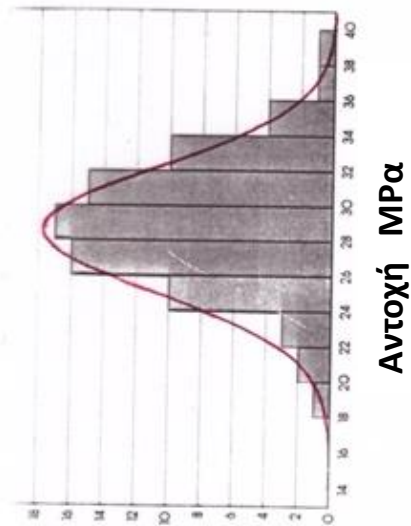
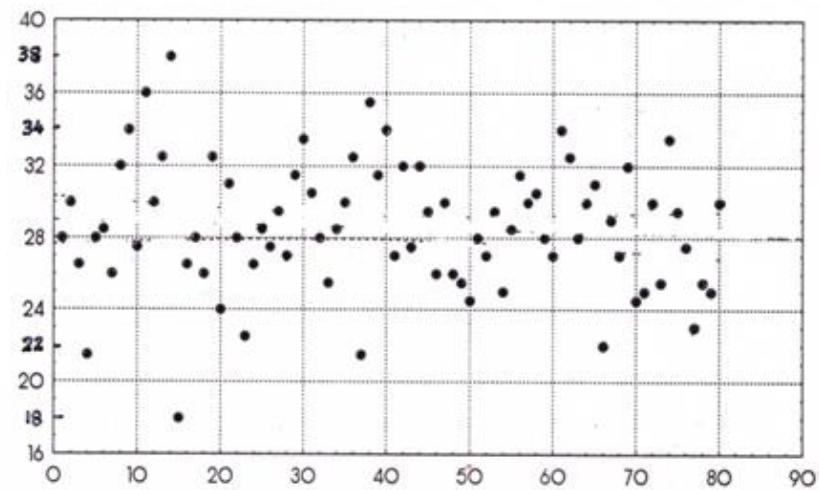


# ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

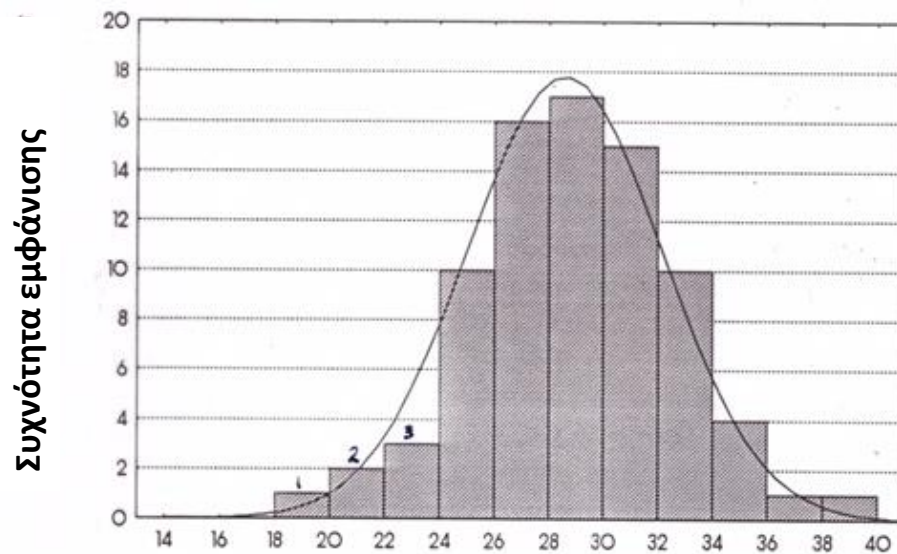
Στ. ΚΟΛΙΑΣ



Συχνότητα εμφάνισης



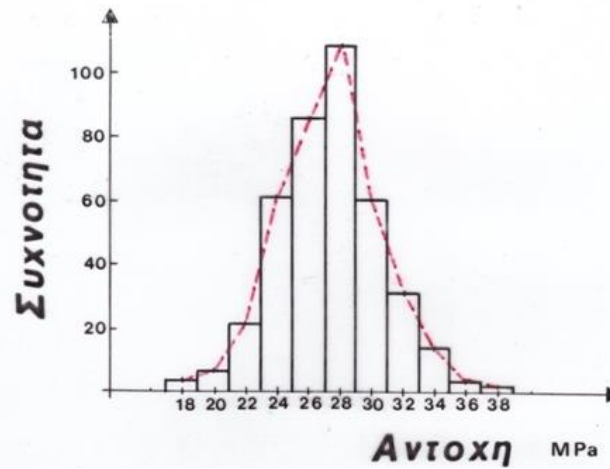
Αριθμός Δοκιμίου



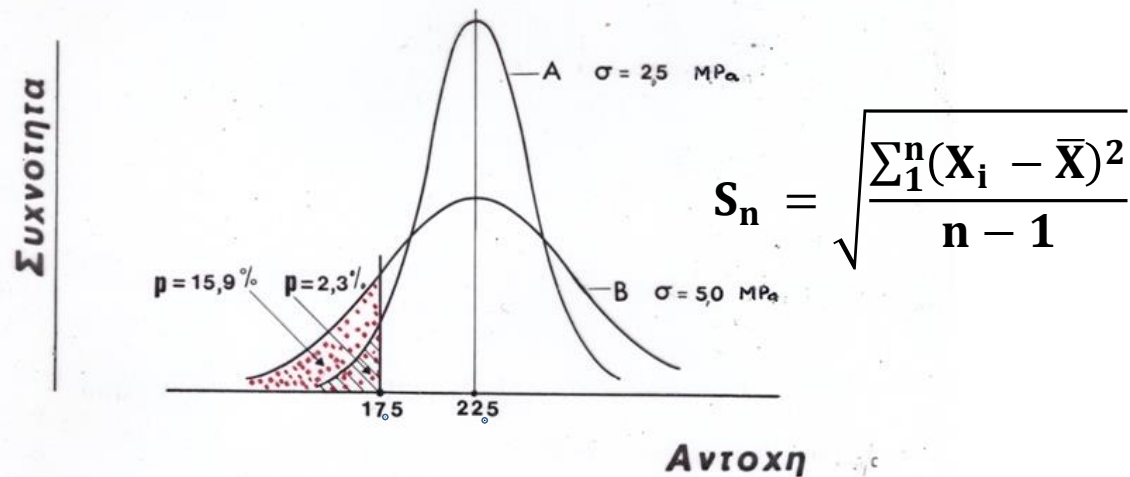
Συχνότητα εμφάνισης

Αντοχή ΜΡα  $\leq f <$

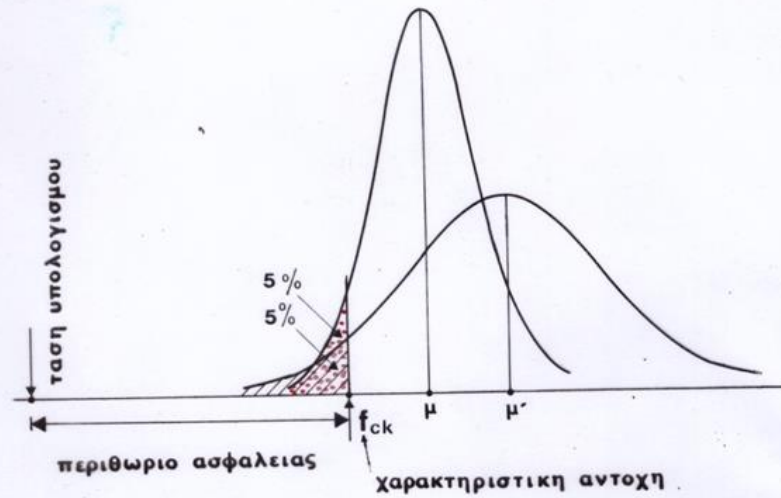
<



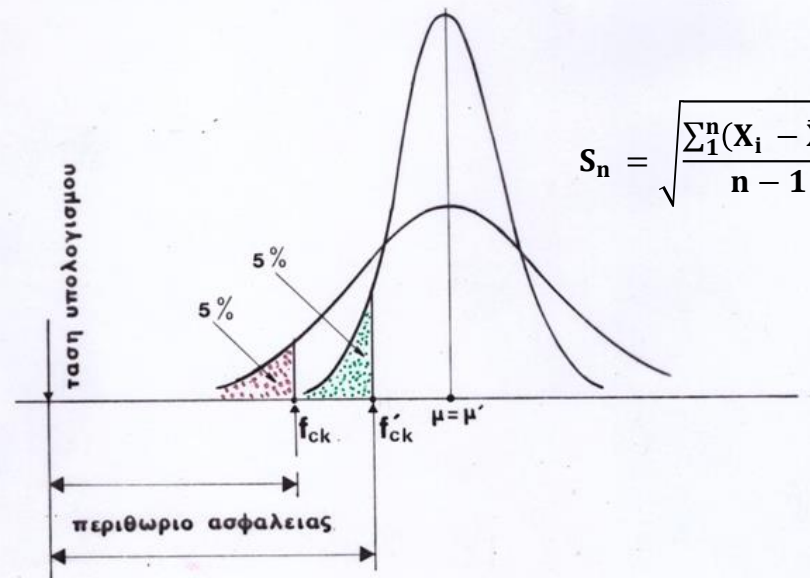
Ιστόγραμμα συχνοτήτων εμφάνισης αντοχής ενός έργου



Πιθανότητα εμφάνισης αντοχής ενός έργου Κανονική κατανομή αντοχών Gauss



**Χαρακτηριστικά αντοχή:** η αντοχή εκείνη κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή ενός τυχαίου δοκιμίου του πληθυσμού



$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Ορίζοντας μία τιμή χαρακτηριστικής αντοχής πχ  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$  εννοούμε ότι το ποσοστό  $p$  των αντοχών κάτω από  $20 \text{ MPa}$  είναι 5% ή λιγότερο .  $p \leq 5\%$  Το ποσοστό αυτό για λόγους απλούστευσης ονομάστηκε ( ΚΤΣ 85) ποσοστό υποαντοχής  $p$

Κάθε σκυρόδεμα με ποσοστό υποαντοχής  $p \leq 5\%$  είναι αποδεκτό  
Κάθε σκυρόδεμα με ποσοστό υποαντοχής  $p > 5\%$  είναι απορριπτέο

### ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

Είναι οι σχέσεις που πρέπει να ικανοποιούν τα αποτελέσματα των αντοχών για να κριθεί αν η υπό έλεγχο ποσότητα σκυροδέματος είναι αποδεκτή ή απορριπτέα . Κάθε τέτοια απόφαση ενέχει κινδύνους στατιστικού σφάλματος :

Διακύβευση ιδιοκτήτη -διακύβευση παραγωγού

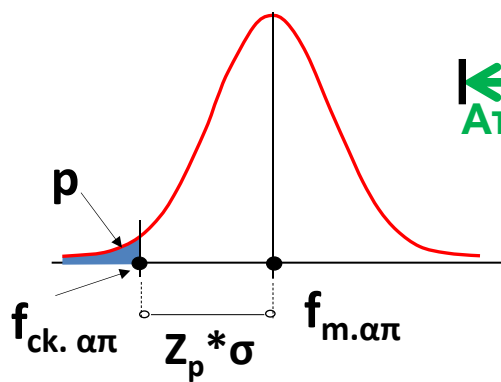
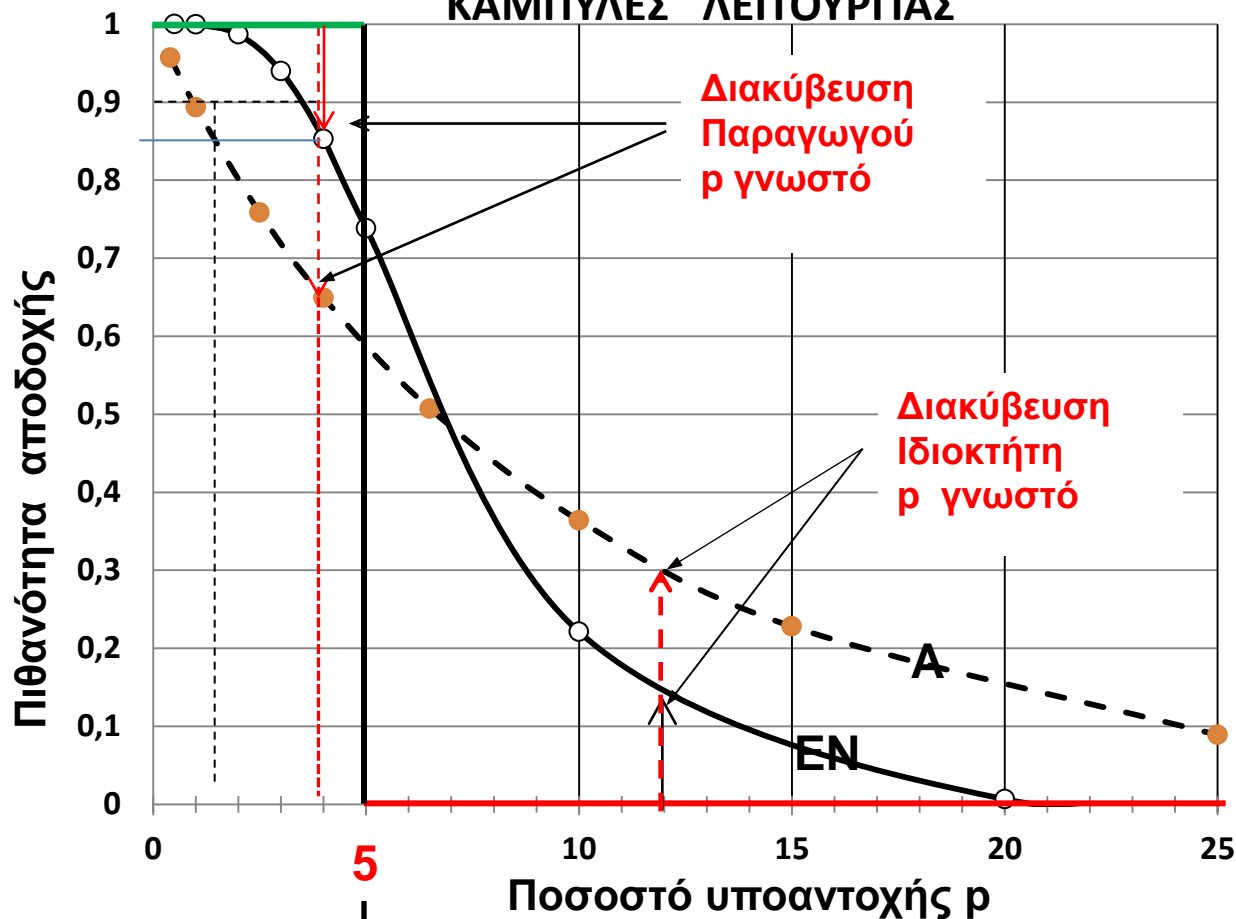
$$\begin{array}{ll} \overline{X}_n \geq f_{ck} + k_1 \quad [\text{MPa}] & \overline{X}_n \geq f_{ck} + k_3 * \sigma \quad [\text{MPa}] \\ X_i \geq f_{ck} - k_2 \quad [\text{MPa}] \quad \text{ή} & X_i \geq f_{ck} - k_2 \quad [\text{MPa}] \end{array}$$

$$\overline{X}_n \geq f_{ck} + k * S$$

$$X_i \geq f_{ck} - k_4$$

Όπου  $f_{ck}$  η απαιτούμενη χαρακτηριστικά αντοχή δηλ η αντοχή της προδιαγραφόμενης κατηγορίας του σκυροδέματος

# ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



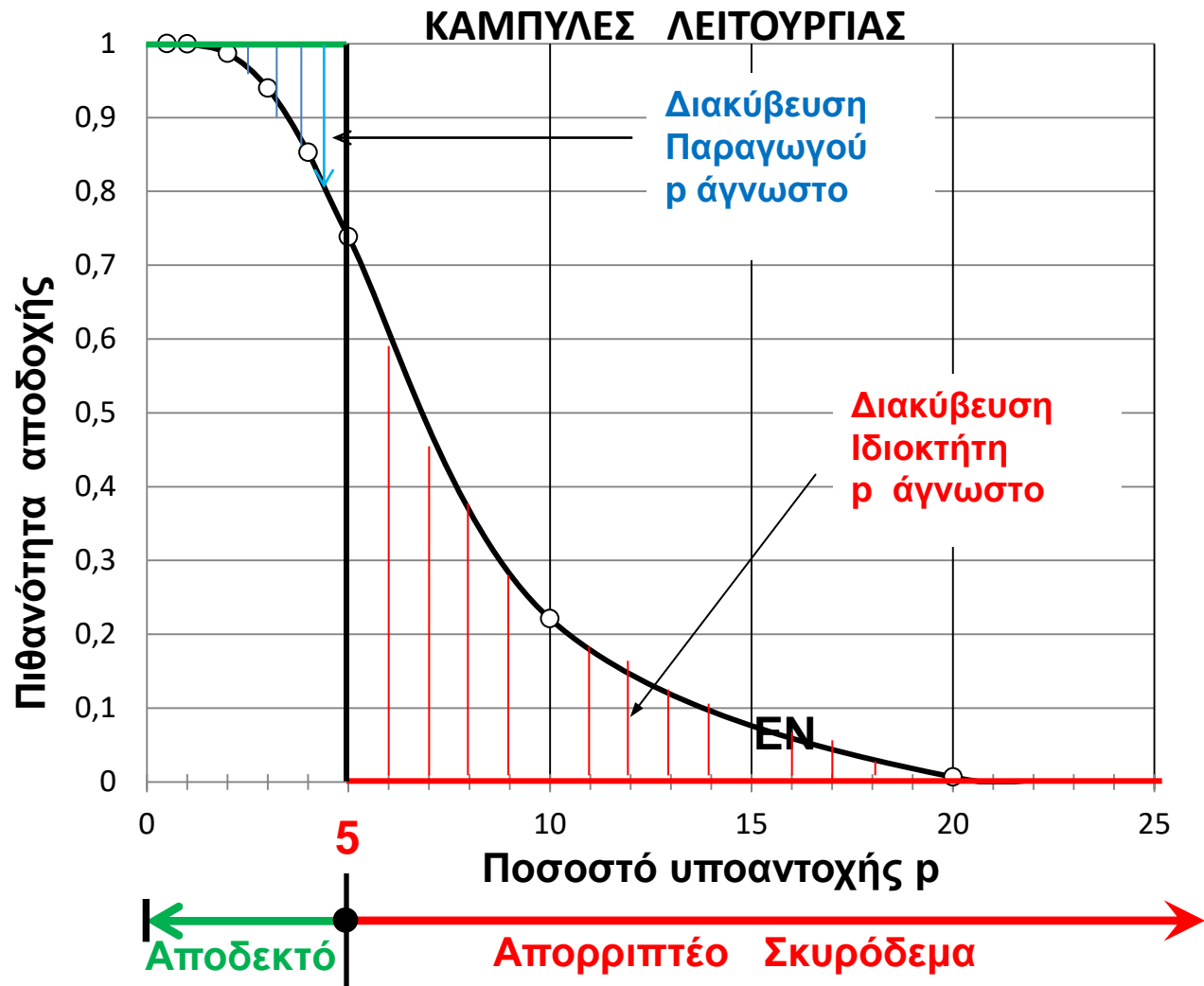
Απαιτούμενη μέση αντοχή  $f_{m.απ} = f_{ck.απ} + Z_p * \sigma$

Για  $p=1.5\%$   $Z_p=2.17$

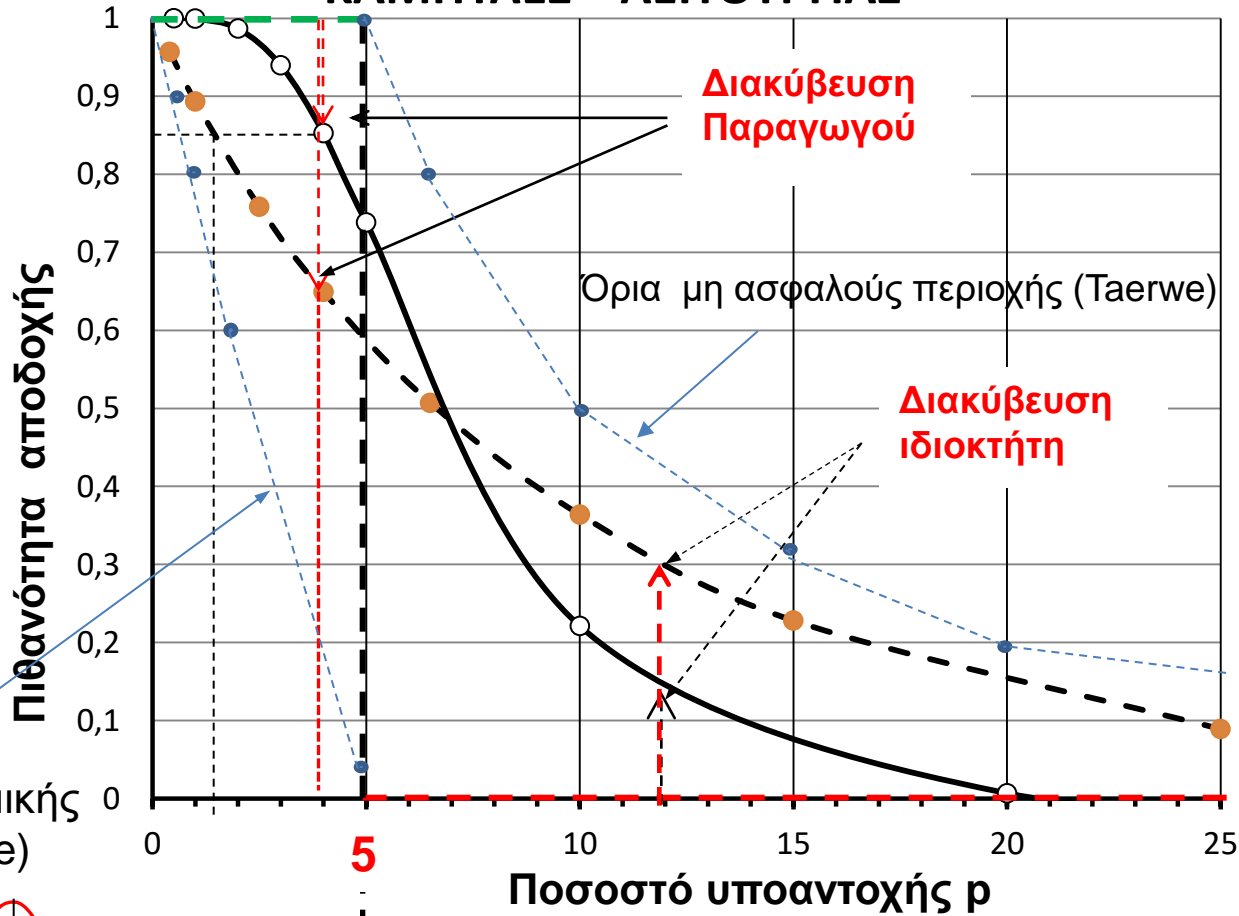
Για  $p=4\%$   $Z_p=1.75$

Περιθώριο  
αντοχής

p %	$Z_p$
1	2.336
2	2.064
3	1.881
5	1.645
10	1.281

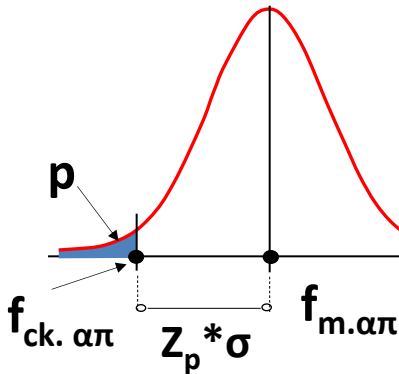


# ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



Όρια αντιοικονομικής Περιοχής (Taerwe)

