

Δομική Αναβάθμιση Υφιστάμενων Άνω Διαβάσεων Αιγίου

Θεόδωρος Ψυχογιός

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, M.Sc. Berkeley, tpsychod@denco.gr

Δρ. Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

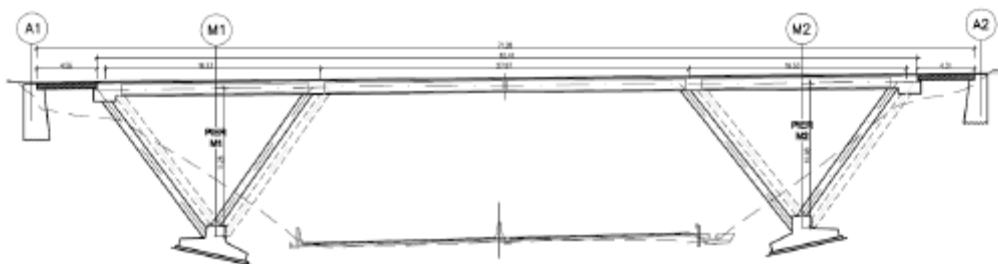
Πολιτικός Μηχανικός, Ph.D. Παν. Πάτρας, trpanagiotakos@dencomp.gr

Εισαγωγή

Οι τρεις υφιστάμενες Άνω Διαβάσεις (A297 στην Χ.Θ. 89+293.50, A296 στην Χ.Θ. 88+812.43 και A294 στην Χ.Θ. 88+083.97) της Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πατρών βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου, μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου. Η μελέτη και κατασκευή τους χρονολογούνται από το 1969 έως 1971 και αποτελούν σημαντικό τοπόσημο για την περιοχή. Η υφιστάμενη Εθνική Οδός στην περιοχή αυτή αποτελεί μέρος της χάραξης του νέου αυτοκινητόδρομου ΕΚΠΠΤ της Ολύμπιας Οδού. Συνεπώς η διατήρησή και η δομική αναβάθμισή τους εκτός από τεχνικά και οικονομικά προτιμότερη λύση σε σχέση με την λύση της καθαίρεσης και κατασκευής νέων γεφυρών σε φάση πλήρους λειτουργίας της υφιστάμενης Εθνικής Οδού ικανοποιεί επιπλέον την ανάγκη διατήρησης της δομικής κληρονομιάς της περιοχής.

Περιγραφή Υφιστάμενων Άνω Διαβάσεων

Οι άνω διαβάσεις αποτελούνται από ένα ιδιαίτερο στατικό σύστημα με στήριξη σε στύλους μορφής V. Ο κύριος φορέας καταστρώματος αποτελείται από προεντεταμένη πλάκα τριών ανοιγμάτων με κυκλικά κενά. Το συνολικό πλάτος του φορέα καταστρώματος είναι 9.65m και το πάχος της πλάκας κυμαίνεται για τις τρεις Άνω Διαβάσεις από 1.00m (A294) έως 1.12m (A297). Το κεντρικό άνοιγμα τους κυμαίνεται από 28.0m (A294) έως 34.0m (A297). Το κατάστρωμα στηρίζεται σε κάθε θέση στήριξης σε ζεύγος κεκλιμένων στύλων οι οποίοι καταλήγουν ανά τέσσερεις σε κοινή επιφανειακή θεμελίωση επί πέδινου το οποίο έχει επίσης κεκλιμένη επιφάνεια έδρασης (βλ. Σχήμα 1). Η διατομή των στύλων είναι μορφής παραλληλογράμμου με σταθερή διατομή για τους στύλους που καταλήγουν στα άκρα του καταστρώματος και μεταβλητή διατομή (μεταβλητό πλάτος κατά την εγκάρσια διεύθυνση) για τους στύλους που καταλήγουν στις στηρίξεις του κεντρικού ανοίγματος. Επιπλέον του κύριου φορέα το κατάστρωμα συμπληρώνεται σε κάθε άκρο του με δύο αμφιέριστα ανοίγματα μήκους περίπου 4.50m αποτελούμενα από συμπαγή πλάκα πάχους 0.40m εδραζόμενα στον κύριο φορέα και στο αντίστοιχο υφιστάμενο ακρόβαθρο. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται μηκοτομή της Άνω Διάβασης A297, στο Σχήμα 2 γενική άποψη της Άνω Διάβασης A296 ενώ στο Σχήμα 3 άποψη του μεσοβάθρου M2 της Άνω Διάβασης A296.



