

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΜΟΝΩΡΟΦΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΟΥΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΜΕΛΗ**

Κωνσταντίνος Ε. Καλοχαιρέτης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: kalkostis@hotmail.com

Χάρης Ι. Γαντές

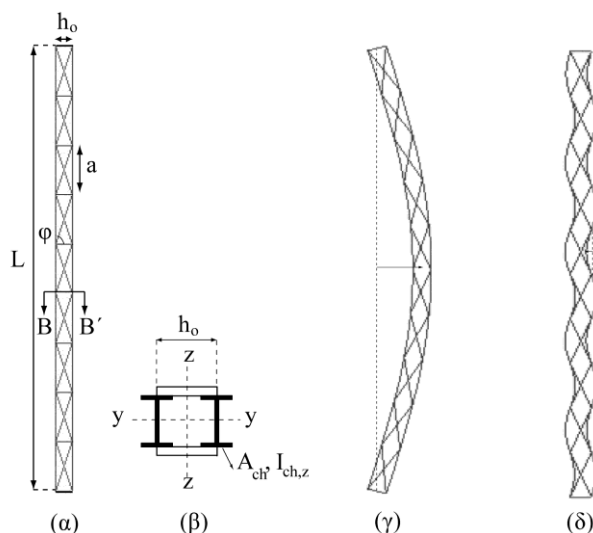
Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: chgantes@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σύνθετα υποστυλώματα με ράβδους δικτύωσης χρησιμοποιούνται συχνά σε μεταλλικές κατασκευές προσφέροντας οικονομικές λύσεις σε περιπτώσεις μεγάλων ανοιγμάτων και/ή μεγάλων φορτίων και απαντώνται συνήθως σε μονώροφα βιομηχανικά πλαίσια. Στον Ευρωκώδικα 3 τα σύνθετα υποστυλώματα με ράβδους δικτύωσης προσομοιώνονται ως μέλη Timoshenko και παρέχονται οδηγίες σχεδιασμού για την περίπτωση αμφιέριστου μέλους. Στην παρούσα εργασία η προτεινόμενη προσεγγιστική αναλυτική διαδικασία 2^{ης} τάξης που οδηγεί σε κλειστές λύσεις για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής, της τέμνουσας δύναμης και των εγκάρσιων βελών κατά μήκος ενός ατελούς μέλους Timoshenko υπό εγκάρσια φόρτιση με τυχαίες συνοριακές συνθήκες και παρουσιάστηκε εκτενώς σε προηγούμενες εργασίες των συγγραφέων, χρησιμοποιείται κατάλληλα για τον προσδιορισμό της στατικής συμπεριφοράς μονώροφων βιομηχανικών πλαισίων που αποτελούνται από σύνθετα μέλη. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται αναλυτικά με βάση την προτεινόμενη διαδικασία συγκρίνονται με αυτά που προκύπτουν από μη γραμμικές αριθμητικές αναλύσεις γεωμετρίας και υλικού σε μονώροφα βιομηχανικά πλαίσια προσομοιούμενα με στοιχεία δοκού. Η ακρίβεια των αναλυτικών αποτελεσμάτων είναι πολύ ικανοποιητική σε ρεαλιστικές περιπτώσεις γεωμετρίας και φορτίων. Επιπλέον, αξιολογείται η χρήση άλλων μεθόδων ανάλυσης και διαστασιολόγησης τέτοιων πλαισίων και εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη μελετητική πρακτική.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύνθετα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται συχνά σε περιπτώσεις μεγάλων φορτίων ή/και μεγάλων ανοιγμάτων. Με βάση τον τρόπο σύνδεσης των πελμάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες: τα σύνθετα υποστυλώματα με ράβδους δικτύωσης και εκείνα με λεπίδες σύνδεσης. Η κατηγορία την οποία αφορά το συγκεκριμένο άρθρο είναι η πρώτη, στην οποία γίνεται χρήση διαγώνιων ράβδων δικτύωσης (Σχ. 1α,β).



Σχ. 1 (α) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (β) διατομή, (γ) ιδιομορφή καθολικού λυγισμού και (δ) ιδιομορφή τοπικού λυγισμού τυπικού σύνθετου μέλους με ράβδους δικτύωσης.

