

## 9.2 ΔΙΣΚΟΙ

### 9.2.1 Μέθοδοι ανάλυσης

Οι δυνάμεις που ενεργούν στο μέσο επίπεδο ενός δίσκου μπορούν να προσδιοριστούν με βάση:

- ελαστική ανάλυση
- πλαστική ανάλυση
- μέθοδο θλιπτήρων – ελκυστήρων.

### 9.2.2 Ελαστική ανάλυση

Η ελαστική ανάλυση βασίζεται σε γραμμική σχέση τάσεων - παραμορφώσεων (νόμος Hooke). Ελαστική ανάλυση μπορεί να γίνει με βάση τις ονομαστικές διατομές και με τιμή του λόγου του Poisson μεταξύ 0.00 και 0.20.

Τα αποτελέσματα ελαστικής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ελέγχους και έναντι οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας και έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας.

### 9.2.3 Πλαστική ανάλυση

Η πλαστική ανάλυση μπορεί να βασισθεί μόνον σε στατικές μεθόδους.

Η πλαστική ανάλυση μπορεί καταρχήν να χρησιμοποιηθεί μόνο για έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας.

Παρόλα αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για έλεγχο οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας, εάν οι διαφορές μεταξύ της κατανομής της έντασης που προκύπτει από την πλαστική ανάλυση και της κατανομής της έντασης που προκύπτει από γραμμική ανάλυση είναι αποδεκτές για την υπόψη οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

## ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΠΟ ΜΕΓΕΘΗ ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

### 10.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τους κανόνες αυτού του Κεφαλαίου προσδιορίζονται οι τιμές σχεδιασμού των μεγεθών αντοχής.

Ο προσδιορισμός μπορεί να γίνεται είτε αναλυτικά, είτε με βάση διαγράμματα, είτε με βάση πίνακες.

## 10.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Οι κανόνες που ακολουθούν εφαρμόζονται ως έχουν μόνο για γραμμικούς φορείς, όπως καθορίστηκαν στην παρ. 7.2.1.1 και για πλάκες και κελύφη των οποίων ο σπλισμός παρουσιάζει αμελητέα απόκλιση από τις διευθύνσεις των ροπών σχεδιασμού.

## 10.3 ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Για τα πέλματα των πλακοδοκών που υπόκεινται σε εφελκυσμό ισχύει η παρ. 8.4. Επίσης στις περιοχές των στηρίξεων των συνεχών πλακοδοκών, μπορούν να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς αντοχής μόνον οι εφελκυσόμενοι σπλισμοί που περιλαμβάνονται σε ένα πλάτος πλάκας όπως καθορίζεται από την παρ. 18.3.2 (Σχήμα Σ18.12).

## 10.4 ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΜΕ ΣΥΝΑΦΕΙΑ

### 10.4.1 Παραδοχές

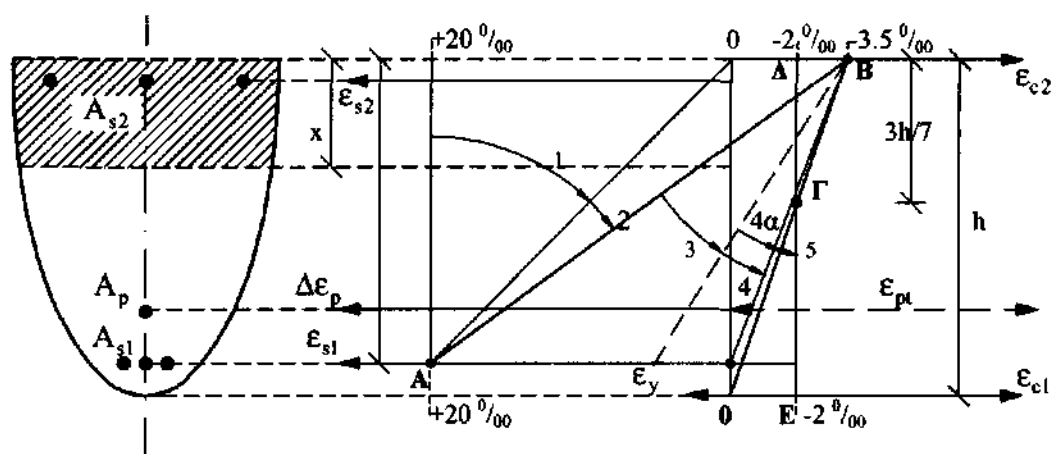
Ο υπολογισμός της αντοχής βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές, οι οποίες συμπληρώνονται με τις παραδοχές των παρ. 10.4.2, 10.4.3 και 10.4.4:

- α) η διατομή παραμένει επίπεδη και κάθετη στον παραμορφωμένο άξονα του στοιχείου,
- β) ο σπλισμός υφίσταται τις ίδιες μεταβολές παραμορφώσεων με το περιβάλλον σκυρόδεμα,
- γ) η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αμελείται,
- δ) η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με:
  - 0.0035 σε κάμψη (καθαρή ή με αξονική δύναμη, ορθή ή λοξή),
  - 0.002 σε κεντρική θλίψη,
- ε) η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του σπλισμού λαμβάνεται ίση με 0.02.

### 10.4.2 Κατανομή των παραμορφώσεων

Οι παραδοχές α, δ και ε της παρ. 10.4.1 συμπληρώνονται όπως παρακάτω:

Για τον υπολογισμό της αντοχής θεωρείται ότι οι ακραίες παραμορφώσεις διέρχονται από ένα από τα τρία σημεία Α, Β ή Γ, τα οποία ορίζονται στο Σχήμα 10.1.

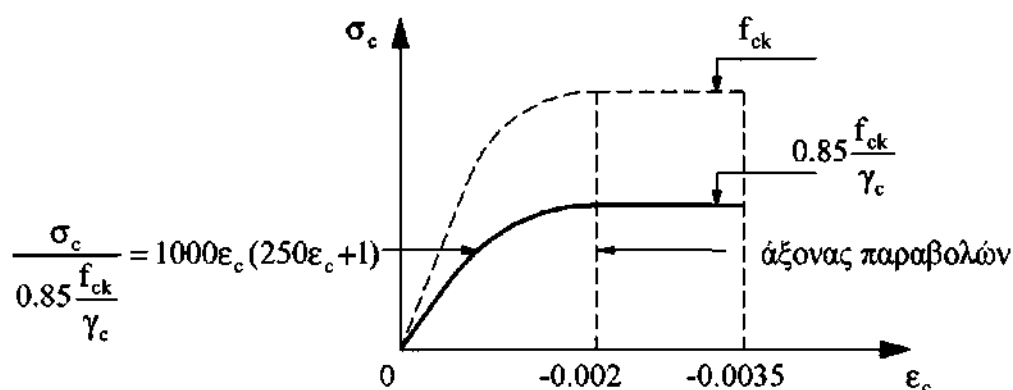


Σχήμα 10.1: Διάγραμμα παραμορφώσεων

### 10.4.3 Ιδεατά διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος

#### 10.4.3.1 Παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα

Κατά τον υπολογισμό της αντοχής μιας διατομής, χρησιμοποιείται για το σκυρόδεμα το ιδεατό διάγραμμα του Σχήματος 10.2.



Σχήμα 10.2: Παραβολικό - ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος

Επιτρέπεται και η χρήση κατάλληλων απλοποιητικών γραμμικοποιημένων διαγραμμάτων τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος, ανάλογα με το μελετώμενο αντικείμενο.