Σχ. 1 Μηκοτομή Άνω Διάβασης A297.



Σχ. 2 Γενική άποψη της Άνω Διάβασης Α296.



Σχ. 3 Άποψη μεσοβάθρου Μ1 Άνω Διάβασης Α296.

Η παραπάνω γεωμετρική διαμόρφωση των στύλων των μεσοβάθρων λειτουργεί ως σύστημα άντωσης. Στην εγκάρσια διεύθυνση οι στύλοι συνδέονται μεταξύ τους εντός της πλάκας καταστρώματος μέσω συμπαγούς διαδοκίδας.

Κατάσταση τεχνικών - Απαιτήσεις έργου

Σε γενικές γραμμές η κατάσταση των τεχνικών χαρακτηρίζεται καλή, δεδομένης και της ηλικίας τους (περίπου 45 έτη). Παρατηρήθηκαν όμως αρκετά τοπικά προβλήματα στο κατάστρωμα και τους στύλους, όπως μακροχρόνια διάβρωση οπλισμών, απόμιξη σκυροδέματος (βλ. Σχήμα 4), ελλιπής μόνωση πλάκας καταστρώματος και ελλιπής αποστράγγισή του. Όλες οι παραπάνω βλάβες είναι αποκαταστάσιμες.



Σχ. 4 Απόμιξη σκυροδέματος σε στύλο μεσοβάθρου.

Όλα τα τεχνικά που εντάσσονται στο δίκτυο του νέου αυτοκινητόδρομου οφείλουν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του έργου δηλαδή κατηγορία φορτίων κυκλοφορίας, σεισμικότητα καθώς και απαιτήσεις ανθεκτικότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας του έργου.

Τα φορτία κυκλοφορίας που εφαρμόστηκαν κατά την μελέτη των υπόψη τεχνικών ήταν κλάσης 30T ενώ οι απαιτήσεις του έργου θέτουν κλάση 60/30.

Επίσης τα τεχνικά μελετήθηκαν με σεισμικό συντελεστή που ίσχυε την περίοδο εκείνη, με τιμή δηλαδή $\varepsilon=0.08$. Η παρούσα σύμβαση του έργου προβλέπει για την εν λόγω περιοχή σεισμική επιτάχυνση εδάφους από 0.31g έως 0.36g (σεισμική ζώνη κατηγορίας II και επαύξηση λόγω εγγύτητας σε σεισμικά ρήγματα).

Το σύστημα άντωσης των τεχνικών λειτουργεί στην διαμήκη διεύθυνση επαρκώς για την ανάληψη κατακόρυφων φορτίων έχει όμως περιορισμένη ικανότητα ανάληψης οριζόντιων σεισμικών φορτίων. Επιπλέον στην εγκάρσια διεύθυνση ο μηχανισμός ανάληψης οριζόντιων σεισμικών φορτίων αποτελείται από τέσσερα πλαίσια που μορφώνονται από τα τέσσερα ζεύγη των στύλων και την αντίστοιχη διαδοκίδα στην κορυφή τους. Ο μηχανισμός αυτός σχεδιάστηκε για την ανάληψη μικρών εγκάρσιων σεισμικών φορτίων. Τα παραπάνω καθιστούν τα συγκεκριμένα τεχνικά ανεπαρκή για την ανάληψη σεισμικών φορτίων τόσο κατά την διαμήκη όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση.

Για τους παραπάνω λόγους αναζητήθηκαν τεχνικές λύσεις αφενός για την μείωση της σεισμικής δράσης που καλούνται να αναλάβουν τα υφιστάμενα τεχνικά και αφετέρου της ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητάς τους. Οι μελέτες αναβάθμισης πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2013 και 2015 από την εταιρεία Denco (Denco Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε. & Denco Στατικές Μελέτες Ι.Κ.Ε) και αποτελούν την πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε γέφυρες.

