

## **ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ MBN ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ**

**Θεμιστοκλής Ν. Νικολαΐδης**

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών,  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάς,  
e-mail: [think@civil.auth.gr](mailto:think@civil.auth.gr)

**Γεώργιος Κ. Σκαρμούτσος**

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάς  
e-mail: [skarmout@civil.auth.gr](mailto:skarmout@civil.auth.gr)

**Χαράλαμπος Κ. Μπανιωτόπουλος**

School of Civil Engineering, University of Birmingham  
B15 255 Birmingham, United Kingdom  
e-mail: [c.baniotopoulos@bham.ac.uk](mailto:c.baniotopoulos@bham.ac.uk)

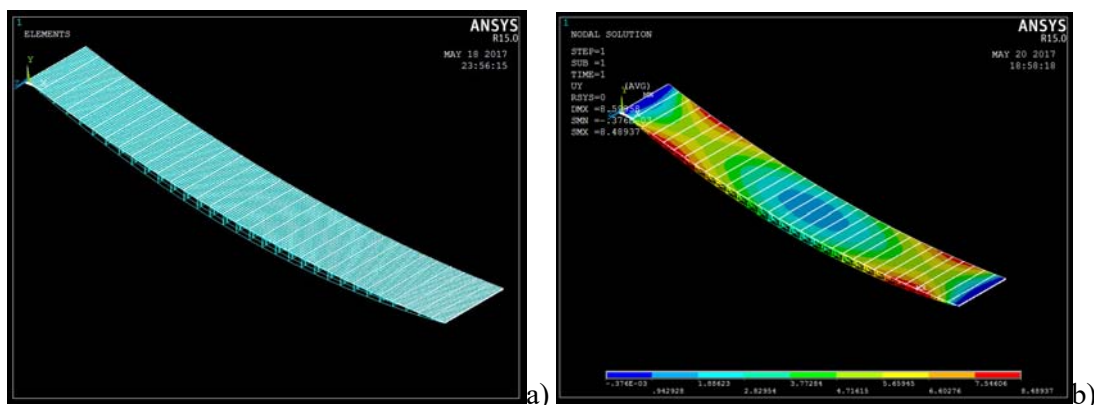
### **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή αναλύεται, η δυνατότητα εφαρμογής του ήδη γνωστού συστήματος φορέα τύπου MBN (από τα ονόματα Michalopoulos, Baniotopoulos, Nikolaidis) στο σχεδιασμό σύμμικτων καλωδιωτών γεφυρών μεγάλου ανοίγματος. Πρόκειται για ερευνητικό αντικείμενο προτεινόμενης διαμόρφωσης φορέων και όχι για συγκεκριμένη μελέτη γέφυρας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ομάδες εξωτερικών προεντεταμένων καλωδίων, ώστε να παραληφθούν τα φορτία της κατασκευής με αξονικές δυνάμεις καλωδίων ελαχιστοποιώντας την ανάπτυξη καμπτικών ροπών και παραμορφώσεων. Το πρόβλημα παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων οδηγεί στην επίλυση ενός συστήματος μη γραμμικών ανισοτήτων το οποίο ελέγχεται από ένα διάνυσμα προέντασης που εξασφαλίζει τον βέλτιστο έλεγχο της κατασκευής. Η εύρεση της κατάλληλης μορφής των σειρών καλωδίων γίνεται με τη χρήση τεχνικών μη γραμμικού προγραμματισμού. Η ανάλυση ολοκληρώνεται με την ανάπτυξη υπολογιστικού προσομοιώματος για φορέα οδικής σύμμικτης γέφυρας ανοίγματος  $L=200\text{m}$  με τη βοήθεια του προγράμματος ANSYS. Με το παράδειγμα αυτό επιβεβαιώνεται η απόδοση του συστήματος για τους συνδυασμούς φόρτισης σε στατικά και δυναμικά φορτία στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων.