#### 10.4.3.2 Ορθογωνικό διάγραμμα

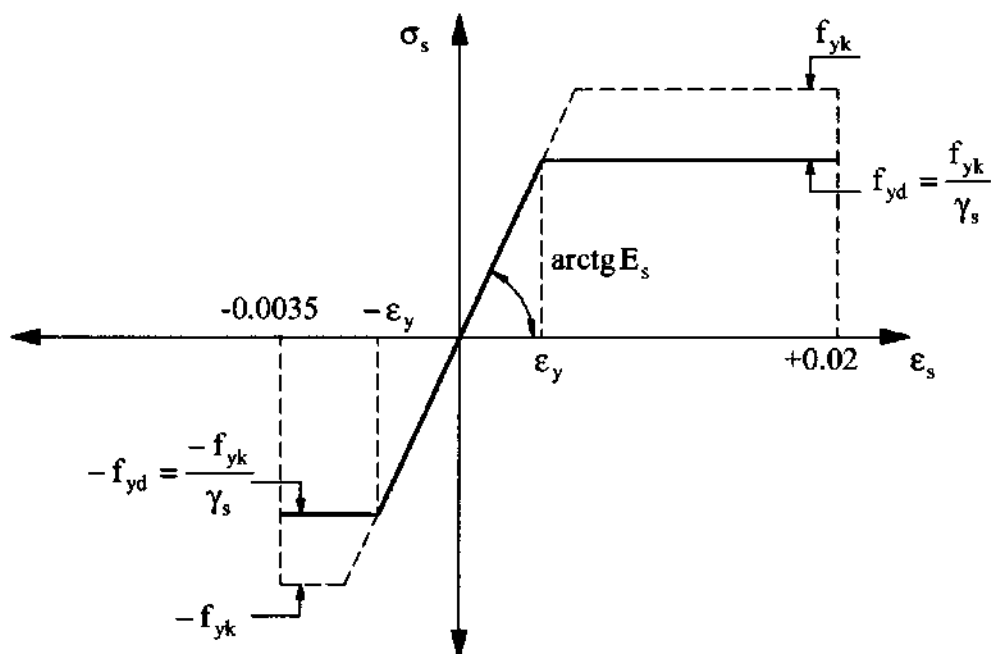
Εάν η διατομή δεν βρίσκεται ολόκληρη υπό θλίψη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία απλοποιημένη ορθογωνική κατανομή των θλιπτικών τάσεων. Η κατανομή αυτή ορίζεται ως εξής (x είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης της διατομής):

- 1) σε ένα μήκος  $0.20x$  από την ουδέτερη γραμμή η τάση είναι μηδέν,
- 2) στο υπόλοιπο ύψος  $0.80x$  η τάση είναι σταθερή και έχει τιμή:

- $0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$  για θλιβόμενες ζώνες σταθερού πλάτους ή ζώνες των οποίων το πλάτος αυξάνει προς τις ίνες που θλιβονται περισσότερο,
- $0.80 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$  για θλιβόμενες ζώνες των οποίων το πλάτος μειώνεται προς τις ίνες που θλιβονται περισσότερο.

#### 10.4.4 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα

Το διάγραμμα σχεδιασμού ενός συνήθους χάλυβα ή ενός χάλυβα προέντασης, προκύπτει από το χαρακτηριστικό τους διάγραμμα μέσω διαίρεσης του ορίου αναλογίας και των τάσεων των μεγαλύτερων του ορίου αναλογίας με τον συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_s$ .



Σχήμα 10.3: Διάγραμμα σχεδιασμού τάσεων - παραμορφώσεων για τον χάλυβα

Το διάγραμμα σχεδιασμού για τους μαλακούς χάλυβες ή τους χάλυβες ψυχρής επεξεργασίας με διέγκυση και /ή εξέλαση δίνεται στο Σχήμα 10.3, όπως προέκυψε από το απλοποιημένο διάγραμμα (παρ. 3.16.1).

#### 10.5 ΤΕΝΟΝΤΕΣ ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑ

Για την χρησιμοποίηση τενόντων χωρίς συνάφεια απαιτείται ειδική έγκριση της Ελεγκτικής Αρχής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

## ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

Οι κανόνες αυτού του Κεφαλαίου εφαρμόζονται για τις δοκούς, τις πλάκες υπό προέχουσα κάμψη και για τα στοιχεία υπό θλίψη, των οποίων οι διαμήκεις οπλισμοί έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με το Κεφάλαιο 10 και τα οποία υπόκεινται συγχρόνως σε τέμνουσες δυνάμεις.

Επίσης εφαρμόζονται για σώματα κόμβων, κορμούς τοιχωμάτων, καθώς και για συνδέσεις κορμού - πελμάτων των πλακοδοκών και τοιχωμάτων.

Υψίκορμες δοκοί ή βραχείς πρόβολοι επιτρέπεται να αναλύονται και να σχεδιάζονται σύμφωνα με τις αρχές των μεθόδων πλαστικής ανάλυσης και θλιπτήρων – ελκυστήρων.

### 11.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

#### 11.1.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός χωρίς οπλισμό διάτμησης περιορίζεται μόνον σε στοιχεία που έχουν μικρή σημασία ή σε στοιχεία με ικανότητα κατανομής του φορτίου σε διεύθυνση κάθετη τόσο προς τα φορτία όσο και προς το άνοιγμα και στα οποία δεν εμφανίζονται σημαντικές ορθές εφελκυστικές δυνάμεις (π.χ. συνήθεις πλάκες).

Για να μην απαιτείται οπλισμός διάτμησης πρέπει, σύμφωνα με την εξίσωση (6.1), η επιβαλλόμενη τέμνουσα σχεδιασμού να ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \dots\dots\dots(11.1)$$

όπου:

$V_{Rd1}$  υπολογίζεται σύμφωνα με την παρ. 11.1.2.

Ο παραπάνω έλεγχος δεν είναι γενικά απαραίτητος για διατομές που βρίσκονται μεταξύ της παρειάς μίας άμεσης στήριξης και μέχρι απόστασης  $d$  από αυτήν. Είναι όμως απαραίτητος αν στο διάστημα αυτό υπάρχουν συγκεντρωμένα φορτία (βλ. παρ. 11.1.2.2), ή αν πρόκειται για παρειά μίας έμμεσης στήριξης.

#### 11.1.2 Αντοχή σε τέμνουσα

##### 11.1.2.1 Προσδιορισμός της $V_{Rd1}$

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd}k(1.20+40 \cdot \rho_{\lambda})+0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w d \dots\dots\dots(11.2)$$

όπου:

$b_w$	το πλάτος του στοιχείου,
$\tau_{Rd}$	τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής σύμφωνα με τον Πίν.11.1.1
$k$	$1.60-d \geq 1.00$ (d σε μέτρα)
$\rho_{sl}$	$\frac{A_{s,sl}}{b_w d} \leq 0.02$
$\sigma_{cp}$	$N_{Sd} / A_c$
$N_{Sd}$	ορθή δύναμη λόγω φόρτισης και προέντασης (θλίψη θετική)
$A_{s,sl}$	διατομή διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού, ο οποίος επεκτείνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η $V_{Rd1}$ κατά $d + \lambda_{b,net}$
$d$	στατικό ύψος. Στην περίπτωση προεντεταμένων στοιχείων για τον προσδιορισμό του d θα λαμβάνεται υπόψη και η θέση των τενόντων στην εξεταζόμενη διατομή.

Πίνακας 11.1: Τιμές της  $\tau_{Rd}$  σε MPa

$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$\tau_{Rd}$	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.48

### 11.1.2.2 Συγκεντρωμένα γραμμικά φορτία στην περιοχή των στηρίξεων

Εάν σε ένα στοιχείο ασκείται συγκεντρωμένο γραμμικό φορτίο σε απόσταση  $a_v < 2.5 \cdot d$  από τον άξονα της στήριξης, η τιμή του  $\tau_{Rd}$  που λαμβάνεται υπόψη στην εξίσωση (11.2) επιτρέπεται να αυξηθεί, πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή

$$\beta = \frac{2.5 \cdot d}{a_v} < 3.00 \dots\dots\dots (11.3)$$

Για να ληφθεί ο συντελεστής  $\beta$  υπόψη στους υπολογισμούς, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- α) Το φορτίο και η αντίδραση στήριξης είναι τέτοια ώστε να προκαλούν διαγώνια θλίψη στο στοιχείο (άμεση στήριξη),
- β) • **Σε ακραία στήριξη:** ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός στην θέση του φορτίου επεκτείνεται μέχρι την στήριξη και αγκυρώνεται πέρα από την εσωτερική παρειά της (την παρειά που βρίσκεται προς την πλευρά εφαρμογής του συγκεντρωμένου φορτίου).

