

Μεταλλική τοξωτή σιδηροδρομική γέφυρα ανοίγματος 110m

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

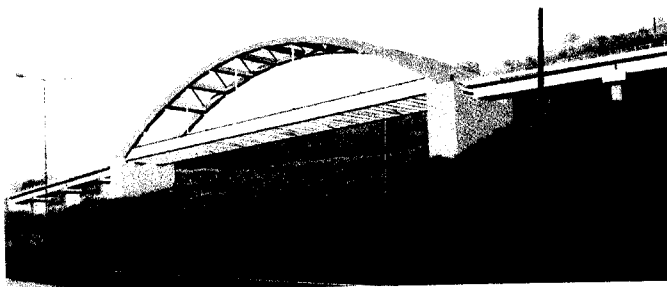
Το παρόν άρθρο παρουσιάζει αφενός μεν τη στατική μελέτη της γέφυρας μονής σιδηροδρομικής γραμμής πάνω από την κατολισθαίνουσα περιοχή στην Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Αιγάλεω στην Αθήνα, η οποία εκπονήθηκε για λογαριασμό της ΕΡΓΟΣΣΕ αφετέρου δε την μελέτη ανέγερσής της. Πρόκειται για την μεγαλύτερη σε άνοιγμα τοξωτή σιδηροδρομική γέφυρα που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα στην Ελλάδα (110 m). Η μελέτη εκπονήθηκε με βάση τις διατάξεις του DIN-Fachbericht και τους Ευρωκώδικες. Η τοξωτή γέφυρα συνοδεύεται από γέφυρες πρόσβασης κιβωτοειδούς σύμμικτης διατομής, που αποτελούν επίσης μια από τις πρώτες εφαρμογές του τύπου αυτού στην χώρα μας. Η τοξωτή γέφυρα στηρίζεται επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων, φέρει δε σύστημα αποτελούμενο από τέσσερις μη γραμμικούς αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς με μικρό εκθέτη που συμβάλλουν στην σεισμική μόνωση της γέφυρας σύμφωνα με τις οδηγίες του ΥΠΕΧΩΔΕ⁽¹⁾.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

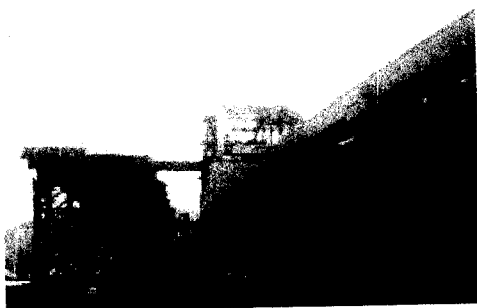
Στην περιοχή του έργου αρχικά προβλεπόταν η διέλευση της σιδηροδρομικής γραμμής να γίνει με κανονική στρώση γραμμής χωρίς την ανάγκη κατασκευής της γέφυρας. Όμως στην εν λόγω περιοχή το Μάιο του 1990 κατά την φάση κατασκευής της Δ.Π.Λ. Αιγάλεω, ενεργοποιήθηκε το αρχικό τμήμα της κατολίθησης το οποίο είχε πλάτος 50m περίπου, με κορυφή στο υψόμετρο +142m και κατώτερη επιφάνεια ολίσθησης στην περιοχή του δρόμου. Η αρχική κατολίθηση σταδιακά διευρύνθηκε με αποτέλεσμα να υπάρξει προσπάθεια σταθεροποίησής της με διάφορα τεχνικά έργα στην τελευταία φάση των οποίων η κατολίθηση ενεργοποιήθηκε και διευρύνθηκε περαιτέρω. Με δεδομένη την κατάσταση αυτή εκπονήθηκε νέα μελέτη χάραξης και αποφασίσθηκε αφενός μεν η τροποποίηση της χάραξης στην εν λόγω περιοχή με την μετάθεσή της προς την πλευρά της Δ.Π.Λ. Αιγάλεω όπου βρίσκεται και ο πόδας της κατολίθησης αφετέρου δε την κατασκευή στην εν λόγω περιοχή τοξωτής γέφυρας και όχι επικώματος.

Το εν λόγω τεχνικό περιλαμβάνει την κατασκευή σιδηροδρομικής μεταλλικής γέφυρας μονής τροχιάς, τοξοειδούς μορφής, η οποία παρακάμπτε το σύνολο της κατολισθαίνουσας περιοχής, ενώ πριν και μετά την τοξωτή γέφυρα υπάρχουν οι γέφυρες πρόσβασης (Σχ. 1 και Σχ. 2). Αναλυτικότερα τα τμήματα του τεχνικού περιγράφονται ακολούθως:

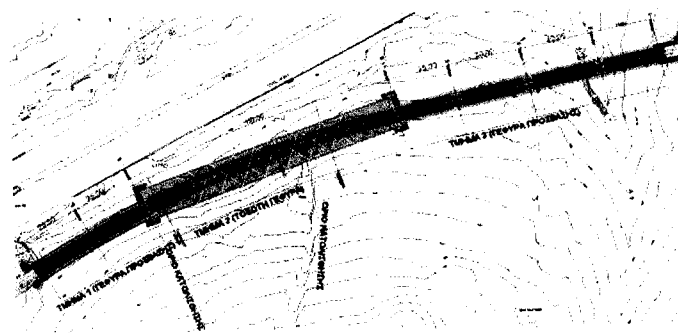
- Το πρώτο τμήμα στην αρχή του τεχνικού, είναι γέφυρα δύο ανοιγμάτων σύμμικτου καταστρώματος, συνολικού μήκους 50m, από το ακρόβαθρο Α1 έως το μεσόβαθρο Μ2.
- Το δεύτερο τμήμα είναι η μεταλλική γέφυρα τοξοειδούς μορφής ανοίγματος 110.0m, από το μεσόβαθρο Μ2 έως το μεσόβαθρο Μ3.
- Το τρίτο τμήμα στο τέλος του τεχνικού είναι γέφυρα τεσσάρων ανοιγμάτων σύμμικτου καταστρώματος, συνολικού μήκους 110m από το μεσόβαθρο Μ3 έως το ακρόβαθρο Α2.



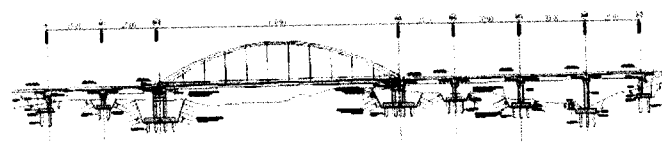
Φωτ. 1: Φωτορεαλιστική απεικόνιση γέφυρας



Φωτ. 2: Τελική θέση της γέφυρας



Σχ. 1: Οριζοντιογραφία γέφυρας

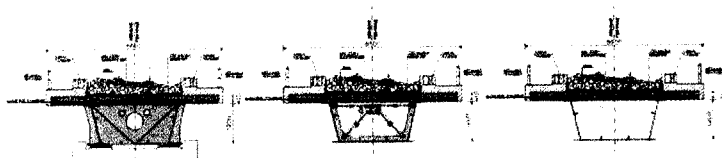


Σχ. 2: Μηκτομή γέφυρας

ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Μεγάλο μέρος των γεφυρών πρόσβασης είναι σε καμπύλη χάραξη με ακτίνα καμπυλότητας $R=450\text{m}$, με αποτέλεσμα την ύπαρξη σημαντικών στρεπτικών καταπονήσεων. Για τον λόγο αυτό προτιμήθηκε η κιβωτοειδής διατομή του καταστρώματος που παρέχει πολύ μεγαλύτερη στρεπτική δυσκαμψία από τις ανοικτού τύπου διατομές. Η σύμμικτη κατασκευή προτιμήθηκε γιατί είναι ταχύτερη ως μέθοδος κατασκευής επειδή ο μεταλλικός φορέας μεταφέρεται ολοκληρωμένος στο έργο ενώ η πλάκα καταστρώματος κατασκευάζεται με την βοήθεια προ-πιακών. Οι γέφυρες πρόσβασης αποτελούνται από αμφιέριστα ανοίγματα μήκους 25m και 30m, έχουν διατομή σταθερού ύψους εδραζόμενη μέσω σφαιρικών εφεδράνων σημειακού τύπου σε κάθε άξονα στήριξης.