### **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ιδιαίτερο και καθοριστικό στοιχείο σχεδιασμού των φορέων μεγάλου ανοίγματος όπως οι γέφυρες είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος των ιδιαίτερα υψηλών τιμών της ροπής κάμψης στο ζύγωμα. Αυτό συνήθως γίνεται με δύσκαμπτους αλλά ταυτόχρονα ιδιαίτερα

υψηλού ιδίου βάρους φορείς, τόσο στις περιπτώσεις φορέων μορφής ολόσωμου φορέα καταστρώματος όσο και στις περιπτώσεις φορέα υποστηριζόμενου από δικτυώματα. Εδώ και αρκετά χρόνια χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό τέτοιων φορέων, το μοντέλο του απλού αμφιέριστου φορέα ο οποίος υποστηρίζεται από καμπύλα τόξα θετικής ή αρνητικής καμπυλότητας. Το προτεινόμενο σύστημα MBN (από τα αρχικά των ονομάτων Michalopoulos, Baniotopoulos, Nikolaidis των ερευνητών – μελών της ομάδας που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του) αποτελεί ερευνητικό αντικείμενο των μελών της ομάδας για προτεινόμενη διαμόρφωση φορέων και δεν αποτελεί συγκεκριμένη μελέτη γέφυρας. Το σύστημα βασίζεται στην βέλτιστη λειτουργία που μπορεί να προσδώσει σε ένα φορέα η εισαγωγή προέντασης σε στοιχεία καλωδίου, τα οποία συνδέονται στους δύο ακραίους κόμβους τους και στα οποία οι παραμορφώσεις και στροφές είναι μεγάλες. Τα στοιχεία αυτά απαρτίζουν ένα μη γραμμικό πολυγωνικό καλώδιο το οποίο προσεγγίζει καμπύλη β' βαθμού. Στην περίπτωση των φορέων μεγάλου ανοίγματος στόχος της ανάλυσης, μέσω της εισαγωγής τέτοιων στοιχείων είναι ο μηδενισμός των καμπτικών ροπών σε κάθε θέση ισορροπίας, μέσα από επίλυση του προβλήματος βέλτιστης μορφής του πολυγωνικού καλωδίου και κατ' επέκταση του φορέα. Ένα τέτοιο καλώδιο βρίσκεται σε μια καινούργια θέση ισορροπίας για κάθε αντίστοιχη μεταβολή του ασκούμενου φορτίου. Ο έλεγχος της θέσης ισορροπίας αυτής του καλωδίου μπορεί να ελεγχθεί με βέλτιστο τρόπο μέσω εισαγωγής της άσκησης σε αυτό της κατάλληλης δύναμης προέντασης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που αναλύεται εδώ το σύστημα διαθέτει δύο επάλληλες σειρές πολυγωνικών καλωδίων (α) από χάλυβα υψηλής αντοχής άνω και κάτω, καθώς και μια επιπρόσθετη σειρά καλωδίων (β) ενσωματωμένη στον ίδιο τον φορέα του καταστρώματος κυκλοφορίας. Τα καλώδια α(άνω) ( $a''$ ), είναι μια ομάδα πολυγωνικών καλωδίων κάτω ακριβώς από την πλάκα σκυροδέματος η οποία αποτελεί τον με μικρή καμπύλη διαμορφωμένο φορέα του καταστρώματος. Αντίστοιχα τα καλώδια α(κάτω) ( $a'$ ), είναι μια ομάδα πολυγωνικών καλωδίων τα οποία ακολουθούν μια καμπύλη με μεγαλύτερο βέλος από ότι τα άνω. Οι δύο ομάδες καλωδίων συνδέονται μεταξύ τους στις θέσεις των κόμβων με χαλύβδινους ορθοστάτες [2], [3], [4] (βλ. Σχ. 1α). Στο σύστημα αυτό προστίθεται και το γνωστό και καινοτόμο σύστημα ελέγχου των παραμορφώσεων μέσω των καλωδίων (β). Τα καλώδια αυτά διέρχονται μέσω από το σώμα της πλάκας καταστρώματος και αγκυρώνονται στα ακρόβαθρα στα δύο άκρα του φορέα στα βάθρα ανάρτησης και είναι ανενεργά στην κατάσταση ισορροπίας υπό τα μόνιμα φορτία (βλ. Σχ. 1β). Ενεργοποιούνται μόνο από την επίδραση της κινητής φόρτισης κυκλοφορίας περιορίζοντας τις παραμορφώσεις που αυτή προκαλεί στο φορέα.



Σχ. 1. Εικόνα α) προσομοιώματος υπολογιστικού μοντέλου του συστήματος MBN του φορέα, β) τελική μορφή φορέα σε ισορροπία με ενσωμάτωση χιαστί διαγωνίων.