Πρόγραμμα ερευνών και δοκιμών

Για την ανάλυση της συμπεριφοράς των τεχνικών και σύμφωνα με όσα αναγράφονται στο κεφάλαιο 3 του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EN 1998-3) υλοποιήθηκε εκτενές πρόγραμμα ερευνών και δοκιμών των τεχνικών. Ως αποτελέσματα των ερευνών αποτυπώθηκε η γεωμετρία των δομικών στοιχείων, το πλήθος η θέση και η κατάσταση των οπλισμών τους και του συστήματος προέντασης. Επίσης αποτέλεσμα των δοκιμών ήταν ο προσδιορισμός της μέσης τιμής αντοχής του σκυροδέματος και του

χάλυβα οπλισμού καθώς και της έκτασης της διάβρωσης τους και της «προδιάθεσης» τους για μελλοντική επιπλέον διάβρωση.

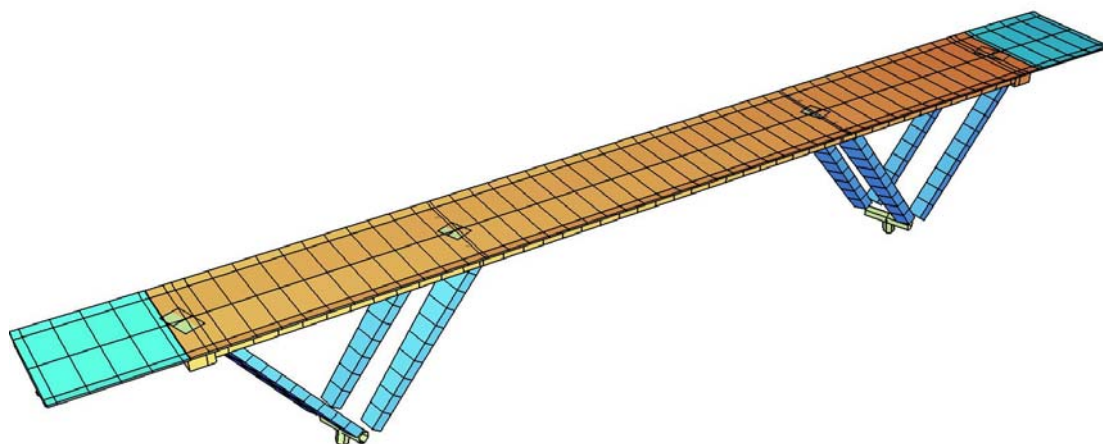
Σε ορισμένα τεχνικά (Α297 και Α294) αξιοποιήθηκε τμήμα της αρχικής στατικής μελέτης το οποίο βρέθηκε κατά την φάση συλλογής δεδομένων (σχέδια και τεύχη υπολογισμών).

Προσομοίωση – Ανάλυση – Αποτελέσματα

Η ανάλυση και ο έλεγχος του φορέα της ανωδομής των μεσοβάθρων πραγματοποιήθηκε με κατάλληλο χωρικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο αποδίδει με ικανοποιητική προσέγγιση την κατανομή των δυσκαμψιών, των μαζών και των συνθηκών στήριξης.

Ο φορέας ανωδομής (κατάστρωμα και βάθρα) της γέφυρας προσομοιώνεται με γραμμικά στοιχεία δοκού. Η στήριξη των μεσοβάθρων προσομοιώνεται με κατάλληλα αξονικά και στροφικά ελατήρια, τα οποία προσομοιώνουν την ενδοσιμότητα του εδάφους θεμελίωσης. Κατά την ανάλυση λαμβάνονται υπόψη όλα τα στάδια κατασκευής και ενίσχυσης του τεχνικού (εφαρμογή προέντασης, ανάπτυξη συστολής ξήρασης και ερπυσμού από την κατασκευή έως σήμερα, εφαρμογή επεμβάσεων και ενισχύσεων κλπ.).

Για την ανάλυση υπό στατικά φορτία χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SOFiSTiK. Το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.



Σχ. 5 Προσομοίωμα Άνω Διάβασης Α296 για την ανάλυση υπό στατικά φορτία.

Ο φορέας καταστρώματος αναλύθηκε υπό τα αυξημένα στατικά φορτία κυκλοφορίας που ορίζουν οι προδιαγραφές του έργου. Για τις Άνω Διαβάσεις Α296 και Α294 προέκυψε διατμητική ανεπάρκεια στα άκρα του κεντρικού ανοίγματος και προτάθηκαν μέτρα ενίσχυσης της διατμητικής αντοχής του.

Για την ανάλυση υπό σεισμικά φορτία χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SAP2000. Το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.



Σχ. 6 Προσομοίωμα Άνω Διάβασης A296 για την ανάλυση υπό σεισμικά φορτία.

