

**ΟΡΙΑΚΗ  
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ  
ΑΣΤΟΧΙΑΣ  
ΑΠΟ  
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ  
ΤΟΥ  
ΦΟΡΕΑ  
(ΛΥΓΙΣΜΟΣ)**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14**

## 14.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις αμετάθετων πλαισίων (βλ. παρ. 14.3.1).

Σε περιπτώσεις στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (π.χ. λεπτότοιχες ανοικτές διατομές), ο έλεγχος γίνεται με την βοήθεια κατάλληλης ανάλυσης.

## 14.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Λόγω των φαινομένων 2ας τάξεως θεωρείται ότι η αύξηση ροπών που δημιουργείται είναι πάνω από το 10% για τα ευλύγιστα υποστυλώματα και κάτω από το 10% για τα μη-ευλύγιστα.

## 14.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εξασφάλιση της αντοχής και της ευστάθειας των κατασκευών επιβάλλει την εξέταση της επιρροής των παραμορφώσεων στην εντατική κατάσταση (θεωρία 2ας τάξης). Η φέρουσα ικανότητα ευλύγιστων κατασκευών ή ευλύγιστων μελών υπό θλίψη ενδέχεται να μειώνεται σημαντικά λόγω των φαινομένων 2ας τάξεως.

Η επιρροή των φαινομένων 2ας τάξεως θα αγνοείται εάν η σχετική αύξηση των καμπτικών ροπών 1ης τάξεως λόγω των παραμορφώσεων δεν είναι μεγαλύτερη του 10%.

Η εφαρμογή του Κεφαλαίου αυτού περιορίζεται σε μέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό τη δράση αξονικού θλιπτικού φορτίου, με ή χωρίς κάμψη, όπου οι επιρροές της στρέψης είναι αμελητέες.

## 14.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο έλεγχος έναντι φαινομένων 2ας τάξεως πρέπει να εξασφαλίζει ότι, για τους πιο δυσμενείς συνδυασμούς των δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας, αφενός δεν θα υπάρξει υπέρβαση της αντοχής μεμονωμένων διατομών υπό τη δράση κάμψεως και αξονικής θλιπτικής δύναμης και αφετέρου δεν θα υπάρξει απώλεια ευστάθειας (τοπική ή στο σύνολο της κατασκευής).

Ο έλεγχος θα γίνεται προς κάθε διεύθυνση στην οποία ενδέχεται να υπάρξει αστοχία λόγω των φαινομένων της 2ας τάξεως.

Ο ακριβής έλεγχος των φαινομένων 2ας τάξεως απαιτεί ανάλυση της κατασκευής με στατική 2ας τάξεως και εν συνεχεία έλεγχο έναντι μεγεθών ορθής εντάσεως των κρίσιμων διατομών των μελών της κατασκευής. Η ανάλυση αυτή είναι όμως δυσχερής λόγω της γεωμετρικής μη-γραμμικότητας και της μη-γραμμικότητας των καταστατικών νόμων των υλικών (σκυροδέματος και χάλυβα). Γενικώς επιτρέπεται έλεγχος μεμονωμένων υποστυλωμάτων και πλαισίων με προσεγγιστικές μεθόδους, λεπτομέρειες των οποίων δίνονται στις επόμενες παραγράφους του Κεφαλαίου αυτού.

Η προσεγγιστική μεθοδολογία ελέγχου μεμονωμένων υποστυλωμάτων έναντι φαινομένων 2ας τάξεως συνοψίζεται στα εξής:

- Προσδιορισμός εάν το υποστύλωμα είναι ευλύγιστο ή μη (βλ. παρ. 14.4.6.β)). Μόνο τα ευλύγιστα υποστυλώματα χρειάζεται να ελεγχθούν έναντι των φαινομένων 2ας τάξεως.
- Επιλογή μεθοδολογίας ελέγχου των ευλύγιστων υποστυλωμάτων.

Η προσεγγιστική μεθοδολογία ελέγχου πλαισίων έναντι φαινομένων 2ας τάξεως συνοψίζεται στα εξής:

- Προσδιορισμός εάν το πλαίσιο είναι αμετάθετο ή μεταθετό (βλ. παρ. 14.3.1). Ο σχεδιασμός κτιρίων με μεταθετά πλαίσια δέον να αποφεύγεται για λόγους αντισεισμικής συμπεριφοράς.

#### **14.3.1 Ορισμός αμεταθετότητας πλαισίων**

Η παράγραφος (α) έχει ληφθεί από τον ΕΑΚ.

- Τα αμετάθετα πλαίσια επιτρέπεται να αναλύονται με στατική 1ης τάξεως, δηλ. αγνοώντας τα φαινόμενα 2ας τάξεως στην ανάλυση, αλλά εν συνεχεία επιβάλλεται κάθε υποστύλωμα να ελέγχεται μεμονωμένα, με τα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από την ανάλυση, έναντι των φαινομένων 2ας τάξεως.

### 14.3 ΑΜΕΤΑΘΕΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Αμετάθετα είναι τα πλαίσια των οποίων οι κόμβοι παρουσιάζουν πολύ μικρές μετατοπίσεις υπό τις δράσεις σχεδιασμού.

Συγκεκριμένα, αμετάθετα είναι τα πλαίσια στα οποία η σχετική αύξηση των καμπτικών ροπών λόγω των παραμορφώσεων δεν είναι μεγαλύτερη από 10%. Θεωρείται ότι ο έλεγχος αυτός εξασφαλίζεται μέσω των πρακτικών κριτηρίων αμεταθετότητας που δίνονται παρακάτω.

Για λόγους αντισεισμικής συμπεριφοράς συνιστάται εν γένει ο σχεδιασμός αμετάθετων πλαισίων.

#### 14.3.1 Ορισμός αμεταθετότητας πλαισίων

Τα πλαίσια μπορούν να θεωρηθούν ως αμετάθετα όταν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις των παρ. α ή β που ακολουθούν:

- α) Γενικώς εάν σε κάθε όροφο ικανοποιείται η σχέση

$$\theta = \frac{N_{ολ} \cdot \Delta}{V_{ολ} \cdot h} \leq 0.10 \dots\dots\dots (14.1)$$

όπου:

$N_{ολ}, V_{ολ}$  είναι αντίστοιχα η συνολική αξονική και τέμνουσα δύναμη των κατακόρυφων στοιχείων του ορόφου,

$h$  είναι το ύψος του ορόφου,

$\Delta$  είναι η υπολογιστική σχετική μετακίνηση των πλακών του ορόφου. Η τιμή του  $\Delta$  θα λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\Delta = q \cdot \Delta_{ελ}$$

όπου:

$q$  είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση,

$\Delta_{ελ}$  είναι η σχετική μετακίνηση των πλακών του ορόφου, μετρούμενη στο επίπεδο του δυσμενέστερου περιμετρικού πλαισίου, όπως προκύπτει από ελαστική ανάλυση είτε με την

Για ακριβέστερη εφαρμογή αυτού του κριτηρίου αμεταθετότητας βλ. Παράρτημα Β των Σχολίων.

Ως υπόγειος θεωρείται ο όροφος που ευρίσκεται εν όλω ή εν μέρει εντός του εδάφους και έχει τοιχώματα σκυροδέματος, μονολιθικά συνδεδεμένα με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία, έτσι ώστε οι στάθμες οροφής και δαπέδου να έχουν πρακτικώς μηδενική σχετική μετατόπιση υπό οριζόντια φορτία.

Σε συνήθεις περιπτώσεις, με επαρκή διαφραγματική λειτουργία, η αναλογική διάταξη και κατά τις δύο κύριες ορθογώνιες διευθύνσεις του κτιρίου τοιχωμάτων σκυροδέματος που συνδέουν μονολιθικώς κατακόρυφα στοιχεία (υποστυλώματα και τοιχώματα), περιμετρικά ή μη, και έχουν συνολικώς μήκος ίσο τουλάχιστον με το 80% του μήκους της περιμέτρου του κτιρίου, θεωρείται ότι καλύπτει την προηγούμενη απαίτηση περί σχετικής αμεταθετότητας.

Για τον υπολογισμό της συνολικής ακαμψίας των κατακόρυφων στοιχείων συνιστάται να λαμβάνεται υπόψη η ακαμψία σταδίου I για τα υποστυλώματα και τα 2/3 της ακαμψίας σταδίου I για τα τοιχώματα.

#### 14.3.2 Πρόσθετη κλίση

Τέτοιες επιρροές είναι αποκλίσεις των διαστάσεων του συστήματος κατά την κατασκευή, αθέλητες εκκεντρότητες των φορτίων κλπ. Εάν ληφθεί υπόψη η πρόσθετη κλίση τότε δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η πρόσθετη εκκεντρότητα (παρ. 14.4.3) για τον έλεγχο των μεμονωμένων δομικών στοιχείων.

Σε αυτήν την πρόσθετη κλίση δεν περιλαμβάνονται διαφορικές καθιζήσεις και στροφές θεμελίων λόγω εδάφους. Αυτές πρέπει να λαμβάνονται επιπροσθέτως υπόψη στον υπολογισμό για ορισμένες περιπτώσεις ειδικών κατασκευών και δυσμενών εδαφικών συνθηκών.

Η πρόσθετη κλίση μπορεί να αντικατασταθεί με ισοδύναμες οριζόντιες δυνάμεις.

ισοδύναμη στατική μέθοδο είτε με τη δυναμική μέθοδο.

Ο περιορισμός του  $\theta$  πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά σε δυο ορθογώνιες διευθύνσεις X και Y.

