

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΓΑΛΩΝ
ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ MBSN ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ****Αθανάσιος Μιχαλόπουλος**

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάς
e-mail: thnik@the.forthnet.gr

Θεμιστοκλής Νικολαΐδης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάς,
e-mail: thnik@civil.auth.gr

Γεώργιος Σταυρουλάκης

Καθηγητής, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός,
Τμήμα Μηχ/κών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς
και Institute of Applied Mechanics, Department of Civil Engineering, Carolo Wilhelmina
Technical University, D – 38106 Braunschweig, Germany
e-mail: gestavr@dpem.tuc.gr

Χαράλαμπος Μπανιωτόπουλος

Καθηγητής, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών,
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάς
e-mail: ccb@civil.auth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση ενός νέου τύπου μεταλλικών φορέων (MBSN), για την κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων. Η ανάλυση αυτή βασίζεται στην ανάπτυξη ενός μικτού αμφιέρειστου φορέα, αποτελούμενου από ένα ελαφρώς τοξωτό χαλύβδινο μέλος άνω που υποστηρίζεται από κάτω μέσω ορθοστατών από ένα πολυγωνικό προεντεταμένο καλώδιο. Το καλώδιο έχει αρνητική καμπυλότητα και είναι αγκυρωμένο στα άκρα του ολόσωμου φορέα. Η πρωτοτυπία της μορφής αυτής του φορέα έγκειται στην σύνθεση και μόρφωσή του έτσι ώστε αφενός να μηδενίζονται οι ροπές που προκαλούνται από τα μόνιμα φορτία και από την άλλη να λειτουργεί ως σύστημα παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων που προκαλούνται από τα κινητά φορτία. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην κατανομή ώστε το 70% της μόνιμης φόρτισης να παραλαμβάνεται από την προένταση του καλωδίου και το 30% από τις θλιπτικές τάσεις του ελαφρώς τοξωτού φορέα. Η μελέτη του συστήματος υποστηρίζεται με ανάλυση και επίλυση του φορέα σε Η/Υ με τη χρήση του προγράμματος ANSYS. Το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί το ίδιο αποτελεσματικά τόσο για κινητά φορτία κατά τη διεύθυνση του βάρους (χιόνι), όσο και για τα αντίστοιχα φορτία αντιθέτου προσήμου όπως είναι η υποπίεση ανέμου και έχει

ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους των χρησιμοποιούμενων διατομών και την κάλυψη ιδιαίτερα μεγάλων ανοιγμάτων.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προτεινόμενος στην εργασία αυτή νέος τύπος μεταλλικού φορέα για τη κάλυψη μεγάλων στεγάστρων ονομάστηκε φορέας τύπου MBSN από τα αρχικά των ονομάτων των ερευνητών – μελών της ομάδας που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται μείωση των ιδίων βαρών και κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων με την εισαγωγή νέων διατάξεων παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων. Η διαμόρφωση του καινοτόμου αυτού τύπου φορέα γίνεται μέσα από μια διαδικασία εύρεσης βέλτιστης μορφής. Το σύστημα λειτουργεί μονοαξονικά ώστε να μειωθεί η απαίτηση σε υλικό που προκαλείται στους κοινούς δικτυωτούς φορείς από την ανάπτυξη καμπτικών ροπών ομόλογης δοκού και επομένως σημαντικών αξονικών δυνάμεων των ράβδων που δεν μπορούν να φέρουν οι διατομές.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο φορέας διαμορφώνεται κατ' αρχήν από ένα ευθύγραμμο άνω πέλμα που συντίθεται από εύκαμπτη μεταλλική δοκό και καμπύλο κάτω πέλμα αποτελούμενο από χαλύβδινο καλώδιο υπό προένταση από χάλυβα υψηλής αντοχής με καμπυλότητα η οποία προκύπτει μέσα από μια διαδικασία εύρεσης βέλτιστης μορφής [1],[2]. Τα άνω και κάτω πέλματα συνδέονται μεταξύ τους ανά σταθερές αποστάσεις με ορθοστάτες οι οποίοι είναι χαλύβδινες ράβδοι κατάλληλης πρότυπης διατομής. Σημαντικό στοιχείο του σχεδιασμού είναι ότι πρόκειται για φορέα με αμφιέριστη στήριξη, όπου παρά το ότι διαθέτει κινητό έδρανο, αυτός μετακινείται οριζόντια εντός των επιτρεπομένων ορίων, με αποτέλεσμα να μη μεταφέρεται οριζόντια αντίδραση στα έδρανα στηρίξεως που βρίσκονται στις κεφαλές χαλύβδινων υποστυλωμάτων κατάλληλης διατομής. Στο σύστημα αυτό εισάγεται ως κύριο παθητικό σύστημα ελέγχου των παραμορφώσεων μια ελεγχόμενη προ-παραμόρφωση, προς τα άνω, του αμφιέριστου άνω πέλματος, έτσι ώστε κατά την εφαρμογή των κινητών φορτίων ανεξαρτήτως προσήμου να μη προκαλείται επιβάρυνση του φορέα. Επιπρόσθετα, και ως συμπληρωματικό σύστημα παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων εισάγεται σύστημα χιαστί καλωδιωτών διαγωνίων ράβδων που συνδέουν κάθε κόμβο του άνω πέλματος με τον αντίστοιχο επόμενο (ή προηγούμενο) κόμβο του κάτω πέλματος, οι οποίες στη φάση ηρεμίας είναι ανενεργές, ενώ με την έλευση κινητού φορτίου κάποιες από αυτές τανύονται αυτόματα μέσα από τη λειτουργία του συστήματος ανακουφίζοντας περαιτέρω τον φορέα και μειώνοντας έτσι τις παραμορφώσεις του.