Ποσοστό υποαντοχής  $p$



Αποδεκτό

Απορριπτέο Σκυρόδεμα

$$\text{Απαιτούμενη μέση αντοχή } f_{m.απ} = f_{ck} + Z_p * \sigma$$

Για  $p=1.5\%$   $Z_p=2.17$   
Για  $p=4\%$   $Z_p=1.75$  } 0.42

Περιθώριο αντοχής

$p \%$	$Z_p$
1	2.336
2	2.064
3	1.881
5	1.645
10	1.281



# ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ

## Εσωτερικός έλεγχος- Αυτοέλεγχος

(1 δείγμα /ημέρα παραγωγής ή 200 m<sup>3</sup>)

Με πιστοποίηση  
ελέγχου παραγωγής

Χωρίς πιστοποίηση  
ελέγχου παραγωγής

**ΑΡΧΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ** όχι μικρότερη από 3 μήνες

$$\bar{f}_3 \geq f_{ck} + 4 \quad f_i \geq f_{ck} - 4$$

Υπολογίζεται η τυπική απόκλιση  $S_{35}$  των 35 τουλάχιστον διαδοχικών δειγμάτων κατά την αρχική περίοδο.  
(τουλάχιστον 12 εφαρμογές των κριτηρίων)

$$*S_{35} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{35} (X_i - \bar{X})^2}{34}}$$

**ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

$$\bar{f}_{15} \geq f_{ck} + 1.48 S_{35}$$

$$\bar{f}_{15} \geq f_{ck} + 1.57 S_{35}$$

$$f_i \geq f_{ck} - 4$$

$$f_i \geq f_{ck} - 4$$

$$0.63 * S_{35} \leq S_{15} \leq 1.37 * S_{35}$$

$S_{15}$  η τυπική απόκλιση των 15 τελευταίων διαδοχικών δειγμάτων. Όταν δεν ικανοποιείται η ανισότητα αυτή τότε υπολογίζεται νέα εκτίμηση της  $S_{35}$  από τα τελευταία 35 διαδοχικά δείγματα συνεχούς παραγωγής και εφαρμόζεται στην επόμενη περίοδο αξιολόγησης

$$S_{15} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (X_i - \bar{X})^2}{14}}$$

## Εξωτερικός Έλεγχος- Ταυτοποίηση ή Συμμόρφωση

Με πιστοποίηση ελέγχου  
παραγωγής - Ταυτοποίηση

Χωρίς πιστοποίηση ελέγχου  
παραγωγής - Συμμόρφωση

$$\bar{f}_n \geq f_{ck} + 2$$

$$f_i \geq f_{ck} - 2,5$$

i=1,2,3

$$\bar{f}_n \geq f_{ck} + 3,5$$

$$f_i \geq f_{ck} - 2,5$$

i=6

1δείγμα από τυχαίο φορτίο

$$\bar{f}_6 \geq f_{ck} + 1.60 S_6$$

$$f_i \geq f_{ck} - 2$$

i=1,2,...6

όπου  
 $S_6$  η τυπική απόκλιση των  
6 δειγμάτων

$$S_6 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (X_i - \bar{X})^2}{5}}$$

Av  $S_6 < 1.5 \text{ MPa}$  τότε  
 $S_6 = 1.5 \text{ MPa}$

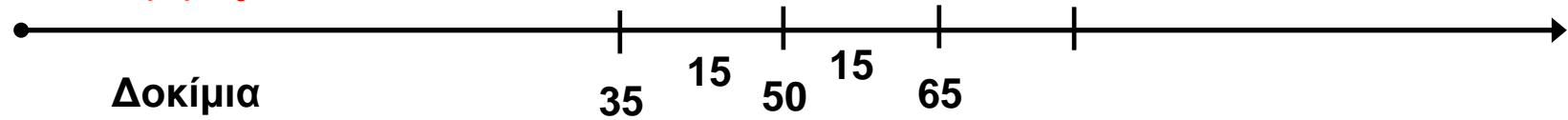
## Εξωτερικός Έλεγχος ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ

Σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής

Μέγεθος παρτίδας	Ελάχιστο πλήθος δειγμάτων (n)
παρτίδα μέχρι 2 φορτία	2
παρτίδα μεταξύ 2 φορτίων και 50m <sup>3</sup>	3
παρτίδα μεταξύ 50 m <sup>3</sup> και 300 m <sup>3</sup>	6
> 300 m <sup>3</sup> : η ποσότητα που υπερβαίνει τα 300 m <sup>3</sup> θα χωρίζεται σε παρτίδες των 50 m <sup>3</sup> περίπου, που θα ελέγχονται με	3

— Πериόδος Αρχική —>— Πериόδος Κανονικής / Συνεχούς παραγωγής—

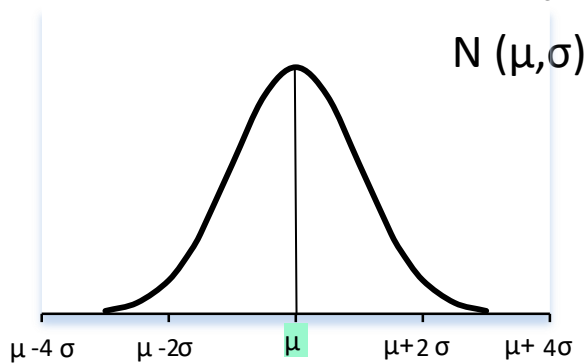
> 3 μήνες



Δοκίμια

Πериόδος αξιολόγησης

Προϋπόθεση: Συνθήκες παραγωγής «ομοιόμορφες»



$$s_{35} \approx \sigma$$

Έλεγχος συμμόρφωσης

$$\bar{X}_3 \geq f_{ck} + 4 \quad X_i \geq f_{ck} - 4 \text{ [MPa]}$$

Η τυπική απόκλιση θεωρείται σταθερή εφ' όσον:  
 $0.63\sigma \leq s_{15} \leq 1.37\sigma$  που προκύπτει ως 95% δίπλευρο  
 διάστημα εμπιστοσύνης

$$X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2 < \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} < X_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}^2 \quad \text{Για } n=15 \text{ και } \alpha=5\%$$

