

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΜΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Αθανάσιος Ι. Καραμπίνης

Καθηγητής Δ.Π.Θ., ak@duth.gr

Αργύρης Ι. Πλέσιας

Πολιτικός μηχανικός MSc, ceo_ap@evergos.gr

Κωνσταντίνος Γ. Πετρονικολός

Πολιτικός μηχανικός MSc, br_kp@evergos.gr

Στυλιανή Χ. Βαβάτση

Πολιτικός μηχανικός MSc, oik_sv@evergos.gr

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επί της Ε.Ο. 85, μεταξύ των οικισμών Κυπρίνου και Κομάρων του νομού Έβρου, υφίσταται γεφύρωση για την διέλευση του ποταμού Άρδα. Κατά την διάρκεια πλημμυρικού συμβάντος (2007) και των υδραυλικών παροχών που προέκυψαν εξ αυτού, παρουσιάστηκε αστοχία λόγω υποσκαφής του βορείου ακροβάθρου προς Κόμαρα. Συνέπεια τούτου λήφθηκε η απόφαση διακοπής της κυκλοφορίας επί της γέφυρας, αποκόπτοντας την πρόσβαση πολλών οικισμών. Εναλλακτικές παρακαμπτήριες λύσεις κυκλοφορίας παρουσίαζαν προβλήματα, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες.

Στα πλαίσια της αναγκαιότητας αποκατάστασης της αστοχίας, αναζητήθηκαν λύσεις οι οποίες να είναι υλοποιήσιμες, με χαμηλό προϋπολογισμό, ώστε να είναι εφικτή η άμεση επαναλειτουργία του οδικού δικτύου. Αντιμετωπίστηκε η λύση του συνολικού προβλήματος με την προσωρινή υποστήριξη της ανωδομής, την άμεση αποκατάσταση της κυκλοφορίας και την ανακατασκευή ακροβάθρου.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη του ρόλου του μηχανικού σε απαιτήσεις εξεύρεσης άμεσων και αποδεκτών, τόσο σε τεχνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο, λύσεων σε περιπτώσεις εκτάκτων συνθηκών και αστοχιών που αφορούν έργα υποδομής και εξυπηρέτησης του κοινωνικού συνόλου. Παράλληλα διατυπώνονται προτάσεις για την συνολική ασφάλεια των κατασκευών.

2. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΦΥΡΩΣΗΣ

Ο οικισμός των Κομάρων Έβρου και η ευρύτερη περιοχή του Τριγώνου Έβρου βρίσκεται στο βορειότερο άκρο της χώρας, στο επονομαζόμενο «τριοιθνή» μεταξύ Ελλάδας, Βουλγαρίας και Τουρκίας. Ο ποταμός Άρδας αποτελεί το νότιο φυσικό σύνορο της συγκεκριμένης περιοχής με τον υπόλοιπο νομό. Αποτελεί παραπόταμο του Έβρου με μήκος 290χλμ από τα οποία τα 241χλμ βρίσκονται εντός της Βουλγαρίας και τα υπόλοιπα 49χλμ στην Ελλάδα. Παρουσιάζει δε συχνά πλημμυρικά φαινόμενα που επιτείνονται από την διαχείριση των υδάτων του από το φράγμα του Ιβαΐλοφγκραντ, στα σύνορα με την Βουλγαρία. Η διάβασή του αποτελούσε καίριο ζήτημα ζωτικής σημασίας διαχρονικά. Πριν την κατασκευή γεφυρών η επικοινωνία με την απέναντι όχθη διεξάγονταν είτε με βάρκες είτε αργότερα με τον σιδηρόδρομο μέσω Τουρκίας. Αποτελούσε δε αυτό ανασταλτικό παράγοντα, εκτός των άλλων και στην συνέχιση της σχολικής εκπαίδευσης της νεολαίας, μια και γυμνάσιο λειτουργούσε μόνο στην απέναντι περιοχή.

Η οριστική αποκατάσταση της τοπικής συγκοινωνίας υλοποιήθηκε την δεκαετία του 1960 με την κατασκευή αρχικά της συγκεκριμένης γέφυρας Κομάρων, η οποία δόθηκε στην κυκλοφορία το 1965 και αργότερα, στο τέλος της συγκεκριμένης δεκαετίας, του φράγματος Άρδα και της

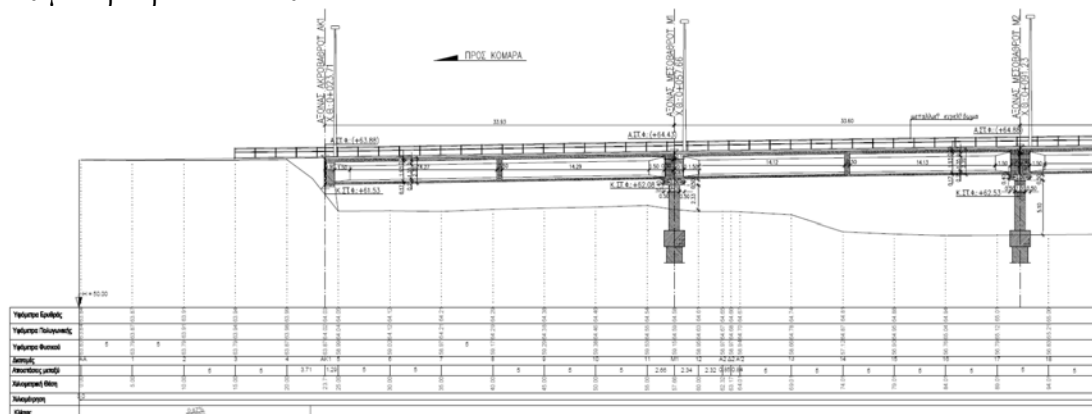
υπερκείμενης γεφύρωσης ανάμεσα στα χωριά Μηλέα και Θεραπειό 8 χλμ δυτικά. Το 1996 κατασκευάστηκε ιρλανδική διάβαση στον οικισμό Έλαια, 10 χλμ ανατολικά των Κομμάρων.

Η κατασκευή των γεφυρώσεων αυτών σε συνδυασμό και με την γέφυρα στις Καστανιές στα ανατολικά σηματοδότησε την άρση της απομόνωσης της περιοχής του Τριγώνου από τον υπόλοιπο νομό.



Φωτογραφία 1: Η γέφυρα Άρδα μεταξύ των οικισμών Κυπρίνου και Κομάρων Έβρου.

