

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΟΙΛΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ Ω.Σ.  
ΜΕ ΑΜΙΓΩΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ**

**Εμμανουήλ Γ. Τσιομπάνος<sup>a</sup>, Άννα Α. Μαρινοπούλου<sup>b</sup>, Δημήτριος Θ. Παχούμης<sup>b</sup>,  
Ευάγγελος Γ. Γαλούσης<sup>c</sup>, Χρίστος Ν. Κάλφας<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> MSc Πολιτικός Μηχανικός

<sup>b</sup> Υποψ. Διδ., MSc Πολιτικός Μηχανικός

<sup>c</sup> Καθηγητής Δ.Π.Θ.

<sup>d</sup> Επικ. Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Δ.Π.Θ

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail : [msslgroup@civil.duth.gr](mailto:msslgroup@civil.duth.gr)

## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή επιχειρείται η προσομοίωση διατομών Ω.Σ. με αμιγώς μεταλλικές ιδεατές διατομές για τη μελέτη φαινομένων τοπικών λυγισμών. Η ιδεατή διατομή, που επιλέγεται για την προσομοίωση, έχει το ίδιο ορθογωνικό σχήμα με την αρχική διατομή αλλά διαφορετικές διαστάσεις. Οι άγνωστες διαστάσεις της ιδεατής διατομής υπολογίζονται από το σύστημα των εξισώσεων, που προκύπτει από τις συνθήκες ισοδυναμίας των αξονικών και καμπτικών ακαμψιών της αρχικής και της ιδεατής διατομής. Η λύση του συστήματος είναι κλειστή και εκφράζεται συναρτήσεως των γεωμετρικών και μηχανικών παραμέτρων της αρχικής διατομής. Για επιβεβαίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, γίνονται αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία τόσο της διατομής Ω.Σ. όσο και της ιδεατής διατομής, από τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές της αξονικής και της εγκάρσιας παραμόρφωσης. Από τη σχετική σύγκλιση των τιμών αυτών ενισχύεται η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθοδολογίας προσομοίωσης. Έτσι, η εν λόγω μεθοδολογία μπορεί να αποτελέσει έναν εύχρηστο τρόπο αντικατάστασης των κοίλων διατομών Ω.Σ με αμιγώς ιδεατές χαλύβδινες, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη φαινομένων τοπικών λυγισμών των κοίλων διατομών Ω.Σ. σύμφωνα με την μεθοδολογία που ακολουθείται για τις λεπτότοιχες χαλύβδινες διατομές.

## **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Σε δομικά στοιχεία από ωπλισμένο σκυρόδεμα τα φαινόμενα τοπικών λυγισμών δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς λόγω της πολυπλοκότητας της συμπεριφοράς των δύο υλικών, σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού. Τα φαινόμενα αυτά καθίστανται ιδιαίτερα κρίσιμα σε υψηλά βάρη γεφυρών, όπου οι διατομές είναι κοίλες ορθογωνικές, με παρειές σχετικά μικρού πάχους. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσομοίωσης των διατομών αυτών με ισοδύναμες αμιγώς χαλύβδινες διατομές, προκειμένου με τον τρόπο

αυτό το πρόβλημα του φαινομένου τοπικού λυγισμού των διατομών Ω.Σ. να μεταφερθεί και να αντιμετωπισθεί ως πρόβλημα λεπτότοιχων χαλύβδινων διατομών, για τις οποίες υπάρχει εκτεταμένη έρευνα των αντίστοιχων φαινομένων.

