



Κωνσταντίνος Ε. Καλοχαιρέτης

Konstantinos E. Kalochairetis

Μη γραμμική συμπεριφορά και σχεδιασμός σύνθετων υποστυλωμάτων από χάλυβα υπό αξονική και εγκάρσια φόρτιση

Nonlinear behaviour and design of steel built-up columns under axial and transverse loading

Διδακτορική διατριβή, 2014
Επιβλέπων : Χάρης Ι. Γαντές, Καθηγητής

Doctoral Thesis, 2014
Supervisor: Charis J. Gantes, Professor

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς σύνθετων υποστυλωμάτων με ράβδους δικτύωσης και τυχαίες συνοριακές συνθήκες υπό αξονική και εγκάρσια φόρτιση και η διατύπωση οδηγιών για το σχεδιασμό τους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου ακολουθείται συνδυασμένη πειραματική, αριθμητική και αναλυτική προσέγγιση.

Αρχικά, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η εκτέλεση μιας σειράς πειραματικών δοκιμών με βάση τις οποίες εξαγονται ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα.

Τα αριθμητικά προσομοιώματα βαθμονομούνται με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα. Εν συνεχεία, πραγματοποιούνται αριθμητικές αναλύσεις που δείχνουν πως η αστοχία εκδηλώνεται συνήθως ως τοπική ελαστοπλαστική αστοχία του κρίσιμου φαντώματος.

Τέλος, προτείνεται μια αναλυτική μέθοδος για τον προσδιορισμό του φορτίου λυγισμού, της στατικής απόκρισης και του φορτίου αστοχίας ατελών σύνθετων μελών με ράβδους δικτύωσης με τυχαίες συνοριακές συνθήκες υπό αξονικά και εγκάρσια φορτία βασιζόμενη στη θεωρία δοκού Timoshenko. Η προτεινόμενη αναλυτική μέθοδος βρίσκεται σε καλή συμφωνία με αποτελέσματα πλήρως μη γραμμικών αναλύσεων σε αριθμητικά προσομοιώματα μεμονωμένων υποστυλωμάτων και μονώροφων βιομηχανικών πλαισίων.

Abstract

Aim of this doctoral thesis is to investigate the behaviour of laced built-up beam-columns with arbitrary boundary conditions and to provide practical guidance for their design. To that effect, a combined experimental, numerical and analytical approach is adopted.

Initially, the design and execution of a series of experimental tests is presented, based on which qualitative and quantitative conclusions are drawn.

The numerical models are calibrated by making use of the experimental results. Afterwards, numerical analyses are employed, which show that failure usually is in the form of local elastoplastic failure of the critical panel.

Finally, an analytical method for the evaluation of the elastic critical buckling load, structural response and collapse load of imperfect laced built-up members under axial and transverse loads based on Timoshenko beam theory is proposed. The proposed analytical method is in good agreement with results obtained with the use of geometrically and materially nonlinear imperfection analyses (GMNIA) in numerical models of both individual laced columns and single-storey industrial frames.

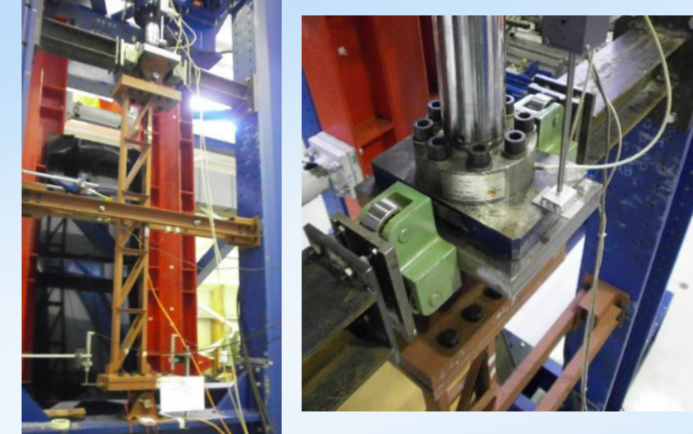
1



Εφαρμογές και ιδιαιτερότητες σύνθετων μελών: Σύνθετα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται εκτενώς σε περιπτώσεις σημαντικών φορτίων και μεγάλων μηκών λυγισμού. Βασικές τους διαφοροποιήσεις από μέλη συμπαγούς διατομής είναι η σημαντική επιρροή των διατημητικών παραμορφώσεων και της αλληλεπίδρασης καθολικού και τοπικού λυγισμού.

