

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Δ.Π.Μ.Σ. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ - ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ Α'
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΩΝ

Η ΤΟΞΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΡΥΤΑΙΝΑΣ
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ &
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΝΟΛΗΣ ΚΟΡΡΕΣ Καθηγητής Αρχιτεκτονικής ΕΜΠ



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΞΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ	6
1.1 ΚΑΤΑΒΟΛΕΣ	6
1.2 ΤΟ ΝΕΟ ΥΛΙΚΟ	8
1.3 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ	10
1.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	12
1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	17
1.6 ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ	20
1.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ	25
1.8 ΤΟΞΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	26
2 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	28
2.1 ΘΕΣΗ	28
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	28
2.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ & ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	29
2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	31
2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ	31
2.6 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	31
2.7 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΗΜΑΤΟΣ	37
2.8 ΥΛΙΚΑ	42
2.9 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	44
2.10 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ & ΒΛΑΒΩΝ	44
2.11 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ	45
2.12 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ & ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ	47
2.13 ΔΙΑΓΝΩΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	47
3 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	48
3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ	48
3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ	48
3.3 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ	49
3.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	50
3.5 ΦΟΡΤΙΑ	50
3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	52
3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58

4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ	59
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	59
4.2 ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ	59
4.3 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	60
4.4 ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	61
4.5 ΑΛΛΑΓΗ ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΑ & ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	61
4.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	61
5 ΑΝΑΛΥΣΗ & ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	64
5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ	64
5.2 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ	65
5.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	65
5.4 ΦΟΡΤΙΑ	66
5.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	67
6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' : ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ	
A.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	
A.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ	
A.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' : ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ' : ΣΧΕΔΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ' : ΣΧΕΔΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗΣ - ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πλησίον του ιστορικού οικισμού της Καρύταινας βρίσκονται δύο γέφυρες που ενώνουν τις πλαγιές μεταξύ των οποίων ρέει ο ποταμός Αλφειός, πλησίον της συμβολής του με τον ποταμό Λούσιο. Αποτελούν τμήμα της διαδρομής που συνδέει την Ανδρίτσαινα με τη Στεμνίτσα, δια μέσου της ομώνυμης ιστορικής κωμόπολης.

Η παλαιότερη εκ των δύο είναι λίθινη και χρονολογείται στο βυζαντινό μεσαίωνα, με ανακατασκευές κατά το 1441 και μετά τον εμφύλιο πόλεμο.

Η νεώτερη τοξωτή γέφυρα από ωπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης τα παρούσας εργασίας, κατασκευάστηκε κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1950 πλάι στην λίθινη. Η τυπολογία και στατική της λειτουργία είναι αυτή του τριαρθρωτού τόξου, καθώς οι εδράσεις στα βάθρα και την περιοχή της κλείδας είναι διαμορφωμένες κατά τρόπο μη μονολιθικό. Πρόκειται για μια από τις παλαιότερες γέφυρες σκυροδέματος στην Ελλάδα, και από τις μεγαλύτερες στο είδος της.

Η εργασία έχει σκοπό να αναζητήσει τις απαρχές και την εξέλιξη των τοξωτών γεφυρών από ωπλισμένο σκυρόδεμα, να τεκμηριώσει τον τρόπο κατασκευής της, να αποτιμήσει την φέρουσα ικανότητά της σε σύγχρονους όρους, να προτείνει τυχόν επεμβάσεις ενίσχυσης ή αποκατάστασης και, τελικώς, να προβεί σε μια κριτική θεώρηση περί του μνημειακού χαρακτήρα των σύγχρονων τεχνικών έργων και τη σχετική διαχείρισή τους υπό το σύνθετο πλέγμα των αναστηλωτικών αρχών και των αυξημένων απαιτήσεων λειτουργικότητας και ασφάλειας.

Ο χρόνος εκπόνησης της εργασίας ήταν ο χειμώνας του 2015- 2016, ενώ οι επισκέψεις στο έργο πραγματοποιήθηκαν κατά την άνοιξη και το χειμώνα του 2015.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον πολιτικό μηχανικό ΕΜΠ Βασίλη Κασίμη, απόφοιτο του μεταπτυχιακού προγράμματος, με τη συμβολή του οποίου έγιναν οι μετρήσεις αποτύπωσης και ανταλλαγή απόψεων και προβληματισμών κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστίες οφείλονται επίσης στον πολιτικό μηχανικό ΕΜΠ, απόφοιτο του ιδίου μεταπτυχιακού προγράμματος, Χρήστο Γιαννέλο για τη συμβολή του σε θέματα κανονιστικού πλαισίου φορτίσεων γεφυρών, στον τελειόφοιτο της σχολής αρχιτεκτόνων μηχανικών ΕΜΠ Ιωάννη Κουφόπουλο για την τελική επιμέλεια των σχεδίων αποτύπωσης και πρότασης, και στον Μιχάλη Κουφόπουλο, τελειόφοιτο της σχολής μηχανολόγων μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών που προσεφέρθη να φωτογραφίσει και να βιντεοσκοπήσει τη γέφυρα με τηλεκατευθυνόμενη ιπτάμενη συσκευή (drone).

Η επιλογή του θέματος οφείλεται στον επιβλέποντα καθηγητή ΕΜΠ Μανόλη Κορρέ, στον οποίο πρέπει και οι περισσότερες ευχαριστίες, καθώς έδωσε την αφορμή για εμβάθυνση στη γεφυροποιία, που συνιστά ίσως τον σημαντικότερο κλάδο της επιστήμης και της εφαρμογής των πολιτικών μηχανικών.

1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΞΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

1.1 ΚΑΤΑΒΟΛΕΣ

Οι απαρχές της γεφυροποιίας φτάνουν βαθιά στο παρελθόν όσο και ο άνθρωπος. Η ετυμολογία της λέξεως γέφυρα «γη+επί+ύδωρ», αποδίδει το διαρκές αίτημα του ανθρώπου για ανεμπόδιστη μετακίνηση στο περιβάλλον του και την ανάγκη για άρση κάθε περιορισμού, κατά κανόνα υδάτινου.

Η φύση απαντά συχνά από μόνη της σε αυτό το πρόβλημα, καθώς πεσμένοι κορμοί δέντρων συνδέουν αντίπερα όχθες ποταμών, συνιστώντας πρώιμες μορφές δοκών. Αντιστοίχως, σχοινοειδή κλαδιά δέντρων από τα οποία ζώα και άνθρωποι μπορούν να κρεμαστούν και να συλλέξουν καρπούς ή να κινηθούν υψηλότερα από το έδαφος, έδωσαν την ιδέα της αναρτημένης γεφύρωσης.

Αν παραβλεφθούν λόγω σπανιότητας οι τοξωτοί φυσικοί σχηματισμοί (Εικ. 1.1), το τόξο μπορεί ενδεχομένως να θεωρηθεί η πρώτη φέρουσα διάταξη που να έχει προκύψει από την ανθρώπινη διάνοια. Το κανονικό τόξο, σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό τι το εκφορικό, προϋποθέτει σύλληψη και κατανόηση της γεωμετρίας και της δομικής συμπεριφοράς, σχεδιασμό των δομικών μελών και κατάλληλης λάξευσης και τοποθέτησής τους.



Εικ. 1.1 : Rainbow bridge - Utah (φυσικό τόξο)

Τα αρχαιολογικά ευρήματα τοποθετούν την παλαιότερη εμφάνιση του τόξου ως φορέα γεφύρωσης στη γεωγραφική έκταση και τους χρόνους της Μεσοποταμίας. Στον Ελλαδικό χώρο είναι ιδιαίτερως γνωστή η γέφυρα της Καζάρμας, αν και υποτυπώδης, που χρονολογείται στη Μυκηναϊκή περίοδο (Εικ. 1.2).



Εικ. 1.2 : Γέφυρα Καζάρμας - Μυκήνες (1300 π.Χ)

Παρότι δεν ήταν άγνωστο, το τόξο πρακτικώς δεν χρησιμοποιήθηκε στην αρχαία ελληνική οικοδομική, τουλάχιστον αυτή των υψηλών αξιώσεων, που χρησιμοποιούσε λίθους ως υλικά δόμησης και αρκετά από τα επιτεύγματά της σώζονται ως τις μέρες μας.

Η πρώτη περίοδος ανάπτυξης και ευρείας χρήσης του τόξου στη γεφυροποιία ήταν οι Ρωμαϊκοί χρόνοι. Η βούληση των Ρωμαίων να επεκτείνουν και να ελέγξουν την αυτοκρατορία τους γέννησε την αναγκαιότητα για αντιστοίχου εμβέλειας οδικό δίκτυο, το οποίο ασφαλώς θα έπρεπε να διέρχεται άνωθεν ποταμών και λοιπών γεωγραφικών εμποδίων. Ο πολιτισμός τους άφησε συγκλονιστικών διαστάσεων έργα (Εικ. 1.3) που μένουν ακέραια για σχεδόν δύο χιλιετίες.



Εικ. 1.3 : Ρωμαϊκή γέφυρα Alcántara - Ισπανία (106 μ.Χ.)

Κατά τους χρόνους της ανατολικής ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και τον μεσαίωνα, το οδικό δίκτυο δεν επεκτάθηκε καθώς ο μεγάλος όγκος των μετακινήσεων γινόταν δια θαλάσσης, όπως και στους αρχαίους χρόνους. Άλλωστε, οι μετακινήσεις κατά το μεσαίωνα περιορίζονταν σε μεμονωμένους αναβάτες ή ομάδες, δίχως μεγάλες άμαξες ή άλλα μέσα, γεγονός που μαρτυρά η υποβάθμιση του οδικού δικτύου και το περιορισμένο πλάτος των γεφυρών που διατηρούνται από τότε. Άλλωστε, τα έργα των Ρωμαίων υπήρχαν ήδη και κάλυπταν επαρκώς τις ανάγκες.

Όπως και για σχεδόν όλους τους τομείς της ανθρώπινης δημιουργίας, η Αναγέννηση σηματοδότησε την αρχή μιας νέας περιόδου ακμής για τη γεφυροποιία. Ωστόσο, η πρόοδος αυτή δεν αποτυπώθηκε μάλλον σε μεγαλύτερα ανοίγματα και ύψη από τα ρωμαϊκά, αλλά σε μεγαλύτερα μήκη συνεχών τόξων (Εικ. 1.4), τολμηρότερες λυγηρότητες, λεπτότερα βάθρα και χαμηλά βέλη καθώς οι γέφυρες έως τον 18ο αιώνα περίπου χτίζονταν για πόλεις (Παρίσι, Φλωρεντία, Λονδίνο) ως εκ τούτου σε επίπεδη μορφολογία εδάφους.



Εικ. 1.4 : Η γέφυρα του Λονδίνου κατά τους μεσαιωνικούς χρόνους

Η πρόοδος στα ανοίγματα συνέβαινε κυρίως στους ξύλινους φορείς και, από τις πρώτες δεκαετίες του 18ου, στους μεταλλικούς, υπό την αρχική εκδοχή του χυτοσιδήρου και τη σταδιακή μετάβαση στο χάλυβα. Από τα μέσα του 19ου αιώνα το ωπλισμένο σκυρόδεμα διεκδικεί διαρκώς αυξανόμενο μερίδιο μεταξύ των υλικών και τα ανοίγματα των γεφυρών οδεύουν προς μεγέθη πρωτόγνωρα.

