

Αξιολόγηση των κριτηρίων συμμόρφωσης θλιπτικών αντοχών του προτύπου EN 206-1 μέσω της κατασκευής των καμπυλών λειτουργίας

Δ.Χ.Τσαματσούλης

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Συντονιστής Ποιότητας, ΧΑΛΥΨ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.

Λέξεις κλειδιά: Σκυρόδεμα, καμπύλη λειτουργίας, αντοχή, συμμόρφωση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία, περιγράφεται αξιολόγηση των κριτηρίων συμμόρφωσης της θλιπτικής αντοχής του EN 206-1 με βάση την τεχνική των καμπυλών λειτουργίας. Ακολουθήθηκαν μεθοδολογίες τόσο αναλυτικής λύσης όσο και προσομοίωσης. Συμπεραίνεται ότι κατά την αρχική περίοδο ο παραγωγός πρέπει να σχεδιάσει ένα αρκετά υψηλό στόχο αντοχής, ώστε να διαθέτει υψηλή πιθανότητα αποδοχής του προϊόντος. Αντίθετα κατά την συνεχή παραγωγή ένας στόχος 2-3 Μρα μικρότερος παρέχει την ίδια πιθανότητα αποδοχής. Ένα οριακό σκυρόδεμα εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα αποδοχής κατά την συνεχή περίοδο από αυτή της αρχικής. Τα κριτήρια ταυτοποίησης είναι ιδιαίτερα χαλαρά, κινούμενα συνεχώς σε ανασφαλή για τον πελάτη περιοχή, εφόσον ένα οριακό σκυρόδεμα γίνεται αποδεκτό με πιθανότητα 98%.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 (conformity criteria) 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 χρησιμοποιήθηκαν

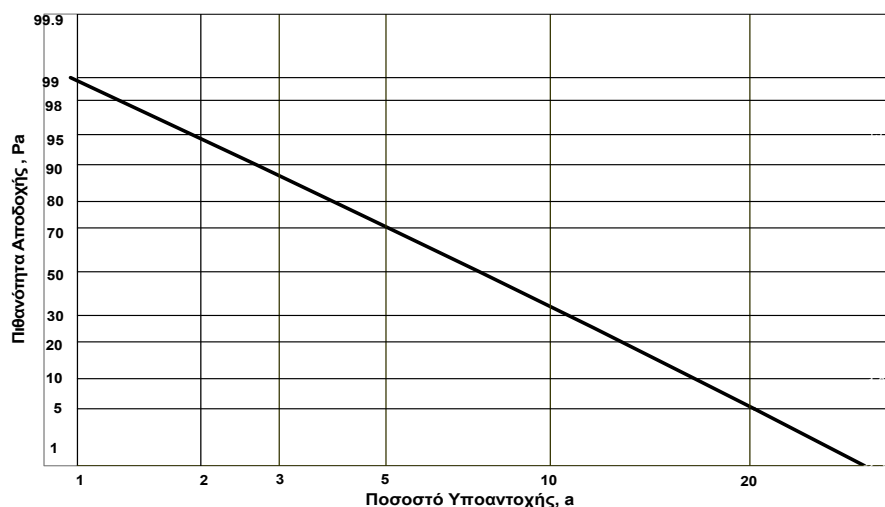
- Το πρότυπο ISO 3951:1989
- Αναλυτική λύση με χρήση κανονικής κατανομής
- Η τεχνική της προσομοίωσης για δεδομένα τα οποία δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση. Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν είτε με την θεωρητική λύση είτε με τις καμπύλες λειτουργίας που δίνονται με βάση το πρότυπο ISO 3951:1989.

2 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1 Ορισμός της καμπύλης λειτουργίας

Έστω ένας πληθυσμός σκυροδέματος, ο οποίος έχει ένα ποσοστό υποαντοχής a . Έστω ότι στον πληθυσμό αυτό εφαρμόζεται ένα καθορισμένο κριτήριο συμμόρφωσης, π.χ. το κριτήριο Α του ΚΤΣ-97. Η πιθανότητα με την οποία η υπό έλεγχο με βάση το αναφερθέν κριτήριο παρτίδα γίνεται

αποδεκτή, αποτελεί την πιθανότητα αποδοχής, P_a . Η συνάρτηση μεταξύ του ποσοστού υποαντοχής και της πιθανότητας αποδοχής αποτελεί την καμπύλη λειτουργίας του κριτηρίου 28 ημερών. Προφανώς όταν το ποσοστό υποαντοχής αυξάνει, η πιθανότητα αποδοχής αναμένεται να μειώνεται. Ένα παράδειγμα καμπύλης λειτουργίας δίνεται στο σχήμα 1. Κάθε κριτήριο θέτει ένα ποσοστό υποαντοχής a_0 , συνήθως 5%, για το οποίο όταν $a < a_0$ το προϊόν είναι αποδεκτό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση δεν είναι. Όσο πιο κάθετη είναι η καμπύλη λειτουργίας γύρω από αυτό το ποσοστό, τόσο αυξάνει η διακριτική ικανότητα του κριτηρίου. Ως διακύβευση παραγωγού, σφάλμα τύπου I, θεωρείται η περίπτωση που ένα συμμορφούμενο στην πραγματικότητα προϊόν, σύμφωνα με το εφαρμοζόμενο κριτήριο θεωρείται μη συμμορφούμενο. Στην περίπτωση αυτή πάσχει ο παραγωγός. Για $a < a_0$ η διακύβευση τύπου I είναι $100 - P_a$. Ως διακύβευση πελάτη, σφάλμα τύπου II θεωρείται η αντίθετη περίπτωση που ένα μη συμμορφούμενο στην πραγματικότητα προϊόν, σύμφωνα με το εφαρμοζόμενο κριτήριο θεωρείται συμμορφούμενο. Στην περίπτωση αυτή πάσχει ο πελάτης. Για $a > a_0$ η διακύβευση τύπου II είναι P_a .



