

# ASPECTE TEHNICE ȘI ECONOMICE ALE BETONULUI SPECIAL INDUSTRIAL

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF SPECIAL INDUSTRIAL CONCRETE

IOSIF BUCHMAN<sup>1</sup>, TAMAS DENCŞAK<sup>2\*</sup>

Universitatea "Politehnica" Timișoara, Str. T. Lalescu nr. 2, 300223, Timișoara, România

<sup>2</sup> SC. Plan31 RO.SRL, Cluj-Napoca, România

*Betonul special industrial (BSI) a fost utilizat prima dată în Franța având următoarea compoziție: ciment, silice ultrafină, apă, superplastifiant, agregate și fibre de oțel. În vederea introducerii acestui beton în România, la Departamentul de Construcții Civile, Industriale și Agricole al Universității Politehnica din Timișoara s-au efectuat o serie de studii și cercetări, din care se prezintă unele aspecte tehnice și economice cu privire la betonul special industrial.*

*Special industrial concrete (SIC) had the following composition: cement, silica fume, water, superplasticizer, aggregates, and steel fibers. Studies and researches have been carried out at the Civil, Industrial and Agricultural Buildings Department of "POLITEHNICA" University of Timișoara, for the introduction of this concrete in Romania. This work presents some of the technical and economic aspects of the studies and researches concerning the special industrial concrete.*

**Keywords:** special industrial concrete, silica fume, superplasticizer, steel fibers, production cost

### 1. Introducere

Betonul special industrial (BSI) face parte din familia betoanelor de ultra înaltă performanță caracterizate prin: rezistență la compresiune foarte ridicată (200 – 800 N/mm<sup>2</sup>), etanșeitate la apă și gaze, realizarea de elemente fără armătură de preluare a eforturilor din forță tăietoare, rezistență la agenți chimici agresivi etc., din care mai fac parte: betonul din pudre reactive (BRP) și betonul compact cu fibre de oțel (BCFO) [1].

Betonul special industrial poate fi folosit, spre deosebire de betonul din pudre reactive-utilizabil numai pentru elemente prefabricate, atât pentru elemente prefabricate cât și pentru elemente monolite [2].

În lucrare se prezintă aspectele tehnico-economice ale acestui beton [3].

### 2. Aspecte tehnice al betonului special industrial

#### 2.1. Materiale și compoziții

La realizarea betonului special industrial au fost utilizate următoarele materiale: ciment portland de calitate superioară, silice ultrafină, agregate de dimensiuni 0...8 mm, superplastifiant, apă și fibre de oțel. Materialele utilizate au avut proveniența și caracteristicile prezentate în continuare:

- cimentul: de la CARPATCEMENT Deva, de tipul CEM I 42,5 R;
- silicea ultrafină: de la SC: FEROM SA. Tulcea, având compoziția oxidică prezentată în tabelul 1;
- agregatele: de la balastiera Șag – Timișeni, cu

### 1. Introduction

The special industrial concrete SIC (Buchman, 1999) belongs to the family of ultra-high performances concretes (very high compression strength: 200–800 N/mm<sup>2</sup>, tightness to water and gases, placement without passive reinforcements, resistance to aggressive chemical agents etc) [1].

The special industrial concrete can be used both for prefabricated parts and for monolith elements.

This work presents the technical and economic aspects of this concrete [3].

### 2. Technical aspects of the special industrial concrete

#### 2.1. Materials and compositions

The special industrial concrete has been obtained by using the following materials: cement of superior quality, silica fume, river aggregates of 0...8 mm, superplasticizer, water and steel fibers.

The sources of the used materials and their characteristics were as follows:

- cement: from CARPATCEMENT, Deva, of CEM I 42.5 R type;
- silica fume: from SC FEROM SA., Tulcea, with the oxide composition presented in Table 1;
- river aggregates: 0...8 mm from Sag-Timis;
- superplasticizer: FM 40 from Sika-Timisoara Subsidiary [4];
- steel fibers from the Belgian company BEKAERT with the following characteristics:
  - carbon content: 0.69 – 0.76 %;
  - minimum tensile strength: 2000 N/mm<sup>2</sup>;
  - length-diameter ratio: 13 mm/0.16 mm = 81;

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel.: +40740981625, e-mail: [dencsaktamas@yahoo.com](mailto:dencsaktamas@yahoo.com)

