

ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ Ζ24.

Ιακωβίδης Γ. Ιάσων, Πολ. Μηχανικός, MSc Δομικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Σέφιλντ, iakovidis1@sheffield.ac.uk

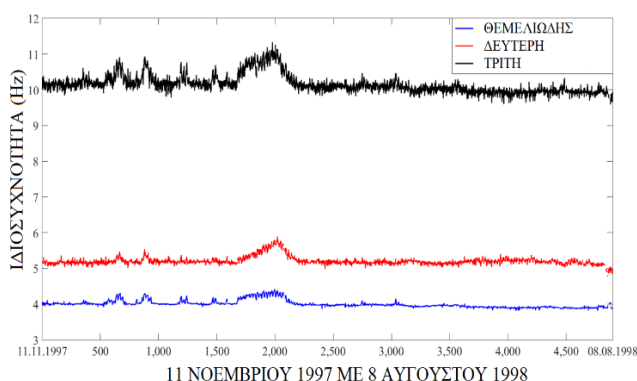
Μορφίδης Κωνσταντίνος, Δρ. Πολ. Μηχανικός, Εντεταλμένος ερευνητής ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, kmorfidis@itsak.gr

Λεκίδης Βασίλειος, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Διευθυντής Ερευνών ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, lekidis@itsak.gr

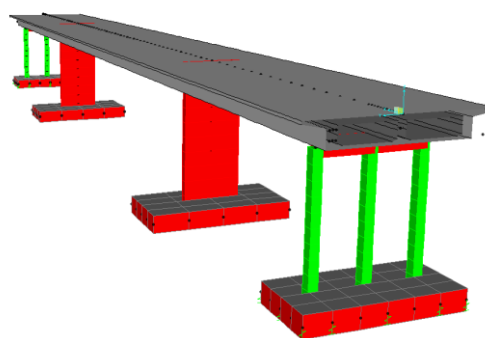
Η παρακολούθηση της δομικής κατάστασης (ΠΔΚ) γεφυρών (διεθνώς γνωστής ως Structural Health Monitoring ή SHM) περιλαμβάνει δύο βασικές κατηγορίες έρευνας [1]. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε τεχνικές που στηρίζονται στη χρήση στατιστικών και μαθηματικών μεθόδων με σκοπό την επεξεργασία των καταγραφών, μέτρησης απόκρισης από τις βάσεις δεδομένων, την αναγνώριση δυναμικών χαρακτηριστικών των γεφυρών, όπως επίσης και στην παρατήρηση στατιστικών μεγεθών (π.χ. διακύμανση, τιμών ιδιοσυχνότητας κ.α), που παρουσιάζουν ευαισθησία σε διαταράξεις της ομαλής λειτουργίας της κατασκευής. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται σε αριθμητικές μεθόδους και τεχνικές προσομοίωσης (π.χ. μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων), που σκοπό έχουν την προσομοίωση της απόκρισης της κατασκευής βάσει των εξισώσεων της δυναμικής (μάζα, απόσβεση και δυσκαμψία). Παρά το γεγονός ότι οι προαναφερθείσες μέθοδοι παρουσιάζουν αρκετές διαφορές και ουσιαστικά αποτελούν ξεχωριστές προσεγγίσεις, πολλές φορές επιχειρείται η συνδυασμένη εφαρμογή τους για πιο ενδελεχή μελέτη της απόκρισης της κατασκευής. Γενικώς, θα πρέπει να τονιστεί ότι η τρέχουσα πρακτική που ακολουθείται προσδίδει στη χρήση των παραπάνω μεθόδων δομικής παρακολούθησης συμπληρωματικό χαρακτήρα ως προς τη βασική περιοδική μέθοδο παρακολούθησης, η οποία συνίσταται στον οπτικό έλεγχο και την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας της κατασκευής (optical assessment and condition evaluation). Στη συγκεκριμένη λογική αντιμετώπισης του προβλήματος, σημαντικό ρόλο παίζει το γεγονός ότι παρά τη ραγδαία εξέλιξη της ΠΔΚ στις γέφυρες και την ύπαρξη μεγάλων βάσεων δεδομένων με καταγραφές που αντιστοιχούν στην ομαλή λειτουργία τους, δε συμβαίνει το ίδιο για τις καταστάσεις δομικής βλάβης. Η έλλειψη δεδομένων που αντιστοιχούν σε καταστάσεις βλάβης οφείλεται κατά κύριο λόγο, στο ότι αποφεύγεται για λόγους ασφαλείας η εκτεταμένη χρήση καταστροφικών ελέγχων των γεφυρών, οι οποίες θα μπορούσαν να προσφέρουν πλούσιο ερευνητικό υλικό.