- Σε **ενδιάμεση στήριξη**: ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός στην παρειά της στήριξης επεκτείνεται και αγκυρώνεται πέραν της παρειάς σε μήκος τουλάχιστον  $2.5d + \lambda_{b,net}$  (για το  $\lambda_{b,net}$  βλέπε Κεφ. 17).

## 11.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΟΠΛΙΣΜΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

### 11.2.1 Γενικά

Πρέπει να προβλέπεται ένας ελάχιστος οπλισμός για την ανάληψη τεμνουσών (παρ. 18.1.6, 18.3.4). Η κλίση του οπλισμού διάτμησης ως προς τον άξονα του στοιχείου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $45^\circ$ .

Λοξές ράβδοι θα χρησιμοποιούνται μόνον εφόσον υπάρχουν συγχρόνως και συνδετήρες τοποθετημένοι κατά γωνία  $90^\circ$  ως προς τον διαμήκη άξονα του στοιχείου, με εξαίρεση τον οπλισμό διάτμησης πλακών.

Σε αυτή την περίπτωση ο υπολογισμός θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το ποσοστό της τέμνουσας που αναλαμβάνεται από τους συνδετήρες είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό που αναλαμβάνεται από τις λοξές ράβδους. Στην περίπτωση στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας το ποσοστό που θα αναλαμβάνεται από συνδετήρες θα είναι τουλάχιστον 65%.

Για τον υπολογισμό της αντοχής σε τέμνουσα, η οριακή κατάσταση αστοχίας μπορεί απλοποιητικά να θεωρηθεί ότι χαρακτηρίζεται:

- είτε από διαγώνια θλίψη του σκυροδέματος, η οποία προκαλεί θραύση του κορμού,
- είτε από εφελκυσμό του οπλισμού διάτμησης, ο οποίος φθάνει την αντοχή σχεδιασμού του.

### 11.2.2 Διαδικασία ελέγχου

#### α) Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού:

Οι διαστάσεις του κορμού πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η σχέση:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2} \dots\dots\dots(11.4)$$

όπου το  $V_{Rd2}$  δίνεται από τις σχέσεις (11.7) και (11.8). Η παρειά άμεσης και έμμεσης στήριξης πρέπει απαραίτητα να ελέγχεται.

#### β) Έλεγχος οπλισμού έναντι τεμνουσών:

Ο οπλισμός έναντι τεμνουσών θα υπολογίζεται από την συνθήκη:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} \dots\dots\dots(11.5)$$

όπου:

$$V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd} \dots\dots\dots (11.6)$$

Για διατομές οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από το στατικό ύψος  $d$  από την παρειά μίας άμεσης στήριξης, ο έλεγχος της  $V_{Rd3}$  δεν είναι απαραίτητος, αλλά ο σπλισμός έναντι τεμνουσών που υπολογίζεται για τη διατομή σε απόσταση  $d$  πρέπει να συνεχίζεται μέχρι τη στήριξη.

### 11.2.3 Υπολογισμός αντοχών (τυπική μέθοδος)

#### 11.2.3.1 Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω λοξής θλίψης κορμού

Για γραμμικά στοιχεία και τοιχώματα

$$V_{Rd2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \dots\dots\dots (11.7)$$

όπου:

$$v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.50 \quad (f_{ck} \text{ σε } N/mm^2)$$

$z$  μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων, ίσος με  $0.90d$  συνήθως.

Εάν υπάρχουν ορθές θλιπτικές δυνάμεις η τιμή της  $V_{Rd2}$  που λαμβάνεται από την εξίσωση (11.7) μειώνεται σε  $V_{Rd2,red}$  σύμφωνα με την εξίσωση (11.8).

$$V_{Rd2,red} = 1.67 \cdot V_{Rd2} (1.00 - \sigma_{cp,eff} / f_{cd}) < V_{Rd2} \dots\dots\dots (11.8)$$

όπου:

$$\sigma_{cp,eff} = (N_{sd} - f_{yk} \cdot A_{s2} / \gamma_s) / A_c$$

και

$A_{s2}$  η διατομή του σπλισμού στη θλιβόμενη ζώνη

$f_{yk}$  η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του θλιβόμενου σπλισμού  
( $f_{yk} / \gamma_s \leq 400 N/mm^2$ )

Εάν ο κορμός περιέχει σωλήνες τενόντων διαμέτρου  $\varnothing > b_w / 8$ , η  $V_{Rd2}$  πρέπει να υπολογίζεται με βάση ένα ονομαστικό πλάτος κορμού:

$$b_{w,nom} = b_w - \frac{1}{2} \Sigma \varnothing \dots\dots\dots (11.9)$$

όπου:

$\Sigma \varnothing$  άθροισμα διαμέτρων σωλήνων τενόντων στην δυσμενέστερη στάθμη.



### 11.2.3.2 Τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω οπλισμού διάτμησης

#### 11.2.3.2α Συνδυασμοί δράσεων που δεν περιλαμβάνουν σεισμό

Για όλα τα δομικά στοιχεία

$$V_{cd} = V_{Rd1} \dots\dots\dots (11.10)$$

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} 0.90 \cdot d \cdot f_{ywd} (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (11.11)$$

όπου:

- $A_{sw}$  διατομή οπλισμού διάτμησης,
- $s$  απόσταση μεταξύ ράβδων οπλισμού διάτμησης,
- $\alpha$  γωνία κλίσης οπλισμού διάτμησης.

#### 11.2.3.2β Συνδυασμοί δράσεων που περιλαμβάνουν σεισμό

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις αναλόγως της τιμής του λόγου  $v_d = N_{Sd} / A_c f_{cd}$ , όπου ως  $N_{Sd}$  λαμβάνεται η δρώσα αξονική δύναμη σχεδιασμού υπό τα οιοει μόνιμα φορτία μόνο ( $G_k + \sum \Psi_{2,i} Q_{k,i}$ ), βλ. παρ. 6.4.1.2.

##### I. Για $v_d > -0.10$ (στοιχεία κυρίως καμπτόμενα)

Ο όρος  $V_{cd}$  λαμβάνεται μειωμένος στις εξής περιοχές στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας:

- α) Για γραμμικά στοιχεία, στις κρίσιμες περιοχές που ορίζονται στην παρ. 18.3.3 και 18.4.5.

$$V_{cd} = 0.30 \cdot V_{Rd1} \dots\dots\dots (11.12)$$

- β) Για τοιχώματα, στην κρίσιμη περιοχή που ορίζεται στην παρ. 18.5.2.

$$V_{cd} = 0.25 \cdot V_{Rd1} \dots\dots\dots (11.13)$$

Εκτός των παραπάνω περιοχών, καθώς και σε στοιχεία χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η τιμή του  $V_{cd}$  υπολογίζεται για γραμμικά στοιχεία και για τοιχώματα από την εξίσωση (11.10).

Για τον όρο  $V_{wd}$  ισχύουν τα ακόλουθα:

- 1) Στην περίπτωση γραμμικών στοιχείων, η συμβολή του οπλισμού κορμού στην αντοχή σε τέμνουσα εξαρτάται από την τιμή του λόγου  $\zeta$ , όπου το  $\zeta$  είναι ο λόγος της ελάχιστης προς την μέγιστη τέμνουσα σε μία διατομή ( $+1 \geq \zeta \geq -1$ ):

α) Για  $\zeta \geq -0.50$

Η τιμή του  $V_{wd}$  υπολογίζεται από την εξ. (11.11).

