

**ΟΡΙΑΚΗ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΑΣΤΟΧΙΑΣ
ΑΠΟ
ΣΤΡΕΨΗ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Εξετάζεται η συνδυασμένη δράση στρέψης και τέμνουσας δεδομένου ότι καταπόνηση αποκλειστικά και μόνον από στρέψη δεν υπάρχει σε έργα Πολιτικού Μηχανικού. Πάντως και για την περίπτωση της καθαρής στρέψης το κεφάλαιο αυτό ισχύει αν τεθεί στις εξισώσεις $V_{Sd} = 0$.

Δεν καλύπτει πλήρως την περίπτωση της υψηλής στάθμης εναλλασσόμενης φόρτισης (π.χ. σεισμός), η οποία απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση.

12.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Παράδειγμα άμεσης στρέψης: οι καμπύλες δοκοί.

Παράδειγμα έμμεσης στρέψης: η ακραία δοκός μιας πλάκας (ακραία πλακοδοκός) καταπονείται σε (έμμεση) στρέψη λόγω κάμψης της πλάκας που είναι μονολιθικά συνδεδεμένη με την δοκό.

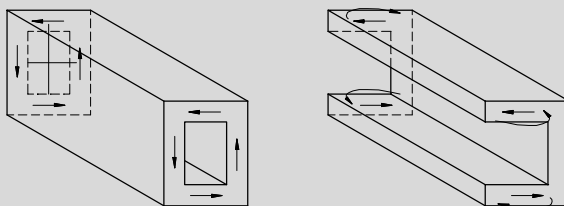
Λόγω της απαίτησης του συμβιβαστού των παραμορφώσεων των παρακείμενων στοιχείων και για τον περιορισμό της αναπόφευκτης ρηγμάτωσης από στρέψη, πρέπει να προβλέπονται κλειστοί (παρ. 17.9.1) συνδετήρες τέτοιοι ώστε να βρίσκονται κοντά στην περιμέτρο του στοιχείου και να πληρούν τις απαιτήσεις του Κεφαλαίου 18.

Αν η έμμεση στρέψη πρόκειται να αγνοηθεί στην διαστασιολόγηση, αυτό θα πρέπει να γίνει και στην ανάλυση λαμβάνοντας μηδενική δυστρεψία.

Αν όμως η έμμεση στρέψη δεν αγνοηθεί, τότε θα πρέπει:

- να ληφθούν υπόψη ρεαλιστικές τιμές της δυστρεψίας (βλ. παρ. 8.5), και
- να διαστασιολογηθούν τα δομικά στοιχεία έναντι οριακής καταστάσεως αστοχίας από στρέψη.

Γενικώς η αντίσταση σε στρέψη οφείλεται σε διατμητικές δυνάμεις, οι οποίες ενδέχεται να επιβάλλουν συγχρόνως και την ανάπτυξη διαμήκους ορθής εντάσεως με αποτέλεσμα την μη επιπεδότητα των διατομών (Η μη επιπεδότητα των διατομών υπό στρέψη καλείται στρέβλωση). Στρέψη χωρίς την ανάπτυξη διαμήκους εντάσεως αντιστοιχεί, σε όρους της ελαστικότητας, στην στρέψη κατά Saint Venant (βλ. Σχήμα Σ 12.1). Η στρέψη με στρέβλωση εμφανίζεται κυρίως σε γραμμικούς φορείς με ανοικτές διατομές που περιλαμβάνουν τουλάχιστον τρεις πλευρές, εκάστη των οποίων είναι ένα τοίχωμα ή μία κλειστή διατομή.



Σχήμα Σ 12.1

Το Κεφάλαιο αυτό ισχύει για γραμμικά στοιχεία υπό στρέψη και τέμνουσα και/ή 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.