Tabelul 1

Compoziția silicei ultrafine/ Composition of silica fume					
% SiO <sub>2</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CaO	% MgO	% MnO
91.07	1.83	4.63	0.50	0.50	1.04

Tabelul 2

Beton special industrial – compoziția 1/ Special industrial concrete – composition 1

Materiale/ Materials	Dozaje/ Dosages	
	Beton martor Witness concrete	Beton special industrial (BSI)/Special industrial concrete (SIC)
Ciment/ Cement CEM I 42.5 R, kg/m <sup>3</sup>	1030	1027
Silice ultrafină (SUF)/ Silica fume (SF), kg/m <sup>3</sup>	154 (15 % din ciment/from cement)	154 (15 % din ciment/from cement)
Agregat silicios de râu/ River siliceous aggregates, kg/m <sup>3</sup>	0/4 mm	544
	4/8 mm	443
Fibre de oțel/ Steel fibers (l=13 mm; d= 16 mm) kg/m <sup>3</sup>	-	224 (2.85 % în volum/by volume)
Superplastifiant/ Superplasticizer FM 40 (soluție 30 %), kg/m <sup>3</sup>	Substanța uscată Dry substance	10.5 (0,9% din ciment+SUF/from cement+SF)
	Apă/ Water	24.5
Apa de amestecare/ Mixing water, kg/m <sup>3</sup>	190	189
Apa totală/ Total water A <sub>t</sub> , kg/m <sup>3</sup>	214.5	213.5
A <sub>v</sub> /C – W <sub>v</sub> /C	0.21	0.21
A <sub>v</sub> /(C + SUF) – W <sub>v</sub> /(C+SF)	0.18	0.18
Total, kg	2396	2615

Tabelul 3

Beton special industrial – compoziția 2/ Special industrial concrete – composition 2

Materiale/ Materials	Dozaje/ Dosages	
	Beton martor Witness concrete	Beton special industrial (BSI)/Special industrial concrete (SIC)
Ciment/ Cement CEM I 42.5 R, kg/m <sup>3</sup>	1083	1053
Silice ultrafină (SUF)/ Silica fume (SF), kg/m <sup>3</sup>	162(15 % din ciment/from cement)	158 (15 % din ciment/from cement)
Agregat silicios de râu/ River siliceous aggregates, kg/m <sup>3</sup>	0/4 mm	572
	4/8 mm	465.4
Fibre de oțel/ Steel fibers (l=13 mm; d= 16 mm) kg/m <sup>3</sup>	-	229,8 (2,9 % în volum/by volume)
Superplastifiant/ Superplasticizer FM 40 (soluție 30 %), kg/m <sup>3</sup>	Substanța uscată Dry substance	11.1 (0,9% din ciment+SUF/from cement+SF)
	Apă/ Water	26.0
Apa de amestecare/ Mixing water, kg/m <sup>3</sup>	173.5	168.5
Apa totală/ Total water A <sub>t</sub> , kg/m <sup>3</sup>	199.5	193.8
A <sub>v</sub> /C - W <sub>v</sub> /C	0.18	0.18
A <sub>v</sub> /(C + SUF) – W <sub>v</sub> /(C+SF)	0.16	0.16
Total, kg	2493	2656

dimensiunea maximă a granulelor de 8 mm.

- superplastifiantul: de la Sika – Filiala Timișoara, cu denumirea comercială de FM 40 [4].

- fibrele de oțel: de la firma belgiană BEKAERT, cu caracteristicile:

- conținutul în carbon: 0,69 – 0,76 %;

- rezistența minimă la întindere: 2000 N/mm<sup>2</sup>;

- raportul lungime/diametru: 13 mm/0,16 mm

= 81;

- water: from the public water supply network.

To study the characteristics of the special industrial concrete, two compositions have been produced, presented in Table 2 and 3. As it can be seen in the two tables, each composition of SIC is followed by a witness sample, which was prepared without steel fibers. It has the aim to underline the positive effect of the steel fibers on the high mechanical properties of the concrete. These

- proveniența: sârmă de oțel trefilată.
- apa: de la rețeaua de alimentare publică.

