

# ABORDĂRI MODERNE PRIVIND EVALUAREA CONFORMITĂȚII BETONULUI MODERN APPROACHES REGARDING THE ASSESSMENT OF CONCRETE'S CONFORMITY

DAN GEORGESCU<sup>1\*</sup>, ADELINA APOSTU<sup>1</sup>, RADU GAVRILESCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitatea Tehnică de Construcții București, B-dul Lacul Tei nr.124, Sector 2, București, România

<sup>2</sup> S.C. Carpatcement Holding S.A., Șos. București-Ploiești 1A, Sector 1, București, România

*Articolul prezintă analiza și modalitățile practice de aplicare a unor metode moderne de evaluare a rezistenței caracteristice la compresiune a betonului produs la stații, utilizând conceptul de familie de betoane în conformitate cu CP 012-1/2007 „Cod de practică pentru producerea betonului” și analize de tip CUSUM (suma cumulativă) în conformitate cu ACI 214 R-02 „Evaluarea rezultatelor testelor de determinare a rezistenței la compresiune a betonului”. Sistemul familiei de betoane oferă mijloace eficiente de control al unui număr ridicat de betoane diferite. Analizele de tip CUSUM sunt deosebit de utile în urmărirea continuă a calității betonului produs la stații, putând identifica tendințe negative în evoluția valorilor rezistențelor betonului și, astfel, se poate identifica, la nivelul betonului de referință, cauzele acestor evoluții. Schimbările sistematice în calitatea unui material component vor afecta calitatea tuturor betoanelor realizate cu acel material. În sistemul familiei de betoane, asemenea modificări sunt detectate rapid prin modificări în betonul de referință.*

*The article presents the analysis and practical application modalities of certain modern methods to assess the characteristic compressive strength of the concrete manufactured in plants, using the concrete family concept, in accordance with CP 012-1/2007 “Practice Code for the manufacturing of concrete”, and the CUSUM analyses type (cumulative sum) according to ACI 214 R-02 “Evaluation of Strength Test Results of Concrete”. The concrete family system offers effective control means for a high number of different concretes. The analyses CUSUM type are extremely useful in the continuous pursuit of the quality of concrete manufactured in plants, being able to identify the negative tendencies in the evolution of concrete resistant values and therefore, there can be identified, for the reference concrete level, the causes of these evolutions. The systematic changes in the quality of a component material will affect the quality of all concretes performed with that material. In the concrete family system, such modifications are rapidly detected by modifications in the reference concrete.*

**Keywords:** concrete, evaluation, conformity, compressive strength, concrete's family, cumulative sum

## 1. Introducere

Prezentul articol tratează o problemă deosebit de actuală, privind evaluarea rezistenței caracteristice la compresiune a betonului produs la stații, utilizând conceptul de familie de betoane [1], în conformitate cu CP 012-1/2007 [2] (SR EN 206-1, [3]) și analize de tip CUSUM (suma cumulativă) [4]. Utilizarea familiilor de betoane pentru controlul producției și al conformității betonului este foarte răspândită în multe părți ale Europei, în unele state membre CEN utilizându-se de mai bine de un deceniu.

Tehnicile de tip CUSUM ajută la depistarea unor schimbări la nivelul mediei rezistenței betonului obținute pentru diferite perioade în care se efectuează analiza rezultatelor unor stații de betoane. Această tehnică de analiză se bazează pe faptul că, în cazul rezistențelor betonului, abaterile valorilor individuale față de medie au o distribuție normală și că media abaterilor rezultatelor individuale față de valoarea medie este aproximativ zero pentru un proces stabil. Teoria care stă la baza acestei tehnici de analiză se va prezenta la punctul 2.3.

## 1. Introduction

The present article refers to an actual situation, regarding the assessment of the characteristic compressive strength of the concrete manufactured in plants, using the concrete family concept, in accordance with CP 012-1/2007 [2] (SR EN 206-1, [3]) and the analyses CUSUM (cumulative sum) type [4]. The usage of the concrete families for production and concrete conformity is spread in many parts of Europe, in some CEN member states being used for over a decade.

The CUSUM technique helps in identify the changing at the level of the concrete average compressive strength obtained for different time periods, when the results analysis of the station is performed. In the case of concrete strength, this analysis technique is based on the followings: the deviations of the individual values compared with the average have a normal distribution and the deviation average of the individual results, compared with the average value, is around zero for a stable process. The theory that is the fundament of this analysis technique will be

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel: 0040 21 24 22 91, e-mail: danpaulgeorgescu@yahoo.com

Aplicarea acestor metode de analiză s-a efectuat sporadic în România, fiind necesare precizări suplimentare față de cele prezentate în reglementările actuale și prezentarea unor exemple de aplicare.

## 2. Controlul conformității betonului pe familii de betoane

Regulile privind evaluarea conformității și criteriile de conformitate pentru încercările de rezistență la compresiune sunt prezentate în tabelele 1 și 2.

presented on #2.3.

The application of these analysis methods was sporadically performed in Romania, being necessary additional specifications to those presented in the actual regulations and the presentation of some application examples.

## 2.The concrete conformity control for concrete families

The rules regarding the assessment of conformity and conformity criteria for compressive strength are presented in Tables 1 and 2.

Tabelul 1

Criterii de conformitate pentru încercările de rezistență la compresiune  
Conformity criteria for compressive strength

Producția Production	Numărul "n" de rezultate de încercări pentru grupe de rezistență la compresiune Number "n" of tests results for compression strength groups	Criteriul 1 Criterion 1	Criteriul 2 Criterion 2
		Media a "n" rezultate ( $f_{cm}$ ) Resulted "n" average ( $f_{cm}$ ) N/mm <sup>2</sup>	Fiecare rezultat individual al încercărilor ( $f_{ci}$ ) Each individual result of tests ( $f_{ci}$ ) N/mm <sup>2</sup>
Inițială Initial	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Continuă Continuous	15	$\geq f_{ck} + 1.48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Note / Notes:

$f_{ck}$  = rezistența caracteristică la compresiune a betonului determinată prin încercări pe epruvete cubice sau cilindrice; de exemplu pentru clasa de beton C25/30,  $f_{ck,cil} = 25 \text{ N/mm}^2$ , iar  $f_{ck,cub} = 30 \text{ N/mm}^2$ ; în prezentul articol rezistența caracteristică s-a notat cu  $f_{ck}$  și este determinată pe cuburi /  $f_{ck}$  = characteristic compressive strength of concrete, based on cubic or cylinder specimens; for example for the C25/30 concrete class,  $f_{ck,cil} = 25 \text{ N/mm}^2$  and  $f_{ck,cube} = 30 \text{ N/mm}^2$ ; in this article the characteristic strength was designated as  $f_{ck}$  and was obtained on cubic specimens

$f_{cm}$  = rezistența medie la compresiune a betonului / average compressive strength of concrete;

$f_{ci}$  = rezultat individual al rezistenței la compresiune a betonului / individually result of the compressive strength of concrete;

$$\sigma = \text{abaterea standard / standard deviation, } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_{ci} - f_{cm})^2} \quad (1)$$

N = numărul de rezultate / number of results.

