

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΕΧΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΜΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

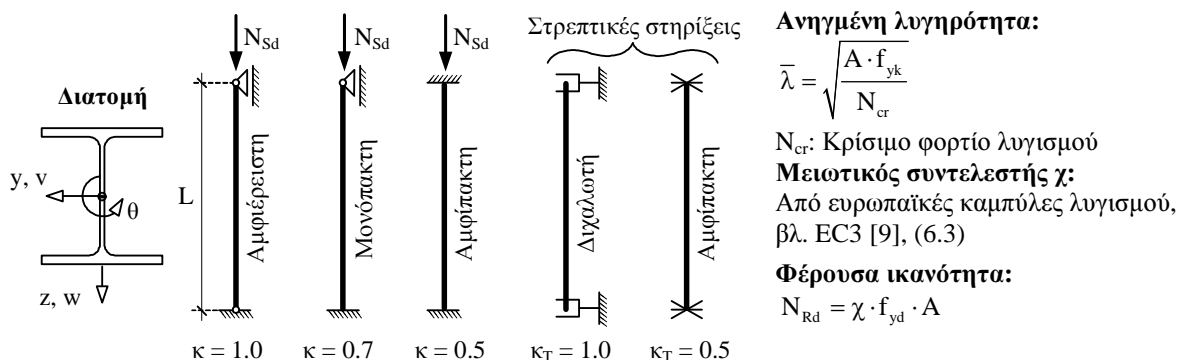
**Ηλιόπουλος Άρης**  
Δρ. Πολ. Μηχανικός  
Σφακτηρίας 4, Κάτω Χαλάνδρι  
15231 Αθήνα  
[iliop78@otenet.gr](mailto:iliop78@otenet.gr)

### 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος ελέγχου της φέρουσας ικανότητας μεταλλικών δομικών στοιχείων με χρήση στατικής 2<sup>ης</sup> τάξεως και στοιχείων δοκού με επτά βαθμούς ελευθερίας. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται σε φαινόμενα καμπτικού, στρεπτικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι απόλυτα συμβατή με τις διατάξεις του EC3 και οδηγεί σε οικονομικότερο σχεδιασμό από την εφαρμογή στατικής 1<sup>ης</sup> τάξης με μειωτικούς συντελεστές.

### 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μεταλλικών δοκών και υποστυλωμάτων βασίζεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EC3 [9] στον υπολογισμό μειωτικών συντελεστών  $\chi$  λόγω ευστάθειας. Οι μειωτικοί αυτοί συντελεστές εξαρτώνται από τη λυγηρότητα του φορέα, την ποιότητα του χάλυβα, τις όποιες δομικές και γεωμετρικές ατέλειες καθώς επίσης και τα κρίσιμα φορτία λυγισμού.

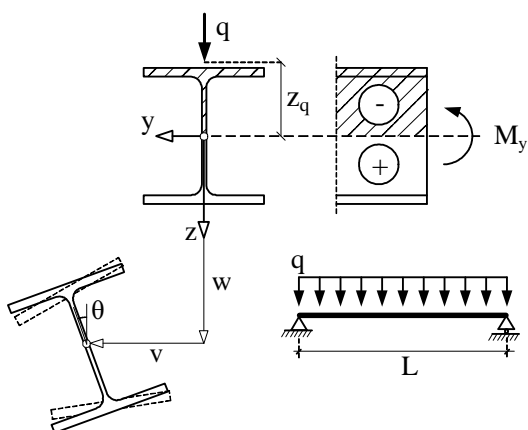


Για διατομές κατηγορίας 4 το εμβαδό  $A$  απομειώνεται λόγω κύρτωσης.

Σχ. 1. Φέρουσα ικανότητα σε λυγισμό απλού υποστυλώματος, [9]

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία υπολογισμού της οριακής αντοχής ενός θλιβόμενου υποστυλώματος μορφής I. Από τη διαδικασία αυτή γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι αναλόγως της γεωμετρίας της διατομής και των συνθηκών στήριξης ( $\kappa$ ,  $\kappa_T$ ) δύναται να εμφανισθεί αστοχία λόγω καμπτικού ή στρεπτικού λυγισμού. Στην περίπτωση του στρεπτικού λυγισμού το κρίσιμο φορτίο  $N_{cr,T}$  λόγω της χαμηλής δυστρεψιάς της ανοικτής διατομής μπορεί να είναι υπό συνθήκες αρκετά δυσμενέστερο από τα  $N_{cr,y}$  και  $N_{cr,z}$ , βλ. [2].