Pentru analizarea caracteristicilor betonului special industrial s-au experimentat două compoziții, prezentate în tabelele 2 și 3. După cum se observă din cele două tabele, fiecare compoziție de beton special industrial este însoțită de o compoziție de beton martor (fără fibre) în scopul evidențierii contribuției fibrelor de oțel la obținerea unor rezistențe mecanice ridicate, care să justifice încadrarea betonului special industrial în categoria betoanelor de ultra înaltă performanță.

## 2.2. Tehnologia de obținere

Pentru producerea betonului special industrial s-a utilizat malaxorul cu paletă standardizat pentru stabilirea clasei cimentului.

Sucesiunea operațiilor de amestecare a betonului martor, fără fibre, a fost:

- amestecarea manuală, în cuva malaxorului, a cimentului cu silicea;
- malaxarea mecanică a cimentului cu silicea, timp de 1 minut cu viteză redusă;
- introducerea apei și a soluției de superplastifiant și amestecarea timp de 1 minut cu viteză redusă, apoi 1 minut cu viteză rapidă;
- adăugarea agregatului 0/4 mm și malaxarea încă 1 minut cu viteză redusă; apoi a agregatului 4/8 mm continuând amestecarea încă 1 minut cu viteză rapidă.

Pentru betonul special industrial, cu fibre de oțel, s-a preparat întâi betonul fără fibre după tehnologia arătată mai sus, după care s-au introdus manual fibrele de oțel, astfel:

- adăugarea a  $\frac{1}{2}$  din cantitatea de fibre, amestecându-se apoi 30 secunde cu viteză redusă;
- adăugarea celeilalte  $\frac{1}{2}$  din cantitatea de fibre și malaxarea 30 de secunde cu viteză redusă.

Din fiecare compoziție s-au turnat 2 serii a câte 3 epruvete prismatice de 40x40x160 mm, care au fost ținute după decofrare (1 zi după turnare) în condiții de laborator (20 °C și umiditate relativă sub 60 %) până la vârsta de 28 zile [5].

## 2.3. Rezultate experimentale

Epruvetele au fost încercate la vârsta de 28 de zile, după metodologia verificării clasei cimenturilor. Prismele au fost supuse la încovoiere iar jumătățile de prisme rezultate au fost folosite pentru încercarea la compresiune.

În urma încercărilor s-au obținut valorile rezistențelor mecanice prezentate în tabelul 4.

Se constată că s-a obținut o rezistență la compresiune de 200 N/mm<sup>2</sup> și o rezistență la întindere din încovoiere de până la 45,9 N/mm<sup>2</sup>.

Fibrele de oțel au determinat creșterea rezistenței la compresiune de până la 1,5 ori și a rezistenței la întindere din încovoiere de până la 2,3 ori. Cele mai bune rezultate s-au obținut cu compoziția 1.

properties justify the classification of SIC in the category of ultra high performance concrete UHPC.

## 2.2. Preparation technology

The special industrial concrete has been produced by using the wet mixer with standard arm for the establishing of the cement class.

The preparation technology of the witness concrete without fibers has been as follows:

- the manual mixing of the cement with the silica fume in the wet mixer tank;
- the mechanical mixing of the cement with the silica fume for 1 minute with reduced speed;
- the adding of water and superplasticizer solution, and the mixing with reduced speed for 1 minute, and then the mixing with high speed for 1 minute;
- the adding of the 0...4 mm aggregate, and the mixing with reduced speed for 1 more minute; then the adding of the 4...8 mm aggregate, followed by the mixing with high speed 1 more minute.

The preparation of SIC with steel fibers was first preceded by the preparing of the witness concrete, according to the technology described above, followed by the manual introduction of the steel fibers, as shown below:

- the adding of  $\frac{1}{2}$  of the fibers quantity, followed by the mixing with reduced speed for 30 seconds;
- the adding of the other half of the fibers quantity, followed by another mixing with reduced speed for 30 s.

Out of each composition, there have been poured 2 series of 3 prismatic samples of 40x40x160 mm each series, which have been kept after shuttering removal (1 day after casting) under laboratory conditions (20 °C, relative humidity under 60 %) until the age of 28 days [5].

## 2.3. Experimental results

The samples have been tested at the age of 28 days according to the cements class testing methodology. The prisms have been subjected to bending, and the resulted prisms halves have been used for the compression test.