β) Για  $\zeta < -0.50$

$$\text{Αν } V_{Sd} \leq 4.50 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (11.14)$$

η τιμή του  $V_{wd}$  υπολογίζεται από την εξ. (11.11).

$$\text{Αν } V_{Sd} \geq 9.00 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (11.15)$$

όλη η τέμνουσα πρέπει να αναληφθεί από δισδιαγώνιο οπλισμό κατά μήκος του κορμού. Δηλαδή, από ράβδους κεκλιμένες κατά δύο διευθύνσεις, οι οποίες εξισορροπούν με τις θλιπτικές και εφελκυστικές συνιστώσες τους τις τέμνουσες με αντίθετο πρόσημο.

Αν η  $V_{Sd}$  είναι μεταξύ των τιμών (11.14) και (11.15), η μισή τέμνουσα πρέπει να παραλαμβάνεται με συνδετήρες και η άλλη μισή με δισδιαγώνιες ράβδους.

Στην περίπτωση των τοιχωμάτων ισχύουν τα εξής:

α) Όταν ο λόγος διατμήσεως  $\alpha_s (= M_{Sd} / V_{Sd} \cdot \lambda_w)$  είναι μεγάλος ( $\alpha_s \geq 2.00$ ) ο όρος  $V_{wd}$  υπολογίζεται όπως και για τα γραμμικά στοιχεία.

β) Όταν ο λόγος διατμήσεως  $\alpha_s (= M_{Sd} / V_{Sd} \cdot \lambda_w)$  είναι μικρός ( $\alpha_s \leq 1.30$ ) ο όρος  $V_{wd}$  υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (εμπειρική):

$$V_{wd} = [\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot (\alpha_s - 0.30) + \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot (1.30 - \alpha_s)] \cdot b_w \cdot z$$

όπου:

$\rho_h, \rho_v$  ποσοστό οπλισμού οριζόντιου και κατακόρυφου οπλισμού κορμού

$f_{yd,h}, f_{yd,v}$  τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οριζόντιου και κατακόρυφου οπλισμού

Σε περίπτωση όπου  $\alpha_s < 0.30$  θα λαμβάνεται υπόψη  $\alpha_s = 0.30$ .

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ελέγχεται ότι

$$\rho_v \cdot f_{yd,v} / \rho_h \cdot f_{yd,h} \leq 1.00.$$

γ) Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου  $\alpha_s$  ( $2.00 > \alpha_s > 1.30$ ) πρέπει να διατάσσονται:

γ.1. Οριζόντιος οπλισμός κορμού, ικανός να παραλάβει δύναμη  $V_{sd} - V_{cd}$ , δηλ.

$$\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_w \cdot d_e = V_{sd} - V_{cd}$$

γ.2 Κατακόρυφος οπλισμός κορμού, ικανός να παραλάβει δύναμη  $V_{sd} - V_{cd} - \min N_{sd}$ , δηλ.

$$\rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot b_w \cdot d_e = V_{sd} - V_{cd} - \min N_{sd}$$

όπου η  $N_{sd}$  λαμβάνεται με θετικό πρόσημο όταν είναι θλιπτική.

δ) Οι οριζόντιοι οπλισμοί κορμού των τοιχωμάτων πρέπει να είναι πλήρως αγκυρωμένοι στα περισφιγμένα άκρα (παρ. 18.5.3). Αν έχουν τη μορφή επιμήκων κλειστών συνδετήρων λαμβάνονται πλήρως υπόψη στον υπολογισμό της απαιτούμενης περισφίξεως των άκρων των τοιχωμάτων (παρ. 18.5.3).

ε) Οι κατακόρυφοι οπλισμοί κορμού των τοιχωμάτων πρέπει να αγκυρώνονται κατάλληλα και να ενώνονται με υπερκαλύψεις καθ' ύψος (παρ. 17.7.2). Αν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά συνάφειας με τους οπλισμούς των περισφιγμένων άκρων λαμβάνονται πλήρως υπόψη στον υπολογισμό της ροπής αντοχής των τοιχωμάτων (παρ. 10.4.1).

## II. Για $v_d \leq -0.10$ (στοιχεία υπό κάμψη με θλιπτική δύναμη).

α) Στις κρίσιμες περιοχές γραμμικών στοιχείων και τοιχωμάτων, με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, ο όρος  $V_{cd}$  ισούται με:

$$V_{cd} = 0.90 \cdot V_{Rd1} \text{ για γραμμικά στοιχεία ..... (11.16)}$$

$$V_{cd} = 0.70 \cdot V_{Rd1} \text{ για τοιχώματα ..... (11.17)}$$

β) Εκτός των παραπάνω περιοχών, καθώς και σε στοιχεία χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, η τιμή του όρου  $V_{cd}$  υπολογίζεται για γραμμικά στοιχεία και τοιχώματα σύμφωνα με την εξίσωση (11.10).

γ) Η αντοχή του οπλισμού του κορμού  $V_{wd}$  δίνεται από την εξίσωση (11.11) για γραμμικά στοιχεία και από τα διαλαμβανόμενα στην υποπαράγραφο I.2 της παρ. 11.2.3.2β για τοιχώματα.

### 11.2.4 Μήκος μετατόπισης διαγράμματος ροπών κάμψης (τυπική μέθοδος)

Η τιμή του μήκους μετατόπισης  $a_\lambda$  του διαγράμματος των ροπών, η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη για την διάταξη των διαμήκων ράβδων του εφελκόμενου πέλματος (κανόνας μετατόπισης διαγράμματος ροπών, βλ. και παρ. 17.8.1, 17.8.2), είναι:

$$a_\lambda = z(1 - \cot \alpha) / 2 \geq 0 \text{ ..... (11.18)}$$

### 11.2.5 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού αντοχών δοκών έναντι τέμνουσας (γενική μέθοδος)

Η μέθοδος βασίζεται στην εκτίμηση της γωνίας κλίσης  $\theta$  των θλιβομένων διαγωνίων του σκυροδέματος.

Για τη γωνία  $\theta$  ισχύουν οι παρακάτω περιορισμοί:

α) Σε περίπτωση δοκών με σταθερό διαμήκη σπλισμό

$$0.40 < \cot \theta < 2.50 \dots\dots\dots (11.19)$$

β) Σε περίπτωση δοκών με κλιμακούμενο διαμήκη σπλισμό

$$0.50 < \cot \theta < 2.00 \dots\dots\dots (11.20)$$

Σε στοιχεία με σπλισμό διάτμησης κάθετο προς τον άξονα του στοιχείου η αντοχή σε διάτμηση ορίζεται ως εξής (λαμβάνοντας υπόψη την συνήθη τιμή 0.90d για τον μοχλοβραχίονα z):

$$V_{Rd2} = b_w (0.90 \cdot d) \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \dots\dots\dots (11.21)$$

$$V_{Rd3} = \frac{A_{sw}}{s} (0.90 \cdot d) \cdot f_{ywd} \cot \theta \dots\dots\dots (11.22)$$

και

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \dots\dots\dots (11.23)$$

Σε στοιχεία με κεκλιμένο σπλισμό διάτμησης, η αντοχή σε διάτμηση ορίζεται ως εξής:

$$V_{Rd2} = b_w (0.90 \cdot d) \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \dots\dots\dots (11.24)$$

$$V_{Rd3} = \frac{A_{sw}}{s} (0.90 \cdot d) \cdot f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (11.25)$$

και

$$\frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{b_w \cdot s} \leq \frac{\frac{1}{2} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \sin \alpha}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (11.26)$$

Η πρόσθετη εφελκυστική δύναμη την οποία θα πρέπει να παραλάβει ο διαμήκης σπλισμός (πέραν της καταπόνησης λόγω μόνο της ροπής κάμψευς) προσδιορίζεται ως εξής:

$$\Delta F_{1\lambda} = \frac{1}{2} V_{Sd} (\cot \theta - \cot \alpha) \dots\dots\dots (11.27a)$$

Ισοδυνάμως το μήκος μετατόπισης  $a_\lambda$  δίνεται από τη σχέση:

$$a_\lambda = z(\cot\theta - \cot\alpha) / 2 \dots\dots\dots (11.27\beta)$$

Επισημαίνεται ότι παραλλήλως ισχύουν και οι πρόσθετες διατάξεις της παρ. 11.2.3.1 για την  $V_{Rd2,red}$ .

