

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΟΠΩΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Βασίλειος Δ. Παπαβασιλείου
Πολιτικός Μηχανικός
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών
Ζωγράφου, Αθήνα
e-mail : vdpapav@central.ntua.gr

Ιωάννης Γ. Ραυτογιάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών
Ζωγράφου, Αθήνα
e-mail : rafto@central.ntua.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο της κόπωσης στις μεταλλικές γέφυρες αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών. Κατασκευές υποκείμενες σε αυξομειούμενες τάσεις όπως οι μεταλλικές γέφυρες απαιτείται να ελέγχονται σε κόπωση κατά τον σχεδιασμό τους σύμφωνα με τον EC-3. Στη παρούσα εργασία αξιοποιούνται τα πειραματικά αποτελέσματα των Webber και Cullimore σε μεταλλική γέφυρα αποτελούμενη από προκατασκευασμένα στοιχεία. Τα στοιχεία της γέφυρας συναρμολογούνται στο χώρο καθέλκυσης με τη μέθοδο της σταδιακής προώθησης της γέφυρας με τη χρήση προβόλου. Με τη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται γέφυρες τύπου Bailey, Mabey Johnson, κ.α.

Τα αυξημένα κόστη και η έλλειψη χώρων πραγματοποίησης πειραμάτων μεγάλης κλίμακας επιβάλλουν την ανάγκη ελέγχου των κατασκευών μεγάλης κλίμακας και την συσχέτιση των πειραματικών αποτελεσμάτων τους με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μορφώνεται μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων ραβδωτών στοιχείων ενός πλήρους φορέα για την εξαγωγή των απαραίτητων εντατικών μεγεθών και στη συνέχεια σε προσομοίωμα στοιχείου κανονικών διαστάσεων εφαρμόζεται η ανάλυση ανάπτυξης ρωγμών λόγω κόπωσης. Μέσα από τη διαδικασία αυτή συγκρίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων κόπωσης μεγάλης κλίμακας και του εν λόγω προσομοιώματος.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κόπωση των μεταλλικών γεφυρών είναι το αντικείμενο το οποίο απασχολεί τους μελετητές ήδη από τα μέσα του 19ου αιώνα καθώς η βιομηχανική κατασκευή μεταλλικών στοιχείων για τη μόρφωση φορέων μεγαλύτερων από τα συνήθη ανοίγματα οδήγησε, λόγω της άγνοιας της συμπεριφοράς τους σε δυναμικές καταπονήσεις, σε μεγάλες καταστροφές.

Η αξιολόγηση του φαινομένου της κόπωσης των μεταλλικών γεφυρών στη φάση του σχεδιασμού πραγματοποιείται με την εφαρμογή των κανονιστικών διατάξεων του EC-3 ενώ σε αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών απαιτείται και η λήψη δοκιμών για τον εργαστηριακό έλεγχο της αντοχής σε κόπωση αυτών των δοκιμών από θέσεις του φορέα υποκείμενου σε δυναμικές καταπονήσεις. Μεγάλος αριθμός εργαστηριακών πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί για τον έλεγχο των διαφόρων λεπτομερειών κατασκευάζοντας τις καμπύλες των αντοχών σε κόπωση και την εξαγωγή συμπερασμάτων για κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Η πραγματοποίηση ωστόσο πειραμάτων σε φορείς μεγάλης κλίμακας ή ακόμα και σε ίδιους φορείς με τον υπό έλεγχο φορέα οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα - συμπεράσματα. Δύο κατηγορίες πειραμάτων είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν στις περιπτώσεις αυτές [1].

- α. Έλεγχος κόπωση τμημάτων της κατασκευής σε πραγματικές διαστάσεις.
- β. Έλεγχος τμήματος της γέφυρας πλήρους διατομής.

Το κόστος πειραμάτων μεγάλης κλίμακας είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων απαγορευτικό και πραγματοποιούνται κατά περίπτωση όταν και οι εργαστηριακές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να φιλοξενήσουν πειράματα κόπωσης από πλευράς υποδομής. Και στις περιπτώσεις όμως αυτές ο συνδυασμός των πραγματικών φορτίσεων είναι δύσκολος να επιτευχθεί ακόμα και αν υπάρχουν καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες πεδίου.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε πειράματα μεγάλης κλίμακας τα οποία πραγματοποιήθηκαν για πρώτη φορά το 1970 σε τμήματα φορέων Bailey και στη συνέχεια προσφάτως σε φορείς της ίδιας μόρφωσης, με σκοπό να κριθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των πεπερασμένων φορτίων σε τμήματα κατασκευής.