Σχήμα 1. Παράδειγμα καμπύλης λειτουργίας

2.2 Τύποι κριτηρίων

Μελετήθηκαν οι παρακάτω 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 = η μέση τιμή N δοκιμών, f_{ck} = η χαρακτηριστική αντοχή της κατηγορίας του σκυροδέματος, s = η τυπική απόκλιση των N δοκιμών, X_i = μοναδική τιμή, 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 ο δεύτερος κανόνας είναι ανενεργός. Η χαρακτηριστική καμπύλη των κριτηρίων του τύπου 1 μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά με χρήση κανονικής κατανομής όπως αναπτύχθηκε από τον Κουφόπουλο (1982). Η μεθοδολογία αυτή ακολουθήθηκε. Όσον αφορά τα κριτήρια του τύπου 2, η καμπύλη λειτουργίας του πρώτου κανόνα δίνεται από «μη κεντρική κατανομή t » (Κόλιας (1979) Αιτιολογική έκθεση Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1985)) και μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά, είτε από τους πίνακες του προτύπου ISO 3951:1989. 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. Όσον αφορά την προσομοίωση για την εφαρμογή των τύπου 2 κριτηρίων ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- (1) Λήφθηκαν $m = 200-250$ n -άδες τυχαίων αριθμών με μέση τιμή 0 και επιθυμητή απόκλιση s .
- (2) Προστέθηκε σε κάθε προκύπτον αποτέλεσμα επιθυμητή τιμή f_{ck} .
- (3) Από τα $m \times n$ αποτελέσματα υπολογίστηκαν αυτά που εμφανίζουν αντοχή μικρότερη του f_{ck} και υπολογίστηκε το ποσοστό υποαντοχής, a .
- (4) Εφαρμόστηκε η εξίσωση (3) σε κάθε n -άδα και υπολογίστηκε το ποσοστό των ομάδων που δεν συμμορφώνονται με τον κανόνα αυτό.
- (5) Εφαρμόστηκε η εξίσωση (4) στα μεμονωμένα αποτελέσματα της κάθε n -άδας και υπολογίστηκε το ποσοστό των μη συμμορφούμενων ομάδων.
- (6) Οι συνολικά μη αποδεκτές ομάδες, ως κλάσμα % β , αποτελούν την ένωση των δύο συνόλων.
- (7) Υπολογίστηκε με βάση το βήμα (6) η πιθανότητα αποδοχής $P_a = 100 - \beta$.

2.3 Κριτήρια συμμόρφωσης ΚΤΣ – 97 και EN 206-1

Όλα τα κριτήρια συμμόρφωσης περιγράφονται μέσω των κριτηρίων τύπου 1 ή 2 της παραγράφου 2.2 με διαφορετικά όμως N , λ , k_1 , k_2 . Για τα κριτήρια λοιπόν Α έως Ε του ΚΤΣ – 97 ισχύουν τα εξής:

| | | |
|-------------|---------|---|
| Κριτήριο Α: | Τύπος 2 | $N = 6, \lambda = 1.6, k_2 = 2$ |
| Κριτήριο Β: | Τύπος 2 | $N = 12, \lambda = 1.57, k_2 = 3$ |
| Κριτήριο Γ: | Τύπος 2 | $N = 12, \lambda = 1.57, k_2 = 3$ |
| Κριτήριο Δ: | Τύπος 2 | $N = 36, \lambda = 1.70$ και $N = 3, \lambda = 1.83$ χωρίς εφαρμογή του κανόνα μοναδικών τιμών. |
| Κριτήριο Ε: | Τύπος 1 | $N = 3, k_1 = 3.7, k_2 = 0$ |

Όσον αφορά την συχνότητα δειγματοληψίας και τα εφαρμοζόμενα κριτήρια σύμφωνα με το EN 206-1, ισχύουν τα παρακάτω:

(α) Αρχική περίοδος

Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας: Πρώτα 50 m^3 , 3 δείγματα. Μετά τα πρώτα 50 m^3 , $1/200 \text{ m}^3$ ή 2/εβδομάδα παραγωγής όταν διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής, $1/150 \text{ m}^3$ ή 1/ημέρα παραγωγής όταν δεν διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής. Η αρχική περίοδος επεκτείνεται έως ότου ληφθούν το λιγότερο 35 αποτελέσματα.

Κριτήρια συμμόρφωσης για θλιπτική αντοχή 28 ημερών: Τύπος 1, $N = 3, k_1 = 4, k_2 = 4$. Άρα το κριτήριο πρέπει να ικανοποιείται για το λιγότερο 12 συνεχείς τριάδες.