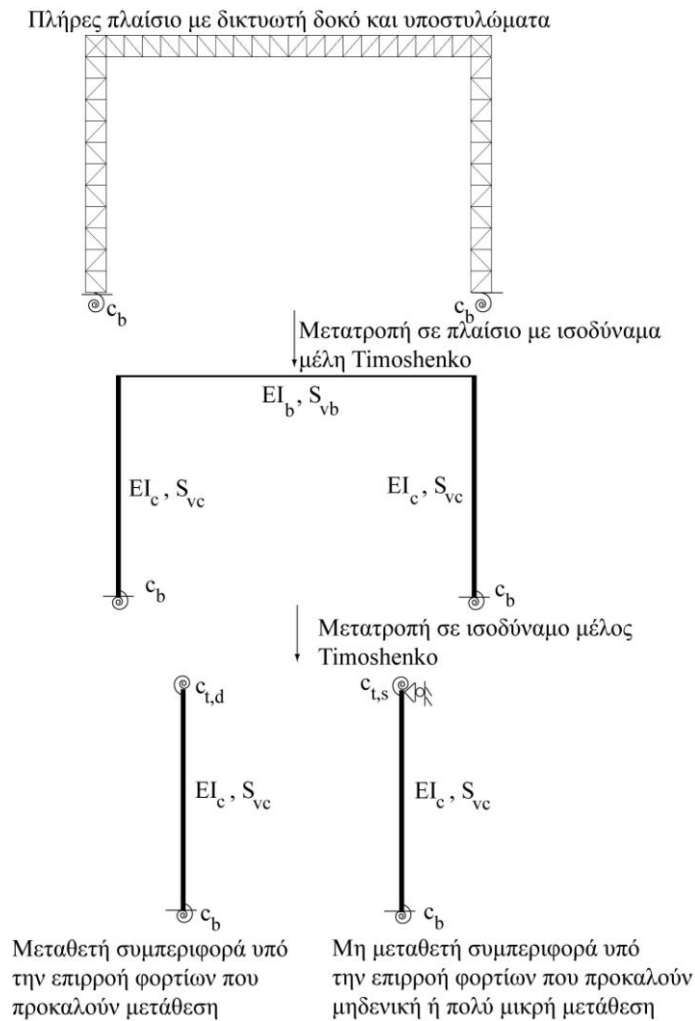
Στα σύνθετα υποστυλώματα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη επιπρόσθετα στοιχεία που τα διαφοροποιούν από τα κοινώς χρησιμοποιούμενα δομικά μέλη. Το πρώτο είναι οι διατμητικές παραμορφώσεις που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση προσομοίωσης των συνθέτων μελών με μονομελείς διατομές ισοδύναμης καμπτικής και διατμητικής δυσκαμψίας. Με αυτό το θέμα έχουν ασχοληθεί αρκετοί ερευνητές [1] και στον Ευρωκώδικα 3 (EC3) [2] χρησιμοποιείται αυτή τη φιλοσοφία ως βάση για την ανάλυση αμφιέριστων συνθέτων υποστυλωμάτων. Το δεύτερο θέμα αφορά την αλληλεπίδραση τοπικού και καθολικού λυγισμού. Με τον όρο «καθολικός λυγισμός» αναφερόμαστε στο λυγισμό ολόκληρου του σύνθετου μέλους και ο όρος «τοπικός λυγισμός» αφορά το λυγισμό των φατνωμάτων (Σχ. 1γ, δ). Η ύπαρξη τοπικών και καθολικών ατελειών οδηγεί σε αλληλεπίδραση αυτών των δύο ιδιομορφών λυγισμού και σε συνακόλουθη μείωση της αντοχής των συγκεκριμένων υποστυλωμάτων και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη [3]. Οι συγγραφείς με χρήση πλήρως μη γραμμικών αναλύσεων (GMNIA) διεπίστωσαν πως τα σύνθετα μέλη με ράβδους δικτύωσης συμπεριφέρονται σχεδόν ελαστικά μέχρι την κατάρρευση, η οποία συνήθως οφείλεται σε τοπική ελαστοπλαστική αστοχία του κρίσιμου φατνώματος [3]. Συνεπώς, η χρήση ελαστικών αναλύσεων για τον προσδιορισμό της απόκρισης και εν συνεχεία για το σχεδιασμό τέτοιων συνθέτων μελών είναι επαρκής.