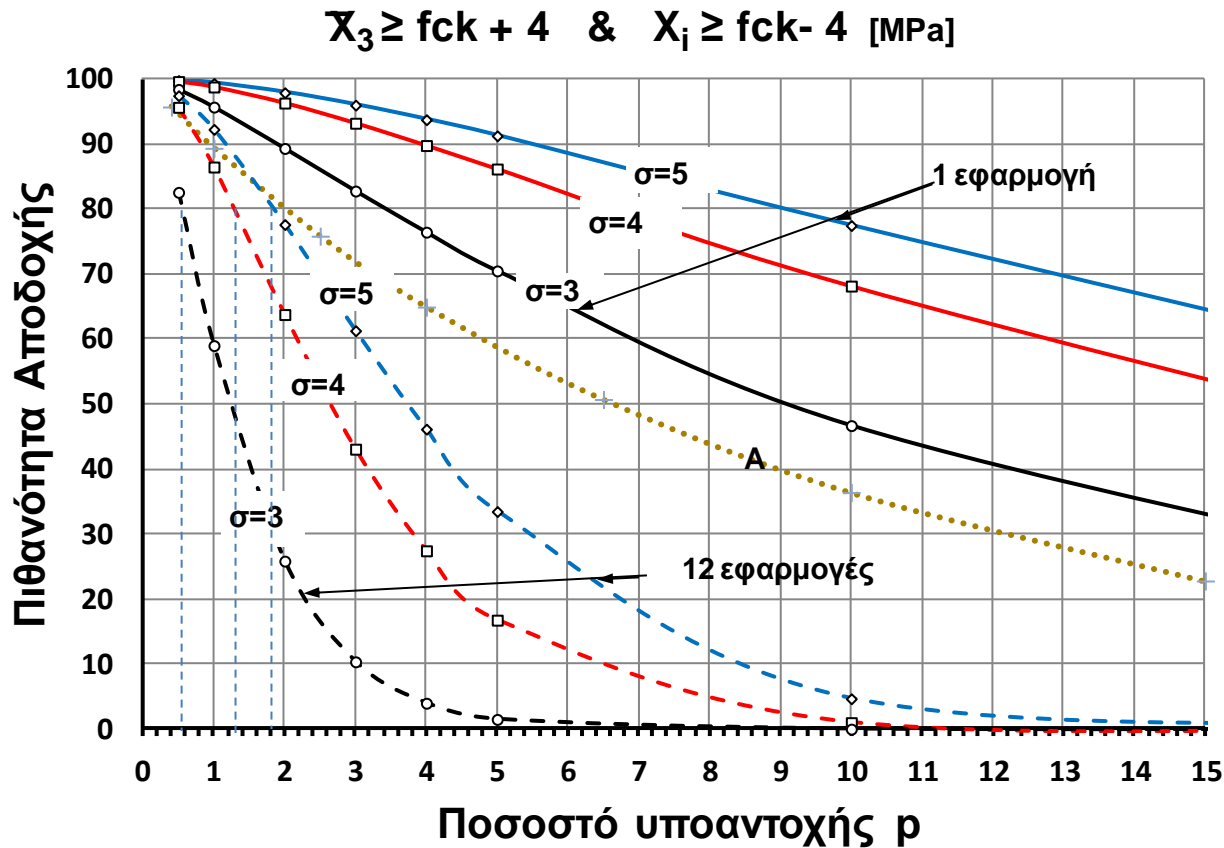
Έλεγχος συμμόρφωσης

$$\bar{X}_{15} \geq f_{ck} + 1.48\sigma \quad X_i \geq f_{ck} - 4 \text{ [MPa]}$$

Σε περίπτωση “μη συμμόρφωσης” άμεσες ενέργειες για εντοπισμό και διόρθωση των αιτίων και γνωστοποίηση στους χρήστες.

## ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

μέχρι να συμπληρωθούν 35 αποτελέσματα  
3 μήνες < αρχική περίοδος < 12 μήνες



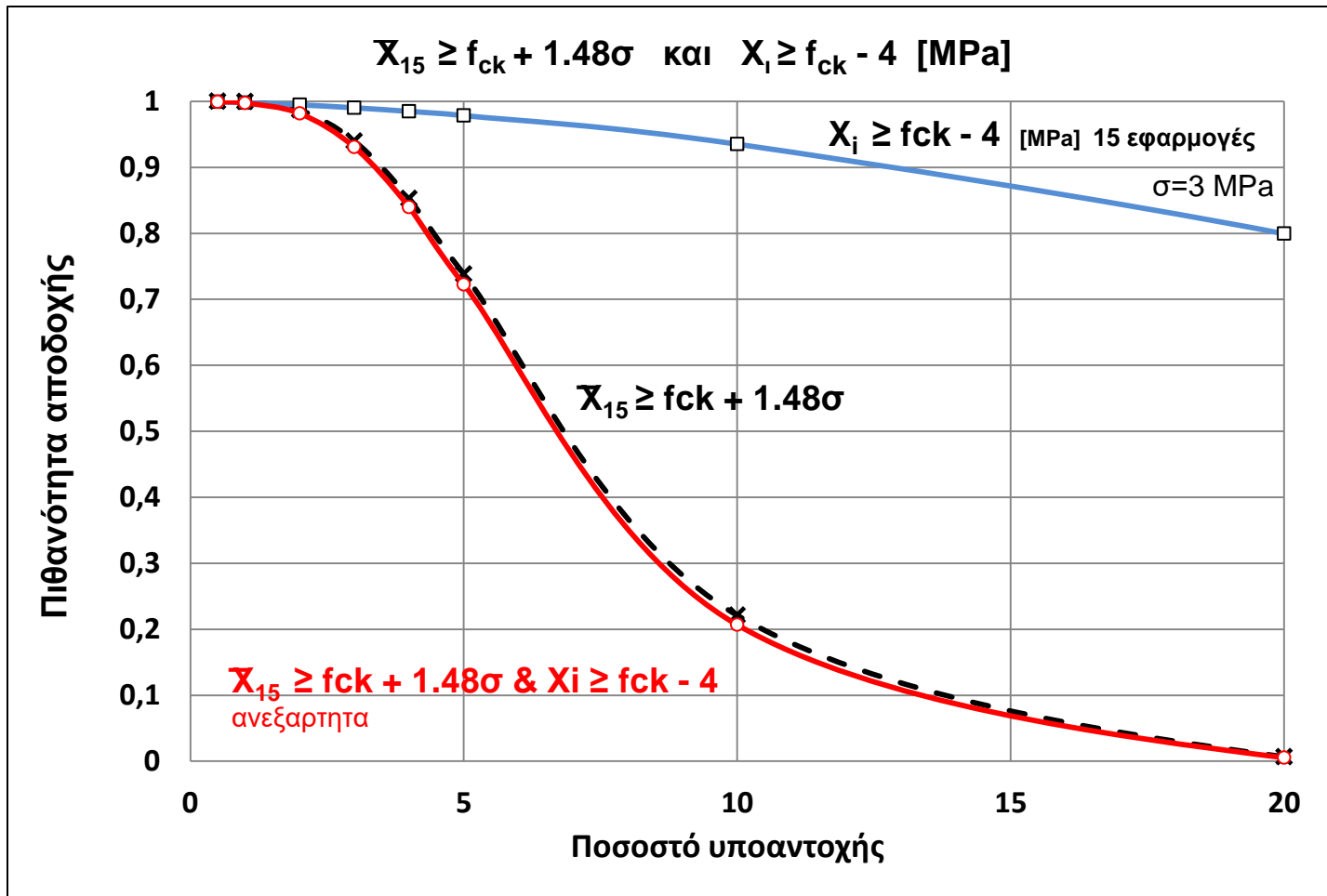
Για 80% πιθανότητα αποδοχής  
πρέπει η υποαντοχή να είναι για  
 $\sigma=3$   $\rho \approx 0.05\%$   $z=2.58$   
 $\sigma=4$   $\rho \approx 1.3\%$   $z=2.23$   
 $\sigma=5$   $\rho \approx 1.8\%$   $z=2.09$

**Απαιτούμενη αντοχή MPa**  
 $f_a = f_{ck} + z \cdot \sigma$  ήτοι  
 $\sigma=3$   $f_a = f_{ck} + 7.74$  MPa  
 $\sigma=4$   $f_a = f_{ck} + 8.92$   
 $\sigma=5$   $f_a = f_{ck} + 10.45$