(β) Συνεχής παραγωγή

Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας: $1/400 \text{ m}^3$ ή 1/εβδομάδα παραγωγής όταν διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής, $1/150 \text{ m}^3$ ή 1/ημέρα παραγωγής όταν δεν διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής

Κριτήρια συμμόρφωσης για θλιπτική αντοχή 28 ημερών: Τύπος 2, $N = 15$, $\lambda = 1.48$, $k_2 = 4$

Η αρχική τυπική απόκλιση θεωρείται γνωστή και λήφθηκε από τα τελευταία τουλάχιστον 35 δείγματα σε μια περίοδο τουλάχιστον 3 μηνών πριν την περίοδο παραγωγής κατά την οποία αξιολογείται η συμμόρφωση. Η τιμή αυτή ελέγχεται κατά την επόμενη περίοδο:

Μέθοδος 1: Εάν η απόκλιση s_{15} δεν βρίσκεται στα όρια που δίνονται από την εξίσωση (5)

$$0.63\sigma \leq s_{15} \leq 1.37\sigma \quad (5)$$

Τότε:

- Επαναυπολογίζεται η σ από τα τελευταία 35 δείγματα
- Η συχνότητα δειγματοληψίας αυξάνει για τα επόμενα 35 αποτελέσματα σε αυτή που απαιτείται για την αρχική περίοδο

Μέθοδος 2: Εκτίμηση από συνεχές σύστημα (π.χ. Τεχνική χαρτών ελέγχου). Η ευαισθησία του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίδια με την μέθοδο 1

(γ) Έλεγχος παραλαβής παρτίδας - ταυτοποίησης θλιπτικής αντοχής

Ο έλεγχος ταυτοποίησης πρέπει να αποδεικνύει εάν ένας όγκος σκυροδέματος ανήκει στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό με αυτόν που έχει επαληθευτεί ως συμμορφούμενος κατά την αξιολόγηση συμμόρφωσης από τον παραγωγό.

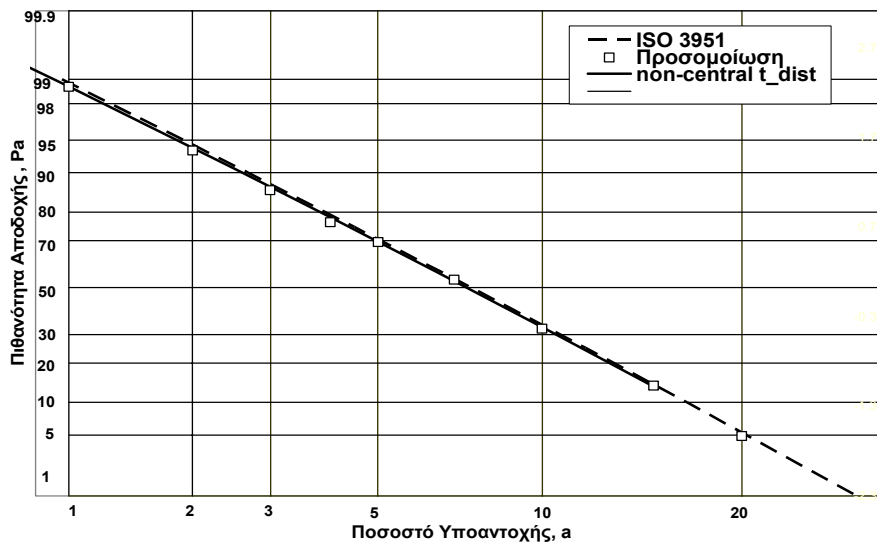
Σκυρόδεμα που διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής. Εφαρμογή κριτηρίων τύπου 1.

| | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|
| $N = 1$ | Πρώτος κανόνας μη εφαρμόσιμος | $k_2 = 4$ |
| $N = 2-4$ | $k_1 = 1$ | $k_2 = 4$ |
| $N = 5-6$ | $k_1 = 2$ | $k_2 = 4$ |

Σκυρόδεμα που δεν διαθέτει πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής τουλάχιστον τρία δείγματα και εφαρμογή των κριτηρίων συμμόρφωσης αρχικής περιόδου

3 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για να επαληθευτούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θεωρήθηκε περίπτωση κριτηρίου συμμόρφωσης τύπου 2 για $N = 15$, $\lambda = 1.48$. Ο δεύτερος κανόνας μοναδικών τιμών δεν λήφθηκε υπόψη. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με αυτά που προκύπτουν από την μη κεντρική κατανομή Student, όπως περιγράφεται στην βιβλιογραφία, και το πρότυπο ISO 3951, Πίνακας II-A για $N = 15$, $k = 1.47$ και Πίνακας V-G-1. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 2, όπου έχουν θεωρηθεί άξονες πιθανοτήτων. Από το σχήμα προκύπτει ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προσεγγίζουν επαρκέστατα την καμπύλη λειτουργίας, όπως αυτή υπολογίζεται θεωρητικά με μη κεντρική κατανομή t και όπως δίνεται από το πρότυπο ISO 3951.