Στην περίπτωση καμπτικής καταπόνησης δοκών το θλιβόμενο τμήμα της διατομής εκτρέπεται πλευρικά συμπαρασύροντας το ευσταθές εφελκυσμένο μέρος της. Έτσι, οι πλευρικές μετατοπίσεις της διατομής συνοδεύονται από στροφές (στρέψη), γι' αυτό και το φαινόμενο είναι ευρέως γνωστό ως στρεπτοκαμπτικός λυγισμός, βλ. Σχ. 2.



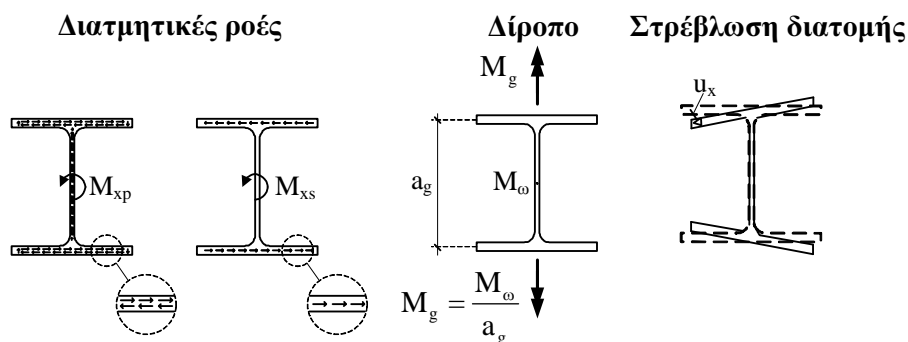
Σχ. 2 Εκτροπή δοκού υπό ομοιόμορφο φορτίο  $q$  λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό με βάση το [9] είναι παρόμοια με αυτήν του Σχήματος 1 και βασίζεται στον υπολογισμό της ελαστικής κρίσιμης ροπής  $M_{cr}$ . Το μέγεθος αυτό είναι αντίστοιχο με το  $N_{cr}$  και εκφράζει το επίπεδο φόρτισης για το οποίο η διατομή εκτρέπεται ελαστικά. Το φαινόμενο είναι, γενικά, ιδιαίτερα πολύπλοκο και οι προτεινόμενες από EC3 αναλυτικές εκφράσεις καλύπτουν απλές περιπτώσεις φόρτισης και συννοριακών συνθηκών. Πληροφορίες για τον τρόπο εξαγωγής των εκφράσεων αυτών παρέχονται στα [2], [6].

Παράλληλα, στις κατασκευές υπάρχουν διάφορα στοιχεία βελτίωσης της ευστάθειας όπως επικαλύψεις και πρόσθετες λεπίδες ο συνυπολογισμός των οποίων οδηγεί σε οικονομικότερες διατομές. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας τρόπος υπολογισμού της αντοχής δομικών συστημάτων από χάλυβα με θεωρία 2<sup>ης</sup> τάξεως λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία αυτά.

### 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΕΠΤΑ ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Το μητρώο δυσκαμψίας  $[K]$  των κλασικών στοιχείων δοκού μορφώνεται, ως γνωστόν, μέσω έξι βαθμών ελευθερίας των μετατοπίσεων  $u$ ,  $v$ ,  $w$  και των στροφών  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  και  $\theta_z$ . Τα μεγέθη αυτά παραμόρφωσης βρίσκονται σε αντιστοιχία με τα εντατικά μεγέθη  $N$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  και  $M_z$ .



