

Σχεδιασμός σεισμικά μονωμένης γέφυρας φορέα προκατασκευασμένων δοκών με αποκατάσταση συνέχειας.

Νικόλαος Φαρδής

Πολ.Μηχανικός ΕΜΠ, M.Sc. TU Delft, nfardis@denco.gr

Χρήστος Κατσάρας

Πολ.Μηχανικός ΕΜΠ, M.Sc. Berkeley, ckatsaras@denco.gr

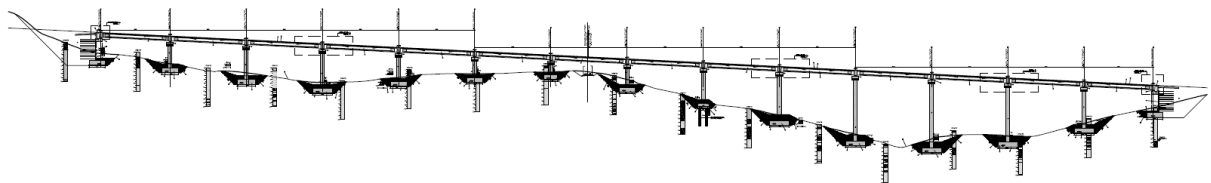
Δρ. Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

Πολ.Μηχανικός, Phd Παν. Πάτρας, trpanagiotakos@dencopc.gr

Εκτενής περίληψη

Η γέφυρα G043 βρίσκεται στην Χ.Θ. 118+571.44 του αυτοκινητόδρομου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ - ΤΜΗΜΑ 2 ΑΓΡΙΝΙΟ – ΑΡΤΑ. Αποτελείται από δύο (2) ξεχωριστούς κλάδους (έναν για κάθε διεύθυνση κυκλοφορίας) συνολικού μήκους 542m. Ο φορέας καταστρώματος είναι συνεχής από άκρο σε άκρο και αποτελείται από προκατασκευασμένες δοκούς με αποκατάσταση συνέχειας των δοκών στην θέση των βάθρων. Λόγω των δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών (έδραση σε φλύσχη χαμηλής επιτρεπόμενης τάσης) και της μεγάλης ανομοιομορφίας στα ύψη των βάθρων (7.0m έως 34.5m) επιλέχθηκε η λύση της σεισμικής μόνωσης του φορέα με εφέδρανα εκκρεμούς τριβής (Friction Pendulum System). Στην θέση πίσω από τα ακρόβαθρα (ύψους 15m) διαμορφώνεται μέτωπο οπλισμένης γης.

Σημειώνεται ότι είναι η πρώτη φορά που στην Ελλάδα μελετάται και κατασκευάζεται η λύση γέφυρας προκατασκευασμένων – προεντεταμένων δοκών με πλήρη αποκατάσταση της συνέχειας του φορέα στις στηρίξεις σε συνδυασμό με εφαρμογή συστήματος σεισμικής μόνωσης. Με την λύση αυτή βελτιστοποιήθηκε ο σχεδιασμός των προκατασκευασμένων δοκών με την μεταφορά τμήματος της ροπής ανοίγματος στην στήριξη. Η επιλογή της σεισμικής μόνωσης αντιμετώπισε τόσο την έντονη μη-κανονικότητα των βάθρων λόγω της έντονης υψομετρικής διαφοράς του αναγλύφου όσο και την θεμελίωση σε δυσμενείς συνθήκες εδάφους με την μείωση της απαίτησης στην θεμελίωση του τεχνικού.



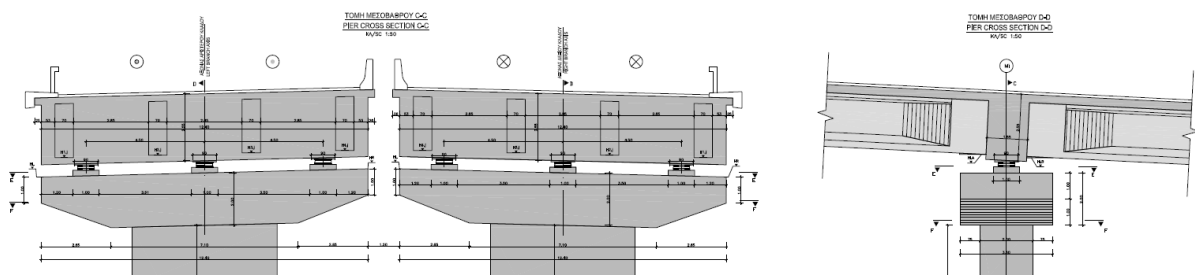
Σχ. 1 Κατά μήκος τομή γέφυρας G043.