Σχήμα 2. Επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

4 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΑΥΤΟΕΛΕΓΧΟΥ

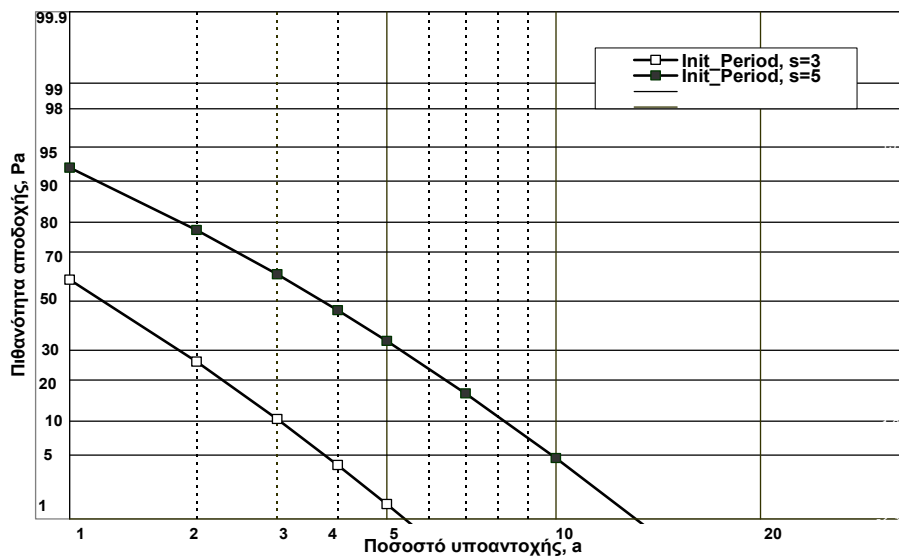
4.1 Κατασκευή των καμπυλών λειτουργίας

Το κριτήριο της αρχικής περιόδου είναι Τύπου 1, απαιτείται να ικανοποιείται για 12 συνεχείς τριάδες αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη λειτουργίας μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά με χρήση κανονικών κατανομών. Το κριτήριο της συνεχούς παραγωγής είναι Τύπου 2. 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 15άδας βρίσκεται εντός των ορίων που δίνονται από τη σχέση (5) οι υπολογισμοί συνεχίζονται με το δεδομένο σ . Διαφορετικά υπολογίζεται νέα απόκλιση πληθυσμού από την τελευταία 35άδα. Για την περίπτωση συνεχούς παραγωγής εφαρμόστηκαν τα παρακάτω βήματα για τον υπολογισμό των καμπυλών.

- (1) Υπολογισμός με προσομοίωση για διάφορα επίπεδα απόκλισης για άγνωστη απόκλιση πληθυσμού.
- (2) Υπολογισμός με βάση το πρότυπο ISO 3951 για άγνωστη απόκλιση. Η καμπύλη αυτή αντιστοιχεί στο κριτήριο συνεχούς παραγωγής όταν η απόκλιση είναι μικρή και η εξίσωση μεμονωμένων αποτελεσμάτων αδρανεύει.
- (3) Σύγκριση των αποτελεσμάτων των βημάτων 1 και 2 και εύρεση του επιπέδου απόκλισης για το οποίο η εξίσωση μεμονωμένων αποτελεσμάτων αρχίζει να γίνεται σημαντική
- (4) Υπολογισμός με προσομοίωση για απόκλιση υπολογιζόμενη εκ των προτέρων από 35άδα και επαναυπολογισμό της από τα τελευταία 35 δείγματα σε περίπτωση που η απόκλιση της 15άδας δεν ικανοποιεί την σχέση (5).

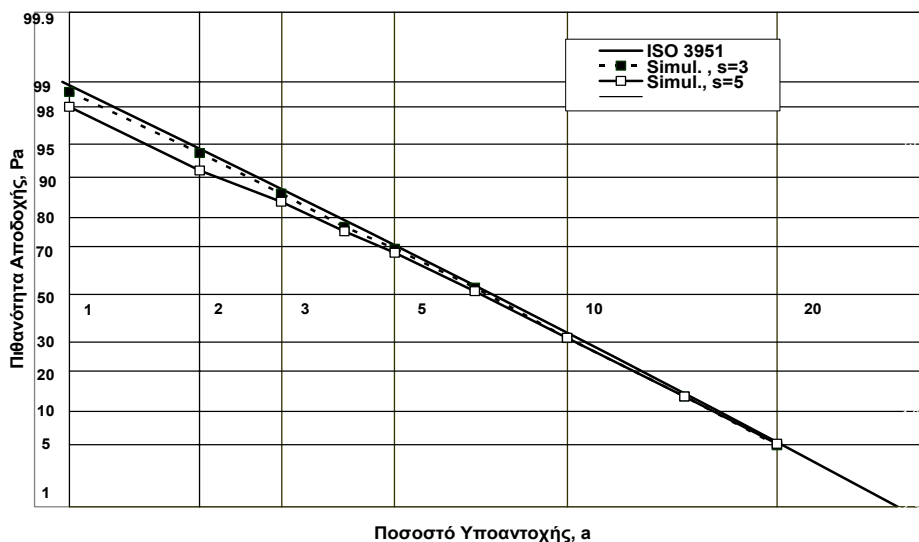
Σε κάθε περίπτωση θεωρήθηκε ότι τα αποτελέσματα δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση και είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα.

Στο σχήμα 3 δίνεται η καμπύλη λειτουργίας των κριτηρίων αρχικής περιόδου για επίπεδο τυπικής απόκλισης πληθυσμού $\sigma=3$ και $\sigma=5$. Από το σχήμα συνάγονται τα εξής:



Σχήμα 3. Κριτήρια συμμόρφωσης αρχικής περιόδου

Από το σχήμα συνάγεται ότι οι καμπύλες λειτουργίας της αρχικής περιόδου είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για τον παραγωγό, δηλ. εμφανίζουν υψηλό ποσοστό διακύβευσης τύπου I και μάλιστα είναι δυσμενέστερες, όταν τα επίπεδα απόκλισης του παραγωγού είναι χαμηλά. Αντίθετα η διακύβευση τύπου II είναι χαμηλή. Έτσι για $\sigma=5$, $Pa=33.5\%$, ενώ για $\sigma=3$, $Pa=1.5\%$. Η αιτία της εμφάνισης σημαντικά χαμηλότερων πιθανοτήτων αποδοχής για χαμηλότερη τυπική απόκλιση, είναι ότι για μικρά σ , η αποδεκτή μέση τιμή f_{cm} είναι χαμηλότερη και έτσι ακόμα και για $a=1\%$, η πιθανότητα αποδοχής είναι μόλις 59%. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως κατά την αρχική παραγωγή, πρέπει ο παραγωγός να σχεδιάσει στόχο ατοχής που να παρέχει ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό υποαποχής, ώστε να διαθέτει μια χαμηλή διακύβευση τύπου I.