Following the tests, the values of the mechanical strengths presented in Table 4 have been obtained

As shown in the tables, obtained compression strength of 200 N/mm<sup>2</sup> have been reached and a tensile strength from bending of up to 45.9 N/mm<sup>2</sup>.

The steel fibers have determined the increase of the compression strength of up to 1.5 times, and the increase of tensile strength from bending of up to 2.3 times. The best results have been obtained with composition 1.

Tabelul 4

Rezistențele mecanice ale betoanelor experimentale/ *Mechanical strength of the experimental concretes*

Compoziția/ <i>Composition</i>		Rezistențele mecanice/ <i>Mechanical resistances, N/mm<sup>2</sup></i>			
		Rezistența la compresiune <i>Compressive strength</i>		Rezistența la întindere din încovoiere/ <i>Tensile strength from bending</i>	
		$f_c$	$f_c/f_{cm}$	$f_t$	$f_t/f_{tm}$
1	Beton martor/ <i>Witness concrete</i>	134.2	1.5	19.8	2.3
	Beton special industrial/ <i>Special industrial concrete</i>	200.2		45.9	
2	Beton martor/ <i>Witness concrete</i>	129.2	1.5	17.4	2.2
	Beton special industrial/ <i>Special industrial concrete</i>	199.7		37.7	

Tabelul 5

Costul betonului special industrial/ *Cost of special industrial concrete*

Costul betonului <i>Concrete cost</i>	Compoziția 1/ <i>Composition 1</i> (lei/m <sup>3</sup> )	Compoziția 2/ <i>Composition 2</i> (lei/m <sup>3</sup> )	Beton de 50 N/mm <sup>2</sup> / <i>Concrete of 50 N/mm<sup>2</sup></i> (lei/m <sup>3</sup> )
Materiale/ <i>Materials</i>	1879.25	1928.27	526.48
Manoperă/ <i>Manual labour</i>	0.68	0.68	0.68
Utilaje/ <i>Equipment</i>	4.49	4.49	4.49

Tabelul 6

Deviz analitic/ *Analytical cost estimation*

Simbol articol...UM Denumire articol/ <i>Symbol</i> <i>U.M. article</i> <i>Article Name</i>	Cantitatea <i>Quantity</i>	Materiale/ <i>Materials</i> Manoperă/ <i>Manual labour</i> Utilaje/ <i>Equipment</i> Transp. CF/ <i>Transport</i>	Valori totale <i>Total values (lei)</i>
NL – CZ011 mc Preparare beton special industrial <i>Special industrial concrete preparing</i>	1	1879.25 0.68 4.49 0.00	1879.25 0.68 4.49 1884.42 0.00
- Asigurări sociale/ <i>Social insurance</i>	0.68 x	0.19750=	0.13
- Ajutor șomaj/ <i>Unemployment wages</i>	0.68 x	0.02500=	0.02
- Fond sănătate/ <i>Health fund</i>	0.68 x	0.07000=	0.05
- Accidente și boli profesionale/ <i>Accidents and professional illnesses</i>	0.68 x	0.01000=	0.01
- Alte cheltuieli/ <i>Other expenses</i>	0.68 x	0.01000=	0.01
- Cheltuieli indirecte/ <i>Indirect expenses</i>	1884.42	0.08000=	150.76
- Profit/ <i>Profit</i>	2035.18	0.08000=	162.81
TOTAL			2197.99
- TVA/ VAT	2197.99	0.24000=	527.51
TOTAL cu TVA/ <i>TOTAL with VAT</i>			2735.50

### 3. Aspecte economice ale betonului special industrial

Pentru a determina costul betonului special în conformitate cu Normativul C s-au efectuat analize de prețuri pentru compozițiile de beton, rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.

În tabelul 6 se prezintă devizul analitic pentru compoziția 1 conform programului de calcul DocTec.

În mod asemănător rezultă:

- pentru compoziția 2 un preț de deviz de 2796,71 lei/m<sup>3</sup>;

### 3. Economic aspects of the SIC

The cost of the special industrial concrete determining, in compliance with Norm C, has been carried out through price analyses of the concrete compositions, the results being presented in Table 5. Table 6 presents the analytical cost estimation for composition 1.

For composition 2, the cost estimation: 2796.71 lei/m<sup>3</sup>. For the concrete of 50 N/mm<sup>2</sup> the cost estimation: 769.23 lei/m<sup>3</sup>.