Η ανωτέρω εναλλακτική μέθοδος με τα προτεινόμενα όρια τιμών της γωνίας  $\theta$  δεν συνιστάται στις περιπτώσεις δοκών από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

## 11.3 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΕΛΜΑΤΩΝ - ΚΟΡΜΟΥ

### 11.3.1 Γενικά

Οι συνδέσεις πελμάτων - κορμού πρέπει να ελέγχονται έναντι διαμήκους τέμνουσας δύναμης.

Πρέπει να προβλέπεται ελάχιστος οπλισμός σύμφωνα με την παρ. 18.3.6.

Η οριακή κατάσταση αστοχίας διέπεται είτε από την επιρροή της κεκλιμένης θλιπτικής δύναμης του πέλματος (η οποία ασκείται παράλληλα προς το μέσο επίπεδό του), είτε από την επιρροή του εφελκυσμένου εγκάρσιου οπλισμού όταν αυτός φθάσει την αντοχή σχεδιασμού του.

Η δρώσα διαμήκης τέμνουσα δύναμη ανά μονάδα μήκους είναι:

$$v_{Sd} = \frac{\Delta F_{d,max}}{a_v} \dots\dots\dots (11.28)$$

όπου:

$\Delta F_{d,max}$  μέγιστη τιμή της διαφοράς της διαμήκους δύναμης (εφελκυστικής ή θλιπτικής) η οποία ενεργεί στο τμήμα του πέλματος προς την μία πλευρά του κορμού,

$a_v$  απόσταση ανάμεσα στα σημεία μηδενικής και μέγιστης ροπής κάμψης.

Η  $v_{Sd}$  δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που δίνονται από τις εξισώσεις (11.29) και (11.30).

### 11.3.2 Αντοχή λόγω λοξής θλίψης

$$v_{Rd2} = 0.20 \cdot f_{cd} \cdot h_f \dots\dots\dots (11.29)$$

### 11.3.3 Αντοχή λόγω εγκάρσιου οπλισμού

$$v_{Rd3} = \frac{A_{sf}}{s_f} f_{yd} + 2.50 \cdot \tau_{Rd} \cdot h_f \dots\dots\dots (11.30)$$

όπου το  $\tau_{Rd}$  δίνεται στον Πίνακα 11.1.

Εάν οι διαμήκεις οπλισμοί (ράβδοι ή τένοντες) αγκυρώνονται σε μία προέκταση ενός εφελκόμενου πέλματος, τότε πρέπει να διατάσσονται πρόσθετοι εγκάρσιοι οπλισμοί.

Εάν στη διατομή όπου  $M = M_{max}$  η δύναμη στο πέγμα είναι εφελκυστική, κάθετα ή παράλληλα στον κορμό, τότε ο όρος  $2.50 \cdot \tau_{Rd} \cdot h_f$  στη σχέση (11.30) μηδενίζεται.

### 11.3.4 Πέγματα υπό εγκάρσια κάμψη

Οι διατομές των οπλισμών κάμψης οι οποίοι διέρχονται από την διεπιφάνεια μεταξύ κορμού και πέματος μπορούν να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό του  $A_{sf}$ . Εάν οι οπλισμοί αυτοί δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της εξίσωσης (11.30) πρέπει να διαταχθούν πρόσθετοι οπλισμοί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

### ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΠΟ ΣΤΡΕΨΗ

Το Κεφάλαιο αυτό ισχύει για γραμμικά στοιχεία υπό στρέψη και τέμνουσα κανή με ορθή ένταση.

#### 12.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

α) Η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

- *Άμεση στρέψη*: η στρεπτική ροπή είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας (στρέψη ισορροπίας).
- *Έμμεση στρέψη*: η στρεπτική ροπή οφείλεται αποκλειστικά στην παρεμπόδιση της στροφής που εισάγεται από παρακείμενα στοιχεία (στρέψη συμβιβαστού). Στην περίπτωση αυτή, οι στρεπτικές ροπές δεν είναι απαραίτητες για την ισορροπία και μπορούν να αγνοηθούν στους υπολογισμούς οριακών καταστάσεων αστοχίας.

β) Επίσης η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

- *Στρέψη Saint Venant*: η ισορροπία εξασφαλίζεται με μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων εκ στρέψεως.
- *Στρέψη με στρέβλωση*: λόγω της παρεμπόδισης της διαμήκου παραμορφώσεως, ο φορέας ανθίσταται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων.

## 12.2 ΣΤΡΕΨΗ SAINT VENANT

### 12.2.1 Γενικά

Ο υπολογισμός σε στρέψη γίνεται θεωρώντας μία κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Για τις πλήρεις (συμπαγείς) διατομές θεωρείται μία «ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή». Η διατομή αυτή ορίζεται ως εξής:

- η εξωτερική περίμετρός της συμπίπτει με αυτήν της πραγματικής διατομής,
- έχει ένα ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων  $t = \max(A/u, 2c)$  (στην περίπτωση κοίλων διατομών, το πάχος  $t$  δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος των τοιχωμάτων του).

όπου:

- $u$  είναι η περίμετρος της διατομής,
- $A$  η ολική επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών),
- $c$  η επικάλυψη των διαμήκων ράβδων.

Ο οπλισμός στρέψεως αποτελείται από κλειστούς (παρ. 17.9.1) συνδεδητές κάθετους προς τον άξονα της δοκού και από διαμήκεις ράβδους κατανεμημένες περίπου ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής. Διαμήκεις ράβδοι πρέπει να υπάρχουν σε όλες τις γωνίες της διατομής, ενώ παράλληλα πρέπει να προβλέπεται ένας ελάχιστος οπλισμός σύμφωνα με την παρ. 18.3.7.

Η οριακή κατάσταση αστοχίας διέπεται:

- είτε από την ροπή στρέψεως  $T_{Rd1}$  (βλ. παρ. 12.2.2) και την τέμνουσα  $V_{Rd2}$  (βλ. παρ. 11.2.3.1) που αντιστοιχούν στην αστοχία από λοξή θλίψη του σκυροδέματος των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής,
- είτε από την ροπή στρέψεως  $T_{Rd2}$  (βλ. παρ. 12.2.3.2) που αντιστοιχεί στην αστοχία των συνδεδητών,
- είτε από την ροπή στρέψεως  $T_{Rd3}$  (βλ. παρ. 12.2.3.3) που αντιστοιχεί στην αστοχία των διαμήκων οπλισμών.

Η δρώσα ροπή στρέψεως  $T_{Sd}$  και η αντίστοιχη δρώσα τέμνουσα δύναμη  $V_{Sd}$  πρέπει να ικανοποιούν ταυτοχρόνως τις παρακάτω συνθήκες:

- στις κοίλες διατομές:  

$$(T_{Sd} / T_{Rd1}) + (V_{Sd} / V_{Rd2}) \leq 1.00 \dots\dots\dots (12.1\alpha)$$

- στις άλλες διατομές:  

$$(T_{Sd} / T_{Rd1})^2 + (V_{Sd} / V_{Rd2})^2 \leq 1.00 \dots\dots\dots (12.1\beta)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2} \dots\dots\dots (12.2)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3} \dots\dots\dots (12.3)$$

Οι παραπάνω έλεγχοι πρέπει να γίνονται στην παρειά μιας άμεσης στήριξης.

Οι υπολογισμοί των αντοχών  $T_{Rd1}$ ,  $T_{Rd2}$  και  $T_{Rd3}$  στηρίζονται στο πρότυπο ενός ιδεατού χωροδικτύωματος.

