

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΛΕΠΤΟΤΟΙΧΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΞΕΔΡΩΝ ΙΚΡΙΩΜΑΤΩΝ****Κ. Α. Τζάρος**

Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ
Εργαστήριο Ανάλυσης και Σχεδιασμού Κατασκευών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
38334 Βόλος, Ελλάδα
e-mail: ktzaros@civ.uth.gr

Ε.Σ. Μυστακίδης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής
Εργαστήριο Ανάλυσης και Σχεδιασμού Κατασκευών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
38334 Βόλος, Ελλάδα
e-mail: emistaki@uth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

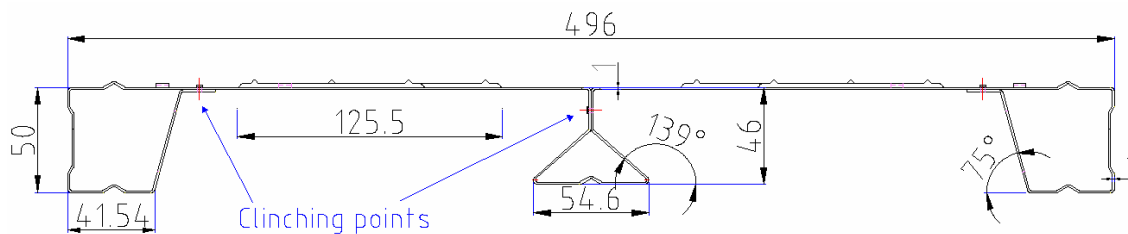
Στην παρούσα εργασία μελετάται η καμπτική απόκριση αμφιέριστα εδραζόμενων μεταλλικών δοκών από λεπτότοιχη διατομή ψυχρής διαμόρφωσης με ενδιαφέρουσα γεωμετρία. Αυτού του είδους οι δοκοί χρησιμοποιούνται ως πλατφόρμες εργασίας (μεταλλικά μαδέρια) σε συστήματα μεταλλικών ικριωμάτων. Με την χρήση τρισδιάστατου αριθμητικού προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων και εξελιγμένων μη γραμμικών αλγορίθμων επίλυσης, επιτυγχάνεται αφενός μεν η εύρεση του μέγιστου οριακού φορτίου που δύναται να φέρουν οι εν λόγω δοκοί και αφετέρου η κατανόηση του τρόπου αστοχίας των. Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης των μεγεθών που συνεισφέρουν στην συνολική απόκριση των μεταλλικών μαδερικών σε κάμψη.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται και στη χώρα μας μεταλλικά εξέδρες (μαδέρια) σε κατασκευές ικριωμάτων σε βαθμό που τα παραδοσιακά ξύλινα μαδέρια τείνουν να παραγκωνισθούν. Σημειώνεται ότι στο εξωτερικό τα μεταλλικά μαδέρια σκαλωσιάς έχουν εδώ και χρόνια καθιερωθεί λόγω των πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν σε σχέση με τα παραδοσιακά ξύλινα μαδέρια. Σημειώνονται επιγραμματικά το μικρό βάρος, η μεγάλη συγκριτικά αντοχή, η ελάχιστη φθορά στη διάρκεια του χρόνου και το ολοένα μειούμενο κόστος.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται αριθμητικά η καμπτική συμπεριφορά ενός μεταλλικού μαδεριού από λεπτότοιχη διατομή ψυχρής διαμόρφωσης. Ειδικότερα αυτός ο τύπος μαδεριού παράγεται από την εταιρία Α. Καλπίνης-Ν. Σίμος Α.Ε.Β.Ε και έχει την κωδική ονομασία MM-N500. Πρόκειται για μεταλλικό μαδέρι του οποίου η διατομή