Applications and special issues of built-up members: Built-up columns are commonly used in cases of large loads and large buckling lengths. Their main differences from members made of solid sections are the important influence of the shear deformations and of the interaction between global and local buckling.

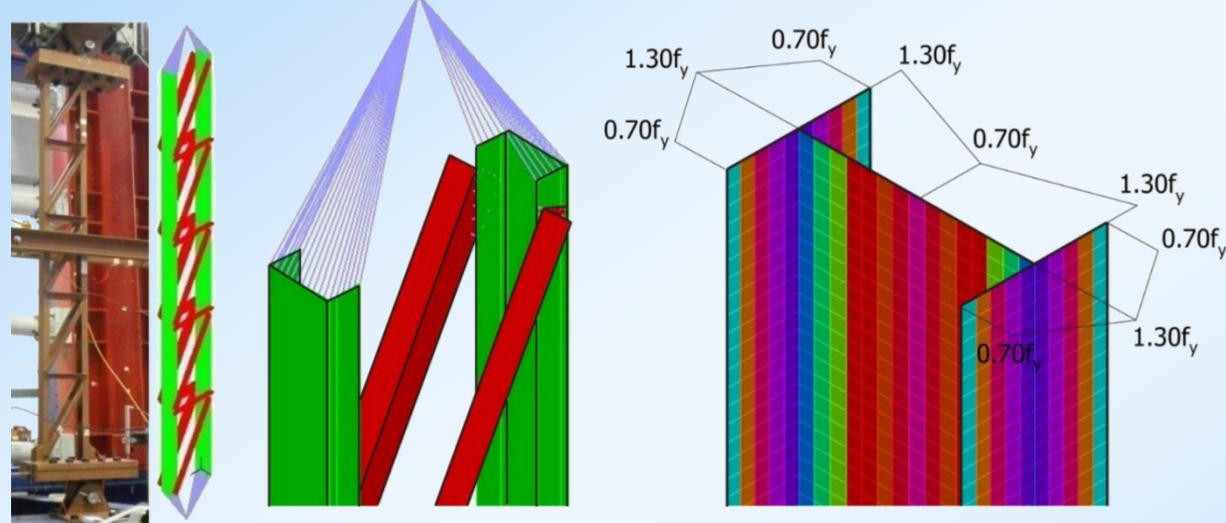
2



Πειραματική διάταξη. Δέκα υποστυλώματα υποκειμένα σε θλιπτική δύναμη και συγκεντρωμένες ροπές στα δύο άκρα προκαλώντας παραμόρφωση είτε μόνης είτε διπλής καμπυλότητας.

Experimental set-up. Ten specimens of simply-supported columns subjected to an axial compressive force and concentrated bending moments at the two ends resulting in either single or double curvatures.

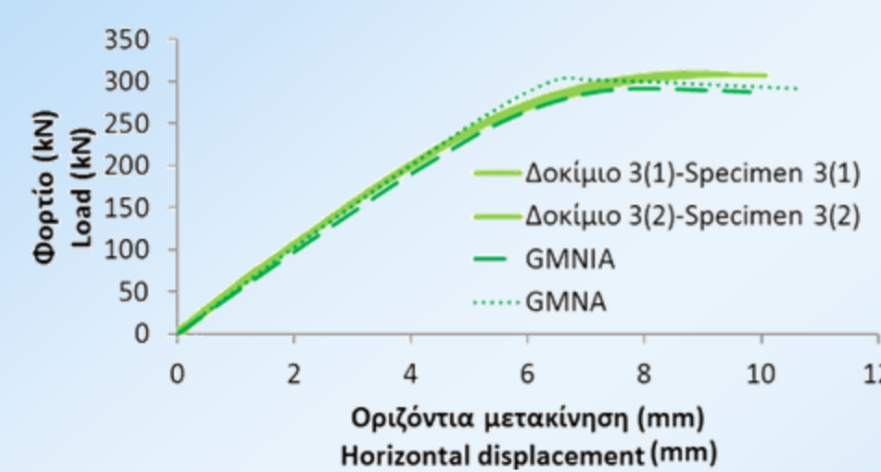
3



Αριθμητικά προσομοιώματα των πειραματικών δοκιμών. Τα αριθμητικά προσομοιώματα των πειραμάτων κατασκευάστηκαν με χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων. Εκτός από τα πέλματα, τις διαγωνίες ράβδους και τη συγκολλητή σύνδεση ανάμεσα σε πέλματα και διαγωνίους, προσομοιώθηκαν και οι παραμένουσες τάσεις λόγω θερμικής κατεργασίας στη διατομή των πέλματων.