4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

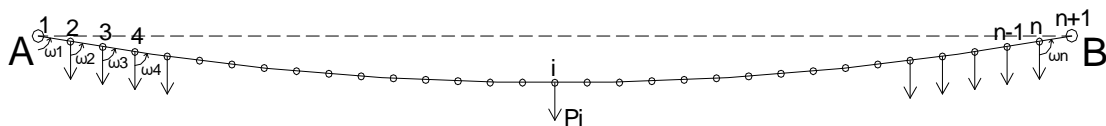
4.1 Ανάλυση μορφής του ανηρητημένου καλωδίου

Η σύνδεση και συνεργασία μεταξύ της ολόσωμης δοκού και του ενισχυτικού προεντεταμένου εξωτερικού καλωδίου, επιβάλλει την εύρεση της κατάλληλης μορφής των καλωδίων, ώστε η απόδοση του όλου συστήματος να είναι βέλτιστη [3],[4]. Με ένα εξωτερικό εύκαμπτο χαλύβδινο καλώδιο ανηρητημένο από τα άκρα του από δύο σταθερά σημεία (εικ. 1), μπορεί να αναπτυχθεί οποιοδήποτε σύστημα κατακόρυφων αντώσεων, αρκεί αυτό να προενταθεί όσο πρέπει, αφού πρώτα του δοθεί η κατάλληλη μορφή. Αυτή η

μορφή προκύπτει από την κατάστρωση και επίλυση των εξ. (1) του καλωδίου που φορτίζεται με την αντίστροφη προς τις επιθυμητές αντώσεις εξωτερική κομβική φόρτιση του φορέα. Με την επίλυση του συστήματος των $2n$ μη γραμμικών εξισώσεων σε H/Y , μπορούν να προσδιοριστούν οι τιμές των αγνώστων εντάσεων S_i και των αγνώστων γωνιών ω_i (άρα και την γεωμετρία του καλωδίου) πριν από την παραμόρφωσή του.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ S_i \sin \omega_i = S_{i+1} \sin \omega_{i+1} \\ S_i \cos \omega_i - S_{i+1} \cos \omega_{i+1} = P_{i+1} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n l_i \sin \omega_i = L_{AB} \\ \sum_{i=1}^n l_i \cos \omega_i = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Από την επίλυση του συστήματος των εξ. (1) προκύπτει το μήκος των ορθοστατών, κάτω από τους πόδες των οποίων διέρχεται το πολυγωνικό καλώδιο με απλές ολισθαίνουσες επαφές, αλλά και το μέγεθος της προέντασης S του καλωδίου.



