuațiile de regresie ale curbelor de variație a răspândirii relative în funcție de raportul  $V_A/V_P$  s-a obținut  $\beta_p$ , punctul de curgere zero al pastei. Valoarea  $\beta_p$  este importantă pentru aprecierea cantității de apă necesare pentru diferite tipuri de pulberi (ciment și filere). În figurile 4-6 este prezentată grafic influența raportului  $V_A/V_P$  (W/P) asupra consistenței pastelor ciment-filer care constituie matricea BAC. S-a constatat că vâscozitatea pastelor crește, în general, cu volumul de pulberi, iar creșterea volumului de ciment a accentuat procesul.

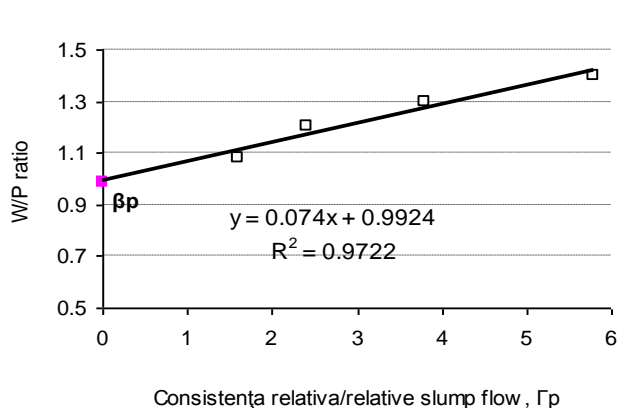


Fig. 4. Determinarea  $\beta_p$  pe grupul de paste cu raport ciment: filer L = 1:0,2/ Determination of  $\beta_p$  of paste group with cement: L filler ratio = 1:02

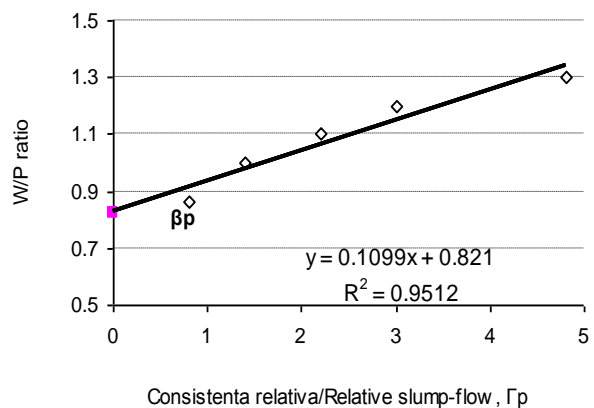


Fig. 5. Determinarea raportului  $\beta_p$  pe paste din grupa cu raport ciment: filer L = 1:0,11/ Determination of  $\beta_p$  of paste group with cement: L powder ratio = 1:0,11

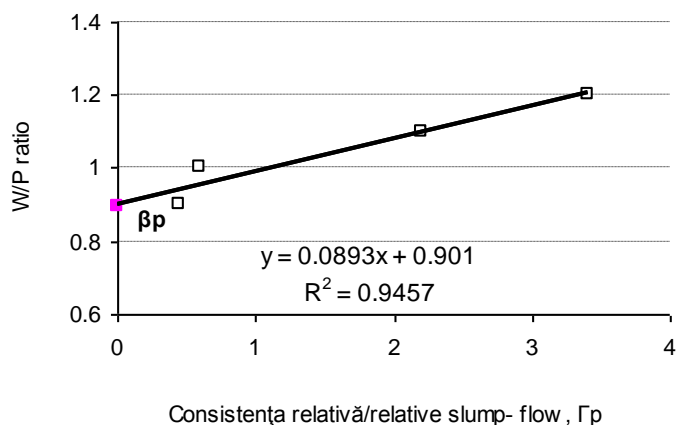


Fig. 6. Determinarea  $\beta_p$  pe paste din seria cu raport ciment :TV filer = 1:0,3 / Determination of  $\beta_p$  of paste group with cement: VT filler ratio = 1:0,3

S-a obținut un spectru de valori pentru  $\beta_p$ , în domeniul 0,82...0,99. Raportul  $V_A/V_P$  pentru curgere zero crește de la 0,82 la 0,99, cu cantitatea de filer de calcar, de 110 și respectiv 160 kg /m<sup>3</sup>. Pasta cu o cantitate echivalentă de filer de tuf vulcanic, are un raport  $\beta_p$  de 0,90, mai mare decât cea cu filer de calcar, cu  $\beta_p$  de 0,82.