Tabelul 2

Criterii de confirmare pentru membrii unei familii / Conformation criteria for family members

Numărul "n" de rezultate de încercări pentru rezistența la compresiune a unui singur beton Number "n" of tests results for compression resistance of one concrete	Criteriul 3 / Criterion 3
	Media a "n" rezultate ( $f_{cm}$ ), pentru un singur membru al familiei / Average "n" resulted ( $f_{cm}$ ), for one single family member
2	$\geq f_{ck} - 1.0$
3	$\geq f_{ck} + 1.0$
4	$\geq f_{ck} + 2.0$
5	$\geq f_{ck} + 2.5$
6	$\geq f_{ck} + 3.0$

SR EN 206-1 [3] nu oferă reguli pentru criteriul de conformitate, atunci când sunt mai mult de 6 rezultate ale încercării pentru un membru al familiei. În această situație, se recomandă următoarele :

•Când numărul de rezultate ale încercării este  $\geq 15$  se aplică criteriul: media membrului de familie  $\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$

•Când numărul de rezultate ale încercării este în domeniile 7.....14, se aplică interpolarea liniară între cerința pentru 6 rezultate ale încercării și ( $f_{ck} + 1,48 \sigma$ ).

SR EN 206-1 [3] does not offer rules for the conformity criterion, when there are more than 6 results of tests for one family member. In this case, the following are recommended:

•When the number of test results is  $\geq 15$  the following criterion is applied: the family member average  $\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$

•When the number of test results is in the fields 7.....14, is applied the linear interpolation between the request for 6 test results and ( $f_{ck} + 1,48 \sigma$ ).

## 2.1. Conformitatea betonului produs la stațiile de beton

Principala particularitate a noilor standarde europene privind producerea betonului se referă la faptul că încercările de conformitate se pot face pe fiecare compoziție de beton luată individual sau pe familii de beton.

Încercările de conformitate efectuate pe familii de betoane prezintă un caracter de noutate și standardul nu prezintă într-o manieră foarte explicită modalitatea în care se face această verificare.

### 2.1.1. Selectarea unei familii de betoane

Familia de betoane se selectează în conformitate cu prevederile Anexei K din SR EN 206-1 [3], având ca principale criterii materialele componente și anumite caracteristici fundamentale ale betonului:

- Ciment de un singur tip [5], o singură clasă de rezistență și o singură sursă.
- Agregate similare.
- Beton cu sau fără aditivi reducători de apă (sau alte tipuri de aditivi).
- Toată gama claselor de consistență.
- Betoane având un domeniu limitat al claselor de rezistență.

### 2.1.2. Alegerea unui beton de referință

Betonul de referință poate fi ales ca fiind de "clasa de mijloc" dintre clasele care compun familia sau cel mai comun produs, în sensul celui mai solicitat tip de beton (din punct de vedere al livrărilor pe parcursul mai multor luni).

Stabilirea relațiilor (de referință) între betonul de referință și ceilalți membri ai familiei. În acest caz, prima etapă este de stabilire a rezistenței "țintă" a clasei de beton de referință. Această rezistență țintă este indicat să fie mai mare sau egală cu valoarea  $f_{ck} + 6$ .

Se stabilesc apoi valorile rezistențelor la compresiune țintă și pentru ceilalți membri ai familiei, având ca bază același criteriu.

Relațiile (de referință) între betonul de referință și ceilalți membri se pot determina utilizând următoarea relație de transformare:

$$\Delta_{(\text{Beton } i)} = f_{c \text{ țintă, beton ref.}} - f_{c \text{ țintă, beton } i} \quad (2)$$

unde:  $\Delta_{(\text{Beton } i)} = C$ , factor de conversie;

$f_{c \text{ țintă, beton ref.}}$  = valoarea rezistenței la compresiune a betonului pe care și-o propune să obțină producătorul pentru o anumită clasă de beton aleasă ca referință pentru familia de betoane;

$f_{c \text{ țintă, beton } i}$  = valoarea rezistenței la compresiune a betonului pe care și-o propune să obțină producătorul pentru o anumită clasă de beton „i” din familia de betoane.

### 2.1.3. Aplicarea criteriului de conformitate

#### Aplicarea criteriului 2 (tabelul 1)

Acest criteriu se referă la analiza rezultatelor

## 2.1. The conformity of concrete manufactured in concrete plants

The main particularity of new European standards regarding the production of concrete refers to the fact that conformity tests can be performed on each concrete composition taken individually or from a concrete family.

The conformity tests performed on concrete families present a novelty character and the standard does not present very explicitly, the modality used for this verification.

### 2.1.1. Selecting a concrete family

The concrete family is selected in accordance with the provisions of Annex K from SR EN 206-1 [3] having as main criteria, the component materials and certain fundamental characteristics of concrete:

- One type of cement [5], one single resistance class and one source.
- Similar aggregates.
- Concrete with or without water reducing admixtures (or other types of admixtures).
- All range of slump classes.
- Concretes having a limited field of strength classes.

### 2.1.2. Choosing a reference concrete

The reference concrete can be chosen as "middle class" from the classes composing the family or the most common product, in the purpose of the most requested concrete type (considering the deliveries performed within several months).

Establishing the (reference) relation between the reference concrete and the other family members. In this case, the first stage is to establish the "target" resistance of the reference concrete class. This target resistance is recommended to be higher or equal to the value  $f_{ck} + 6$ .

