

# ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ-ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θεωρήσουμε τον φορέα του Σχ. 1.1 του οποίου τα φορτία  $P$ , μικρά κατ' αρχήν, αυξάνονται σταδιακά πολλαπλασιαζόμενα επί ένα συντελεστή  $\gamma$ . Κατά τα διαδοχικά βήματα αύξησης των φορτίων ο φορέας διέρχεται από δύο πολύ χαρακτηριστικές καταστάσεις. Σε πρώτη φάση για μια τιμή του  $\gamma = \gamma_{\text{λειτ}}$ , ο φορέας χάνει την κατασκευαστική λειτουργικότητά του χωρίς να αστοχήσει, ήτοι παρουσιάζει τριχοειδή ρήγματα μεγαλύτερου εύρους από το επιτρεπτό (π.χ. 0.3mm) και συνεπώς παύει το σκυρόδεμα να παρέχει προστασία των οπλισμών έναντι οξειδωσης ή παρουσιάζει βέλη μεγαλύτερα από τα επιτρεπτά, ώστε παύουν να διασφαλίζονται από ρηγματώσεις οι επι του φορέα τοιχοποιίες.

Στη συνέχεια για μια τιμή του  $\gamma$

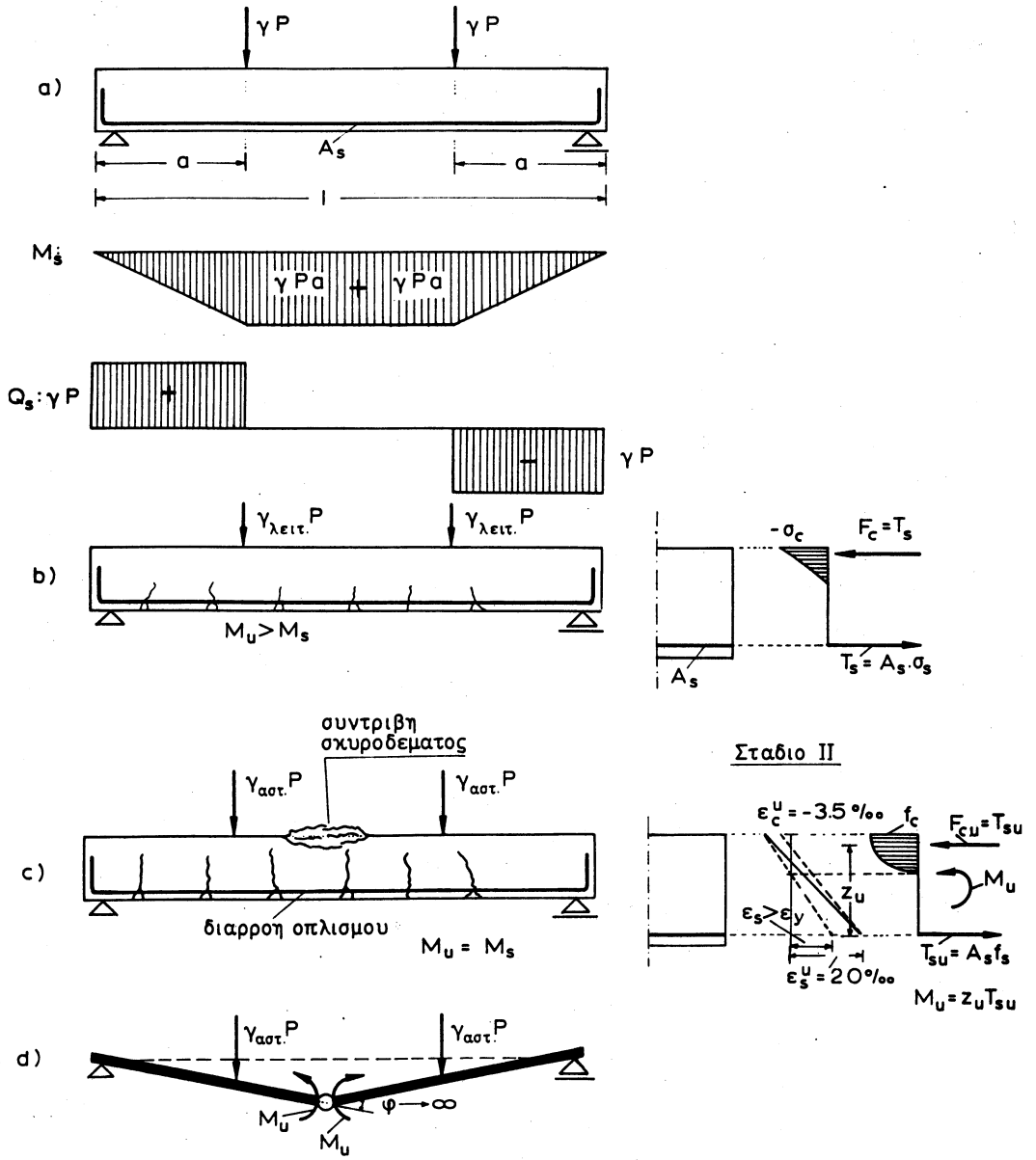
$$\gamma = \gamma_{\text{αστοχίας}} > \gamma_{\text{λειτουργ.}}$$

ο φορέας αστοχεί λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητάς του.

Οι δύο αυτές χαρακτηριστικές καταστάσεις από τις οποίες διέρχεται ο φορέας κατά τα διαδοχικά βήματα φορτίσεώς του ορίζονται ως

- οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, και
- οριακές καταστάσεις αστοχίας.

Στόχος του σχεδιασμού των κατασκευών είναι η διασφάλιση, με ορισμένες αποδεκτές πιθανότητες, ότι η κατασκευή δεν θα βρεθεί σε οριακή κατάσταση δηλαδή να μην ανταποκρίνεται πια στα κριτήρια λειτουργικότητας και φέρουσας ικανότητας που έχουν εκ προοιμίου τεθεί. Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας προσδιορίζονται με σαφήνεια σε όλους τους σύγχρονους Κανονισμούς Ο/Σ (EC2/91, Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΚΟΣ) 1995) και εκτίθενται πιο κάτω [1], [3], [4].



Σχ. 1.1

Οριακές καταστάσεις

(α) Φορτία - εσωτ. δυνάμεις φορέα

(β) Οριακή κατάσταση λειτουργίας

(γ) Οριακή κατάσταση αστοχίας

(δ) Μηχανισμός καταρρεύσεως

## 2. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

### 2.1. Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Ως οριακές καταστάσεις αστοχίας χαρακτηρίζονται εκείνες οι οποίες σχετίζονται με κατάρρευση ή με άλλες μορφές κατασκευαστικής αστοχίας οι οποίες μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των χρηστών.

Οριακές καταστάσεις αστοχίας κατά τον ΚΟΣ/95 θεωρούνται οι ακόλουθες [1], [2], [4], [5] :

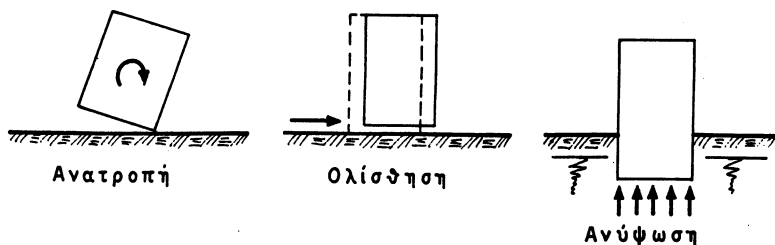
- (i) Απώλεια της στατικής ισορροπίας ενός στοιχείου ή του συνόλου της κατασκευής θεωρουμένης ως στερεού σώματος.

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται :

- Η ανατροπή (Σχ. 2.1α)
- Η ολίσθηση (Σχ. 2.1b)
- Η άνωση (Σχ. 2.1c)

- (ii) Μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό (Σχ. 2.2). Για να φθάσει ο φορέας στην οριακή αυτή κατάσταση όπως θα δούμε πιο κάτω θα πρέπει

- Να αστοχήσει σε τόσα σημεία ώστε να μετατραπεί σε κινηματική άλυσσο μιας ελευθερίας κινήσεως, και
- Τα σημεία αστοχίας μετά την υπέρβαση της αντοχής τους να διαθέτουν τόση ανελαστική παραμορφωσιμότητα (πλαστιμότητα) ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν ως πλαστικές αρθρώσεις.