Στο φορέα αυτό προστίθεται στη συνέχεια σύστημα χιαστί μη προεντεταμένων καλωδιωτών διαγωνίων που συνδέουν την κεφαλή και τον πόδα διαδοχικών ορθοστατών λειτουργώντας ως επιπλέον διάταξη παθητικού ελέγχου των παραμορφώσεων στην περίπτωση τμηματικής ή ανομοιόμορφης φόρτισης της κατασκευής. Ο σχεδιασμός του φορέα ανάγεται στον προσδιορισμό της βέλτιστης μορφής του [1], [6] ώστε να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά και χωρίς σημαντικές μετακινήσεις τα επιβαλλόμενα φορτία κυκλοφορίας και τις άλλες μεταβλητές δράσεις αλλά και τον σεισμικό κίνδυνο. Στην εργασία αυτή αναλύεται και περιγράφεται Η ενσωμάτωση ενός τέτοιου συστήματος σε φορέα γέφυρας μεγάλου μήκους  $L=200.0m$ .

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1 Ανάλυση του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου

Η κατανομή των  $q$  δυνάμεων προέντασης που αντιστοιχεί για το περιγραφόμενο σύστημα στην αντίστοιχη δράση της ομάδας καλωδίων, λαμβάνεται υπόψη, προσθέτοντας στο μητρώο φόρτισης τα φορτία προέντασης  $p$  μετά από τον απαραίτητο γεωμετρικό μετασχηματισμό, μέσω ενός  $(n \times q)$  μητρώου μετασχηματισμού  $C$ . Με τον τρόπο αυτό ένα διευρυμένο διάνυσμα φόρτισης  $\bar{p}$  εισάγεται και εφαρμόζει στην κατασκευή που εκφράζεται κατά τα προηγούμενα από τη σχέση:

$$\{\bar{p}\} = \{p\} + [C] \cdot \{z\} \quad (1)$$

Θεωρώντας ότι οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις είναι απειροστές, η μαθηματική έκφραση του προβλήματος δομικής ανάλυσης καταλήγει στη μορφή του προβλήματος ελαχιστοποίησης της ενέργειας:

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

όπου το πεδίο των αποδεκτών μετατοπίσεων  $U_{ad}(z)$  καθορίζεται από τη σχέση:

$$U_{ad}(z) = \left\{ \{u\} \in \mathfrak{R}^n \mid [A] \cdot \{u\} \leq b, [\Gamma] \cdot \{u\} = \{u_0\} \right\} \quad (3)$$

Όλα τα προαναφερόμενα προβλήματα περιγράφουν την απόκριση της κατασκευής στη δράση ενός μεταβαλλόμενου διανύσματος ελέγχου  $\{z\}$  και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την διατύπωση του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου του συστήματος που αναλύεται εδώ.

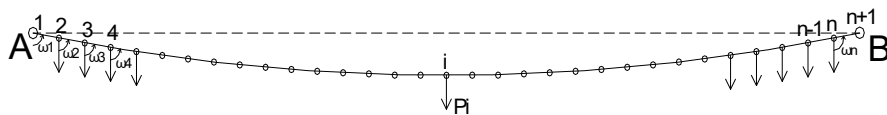
#### 3.2 Ανάλυση βέλτιστης μορφής των μονόπλευρων καμπύλων φορέων

Ένα εύκαμπτο καλώδιο (βλ. Σχ. 2) συνδεδεμένο στους δύο ακραίους κόμβους του αποτελεί ένα σύστημα S-μονόπλευρης δομικής συμπεριφοράς [5]. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις του καλωδίου, καθορίζεται αρχικά το σύστημα (4) των  $(2n \times 2n)$  μη γραμμικών εξισώσεων του τη δράση των μόνιμων φορτίων ο φορέας δρα μονοαξονικά (άνω πέλμα υπό θλίψη και κάτω πέλμα υπό εφελκυσμό) και οι οριζόντιες αντιδράσεις των δύο πελμάτων αλληλοεξουδετερώνονται.