Making the ratio total cost SIC/strength there results 13.677 lei/(N/mm<sup>2</sup>), and for the

- pentru un beton obișnuit cu rezistența la compresiune de  $50 \text{ N/mm}^2$  un preț de deviz de  $769,23 \text{ lei/m}^3$ .

Raportul cost total/rezistență la compresiune pentru betonul special industrial rezultă de  $13,677 \text{ lei/(N/mm}^2)$ , iar pentru betonul obișnuit cu rezistența la compresiune de  $50 \text{ N/mm}^2$  de  $15,385 \text{ lei/(N/mm}^2)$ . Analizând aceste rapoarte rezultă că betonul special industrial este mai ieftin cu 11%.

## 2. Concluzii

În urma studiilor și cercetărilor experimentale întreprinse se desprind următoarele concluzii:

1. Încercările de laborator au condus la obținerea betonului special industrial și în România, având o rezistență la compresiune de  $200 \text{ N/mm}^2$ , iar rezistența la întindere din încovoiere de până la  $45,9 \text{ N/mm}^2$ , fiind utilizate în mare parte materiale indigene;

2. Tehnologia de preparare utilizată în laborator poate fi adoptată și în producție, dacă se utilizează pentru amestecare malaxoare cu amestecare forțată (cu palete). Încorporarea fibrelor de oțel se poate face ușor datorită fluidificării betonului de către aditivul superplastifiant FM 40. Durata de amestecare respectiv de vibrare ar putea fi reduse prin utilizarea unui procent mai mare de superplastifiant;

3. Rezistențele mecanice cât și ductilitatea sunt sensibil îmbunătățite de prezența fibrelor de oțel, care dau și posibilitatea realizării unor elemente fără armătură de preluare a eforturilor din forță tăietoare.;

4. Betonul special industrial nu necesită tratament termic și astfel devine un concurent serios al betonului cu pudre reactive din gama BRP 200 putând fi utilizat și la realizarea elementelor monolite [2].

5. Raportul cost total/rezistență la compresiune pentru betonul special industrial este cu 11% mai mic decât al unui beton obișnuit cu rezistența la compresiune de  $50 \text{ N/mm}^2$ , ceea ce poate elimina reținerea specialiștilor constructori din România de a implemента utilizarea betonului special industrial.

concrete of  $50 \text{ N/mm}^2$ , there results  $15.385 \text{ lei/(N/mm}^2)$ . Analyzing these ratios there results that SIC concrete is cheaper with 11%.

## 4. Conclusions

Following the experimental studies and researches that have been made so far, there can be drawn out the conclusions given below:

1. The laboratory tests enabled the obtaining of special industrial concrete in Romania as well, a concrete with compression strength of  $200 \text{ N/mm}^2$  and tensile strength of up to  $45.9 \text{ N/mm}^2$ .

2. The preparing technology used in laboratory can also be adopted in production, if there are used wet mixers with forced mixing (with arms). The steel fibers incorporation can be easily made due to the concrete thinning by the FM 40 superplasticizer additive. The mixing length, i.e. the vibration length, can be reduced by using a larger percentage of superplasticizer.

3. The mechanical strengths, as well as the ductility are highly improved by the presence of the steel fibers, which also enable the obtaining of some elements without traditional shear reinforcements.

4. The special industrial concrete does not require thermal treatment, and thus it becomes a serious competitor of the concrete with reactive powders from RPC 200 range and consequently, SIC can be used for monolith elements [2].

5. As compared to the  $50 \text{ N/mm}^2$  concrete, the special industrial concrete is cheaper with 11%.

## REFERENCES

1. I. Buchman, Ultra high performance concretes, Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-9400-55-8, Timișoara, 1999
2. P. Richard and M. Cheyrezy, Les betons de poudres reactives. Annales de L'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, 1995, 532, Paris.
3. I. Buchman, C. Badea, Ultra high performance concretes, Final Report, GRANT contract, CNCSIS, Politehnica University of Timișoara, 2005.
4. \*\*\* Superplasticizer FM 40, Technical Datasheet, sort. nr. 10955, Heidelberg Bauchemie, Marke Addiment.
5. D. Georgescu, A. Apostu, R. Gavrilescu, Modern approaches regarding the assessment of concrete's conformity. Romanian Journal of Materials, 2011, 41(1), 3.

\*\*\*\*\*