Σκοπός είναι να αναδειχθεί η δυνατότητα των πεπερασμένων στοιχείων στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς κόπωσης των γεφυρών με το δυνατόν ελάχιστο κόστος και τη μέγιστη αποτελεσματικότητα για την αποφυγή καταστροφών.

3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο φαινόμενο της κόπωσης σε μεταλλικές γέφυρες τύπου Bailey η οποίες λόγω του σκοπού της κατασκευής τους χαρακτηρίστηκαν ως στρατιωτικού τύπου γέφυρες για χρήση σε ειδικές συνθήκες και για περιορισμένο χρόνο [2].

Η βιομηχανική παραγωγή των τμημάτων της γέφυρας, σε συνδυασμό με την δυνατότητα μεγάλης φέρουσας ικανότητας με τη μόρφωση πολλαπλών φορέων κατέστησε την γέφυρα απαραίτητη και για την αποκατάσταση των υποδομών μετά το τέλος του Β' ΠΠ. Πολλές από τις γέφυρες βρίσκονται ακόμα σε χρήση σε πολλά μέρη παγκοσμίως ενώ ταυτόχρονα

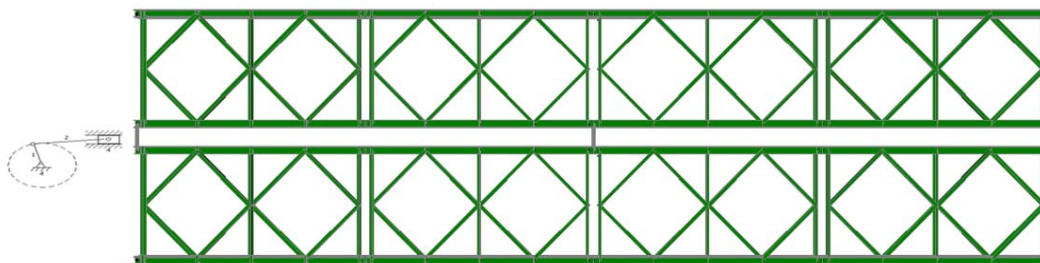
χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών. Σήμερα κατασκευάζονται από εταιρίες στην Κίνα και στις ΗΠΑ όπου αναπτύχθηκε μια νέα γέφυρα “τύπου Bailey” με την επωνυμία Mabey Johnson. Σε όλες τις νέες γέφυρες ο μελετητής είναι δυνατό να παρατηρήσει ότι οι διαστάσεις και το υλικό κατασκευής διαφέρει, διατηρώντας ωστόσο τη μόνωση του φορέα σε μεγάλο ποσοστό αναλλοίωτη τουλάχιστον στη λογική της λειτουργίας και της σύνδεσης. Διαφοροποιήσεις έχουν πραγματοποιηθεί σε διαστάσεις και υλικό προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των αυξημένων σύγχρονων φορτίων.

Προσπάθεια μελέτης του φαινομένου της κόπωσης σε γέφυρες τέτοιου τύπου έχουν γίνει από το Royal Armament Research and Development Establishment (RARDE, πρώην MEXE and MVEE) στη δεκαετία του 1950. Η ανάγκη για την πειραματική διερεύνηση της κόπωσης σε τέτοιου τύπου γέφυρες προήλθε από τον γεγονός ότι η χρήση τους επεκτάθηκε για την κάλυψη αναγκών διαφορετικών από τις αρχικής σύλληψης. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της αρχικής σύλληψης στο σχεδιασμό της γέφυρας το κριτήριο της κόπωσης δεν λήφθηκε υπόψη. Διαμήκεις οπές στο κορμό του κάτω πέλματος και η ενίσχυση με συγκολλημένα τμήματα στις αντίστοιχες θέσεις δημιούργησαν θέσεις αυξημένων τάσεων (hot spots) [3].

Από τα πρώτα καταγεγραμμένα πειραματικά αποτελέσματα κόπωσης σε γέφυρα Bailey είναι αυτά του Webber (1970), ο οποίος πραγματοποίησε πείραμα μεγάλης κλίμακας, σε σύνθετες δικτυωτές δοκούς. Στη συνέχεια απαντώνται έρευνες μεγάλης κλίμακας από τους Cullimore και Webber (2000) [5].