1.2 ΤΟ ΝΕΟ ΥΛΙΚΟ

Οι καταβολές του σκυροδέματος, όπως και των γεφυρών, φτάνουν στους ρωμαϊκούς χρόνους υπό τη μορφή του λιθοδέματος - χυτής τοιχοποιίας, με συνδετική κονία από ασβέστη και ποζολάνη.

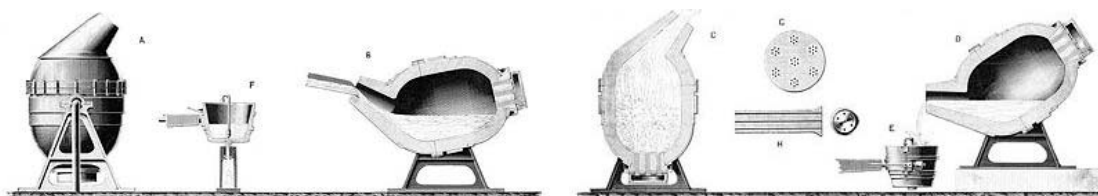
Η παράδοση των συνδετικών κονιών είναι μακρά, παρά ταύτα η συστηματική μελέτη της σύνθεσης και των ιδιοτήτων του σκυροδέματος συνέβη στις αρχές του 19ου αιώνα, και αποδίδεται κυρίως σε δύο ερευνητές με παράλληλη πορεία σε δύο κυρίαρχες χώρες της Ευρώπης: τον John Smeaton στη Μεγάλη Βρετανία και τον Louis Vicat στη Γαλλία, ο οποίος διατύπωσε τη θεωρία υδραυλικότητας το 1818.

Λίγο αργότερα, το 1824 κατατίθεται το αίτημα κατοχύρωσης ευρεσιτεχνίας για το τσιμέντο Portland από τον σκωτσέζο Joseph Aspdin. Το νέο υλικό οφείλει το όνομά του στην ομώνυμη περιοχή της νότιας Αγγλίας, στην οποία γινόταν η λατόμηση των λίθων στους οποίους έμοιαζε και από τους οποίους, σύμφωνα με τη διαφημιστική εκστρατεία του Aspdin, ήταν ακόμη καλύτερο.

Ο πρώτος κλίβανος όπησης αποδίδεται στον Γάλλο μηχανικό Pavin de Lafarge το 1833, και η πρώτη μονάδα παραγωγής τσιμέντου στη γαλλική εταιρεία Dupond et Demarle το 1848.

Η συνεργασία του σκυροδέματος με μεταλλικά στοιχεία είναι μια πρακτική που συναντάται ήδη από τα τέλη του 18ου αιώνα, αν αγνοηθεί η χρήση του ως συνδετικό μεταξύ λίθινων μελών στην αρχαιότητα. Ο αρχικός σκοπός της συνεργασίας ήταν ο περιορισμός των ρηγματώσεων του σκυροδέματος, λόγω της συστολής ξήρανσης κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης. Εν συνεχεία, έγινε αντιληπτό πως ο οπλισμός θα μπορούσε να συνεργαστεί με τον τεχνητό λίθο, παράγοντας ένα σύνθετο στοιχείο με πολύ μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα.

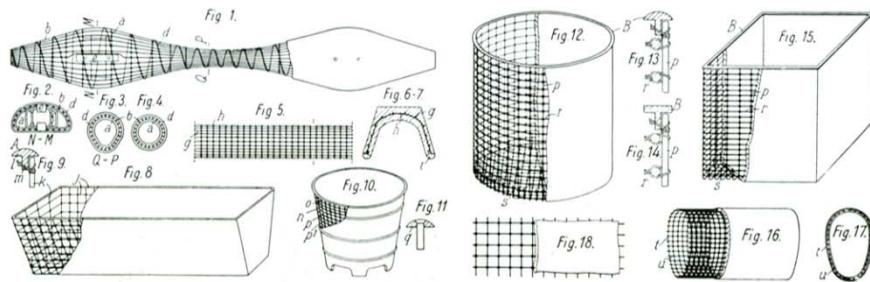
Η κρίσιμη καμπή στην ιστορία της χρήσης του χάλυβα στις κατασκευές, τόσο υπό μορφή δομικών μελών όσο και οπλισμού, ήταν η δημιουργία από τον Βρετανό Henry Bessemer της ομώνυμης καμίνου (Εικ. 1.6) το 1856. Το χαρακτηριστικό της ήταν η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας της αλλά, κυρίως, η δυνατότητα παροχής αέρα στο ρευστό μέταλλο και, κατά συνέπεια, η καύση και μείωση του περιεχόμενου άνθρακα και λοιπών δυσμενών για το τελικό προϊόν ουσιών. Η μέθοδος αυτή οδήγησε σε αύξηση της ολκιμότητας και της αντοχής του χάλυβα και σε ραγδαία πτώση της τιμής του, γεγονός που κατέστησε δυνατή τη μαζική του χρήση σε οικοδομικά έργα. Επόμενη σημαντική στιγμή για τον χάλυβα οπλισμού ήταν η εμφάνιση του ελικοχάλυβα από τον αμερικανό Ernst Ransome, από τη βελτιστοποίηση του οποίου προέκυψε ο νευροχάλυβας. Ασφαλώς, η πρόοδος αυτή σχετιζόταν με τη διαπίστωση της ανάγκης συνάφειας μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος για τη μεγιστοποίηση της αντοχής του σύνθετου μέλους.



Εικ. 1.6 : Κάμινος Bessemer (1856)

Η εξερεύνηση των δυνατοτήτων, των κατασκευαστικών μεθόδων και διατάξεων και η διαφημιστική προώθηση του ωπλισμένου σκυροδέματος μεταξύ των δεκαετιών 1850 έως 1890 γινόταν κατά κανόνα από ευρεσιτέχνες ή τυχοδιώκτες που έβλεπαν τη σπουδαία δυναμική του: σχετικώς χαμηλό κόστος παραγωγής λόγω της εκβιομηχάνισης, αξιοποίηση χειρωνακτικού μη εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού, άρτιο αποτέλεσμα λόγω της μονολιθικότητας. Η διαφήμιση του υλικού συνοδευόταν από υποσχέσεις για καταπολέμηση της μιζέριας και της κοινωνικής αδικίας, λόγω της οικονομικότητας και της υγιεινής που εξασφάλιζε στα νέα κτήρια κατοικιών.

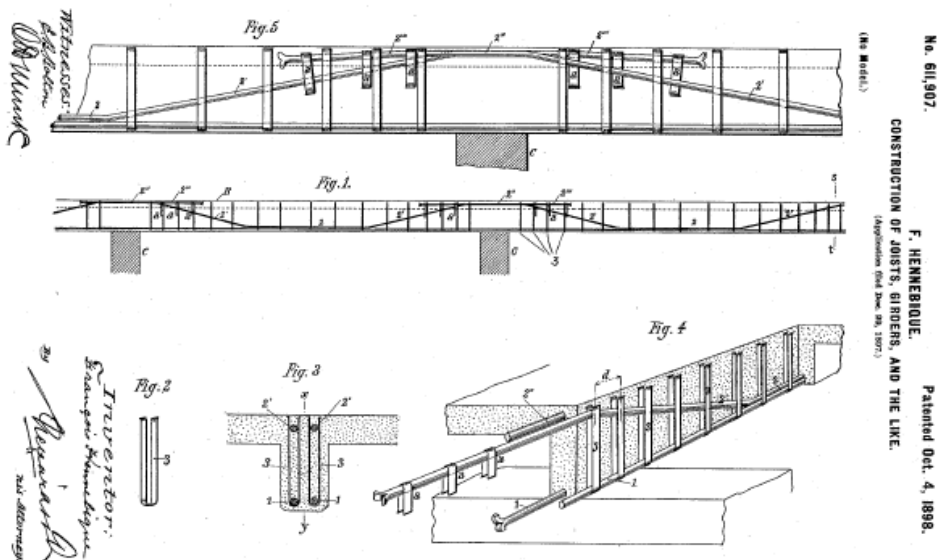
Στην μεγάλη αλληλουχία συστημάτων δόμησης με το νέο υλικό, σημαντικότερη ήταν συνεισφορά του γάλλου κηποτέχνη Joseph Monier. Οι εφαρμογές (Εικ. 1.7) του εν λόγω ευρεσιτέχνη ήταν σχετικές με την άρδευση, συγκεκριμένα δοχεία και αγωγοί ανοιχτής είτε κλειστής διατομής.



Εικ. 1.7 : Αγωγοί άρδευσης από ωπλισμένο σκυρόδεμα (1867)

Από τις σχεδόν 200 πατέντες που κατοχυρώθηκαν σε διάφορες εταιρείες στο διάστημα της εικοσαετίας 1880-1900, λίγες ήταν αυτές που κατάφεραν να αποκτήσουν σημαντικό μέγεθος και να διαδραματίσουν ρόλο κατά τον επόμενο αιώνα. Οι δύο σημαντικότερες ήταν αυτή του γάλλου Francois Hennebique και των Wayss & Freytag, από την Ελβετία και τη Γερμανία αντιστοίχως. Ο πρώτος εκ των τριών δεν δραστηριοποιήθηκε ως κατασκευαστής αλλά ως εμπορικός και επιστημονικός προωθητής του υλικού και της κατασκευαστικής μεθόδου του. Έκανε καμπάνιες ενημέρωσης, διοργάνωνε επιστημονικές συναντήσεις και χρηματοδοτούσε από τα έσοδα του ερευνητικές εργασίες για τον τρόπο συμπεριφοράς του υλικού. Συνεργαζόταν με εργολάβους ανά τον κόσμο, πουλώντας τα δικαιώματα χρήσης και παρέχοντας τεχνική υποστήριξη. Χρησιμοποιούσε, μάλιστα, τη σχετική αποστασιοποίησή του από την κατασκευαστική δραστηριότητα ως τεκμήριο αξιοπιστίας.

Το σύστημα Hennebique (Εικ. 1.8) ομοιάζει αρκετά στο σημερινό, περιελάμβανε διαμήκειες ράβδους και συνδετήρες από ελάσματα ή ράβδους που αναρτούσαν τον κάτω οπλισμό των δοκών από τον άνω. Ο άνω οπλισμός στις στηρίξεις εμφάνιζε σκαφοειδή διάταξη, ενώ τα άκρα των ράβδων διαμορφώνονταν μέσω κάμψης των δύο ημίσεων που προέκυπταν από το σχίσιμο των άκρων τους.



Εικ. 1.8 : Σύστημα κατασκευής Hennebique (1898)

1.3 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η καταλληλότητα του νέου υλικού για την ανάληψη θλιπτικών φορτίων ήταν αντιληπτή εξ' αρχής. Οι τυπολογίες των τοξωτών γεφυρών ωπλισμένου σκυροδέματος βασίστηκαν σε δύο προγενέστερες μορφές και ισάριθμα παλαιότερα υλικά: τα μεταλλικά δικτυωτά τόξα και τα λίθινα τόξα με διάτρητα τύμπανα.