Compatibilitatea pulberilor (ciment + filer L sau TV) cu aditivul superplastifiant (SP) s-a evaluat prin măsurarea răspândirii din tasare la un raport constant  $V_A/V_P$  și variația dozajului de aditiv SP (figura 7).

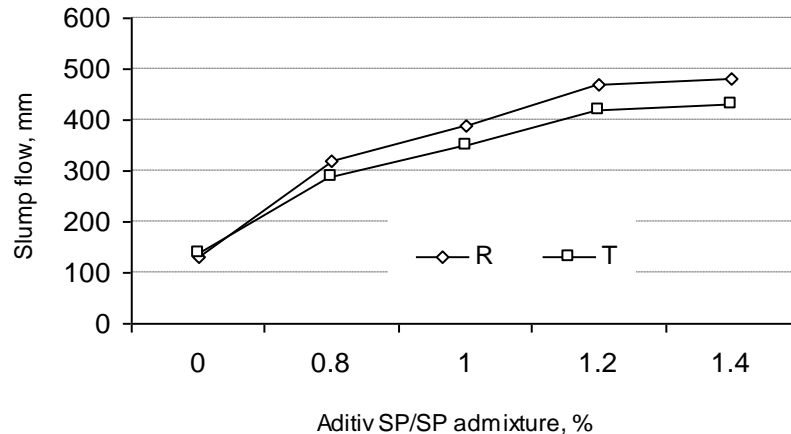


Fig. 7. Influența aditivului superplastifiant asupra consistenței pastei din alcătuirea BAC /SP admixture influence on the SCC paste slump- flow

Pentru o consistență de 400...450 mm a fost necesar un dozaj de aditiv SP în domeniul 1,1...1,3%. S-a constatat ca pastele cu tuf vulcanic (T) necesită o concentrație mai mare de aditiv SP, ca urmare a conținutului mai mare de particule fine și a caracteristicilor texturale și de formă a granulelor, comparativ cu pastele cu filer de calcar, R.

Granulozitatea agregatului și raportul volumic între nisip și agregatul grosier,  $V_N/V_{Agg}$ , pentru compozițiile de BAC, s-au stabilit prin încercări succesive asupra lucrabilității, pentru atingerea criteriilor de acceptare ca beton autocompactant.

În concluzie, s-au preparat betoane cu dozaje de ciment de 420...500 kg/m<sup>3</sup>, rapoarte A/C de la 0,36 la 0,43, în funcție de clasa de rezistență proiectată. S-au realizat patru perechi de compoziții cu filer de calcar sau tuf cu vulcanic (R1, R6, R7 și R8, respectiv, T1, T6, T7 și T8), conform datelor din tabelul 4.

De asemenea, probele de BAC s-au obținut cu agregat de concasare cu  $D_{max} = 8\text{mm}$  (R1, T1 R8 și T8) și betoane cu pietriș natural,  $D_{max} = 16\text{mm}$  (R6, T6, R7, și T7), cu diferite volume de pulberi, de la 190 la 216 L (ciment+filer +nisip cu  $d<0,125$ ). Volumul relativ ridicat de pulberi a fost corelat cu necesitatea obținerii de BAC foarte lucrabil și stabil, cu viteză rapidă de întărire pentru elemente structurale prefabricate dens armate.

S-au turnat epruvete cubice, cu latura 10cm, care au fost păstrate în apă până la termenul de încercare a rezistenței la compresiune sau tracțiune din despicare. Clasele de rezistență proiectate au fost C30/37; C40/50 și C55/60, conform SR EN 206-1.