Numerical models. The numerical models of the experimental specimens were constructed by making use of shell finite elements. Apart from the chords, the diagonal bars and the welded connection between the chords and the diagonal bars, the effects of the thermally induced residual stresses of the chords were also modelled.

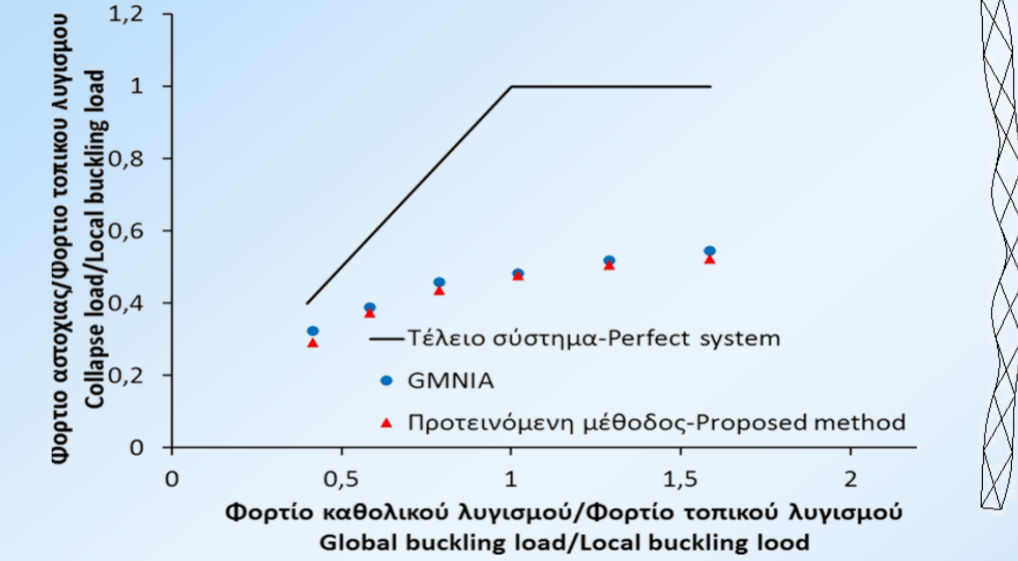
4



Σύγκριση πειραμάτων και αριθμητικών αναλύσεων. Τα δοκίμια συμπεριφέρθηκαν αρχικά ελαστικά ενώ στη συνέχεια παρατηρήθηκε μια μικρή πτώση της δυσκαμψίας λόγω παραμενοουσών τάσεων. Η αστοχία του σύνθετου μέλους προέκυψε σε κάθε περίπτωση λόγω τοπικής ελαστοπλαστικής αστοχίας ενός φαντώματος.

Comparison between experiments and numerical analyses. Initially, the specimens behaved elastically, while for larger loads a small decrease of the stiffness was observed due to residual stresses. The failure of all specimens took place due to local elastoplastic failure of a critical panel.