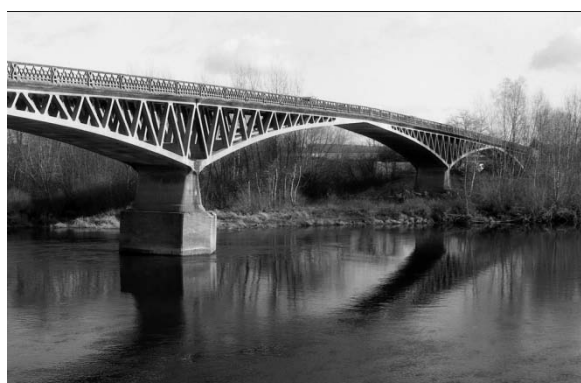
Ασφαλώς, για κάποιο διάστημα εμφανίζονταν και υβριδικές καταστάσεις: γέφυρες με λίθινα βάρθρα, τόξο ή και πλάκα καταστρώματος από ωπλισμένο σκυροδέμα, και συνεχείς επιμέρους γεφυρώσεις μέσω λίθινων πεσσών και μικρότερων τόξων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η γέφυρα Villeneuve sur Lot (Εικ. 1.9) του Eugène Freyssinet, περατωθείσα το 1919.

Ένα άλλο μεταβατικό παράδειγμα είναι η γέφυρα Stauffacher (Εικ. 1.10), το δεύτερο υλοποιημένο έργο του Robert Maillart. Πρόκειται για ένα χθαμαλό τόξο από άοπλο σκυροδέμα, επί του οποίου εδράζονται τοίχοι στην εγκάρσια διεύθυνση και επ' αυτών η πλάκα καταστρώματος από ωπλισμένο σκυροδέμα. Η τοπική κοινωνία δεν ήταν έτοιμη να δεχθεί ένα φορέα διαφορετικής αισθητικής από αυτόν που ήδη γνώριζε, δηλαδή τον λίθινο, κι έτσι ο μηχανικός αναγκάστηκε να επενδύσει τη γέφυρα με λαξευτούς λίθους παρουσία διακόσμου, εξίσου κοινό για την εποχή.



Εικ. 1.9,10 : Γέφυρα Villeneuve sur Lot (1919) και γέφυρα Stauffacher (1899)

Οι γέφυρες που μιμούντο τα μεταλλικά δικτυώματα (Εικ. 1.11) δεν έτυχαν ιδιαίτερης απηχίσεως, καθώς σύντομα εμπεδώθηκε η ακαταλληλότητα του ωπλισμένου σκυροδέματος για τέτοιες εφαρμογές. Βασικός λόγος ήταν η αδυναμία επιτυχούς μόρφωσης των κόμβων, στους οποίους έπρεπε να συντρέχει πλήθος στοιχείων, με διαμήκεις ράβδους και συνδετήρες που τελικώς καθιστούσαν την σκυροδέτηση δύσκολη και τον κίνδυνο κενών και απόμιξης μεγάλο.



Εικ. 1.11 : Γέφυρα Boutiron - Eugene Freyssinet (1912)

Οι λίθινες γέφυρες με ανοίγματα στα τύμπανα, οι οποίες απετέλεσαν την πρόδρομη μορφή για τον κατ' εξοχήν τύπο τοξωτών γεφυρών ωπλισμένου σκυροδέματος, εμφανίστηκαν και επικράτησαν στον ευρωπαϊκό χώρο κυρίως μετά τον 18ο αιώνα, παρ' ότι στην Κίνα το παλαιότερο παράδειγμα, που διατηρείται έως τις μέρες μας, ανάγεται ήδη στα τέλη του 6ου αιώνα (Εικ. 1.12).



Εικ. 1.12 : Γέφυρα Zhaozhou (605)

Αν και οι Ρωμαίοι είχαν κατασκευάσει κοίλους φορείς, δεν είχαν επιχειρήσει συστηματικά την απομείωση της επιφάνειας των τυμπάνων των γεφυρών τους, ώστε να μην πετύχουν τελικώς ακόμα μεγαλύτερα ανοίγματα. Είναι βέβαιο πως η μείωση των φορτίων που επιτυγχάνεται από αυτή την πρακτική επηρεάζει σημαντικά τη μέγιστη διάσταση του ανοίγματος, όπως αποδεικνύεται από τη μεγαλύτερη στον κόσμο λίθινη τοξωτή γέφυρα (με κατάστρωμα από σκυροδέμα) που βρίσκεται στην Κίνα (Εικ. 1.13) και διαθέτει άνοιγμα 120 m. Ιδωμένη από απόσταση, εύκολα παραπλανά το θεατή ως προς το υλικό κατασκευής της.



Εικ. 1.13 : Γέφυρα Wuchaoche (1970)

Όπως προαναφέρθη, σε αυτή τη μορφή βασίστηκε ο επικρατέστερος τύπος τοξωτής γέφυρας ωπλισμένου σκυροδέματος, ο οποίος υιοθετήθηκε και από το σύστημα Hennebique (Εικ. 1.14). Οι γέφυρες τύπου Hennebique αποτελούνταν από ενιαίο συνήθως τόξο, υποστυλώματα, δοκούς και πλάκα καταστρώματος, εξίσου τυποποιημένες με τα κτήρια του ίδιου σχεδιαστή. Ο συγκεκριμένος τύπος γνώρισε ραγδαία εξάπλωση στα τέλη του 19ου και τις αρχές του 20ου αιώνα, και τουλάχιστον 700 γέφυρες χτίστηκαν σύμφωνα με αυτόν.



Εικ. 1.14 : Γέφυρα Chatteleaux (1898)

Με το πέρασμα των χρόνων η μορφή απέκτησε ευρεία αποδοχή και εξέλιξη, δίχως να διαφοροποιηθεί ουσιαστικά, πέραν της διάταξης παραλλήλων και όχι ενιαίου τόξου ή την επιλογή τοιχίων αντί μεμονωμένων

υποστρωμάτων. Το βασικό πεδίο διαφοροποίησης δεν ήταν άλλο από την κατασκευαστική μέθοδο που εφαρμοζόταν για να επιτευχθούν ακόμη μεγαλύτερες γεφυρώσεις πάνω από όλο και πιο δυσπρόσιτες και υψηλές εκτάσεις.

1.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του τόξου είναι πως καθίσταται φορέας μόνο μετά την ολοκλήρωση της γεωμετρίας του. Τούτου καθιστά απαραίτητη τη χρήση περαιτέρω κατασκευών για την ανέγερσή του.

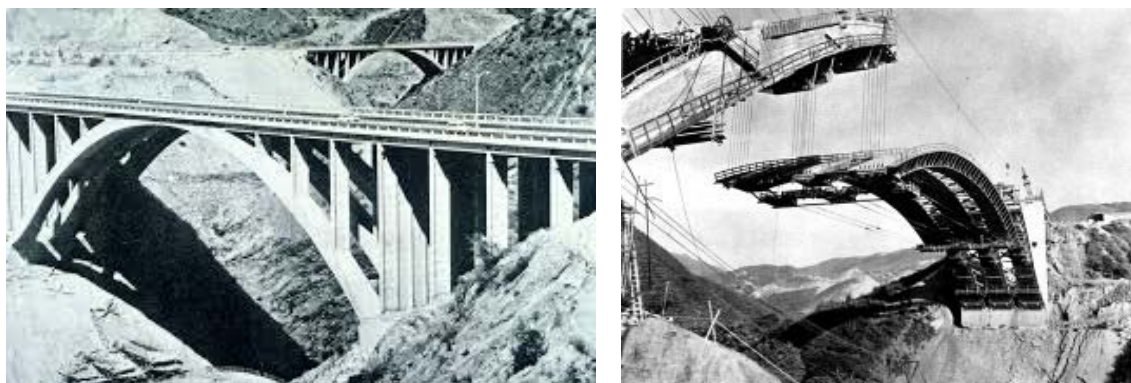
Η παλαιότερη και απλούστερη προσωρινή διάταξη - προϋπόθεση για τη μόρφωση της γεωμετρίας του τόξου είναι ο ξυλότυπος, εδρασμένος στο έδαφος ή και εντός της κοίτης του ποταμού, αποτελούμενος από ξύλινα μέλη τοποθετημένα σε πυκνή διάταξη οριζοντίως, κατακορύφως και διαγωνίως, συνδεδεμένα μέσω ήλων. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι ποσότητες υλικών για αυτό τον τύπο κατασκευής είναι ιδιαίτερας μεγάλες, για έργα μεγάλων ανοιγμάτων και μεγάλης υψομετρικής διαφοράς από το έδαφος. Ασφαλώς, τα μέλη παλαιότερα ήταν πελεκημένοι κορμοί σε μεγάλο πλήθος, γεγονός που καθιστούσε σοβαρές παραμέτρους την προμήθεια και τη μεταφορά στο έργο, πέραν της αναμενόμενα απαιτητικής ανέγερσης. Ως εκ τούτου, εύκολα γίνεται κατανοητός ο λόγος που οι λαοί με τις υψηλότερες επιδόσεις στα ξύλινα ικριώματα ήταν οι ίδιοι που είχαν και μοναδική παράδοση στις ξύλινες γέφυρες. Ασφαλώς, δεν είναι υπερβολή η παραδοχή πως οι πλέον γιγαντιαίες ξύλινες γεφυρώσεις ήταν αυτές που κατασκευάστηκαν ως υποδομή για την κατασκευή φορέων από σκυρόδεμα.

Η έκταση των εν λόγω κατασκευών τις καθιστά σοβαρά τεχνικά έργα, και μάλιστα δυσκολότερα από την τελική κατασκευή στην οποία όφειλαν την ύπαρξή τους. Φωτογραφίες από την κατασκευή γεφυρών του Robert Maillart (Εικ. 1.51) προκαλούν δέος, σχεδόν εξίσου με τις γέφυρες που κατασκευάστηκαν τελικώς.

Οι πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε υλικά, χρόνο και κόστος οδήγησαν τις τοξωτές γέφυρες στο περιθώριο περίπου στη δεκαετία του 1950, οπότε η μέθοδος του προεντεταμένου σκυροδέματος πήρε τα ηνία στις κατασκευές, λόγω συνολικά ανταγωνιστικότερων επιδόσεων.

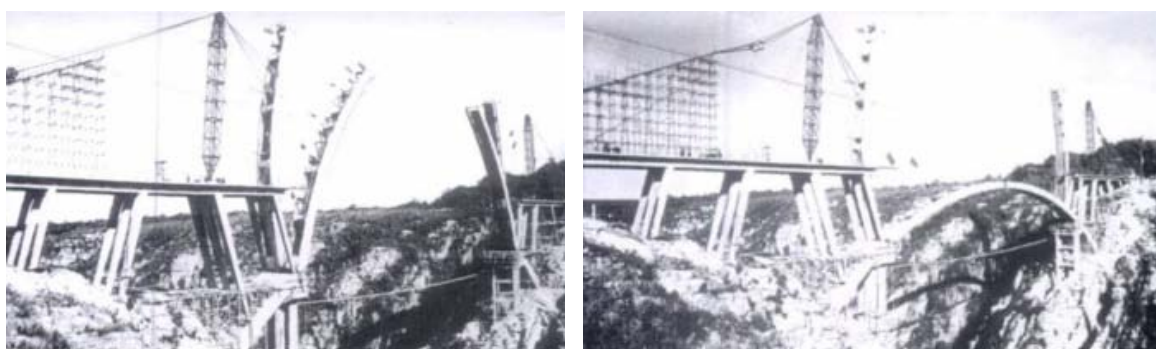
Οι μέθοδοι που επανέφεραν τους τοξωτούς φορείς στην κατασκευή μεσαίων - μεγάλων (100-500 m) ανοιγμάτων είναι αφ' ενός η χρήση τοξωτού φορέα με προσωρινό χαρακτήρα (μεταλλικό ή ξύλινο δικτύωμα) επί του οποίου σκυροδετείται ο τελικός φορέας, είτε με μόνιμο χαρακτήρα (μεταλλικό δικτύωμα) ως στοιχείο οπλισμού υπό ένταξη στον τελικό φορέα - ενσωμάτωση κατά τη σκυροδέτηση, και αφ' ετέρου η προβολοδόμηση σε καμπύλη διαδρομή. Και οι δύο μέθοδοι γνώρισαν επιμέρους διαφοροποιήσεις, κατά την ευρηματικότητα του εκάστοτε μελετητή και κατασκευαστή.

Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά, μάλιστα σε συνδυασμό, από τον πρωτοπόρο στην καινοτομία Eugène Freyssinet. Ο Freyssinet χρησιμοποίησε μια υβριδική μέθοδο για την κατασκευή τριών γεφυρών στο Καράκας (Εικ. 1.15,16) το 1953, τα ακραία τμήματα των οποίων κατασκευάστηκαν μέσω προσωρινής ανάρτησης από τα περατωθέντα μεσόβαθρα. Μετά την κατασκευή των ακραίων τμημάτων, ανελκύθηκε μεταλλικό δικτυωτό τόξο που χρησιμοποιήθηκε για την σκυροδέτηση του κεντρικού τμήματος. Η εν λόγω γέφυρα κατασκευάστηκε ως διαρθρωτή, προκειμένου τα ακραία τμήματα να μπορούν να προσαρμοστούν στις λεπτές απαιτήσεις που έθετε ο τρόπος κατασκευής, δίχως να παρεμποδίζονται από τις στηρίξεις τους.

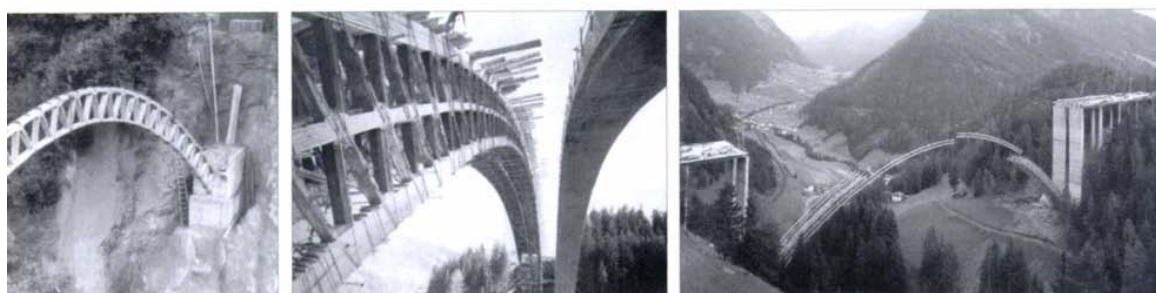


Εικ. 1.15,16 : Γέφυρα La Guaira (1953)

Η χρήση προσωρινών τοξωτών φορέων, όπως φάνηκε και από το προηγούμενο παράδειγμα, προϋποθέτει την κατασκευή τους σε δύο ή τρία τμήματα και την αποκατάσταση της μεταξύ τους συνέχειας. Η ανέγερση και στις δύο περιπτώσεις γίνεται κατά κανόνα μέσω σύνδεσης των ακραίων τμημάτων στις αρθρωτές εδράσεις, και περιστροφής τους έως ότου συναρμόσουν μεταξύ τους ή με το τρίτο κομμάτι που ανελκύεται μετά την παγίωση των υπολοίπων υπό κατάλληλη γωνία. Στη μέθοδο αυτή, τα προσωρινά τόξα μπορεί να είναι ξύλινα (Εικ. 1.19-21) είτε μεταλλικά (Εικ. 1.22,23). Άλλωστε, προτού η μέθοδος εφαρμοστεί για την κατασκευή γεφυρών από σκυρόδεμα είχε χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την ανέγερση μεταλλικών δικτυωματικών τοξωτών γεφυρών.



Εικ. 1.17,18 : Γέφυρα Storms (1955)



Εικ. 1.19-21 : Γέφυρα Nosslach (1968)

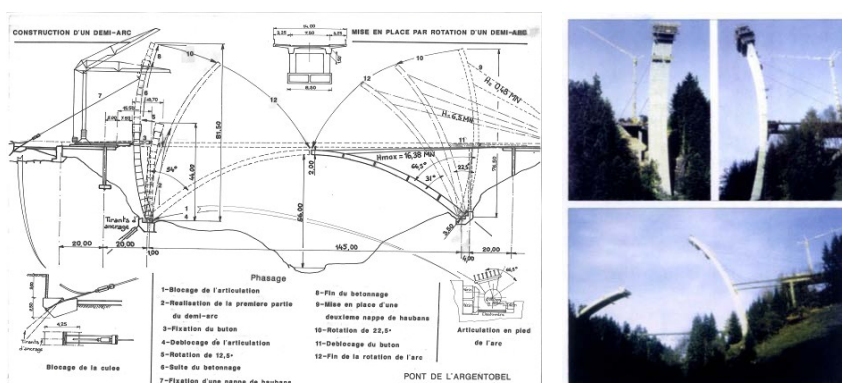


Εικ. 1.22,23 : Γέφυρα Saboya

Ιδιαίτερη περίπτωση συνιστούν οι γέφυρες από ωπλισμένο σκυρόδεμα που έχουν κατασκευαστεί μετά από τη σκυροδέτηση των ημιτόξων τους στα προς γεφύρωση πρανή και, εν συνεχεία, περιστροφή τους, με τελική σκυροδέτηση για της αποκατάσταση συνέχειας στην κλείδα. Ασφαλώς, τα αυξημένα φορτία λόγω ιδίου βάρους αποτελούν σοβαρό περιορισμό. κι έτσι το πεδίο εφαρμογής αυτής της τεχνικής περιορίζεται σε φορείς με σχετικώς μικρές διατομές, όπως η πεζογέφυρα Lussia (Εικ. 1.24) που κατασκευάστηκε το 1955 από τον ιταλό μηχανικό Riccardo Morrandi. Παρά ταύτα, δε λείπουν παραδείγματα χρήσης της μεθόδου και για κανονικούς αυτοκινητοδρόμους (Εικ. 1.25).



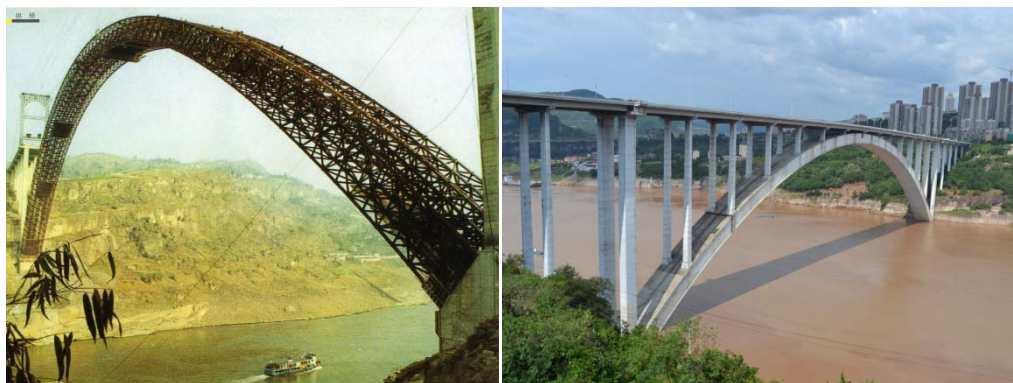
Εικ. 1.24 : Πεζογέφυρα Lussia (1955)



Εικ. 1.25 : Γέφυρα Argentobel (1986)

Η περίπτωση αξιοποίησης του τοξωτού δικτυώματος ως οπλισμού για τον τελικό φορέα αναφέρεται και ως μέθοδος Melan, από το επίθετο του μηχανικού που την εφάρμοσε πρώτος. Το κόστος από το μεγάλο βάρος του χρησιμοποιούμενου χάλυβα, πολύ μεγαλύτερο απ' ότι για μια συμβατική κατασκευή, οδήγησε σε περιορισμένη χρήση της μεθόδου. Ωστόσο, η μεγαλύτερη τοξωτή γέφυρα από ωπλισμένο σκυρόδεμα στον κόσμο Wanxian (Εικ. 1.26,27), που βρίσκεται στην Κίνα όπως και η προαναφερθείσα μεγαλύτερη λίθινη,

κατασκευάστηκε με δικτύωμα ως οπλισμό. Το άνοιγμα φτάνει τα 420 m και κατασκευάστηκε στα τέλη του προηγούμενου αιώνα.



Εικ. 1.26,27 : Γέφυρα Wanxian (1997)

Η έτερη μέθοδος είναι αυτή της προβολοδόμησης σε καμπύλη διαδρομή, η οποία περιλαμβάνει ολισθαίνοντα φορεία (Εικ. 1.28) από τα οποία γίνεται η τοποθέτηση του οπλισμού και η σκυροδέτηση του τόξου σε βήματα. Η βασική της εκδοχή (Εικ. 1.29) συνδυάζεται με ανάρτηση των τμημάτων από τα μεσόβαθρα και υψηλούς μεταλλικούς πύργους, έως ότου τα δύο ημίτοξα συναντηθούν και ολοκληρωθεί η σκυροδέτηση της κλείδας.



Εικ. 1.28 : Φορείο προβολοδόμησης κιβωτιοειδούς τόξου



Εικ. 1.29 : Φορείο προβολοδόμησης κιβωτιοειδούς τόξου

Η μεγαλύτερη τοξωτή γέφυρα σε ευρωπαϊκό έδαφος, η Krk (Εικ. 1.30) στην Κροατία, αλλά και άλλες γέφυρες γιουγκοσλαβικής κατασκευής κατασκευάστηκαν με διαφοροποίηση στο στατικό σύστημα της αρχικής κατασκευαστικής φάσεως. Οι γέφυρες αυτές κατασκευάστηκαν με αλληπάλληλους τριγωνισμούς στα ημίτοξα, κατά τρόπον ώστε μεταλλικά στοιχεία στη στάθμη του καταστρώματος να λειτουργούν ως

ράβδοι - ελκυστήρες των σταδιακώς επιμηκυνόμενων προβόλων. Στην περίπτωση αυτή, η κατασκευή των υποστυλωμάτων είναι απαραίτητη στο σύνολο του τελικώς προβλεπόμενου ύψους, για κάθε φάση προώθησης, εν αντιθέσει με τη μέθοδο ανάρτησης κατά την οποία τα υποστυλώματα ανεγείρονται μετά την περάτωση του τόξου.



Εικ. 1.30 : Γέφυρα Krk (1979)

Για τις συμβατικές μεθόδους που αναφέρθηκαν αρχικώς (εδραζόμενος στο έδαφος ξυλότυπος) η ανέγερση δεν ήταν η μοναδική δυσκολία. Κρίσιμη φάση για την ευστάθεια των γεφυρών είναι πάντα η διαδικασία αφασίδωσης, δηλαδή η απομάκρυνση - αποτόνωση της προσωρινής κατασκευής προκειμένου η γέφυρα να αναλάβει τα φορτία της. Αυτή η διαδικασία μεταβίβασης χαρακτηρίζεται από το σοβαρό κίνδυνο ανακατανομών εντάσεων λόγω ασύμμετρης απομάκρυνσης του ξυλοτύπου, που μπορεί να οδηγήσουν τη γέφυρα σε αστοχία. Σε πολλές περιπτώσεις η κρίσιμη αυτή φάση απέβη καταστροφική.