Tabelul 4

Compoziții de beton auocompactant/Mix proportions of SCC		R1	T1	R6	T6	R7	T7	R8	T8
Parametru compozițional/ Compositional parameter									
Ciment/Cement, kg/m <sup>3</sup>	CEM I 42,5R	476	480	470	462	420	427		
	CEM I 52,5R							487	508
Filers /Additions, kg/m <sup>3</sup>	Calcar/limestone powder	110		128		136		90	
	Tuf vulcanic/volcanic tuff powder		110		125		133		80
Nisip de râu /River sand kg/m <sup>3</sup>		933	992	965	926	993	941	1025	1081
Piatră spartă /Crushed stone Dmax 8 mm, kg/m <sup>3</sup>		621	534	0	0	0	0	684	533
Agregat grosier/Coarse aggregate, Dmax 16 mm, kg/m <sup>3</sup>		0	0	643	617	662	627	0	0
Aditiv SP puternic reducător de apă/High- range water reducer SP admixture, %		0,7	0,7	1	1	1	1,4	1,7	1,9
Apă/Water, L/m <sup>3</sup>		200	200	192	200	194	194	185	185
Raportul A/C /W/C Ratio		0,42	0,42	0,41	0,43	0,46	0,45	0,38	0,37
Volum pulberi, V <sub>P</sub> ./Powder content, V <sub>P</sub> L/m <sup>3</sup> $V_P = V_{cem} + V_{filler} + V_{sand < 0.125}$		216	216	202	206	190	208	203	214
Raport A/P, apa/pulberi, /water/powder W/P weight ratio		0,33	0,32	0,31	0,32	0,33	0,33	0,31	0,30
Raport V <sub>A</sub> /V <sub>P</sub> / V <sub>w</sub> /V <sub>p</sub> volumic ratio		0,93	0,93	0,95	0,97	1,02	0,93	0,91	0,86

### 2.3. Metode pentru evaluarea lucrabilității BAC

Determinarea lucrabilității betonului autocompactant s-a efectuat în conformitate cu metodele descrise în lucrările EFNARC, *European Guidelines for Self compacting Concrete* [4-6, 15]. Caracteristicile care definesc lucrabilitatea BAC și metodele folosite pentru determinare, sunt prezentate în tabelul 5.

**Tabelul 5**

Metodele folosite de evaluarea a lucrabilității BAC/Methods utilised for testing SCC workability

Caracteristica BAC /SCC Characteristic	Metoda de încercare/Testing method	Metoda măsurare/method measures
Abilitatea de curgere/Abilitatea de umplere/Flow ability/filling ability	raspandirea din tasare /slump flow test	Răspândirea/spreading, mm
Vâscozitatea/Viteza de curgere //Viscosity/flow rate	T <sub>500</sub> /slump flow test T <sub>500</sub> Palnia V/V funnel test	Timpul de curgere/flow time, s
Abilitatea de trecere printre bare de armatură/Passing ability	Cutia L/L box	Raportul de trecere H2/H1//passing ratio H2/H1
Stabilitatea la segregare/segregation stability	Examinarea raspandirii din tasare/ visual inspection of slump flow area of SCC	Indicele de stabilitate/observațiile vizuale a suprafeței BAC// Stability index and visual information notes [ 21]

Caracteristicile reologice de curgere (consistența, viteza de curgere, abilitatea de trecere printre barele de armătură) și stabilitatea la segregare au valori în domenii limită care sunt criteriile de acceptare sau nu a calității de beton autocompactant. Cerințele de lucrabilitate pentru betonul autocompactant au fost următoarele: clasa de consistență SF2/SF3 (660...780mm, răspândire din tasare); clasa de vâscozitate VS2 (>2 s, pentru T<sub>500</sub>) și abilitatea de trecere prin cutie L, cu trei bare, clasa PA2 (H2/H1 ≥ 0,8), conform EFNARC- *European Guidelines for Self compacting Concrete*.

### 3. Rezultate și comentarii

#### 3.1. Proprietățile BAC proaspăt

Caracteristicile betonului proaspăt determinate au fost: aerul antrenat, masa volumică și lucrabilitatea. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 6.