Afterwards, the "target" resistance values to compression are established for the other family members, having the same basis criterion.

The relations (reference) between the reference concrete and the other family members can be determined using the following transformation relation:

$$\Delta_{(\text{concrete } i)} = f_{c \text{ target reference concrete}} - f_{c \text{ target concrete } i} \quad (2)$$

where  $\Delta_{(\text{concrete } i)} = C$ , conversion factor

$f_{c \text{ target reference concrete}}$  = value of the concrete compressive strength, proposed by the producer itself for one concrete class, chosen as the reference for the concrete family;

$f_{c \text{ target concrete } i}$  = value of the concrete compressive strength, proposed by the producer itself for one specific "i" concrete class from the concrete family

individuale și se aplică atât în cazul betoanelor "considerate individual", cât și membrilor familiei de betoane și se referă la rezultatele obținute la încercarea la compresiune ( $f_{ci,(\text{Beton } i)}$ ).

#### *Aplicarea criteriului 3 (tabelul 2)*

Aplicarea acestui criteriu este specifică analizei pe familii de betoane și este dependentă de numărul de rezultate. Trebuie însă subliniat că analiza face referire tot la valorile individuale obținute pe fiecare tip de beton ( $f_{ci,(\text{Beton } i)}$ ).

#### *Aplicarea criteriului 1 (tabelul 1)*

În acest caz există diferențe de abordare între analizele care se efectuează pe betoane luate individual și pe familii de betoane. De asemenea, există diferențe între analiza producției inițiale și continue, evident prin numărul de rezultate avute la dispoziție.

În ceea ce privește aplicarea acestui criteriu pentru un anumit beton luat individual, nu sunt necesare precizări suplimentare față de cele prezentate în standard.

În cazul analizei familiei de betoane, atât în cazul verificării producției inițiale, cât și producției continue, se face având în vedere valorile rezistențelor transpuse  $f_{ci, \text{transp}}$ . Cu aceste valori se calculează valorile medii ale rezistențelor  $f_{cm}$ , care trebuie să îndeplinească relația  $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ , în cazul verificării producției inițiale, în care  $f_{ck}$  este rezistența caracteristică a betonului de referință.

În cazul producției continue se aplică regulile prezentate în tabelul 1. Se utilizează, de asemenea, rezultatele transpuse ale rezistențelor  $f_{ci, \text{transp}}$  (pentru calculul valorii  $f_{cm}$ ), și se verifică relația  $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$  ( $f_{ck}$  este valoarea caracteristică a betonului de referință).

În acest caz trebuie, în mod evident, să se verifice și îndeplinirea criteriului 3 pentru fiecare membru al familiei de beton.

În figura 1 se prezintă schematic etapele care se parcurg pentru determinarea conformității rezistenței la compresiune a betonului.

## **2.2. Exemple de aplicare a controlului de conformitate al rezistenței la compresiune a betonului**

Așa cum s-a indicat, determinarea conformității betonului pentru rezistența la compresiune se poate face pe clase de betoane individuale sau pe familii de betoane. În continuare se vor da exemple de aplicare pentru familii de betoane cu precizarea că rezultatele prezentate sunt alese în mod aleator.

### **2.2.1 Selectarea betonului de referință**

Se consideră producția unei stații de betoane pe tipuri de clase/ compoziții de beton; o propunere privind notarea betoanelor este prezentată în tabelul 3.

Un criteriu de stabilire a betonului de referință este, așa cum s-a precizat, acela care

### **2.1.3. Application of conformity criterion**

#### *Application of criterion 2 (table 1)*

This criterion refers to the analysis of the individual results and applies in case of concretes "individually considered", as well as for the members of concrete families and refers to results obtained in the compression test ( $f_{ci, \text{concrete } i}$ ).

#### *Application of criterion 3 (table 2)*

The application of this criterion is specific for the analysis on concrete families and depends on the number of results. It must be noted that the analysis refers to the individual values obtained on each concrete type ( $f_{ci,(\text{concrete } i)}$ ).

#### *Application of criterion 1 (table 1)*

In this case, there are approach differences between the analyses performed on concretes taken individually and on concrete families. Also, there are differences between the analysis of the initial and the continuous production, obviously depending on the number of results available.

Regarding the application of this criterion for a certain concrete taken individually additional specifications are not necessary to those already presented in the standard.

In the case of concrete families, for the verification of initial production and continuous production, the analysis is performed taking into consideration the transposed resistances values  $f_{ci, \text{transp}}$ . With these values, the average values are calculated for the resistances  $f_{cm}$ , which must comply with the relation  $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ , in the case of verifying the initial production in which  $f_{ck}$  is the characteristic resistance of reference concrete.

In the case of continuous production, the rules presented in Table 1 are applied. Also, the transposed results of resistances  $f_{ci, \text{transp}}$  (for calculating the value  $f_{cm}$ ) are used and the relation  $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$  is verified ( $f_{ck}$  is the characteristic value of reference concrete).

In this case, the compliance with criterion 3 must be verified for each member of the concrete family.

In figure 1, the stages for determining the concrete's conformity with compression resistance, are schematically presented.

## **2.2. The examples for applying conformity control of the concrete's strength conformity to compression**

As indicated, the determination of concrete's conformity for compression strength can be performed on individual concrete classes or concrete families. Thenceforth, application examples will be given for concrete families, specifying that the results presented are randomly chosen.

### **2.2.1 Selecting the reference concrete**

It is considered the production of one concrete plant on concrete classes types/compositions; a proposal for concrete designation is presented in Table 3.