Οι μέθοδοι αναθεώρησης μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων [2], σε γενικό επίπεδο, μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: στις μεθόδους ευαισθησίας (sensitivity) και στις άμεσες μεθόδους (direct). Η πρώτη αναφέρεται σε παραμετρικά μοντέλα της κατασκευής με σκοπό την ελαχιστοποίηση ορισμένων συναρτήσεων ποινής (penalty functions) που προσεγγίζουν το σχετικό σφάλμα μεταξύ καταγραφών και αναλυτικών αποτελεσμάτων από το μοντέλο καθώς και η επιλογή των παραμέτρων ευαισθησίας βασίζονται κυρίως στην κρίση του μηχανικού και στη φυσική/μηχανική τους σημασία. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν οι άμεσοι μέθοδοι (direct), που ουσιαστικά πραγματοποιούν μια άμεση αναθεώρηση/αλλαγή των μητρώων μάζας και δυσκαμψίας της κατασκευής με σκοπό την προσέγγιση των καταγεγραμμένων τιμών. Σε γενικό πλαίσιο, η διαδικασία που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέθοδος ευαισθησίας, όπου οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόκριση της κατασκευής σε επίπεδο ιδιοτιμών, είναι εκ των προτέρων ορισμένοι στη βιβλιογραφία και η τιμή τους προσδιορίζεται μέσω της χρήσης ενός νευρωνικού δικτύου. Η παραπάνω μέθοδος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια απλουστευμένη εναλλακτική σε σχέση με τις πιο πολύπλοκες προαναφερθείσες μεθόδους αναθεώρησης μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων [2].

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια αναθεώρηση του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων για την Γέφυρα Z24 στην Ελβετία, με σκοπό την ερμηνεία μεταβολής δυναμικών χαρακτηριστικών στην διάρκεια του έτους, λόγω θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, η άνω διάβαση Z24 (οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα) κατασκευάστηκε στην Ελβετία τη δεκαετία του 1960, με σκοπό να συνδέσει τις περιοχές Korrigen και Utzenstorf, περνώντας ουσιαστικά πάνω από την κύρια οδική αρτηρία Λοζάνης-Ζυρίχης (A1). Το έργο εκτελέστηκε από το Τμήμα Συγκοινωνιών του Καντονιού της Βέρνης, ενώ η κατεδάφισή της εκτελέστηκε το 1998, για την επέκταση σιδηροδρομικών γραμμών. Πριν την κατεδάφιση της, υπήρξε ενόργανη παρακολούθηση της κατασκευής και διενέργεια καταστροφικών ελέγχων [3,4]. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, προήλθαν από την παραπάνω δομική παρακολούθηση και πιο συγκεκριμένα είναι οι μετρημένες ιδιοσυχνότητες της κατασκευής και οι καταγραφές θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία της γέφυρας, όπως στο κατάστρωμα και στη θεμελίωση.



Σχ. 1 Αναγνωρισμένες Ιδιοσυχνότητες σε διάρκεια 9 μηνών.



Σχ. 2 Μοντέλο Πεπερασμένων Στοιχείων Της Γέφυρας Z24.