4. ΠΕΙΡΑΜΑ ΚΟΠΩΣΗΣ WEBBER-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο Webber πραγματοποίησε σειρά πειραμάτων κόπωσης [4] με πλαίσια καινούργιας κατασκευής όσο και πλαίσια από το απόθεμα τα οποία ήταν χρησιμοποιημένα και αποθηκευμένα με άγνωστη ιστορία φόρτισης. Η διάταξη είχε την μορφή 2 σύνθετων δοκών 4 πλαισίων Bailey η κάθε μια, τοποθετημένες αντικρυστά και εκτελέστηκε κάμψη τριών σημείων. Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν κάθετα ,στον άξονα Z για πρακτικούς λόγους εκτέλεσης των πειραμάτων και το ίδιο βάρος προσομοιώθηκε με ένα αρχικό βέλος κάμψης στη συσκευή εκτέλεσης.

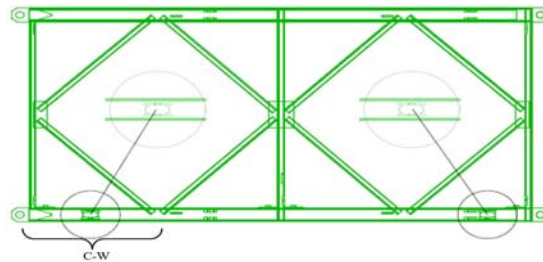


Σχ. 1: Πειραματική διάταξη κόπωσης από τον Webber(1970)

Η εκτέλεση των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με συχνότητα 2 Hz (cycles per sec). Σε κάθε δοκό τα 3 από τα 4 πλαίσια ήταν ενισχυμένα προκειμένου να ελέγχεται κάθε φορά ένα πλαίσιο της κάθε δοκού σε κόπωση. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα με διαφορετικές προσεγγίσεις. Από την εκτέλεση των πειραμάτων τα αποτελέσματα παρουσίασαν αποκλίσεις, ένα από τα προβλήματα των πειραμάτων κόπωσης, αλλά και διακύμανσης σε ότι αφορά στη θέση την οποία εμφανίστηκε η αστοχία. Οι πλειονότητα όμως των

αστοχιών παρατηρήθηκε στις συγκολλήσεις μεταξύ των πλακιδίων ενίσχυσης της σύνδεσης των αντιανέμων με το κάτω πέλμα της σύνθετης δικτυωτής δοκού στις θέσεις του Σχ 2. Η εμφάνιση της θέσης της αστοχίας ως κύρια επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφική αναφορά σε παλαιότερες προσπάθειες πειραμάτων κόπωσης [3].

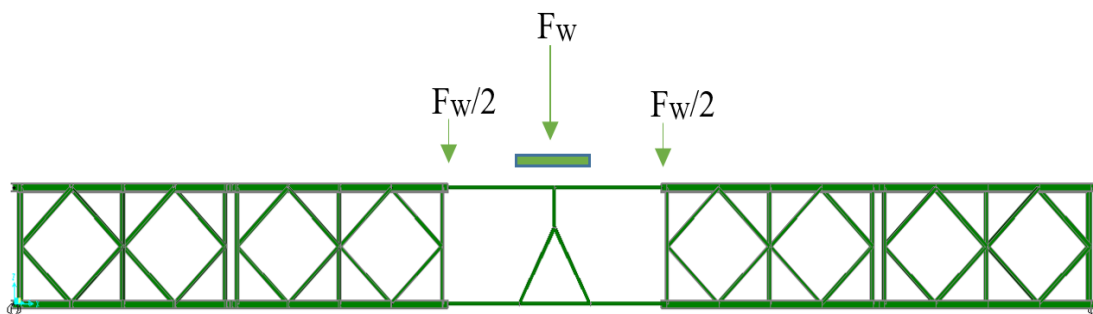
Σκοπός της παρούσας εργασίας δεν είναι η παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων αλλά η δυνατότητα προσέγγισης αυτών μέσω διαδικασίας μελέτης με πεπερασμένα στοιχεία και για αυτό το λόγο ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στις λεπτομέρειες των αποτελεσμάτων όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [4].