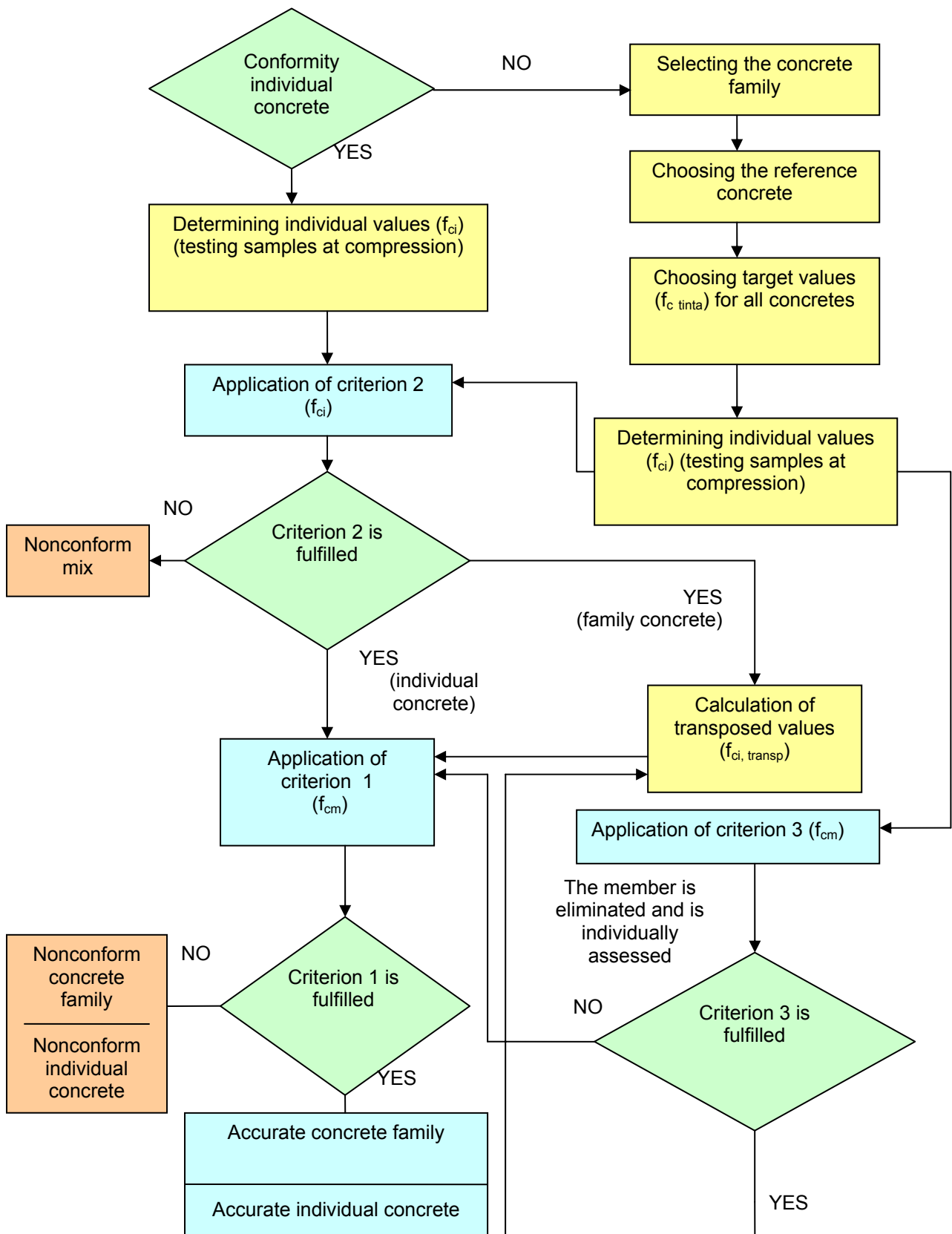


Fig.1 – Etapele determinării conformității rezistenței la compresiune a betonului / The stages for determining the concrete's strength conformity to compression.

prezintă cel mai ridicat volum al producției, astfel încât poate fi selectat betonul B104 de clasă C 25/30.

Another criterion for establishing the reference concrete is, as mentioned, that having the highest production volume, so that concrete B104 class C 25/30 can be selected.

### 2.2.2 Alegerea rezistențelor țintă și determinarea rezistențelor transpuse

Pentru fiecare din aceste tipuri de betoane se alege o rezistență țintă funcție de care se vor transpune rezultatele.

Desigur, pentru a se putea încadra într-o anumită familie de betoane este necesară îndeplinirea unor cerințe care au fost menționate la punctul 2.2.1.

Menționăm totodată că acest procedeu se aplică pentru betoanele obișnuite de clase de rezistență cuprinse între C8/10 și C55/67.

În general, valoarea rezistențelor țintă trebuie să fie mai mare decât valorile corespunzătoare rezistențelor caracteristice ale betonului plus cel puțin  $6 \text{ N/mm}^2$ . În cazul în care se urmărește, pentru un anumit tip de beton, o valoare superioară a rezistențelor țintă, se poate majora valoarea rezistenței caracteristice chiar și cu  $12 \text{ N/mm}^2$ .

### 2.2.2 Choosing the target resistances and determining the transposed strength

For each of these types of concretes, a target strength is selected and depending on that the results will be transposed.

Of course, in order to be situated in a certain concrete family, it is necessary to comply with certain requests mentioned in #2.2.1.

At the same time we mention that this procedure is applied for common concretes from strength classes comprised between C8/10 and C55/67.

In general, the value of target strength must be higher than the characteristic compressive strength plus at least  $6 \text{ N/mm}^2$ . In case that for a specific type of concrete is pursued a superior value of the target resistances, the characteristic strength value can be increased even with  $12 \text{ N/mm}^2$ .

In this case, for the corresponding class

Tabelul 3

Producția de beton a stației pe 3 luni / Production of concrete plant for 3 months

Denumire beton Concrete name	Clasa beton Concrete class	Producție $\text{m}^3$ / Production $\text{m}^3$		
		Martie / March	Aprilie / April	Mai / May
B102	C8/10	220	270	320
B103	C12/15	160	250	320
B101	C16/20	250	320	430
B104	C25/30	750	700	940

Tabelul 4

Rezistențe țintă și factorul de conversie / Target strength and conversion factor

Denumire beton Concrete name	Clasa beton Concrete class	Rezistența țintă Target strength	Factori de conversie Conversion factors
B102	C8/10	16 (10+6)	24 (40-16)
B103	C12/15	21 (15+6)	19 (40-21)
B101	C16/20	28 (20+8)	12 (40-28)
B104	C25/30	40 (30+10)	0 (40-40)

Tabelul 5

Stabilirea valorilor rezistențelor transpuse / Establishing the transposed strengths' values