Η επίλυση του συστήματος των  $2n$  μη γραμμικών εξισώσεων για  $n+1$  κόμβους καλωδίου δίνει τις άγνωστες δυνάμεις  $S_i$  και τις άγνωστες γωνίες  $\omega_i$  (πρακτικά τη γεωμετρία και φόρτιση του καλωδίου) πριν από την παραμόρφωση. Το σύστημα αυτό των εξισώσεων (4) μπορεί να επιλυθεί αριθμητικά με πολλές τεχνικές όπως ή χρήση ενός γενικού

προγράμματος επίλυσης μη γραμμικών προβλημάτων των μαθηματικών όπως το MATLAB που χρησιμοποιήθηκε εδώ.

$$\left\{ \begin{array}{l} S_i \cdot \sin\omega_i - S_{i+1} \cdot \sin\omega_{i+1} = 0 \\ S_i \cdot \cos\omega_i - S_{i+1} \cdot \cos\omega_{i+1} - P_{i+1} = 0 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\sin\omega_i} = L_{\text{arc}} \\ \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\tan\omega_i} = 0 \end{array} \right\} \rightarrow i = 1, \dots, (n-1) \quad (4)$$



Σχ. 2. Ο φορέας του καλωδίου.

Πέρα από την αρχική μορφή του καλωδίου, προκύπτει έτσι και η αρχική δύναμη προέντασης η οποία ισορροπεί αντίστοιχα επικόμβια φορτία του φορέα από τα μόνιμα φορτία που ασκούνται σε αυτό μέσω των ορθοστατών.

## 4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 4.1 Γενική περιγραφή



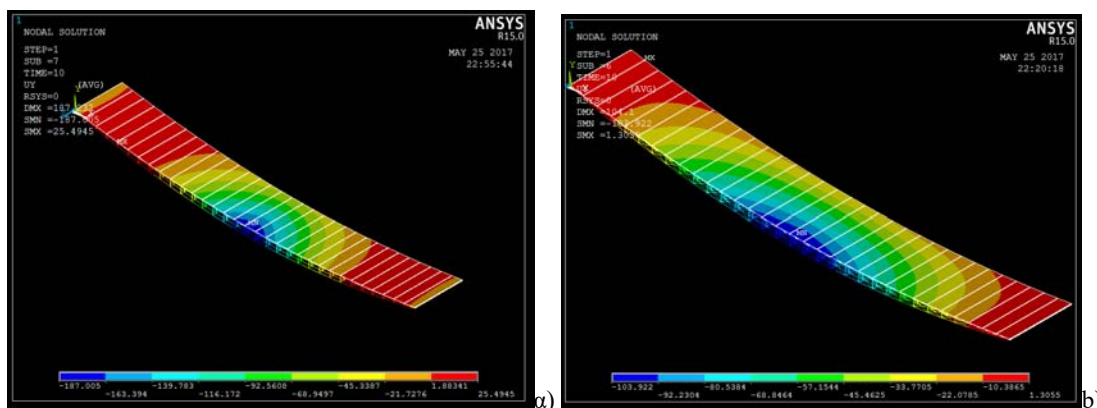
Σχ. 3. Τυπική διατομή του μοντέλου γέφυρας (τύπου MBN) στο μέσον του ανοίγματος.

Ως παράδειγμα για την ανάλυση του συστήματος χρησιμοποιείται σύμμικτος φορέας γέφυρας ανοίγματος  $L = 200 \text{ m}$  με κατάστρωμα δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας και κεντρική νησίδα. Το άνω μέρος της διατομής αποτελείται από καμπύλη πλάκα