- β) Για συνήθη οικοδομικά έργα, εάν τα κατακόρυφα στοιχεία ακαμψίας είναι επαρκώς ομοιόμορφα κατανεμημένα μέσα στο κτίριο και στη βάση του κτιρίου ικανοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$h_{\text{tot}} \sqrt{F_v / E_{\text{cm}} I} \leq 0.20 + 0.10n \quad \text{για} \quad n \leq 3 \quad \dots\dots\dots (14.2)$$

$$h_{\text{tot}} \sqrt{F_v / E_{\text{cm}} I} \leq 0.60 \quad \text{για} \quad n \geq 4 \quad \dots\dots\dots (14.3)$$

όπου:

- n            αριθμός ορόφων,
- $h_{\text{tot}}$         ολικό ύψος κατασκευής μετρούμενο από την υποτιθέμενη πάκτωση (δηλ. άνω στάθμη θεμελίων ή στάθμη οροφής πρακτικά απαραμόρφωτων υπογείων),
- $E_{\text{cm}} I$         συνολική ακαμψία των κατακόρυφων στοιχείων (π.χ. τοιχώματα ή υποστυλώματα μη διακοπτόμενα καθ' ύψος) που εξασφαλίζουν το αμετάθετο των κόμβων κατά την υπόψη διεύθυνση (βλ. παρ. 2.5.2 για το  $E_{\text{cm}}$ ). Τα κατακόρυφα αυτά στοιχεία πρέπει να έχουν σταθερή διατομή σε όλο το ύψος του κτιρίου, διαφορετικά θα υπολογίζεται μία ισοδύναμη ακαμψία.
- $F_v$             άθροισμα όλων των κατακόρυφων φορτίων λειτουργίας ( $G_k + Q_k$ ), δηλ. για  $\gamma_f = 1$ .

**14.3.2 Πρόσθετη κλίση**

Για κάλυψη διαφόρων επιρροών, πρέπει στον υπολογισμό (κατά την παρ. 14.3.1.α) να λαμβάνεται υπόψη μια πρόσθετη κλίση «α» όλων των κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλώματα, τοιχώματα κλπ.) ως προς την κατακόρυφο με τιμή

$$\alpha = \frac{1}{100\sqrt{h_{\text{tot}}}} \text{ rad} \quad \dots\dots\dots (14.4)$$

όπου:

$h_{\text{tot}}$     ολικό ύψος κατασκευής (σε m).

όταν τα φαινόμενα 2ας τάξης δεν είναι αμελητέα  $\alpha \geq 1/200$ , ενώ όταν είναι αμελητέα  $\alpha \geq 1/400$ .

Επιπρόσθετα επιτρέπεται για την περίπτωση κτιρίων με υποστυλώματα, που σε





όλους τους ορόφους συντρέχουν σε κόμβους με δοκούς, ώστε να μορφώνεται πλαίσιο στη δεδομένη διεύθυνση, να πολλαπλασιάζεται η παραπάνω τιμή του  $a$  επί τον μειωτικό συντελεστή  $\sqrt{(1 + 1/n)/2}$

όπου:

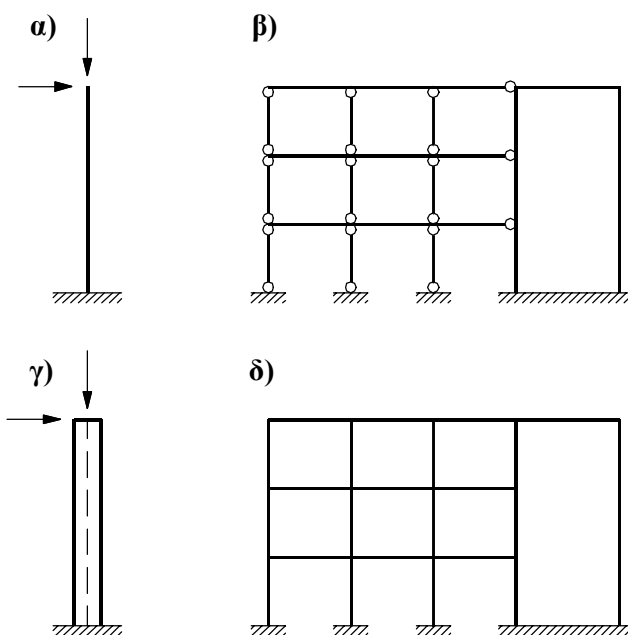
$n$  ο αριθμός των στηλών υποστυλωμάτων.

## 14.4 ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΘΛΙΒΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 14.4.1 Γενικά

Μεμονωμένα θλιβόμενα στοιχεία μπορεί να είναι:

- Μεμονωμένα υποστυλώματα (Σχήμα 14.1.α) και β))
- Θλιβομενα στοιχεία τμήματα φέροντα οργανισμού, τα οποία για τους σκοπούς της μελέτης θεωρούνται ως μεμονωμένα υποστυλώματα (Σχήμα 14.1.γ) και δ)) με μήκος λυγισμού  $\ell_0$  κατά την παρ. 14.4.2.