12

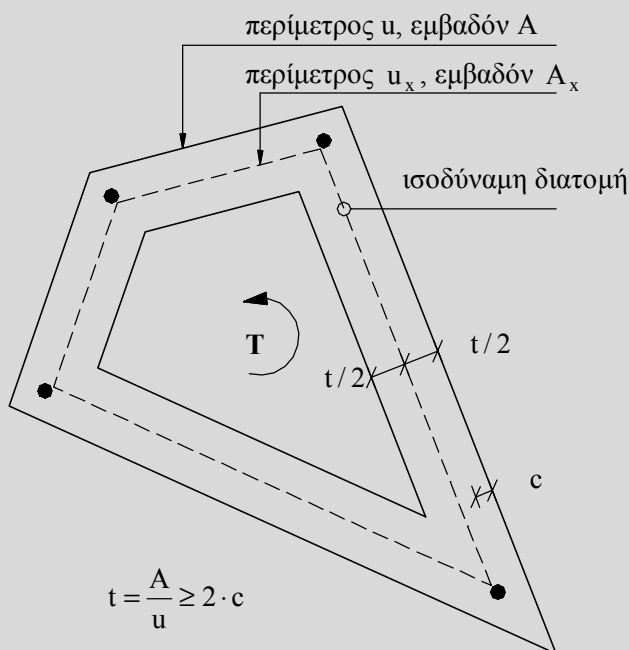
β) Επίσης η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

- *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.

Πάντως δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των δύο αυτών ειδών στρέψης:

- Το μεγαλύτερο τμήμα μιας κιβωτοειδούς διατομής ανθίσταται σε στρέψη μέσω μίας κλειστής ροής διατμητικών τάσεων (Saint Venant), κοντά όμως στα διαφράγματα αναπτύσσεται στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση.
- Μία ανοικτή διατομή μορφής] ανθίσταται σε στρέψη κυρίως με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση, στα επιμέρους όμως ορθογωνικά τμήματα της διατομής αναπτύσσεται και στρέψη Saint Venant.

12.2.1 Γενικά



Σχήμα Σ 12.2: Ισοδύναμη κοίλη διατομή

Για πλήρεις διατομές μορφής T ή L, το σχήμα της ισοδύναμης κοίλης διατομής λαμβάνεται με εφαρμογή των κανόνων προσδιορισμού της ισοδύναμης κοίλης διατομής στα επιμέρους ορθογώνια παραλληλόγραμμα από τα οποία αποτελείται η διατομή.

Η αντοχή σε στρέψη ενός ρηγματωμένου στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πλήρη ή κοίλη διατομή, είναι ίση με την αντοχή ενός ιδεατού δικτυώματος στον χώρο (δικτύωμα Moersch). Το δικτύωμα αυτό αποτελείται από εφελκυσόμενες ράβδους χάλυβα (διαμήκεις ράβδοι και εγκάρσιοι κλειστοί συνδετήρες) και από θλιβόμενες διαγωνίους σκυροδέματος. Η κλίση των διαγωνίων σκυροδέματος μπορεί να επηρεαστεί (εντός ορισμένων ορίων) από την διάταξη των διαμήκων και των εγκάρσιων οπλισμών.

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 περίμετρος 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) συνδετήρες 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 συνδετήρων,
- είτε από την ροπή στρέψεως T_{Rd3} (βλ. παρ. 12.2.3.3) που αντιστοιχεί στην αστοχία των διαμήκων οπλισμών.

Οι τιμές σχεδιασμού των στρεπτικών αντοχών T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} καθορίζουν τις διαστάσεις των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής (άρα και της πραγματικής διατομής) καθώς επίσης και τους απαιτούμενους οπλισμούς (διαμήκεις και εγκάρσιους).

12.2.2 Ροπή αντοχής σχεδιασμού σε στρέψη λόγω θλίψης των τοιχωμάτων

Επειδή ο κινηματικός μηχανισμός βάσει της πλαστικής θεωρίας (η οποία αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της προτεινόμενης μεθόδου) απαιτεί την σύγχρονη αστοχία των δύο συνιστώντων οπλισμών, μία προσεγγιστική τιμή της γωνίας θ μπορεί να ληφθεί από την έκφραση:

$$(\tan \theta)^2 \left[(A_{sw} / s) \cdot f_{ywd} \right] / \left[(A_{s\ell} / u_k) \cdot f_{y\ell d} \right] \dots\dots\dots (\Sigma 12.1)$$