Data prelevării – ziua, martie Sampling date – day, March	Denumire beton Concrete name	Clasa beton Concrete class	$f_{ci}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Factori de conversie Conversion factors (C)	$f_{ci \text{ transpus}} = f_{ci} + C$ $f_{ci \text{ transposed}} = f_{ci} + C$ [ $\text{N/mm}^2$ ]
02	B102	C8/10	15	24	39
09	B102	C8/10	13	24	37
16	B102	C8/10	14	24	38
02	B103	C12/15	22	19	41
09	B103	C12/15	20	19	39
16	B103	C12/15	19	19	38
02	B101	C16/20	26	12	38
10	B101	C16/20	25	12	37
17	B101	C16/20	24	12	36
23	B101	C16/20	25	12	37
02	B104	C25/30	37	0	37
09	B104	C25/30	38	0	38
16	B104	C25/30	39	0	39
23	B104	C25/30	36	0	36
30	B104	C25/30	35	0	35

În cazul de față, pentru clasa corespunzătoare betonului ales ca referință, se alege o valoare țintă a rezistenței de  $f_{ck} + 10$

of the concrete selected as reference, a target strength value of  $f_{ck} + 10 \text{ N/mm}^2$  meaning  $30+10 = 40 \text{ N/mm}^2$  will be selected. The other target values

N/mm<sup>2</sup>, adică 30+10 = 40 N/mm<sup>2</sup>. Celelalte valori țintă ale rezistențelor sunt prezentate în tabelul 4.

Calculul factorului de conversie  $C = \Delta_{(\text{Beton } i)}$  se face cu formula (2), iar valoarea rezistenței transpuse pentru betonul "i" va fi:

$$f_{ci, \text{ transp.}} = f_{ci (\text{Beton } i)} + \Delta_{(\text{Beton } i)} \quad (3),$$

unde:

$f_{ci, \text{ transp.}}$  = rezistența transpusă pentru betonul „i” din familia de betoane;

$f_{ci (\text{Beton } i)}$  = rezultat individual al rezistenței la compresiune obținut prin încercarea unei epruvete din betonul „i”

Este posibil ca, pentru aceleași clase de beton, să avem rezistențe țintă diferite și, de asemenea, putem deduce factorii de conversie pentru fiecare clasă de beton în parte.

Pe baza valorilor factorilor de conversie se pot determina valorile rezistențelor transpuse. Se prezintă astfel de exemple în tabelul 5.

Exemplul de mai sus ia în considerare că există o certificare a controlului producției (prelevare săptămânală).

### 2.2.3. Conformitatea rezistenței la compresiune a betoanelor considerate organizate în familii de beton

#### Aplicarea criteriului 2

În tabelul 6 se prezintă modalitatea de aplicare a criteriului 2 pe betoanele componente familiei de beton.

#### Aplicarea criteriului 3

Acest criteriu este specific în cazul analizării rezultatelor obținute pentru rezistența la compresiune, pentru încadrarea într-o anumită familie de betoane. Trebuie precizat că, pentru a se putea aplica acest criteriu, trebuie ca din fiecare tip de beton să avem la dispoziție cel puțin două rezultate. De asemenea, ca și în cazul aplicării criteriului 2, se iau în considerare rezultatele individuale netranspuse.

of the strength are presented in Table 4.

Calculation of conversion factor  $C = \Delta_{(\text{concrete } i)}$  will be performed using (2) formulae and the value of transposed resistance for concrete "i" will be:

$$f_{ci, \text{ transp.}} = f_{ci (\text{concrete } i)} + \Delta_{(\text{concrete } i)} \quad (3)$$

where:

$f_{ci, \text{ transp.}}$  = the transposed strength for the "i" concrete from the concrete family

$f_{ci (\text{concrete } i)}$  = individual result of the compressive strength, obtained by testing a specimen from the "i" concrete

It is possible that, for the same concrete class, to have different target strengths and also, we can deduce the conversion factors for each concrete class.

Based on the conversion factors' values, the transposed strengths values can be determined. Such examples are presented in Table 5.

The above example takes into consideration that there is a certification of the production's control (weekly sampling).

### 2.2.3. The conformity of compression strength of concretes considered organized in concrete families

#### Application of criterion 2

In Table 6, is presented the modality to apply criterion 2 on concretes composing the concrete families.

#### Application of criterion 3

This criterion is specific in case of analyzing the results obtained for compression strength, in order to be situated in a certain concrete family.

It must be mentioned that, in order to apply this criterion, we need to have at least two results available from each concrete type. Also, as in the case of applying criterion 2, the individual not transposed results will be considered. Is

Tabelul 6

Aplicarea criteriului 2 / Application of criterion 2

Nr. crt. No.	Data prelevării – ziua, martie Sampling date – day, March	Denumire beton Concrete name	Clasa beton Concrete class	$f_{ci}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck-4}$	Este indeplinit criteriul? Is the criterion complied with? $f_{ci} \geq f_{ck-4}$
1	02	B102	C8/10	15	6(10-4)	Da / Yes
2	09	B102	C8/10	13	6(10-4)	Da / Yes
3	16	B102	C8/10	14	6(10-4)	Da / Yes
4	02	B103	C12/15	22	11(15-4)	Da / Yes
5	09	B103	C12/15	20	11(15-4)	Da / Yes
6	16	B103	C12/15	19	11(15-4)	Da / Yes
7	02	B101	C16/20	26	16	Da / Yes
8	10	B101	C16/20	25	16	Da / Yes
9	17	B101	C16/20	24	16	Da / Yes
10	23	B101	C16/20	25	16	Da / Yes
11	02	B104	C25/30	37	26	Da / Yes
12	09	B104	C25/30	38	26	Da / Yes
13	16	B104	C25/30	39	26	Da / Yes
14	23	B104	C25/30	36	26	Da / Yes
15	30	B104	C25/30	35	26	Da / Yes

Este obligatoriu ca în cazul în care analizele de conformitate se fac pe familii de betoane să se obțină cel puțin două rezultate pentru aceleași beton.

Presupunând că această condiție este îndeplinită, în tabelul 7 se prezintă modalitatea de aplicare a acestui criteriu.

mandatory that, in case the conformity analyses are performed on concrete families, at least two results for the same concrete must be obtained.

Supposing that this condition is complied with, in Table 7 the modality to apply this criterion is presented.