Σχ. 2: Θέσεις σύνδεσης αντιανέμων και εμφάνιση αστοχιών κόπωσης σε τυπικό πλαίσιο Bailey

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΟΠΩΣΗΣ CULLIMORE-WEBBER -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα κόπωσης από τους Cullimore-Webber το 1999 [5] πραγματοποιήθηκαν σε πλαίσια της Heavy Girder Bridge, μια πανομοιότυπη δομή σύνθετης δικτυωτής δοκού με αυτής της Bailey Bridge. Τα πλαίσια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είχαν χρησιμοποιηθεί ελάχιστα και δεν παρουσίαζαν ρωγμές κόπωσης. Η δοκός στη περίπτωση αυτή αποτελούνταν από 3 σειρές πλαισίων κατά πλάτος με διαμήκη διάταξη όπως αυτή στο σχ.3



Σχ. 3: Διάταξη Πειραμάτων Heavy Girder Bridge από Cullimore-Webber

Ο υπολογισμός των εσωτερικών δυνάμεων για την εύρεση των τάσεων στις διάφορες θέσεις ελέγχου για κόπωση, ήταν απαραίτητος. Η πολυπλοκότητα όμως του πλαισίου και των συνδέσεων οδήγησαν σε έλεγχο μόνο του κάτω πέλματος των πλαισίων και στην περιοχή μεταξύ της θέσης σύνδεσης με πείρο και του διατεμνόμενου τμήματος με τις διαγώνιους (Σχ.2 ένδειξη C-W). Προκειμένου οι δύο ερευνητές να υπολογίσουν τις εσωτερικές δυνάμεις εφάρμοσαν εξωτερική φόρτιση (Φορτίο Ελέγχου) $F_w=335$ kN το οποίο θεώρησαν απλοποιητικά ότι κατανέμεται $F_w/2$ σε κάθε εσωτερικό πλαίσιο. Επίσης θεώρησαν δεδομένο ότι κάθε πλαίσιο κατά μήκος της διάταξης παραλαμβάνει την ροπή κάμψης με την μορφή αξονικών δυνάμεων στο εφελκόμενο και θλιβόμενο πέλμα. Μια παραδοχή η οποία στο συγκεκριμένο τύπο πλαισίου- σύνθετης δοκού ελάχιστα διαφέρει

από τη πραγματικότητα όπως είχε ήδη αποδείξει ο Webber στην εργασία του [3]. Για τον υπολογισμό των τάσεων η δοκός θεωρήθηκε ως υψίκορμη (plate girder) με ορθογωνικά πέλματα ίσου εμβαδού με τα πέλματα των πλαισίων. Και στην περίπτωση αυτή των πειραμάτων στα αποτελέσματα κυρίαρχος τύπος αστοχίας ήταν στις συγκολλήσεις μεταξύ των πλακιδίων σύνδεσης των αντιανέμων με το κάτω πέλμα της σύνθετης δικτυωτής δοκού στις αντίστοιχες με τις θέσεις του Σχ 1.

5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΟΠΩΣΗΣ

Στη παρούσα εργασία, αντικειμενικός σκοπός είναι να αναδειχθεί η δυνατότητα προσδιορισμού των θέσεων κόπωσης, σε πλαίσια με διατομή αντίστοιχη των πλαισίων της γέφυρας Bailey με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων με σκοπό την μείωση του κόστους εκτέλεσης πειραμάτων αλλά και για την ανάπτυξη διαδικασίας ελέγχου των υφιστάμενων πλαισίων για ρωγμές από κόπωση. Και στη περίπτωση όμως αυτή υπάρχουν περιορισμοί στα πλαίσια της έρευνας καθώς ο όγκος των δεδομένων τα οποία καλείται να επεξεργαστεί ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι υπερβολικά μεγάλος για κατασκευές σε πραγματικό μέγεθος και με λεπτομέρειες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν πολλές φορές σε σφάλματα υπολογιστικά.

Για το λόγο αυτό η προσέγγιση στη παρούσα εργασία είναι σε συμφωνία με την διαδικασία η οποία εφαρμόστηκε στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις με τις απαραίτητες τροποποιήσεις.