σκυροδέματος ως προς το διαμήκη άξονα της γέφυρας. Η καμπύλη αυτή στρέφει τα κοίλα προς τα άνω και εδράζεται σε δύο επάλληλες ομάδες εύκαμπτων προεντεταμένων καλωδίων α (άνω) ( $a''$ ) και α (κάτω) ( $a'$ ). Η κάτω ομάδα καλωδίων έχει προβλεπόμενο μεσαίο βέλος  $f_i = 12.55m$  και η υπερκείμενη άνω ομάδα έχει αντίστοιχα βέλος  $f_u = 8.305m$ . Οι ομόλογοι κόμβοι των δυο ομάδων καλωδίων έχουν την ίδια κατακόρυφη προβολή και διατηρούνται στη θέση αυτή, αφενός μέσω κατακόρυφων ορθοστατών που τους συνδέουν και αφετέρου μέσω εγκάρσιων διαφραγμάτων αποτελούμενων από διαγώνια και οριζόντια χαλύβδινα στοιχεία (βλ. Σχ.3). Για όλες αυτές τις χαλύβδινες διατομές επελέγη προφίλ τετράγωνης κοιλοδοκού από χάλυβα S355 H. Η σταθερή οριζόντια απόσταση μεταξύ ορθοστατών κατά μήκος είναι 6.25m και κατά πλάτος 2.00m. Προκειμένου να περιοριστούν οι ανεπιθύμητες μετατοπίσεις του καταστρώματος κατά την κίνηση των οχημάτων εισάγεται σύμφωνα με το σκεπτικό του συστήματος MBN, μια πρόσθετη ομάδα καλωδίων (β). Τα καλώδια αυτά διέρχονται από το κέντρο της πλάκας στις ίδιες αποστάσεις με τα (α) και ακολουθούν την ίδια καμπύλη γεωμετρία με αυτή. Λειτουργούν με καινοτόμο τρόπο ώστε να παρέχουν επαρκή δυσκαμψία στο σύστημα. Αποτελούν στην ουσία μια αλυσίδα με διαδοχικά προεντεταμένα τμήματα μεγάλου μήκους που αγκυρώνονται στην πλάκα και μη προεντεταμένα τμήματα μικρού μήκους εκατέρωθεν των κόμβων τα οποία εξασφαλίζουν την συνέχεια της γραμμής του καλωδίου. Τα μοντέλα κινητής φόρτισης που λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό αυτό εμπεριέχουν όλα τα στοιχεία για την εκτίμηση των οριακών καταστάσεων στις δύο διευθύνσεις (διαμήκη και εγκάρσια) του φορέα. Αυτά προέρχονται από τις διατάξεις φόρτισης οδικών γεφυρών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1-2 (EN1991-2) και διαμορφώνονται έτσι ώστε να διερευνάται πλήρως η επιρροή της κατανομής των φορτίσεων οχημάτων TS και UDL στο κατάστρωμα της γέφυρας.

#### 4.2 Ανάλυση υπολογιστικού μοντέλου φορέα και επίλυση

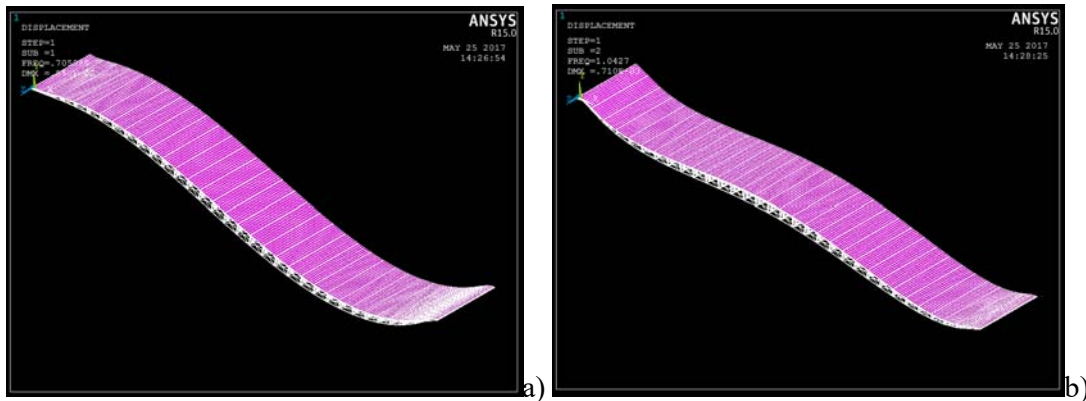
Ο πλήρης σχεδιασμός και αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της γέφυρας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια υπολογιστικού μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων (βλ. Σχ. 1a,b) με τη βοήθεια του προγράμματος ANSYS για διάφορα βήματα επίλυσης και διαμόρφωσης.



Σχ.4. Βυθίσεις S.L.S. για κινητά φορτία στη γέφυρα a) αρχική διάταξη συστήματος, b) με την προσθήκη καλωδιωτών διαγωνίων.