**Tabelul 6**

Proprietățile BAC proaspăt / Fresh SCC properties

Caracteristica /Characteristic	R1	T1	R6	T6	R7	T7	R8	T8
Aer antrenat/ Entraing air, %	2,1	3	1,5	1,6	2,7	2,8	2,8	1,8
Masă volumică/ Unit weight of fresh SCC mix, kg/m <sup>3</sup>	2341	2312	2330	2326	2362	2334	2334	2356
Răspândirea din tasare/ Slump- flow area, mm	640 SF1	700 SF2	680 SF2	780 SF3	780 SF3	670 SF1	660 SF1	820 SF3
Vâscozitatea/ Viscosity, T <sub>500</sub> , sec.	17 VS2	4 VS2	11 VS2	6 VS2	7 VS2	9 VS2	5 VS2	4 VS2
L box, H2/H1, %	0,87 PA2	Nd	Nd	0,90 PA2	0,92 PA2	0,92 PA2	0,92 PA2	0,9 PA2
Indicele de stabilitate [21]/ Stability index [21]	0 proper SCC	0 proper SCC	0 proper SCC	0 proper SCC	1 acceptable SCC	0 proper SCC	0 proper SCC	1 acceptable SCC

Aerul antrenat atinge 2,8%, datorită funcției suplimentare de antrenator de aer a aditivului superplastifiant. Pe baza datelor de răspândire din tasare, de 640...820mm, nu toate betoanele se încadrează în clasa de consistență prestabilită, ca criteriu de acceptare a calității BAC. Creșterea volumului de pulberi a micșorat viteza de curgere (proba R1), dar a favorizat rezistența la segregare. Creșterea dozajului de aditiv SP a avut rol decisiv pentru micșorarea vâscozității probelor cu volum mare de pulberi (R8 și T8). Mobilitatea betonului cu filer de calcar a fost mai mare decât a betonului cu pulbere de tuf vulcanic.

În concluzie, conform datelor experimentale obținute, se poate aprecia că filerul L a favorizat lucrabilitatea – prin creșterea mobilității betonului proaspăt, iar filerul VT a determinat creșterea cantității de apă necesară și de aditiv superplastifiant cu 0,2...0,4%, pentru atingerea criteriilor de lucrabilitate acceptate pentru betonul autocompactant.

Criteriile de acceptare ca beton autocompactant au fost îndeplinite de majoritatea compozițiilor cu excepția probei R1, cu o consistență la limită, de 640mm și vâscozitate mare, dată printr-un timp de curgere, determinat prin testul  $T_{500}$ , de 17 s și a probei T8, cu fluiditate foarte mare și cu indice de stabilitate la segregare acceptabil [21]. Aditivul SP și raportul apa/pulberi au avut rol decisiv asupra vâscozității, consistenței și stabilității la segregare a BAC. Astfel, pentru obținerea valorilor țintă ale caracteristicilor reologice, dozajul de aditiv SP – polietercarboxilat, a variat în domeniul 1...1,7%, în funcție natura și volumul de pulberi.

### 3.2. Proprietățile betonului autocompactant în stare întărită

Rezistența la compresiune a BAC, pe o perioadă de 360 zile, a avut o evoluție continuu ascendentă (tabelul 7), iar viteza de întărire a fost influențată de tipul de filer. Rezistența la compresiune  $f_{c28}$ , a variat în domeniul 52...72 MPa, în funcție de raportul A/Pulberi, de tipul și dozajul de ciment. Rezistența la întindere din despicare a avut valori în domeniul 5,3...9,3 MPa. Rezistența la întindere din despicare a BAC cu filer de calcar a fost, în mod constant, ușor mai mică decât cea a betonului autocompactant cu tuf vulcanic.

