

Τα κριτήρια συμμόρφωσης θλιπτικών αντοχών του προτύπου EN 206-1 και αξιολόγησή τους

Δ. Τσαματσούλης, Δρ. Χημικός Μηχανικός

Αθήνα, 25 Νοεμβρίου 2004

1. Εισαγωγή

Το πρότυπο EN 206-1 εισάγει την έννοια του αυτοελέγχου στο παραδιδόμενο σκυρόδεμα και των κριτηρίων συμμόρφωσης όσον αφορά τις υπό έλεγχο ιδιότητες.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει τα κριτήρια συμμόρφωσης αυτοελέγχου του παραγωγού όσον αφορά την θλιπτική αντοχή – παράγραφος 8.2.1.3 του προτύπου - καθώς και τα κριτήρια ταυτοποίησης (Identity criteria) του παραρτήματος Β του προτύπου. Επιπλέον στόχος είναι να συγκρίνει τα παραπάνω κριτήρια με τα κριτήρια συμμόρφωσης του Κανονισμού Τεχνολογίας σκυροδέματος.

Η τεχνική η οποία ακολουθήθηκε ήταν αυτή της καμπύλης λειτουργίας κάθε κριτηρίου (operating curve - OC). Ως εργαλεία για την κατασκευή της καμπύλης λειτουργίας ενός κριτηρίου χρησιμοποιήθηκε είτε το πρότυπο ISO 3951:1989 είτε η τεχνική της προσομοίωσης για δεδομένα τα οποία δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση. Στην δεύτερη περίπτωση τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν είτε με την θεωρητική λύση είτε με καμπύλες λειτουργίας που δίνονται στην βιβλιογραφία.

2. Μέθοδος

Εξετάστηκαν δύο τύποι κριτηρίων:

Τύπος 1:

$$\bar{X}_n \geq f_{ck} + k_1 \quad (1)$$

$$X_i \geq f_{ck} - k_2 \quad (2)$$

Τύπος 2:

$$\bar{X}_n \geq f_{ck} + \lambda s \quad (3)$$

$$X_i \geq f_{ck} - k_2 \quad (4)$$

όπου

$$\bar{X}_n \quad : \quad \text{η μέση τιμή } n \text{ δοκιμών}$$

f_{ck} : η χαρακτηριστική αντοχή της κατηγορίας του σκυροδέματος
 s : η τυπική απόκλιση των n δοκιμών
 k_1, k_2, λ : συντελεστές

Οι ανισότητες κάθε κριτηρίου είναι αλληλοεξαρτημένες. Στην περίπτωση βέβαια που η τιμή της σταθεράς k_2 είναι αρκετά μεγάλη τότε ισχύει η πρώτη ανισότητα. Η χαρακτηριστική καμπύλη των κριτηρίων του τύπου 1 μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά με χρήση κανονικής κατανομής⁽¹⁾ και αυτή η μεθοδολογία ακολουθήθηκε.

Όσον αφορά τα κριτήρια του τύπου 2., η καμπύλη λειτουργίας του πρώτου κανόνα δίνεται από «μη κεντρική κατανομή t »⁽²⁾ και μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά, είτε από τους πίνακες του προτύπου ISO 3951:1989⁽³⁾.

Επειδή τα κριτήρια τύπου 2 περιέχουν δύο εξαρτημένες ανισότητες, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προσομοίωσης για δεδομένα τα οποία δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν είτε με την θεωρητική λύση είτε με καμπύλες λειτουργίας που δίνονται στην βιβλιογραφία.

3. Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Για να επαληθευτούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θεωρήθηκαν δύο περιπτώσεις κριτηρίων συμμόρφωσης για αριθμό δοκιμών ίσο με 12 και 15 τα οποία δίνονται από τις σχέσεις