Αρχικά αναζητήθηκαν οι διαστάσεις των μελών του πλαισίου τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα του Webber (1970). Διαπιστώθηκαν αποκλίσεις μεταξύ μετρημένων διατομών σε υφιστάμενες εν λειτουργία γέφυρες Bailey και των διατομών οι οποίες ήταν σε χρήση τη δεκαετία 1960 και 1970 στη Μεγάλη Βρετανία. Έτσι επιλέχθηκε από τη βιβλιογραφία η πιο κατάλληλη διατομή σε κάθε περίπτωση [6]. Ήταν αναμενόμενη μια τέτοια απόκλιση στις διατομές καθώς υπήρξαν διάφοροι κατασκευαστές κατά καιρούς. Αυτό αναφέρεται και από τον Webber καθώς υπήρξαν πλαίσια στα πειράματα τα οποία είχαν διαφορές και στις συγκολλήσεις. Από τη βιβλιογραφία [6] και τον πίνακα Νο 3.24 ο οποίος αφορά σε πρότυπες Βρετανικές διατομές τύπου Channel στις περιόδου (1962) επιλέχθηκαν αυτές που προσεγγίζουν τις μετρήσεις πεδίου.

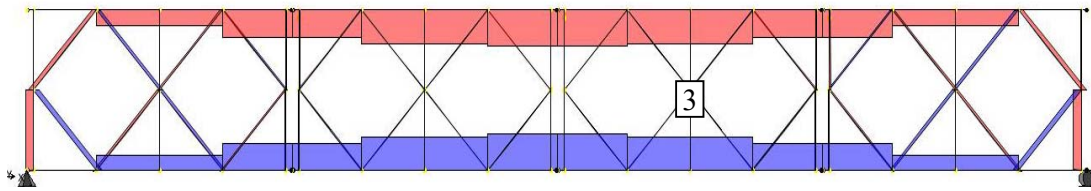
Δημιουργήθηκε μοντέλο ραβδωτών πεπερασμένων φορτίων στο λογισμικό Sap2000 με σκοπό να προσομοιωθεί το πείραμα κόπωσης του Webber και να υπολογιστούν οι δυνάμεις και τα φορτία τα οποία αναπτύσσονται στο φορέα. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται μια πρώτη προσέγγιση στις συμπεριφοράς του φορέα και των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών.

Αρχικά υπολογίστηκε η επίδραση του ίδιου βάρους με δεδομένο ότι κάθε πλαίσιο έχει ονομαστικό βάρος 260 Kgr ή 2,6 kN.

$$w_{dead, panel} = 260 Kgr \times 10 \frac{N}{Kgr} = 2600 N \quad (1)$$

$$w_{dead total} = 2,60 kN \times 4 panels = 10,4 kN \quad (2)$$

Στο Σχ.4 απεικονίζονται οι αξονικές δυνάμεις λόγω ίδιου βάρους των οποίων η κατανομή είναι σύμφωνη με την θεώρηση στις αμφιέριστες δοκού. Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι η συμπεριφορά αυτή στις κατασκευές είναι η εικονιζόμενη με τις παρούσες συνοριακές συνθήκες.



Σχ. 4: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων λόγω ίδιου βάρους

n: Αριθμός πλαισίων ο οποίος ισούται με 4 στη περίπτωση της στις εργασίας.

L: Μήκος πλαισίου το οποίο ισούται με 3,048 m (ανάλογα με τη κατασκευάστρια εταιρία είναι δυνατό να διαφοροποιούνται οι διαστάσεις).

h: Ύψος δοκού μεταξύ των κέντρων βάρους των σύνθετων δικτυωτών δοκών.

E: Μέτρο ελαστικότητας. Για τη εργασία χρησιμοποιείται ελλείψει πειραματικών μετρήσεων το μέτρο το οποίο έχει υπολογιστεί στο παρελθόν ίσο με 206,8 GPa[7]

I_{eff} : Η ροπή αδράνειας βάσει του EC-3:

$$I_{eff} = 2 \cdot A_{\pi\lambda\mu\alpha\tau\omicron\varsigma} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 = 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot \left(\frac{1,448}{2}\right)^2 = 2,52 \cdot 10^{-3} m^4 \quad (3)$$

Στη περίπτωση της εργασίας το κατανεμημένο ίδιο βάρος είναι:

$$q_{DL} = \frac{10,4kN}{12,192m} = 0,85 \frac{kN}{m} \quad (4)$$

Από τη θεωρία προκύπτει ότι λόγω ίδιου βάρους η αναπτυσσόμενη ροπή σε μια αμφιέρειστη δοκό με κατανεμημένο φορτίο q δίνεται από την εξ.3.