- α) μεμονωμένο υποστύλωμα
- β) αρθρωτά συνδεδεμένα υποστυλώματα σε αμετάθετα πλαίσια φέροντα οργανισμού
- γ) ευλύγιστο στοιχείο παγιώσεως, θεωρούμενο ως μεμονωμένο υποστύλωμα
- δ) πακτωμένα υποστυλώματα σε αμετάθετο φέροντα οργανισμό

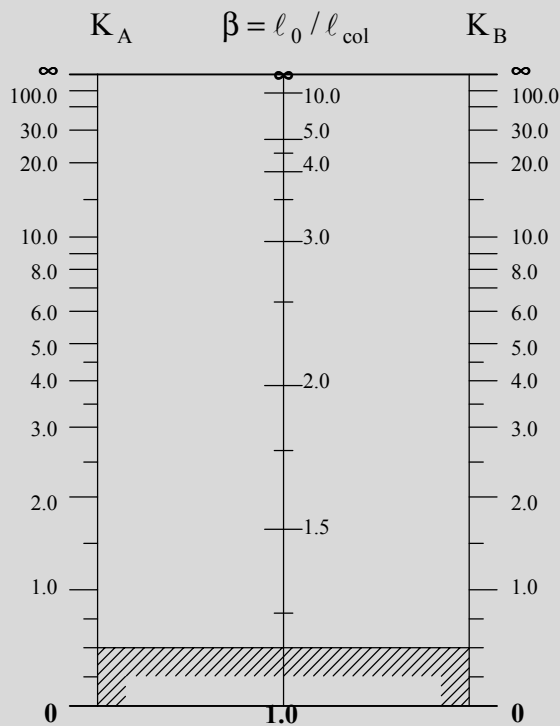
Σχήμα 14.1: Τύποι μεμονωμένων υποστυλωμάτων

### 14.4.2 Μήκος λυγισμού

Για μεμονωμένα θλιβομενα στοιχεία (βλ. Σχήμα 14.1.α) και γ)), το μήκος λυγισμού επιτρέπεται προσεγγιστικά να ληφθεί ίσο με  $l_0 = l_{col}$ .

Υπολογιστικές τιμές μικρότερες του 0.4 αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλο βαθμό πακτώσεως, που στην πράξη είναι ανέφικτο να επιτευχθεί (για μονολιθικές κατασκευές).

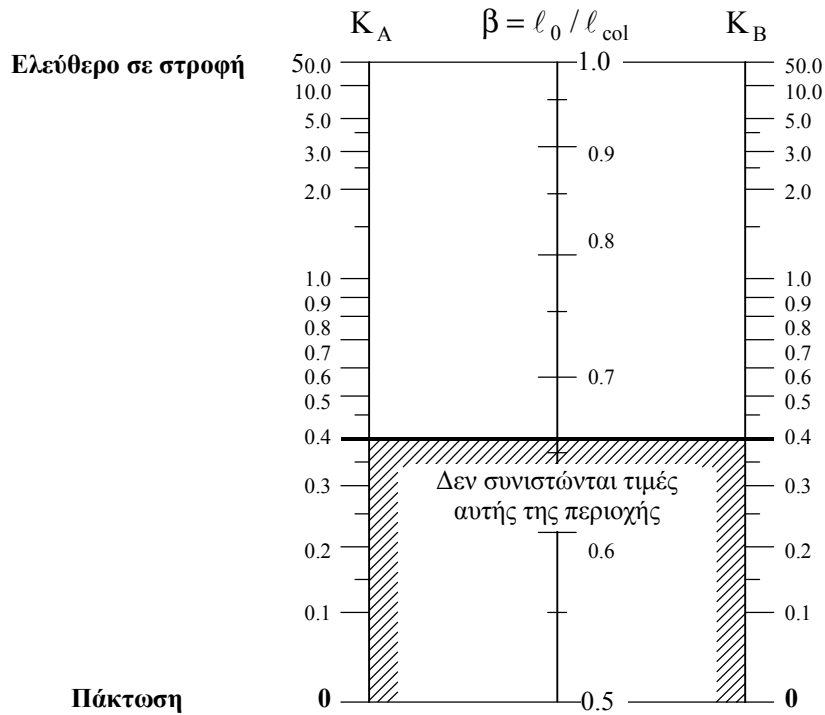
Το αντίστοιχο νομογράφημα για μεταθετά πλαίσια είναι:



Σχήμα Σ 14.1: Νομογράφημα για τον υπολογισμό του ισοδύναμου μήκους υποστυλωμάτων σε μεταθετά πλαίσια

**14.4.2 Μήκος λυγισμού**

Για συνήθη κτίρια, το ισοδύναμο μήκος ενός υποστυλώματος  $\ell_o = \beta \cdot \ell_{col}$  μπορεί να προσδιοριστεί με βάση το Νομογράφημα του Σχήματος 14.2, που δίνεται παρακάτω, όπου οι συντελεστές  $K_A$  και  $K_B$  συμβολίζουν τις δυσκαμψίες πακτώσεως στα άκρα του υποστυλώματος:



Σχήμα 14.2: Νομογράφημα για τον υπολογισμό του ισοδύναμου μήκους υποστυλωμάτων σε αμετάθετα πλαίσια

$$K_A \text{ (ή } K_B) = \frac{\sum (E_{cm} \cdot I_{col} / \ell_{col})}{\sum (E_{cm} \cdot \alpha \cdot I_b / \ell_{eff})} \dots\dots\dots (14.5)$$

όπου:

- $E_{cm}$  μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος (παρ. 2.5.2),
- $I_{col}, I_b$  ροπή αδράνειας (της πλήρους διατομής) του υποστυλώματος ή της δοκού αντιστοίχως,
- $\ell_{col}$  ύψος του υποστυλώματος μεταξύ των κέντρων των δεσμεύσεων στα άκρα,
- $\ell_{eff}$  μήκος δοκού, μετρούμενο μεταξύ των κέντρων των πακτώσεων,
- $\alpha$  συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες πακτώσεως της δοκού στο απέναντί της άκρο,

### 14.4.3 Πρόσθετη εκκεντρότητα

Τέτοιες ατέλειες και αβεβαιότητες σχετίζονται με:

- την αβεβαιότητα ως προς το σημείο εφαρμογής και την διεύθυνση της αξονικής δύναμης (εκτιμώμενης σε 20mm),
- τις αποκλίσεις του ελαστοπλαστικού κέντρου βάρους της διατομής,
- τον προσεγγιστικό τρόπο υπολογισμού του ερπυσμού,
- τις κατασκευαστικές ατέλειες.

- $\alpha = 1.00$  για απέναντι άκρο ελαστικά ή πλήρως πακτωμένο,
- $\alpha = 0.50$  για απέναντι άκρο ελευθέρως στρεπτό,
- $\alpha = 0$  για δοκό πρόβολο.

Τιμές του  $K_A$  ή  $K_B$  μικρότερες του 0.40 δεν συνιστώνται να χρησιμοποιούνται.

#### 14.4.3 Πρόσθετη εκκεντρότητα

Για την κάλυψη ατελειών και αβεβαιοτήτων που δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μια πρόσθετη εκκεντρότητα,  $e_a$ , του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης των εξωτερικών αξονικών δυνάμεων, κατά την περισσότερη δυσμενή διεύθυνση, που δίνεται από τη σχέση:

$$e_a = \alpha \frac{\ell_o}{2} \dots\dots\dots (14.6)$$

όπου:

$\alpha$  απόκλιση του υποστυλώματος από την κατακόρυφο ίση με

$$\alpha = \frac{1}{100\sqrt{\ell_{col}}} \text{ rad} \dots\dots\dots (14.7)$$

$\ell_o$  μήκος λυγισμού του μεμονωμένου θλιβόμενου στοιχείου (βλ. παρ. 14.4.1. και 14.4.2),

$\ell_{col}$  υψος υποστυλώματος (σε m).

όταν τα φαινόμενα 2ας τάξης δεν είναι αμελητέα  $\alpha \geq 1/200$  ενώ όταν είναι αμελητέα  $\alpha \geq 1/400$ .

#### 14.4.4 Εκκεντρότητες υπολογισμού

Η ολική εκκεντρότητα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό υποστυλώματος σταθερής διατομής (σκυροδέματος και οπλισμού) στην πλέον εντεινόμενη διατομή (κρίσιμη διατομή) είναι:

$$e_{tot} = e_0 + e_a + e_2 \dots\dots\dots (14.8)$$

όπου:

$e_0$  εκκεντρότητα 1ης τάξεως =  $M_{Sd1} / N_{Sd}$ ,

$M_{Sd1}$  δρώσα ροπή σχεδιασμού 1ης τάξεως,

$N_{Sd}$  δρώσα αξονική δύναμη σχεδιασμού,

$e_a$  πρόσθετη εκκεντρότητα σύμφωνα με την εξίσωση (14.6),

$e_2$  εκκεντρότητα 2ας τάξεως, χρησιμοποιώντας τις προσεγγιστικές μεθόδους της παρ. 14.4.7.1.

#### **14.4.5 Επιρροή του ερπυσμού**

Ως σημαντική αύξηση θεωρείται σύμφωνα με την παρ. 14.1, η αύξηση των ροπών πέραν του 10%.

Για συνήθη οικοδομικά έργα (κτίρια) η επιρροή του ερπυσμού δεν είναι σημαντική και επομένως επιτρέπεται να μην λαμβάνεται υπόψη.