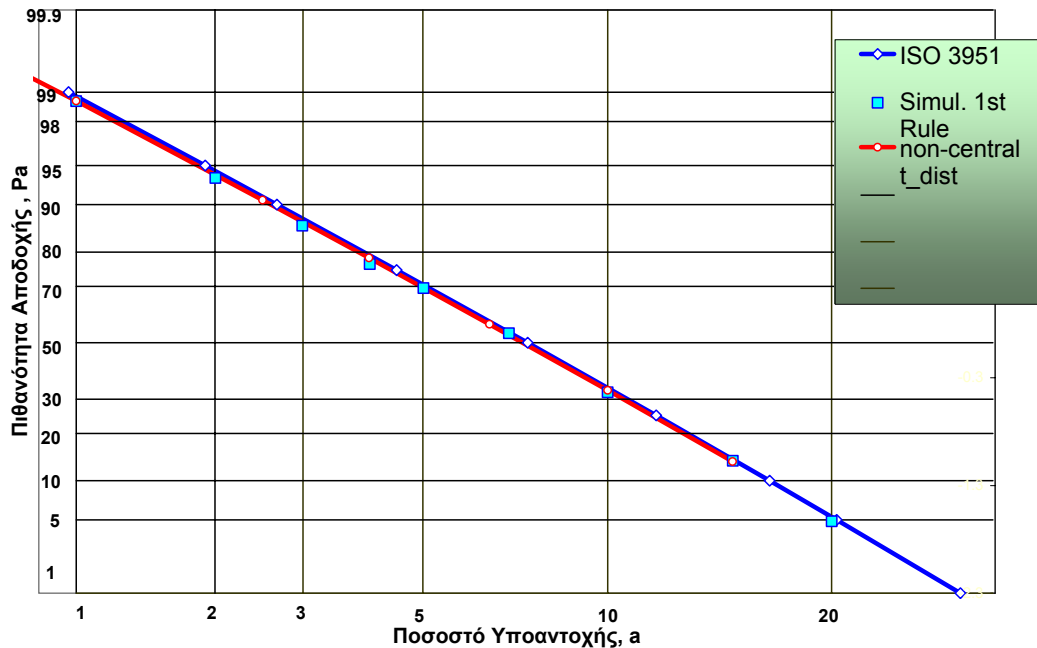
$$\bar{X}_n \geq f_{ck} + \lambda s \quad (5)$$

$$X_i \geq f_{ck} - 4 \quad (6)$$

$$\lambda = 1.48 \quad \text{για } N = 15$$

$$\lambda = 1.43 \quad \text{για } N = 12$$

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που προκύπτουν από τον πρώτο κανόνα - την εξίσωση (5) συγκρίθηκαν με αυτά που προκύπτουν από την μη κεντρική κατανομή Student, όπως περιγράφεται στην βιβλιογραφία^{(4),(5)}, και το πρότυπο ISO 3951, Πίνακας II-A για $n=15$, $k=1.47$ και Πίνακας V-G-1. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 1 για $N=15$, όπου έχουν θεωρηθεί άξονες πιθανοτήτων.