Η γεφύρωση του ποταμού Άρδα στα Κόμαρα υλοποιείται με τεχνικό 11 αμφίεριστων ανοιγμάτων, συνολικού μήκους $L=369.79\mu$. Κάθε άνοιγμα έχει θεωρητικό μήκος 32.50μ και μορφώνεται από πέντε προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς και έγχυτη πλάκα σκυροδέματος επί προπλακών. Η συνολική ανωδομή εδράζεται σε δύο ακρόβαθρα ΑΚ1 (βόρειο) και ΑΚ2 (νότιο) και σε 10 μεσόβαθρα Μ1÷Μ10.



Σχέδιο 1: Τμήμα μηκοτομής – Ακρόβαθρο ΑΚ1 προς Κόμαρα και Μεσόβαθρα Μ1 και Μ2.

Το ύψος των προκατασκευασμένων δοκών είναι 2.10μ . Με την πλάκα καταστρώματος το συνολικό ύψος του φορέα ανέρχεται στα 2.35μ . Η πλάκα καταστρώματος είναι έγχυτη ενώ, για την χύτευση της χρησιμοποιήθηκαν ως ξυλότυποι πρόπλακες σκυροδέματος. Οι πρόπλακες φέρουν και τον κύριο οπλισμό των πλακών της ανωδομής.

Οι ακραίες δοκοί διατάσσονται ασύμμετρα κατά την εγκάρσια έννοια, για αισθητικούς λόγους όπως εκτιμάται, δημιουργώντας συνεχείς μονόπλευρες τάσεις. Χαρακτηριστικό της διατομής των

κυρίων φορέων είναι το μικρό πλάτος του κορμού των δοκών ($\approx 12\text{εκ}$). Κατά την εγκάρσια έννοια υπάρχουν τρεις ισχυρές εγκάρσιες δοκοί στα βάθρα και στο μέσον του ανοίγματος.

Τα βάθρα είναι τοιχωματικά τόσο για τα μεσοβάθρα ($M1 \div M10$), όσο και για τα ακρόβαθρα και είναι διατεταγμένα παράλληλα στην ροή του ποταμού.

Η έδραση των μεσοβάθρων γίνεται σε κεφαλόδεσμο ύψους της τάξεως των 2.00μ ο οποίος φέρεται από σύστημα βαθειάς θεμελίωσης. Το σύστημα της βαθειάς θεμελίωσης αποτελείται από δύο κυκλικά φρέατα βάθους περί τα 15.00÷20.00μ κάτωθεν των οποίων εκτιμάται ότι υπάρχουν πάσσαλοι. Δυστυχώς δεν κατέστη δυνατόν να εντοπισθούν τα σχέδια κατασκευής του έργου και οι ανωτέρω παρουσιαζόμενες μορφές θεμελίωσης αποτελούν εικασίες που εδράζονται σε μαρτυρίες ανθρώπων, οι οποίοι εργάστηκαν στην κατασκευή του έργου με μειωμένη αξιοπιστία όσον αφορά σε τεχνικές λεπτομέρειες.

Η ανωτέρω μορφή θεμελίωσης δεν επιβεβαιώθηκε για το ακρόβαθρο ΑΚ1 (βόρειο ακρόβαθρο), για το οποίο εκάζεται ότι είναι θεμελιωμένο με επιφανειακή θεμελίωση, γεγονός που επέφερε πλείστα όσα προβλήματα. Το ακρόβαθρο ΑΚ2 (νότιο βάθρο) είναι θεμελιωμένο με σύστημα βαθειάς θεμελίωσης όπως προέκυψε από αποκάλυψη του κορμού του με εκσκαφή βάθους περί τα 3.00μ και προσομοιάζει προς το σύστημα θεμελίωσης των μεσοβάθρων.

3. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΤΟΥ 2007

Τον Νοέμβριο του 2007 η στάθμη του Άρδα ανέβηκε επικίνδυνα. Η γέφυρα Κομάρων ήδη σε λειτουργία για σαράντα χρόνια χωρίς μέτρα συντήρησης, δέχθηκε μεγάλους όγκους ορμητικών νερών του ποταμού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις στις παρόχθιες περιοχές και τις ανεξέλεγκτες αμμοληψίες, ιδιαίτερα στα κατάντη, οδήγησε στην εκτροπή και διοχέτευση μεγάλου τμήματος της ροής στο πρώτο φάτνωμα μεταξύ του ακροβάθρου ΑΚ1 και μεσοβάθρου Μ1.



Φωτογραφία 2: Νοέμβριος 2007, υποσκαφή κοίτης στο 1^ο φάτνωμα.

Η εκτροπή είχε ως συνέπεια την υποσκαφή στο συγκεκριμένο τμήμα η οποία έφθασε τα 3.00μ κάτω της γραμμής ροής των λοιπών φατνωμάτων που είχαν προστασία κοιτόστρωσης, με αποτέλεσμα ο κεφαλόδεσμος του μεσοβάθρου Μ1 καθώς και τμήμα περί το 1.00μ κάτωθεν αυτού να αποκαλυφθεί. Ομοίως αποκαλύφθηκε σχεδόν το συνολικό ύψος του ακροβάθρου ΑΚ1. Παράλληλα παρουσιάστηκε στροφή του 1^{ου} φατνώματος κατά την οριζόντια έννοια, με παράλληλα εμφανή σημάδια μετατόπισης κατά τη φορά της ροής του ακροβάθρου ΑΚ1 προς Κόμαρα και καθίζηση του καταστρώματος της οδού προς την πλευρά της πλάκας πρόσβασης, πίσω από το συγκεκριμένο ακρόβαθρο. Οι τεχνικές υπηρεσίες της περιφέρειας Α.Μ.Θ οι οποίες, ως κύριος του έργου, βρέθηκαν επί τόπου από την πρώτη στιγμή, ανέθεσαν στην ομάδα μελέτης την διενέργεια πραγματογνωμοσύνης και την ταχεία εκτίμηση της διαμορφωμένης κατάστασης. Τα κρίσιμα ζητήματα εκείνη την χρονική στιγμή ήταν η διαφύλαξη αυτού του σημαντικού για την περιοχή τεχνικού και το κατά πόσο ήταν ασφαλής η διέλευση των οχημάτων και των κατοίκων της περιοχής.