**EN 206-1 Annex A A.5**  
 $f_a \geq f_{ck} + 6$  έως 12 MPa  
**ΕΚΩΣ, EN 1992-1-1**  
 $f_a = f_{ck} + 8$  MPa

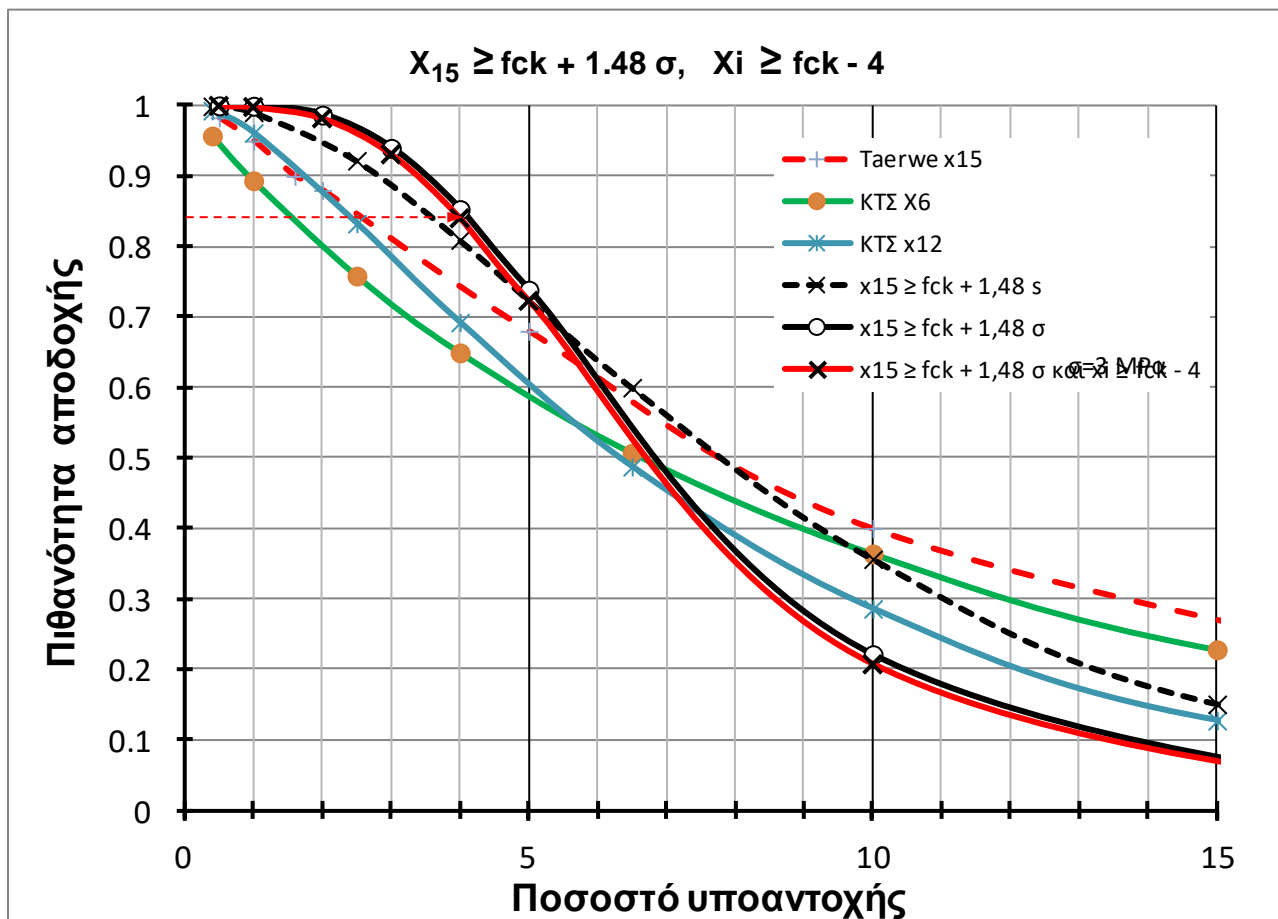
Αναλυση σύμφωνα με  
T.Koufopoulos Materials & Structures  
1982V15No89pp453-460

## ΣΥΝΕΧΗΣ/ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ



$$0.63S_{35} \leq s_{15} \leq 1.37 S_{35}$$

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ



Η διακύβευση ιδιοκτήτη και παραγωγού είναι μικρότερη από εκείνες των κριτηρίων A και B του ΚΤΣ

$$0.63\sigma \leq s_{15} \leq 1.37\sigma$$

## ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Εξετάζεται αν η μέση τιμή  $\bar{X}_n$  σειράς "n" δοκιμίων ανήκει στον πληθυσμό που ικανοποιεί την απαίτηση του 5% υποαντοχή ( $\mu = f_{ck} + 1.645\sigma$ ) με εμπιστοσύνη 99%

$$\text{Επομένως } -Z_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{X}_n - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{και για } 1-\alpha=99\% \quad \alpha/2 = 0.005 \rightarrow$$

$$Z_{\alpha/2} = 2.576$$

$$\bar{X}_n \geq f_{ck} + 1.645\sigma - \frac{2.576\sigma}{\sqrt{n}} = f_{ck} + k \quad \text{όπου } k \text{ η σταθερά του}$$

Πίνακα 15 για  $\sigma = 5 \text{ MPa}$  επί το δυσμενέστερον

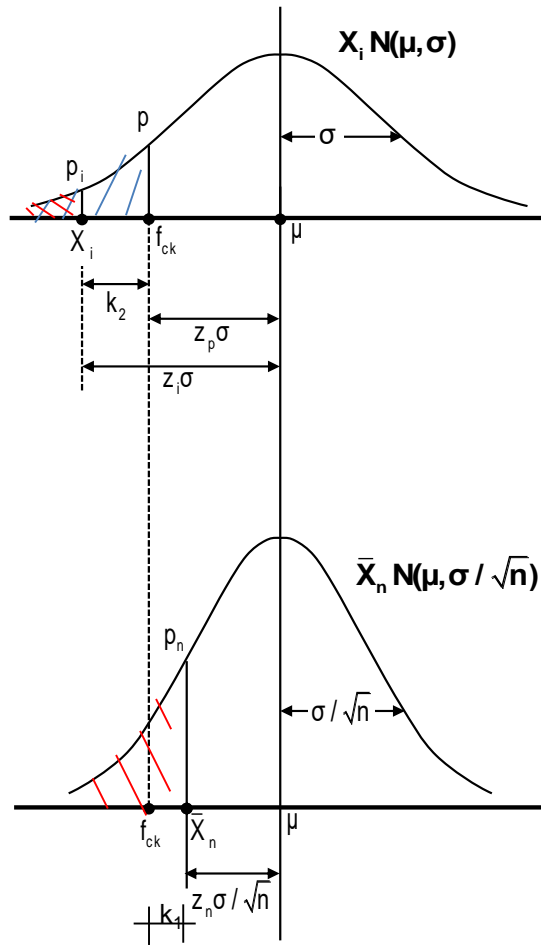
## ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

$$X_n \geq f_{ck} + k_1 \quad (1)$$

$$X_i \geq f_{ck} + k_2 \quad (2) \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{ή } X_n \geq f_{ck} + k_3 \quad (3) \quad (k_1, k_2, k_3 \text{ με πρόσημο})$$

Πρέπει να υπολογιστούν οι Πιθανότητες Αποδοχής,  $Pr_{Acc}$ , των Κριτηρίων για διάφορα ποσοστά  $p$  υποαντοχής  $X_p = f_{ck}$ .



$$z_p = \frac{X_p - \mu}{\sigma} = \frac{f_{ck} - \mu}{\sigma} \quad \text{ήτοι } \mu = f_{ck} - z_p \sigma$$

$$z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma} = \frac{f_{ck} + k_2 - f_{ck} + z_p \sigma}{\sigma} = k_2 / \sigma + z_p$$

Για κάθε ποσοστό υποαντοχής  $p$  μπορεί να υπολογιστεί το  $z_i$  και από αυτό η Πιθανότητα απόρριψης  $P(X_i \leq f_{ck} + k_2) = p_i$  και η Πιθανότητα αποδοχής  $= 1 - p_i$ . Για την ομάδα των  $n$  δοκιμών η Πιθανότητα Αποδοχής  $= (1 - p_i)^n$  δηλ η ΚΛ

$$z_n = \frac{X_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{f_{ck} + k_1 - f_{ck} + z_p \sigma}{\sigma/\sqrt{n}} = \sqrt{n} (k_1/\sigma + z_p)$$

Στην περίπτωση του κανόνα (3)