Σχ. 3: Διατομές σύμμικτου φορέα πρόσβασης

Ο φορέας του καταστρώματος των γεφυρών πρόσβασης έχει συνολικό ύψος 1900 mm και πλάτος 8600 mm. Το πλάτος του κάτω πέλματος του κιβωτίου είναι 4000mm. Οι κορμοί κατασκευάζονται για λόγους αισθητικής κεκλιμένοι. Το εξωτερικό περίγραμμα κατασκευάζεται από συγκολλημένες λάμες καταλλήλου πάχους και πιο συγκεκριμένα 30mm το κάτω πέλμα και 20 έως 25mm οι κορμοί. Το άνω πέλμα του κιβωτίου αποτελείται από δύο λάμες πλάτους 700mm και πάχους 50mm. Κατά μήκος του κιβωτίου κάθε 4000 mm τοποθετείται εσωτερικά κατακόρυφο διάφραγμα τόσο για την παραλαβή και μεταφορά των εγκάρσιων φορτίων λόγω της καμπυλότητας οριζοντιογραφικά της σιδηροδρομικής γραμμής, όσο και για την αύξηση της στρεπτικής ακαμψίας του κιβωτίου. Για την αποφυγή τοπικού λυγισμού των πλευρών του κιβωτίου τοποθετούνται δύο στοιχεία ακαμψίας (stiffeners) στο κάτω πέλμα του κιβωτίου και από ένα στους κορμούς αυτού. Εγκάρσιο μεταλλικό διάφραγμα με κατάλληλη οπή για την διέλευση των αγωγών αποχέτευσης τοποθετείται στο τέλος των ανοιγμάτων και αποτελείται από λάμα πάχους 25mm με κατάλληλες ενισχύσεις. Η πλάκα του φορέα του καταστρώματος είναι σταθερού πάχους 350mm και κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα B35, το οποίο χυτεύεται επιτόπου πάνω σε πρόπλακες συνολικού ύψους 290mm και οι οποίες κατασκευάζονται με την βοήθεια μεταλλικών δικτυωτών δοκών. Η οπλισμένη πλάκα του καταστρώματος συνδέεται μέσω διατμητικών συνδέσμων $\Phi 22$ ύψους 175 mm τύπου Nelson με το άνω πέλμα του κιβωτίου.

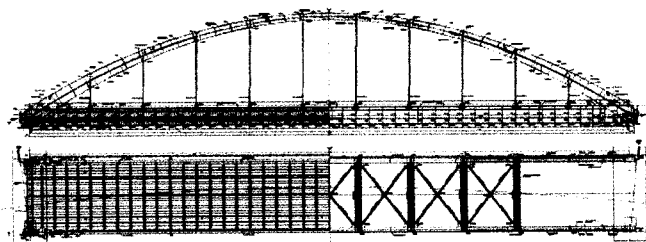
Το κάταστρωμα φέρεται επί μεσοβάθρων ορθογωνικής διατομής. Τα δύο από αυτά M1 και M4 που είναι μικρού ύψους είναι συμπαγή με διαστάσεις 4.40x1.80m, ενώ τα M5 και M6 που είναι ψηλότερα είναι κοίλης διατομής διαστάσεων 4.40x2.50m. Η θεμελίωση των βάθρων γίνεται μέσω εσχάρας πασσάλων διαμέτρου $\Phi 120$. Ο αριθμός και το μήκος των πασσάλων ποικίλει ανά βάθρο ανάλογα με τις γεωτεχνικές συνθήκες και τα εντατικά μεγέθη στη βάση του βάρου.

Στην μελέτη του σύμμικτου καταστρώματος ελήφθησαν υπόψη οι απαιτήσεις του EC4 και του DIN-Fachbericht 104, ενώ για τις φορτίσεις χρησιμοποιήθηκαν ο EC1 και το DIN-Fachbericht 101. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις αυτεντατικές τάσεις που δημιουργούνται στη διατομή λόγω διαφοράς θερμοκρασίας άνω-κάτω πέλματος, όπως και λόγω της συστολής ξηράσεως του σκυροδέματος στη σύμμικτη διατομή. Επίσης, λήφθηκε υπόψη η ερπυστική συμπεριφορά του σκυροδέματος που προκαλεί ανακατανομή των τάσεων μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα με το πέρασμα του χρόνου από την αρχική φόρτιση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα στις φορτίσεις από μόνιμα φορτία.

ΤΟΞΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ

Το κεντρικό τμήμα αποτελείται από ένα ενιαίο άνοιγμα μήκους 110m τοξοειδούς μορφής που παρακάμπτει την περιοχική της κατολίθησης. Οριζοντιογραφικά η τοξωτή γέφυρα βρίσκεται αρχικά στο μεγαλύτε-

ρο κομμάτι της σε καμπύλη με ακτίνα καμπυλότητας 450m, ενώ στην συνέχεια εισέρχεται σε κλωθοειδή. Κατασκευάζεται από δύο κατακόρυφα τόξα, για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας, από τα οποία αναρτώνται οι ελκυστήρες που συνδέουν τα σημεία στήριξης των τόξων. Οι δύο τοξωτοί φορείς αποτελούν τμήμα παραβολής. Η μέγιστη απόσταση τόξου και ελκυστήρα είναι 18.0m.



Σχ. 4: Οριζόντια και κατά μήκος τομή τοξωτού φορέα

Η τοξωτή μορφή του φορέα προτιμήθηκε λόγω του μικρού διαθέσιμου ύψους κάτω από την ερυθρά για να κατασκευαστεί γέφυρα αυτού του ανοίγματος. Σημαντική ιδιαιτερότητα είναι ότι η σιδηροδρομική γραμμή διέρχεται οριζοντιογραφικά σε καμπύλη πάνω από τη γέφυρα. Αυτό επέβαλε την αύξηση του πλάτους μεταξύ των τόξων προκειμένου να διέρχεται η γραμμή πάνω στο κάταστρωμα χωρίς πρόβλημα στο ελεύθερο περίγραμμα του τρένου, αλλά και την κατάλληλη οριζοντιογραφικά επιλογή της απόστασης των τόξων κατά τρόπο που να μειώνει όσο περισσότερο γίνεται την διαφορετική φόρτίσή τους λόγω της προκύπτουσας εκκεντρότητας από την υπάρχουσα καμπυλότητα της χάραξης. Επίσης, η επιλογή της παραβολικής μορφής του τόξου, το συνεχώς μεταβαλλόμενο ύψος της διατομής των τόξων προς τις στήριξές τους, η αξονική απόσταση τόξου -ελκυστήρα επιλέχθηκαν μετά από πλήθος δοκιμών, ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν αξονική φόρτιση των τόξων αλλά και παράλληλα η μείωση των οριζοντίων και κατακόρυφων βελών του φορέα. Το κάταστρωμα επιλέχθηκε μεταλλικό ορθότροπο πάνω στις εγκάρσιες κύριες δοκούς, για να λειτουργεί και ως ελκυστήρας με αποτέλεσμα την μόνιμη παρουσία εφελκυστικών τάσεων σ' αυτό.

Κατόπιν τούτων αποφασίσθηκε τα τόξα να τοποθετηθούν σε αξονική απόσταση 12.80 m μεταξύ τους. Τα τόξα είναι μεταβλητής κιβωτοειδούς ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 1000 mm σταθερού πλάτους και 1200 mm έως 2700 mm μεταβλητού ύψους από συγκολλητές λάμες. Τοποθετούνται εγκάρσιες ενισχύσεις σε κάθε σημείο ανάρτησης και στα τρίτα του ανοίγματος μεταξύ των αναρτήσεων. Τα εγκάρσια αυτά διαφράγματα στις περιοχές των αναρτήσεων αποτελούνται από ελάσματα καταλλήλου πάχους με κατάλληλη διαμόρφωση στα άκρα τους για να είναι δυνατή η προσαρμογή της ράβδου ανάρτησης. Τα λοιπά εγκάρσια διαφράγματα κατασκευάζονται πάχους 20 mm και ενισχύονται καταλλήλως. Η ανάρτηση του ελκυστήρα γίνεται με την βοήθεια κυκλικών συμπαγών μεταλλικών ράβδων διατομής $\Phi 130$ mm. Οι αναρτήσεις από τα τόξα πραγματοποιούνται ανά 9600 mm. Οι ελκυστήρες συνδέονται μονολιθικά με τα τόξα στα δύο άκρα τους στην περιοχική της στήριξης και έχουν διατομή διπλού ταυ. Τα δύο τόξα συνδέονται μεταξύ τους εγκάρσιως με στοιχεία πλάτους 1000 mm και ύψους όσο το ύψος του τόξου στην αντίστοιχη θέση. Αυτά τοποθετούνται στις θέσεις των αναρτήσεων πλην του πρώτου σημείου ανάρτησης όπου η αντίστοιχη δοκός δεν τοποθετείται έτσι ώστε να επιτρέπει τη διέλευση των συρμών, και να αφήνεται το ελάχιστο ελεύθερο ύψος των 7500 mm. Πέραν αυτών τοποθετείται και οριζόντιο αντανέμιο σύστημα από κυκλικές δοκούς διαμέτρου $\Phi 298,5$ mm πάχους 12,5mm. Επί των ελκυστήρων εδράζονται οι εγκάρσιες κύριες δοκοί που φέρουν το κάταστρωμα το οποίο είναι ορθότροπη πλάκα και κατασκευάζεται από ενιαία λάμα πάχους 25mm επί της οποίας τοποθετούνται διαμήκεις νευρώσεις διαστάσεων 325x20 mm ανά 500mm. Οι εγκάρσιες δοκοί έχουν μορφή ανεστραμμένου ταυ και τοποθετούνται ανά 2400 mm περίπου. Οι ακραίες εγκάρσιες δοκοί στην περιοχική της στήριξης είναι κιβωτοειδούς διατομής. Τα μεσόβαθρα M2 και M3 λόγω των απαιτούμενων διαστάσεών τους έχουν διατομή πολυκυψελωτού κιβωτίου, με διαστάσεις κάτοψης 17.30x6.00m και θεμελιώνονται με πασσάλους. Το M2 φέρεται επί πασσαλοομάδας 24 πασσάλων διαμέτρου $\Phi 120$ με βάθος 15.0m, ενώ το M3 επί πασσαλοομάδας 2 πασσάλων διαμέτρου $\Phi 150$ με βάθος 30.0m.