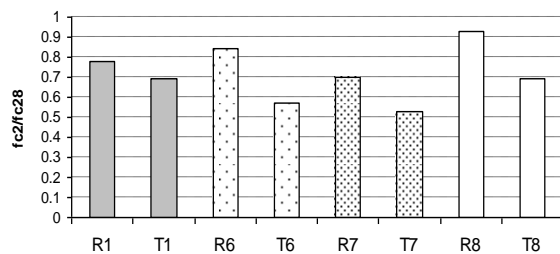
Tabelul 7

Caracteristicile betonului autocompactant/Self compacted concrete characteristics								
Cod beton/ concrete code	Volumic mass, $\rho_a$ , kg/m <sup>3</sup>	Rezistența la compresiune/Compression strength, MPa						Rezistența la despicare/ split tensile strength, $f_{td28}$ ,
		$f_{c2}$	$f_{c28}$	$f_{c56}$	$f_{c90}$	$f_{c180}$	$f_{c360}$	
R1	2415	42,4	54,0	67,0	71,5	83,0	86,1	5,9
T1	2361	36,6	52,5	74,0	70,5	93,5	97,8	7,6
R6	2431	47,5	56,5	64,0	78,0	81,1		5,3
T6	2380	39,6	69,5	71,0	79,5	84,6		5,4
R7	2384	34,2	49,0	53,5	68,5	73,4		4,8
T7	2349	38,2	72,5	78,0	79,0	85,2		7,4
R8	2382	50,4	65,1	69,2	89,5	95,2	97,1	8,4
T8	2395	46,6	67,5	77,0	100,0	105,3	110,2	9,3

Filerul de calcar a determinat o creștere a vitezei de întărire, în comparație cu filerul de tuf vulcanic, aspect accentuat de cimentul CEM I 52,5R, comparativ cu CEM I 42,5R (figura 8). Astfel, rezistența la compresiune la 48 de ore a variat între 70 și 93 % din rezistența finală, aspect redat grafic în figura 9. Tuful vulcanic a favorizat dezvoltarea structurii de întărire la termen mai mari de 2 zile, iar raportul  $f_{c180}/f_{c2}$  a avut valori în domeniul 2,14...2,55, spre deosebire de betonul cu filer de calcar unde  $f_{c180}/f_{c2}$  a avut valori mai mici, cuprinse în domeniul 1,7...2,1, conform reprezentării grafice din figura 9.

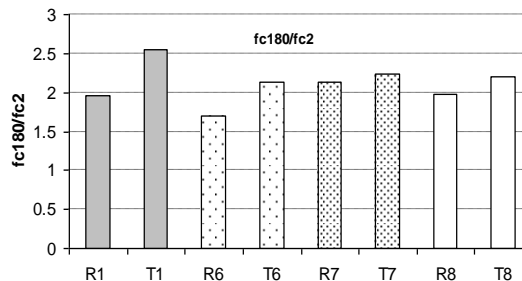
Contribuția pulberii de calcar la creșterea rezistențelor pe termen scurt este argumentată fie ca efect al formării de centre de nucleație pentru cristalizarea hidroxidului de calciu [23-25], fie ca urmare a reactivității potențiale a calcitului [26], în funcție de originea mineralogică. Pulberea de tuf vulcanic conține minerale zeolitice (aluminosilicați alcalini) cu structură preponderent vitroasă, determinată de roca de origine [19, 20]. Este cunoscut că structura alumino-silicatică vitroasă conferă tufului vulcanic activitate hidraulică. În cadrul acestui studiu, indicele de puzzolanicitate determinat a fost de 90%, valoare care sugerează o activitate semnificativă. Activitatea hidraulică a filerului TV a fost vizibilă în comparație cu betonul autocompactant de referință, cu filer de calcar, aspect care poate explica evoluția mai bună a rezistenței la compresiune la vârste mai mari a BAC.