4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

4.1 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

Από τις αυτοψίες που οργανώθηκαν και πραγματοποιήθηκαν άμεσα στο τεχνικό και από δεδομένα που αναζητήθηκαν, προέκυψαν ευρήματα για την παθολογία του έργου τα οποία, συνοπτικά, ήταν τα ακόλουθα:

- Αποκάλυψη σχεδόν του συνολικού ύψους του ακροβάθρου ΑΚ1, χωρίς να εντοπισθούν ίχνη βαθειάς θεμελίωσης. Από μακροσκοπική παρατήρηση θεωρήθηκε ότι αποκαλύφθηκε το άνω τμήμα του “φτερού” του πεδίου του ΑΚ1 (κατά την εφαρμογή των επεμβάσεων επαληθεύτηκε).
- Ολίσθηση του ακροβάθρου προς τα κατάντη περί τα 10εκ. μετά την στροφή της ανωδομής.
- Στροφή της ανωδομής του 1ου φατώματος, όπως προέκυψε από το άνοιγμα των αρμών στο Μ1 (ανάντη και κατάντη), πλάτος δεξιά 9εκ. και αριστερά 2εκ..
- Μετακίνηση κεφαλής και πόδα ακροβάθρου προς το Μ1.
- Λειτουργία κορμού ακροβάθρου υπό οριζόντιες ωθήσεις και διάνοιξη αρμού εργασίας.
- Διάβρωση και αποκοπή οπλισμών ακροβάθρου ΑΚ1 έσω παρειάς.

Πέραν του βασικού προβλήματος για το υπόψη τεχνικό από τις αυτοψίες που έγιναν καταγράφηκαν και άλλα προβλήματα όπως :

- Διαβρώσεις οπλισμών σε δομικά στοιχεία (πρόπλακες, κεφαλόδεσμοι κλπ) σε θέσεις υψηλής υγρασίας λόγω απουσίας σωλήνων αποχέτευσης ή/και ως αποτέλεσμα της σαραντάχρονης και πλέον λειτουργίας του έργου χωρίς να λαμβάνονται μέτρα συντήρησης.
- Αστοχίες και μετατοπίσεις εφεδράνων ως αποτέλεσμα της παντελούς απουσίας συντήρησης. Θεωρήθηκε δεδομένο ότι τα εφεδράνα έχουν εξαντλήσει το προβλεπόμενο όριο ζωής υλικού, θεώρηση που επαληθεύτηκε.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Για την εξεταζόμενη αστοχία του ακροβάθρου ο “μηχανισμός” δημιουργίας της πιστεύεται ότι ήταν ο ακόλουθος :

- Ο αρμός εργασίας στον πόδα του κορμού ακροβάθρου ΑΚ1, δεν έτυχε επιμελούς επεξεργασίας κατά την κατασκευή με αποτέλεσμα με την πάροδο του χρόνου να διαβρωθεί πλήρως ο κατακόρυφος οπλισμός και ενδεχομένως να αποκοπεί.
- Με την υποσκαφή που προκλήθηκε κατά το πλημμυρικό συμβάν, ο κορμός του ακροβάθρου λειτούργησε ως πλάκα που έφερε οριζόντια εδαφικά φορτία, στηριζόμενος στην κεφαλή του επί του φορέα και στη βάση του επί του θεμελίου.
- Η έλλειψη ισχυρού οπλισμού είτε λόγω της αποκοπής είτε λόγω του υπάρχοντος μικρού ποσοστού οπλισμού στην έσω παρειά, οδήγησε στην ρηγματοειδή διάνοιξη του αρμού στην έσω παρειά, ενώ πιστεύεται ότι η έξω παρειά στηρίζονταν επισφαλώς στην έξω ακμή του στοιχείου θεμελίωσης. Η ευστάθεια του συστήματος στην φάση αστοχίας εκτιμάται ότι εξασφαλιζόταν με την λειτουργία ως βλήτρου του κύριου έξω οπλισμού.
- Η πίεση της ροής επίσης οδήγησε στην μετατόπιση του ακροβάθρου ΑΚ1 προς τα κατάντη, συμπαρασύροντας και την ανωδομή ΑΚ1-Μ1 μέχρις ότου αυτή να αντισταθεί στην θέση του αρμού επί του Μ1.
- Η λειτουργία βλήτρου κατά δύο διευθύνσεις του κύριου κατακόρυφου οπλισμού του ακροβάθρου πιστεύεται ότι είχε επιταθεί και θεωρείται ότι ο εν λόγω οπλισμός είχε υποστεί σημαντικές παραμορφώσεις στην φάση αστοχίας που τον καθιστούσαν αναποτελεσματικό και επισφαλή.

Ενδεχόμενη προϋπάρχουσα υγρασία ή ροή υδάτων πίσω από το ακρόβαθρο, εξαιτίας διαρροής της υφιστάμενης αρδευτικής διώρυγας στα ανάντη του, χωρίς να αποκλείεται ότι επέδρασε, δεν θεωρείται ότι έπαιξε τον ρόλο του πρωτογενούς αίτιου της αστοχίας.

Σε κάθε περίπτωση θεωρείται ότι σημαντικές αστοχίες όπως η εξεταζόμενη, δεν αποδίδονται σε έναν και μοναδικό παράγοντα, αλλά αντιθέτως είναι απότοκες πολλών και διαφορετικών αιτιών, ορισμένα εκ των οποίων περιγράφηκαν παραπάνω. Η ύπαρξη αμφιφερίστων φορέων ανωδομής θεωρείται εντυχής σύμπτωση, διότι οι υποχωρήσεις στηρίξεων και καταναγκασμοί που εντοπίστηκαν σε πολλαπλές διευθύνσεις, θα είχαν καταστροφικά αποτελέσματα σε περίπτωση συνεχούς φορέα.



Φωτογραφία 3: Παθολογία τεχνικού. Από αριστερά προς τα δεξιά, α) διάνοιξη αρμού ακροβάθρου, β) μετατόπιση σώματος ακροβάθρου, γ) στροφή ανωδομής στον αρμό μεσοβάθρου.

4.3 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

Η προσέγγιση αντιμετώπισης των αστοχιών έγινε με γνώμονα τον διαχωρισμό των απαιτούμενων δράσεων σε φάσεις προτεραιότητας. Η διατύπωση προτάσεων αποκατάστασης έλαβε υπόψη την υπάρχουσα κατάσταση, τα περιορισμένα χρονικά πλαίσια και το επείγον του ζητήματος, καθώς και την ασάφεια πολλών σημείων του υφιστάμενου φέροντα οργανισμού. Σχέδια της γέφυρας και λοιπά στοιχεία μελέτης δεν ανευρέθησαν. Η καθαίρεση της ανωδομής και η αντικατάσταση της δεν προτάθηκε κυρίως λόγω της καλής υφιστάμενης κατάστασης και για λόγους χρονικής οικονομίας, καθώς πρόκειται για εργασία της τάξεως τουλάχιστον των 5 μηνών (απαιτήσεις προεντάσεως κλπ).