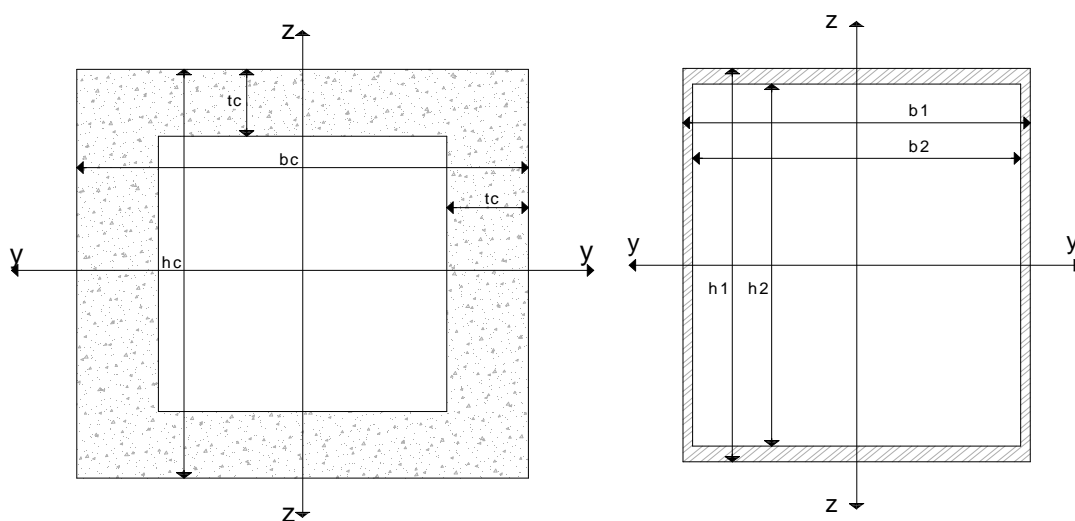
Η προσομοίωση γίνεται με κατάλληλη προσαρμογή της μεθόδου που έχει αναπτυχθεί για την προσομοίωση σύμμικτων διατομών υποστυλωμάτων μερικώς εγκιβωτισμένων σε σκυρόδεμα με αμιγώς χαλύβδινες διατομές [1,2]. Η ταυτόσημη συμπεριφορά της διατομής του Ω.Σ. και της ιδεατής απαιτεί την ικανοποίηση των ακόλουθων συνθηκών ισοδυναμίας:

1. Η αξονική ακαμψία της ιδεατής διατομής να προσεγγίζει την αντίστοιχη ακαμψία της διατομής Ω.Σ..
2. Οι καμπτικές ακαμψίες και ως προς τους δύο κεντροβαρικούς άξονες της ιδεατής διατομής να προσεγγίζουν τις αντίστοιχες ακαμψίες της διατομής Ω.Σ.

### 3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΕΑΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η ιδεατή χαλύβδινη διατομή που προσομοιώνει πλήρως την κοίλη διατομή Ω.Σ. είναι επίσης μία κοίλη διατομή του ίδιου σχήματος αλλά με διαφορετικές εσωτερικές και εξωτερικές διαστάσεις (Σχ. 1). Για την πλήρη και επακριβή περιγραφή της ιδεατής διατομής χρειάζεται να προσδιοριστούν τέσσερις γεωμετρικές διαστάσεις, οι δύο εξωτερικές  $h_1$  και  $b_1$  και οι δύο εσωτερικές  $h_2$  και  $b_2$ . Σημειώνεται ότι τα οριζόντια και τα κάθετα ελάσματα, που μορφώνουν την ιδεατή διατομή, δεν έχουν, κατ' ανάγκη, το ίδιο πάχος. Οι άγνωστες αυτές διαστάσεις προσδιορίζονται από τις αλγεβρικές εξισώσεις, που προκύπτουν από τα τρία κριτήρια ισοδυναμίας των ακαμψιών τους, που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Δεδομένου ότι οι εξισώσεις αυτές είναι τρεις, ενώ οι άγνωστες γεωμετρικές διαστάσεις είναι τέσσερις, ως τέταρτη εξίσωση θεωρείται ο ακόλουθος γεωμετρικός περιορισμός:

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{h_2}{h_1} = \alpha < 1 \Leftrightarrow \frac{t_b}{b_1} = \frac{t_h}{h_1} = \frac{1-\alpha}{2} \quad (1)$$



σχ. 1. Προσομοίωση κοίλης διατομής Ω.Σ με ιδεατή χαλύβδινη διατομή

### 3.1 Αξονικές ακαμψίες

Οι αξονικές ακαμψίες της διατομής Ω.Σ. και της ιδεατής διατομής είναι, αντίστοιχα:

$$(EA)_c = E_c A_c - E_c A_s + E_s A_s \quad \text{και} \quad (EA)_a = E_a A_a \quad (2)$$