Εικ. 1 Περιγραφή μορφής και φόρτισης του πολυγωνικού καλωδίου

4.2 Βέλτιστος έλεγχος της κατασκευής

Ο έλεγχος της κατασκευής μέσω της προέντασης ασκείται μέσω των αντώσεων που αναπτύσσονται στους κόμβους του καλωδίου [5]. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα διευρυμένο διάνυσμα φόρτισης $\{\bar{p}\}$ της κατασκευής, με την μορφή:

$$\{\bar{p}\} = \{p\} + [C] \cdot \{z\} \quad (2)$$

Η επίλυση του προβλήματος στατικής ανάλυσης μιας τέτοιας κατασκευής, οδηγεί στην επίλυση ενός προβλήματος ελαχιστοποίησης της δυναμικής ενέργειας του φορέα με την υπόθεση μικρών μετακινήσεων και παραμορφώσεων:

$$\min \left\{ \prod (\{u\} = \frac{1}{2} \cdot \{u^T\} \cdot [K] \cdot \{u\} - \{P^T\} \cdot \{u\} - \{z^T\} \cdot [C^T] \cdot \{u\}) \mid \{u\} \in U_{ad}(z) \right\} \quad (3)$$

όπου το πεδίο των επιτρεπτών μετακινήσεων $U_{ad}(z)$ καθορίζεται ως:

$$U_{ad}(z) = \{ \{u\} \in \mathbb{R}^n \mid [A] \cdot \{u\} \leq b, [\Gamma] \cdot \{u\} = \{u_0\} \} \quad (4)$$

Όλα τα προβλήματα αυτού του είδους που περιγράφουν τη μηχανική συμπεριφορά μιας κατασκευής που υπόκεινται σε δράση ενός μεταβλητού διανύσματος ελέγχου $\{z\}$ μπορούν να θεωρηθούν σαν μοντέλα βέλτιστου ελέγχου. Οι ανισοτικοί περιορισμοί στην εξ. 4 περιγράφουν προβλήματα μονόπλευρης επαφής μεταξύ των τμημάτων της κατασκευής.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ & ΕΠΙΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ ΤΥΠΟΥ MBSN

5.1 Μόρφωση του μικτού φορέα

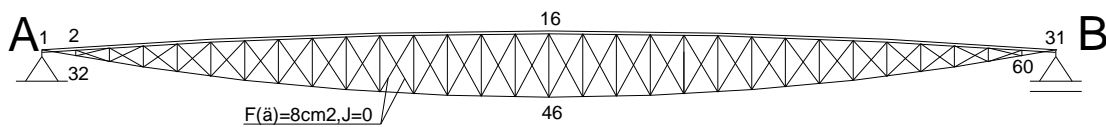
Επιλέγεται για την εφαρμογή της μεθόδου παράδειγμα στεγάστρου μεγάλου ανοίγματος $L = 150,00m$, με σταθερή απόσταση μεταξύ των ζευκτών (φορέων) $a = 10,0m$. Φορέας και καλώδιο χωρίζονται σε 30 φατνώματα με 31 συνολικά κόμβους και συνδέονται με κατακόρυφους ορθοστάτες ανά $5,0m$. Το επιθυμητό μεσαίο βέλος του καλωδίου, αλλά και του ελαφρώς τοξωτού φορέα επιλέγεται με βάση τις λειτουργικές ανάγκες σχεδιασμού του στεγάστρου και οδηγεί στην εκτίμηση της αρχικής θέσης των κόμβων του καλωδίου πριν την παραμόρφωση [6].

1) Μόνιμα φορτία	2)Κινητά φορτία
Επικάλυψη +διαδ.: $5 \times 10 \times 0,20 = 10,0kN$	α) Χιόνι
Ίδ. Β. φορέα: $2 \times 5 \times 0,90 = 9,0kN$	$P_i^{snow} = 5 \times 10 \times 0,40 = 20,0kN$
Τεγίδες: $10 \times 0,20 = 2,0kN$	β)Ανεμοφόρτιση ως υποπίεση
Καλώδιο, λοιποί συνδ.: $= 4,0kN$	$P_i^{wind} = 10 \times 5 \times 1,25 \times 0,4 = 25,0kN$
Σύνολο: $P_i^{mov} = 25,0kN$	