δημιουργείται διαμέσου κατάλληλης διαμόρφωσης ενός λεπτότοιχου μεταλλικού συνεχούς φύλλου πάχους 1 mm. Ειδικότερα το λεπτότοιχο συνεχές μεταλλικό φύλλο διαμορφώνεται έτσι ούτως ώστε να προκύψουν δύο ακραίες κιβωτιοειδείς διατομές και μία μεσαία διατομή τριγωνικού σχήματος (Σχ. 1). Η δημιουργία αυτών των περιοχών που φέρουν κύρια το καμπτικό φορτίο επιτυγχάνεται με την κατάλληλη σύνδεση (clinchng) του μεταλλικού φύλλου σε διάφορα σημεία. Για την περίπτωση των ακραίων κορμών οι συνδέσεις υλοποιούνται ανά 86.9mm κατά μήκος της δοκού, ενώ για το μεσαίο κορμό ανά 54mm αντίστοιχα. Στην άνω παρειά της μεταλλικής πλατφόρμας διαμορφώνονται ειδικού τύπου νευρώσεις (εντυπώματα) με σκοπό την δημιουργία αντιολισθητικής επιφάνειας εργασίας (Φωτ.1) Αντίστοιχες νευρώσεις εμφανίζονται και στα χαλυβδόφυλλα των σύμμικτων πλακών για την αποτελεσματική μεταφορά της διαμήκουσ διάτμησης που αναπτύσσεται ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το χαλυβδόφυλλο κατά την σύμμικτη λειτουργία. Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά του μεταλλικού μαδεριού MM-N500 που καθιστούν την γεωμετρία του ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα, αποτελούν επίσης οι ενδιάμεσες και ακραίες ενισχύσεις που εμφανίζονται στα επιμέρους πλακίδια που συνθέτουν τη διατομή με σκοπό την αποφυγή εμφάνισης τοπικού λυγισμού.



Σχ. 1: Η διατομή του μεταλλικού μαδεριού MM-N500.



Φωτ. 1: Τα εντυπώματα στην άνω παρειά του μεταλλικού μαδεριού MM-N500 για την δημιουργία αντιολισθητικής επιφάνειας.

Η κύρια καταπόνηση των μεταλλικών μαδεριών που αποτελούν την εξέδρα εργασίας στα συστήματα των κριωμάτων είναι καμπτική και οδηγεί σε φαινόμενα τοπικής αστάθειας στην κρίσιμη διατομή. Το μεταλλικό μαδέρι στην πραγματικότητα γαντζώνεται στους μεταλλικούς πύργους των κριωμάτων μέσω ειδικών εξαρτημάτων σύνδεσης (γάντζοι) και καταπονείται κύρια σε κάμψη από τα φορτία εργαζομένων που κινούνται πάνω σε αυτά.

Γενικά, ο στατικός σχεδιασμός των κριωμάτων διεξάγεται σύμφωνα με το αρμόδιο για θέματα απαιτήσεων σχεδιασμού κριωμάτων Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12811.01 [1]. Ειδικότερα όμως, για τον υπολογισμό των αντοχών των μελών-εξαρτημάτων που αποτελούν το κριώμα, το πρότυπο EN 12811.01 παραπέμπει στους αντίστοιχους Ευρωκώδικες. Συγκεκριμένα οι αντοχές των μεταλλικών μαδεριών από λεπτότοιχη διατομή ψυχρής διαμόρφωσης υπολογίζονται σύμφωνα με το μέρος 1.3 του Ευρωκώδικα 3 [2]. Συνεπώς, σε επίπεδο σχεδιασμού, οι αντοχές του μεταλλικού μαδεριού διατομής MM-N500 (και κατά συνέπεια τα ωφέλιμα φορτία που δύναται να φέρει) υπολογίζονται θεωρώντας την ενεργό διατομή του μαδεριού δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό της ενεργού περιοχής των ακραίων και ενδιάμεσων ενισχύσεων και στις συνοριακές συνθήκες που επικρατούν ανάμεσα στα πλακίδια που συνθέτουν την διατομή [3]. Η περιοχή των εντυπωμάτων θα μπορούσε να αμεληθεί θεωρώντας οπές στην θέση αυτών, μιας και όπως προκύπτει από τις αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία που διενεργείται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αυτή μετέχει ελάχιστα στην παραλαβή της δρώσας έντασης, παραμένοντας σχεδόν ανενεργή, ειδικά στην ελαστική περιοχή της απόκρισης.