Στα μεσόβαθρα τα τόξα εδράζονται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων για την μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων. Για την διαμήκη δέσμευση της γέφυρας κατά την φάση πέδησης του τραίνου αλλά και για την ελεύθερη μετακίνηση της γέφυρας σε ήρεμες φορτίσεις όπως είναι οι θερμοκρασιακές μεταβολές τοποθετήθηκαν τέσσερις συσκευές μορφής Shock Transmission Units της Mauter τύπου MHD 1000/1000 οι οποίες λειτουργούν και ως αποσβεστήρες μονώνοντας σεισμικά την γέφυρα. Λόγω της λοξής διάταξης των μεσοβάθρων M2 και M3 σε σχέση με τον άξονα της γραμμής αποφασίσθηκε η εγκάρσια δέσμευση της γέφυρας για όλα τα εγκάρσια φορτία είτε ανέμου είτε σεισμού. Για τον λόγο αυτό τοποθετούνται δύο εγκάρσιοι διατημτικοί σύνδεσμοι που δεσμεύουν τη γέφυρα εγκάρσιως.

Η ανάλυση του φορέα έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις φορτίσεις του EC1 και του DIN-Fachbericht 101. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν για τους συρμούς τα προσομοιώματα φόρτισης Π.Φ 71, SW/0 και SW/2 όπως και οι αντίστοιχες σύνοδες δράσεις κάθε συρμού για εκκίνηση-τροχοπέδηση, φυγόκεντρο και πλευρική κρούση. Οι δράσεις αυτές συνδυάστηκαν σε κατάλληλες ομάδες φορτίων και στη συνέχεια επαλληλίστηκαν με τα υπόλοιπα φορτία από ίδιο βάρος, λοιπά μόνιμα, άνεμο και θερμοκρασία. Εκτός των φορτίων ανέμου που προβλέπονται από το EC1 και το DIN-Fachbericht 101, εκπονήθηκε μελέτη των φορτίων του ανέμου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και τρισδιάστατης δυναμικής ανεμοφόρτισης στους ελκυστήρες, το κατάστρωμα και τα τόξα. Οι έλεγχοι των διατομών έγιναν σύμφωνα με τον EC3 και το DIN-Fachbericht 103. Ελέγχθηκε η περίπτωση συνολικού λυγισμού και τοπικού λυγισμού όπου ήταν αυτό απαραίτητο, ενώ έγιναν και έλεγχοι κόπωσης σε όλα τα στοιχεία του φορέα και στις συνδέσεις. Επίσης, έγιναν έλεγχοι της γέφυρας στην τυχηματική περίπτωση κοπής κάποιου αναρτήρα.

ΑΝΕΜΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Για την ρεαλιστική εκτίμηση των ανεμοπιέσεων στην τοξωτή γέφυρα πραγματοποιήθηκε αριθμητική προσομοίωση με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμ-

ματος υπολογιστικής ρευστομηχανικής που χρησιμοποιεί μη δομημένα αριθμητικά πλέγματα αποτελούμενα από εξαεδρικά, τετραεδρικά ή πρισματικά στοιχεία. Οι εξισώσεις μεταφοράς διακριτοποιούνται με χρήση πλήρως πεπλεγμένου σχήματος δευτέρου βαθμού ακρίβειας στο χρόνο και χώρο και επιλύονται με τη βοήθεια μίας συζευγμένης αλγεβρικής μεθόδου πολλών πλεγμάτων με κατάλληλη θεώρηση αρχικών και οριακών συνθηκών. Από την πληθώρα μοντέλων τύρβης που είναι διαθέσιμα υιοθετείται το μοντέλο δύο εξισώσεων SST.

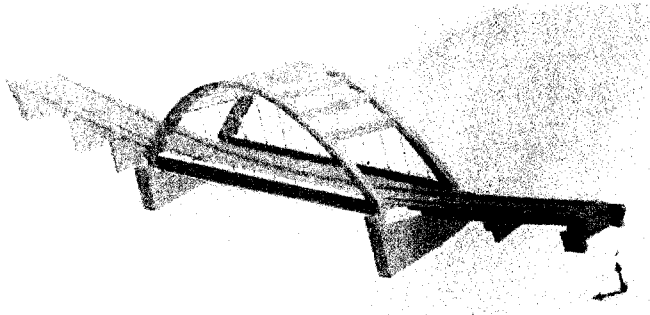
Στο πρόγραμμα καθορίστηκε αριθμητικό πλέγμα που περιέγραψε στην επιθυμητή ακρίβεια τις γεωμετρικές λεπτομέρειες του πεδίου (γέφυρα, βάθρα, κτίρια, ορεογραφία και λοιπά εμπόδια). Τελικώς λήφθηκαν τρισδιάστατα, χρονο-εξαρτώμενα ροϊκά πεδία ταχύτητας, πίεσης και θερμοκρασίας ανέμου σε εκατομμύρια σημεία του αριθμητικού πλέγματος.

Πιο συγκεκριμένα προσομοιώσεις σε δισδιάστατο κεντρικό τμήμα της γεωμετρίας των ελκυστήρων μετά από τυπική ριπή ανέμου διάρκειας 10 [s] κατέδειξαν την τάση δημιουργίας διαδοχικά αποκολλούμενων δινών εξαιτίας των οποίων προκύπτει φόρτιση χρονοεξαρτώμενη με συχνότητα της τάξεως 0.95 Hz. Στη συνέχεια εκπονήθηκαν προσομοιώσεις σε τρεις διαστάσεις με χρήση εξαεδρικών πλεγμάτων υψηλής ανάλυσης κοντά στα τοιχώματα και στον απόρροιο των στοιχείων της γέφυρας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο πλέγματα διαφορετικής πυκνότητας, ένα με 3.500.000 σημεία (πλέγμα 1) και ένα με 7.700.000 σημεία (πλέγμα 2). Χρησιμοποιήθηκε χρονικό βήμα ίσο με 0.025 [s]. Τα τρισδιάστατα αποτελέσματα της ροής γύρω από τα βασικά στοιχεία της γέφυρας στο πλέγμα 1 έδειξαν περιοδική φόρτιση στα δύο τόξα της γέφυρας με συχνότητα της τάξεως των 0.325 [Hz]. Από τις σχετικές χρονοσειρές των δυνάμεων στα τόξα προέκυψε και μία δεύτερη συχνότητα φόρτισης ίση με 4.444 [Hz]. Στα λοιπά στοιχεία της γέφυρας (ελκυστήρες, δάπεδο) παρατηρήθηκαν φορτίσεις εξαρτώμενες από το χρόνο που όμως δεν δείχνουν να είναι περιοδικές.