Σχήμα 1. Επαλήθευση αποτελεσμάτων προσομοίωσης για N=15

4. Καμπύλες λειτουργίας των κριτηρίων συμμόρφωσης αυτοελέγχου του EN 206-1

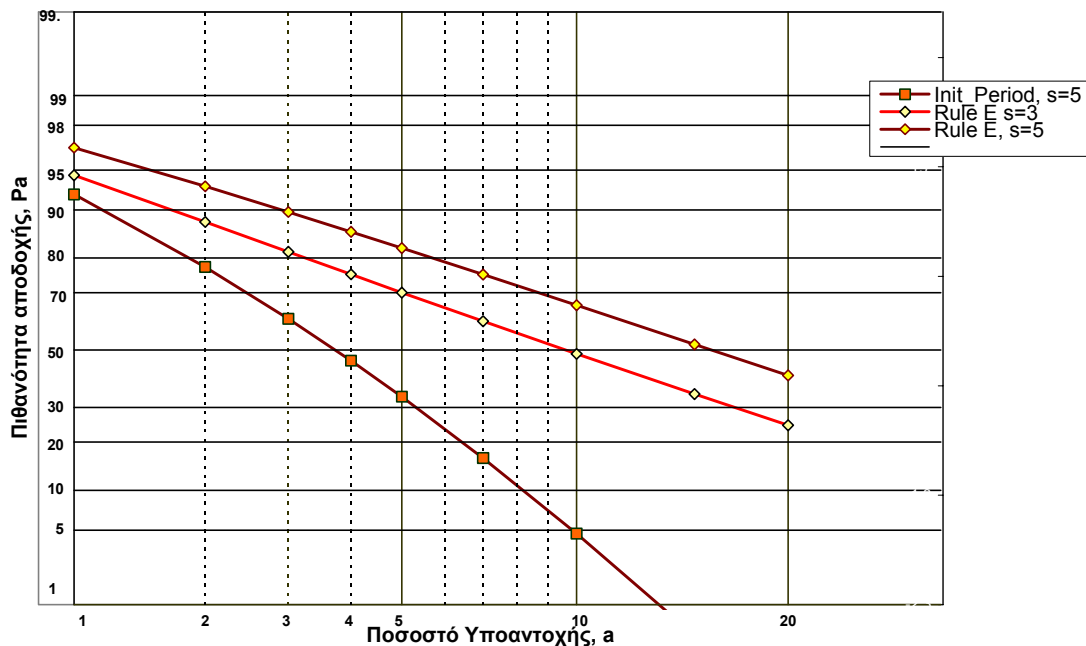
4.1 Κατασκευή των καμπυλών λειτουργίας

Τα κριτήρια συμμόρφωσης αυτοελέγχου διακρίνονται σε αυτά της αρχικής περιόδου και σε αυτά της συνεχούς παραγωγής. Τα κριτήρια περιγράφονται στον πίνακα 14 του EN 206-1. Το κριτήριο της αρχικής περιόδου είναι Τύπου 1 με $k_1=k_2=4$ για $N=3$. Άρα στην περίπτωση αυτή η καμπύλη λειτουργίας μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά ⁽¹⁾. Το κριτήριο της συνεχούς παραγωγής είναι Τύπου 2 για $N=15$, $\lambda=1.48$ και $k_2=4$. Σύμφωνα με το πρότυπο ως τυπική απόκλιση δεν λαμβάνεται η απόκλιση της 15άδας αλλά υπολογίζεται αρχικά από 35 διαδοχικά δείγματα και θεωρείται αυτή ως γνωστή απόκλιση του πληθυσμού, σ . Εάν η απόκλιση της 15 άδας βρίσκεται εντός των ορίων που δίνονται από τη σχέση:

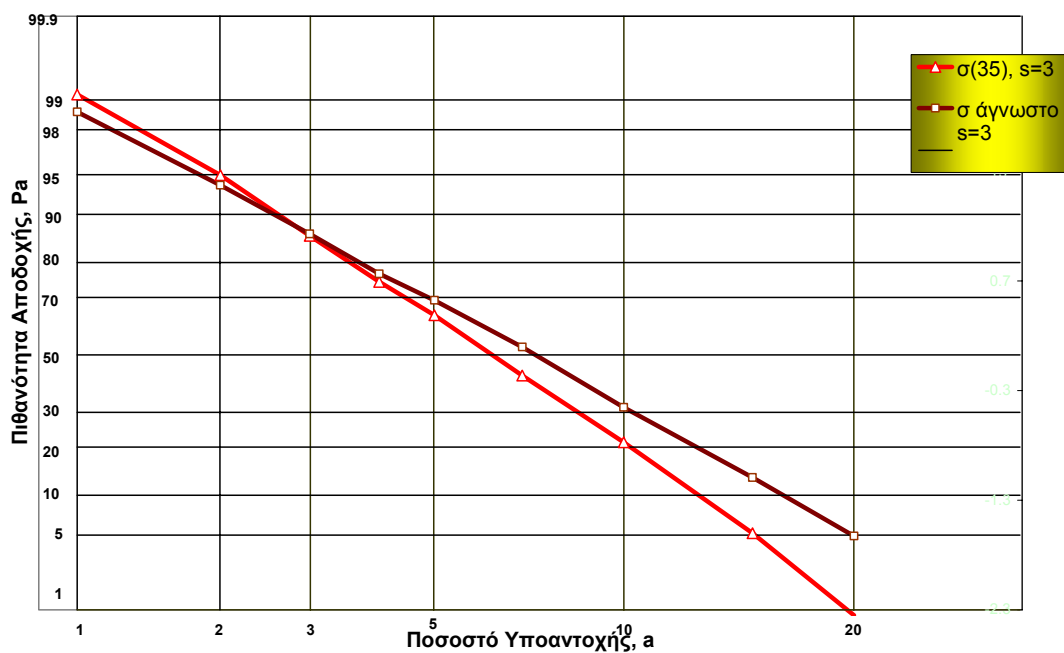
$$0.63\sigma \leq s_{15} \leq 1.37\sigma \quad (7)$$

οι υπολογισμοί συνεχίζονται με το δεδομένο σ . Διαφορετικά υπολογίζεται νέα απόκλιση πλυθυσμού από την τελευταία 15 άδα.