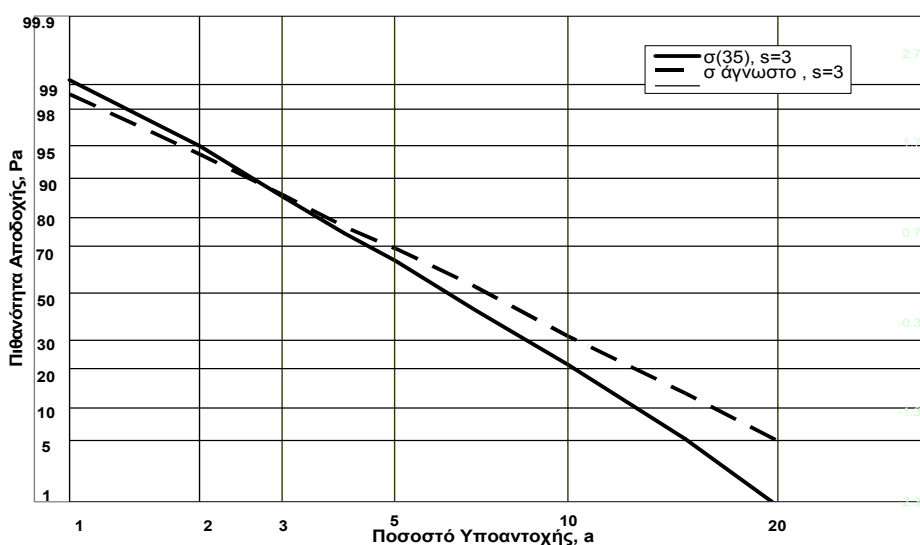


Σχήμα 4. Κριτήρια συμμόρφωσης συνεχούς παραγωγής

Στο σχήμα 4 δίνεται η σύγκριση των καμπυλών που προέκυψαν από τα βήματα 1 και 2 που περιγράφηκαν παραπάνω. Από το σχήμα 4 προκύπτει πως έως και τυπική απόκλιση 3, η επίδραση της εξίσωσης μεμονωμένων αποτελεσμάτων είναι αμελητέα και το πρώτο κριτήριο είναι επαρκές.

Σε σχέση με την καμπύλη που υπολογίζεται αναλυτικά και που δεν περιέχει δεύτερο κανόνα– ISO 3951 – η προσομοίωση δίνει ίδια αποτελέσματα. Για $\sigma > 3$ υπάρχει μια επίδραση του δεύτερου κριτηρίου για χαμηλά ποσοστά υποαντοχής. Ακολουθεί σύγκριση της καμπύλης που προκύπτει από το βήμα 1 και αυτής που προκύπτει από το βήμα 4. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει οπωσδήποτε μια ασάφεια στο πρότυπο όσον αφορά τον υπολογισμό του σ από την 35άδα. Εάν ο υπολογισμός γίνει μέσω της τυπικής απόκλισης s , τότε πιθανά αποτελέσματα εκτός ορίων – outliers – να επηρεάζουν δυσμενώς την απόκλιση. Ίσως απαιτείται χρήση R-chart κατά το πρότυπο ISO 8258-1991.

Η σύγκριση των βημάτων 1 και 4 δίνεται στο σχήμα 5 για τυπική απόκλιση $\sigma=3$. 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 υποαντοχής 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.



Σχήμα 5. Καμπύλες λειτουργίας για άγνωστη τυπική απόκλιση και γνωστή εκ των προτέρων.

5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η σύγκριση των διαφόρων κανόνων που κρίνουν την ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος οδήγησε στην δημιουργία δύο περιοχών στο διάγραμμα της καμπύλης λειτουργίας: Της αντιοικονομικής – uneconomic region – και της ανασφαλούς – unsafe region. Οι περιοχές αυτές εκφράστηκαν μέσω μαθηματικής μορφοποίησης από τον Taerwe (1985).

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. Θεωρήθηκε επίπεδο απόκλισης ίσο με 3. Για την συνεχή παραγωγή λήφθηκε η καμπύλη που υπολογίστηκε από το βήμα 4. Ο Taerwe εισήγαγε τους παρακάτω ορισμούς για την ανασφαλή και αντιοικονομική περιοχή:

Το όριο της ανασφαλούς περιοχής δίνεται από τη σχέση (6)