Tabelul 7

Aplicarea criteriului 3 / Application of criterion 3

Nr. crt. No.	Data prelevării – ziua, martie Sampling date – day, March	Indicativ beton Concrete indicative	Clasa beton Concrete class	Nr. total de rezultate Total number of results	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Criteriul 3 / Criterion 3 $f_{ck}-1$ (2 rez.) $f_{ck}+1$ (3 rez.) $f_{ck}+2$ (4 rez.) $f_{ck}+2.5$ (5 rez.)	Criteriul este îndeplinit? Is the criterion complied with ?
1	02	B102	C8/10	1	-	-	
2	09	B102	C8/10	2	14	9	Da
3	16	B102	C8/10	3	14	11	Da
4	02	B103	C12/15	1	-	-	
5	09	B103	C12/15	2	21	14	Da
6	16	B103	C12/15	3	20	16	Da
7	02	B101	C16/20	1	-	-	
8	10	B101	C16/20	2	26	19	Da
9	17	B101	C16/20	3	25	21	Da
10	23	B101	C16/20	4	25	22	Da
11	02	B104	C25/30	1	-	-	
12	09	B104	C25/30	2	38	29	Da
13	16	B104	C25/30	3	38	31	Da
14	23	B104	C25/30	4	38	32	Da
15	30	B104	C25/30	5	37	32.5	Da

#### Aplicarea criteriului 1

Acest criteriu trebuie aplicat având în vedere valorile transpuse ale rezistențelor la compresiune pentru diferitele clase de betoane. În tabelele 8 și 9, se exemplifică aplicarea acestui criteriu pentru un număr de 3 rezultate și respectiv de 15 rezultate.

#### Application of criterion 1

This criterion must be applied considering the transposed values of compression strength for different classes on concrete. In tables 8 and 9, it is exemplified this criterion for a number of 3 results and respectively 15 results.

Tabelul 8

Aplicarea criteriului 1 pentru 3 rezultate / Application of criterion 1 for 3 results

Nr. crt. No.	Data prelevării – ziua, martie Sampling date – day, March	Indicativ beton Concrete indicative	$f_{ci}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Factori de conversie Conversion factors	$f_{ci\ transp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck}+4$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Este îndeplinit criteriul? Is the criterion complied with? $f_{cm} \geq f_{ck}+4$
		Clasa beton Concrete class						
1	02	B102	15	24	39	38	34	Da
		C8/10						
2	09	B102	13	19	37	39	34	Da
		C8/10						
3	16	B102	14	12	38	37	34	Da
		C8/10						
4	02	B103	22	19	41	39	34	Da
		C12/15						
5	09	B103	20	12	39	39	34	Da
		C12/15						
6	16	B103	19	12	38	37	34	Da
		C12/15						
7	02	B101	26	12	38	37	34	Da
		C16/20						
8	10	B101	25	12	37	37	34	Da
		C16/20						
9	17	B101	24	12	36	37	34	Da
		C16/20						



Tabelul 9

Aplicarea criteriului 1 pentru 15 rezultate / Application of criterion 1 for 15 results

Nr. crt. No.	Data prelevării – ziua, martie Sampling date – day, March	Indicativ beton Concrete Indicative	$f_{ci}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Factori de conversie Conversion factors	$f_{ci}$ transp. [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck} + 1,48\sigma$	Este indeplinit criteriul? Is the criterion complied with? ( $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$ )
		Clasa beton Concrete class						
1	02	B102	15	24	39	38	32	Da
		C8/10						
2	09	B102	13	24	37	38	32	Da
		C8/10						
3	16	B102	14	24	38	38	32	Da
		C8/10						
4	02	B103	22	19	41	38	32	Da
		C12/15						
5	09	B103	20	19	39	38	32	Da
		C12/15						
6	16	B103	19	19	38	38	32	Da
		C12/15						
7	02	B101	26	12	38	38	32	Da
		C16/20						
8	10	B101	25	12	37	38	32	Da
		C16/20						
9	17	B101	24	12	36	38	32	Da
		C16/20						
10	23	B101	25	12	37	38	32	Da
		C16/20						
11	02	B104	37	0	37	38	32	Da
		C25/30						
12	09	B104	38	0	38	38	32	Da
		C 25/30						
13	16	B104	39	0	39	38	32	Da
		C25/30						
14	23	B104	36	0	36	38	32	Da
		C25/30						
15	30	B104	35	0	35	38	32	Da
		C25/30						

NOTA / NOTE: În conformitate cu prevederile normativului, abaterea standard  $\sigma$ , calculată cu formula (1) trebuie calculată pentru minimum 35 rezultate consecutive obținute pe o perioadă mai mare de trei luni / In accordance with the normative's provisions, standard deviation  $\sigma$  must be calculated for minimum 35 consecutive results obtained for a period larger than 3 months.

### 2.3. Exemplu de analiză CUSUM

Acest gen de analiză este deosebit de utilă deoarece poate "sesiza" tendințele în ceea ce privește constanța calității betonului în timp.

Teoria care stă la baza analizei de tip sumă cumulativă (CUSUM) se bazează pe faptul că, în cazul unor procese stabile media abaterilor rezultatelor individuale față de medie este zero, adică dacă notăm cu:  $\varepsilon_i = X_{med.} - X_i$  (4)

în care:

$X_{med}$  = rezistența medie la compresiune;

$X_i$  = un rezultat individual, atunci

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (X_{med} - X_i) \cong 0 \quad (5)$$

atâta timp cât rezistența medie nu se schimbă și numărul de rezultate este relativ mare.

În cazul în care intervin schimbări în ceea ce privește caracteristicile materialelor, etapele de producere a betonului sau testarea acestuia, expresia (5) devine:

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (X_{med} + \delta) - X_i \cong (N - m)\delta \quad (6)$$

în care:

### 2.3. Example of CUSUM analysis

This type of analysis is extremely useful because it can "detect" tendencies regarding the constancy of concrete quality in time. The theory that represents the fundament of the cumulative sum (CUSUM) is based on the followings: In the stage processes cases, the average of the individual results deviations comparison with the average is zero, than if we designate

$$\varepsilon_i = X_{med.} - X_i \quad (4)$$

where

$X_{med}$  = compressive average strength;

$X_i$  = an individual result, then

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (X_{med} - X_i) \cong 0 \quad (5)$$

as long as the average strength doesn't change and the number of the results are relative high.