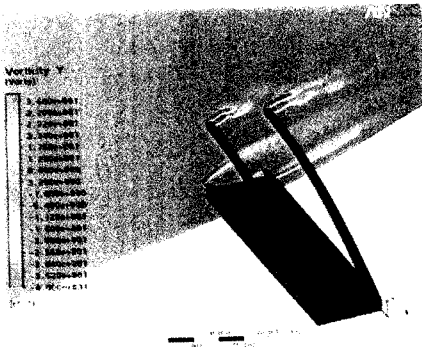
Η πυκνωση του πλέγματος (χρήση πλέγματος 2) έδωσε παρόμοια συμπεριφορά ως προς τις φορτίσεις των στοιχείων της γέφυρας, με σαφώς με-

ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

γαλύτερο εύρος τιμών. Όσον αφορά στην φόρτιση των τόξων, η χρήση του πυκνότερου πλέγματος οδήγησε σε παρόμοια μορφή της χρονοσειράς των φορτίσεων, δεν προέκυψε όμως περιοδικότητα όμοια με αυτή των αποτελεσμάτων του πλέγματος 1.



Σχ. 5: Γεωμετρία της γέφυρας και ανάγλυφο εδάφους



Σχ. 6: Ισοϋψείς καμπύλες στροβιλότητας. Διακρίνονται τα συστήματα των διαδοχικά αποκολλούμενων δινών.

Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι δεν υπάρχει περίπτωση συντονισμού της γέφυρας από τα φορτία ανέμου και ότι οι προκύπτουσες πιέσεις στα διάφορα στοιχεία του φορέα είναι αρκετά μικρότερες από τα προβλεπόμενα φορτία στον EC-1.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

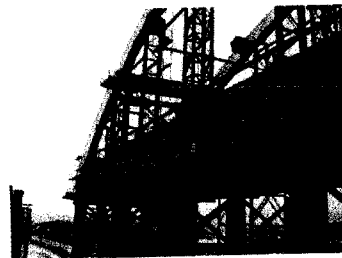
Η έδραση της τοξωτής γέφυρας στα μεσόβαθρα M2 και M3, όπως ήδη αναφέρθηκε, γίνεται με τη χρήση τεσσάρων ελαστομεταλλικών εφεδράνων (ένα σε κάθε συμβολή τόξου με ακραία δοκό-ελκυστήρα). Στη διαμήκη όμως διεύθυνση αυτή η διάταξη δεν είναι επαρκής για να περιορίσει σε ικανοποιητικό βαθμό τις μετακινήσεις. Από την άλλη πλευρά η χρήση κάποιου σταθερού εφεδράνου κατά την διαμήκη έννοια θα συγκέντρωνε όλη την ένταση σε ένα βάθρο κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό. Προκειμένου λοιπόν να περιορισθούν οι διαμήκεις σεισμικές ή μη μετακινήσεις, αλλά και να περιορισθεί η μετακίνηση της γέφυρας επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση τεσσάρων μη γραμμικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς με μικρό εκθέτη ($P = C v^{\alpha}$, $C = 1000 \text{ KNs/m}$, $\alpha = 0.02$). Ο κάθε ένας από αυτούς τοποθετείται στην ίδια περιοχή με τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα. Οι αποσβεστήρες αυτοί λόγω του πολύ μικρού εκθέτη λειτουργούν και σε φορτία που επιβάλλονται με μικρή σχετικά ταχύτητα σε σχέση με την σεισμική ταχύτητα όπως είναι η τροχοπέδηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα γι' αυτά τα φορτία η γέφυρα να λειτουργεί σαν δεσμευμένη κατά την διαμήκη διεύθυνσή της. Αντιθέτως σε φορτίσεις με πολύ μικρή ταχύτητα όπως η θερμοκρασία οι αποσβεστήρες παρακολουθούν την επιβαλλόμενη μετακίνηση χωρίς να αντιδρούν σ' αυτή. Η εγκάρσια στήριξη της γέφυρας γίνεται και στα δύο άκρα της γέφυρας με την χρήση κατάλληλων διατημητικών συνδέσμων τύπου τόρμου-εντορμίας και εφεδράνων. Οι αναλύσεις και οι έλεγχοι των ελαστομεταλλικών εφεδράνων και των αποσβεστήρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις οδηγίες για τη μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση του ΥΠΕΧΩΔΕ. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε φασματική ανάλυση στην οποία συμμετέχει ένας ικανός αριθμός ιδιομορφών. Η ανάλυση είναι γραμμικής φύσης οι δε μη γραμμικοί αποσβεστήρες λαμβάνονται υπόψη ως γραμμικοί με την ίδια σταθερά C. Στη συνέχεια λό-

γω της έντονα μη γραμμικής συμπεριφοράς των αποσβεστήρων, ως ρεαλιστικότερη μέθοδος επιβεβαίωσης της συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Μη Γραμμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας με την επιλογή επτά επιταχυνσιογραφήματων κατάλληλα επικλιμακούμενων σε σχέση με το φάσμα σχεδιασμού. Η απόκριση του συστήματος δίδεται ως ο μέσος όρος των επιμέρους αποκρίσεων. Συνολικά χρησιμοποιούνται 4 σεισμοί από τον Ελληνικό χώρο (Αθήνα 1999, Αίγιο 1995, Καλαμάτα 1985 και Αλκυονίδες 1981) που συνδυάζονται με 3 σεισμούς από άλλες χώρες (Kocaeli Τουρκία 1999, Chi Chi Taiwan 1999 και Northridge Ηνωμένες Πολιτείες 1994) για τη δημιουργία της ομάδας σεισμών της ανάλυσης. Τα επιταχυνσιογραφήματα συνδυάζουν σεισμούς μακρινού αλλά και κοντινού πεδίου ώστε των εύρος των τιμών να αντιστοιχεί σε μέγιστες εντάσεις και μετακινήσεις αντίστοιχα.

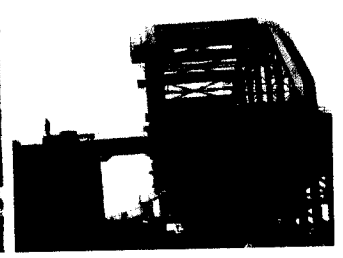
ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΤΟΞΩΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Ο τρόπος ανέγερσης της τοξωτής γέφυρας είχε αρκετούς περιορισμούς. Οι σημαντικότεροι ήταν: α) να μην εδρασθούμε επί της κατολίσθησης, β) να παραμείνει η Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρος Αιγάλεω ανοικτή σε κυκλοφορία σε όλη την διάρκεια των εργασιών, γ) να είναι εύκολα προσβάσιμη η γέφυρα σε όλη την διάρκεια της κατασκευής, δ) να γίνει κατάλληλη επιλογή του μήκους και του βάρους των επιμέρους στοιχείων έτσι ώστε ο απαιτούμενος εξοπλισμός ανέγερσης να είναι εύκολα διαθέσιμος στον ελληνικό χώρο το οποίο στην ουσία περιορίζει και το κόστος ανέγερσης και ε) να γίνει οικονομικός σχεδιασμός των προσωρινών κατασκευών. Κατόπιν τούτων προσφορότερη λύση (διαφοροποιημένη ως προς την αρχική πρόταση της μελέτης και προσαρμοσμένη στον εξοπλισμό του Αναδόχου) ήταν η κατασκευή των προσωρινών ικριωμάτων σε μία παράλληλη θέση με την θέση της γέφυρας και όσον το δυνατόν πιο κοντά στον δρόμο. Σε κάθε περίπτωση προσφορότερο ήταν η γέφυρα να κατασκευαστεί στο ύψος της τελικής θέσης της έτσι ώστε μετά το πέρας της κατασκευής να χρειάζεται μόνο ολίγη για την τοποθέτησή της στην οριστική της θέση. Η παράλληλη αυτή θέση ουσιαστικά επιλέχθηκε στην περιοχή του πόδα της κατολίσθησης και σε απόσταση 24.2μ από την τελική θέση της γέφυρας, με αποτέλεσμα όλα τα επιβαλλόμενα φορτία και οι προτεινόμενες θεμελιώσεις των προσωρινών βάθρων να συνεισφέρουν στην βελτίωση της συνολικής ευστάθειας της περιοχής.