Σχ. 3 Στρέψη - Στρέβλωση ανοικτής διατομής τύπου I

Στις ανοικτές διατομές η στρέψη  $M_x$  αποτελείται από τη στρεπτική ροπή *Saint Venant*  $M_{xp}$  και την ροπή ανομοιόμορφης στρέψης  $M_{xs}$ . Ισχύει έτσι:

$$M_x = M_{xp} + M_{xs} \quad (1)$$

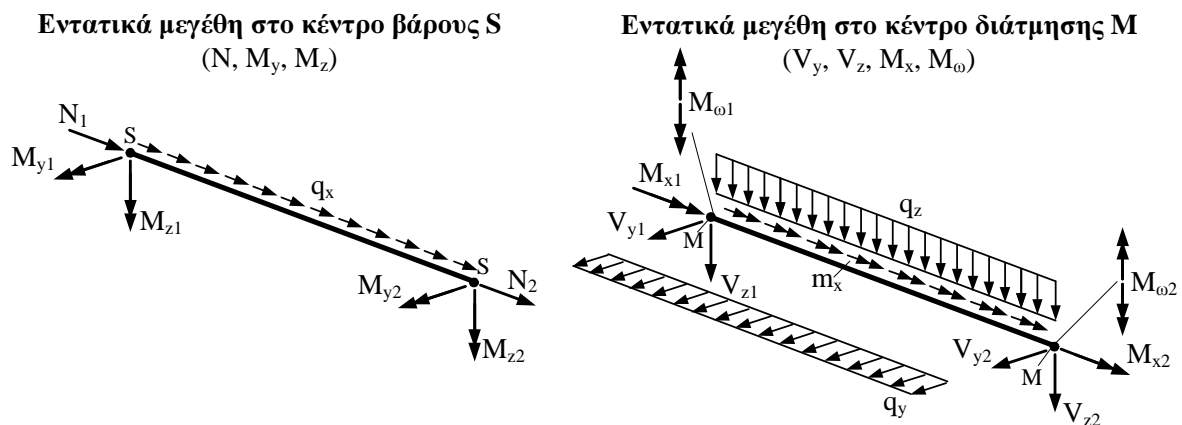
Η ομοιόμορφη στρέψη δημιουργεί εντός των στοιχείων κλειστές διατμητικές ροές και συνδέεται με τη στρόφη  $\theta$  μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$M_{xp} = G_a \cdot I_T \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (2)$$

Η ανομοιόμορφη στρέψη συνοδεύεται από ένα έβδομο εντατικό μέγεθος, το οποίο είναι γνωστό ως δίροπο  $M_\omega$ . Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3 το δίροπο συνίσταται από δύο καμπτικές ροπές  $M_g$  στα πέλματα της διατομής, οι οποίες οδηγούν στη στρέβλωσή της. Η στρέψη  $M_{xs}$  προκύπτει από την παραγωγή του  $M_\omega$  ως εξής:

$$M_{xs} = \frac{dM_\omega}{dx} = -E_a \cdot I_\omega \cdot \frac{d^3\theta}{dx^3} \quad (3)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και μέσω εξισώσεων ενέργειας [4] μορφώνεται ένα μητρώο δυσκαμψίας 14x14 στο οποίο, εκτός των άλλων, περιέχονται όροι στοιβαρότητας της διατομής έναντι στρέβλωσης ( $E_a \cdot I_\omega$ ). Τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη και οι φορτίσεις φαίνονται στο Σχ. 4.



Σχ. 4. Εντατικά μεγέθη σε στοιχείο δοκού με επτά βαθμούς ελευθερίας, [4]

Σημειώνεται ότι οι όροι της στρέψης στο μητρώο δυσκαμψίας εξαρτώνται από έναν παράγοντα  $\varepsilon_T$ , γνωστό και ως “δείκτη ράβδου”, ο οποίος ποσοτικοποιεί ουσιαστικά την επικράτηση της ανομοιόμορφης στρέψης έναντι της ομοιόμορφης και αντίστροφα. Ισχύει:

$$\varepsilon_T = L \cdot \sqrt{\frac{G_a \cdot I_T}{E_a \cdot I_\omega}} \quad (4)$$

Σε δοκούς με  $\varepsilon_T > 10$  η ανομοιόμορφη στρέψη και κατά συνέπεια η στρέβλωση είναι αμελητέες. Αυτό συμβαίνει στις κλειστές διατομές (π.χ. κοιλοδοκοί, κλειστά κιβώτια) και σε διατομές με  $I_\omega = 0$  (π.χ. διατομές μορφής Γ, T).