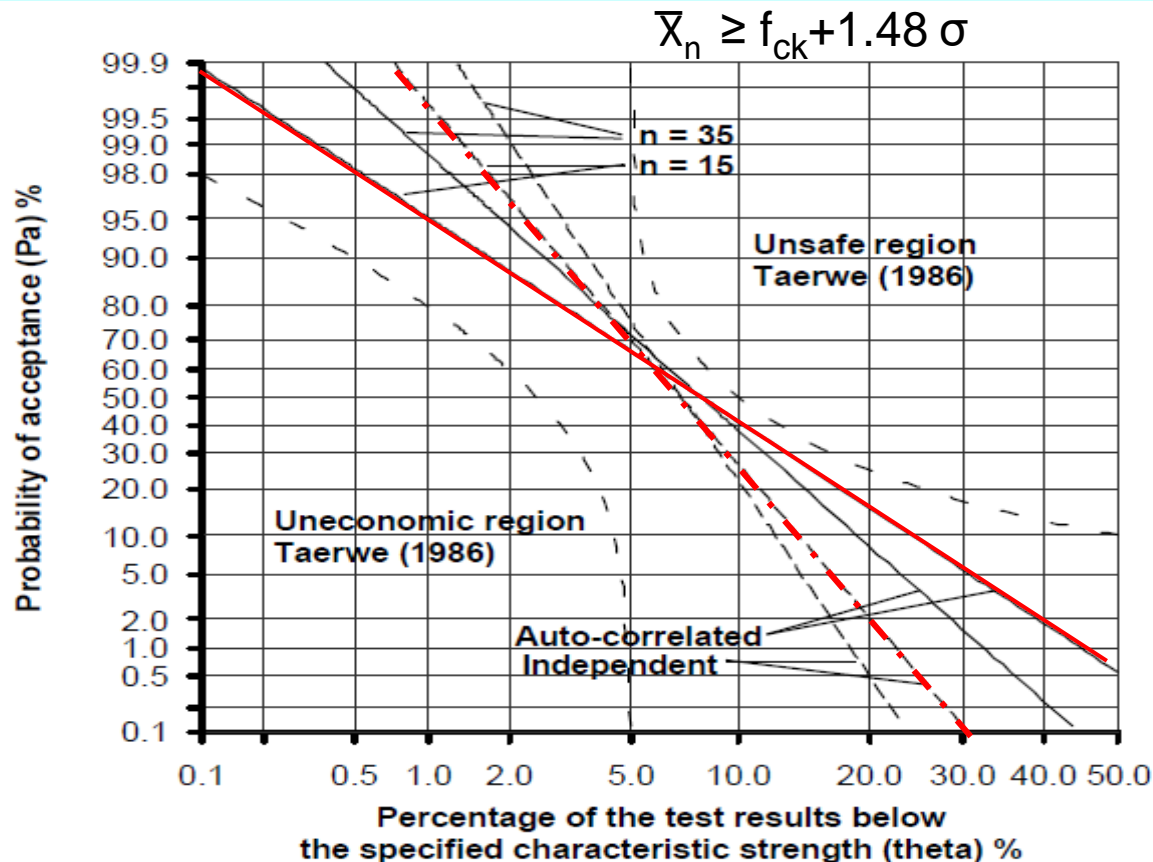
$$z_n = \sqrt{n} (k + z_p), \quad \text{ανεξάρτητο από το } \sigma$$

Για κάθε ποσοστό υποαντοχής  $p$  μπορεί να υπολογιστεί το  $z_n$  και από αυτό η Πιθανότητα απόρριψης  $P(X_n \leq f_{ck} + k_1) = p_n$  και η Πιθανότητα αποδοχής  $= 1 - p_n$  δηλ η ΚΛ



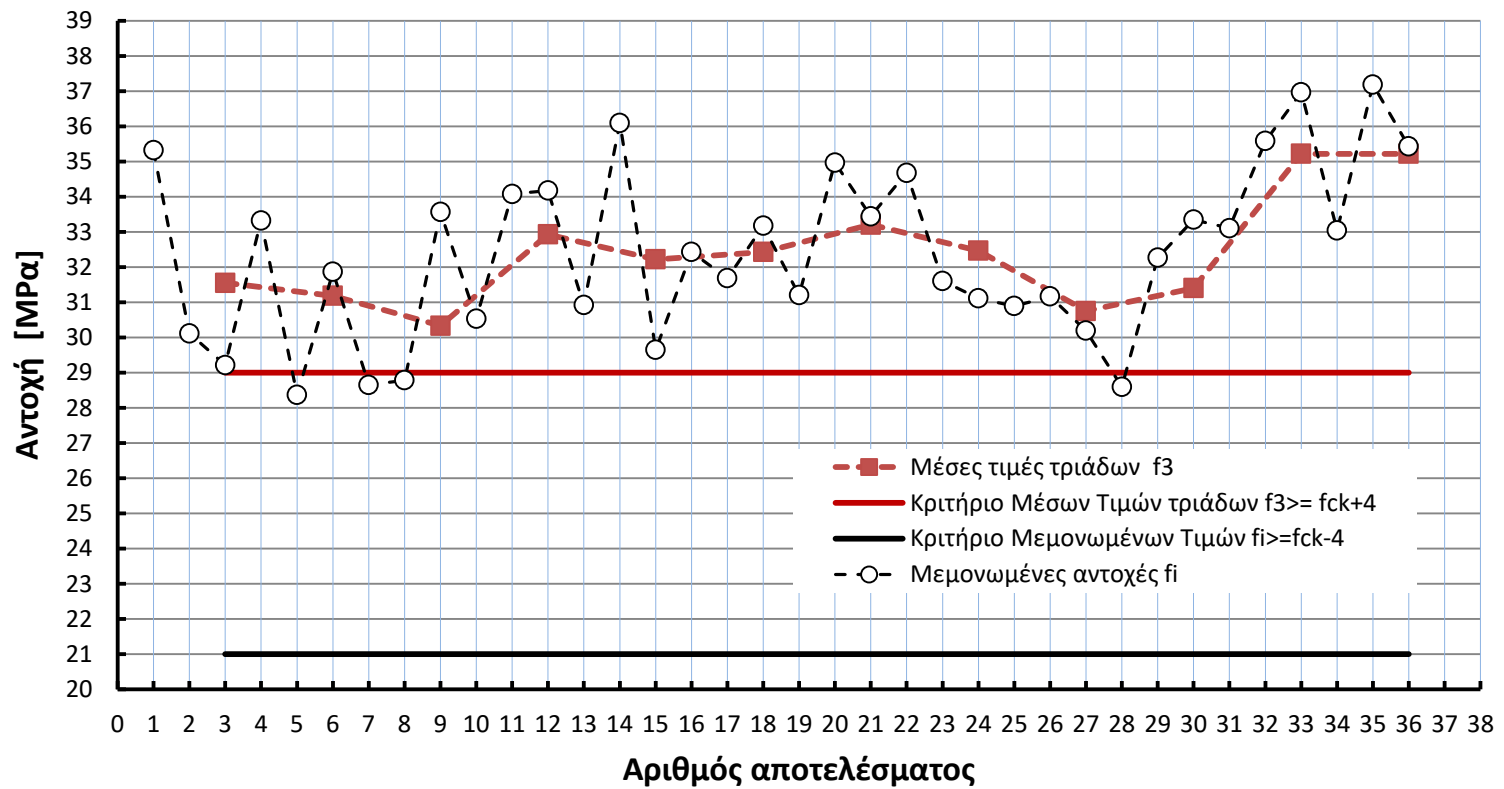
## Ιδιο-συσχέτιση auto-correlation

- Αν ένα αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο από ΜΟ της σειράς των αποτελεσμάτων και το επόμενο στη σειρά αποτέλεσμα είναι πιθανότατα μεγαλύτερο από τον ΜΟ
- $X_v - \mu = 0.4(X_{v-1} - \mu) + 0.2(X_{v-2} - \mu) + \varepsilon_v$  [Taerwe]
  - όπου
  - $\mu$  είναι η μέση τιμή μίας μεγάλης σειράς αποτελεσμάτων σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα
  - $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$  είναι διαδοχικά αποτελέσματα της σειράς
  - $\varepsilon_v$  είναι τυχαία τιμή με κανονική κατανομή