- Στο σχήμα 2 δίνεται η καμπύλη λειτουργίας των κριτηρίων αρχικής περιόδου για επίπεδα τυπικής απόκλισης πληθυσμού $\sigma=5$. Για λόγους σύγκρισης δίνεται παράλληλα η καμπύλη λειτουργίας του Κριτηρίου E για $\sigma=3$ και $\sigma=5$.



Σχήμα 2. Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίων συμμόρφωσης αρχικής περιόδου.



Σχήμα 3. Καμπύλες λειτουργίας συνεχούς παραγωγής

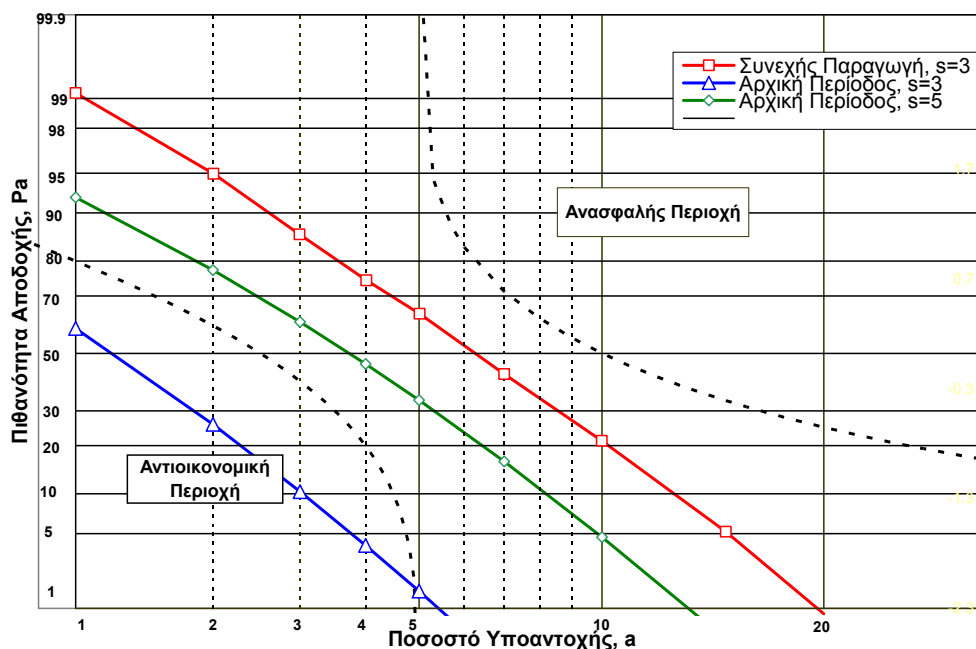
Η καμπύλη που προκύπτει με γνωστή τυπική απόκλιση δίνει σημαντικά μικρότερα ποσοστά αποδοχής από την καμπύλη που προέκυψε για άγνωστη τυπική απόκλιση όταν το ποσοστό υποαυτοχής είναι $a > 5\%$, οπότε υπάρχει πιο μικρή διακύβευση για τον πελάτη. Από το άλλο μέρος για $a < 3\%$, δίνει ελαφρά πιο μεγάλα ποσοστά, οπότε μειώνεται η διακύβευση του παραγωγού.

5. Σύγκριση των καμπυλών λειτουργίας αρχικής περιόδου και συνεχούς λειτουργίας

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών απαιτείται να συγκριθούν μεταξύ τους οι καμπύλες λειτουργίας των κριτηρίων που εφαρμόζονται στην αρχική περίοδο και κατά την συνεχή παραγωγή.

Εάν ένας κανόνας δίνει καμπύλη που διέρχεται μέσα από την ανασφαλή περιοχή, τότε η προστασία που δίνει στον πελάτη είναι αρκετά ασθενής. Αντίθετα εάν η καμπύλη διέρχεται μέσα από την αντιοικονομική περιοχή, εξαναγκάζει τον παραγωγό να λειτουργεί με πολύ χαμηλό ποσοστό υποαντοχής και παρόλα αυτά να αποδέχεται σημαντική διακύβευση.

Θεωρείται επίπεδο τυπικής απόκλισης ίσο με 5 για την αρχική περίοδο και 3 για την συνεχή.