Με βάση αυτά τα συμπεράσματα, αρχικά προτάθηκε από τους συγγραφείς αναλυτική μέθοδος για τον υπολογισμό του ελαστικού κρίσιμου φορτίου λυγισμού μελών Timoshenko με τυχαίες συνοριακές συνθήκες και πολυώροφων πλαισίων που αποτελούνται από μέλη Timoshenko με βάση τη μέθοδο Engesser [4]. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας κατάλληλα τα αποτελέσματα του ελαστικού φορτίου λυγισμού [4], προτάθηκε προσεγγιστική αναλυτική διαδικασία που οδηγεί σε κλειστές σχέσεις για τον

υπολογισμό της καμπτικής ροπής, τέμνουσας δύναμης και εγκάρσιων βελών κατά μήκος ενός ατελούς μέλους Timoshenko υπό αξονική θλιπτική δύναμη και συγκεκριμένες εγκάρσιες φορτίσεις [5]. Η χρήση των εντατικών μεγεθών σε μια απλή προτεινόμενη σχέση αλληλεπίδρασης οδηγεί σε επαρκή υπολογισμό του φορτίου αστοχίας σύνθετων υποστυλωμάτων με ράβδους δικτύωσης [5]. Τα αποτελέσματα των εργασιών [3], [4] και [5] αναλύονται εκτενώς στην εργασία [6] και εφαρμόζονται επαρκώς σε μέλη Timoshenko και σε σύνθετα μέλη με ράβδους δικτύωσης με τυχαίες συνοριακές συνθήκες. Συνεπώς, είναι δυνατή η χρήση τους για το σχεδιασμό μονώροφων βιομηχανικών πλαισίων, εφόσον τα τελευταία μετατραπούν κατάλληλα σε ισοδύναμα μέλη Timoshenko με τυχαίες συνοριακές συνθήκες, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

3. ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΠΛΑΙΣΙΑ

Θεωρείται ένα επίπεδο μονώροφο βιομηχανικό πλαίσιο αποτελούμενο από σύνθετα δικτυωτά υποστυλώματα και δικτυωτή δοκό (Σχ. 2) που είναι συμμετρικό τόσο σε ό,τι αφορά τη γεωμετρία του όσο και τις συνοριακές συνθήκες. Οι εδράσεις του πλαισίου θεωρούνται ακλόνητες σε ό,τι αφορά τις μετακινήσεις ενώ ο περιορισμός των στροφών εξαρτάται από την τιμή του στροφικού ελατηρίου c_b .



Σχ. 2 Σταδιακή μετατροπή πλήρους μονώροφου βιομηχανικού πλαισίου σε ισοδύναμο προσομοίωμα μέλους Timoshenko

Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος θεωρούνται άκαμπτες και οποιαδήποτε μορφή αστοχίας στη δοκό και στις συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος αποκλείεται από τη μελέτη, θεωρώντας ότι αυτά τα δομικά στοιχεία διαθέτουν επαρκή υπεραντοχή. Οι ράβδοι δικτύωσης των σύνθετων υποστυλωμάτων, σύμφωνα με τη συνήθη μελετητική πρακτική, σχεδιάζονται επίσης με αρκετή υπεραντοχή, ώστε να μην αστοχήσουν πριν την αστοχία των πελμάτων των σύνθετων μελών. Το πλήρες πλαίσιο αρχικά αντικαθίσταται από ισοδύναμο πλαίσιο με μέλη Timoshenko που έχουν ισοδύναμες καμπτικές και διατμητικές δυσκαμψίες όπως αυτές υπολογίζονται κατά τον EC3 [2]. Στη συνέχεια, θεωρώντας μόνο συμμετρικές και αντισυμμετρικές φορτίσεις, το ζύγωμα του πλαισίου αντικαθίσταται από κατάλληλα στροφικά ελατήρια, όπως αυτά εξήχθησαν για τον υπολογισμό του ελαστικού φορτίου λυγισμού πολυώροφων κατασκευών από μέλη Timoshenko [4], [6], ανάλογα με το αν η φόρτιση προκαλεί παραμόρφωση μονής (αμετάθετη συμπεριφορά και στροφικό ελατήριο $c_{t,s}$) ή διπλής (μεταθετή συμπεριφορά και στροφικό ελατήριο $c_{t,d}$) καμπυλότητας (Σχ. 2). Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται η εύλογη παραδοχή πως η συνολική αξονική δύναμη που καταπονεί το ζύγωμα του πλαισίου είναι μηδενική. Ακολουθώντας απομονώνεται το δυσμενέστερο υποστυλόμετρο με ισοδύναμα φορτία και εφαρμόζεται η αναλυτική διαδικασία για μέλη Timoshenko και σύνθετα μέλη με τυχαίες συννοριακές συνθήκες [4], [5], [6]. Η αναλυτική διαδικασία οδηγεί σε υπολογισμό των εγκάρσιων (οριζόντιων) μετακινήσεων του πλαισίου και του φορτίου αστοχίας με χρήση κατάλληλης σχέσης αλληλεπίδρασης [5], [6] που βασίζεται στα προκύπτοντα εντατικά μεγέθη στο ισοδύναμο μέλος Timoshenko. Η διαδικασία που περιγράφηκε στην παρούσα ενότητα ονομάζεται στις αναλύσεις που παρουσιάζονται στη συνέχεια «Προτεινόμενη Μέθοδος Β» και στη σχέση αλληλεπίδρασης γίνεται χρήση της αντοχής κρίσιμου φατνώματος λαμβάνοντας υπόψη την επέκταση της διαρροής στις κρίσιμες διατομές (πλήρης τοπική αντοχή κρίσιμου φατνώματος).

4. ΕΙΔΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

4.1 Γραμμική και μη γραμμική ελαστική ανάλυση (Λογισμικό 1 και Λογισμικό 2)

Η χρήση εμπορικών λογισμικών σε συνδυασμό με τις οδηγίες του EC3 [2] είναι ευρέως διαδεδομένη στη σύγχρονη μελετητική πρακτική. Η ανάλυση είναι συνήθως είτε γραμμική ελαστική είτε μη γραμμική ανάλυση γεωμετρίας με ελαστικό υλικό, με την πρώτη να χρησιμοποιείται κυρίως στην πράξη. Και στα δύο είδη ανάλυσης χρησιμοποιούνται στοιχεία δοκού για την πλήρη προσομοίωση του πλαισίου (Σχ. 2) και ο έλεγχος της αντοχής των σύνθετων υποστυλωμάτων (εφόσον έχει αποκλειστεί η αστοχία των ράβδων δικτύωσης όπως προαναφέρθηκε) πραγματοποιείται με χρήση της σχέσης αλληλεπίδρασης

$$\frac{N}{\chi_z A_{ch} f_y} + k_{zz} \frac{M_z}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1 \quad (1)$$

όπου N και M_z είναι η αξονική θλιπτική δύναμη και ροπή κάμψης ως προς τον άξονα κάμψης (ασθενής) στην κρίσιμη διατομή, χ_z ο μειωτικός συντελεστής λόγω τοπικής ατέλειας προκαλούσας καμπτικό λυγισμό θεωρώντας ως ισοδύναμο μήκος τοπικού λυγισμού το μήκος του κάθε φατνώματος a , A_{ch} το εμβαδό του ενός πέλματος, f_y το όριο διαρροής του υλικού, k_{zz} ο συντελεστής αλληλεπίδρασης (υπολογιζόμενος με βάση τη Μέθοδο 2 του EC3 στην παρούσα εργασία) και $M_{z,pl,Rd}$ η πλήρης καμπτική αντοχή της διατομής για κάμψη περί τον ασθενή άξονα (οι διατομές των πελμάτων είναι κατηγορίας 1 ή 2 στην παρούσα εργασία). Φορτίο αστοχίας θεωρείται συνεπώς εκείνο το οποίο οδηγεί σε οριακή ικανοποίηση της ανισοσύτητας (1). Στις αναλύσεις που παρουσιάζονται στη συνέχεια, οι χρήσεις εμπορικού λογισμικού για τη γραμμική ελαστική ανάλυση και τη μη γραμμική ανάλυση γεωμετρίας με ελαστικό υλικό με πλήρη προσομοίωση του βιομηχανικού πλαισίου, ονομάζονται «Λογισμικό 1» και «Λογισμικό 2», αντίστοιχα.