Στις συνήθεις περιπτώσεις η γωνία θ εκλέγεται $\theta=45^\circ$ ($\cot\theta=1$) διότι έτσι, αφενός μεν μεγιστοποιείται η $T_{Rd\ell}$, αφετέρου δε ελαχιστοποιείται ο συνολικός οπλισμός. Ο μόνος λόγος για την εκλογή $\theta \neq 45^\circ$ είναι η περίπτωση όπου είναι επιθυμητή η μείωση των συνδετήρων με αντίστοιχη αύξηση των διαμήκων οπλισμών (ή και το αντίστροφο).

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 χωροδικτυώματος.

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 $v = 0.70 - f_{ck} / 200 \geq 0.50$,

θ η γωνία των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος με τον διαμήκη άξονα του στοιχείου. Η γωνία θ πρέπει να εκλεγεί έτσι ώστε: $0.40 \leq \cot \theta \leq 2.50$.

12.2.3.3 Διαμήκεις οπλισμοί

Η συνισταμένη των εφελκυστικών δυνάμεων $f_{y\ell d} \cdot A_{s\ell}$ διέρχεται από το κέντρο βάρους της ισοδύναμης κοίλης διατομής. Έτσι, ένα ποσοστό του διαμήκους οπλισμού (π.χ. ορισμένοι τένοντες προέντασης) μπορεί να τοποθετηθεί στον άξονα του στοιχείου.

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

Όταν συνδυάζονται στρέψη και υψηλή καμπτική ροπή μπορούν να αναπτυχθούν κρίσιμες κύριες τάσεις στη θλιβόμενη ζώνη, ειδικά σε κιβωτοειδείς διατομές. Στις περιπτώσεις αυτές η κύρια θλιπτική τάση μπορεί να υπολογισθεί από τη μέση διαμήκη θλιπτική τάση λόγω κάμψης και από την διατμητική τάση λόγω στρέψης που μπορεί να ληφθεί ίση με $T_{Sd} / (2 \cdot A_k)$. Η κύρια θλιπτική τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $0.85f_{cd}$.

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)

Οι υπολογισμοί των συνδετήρων μπορούν να γίνουν, με την ίδια γωνία θ , 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

$$T_{Rd3} = 2 \cdot A_k \cdot (f_{y/d} \cdot A_{s\ell} / u_k) \tan \theta \dots\dots\dots (12.6)$$

όπου:

- $A_{s\ell}$ 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),
 θ 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

Σε ανοικτές ή κλειστές λεπτότοιχες διατομές πυρήνων, λόγω παρεμπόδισης της στρέβλωσης αναπτύσσονται πρόσθετες ορθές τάσεις των οποίων η συνισταμένη ισούται με τη διρροπή. Η συνολική ροπή στρέψης T αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Στην ροπή Saint Venant T_1 και στην ροπή στρέβλωσης T_2 , η οποία οφείλεται στην μεταβολή της διρροπής κατά μήκος του άξονα της ράβδου, οπότε:

$$T = T_1 + T_2$$

Μετά τον υπολογισμό των ορθών και διατμητικών τάσεων στις κορυφές της διατομής σύμφωνα με την ελαστική θεωρία, λαμβάνοντας υπόψη ακαμψίες σταδίου II, η διαστασιολόγηση γίνεται ανεξάρτητα για κάθε πλευρά της διατομής ως εξής:

Η διαστασιολόγηση κάθε πλευράς έναντι ορθών τάσεων γίνεται για την συνισταμένη αξονική δύναμη και ροπή κάμψης που υπολογίζονται από τις ορθές τάσεις των ακραίων ινών, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 10.

Η διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας γίνεται με την συνισταμένη των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην συνολική τέμνουσα της διατομής και στην ροπή από στρέβλωση T_2 σύμφωνα με το Κεφάλαιο 11.

Η διαστασιολόγηση σε στρέψη γίνεται για την συνισταμένη ροπή των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην ροπή Saint Venant, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 12.

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.