όπου ο δείκτης α αντιστοιχεί στο δομικό χάλυβα, ο c στο σκυρόδεμα και ο s στο χάλυβα οπλισμού. Από την απαίτηση ισοδυναμίας των ακαμψιών προκύπτει η εξίσωση:

$$E_a A_a = E_c A_c - E_c A_s + E_s A_s \quad (3)$$

Με την εισαγωγή του λόγου ψ των μέτρων ελαστικότητας σκυροδέματος και χάλυβα λαμβάνεται:

$$A_a = \psi A_c - \psi A_s + A_s \quad (4)$$

Από τις σχέσεις (1) και (4) προκύπτει:

$$(1 - \alpha^2) b_1 h_1 = \psi A_c - \psi A_s + A_s \quad (5)$$

Για την αδιαστατοποίηση της σχέσης (5) εισάγονται οι παράμετροι β και η, οι οποίες εκφράζουν τους λόγους των εξωτερικών διαστάσεων της αρχικής διατομής προς τις αντίστοιχες διαστάσεις της ιδεατής διατομής. Είναι δε:

$$\eta = h_1 / h_c \Leftrightarrow h_1 = \eta h_c \quad (6)$$

$$\beta = b_1 / b_c \Leftrightarrow b_1 = \beta b_c \quad (7)$$

Από τις σχέσεις (5), (6) και (7) και λαμβάνοντας υπόψη και την (1), προκύπτει:

$$(1 - \alpha^2) \beta \eta = \frac{\psi A_c}{b_c h_c} - \frac{\psi A_s}{b_c h_c} + \frac{A_s}{b_c h_c} \quad (8)$$

Η παράμετρος ρ<sub>s</sub> εκφράζει το ποσοστό του οπλισμού σε σχέση με τη διατομή του σκυροδέματος:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{b_c h_c} = \rho_s \quad (9)$$

Από τις σχέσεις (8) και (9) προκύπτει:

$$(1 - \alpha^2) \beta \eta = \psi (1 - \rho_s) + \rho_s \quad (10)$$

Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης αυτής εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά μεγέθη και από τις ιδιότητες των υλικών της διατομής Ω.Σ. και έτσι μπορεί να αντικατασταθεί από μία σταθερά. Επειδή δε, όπως φαίνεται από τον ορισμό της παραμέτρου ρ<sub>s</sub> με τη σχέση (9), η ρ<sub>s</sub> είναι πολύ μικρότερη της μονάδος, η σταθερά έχει πάντοτε θετική τιμή:

$$d_{x,R}^2 = \psi (1 - \rho_s) + \rho_s \quad (11)$$

Με τη θεώρηση αυτή από τη σχέση (11) προκύπτει η πρώτη εξίσωση μεταξύ των αγνώστων παραμέτρων β και η, που σχετίζονται άμεσα με τις διαστάσεις b<sub>1</sub> και h<sub>1</sub> της ιδεατής διατομής. Η εξίσωση αυτή εκφράζει σε αδιάστατη μορφή την ισοδυναμία των αξονικών ακαμψιών της αρχικής διατομής Ω.Σ. και της ιδεατής διατομής και είναι η ακόλουθη:

$$(1 - \alpha^2) \beta \eta = d_{x,R}^2 \quad (12)$$

### 3.2 Καμπτικές ακαμψίες

Η ισοδυναμία των καμπτικών ακαμψιών ως προς τον ισχυρό άξονα y-y της αρχικής διατομής από Ω.Σ και της ιδεατής χαλύβδινης διατομής ορίζεται από την εξίσωση:

$$E_a I_{a,y} = E_c I_{c,y} - E_c I_{s,y} + E_s I_{s,y} \quad (13)$$

Η σχέση αυτή, αν εισαχθεί ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας  $\psi$ , υπολογισθεί η ακαμψία της ιδεατής διατομής  $I_{a,y}$  και ληφθούν υπόψη οι σχέσεις (1), γίνεται:

$$(1-\alpha^4) \frac{b_1 h_1^3}{12} = \psi I_{c,y} - \psi I_{c,y} + I_{c,y} \quad (14)$$

Με την εισαγωγή των αδιάστατων παραμέτρων  $\eta$  και  $\beta$  από τις σχέσεις (6) και (7), αντίστοιχα, προκύπτει:

$$(1-\alpha^4) \beta \eta^3 = \frac{\psi I_{c,y}}{b_c h_c^3 / 12} - \frac{\psi I_{s,y}}{b_c h_c^3 / 12} + \frac{I_{s,y}}{b_c h_c^3 / 12} \quad (15)$$