R - BAC de referință cu filer de calcar/R-reference SCC with limestone filler; T- BAC cu tuf vulcanic/T- SCC with volcanic tuff

Fig. 8. Influența calcarului și a tufului vulcanic asupra vitezei de întărire a BAC, ca raport  $f_{c2}/f_{c28}$ /Influence of volcanic tuff on the SCC hardening rate, measured as  $f_{c2}/f_{c28}$  ratio



R - BAC de referință cu filer de calcar/R-reference SCC with limestone filler; T- BAC cu tuf vulcanic/T- SCC with volcanic tuff

Fig. 9. Influența calcarului și a tufului vulcanic asupra rezistenței la compresiune pe termen lung a BAC/Influence of volcanic tuff on the longer term strength of SCC

În concluzie, BAC cu filer de calcar a avut viteza de întărire mai mare în 48 de ore, aspect obligatoriu pentru tehnologia elementelor structurale prefabricate, iar filerul de tuf vulcanic a contribuit semnificativ la dezvoltarea structurii de întărire la termene mai lungi.

Conform valorilor obținute pentru,  $f_{c28}$ , s-au obținut probe de beton autocompactant care, prin rezultatele inițiale ale rezistenței la compresiune, se încadrează în clasele de rezistență C30/37, C40/50 și C50/60.

#### 4. Concluzii

Scopul lucrării prezentate în acest articol a fost de investigare a influenței filerelor – de calcar (L) – de referință - și de tuf vulcanic (TV), asupra lucrabilității și evoluției rezistenței la compresiune a betonului autocompactant în stare proaspătă și întărită.

Proiectarea compoziției a ținut seama de proprietățile reologice ale pastelor precursorare, astfel încât lucrabilitatea betonului proaspăt să fie cea corespunzătoare unui beton autocompactant, concretizată de clasa de consistență SF2/SF3 (660...780mm, răspândire din tasare); clasa de vâscozitate VS2 (>2 s, evaluată prin  $T_{500}$ ) și abilitatea de trecere prin cutie L, cu trei bare, clasa PA2 ( $H2/H1 \geq 0,8$ ).

Lucrabilitatea BAC a fost decisiv influențată de aditivul SP, raportul apă/pulberi, de tipul și dozajul de filer. Conform datelor experimentale obținute se poate aprecia că filerul L a favorizat lucrabilitatea – prin creșterea mobilității betonului proaspăt. Filerul TV a determinat, în general, creșterea cantității de aditiv SP, în comparație cu filerul L, pentru atingerea criteriilor de lucrabilitate acceptate pentru BAC. Criteriile de acceptare ca beton autocompactant au fost îndeplinite de majoritatea compozițiilor cu excepția probei R1, cu o consistență la limită, de 640mm și vâscozitate mare și a probei T8, cu fluiditate foarte mare și indice de stabilitate acceptabil.

Rezistența la compresiune  $f_{c28}$ , a variat în domeniul 52...72 MPa, iar rezistența la întindere din despicare  $f_{td28}$  a avut valori în domeniul 5,3...9,3 MPa. Rezistențele mecanice și modul de evoluție, până la 360 de zile, au fost semnificativ controlate de parametri compoziționali - raportul apă/pulberi, de tipul și dozajul de ciment și filer (L sau TV). Filerul de calcar a determinat o creștere a vitezei de întărire în comparație cu filerul de tuf vulcanic, aspect accentuat de cimentul CEM I 52,5R, comparativ cu CEM I 42,5R. Astfel, BAC cu filer de calcar și CEM I 52,5R a avut o viteză mare de întărire în intervalul 10...48 ore, cu valori ale  $f_{c2}$  de la 70% până la 93 % din  $f_{c28}$ . Filerul de tuf vulcanic a contribuit la o evoluție bună, în timp, a rezistenței mecanice, fără să diminueze semnificativ viteza de întărire pe termen scurt, el a fost adecvat pentru dezvoltarea rezistenței pe termen mai lung. Acest aspect este descris de raportul  $f_{c180}/f_{c2}$  care, pentru betonul autocompactant cu tuf vulcanic, are valori în limitele 2,14...2,55, spre deosebire de betonul autocompactant cu filer de calcar, pentru care  $f_{c180}/f_{c2}$  variază în domeniul 1,7...2,1.

Conform rezistențelor caracteristice ale probelor inițiale, betoanele autocompactante obținute s-au încadrat în clasele de rezistență C30/37, C40/50 și C50/60.