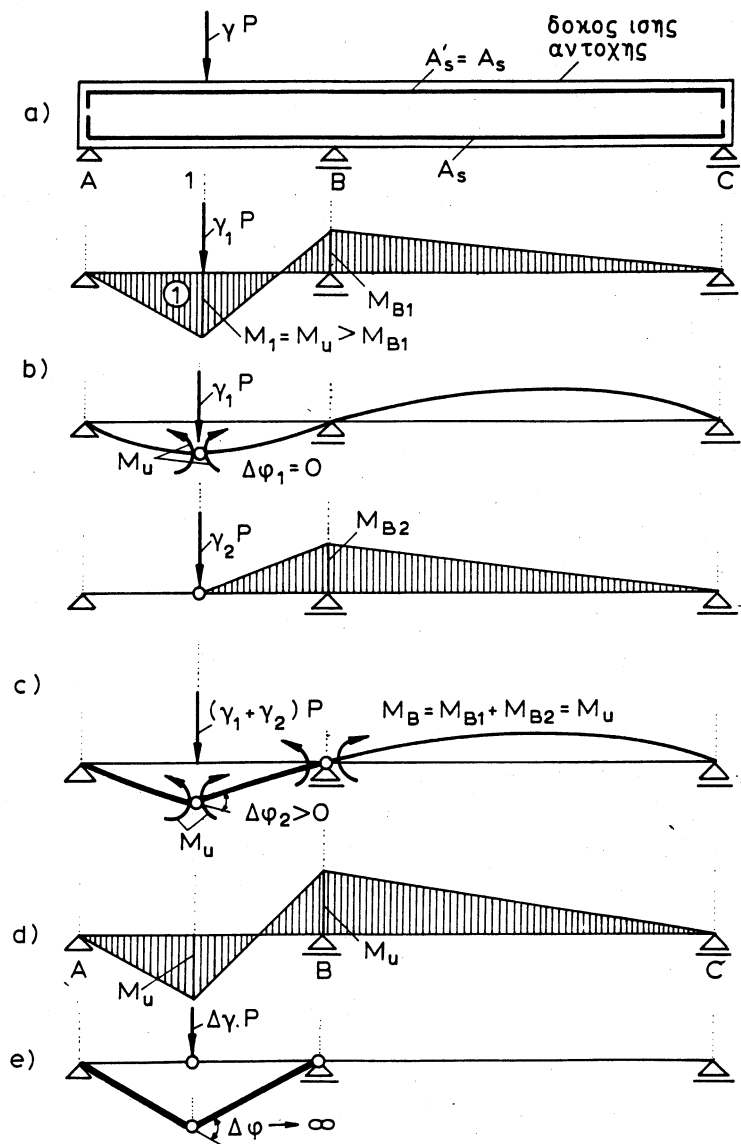


Σχ. 2.1 Οριακή κατάσταση απώλειας στατικής ισορροπίας

(α) Ανατροπή

(β) Ολίσθηση

(γ) Άνωση



Σχ. 2.2

- Μετατροπή υπερστατικού φορέα σε μηχανισμό
- Δοκός ίσης αντοχής με ένα μοναχικό φορτίο
  - Δημιουργία πρώτης πλαστικής αρθρώσεως 1
  - Αλλοιωμένο στατικό σύστημα για τα επιπλέον φορτία - δημιουργία δεύτερης πλαστικής αρθρώσεως στο B
  - Τελικό διάγραμμα ροπών κάμψεως
  - Μηχανισμός καταρρεύσεως για απειροστ. αύξηση φορτίου

(iii) Οριακές καταστάσεις αντοχής σε κρίσιμες διατομές

α) Έναντι ορθών εντατικών μεγεθών (ροπή κάμψεως και, ή αξονική δύναμη).

(β) Έναντι διατμητικών καταπονήσεων, δηλαδή

- τέμνουσα
- στρέψη
- διάτμηση
- συνάφεια αγκύρωσης

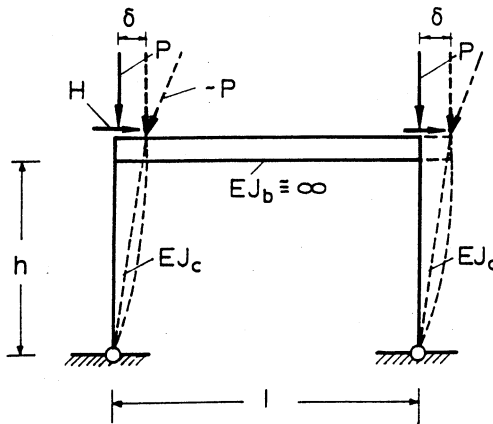
Η τελευταία καλύπτεται χωρίς υπολογιστικούς ελέγχους χάρη στις κατασκευαστικές διατάξεις των Κανονισμών.

Είναι προφανές ότι, αυτή η οριακή κατάσταση συμπίπτει με την προηγούμενη (μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό) σε περίπτωση ισοστατικού φορέα. Στην περίπτωση αυτή η αστοχία μιας διατομής οδηγεί σε δημιουργία κινηματικής αλύσου και κατά συνέπεια σε κατάρρευση (Σχ. 1.1). Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο σε υπερστατικά συστήματα. Εκεί, η αστοχία μιας διατομής - ιδίως αν οφείλεται σε κάμψη και διαθέτει η περιοχή και επαρκή ανελαστική παραμορφωσιμότητα - δεν οδηγεί στη δημιουργία κινηματικής αλύσου, αλλά στη δημιουργία για τα επί πλέον φορτία μετά την αστοχία της διατομής ενός νέου στατικού συστήματος με μία πλαστική άρθρωση στη θέση της πρώτης αστοχίας [11]. Έτσι, στους υπερστατικούς φορείς, το φορτίο για το οποίο φθάνουν στην οριακή κατάσταση αστοχίας της πρώτης διατομής είναι μικρότερο ή το πολύ ίσο προς εκείνο για το οποίο φθάνουν στην κατάρρευση, δηλαδή στην μετατροπή τους σε μηχανισμό (Σχ. 2.2). Εν τούτοις, όπως θα δούμε παρακάτω, για όλα τα τρέχοντα προβλήματα ο ισχύων ΚΟΣ θεωρεί ότι η κατασκευή έχει φθάσει στην οριακή κατάσταση αστοχίας με την αστοχία έστω και μιας διατομής ανεξάρτητα εάν ο φορέας είναι ισοστατικός ή υπερστατικός.

Οι οριακές καταστάσεις αντοχής των διατομών σε κάμψη και διάτμηση, δηλαδή οι (M, N) και V τις οποίες μπορούν να φέρουν οι διατομές O/Σ σε οριακή κατάσταση αστοχίας έχουν ήδη μελετηθεί συστηματικά στο πρώτο μέρος του O/Σ [9].

(iv) Οριακές καταστάσεις λυγισμού και ύβωσης

Πρόκειται για οριακές καταστάσεις ελαστοπλαστικής ευστάθειας γραμμικών και επιφανειακών φορέων αντίστοιχα. Το σύστημα θεωρείται ότι έχει φθάσει στην οριακή αυτή κατάσταση όταν, για τυχούσα μετατόπισή του από την αρχική θέση ισορροπίας, οι δημιουργούμενες εντατικές καταστάσεις λόγω μεγεθών δευτέρας τάξεως είναι σε θέση να διατηρήσουν το σύστημα στην μετατοπισμένη θέση, έστω και αν εξέλειπαν τα αίτια που προκάλεσαν τη μετατόπιση (κατάσταση ελαστικά αδιάφορη), (Σχ. 2.3). Είναι προφανές ότι η οριακή αυτή κατάσταση αφορά κυρίως κατασκευές εύκαμπτες που έχουν κόμβους εύκολα μετατοπιζόμενους [15].



$$H = P \frac{\delta_{\tau\omega x}}{h}$$

$$\delta_H \cong 2H \frac{h^3}{3EJ_c} = 2P \frac{\delta_{\tau\omega x}}{h} \frac{h^3}{3EJ_c}$$

Αν  $\delta_H = \delta_{\tau\omega x} \Rightarrow$  οριακ.κατ. λυγισμού ήτοι

$$\delta_{\tau\omega x} = P \frac{\delta_{\tau\omega x}}{h} \frac{h^3}{3EJ_c} \Rightarrow P_{\kappa\rho} = \frac{3EJ_c}{2h^2}$$

Σχ. 2.3

Οριακή κατάσταση λυγισμού.