Ο λόγος της ακαμψίας των ράβδων οπλισμού  $I_{s,y}$  προς εκείνη της διατομής του σκυροδέματος  $I_{c,y}$  εκφράζεται από το αντίστοιχο μέγεθος  $\theta$  (πολύ μικρότερο της μονάδος) ως εξής:

$$\theta = \frac{I_{s,y}}{I_{c,y}} = \frac{I_{s,y}}{b_c h_c^3 / 12} \quad (16)$$

Με τη θεώρηση αυτή η σχέση (15) μετασχηματίζεται σε:

$$(1-\alpha^4) \beta \eta^3 = \psi (1-\theta) + \theta \quad (17)$$

Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης αυτής εξαρτάται και πάλι μόνο από τις γεωμετρικές και μηχανικές παραμέτρους της αρχικής διατομής και αντικαθίσταται με τη θετική σταθερά:

$$d_{y,R}^2 = \psi (1-\theta) + \theta \quad (18)$$

Από τη σχέση (17) προκύπτει η δεύτερη εξίσωση μεταξύ των αγνώστων παραμέτρων  $\beta$  και  $\eta$ , που σχετίζονται άμεσα με τις διαστάσεις  $b_1$  και  $h_1$  της ιδεατής διατομής. Η εξίσωση αυτή εκφράζει σε αδιάστατη μορφή την ισοδυναμία των καμπτικών ακαμψιών ως προς τον άξονα  $y-y$  και είναι:

$$(1-\alpha^4) \beta \eta^3 = d_{y,R}^2 \quad (19)$$

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει η εξίσωση:

$$(1-\alpha^4) \beta^3 \eta = d_{z,R}^2 \quad (20)$$

η οποία εκφράζει την ισοδυναμία των καμπτικών ακαμψιών ως προς τον άξονα  $z-z$  και όπου η ποσότητα  $d_{z,R}^2$  είναι, επίσης, μία θετική ποσότητα, αντίστοιχη με την  $d_{y,R}^2$ , η οποία ορίζεται από τη σχέση:

$$d_{z,R}^2 = \psi (1-\delta) + \delta \quad (21)$$

με

$$\delta = \frac{I_{s,z}}{I_{c,z}} = \frac{I_{s,z}}{h_c b_c^3 / 12} \quad (22)$$

Από τις συνθήκες ισοδυναμίας των αξονικών και καμπτικών ακαμψιών προέκυψε το σύστημα των εξισώσεων (12), (19) και (20) με αγνώστους τις αδιάστατες παραμέτρους  $\beta$ ,  $\eta$  και  $\alpha$ . Το σύστημα αυτό επιδέχεται κλειστή λύση, από την οποία προκύπτουν οι ζητούμενες διαστάσεις  $b_1$ ,  $h_1$ ,  $b_2$  και  $h_2$  της ιδεατής διατομής [3]. Από την επίλυση του συστήματος λαμβάνεται:

$$\eta^2 = \frac{d_{y,R}^2 / d_{x,R}^2}{(1+\alpha^2)}, \quad \beta^2 = \frac{d_{z,R}^2 / d_{x,R}^2}{(1+\alpha^2)} \quad \text{και} \quad \beta \eta = \frac{d_{y,R} d_{z,R}}{d_{x,R} (1+\alpha^2)} \quad (23)$$

και σε συνδυασμό με την εξίσωση (12) προκύπτει:

$$\frac{(1-\alpha^2)}{(1+\alpha^2)} = \frac{d_{x,R}^4}{d_{y,R} d_{z,R}} \quad (24)$$

Οι παράμετροι  $d_{x,R}$ ,  $d_{y,R}$  και  $d_{z,R}$  που έχουν ορισθεί με τις σχέσεις (11), (18) και (21), αντίστοιχα, είναι δοσμένες θετικές ποσότητες, που εξαρτώνται από τις γεωμετρικές και μηχανικές παραμέτρους της διατομής Ω.Σ.. Κατά συνέπεια το ίδιο ισχύει και για την ποσότητα στο δεύτερο μέλος της (24), η οποία μπορεί να αντικατασταθεί με τη δοσμένη θετική παράμετρο  $K$  που ορίζεται ως:

$$K = \frac{d_{x,R}^4}{d_{y,R} d_{z,R}} \quad (25)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση (25), η επίλυση της εξίσωσης (24) ως προς  $\alpha$  δίνει:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1-K}{1+K}} \quad (26)$$