4.2 Μη γραμμική ανάλυση σε ισοδύναμο πλαίσιο Timoshenko (GNIA-Ισ. πλαίσιο)

Η χρήση μη γραμμικής ανάλυσης γεωμετρίας με ελαστικό υλικό στο πλαίσιο που αποτελείται από ισοδύναμα μέλη Timoshenko τόσο για τα σύνθετα υποστυλώματα όσο και για το δικτυωτό ζύγωμα (Σχ. 2) δύναται να οδηγήσει στον προσδιορισμό της απόκρισης του πλαισίου. Το φορτίο αντοχής του πλαισίου μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της προτεινόμενης σχέσης αλληλεπίδρασης [5], [6] που αναφέρθηκε στην ενότητα 3.

4.3 Πλήρης μη γραμμική ανάλυση του πλήρως προσομοιωμένου πλαισίου (GMNIA)

Η πλήρης μη γραμμική ανάλυση του πλήρως προσομοιωμένου πλαισίου με στοιχεία δοκού (Σχ. 2) αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο προσδιορισμού της συμπεριφοράς του πλαισίου εκ των προαναφερθεισών. Λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της μη γραμμικότητας γεωμετρίας ενσωματώνοντας τις αρχικές ατέλειες με άμεσο τρόπο. Επιπλέον, ενσωματώνεται η διαρροή του υλικού και η επίδραση πλαστικών ζωνών στα φέροντα στοιχεία οδηγώντας σε επαρκή υπολογισμό των μετακινήσεων και του φορτίου αστοχίας. Η χρήση της είναι αρκετά περιορισμένη στην πράξη εξαιτίας του ό,τι είναι διαθέσιμη μόνον σε εξειδικευμένα εμπορικά λογισμικά. Στην παρούσα εργασία, οι αναλύσεις GMNIA πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων ADINA [7] και αποτελούν το μέτρο σύγκρισης, καθώς θεωρείται πως οδηγούν σε πολύ ακριβή αποτελέσματα.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

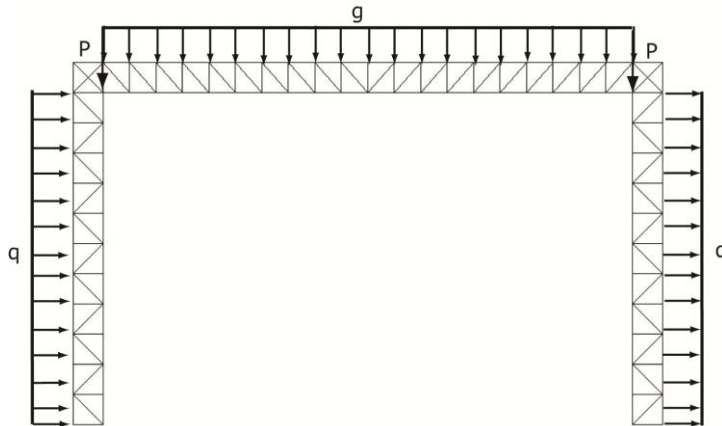
Από το σύνολο των βιομηχανικών πλαισίων που αποτελούνται από σύνθετα μέλη με ράβδους δικτύωσης και εξετάστηκαν εκτενώς στην εργασία [6], στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ένα εξ' αυτών με αρθρωτές εδράσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση μεταλλικού βιομηχανικού πλαισίου συνοψίζονται στον Πίν. 1 (βλ. Σχ. 1). Το εμβαδό των διαγωνίων ράβδων συμβολίζεται ως A_d , η ισοδύναμη καμπτική ροπή αδρανείας ως I_{eff} και η ισοδύναμη διατμητική δυσκαμψία ως S_v .