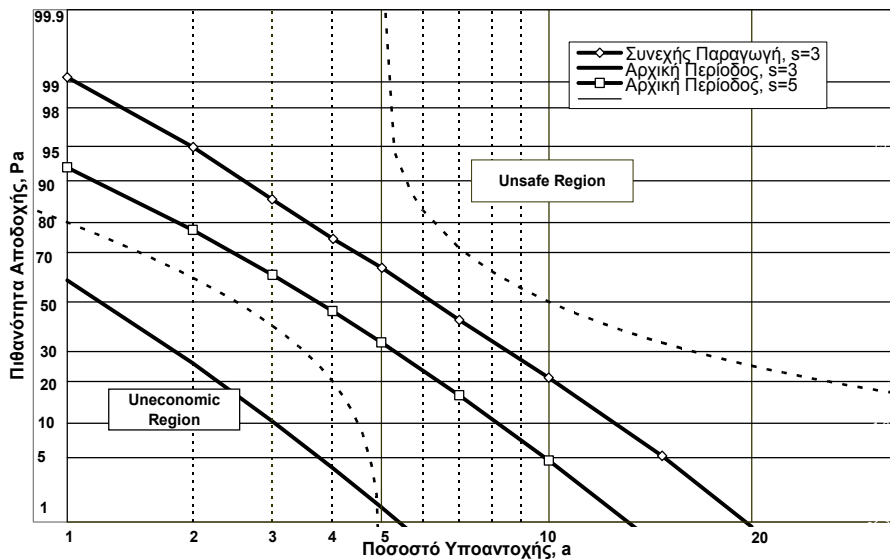
$$a \times P_a = 500 \quad (6)$$

Το όριο της αντιοικονομικής περιοχής δίνεται από τη σχέση (7)

$$\frac{a}{100 - P_a} = 0.05 \quad (7)$$

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 υποαποχής και παρόλα αυτά να αποδέχεται σημαντική διακύβευση.

Με βάση τα παραπάνω θα συγκριθούν τα κριτήρια αρχικής περιόδου και συνεχούς παραγωγής. Θεωρείται επίπεδο τυπικής απόκλισης ίσο με 3 και 5 για την αρχική περίοδο και 3 για την συνεχή. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 6.

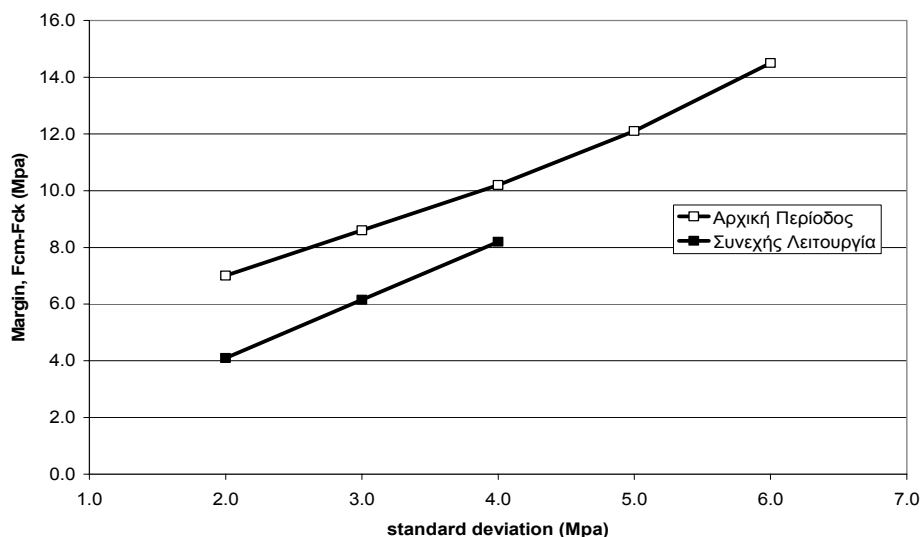


Σχήμα 6. Σύγκριση κριτηρίων αρχικής περιόδου και συνεχούς παραγωγής

Για $\sigma=3$ η καμπύλη αρχικής περιόδου κινείται σαφώς στην αντιοικονομική περιοχή. Οι δύο καμπύλες κινούνται μεταξύ ανασφαλούς και αντιοικονομικής περιοχής. Η καμπύλη συνεχούς λειτουργίας δίνει σημαντικά μεγαλύτερες πιθανότητες αποδοχής από αυτή της αρχικής περιόδου. Ένα οριακό σκυρόδεμα με υποαποχή 5% έχει έως και 33% πιθανότητα αποδοχής. Αντίθετα στην συνεχή περίοδο έχει πιθανότητα αποδοχής 64%. Ένα ποσοστό υποαποχής 2% δίνει μια πιθανότητα αποδοχής έως και 78% για την αρχική περίοδο και 95% για την συνεχή παραγωγή. Το παραπάνω σημαίνει πως για απόκλιση $\sigma=3$ όσον αφορά την συνεχή παραγωγή ένα ποσοστό υποαποχής 2% παρέχει αρκετή ασφάλεια στον παραγωγό. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται να σχεδιάζει με περιθώριο:

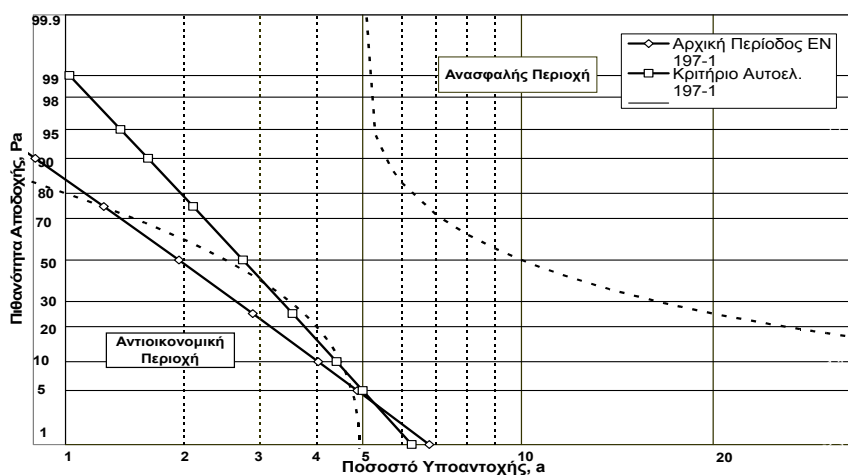
$$k = \frac{f_{cm} - f_{ck}}{\sigma} = 2.05 \quad (8)$$