Κατόπιν αυτού, από τις σχέσεις (23) προκύπτουν οι τιμές των  $\eta$  και  $\beta$ , αντίστοιχα, οι οποίες είναι:

$$\eta = \sqrt{\frac{1+K}{2}} \frac{d_{y,R}}{d_{x,R}} \quad (27)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1+K}{2}} \frac{d_{z,R}}{d_{x,R}} \quad (28)$$

Οι σχέσεις (26), (27) και (28) αποτελούν τους αλγορίθμους υπολογισμού των αδιάστατων αγνώστων  $\alpha$ ,  $\eta$  και  $\beta$ , αντίστοιχα, οι οποίοι ελήφθησαν αντί των ζητούμενων διαστάσεων  $b_1$ ,  $h_1$ ,  $b_2$  και  $h_2$  της ιδεατής διατομής. Αν ληφθούν υπόψη οι σχέσεις (1), (6) και (7), με τις οποίες έχουν ορισθεί οι παράμετροι  $\alpha$ ,  $\eta$  και  $\beta$ , προκύπτουν οι σχέσεις του πιν. I, με τις οποίες είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι διαστάσεις  $b_1$ ,  $h_1$ ,  $b_2$  και  $h_2$  της ιδεατής διατομής. Ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια των σταθερών παραμέτρων  $d_{x,R}$ ,  $d_{y,R}$ ,  $d_{z,R}$  και  $K$ , οι οποίες έχουν συγκεκριμένες τιμές, εξαρτώμενες από τις γεωμετρικές ιδιότητες και τις μηχανικές σταθερές των υλικών της αρχικής διατομής.

Στην ειδική περίπτωση που η διατομή του εξ' ωπλισμένου σκυροδέματος υποστυλώματος είναι τετραγωνικού σχήματος, τετραγωνική θα είναι και η ιδεατή χαλύβδινη διατομή. Έτσι, οι άγνωστες διαστάσεις της ιδεατής διατομής περιορίζονται σε δύο, την εξωτερική και την εσωτερική διάσταση  $h_1$  και  $h_2$  των πλευρών του τετραγώνου. Είναι προφανές επίσης ότι όλες οι παρειές του τετραγώνου θα έχουν το ίδιο πάχος. Το ενιαίο πάχος  $t$  των πλευρών της τετραγωνικής ιδεατής διατομής δίνεται απευθείας από την παρακάτω σχέση [3]:

$$t = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{1+K}{2}} - \sqrt{\frac{1-K}{2}} \right) \frac{d_{y,R}}{d_{x,R}} h_c \quad (31)$$

Εξωτερικό ύψος ιδεατής χαλύβδινης διατομής $h_1$	Εξωτερικό πλάτος ιδεατής χαλύβδινης διατομής $b_1$	Εσωτερικό πλάτος ιδεατής χαλύβδινης διατομής $b_2$	Εσωτερικό πλάτος ιδεατής χαλύβδινης διατομής $b_2$
$h_1 = \sqrt{\frac{1+K}{2}} \frac{d_{y,R}}{d_{x,R}} h_c$	$b_1 = \sqrt{\frac{1+K}{2}} \frac{d_{z,R}}{d_{x,R}} b_c$	$h_2 = \sqrt{\frac{1-K}{2}} \frac{d_{y,R}}{d_{x,R}} h_c$	$b_2 = \sqrt{\frac{1-K}{2}} \frac{d_{z,R}}{d_{x,R}} b_c$