Μέλος	L (cm)	h_o (cm)	a (cm)	Διατομή πελμάτων	A_d (cm ²)	I_{eff} (cm ⁴)	S_v (kN)
Υποστυλώματα	2380	170	170	HEB160	10	784635	74242
Δικτυωτό ζύγωμα	4300	300	295	HEA400	100	7155000	549407

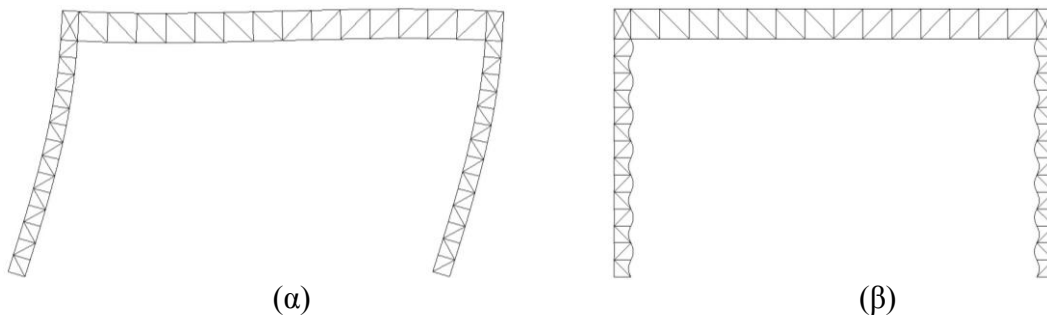
Πίν. 1: Χαρακτηριστικά του υπό εξέταση βιομηχανικού πλαισίου

Τυπικό βιομηχανικό πλαίσιο υπό την επίδραση κατακόρυφης και οριζόντιας φόρτισης φαίνεται στο Σχ. 3. Η συγκεκριμένη φόρτιση θα μπορούσε να αντιστοιχεί σε συνδυασμό ιδίων βαρών και ανέμου και αποτελείται από κατακόρυφο ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο επί του ζυγώματος $g=25\text{kN/m}$, αξονικό θλιπτικό φορτίο $P=500\text{kN}$ έκκεντρα ασκούμενο στον άνω κόμβο των υποστυλωμάτων και οριζόντιο ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο $q=12\text{kN/m}$ επί των εξωτερικών πλευρών των σύνθετων υποστυλωμάτων. Επιπλέον, θεωρείται αρχική ατέλεια σύμφωνα με το σχήμα της ιδιομορφής καθολικού λυγισμού του πλαισίου με μέγιστη τιμή $w_o=L_c/500$ στον άνω κόμβο των σύνθετων υποστυλωμάτων με φορά σύμφωνη με εκείνη των φορτίων q και αρχική τοπική ατέλεια σύμφωνα με το σχήμα της ιδιομορφής τοπικού λυγισμού με μέγεθος που προκύπτει από τις κανονιστικές διατάξεις του EC3 [2]. Τα σχήματα της ιδιομορφής καθολικού λυγισμού θεωρώντας αρθρωτές εδράσεις και της ιδιομορφής τοπικού λυγισμού φαίνονται στα Σχ. 4(α) και Σχ. 4(β), αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από Γραμμικοποιημένες Αναλύσεις Λυγισμού με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA [7]. Θα πρέπει να αναφερθεί πως η ιδιομορφή τοπικού λυγισμού των πελμάτων που φαίνεται στο Σχ. 4(β) συνδέεται με τον τοπικό λυγισμό του εσωτερικού πέλματος των σύνθετων υποστυλωμάτων, ενώ για ίδιο φορτίο εμφανίζεται και η ιδιομορφή τοπικού λυγισμού των εξωτερικών πελμάτων. Οι ιδιομορφές τοπικού λυγισμού χρησιμοποιούνται κατάλληλα

ώστε η φορά και το μέγεθος των τοπικών ατελειών που εισάγονται στις πλήρως μη γραμμικές αναλύσεις GMNIA των πλήρως προσομοιωμένων πλαισίων να οδηγούν στο ελάχιστο φορτίο αντοχής της κατασκευής.