$$M_{DL} = \frac{qL^2}{8} kNm = \frac{0,85 * 12,192^2}{8} = 15,8kNm \quad (5)$$

Αν θεωρηθεί ότι σε μια τέτοιου τύπου δοκό η ροπή παραλαμβάνεται και υπολογίζεται με την μορφή αξονικών δυνάμεων στο άνω και κάτω πέλμα τότε θα πρέπει οι υπολογισμοί να καταλήξουν για την επίδραση μόνο του ίδιου βάρους σε αξονική εφελκυστική ίση με

$$F_l = \frac{M_{DL}}{h} = \frac{15,8kNm}{1,448m} = 10,91kN \quad (6)$$

Το βέλος κάμψης θα πρέπει να ισούται σύμφωνα με τη θεωρία με το άθροισμα του βέλους λόγω ίδιου βάρους και του βέλους λόγω της διάτμησης.

$$w_{DL} = \frac{5 \cdot q_{DL} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{eff}} = \frac{5 \cdot 0,85 \cdot 12,192^4}{384 \cdot 206800000 \cdot 2,52 \cdot 10^{-3}} = 4,69 \cdot 10^{-4} m = 0,469mm \quad (7)$$

$$w_{S_v} = \frac{q_{DL} \cdot L^2}{8 \cdot S_v} = \frac{0,85 \cdot 12,192^2}{8 \cdot 74342} = 2,12 \cdot 10^{-4} m = 0,212mm \quad (8)$$

$$\text{Επομένως } w_{tot} = 0,469 mm + 0,212 mm = 0,681mm \quad (9)$$

Από την επίλυση με το λογισμικό, η αξονική δύναμη στο κάτω πέλμα στις μεσαίες δοκού υπολογίστηκε σε 10,93 kN. Η διαφορά που προέκυψε μεταξύ θεωρίας και λογισμικού είναι <1%.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται στο φορέα, στο μέσο αυτού φορτίο 254 kN για την κάμψη του φορέα με κυκλική εναλλαγή στις φόρτισης μιας περιόδου. Το φορτίο ορίστηκε στα 254 kN από τα διαγράμματα του Webber για τάση ίση με 33 Ksi=228 MPa . Από αυτή την τάση αφαιρέθηκε η τάση την οποία προκαλεί το ίδιο βάρος και στη συνέχεια υπολογίστηκε το υπόλοιπο απαιτούμενο φορτίο το οποίο μαζί με το ίδιο βάρος προκαλούν την τάση των 228 MPa, από τη σχέση :

$$\sigma = \frac{M}{I_{eff}} \cdot y = \frac{M}{I_{eff}} \cdot \left(\frac{h}{2}\right) \Rightarrow M = \frac{2 \cdot \sigma \cdot I_{eff}}{h} \quad (10)$$

Στη περίπτωση φόρτισης δοκού με συγκεντρωμένο φορτίο είναι :

$$M = \frac{PL}{4} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot I_{eff}}{h} \Rightarrow P = \frac{8 \cdot \sigma \cdot I_{eff}}{h} \quad (11)$$

Από τα αποτελέσματα των φορτίσεων εξήχθησαν οι μετατοπίσεις του πλαισίου Νο.3 (Σχ.4) στις 4 θέσεις σύνδεσης, τόσο για το ίδιο βάρος όσο και για την περιοδική φόρτιση ενός κύκλου. Σκοπός του υπολογισμού των μετατοπίσεων στους κόμβους είναι στη συνέχεια η επιβολή αυτών ως συνοριακές συνθήκες στο λογισμικό Abaqus.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένα τυπικό πλαίσιο Bailey σχεδιάστηκε στις πραγματικές του διαστάσεις στο AutoCAD και εισήχθη στο λογισμικό Abaqus για ανάλυση. Όλα τα τμήματα θεωρήθηκαν Solid και για το δίκτυο-πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία C3D10. Ο μεγάλος όγκος των δεδομένων προς ανάλυση οδηγεί στην επίτευξη των αποτελεσμάτων μέσω της εφαρμογής των κατάλληλων συνοριακών συνθηκών. Για την αποφυγή της ανάλυσης με την εφαρμογή φορτίων γεγονός το οποίο οδηγεί σε ένα αναπόφευκτο υπολογισμό του μητρώου ακαμψίας σε κάθε σταδιακή εφαρμογή του φορτίου (increment) εφαρμόστηκε η λογική των επιβεβλημένων μετατοπίσεων των κόμβων.