πιν I. Τύποι υπολογισμού διαστάσεων ιδεατής διατομής

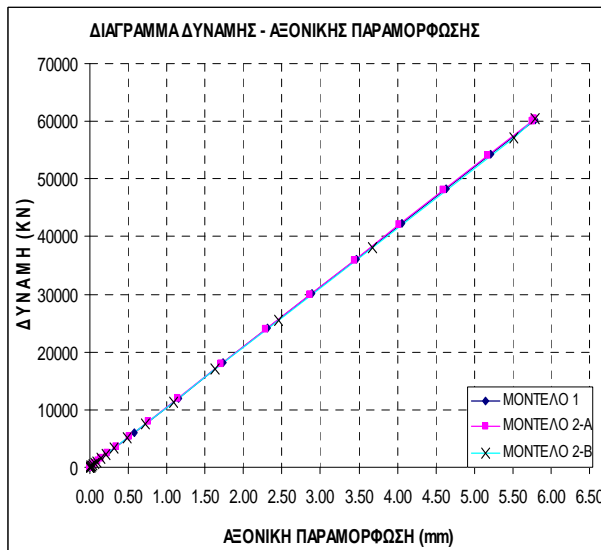
#### 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθοδολογίας προσομοίωσης, που αναπτύχθηκε παραπάνω, έγινε ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, με την χρήση του προγράμματος ABAQUS. Στον πιν. 2 αναγράφονται οι διαστάσεις και οι ποιότητες των υλικών της αρχικής τετραγωνικής διατομής Ω.Σ., καθώς και οι διαστάσεις της ιδεατής διατομής που προκύπτουν με εφαρμογή των τύπων υπολογισμού του πιν. 1. Επίσης, παρουσιάζονται τα είδη των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση. Σημειώνεται ότι η ανάλυση της προσομοιωμένης διατομής έγινε τόσο με shell όσο και με solid elements, προκειμένου να διαπιστωθεί το είδος του στοιχείου είναι πιο κατάλληλο για την περίπτωση.

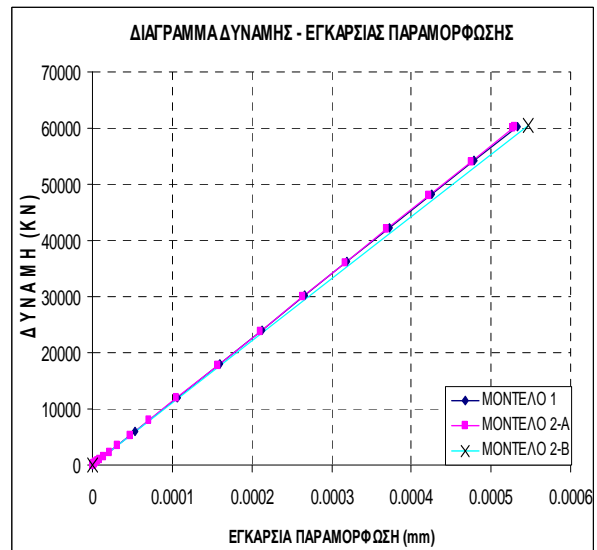
ΜΟΝΤΕΛΟ	1	2Α	2Β
ΥΛΙΚΟ	ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΧΑΛΥΒΑΣ	ΧΑΛΥΒΑΣ
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	3000x3000x250	2811x2811x31	2811x2811x31
ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	C40 / S500 / Φ20	S 235	S 235
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	solid elements C3D8R	shell elements S4R	solid elements C3D8R

πιν. 2. Μοντέλα FEM ανάλυσης

Από την ανάλυση ελήφθησαν οι τιμές αξονικής και εγκάρσιας παραμόρφωσης που παρουσιάζει το κάθε μοντέλο στο ίδιο κατακόρυφο θλιπτικό φορτίο και σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα φορτίου – παραμόρφωσης που παρουσιάζονται στα σχ. 2 και σχ. 3. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα αυτά, υπάρχει πρακτική ταύτιση των καμπύλων τους. Τούτο, άλλωστε, αποδεικνύεται και από τον υπολογισμό των αποκλίσεων που παρουσιάζεται στον πιν. 3. Η σύγκλιση αυτή των παραμορφώσεων αποδεικνύει ότι η αρχική διατομή Ω.Σ. και η ιδεατή χαλύβδινη διατομή παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά, τουλάχιστον στον ελαστικό κλάδο, που είναι το ζητούμενο για τον τελικό στόχο της μελέτης φαινομένων τοπικού λυγισμού, δεδομένου ότι τα φαινόμενα αυτά αποτελούν πρώιμες μορφές αστοχίας. Επιπλέον από τον πίν. 3 προκύπτει ότι οι μικρότερες αποκλίσεις εμφανίζονται μεταξύ του



σχ. 2 Διάγραμμα αξονικών παραμορφώσεων



σχ. 3 Διάγραμμα εγκάρσιων παραμορφώσεων

ΜΟΝΤΕΛΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ %	
	ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ
1-2(A)	0.09	0.61
1-2(B)	1.87	2.54

πιν. 3. Αποκλίσεις μεταξύ των μοντέλων

μοντέλου 1 (διατομή σκυροδέματος) και του μοντέλου 2-A (μεταλλική διατομή με στοιχεία shell). Αυτό σημαίνει ότι, για τη διερεύνηση των φαινομένων τοπικών λυγισμών σε διατομές σπλισμένου σκυροδέματος, οι ισοδύναμες ιδεατές μεταλλικές διατομές είναι ορθότερο να προσομοιώνονται με στοιχεία κελύφους (shell elements).