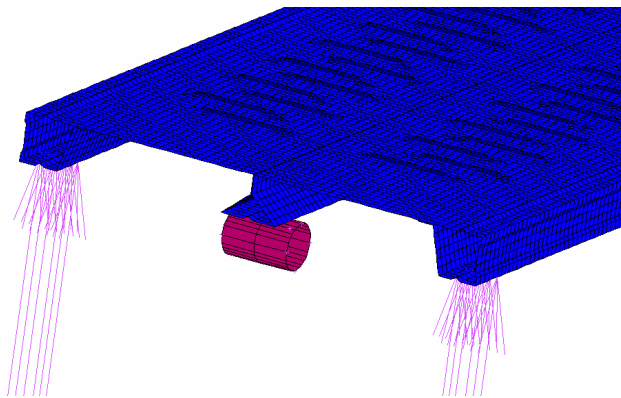
Στην παρούσα εργασία και χωρίς περιορισμό της γενικότητας, θεωρήθηκε ότι το μεταλλικό μαδέρι απλά εδράζεται στις μεταλλικές ράβδους των πύργων. Η θεώρηση αυτή κρίθηκε αναγκαία, κυρίως για την απομόνωση των μη γραμμικών φαινομένων που έχουν ως πηγή την αλληλεπίδραση του συστήματος γάντζου-δοκού και τα οποία θα επηρέαζαν την κατανόηση της καμπτικής συμπεριφοράς των μεταλλικών μαδεριών και των παραμέτρων που συνεισφέρουν στην όλη λυγισμική απόκριση. Στην εργασία μελετάται με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων το ανωτέρω φυσικό πρόβλημα λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πιθανά μη γραμμικά φαινόμενα που δύναται να εμφανιστούν. Απώτερος στόχος είναι η εύρεση του οριακού φορτίου αστοχίας και ο τρόπος αστοχίας των μεταλλικών δοκών αυτού του τύπου, σε συνάρτηση με τις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την γενικότερη καμπτική απόκριση όπως το βάθος των εντυπωμάτων, η ποιότητα της σύνδεσης των μεταλλικών φύλλων που συνθέτουν την διατομή καθώς επίσης και η παρουσία γεωμετρικών ατελειών, μιας και πρόκειται για κατασκευές λεπτότοιχες και ως εκ τούτου ευαίσθητες στην ύπαρξη αρχικών γεωμετρικών ατελειών [4].

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΙΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

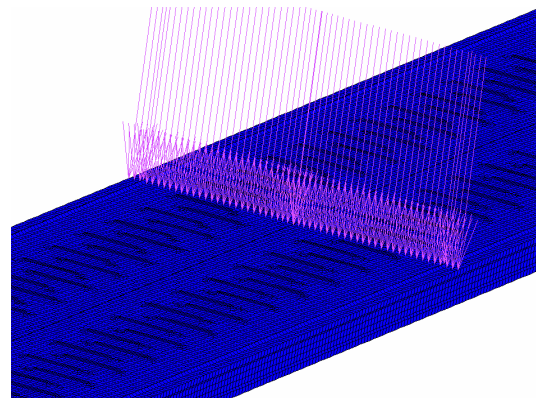
Στην εργασία αυτή, η μελέτη εντοπίζεται στη ανάλυση μιας δοκού διατομής MM-N500 μήκους 2865mm. Η δοκός θεωρείται ότι εδράζεται σε δύο άκαμπτες μεταλλικές σωλήνες και καταπονείται από ένα κατακόρυφο φορτίο στο μέσο της. Για την αριθμητική προσομοίωση του προαναφερθέντος φυσικού προβλήματος η δοκός διακριτοποιήθηκε σε 46440 στοιχεία κελύφους [5]. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το κατάλληλο ισοπαραμετρικό πεπερασμένο στοιχείο κελύφους της βιβλιοθήκης πεπερασμένων στοιχείων του προγράμματος μη γραμμικής ανάλυσης MARC [6].