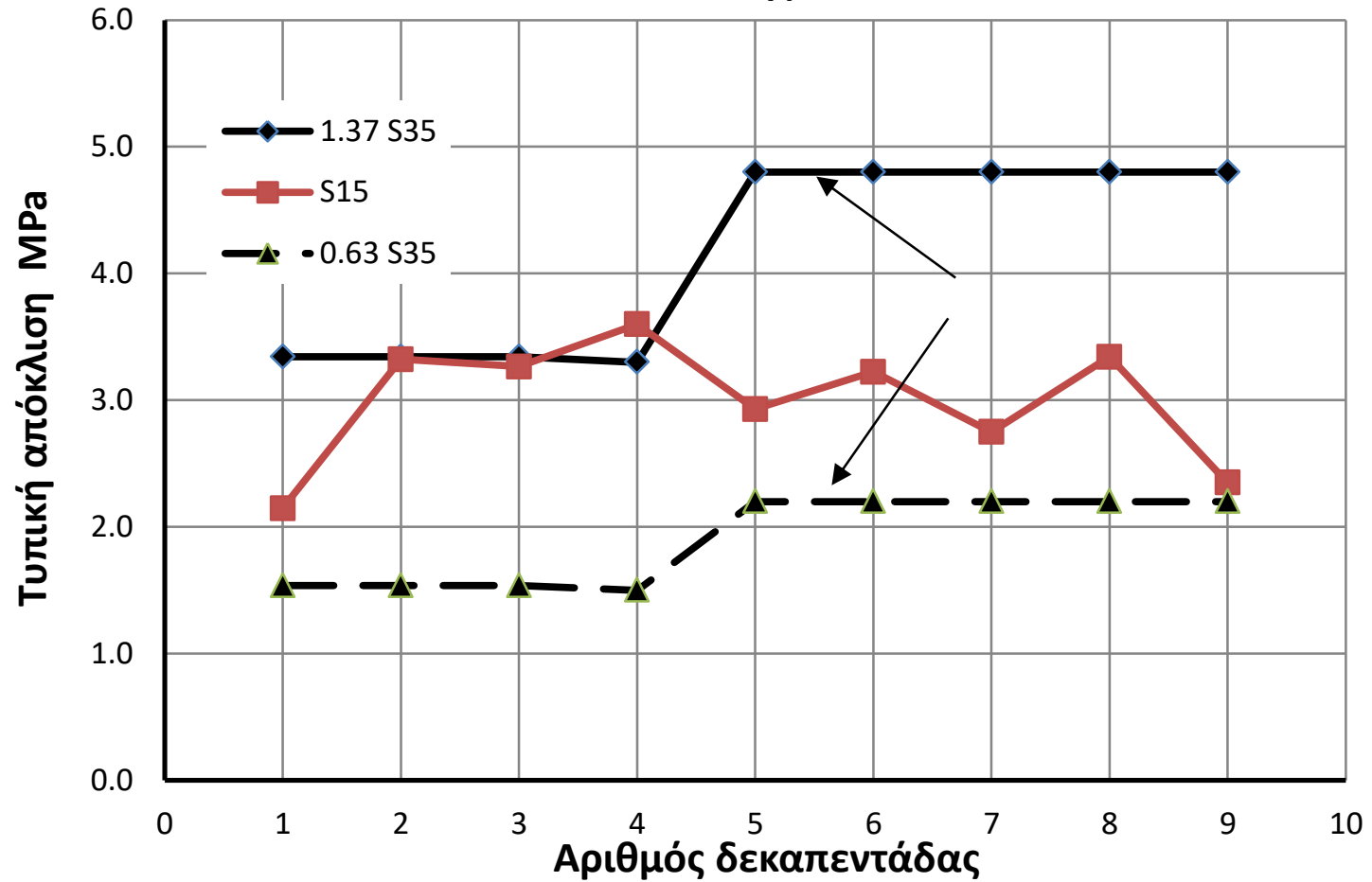


Π α ρ α γ ω γ ή																					
Αρχική			Συνεχής																		
Μεμονωμένες αντοχές [ΜΡα]																					
1η 36δα			Δεκαπεντάδες αντοχών																		
				1η		2η		3η		4η		5η		6η		7η		8η		9η	
α/α	f <sub>i</sub>	$\bar{f}_3$		α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>	α/α	f <sub>i</sub>
1	35.3			37	34.9	52	30.3	67	31.3	82	37.1	97	35.1	112	38.3	127	36.6	142	35.3	157	37.8
2	30.1			38	35.2	53	31.7	68	33.8	83	29.3	98	31.5	113	29.2	128	31.8	143	35.7	158	29.8
3	29.2	31.6		39	37.9	54	35.3	69	31.4	84	36.1	99	27.9	114	38.4	129	38.3	144	32.7	159	34.3
4	33.3			40	33.0	55	29.9	70	30.1	85	28.6	100	33.0	115	31.2	130	35.6	145	27.2	160	32.1
5	28.4			41	33.0	56	31.4	71	36.8	86	33.1	101	34.3	116	38.0	131	29.7	146	31.6	161	33.7
6	31.9	31.2		42	33.1	57	27.2	72	26.9	87	31.9	102	30.8	117	36.0	132	30.0	147	37.7	162	32.3
7	28.7			43	30.7	58	37.7	73	32.1	88	32.6	103	38.4	118	30.7	133	34.5	148	37.1	163	35.6
8	28.8			44	35.2	59	36.0	74	30.8	89	34.5	104	33.8	119	35.8	134	31.5	149	36.2	164	32.1
9	33.6	30.3		45	33.2	60	31.2	75	33.3	90	34.9	105	29.8	120	33.3	135	30.6	150	28.5	165	29.7
10	30.5			46	36.2	61	34.6	76	35.2	91	30.9	106	37.5	121	35.1	136	31.8	151	34.2	166	31.2
11	34.1			47	33.3	62	36.8	77	34.6	92	26.7	107	32.9	122	33.4	137	29.3	152	30.3	167	31.9
12	34.2	32.9		48	34.3	63	38.5	78	33.3	93	32.3	108	32.8	123	32.4	138	29.7	153	36.9	168	34.7
13	30.9			49	31.6	64	34.8	79	36.3	94	23.9	109	34.2	124	38.4	139	32.1	154	28.9	169	33.7
14	36.1			50	30.4	65	35.3	80	34.2	95	30.5	110	31.6	125	31.2	140	30.3	155	33.0	170	36.3
15	29.6	32.2		51	30.7	66	37.0	81	25.0	96	34.4	111	28.8	126	30.6	141	32.4	156	33.3	171	35.3
16	32.4		f <sub>15</sub>		33.5		33.9		32.3		31.8		32.8		34.1		32.3		33.2		33.4
17	31.7		S <sub>15</sub>		2.1		3.3		3.3		3.6		2.9		3.2		2.7		3.3		2.4
18	33.2	32.4	1.48*S <sub>35</sub> +f <sub>ck</sub>		28.6		28.6		28.6		28.6		28.6		28.6		28.6		28.6		28.6
19	31.2		0.63*S <sub>35</sub>		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5
20	35.0		1.37 *S <sub>35</sub>		3.3		3.3		3.3		3.3		3.3		3.3		3.3		3.3		3.3
21	33.4	33.2	S' <sub>35</sub> 62εως96								3.54										
22	34.7		1.48*S' <sub>35</sub> +f <sub>ck</sub>								30.1		30.1		30.1		30.1		30.1		30.1
23	31.6		0.63*S' <sub>35</sub>								2.2		2.2		2.2		2.2		2.2		2.2
24	31.1	32.5	1.37*S' <sub>35</sub>								4.8		4.8		4.8		4.8		4.8		4.8
25	30.9																				
26	31.2																				
27	30.2	30.8	Απαιτήσεις για αρχική παραγωγή																		
28	28.6		f <sub>ck</sub> +4>= 29																		
29	32.3		f <sub>ck</sub> -4>=21																		
30	33.3	31.4																			
31	33.1																				
32	35.6																				
33	37.0	35.2																			
34	33.0																				
35	37.2																				
36	35.4	35.2																			
f <sub>35</sub>	32.4																				
S <sub>35</sub>	2.4																				

Αρχική παραγωγή: Κριτήρια συμμόρφωσης  $f_3 \geq f_{ck}+4$ ,  $f_i \geq f_{ck}-4$



## Συνεχής παραγωγή Έλεγχος σταθερότητας τυπικής απόκλισης



### Συνεχής παραγωγή : Έλεγχος αντοχής