Έτσι αποφασίσθηκε η διακριτοποίηση των επεμβάσεων στις παρακάτω φάσεις:

Σε πρώτη φάση λήψη μέτρων στερέωσης της υφιστάμενης κατάστασης με στόχο την εκπόνηση μελέτης αποκατάστασης ή αναβάθμισης της φέρουσας ικανότητας της γεφύρωσης.

Σε δεύτερη φάση λήψη μέτρων προσωρινής αποκατάστασης κυκλοφορίας έως την ολοκλήρωση των απαιτούμενων επεμβάσεων αποκατάστασης.

Σε τρίτη φάση ενέργειες αποκατάστασης ακροβάθρου και οριστικής παράδοσης του τεχνικού στην κυκλοφορία. Με βάση τις παρατηρήσεις εκτιμήθηκε ότι το υφιστάμενο ακρόβαθρο έπρεπε να αντικατασταθεί καθώς δεν ήταν γνωστή η μορφή θεμελίωσης και οι γεωμετρικές διαστάσεις ενώ ταυτόχρονα υπήρχαν έντονες επιφυλάξεις και ως προς την κατάσταση του κύριου οπλισμού του.

Βασική παραδοχή που λήφθηκε υπόψη για τον σχεδιασμό των επεμβάσεων ήταν η αποκατάσταση της αρχικής φέρουσας ικανότητας του συστήματος και όχι η αναβάθμιση αυτής. Η παραδοχή αυτή έγινε διότι η επέμβαση αφορούσε μικρό τμήμα της κατασκευής. Διερεύνηση συνολικής αναβάθμισης πραγματοποιήθηκε από τους μελετητές αλλά δεν κρίθηκε ότι είναι υλοποιήσιμη κατά τη φάση λειτουργίας της κατασκευής. Στα πλαίσια αυτά, ο σχεδιασμός τόσο του συστήματος στήριξης, όσο και της αντικατάστασης του ακροβάθρου, υλοποιήθηκε με χρήση των κανονισμών που ίσχυαν κατά την περίοδο κατασκευής του έργου είτε με νεώτερες εκδόσεις των γερμανικών κανονισμών και με βάση αυτούς αντιμετωπίστηκαν μόνο τα επηρεαζόμενα δομικά υποσυστήματα και όχι το σύνολο της κατασκευής.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτάθηκε η εκπόνηση των εξής επιμέρους μελετών:

- α) Τοπογραφική αποτύπωση περιοχής ακροβάθρου ΑΚ1- μεσοβάθρου Μ1.
- β) Αποτύπωση υφιστάμενου Φέροντα Οργανισμού.
- γ) Υδραυλική μελέτη ελέγχου υφιστάμενης κατάστασης και αντιμετώπισης πλημμυρικών ροών.
- δ) Γεωτεχνική έρευνα και αξιολόγηση εδάφους θεμελίωσης βάθρου και προσωρινής υποστήριξης.
- ε) Μελέτη μηχανισμού προσωρινής υποστήριξης του φατώματος ΑΚ1-Μ1.
- στ) Μελέτη αντικατάστασης ακροβάθρου ΑΚ1 και μελέτη αντικατάστασης εφεδράνων.

5. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ.

Όπως προαναφέρθηκε για την υπόψη γεφύρωση δεν ανευρέθησαν στοιχεία μελέτης και κατασκευής. Για την γεωμετρική αποτύπωση χρησιμοποιήθηκαν συνήθη όργανα τοπογραφικής αποτύπωσης υψηλής ακρίβειας (γεωδαιτικός σταθμός κλπ.). Μετρήθηκαν τα μήκη των φατνωμάτων της ανωδομής, τα πλάτη των αρμών, τα πάχη / πλάτη των βάθρων, καθώς και αναλυτικά στοιχεία της ανωδομής (πλάτη και μορφολογία κυρίων και εγκαρσίων δοκών κλπ.). Προϊόν των μετρήσεων αποτέλεσαν τα σχέδια αποτύπωσης.

Για την αποτύπωση της θεμελίωσης έγιναν εκσκαφές με εκσκαφέα στενού κάδου στο ακρόβαθρο ΑΚ2 προς Κυπρίνο, το οποίο διαπιστώθηκε ότι έχει την ίδια μορφολογία θεμελίωσης όπως και τα μεσόβαθρα (κεφαλόδεσμος με δύο φρεατοπασσάλους). Για τα μεσόβαθρα, καθώς και το βόρειο ακρόβαθρο προς Κόμαρα, η υποσκαφή στο πρώτο φάτνωμα ήταν αρκετή ώστε να εμφανιστούν στοιχεία της θεμελίωσης.

Η φύση της αστοχίας του έργου, όπως επισημάνθηκε, οφείλονταν σε εξωγενείς μετακινήσεις των εδράσεων και δεν συνδέονταν με αστοχία υλικών. Δεν κρίθηκε σκόπιμη η ενδεδειγμένη αποτύπωση των υλικών κατασκευής του έργου (σκυρόδεμα και χάλυβας) διότι δεν παρατηρήθηκαν αστοχίες κύριων φορέων (πχ ρηγματώσεις) που αφορούσαν τα υλικά κατασκευής του σε καμία θέση. Ωστόσο πραγματοποιήθηκαν πλήρεις σειρές μη καταστροφικών ελέγχων σκυροδέματος σε διάφορες θέσεις των στοιχείων του τεχνικού. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν ομάδες κρουσιμετρήσεων σε συνδυασμό με εξολκεύσεις ήλου οι οποίες και επιβεβαίωσαν την πολύ καλή κατάσταση του σκυροδέματος του έργου από άποψη αντοχών. Από τις μετρήσεις προέκυψε κατηγορία σκυροδέματος φορέα ανωδομής και υποδομής Β300. Επίσης από δειγματοληπτικό έλεγχο δοκιμίων χάλυβα χαλαρού οπλισμού προέκυψε κατηγορία StI και StIII. Δοκίμια χάλυβα προέντασης δεν κρίθηκε απαραίτητο να ληφθούν, με βάση και το προηγούμενο σκεπτικό της πολύς καλής κατάστασης των δοκών ανωδομής.