Αν η  $\delta_H$  ( $\delta$  ένεκα  $H$ ) ίση προς την τυχαία μετατόπιση  $\delta$  τότε έχουμε οριακή κατάσταση λυγισμού

(v) Οριακές καταστάσεις κοπώσεως

Η κόπωση ως γνωστόν είναι φαινόμενο που επηρεάζει την αντοχή των υλικών και φορέων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Άρα, είναι οριακή κατάσταση αντοχής, αποτέλεσμα των πολλαπλών κυκλικών επαναλήψεων των φορτίων λειτουργίας. Για πρακτικούς λόγους, επειδή διέπει μόνο ορισμένους τύπους κατασκευών για τις οποίες μπορεί να καθορισθεί το εύρος φόρτισης, εξετάζεται ως χωριστή οριακή κατάσταση.

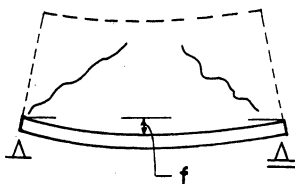
Κατά την οριακή αυτή κατάσταση η διατομή οδηγείται σε αστοχία, π.χ. για ροπή κάμψεως μικρότερη της οριακής της αντοχής μετά από ορισμένο αριθμό επαναληπτικών κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης. Είναι προφανές ότι η οριακή αυτή κατάσταση αφορά ειδικές κατηγορίες κατασκευών όπως γέφυρες, βιομηχανικά κτίρια με μηχανές που προκαλούν ταλαντώσεις κ.λ.π.

2.2. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας [7]

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας χαρακτηρίζουν τα όρια πέραν των οποίων υπάρχει υπέρβαση των προδιαγεγραμμένων λειτουργικών απαιτήσεων. Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας που προδιαγράφουν οι Κανονισμοί είναι οι εξής :

(i) Παραμορφώσεις ή βέλη (Σχ. 2.4)

Η υπέρβαση ορισμένων ορίων στα βέλη κάμψεως επιδρά στην αισθητική ή στη χρήση της κατασκευής ή προκαλεί βλάβες στα τελειώματα ή στα μη φέροντα στοιχεία.



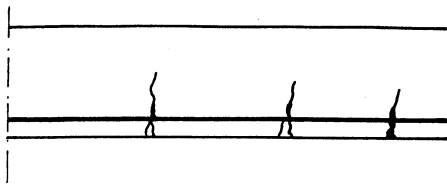
Σχ. 2.4

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.  
Περιορισμός των βελών  $f$

(ii) Ρηγμάτωση του σκυροδέματος από εφελκυσμό (Σχ. 2.5)

Το σπλισμένο σκυρόδεμα από τη φύση του θεωρείται αναξιόπιστο υλικό στην παραλαβή εφελκυστικών τάσεων, γι' αυτό και κατά τη διαστασιολόγηση των διατομών θεωρείται ως ρηγματωμένο στην εφελκυσόμενη περιοχή (αδρανής περιοχή).

Εν τούτοις, η υπέρβαση ορισμένων ορίων στο εύρος των τριχοειδών ρηγμάτων επιδρά αρνητικά στην εμφάνιση, στην υδατοπερατότητα και τέλος στην ανθεκτικότητα λόγω περιορισμένης πλέον προστασίας των σπλισμών από οξείδωση.



Σχ. 2.5

Οριακή κατάσταση ρηγματώσεως.

Περιορισμός του εύρους των ρηγμάτων

(iii) Ταλαντώσεις

Οι ταλαντώσεις της κατασκευής για ορισμένο εύρος και συχνότητα, ιδίως όταν συντίθενται σε διακροτήματα μπορούν να προκαλούν δυσάρεστο συναίσθημα ή και συναίσθημα ανασφάλειας στους χρήστες. Πρόκειται για οριακή κατάσταση ειδικών έργων, κυρίως κτιριακών, που υπόκεινται σε τέτοιου είδους ταλαντώσεις, όπως βιομηχανικά κτίρια με μεγάλες μηχανές με ταλαντούμενες μάζες, πολύ μεγάλου ύψους κτίρια υπό ανεμοφόρτιση κ.λ.π.

(iv) Μικρορηγμάτωση του σκυροδέματος από σύνθλιψη

Το σκυρόδεμα υπό συνεχή τάση λειτουργίας άνω ορισμένου ορίου οδηγείται σε μικρορηγμάτωση παράλληλες προς τις τάσεις σύνθλιψης που οδηγούν σε μείωση της ανθεκτικότητας (αντοχή στο χρόνο) του σκυροδέματος. Επίσης, οδηγείται σε υπερβολικά μεγάλες ερυστικές παραμορφώσεις.



### 2.3. Συμπεράσματα

Από την προηγηθείσα ανάλυση προκύπτει ότι οι πλέον συνήθεις οριακές καταστάσεις τις οποίες καλείται σε κάθε έργο Ο/Σ να διασφαλίσει ο Μηχανικός είναι οι εξής :

- Οριακές καταστάσεις αστοχίας
  - Οριακές καταστάσεις αντοχής σε κρίσιμες διατομές σε όλη την έκταση του έργου.
  - Οριακές καταστάσεις στατικής ισορροπίας σε επίπεδο θεμελιώσεως ή της κατασκευής ως σύνολο.
- Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
  - Βέλη κάμψεως.
  - Ρηγμάτωση εφελκυόμενης ζώνης.

## 3. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 3.1. Γενικά

Θεωρήσουμε και πάλι τη δοκό του Σχ. 1.1. Η διασφάλισή της από του να περιέλθει σε κάποια οριακή κατάσταση π.χ. στην οριακή κατάσταση αστοχίας από κάμψη στην κρίσιμη διατομή της στο μέσο της εξαρτάται από δύο παράγοντες :

- (α) Τη φόρτιση και κατ' επέκταση από τις εξ αυτής αναπτυσσόμενες εσωτερικές δυνάμεις ( $M$ ,  $V$ ). Οι εσωτερικές δυνάμεις στους ισοστατικούς φορείς εξαρτώνται, ως γνωστό, μόνο από τα φορτία και τη γεωμετρία του φορέα ενώ στους υπερστατικούς και από τη δυσκαμψία του.
- (β) Από την οριακή αντοχή της κρίσιμης διατομής (π.χ. σε κάμψη). Η αντοχή της διατομής εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία της, την ποιότητα των υλικών (σκυρόδεμα-χάλυβα), το ποσοστό οπλισμού και το κριτήριο αστοχίας που χαρακτηρίζει την εν λόγω οριακή κατάσταση (π.χ. για την κάμψη κριτήριο είναι οι οριακές παραμορφώσεις των υλικών  $\epsilon_c = -3.5\%$  ,  $\epsilon_s = 20\%$ ). Δεν εξαρτάται δηλαδή κατ' ουδένα τρόπο από τη φόρτιση. Τα μεγέθη δηλαδή εντάσεως ( $M$ ,  $N$ ,  $V$ ) από τη μια μεριά και τα μεγέθη αντοχής της δοκού (συνολική αντοχή σε κάμψη, διάτμηση) είναι στατιστικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους [19].

Βασική συνθήκη για να μην περιέλθει η δοκός στην οριακή κατάσταση αστοχίας στην κρίσιμη διατομή της αποτελεί η ανίσωση

$$[S_{act}] \leq [R] \quad (3.1)$$

ή στη συγκεκριμένη περίπτωση

$$M_{act} \leq M_u \quad (3.2)$$

όπου

$[S_{act}]$ : η αναπτυσσόμενη λόγω φορτίων ένταση στην κρίσιμη διατομή (π.χ.  $M_{act}$ )

$[R]$  : η φέρουσα ικανότητα της διατομής στην οριακή κατάσταση αστοχίας (π.χ.  $M_u$ ).

Αντικείμενο της στατικής και δυναμικής των κατασκευών είναι, ως γνωστό, ο προσδιορισμός του πρώτου μέρους της ανίσωσης (3.1) δηλαδή της έντασης που προκαλούν στις κατασκευές τα φορτία. Αντικείμενο της Αντοχής Υλικών είναι ο προσδιορισμός του δεύτερου μέρους της ανίσωσης (3.1). Η μετατροπή της ανίσωσης (3.1) σε εξίσωση επιτρέπει τη διαστασιολόγηση των διατομών Ο/Σ, αντικείμενο που έχει ήδη αντιμετωπιστεί νωρίτερα [9].