Μια μέθοδος γνωστή από την αρχαιότητα είναι η έδραση των ικριωμάτων εντός δοχείων άμμου, τα οποία κατά τη διαδικασία αποτόνωσης ανοίγονται με αποτέλεσμα η άμμος να ρέει και το ικρίωμα να υποβιβάζεται με ελεγχόμενο ρυθμό. Αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούσε και ο σπουδαίος κατασκευαστής Richard Coray.

Μια διαφορετική μέθοδος εφαρμόστηκε από τον καινοτόμο Eugène Freyssinet, η αφασίδωση δια της συμμετρικής και ταυτόχρονης απομακρύνσεως της ίδιας της κατασκευής από τον ξυλότυπο. Με πρώτη εφαρμογή στη γέφυρα Veurdre (Εικ. 1.31), ο Freyssinet τοποθετούσε υδραυλικούς γρύλους - έμβολα στην κλείδα των τόξων μετά την περάτωση της σκυροδέτησης, και σε χρόνο που τα ημίτοξα είχαν αναλάβει πλέον αντοχές τα έμβολα ωθούσαν τα ημίτοξα. Αντίστοιχες εφαρμογές γίνονται και σήμερα (2008), όπως στην γέφυρα Third Millenium bridge στη Zaragoza της Ισπανίας (Εικ. 1.32,33).



Εικ. 1.31 : Γέφυρα Veurdre - Eugene Freyssinet (1912)

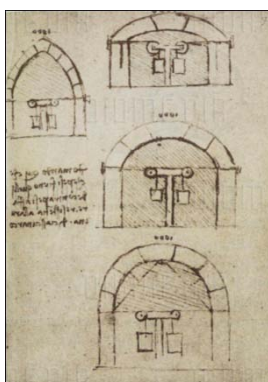


Εικ. 1.32,33 : Έμβολα στην κλείδα της γέφυρας Third Millenium bridge στη Zaragoza (2008)

1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι πρώτοι που προσπάθησαν να κατανοήσουν το τόξο ήταν ο Γαλιλαίος και ο Leonardo da Vinci, ωστόσο παρά την ορθή διαισθητική κατανόηση (Εικ. 1.34) του τρόπου συμπεριφοράς, οι αναλυτικές τους προσεγγίσεις ήταν υποτυπώδεις. Στα γραπτά του Leonardo da Vinci υπάρχει η τοποθέτηση:

«Το τόξο είναι φορέας που οφείλει την αντοχή του σε δύο αδυναμίες: σχηματίζεται από δύο τεταρτοκύκλιο, καθένα πολύ αδύναμη από μόνο του καθώς τείνει να πέσει και, κατά συνέπεια το ένα αντιστέκεται στην πτώση του άλλου κι έτσι οι δύο αδυναμίες γίνονται μια δύναμη».



Εικ. 1.34 : Διατάξεις αντιστάθμισης οριζοντίων ωθήσεων τόξων από Da Vinci

Κατά το 15ο αιώνα, που χαρακτηρίστηκε από την αναβίωση των βιτρουβιανών θέσεων περί της αρχιτεκτονικής και της οικοδομικής, ο Leon Battista Alberti στο έργο του «De Re Aedificatoria» (δέκα βιβλία για την αρχιτεκτονική) προτείνει αναλογίες για τη γεωμετρία των λίθινων γεφυρών: η λυγηρότητα των τόξων, δηλαδή ο λόγος μεταξύ πάχους και ανοίγματος να μην ξεπερνά το $1/10$, ο λόγος μεταξύ του πλάτους των βάθρων ως προς το άνοιγμα των υπό σχεδιασμό γεφυρών να κυμαίνεται μεταξύ $1/4$ έως $1/6$.

Οι λίθινες γέφυρες που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στους χρόνους της Αναγέννησης έως τα μέσα του 18ου αιώνα υπάκουαν σε μεγάλο βαθμό στους ανωτέρω νόμους. Τα βάθρα ήταν ογκώδη και μπορούσαν να σταθούν αφ' εαυτού τους, δίχως τη συνέργεια των διπλανών τους.

Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 18ου αιώνα, αναδείχθηκε και μεγαλούργησε ο γάλλος μηχανικός Jean Rodolphe Perronet (1708-1794) (Εικ. 1.35). Υπηρέτησε ως αξιωματικός του στρατιωτικού τμήματος γεφυρών και οδοστρωμάτων (Ponts et Chaussées), ταξιδεύοντας ανά τον κόσμο σε αποστολές του γαλλικού στρατού. Η συσσωρευμένη εμπειρία και η ανάγκη επιμόρφωσης για την κάλυψη των αναγκών οδήγησε στην ίδρυση της ομώνυμης σχολής. Ο Perronet είχε μεγάλο εφαρμοσμένο έργο, και εισήγαγε σπουδαίες καινοτομίες στη γεφυροποιία: μείωσε το πλάτος των βάθρων σχεδόν κατά το ήμισυ απ' ότι ο Alberti,

βελτιώνοντας ιδιαιτέρως, κατά συνέπεια, τις συνθήκες ροής των ποταμών (μιλάμε σε μεγάλο βαθμό για γέφυρες σε αστικό περιβάλλον, με χαμηλά ύψη γεφύρωσης και χθαμαλές γεωμετρίες τόξων, ως εκ τούτου).

Βελτίωσε τον τρόπο υπολογισμού των τόξων, μείωσε το λόγο μεταξύ ύψους και ανοίγματος έως και $1/15$, ενώ εισήγαγε τη γεφύρωση ανοιγμάτων με συνθέσεις τόξων με διαφορετικές μεταξύ τους ακτίνες, συγκεκριμένα ένα κεντρικό τμήμα μεγάλης καμπυλότητας και δύο συμμετρικά με μικρότερη ακτίνα, ώστε να προκύψει καλύτερη συναρμογή με τα βάθρα.

Επιπλέον, μια σημαντική ιδέα που εισήγαγε, δίχως ωστόσο να προλάβει να εφαρμόσει, ήταν η κατασκευή πολλαπλών ανοιγμάτων αλληλοστηριζόμενων από τις ακραίες εδράσεις τους. Είναι γνωστό πως σε συνεχή τόξα, οι οριζόντιες ωθήσεις αλληλοεξουδετερώνονται, αρκεί να είναι δυνατόν να συμβεί το ίδιο και για τα ακραία ανοίγματα. Έως τους χρόνους του Perronet τα τόξα ήταν αυτοφερόμενα, όπως ανεφέρθη προηγουμένως. Αυτό απαιτούσε βάθρα αυξημένων διαστάσεων, κοστίζοντας σε υλικά και χρόνο κατασκευής. Ο Perronet πρότεινε προσωρινή αντιστήριξη των βάθρων έως ότου να γεφυρωθεί το σύνολο τους ανοίγματος, λύση που οδηγούσε σε βάθρα με πολύ μικρότερες διαστάσεις από τις συνήθεις. Το επιπλέον όφελος ήταν η μείωση των υδάτινων πιέσεων του ποταμού αλλά και της τυρβώδους ροής που είναι υπεύθυνη για την υποσκαφή των θεμελίων. Οι προτάσεις του ήταν ιδιαιτέρως τολμηρές για την εποχή και αυτό του κόστισε σε δύο περιπτώσεις, όπου οι πρεσβύτεροι ελεγκτές των μελετών του τις απέρριψαν.



Εικ. 1.35 : Jean Rodolphe Perronet (1708-1794)

Η πρώτη θεωρητική εργασία στη στατική λειτουργία του τόξου έλαβε χώρα το 1695 από τον γάλλο De la Hire (*Traite de la mécanique*) και αποτέλεσε οδηγό για τους υπολογισμούς του Perronet και άλλων μηχανίων. Η δεύτερη μέθοδος, βασισμένη στο μηχανισμό κατάρρευσης μέσω του σχηματισμού καταλλήλου πλήθους αρθρώσεων, παρουσιάστηκε από τον Couplet το 1730. Μεγάλη πρόοδος σημειώθηκε από τον C.A. Coulomb (1773) ο οποίος στην προαναφερθείσα θεώρηση έλαβε υπ' όψιν και την τριβή μεταξύ των θολιτών. Εισήγαγε την ανάλυση που, αξιοποιώντας τη γεωμετρική συμμετρία του φορέα και εξετάζοντας συμμετρική φόρτιση, υπολόγισε την αναπτυσσόμενη οριζόντια ώθηση στην κλείδα και, μέσω σταδιακής διανυσματικής άθροισης του βάρους με αλλαγή της τροχιάς δυνάμεων, υπολόγισε τη γραμμή πιέσεων. Το επιστέγασμα των επιστημονικών προσπαθειών που απήντησε ορθώς στο πρόβλημα, έγινε το 1826 από τον σπουδαίο θεωρητικό μηχανικό Louis Mari Henri Navier. Ωστόσο, για μερικούς ακόμη αιώνες ήταν η πρακτική εμπειρία που καθοδηγούσε τις εξελίξεις.

Κατά το 19ο αιώνα και έως τα μέσα του 20ου, η επαλήθευση δια της δοκιμής ήταν συνήθης μέθοδος διαστασιολόγησης και ελέγχου, ειδικά για τις γέφυρες (Εικ. 1.36). Δεν υπήρχε καμία αναγκαιότητα να αποδειχθεί η εξάρτηση απλών υπολογισμών από μια γενικότερη θεωρία, καθώς το κατασκευασμένο έργο θα υποβάλλετο σε πραγματικές φορτίσεις και τα αποτελέσματα θα δημοσιεύονταν άμεσα.



Εικ. 1.36 : Δοκιμαστική φόρτιση γέφυρας

Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα για την έμφαση στην πράξη και όχι τους υπολογισμούς, αναφέρονται οι υπολογισμοί του Maillart για τη γέφυρα Valtzschelbach (Εικ. 1.42) που είχαν έκταση μόλις τεσσάρων σελίδων, ενώ το κρίσιμο τμήμα που αφορούσε τη φόρτιση της γέφυρας υπό μη συμμετρικά φορτία δεν πήρε παραπάνω από μισή σελίδα.

Περί τα μέσα του 20ου αιώνα, όταν επρόκειτο για σημαντικά έργα, οι μηχανικοί αιχμής χρησιμοποιούσαν προσομοιώματα υπό κλίμακα τα οποία εξέταζαν υπό εργαστηριακές συνθήκες, προσπαθώντας να προσδιορίσουν τις αντοχές και τις αναμενόμενες βυθίσεις τους. Ο μηχανικός και καθηγητής στο Πολυτεχνείο της Λισαβόνας Edgar Cardoso (1913–2000), έργο του οποίου ήταν μια από τις μεγαλύτερες τοξωτές γέφυρες στην Ευρώπη (Εικ. 1.37), είχε υπάρξει πρωτοπόρος στην πειραματική ανάλυση των κατασκευών και την ανάπτυξη οργάνων υψηλής ακρίβειας για τη μέτρηση παραμέτρων σχετικών με τη στατική συμπεριφορά των μοντέλων που χρησιμοποιούσε.