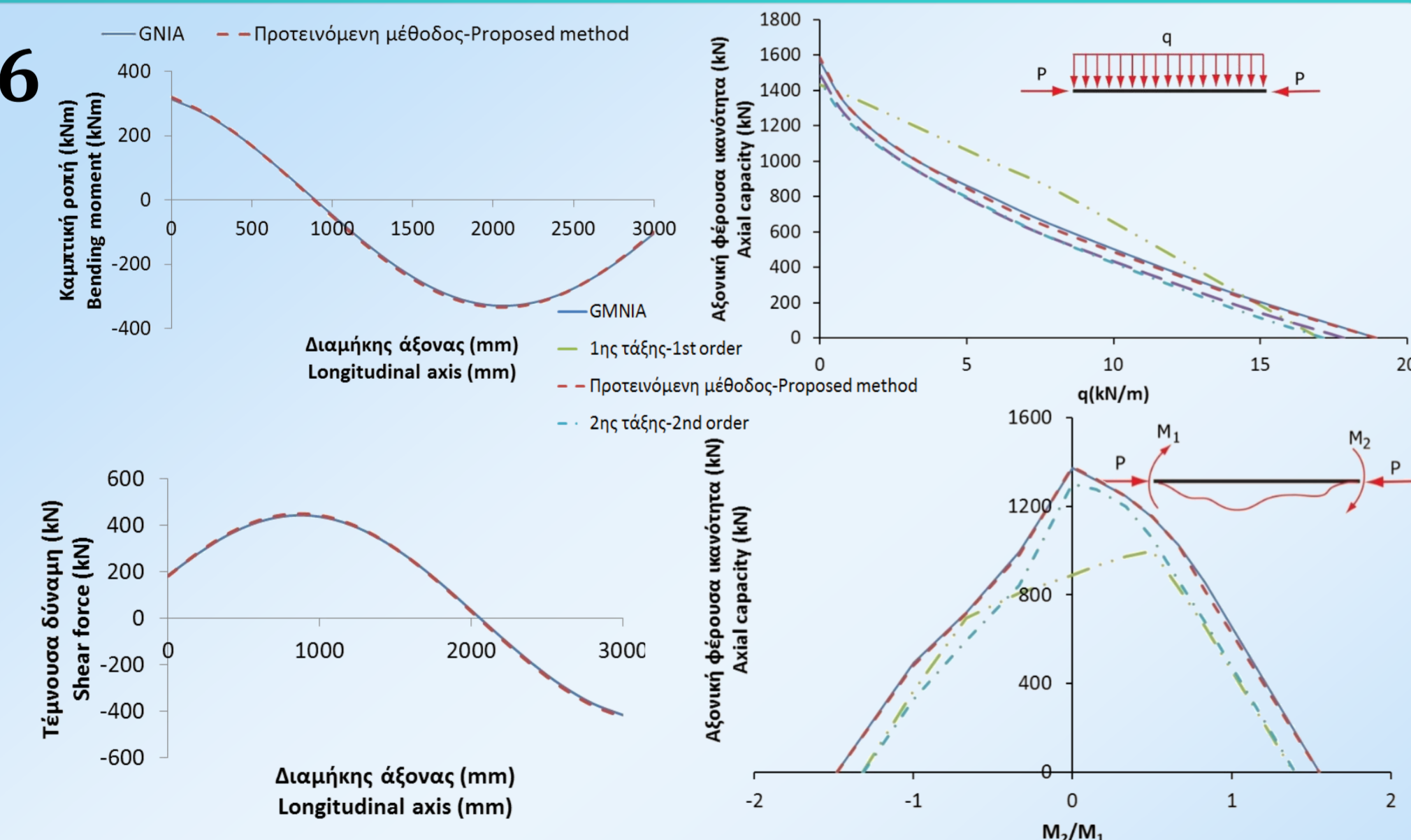
5



Επιρροή αρχικών ατελειών. Τα σύνθετα υποστυλώματα αστοχούν υπό την επιρροή ατελειών, συνήθως λόγω ελαστοπλαστικής αστοχίας. Η μέγιστη επιρροή ατελειών παρατηρείται όταν τα φορτία καθολικού λυγισμού, τοπικού λυγισμού και πλήρους πλαστικοποίησης ταυτίζονται.

Influence of initial imperfections. Built-up columns are significantly affected by imperfections, and they collapse mainly due to local elastoplastic failure. The maximum effect of the initial imperfections takes place in the case that the global buckling load, the local buckling load and the squash load coincide.