### 3.2. Ο πιθανοτικός χαρακτήρας της ασφάλειας των κατασκευών

Τόσο το μέγεθος  $[S_{act}]$  όσο και το μέγεθος  $[R]$  έχουν πιθανοτικό χαρακτήρα. Κατά συνέπεια η πιθανότητα μια κατασκευή να φθάσει σε οριακή κατάσταση π.χ. αστοχίας εξαρτάται από :

- (α) Την αξιοπιστία των τιμών των αναπτυσσομένων εσωτερικών δυνάμεων  $[S_{act}]$ ,
- (β) Από την αξιοπιστία της συνολικής αντοχής  $[R]$  της κατασκευής στην κρίσιμη διατομή, και
- (γ) Από την απόσταση που χωρίζει τις μέσες τιμές των  $[R]$  και  $[S_{act}]$ .

Η αξιοπιστία των εσωτερικών δυνάμεων  $[S_{act}]$  είναι κατά κύριο λόγο συνάρτηση των εξής παραγόντων [13], [16], [19], [6] :

- (α) Της διασποράς των φορτίων περί τη μέση τιμή τους (μέγεθος τυπικής απόκλισης).

- (β) Της μειωμένης πιθανότητας συνδυασμού συγχρόνως όλων των δυσμενών φορτίων.
- (γ) Της πιθανότητας ανακριβούς υπολογισμού των εσωτερικών δυνάμεων λόγω διαφόρων προσεγγίσεων.
- (δ) Των κατασκευαστικών μέτρων που οδηγούν σε αλλοίωση των αρχικά εκτιμηθέντων εντατικών μεγεθών. Π.χ. ο σταδιακός τρόπος εκτελέσεως του έργου μπορεί να αλλοιώσει σε απρόβλεπτο βαθμό την εντατική κατάσταση υπερστατικού φορέα.

Από την άλλη, η αξιοπιστία της συνολικής αντοχής της διατομής εξαρτάται κυρίως :

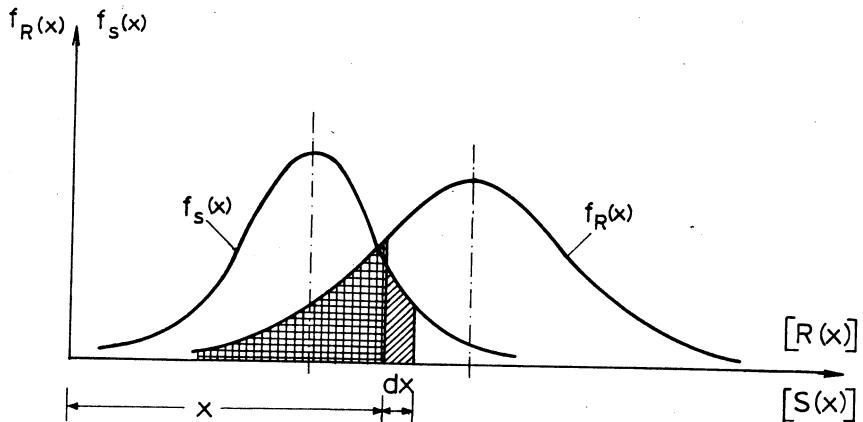
- (α) Από τη διασπορά της αντοχής των υλικών χάλυβα και σκυροδέματος (μέγεθος τυπικών αποκλίσεων).
- (β) Από τις πιθανές αποκλίσεις της αντοχής των υλικών μετά την ενσωμάτωσή τους στο φορέα σε σχέση με αυτές των δοκιμών καθώς και οι αποκλίσεις των διαστάσεων και της θέσεως των οπλισμών από τις προβλέψεις της μελέτης.
- (γ) Από τις πιθανές τοπικές αδυναμίες των υλικών (φωλές λόγω πυκνών οπλισμών, τοπική απόμιξη υλικού κ.λ.π.).
- (δ) Από την πιθανότητα ανακριβούς υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας  $[R]$  της διατομής, λόγω διαφόρων προσεγγιστικών παραδοχών.

Κατά συνέπεια η ανίσωση (3.1) με δεδομένη τη διασπορά των τιμών  $[S_{act}]$  και  $[R]$  δεν έχει καμιά έννοια, γιατί προϋποθέτει ντετερμινιστικό προσδιορισμό των μεγεθών αυτών. Υπ' αυτή την έννοια δεν μπορεί να υπάρξει απόλυτη ασφάλεια στην κατασκευή αλλά μόνον ορισμένη πιθανότητα ότι οι εσωτερικές δυνάμεις  $[S_{act}]$  δεν θα ξεπεράσουν την οριακή κατάσταση αστοχίας ή λειτουργικότητάς της  $[R]$ . Για τις κατασκευές πολιτικού μηχανικού η αποδεκτή πιθανότητα για υπέρβαση της οριακής κατάστασης αστοχίας είναι παρα πολύ μικρή γενικά μικρότερη του  $10^{-6} \div 10^{-7}$ , ήτοι στατιστικά γίνεται αποδεκτή μία αστοχία στο ένα εκατομμύριο περιπτώσεων κατά μέγιστο.

Εάν παραστήσουμε στο Σχ. 3.1 τις καμπύλες συχνότητας των μεγεθών  $[S_{act}]$  και  $[R]$  παρατηρούμε ότι η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής  $P_f$  μπορεί να υπολογισθεί εύκολα με την εξής διαδικασία [20]. Η πιθανότητα

για την οποία η δράση  $[S_{act}]$  βρίσκεται στο διάστημα  $(x, x+dx)$ , (Σχ. 3.1) είναι ίση προς

$$f_S(x) dx$$



Σχ. 3.1 Ερμηνεία της πιθανότητας αστοχίας

Ο φορέας αστοχεί εάν η αντοχή του  $[R(x)]$  είναι μικρότερη του  $[S(x)]$ . Κατά συνέπεια η πιθανότητα αυτού του γεγονότος είναι (καρό διαγραμμισμένο χωρίο)

$$F_R(x) = \int_{-\infty}^x f_R(x) dx$$

Παίρνοντας υπόψη την ανεξαρτησία των  $S$  και  $R$  και υποθέτοντας ότι η δράση βρίσκεται στο λοξά διαγραμμισμένο διάστημα, προκύπτει ότι η πιθανότητα αστοχίας σ' αυτό το διάστημα είναι

$$dP_f = F_R(x) f_S(x) dx = f_S(x) dx \int_{-\infty}^x f_R(x) dx$$

Συνεπώς η συνολική πιθανότητα αστοχίας ισούται προς

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} f_s(x) dx \int_{-\infty}^x f_R(x) dx = \int_{-\infty}^{+\infty} F_R(x) f_s(x) dx \quad (3.3)$$

Σε περίπτωση κανονικής κατανομής  $[S_{act}]$  και  $[R]$  - οπότε η κάθε μία από αυτές απεικονίζεται πλήρως από τη μέση τιμή της και την τυπική της απόκλιση, ήτοι:  $S(\mu_s, \sigma_s)$  και  $R(\mu_R, \sigma_R)$  - η καμπύλη της πιθανότητας αστοχίας