Κάθε κλάδος αποτελείται από δεκατέσσερα (14) ανοίγματα μήκους 35.50m - 12x39.00m -35.50m και έχει μήκος 539.00m μετρούμενο μεταξύ των αξόνων θεωρητικής στήριξης και κατά μήκος του άξονα κάθε κλάδου. Το συνολικό πλάτος κάθε κλάδου της γέφυρας είναι 13.26m εκ των οποίων η επιφάνεια

κυκλοφορίας καταλαμβάνει πλάτος 11.45. Στην εξωτερική πλευρά κάθε κλάδου προβλέπεται πεζοδρόμιο πλάτους 1.25m, ενώ στην εσωτερική πλευρά πλάτους 0.56 τοποθετείται στηθαίο τύπου New Jersey. Η καθαρή απόσταση μεταξύ των κλάδων είναι 0.68m.

Ο φορέας της ανωδομής είναι συνεχής και αποτελείται από τέσσερις (4) ανά άνοιγμα προεντεταμένες προκατασκευασμένες δοκούς, ύψους 2.05m οι άξονες των οποίων απέχουν μεταξύ τους εγκάρσια 3.55m. Οι δοκοί είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα ποιότητας C35/45. Το μήκος των προκατασκευασμένων δοκών είναι 34.00m για τα ακραία ανοίγματα και 37.50m για τα μεσαία ανοίγματα. Ο φορέας συμπληρώνεται με πρόπλακες πάχους 0.08m και επί τόπου πλάκα καταστρώματος από έγχυτο σκυρόδεμα C35/45 ελάχιστου πάχους 0.20m. Το συνολικό πάχος της πλάκας του καταστρώματος είναι κατ' ελάχιστο 0.28m και το συνολικό ύψος του φορέα της ανωδομής είναι επίσης κατ' ελάχιστο 2.29m. Στην θέση κάθε βάθρου οι προκατασκευασμένες δοκοί των εκατέρωθεν ανοιγμάτων συνδέονται μεταξύ τους μέσω επί τόπου χυτής διαδοκίδας από σκυρόδεμα ποιότητας C35/45, πάχους 1.55m, συνολικού ύψους 2.55m και πλάτους 12.40m. Στην θέση των διαδοκίδων και για ένα μήκος εκατέρωθεν αυτών, εφαρμόζεται προένταση της πλάκας καταστρώματος. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται συνέχεια του φορέα καταστρώματος από άκρο σε άκρο. Για την τάνυση των τενόντων αυτών διαμορφώνονται προεξοχές αγκύρωσης (blister) που προεξέχουν στην κάτω πλευρά της πλάκας καταστρώματος. Η άνω επιφάνεια της πλάκας διαμορφώνεται μονοκλινής, ακολουθώντας την μεταβλητή επίκλιση του οδοστρώματος.

Για την έδραση του φορέα στα βάθρα και τα ακρόβαθρα χρησιμοποιούνται ανά βάθρο τρία (3) εφέδρανα εκκρεμούς τριβής με ολίσθησης σε καμπύλη επιφάνεια και μέγιστη μετακίνηση σχεδιασμού 375mm. Στα άκρα του καταστρώματος στις θέσεις των ακροβάθρων τοποθετούνται αρμοί συστολοδιαστολής με ικανότητα μετακίνησης ± 280 mm.

