ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΣΤΟ ΣΕΑ ΠΑΛΛΗΝΗΣ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ

Φαίδων Σόλων Καρυδάκης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Αθήνα, Ελλάς e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

Βασίλης Γκίκας

Δρ. Τοπογράφος μηχανικός Αναπληρωτής καθηγητής Εργαστήριο Γεωδαισίας ΕΜΠ e-mail: <u>vgikas@central.ntua.gr</u>

Αλέξανδρος Παναγάκης

Πολιτικός μηχανικός Αθήνα, Ελλάς e-mail: <u>apanagak@attikesdiadromes.gr</u>

Κώστας Τσοκανής

Πολιτικός Μηχανικός Αθήνα, Ελλάς e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

Δημήτρης Ζαχαράκης

Πολιτικός Μηχανικός Αθήνα, Ελλάς e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της εργασίας είναι ο έλεγχος και η αποτίμηση της δομικής ακεραιότητας της καλωδιωτής γέφυρας στο ΣΕΑ Παλλήνης της Αττικής Οδού. Η γέφυρα που κατασκευάστηκε το 2003, είναι ενός ανοίγματος με μήκος L=55,50m, έχει σύμμικτο κατάστρωμα και 6 συνολικά καλώδια. Ο έλεγχος συνίστατο στον οπτικό έλεγχο για εμφανείς φθορές, (π.χ. ρηγματώσεις του ελκυστήρα από σκυρόδεμα, τοπικές φθορές στις θέσεις αγκύρωσης των καλωδίων στο κατάστρωμα κ.α.), στις μετρήσεις πάχους προστατευτικών στρώσεων και στον έλεγχο απόκρισης της γέφυρας σε δοκιμαστικές φορτίσεις με επιβαλλόμενα φορτία, σε αντιπαραβολή με αριθμητικά αποτελέσματα μιας αναλυτικής προσομοίωσης. Πραγματοποιήθηκε μία σειρά φορτίσεων με ένα τριαξονικό όχημα βάρους ~30 t. Τα αποτελέσματα των μετακινήσεων καταγράφηκαν από το Εργαστήριο Γεωδαισίας του ΕΜΠ.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψε μία σχετικά αυξημένη δυσκαμψία του φορέα, σε σχέση με την υπολογιστική, που υποδηλώνει την δομική ακεραιότητα του.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα είναι καλωδιωτής μορφής, ενός ανοίγματος, με σύμμικτο κατάστρωμα από σκυρόδεμα και χάλυβα. Οι πυλώνες είναι δύο και αποτελούνται από έναν ελκυστήρα από προεντεταμένο σκυρόδεμα και έναν θλιπτήρα από χάλυβα, ενώ εδράζεται σε δύο ακρόβαθρα θεμελιωμένα σε πασσάλους. Έχει μήκος L=55,50m, μεταβλητό πλάτος b=13,40 – 16,50m και οι πυλώνες έχουν ύψος 19,00m.

Ο φορέας καταστρώματος της γέφυρας είναι σύμμικτος, αποτελούμενος από δύο κύριες δοκούς, διαδοκίδες και σύμμικτη πλάκα σκυροδέματος με χαλυβδόφυλλο. Οι κύριες δοκοί βρίσκονται στα άκρα του καταστρώματος, με τη διατομή τους να είναι συγκολλητή και μεταβλητή κατά μήκος του άξονα της γέφυρας. Οι διαδοκίδες αποτελούνται και αυτές από συγκολλητή μεταβλητή διατομή, ενώ συνδέονται μέσω διατμητικών ήλων με τη σύμμικτη πλάκα του καταστρώματος.



Εικ. 1. Όψη γέφυρας

Εικ. 2. Κατάστρωμα γέφυρας

Τα καλώδια, τρία ανά παρειά, είναι διατεταγμένα σε ακτινική μορφή από την κορυφή του πυλώνα και συνδέονται με τις κύριες δοκούς περίπου στα τέταρτα του μήκους τους.

ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΓΕΦΥΡΑΣ



Εικ. 3. Ημιδιατομή φορέα καταστρώματος

2. ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο οπτικός έλεγχος της γέφυρας επικεντρώθηκε κυρίως στην έδραση των ελκυστήρων του πυλώνα από προεντεταμένο σκυρόδεμα στα ακρόβαθρα, για ρηγματώσεις από εφελκυστικά φορτία, που πιθανόν προκαλούν εφελκυστικές τάσεις παρά την ύπαρξη τενόντων προέντασης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η κατάσταση τους (πιθανή χαλάρωση κλπ). Επίσης πραγματοποιήθηκε οπτικός έλεγχος της εσχάρας δοκών του σύμμικτου καταστρώματος και των συνδέσεών της και μέτρηση του πάχους γαλβανίσματος σε όλες τις κρίσιμες θέσεις των διατομών.