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

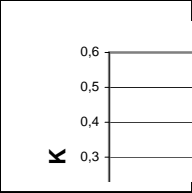
Με το παρόν άρθρο προτείνεται μία απλή και εύχρηστη μέθοδος προσομοίωσης κοίλων διατομών Ω.Σ με αμιγώς χαλύβδινες κοίλες ιδεατές διατομές. Δίνονται απλές εξισώσεις υπολογισμού των γεωμετρικών διαστάσεων της ιδεατής διατομής με βάση τις γεωμετρικές και μηχανικές παραμέτρους της διατομής Ω.Σ. Η προτεινόμενη μέθοδος φαίνεται να είναι αρκετά αξιόπιστη δεδομένου ότι οι αποκλίσεις των τιμών της αξονικής και της εγκάρσιας παραμόρφωσης από την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία είναι μικρότερες του 1%, όταν για την ανάλυση της ιδεατής χαλύβδινης διατομής χρησιμοποιούνται shell elements. Με βάση τη μέθοδο αυτή είναι δυνατόν τα φαινόμενα τοπικών λυγισμών των διατομών Ω.Σ να μελετηθούν και να αντιμετωπισθούν με τις θεωρίες που εφαρμόζονται στις χαλύβδινες λεπτότοιχες διατομές.

## 6. ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] Marinopoulou A, Kalfas C., «Simulation of Composite Steel-Concrete Column with Steel Column», Proceedings of 5<sup>th</sup> National Conference on Metal Structures, volume I, p. 162-169, Xanthi Greece 2005

- [2] Marinopoulou A, Balopoulos V, Kalfas C., «Simulation of Partially Encased Composite Steel-Concrete Columns with Steel Columns», *Journal of Constructional Steel Research* 2007; 63:1058-65.
- [3] Τσιομπάνος Εμμανουήλ, «Προσομοίωση κοίλων διατομών Ο.Σ με αμιγώς μεταλλικές διατομές για την επίλυση προβλημάτων τοπικών λυγισμών» Μετ. Διατριβή Οκτώβριος 2007.





## **SIMULATION OF RC COLUMN WITH PURE STEEL COLUMN OF FICTITIOUS CROSS-SECTION FOR CHECKING LOCAL BUCKLING OF R.C SECTION**

**Emmanuel G. Tsiompanos<sup>a</sup>, Anna A. Marinopoulou<sup>b</sup>, Dimitrios Th. Pachoumis<sup>b</sup>,  
Evangelos G. Galoussis<sup>c</sup>, Christos N. Kalfas<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> MSc Civil Engineer

<sup>b</sup> Phd. Cand., MSc Civil Engineer

<sup>c</sup> Professor of DUTH

<sup>d</sup> Assistant Professor of DUTH  
Steel Structures Laboratory of DUTH  
Xanthi, Greece

e-mail : [msslgroup@civil.duth.gr](mailto:msslgroup@civil.duth.gr)

### **1. SUMMARY**

In this paper, a methodology for simulating RC columns with pure steel columns of fictitious cross-section for checking local buckling of R.C section is suggested. The proposed methodology is based on the equivalence of axial stiffness and principal centroidal flexural stiffnesses between the two different types of section considered herein. The fictitious section is of the same shape as the actual section but of different dimensions, which are obtained in closed form. The relations that give the unknown dimensions of the fictitious cross-section are based on the geometric and mechanical parameters of the actual RC cross-section. Parametric FEM analysis is carried out in order to establish the reliability of the proposed methodology of simulation. The relative errors in the calculated results, such as axial and lateral deformation, do not exceed 4%, which are within the acceptable limits for practical applications. To conclude, the proposed methodology of simulation is inevitably reliable and can be used for purposes of checking local buckling of RC columns.