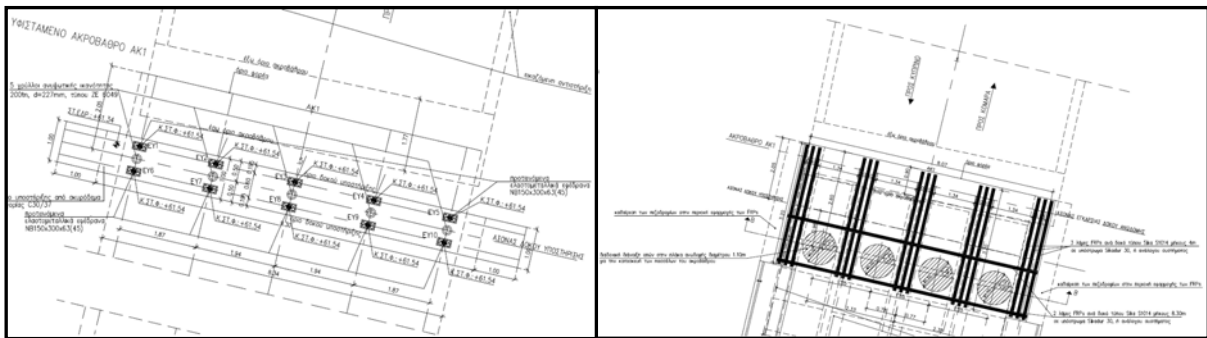
6. ΛΗΨΗ ΑΜΕΣΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος που προέκυψε με το υφιστάμενο ακρόβαθρο ΑΚ1 και σύμφωνα με τις προτάσεις που διατυπώθηκαν, υποστυλώθηκε το πρώτο άνοιγμα της γέφυρας προς το ακρόβαθρο ΑΚ1 μέσω πυκνών κριωμάτων βαρέως τύπου. Προηγουμένως έγιναν εκτεταμένες επιχωματώσεις με διάστρωση και συμπίκνωση σε επάλληλες στρώσεις. Μετά την ισοπέδωση της τελικής στάθμης επίχωσης τοποθετήθηκαν ξύλινοι στρωτήρες διανομής και επί αυτών τοποθετήθηκαν τα κριώματα. Τα πρηνή ανάντη προστατεύτηκαν με συρματοκιβώτια ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε επανεκτροπή της κοίτης του ποταμού, ενώ τοποθετήθηκε και φραγμός αργίλου για τις χαμηλές ροές.



Φωτογραφία 4: Υποστύλωση προβληματικού φατνώματος.

Η διαδικασία των εργασιών που προτάθηκε, από την οποία προέκυψε και η τελική διαστασιολόγηση του πλαισίου, περιελάμβανε την κατασκευή αρχικά δύο ομάδων τριών φρεατοπασσάλων Φ80 εκατέρωθεν του φορέα. Στη συνέχεια, σκυροδέτηση του πλαισίου και ακριβή έλεγχο επιτόπου των υψόμετρων του σε σχέση με την κάτω παρειά της ανωδομής. Ακολούθως, την αποξήλωση των ασφαλικών και των σκυροδεμάτων κλίσεως στο πρώτο φάτνωμα της γέφυρας με σκοπό την αποφόρτισή του, με ιδιαίτερη επιμέλεια ώστε να μην θιγεί παράλληλα η πλάκα της ανωδομής. Καθαίρεση τμήματος των πεζοδρομίων εκατέρωθεν, από τον αρμό της γέφυρας στο ακρόβαθρο ΑΚ1, έως μία ζώνη μετά την περιοχή του άξονα προσωρινής στήριξης, με διατήρηση των οπλισμών τους, ώστε να είναι εφικτή η ανακατασκευή τους μετά το πέρας των εργασιών. Συγκόλληση λαμών FRPs στην άνω επιφάνεια της πλάκας καταστρώματος στο άνω πέλμα των δοκών, οι οποίες διαστασιολογήθηκαν μέσω του ισοδύναμου εμβαδού απαιτούμενου οπλισμού άνω για την παροδική λειτουργία των δοκών ως μονοπροέχουσες (τμήμα προβόλου).



Σχέδιο 4: α) διάταξη γρύλλων ανύψωσης και προσωρινών εφεδράνων στο πλαίσιο υποστήριξης, β) επικόλληση λαμών FRPs στην άνω επιφάνεια της πλάκας ανωδομής.

Όσον αφορά την διαδικασία για την ανασήκωση της γέφυρας, μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος του πλαισίου υποστήριξης, αυτή περιελάμβανε σε πρώτη φάση την κατασκευή κριωμάτων εργασίας στο μεσόβαθρο Μ1, λεπτομερή αποτύπωση υψομέτρων στις θέσεις έδρασης της ανωδομής και διασφάλιση του απαιτούμενου ελεύθερου κατασκευαστικού διακένου. Αντίστοιχα κριώματα εργασίας προβλέπονταν στο πλαίσιο υποστήριξης. Μετά την τελική αποτύπωση υψομέτρων στις θέσεις έδρασης της ανωδομής, τοποθέτηση των απαιτούμενων γρύλλων ανύψωσης. Από την πλευρά του μεσοβάθρου προβλέφθηκαν 2 γρύλλοι σε κάθε τμήμα διαδοκίδας και από την πλευρά του πλαισίου ένας γρύλλος κεντρικά στην δοκό ανύψωσης, κάτω από κάθε κύρια δοκό. Στο μεσόβαθρο προδιαγράφηκαν γρύλλοι ανυψωτικής ικανότητας 125t και στην πλευρά του πλαισίου υποστήριξης 200t. Για την έδραση των γρύλλων και τον έλεγχο του απαιτούμενου κατασκευαστικού διακένου προβλέφθηκε η χρήση λαμών κατάλληλου ύψους.

Ακολούθως η μεθοδολογία προδιέγραφε την ταυτόχρονη ανύψωση του φορέα έως ύψους $h_{\max} = T_{\text{tot}} + 150\text{χιλ}$, όπου T_{tot} το συνολικό ύψος των νέων εφεδράνων. Η όλη διαδικασία απαιτούσε τον έλεγχο και την τήρηση των προδιαγραφών του προμηθευτή των γρύλλων, την ιδιαίτερη μέριμνα και συνεχή μέτρηση υψομέτρων ώστε η ανασήκωση του φορέα να γίνει ομοιόμορφα και να εξαλείφονται οι αναμενόμενες διαφοροποιήσεις στα βέλη κάμψης κατά μήκος της δοκού έδρασης στο πλαίσιο. Επόμενο βήμα, μετά την ολοκλήρωση της ανασήκωσης, ήταν η καθαίρεση των υφισταμένων εφεδράνων στην περιοχή του μεσοβάθρου καθώς και της υπόβασής τους και η προετοιμασία της νέας υπόβασης με χρήση ισχυρής τσιμεντοκονίας. Τοποθέτηση των νέων εφεδράνων τύπου 5 στο μεσόβαθρο Μ1 μετά την σκλήρυνση της υπόβασης και τοποθέτηση προσωρινών εφεδράνων στην κεφαλοδοκό του πλαισίου εκατέρωθεν των γρύλλων και κατά την διαμήκη έννοια των κυρίων δοκών (δύο εφεδράνα ανά γρύλλο υποστήριξης).