Πίν. 1. Ανάλυση των βασικών φορτίσεων του φορέα

Η επιλογή του ελαφρώς τοξωτού φορέα γίνεται για να μειωθούν οι συνέπειες των παραμορφώσεων όταν κινητό φορτίο με τη μορφή υποπίεσης ανέμου δράσει στους κόμβους του φορέα και επιπρόσθετα αναλαμβάνοντας ένα μέρος των μόνιμων φορτίων μειώνει την απαιτούμενη δύναμη προέντασης του καλωδίου που είναι η κύρια αιτία της παραμόρφωσης κατά τη φόρτιση αυτή. Η κατανομή των μόνιμων φορτίων μεταξύ φορέα και καλωδίου πρέπει να γίνει ούτως ώστε η μετακίνηση στη θέση του κινητού εδράνου να είναι σχεδόν μηδενική. Για να βρεθεί η ακριβής γεωμετρία του φορέα δηλαδή οι συντεταγμένες των κόμβων τόσο του ελαφρώς τοξωτού φορέα, όσο και του καλωδίου χρησιμοποιείται η μέθοδος των εξ. (1). Αρχικά δηλαδή επιλύεται σε H/Y το σύστημα αυτό με τα δεδομένα σχεδιασμού του καλωδίου (επιθυμητή βύθιση καλωδίου στο μέσο $f_m^{(-)} = 7,0m$) και θεωρώντας ότι θα αναλαμβάνει μέσω αντώσεων το 70% της δράσης των μόνιμων φορτίων. Αντίστοιχα, ο άνω τοξωτός φορέας σχεδιάζεται ούτως ώστε αυτός να καταπονείται πάντοτε μονοαξονικά υπό θλιπτικό αξονικό φορτίο. Έτσι σχηματίζεται το σύστημα των εξ. (1) και επιλύεται σε H/Y ως αντεστραμμένο καλώδιο (επιθυμητό βέλος τόξου στο μέσο $f_m^{(+)} = 3,0m$) θεωρώντας ότι αναλαμβάνει μέσω του θλιπτικού φορτίου που αναπτύσσει, το 30% της δράσης των μόνιμων φορτίων, με πρόβλεψη ώστε το καμπύλο μήκος του \hat{L}_{AB} θα είναι ίσο με αυτό του καλωδίου εξομοίωσης. Από τις επιλύσεις αυτές σχηματίζεται ο πίνακας συντεταγμένων του μικτού συστήματος που διαμορφώνει τελικά τον αμφιέρειστο εξωτερικά φορέα (εικ. 2). Επιπρόσθετα, από τις επιλύσεις αυτές προκύπτει η τιμή της προέντασης του καλωδίου, αλλά και η θλιπτική δύναμη του άνω

τοξωτού φορέα ώστε να γίνει η προεκλογή των διατομών τους. Η επίλυση του μικτού φορέα για ομοιόμορφη κατανομή φορτίων οδηγεί σε αποδεκτά ως προς τις μετακινήσεις και εντάσεις αποτελέσματα αλλά όταν η φόρτιση αλλάζει κατά μήκος πρόσημο ή εφαρμόζει στο μισό μήκος προκύπτει ανεπάρκεια. Για να αρθεί αυτό εισάγονται ως επιπρόσθετο παθητικό σύστημα ελέγχου των παραμορφώσεων στο φορέα καλωδιωτές διαγώνιες ράβδοι. Οι καλωδιωτές αυτές ράβδοι συνδέουν τους πόδες και τις κεφαλές δυο διαδοχικών ορθοστατών μονόπλευρα, δηλαδή μόνον όταν αναπτυχθεί σε αυτές εφελκυσμός [6].