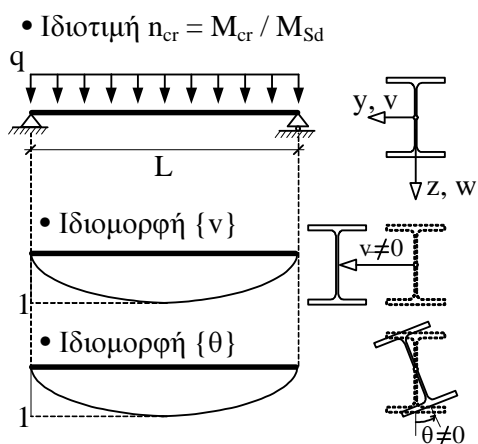
#### 4. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΘΕΩΡΙΑ 2<sup>ης</sup> ΤΑΞΕΩΣ

Είναι προφανές ότι στοιχεία δοκού με επτά βαθμούς ελευθερίας δύνανται να περιγράψουν όλες εκείνες τις μορφές εκτροπών που εμφανίζονται σε προβλήματα ευστάθειας. Με βάση τη θεωρία 2<sup>ης</sup> τάξεως οι διαφορικές εξισώσεις ισορροπίας ή ενέργειας μορφώνονται στην παραμορφωμένη κατάσταση με συνέπεια τα εντατικά μεγέθη να είναι μη γραμμικώς

εξαρτώμενα μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή οδηγεί σε ένα μητρώο δυσκαμψίας του οποίου οι όροι είναι συναρτήσει της εξωτερικής φόρτισης. Έτσι, η μητρωική σχέση φόρτισης – παραμορφώσεων γράφεται ως εξής:

$$([K] + [G]) \cdot \{u\} = \{s\} - \{s_0\} \quad (5)$$

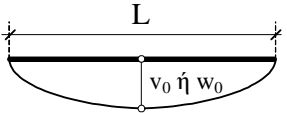
Στη Σχέση (5) το μητρώο δυσκαμψίας αποτελείται από το κλασσικό μητρώο δυσκαμψίας  $[K]$  του φορέα και το γεωμετρικό μητρώο δυσκαμψίας  $[G]$ , του οποίου οι όροι εξαρτώνται από τα εντατικά μεγέθη  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  και  $M_\omega$ . Όσο η ένταση του φορέα αυξάνει, τόσο η δυσκαμψία αυτού μειώνεται. Για ένα κρίσιμο επίπεδο φόρτισης δημιουργείται αστάθεια, δηλ. το μητρώο  $([K] + [G])$  είναι πια μη αντιστρέψιμο (απειρισμός των παραμορφώσεων). Το επίπεδο αυτό φόρτισης υπολογίζεται από τον μηδενισμό της ορίζουσας του συνολικού μητρώου δυσκαμψίας και εκφράζεται μέσω ενός δείκτη φόρτισης  $n_{cr}$ .



Σχ. 5 Δείκτης φόρτισης και ιδιομορφές εκτροπής λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Για την απλή περίπτωση λυγισμού μέσω καθαρής αξονικής φόρτισης (βλ. Σχ. 1) είναι  $n_{cr} = N_{cr} / N_{Sd}$ . Για την περίπτωση στρεπτοκαμπτικού λυγισμού του Σχήματος 5 είναι  $n_{cr} = M_{cr} / M_{Sd}$ . Γενικά, αν  $n_{cr} > 10$ , τότε η επαύξηση των εντατικών μεγεθών λόγω φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξεως θεωρείται αμελητέα. Αν  $1 \leq n_{cr} \leq 10$ , τότε απαιτείται ανάλυση μέσω θεωρίας 2<sup>ας</sup> τάξεως. Τέλος, αν  $n_{cr} \leq 1$ , η συνέχιση υπολογισμών δεν είναι πια ευφικτή. Συνιστάται, γενικώς, να είναι  $n_{cr} \geq 1.20$ . Τονίζεται ότι η όλη αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας βασίζεται ουσιαστικά σε μια ιδιομορφική ανάλυση. Ο δείκτης φόρτισης  $n_{cr}$  είναι μια ιδιοτιμή, η οποία συνδέεται με μια ιδιομορφή εκτροπής ή με βάση τη βιβλιογραφία γνωστή και ως κανονική μορφή λυγισμού.