### 12.2.2 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω θλίψης των τοιχωμάτων

$$T_{Rd1} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k / (\cot \theta + \tan \theta) \dots\dots\dots (12.4)$$

όπου:

- t το πάχος της ισοδύναμης διατομής (βλ. παρ. 12.2.1)
- $A_k$  η επιφάνεια που περικλείεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων (κατά την έννοια του πάχους) της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλης διατομής),
- $v = 0.70(0.70 - f_{ck} / 200) \geq 0.35$  ( $f_{ck}$  σε MPa). Η τιμή αυτή ισχύει στην περίπτωση όπου οι συνδετήρες βρίσκονται μόνον στην εξώτερη περίμετρο της ισοδύναμης διατομής. Αν όμως προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες και στις δύο παρειές κάθε τοιχώματος της ισοδύναμης κοίλης διατομής ή στα τοιχώματα μιας κιβωτοειδούς διατομής, τότε μπορεί να ληφθεί  $v = 0.70 - f_{ck} / 200 \geq 0.50$ ,
- $\theta$  η γωνία των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος με τον διαμήκη άξονα του στοιχείου. Η γωνία  $\theta$  πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε:  $0.40 \leq \cot \theta \leq 2.50$ .

### 12.2.3 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω οπλισμού στρέψης

#### 12.2.3.1 Γενικά

Οι οριακές τιμές των χαρακτηριστικών αντοχών για τον χάλυβα οι οποίες δίνονται στην παρ. 11.2.1 ισχύουν επίσης και για τους οπλισμούς στρέψης.

#### 12.2.3.2 Κλειστοί συνδετήρες (παρ. 17.9.1)

Οι υπολογισμοί των συνδετήρων μπορούν να γίνουν, με την ίδια γωνία  $\theta$ , χωριστά για στρέψη και για τέμνουσα.

Οι αντίστοιχες διατομές συνδετήρων προστίθενται.

Η ροπή αντοχής σε στρέψη λόγω συνδετήρων δίνεται από τη σχέση:

$$T_{Rd2} = 2 \cdot A_k \cdot (f_{ywd} \cdot A_{sw} / s) \cot \theta \dots\dots\dots (12.5)$$

όπου:



- $A_{sw}$  το εμβαδόν της διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται ως συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν του ενός σκέλους).
- $s$  η απόσταση των συνδετήρων (βλ. παρ. 18.3.7).

### 12.2.3.3 Διαμήκεις οπλισμοί

$$T_{Rd3} = 2 \cdot A_k \cdot (f_{yld} \cdot A_{sλ} / u) \tan \theta \dots\dots\dots (12.6)$$

όπου:

- $A_{sλ}$  το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στρέψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να έχουν κατά το δυνατόν ίσες διατομές και να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος της περιμέτρου  $u$  (βλ. παρ. 18.3.7),
- $\theta$  η γωνία που έχει ληφθεί υπόψη για τον υπολογισμό των συνδετήρων.

### 12.2.4 Σύνθετη καταπόνηση από στρέψη με κάμψη και/ή αξονικές δυνάμεις

Ο διαμήκης οπλισμός θα προσδιορισθεί χωριστά για στρέψη, σύμφωνα με την παρ. 12.2.2.3 και χωριστά για ορθή ένταση σύμφωνα με το Κεφάλαιο 10.

- Στην λόγω κάμψης εφελκόμενη ζώνη, οι οπλισμοί στρέψης προστίθενται στους οπλισμούς έναντι κάμψης και/ή αξονικής δύναμης,
- Στην λόγω κάμψης θλιβόμενη ζώνη οι οπλισμοί μπορούν να ελαττωθούν. Η μείωση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος των θλιπτικών τάσεων λόγω κάμψης.

## 12.3 ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗ

Οι τάσεις που προκαλούνται από την παρεμποδιζόμενη στρέβλωση ενδέχεται να είναι σημαντικές και να πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Γενικώς όμως οι τάσεις από παρεμποδιζόμενη στρέβλωση μπορούν να αγνοηθούν στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

## ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Το Κεφάλαιο αυτό αφορά κυρίως την διάτρηση πλακών σταθερού πάχους οπλισμένων έναντι κάμψης σύμφωνα με τα Κεφάλαια 9 και 10. Αφορά επίσης την διάτρηση πεδίων.

Η ίδια μεθοδολογία ελέγχου σε διάτρηση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε πλάκες με ενισχύσεις, καθώς και σε πέδιλα (με κεκλιμένες παρειές), τηρουμένων των οδηγιών των παρ. 13.1. και 13.2.

Οι κανόνες που δίνονται στο Κεφάλαιο αυτό συμπληρώνουν τους κανόνες του Κεφαλαίου 11.

## 13.1 ΓΕΝΙΚΑ

### 13.1.1 Αρχές

Η διάτρηση μπορεί να προέλθει από φορτίο ή αντίδραση συγκεντρωμένη σε μικρή επιφάνεια των πλακών, η οποία ονομάζεται «φορτιζόμενη επιφάνεια».

Εφόσον για την φορτιζόμενη επιφάνεια ισχύουν:

- για κυκλική διατομή, η διάμετρος δεν υπερβαίνει το  $3.50d$ ,
- για ορθογωνική διατομή, η περίμετρός της δεν υπερβαίνει το  $11d$  και ο λόγος μήκους προς πλάτος το 2,

( $d$  = το μέσο στατικό ύψος της πλάκας),

ο έλεγχος σε διάτρηση γίνεται όπως περιγράφεται στα επόμενα.

Η οριακή κατάσταση χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό ενός κόλουρου κώνου ή μιας κόλουρης πυραμίδας των οποίων η μικρή βάση συμπίπτει με τη φορτιζόμενη επιφάνεια, οι δε γενέτειρες είναι κεκλιμένες ως προς το επίπεδο της πλάκας συνήθως υπό γωνία μεταξύ  $30^\circ$  και  $35^\circ$ . Για μεμονωμένα πέδιλα αυτή η γωνία είναι περίπου  $45^\circ$ .

Ο έλεγχος σε διάτρηση γίνεται στην «κρίσιμη διατομή» (που ορίζεται στην παρ. 13.2). Στην διατομή αυτή, οι δρώσες και οι ανθιστάμενες διατμητικές δυνάμεις ανά μονάδα μήκους πρέπει να ικανοποιούν την συνθήκη:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \dots\dots\dots (13.1)$$

Οι τιμές των  $V_{Sd}$  και  $V_{Rd}$  προσδιορίζονται σύμφωνα με τις παρ. 13.3 και 13.4.

Όταν το πάχος της πλάκας ή της πλάκας θεμελίωσης δεν είναι αρκετό ώστε να εξασφαλισθεί η απαραίτητη αντοχή έναντι διάτρησης, μόνο από το σκυρόδεμα και από τον οπλισμό κάμψης, πρέπει να τοποθετείται οπλισμός διάτρησης σύμφωνα με την παρ. 13.4.

### 13.1.2 Υποστυλώματα με ενίσχυση ή διαπλάτυνση της κεφαλής

- α) Για πλάκες επί κυκλικών υποστυλωμάτων με διαπλάτυνση της κεφαλής έτσι ώστε  $\lambda_H \leq 1.5h_H$ , ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται μόνο για την κρίσιμη διατομή (βλ. παρ. 13.2) στην πλάκα και όχι στην διαπλάτυνση, που απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση  $d_{crit}$  ίση με:

$$d_{crit} = 1.5d + \lambda_H + 0.5d_C \dots\dots\dots (13.2)$$

όπου:

$d_C$  διάμετρος υποστυλώματος,

$\lambda_H$  και  $h_H$  είναι, αντιστοίχως, η οριζόντια και η κατακόρυφη διάσταση της διαπλάτυνσης (πέραν της περιμέτρου του υποστυλώματος).