Κατά τη δημιουργία του αριθμητικού προσομοιώματος ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον τρόπο προσομοίωσης των συνδέσεων των μεταλλικών φύλλων που συνθέτουν την διατομή καθώς επίσης και στην προσομοίωση των συνθηκών έδρασης. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε κινηματική εξάρτηση των κόμβων που αποτελούν τα σημεία σύνδεσης των μεταλλικών πλακιδίων ούτως ώστε να υπάρξει αλληλεξάρτηση των μετατοπίσεων. Επίσης παρατηρείται εύκολα από το Σχ. 1 το γεγονός ότι ο μεσαίος τριγωνικός κορμός είναι κοντύτερος από τους δύο ακραίους. Τούτο συνεπάγεται ότι στα πρώτα στάδια φόρτισης μόνο οι δύο ακραίοι κορμοί θα έρχονται σε επαφή με τη σωλήνα στήριξη. Εν

τούτοις όμως, ενδέχεται κατά την διάρκεια της φόρτισης ο μεσαίος κορμός να έρθει σε επαφή με την μεταλλική ράβδο στήριξης των πύργων του ικριώματος. Προφανώς το φαινόμενο αυτό, που αποτελεί μία από τις πηγές μη γραμμικής απόκρισης του μεταλλικού μαδεριού, θα πρέπει να ληφθεί με ακρίβεια υπόψη καθώς επηρεάζει μεταξύ άλλων και τη δυσκαμψία του όλου συστήματος. Ως εκ τούτου οι συνθήκες έδρασης των ακραίων κορμών θεωρήθηκαν ως ακλόνητες στην κατακόρυφη διεύθυνση ενώ για την κάτω παρειά του μεσαίου κορμού θεωρήθηκαν συνθήκες μονόπλευρης επαφής με τη σωλήνα στήριξης (Σχ.2).



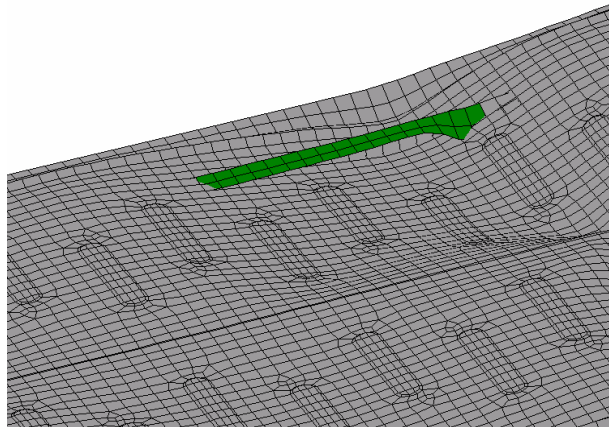
Σχ. 2: Συνθήκες έδρασης του μεταλλικού μαδεριού.



Σχ. 3: Φόρτιση του μεταλλικού μαδεριού στο μέσο του (επιβαλλόμενη μετακίνηση).

Σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία του αριθμητικού προσομοιώματος παίζει και ο τρόπος επιβολής της φόρτισης. Συγκεκριμένα παρατηρείται, ακόμα και από γραμμικού τύπου αναλύσεις, διαφορετική παραμορφωσιακή κατάσταση στον φορέα στην περίπτωση όπου εφαρμόζεται επιβαλλόμενη μετακίνηση σε σχέση με την περίπτωση που εφαρμόζεται επιβαλλόμενη δύναμη. Στην πρώτη περίπτωση η μεταλλική δοκός παραμορφώνεται με τρόπο που προσεγγίζει περισσότερο τη θεωρία κάμψης δοκών Euler-Bernoulli, ενώ στην δεύτερη περίπτωση η δοκός κάμπτεται ως διέρειστη πλάκα. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε αναγκαία η εφαρμογή επιβαλλόμενης μετακίνησης έναντι της επιβαλλόμενης δύναμης, κύρια για την αποφευχθούν δυσχέρειες σύγκλισης του αριθμητικού προσομοιώματος.