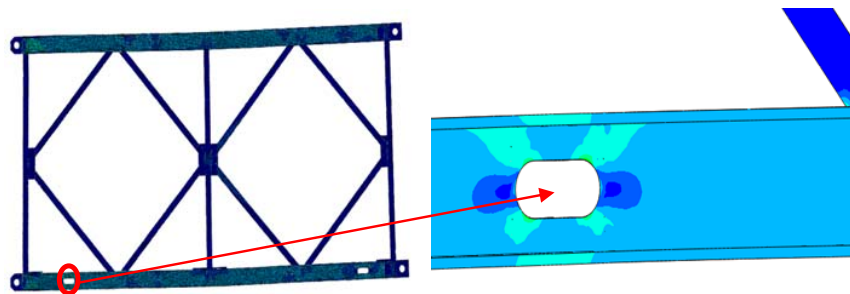
Οι μετατοπίσεις που προέκυψαν από την ανάλυση με τα ραβδωτά στοιχεία εισήχθησαν ως μετατοπίσεις στο πλαίσιο και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχ.5,6. Από την ανάλυση προέκυψαν οι θέσεις με τις μεγαλύτερες τάσεις στις θέσεις των οπών. Η επιβολή των συνοριακών συνθηκών (μετατοπίσεις κόμβων) για τις συνθήκες φόρτισης των 254 kN σε συνδυασμό με τον κώδικα XFem του Abaqus με το περιορισμό της θέσης έναρξης της ρωγμής γύρω από την οπή μας δίνει την έναρξη της ρωγμής όπως στο Σχ.6 στο πάνω μέρος αυτής. Η θέση είναι σε πλήρη συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα. Η έναρξη της ρωγμής στα πειράματα μεγάλης κλίμακας γίνεται αρχικά στο κάτω διαγώνιο χείλος και μετά στο πάνω, γεγονός το οποίο οφείλεται τόσο στο τρόπο της επιβολής του φορτίου όσο και στην δυνατότητα του λογισμικού να διαχειριστεί ολόκληρο το πλέγμα (crack domain) των πεπερασμένων στοιχείων.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

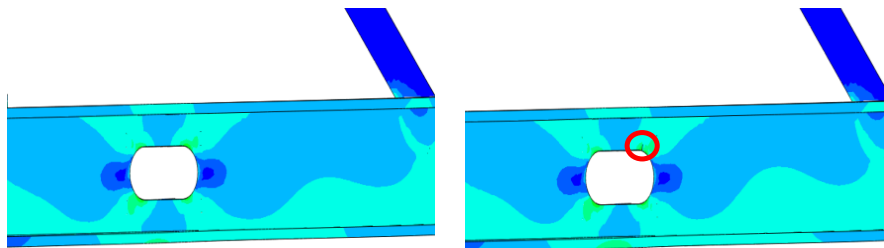
Το φαινόμενο της κόπωσης στις κατασκευές απαιτεί εκτεταμένη έρευνα και ανάλυση για την αντιμετώπιση του. Η ανάπτυξη εργαλείων πρόβλεψης, των αστοχιών λόγω κόπωσης, από πολλούς ερευνητές έχει βοηθήσει τους μελετητές στη αντιμετώπιση του φαινομένου από τη φάση σχεδιασμού. Η πραγματική ωστόσο συμπεριφορά των κατασκευών είναι

εφικτό να μελετηθεί μόνο με πειράματα μεγάλης κλίμακας. Το υψηλό κόστος πραγματοποίησης πειραμάτων μεγάλης κλίμακας σε συνδυασμό με τους περιορισμούς των εργαστηριακών υποδομών και των οργάνων καθιστούν απαγορευτική την υλοποίησή τους.