β) Για πλάκες επί κυκλικών υποστυλωμάτων με διαπλάτυνση της κεφαλής έτσι ώστε  $\lambda_H > 1.5(d + h_H)$ , ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται:

- Και στην πλάκα (για ύψος  $d$ ),

σε διατομή που απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση:

$$d_{crit,ex} = 1.5d + \lambda_H + 0.5d_C \dots\dots\dots (13.3)$$

- Και στην διαπλάτυνση (για ενεργό ύψος  $d_H$ ),

σε διατομή που απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση:

$$d_{crit,in} = 1.5(d + h_H) + 0.5d_C \dots\dots\dots (13.4)$$

Ως ενεργό ύψος  $d_H$  της διαπλάτυνσης λαμβάνεται το πραγματικό μέσο στατικό ύψος στην θέση της κρίσιμης διατομής, και για τις διαπλάτυνσεις με σταθερό ύψος και για τις διαπλάτυνσεις με μεταβλητό ύψος.

γ) Για διαπλάτυνσεις με  $1.5h_H < \lambda_H \leq 1.5(d + h_H)$  ελέγχεται μια διατομή στην πλάκα σε απόσταση από το κέντρο του υποστυλώματος ίση με:

$$d_{crit} = 1.5\lambda_H + 0.5d_C \dots\dots\dots (13.5)$$

δ) Για ορθογωνικά υποστυλώματα (διατομής  $b \times h$ ) με ορθογωνικές διαπλάτυνσεις, συνολικής διατομής  $\lambda_1 \times \lambda_2$  ( $\lambda_1 \leq \lambda_2$ ), όπου:

$$\lambda_1 = b + 2 \cdot \lambda_{H1}, \lambda_2 = h + 2 \cdot \lambda_{H2}$$

η κρίσιμη διατομή απέχει από το κέντρο του υποστυλώματος απόσταση ίση με την μικρότερη από τις:

$$d_{crit} = 1.5d + 0.56 \cdot \sqrt{\lambda_1 \lambda_2} \dots\dots\dots (13.6\alpha)$$

ή

$$d_{crit} = 1.5d + 0.69 \cdot \lambda_1 \dots\dots\dots (13.6\beta)$$

### 13.1.3 Πλάκες με νευρώσεις

Η βασική μέθοδος που χρησιμοποιείται για συμπαγείς πλάκες, μπορεί να εφαρμοσθεί και στις πλάκες με νευρώσεις (υπό την έννοια της παρ. 9.1.1), υπό την προϋπόθεση ότι θα είναι συμπαγείς σε όλο το ύψος τους σε περιοχή που εκτείνεται τουλάχιστον  $3d$  γύρω από ένα υποστύλωμα.

Ο έλεγχος διάτρησης θα γίνεται στην κρίσιμη διατομή (παρ. 13.2), ενώ απαιτείται και ένας έλεγχος σε τέμνουσα στο πέρας της συμπαγούς ζώνης της πλάκας.

## 13.2 ΚΡΙΣΙΜΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Η κρίσιμη διατομή είναι μια επιφάνεια η οποία ορίζεται ως εξής:

- είναι κάθετη στο μέσο επίπεδο της πλάκας,
- έχει ύψος ίσο με το στατικό ύψος  $d$  της πλάκας,
- η περίμετρός της περιβάλλει την φορτιζόμενη επιφάνεια, μερικώς ή ολικώς. Η απόσταση μεταξύ της κρίσιμης διατομής και φορτιζόμενης επιφάνειας δεν είναι ποθενά μικρότερη από  $1.50d$  και συγχρόνως η κρίσιμη διατομή έχει το μικρότερο δυνατό μήκος περιμέτρου.

Ειδικότερα, αυτή η περίμετρος καθορίζεται παρακάτω για διάφορες περιπτώσεις.

### 13.2.1 Φορτιζόμενη επιφάνεια μακριά από οπή ή ελεύθερο άκρο της πλάκας

Σε αυτή την περίπτωση, η περίμετρος της κρίσιμης διατομής είναι μία κλειστή γραμμή που περιβάλλει την φορτιζόμενη επιφάνεια κατά τα προαναφερθέντα.

### 13.2.2 Φορτιζόμενη επιφάνεια κοντά σε οπή της πλάκας

Εάν η μικρότερη απόσταση μεταξύ της παρειάς της οπής και της περιμέτρου της φορτιζόμενης επιφάνειας δεν υπερβαίνει τα  $6d$  ή εάν η οπή βρίσκεται μέσα στην ζώνη στήριξης (προκειμένου περί πλακών χωρίς δοκούς), τότε δεν λαμβάνεται υπόψη το τμήμα της κρίσιμης διατομής, το οποίο περιλαμβάνεται μεταξύ των δύο επαπτόμενων που φέρονται από το κέντρο βάρους της φορτιζόμενης επιφάνειας προς την περίμετρο της οπής.

Σημειώνεται όμως ότι εάν η μείωση αυτή της κρίσιμης περιμέτρου είναι σημαντική και εκτρέπει αισθητά το κέντρο βάρους της, τότε η φόρτιση θα πρέπει να αντιμετωπισθεί ως έκκεντρη, σύμφωνα με την παρ. 13.3.

### 13.2.3 Φορτιζόμενη επιφάνεια κοντά σε ελεύθερο άκρο της πλάκας

Τα τμήματα της κρίσιμης διατομής (όπως ορίστηκε στην παρ. 13.2.1) τα οποία βρίσκονται κοντά σε ελεύθερο άκρο πλάκας, πρέπει να αντικατασταθούν από τμήματα κάθετα προς τα άκρα, εφόσον το συνολικό μήκος της περιμέτρου που προκύπτει κατά αυτό τον τρόπο (μη λαμβανομένου υπόψη του μήκους του ελεύθερου άκρου) είναι μικρότερο από το μήκος της περιμέτρου της κρίσιμης διατομής, όπως ορίζεται στην παρ. 13.2.1.

### 13.3 ΔΡΩΣΑ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

α) Σε περίπτωση κεντρικού φορτίου ή αντίδρασης:

$$v_{sd} = V_{sd} / u \dots\dots\dots (13.7)$$

όπου:

$v_{sd}$  τέμνουσα δύναμη που δρα κατά μήκος της περιμέτρου  $u$  για πλάκες, ή κατά μήκος της βάσης του κώνου διάτρησης για πέδιλα και,  
 $u$  η περίμετρος της κρίσιμης διατομής σύμφωνα με την παρ. 13.2.

β) Σε περίπτωση έκκεντρου φορτίου:

Στην περίπτωση αυτή η τιμή της  $v_{sd}$  που προσδιορίζεται από την εξίσωση (13.7) πολλαπλασιάζεται επί ένα αυξητικό συντελεστή  $\beta$ , ο οποίος λαμβάνει υπόψη την εκκεντρότητα της φόρτισης. Εφόσον δεν είναι δυνατή η εκκεντρότητα του φορτίου το  $\beta=1.00$ . Στις άλλες περιπτώσεις λαμβάνεται:

- Για γωνιακά υποστυλώματα  $\beta=1.50$ ,
- Για περιμετρικά υποστυλώματα  $\beta=1.40$ ,
- Για εσωτερικά υποστυλώματα  $\beta=1.15$ .

### 13.4 ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

#### 13.4.1 Πλάκες ή πέδιλα χωρίς σπλισμό έναντι διάτρησης

Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει:

$$V_{sd} < V_{Rd1}$$

Η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής δύναμης αντοχής ανά μονάδα μήκους της κρίσιμης διατομής δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot \kappa \cdot (1.20 + 40\rho_{\lambda}) \cdot d \dots\dots\dots (13.8)$$

όπου:

- |   |   |
|---|---|
| $\tau_{Rd}$                               | λαμβάνεται από τον Πίνακα 11.1                              |
| $\kappa =$                                | $1.60 - d \geq 1$ ( $d$ σε μέτρα)                           |
| $\rho_{\lambda} =$                        | $\sqrt{\rho_{\lambda x} \cdot \rho_{\lambda y}} \leq 0.015$ |
| $\rho_{\lambda x}$ και $\rho_{\lambda y}$ | ποσοστά διαμήκους σπλισμού κατά $x$ και $y$                 |
| $d =$                                     | $\frac{1}{2} (d_x + d_y)$                                   |
| $d_x$ και $d_y$                           | στατικά ύψη κατά $x$ και $y$ .                              |

Τα ποσοστά οπλισμού  $\rho_{lx}$  και  $\rho_{ly}$  δεν πρέπει να είναι μικρότερα από 0.005. Η απαίτηση αυτή δεν ισχύει για πέλδια με πάχος μεγαλύτερο από 0.50 μ.