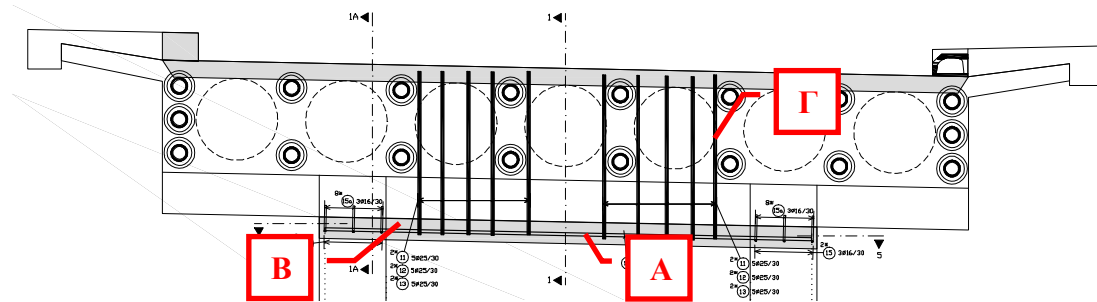
Για την αποτίμηση της υφιστάμενης και της ενισχυμένης κατάστασης του φορέα καταστρώματος υπό τα νέα σεισμικά φορτία εφαρμόζεται ο EN 1998-3. Εφαρμόζεται η μέθοδος της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 του EN 1998-3. Το φάσμα που εφαρμόζεται είναι το ελαστικό φάσμα για την περιοχή του έργου και το οποίο περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 του EN 1998-1. Η ανάλυση γίνεται με μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων.

Η εκτενής αποτύπωση και διενέργεια δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες μελέτες των υφιστάμενων τεχνικών μας επιτρέπουν την θεώρηση επιπέδου γνώσης ΕΓ3 (πλήρης γνώση) σύμφωνα με την παρ. 3.3 του EN 1998-3. Το κριτήριο συμμόρφωσης κατά τον ορισμό της παρ. 2.2 του EN 1998-3 που εφαρμόστηκε για τις μελέτες είναι Οριακή Κατάσταση Σημαντικών Βλαβών (SD) σε συνδυασμό με το ελαστικό φάσμα του ΕΑΚ. Ο συντελεστής αξιοπιστίας (CF) που εφαρμόστηκε είναι $CF_{ΕΓ3} = 1.00$.

Με εφαρμογή της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης προσδιορίζονται τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη που αντιστοιχούν στην μετακίνηση στόχο (μετακίνηση σχεδιασμού). Κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχεται για την επάρκειά της για μεν καμπτική μορφή αστοχίας σε όρους στροφών της διατομής πλαστικής άρθρωσης και για δε ψαθυρή μορφή αστοχίας σε όρους τέμνουσας δύναμης.

Από την ανάλυση των τεχνικών στην υφιστάμενη κατάστασή τους υπό σεισμικά φορτία προέκυψαν τα εξής:

- Καμπτική και διατμητική ανεπάρκεια των διαδοκίδων καταστρώματος
- Διατμητική ανεπάρκεια στην βάση των υποστυλωμάτων
- Ανεπάρκεια των υφιστάμενων αρμών να παραλάβουν τις μετακινήσεις σχεδιασμού
- Μη ικανοποίηση γεωτεχνικού ελέγχου μέγιστης επιτρεπόμενης εκκεντρότητας πέδλων θεμελίωσης
- Μη ικανοποίηση ελέγχου έναντι κινδύνου αστοχίας ολίσθησης εδάφους μορφής κύκλου του συστήματος πεδύλο-εδάφος θεμελίωσης

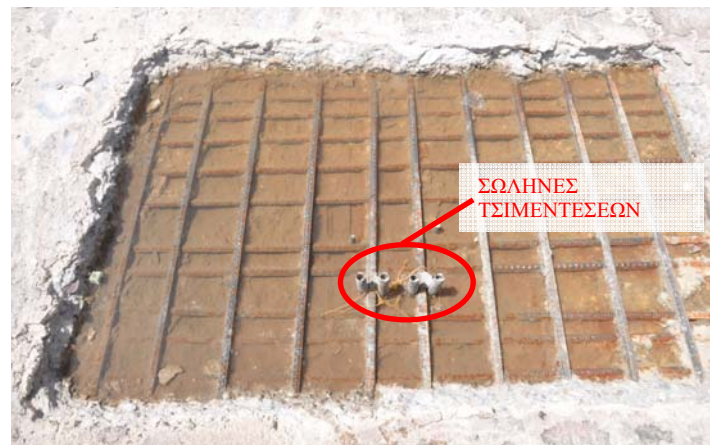


Σχ. 8 Σχέδιο με τις προτεινόμενες επεμβάσεις στην ακραία διαδοκίδα.