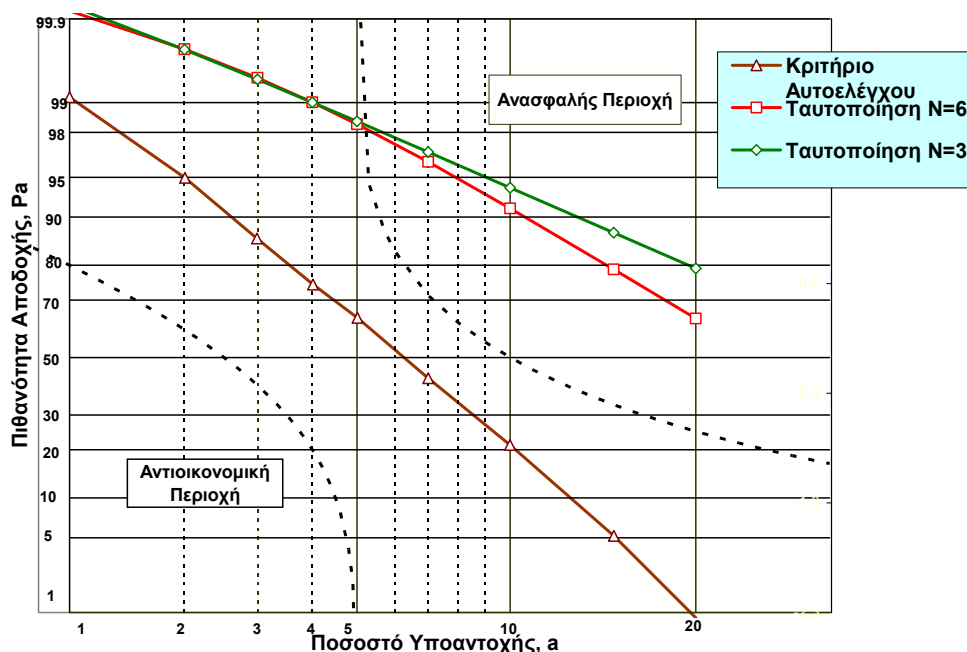
Σχήμα 4. Σύγκριση κριτηρίων αρχικής περιόδου και συνεχούς παραγωγής

Από το σχήμα 6 προκύπτουν τα εξής:

- Και οι δύο καμπύλες κινούνται μεταξύ ανασφαλούς και αντιοικονομικής περιοχής.
- Η καμπύλη συνεχούς λειτουργίας δίνει για μεγαλύτερες πιθανότητες αποδοχής από αυτή της αρχικής περιόδου. Ενα οριακό σκυρόδεμα με υποαντοχή 5% έχει μόνο 33% πιθανότητα αποδοχής. Αντίθετα στην συνεχή περίοδο έχει πιθανότητα αποδοχής 64%

6. Καμπύλες λειτουργίας των κριτηρίων ταυτοποίησης του EN 206-1

Τα κριτήρια ταυτοποίησης εισάγονται στο παράρτημα Β του προτύπου και είναι τυπικά – normative . Είναι κριτήρια τύπου 1 όπως περιγράφηκαν από τις εξισώσεις (1), (2). Για αριθμό δοκιμίων $N=2-4$, $k_1=1$, $k_2=4$. Για $N=5-6$, $k_1=2$, $k_2=4$. Λόγω της φύσης των κριτηρίων η καμπύλες λειτουργίας μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά⁽¹⁾ και υπολογίστηκαν για $N=3$ και $N=6$ και τυπική απόκλιση $\sigma=3$. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 5. Παράλληλα δίνεται η καμπύλη λειτουργίας συνεχούς παραγωγής .