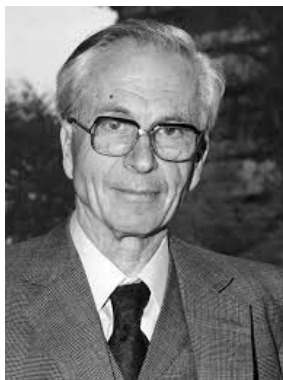


Εικ. 1.37 : Γέφυρα Arrabida (1963)

Μία άλλη μέθοδος πειραματικού προσδιορισμού των τάσεων στους φορείς είναι η φωτοελαστικότητα. Προκειμένου για τον υπολογισμό του τασικού πεδίου που αναπτύσσεται στο εσωτερικό ενός φορτιζόμενου στερεού σώματος, η μέθοδος της φωτοελαστικότητας χρησιμοποιείται κυρίως για την ποιοτική περιγραφή του, καθώς παρέχει πληροφορίες για τη διαφορά των κυρίων τάσεων και όχι για την απόλυτη τιμή τους, κάτι που απαιτεί κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων με γραφική ολοκλήρωση ή με αριθμητική ανάλυση. Η μέθοδος ξεπεράστηκε σύντομα από την υπολογιστική μηχανική και πλέον δεν χρησιμοποιείται.

Η ανάπτυξη της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων από κοινού με την πέραν πάσης προσδοκίας αύξηση της ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οδήγησαν στην καθολική τους επικράτηση στον κλάδο της ανάλυσης των κατασκευών. Στην εξέλιξη αυτή συνέβαλε τα μέγιστα ο κορυφαίος Έλληνας επιστήμων

J.H. Argyris (1913 - 2004) (Εικ. 1.38), διπλωματούχος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, καθηγητής ταυτοχρόνως στο Imperial College του Πανεπιστημίου του Λονδίνου και το Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης, και σύμβουλος της NASA σε προγράμματα προσομοίωσης συμπεριφοράς ατράκτων αεροσκαφών και διαστημοπλοίων.



Εικ. 1.38 : Ιωάννης Αργύρης (1913-2004)

Στη μέθοδο που ανέπτυξε βασίζονται όλοι οι υπολογιστικοί κώδικες για τον σχεδιασμό και την ανάλυση κατασκευών της αεροναυπηγικής και της ναυπηγικής βιομηχανίας, της αυτοκινητοβιομηχανίας και των τεχνικών έργων.

1.6 ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ

Πέραν των αναφορών που έγιναν ανωτέρω σε πλήθος μηχανικών, το έργο του κορυφαίου γεφυροποιού του 20ου αιώνα Robert Maillart (1872-1940) (2.39) αξίζει ιδιαίτερης μνείας, λόγω της πολυσιδιάας και της διαχρονικότητάς του.

Ο Maillart υπήρξε απόφοιτος της σχολής πολιτικών μηχανικών του Ελβετικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Τεχνολογίας στη Ζυρίχη, κοινώς ΕΤΗ, όπως και πολλοί ακόμη γεφυροποιοί που έμειναν στην ιστορία (Othmar Amman, Christian Menn). Η καθηγητική παράδοση του εν λόγω ιδρύματος περιλαμβάνει καθηγητές όπως ο Carl Culmann, πατέρας της γραφοστατικής και ο διάδοχός του Wilhelm Ritter, που υπήρξαν μέντορες του Maillart.



Εικ. 1.39 : Robert Maillart (1872-1940)

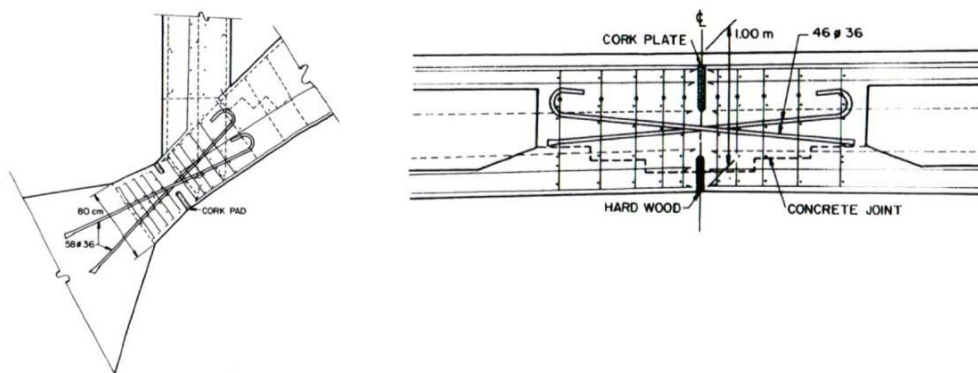
Το έργο του ξεκίνησε από συμβατικές λίθινες και μπετονένιες γέφυρες με συμπαγή τύμπανα και εξελίχθηκε σταδιακά προς ολοένα και περισσότερο ελεύθερες μορφές, με ιδιαίτερη μέριμνα για το αισθητικό αποτέλεσμα το οποίο παραπέμπει συχνά σε γλυπτικές δημιουργίες.

Η αφαίρεση στο φέροντα οργανισμό για τις γέφυρες του Maillart ξεκίνησε «εκ των έσω», καθώς η γέφυρα στη μικρή ελβετική πόλη Zuoz (Εικ. 1.40,41) ήταν πιθανότατα η πρώτη κιβωτιοειδής διατομή από ωπλισμένο σκυροδέμα. Ο Maillart σχεδίασε ένα χθαμαλό τόξο με τύμπανα και εσωτερική νεύρωση, τα οποία συνδέονταν με το συμπαγές τόξο και την πλάκα καταστρώματος, συνεργαζόμενα ως ενιαία διατομή. Ο τύπος χρησιμοποιήθηκε και σε επόμενες γέφυρες, ενώ κατοχυρώθηκε ως ευρεσιτεχνία στο δημιουργό της από το σχετικό φορέα (Swiss Patent Office).



Εικ. 1.40,41 : Γέφυρα Zuoz (1900)

Η ικανοποιητική απόκριση των γεφυρών αυτής της μορφής οδήγησε τον Maillart σε ολοένα και πιο τολμηρές αφαιρέσεις, με σημείο αναφοράς τη γέφυρα Salginatobel (Εικ. 1.43). Η μορφή της εν λόγω γέφυρας, που επανελήφθη σε αρκετά έργα του, προκύπτει από τα διαγράμματα ροπών των τμημάτων του τριαρθρωτού τόξου υπό κατακόρυφα κατά το άνοιγμα, Από αυτή τη θεώρηση προκύπτουν οι μικρές διαστάσεις στις βάσεις και την κλειίδα των φορέων και η φεγγαρόσχημη όψη του τόξου. Ο Maillart, όπως και άλλοι μηχανικοί της εποχής, υλοποιούσαν (Εικ. 1.42) τις αρθρώσεις μέσω κατάλληλης διάταξης του οπλισμού: στη θέση σύνδεσης υπήρχε μόνο οπλισμός διάτμησης μεταξύ του άκρου του τόξου και της θεμελίωσης.



Εικ. 1.42 : Αρθρώσεις ωπλισμένου σκυροδέματος (κόμβος Messnager)



Εικ. 1.43 : Γέφυρα Salginatobel (1930)

Τελευταία αναφορά στο έργο του Maillart, το οποίο αναμφίβολα είναι μοναδικό, πρέπει να γίνει για τη σύλληψη του εύκαμπτου τόξου - δύσκαμπτου καταστρώματος (rigidity-less ή deck-stiffened arches). Η αρχή αυτή της διαφοροποίησης προκύπτει από την υπερστατική φύση των τοξωτών γεφυρών, ακόμη και των τριαρθρωτών. Τα ημίτοξα, είτε είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και στη θεμελίωση μέσω αρθρώσεων είτε όχι, αποτελούν κατά κανόνα υπερστατικούς φορείς, αποτελούμενους από το τμήμα τόξου και το κατάστρωμα που συνδέονται από τα τοιχώματα ή υποστυλώματα. Τα φορτία λόγω ιδίου βάρους και κινητών φορτίων διαθέτουν, ως εκ τούτου, δύο εναλλακτικούς φορείς να διανύσουν έως ότου φτάσουν στη θεμελίωση και, όπως συμβαίνει σε όλους του φορείς με εσωτερική αοριστία, επιλέγουν την πιο δύσκαμπτη διαδρομή. Αντιλαμβανόμενος αυτό, ο Maillart σκέφτηκε πως θα μπορούσε να μειώσει αισθητά το πάχος του τόξου για σχετική αύξηση του ύψους των δοκών του καταστρώματος. Η καλύτερη έκφραση αυτής της ιδέας του, είναι η γέφυρα Valtschielbach (Εικ. 1.44).



Εικ. 1.44 : Γέφυρα Valtschielbach (1926)

Η έτερη μεγάλη μορφή της σύγχρονης γεφυροποιίας, όπως έχει ήδη φανεί από πλήθος αναφορών, ήταν ο Eugène Freyssinet (1879–1962) (Εικ. 1.45). Σπούδασε και εργάστηκε στη σχολή Ponts et Chaussées Παρίσι, από όπου κατήγετο, και σχεδίασε αρκετές γέφυρες έως ότου ξέσπασε ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος, στον οποίο συμμετείχε ως μηχανικός του γαλλικού στρατού.



Εικ. 1.45 : Eugene Freyssinet (1879-1962)

Έγινε εκτενής αναφορά σε πολλά από τα έργα του, ωστόσο αξίζει να αναφερθεί πως η γέφυρα Veurdre, για την οποία εισήγαγε την καινοτομία χρήσης εμβόλων για την αφαψίδωση των τόξων, στάθηκε η αφορμή να παρατηρήσει το φαινόμενο του ερπυσμού στο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Λέγεται πως διανύοντας τη γέφυρα παρατήρησε την απόκλιση από την ευθυγραμμία την οποία και επιδιόρθωσε άμεσα μέσω περαιτέρω επιβολής αντιβέλους μέσω των εμβόλων που είχε χρησιμοποιήσει αρχικά. Αυτό το φαινόμενο στάθηκε τόσο σημαντικό για τις μετέπειτα εργασίες του στο προεντεταμένο σκυρόδεμα που δήλωσε:

«Από όλες τις γέφυρες που έχω σχεδιάσει αυτή ήταν η πιο αγαπημένη μου, και από όλες αυτές που καταστράφηκαν από τον πόλεμο αυτή ήταν που μου προκάλεσε αληθινή θλίψη»

Σημείο αναφοράς ήταν η κατασκευή της γέφυρας Plougastel (Εικ. 1.46-48) η οποία αποτελείται από τρία τόξα που κατασκευάστηκαν με χρήση πλωτού ξυλοτύπου.



Εικ. 1.46-48 : Γέφυρα Plougastel (1930)

Η μεγάλη τόλμη του Freyssinet, εκτός από τις πολλές καινοτομίες στην κατασκευή τοξωτών γεφυρών που προαναφέρθηκαν αποτυπώνεται στην διακοπή της επιτυχημένη συνεργασία του με την κατασκευαστική εταιρεία του Claude Limousin το 1929, που τους είχε αποφέρει ήδη μεγάλα κέρδη και επιτεύγματα, προκειμένου να αφιερωθεί στην μελέτη της συμπεριφοράς του προεντεταμένου σκυροδέματος και την ανάπτυξη κατασκευαστικών τεχνικών και διατάξεων που θα το καθιστούσαν αξιόπιστο για πραγματικά και απαιτητικά έργα. Η ιστορία δικαίωσε την επιλογή του καθώς το όνομα του συνδέθηκε με την προένταση δια μέσου των έργων του, της κατασκευαστικής του διαμόρφωσης και της εταιρείας του που έως και σήμερα συνιστά κατασκευαστικό κολοσσό.

Άλλος ένας γεφυροποιός του 20ου αιώνα με μεγάλο έργο είναι ο Ελβετός Christian Menn (Εικ 1.49). Γεννημένος το 1927, σπούδασε και αυτός στο ΕΤΗ στο οποίο και δίδαξε από το 1971 ως το 1992.