Το παραπάνω περιθώριο αντιστοιχεί σε μια αντοχή 6 Μpa μεγαλύτερη από την f_{ck} . Κατά την αρχική περίοδο και για επίπεδο τυπική απόκλισης $\sigma=5$, για πιθανότητα αποδοχής 95% απαιτείται ποσοστό υποαντοχής μόνο 0.76%. Στην περίπτωση αυτή πρέπει ο παραγωγός να έχει σχεδιάσει με περιθώριο $k=2.43$, άρα αντοχή 12 Μpa μεγαλύτερη του f_{ck} . Στο σχήμα 7 δίνεται η μεταβολή του περιθωρίου της μέσης τιμής από την f_{ck} συναρτήσει της τυπικής απόκλισης σ , για τα κριτήρια αρχικής και συνεχούς παραγωγής.



Σχήμα 7. Περιθώριο μέσης τιμής από την χαρακτηριστική συναρτήσει της τυπικής απόκλισης

Από το διάγραμμα 7 προκύπτει μία σχετική ασυνέπεια μεταξύ των κριτηρίων αρχικής περιόδου και κανονικής λειτουργίας. Ενώ απαιτούνται ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια για την αρχική περίοδο στη συνέχεια αυτά χαλαρώνουν και η μέση τιμή μπορεί να ελαττωθεί κατά 2-3 Μpa. Για λόγους σύγκρισης δίνονται οι καμπύλες λειτουργίας των κριτηρίων συμμόρφωσης αρχικής και συνεχούς περιόδου για το τσιμέντο σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1.

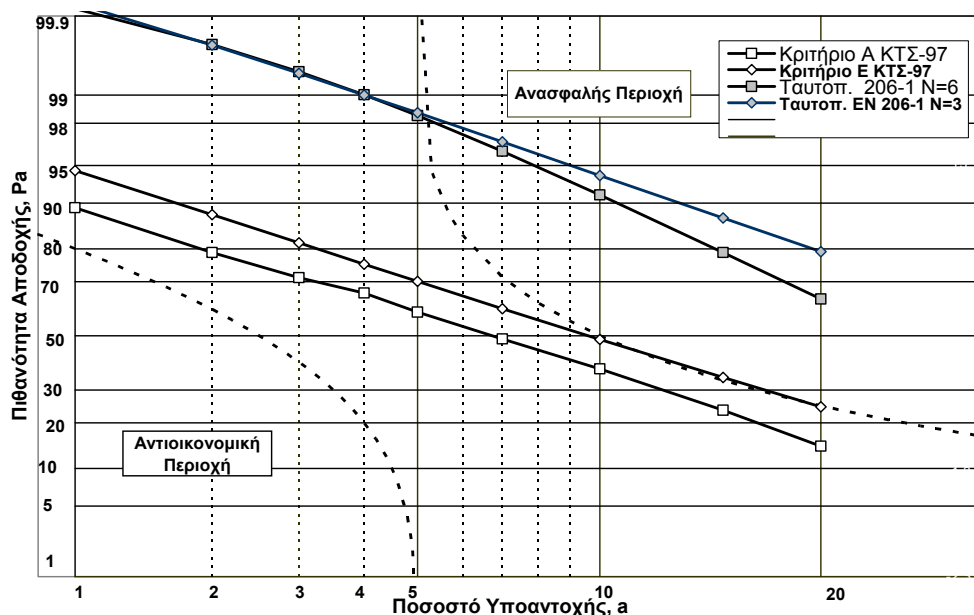


Σχήμα 8. Σύγκριση κριτηρίων αρχικής περιόδου και συνεχούς παραγωγής τσιμέντου

Από το σχήμα 8 προκύπτει, ότι αν και τα κριτήρια τσιμέντου είναι σημαντικά πιο αυστηρά από τα κριτήρια σκυροδέματος, διαθέτουν μεγαλύτερη συνέπεια.

6 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ EN 206-1

Τα κριτήρια ταυτοποίησης του EN 206-1 που περιλαμβάνουν 2-3 ή 5-6 δοκίμια συγκρίθηκαν με τα κριτήρια Α και Ε του ΚΤΣ που περιλαμβάνουν αντίστοιχο αριθμό δοκιμίων και τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9. Σύγκριση των κριτηρίων ταυτοποίησης του EN 206-1 με τα κριτήρια συμμόρφωσης του ΚΤΣ.

Από το σχήμα 10 προκύπτουν τα εξής:

Ένα οριακό σκυρόδεμα – 5% υποαντοχή - η με ποσοστό υποαντοχής 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 ανασφαλή περιοχή σε αντίθεση με τα κριτήρια του ΚΤΣ -97 που βρίσκονται διαρκώς στην ασφαλή και οικονομική περιοχή. Το γεγονός αυτό είναι απαραίτητο να συνδυαστεί με το γεγονός ότι το σύστημα EN 206-1 δεν αποτελεί σύστημα κατηγορίας 1, όπου τρίτος φορέας κάνει αξιολόγηση της συμμόρφωσης με εξωτερική δειγματοληψία και θέτει κριτήρια ώστε να ελέγξει εάν:

1. Ο πληθυσμός των εξωτερικών δειγμάτων ανήκει στον ίδιο πληθυσμό με αυτόν του αυτοελέγχου του παραγωγού – σύγκριση πληθυσμών B και A
2. Τα αποτελέσματα του παραγωγού στα εξωτερικά δείγματα, δεν διαφέρουν σημαντικά από τα αποτελέσματα ανεξάρτητου πιστοποιημένου εργαστηρίου – σύγκριση πληθυσμών B και C.