Πέρα από το γεγονός ότι για την εύρεση της καμπτικής απόκρισης του μεταλλικού μαδεριού θα πρέπει να εφαρμοσθεί γεωμετρικά μη γραμμική ανάλυση μιας και αναμένονται φαινόμενα τοπικής αστάθειας, το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί και ένα άλλο μη γραμμικό φαινόμενο που δύναται να εμφανιστεί. Συγκεκριμένα υπάρχει περίπτωση μέρος του μεταλλικού πλακιδίου της άνω παρειάς του μαδεριού που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σημεία σύνδεσης να διεισδύσει στο υποκείμενο μεταλλικό πλακίδιο. Προφανώς αυτού του είδους η παραμορφωσιακή κατάσταση δεν μπορεί να εμφανισθεί στην πραγματικότητα. Έτσι, μεταξύ των διαφόρων πλακιδίων που συνθέτουν τη διατομή θεωρούνται νόμοι μονόπλευρης επαφής για να αποφευχθούν τα φαινόμενα της διείσδυσης (Σχ. 4)



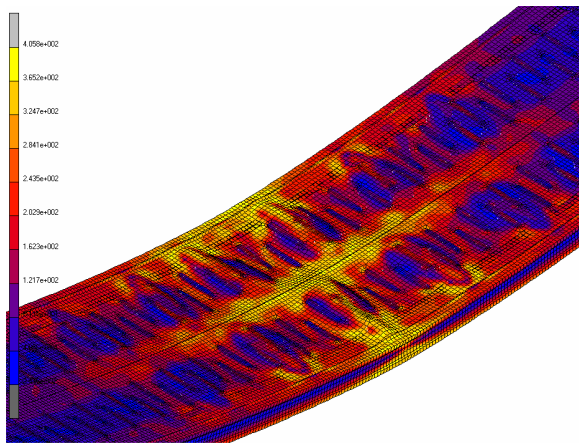
Σχ. 4: Φαινόμενο διείδυσης του υπερκείμενου μεταλλικού πλακιδίου στο υποκείμενο πλακίδιο.

Τέλος, για το αριθμητικό προσομοίωμα του μεταλλικού μαδεριού χρησιμοποιείται ελαστικός-τέλεια πλαστικός νόμος υλικού με μέτρο ελαστικότητας $E=210\text{GPa}$ και τάση διαρροής $f_y=365\text{MPa}$.

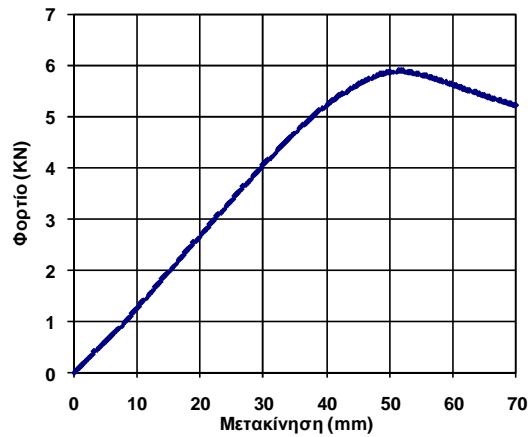
4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΤΕΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΑΤΕΛΟΥΣ ΦΟΡΕΑ

Προκειμένου να βρεθεί το οριακό φορτίο που δύναται να φέρουν τα λεπτότοιχα μεταλλικά μαδέρια διατομής MM-N500 και να γίνει κατανοητός ο τρόπος αστοχίας τους, εφαρμόζεται γεωμετρικά μη γραμμική ανάλυση. Η ανάλυση συμπληρώνεται από παραμετρική μελέτη με απώτερο στόχο την εύρεση της ενδεχόμενης εξάρτησης της λυγισμικής συμπεριφοράς και του οριακού φορτίου του μαδεριού από παράγοντες όπως το βάθος των εντυπωμάτων, την πυκνότητα των σημείων σύνδεσης των μεταλλικών πλακιδίων που συνθέτουν την διατομή και την παρουσία αρχικών γεωμετρικών ατελειών.

Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται το πεδίο τάσεων κατά Von Mises και η τελική παραμορφωσιακή κατάσταση του μεταλλικού μαδεριού κατά την αστοχία, ενώ στο Σχ. 6 παρουσιάζεται η καμπύλη δύναμης-μετακίνησης για την κρίσιμη διατομή, η οποία περιγράφει την προλυγισμική και μεταλυγισμική συμπεριφορά του φορέα. Η παραμορφωσιακή κατάσταση που απεικονίζεται στο Σχ.5 και ο δρόμος ισορροπίας του φορέα του Σχ. 6 είναι χαρακτηριστικές για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα της αριθμητικής ανάλυσης τόσο για την τελική παραμορφωσιακή κατάσταση όσο και για την όλη συμπεριφορά του φορέα που περιγράφεται από τον δρόμο ισορροπίας της καμπύλης του Σχ. 6 συμφωνούν με πειραματικά αποτελέσματα από πειράματα που διενεργήθηκαν στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας [7]. Συγκεκριμένα είναι προφανές το γεγονός ότι το επιβαλλόμενο φορτίο παραλαμβάνεται κυρίως από τους τρεις κορμούς και η περιοχή των εντυπωμάτων συμμετέχει ελάχιστα, παραμένοντας μάλλον ανενεργή. Η μη συμμετοχή της περιοχής με τα εντυπώματα στην ανάληψη της έντασης είναι συμβατή και με αποτελέσματα που σχετίζονται με αναλύσεις σε σύμμικτες πλάκες με εντυπώματα [8]. Ως εκ τούτου η αστοχία του μεταλλικού μαδεριού συνδέεται απ'ευθείας με την αστοχία των κορμών, που αποτελούν τα κύρια φέροντα στοιχεία του μαδεριού. Ειδικότερα ο τοπικός λυγισμός των θλιβόμενων πλακιδίων των κορμών οδηγεί σε ένα γενικό φαινόμενο τοπικής αστάθειας με αντισυμμετρική μορφή που εκδηλώνεται στο αδύναμο οριζόντιο μέρος της κρίσιμης περιοχής του μαδεριού.



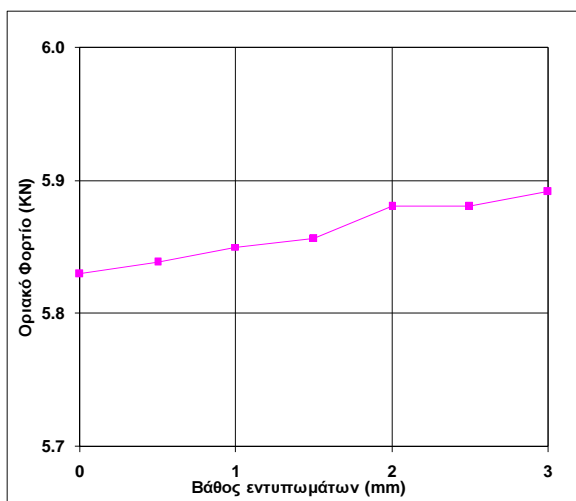
Σχ. 5: Τασικό πεδίο Von Mises κατά την αστοχία.



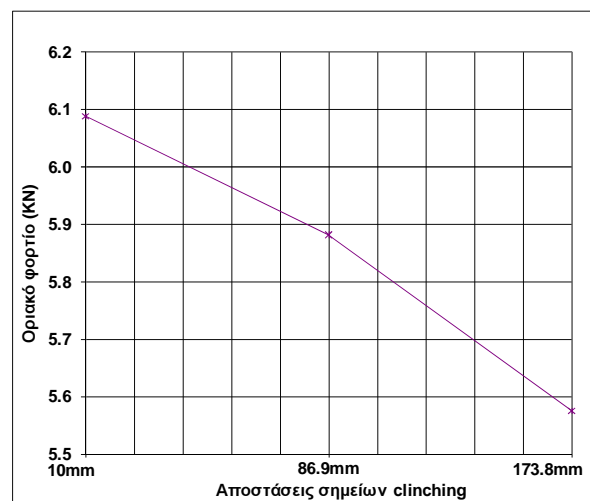
Σχ. 6: Τυπική καμπύλη δύναμης-μετακίνησης για την κρίσιμη διατομή του μεταλλικού μαδεριού.