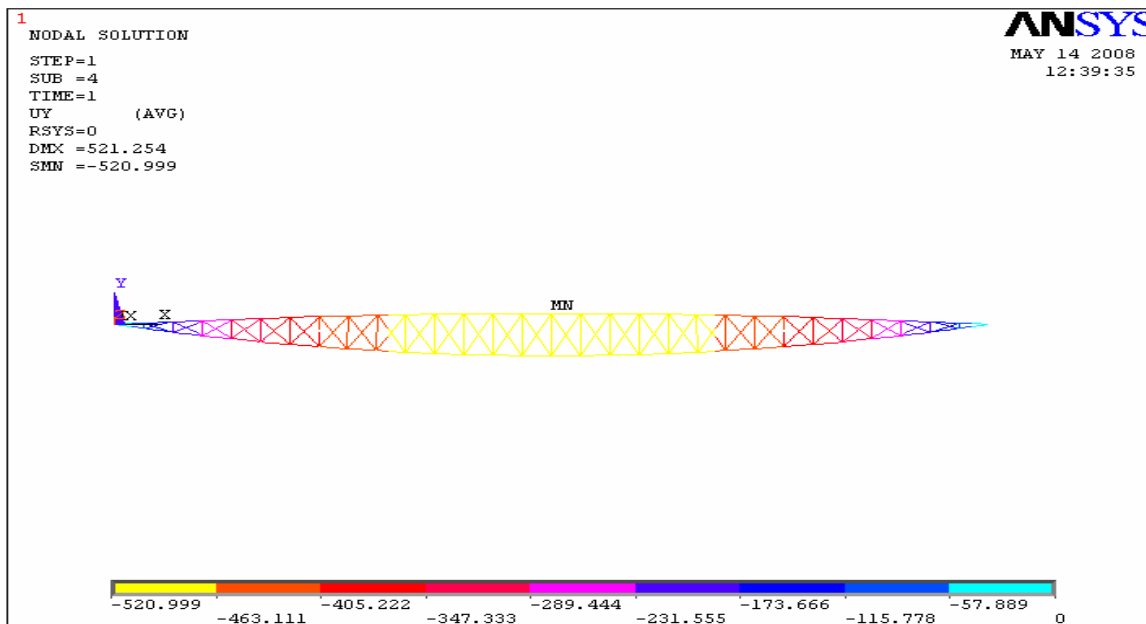


Εικ. 2 Μόρφωση του μικτού φορέα

Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων αυτών επιλέγονται α) για τον ελαφρώς τοξωτό φορέα σύνθετη διατομή αποτελούμενη από δυο κοιλοδοκούς QHS260x10 συνδεδεμένες μέσω ενδιάμεσης λεπίδας διαστάσεων διατομής 265x10, β) για τους ορθοστάτες διατομή κοιλοδοκού QHS90x5.6 και γ) για το καλώδιο διατομή καλωδίου συνολικού εμβαδού $F = 80,0\text{cm}^2$ ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει με επάρκεια και σύμφωνα με τους κανονισμούς δύναμη προέντασης $S_i = 1428,0\text{kN}$. Εκτός επιπέδου προβλέπεται η τοποθέτηση εγκαρσίων συνδέσμων μορφής Λ που συνδέουν τους πόδες των εκατέρωθεν ορθοστατών με το μέσο της τεγίδας του φατνώματος αυτού. Οι τεγίδες μορφώνονται ως δικτυωτές εξ αιτίας του μεγάλου ανοίγματος τους. Επιπρόσθετα η κατασκευή φέρει και όλα τα άλλα απαραίτητα στοιχεία σταθεροποίησης, όπως αντιανέμιους συνδέσμους οροφής, χιαστί συνδέσμους κλπ.

5.2 Επίλυση του μικτού φορέα

Η επίλυση του μικτού φορέα γίνεται με την κατάλληλη εισαγωγή του στο πρόγραμμα ANSYS, όπου υπάρχει η ευχέρεια εισαγωγής μη γραμμικών πεπερασμένων στοιχείων καλωδίου, για χαρακτηριστικούς συνδυασμούς φορτίσεων όπως α) COMB1: $P_i^{\mu\omicron\nu.} = -25,0\text{kN}$ επί του τοξωτού φορέα, $A_i = +17,5\text{kN}$ στο καλώδιο, $S_x = S_i \cdot x \cdot \sin \omega_i = -1405,2\text{kN}$ στο κινητό έδρανο, β) COMB2: COMB1 & $P_i^{\chi\iota\omicron\nu.} = -20,0\text{kN}$, γ) COMB3: COMB1 & $P_i^{wind} = 25,0\text{kN}$ (υποπίεση ανέμου), δ) COMB4: όπως η COMB2 αλλά με μερική (μονόπλευρη) χιονοφόρτιση και ε) COMB5: όπως η COMB3 αλλά με μερική (μονόπλευρη) ανεμοφόρτιση. Διαπιστώνεται ότι η επίλυση αυτή του φορέα δίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τις μετακινήσεις και εντάσεις που αναπτύσσονται. Χαρακτηριστικά στην εικ. 3 φαίνεται η μετατόπιση των κόμβων του φορέα ως αποτέλεσμα της επίλυσης για τον συνδυασμό φόρτισης COMB2. Επίσης από τις επιλύσεις αυτές, οι κρίσιμες μετακινήσεις των κόμβων και οι ροπές κάμψης που αναπτύσσονται στον τοξωτό φορέα ανά συνδυασμό φόρτισης παρουσιάζονται στον πιν. 2.