Εικ. 1.49 : Christian Menn (1927-)

Χαρακτηριστικό του ήταν η πρόθεση να δημιουργεί γέφυρες που να γίνονται ορόσημα, υπηρετώντας την ανάγκη και την οικονομία εξίσου με την αισθητική ικανοποίηση. Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα στο σχεδιασμό που προκύπτουν από την ανεξαρτητοποίηση των κλάδων του πολιτικού μηχανικού και του αρχιτέκτονα, τόνιζε πως στη γεφυροποιία ο πολιτικός μηχανικός θα πρέπει να είναι σε θέση να παράξει αποτέλεσμα πολύπλευρο, με επιστράτευση της αισθητικής του καθώς το αποτέλεσμα δεν επιδέχεται επιμέρους «καλλωπισμού» από κάποιον αρχιτέκτονα, όπως ίσως συμβαίνει στα κτηριακά έργα.



Εικ. 1.50 : Γέφυρες Cascella και Nanin (1968)

Αντιλαμβανόταν και πρέσβευε την αρχή πως ένας μηχανικός μπορεί να επιτύχει την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα διά μέσου των επιστημονικών αρχών, ωστόσο η οικονομία και η κομψότητα προκύπτουν από μη - επιστημονικές διεργασίες.

Παρότι δεν πρόκειται για κατ' εξοχήν γεφυροποιό, σε συνέχεια των αντιλήψεων του Menn αξίζει μια αναφορά στον Δανό Ove Arup (1895-1988) (Εικ. 1.51), υπέρμαχο της επανένωσης μεταξύ των ειδικοτήτων. Το πρώτο πτυχίο του Arup ήταν στη φιλοσοφία, εν συνεχεία σπούδασε στο πολυτεχνείο της Κοπεγχάγης και ειδικεύτηκε στο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Επηρεάστηκε από τον Le Corbusier και τους αρχιτέκτονες του ρεύματος Bauhaus (Walter Gropius, Ludwig Mies Van de Rohe). Η ενοποιημένη προσέγγιση της στατικής επάρκειας, της λειτουργικότητας, της οικονομίας και της αισθητικής χαρακτηρίζουν το έργο του (Εικ. 1.52) και την εταιρεία κολοσσό που ίδρυσε, και συνιστά ένα από τα μεγαλύτερα μελετητικά γραφεία στον κόσμο, με τεράστιο και πολυσχιδές έργο.



Εικ. 1.51 : Ove Arup (1895-1988)



Εικ. 2.52 : Γέφυρα M25 Runnymede (1961)

1.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ

Οι βασικότεροι συντελεστές των έργων γεφυροποιίας είναι αναμφίβολα οι κατασκευαστές τους, αυτοί που αναλαμβάνουν το ρίσκο να κάνουν πραγματικότητα τα φιλόδοξα σχέδια των μελετητών. Η οργάνωση του εργοταξίου, η προμήθεια και κατάλληλη φύλαξη των υλικών, η επιλογή των καταλλήλων κατασκευαστικών μεθόδων και η διαχείριση των σχετικών φάσεων εναπόκεινται στην εμπειρία και την τόλμη του εργολάβου, δίχως καθόλου να παραγνωρίζεται το σθένος των εργατών.

Όπως προανφέρθη, οι λαοί που διέπρεψαν στα έργα γεφυροποιίας των αρχών του 20ου αιώνα ήταν αυτοί των αλπικών χωρών (Ελβετία, Αυστρία και Γερμανία). Λόγος η μεγάλη παράδοση που γέννησε η ανάγκη - μορφολογία του εδάφους τους και η διαθεσιμότητα του ξύλου. Από την Ελβετία ήταν άλλωστε και οι ξακουστοί αδελφοί Hans Ulrich & Johannes Grubenmann, κατασκευαστές των μυθικών γεφυρών του Schaffhausen και του Reichenau.

Τα στοιχεία για τους γεφυροποιούς - εργολάβους της περιόδου δεν είναι πλούσια, ωστόσο μέσα από την αναφορά στον σπουδαίο κατασκευαστή των γεφυρών του Robert Maillart μπορούν να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά στοιχεία.

Ο Richard Coray (1869-1946) (Εικ. 1.53) ήταν αρχιμάστορας και εργολάβος ικριωμάτων, τα έργα του οποίου στήριξαν την κατασκευή των σπουδαίων γεφυρώσεων των πρώτων δεκαετιών του αιώνα κυρίως στη χώρα του, την Ελβετία.



Εικ. 1.53 : Richard Coray (1869-1946)

Μετά από εκπαίδευση ξυλουργού, φοίτησε στην τεχνική σχολή Winterthur. Από κοινού με τον αδερφό του διατηρούσαν επιχείρηση μεταφοράς ξυλείας, ενώ ήταν οι πρώτοι που είχαν εγκαταστήσει σύστημα εναέριας μεταφοράς κορμών με ανάρτηση και κύλιση μέσω καλωδίων. Η πρώτη τους ανάθεση ήταν ανεπιτυχής και οδήγησε στην χρεοκοπία της επιχείρησης, ωστόσο οι προσπάθειες συνεχίστηκαν και μεταξύ των ετών 1898 και 1940 μεγαλούργησαν.

Ο Coray εγκαθιστούσε αρχικώς καλώδιο συνδέοντας τις αντίπερα θέσεις, προκειμένου μέσω ανάρτησης να μεταφέρει τα μέλη για την κατασκευή του ικριώματος και τα υλικά για την κατασκευή της γέφυρας εν συνεχεία. Η μεγάλη του εμπειρία στη μεταφορά κορμών με την ίδια τεχνική κατέστησε εφικτή την ενασχόληση του με έργα που έθεταν ακόμη μεγαλύτερες προκλήσεις. Στην αρχή της ενασχόλησης του με ικριώματα ακολουθούσε τις υποδείξεις μηχανικών, ωστόσο για πρώτη φορά στη γέφυρα Langwies μελέτησε ο ίδιος το φορέα. Για τη γέφυρα Salginatobel (Εικ. 1.43,54) εφήρμοσε μια νέα μορφή και κατασκευαστική μέθοδο που υιοθέτησε εν συνεχεία, καθώς οδηγούσε σε ελαφρύτερες κατασκευές. Όπως προαναφέρθη, ο Coray χρησιμοποιούσε την τεχνική των δοχείων άμμου για την αποτόνωση και τον υποβιβασμό του ικριώματος. Μπορεί κανείς να φανταστεί πως όπως η ανέγερση, έτσι και η αποσυναρμολόγηση του ικριώματος ήταν μια δύσκολη και επικίνδυνη διαδικασία. Ο γιός του ως πολιτικός μηχανικός που είχε σπουδάσει υπολόγισε το ικριώμα της Salginatobel και επέβλεψε την εκτέλεση του έργου.



Εικ. 1.54 : Το ικριώμα της γέφυρας Salginatobel (1930)

Το τελευταίο έργο του Coray ήταν η γέφυρα Đurđevića (Εικ. 1.55) στο Μαυροβούνιο, η οποία ήταν και η υψηλότερη που κατασκεύασε ποτέ και έφτανε τα 141 m από τη στάθμη του ποταμού Tara.



Εικ. 1.55 : Γέφυρα Tara - Μαυροβούνιο

1.8 ΤΟΞΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Όπως κατέστη σαφές, τα τόξα από σκυρόδεμα ήταν συνήθης φορέας γεφυρώσεων μεσαίων ανοιγμάτων από τις αρχές έως και λίγο μετά τα μέσα του 20ου αιώνα. Η πρώτη εμφάνιση τοξωτής γέφυρας στην Ελλάδα δεν εμφάνισε μεγάλη χρονική υστέρηση.

Ίσως η μόνη κηρυγμένη έως σήμερα γέφυρα από ωπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτή του ποταμού Ινάχου (Βίστριζα) (Εικ. 1.56), στον επαρχιακό δρόμο που συνδέει τη Σπερχειάδα με την Υπάτη. Η γέφυρα άρχισε να κατασκευάζεται στις αρχές του 20ου αιώνα, ωστόσο ολοκληρώθηκε τη δεκαετία του 1930, λόγω της

εμπλοκής της χώρας στους Βαλκανικούς πολέμους, τον Α΄ Παγκόσμιο και τη Μικρασιατική εκστρατεία. Η γέφυρα έχει συνολικό μήκος 129.5 m, πλάτος 3.00 m και αποτελείται από πέντε τόξα. Τα βάρθρα είναι κατασκευασμένα από λιθοδομή ενώ οι στέψεις τους από ωπλισμένο σκυρόδεμα, όπως και ο φέρων οργανισμός της γέφυρας. Τα κατακόρυφα στοιχεία είναι τοιχώματα, τα ακραία εκ των οποίων για κάθε τόξο συνδέονται μέσω στηθαίου δίνοντας συνέχεια στη δομή της γέφυρας. Η γέφυρα αποτελεί ένα αξιόλογο και αντιπροσωπευτικό δείγμα οδομηχανικής της περιόδου του μεσοπολέμου.



Εικ. 1.56 : Γέφυρα ποταμού Ινάχου (1930)

Από την πολύ μεγάλη ένδεια στοιχείων και φωτογραφιών στο διαδίκτυο και την έλλειψη σχετικών ερευνών και εκδόσεων, προκύπτει πως το ενδιαφέρον για τις τοξωτές γέφυρες ωπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα είναι πολύ περιορισμένο. Ίσως η έλλειψη πολύ μεγάλων επιδόσεων, ίσως η εξοικείωση με το υλικό και η απουσία αίσθησης παλαιότητας και ιστορικότητας, οι γέφυρες αυτές δύσκολα εντοπίζονται με το όνομα και τα στοιχεία τους. Συχνά προκύπτουν από αναφορά σε παλαιότερες λίθινες γέφυρες πλάι στις οποίες ανεγέρθησαν, όπως η γέφυρα Κοσκάρρακα (Εικ. 1.57) στη Μάνη και η γέφυρα της Καρύταινας, αντικείμενο της παρούσας εργασίας και ίσως το μεγαλύτερο τόξο ωπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα.



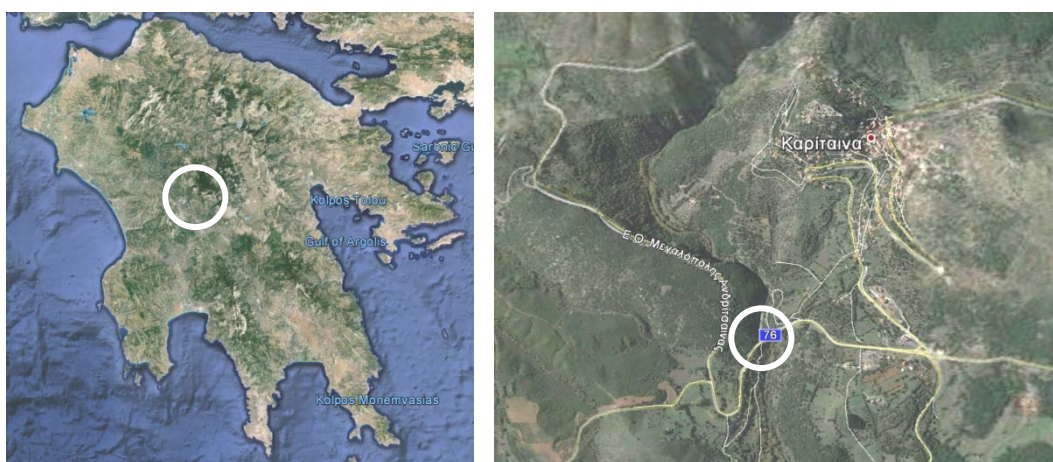
Εικ. 1.57 : Γέφυρα Κοσκάρρακα

2 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

2.1 ΘΕΣΗ

Η γέφυρα της Καρύταινας συνδέει τις πλαγιές που συναντώνται εκατέρωθεν του ποταμού Αλφειού, σε απόσταση περίπου 5 km από τη θέση συμβολής του με τον Λούσιο. Ο Λούσιος πηγάζει βορείως της Δημητσάνας και διασχίζοντας το ομώνυμο φαράγγι χύνεται στον Αλφειό, ο οποίος καταλήγει στον Κυπαρισσιακό κόλπο, πλησίον του Πύργου Ηλείας.