Στην Εξ. (5)  $\{s\}$  είναι το άνυσμα φόρτισης και  $\{s_0\}$  το άνυσμα αρχικών ατελειών μεταφρασμένο σε δράσεις. Οι αρχικές ατέλειες επιβάλλονται στο φορέα με βάση τις ιδιομορφές εκτροπής. Έτσι, για την περίπτωση του Σχήματος 5 απαιτείται η εφαρμογή μιας παραβολικής μορφής αρχικής ατέλειας κατά τη διεύθυνση του ισχυρού άξονα  $y$ . Εναλλακτικά, δύναται να τοποθετηθεί μια στροφική αρχική ατέλεια, κάτι το οποίο όμως δεν προβλέπεται από τους κανονισμούς. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες από το [8] τιμές αρχικών ατελειών. Πιο πολύπλοκες εκφράσεις περιέχονται στο [9].

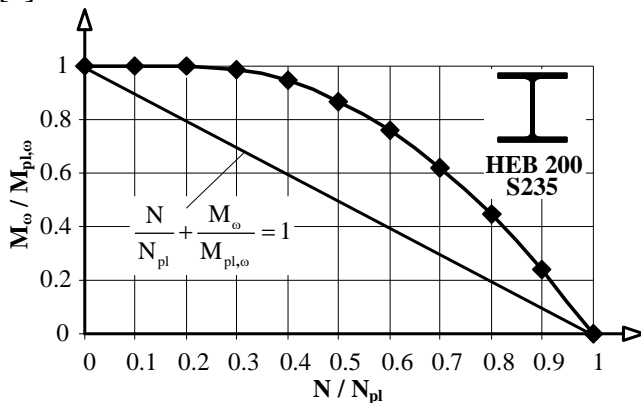
	Καμπύλη λυγισμού	Μονομελείς διατομές	Πολυμελείς διατομές
Ακρότατες τιμές αρχικών ατελειών $v_0$ και $w_0$	a	$L / 300$	$L / 500$
	b	$L / 250$	
	c	$L / 200$	
	d	$L / 150$	

<sup>1</sup>Στην περίπτωση στρεπτοκαμπτικού λυγισμού η ακρότατη τιμή αρχικής ατέλειας λαμβάνεται υπόψη με το ήμισυ της τιμής της (κατηγορίες 1 και 2).  
<sup>2</sup>Σε περιπτώσεις στρεπτικού λυγισμού τίθεται μια στροφική αρχική ατέλεια στο μέσο με τιμή  $\theta_0 = 2 \cdot v_0 / a_g$ ,  $a_g$ : απόσταση κέντρου βάρους πελμάτων δοκού, βλ. [6].

Πίν. 1. Αρχικές ατέλειες για υπολογισμό με θεωρία 2<sup>ας</sup> τάξεως, [8]

## 5. ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΥΠΟ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΔΡΑΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Μετά την εφαρμογή των αρχικών ατελειών ακολουθεί η διαδικασία της επίλυσης και προσδιορισμού των εντατικών μεγεθών. Ακόμη και σε πολύ απλές περιπτώσεις φόρτισης είναι δυνατόν να εμφανισθούν και τα επτά εντατικά μεγέθη  $N$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ,  $M_x$  και  $M_\omega$ . Σε τέτοιες περιπτώσεις τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης προς προσδιορισμό της αντοχής της εκάστοτε διατομής είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Το θέμα αναλύεται διεξοδικά στα [2], [5].