Εικ. 3 Συνδυασμός φόρτισης COMB2 – μετακινήσεις κόμβων

COMB1: $\max \Delta u = -0,12774m$, $\Delta v_B = -0,03386m$ και $\max M = +21,0kNm$,
 COMB2: $\max \Delta u = -0,52099m$, $\Delta v_B = -0,03086m$ και $\max M = +80,3kNm$,
 COMB3: $\max \Delta u = +0,32916m$, $\Delta v_B = -0,03761m$ και $\max M = -53,2kNm$,
 COMB4: $\max \Delta u = -0,32002m$, $\Delta v_B = -0,03229m$ και $\max M = +69,2kNm$,
 COMB5: $\max \Delta u = +0,13094m$, $\Delta v_B = -0,03582m$ και $\max M = -37,2kNm$,

Πίν. 2. Κρίσιμες μετακινήσεις κόμβων και μέγιστες ροπές κάμψης του φορέα

Από τα αποτελέσματα προκύπτει μέγιστη μετατόπιση του κινητού εδράνου $3 \div 3.9cm$ και κατακόρυφες μετατοπίσεις των κόμβων εντός του ορίου ($\max \Delta u < L/250 = 0.60m$). Προκύπτει επίσης παντού επάρκεια ως προς την ένταση ώστε οι επιλεγείσες διατομές να ικανοποιούν τα κριτήρια του EC-3. Επιπρόσθετα προκύπτει επάρκεια του ελαφρά τοξωτού φορέα σε λυγισμό εντός και εκτός επιπέδου, αλλά και στον έλεγχο του τόξου για ακαριαίο λυγισμού (snap-through buckling) [7].

5.3 Μεθοδολογία κατασκευής του στεγάστρου

Είναι προφανές, ότι ένας τέτοιος φορέας δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί πλήρως σε οριζόντιο δάπεδο επί του εδάφους και κατόπιν να ανυψωθεί ολόκληρος και να τοποθετηθεί στα έδρανα που θα εγκατασταθεί τελικά. Μια τέτοια μετακίνηση υπό το ίδιο βάρος του, είναι πιθανό να προκαλέσει ανεπανόρθωτες παραμορφώσεις. Προτείνεται η κατασκευή του κάθε φορέα με το καλώδιο στηριγμένο στους ορθοστάτες στο οριζόντιο έδαφος. Στη συνέχεια με σταδιακή και αργή ανάρτηση του με μια σειρά ικριωμάτων ανάρτησης που φέρουν ολισθαίνοντες κατακόρυφους οδηγούς σε κατάλληλα σημεία, αναρτάται στην τελική του θέση. Για το θέμα αυτό υπάρχει αναλυτική μεθοδολογία μόρφωσης και κατασκευής με χαρακτηριστικά βήματα εφαρμογής και ειδικές λεπτομέρειες.

5.4 Πρόσθετο σύστημα παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων

Στο πρόβλημα του στεγάστρου αυτού εκτιμήθηκε ότι η αναρρόφηση λόγω της υποπίεσης εξουδετερώνει το ίδιο βάρος. Για να μειωθεί λοιπόν η ανάκαμψη του φορέα με όλες τις

συνέπειές της, προστίθεται ένα καλώδιο το οποίο έχει στραμμένα τα κοίλα προς τα κάτω και το οποίο βρίσκεται σε πλήρη κατά μήκος επαφή με την άνω παρειά του ολόσωμου τοξωτού φορέα. Το καλώδιο αυτό αγκυρώνεται στα άκρα Α και Β του τοξωτού φορέα που είναι εξωτερικά ισοστατικός και δεν επιδρά έτσι η προέντασή του στα στοιχεία στηρίξεως. Η γεωμετρία του καλωδίου είναι ίδια με την γεωμετρία του τοξωτού φορέα και η διατομή του είναι $F^{(2)} = 10,0 \text{ cm}^2$. Το εύκαμπτο αυτό καλώδιο προεντείνεται ώστε να δώσει κομβικές αντώσεις στο τμήμα AB ίσες με $A_i = 1,0 \text{ kN}$ και με διεύθυνση προς τα κάτω. Η απαιτούμενη για τον σκοπό αυτό προένταση είναι περίπου $S^{(2)} = 200 \text{ kN}$ ώστε να είναι άμεσα ενεργό για την περίπτωση δράσης υποπίεσης ανέμου στη στέγη.