Φωτ. 3: Φάση ανέγερσης



Φωτ. 4: Φάση ολίσθησης

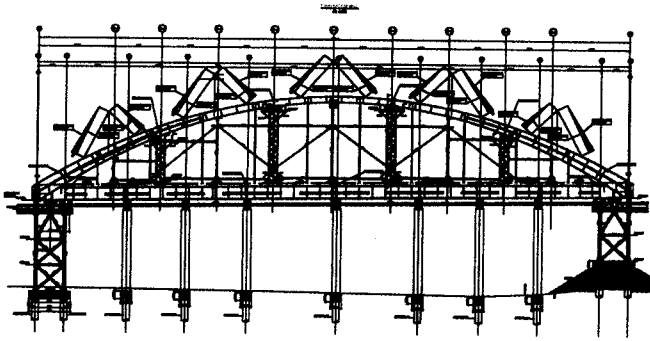
ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΙΚΡΙΩΜΑΤΑ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ

Ο σχεδιασμός των προσωρινών ικριωμάτων περιελάμβανε τα προσωρινά ικριώματα για την ανέγερση του καταστρώματος, τα προσωρινά ικριώματα για την ανέγερση των τόξων και την δοκό ολίσθησης για την ολίσθηση τη γέφυρας. Γενικώς οι θέσεις των προσωρινών ικριωμάτων για την ανέγερση του καταστρώματος ήταν διαφορετικές από τις θέσεις των προσωρινών ικριωμάτων για την ανέγερση του τόξου. Και τούτο διότι οι θέσεις των προσωρινών ικριωμάτων καθορίστηκαν από τα μήκη των στοιχείων που συναρμολογήθηκαν. Η μεταφορά των τμημάτων του φορέα από το εργοστάσιο παραγωγής στη θέση ανέγερσής τους και η προσβασιμότητα των απαιτούμενων μηχανημάτων έθεσε περιορισμούς στις διαστάσεις και το μέγιστο βάρος για την επιλογή του μήκους των διαφόρων τμημάτων του φορέα. Κυριότερα και πιο ογκώδη στοιχεία ήταν οι πόδες στην περιοχή συναρμογής τόξου -ελκυστήρα. Οι ελκυστήρες χωρίστηκαν σε 6 τμήματα το μέγιστο των οποίων ήταν μήκους 22.00μ. Αυτό επέβαλε την απαίτηση ενός ακόμα ενδιάμεσου προσωρινού ικριώματος στην συγκεκριμένη περίπτωση για την αποφυγή παραμορφώσεων λόγω ιδίου βάρους. Έτσι συνολικά κατασκευάστηκαν για την ανέγερση του καταστρώματος τα δύο ακραία βάθρα (οι πυλώνες Π2 και Π3) και επτά ενδιάμεσα ικριώματα. Για την συναρμολόγηση του καταστρώματος απαιτήθηκε να

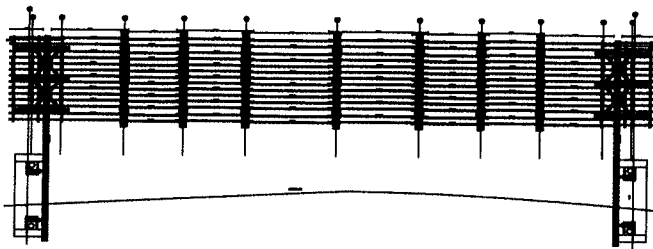
ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

κατασκευασθεί και προσωρινό δάπεδο εργασίας. Για λόγους διευκόλυνσης της κατασκευής, το εν λόγω δάπεδο εργασίας κατασκευάστηκε περίπου 80cm κάτω από το κάτω πέλμα του ελκυστήρα.

Για την ανέγερση των τόξων σχεδιάστηκαν ειδικά προσωρινά ικριώματα τα οποία εδράσθησαν στο άνω πέλμα του ελκυστήρα και στην ορθότροπη πλάκα καταστρώματος. Το τόξο χωρίστηκε σε πέντε τμήματα και το μέγιστο μήκος μεταφερομένου τμήματος ήταν 21.81μ. Για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκαν τέσσερις κύριοι πυλώνες στις θέσεις συγκόλλησης των ανεξαρτήτων τμημάτων του τόξου και πέντε ενδιάμεσοι πυλώνες για τον περιορισμό του βέλους κάμψεως λόγω του ίδιου βάρους κατά την φάση της ανέγερσης.



Σχ. 7: Κατά μήκος τομή προσωρινών έργων ανέγερσης της τοξωτής γέφυρας



Σχ. 8: Κάτοψη προσωρινών έργων ανέγερσης της γέφυρας

Για να είναι εφικτή η ολίσθηση της γέφυρας απαιτήθηκε η κατασκευή των δοκών ολίσθησης που κάλυψαν όλο το απαιτούμενο μήκος ολίσθησης γεφυρώνοντας την απόσταση μεταξύ των προσωρινών βάθρων Π2 και Π3 και των μεσοβάθρων Μ2 και Μ3.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ

Η συναρμολόγηση του καταστρώματος της γέφυρας άρχισε από τον πυλώνα Π3 προς τον πυλώνα Π2. Αρχικά συναρμολογήθηκαν οι δύο πόδες στην συναρμογή τόξου ελκυστήρα μαζί με την ακραία εγκάρσια δοκό. Στην συνέχεια συναρμολογήθηκαν ταυτόχρονα τα διαδοχικά τμήματα των ελκυστήρων μαζί με τις εγκάρσιες δοκούς που τους αντιστοιχούσαν. Τελευταία τοποθετήθηκαν οι πόδες στην περιοχή του πυλώνα Π2 μαζί με την αντίστοιχη ακραία εγκάρσια δοκό. Ακολούθησε η τοποθέτηση της ορθότροπης πλάκας καταστρώματος. Επί του ήδη ανεγερθέντος καταστρώματος τοποθετήθηκαν τα προσωρινά ικριώματα ανέγερσης του τόξου. Ακολούθησε η ανέγερση των τόξων τα οποία αποτελούνταν από 5 τμήματα το καθένα. Ταυτόχρονα με τα τόξα άρχισε και η ανέγερση των αντίστοιχων εγκάρσιων και διαγώνιων στοιχείων όπου αυτά υπήρχαν. Για λόγους ταχύτητας ανέγερσης, η ανέγερση των τόξων ξεκίνησε και από τα δύο άκρα της γέφυρας. Τελευταίοι τοποθετήθηκαν οι αναρτήρες.

ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΙΚΡΙΩΜΑΤΩΝ

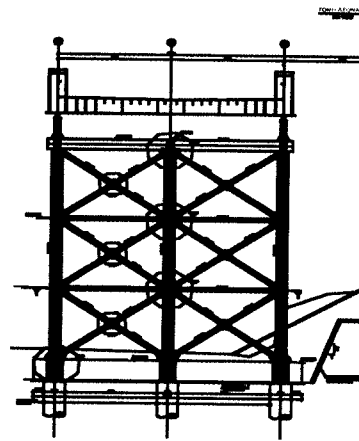
Όσον αφορά τον σχεδιασμό των προσωρινών ικριωμάτων, τόσο οι πυλώνες Π2 και Π3 καθώς και οι δύο δοκοί ολίσθησης σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να αναλάβουν το σύνολο των κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων (διαμήκως και εγκάρσιως) κατά την φάση της κατασκευής και της ολίσθησης της γέφυρας, ενώ τα επτά ενδιάμεσα ικριώματα ανέγερσης του καταστρώματος μόνο τα κατακόρυφα και εγκάρσια οριζόντια φορτία που τους αναλογούν από τις ενδιάμεσες ή μη φάσεις κατασκευής του φορέα. Αντίστοιχα οι κύριοι πυλώνες ανέγερσης των τόξων σχεδιάστηκαν για να φέρουν τα κατακόρυφα φορτία που τους αντιστοιχούν και το σύνολο των εγκάρσιων οριζόντιων φορτίων προερχόμενων από το τόξο στις διάφορες φάσεις κατασκευής. Οι

πέντε λοιποί πυλώνες ανέγερσης του τόξου σχεδιάστηκαν μόνο για τα αντίστοιχα κατακόρυφα φορτία των διαφόρων φάσεων κατασκευής. Σημαντικότερο θέμα ήταν η τυποποίηση των διαφόρων προσωρινών κατασκευών με λύσεις οι οποίες θα μπορούσαν να είναι εύκολα κατασκευάσιμες αλλά και να έχουν την πρόβλεψη -δυνατότητα εύκολης προσαρμογής σε διαφοροποιήσεις που θα προέκυπταν κατά την φάση ανέγερσης της κατασκευής εξασφαλίζοντας τελικώς με μεγάλη ακρίβεια την γεωμετρία του φορέα. Προβλέφθηκε δέσμευση της κατασκευής έναντι οριζόντιων μετακινήσεων λόγω σεισμού, ανέμου και άλλων ενδεχόμενων δράσεων με ταυτόχρονη πρόβλεψη ελευθερίας μικρομετακινήσεων λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών κατά μήκος.