Με δεδομένο ότι η περιοχή των εντυπωμάτων είναι σχεδόν ανενεργή στην ανάληψη της έντασης, αναμένεται το βάθος των εντυπωμάτων να μην επηρεάζει το συνολικό οριακό φορτίο. Προς επιβεβαίωση της ανωτέρω υπόθεσης διεξάγεται παραμετρική ανάλυση τα αποτελέσματα της οποίας, για τη δεδομένη απόσταση συνδέσεων που αντιστοιχεί στα μαδέρια που κυκλοφορούν στο εμπόριο, παριστάνονται στο διάγραμμα του Σχ. 7.

Μία δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, η οποία είχε ως στόχο τη μελέτη της επιρροής της πυκνότητας των συνδέσεων (clinchng) των μεταλλικών φύλλων που συνθέτουν τους δύο ακραίους κιβωτιοειδείς κορμούς, έδειξε ότι η ποιότητα των συνδέσεων σχετίζεται άμεσα με το κρίσιμο οριακό φορτίο, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο, μιας και η αύξηση των συνδέσεων οδηγεί σε μείωση του μήκους λυγισμού των πλακιδίων που στηρίζονται στους κορμούς. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για δεδομένο βάθος εντυπωμάτων ($t=2\text{ mm}$) παρουσιάζονται στο διάγραμμα του Σχ. 8.

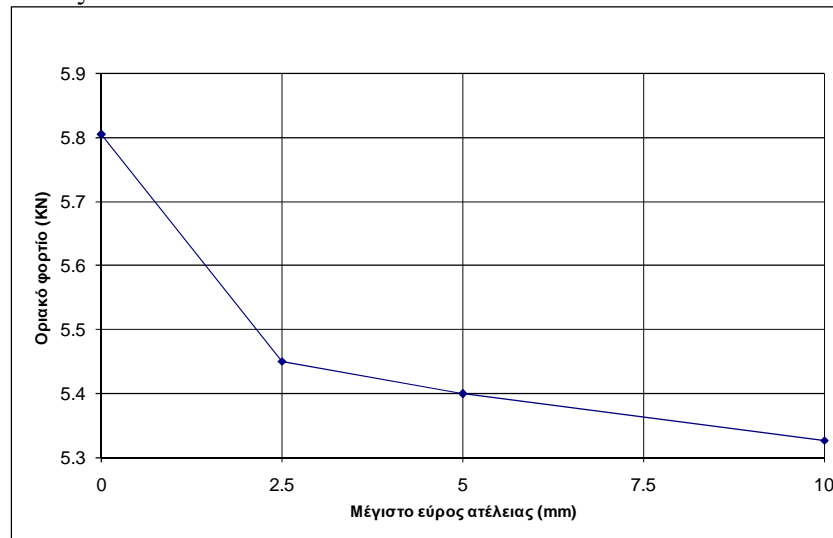


Σχ. 7: Οριακά φορτία μεταλλικών μαδεριών διατομής MM-N500 σχετιζόμενα με το βάθος των εντυπωμάτων για δεδομένες αποστάσεις συνδέσεων (86.9mm).



Σχ. 8: Οριακά φορτία μεταλλικών μαδεριών διατομής MM-N500 για διαφορετικές αποστάσεις σύνδεσης και δεδομένο βάθος εντυπωμάτων ($t=2\text{ mm}$).

Με δεδομένο ότι τα μεταλλικά μαδέρια διατομής MM-N500 ανήκουν στην κατηγορία των λεπτότοιχων προϊόντων ψυχρής διαμόρφωσης είναι απαραίτητη η εξαγωγή συμπερασμάτων από αναλύσεις που να βασίζονται στην παρουσία αρχικών γεωμετρικών ατελειών. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε ο γεωμετρικά ατελής φορέας του οποίου η αρχική παραμόρφωση βασίζεται στο σχήμα της 1^{ης} ιδιομορφής του ιδιοπροβλήματος λυγισμού του τέλει φορέα. Στο διάγραμμα του Σχ. 9 παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα για το μαδέρι διατομής MM-N500 που κυκλοφορεί στο εμπόριο (Σχ.1). Στα αποτελέσματα αυτά διακρίνεται η μείωση του οριακού φορτίου όσο αυξάνει το μέγιστο εύρος της ατέλειας.