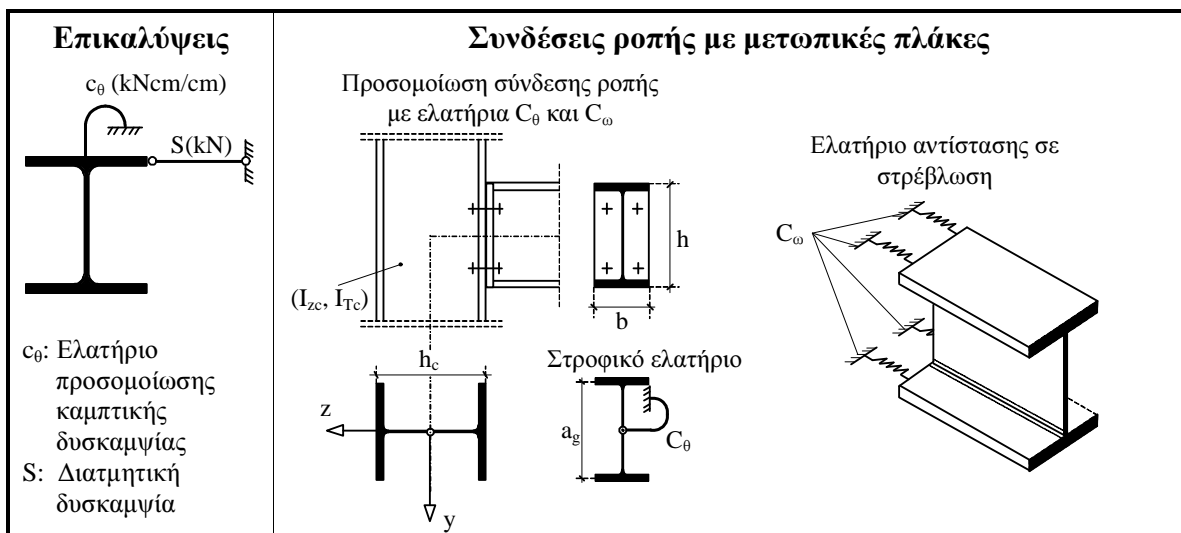


Σχ. 6 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης  $N - M_\omega$  για HEB 200 / S235, [5]

Στο Σχήμα 6 φαίνεται ο ρόλος του δίροπου  $M_\omega$  στη φέρουσα ικανότητα μιας πλατύπελμης διατομής HEB 200. Η αλληλεπίδραση είναι γενικώς μη γραμμική. Ωστόσο, προς απλοποίηση των υπολογισμών επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται γραμμικές σχέσεις ελέγχου της αντοχής. Όπως είναι αναμενόμενο οι σχέσεις αυτές είναι προς την πλευρά της ασφαλείας οδηγώντας όμως τις περισσότερες φορές σε υπερδιαστασιολόγηση.

## 6. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΦΟΡΕΩΝ

Η ύπαρξη επικαλύψεων καθώς και συνδέσεων ροπής έχουν ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ευστάθειας των φερόντων στοιχείων. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση σύνδεσης χαλυβδόφυλλου με το άνω θλιβόμενο πέλμα. Το χαλυβδόφυλλο μέσω της καμπτικής και διατμητικής του δυσκαμψίας ανθίσταται στην εκτροπή του πέλματος, βλ. Σχ. 7. Οι τιμές των  $S$  και  $c_\theta$  για χαλυβδόφυλλα βρίσκονται στα [1], [2] και [6].

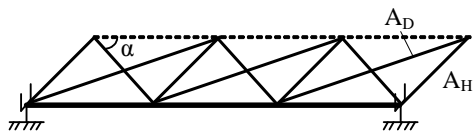


Σχ. 7 Ελατήρια προσομοίωσης χαλυβδόφυλλου – συνδέσεων ροπής, [6]

Στην περίπτωση σύνδεσης ροπής της υπό εξέταση δοκού με υποστήλωμα μέσω μετωπικής πλάκας διαστάσεων  $b \times h \times t$  τα ελατήρια  $C_\theta$  και  $C_\omega$  δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$C_{\theta} = \frac{\kappa \cdot E_a \cdot I_{zc}}{h_c}, \kappa = 3 \text{ για αμφιαρθρωτό υποστύλωμα και } \kappa = 4 \text{ για αμφίπακτο} \quad (6)$$

$$C_{\omega} = G_a \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot b \cdot h \cdot t^3 + I_{Tc} \cdot a_g \right) \quad (7)$$