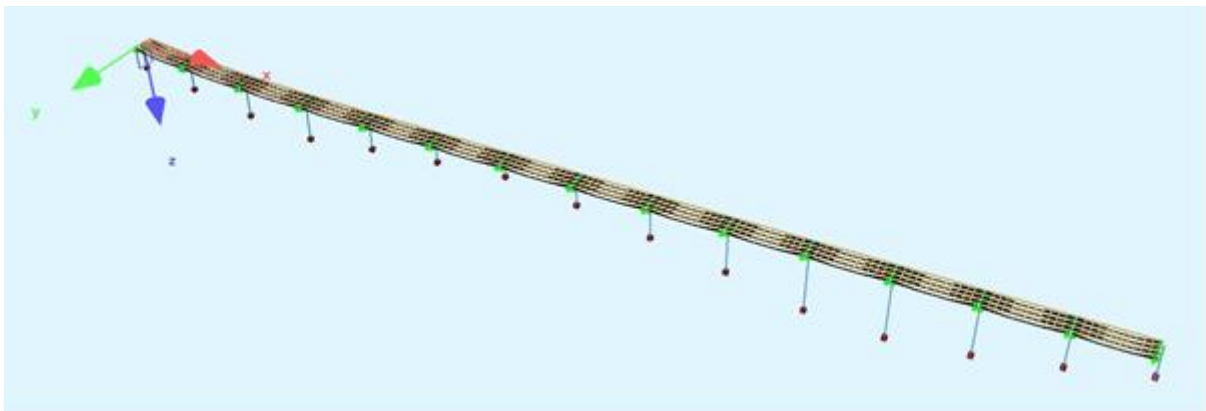


Σχ. 2 Τομές Φορέα καταστρώματος στην θέση των βάθρων.

Τα βάθρα είναι τοιχοειδή στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα C30/37, ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 2.00x5.50m, που καταλήγουν στην κορυφή σε κεφαλή μήκους 12.40m, πλάτους 3.50m και μεταβλητού πάχους από 1.00m έως 2.00m, όπου εδράζεται ο φορέας του καταστρώματος. Η κεφαλή των βάθρων ακολουθεί την επίκλιση του καταστρώματος στην αντίστοιχη θέση. Τα βάθρα των δύο κλάδων θεμελιώνονται κατά κανόνα επιφανειακά μέσω μεμονωμένων ορθογωνικών πεδίων από σκυρόδεμα C30/37. Στην περίπτωση των ψιλών βάθρων M10, M11 και M12 το πέδιλο θεμελίωσης είναι κοινό για τους δύο κλάδους. Εξαιρέση επίσης αποτελεί η θεμελίωση των μεσοβάθρων M8 δεξιού και αριστερού κλάδου όπου η θεμελίωση πραγματοποιείται με πασσάλους από σκυρόδεμα C20/25 διαμέτρου $\varnothing 120$ η έμπηξη των οποίων πραγματοποιείται στο στρώμα Φλύσχη.

Κάθε ακρόβαθρο αποτελείται από τρεις (3) στύλους από οπλισμένο σκυρόδεμα C30/37, συμπαγούς ορθογωνικής διατομής διαστάσεων $3.25 \times 1.00\text{m}$ με αξονική μεταξύ τους απόσταση 4.50m . Στην κορυφή, οι στύλοι συνδέονται με κεφαλοδοκό μήκους 12.91m και διατομής $3.25 \times 1.50\text{m}$, πάνω στην οποία εδράζεται ο φορέας καταστρώματος. Η κεφαλοδοκός ακολουθεί την κατά πλάτος κλίση του φορέα καταστρώματος. Πίσω από τα ακρόβαθρα διαμορφώνεται μέτωπο οπλισμένης γης σύμφωνα με την σχετική γεωτεχνική μελέτη. Ως αποτέλεσμα αυτού τα ακρόβαθρα δεν δέχονται ωθήσεις γαιών παρά μόνο σε ένα τμήμα μικρού ύψους στην κορυφή των θωρακίων. Στο θωράκιο κάθε ακροβάθρου στηρίζεται φορέας πρόσβασης από οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25, διαστάσεων κάτοψης $10.50 \times 11.60\text{m}$. Τα ακρόβαθρα κάθε κλάδου θεμελιώνονται επιφανειακά μέσω κοινού πεδίου από σκυρόδεμα C30/37, διαστάσεων κάτοψης $8.00 \times 25.50\text{m}$ και πάχους 2.50m .