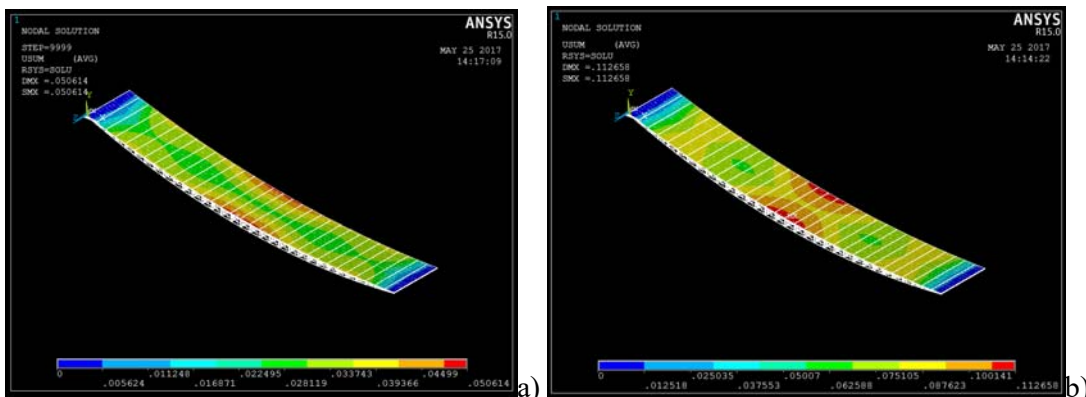
Από τον έλεγχο αυτό προκύπτει ικανοποιητικό ποσοστό εξάντλησης των ελέγχων αντοχής των διατομών [7] όλων των μελών, ενώ και οι βυθίσεις του φορέα βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα. Όλα τα μέλη της γέφυρας τελικά φορτίζονται μονοαξονικά είτε σε ισχυρή θλίψη (πλάκα) είτε σε ισχυρό εφελκυσμό (καλώδια), διαμορφώνοντας έτσι ένα ιδιαίτερα

αποδοτικό και οικονομικό στην κατασκευή του σύστημα. Ιδιαίτερα σημαντική για την εξασφάλιση μεγαλύτερου ποσοστού ικανοποίησης στο κριτήριο άνεσης κατά την κίνηση στη γέφυρα διαπιστώθηκε ότι είναι η προσθήκη των χιαστί καλωδιωτών διαγωνίων (βλ. Σχ. 4a, b).



Σχ. 5. Εικόνα a) 1<sup>ης</sup> και b) 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής συστήματος γέφυρας MBN.

Αντίστοιχα η επίλυση του φορέα για φορτία ανέμου οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα και περιλαμβάνει και εκκεντρότητα θέσης εφαρμογής των φορτίων ανέμου κατά πλάτος. Η απόκριση του συστήματος και η ασφάλεια που μπορεί να προσφέρει σε δυναμικά φορτία σεισμού διαπιστώθηκε μετά από έλεγχο των κρίσιμων ιδιομορφών (βλ. Σχ. 5a, b), αλλά και των μετακινήσεων και εντάσεων στο φορέα υπό δυναμικά σεισμικά φορτία (βλ. Σχ. 6a, b) όπως προβλέπονται από τον Ευρωκώδικα 8. Στις αναλύσεις αυτές, για να φανεί η αξιοπιστία του συστήματος τέθηκε σεισμικός συντελεστής που αντιστοιχεί στη ζώνη Z2 για την Ελλάδα ( $a=0.24/g$ ) και κατηγορία εδάφους B.



Σχ. 6. Εικόνα μετακίνησης φορέα για το σεισμικό συνδυασμό a)  $E_x+0.3E_y+0.3E_z$ , b)  $0.3E_x+0.3E_y+E_z$

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εξεταζόμενη πρόταση εφαρμογής προκύπτει ότι η χρήση φορέων MBN για τη μόρφωση φορέων μεγάλου ανοίγματος, όπως η εξεταζόμενη περίπτωση γέφυρας μπορεί να δώσει ικανοποιητική λύση σε ένα πρόβλημα με δυσμενείς παραμέτρους μόρφωσης που να καλύπτει τους στόχους που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν, υπέδειξαν ιδιαίτερα ικανοποιητική συμπεριφορά του φορέα σε όλους τους προβλεπόμενους συνδυασμούς φόρτισης πιστοποιώντας ότι ο προτεινόμενος αυτός