Σχ. 8 Δικτύωση μορφής X

Στην περίπτωση δικτυωτών συνδέσμων η διατηρητική δυσκαμψία αυτών είναι:

$$S = \frac{E_a}{\frac{1}{A_D \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{1}{A_H \cdot \cot \alpha}} \quad (8)$$

## 7. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η πρώτη εφαρμογή αναφέρεται σε διαξονική καταπόνηση τεγίδας τύπου UPE υπό ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία, λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της ευστάθειας από το χαλυβδόφυλλο ( $c_{\theta}$ , S) και τον ελκυστήρα (ντίζα) στο μέσο της. Η δεύτερη εφαρμογή αναφέρεται στην περίπτωση αξονικής φόρτισης αμφιαρθρωτού υποστυλώματος HEB με πλευρική εξασφάλιση στο μέσο (π.χ λόγω δικτύωσης ή επαρκώς δύσκαμπτου σενάζ).

	ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2
<b>Διατομή:</b>	UPE 180 / S275	HEB 300 / S355
<b>Στατικό σύστημα – Φόρτιση</b>		
<b>Παράγοντες ευστάθειας</b>	$S = 2000 \text{ kN}$ $c_{\theta} = 2.0 \text{ kNcm/cm}$	-
<b>Ιδιομορφές εκτροπής</b>		
<b>Δείκτης φόρτισης</b>	$n_{cr} = 8.75 < 10$	$n_{cr} = 3.12 < 10$
<b>Αρχικές ατέλειες</b>	<p>Για καμπύλη λυγισμού c:  <math>v_0 = 0.5 \cdot \frac{300}{200} = 0.75 \text{ cm}</math></p>	<p>Για καμπύλη λυγισμού b στο μέσο της δοκού: <math>v_0 = 600 / 250 = 2.4 \text{ cm}</math>  <math>\theta_0 = 2 \cdot 2.4 / (30 - 1.9) = 0.171 \text{ rad}</math></p>
<b>Συντελεστής εκμετάλλευσης</b>	<p><math>S_d / R_d = 0.955</math></p>	<p><math>S_d / R_d = 0.841</math></p>

Πίν. 2. Αριθμητικές εφαρμογές – Περιπτώσεις στρεπτοκαμπτικού και στρεπτικού λυγισμού

## 8. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μεταλλικών δομικών στοιχείων μέσω θεωρίας 2<sup>ας</sup> τάξεως και στοιχείων δοκού με επτά βαθμούς ελευθερίας οδηγεί μέσω κατάλληλης εφαρμογής των αρχικών ατελειών σε αξιόπιστα αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε συστήματα με πολύπλοκες φορτίσεις και συνοριακές συνθήκες. Σημαντικό για την ορθότητα των αποτελεσμάτων είναι οι αρχικές ατέλειες να προσαρμόζονται στο σχήμα των ιδιομορφών εκτροπής. Πληροφορίες για μητρική ανάλυση με στοιχεία δοκού με επτά βαθμούς ελευθερίας δίνονται στο [4]. Αριθμητικές μέθοδοι για τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών σε προβλήματα ευστάθειας παρουσιάζονται στο [7].

Η ταυτόχρονη εμφάνιση επτά εντατικών μεγεθών απαιτεί τη χρήση διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, στα οποία συνυπολογίζεται η επίδραση της ανομοιόμορφης στρέψης. Στα [2], [5] αναφέρεται ότι τα προτεινόμενα από τον EC3 διαγράμματα αλληλεπίδρασης δεν καλύπτουν με επάρκεια όλες τις περιπτώσεις καταπόνησης των διατομών, οδηγώντας άλλοτε σε υπερδιαστασιολόγηση κι άλλοτε σε ανασφαλή αποτελέσματα. Προτείνεται, γενικώς, η χρήση των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης από το [2] ή της μεθόδου των επιμέρους εντατικών μεγεθών, βλ. [5].