Εικ. 4. Ρηγματώσεις στη βάση του ελκυστήρα

Εικ. 5. Σύνδεση διαδοκίδας-κύριας δοκού

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ

Ο έλεγχος απόκρισης της γέφυρας σε επιβαλλόμενα φορτία, πραγματοποιήθηκε μέσω μιας σειράς φορτίσεων με ένα τριαξονικό όχημα βάρους ~30tn. Οι φορτίσεις ήταν αρχικά στατικές κυρίως, ενώ στο τέλος προστέθηκε σειρά δυναμικών φορτίσεων για ερευνητικούς σκοπούς.

Οι μετρήσεις που έγιναν από το εργαστήριο γεωδαισίας ήταν:

- Χωροσταθμήσεις ακριβείας σε 30 θέσεις κατά μήκος του άξονα και των δύο παρειών του καταστρώματος.
- Μετρήσεις μετακινήσεων (χρονοϊστορίας) κωνικών στόχων, στα άκρα (αγκυρώσεις) των καλωδίων, με σύστημα τηλεμετρίας (radar μικροκυματικής ακτινοβολίας).
- Μετρήσεις μετακινήσεων (χρονοϊστορίας) των καλωδίων, για την μελέτη των δυναμικών τους χαρακτηριστικών.
- Μετρήσεις της οριζόντιας μετακίνησης του αρμού στο τέλος του καταστρώματος, με ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο.
- Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από ακριβείς αναλύσεις.

Η σειρά των στατικών φορτίσεων πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση του οχήματος σε 6 θέσεις στο κατάστρωμα, 3 σε κάθε παρειά, στις θέσεις αγκύρωσης των καλωδίων.

Οι δυναμικές φορτίσεις αποτελούνταν από πτώσεις του οχήματος στο κατάστρωμα της γέφυρας από τεχνητά εμπόδια μικρού ύψους (~15cm), από διελεύσεις του οχήματος με ταχύτητες της τάξης των 30-40km/h και τέλος από απότομες πεδήσεις στο κατάστρωμα. Κατά τη διάρκεια των δυναμικών φορτίσεων, η λήψη μετρήσεων ήταν δυνατή μόνο από το σύστημα του radar. Οι μετρήσεις έγιναν σε διάφορες χρονικές στιγμές, πάντοτε αργά τη νύχτα, 1-5 μετά τα μεσάνυχτα, ώστε, αφ ενός να μην λειτουργεί το Metro και ο Προαστιακός, αλλά κυριότερα να μην υπάρχουν τοπικές θερμοκρασιακές μικρο-διαφορές.



Εικ. 6. Όχημα στο 3° καλώδιο

Εικ. 7. Κωνικοί μεταλλικοί στόχοι



Εικ. 8. Όχημα στο 3° καλώδιο

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΣΕΙΡΑ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Στη συνέχεια φαίνονται τα βέλη κάμψης από τα σημεία χωροστάθμησης, των άκρων των καλωδίων από τις μετρήσεις με radar, και από τις αριθμητικές αναλύσεις. Παρουσιάζεται μία συστηματική απόκλιση, με τις θεωρητικές μετακινήσεις να είναι από 5-25% μεγαλύτερες από αυτές των δοκιμαστικών φορτίσεων.



Εικ. 9. Βέλη κάμψης από χωροστάθμηση και radar (μαύρη γραμμή) και αριθμητικές αναλύσεις (μπλέ γραμμή)



Εικ. 10. Βέλη κάμψης κύριων δοκών – όχημα στο 1° καλώδιο

Στις αναλύσεις εξετάστηκε και η επιρροή παραγόντων που εισάγουν αβεβαιότητες («sensitivity» tests), όπως π.χ. μέτρα ελαστικότητας., το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος όπου εξαρτάται από την αντοχή του, αβεβαιότητες προσομοίωσης κλπ. Αποδείχθηκε ότι η επιρροή αυτών των παραγόντων, επηρρεάζει μεν τα αποτελέσματα, αλλά όχι κρίσιμα και ουσιαστικά.

5. ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Από το σύστημα τηλεμετρίας (radar) και τη χρονοϊστορία των μετακινήσεων, έγινε προσπάθεια να υπολογιστούν οι ιδιοπερίοδοι των καλωδίων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα των μετρήσεων για τα 3 καλώδια μίας παρειάς, απ' όπου προέκυψαν οι ιδιοπερίοδοι.