6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η εφαρμογή συστήματος παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων υπήρξε αποτελεσματική για ένα στέγαστρο με τόσο μεγάλο άνοιγμα και με πλάτος επιρροής φορέα μεγαλύτερο του συνηθισμένου. Επιπρόσθετα διαπιστώθηκε ότι ο φορέας λειτουργεί με ασφάλεια τόσο για το συνδυασμό των φορτίων βαρύτητας, όσο και για την περίπτωση αρνητικής φόρτισης εξ αιτίας υποπίεσης ανέμου και γενικά ασύμμετρου ή μεταβλητού προσήμου κατακόρυφου φορτίου. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό κατάλληλης χάραξης του τοξωτού φορέα και του καλωδίου, της εκμετάλλευσης των μικρομετατοπίσεων του κινητού εδράνου και της χρήσης των χιαστί καλωδιωτών διαγωνίων. Επόμενο βήμα στην έρευνα σχετικά με την αξιοποίηση ενός τέτοιου φορέα αποτελεί η πειραματική διερεύνηση σε μοντέλα πραγματικά ή υπό κλίμακα για την επιβεβαίωση των υπολογισμών αλλά και για τον εντοπισμό κατασκευαστικών προβλημάτων που θα μπορούσαν να δυσχεράνουν την εφαρμογή του.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Θ. “Σύγχρονες μέθοδοι σχεδιασμού προεντεταμένων κρεμαστών γεφυρών”, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2003.
- [2] ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘ. “Εφαρμογή εξωτερικής προέντασης σε μεταλλικούς ή μικτούς φορείς. Μελέτη μείωσης κόστους κατασκευής”, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1991.
- [3] PANAGIOTOPOULOS P.D., “A Variational Inequality Approach to the Inelastic Stress Unilateral Analysis of Cable Structures”, *Computers and Structures*, Vol. 6, 1982, pp.132-140.
- [4] ΜΠΙΣΜΠΟΣ Χ.. “Βέλτιστος Έλεγχος των Κατασκευών”, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1982.
- [5] MICHALOPOULOS A., STAVROULAKIS G.E., ZACHARENAKIS E., PANAGIOTOPOULOS P.D., “A Prestressed Tendon Based Passive Control System for Bridges”, *Computers and Structures*, Vol. 63, 1997, pp.1165-1175.
- [6] MICHALOPOULOS A., NIKOLAIDIS Th., BANIOPOULOS C.C., STAVROULAKIS G.E., “Passive control of bridges, the double cable net method”, *Engineering Structures, Elsevier*, Vol. 25, 2005, pp.1835-1842.
- [7] ΕΡΜΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Χ., “Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες”, Κλειδάριθμος 2000.

MBSN DISPLACEMENT CONTROL OF LARGE SPAN METAL BEAMS BY MEANS OF CABLES

Athanasios Michalopoulos

Dr. Ing., Institute of Metal Structures, Dept. of Civil Engineering, A.U.Th.
Thessaloniki, Greece, e-mail: thnik@the.forthnet.gr

Themistoklis Nikolaidis

Dr. Ing., Institute of Metal Structures, Dept. of Civil Engineering, A.U.Th.
Thessaloniki, Greece, e-mail: thnik@civil.auth.gr

Georgios Stavroulakis

Dr. Ing., Professor,
Dept. of Production Engineering and Management, Technical Univ. Crete, Chania, Greece
and Institute of Applied Mechanics, Department of Civil Engineering, Carolo Wilhelmina
Technical University, D – 38106 Braunschweig, Germany, e-mail: gestavr@dpem.tuc.gr

Charalampos Baniotopoulos

Dr. Ing. Professor,
Institute of Metal Structures, Dept. of Civil Engineering, A.U.Th.
Thessaloniki, Greece, e-mail: ccb@civil.auth.gr

SUMMARY

In the present paper the analysis of a new model of steel beams called MBSN, used as the roof of large halls is presented. The analysis is based the development of a mixed simple supported structure formed by a light arch steel beam supported via steel stanchions by a prestressed flexible cable. The supported cable has a polygonal shape form with a negative curvature (concave facing upwards) and it is anchored at the ends of the beam. The innovate character of the system is the composition of the model in such a way that no bending moments appear due to dead loads and at the same time, the structure works as a passive control mechanism against the displacements due to live loads. The complete design is supported by the analysis of a two dimensional finite element model using ANSYS general purpose finite element computer program. The proposed system works effectively both against positive live loads (snow) or negative pressure loads on the roof caused by the wind action (suction). The present hybrid system appears to be effective enough due to the fact that the necessary cross-section of the light arch beam is minimized even for very large spans.