$$P = R - S \quad (3.4)$$

θα έχει επίσης κανονική κατανομή με

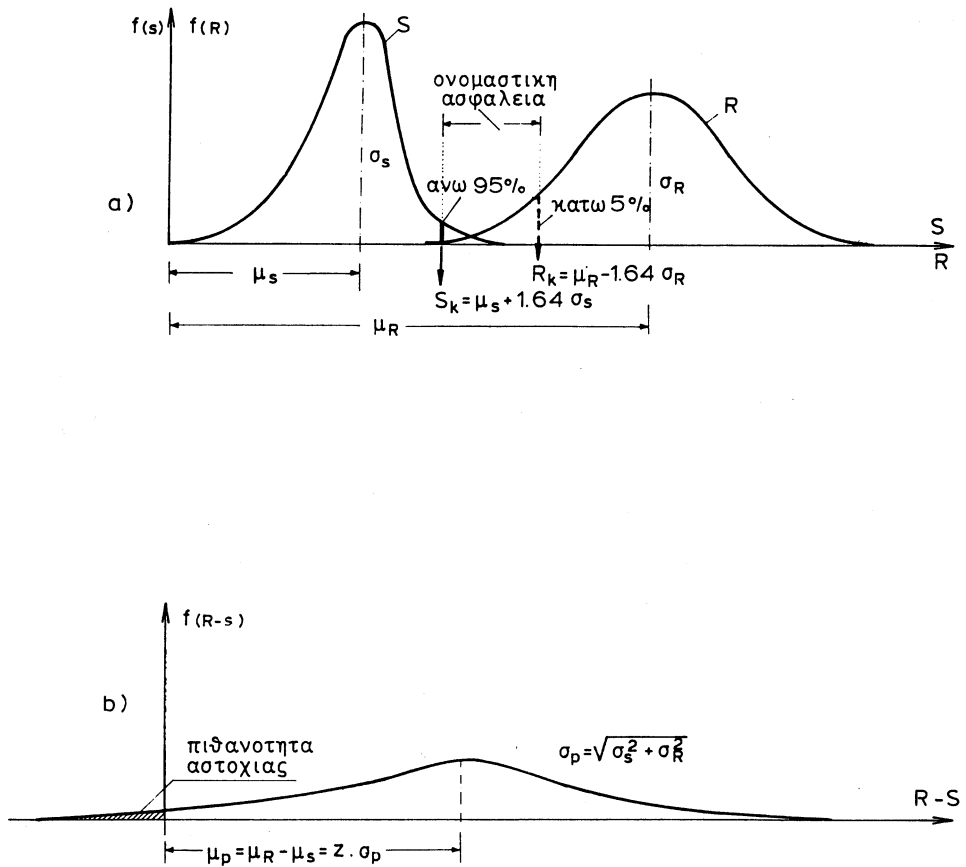
$$\left. \begin{aligned} \mu_P &= \mu_R - \mu_S \\ \sigma_P &= \sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_R^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Κατά συνέπεια για δεδομένες καμπύλες  $[S_{act}]$  και  $[R]$  (Σχ. 3.2α) προσδιορίζονται κατ' αρχήν τα  $\mu_P$  και  $\sigma_P$  από τις σχέσεις (3.5). Στη συνέχεια με τη βοήθεια του λόγου

$$z = \frac{\mu_P}{\sigma_P} \quad (3.6)$$

και τους γνωστούς πίνακες κατανομής πιθανοτήτων της κανονικής καμπύλης προκύπτει εύκολα η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής. Η πιθανότητα αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη συχνότητας  $R - S$  με το διαγραμματισμένο της χωρίο (Σχ. 3.2b).

Στα έργα πολιτικού μηχανικού σπάνια ακολουθείται η παραπάνω πιθανοτική προσέγγιση του προβλήματος ασφάλειας. Αντ' αυτής έχει προτιμηθεί η ημιπιθανολογική προσέγγιση του προβλήματος με τη χρήση των επιμέρους συντελεστών ασφάλειας. Πράγματι, είναι αυτονόητο ότι όσο οι μέσες τιμές των καμπύλων  $[R]$  και  $[S]$  απομακρύνονται η μία από την άλλη και μειώνονται συγχρόνως οι διασπορές τους, τόσο μειώνεται η πιθανότητα αστοχίας του φορέα. Σε όρους πιθανοθεωρίας η πιθανότητα αυτή μπορεί να διατηρηθεί κάτω προδιαγεγραμμένου ορίου, εφόσον εκ των προτέρων συμφωνημένες χαρακτηριστικές τιμές των μεγεθών  $[R]$  και  $[S]$  κρατηθούν σε ορισμένη μεταξύ τους απόσταση. Σε όλους τους σύγχρονους Κανονισμούς ως χαρακτηριστικές τιμές έχουν συμφωνηθεί :



Σχ. 3.2 Πιθανοτική ερμηνεία του συντελεστή ασφαλείας  
 (α) Καμπύλες κανονικών κατανομών  $R$  και  $S$   
 (β) Καμπύλη κατανομής  $R-S$ , πιθανότητα αστοχίας

- Για μεν τα μεγέθη αντοχής το κάτω 5% όριο. Δηλαδή, η αντοχή που κάτω από αυτήν δεν αναμένονται περισσότερες από 5% των περιπτώσεων. Η αντοχή αυτή για κανονική κατανομή αντιστοιχεί σε (Σχ. 3.2α)

$$[R_K] = \mu_R - 1.64 \sigma_R \quad (3.7)$$

όπου

$\mu_R$  : η μέση τιμή της  $[R]$  και

$\sigma_R$  : η τυπική απόκλιση της

- Αφετέρου για τα μεγέθη φορτίσεως το άνω όριο 95%. Δηλαδή, η τιμή των εσωτερικών δυνάμεων πάνω από την οποία δεν αναμένονται περισσότερες από 5% των περιπτώσεων. Η ένταση αυτή ( $M$ ,  $N$ ,  $V$ ) για κανονική κατανομή αντιστοιχεί σε (Σχ. 3.2α)

$$[S_K] = \mu_S + 1.64 \sigma_S \quad (3.8)$$

όπου

$\mu_S$  : η μέση τιμή της  $[S]$  και

$\sigma_S$  : η τυπική απόκλιση της

Για να διατηρηθεί συνεπώς η πιθανότητα αστοχίας κάτω ενός προδιαγεγραμμένου ορίου πρέπει ο λόγος των χαρακτηριστικών τιμών  $[R_K]$ ,  $[S_K]$  να είναι μεγαλύτερος μιας προδιαγεγραμμένης τιμής  $\gamma$  γνωστής ως συντελεστού ασφάλειας, ήτοι:

$$\boxed{\frac{[R_K]}{[S_K]} \geq \gamma} \quad (3.9)$$

Ο συντελεστής ασφάλειας για δύο αιώνες περίπου διατηρήθηκε ενιαίος με τιμές κυμαινόμενες για τα λίθινα υλικά υπό σύνθλιψη στην τιμή του :

$$\gamma \cong 2.5 \div 3.0$$

και για τον χάλυβα υπό ελκυσμό στην τιμή

$$\gamma \cong 1.70 \div 1.80$$

Μετά το 1950 και κάτω από πιθανοτικές θεωρήσεις του προβλήματος ασφάλειας, που εκτέθηκαν ήδη πιο πάνω, ωρίμασε η ιδέα να διαιρεθεί σε δύο μερικούς συντελεστές ασφάλειας, ήτοι:

$$\gamma = \gamma_f \cdot \gamma_m \quad (3.10)$$

όπου

$\gamma_f$ : ο μερικός συντελεστής ασφάλειας επηρεαζόμενος από την πιθανοτική υφή της εντάσεως και

$\gamma_m$ : ο μερικός συντελεστής ασφάλειας επηρεαζόμενος από την πιθανοτική υφή της οριακής αντοχής.

Από τις (3.9) και (3.10) προκύπτει

$$\frac{[R_K]}{[S_K]} \geq \gamma_f \cdot \gamma_m$$

ή

$$\boxed{\frac{[R_K]}{[\gamma_m]} \geq \gamma_f [S_K]} \quad (3.11)$$

Η διάσπαση αυτή του ενιαίου συντελεστού ασφάλειας σε μερικούς παρέχει τη δυνατότητα στον Κανονισμό ανάλογα με τον τύπο φόρτισης και τους συνδυασμούς της με άλλες να εισάγει διάφορους συντελεστές ασφάλειας φορτίσεως. Το ίδιο και με τα υλικά για τον υπολογισμό της συνολικής αντοχής της διατομής.

Η σχέση (3.11) ονομάζεται βασική ανίσωση σχεδιασμού. Οι σχέσεις

$$\left. \begin{aligned} [S_d] &= \gamma_f [S_K] \\ [R_d] &= \frac{[R_K]}{\gamma_m} \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

ονομάζονται τιμές σχεδιασμού.