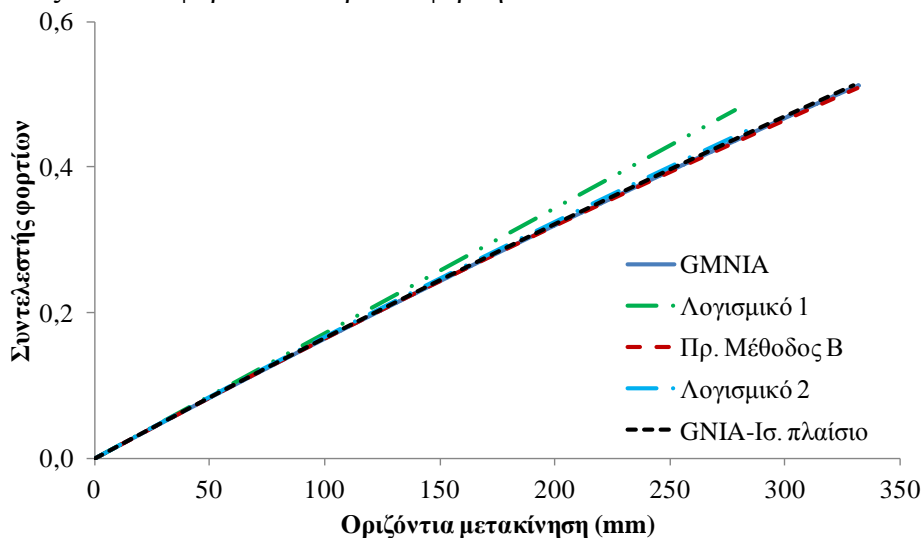


Σχ. 3 Τυπικό βιομηχανικό πλαίσιο υπό την επιρροή της εξεταζόμενης φόρτισης



Σχ. 4 (α) Ιδιομορφή καθολικού λυγισμού και (β) ιδιομορφή τοπικού λυγισμού πελμάτων του υπό εξέταση μονώροφου βιομηχανικού πλαισίου

Στο Σχ. 5 παρουσιάζονται οι δρόμοι ισορροπίας που προέκυψαν για την φόρτιση του Σχ. 3 στο υπό εξέταση μονώροφο βιομηχανικό πλαίσιο για την περίπτωση αρθρώσεων στις εδράσεις. Στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η οριζόντια μετακίνηση στον άνω κόμβο των υποστυλωμάτων (μέγιστη τιμή) και στον κατακόρυφο άξονα ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζονται τα φορτία που προαναφέρθηκαν.



Σχ. 5 Δρόμοι ισορροπίας για την περίπτωση του υπό εξέταση πλαισίου με βάση διαφορετικές μεθόδους

Παρατηρείται η απόκλιση της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης (Λογισμικό 1) που οδηγεί σε υποεκτίμηση των οριζόντιων μετακινήσεων αλλά σε ασφαλή πρόβλεψη του φορτίου αστοχίας. Η χρήση μη γραμμικής ελαστικής ανάλυσης (Λογισμικό 2) οδηγεί σε βελτίωση της πρόβλεψης των οριζόντιων μετακινήσεων και σε συντηρητική πρόβλεψη του φορτίου αστοχίας. Η συντηρητική πρόβλεψη του φορτίου αστοχίας οφείλεται και στις δύο περιπτώσεις στο γεγονός ότι η καμπτική ροπή λόγω συνέχειας των πελμάτων καθ' ύψος μειώνεται λόγω διαρροής του υλικού οδηγώντας σε αύξηση της αξονικής δύναμης στο κρίσιμο φάτνωμα. Συνεπώς η καμπτική ροπή που εισέρχεται στη σχέση αλληλεπίδρασης (1) και υπολογίζεται με βάση ελαστική ανάλυση οδηγεί σε συντηρητικά αποτελέσματα [5], [6].