τύπος σύμμικτων φορέων αποτελεί μια βιώσιμη λύση για την κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων. Μέσω του περιορισμού των παραμορφώσεων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των απαιτούμενων διατομών με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση υλικού και τη μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής. Επιπλέον, η προτεινόμενη λύση μόρφωσης γέφυρας με φορείς τύπου MBN παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν απέχει πολύ στην υλοποίηση της από τις συμβατικές μεταλλικές κατασκευές. Ως εκ τούτου, τόσο ο σχεδιασμός όσο και η κατασκευή τέτοιων φορέων μπορεί να έχει αξιόλογες δυνατότητες εφαρμογής.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘ., ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Θ., ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ Γ., ΜΠΑΝΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ Χ., “Ελεγχος των παραμορφώσεων μεταλλικών φορέων μεγάλων ανοιγμάτων τύπου MBSN με τη χρήση καλωδίων”, 6<sup>ο</sup> Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, Ιωάννινα 2-4.10.2008, τόμος Ι, σελ.450-457, 2008.
- [2] MICHALOPOULOS A., NIKOLAIDIS T., BANIOTOPOULOS C.C. and STAVROULAKIS G.E., “Optimal Control of Large Span Structures Using MBN Control System”, In: *Proceedings “2<sup>nd</sup> International Conference on Nonsmooth/Nonconvex Mechanics with Applications in Engineering (in Memoriam of Professor P.D.Panagiotopoulos)”*, Thessaloniki, July 2006.
- [3] ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Θ. “Προτάσεις διαμόρφωσης και εφαρμογής συστημάτων ελέγχου των παραμορφώσεων σε φορείς μεγάλου ανοίγματος με τη χρήση καλωδίων”, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2003.
- [4] MICHALOPOULOS A., NIKOLAIDIS Th., BANIOTOPOULOS C.C, STAVROULAKIS G.E., “Passive control of bridges, the double cable net method”, *Engineering Structures*, Elsevier, Vol.25, pp. 1835-1842, 2005.
- [5] PANAGIOTOPOULOS P. D. “A Variational Inequality Approach to the Inelastic Stress Unilateral Analysis of Cable Structures”, *Computer and Structures*, Vol. 6, pp. 132-140, 1982.
- [6] BANIOTOPOULOS C.C, NIKOLAIDIS Th., MICHALOPOULOS A., STAVROULAKIS G.E., “Optimization of the structural response of large span structures by the MNB optimal control system”, *Proceedings of 10<sup>th</sup> HSTAM International Congress on Mechanics*, Chania, Greece, 25-27 May, 2013.
- [7] ΜΠΑΝΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ Χ., ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Θ., “Κατασκευές από χάλυβα – Παραδείγματα σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN 978-960-456-323-4, 2012.



# OPTIMIZATION OF THE STRUCTURAL RESPONSE OF LARGE SPAN STRUCTURES BY THE MBN OPTIMAL CONTROL SYSTEM

## **Themistoklis Nikolaidis**

Dr. Ing., Institute of Metal Structures,  
Department of Civil Engineering, A.U.Th., Thessaloniki, Greece,  
e-mail: [think@civil.auth.gr](mailto:think@civil.auth.gr)

## **George K. Skarmoutsos**

Institute of Metal Structures,  
Department of Civil Engineering, A.U.Th., Thessaloniki, Greece,  
e-mail: [skarmout@civil.auth.gr](mailto:skarmout@civil.auth.gr)

## **Charalampos Baniotopoulos**

Dr.-Ing. Professor, School of Civil Engineering,  
University of Birmingham  
B15 255 Birmingham, United Kingdom

Institute of Metal Structures,  
Department of Civil Engineering, A.U.Th., Thessaloniki, Greece,  
e-mail: [ccb@civil.auth.gr](mailto:ccb@civil.auth.gr)

## **SUMMARY**

The structural collaboration between a deck structure and an external prestressed cable is a very advantageous structural system for bridges and large span structures due to the fact that the use of external prestressing. However, the action of the moving loads causes on the cables large displacements not compatible to the connected deck or structure. In the design of structures with large spans, the significant values of the bending moments at the deck require very heavy members. An effective way to minimize the influence of bending moments to the deck is to apply the MBN (after Michalopoulos, Baniotopoulos, Nikolaidis) passive control system of displacements by the use of external prestressed cables. The base for this innovative system is the cable supported beam where the additional prestressing force on the polygonal support cable, optimize the structural response of the system. The cable supported beam net used here with additional prestressing control of two lines of supported cables such as to optimize the structural behavior of the system. The passive control design problem leads to an optimal control problem for structures governed by variational inequalities. The novel passive control system is based on the usage of a prestressing cables mechanism, where permanent loads and a part of the moving loads are relieved by the two lines of prestressing cables nets. The rest of the moving loads together with excessive displacements are taken by an additional cable net ( $\beta$ ), that depends on the form and the use of the structure. In the present paper, a road bridge model of type MBN of open length  $L=200\text{m}$  is proposed and studied as a numerical application of the method.