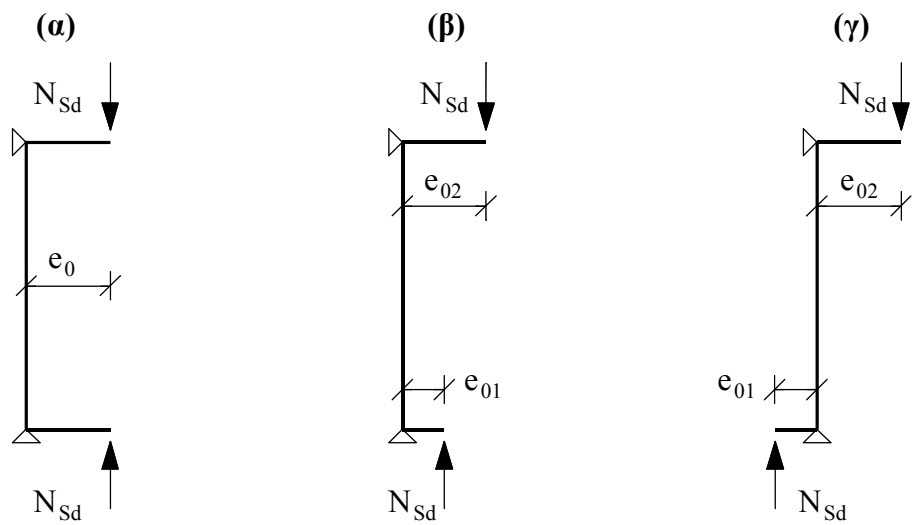
#### **14.4.6 Έλεγχος λυγηρότητας**

Απλοποιητικώς, τα χαρακτηριστικά  $A_c$  και  $I_c$  αναφέρονται στην διατομή σκυροδέματος μόνο.

Στα υποστυλώματα σταθερής διατομής (σκυροδέματος και οπλισμού) που καταπονούνται με ροπές των οποίων το διάγραμμα μεταβάλλεται γραμμικά και οι εκκεντρότητες τους στα άκρα έχουν διαφορετικές τιμές ή / και πρόσημα (βλ. Σχήμα 14.3), λαμβάνεται ως  $e_0$  στην κρίσιμη διατομή η μεγαλύτερη από τις ακόλουθες τιμές:

$$e_0 = 0.6 \cdot e_{02} + 0.4 \cdot e_{01} \dots\dots\dots (14.9)$$

$$e_0 = 0.4 \cdot e_{02}, \text{ για } |e_{02}| \geq |e_{01}| \dots\dots\dots (14.10)$$



Σχήμα 14.3: Εκκεντρότητες στα άκρα του υποστυλώματος

**14.4.5 Επιρροή του ερπυσμού**

Η επιρροή του ερπυσμού πρέπει εν γένει να λαμβάνεται υπόψη εάν οδηγεί σε σημαντική αύξηση των φαινομένων 2ας τάξεως.

Στα αμετάθετα πλαίσια οι ερπυστικές παραμορφώσεις επιτρέπεται να παραλείπονται όταν τα λυγηρά θλιβομενα στοιχεία συνδέονται μονολιθικά στα άκρα τους με πλάκες, δοκούς ή θεμέλια.

**14.4.6 Έλεγχος λυγηρότητας**

α) Η λυγηρότητα  $\lambda$  ισούται με

$$\lambda = \ell_0 / i \dots\dots\dots (14.11)$$

όπου:

#### 14.4.7.1 Γενικά

Για λυγηρότητας  $\lambda > 140$  πρέπει να εφαρμόζονται ακριβέστερες μέθοδοι.

Γενικώς, δεν επιτρέπονται λυγηρότητες  $\lambda > 200$ .

Ο συντελεστής  $K_2$  λαμβάνει υπόψη του τη μείωση της καμπυλότητας  $1/r$  με την αύξηση του αξονικού φορτίου.

Γενικώς, η παραδοχή  $K_2 = 1$  ευρίσκεται προς την πλευρά της ασφάλειας.



$\ell_o$     ισοδύναμο μήκος, το οποίο υπολογίζεται με βάση την παρ. 14.4.2,  
 $i$        ακτίνα αδρανείας του υποστυλώματος κατά την εξεταζόμενη  
 διεύθυνση

$$i = \sqrt{I_c / A_c} \dots\dots\dots (14.12)$$

β) Ένα μεμονωμένο υποστύλωμα θεωρείται ευλύγιστο εάν ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη:

$$\lambda > \max \left( 25, \frac{15}{\sqrt{v_d}} \right) \dots\dots\dots (14.13)$$

όπου  $v_d$  ανηγμένη αξονική δύναμη σχεδιασμού υπό το βασικό συνδυασμό οριακής κατάστασης αστοχίας.

$$v_d = \frac{|N_{Sd}|}{A_c \cdot f_{cd}} \dots\dots\dots (14.14)$$

γ) Υποστυλώματα σε αμετάθετα συστήματα χωρίς εγκάρσια φορτία μεταξύ των ακρών των δεν απαιτείται να υπολογιστούν κατά την θεωρία 2ας τάξεως και όταν ακόμη δεν ικανοποιούν τη συνθήκη (14.13) εφόσον η λυγηρότητάς τους είναι μικρότερη ή ίση με την τιμή κατά την εξίσωση (14.15).

$$\lambda_{crit} = 25 \cdot (2 - e_{01} / e_{02}) \text{ με } |e_{02}| \geq |e_{01}| \dots\dots\dots (14.15)$$