Οι τιμές σχεδιασμού  $[S_d]$  μιας δράσης λαμβάνονται ως γινόμενο της αντιπροσωπευτικής τιμής  $[S_K]$  επί τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας. Οι τιμές σχεδιασμού  $[R_d]$  ενός μεγέθους αντοχής προκύπτουν από τη διαίρεση της αντιπροσωπευτικής του τιμής  $[R_K]$  με τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_m$ . Οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_f$  των δράσεων εισάγονται είτε σε επίπεδο φορτίων πριν την ανάλυση, είτε πιο συνηθισμένα



σε επίπεδο εσωτ. δυνάμεων (M, N, V) μετά τη στατική ανάλυση για τα επί μέρους φορτία, κατά την επαλληλία δυσμενεστέρων. Οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_m$  της αντοχής εισάγονται στον ΚΟΣ/95 και στο EC2/90 σε επίπεδο αντοχής υλικών (Πρβλ. Σ. Σκυρόδεμα Ι,  $\gamma_s=1.15$ ,  $\gamma_c=1.50$ ). Αντίθετα στον Αμερικανικό Κανονισμό ACI-371 εισάγονται σε επίπεδο συνολικής αντοχής της διατομής.

Είναι αυτονόητο ότι για να προσδιορισθούν οι χαρακτηριστικές τιμές των εσωτ. δυνάμεων (M, N, V) πρέπει να είναι γνωστές οι χαρακτηριστικές τιμές των φορτίσεων (δράσεων). Επί του παρόντος και μέχρις ότου υπάρξουν περισσότερο αξιόπιστες τιμές όλοι οι σύγχρονοι Κανονισμοί σχεδιασμού κατασκευών λαμβάνουν ως χαρακτηριστικές τιμές τις ονομαστικές τιμές φορτίσεως, τις οποίες περιλαμβάνουν οι εν ισχύει Κανονισμοί Φορτίσεως και οι οποίες δεν είναι τις πιο πολλές φορές προϊόν στατιστικής επεξεργασίας αλλά μακρόχρονης εμπειρικής εκτιμήσεως. Ελπίζεται ότι η έκδοση του EC1, που πραγματεύεται τις δράσεις (φορτίσεις) στατιστικά, θα δώσει σοβαρή ώθηση στο θέμα.

Στην παράγραφο που ακολουθεί θα εξετασθούν οι επί μέρους συντελεστές ασφάλειας για τις διάφορες δράσεις όπως προδιαγράφονται από τον ΚΟΣ/95.

### Παράδειγμα

Έστω ότι για την αμφιέριστη δοκό του Σχ. 1.1 προέκυψαν τα εξής στοιχεία

$$\text{Φορτία διατομής } M_s \quad : \mu_s = 110 \text{ KNm} \quad \sigma_s = 12 \text{ KNm}$$

$$\text{Συνολική αντοχή } M_R \quad : \mu_M = 300 \text{ KNm} \quad \sigma_M = 35 \text{ KNm}$$

Ζητείται : (α) Ο υφιστάμενος συνολικός συντ. ασφάλειας  $\gamma$   
(β) Η πιθανότητα αστοχίας

$$S_K = \mu_s + 1.64 \sigma_s = 110 + 1.64 \times 12 = 136.6 \text{ KNm}$$

$$R_K = \mu_M - 1.64 \sigma_M = 300 - 1.64 \times 35 = 242.2 \text{ KNm}$$

$$\gamma = \frac{242.2}{136.6} = 1.77$$

$$\mu_P = \mu_M - \mu_s = 300 - 110 = 190 \text{ KNm}$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_S^2} = \sqrt{16^2 + 35^2} = 38.5$$

$$z = \frac{\mu_P}{\sigma_P} = \frac{190}{38.5} = 4.93 \rightarrow P_f = 0.41 \cdot 10^{-6}$$

Δηλαδή 4 αστοχίες στα 10 εκατ. περιπτώσεων.

### 3.3. Τιμές σχεδιασμού δράσεων

#### 3.3.1 Γενικά

Οι δράσεις που ασκούνται σε μια κατασκευή μπορούν να είναι :

- δυνάμεις συγκεντρωμένες ή κατανεμημένες
- επιβαλλόμενες παραμορφώσεις που ενδέχεται να προέλθουν από θερμοκρασιακές μεταβολές, συστολή ξήρανσης, ερπυσμό, μεταβολές συνθηκών στηριξέως κ.λ.π.

Οι δράσεις διακρίνονται

- σε μόνιμες
- σε μεταβλητές
- σε τυχηματικές, και
- σε προέκταση.

Οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_f$  που εκτίθενται στην παράγραφο αυτή αφορούν κυρίως τα κτιριακά έργα. Για άλλα έργα (γέφυρες, Silos, καπνοδόχους κ.λ.π.) οι τιμές των συντελεστών αυτών δίνονται σε συμπληρωματικές διατάξεις που αφορούν στα ειδικά αυτά έργα.

#### 3.3.2 Μόνιμες δράσεις

Στις μόνιμες δράσεις που η αντιπροσωπευτική (χαρακτηριστική) τιμή τους συμβολίζεται με  $G_K$  περιλαμβάνονται :

- το ίδιο βάρος της φέρουσας κατασκευής υπολογιζόμενο βάσει των ονομαστικών διαστάσεων. Υπενθυμίζεται ότι το ίδιο βάρος του οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος εκτιμάται σε :

$$\varepsilon = 25 \text{ KN/m}^3$$

- το βάρος του οργανισμού πληρώσεως, των επιστρώσεων και γενικά το βάρος κάθε πρόσθετης κατασκευής που θα παραμείνει μονίμως στο

έργο

- οι δράσεις που οφείλονται στην παρουσία υγρών με πρακτικά σταθερή στάθμη και πυκνότητα.

Οι τιμές σχεδιασμού  $G_d$  των μονίμων δράσεων δίδονται από τη σχέση

$$G_d = \gamma_g \cdot G_k \quad (3.13)$$

Οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_g$  των μονίμων δράσεων για τις εξεταζόμενες οριακές καταστάσεις δίνονται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_g$

Οριακές Καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή Δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.35	1.00
	Τυχηματικοί	1.00	1.00
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	1.00

Στις μόνιμες φορτίσεις περιλαμβάνεται και η συστολή ξήρανσης (Πρβλ.: Πλαίσια §3). Ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας  $\gamma_g$  για τη δυσμενή επιρροή της συστολής ξήρανσης σε κατάσταση αστοχίας λαμβάνεται ίσος προς (ΚΟΣ 6.3.2.3)

$$\gamma_g = 1.00.$$

### 3.3.3 Μεταβλητές δράσεις

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές των μεταβλητών δράσεων δίδονται από τους Κανονισμούς φορτίσεων. Όταν δρουν ταυτόχρονα περισσότερες της μιας μεταβλητές δράσεις, εξετάζονται κατάλληλοι συνδυασμοί δράσεων ώστε να ληφθεί υπόψη η δυσμενής συνεπίδρασή τους. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές σχεδιασμού  $Q_d$  των μεταβλητών δράσεων είναι :

- για τη δράση με τη μεγαλύτερη επιρροή στην οριακή κατάσταση

$$Q_d = \gamma_q \cdot Q_k \quad (3.14)$$

για όλες τις υπόλοιπες

$$Q_d = \gamma_q \psi Q_k \quad (3.15)$$

Οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_q$  δίνονται στον Πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_q$

Οριακές Καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή Δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	0.0
	Τυχηματικοί	1.0	0.0
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.0	0.0

Για την περίπτωση των πάσης φύσεως καταναγκασμών οι οποίοι πλην της συστολής ξήρασης λαμβάνονται ως μεταβλητές δράσεις και για την οριακή κατάσταση αστοχίας για δυσμενή δράση ίσοι με

$$\gamma_q = 1.00.$$

Οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi$  είναι διαφορετικοί για τις διάφορες δράσεις και εξαρτώνται από τη μακροχρόνια ή βραχυχρόνια επίδρασή τους στην εξεταζόμενη οριακή κατάσταση. Στις οριακές καταστάσεις αστοχίας εξετάζεται μόνο η βραχυχρόνια επίδραση των μεταβλητών δράσεων. Η μακροχρόνια εξετάζεται μόνο στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, όπως θα δούμε παρακάτω καθώς επίσης και στην περίπτωση σεισμού. Τιμές του  $\psi$  δίδονται στον Πίνακα 3.

### 3.3.4 Τυχηματικές δράσεις

Οι χαρακτηριστικές τιμές των τυχηματικών δράσεων  $F_k$  δίδονται από τους Κανονισμούς φορτίσεων. Οι τιμές σχεδιασμού στην περίπτωση αυτή δίδονται από τη σχέση

$$F_d = F_k \quad (3.16)$$

Δηλαδή, ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας για τις τυχηματικές δράσεις είναι ίσος με τη μονάδα. Συνήθεις τυχηματικές δράσεις είναι οι προ-

κρούσεις οχημάτων, οι εκρήξεις, οι κατολισθήσεις, ο ανεμοστρόβιλος. Συνεκτιμώνται μόνον όταν υπάρχει πιθανότητα εμφανίσεώς τους.