Η ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα της ανωδομής, των ακροβάθρων και της θεμελίωσης γίνεται με κατάλληλα χωρικά προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων τα οποία αποδίδουν με ικανοποιητική προσέγγιση την κατανομή των δυσκαμψιών, των μαζών και των συνθηκών στήριξης. Ο φορέας της ανωδομής (κατάστρωμα, μεσοβάθρα και ακρόβαθρα) προσομοιώνονται με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία δοκού (κατακόρυφα και οριζόντια) με κατάλληλη διακριτοποίηση. Τα οριζόντια μέλη που προσομοιώνουν τις προκατασκευασμένες δοκούς και το συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας καταστρώματος διατάσσονται κατά μήκος του άξονα της γέφυρας. Η συνεργασία της πλάκας καταστρώματος κατά την εγκάρσια διεύθυνση προσομοιώνεται με εγκάρσια στοιχεία κατάλληλης δυσκαμψίας (εσχάρα δοκών). Οι διαδοκίδες προσομοιώνονται επίσης με στοιχεία δοκού. Στις θέσεις των στηρίξεων του καταστρώματος στα βάθρα και τα ακρόβαθρα εισάγονται ελατήρια κατάλληλης ακαμψίας τα οποία προσομοιώνουν τα προβλεπόμενα εφέδρανα. Τα πέδιλα της θεμελίωσης μεσοβάθρων και ακροβάθρων αναλύονται με ανεξάρτητα προσομοιώματα από επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους που προσομοιώνουν τον κεφαλόδεσμο. Στα θεμέλια με πάσσλους, οι πάσσαλοι προσομοιώνονται με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία δοκού. Οι αντιδράσεις της ανωδομής εισάγονται ως φορτίσεις. Το θωράκιο και ο πτερυγότοιχος των ακροβάθρων προσομοιώνονται σε ξεχωριστό μοντέλο όπου προσομοιώνονται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους. Η στατική ανάλυση γίνεται γενικά με τη πλήρη δυσκαμψία των στοιχείων (δυσκαμψία σταδίου I). Για την στατική ανάλυση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SOFISTIK.



Σχ. 1 Μοντέλο ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

Η σεισμική ανάλυση της ανωδομής (κατάστρωμα και βάρθρα) πραγματοποιείται στο παραπάνω προσομοίωμα σύμφωνα την μέθοδο της δυναμικής φασματικής ανάλυσης. Η ανάλυση φασματικής απόκρισης προσομοιώνει την μη-γραμμική συμπεριφορά του συστήματος σεισμικής μόνωσης με ισοδύναμο γραμμικό προσομοίωμα που ορίζεται από την ενεργό γραμμική δυσκαμψία K_{eff} και από την ενεργό ιξώδη απόσβεση ξ_{eff} με όμοιο τρόπο όπως την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου. Η χωρική κατανομή των μαζών και των δυσκαμψιών της κατασκευής λαμβάνεται υπόψη με χωρικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων δοκού. Πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις α) η ανάλυση κάτω ορίου με τις τιμές κάτω ορίου για τις παραμέτρους σχεδιασμού και β) η ανάλυση άνω ορίου με τις τιμές άνω ορίου για τις παραμέτρους σχεδιασμού.

Βιβλιογραφία

- DIN 1045 : ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ
- DIN 1075 : ΓΕΦΥΡΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ
- DIN 1072 : ΟΔΟΓΕΦΥΡΕΣ ΚΑΙ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΕΣ - ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- DIN 4227 : ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
- DIN 1054 : ΥΠΕΔΑΦΟΣ - ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ
- DIN 4014 : ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ
- ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε39/99/ΥΠΕΧΩΔΕ : ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΦΥΡΩΝ
- ΕΑΚ 2003 : ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ
- Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση - ΥΠΕΧΩΔΕ - Φεβ. 2007
- EN 1998-2 : 2005 Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός σχεδιασμός - Μέρος 2: Γέφυρες
- SOFiSTiK ANALYSIS PROGRAMS - Oberschleissheim, 2009