Η αδυναμία αυτή είναι δυνατό να καλυφθεί με ανάλογες παραδοχές με τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων και των νέων λογισμικών τα οποία προσφέρονται. Είναι δυνατή η πρόβλεψη των θέσεων αστοχίας όπως αποδείχτηκε από το συσχέτισμό των αποτελεσμάτων για τις συνθήκες των πειραμάτων μεγάλης κλίμακας. Συνεπώς η επιβολή φορτίσεων στο λογισμικό καταγεγραμμένων χρονοϊστοριών είναι δυνατό να οδηγήσει σε συμπεράσματα για το σύνολο της κατασκευής και της συμπεριφοράς της. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε η έναρξη ρωγμών κόπωσης στα σημεία σύνδεσης των αντανέμων. Στις θέσεις αυτές εμφανίστηκαν ρωγμές αντίστοιχα και στην ανάλυση με τα πεπερασμένα στοιχεία. Η χρήση των πεπερασμένων στοιχείων παρά το γεγονός της ευκολίας στη χρήση τους παρουσιάζουν περιορισμούς από πλευράς ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων. Για την αποφυγή της δημιουργίας εκτεταμένων εξισώσεων και αύξησης του χρόνου προς επίλυση επιλέγεται τμήμα της της κατασκευής με κατάλληλες συνοριακές συνθήκες. Είναι συνεπώς δυνατή μια ικανοποιητική προσέγγιση της κόπωσης των μεταλλικών γεφυρών τύπου Bailey με την επίλυση πλήθους φορέων με διαφορετικές συνοριακές συνθήκες, προσαρμοσμένες κατά το δυνατό στις πραγματικές συνθήκες.



Σχ. 5: Παραμόρφωση φορέα και τάσεις γύρω από την οπή μόνο με την επίδραση του ίδιου βάρους



Σχ. 6: Ενδιάμεση θέση φόρτισης και θέση έναρξη ρωγμής

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] MARSH K. J., “Full-scale Fatigue Testing of Components and Structures (1988) Butterworths, London.
- [2] PAPAVALLEIOU V.D., RAFTOYIANNIS I.G., “Strengthening and Maintenance Measures of a Bailey – Type Road Bridge”, (IJBE), Vol. 2, No. 3, (2014), pp. 59-66
- [3] GREENAWAY L.R., (1968) Fatigue Risk in Bailey Bridges, Technical

- Memorandum, Ministry of Transport, London
- [4] WEBBER D.,” Constant Amplitude and Cumulative Damage Fatigue Tests on Bailey Bridges,” Effects of Environment and complex Load History on Fatigue Life, ASTM STP 462, American Society for Testing and Materials, 1970, pp 15-39
 - [5] CULLIMORE M.S.G., WEBBER D., (2000).” Analysis of heavy girder bridge fatigue failures.” Eng. Fail. Anal, 7(3)145-168.
 - [6] BATES W., “Historical Structural Steelwork Handbook”.,BCSA,1984,London
 - [7] ASSOCIATED CONSULTING ENGINEERS L.T.D, Evaluation of a Bailey Bridge at Ardunu (Kunar River), Lahore, Pakistan, 1990
 - [8] ROBBERTS L.D, “The Bailey: The Amazing, All-Purpose Bridge”.
 - [9] ΒΑΓΙΑΣ Ι., Σιδηρές Κατασκευές Ανάλυση και Διαστασιολόγηση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003.
 - [10] SIMULIA, “Abaqus Analysis User's Guide-6.14” , Student Edition.

COMPARISON OF EXPERIMENTAL RESULTS OF LARGE SCALE FATIGUE TESTS WITH ANALYSIS WITH FE-MODEL

Vasileios D. Papavasileiou

Civil Engineer

National Technical University of Athens

Institute of Steel Structures

Zografou Campus, Athens

e-mail : vdpapav@central.ntua.gr

Ioannis G. Raftoyiannis

Associate Professor

National Technical University of Athens

Institute of Steel Structures

Zografou Campus, Athens

e-mail : rafto@central.ntua.gr

SUMMARY

Fatigue failures in steel bridges has been under investigation for many years by many researchers. Structures, like steel bridges, which are affected by fluctuating and dynamic loadings, are needed to be checked for their fatigue performance during their design in accordance with the EC-3. In this paper, the results from Webber and Cullimore work, for a steel bridge, which is built by assembling different components, are assessed. These components are built on site from a pre-engineered system by the cantilever launching method. Types of such bridges are Bailey and Mabey Johnson as well.

The extended cost of fatigue tests in comparison with the lack of appropriate facilities for the large-scale tests impose the necessity of checking the large scaling structures with the finite element method.

For this reason, a model with bars finite elements was formed in order to calculate the internal forces. After this procedure, in a large scale model of solid finite elements, a fatigue method is applied to be investigated the crack growth in comparison with the real bridge.