Τα άκρα του υποστυλώματος πρέπει να διαστασιολογηθούν για τα ακόλουθα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού αντοχής:

$$M_{Rd} \geq N_{Sd} \cdot h / 20 \dots\dots\dots (14.16)$$

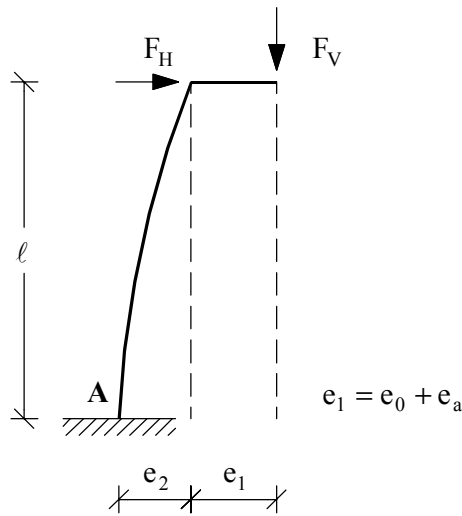
$$N_{Rd} \geq N_{Sd} \dots\dots\dots (14.17)$$

**14.4.7 Έλεγχος μεμονωμένων θλιβόμενων στοιχείων**

**14.4.7.1 Γενικά**

Για τον έλεγχο μεμονωμένων θλιβόμενων στοιχείων εφαρμόζεται η μέθοδος πρότυπου υποστυλώματος όταν  $\lambda \leq 140$  και σε ορθογωνικές ή κυκλικές διατομές στις οποίες η εκκεντρότητα 1ης τάξεως ικανοποιεί τη συνθήκη  $e_o \geq 0.10h$  ( $h$  = ύψος της διατομής στο επίπεδο υπό έλεγχο).





Σχήμα 14.4: Πρότυπο υποστύλωμα

«Πρότυπο» υποστύλωμα είναι ένα κατακόρυφο στοιχείο που:

- είναι πακτωμένο στη βάση και ελεύθερο στην κορυφή (Σχήμα 14.4),
- κάμπτεται με απλή καμπυλότητα λόγω φορτίων (αξονικών ή συγκεντρωμένων / κατανεμημένων οριζόντιων) ή / και ροπής στην κορυφή,
- έχει πρακτικώς σταθερές διαστάσεις διατομής και σταθερούς οπλισμούς καθ' ύψος,
- το μέγιστο βέλος  $e_2$  (εκκεντρότητα 2ας τάξεως) και η καμπυλότητα,  $1/r$ , στη βάση του υποστυλώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι συνδέονται μέσω της προσεγγιστικής σχέσης.

14

$$e_2 = K_1 \frac{\ell_o^2}{10} \frac{1}{r} \dots\dots\dots (14.18)$$

όπου:

- $\ell_o$  =  $2\ell$  μήκος λυγισμού
- $1/r$  καμπυλότητα στη βάση
- $K_1 = \lambda/10 - 2.5$  για  $25 \leq \lambda \leq 35$
- $K_1 = 1$  για  $\lambda > 35$ .

Σε περιπτώσεις όπου δεν χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια, η καμπυλότητα  $1/r$  μπορεί να υπολογιστεί απλοποιητικά από τη σχέση:

#### **14.4.7.2 Διαξονική Κάμψη**

Η ικανοποίηση μιας από αυτές τις συνθήκες εξασφαλίζει ότι η αξονική δύναμη βρίσκεται σε μία από τις διαγραμμισμένες περιοχές της διατομής του Σχήματος 14.5.

Εάν δεν ικανοποιείται μια από τις συνθήκες (14.21) ή (14.22), τότε απαιτείται ακριβής ανάλυση.

$$\frac{1}{r} = \frac{2 \cdot K_2 \cdot \varepsilon_{yd}}{0.90 \cdot d} \dots\dots\dots (14.19)$$

όπου:

- $\varepsilon_{yd}$  ανηγμένη παραμόρφωση στο όριο διαρροής του οπλισμού  
=  $f_{yd} / E_s$
- $d$  στατικό ύψος της διατομής στο επίπεδο υπό έλεγχο

$$K_2 = \frac{N_{Rd} - N_{Sd}}{N_{Rd} - N_{bal}} \leq 1.00 \dots\dots\dots (14.20)$$

όπου:

- $N_{Rd}$  αξονικό φορτίο αντοχής σχεδιασμού σε κεντρική θλίψη  
=  $0.85 \cdot f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s$
- $N_{Sd}$  δρον αξονικό φορτίο σχεδιασμού
- $N_{bal}$  φορτίο, το οποίο όταν ασκείται στη διατομή μεγιστοποιείται η ροπή αντοχής. Για συμμετρικά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές, μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά ίσο με  $0.40 \cdot f_{cd} \cdot A_c$ .

**14.4.7.2 Διαξονική Κάμψη**

Ο έλεγχος υποστυλωμάτων υπό διαξονική κάμψη με αξονική θλιπτική δύναμη έναντι φαινομένων 2ας τάξεως πρέπει εν γένει να γίνει με κατάλληλες ακριβείς μεθόδους.