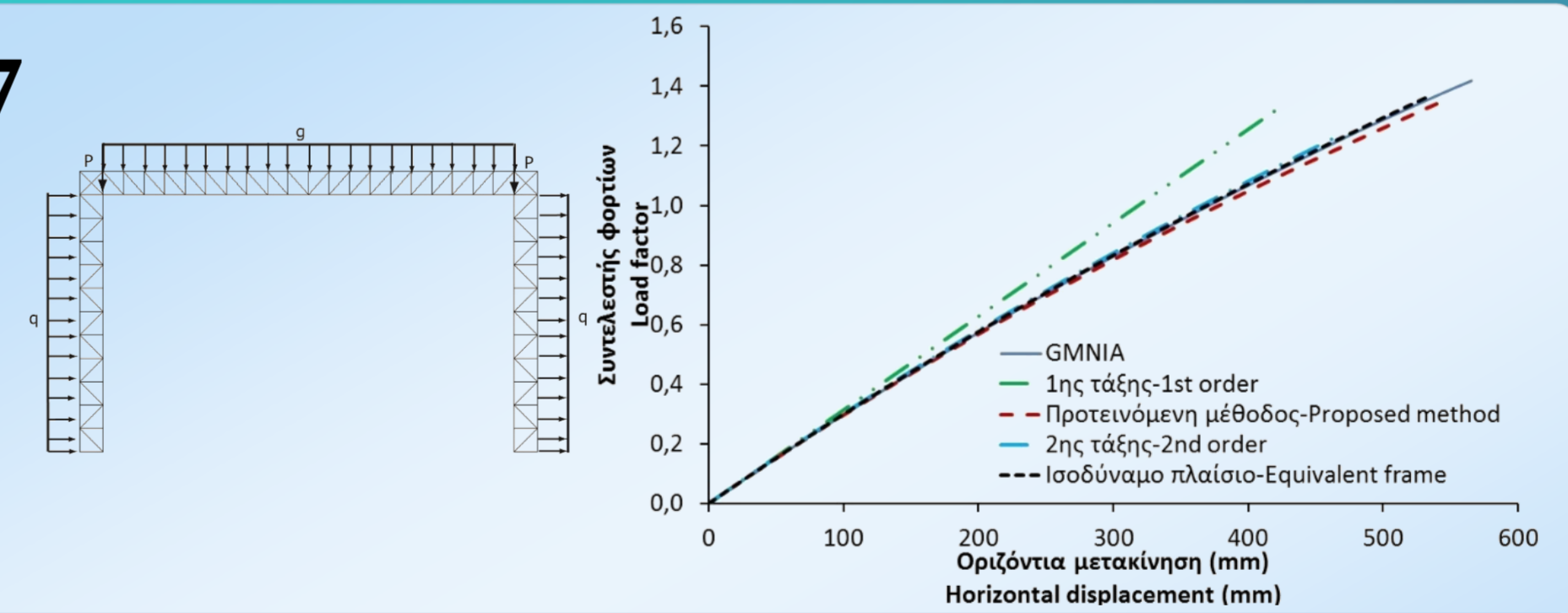
6



Timoshenko και σύνθετες δοκοί-υποστυλώματα. Η προτεινόμενη μέθοδος συνδέεται με την αντικατάσταση του ατελούς σύνθετου μέλους από ένα ισοδύναμο μέλος Timoshenko, την πραγματοποίηση ελαστικής ανάλυσης 2^{ης} τάξης σε αυτό (βάσει κλειστών τύπων) και την εφαρμογή των εξαχθέντων εντατικών μεγεθών σε κατάλληλη σχέση αλληλεπίδρασης για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του σύνθετου μέλους. Η σύγκριση των αναλυτικών αποτελεσμάτων με εκείνα που προέκυψαν από GNIA για μέλη Timoshenko (αριστερά) και από GMNIA για σύνθετα μέλη (δεξιά) επιβεβαίωσε την ικανοποιητική ακρίβεια της προτεινόμενης μεθόδου και την ανεπάρκεια της ανάλυσης 1^{ης} τάξης.

Timoshenko and built-up beam-columns. The proposed method consists of replacement of the imperfect built-up member by an equivalent Timoshenko one, performance of a 2nd order analysis (based on closed-form equations) and use of the calculated internal forces in an interaction equation for the evaluation of the collapse load. The comparison of the analytical results with the ones found by GNIA for Timoshenko members (left) and by GMNIA for built-up members verified the satisfactory accuracy of the proposed method and the inadequacy of the use of 1st order analyses.

7



Εφαρμογή σε μονώροφα πλαίσια. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται σε μονώροφα πλαίσια με αντικατάσταση του πλαισίου από πλαίσιο ισοδύναμων μελών Timoshenko και με χρήση στροφικών ελατηρίων και φορτίων ώστε να απομονωθεί το δυσμενέστερο υποστόλωμα. Η σύγκριση με αποτελέσματα από GMNIA επαλήθευσε την επάρκεια της μεθόδου.

Application to single-story frames. The proposed method is applied to single-story frames by replacing the frame with one consisting of Timoshenko members and isolating the critical column by making use of appropriate rotational springs and loads. The comparison of the analytical method with results obtained from GMNIA verified its satisfactory accuracy.

Χαρακτηριστικές δημοσιεύσεις / Key publications

- Kalochairetis, K.E., Gantes, C.J., Lignos, X.A., "Experimental and Numerical Investigation of Eccentrically Loaded Laced Built-up Steel Columns", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 101, pp. 66-81, October 2014.
- Gantes, C.J. and Kalochairetis, K.E., "Axially and Transversely Loaded Timoshenko and Laced Built-up Columns with Arbitrary Supports", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 77, pp. 95-106, October 2012.
- Kalochairetis, K.E. and Gantes, C.J., "Elastic Buckling Load of Multi-Story Frames Consisting of Timoshenko Members", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 71, pp. 231-244, April 2012.
- Kalochairetis, K.E. and Gantes, C.J., "Numerical and Analytical Investigation of Collapse Loads of Laced Built-up Columns", Computers & Structures, Vol. 89, No. 11-12, pp. 1166-1176, June 2011.