Σχ. 9: Συσχέτιση του οριακού φορτίου με το μέγιστο εύρος ατέλειας σχήματος 1^{ης} ιδιομορφής για μεταλλικό μαδέρι διατομής MM-N 500 (συνδέσεις ανά 86.9 mm και βάθος εντυπώματος 2 mm).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] EN 12811.01 Εξοπλισμός προσωρινών εργασιών-Μέρος 1: Σκαλωσιές – Απαιτήσεις απόδοσης και γενικός σχεδιασμός.
- [2] EN 1993-1-3:1996 Design of steel structures-Part 1.3-General rules-Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.
- [3] Ε.Σ. Μυστακίδης, “Έκθεση ερευνητικού έργου με τίτλο «Πειραματική και αριθμητική τεκμηρίωση μηχανικών αντοχών μεταλλικού μαδεριού σκαλωσιάς», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2006
- [4] D. Dubina, V. Ungureanu, “Effect of imperfections on numerical simulation of instability behaviour of cold formed steel members”, *Thin-Walled Structures*, 40, 239-262, 2002.
- [5] B.W. Schafer, T. Pekoz, “Computational modelling of cold formed steel: Characterizing geometric imperfections and residual stresses”, *Journal of Constructional Steel Research*, 47, 193-210, 1998.
- [6] MARC Analysis Research Corporation, Marc user’s manual, Palo Alto, USA 1996
- [7] K.A. Tzaros, E.S. Mistakidis and P.C. Perdikaris, “ Non linear analysis of cold formed steel platforms”, Eurosteel Conference 2008, Graz, Austria
- [8] E.S Mistakidis, K.G. Dimitriadis, “Bending resistance of composite slabs made with thin-walled sheeting with indentations or embossment”, *Thin-Walled Structures*, 46, 192-206, 2008

NONLINEAR INVESTIGATION OF THE BUCKLING BEHAVIOUR OF COLD FORMED STEEL PLATFORMS

K. A. Tzaros

Civil Engineer, Doctoral Candidate
Laboratory of Structural Analysis and Design
Department of Civil Engineering, University of Thessaly
38334 Volos, Greece
e-mail: ktzaros@civ.uth.gr

E. S. Mistakidis

Associate Professor
Laboratory of Structural Analysis and Design
Department of Civil Engineering, University of Thessaly
38334 Volos, Greece
e-mail: emistaki@civ.uth.gr

1. SUMMARY

The paper studies the buckling behaviour of cold formed steel beams in bending by applying nonlinear finite element analysis. These types of beams are usually used as platforms in scaffolds configurations and exhibit some particular features such as the special embossments developed in the upper plate of the beam and the edge and intermediate stiffeners located in the compressive flanges. The cross section of the cold formed steel platform is manufactured from a continuous steel sheet which is being folded. The points at which the folded areas come in contact are connected by clinching.

Cold formed steel platforms are subjected mainly to bending, thus the possible failure mode is the local buckling that occurs in the most critical cross section. The aim of the paper is the estimation of the total carrying capacity of the cold formed steel platforms and the comprehension of their failure mode.

For this reason a finite element model of 46440 shell elements has been built, equipped with the appropriate boundary conditions, and a series of geometric analyses were conducted. The finite element model was able to take into account all the nonlinearities which are present in the physical problem such as the geometric and material nonlinearities and the contact phenomena as well. Two series of analyses were performed concerned with the perfect and imperfect structure. The possible contribution of the depth of the embossments and the quality of the connection of the interconnected plates in the ultimate load of the steel platform were examined in each case.

The results obtained from the various geometric nonlinear analyses show that the steel platform fails due to a local instability phenomenon with an antisymmetric pattern in the vicinity of the loading region. The results of the nonlinear numerical analyses carried out for this paper, verify that the most important factor that affects the ultimate load of the platforms is the clinching distances in the longitudinal axis between the folded parts that shape the cross section. The embossed area plays a rather insignificant role in the undertaking of the external loading.