Στο παράρτημα C και στην παράγραφο C.2.2.1 αναφέρεται ότι ο φορέας επιθεώρησης πρέπει να διενεργεί εξωτερική δειγματοληψία με συχνότητα που θα καθορίσει αλλά δεν αναφέρεται με ποια κριτήρια θα γίνεται η αξιολόγηση σε σχέση με τα αποτελέσματα του παραγωγού.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκαν τα κριτήρια συμμόρφωσης αυτοελέγχου του παραγωγού καθώς και τα κριτήρια ταυτοποίησης, όσον αφορά την θλιπτική αντοχή του προτύπου EN 206-1 . Επιπλέον συγκρίθηκαν 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) για δεδομένα τα οποία δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση.

Όσον αφορά τα κριτήρια συμμόρφωσης αρχικής περιόδου προκύπτουν τα εξής: Ένα οριακό σκυρόδεμα με ποσοστό υποαντοχής $a = 5\%$ και τυπική απόκλιση $\sigma=5$ γίνεται αποδεκτό με πιθανότητα $P_a = 33\%$ και για $\sigma=3$, αντίστοιχα με $P_a = 1.5\%$. Το κριτήριο αυτό αφορά έλεγχο τριάδων και συνολικά τουλάχιστον διαδοχικών 35 δοκιμίων άρα συμπεραίνουμε 12 διαδοχικών τριάδων. Συμπεραίνεται ότι κατά την αρχική παραγωγή, πρέπει ο παραγωγός να σχεδιάσει στόχο αντοχής που να παρέχει ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό υποαντοχής, ώστε να διαθέτει μια χαμηλή διακύβευση τύπου I.

Όσον αφορά τα κριτήρια συμμόρφωσης συνεχούς παραγωγής, η εξίσωση ελέγχου μεμονωμένων αποτελεσμάτων αρχίζει να γίνεται σημαντική για επίπεδα απόκλισης $\sigma>3$, για χαμηλά ποσοστά υποαντοχής. Η καμπύλη λειτουργίας της συνεχούς παραγωγής κινείται συνεχώς μεταξύ αντικοινομής και ανασφαλούς περιοχής άρα γενικώς δεν λειτουργεί σε βάρος ούτε του παραγωγού, ούτε του καταναλωτή.

Τα κριτήρια αρχικής περιόδου είναι σημαντικά πιο αυστηρά από τα κριτήρια συνεχούς παραγωγής και για το λόγο αυτό για πιθανότητα αποδοχής 95%, απαιτείται κατά την αρχική περίοδο μέση αντοχή, 2-3 Mpa μεγαλύτερη από την απαιτούμενη κατά την συνεχή παραγωγή, ανάλογα με το ύψος της απόκλισης. Το γεγονός αυτό δηλώνει μια σχετική εσωτερική ασυνέπεια μεταξύ των δύο τύπων κριτηρίων. Η καμπύλη λειτουργίας των κριτηρίων του τσιμέντου, που δόθηκε για λόγους σύγκρισης, κινείται σε πολύ ασφαλέστερα για τον πελάτη όρια – που είναι ο παραγωγός σκυροδέματος - εφόσον ένα οριακό τσιμέντο με 5% ποσοστό υποαντοχής, έχει μόνο 5% πιθανότητα να γίνει αποδεκτό. Επίσης τα κριτήρια αρχικής και συνεχούς περιόδου εμφανίζουν μεγαλύτερη συνέπεια μεταξύ τους. Τα κριτήρια ταυτοποίησης του EN 206-1 κινούνται σαφώς στην ανασφαλή περιοχή σε αντίθεση με τα αντίστοιχα κριτήρια του ΚΤΣ -97 που βρίσκονταν διαρκώς στην ασφαλή και οικονομική περιοχή.

Η διερεύνηση των κριτηρίων μπορεί να επεκταθεί στην κατασκευή των καμπυλών λειτουργίας με βάση πραγματικά δεδομένα βιομηχανικής παραγωγής σκυροδέματος, τα οποία αναμένεται να εμφανίζουν ένα ορισμένο βαθμό αυτοσυσχέτισης.

8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κόλιας, Σ. 1979 Αξιολόγηση του πρώτου κριτηρίου συμμόρφωσης του κανονισμού πλαισίου CEB/FIP για τον έλεγχο συμμορφώσεως του σκυροδέματος σε αντοχή σε θλίψη, 4ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ηράκλειο.

Koufopoulos, T. 1982. Acceptance rules for concrete strength, *RILEM Materials and Structures*, 89:454-459.

Statistical methods for quality control, 1995. ISO 3951: 1989, Sampling procedures and charts for inspection by variables for percent nonconforming, Vol. 1: 273-287.

Statistical methods for quality control, 1995. ISO 8258: 1991, Shewhart control charts, Vol. 2: 355-383

Taerwe, L. 1986. A general basis for the selection of compliance criteria, *IASBE Proceedings P-102/86*: 113-117

Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Τεχνικών Υλικών-Τμήμα Σκυροδέματος, 1985. *Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος*, Αιτιολογική Έκθεση, Αθήνα: 39,42