Η συνεκτίμηση της συνεισφοράς της δυσκαμψίας των επικαλύψεων, δικτυώσεων και των όποιων κατασκευαστικών λεπτομερειών (λεπίδες ενίσχυσης, συνδέσεις) στη στατική ανάλυση οδηγεί σε βελτίωση της ευστάθειας και οικονομικότερο σχεδιασμό. Στο [6] παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός περιπτώσεων ποσοτικοποίησης μεγεθών, όπως η διατμητική και η καμπτική δυσκαμψία των χαλυβδόφυλλων, η δυστρεψία συνδέσεων ροπής κ.α. Αντίστοιχες αναφορές γίνονται στα [1] και [2]. Για σύμμικτες γέφυρες συστάσεις σε θέματα ευστάθειας γίνονται στο [3].

Τονίζεται ότι η χρήση στατικής 2<sup>ας</sup> τάξεως με επτά βαθμούς ελευθερίας χρησιμοποιείται ευρέως την τελευταία δεκαετία σε γερμανόφωνες χώρες. Λογισμικά συνεχών δοκών, βλ. [7], κάνουν χρήση αριθμητικών μεθόδων προς υπολογισμό ιδιομορφών εκτροπής ακόμη και για διατομές κατηγορίας 4 λαμβάνοντας υπόψη φαινόμενα επιφανειακού λυγισμού.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βάγιας Ι., Dubina D. “Σιδηρές κατασκευές από λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2004.
- [2] Βάγιας Ι. “Σιδηρές κατασκευές. Ανάλυση και διαστασιολόγηση”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003.
- [3] Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α. “Σύμμικτες γέφυρες”, Σεμινάρια ΙΕΚΕΜ (ΤΕΕ), 2007.
- [4] Kindmann R., Kraus M. “Finite – Elemente Methoden im Stahlbau”, Verlag Ernst und Sohn, 2007.
- [5] Kindmann R., Frickel J. “Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit”, Verlag Ernst und Sohn, 2002.
- [6] Meister J. “Nachweispraxis Biegeknicken und Biegedrillknicken”, Verlag Ernst und Sohn, 2002.
- [7] Laumann J. E. “Zur Berechnung der Eigenwerte und Eigenformen für Stabilitätsprobleme des Stahlbaus”, Fortschritt – Berichte VDI, 2007.
- [8] DIN 18 800 (11.90): Stahlbauten.
- [9] DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1.1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung (2005).

**STABILITY AND LOAD BEARING CAPACITY OF CONTINUOUS STEEL  
SYSTEMS  
AN ALTERNATIVE DESIGN METHOD**

**Aris Iliopoulos**

Dr. –Ing. Ruhr Universität, Bochum

Athens, Greece

[iliop78@otenet.gr](mailto:iliop78@otenet.gr)

**SUMMARY**

According to Eurocode 3 the carrying capacity of steel cross sections is estimated through the use of reduction factors due to buckling. These factors depend mainly on the magnitude of elastic critical loads, which are obtained from the solution of stability differential equations. In cases of systems with complicated load cases and support conditions these equations cannot be solved analytically and therefore another calculation procedure has to be applied.

In the current paper an alternative and more precise method of estimating the load bearing capacity of continuous steel systems is presented. The method makes use of second order theory and beam elements with seven degrees of freedom. In addition, the elastic critical loads and their corresponding buckling shapes are calculated numerically. In this way, the failure mode (torsional, lateral or lateral – torsional buckling) is immediately recognisable.

The second order analysis of continuous imperfect beams or columns leads to simultaneous appearance of seven internal forces. Normal forces, bending moments and the bimoments result in normal stresses on the cross sections. Saint Venant's torsion and the warping torsion result in shear stresses. In [2] and [5] the capacity curves of Eurocode 3, for cases in which warping influences the structural behaviour, are described as inaccurate. Thus, with the application of more complicated interaction diagrams, in which warping torsion is taken into account, a more suitable approach for stability problems can be achieved.

To sum up, the recommendations of Eurocode 3 don't cover all the load cases with the necessary accuracy and can be partly unsafe. The application of second order theory with 7-DOF beam elements provides a valuable insight into stability problems and offers the capability of a more realistic design.