Ακολούθως προβλέπονταν η επαναφορά του φατώματος, η έδραση στις προσωρινές στηρίξεις στο πλαίσιο υποστήριξης και στα νέα εφεδράνα του μεσοβάθρου Μ1 και η εκ νέου αποτύπωση και καταγραφή υψομέτρων. Οι αποφορτισμένοι γρύλλοι προτάθηκε να μην απομακρυνθούν για λόγους ασφαλείας.

Επειδή η όλη διαδικασία των εργασιών εκτιμήθηκε ότι θα έχει χρονική διάρκεια πέραν του ενός μηνός, για την αποφυγή τραυματισμών και οποιασδήποτε δυσλειτουργίας του εξοπλισμού ανύψωσης, απαιτούνταν η κάλυψη του εξοπλισμού (γρύλλοι, εδράσεις, αντλίες, διανομείς πίεσης κλπ) ώστε να προστατευθεί από σκόνη, υγρασία και λοιπές ακαθαρσίες.

Μετά την ολοκλήρωση έδρασης του φατνώματος της ανωδομής στο πλαίσιο υποστήριξης, επόμενο βήμα αποτελούσε η καθαίρεση του υφισταμένου ακροβάθρου ΑΚ1 με μεγάλη προσοχή και η διαμόρφωση του εδάφους στις επιθυμητές στάθμες.

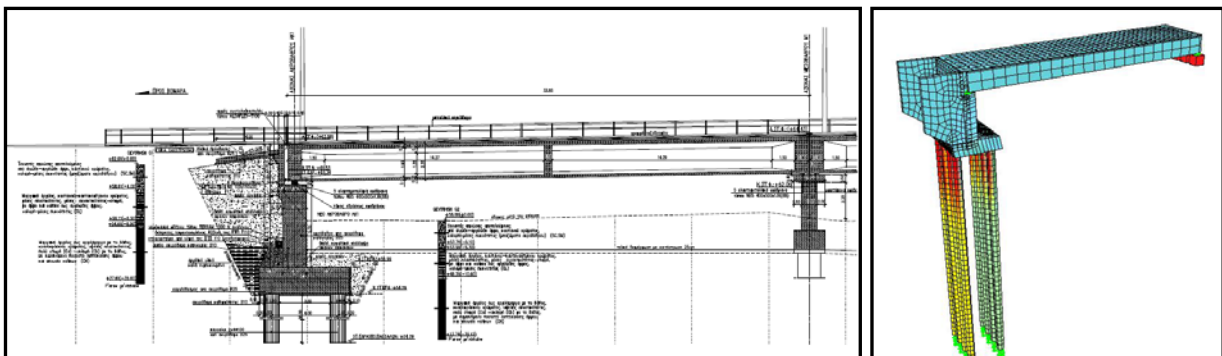
Επιλέχθηκε η κατασκευή βαθειάς θεμελίωσης για το νέο ακρόβαθρο, κυρίως για λόγους προστασίας του έναντι υποσκαφής. Η κατασκευή του νέου ακροβάθρου απαιτούσε αρχικά την διενέργεια διαδοχικών διατρήσεων της άνω πλάκας της ανωδομής στις προβλεπόμενες θέσεις, ώστε να διευκολυνθεί μέσω αυτών η κατασκευή των πασσάλων της έμπροσθεν συστοιχίας της θεμελίωσής του. Σε κάθε θέση που προβλέπονταν από το αντίστοιχο σχέδιο της μελέτης, προβλέπονταν διάτρηση των προπλακών με αδιατάρακτη κοπή και αποκοπή των οπλισμών. Ακολουθούσε η διαδικασία κατασκευής του αντίστοιχου πασσάλου με το κατάλληλο γεωτρύπανο το οποίο τοποθετούνταν επάνω στο κατάστρωμα του πρώτου φατνώματος. Με το πέρας της κατασκευής της εμπρόσθιας σειράς πασσάλων προδιαγράφονταν η αποκατάσταση των οπών με διάνοιξη μιας μικρής περιοχής περιμετρικά και αποκάλυψη τμήματος των υφιστάμενων οπλισμών, συγκόλληση νέων οπλισμών και επανασκυροδέτηση με την βοήθεια τοπικού ξυλότυπου.

Στην επόμενη φάση προβλέπονταν η κατασκευή της πίσω συστοιχίας έγχυτων φρεατοπασσάλων, ο κεφαλόδεσμος και ο κορμός του ακροβάθρου με τμήμα των ανηρτημένων περυγότοιχων, μέχρι την θέση έδρασης της ανωδομής. Η σκυροδέτηση στις θέσεις έδρασης των εφεδράνων στο ακρόβαθρο ΑΚ1 προβλέπονταν λίγο χαμηλότερα από το τελικό υψόμετρο για την κατά το δυνατόν ορθή κατασκευή των τάκων έδρασης των νέων εφεδράνων.

Ακολούθως, η διαδικασία προδιέγραφε την εκ νέου ανύψωση του φατνώματος, τοποθέτηση των νέων εφεδράνων στο ακρόβαθρο στους τάκους έδρασης από ισχυρή τσιμεντοκονία, απομάκρυνση των προσωρινών εφεδράνων από την κεφαλοδοκό του πλαισίου και επαναφορά του φατνώματος στην τελική του θέση με την βοήθεια των γρύλλων. Με την ολοκλήρωση του τελικού ελέγχου υψομέτρων, απομάκρυνση όλου του εξοπλισμού ανύψωσης.

Η κατασκευή του ακροβάθρου συμπληρώνονταν με την κατασκευή του θωρακίου και των υπόλοιπων τμημάτων των αναρτημένων περυγότοιχων. Κατασκευάζονταν οι τοίχοι αντιστήριξης των επιχωμάτων πίσω από το ακρόβαθρο, το σύστημα αποστράγγισης του ακροβάθρου και των τοίχων, όπως και τα μεταβατικά επιχώματα και οι πλάκες πρόσβασης.