Εάν η περιοχή της κρίσιμης διατομής της πλάκας καταπονείται από ορθές θλιπτικές δυνάμεις (περιλαμβανόμενης και της προέντασης), η τιμή της  $V_{Rd1}$  της σχέσης (13.8) μπορεί να αυξηθεί σύμφωνα με την εξίσωση (11.2).

### 13.4.2 Πλάκες ή πέλδια με οπλισμό έναντι διάτρησης

#### 13.4.2.1 Άνω όριο αντοχής

Ακόμα κι όταν τοποθετείται οπλισμός διάτρησης, η  $V_{Rd2}$  δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή της παρακάτω σχέσης:

$$V_{Rd2} = 1.60 V_{Rd1} \dots\dots\dots (13.9)$$

#### 13.4.2.2 Υπολογισμός οπλισμού διάτρησης

Γενικά ισχύει:

$$V_{Sd} < V_{Rd2}$$

$$V_{Sd} < V_{Rd3}$$

$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + \sum A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha / u \dots\dots\dots (13.10)$$

### 13.4.3 Ελάχιστες ροπές σχεδιασμού πλακών (στις θέσεις σύνδεσης με τα υποστυλώματα) λόγω έκκεντρης φόρτισης

Για εξασφάλιση της ανάπτυξης της τέμνουσας αντοχής (έναντι διάτρησης, σχέσεις 13.8 και 13.10) πρέπει οι πλάκες να σχεδιάζονται (στις θέσεις σύνδεσης με τα υποστυλώματα) για ελάχιστες ροπές σχεδιασμού (ανά μονάδα μήκους)  $m_{Sdx}$  και  $m_{Sdy}$  σύμφωνα με την σχέση (13.11) εκτός αν οι ροπές που προέκυψαν από την ανάλυση είναι μεγαλύτερες):

$$m_{Sdx} \text{ (ή και } m_{Sdy} \text{)} \geq \eta V_{Sd} \dots\dots\dots (13.11)$$

όπου:

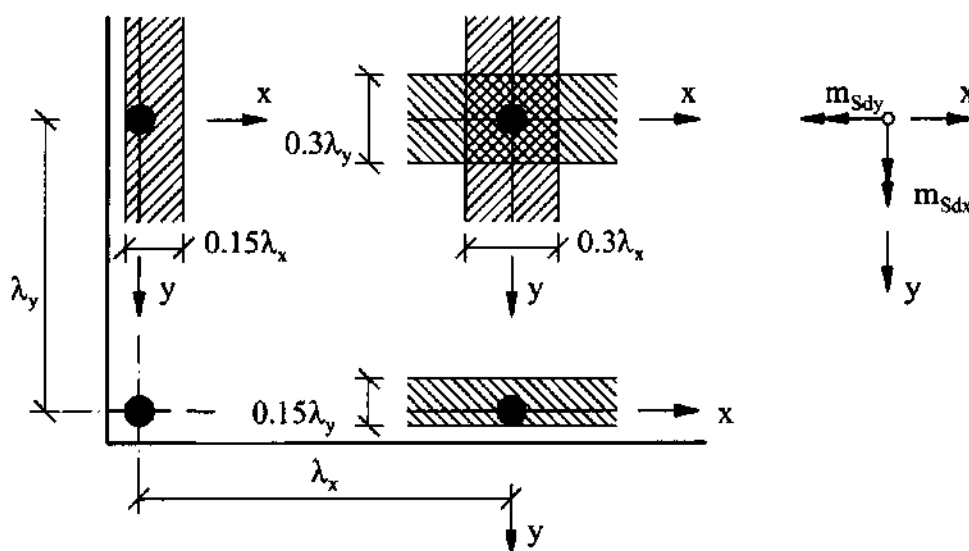
$V_{Sd}$  είναι η δρώσα τέμνουσα δύναμη (σχέση 13.7)

$\eta$  είναι ο συντελεστής ροπής, σύμφωνα με τον Πίνακα 13.1 ( $0 \leq |\eta| \leq 0.5$ ) και το Σχ. 13.1.

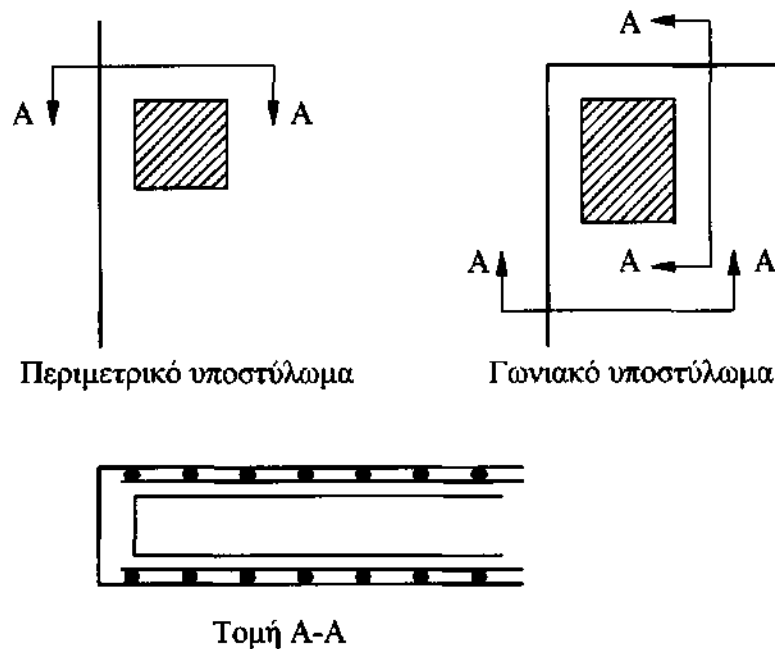
Για τον έλεγχο αυτών των ροπών, το ενεργό πλάτος της πλάκας δίνεται στον Πιν. 13.1. Επίσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι οπλισμοί που είναι επαρκώς αγκυρωμένοι πέραν της περιμέτρου της κρίσιμης διατομής (βλ. και Σχ. 13.2).

Πίνακας 13.1: Συντελεστής ροπής  $\eta$ , σχέση (13.11)

Θέση Υποστυλώματος	για $m_{Sdx}$			για $m_{Sdy}$		
	πάνω πέλμα	κάτω πέλμα	ενεργό πλάτος	πάνω πέλμα	κάτω πέλμα	ενεργό πλάτος
Εσωτερικό	-0.125	0	$0.3\lambda_y$	-0.125	0	$0.3\lambda_x$
Περιμετρικό, ακμή πλάκας παράλληλη προς x	-0.25	0	$0.15\lambda_y$	-0.125	+0.125	(ανά m)
Περιμετρικό, ακμή πλάκας παράλληλη προς y	-0.125	+0.125	(ανά m)	-0.25	0	$0.15\lambda_x$
Γωνιακό	-0.5	0.5	(ανά m)	+0.5	-0.5	(ανά m)



Σχήμα 13.1: Ροπές σχεδιασμού πλακών λόγω έκκεντρης φόρτισης και ενεργό πλάτος



Σχήμα 13.2: Διάταξη οπλισμού σε περιμετρικά και γωνιακά υποστυλώματα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

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

#### 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 ωπλισμένο 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.
- 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.