Στις τυχηματικές δράσεις κατά τον ΚΟΣ/95 και τον ΕΑΚ/95 περιλαμβάνεται και η σεισμική δράση (Πρβλ. Κεφάλαιο "Δομικά Στοιχεία Ο.Σ. σε σεισμό") [2], [8], [12], [14], [18].

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Συντελεστές συνδυασμού  $\psi$  για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας

Κατηγορία έργου	Βραχυχρόνια $\psi_1$	Μακροχρόνια $\psi_2$
• Κατοικίες	0.6	0.3
• Γραφεία, καταστήματα	0.7	0.4
• Χώροι συνάθροισης κοινού (στάδια, σχολεία, θέατρα κλπ.)	0.8	0.5
• Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, Silos κλπ.)	1.0	0.6
• Χώροι στάθμευσης	0.9	0.6
• Ανεμος, χιόνι	0.6	0.0

### 3.3.5 Προένταση

Παρ' όλον ότι το προεντεταμένο σκυρόδεμα δεν παύει να είναι μια μορφή Ο/Σ υπό κατάλληλα σχεδιασμένη αυτεντατική κατάσταση, εν τούτοις έχει τη δική του λογική σχεδιασμού και τη δική του τεχνολογία. Έτσι, εδώ δεν πρόκειται να μας απασχολήσει η περίπτωση του καθόλου δοθέντος ότι αφορά σε άλλο αντικείμενο.

### 3.4. Τιμές σχεδιασμού αντοχών

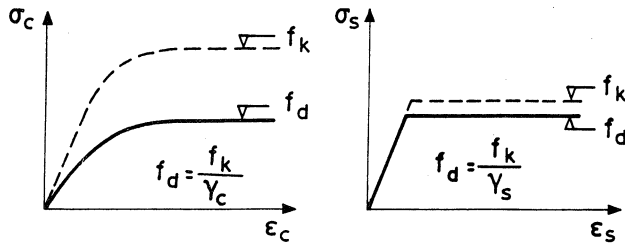
Όπως ήδη λέχθηκε και πιο πριν οι επιμέρους συντελεστές ασφάλειας αντοχής εισάγονται στον ΚΟΣ/95 και στον EC2/95 σε επίπεδο υλικών. Προς τούτο οι τεταγμένες των ιδεατών διαγραμμάτων τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος και χάλυβα (χαρακτηριστικά διαγράμματα) διαιρούνται με τον αντίστοιχο επιμέρους συντελεστή ασφάλειας αντοχής, ήτοι :

$$\sigma_d = \frac{\sigma_k}{\gamma_m} \quad (3.17)$$

ή σε επίπεδο αντοχής σχεδιασμού

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (3.18)$$

Έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα σχεδιασμού τάσεων-παραμορφώσεων (Σχ. 3.3). Είναι αυτονόητο ότι τα παραπάνω ισχύουν μόνο για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της διατομής και όχι των παραμορφώσεων. Δηλαδή, οι σχέσεις (3.17, 3.18) δεν ισχύουν για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας.



Σχ. 3.3 Διάγραμμα σχεδιασμού  $\sigma - \varepsilon$   
 (α) Σκυρόδεμα  
 (β) Χάλυβας

Οι συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_m$  (των αντοχών του σκυροδέματος  $\gamma_c$  και του χάλυβα  $\gamma_s$ ) για τις οριακές καταστάσεις δίδονται στον Πίνακα 4.

Ενώ ο σεισμός εντάσσεται στις τυχηματικές δράσεις, παρατηρούμε ότι οι μερικοί συντελεστές ασφάλειας των υλικών λαμβάνονται για την περίπτωση αυτή συμπίπτοντες με αυτούς των βασικών συνδυασμών. Αυτό γίνεται για να ληφθεί προσεγγιστικά υπόψη η μείωση της αντοχής λόγω της ανακυκλιζόμενης μετελαστικής φόρτισης από σεισμό.

Ο συντελεστής  $\gamma_c$  για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. σε κατασκευές με απαίτηση υδατοστεγανότητας καθορίζεται σε υψηλότερα επίπεδα της μονάδας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Επιμέρους συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_m$ 

Οριακές Καταστάσεις	Συνδυασμοί	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
		$\gamma_c$	$\gamma_s$
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	1.15
	Τυχηματικοί	1.30	1.00
	Τυχηματικοί σε σεισμό	1.50	1.15
Λειτουργικότητας	Βασικοί	1.00	1.00

#### 4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

##### 4.1. Γενικά

Όπως ήδη αναπτύχθηκε λεπτομερειακά πιο πάνω ο έλεγχος έναντι των οριακών καταστάσεων αστοχίας και λειτουργικότητας γίνεται μέσω της ανίσωσης

$$[S_d] \leq [R_d] \quad (4.1)$$

Σε περίπτωση που δρουν ταυτόχρονα περισσότερες από μία μεταβλητές δράσεις πρέπει να εξετασθούν διάφοροι συνδυασμοί τους μαζί με τα μόνιμα φορτία, ώστε να προσδιορισθεί η δυσμενέστερη τιμή της  $[S_d]$ .

##### 4.2. Οριακές καταστάσεις αστοχίας

###### 4.2.1 Συνδυασμός βασικών δράσεων

Η δυσμενέστερη τιμή σχεδιασμού δράσεων  $S_d$  προκύπτει από τους συνδυασμούς :

$$[S_d] = S(\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k + \gamma_q \Sigma \psi_1 Q_{ik}) \quad (4.2)$$

όπου

$G_k$  : η χαρακτηριστική τιμή της μόνιμης φόρτισης

$Q_k$  : η χαρακτηριστική τιμή της βασικής μεταβλητής δράσης του υπόψη συνδυασμού

$Q_{ik}$  : όλες οι λοιπές μεταβλητές δράσεις  
 $i > 1$ .

Κάθε μεταβλητή δράση στη σχέση (4.2) λαμβάνεται διαδοχικά ως βασική εκτός εάν είναι προφανές ότι κάποιος από τους συνδυασμούς δεν είναι καθοριστικός.

Όλες οι δράσεις χωρίζονται σε τμήματα που δρουν ευμενώς και τμήματα που δρουν δυσμενώς στην οριακή κατάσταση και ως εκ τούτου το καθένα πολλαπλασιάζεται με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφάλειας.

#### 4.2.2 Συνδυασμός τυχηματικών δράσεων

Η δυσμενέστερη τιμή σχεδιασμού των δράσεων  $S_d$  στην περίπτωση αυτή προκύπτει από τους συνδυασμούς :

$$[S_d] = S(F_d + G_k + \sum \psi_2 Q_{ik}) \quad (4.3)$$

όπου  $i \geq 1$ .

Όπως ήδη λέχθηκε, στις τυχηματικές δράσεις εντάσσεται και η σεισμική επιπόνηση. Ο σεισμός κατά τον ΚΟΣ/95 δεν συνδυάζεται με άλλες τυχηματικές δράσεις ή με επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (καταναγκασμούς). Επίσης επιτρέπεται για το σεισμικό συνδυασμό να μην εξετάζονται δυσμενείς συνδυασμοί φορτίσεων. Δηλαδή φορτίζεται η κατασκευή σε όλη της την έκταση με φορτία βαρύτητας

$$W = G_k + \sum \psi_2 Q_{ik} \quad (4.4)$$

και συγχρόνως με οριζόντια ως επί το πλείστον σεισμικά

$$E = R_d(T) \cdot W \quad (4.5)$$

όπου

$R_d(T)$ : σεισμικός συντελεστής (τεταγμένη του φάσματος σχεδιασμού) και προσδιορίζονται για τον συνδυασμό αυτό  $\{W\} + \{E\}$  τα διαγράμματα M, N, V. Λεπτομερής αναφορά στο θέμα θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια [1], [2].