Εικ. 15. Χρονοϊστορία μετακινήσεων 3^{ου} καλωδίου



Εικ. 16 Αναλυση συχνοτήτων 1^{ου} καλωδίου

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε σημαντικός αριθμός χαρακτηριστικών ιδιοπεριόδων, οι περισσότερες από τις οποίες δεν αφορούν στα καλώδια αλλά σε διάφορες ιδιομορφές του καταστρώματος. Οι ιδιοπερίοδοι των καλωδίων που μετρήθηκαν είναι κοντά στις θεωρητικές, όπως αυτές προκύπτουν από τη σχέση, καθώς και η τάξη μεγέθους της μεταβολής λόγω επιβολής του φορτίου.

T= $2L\sqrt{\frac{m}{H}}$, όπου Η η αξονική δύναμη του καλωδίου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ιδιοπερίοδος δεν μεταβάλλεται αξιοσημείωτα από την κίνηση του οχήματος στη γέφυρα, καθώς η μεταβολή που προκαλεί στην εντατική κατάσταση των καλωδίων συγκρινόμενη με την εντατική κατάσταση από τα ίδια βάρη είναι πολύ μικρή (2,5%-5,0%).

Ακόμη η ύπαρξη προστατευτικού σωλήνα στα καλώδια, μειώνει την αξιοπιστία της μέτρησης.

Οι ιδιοπερίοδοι των καλωδίων προκύπτουν: $T_1=0,174sec, T_2=0,252sec$ και $T_3=0,331sec.$ $T_1=0,107sec, T_2=0,218sec$ και $T_3=0,344sec.$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μέχρι τώρα επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τις δοκιμαστικές φορτίσεις δεν εμφανίζονται σημεία ανησυχίας.

Η δυσκαμψία της γέφυρας και των επί μέρους δομικών στοιχείων, δεν αφήνει υπόνοιες για μειωμένες διατομές, η φθορά η γήρανση του υλικού, ην τυχόν χαλάρωση των συνδέσεων. Επανάληψη της φόρτισης σε τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για τυχόν γήρανση των δομικών στοιχείων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Batel, M, "Operational Modal Analysis-Another Way of Doing Modal Testing," Sound and Vibration, August, 2002.

[2] Papadimitriou, C, Fritzen, C-P, Kraemer, P and Ntotsios, E, "Fatigue Predictions in Entire Body of Metallic Structures from a Limited Number of Vibration Sensors Using Kalman Filtering", Structural Control and Health Monitoring, 2010.

[3] Cunha, A, Caetano, E, Magalhaes, F and Moutinho, C, "From input-output to output only modal identification of civil engineering structures," SAMCO final report, 2006.

[4] Gikas, V, "Ambient Vibration Monitoring of Slender Structures by Microwave Interferometer Remote Sensing", Journal of Applied Geodesy, Vol. 6, No. 3-4, pp. 167-176, 2012.

[5] McCormick, N, Lord, J, "Digital image correlation for structural measurements", *Proc. of the Institution of Civil Engineers, Civil Engineering 165*, Issue CE4, pp. 185-190, 2012.

[6] Moschas, F, Stiros, S, "Measurement of the Dynamic Displacements and of the Modal Frequencies of A Short-OSpan Pedestrian Bridge Using GPS and an Accelerometer", Engineering Structures, Vol. 33, No. 1, 2011.

CABLE STAYED BRIDGE AT SEA PALLINI CHECK AND EVALUATION

Phaedon Solon Karydakis

Dr. Civil engineer Athens, Greece e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

Vasilis Gikas

Associate professor NTUA e-mail: <u>vgikas@central.ntua.gr</u>

Alexandros Panagakis

Civil engineer Athens, Greece e-mail: <u>apanagak@attikesdiadromes.gr</u>

Costas Tsokanis

Civil engineer Athens, Greece e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

Dimitris Zaharakis

Civil engineer Athens, Greece e-mail: <u>karmad44@otenet.gr</u>

Summary

This paper refers to the checking and structural evaluation of a cable stayed bridge at SEA Pallini, of Attiki Odos. The bridge, constructed in 2003, has a single span L=55.5 m, with a composite deck and six suspending cables. The checking includes, visual check and measurements of the thickness of the protective coating and monitoring the response of the structure to applied test loads, compared to relative arithmetic analysis results.

A series of load test were performed, with the use of a triaxial truck of 30 t. The exact measurements were carried out by the surveying laboratory of NTUA.

From the results, a relative increase of the stiffness of the structure compared to the mathematical model results, suggests the structural integrity of the bridge.