Βάσει των προαναφερθέντων, ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των δυο βασικών παραγόντων, που βάσει βιβλιογραφίας, επηρεάζουν την εποχιακή μεταβολή των τριών πρώτων ιδιοσυχνοτήτων της άνω διάβασης-γέφυρας Z24, μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Ουσιαστικά επιχειρείται η προσομοίωση της κατασκευής με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, έτσι ώστε να προσεγγιστεί η κατάσταση της γέφυρας, βάσει των καταγεγραμμένων ιδιοσυχνοτήτων, κατά την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού. Οι δύο παράγοντες που αναγνωρίστηκαν ως τα κύρια αίτια της μεταβολής των ιδιοσυχνοτήτων στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι η ακραία αύξηση του μέτρου ελαστικότητας της ασφάλτου (αναφέρεται ως “blacktop effect”) και η μεταβολή της δυσκαμψίας του εδάφους κατά τους χειμερινούς μήνες [5]. Ουσιαστικά, οι ιδιοσυχνότητες τείνουν να αυξάνονται σημαντικά σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός, γεγονός που αποδίδεται πως συνδέεται με την αύξηση της ενεργούς δυσκαμψίας της κατασκευής [6,7]. Για την αναθεώρηση του προσομοιώματος της γέφυρας (model updating), έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη στην προσομοίωση της οι παραπάνω εποχιακές μεταβολές χρησιμοποιήθηκε μεθοδολογία που στηρίζεται στη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων τα οποία έχουν αναγνωριστεί από τη διεθνή βιβλιογραφία ως κατάλληλο για την επεξεργασία δεδομένων και την πρόβλεψη πιθανών μελλοντικών καταστάσεων στα πλαίσια της δομικής παρακολούθησης [8,9]. Για την εκπαίδευση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές-στόχοι οι διαθέσιμες μετρήσεις από τη βιβλιογραφία.

Το προσομοίωμα της γέφυρας αναθεωρήθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να προσεγγίσει με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια την συμπεριφορά της κατασκευής τόσο κατά την θεωρητική «κανονική» της κατάσταση, όσο και την συμπεριφορά της κατά τους χειμερινούς μήνες, η οποία προσεγγίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές με τη χρήση μεθόδων ιδιομορφικού προσδιορισμού (modal identification). Επιπλέον, επιχειρήθηκε η συσχέτιση των ιδιοσυχνοτήτων με τη θερμοκρασία σε θέσεις

που βρίσκονται στην περιοχή της θεμελίωσης της γέφυρας αλλά και σε θέσεις στο επίπεδο του ασφαλτοστρωμένου καταστρώματος, με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] Farrar, C. R. and Worden, K. (2007). “An Introduction to Structural Health Monitoring”. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 365, pp. 303-315
- [2] Friswell M.I. (2007), “Damage Identification using inverse methods”. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 365, pp. 393-410
- [3] Brite EuRam BE96-3157-SIMCES. (1996), project programme
- [4] Kramer, C. et al. (1999). “Z24 Bridge Damage Tests”. *Proceedings of the 17th International Modal Analysis Conference (IMAC)*, Kissimee, February 1999, pp. 1023-1029
- [5] Peeters B. and De Roeck G. (2001), “One-year Monitoring of the Z24-Bridge: environmental effects versus damage events”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 30, pp. 149–171
- [6] Suleiman M., Sritharan S. and White DJ. (2006). “Cyclic lateral load response of bridge column-foundation-soil systems in freezing conditions”. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, No. 11, pp. 1745-1754
- [7] Gonzales I, Ülker-Kaustell M. and Karoumi R. (2013). “Seasonal effects on the stiffness properties of a ballasted railway bridge”, *Engineering Structures*, Vol. 57, pp. 63-72
- [8] Chang C., Chang T. and Xu Y. (2000). “Adaptive neural networks for model updating of structures”, *Smart Materials and Structures*, Vol. 9, pp. 59–68.
- [9] Hasançebi O., Dumlupınar, T. (2013), “Linear and Nonlinear Model Updating of Reinforced Concrete T-Beam Bridges Using Artificial Neural Networks”. *Computers & Structures*, Vol. 119, pp. 1-11