### 4.3. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Η δυσμενέστερη τιμή σχεδιασμού των δράσεων  $S_d$  προσδιορίζεται για τους βραχυχρόνιους συνδυασμούς με τη σχέση

$$[S_d] = S(\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k + \gamma_q \Sigma \psi_1 Q_{ik}) \quad (4.6)$$

ενώ για τους μακροχρόνιους συνδυασμούς με τη σχέση

$$[S_d] = S(\gamma_g G_k + \gamma_q \psi_1 Q_{1k} + \gamma_q \Sigma \psi_1 Q_{ik}) \quad (4.7)$$

όπου  $i > 1$ .

Οι περιπτώσεις στις οποίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι βραχυχρόνιοι ή οι μακροχρόνιοι συνδυασμοί αναφέρονται ρητά στους ελέγχους λειτουργικότητας.

### 4.4. Συνδυασμοί δράσεων για κοινά οικοδομικά έργα

Για τα οικοδομικά έργα ο ΚΟΣ/95 αλλά και οι περισσότεροι σύγχρονοι Κανονισμοί επιτρέπουν απλοποιήσεις στους συνδυασμούς φορτίσεως. Έτσι, για την οριακή κατάσταση αστοχίας επιβάλλουν μόνο τους εξής συνδυασμούς :

- χωρίς σεισμό (Σχ. 4.1)

	$\gamma_g$	$\gamma_q$	} $\psi_1=0.6$
Ευμενής Συνδυασμός	1.00	0.00	
Δυσμενής Συνδυασμός	1.35	1.50	

$$[S_d] = S(\gamma_g G + \gamma_q Q) \quad (4.8)$$

$$[S_d] = S[\gamma_g G + \gamma_q(Q + \psi_1 W)]$$

όπου

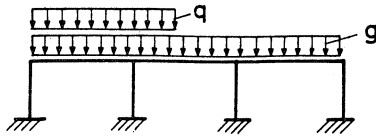
G : μόνιμο φορτίο

Q : κύριο ωφέλιμο

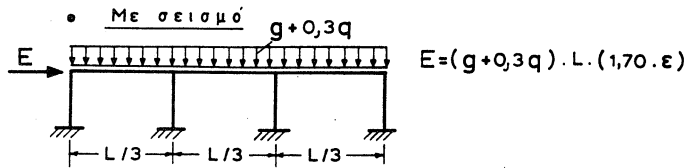
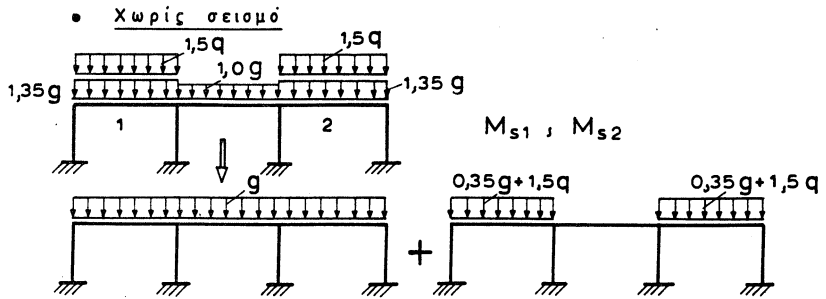
W : άνεμος

Σε απλά οικοδομικά έργα (δηλαδή όχι μεγάλα ανοίγματα) το μόνιμο φορτίο μπορεί να λαμβάνεται υπόψη καθολικά με τιμή συνδυασμού 1.35 G.

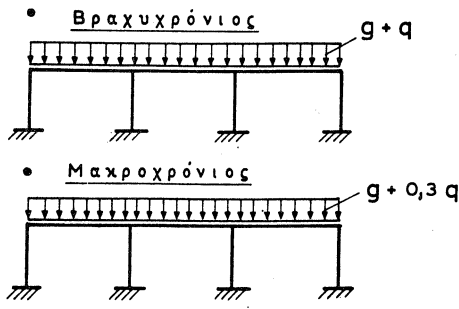
2.3.6. Παράδειγμα συνδυασμού φορτίων



Οριακή κατάσταση αστοχίας



Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας



Σχ. 4.1 Παράδειγμα συνδυασμού φορτίσεων σε οικοδομικό έργο  
 (α) Οριακή κατάσταση αστοχίας χωρίς σεισμό  
 (β) Οριακή κατάσταση αστοχίας με σεισμό  
 (γ) Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

- με σεισμό (Σχ. 4.1)

$$[S_d] = S(G + \psi_2 Q + E) \quad (4.9)$$

όπου

$\psi_2 = 0.30$  για κατοικίες.

$$E = R_d(T) \cdot [G + \psi_2 Q] \quad (4.10)$$

Πρβλ. (4.5) του παρόντος.

Είναι αυτονόητο ότι σε περίπτωση αντισεισμικής κατασκευής γίνεται τόσο ο έλεγχος χωρίς σεισμό όσο και αυτός με σεισμό και η όπλιση γίνεται σε κάθε θέση με την περιβάλλουσα των δυσμενεστέρων.

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας επιβάλλονται μόνον οι εξής συνδυασμοί

- βραχυχρόνιος συνδυασμός

$$[S_d] = S(G + Q) \quad (4.11)$$

- μακροχρόνιος συνδυασμός

$$[S_d] = S(G + \psi_1 Q) \quad (4.12)$$

#### 4.5. Συνδυασμοί δράσεων για στατική ισορροπία

Επειδή οι έλεγχοι για στατική ισορροπία αφορούν κυρίως την κατασκευή σε επίπεδο θεμελιώσεως για λόγους οικονομίας στη διαχείριση της ύλης οι συνδυασμοί για τις περιπτώσεις αυτές θα αναπτυχθούν στο κεφάλαιο περί θεμελιώσεων από Ο/Σ.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση την προηγηθείσα ανάπτυξη προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- α) Στόχος κατά τη διαδικασία μελέτης - επίβλεψης - εκτέλεσης των κατασκευών είναι να μην πλησιάσουν στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και στην οριακή κατάσταση αστοχίας, με πρώτη προτεραιότητα την αποφυγή αστοχίας που είναι άμεσα συσχετισμένη με την ασφάλεια των χρηστών του έργου. Η προτεραιότητα στη διασφάλιση του έργου έναντι αστοχίας γίνεται ιδιαίτερα έκδηλη στις αντισεισμικές κατασκευές όπου, όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, γίνεται αποδεκτός ένας βαθμός βλάβης για το σεισμό σχεδιασμού αλλά ακόμη και εκτεταμένη καταστροφή του φέροντος οργανισμού για εξαιρετικά ισχυρούς και εκτός προβλέψεως σειμούς φθάνει να αποφευχθεί η κατάρρευση.
- β) Η ασφάλεια της κατασκευής είναι πιθανοτικό μέγεθος εξαρτώμενο από την φέρουσα ικανότητά της και τις διασπορές που παρουσιάζει αφενός και από την ένταση που αναπτύσσεται σ' αυτήν και τις διασπορές της αφετέρου. Όσο ο λόγος της φέρουσας ικανότητας προς την ένταση, δηλαδή ο συντελεστής ασφάλειας, γίνεται μεγαλύτερος τόσο μειώνεται η πιθανότητα αστοχίας, ποτέ όμως η πιθανότητα αυτή δεν μπορεί να μηδενισθεί.
- γ) Η αύξηση του συντελεστού ασφάλειας έχει ως συνέπεια την αύξηση του κόστους του έργου, αφού ως γνωστό ασφάλεια και κόστος αποτελούν ανταγωνιστικούς παράγοντες στην κατασκευή. Έτσι το μέγεθος των συντελεστών ασφάλειας απετέλεσε σημείο στο οποίο με πολύ περίσκεψη έγιναν στους Κανονισμούς μικρομεταβολές στους τελευταίους δύο-τρεις αιώνες. Εν πάση περιπτώσει, οι συντελεστές ασφάλειας που χρησιμοποιούνται στο Ο/Σ στοχεύουν σε κατασκευές ιδιαίτερα υψηλής ασφάλειας. Η πιθανότητα αστοχίας με τους εν χρήσει συντελεστές ασφάλειας είναι μικρότερη του  $10^{-6}$ , ήτοι μία στο εκατομμύριο.
- δ) Τα τελευταία χρόνια ο ενιαίος συντελεστής ασφάλειας υποκαταστάθηκε με επιμέρους συντελεστές. Το κύριο πλεονέκτημα από αυτή την υποκατάσταση είναι ότι οι διάφορες φορτίσεις κατά τους διάφορους συνδυασμούς τους προσαρμόζονται ευκολότερα στον πιθανολογικό