Τελικό στάδιο της διαδικασίας επεμβάσεων αποτελούσε η αποκατάσταση του καταστρώματος στο πρώτο φάτνωμα της γέφυρας με τοποθέτηση μόνωσης από διπλή στρώση ασφαλτόπανου, κατάλληλων σκυροδεμάτων κλίσεως και ασφαλτικών. Αποκατάσταση των πεζοδρομίων στις θέσεις που είχαν καθαιρεθεί, κατασκευή του νέου οδοστρώματος καθώς και των πεζοδρομίων στο ακρόβαθρο και στους τοίχους αντιστήριξης και τοποθέτηση του απαιτούμενου από την μελέτη αρμού συστολοδιαστολής. Τέλος τοποθέτηση των απαιτούμενων στηθαίων ασφαλείας στους νέους φορείς όπως και αυτών σε θέσεις που προβλέπονταν η καθαίρεσή τους σε προηγούμενα στάδια.



Σχέδιο 5: Νέο ακρόβαθρο ΑΚ1 προς Κόμαρα και μοντέλο διαστασιολόγησης.

Η μελέτη προέβλεπε την καθαίρεση της παρακαμπτήριας οδού με τους τοίχους αντιστήριξης της και κατόπιν του πλαισίου υποστήριξης μέχρι του βάθους του τελικού διαμορφωμένου εδάφους, καθώς αυτά βρίσκονταν εντός της ευρείας κοίτης. Παράλληλα προβλέπονταν η εκτέλεση των απαραίτητων χωματουργικών εργασιών για την διαμόρφωση της κοίτης στο πρώτο άνοιγμα και την διάστρωση κοιτόστρωσης πάχους 25εκ. σε μία ζώνη πλάτους 15μ με άξονα αυτό της διεύθυνσης ακροβάθρου ΑΚ1 - μεσοβάθρου Μ1 με προσαρμογή της, σε κάθε περίπτωση, στην υφιστάμενη κοιτόστρωση στο υπόλοιπο τμήμα της γέφυρας.

8. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Βασική αρχή που τηρήθηκε από την μελετητική ομάδα ήταν ότι οι επεμβάσεις θα είχαν σαν στόχο την επαναφορά του βλαφθέντος τμήματος κατ'ελάχιστον στην υφιστάμενη κατάσταση του υπόλοιπου τεχνικού.

Το σκεπτικό αυτό ακολουθήθηκε διότι είναι γεγονός ότι η παρούσα κατάσταση του φορέα της γεφύρωσης, ανωδομής και υποδομής είναι πάρα πολύ καλή, παρά τα σαράντα και πλέον χρόνια λειτουργίας, σε περιβάλλον με μεγάλες διακυμάνσεις σε θερμοκρασία, υγρασία, πλημμυρικά φαινόμενα κλπ, γεγονός που πρέπει να πιστωθεί στους μελετητές, κατασκευαστές και επιβλέποντες της εποχής. Ένας ακόμη λόγος ήταν ότι η μελέτη με τα σύγχρονα κανονιστικά πλαίσια και τα εργαλεία αποτίμησης είναι πολύ πιθανόν να οδηγούσαν σε απαιτήσεις ενισχύσεων στο σύνολο του φορέα και να οδηγήσουν σε ανυπέρβλητο κόστος υλοποίησης για το σύνολο του έργου. Μία τοπική αναβάθμιση φέρουσας ικανότητας δεν θα είχε άλλωστε κάποιο νόημα σε ένα σύνολο τεχνικού 11 ανοιγμάτων και συνολικού μήκους 370μ. Εκτός των άλλων, το ζήτημα της χρονικής περαίωσης της μελέτης αλλά και των επεμβάσεων-παρεμβάσεων θα ήταν απαγορευτικό για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Με βάση τα παραπάνω, το συγκεκριμένο φάτνωμα και το νέο ακρόβαθρο εξετάστηκαν για τα στατικά φορτία με το κανονιστικό πλαίσιο των γερμανικών DIN που ίσχυαν στην χώρα για έργα γεφυροποιίας το προηγούμενο χρονικό διάστημα, ενώ για τις σεισμικές δράσεις λήφθηκε υπόψη το πλαίσιο των ελληνικών κανονισμών ΕΚΩΣ2000 και ΕΑΚ2000 σε συνδυασμό με την Εγκύκλιο Ε39/99 του ΥΠΕΧΩΔΕ. Συγκεκριμένα το κανονιστικό πλαίσιο που λήφθηκε υπόψη ήταν:

- DIN 1072 : Παραδοχές φορτίων γεφυρών.
- DIN 1075 : Γέφυρες από σκυρόδεμα - Διαστασιολόγηση και εκτέλεση.
- DIN 1054 : Έδαφος θεμελιώσεως - Επιτρεπόμενη φόρτιση εδάφους θεμελίωσης.
- DIN 4227 : Προεντεταμένο σκυρόδεμα.
- DIN 4014 : Πάσσαλοι διάτρησης. Κατασκευή, διαστασιολόγηση και επιτρεπόμενη φόρτιση.
- Εγκύκλιος 39/99 ΥΠΕΧΩΔΕ - Οδηγίες για την Αντισεισμική μελέτη γεφυρών.
- Οδηγίες Για Μελέτη Γεφυρών Με Σεισμική Μόνωση (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. 2004)
- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ2000)
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2000) (ΦΕΚ 2184Β'/20-12-99).
- Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας (ΟΣΜΕΟ).

Ως κλάση γέφυρας λήφθηκε η κατηγορία 60/30 (κατά DIN).

Το πλαίσιο υποστήριξης ελέγχθηκε επίσης με τους ισχύοντες Ελληνικούς κανονισμούς και διαστασιολογήθηκε με τα δυσμενέστερα αποτελέσματα.

Λήφθηκαν επίσης υπόψη τα αποτελέσματα της διενεργηθείσας γεωτεχνικής μελέτης "Γεωτεχνική Έρευνα και Μελέτη Βορείου Ακροβάθρου Γέφυρας Ποταμού Άρδα στην Περιοχή των Κομάρων" – Ν. Τσάτσος – Θεσσαλονίκη 2008.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το έργο υλοποιήθηκε χωρίς σημαντικές παρεκκλίσεις από τον σχεδιασμό της παρέμβασης σε σύντομο χρόνο.