In the case when some changing's appear in the materials characteristics, in the producing stages or in testing of the concrete, the (5) expression became

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N (X_{med} + \delta) - X_i \cong (N - m)\delta \quad (6)$$

$\delta$  = diferența față de media anterioară;

m = rezultatul de la care apar schimbările, sesizate grafic prin schimbări de pantă, ascendente sau descendente.

În tabelul 10 se prezintă rezultatele obținute pentru valorile individuale ale rezistenței la compresiune a betonului obținute în producția curentă a unei stații de betoane și diferite metode de prelucrare a rezultatelor.

În figurile 2, 3 și 4 se indică reprezentarea grafică a rezultatelor pentru valorile individuale, mediile cumulate și respectiv CUSUM. Se observă că analiza CUSUM este singura care indică o tendință de scădere a rezultatelor (figura 4), altfel greu de apreciat prin celelalte reprezentări grafice [4].

Where:

$\delta$  = difference comparison with the previous average;

m = the result since then appear the changing's, graphically notified because of the slope, ascendancy or descending, changing's.

In Table 10, are presented the results obtained for individual values of compression strength of concrete obtained in current production of the concrete station and different result processing methods.

In figures 2, 3 and 4, it is indicated the graphical representation of the results for individual values, cumulated averages and respectively CUSUM. It is observed that the analysis CUSUM is the only one indicating a

**Tabelul 10**

Rezultatele obținute pentru valorile individuale ale rezistenței la compresiune a betonului și diferite metode de prelucrare a rezultatelor  
Results obtained for individual values of concrete compression strength and different results processing methods

Nr. / No.	$f_{ci}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ci}-f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	CUSUM [N/mm <sup>2</sup> ]	$M_{3,i}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	37.0	-1.0(37-38)	-1.0	-
2	34.7	-3.3(34.7-38)	-4.3(-3.3-1.0)	-
3	32.8	-5.2(32.8-38)	-9.5(-5.2-4.3)	34.8
4	37.8	-0.2	-9.7	35.1
5	35.2	-2.8	-12.5	35.3
6	36.5	-1.5	-14.0	36.5
7	39.6	1.6	-12.4	37.1
8	37.6	-0.4	-12.8	37.9
9	33.6	-4.4	-17.2	36.9
10	33.6	-4.4	-21.6	34.9
11	35.1	-2.9	-24.5	34.1
12	31.8	-6.2	-30.7	33.5
13	36.4	-1.6	-32.3	34.4
14	32.5	-5.5	-37.8	33.6
15	31.0	-7.0	-44.8	33.3
16	31.7	-6.3	-51.1	31.7
17	37.0	-1.0	-52.1	33.2
18	34.5	-3.5	-55.6	34.4
19	32.9	-5.1	-60.7	34.8

Note/ Notes:

- $f_{ci}$  reprezintă rezultatele individuale obținute prin încercarea la compresiune a betonului /  $f_{ci}$  represents the individual results obtained by concrete's compression testing;
- $f_{cm}$  reprezintă media rezultatelor individuale obținute într-o analiză anterioară a producției de betoane. În cazul de față  $f_{cm} = 38$  [N/mm<sup>2</sup>], tabelul 9 /  $f_{cm}$  represents the average of individual results obtained from a previous analysis of concrete production. In this case  $f_{cm} = 35.8$  [N/mm<sup>2</sup>].
- Analiza CUSUM se efectuează conform indicațiilor prezentate în coloanele 3 și 4 ale tabelului 10, prin însumarea cumulativă a diferenței  $f_{ci}-f_{cm}$  / The CUSUM analysis is performed according to the indications presented in columns 3 and 4 of the Table 10, by cumulative sum of the  $f_{ci} - f_{cm}$  difference  

$$\text{CUSUM 1} = f_{c1}-f_{cm}$$

$$\text{CUSUM 2} = (f_{c2}-f_{cm}) + (f_{c1}-f_{cm})$$

$$\text{CUSUM 3} = (f_{c3}-f_{cm})+(f_{c2}-f_{cm}) + (f_{c1}-f_{cm}), \text{ etc.}$$
- $M_{3,i}$  reprezintă mediile cumulate a trei rezultate individuale /  $M_{3,i}$  represents the averages cumulated of 3 individual results:  $M_{3,1} = (f_{c1} + f_{c2} + f_{c3})/3$ ,  $M_{3,2} = (f_{c2} + f_{c3} + f_{c4})/3$ ,  $M_{3,3} = (f_{c3} + f_{c4} + f_{c5})/3$ , etc.

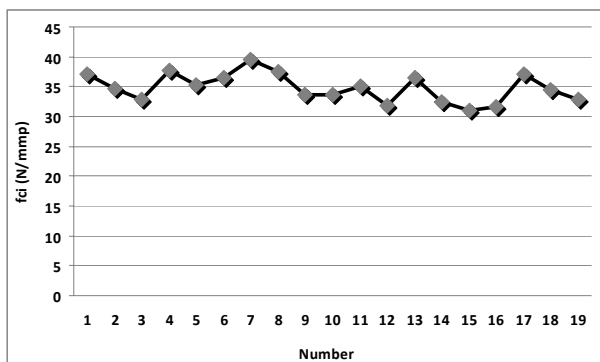


Fig. 2 - Variația valorilor individuale ale rezistențelor la compresiune / Variation of individual values for compressive strength.

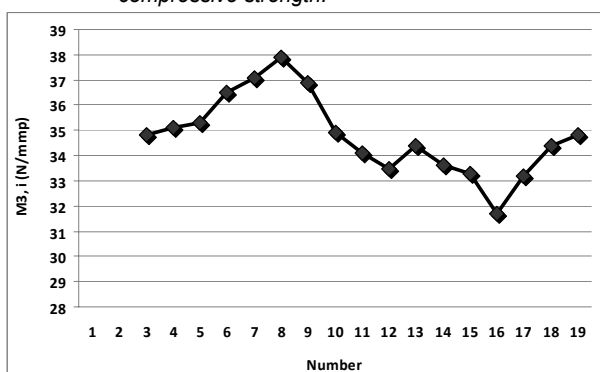


Fig. 3 - Variația mediilor cumulate ale rezistențelor la compresiune / Variation of cumulated averages for compressive strength.