A: Καμπτική ενίσχυση με προσθήκη διαμήκων ράβδων οπλισμού

B: Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.20m

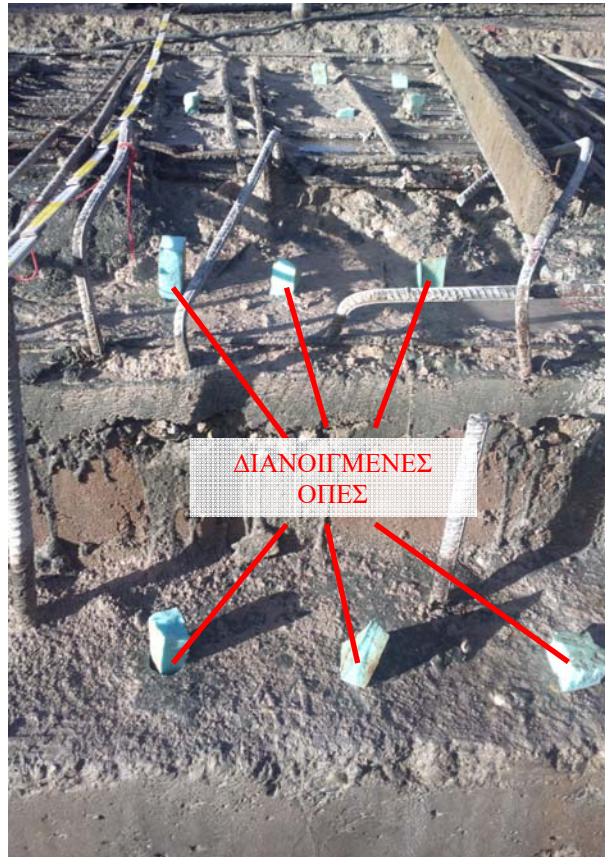
Γ: Διατμητική ενίσχυση με προσθήκη κατακόρυφων σκελών συνδετήρων



Σχ. 9 Υδροκαθαίρεση σκυροδέματος στο άνω τμήμα των διαδοκίδων.

άνω: ενδιάμεση διαδοκίδα (διακρίνονται οι σωλήνες τσιμεντενέσεων των τενόντων προέντασης),

κάτω: ακραία διαδοκίδα



Σχ. 10 Διάνοιξη κατακόρυφων οπών στις διαδοκίδες για τοποθέτηση οπλισμών ενίσχυσης της διατμητικής αντοχής τους (διακρίνεται η προστασία τους).



Σχ. 11 Όψη του εκτοξευόμενου σκυροδέμα στην βάση της διαδοκίδας (άνοψη). Διακρίνονται οι θέσεις όπου έγινε λήψη πυρήνων για τον έλεγχο αντοχής του σκυροδέματος.

Στην πλάκα καταστρώματος και στις ακραίες περιοχές του μεσαίου ανοίγματος ενισχύεται η διατμητική αντοχή της διατομής πλάκας με κενά με προσθήκη συνδετήρων με κατακόρυφα σκέλη και αγκύρωσή τους στο σκυρόδεμα με ρητίνη.

Η διατομή των στύλων των βάθρων ενισχύεται διατμητικά με τοποθέτηση δύο στρώσεων υφασμάτων οπλισμένων πολυμερών (FRP). Η ενίσχυση αφορά τμήμα της βάσης τους μέχρι ορισμένο ύψος, ενώ γίνεται επέκταση της εφαρμογής μίας στρώσης υφασμάτων σε όλο το ύψος για λόγους ανθεκτικότητας στον χρόνο.

Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει ακόμα την ενίσχυση των θεμελίων και του εδάφους θεμελίωσης. Συγκεκριμένα απαιτήθηκε ενίσχυση των πέδινων θεμελίωσης με αύξηση του πάχους των πελμάτων τους με πρόσθετο οπλισμένο σκυρόδεμα συνδεδεμένο με το υφιστάμενο σκυρόδεμα με οπλισμούς μέσω ρητίνης. Στο Σχήμα 12 φαίνονται οι εργασίες διάνοιξης και τοποθέτησης των οπλισμών σύνδεσης στην περιοχή που συντρέχει στύλος μεσοβάθρου πριν την σκυροδέτηση του πρόσθετου πάχους των πέδινων.



Σχ. 12 Προετοιμασία πέδινων για σκυροδέτηση του επιπλέον πάχους τους (τοποθέτηση οπλισμού σύνδεσης υφιστάμενου με νέο σκυρόδεμα).

Στην μελέτη αποκατάστασης προτείνονται ακόμα ορισμένες γενικές επεμβάσεις όπως κατασκευή νέας στεγάνωσης του φορέα καταστρώματος, τοποθέτηση νέων υδρορροών και καναλιού συλλογής όμβριων (βλ. Σχήμα 15), πρόβλεψη αποστράγγισης των κυκλικών κενών του φορέα καταστρώματος, αντικατάσταση των υφιστάμενων στηθαίων ασφαλείας (βλ. Σχήμα 16) με νέα στηθαία συμβατά με τις προδιαγραφές ασφαλείας του έργου, βαφή των ράβδων οπλισμού με αναστολέα διάβρωσης και εξωτερική βαφή των στοιχείων σκυροδέματος για την προστασία από μακροχρόνια διάβρωση και προστασία τμημάτων σκυροδέματος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με διπλή ασφαλτική επάλειψη.



Σχ. 15 Καθαίρεση τμήματος του υφιστάμενου πεζοδρομίου για ενσωμάτωση σε αυτό καναλιού συλλογής όμβριων.



Σχ. 16 Υφιστάμενο στηθαίο ασφαλείας (προς αντικατάσταση).

Συμπεράσματα

Οι εν λόγω τρεις Άνω Διαβάσεις στην περιοχή του Αιγίου αποτελούν σημαντικό τοπόσημο της περιοχής με ηλικία ήδη 45 έτη. Η προτεινόμενη λύση διατήρησης και ενίσχυσης τους αποτελεί όμως

και για τεχνικοοικονομικούς λόγους συγκριτικά πλεονεκτικότερη λύση από την λύση της καθαίρεσης τους αφού αποφεύγεται η χρονοβόρα και επισφαλής για τους χρήστες της εν λειτουργία Εθνικής Οδού διαδικασία καθαίρεσής τους και κατασκευής νέων τεχνικών. Επιπλέον όμως αποτελεί πρόκληση η εφαρμογή για πρώτη φορά στην Ελλάδα μιας ολοκληρωμένης λύσης ενίσχυσης με εφαρμογή σε γέφυρες των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. η οποία μπορεί να υλοποιηθεί κατά κύριο λόγο από το εγχώριο δυναμικό. Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει μια ποικιλία επεμβάσεων και ενισχύσεων τόσο σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος όσο και στο έδαφος, με κατασκευή νέων δομικών στοιχείων, όπως τα ακρόβαθρα και οι πασσαλότοιχοι, καθώς και με ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων με πρόσθετους οπλισμούς και με σύνθετα υλικά

Συντελεστές Έργου – Ευχαριστίες

Η στατική μελέτη του έργου εκπονήθηκε από την μελετητική εταιρεία DENCO (DENCO Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε. & DENCO Στατικές Μελέτες Ι.Κ.Ε.). Ο έλεγχος της μελέτης έγινε από τον Ανεξάρτητο Μηχανικό του Έργου SETEC TPI/SALFO SA (κ.κ. Α. Κοντιζάς, Ι. Πολυζωγόπουλος, Ο. Φιλίππα, Ν. Κοκολιός, V. Meyer). Η κατασκευή του έργου εκτελείται από την ΑΚΤΩΡ Α.Ε υπό τη διεύθυνση του κ. Α. Τσάκαλη. Από την πλευρά των συγγραφέων του άρθρου εκφράζονται οι θερμότερες ευχαριστίες προς όλους τους συντελεστές του έργου.

Βιβλιογραφία

- CEN (2004), “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General Rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)”, Brussels.
- CEN (2009), “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 2: Bridges (EN 1998-2:2005+A1)”, Brussels.
- CEN (2005), “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (EN 1998-3)”, Brussels.