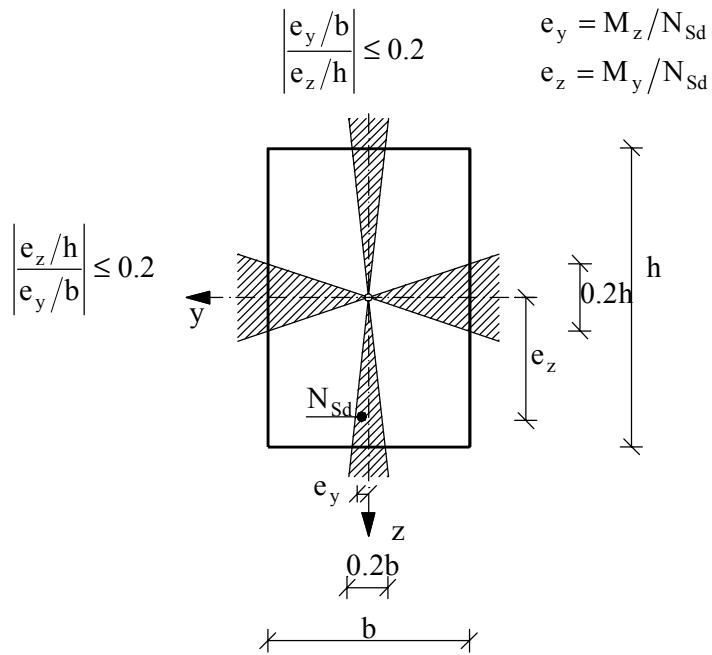
Σε υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής, επιτρέπεται χάριν απλοποίησης να γίνουν χωριστοί έλεγχοι έναντι φαινομένων 2ας τάξεως στα δύο κύρια επίπεδα y και z (δηλ. δύο έλεγχοι μονοαξονικής κάμψεως και θλιπτικής δύναμης) υπό την προϋπόθεση ότι οι λόγοι των αντίστοιχων εκκεντρότητων  $e_y / b$  και  $e_z / h$  ικανοποιούν μία από τις παρακάτω συνθήκες:

$$(e_z / h) / (e_y / b) \leq 0.20 \dots\dots\dots (14.21)$$

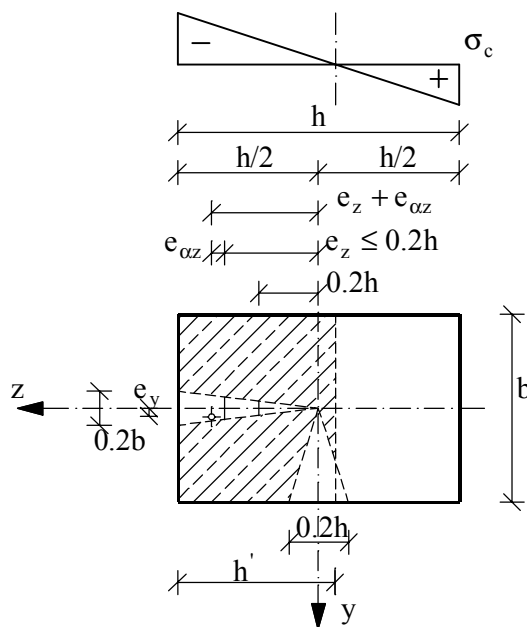
$$(e_y / b) / (e_z / h) \leq 0.20 \text{ και } e_z \leq 0.2 \cdot h \dots\dots\dots (14.22)$$

Οι εκκεντρότητες  $e_y$  και  $e_z$  είναι οι εκκεντρότητες 1ης τάξεως στην κατεύθυνση των διαστάσεων b και h της διατομής αντιστοίχως. Οι γεωμετρικές ατέλειες της παρ. 14.4.3 θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα επίπεδα των δύο χωριστών ελέγχων.





Σχήμα 14.5: Παραδοχή για χωριστούς ελέγχους στα δύο κύρια επίπεδα



Σχήμα 14.6: Χωριστός έλεγχος περί τον δευτερεύοντα άξονα όταν  $e_z \leq 0.20h$





Εάν  $e_z > 0.20h$ , στους παραπάνω χωριστούς ελέγχους πρέπει ο έλεγχος για κάμψη περί τον δευτερεύοντα άξονα της διατομής ( $z$  στο παραπάνω σχήμα) να βασίζεται στο μειωμένο πλάτος  $h'$  όπως δίνεται στο σχήμα 14.6. Η τιμή του  $h'$  μπορεί να προσδιοριστεί με την παραδοχή της γραμμικής κατανομής των τάσεων, δηλ. από τη σχέση:

$$N_{Sd} / A_c - N_{Sd} (e_z + e_{az}) / W_{cz} = 0 \dots\dots\dots (14.23)$$

όπου:

$W_{cz}$  ροπή αντιστάσεως της διατομής σκυροδέματος μόνο,

$e_{az}$  πρόσθετη εκκεντρότητα λόγω γεωμετρικών ατελειών (παρ. 14.4.3) στη διεύθυνση  $z$ .