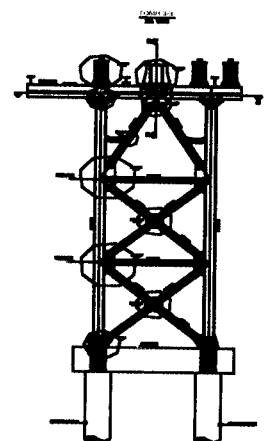
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ

ΠΡΟΣΩΡΙΝΟΙ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

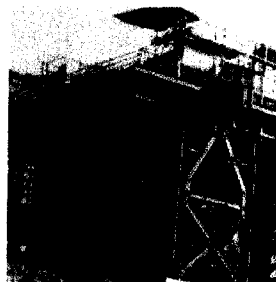
Οι προσωρινοί πυλώνες Π2 και Π3 κατασκευάστηκαν από 6 διπλούς στύλους ΗΕΒ500 οι οποίοι διατάχθηκαν σε κάναβο $5,25 \times (2 \times 6,40\text{m})$. Στη διάσταση των 5,25m διατάχθηκαν διαγώνια και οριζόντια στοιχεία ΗΕΒ300. Στο ανώτερο επίπεδο διατάχθηκαν διαγώνια στοιχεία μορφής Λ για να παρέχουν πρόσθετη στήριξη στη κύρια δοκό πάνω στην οποία στηρίζονταν οι δοκοί ολίσθησης. Στην διάσταση των $2 \times 6,4 = 12,80\text{m}$ τα αντίστοιχα κιαστί και οριζόντια στοιχεία επιλέχθηκαν ΗΕΑ240. Στην κορυφή του πυλώνα διατάχθηκαν περιμετρικά ισχυρές δοκοί ΗΕΒ800 οι οποίες μάλιστα στη διάσταση 5,25m τοποθετήθηκαν διπλές επειδή η δοκός κύλισης εδράσθη σε αυτές. Μεταξύ των υποπυλωμάτων διατάχθηκαν οριζόντια και κιαστί στοιχεία από $2\text{L}150 \times 15$. Το ύψος του πυλώνα Π2 ήταν 16.10m ενώ του πυλώνα Π3 10.56m, μετρούμενα από το πάνω μέρος των κεφαλόδεσμων έως την κατώτερη στάθμη των δοκών ολίσθησης. Η θεμελίωση των εν λόγω προσωρινών πυλώνων έγινε σε εσχάρα πασσάλων διαμέτρου Φ120. Τοποθετήθηκε ένας πάσσαλος κάτω από κάθε μεταλλικό στυλό, ενώ ο κεφαλόδεσμος κατασκευάστηκε διάστασεων $1,5,20 \times 7,65$ και ύψους 1,50m.



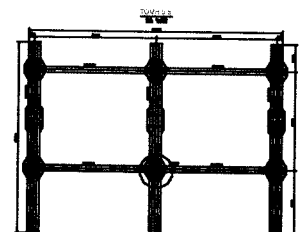
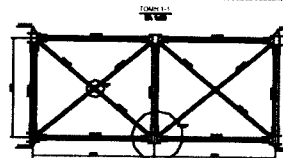
Σχ. 9.1: Τομή στη διάσταση 12,80m προσωρινού πυλώνα Π2



Σχ. 9.2: Τομή στη διάσταση 5,25m προσωρινού πυλώνα Π2



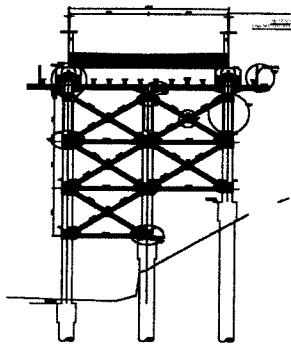
Φωτ. 5: Άποψη προσωρινού πυλώνα Π3



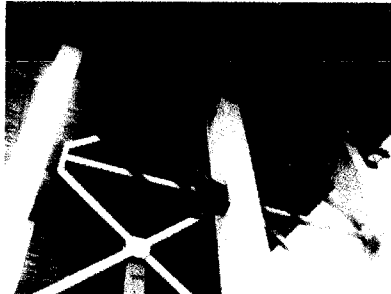
Σχ. 9.3: Κατόψεις πυλώνα Π2

ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Τα ενδιάμεσα προσωρινά ικρίωματα κατασκευάστηκαν από τρία υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 1,50*0,80m και τα οποία τοποθετήθηκαν εγκάρσιως σε αξονικές αποστάσεις των 6,40m. Η επιμήκης διάσταση των υποστυλωμάτων τοποθετήθηκε κατά την διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας. Εγκάρσιως τα εν λόγω υποστυλώματα συνδέθηκαν με διαγώνια και οριζόντια μεταλλικά στοιχεία από HEA260 σε διάφορα επίπεδα με σκοπό την αύξηση της ακαμψίας των εν λόγω προσωρινών ικριωμάτων. Οι συνδέσεις των μεταλλικών στοιχείων με τα υποστυλώματα έγιναν μέσω πλακών αγκύρωσης εγκιβωτισμένων σε αυτά. Στην κεφαλή των στύλων τοποθετήθηκε σύνθετη δοκός αποτελούμενη από δύο HEB360 σε απόσταση συνδεδεμένα μεταξύ τους με σύστημα διαγώνιων στοιχείων L70*7. Οι δοκοί αυτοί συνδέθηκαν με τα υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος μέσω μεταλλικών στύλων HEB600 οι οποίοι αρχικά ενσωματώθηκαν σε αυτά και προεξείχαν κατάλληλο μήκος πάνω από αυτά έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η σύνδεσή τους. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε μία σχετικά άσπρη και σταθερή σύνδεση μεταξύ των κεφαλών των στύλων. Η θεμελίωση των υποστυλωμάτων έγινε μέσω μεμονωμένων πασσάλων Φ120 με ή χωρίς κεφαλόδεσμο. Η στάθμη θεμελίωσης και η γεωμετρία της προσαρμόστηκε απόλυτα στην γεωμετρία του εδάφους ώστε να μην πραγματοποιηθούν εκκακώσεις. Τα συνολικά ύψη κυμαίνονται από 7,81 μ έως 18,40μ μετρούμενα από το κατώτερο σημείο των στύλων Ω/Σ έως το ανώτερο σημείο των δοκών HEB360 (1,35-1,39μ κάτω από το κάτω πέλμα του ελκυστήρα).



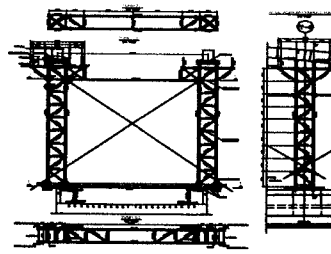
Σχ. 10: Όψη ενδιάμεσου ικριώματος



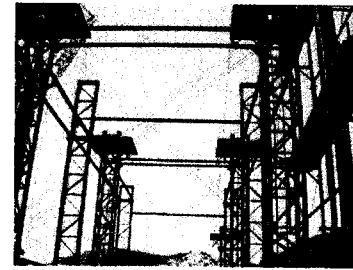
Φωτ. 6: Άοψη ενδιάμεσου ικριώματος

ΠΡΟΣΩΡΙΝΟΙ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΞΟΥ

Οι κύριοι πυλώνες των προσωρινών ικριωμάτων ανέγερσης του τόξου αποτελούνταν από δύο σύνθετα υποστυλώματα, τα οποία τοποθετήθηκαν εγκάρσιως ένα σε κάθε άξονα τόξου, συνδέθηκαν μεταξύ τους με οριζόντιες δοκούς στον πόδα και στην κεφαλή τους και σταθεροποιήθηκαν με την βοήθεια διαγώνιων χιαστί ελαφρώς προεντεταμένων καλωδίων. Τα σύνθετα υποστυλώματα έχουν κάτοψη τετραγωνική διαστάσεων 1.50μ Χ 1.50μ. Στους δύο υψηλότερους πυλώνες τοποθετήθηκαν υποστυλώματα διατομής HEB200 και ενδιάμεσως διαγώνια χιαστί στοιχεία διατομής L100.10 και στις τέσσερις πλευρές, ενώ στους δύο κοντινότερους πυλώνες HEA180 και διαγώνια στοιχεία L90.9. Κάθε τέτοιο προσωρινό ικρίωμα ήταν αυτοστηριζόμενο. Στην κορυφή των σύνθετων υποστυλωμάτων κατασκευάστηκε ειδική διάταξη έδρασης του τόξου. Οι ενδιάμεσοι πυλώνες ήταν της ίδιας μορφής με τα κύρια προσωρινά ικρίωματα μόνο που τα υποστυλώματα αποτελούνται από σύνθετα επίπεδα δίστυλα πλαίσια διατομής HEA260 με ενδιάμεσους διαγώνιους συνδέσμους διατομής L60.6. Για την παραλαβή των οριζοντίων φορτίων κατά μήκος της γέφυρας, τοποθετήθηκε αφενός μεν σύστημα οριζοντίων δοκών που συνδέουν του πυλώνες μεταξύ τους στον πόδα και την κεφαλή τους αφετέρου δε και διαγώνια ελαφρώς προεντεταμένα καλώδια μορφής Λ για την αύξηση της ακαμψίας τους. Τα εν λόγω προσωρινά ικρίωματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να απομακρυνθούν από τον φορέα μετά το πέρας της ανέγερσης του τόξου χωρίς να δημιουργηθούν βλάβες στο φορέα καταστρώματος. Το μέγιστο και ελάχιστο ύψος των εν λόγω προσωρινών ικριωμάτων ήταν 5,31 μ και 15,87μ αντίστοιχα.