Η Προτεινόμενη Μεθόδος-B οδηγεί σε ικανοποιητική πρόβλεψη τόσο των οριζόντιων μετακινήσεων όσο και του φορτίου αστοχίας. Η καλύτερη σύγκριση με τις πλήρως μη γραμμικές αναλύσεις GMNIA επιτυγχάνεται με χρήση GNIA σε ισοδύναμο πλαίσιο με μέλη Timoshenko.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε η εφαρμογή μεθόδων που έχουν προταθεί από τους συγγραφείς για το σχεδιασμό σύνθετων υποστυλωμάτων από χάλυβα σε μονώροφα βιομηχανικά πλαίσια που αποτελούνται από τέτοια μέλη αντικαθιστώντας το πλήρες πλαίσιο με ισοδύναμο μέλη Timoshenko με κατάλληλες συνοριακές συνθήκες. Η σύγκριση με πλήρως μη γραμμικές αναλύσεις GMNIA σε πλήρως προσομοιωμένα πλαίσια απέδειξε ότι η προτεινόμενη μέθοδος παρέχει, για ρεαλιστικές γεωμετρίες και μεγέθη φορτίων, επαρκή ακρίβεια αποτελεσμάτων. Αντίστοιχα, η χρήση μη γραμμικής ανάλυσης γεωμετρίας σε ισοδύναμο πλαίσιο Timoshenko οδηγεί σε πολύ καλά αποτελέσματα. Η συνήθης μελετητική πρακτική με βάση γραμμική ελαστική ανάλυση ενδέχεται σε κάποιες περιπτώσεις να οδηγήσει σε υποεκτίμηση των εγκάρσιων μετακινήσεων του πλαισίου, κάτι το οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί με χρήση μη γραμμικής ανάλυσης γεωμετρίας.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Klöppel, K. Ramm, W., “Versuche und Berechnung zur Bestimmung der Traglast mehrteiliger Gitterstäbe unter aussermittiger Belastung”, Der Stahlbau 1968, Vol. 37 p. 164 and 236.

[2] Eurocode 3: Design of Steel Structures.Part1.1: General structural rules. CEN-[3] European Committee for Standardisation, Brussels, EN1993-1-1, 2002.

[3] Kalochairetis, K.E. and Gantes, C.J., Numerical and Analytical Investigation of Collapse Loads of Laced Built-up Columns, Computers & Structures 2011, Vol. 89, No 11-12, pp. 1166-1176.

[4] Kalochairetis, K.E. and Gantes, C.J., “Elastic Buckling Load of Multi-Story Frames Consisting of Timoshenko Members”, Journal of Constructional Steel Research 2012, Vol. 71, pp. 231-244.

[5] Gantes, C.J., Kalochairetis, K.E. “Axially and Transversely Loaded Timoshenko and Laced Built-up Columns with Arbitrary Supports”, Journal of Constructional Steel Research 2012, Vol. 77, pp. 95-106.

[6] Kalochairetis K.E., “Nonlinear behaviour and design of steel built-up columns under axial and transverse loading”, Doctoral thesis, National Technical University of Athens, Greece, January 2014.

[7] ADINA System 8.5, Release Notes. ADINA R & D Inc., 71 Elton Avenue, Watertown, MA 02472; USA. 2008.

ANALYTICAL METHOD FOR THE EVALUATION OF THE BEHAVIOUR OF SINGLE-STOREY FRAMES CONSISTING OF BUILT-UP MEMBERS

Konstantinos E. Kalochairetis

Dr. Civil Engineer

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: kalkostis@hotmail.com

Charis J. Gantes

Professor

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: chgantes@central.ntua.gr

SUMMARY

Laced built-up columns are often used in steel structures and bridges providing economical solutions in cases of large spans and/or heavy loads and are usually encountered in single-storey industrial frames. In Eurocode 3, laced built-up columns are modelled as Timoshenko members and design guidance is provided for the simply-supported case. In the present work, the approximate analytical approach resulting in closed-form solutions for the calculation of the 2nd order bending moment, shear force and lateral deflections along an imperfect Timoshenko member with arbitrary boundary conditions under axial and lateral loading, presented extensively by the authors in previous publications, is appropriately used for the evaluation of the behaviour of single-storey industrial frames consisting of built-up members. The results obtained analytically with the use of the proposed procedure are compared with the ones found with geometrically and materially nonlinear finite element analyses with ADINA in single-storey industrial frames modelled using beam elements. The accuracy of the proposed method is found to be very satisfactory in realistic cases of geometrical configurations and loads. Additionally, the use of other methods of analysis and design is evaluated and useful conclusions, applicable to practical design, are drawn.