Σε πρώτη φάση με την κατασκευή της παρακαμπτηρίου οδού αποκαταστάθηκε τάχιιστα η τοπική κυκλοφορία εκπληρώνοντας σημαντικό μέρος των καθημερινών απαιτήσεων της τοπικής

κοινωνίας. Κυρίαρχο ζήτημα, πρέπει να σημειωθεί, ήταν η μεταφορά μαθητών της περιοχής στο γυμνάσιο του Κυπρίνου, ιδιαίτερα κατά την περίοδο του χειμώνα. Η αποκατάσταση έλυσε το ζήτημα της απαίτησης συνολικής περιπορίας της τάξης των 40 χλμ καθημερινά μέσω επαρχιακού δικτύου χαμηλών λειτουργικών χαρακτηριστικών. Παράλληλα δόθηκε χρόνος να εκτελεστεί το σύνολο του έργου χωρίς πίεση και με την δέουσα προσοχή που απαιτούσαν οι ειδικοί χειρισμοί.

Είναι καθήκον του μηχανικού να εξετάζει και να προτείνει κάθε φορά την βέλτιστη τεχνικο-οικονομικά λύση, η οποία θα είναι υλοποιήσιμη, χωρίς καμία έκπτωση σε θέματα ασφάλειας, αλλά και προσαρμοσμένη στις οικονομικές δυνατότητες του φορέα υλοποίησης. Εκτιμάται ότι στην παρούσα επέμβαση στη Γέφυρα του ποταμού Άρδα στα Κόμαρα έγινε ότι ήταν απαραίτητο και στα πλαίσια της υπευθυνότητας των μελετητών ώστε να τηρηθεί η παραπάνω αρχή στο ακέραιο.

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι καθήκον του κυρίου κάθε τεχνικού έργου και της τοπικής κοινωνίας κατ' επέκταση στην περίπτωση των δημοσίων έργων, είναι η διαχρονική συντήρησή τους, με την οποία εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργικότητά τους για την διάρκεια ζωής σχεδιασμού. Δυστυχώς ιδιαίτερα στο θέμα των γεφυρώσεων είναι κοινή ομολογία ότι δεν τηρήθηκε διαχρονικά ο κανόνας αυτός. Τα τεχνικά αφέθηκαν στις επιδράσεις του χρόνου και του περιβάλλοντος, με ενεργοποίηση διαδικασιών επέμβασης και συντήρησης μόνο όταν πλέον υπήρχε εμφανές και σημαντικό πρόβλημα. Επιπροσθέτως, πολλές φορές υπήρξε ανεξέλεγκτη ανθρώπινη παρέμβαση στην ζώνη λειτουργίας τους, με κύριο παράδειγμα τις αθρόες αμμοληψίες, οι οποίες διαταράσσουν την ισορροπία της ροής υδάτινων γεφυρώσεων, αυξάνουν τις ταχύτητες και δημιουργούν-ενεργοποιούν τυπικά φαινόμενα υποσκαφών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι κοινή εκτίμηση μηχανικών και φορέων ότι ο παραπάνω μηχανισμός οδήγησε στην εντοπισμένη εκτροπή της ροής στο πρώτο φάτνωμα του τεχνικού και στις συνεπακόλουθες αστοχίες.

Ειδικά για το δυναμικό της χώρας σε υποδομές γεφυροποιίας, το οποίο είναι απαραίτητο για την ύπαρξη και λειτουργία όλου του συστήματος των μεταφορών, τονίζεται ότι δεν υπάρχει (πλην λίγων εξαιρέσεων) μητρώο γεφυρών. Η ύπαρξη του είναι προφανές ότι θα εξυπηρετούσε σε σημαντικό βαθμό την διερεύνηση σκοπιμότητας και τον προγραμματισμό ενεργειών προληπτικής συντήρησης και επεμβάσεων. Με τον τρόπο αυτό εκτιμάται ότι θα γινόταν σωστή διαχείριση των διατιθέμενων κονδυλίων, θα προλαμβάνονταν αστοχίες με τις συνεπακόλουθες κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες και θα εξασφαλιζόνταν κατ' ελάχιστον η ωφέλιμη διάρκεια ζωής των τεχνικών.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι μια άλλη αρχή που πρέπει να τηρείται απαραίτητα είναι ότι η κατασκευή ενός νέου έργου πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη κάθε πιθανή επίπτωση, τόσο στο ευρύτερο φυσικό περιβάλλον, όσο και σε προγενέστερα τεχνικά έργα τα οποία είναι ενταγμένα σε αυτό. Στην περίπτωση της γέφυρας Άρδα υπήρξε σε μεταγενέστερο χρόνο η κατασκευή κλειστού αγωγού σιφωνισμού, ο οποίος διατρέχει κάθετα την κοίτη του Άρδα σε απόσταση περί τα 100μ στα ανάντη του τεχνικού. Μέσω αυτού διεξάγεται η άρδευση 56.000 στρεμμάτων στην περιοχή. Ο κιβωτιοειδής αγωγός τοποθετήθηκε σε μικρό βάθος εντός της κοίτης. Αυτό είχε ως συνέπεια, με την προαναφερόμενη αύξηση των ταχυτήτων λόγω αμμοληψιών στις περιοχές κατάντη του τεχνικού, να αποκαλυφθεί σταδιακά και να λειτουργεί ως φράγμα ροής με στροβιλισμούς στα κατάντη του. Οι στροβιλισμοί είχαν ως αποτέλεσμα την επιπρόσθετη και σταδιακά εξελισσόμενη εκβάθυνση της κοίτης. Συνεπεία αυτού καταστράφηκε ολοσχερώς η κοιτόστρωση στην περιοχή των βάθρων, αποκαλύφθηκαν σταδιακά τα φρέατα θεμελίωσης των μεσοβάθρων στο μεγαλύτερο τμήμα του τεχνικού και ο ίδιος ο αγωγός σιφωνισμού βρίσκεται ουσιαστικά σε κατάσταση οριακής ισορροπίας, με παράλληλες διαρροές υδάτων άρδευσης σε θέσεις συναρμογής των τμημάτων του. Συνεπώς, απαιτούνται και πάλι άμεσες επεμβάσεις στην ευρύτερη περιοχή πριν την δημιουργία σοβαρότερων βλαβών.



10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καραμπίνης Ι. Αθανάσιος, “Κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα”, Ξάνθη 2002
2. Δρίτσος Η. Στέφανος, “Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα”, Πάτρα 2000
3. Σπυράκος Κωνσταντίνος, “Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία”, ΤΕΕ, Αθήνα 2004
4. DIN 1075: Concrete bridges; Dimensioning and construction
5. DIN 1072: Road Bridges; Design Loads
6. DIN 4227: Prestressed concrete
7. DIN 1045: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures
8. Οδηγίες Αντισεισμικής Μελέτης Γεφυρών - Εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ Ε39/99
9. Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000)
10. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΕΑΚ2000)