Cauzele posibile ale acestei tendințe de scădere a calității betonului (figura 4) sunt:

- variații inerente ale încercării;
- condițiile de mediu, de exemplu controlul temperaturii inițiale a betonului;
- factorii care țin de producție, de exemplu dozarea materialelor;
- variațiile de calitate a materialelor.

### 3. Concluzii

- Controlul de conformitate a rezistenței la compresiune a betonului pe familii de betoane, introdus recent în reglementările din România, nu se aplică în mod practic din cauza lipsei unor exemple de calcul.

- Sistemul familiei de betoane oferă mijloace eficiente de control al unui număr ridicat de betoane diferite. Se pot proiecta și controla betoane speciale în cadrul unei familii, cu condiția să existe creșteri corespunzătoare ale toleranței pentru a face față incertitudinii.

- Transpunerea se bazează pe o marjă predeterminată și nu pe diferența reală între rezistența medie calculată pentru membrul unei familii și rezistența medie calculată pentru betonul de referință.

- Schimbările sistematice în calitatea unui

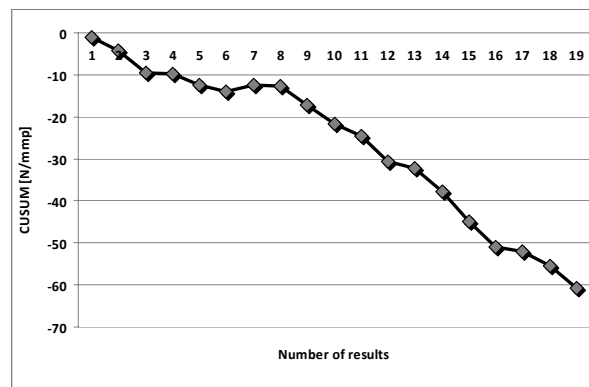


Fig. 4 - Variație tip CUSUM / CUSUM type variation.

decrease tendency of results (figure 4), difficult to appreciate through the other graphical representations [4].

The probable causes of this decrease tendency of concrete's quality (figure 4) are:

- inherent variation of the test ;
- environmental conditions, for example control of concrete's initial temperature ;
- factors related to production, dosing the materials for example;
- materials quality variations.

### 3. Conclusions

- The conformity control of the compressive strength on concrete family, recently introduced in Romanian regulations, is not applied in practice because of the lack of calculus examples.

- The system of concrete families offers efficient means to control a high number of different concretes. Special concretes can be projected and controlled within a family, provided that there are proper increases of tolerance to face the uncertainty.

- The transposition is based on a predetermined margin and not on the real difference between the average resistance reached by a family member and the average resistance directly reached for the reference concrete.

- The systematic changes in the quality of a component material will affect the quality of all concretes produced with that material. In the concrete families system such modifications are rapidly detected by modifications in the reference concrete. Once a significant change is determined, all concretes belonging to a family are modified using familiar relations or relations established between the members of a family and the reference concrete.

- The CUSUM type analyses are extremely useful in continuously pursuing the quality of concrete produced in plants, being able to identify

material component vor afecta calitatea tuturor betoanelor realizate cu acel material. In sistemul familiei de betoane, asemenea modificări sunt detectate rapid prin modificări în betonul de referință. Odată determinată o schimbare semnificativă, toate betoanele dintr-o familie sunt modificate folosind relații cunoscute sau stabilite între membrii unei familii și betonul de referință.

- Analizele de tip CUSUM sunt deosebit de utile în urmărirea continuă a calității betonului produs la stații, putând identifica tendințe negative în evoluția valorilor rezistențelor betonului și, astfel, se identifică, la nivelul betonului de referință, cauzele acestor evoluții. Astfel, pot fi identificate alterări sistematice ale calității, prin panta descendentă accentuată a graficului CUSUM. Exemplul prezentat a scos în evidență că această tehnică de analiza a fost singura capabilă să depisteze tendința negativă în evoluția calității betoanelor produse la stație.

#### REFERENCES

1. xxx, Romanian Standards Association, SR CR 13901, The use of the concept of families for the production and conformity of concrete, 2002.

negative tendencies in the evolution of concrete strength values and therefore, are identified the causes of the evolution in the reference concrete's level. Thus, systematic quality problems can be identified using the descending slope of the CUSUM graph. The up-presented example point out that this technique was the only efficient to discover the negative tendency in the concrete quality evolution produced by a station.

\*\*\*\*\*

2. xxx, Romanian Standards Association, CP 012/1-2007 - Code of practice for the manufacturing of concrete, 2008.
3. xxx, CEN, SR EN 206-1, Concrete: Specification, performance, production & conformity, 2000.
4. ACI Committee 214, ACI 214 R-02, "Evaluation of Strength Test Results of Concrete" American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 20 pp.
5. Cristina Dumitrescu, Mirela Menicu, Georgeta Voicu, Ionela Popovici, The effect of limestone addition on the hydration and hardening of Portland limestone cement in correlation with its physical and mechanical properties, Romanian Journal of Materials, 2008, 38 (3), 203.

\*\*\*\*\*

## MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS



**Spring 2011 - Concrete—The Strength of Florida**  
April 3-7, Marriott Tampa Waterside & Westin Harbour  
Island, Tampa, FL



**Fall 2011 - Bridging Theory and Practice**  
October 16-20, Millennium Hotel & Duke Energy  
Center, Cincinnati, OH

#### About the ACI Convention

ACI conventions are dedicated to improving the design, construction, maintenance, and repair of concrete structures. Conventions provide a forum for networking and education and the opportunity to provide input on concrete industry codes, specifications, and guides.

ACI conducts two conventions each year: one in the spring and one in the fall. Sites of the ACI conventions vary throughout the United States, Canada, and Mexico and are chosen to give as many members as possible an opportunity to attend.

At each of these conventions, committees meet to develop the standards, reports, and other documents necessary to keep abreast of the ever-changing world of concrete technology. Committee meetings are open to all registered convention participants to attend.

Approximately 35 sessions with over 200 speakers allow attendees to learn the latest in concrete technology and practices.

Additionally, ACI conventions offer numerous forums to network and connect with some of the most well-informed individuals in the concrete industry. Expect to meet with engineers, architects, contractors, educators, manufacturers, and material representatives from all over the world.

[http://www.concrete.org/events/ev\\_conventions.htm](http://www.concrete.org/events/ev_conventions.htm)

\*\*\*\*\*