## BIBLIOGRAFIE

1. H. Okamura, Self Compacting High performance concrete, *Concrete International*, 1997, **19**(7), 50.
2. H. Okamura, M. Ouchi, in Proceedings of the 1st RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, Stockholm, 1999, Edited by A. Skarendhal and O. Peterson, p. 3.
3. H. Okamura, K. Ozawa, Mix design for self compacting concrete, *Concrete Library of JSCE*, 1995, **25**, p.107.
4. EFNARC- *European Guidelines for Self compacting Concrete. Measurement of properties of fresh self-compacting concrete*, Final report, sept., 2005, EFNARC (European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structure ) [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org).
5. EFNARC - *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete / Specification, Production and Use*, May, 2005.
6. EFNARC- *European Guidelines for Self compacting Concrete, February, 2002*.
7. S. Assie, G. Escadeillas, V. Walter, Estimates of self compacting concrete "potential" durability, *Construction and Building Materials*, 2007, **21** (10), 1909.
8. J.M. Khatib, Performance of self –compacting concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials*, 2007, **22**(9), 1963.
9. A. Ioani, H. Szilagyi, in *Proceedings of the International Conference "CONSTRUCȚII"*, Cluj, May 2008, vol. 1, p. 279.
10. J. Ambrose, S. Rols, J. Pera, Self – leveling concrete Design and Properties, *Concrete Science and Engineering*, 1999, **1** (3), 140.
11. M. Yurugi, N. Sakata, M. Iwai, G. Mandsakay, in *Proceedings of the international Conference on Concrete 2000*, Dundee, September 1993, Edited by E&FN Spoon, p. 579.
12. A. W. Saak, H. M. Jennings, S. P. Shah, New Methodology for Designing Self Compacting Concrete, *ACI Materials Journal*, 2001, **98**(6), 429.
13. N. Su, K.C. Hsu, H.V. Chai, A simple mix design method for self compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, 2001, **31**(12), 1799.
14. T. Chao-Wei, Y. Tsong, C. Chao-Shun, C. Kuan-Hun, Optimizing mixture Proportions for flowable High-peformance concrete via Rheological Testes, *ACI Materials Journal*, 2001, **98**(6), 493.
15. EFNARC, EFCA, Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for self compacted Concrete, sept., 2006.
16. V. Bosiljkov Bokan, SCC mixes with poorly graded aggregate and hig volume of limestone filler, *Cement and Concrete Research*, 2003, **33**(9), 1279.
17. I. Teoreanu , Lianti. Bazele fizico-chimice , Ed. Didactică și Pedagogică, Bucuresti, 1993
18. D. Ionescu Bujor, Technical and Petrografical study of trass rock from Bocșa – a new method on chemical determination of hydraulic value of trass, Romanian Academy Academia Română, Ed. by National Culture Foundation, Bucharest 1923.
19. CEEEX Project– Innovative solution of self compacted concrete microstructure optimization for performed precast elements SICOBET, Contract no. 96/2006, Technical Reports of Technical University of Civil Engineering of Bucharest, since 2006-2007, contract no. 11/2007.
20. V. Brana, C. Avramescu, I. Calugaru, Nonmetallic mineral substances, Editura Tehnică, Bucharest, 1986.
21. G. Lemaire, G. Escadeillas, E. Ringot, Evaluating concrete surface using an image analysis process, *Construction and Building Materials*, 2005, **19**(8), 604.
22. Kelham, S. Portland limestone cements, *Concrete*, 1998, **32**(5), 30.
23. B. Price, Portland-limestone cement - the UK situation, *Concrete*, Mar 2004
24. R.K. Dhir, M. C. Limbachiya, M. J. McCarthy, A. Chaipanich, Evaluation of Portland limestone cements for use in concrete construction, *Materials and Structures*, 2007, **40**(5), 459.
25. C. Dumitrescu, M. Menicu, G. Voicu, Performant, ecological and economical hydraulic binder, *Romanian Journal of Materials*, 2007, **37**( 4), 29.
26. V. Rahhal, R. Talero, Early hydration of Portland cement with cristalline mineral additions, *Cement and Concrete Research*, 2005, **35**(7), 1285.