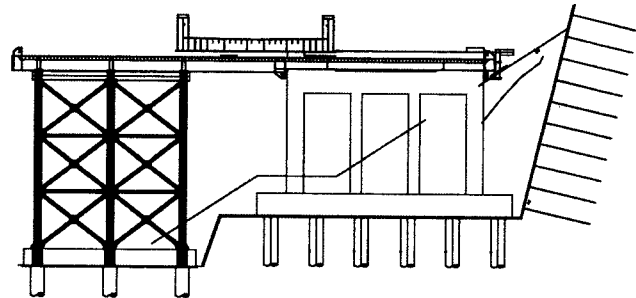
Σχ. 11: Τομές κύριου προσωρινού πυλώνα ανέγερσης τόξου



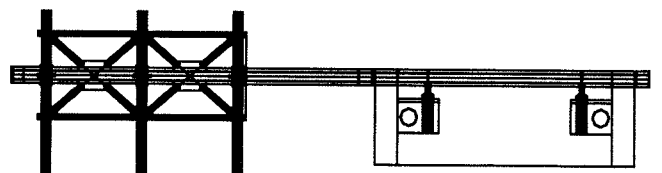
Φωτ. 7: Άοψη πυλώνων ανέγερσης τόξου

ΔΟΚΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

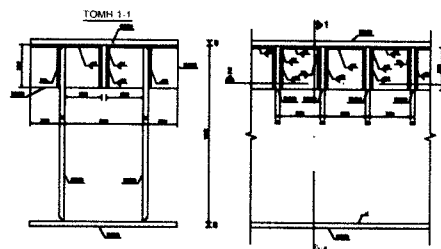
Η δοκός ολίσθησης κατασκευάστηκε μορφής κιβωτίου με εξωτερικές διαστάσεις 1000mm πλάτος και 1250 mm ύψος στο ελεύθερο τμήμα της ενώ το ύψος της πάνω στα μεσόβραθα M2 ή M3 μειώθηκε σε 965mm. Το μήκος της ήταν 42,61 μ. Το πάχος των πελμάτων ήταν 40mm ενώ των κορμών 35mm. Στο πάνω πέλμα τοποθετήθηκαν ενισχυτικά ελάσματα πάχους γενικά 30mm τα οποία τοποθετήθηκαν τόσο διαμήκως στο μέσο μεταξύ των κορμών όσο και εγκάρσιως σε αποστάσεις περίπου 300mm. Επιπλέον τοποθετήθηκαν κατάλληλα εγκάρσια διαφράγματα σε θέσεις στηρίξεων, συγκολλήσεων και ειδικές θέσεις αλλαγής της γεωμετρίας. Έτσι δημιουργήθηκε μία ορθότροπη πλάκα για την καλύτερη κατανομή της μεγάλης τοπικής θλίψης των φορέων κύλισης κατά την φάση της ολίσθησης. Στο πάνω πέλμα της δοκού ολίσθησης τοποθετήθηκε «οδηγός» με επικάλυψη από υλικό PTFE για να επιτευχθούν χαμηλές τιμές συντελεστών τριβής. Ανάμεσα στον φορέα και στην δοκό ολίσθησης ακριβώς κάτω από τους ελκυστήρες τοποθετήθηκαν οι κατάλληλοι μηχανισμοί-φορεία διαστάσεων κάτοψης περίπου 300*900mm πάνω στους οποίους εδράσθηκε ο φορέας της γέφυρας.



Σχ. 12: Κατά μήκος τομή δοκού ολίσθησης



Σχ. 13: Κάτοψη δοκού ολίσθησης



Σχ. 14: Εγκάρσια τομή δοκού ολίσθησης

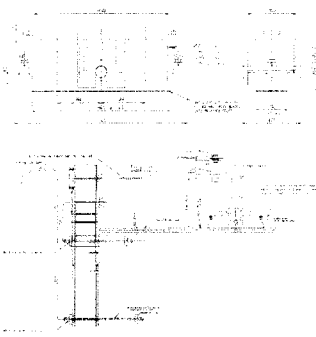
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Ο μηχανισμός ολίσθησης αποτελούνταν από τέσσερα ειδικά φορεία σε κάθε ένα από τα οποία ήταν ενσωματωμένοι δύο υδραυλικοί γρύλοι μεγάλης ανυψωτικής ικανότητας. Οι μηχανισμοί αυτοί κυλίστηκαν πάνω σε κατάλληλες ράγες οι οποίες εδράσθηκαν στα άνω πέλματα των δοκών ολίσθησης. Τόσο

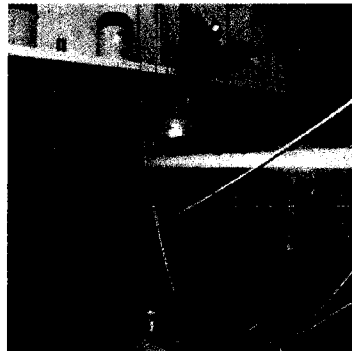
ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

στις ράγες όσο και στο κάτω πέλμα του μηχανισμού ολίσθησης τοποθετήθηκαν κατάλληλα φύλλα PTFE με τα οποία επιτεύχθηκε όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χαμηλός συντελεστής τριβής.

Στα δύο άκρα των δοκών ολίσθησης στις θέσεις των βάθρων M2 και M3 και προς την πλευρά του τέλους της ολίσθησης, τοποθετήθηκε κατάλληλη μεταλλική δοκός πάνω στην οποία στηρίχθηκαν οι «μηχανισμοί έλξης». Οι μηχανισμοί έλξης αποτελούνταν από δύο υδραυλικούς γρύλους, ένας σε κάθε μεσόβαθρο, οι οποίοι κατά την κίνησή τους προκαλούσαν την έλξη του φορέα. Για την κινητοποίηση του μηχανισμού έλξης χρησιμοποιήθηκαν ειδικές υδραυλικές αντλίες οι οποίες είχαν την δυνατότητα της πλήρους καταγραφής των πιέσεων των γρύλων και της δύναμης έλξης κατά την διάρκεια της ολίσθησης. Με τον τρόπο αυτό ελεγχόταν εάν και τα δύο σημεία έλξης κινούνται ταυτόχρονα. Η έλξη του φορέα έγινε με κατάλληλες ράβδους Φ36 υψηλής αντοχής οι οποίες συνδέθηκαν με τον φορέα της γέφυρας μέσω πείρου. Η μέγιστη δύναμη έλξης ήταν 650 KN.



Σχ. 15: Τομές μηχανισμού ολίσθησης



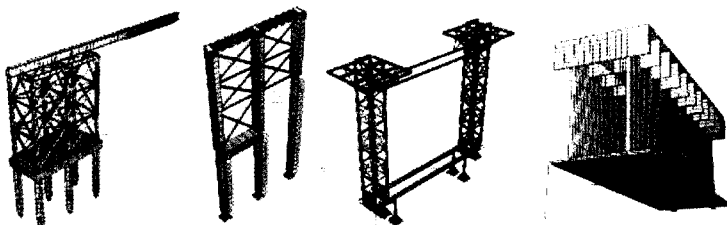
Φωτ. 8: Μηχανισμός ολίσθησης

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Αρχικά η γέφυρα ανυψώθηκε κατά 50mm έτσι ώστε να απελευθερωθεί από τα προσωρινά ικριώματα και στηρίχθηκε στους προσωρινούς πυλώνες Π2 και Π3 μέσω των τεσσάρων ειδικών φορέων. Κατά την διάρκεια της ανύψωσης γινόταν και σταδιακή απελευθέρωση των προσωρινών ικριωμάτων του τόξου. Μετά την ολοκλήρωση της ανύψωσης, έγινε ένας γενικός εποπτικός έλεγχος του φορέα. Στην συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία ολίσθησης της γέφυρας η οποία είχε διάρκεια μαζί με τους ενδιάμεσους ελέγχους περίπου έξι ώρες. Η ολίσθηση γινόταν σε βήματα της τάξεως των 75 εκατοστών. Μετά την ολοκλήρωση της ολίσθησης, ακολούθησε η διαδικασία καταβίβασης - έδρασης του φορέα στα ελαστομεταλλικά εφέδρανα και επακολούθησε έλεγχος της συμπεριφοράς- παραμόρφωσης των εφεδράνων λόγω της επιβολής του φορτίου της γέφυρας.

ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΕΡΓΩΝ

Για όλα τα προσωρινά έργα έγιναν στατικές αναλύσεις οι οποίες έλαβαν υπόψη τους εκτός από τα μόνιμα φορτία, τα κινητά φορτία εργασίας, τις δράσεις ανέμου και σεισμού αλλά και τις ειδικές δράσεις που προέκυπταν από την διαδικασία ολίσθησης της γέφυρας. Ιδιαίτερα δύσκολη και λεπτομερής ήταν η μελέτη της ολίσθησης του φορέα λόγω της τοπικής εισαγωγής πολύ μεγάλου φορτίου στα τέσσερα «κινητά» σημεία στήριξης της γέφυρας στο πάνω πέλμα των δοκών ολίσθησης.



Σχ. 16: Ενδεικτικά προσομοιώματα προσωρινών έργων ανέγερσης της γέφυρας

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Όσον αφορά τον τοξωτό φορέα το ίδιο βάρος του μεταλλικού τμήματος του φορέα ανέρχεται σε 11,5 kN ανά μ2 κάτοψης είτε 146 kN ανά μέτρο μήκους ερυθράς ενώ το αντίστοιχο ίδιο βάρος των προσωρινών έργων ανέγερσης αντι-

στοιχεί σε 6,0 kN ανά μ2 κάτοψης είτε σε 78 kN ανά μέτρο μήκους ερυθράς. Η μελέτη των προσωρινών έργων ανέγερσης της γέφυρας ήταν το ίδιο επίπονη όσο και η βασική μελέτη του έργου. Όσον αφορά τις γέφυρες πρόσβασης το ίδιο βάρος του μεταλλικού τμήματος ανέρχεται σε 3,2 kN ανά μ2 κάτοψης είτε 27,4 kN ανά μέτρο μήκους ερυθράς.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Κύριος του έργου είναι η ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε., Ανάδοχος η Κοινοπραξία ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ - ΠΙΑΝΤΕΧΝΙΚΗ ΑΕ. Η κατασκευή και ανέγερση των μεταλλικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε από την ΕΛΕΜΚΑ ΑΕ. Η στατική μελέτη του έργου εκπονήθηκε από τη εταιρεία Ν. Λουκάτος και Συνεργάτες Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ, ενώ η εδαφοτεχνική μελέτη από την εταιρεία Κάστωρ ΕΠΕ με υπεύθυνο τον Ι. Μεταξά Δρ. Πολ. Μηχανικό. Η συμβολή των μελών και των συνεργατών των εταιριών αυτών υπήρξε ανεκτίμητη τόσο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης όσο και κατά την φάση της κατασκευής του έργου, χωρίς τη συμμετοχή των οποίων θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωσή του. Τις ευχαριστίες μας εκφράζουμε και στους ειδικούς συμβούλους που εργάστηκαν μαζί μας καθόλη τη διάρκεια της μελέτης καθοδηγώντας και φωτίζοντας δύσκολα σημεία του έργου. Πιο συγκεκριμένα ως ειδικοί σύμβουλοι συνεργάστηκαν μαζί μας καθοδήγησαν και κάλυψαν τμήματα της μελέτης οι Δρ. Πολ. Μηχ. Ερμούπολος Ιωάννης Καθηγητής ΕΜΠ, Δρ. Πολ. Μηχ. Κουμούσης Βλάσης Καθηγητής ΕΜΠ, Δρ. Πολ. Μηχ. Γαντές Χαράλαμπος Αν. Καθηγητής ΕΜΠ, Δρ. Πολ. Μηχ. Βάγιας Ιωάννης Καθηγητής ΕΜΠ, Dr. -Ing. Anil Anwar, Δρ. Μηχ. Μηχ. Θεοδωρίδης Γεώργιος Flow-Dynamic Hellas Α.Ε, Τριγινταφύλλου Σάββας Πολ. Μηχ ΕΜΠ, Δρ. Πολ. Μηχ. Δήμου Χρήστος. Ευχαριστίες ανήκουν επίσης στους επιβλέποντες της μελέτης Δ. Κουτσούκο Δρ. Πολ. Μηχ., Γεωργίου Ελένη Πολ. Μηχ. αλλά και στον τότε Διευθύνοντα Σύμβουλο της ΕΡΓΑ ΟΣΕ Νικόλαο Κούρεντα Πολ. Μηχ. για την υποστήριξη τους σε όλη την διάρκεια της μελέτης του έργου. Επίσης στους επιβλέποντες κατά την φάση κατασκευής του έργου Ηλία Χρονόπουλο Πολ. Μηχ., από πλευράς Διευθύνουσας Υπηρεσίας Σαραντίδη Πολ. Μηχ., και στον Διευθυντή του Τομέα Ι Γρηγόρη Σαμπατακάκη Πολ. Μηχ. Τέλος υπεύθυνοι από πλευράς της ΕΛΕΜΚΑ ήταν οι Ανέστης Χατζηπαναγιωτίδης Πολ. Μηχ. και Αθανάσιος Αρώνης Πολ. Μηχ., ενώ από την πλευρά του Αναδόχου η συμμετοχή των οποίων ήταν επίσης σημαντική υπεύθυνοι ήταν οι Αθανάσιος Χρυσίνας Πολ. Μηχ. ως Διευθυντής Έργου και ο Παναγιώτης Δριβας Πολ. Μηχ. ως υπεύθυνος έργου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μεταλλικές γέφυρες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς παλαιότερα ιδίως στη δημιουργία του σιδηροδρομικού δικτύου της χώρας. Παρόλο που το προεντεταμένο σκυρόδεμα αντικατέστησε σε πολλές περιπτώσεις το χάλυβα τα πιο πρόσφατα χρόνια, παρατηρείται τον τελευταίο καιρό μια όλο και μεγαλύτερη χρήση του χάλυβα για την κατασκευή αποκλειστικά μεταλλικών ή και σύμμικτων γεφυρών ιδίως για σιδηροδρομική χρήση. Με την μελέτη αυτή επιχειρείται η χρήση σύμμικτου και μεταλλικού φορέα σε μια γέφυρα με μεγάλο κεντρικό άνοιγμα και αρκετούς περιορισμούς λόγω της ιδιαιτερότητας της χάραξης (μικρό διαθέσιμο ύψος, καμπύλη χάραξη σε οριζοντιογραφία, μεγάλο άνοιγμα, απαγόρευση πρόσβασης στην περιοχή που αναπτύσσεται η κατολισθηση). Η χρήση σύμμικτου κιβωτοειδούς φορέα για τις προσβάσεις και μεταλλικού τοξωτού φορέα για το κεντρικό άνοιγμα, με τις δυνατότερες προκατασκευής μεγάλων τμημάτων και με τη μεγάλη αντοχή που προσφέρει ο χάλυβας έδωσε τη δυνατότητα να αντιμετωπιστούν, πιστεύουμε ικανοποιητικά, όλες οι ιδιαιτερότητες του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση, ΥΠΕΧΩΔΕ, Οκτώβριος 2005
- [2] Βάγιας Ιωάννης, Σύμμικτες Κατασκευές 2η έκδοση, Κλειδάριθμος 2001
- [3] Ερμούπολος Ιωάννης, Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες, Κλειδάριθμος 2000
- [4] Bauer T., Müller M., Uth H., Eisenbahnbrückenbau nach DIN-Fachbericht Band 2, Bauer 2003
- [5] Le Bulletin Ponts Metalliques, no 19
- [6] Xanthakos P. Petros, Theory and Design of Bridges, John Wiley & Sons Inc., 1994

Προμηθευτές και διαφημιζόμενοι του έργου

ΕΛΕΜΚΑ ΑΕ
HEMPEL

Ν. ΛΟΥΚΑΤΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΑΕ
ELTRAK ΑΕ

Τεχνική Εταιρία
Χρώματα
Στατική Μελέτη
Ενοικίαση ηλεκτροπαραγωγών
ζευγών & προμήθεια
μηχανημάτων έργων
Ανυψωτικά Μηχανήματα

ΠΑΥΛΙΩΤΗΣ