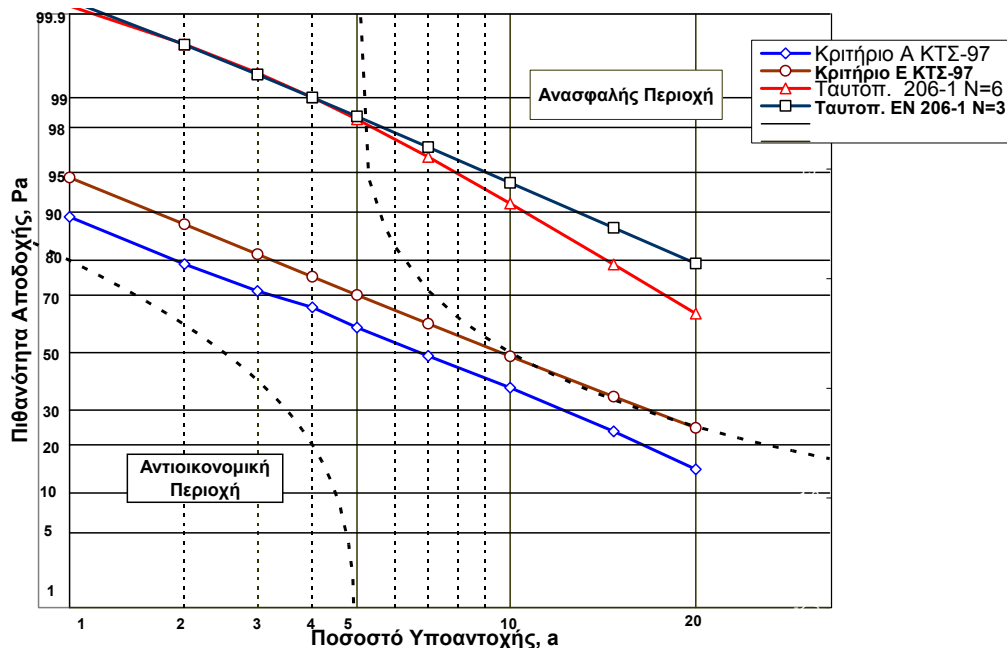


Σχήμα 5. Καμπύλες λειτουργίας κριτηρίων ταυτοποίησης.

Από το σχήμα 5 προκύπτει ότι τα κριτήρια ταυτοποίησης είναι *ιδιαίτερα ανασφαλής*. Ένα οριακό σκυρόδεμα με ποσοστό υποαντοχής 5% - το οποίο έχει πιθανότητα αποδοχής 64% σύμφωνα με τα κριτήρια συνεχούς παραγωγής, περνά με ποσοστό 98% τα κριτήρια ταυτοποίησης. Αρα ένα οριακό σκυρόδεμα έχει ολική πιθανότητα αποδοχής $0.64 \cdot 98 = 0.63$. Δηλ. ένα σε ένα οριακό σκυρόδεμα με $a=5\%$, το σφάλμα τύπου II είναι 63%.

7. Κριτήρια ταυτοποίησης του EN 206-1

Τα κριτήρια ταυτοποίησης του EN 206-1 που περιλαμβάνουν 2-3 ή 5-6 δοκίμια συγκρίθηκαν με τα κριτήρια A και E του ΚΤΣ που περιλαμβάνουν αντίστοιχο αριθμό δοκιμίων τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Σύγκριση των κριτηρίων ταυτοποίησης του EN 206-1 με τα κριτήρια συμμόρφωσης του ΚΤΣ-97..

Από το σχήμα 6 προκύπτουν τα εξής:

Ένα οριακό σκυρόδεμα – 5% υποαυτοχία - η με ποσοστό υποαυτοχίας έως και 10% έχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να γίνει αποδεκτό σύμφωνα με τα κριτήρια παραλαβής του EN 206-1. Οι πιθανότητες αυτές είναι ~98% για $a=5\%$ έως και 90% για $a=10\%$. Τα κριτήρια λοιπόν αυτά κινούνται σαφώς στην ανασφαλής περιοχή σε αντίθεση με τα κριτήρια του ΚΤΣ -97 που εβρίσκονταν διαρκώς στην ασφαλή και οικονομική περιοχή.

8. Αναφορές

- (1) Koufopoulos T. “ Acceptance rules for concrete strength”, RILEM Materials and Structures, No 89, Sept-Oct 1982, pp 454-459.
- (2) «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος , Αιτιολογική Εκθεση», Αθήνα, Απρίλιος 1985, σελ. 39.
- (3) ISO 3951: 1989, “Sampling procedures and charts for inspection by variables for percent nonconforming” , pp 27-41
- (4) Κόλιας Σ. «Αξιολόγηση του πρώτου κριτηρίου συμμόρφωσης του κανονισμού πλαισίου CEB/FIP για τον έλεγχο συμμορφώσεως του σκυροδέματος σε αντοχή σε θλίψη» 4^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ηράκλειο, 10-12 Μαΐου 1979.
- (5) «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος , Αιτιολογική Εκθεση», Αθήνα, Απρίλιος 1985, σελ. 42.
- (6) Taerwe L. “A general basis for the selection of compliance criteria”, IASBE Proceedings P-102/86, 1986, pp. 113-117