Η θέση¹ (Εικ. 2.1,2) έχει συντεταγμένες (37° 28'45.80"B, 22° 2'59.18"A), υψόμετρο περίπου 335 m, και χαρακτηρίζεται από ημιορεινό ανάγλυφο, με κλίσεις που κυμαίνονται κατά μέσον όρο μεταξύ 10 - 30%, και πυκνή βλάστηση.



Εικ. 2.1,2 : Δορυφορικές εικόνες της περιοχής

Η γέφυρα ανήκει στο ευρύτερο οδικό δίκτυο που εξυπηρετεί την επικοινωνία των οικισμών της ορεινής Αρκαδίας και, συγκεκριμένα, αποτελεί τμήμα της εθνικής οδού Μεγαλόπολης - Ανδρίτσαινας. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1 km από τη διασταύρωση της με την επαρχιακή οδό Καρύταινας - Στεμνίτσας. Με αφετηρία τη Στεμνίτσα, η διαδρομή που προηγείται πλησίον της γέφυρας είναι σχετικώς ομαλή ενώ εν συνεχεία αρχίζει ανάβαση με προορισμό την Ανδρίτσαινα.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην ευρύτερη περιοχή της Καρύταινας, σύμφωνα με το γεωτεχνικό χάρτη² του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών (ΙΓΜΕ), απαντώνται (Εικ. 2.3) σχηματισμοί φλύσχη (κατηγορία F - εναλλαγές κυρίως ιλυολίθων και φαμμιτών) με τοπικές εμφανίσεις ασβεσιτικών σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων (κατηγορία L). Η θέση της γέφυρας προφανώς ανήκει στην τελευταία κατηγορία, καθώς υπάρχει επιφανειακή εμφάνιση πετρώματος ασβεστολιθικής φύσεως.

Γενικώς στην εν λόγω κατηγορία, οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται συμπαγείς, συχνά μικροκρυσταλλικοί, παχυστρωματώδεις ή άστρωτοι έως λεπτοπλακώδεις ποικίλης αποχρώσεως. Κατά θέσεις μαργαϊκοί ή σε μικρότερη έκταση λιμναίοι τραβερτινοειδείς, συνήθως έντονα αποκαρστωμένοι στα επιφανειακά στρώματα και διαρρηγμένοι. Το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ μερικών δεκάδων έως και πολλών εκατοντάδων μέτρων. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή δευτερεύουσα περατότητα και μεγάλες τιμές μηχανικών

¹ Google Earth

² Γεωτεχνικός χάρτης της Ελλάδας, ΙΓΜΕ, 1993

αντοχών του ασβεστολιθικού υλικού, ενώ η συμπεριφορά της βραχόμαζας είναι συνήθως ικανοποιητική για τη θεμελίωση τεχνικών έργων. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή υπογείων έργων, όταν διαπιστώνεται η παρουσία μεγαλοκαρστικών μορφών (καταρρεύσεις οροφής εγκοίλων) και στις περιπτώσεις δευτερογενούς χαλάρωσης λόγω πυκνής διάρρηξης των στρωμάτων, δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών και πλήρωσης αυτών με άργιλο.

Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε τοπική κλίμακα, το ασβεστολιθικό πέτρωμα θρυμματίζεται εύκολα σε μέγεθος ψηφίδας. Αστοχίες στα πρανή εμφανίζονται συνήθως ως καταπτώσεις βραχωδών μαζών στις περιπτώσεις ισχυρών κλίσεων και αυξημένης δευτερογενούς χαλάρωσης της βραχομάζας ή διατάραξης της φυσικής ισορροπίας και δυναμικών φορτίσεων. Σπανιότερα, στους λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους με ενστρώσεις μάλιστα σχιστολιθικού υλικού εκδηλώνονται κατολισθητικά φαινόμενα τοπικής σημασίας.

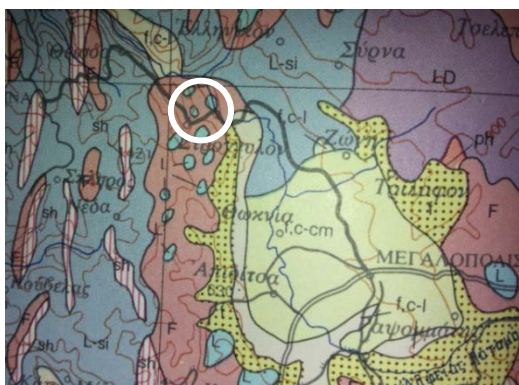
Το εύρος των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της κατηγορίας είναι:

ειδικό βάρος $\gamma_b = 25 - 27 \text{ kN/m}^3$

συνοχή $c_t = 10 - 30 \text{ MPa}$

γωνία τριβής $\varphi_t = 30 - 45^\circ$

αντοχή $q_u = 30 - 120 \text{ MPa}$



Εικ. 2.3 : Απόσπασμα γεωτεκτονικού χάρτη (ΙΓΜΕ 1989)

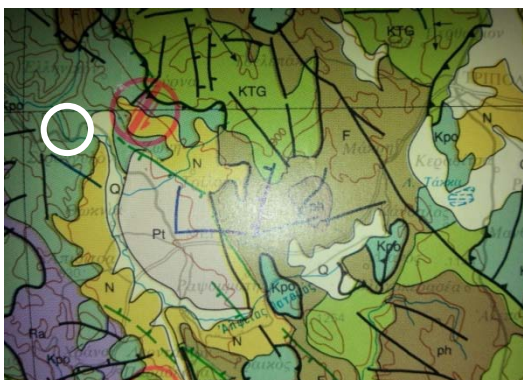
2.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ & ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με το σεισμοτεκτονικό χάρτη³ (Εικ. 2.4) του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών (ΙΓΜΕ) και σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω, η ευρύτερη περιοχή εντάσσεται στην κατηγορία Κρο στην οποία εντάσσονται σχηματισμοί του φλύσχη, κυρίως αργιλικόι σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τοπικά με στρώσεις ασβεστολίθων μικρού πάχους. Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους από μεγάλη ετερογένεια και ανομοιόμορφη μηχανική συμπεριφορά. Το πάχος τους είναι κυμαινόμενο μεταξύ 100 - 1500 m.

Η θέση της γέφυρας φαίνεται να ανήκει στην κατηγορία Ν, στην οποία κατατάσσονται μάργες, μαργαϊκοί σχιστόλιθοι, αργιλούχες μάργες, άργιλοι, άμμοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή νεογενούς και κατά θέσεις πλειστοκαινικής ηλικίας.

³ Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, ΙΓΜΕ, 1989

Τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά κυμαίνονται αναλόγως με τη λιθολογική φάση που επικρατεί. Η συνεκτικότητά τους είναι μέτρια. Οι άργιλοι χαρακτηρίζονται συχνά από αξιόλογη συμπίεστικότητα, οι δε μάργες παρουσιάζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Δεν απαντάται υδροφόρος ορίζοντας, ενώ το πάχος εμφάνισης είναι μερικές δεκάδες μέτρα.

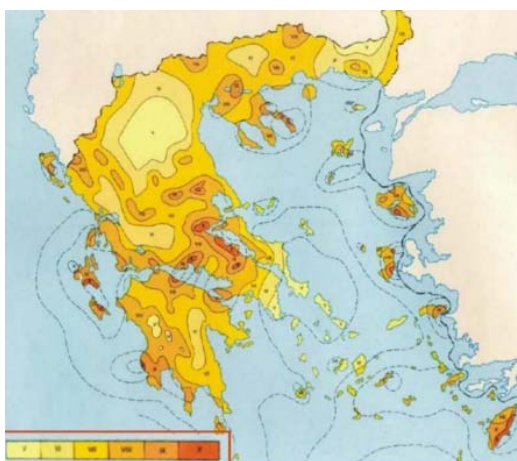


Εικ. 2.4 : Απόσπασμα σεισμοτεκτονικού χάρτη (IGME 1989)

Για την εν λόγω κατηγορία η μέση ταχύτητα διάδοσης διαμήκων κυμάτων είναι $V_p = 1800 - 3500$ m/sec.

Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες⁴, το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού για τα επόμενα 100 χρόνια κυμαίνεται μεταξύ 6.2 - 6.5.

Σύμφωνα με το γενικευμένο χάρτη μεγίστων εντάσεων που αφορά στην ελληνική επικράτεια μεταξύ των ετών 1700 - 1981 (Εικ. 2.5), η μέγιστη ένταση που έχει παρατηρηθεί είναι μεγέθους VIII, κατά την κλίμακα Mercalli.



Εικ. 2.5 : Γενικευμένος χάρτης μεγίστων εντάσεων 1700-1981 (IGME 1989)

Σύμφωνα με τον ισχύοντα χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας⁵, η περιοχή κατατάσσεται στην περιοχή μέσου κινδύνου (κατηγορία II) με μέγιστη αναμενόμενη επιτάχυνση 2.4 m/sec^2 , για πιθανότητα υπέρβασης 10% για 50 έτη.

⁴ Ι. Δρακόπουλος, Κ. Μακρόπουλος, 1982

⁵ Εθνικό προσάρτημα Ευρωκώδικα EN 1998

2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με το βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδας⁶ (στοιχεία ΔΕΗ για περίοδο 1950 – 1974) (Εικ. 2.6) η περιοχή δέχεται βροχόπτωση της τάξεως των 1000 – 1200 mm Hg ετησίως.



Εικ. 2.6 : Απόσπασμα βροχομετρικού χάρτη (ΙΓΜΕ 1989)

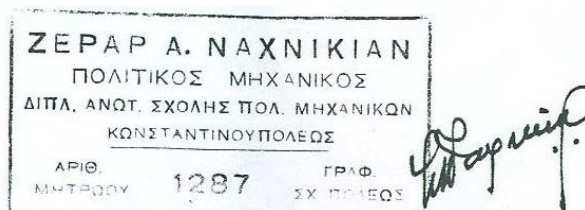
2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ

Παρά τη θεμελίωση της γέφυρας σε βραχώδες υπόβαθρο με υψομετρική διαφορά περίπου 8 m από την κοίτη του ποταμού, το ευρύτερο περιβάλλον (έδαφος, ατμόσφαιρα) εμφανίζει αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Το νερό των ποταμών εμφανίζει περιοδικά κυμαινόμενες συγκεντρώσεις ιόντων και αλάτων, με μέγιστες τιμές κατά την άνοιξη, λόγω της τήξεως του χιονιού. Το είδος των περιεχόμενων ουσιών εξαρτάται από τα πετρώματα και τα εδάφη από τα οποία πηγάζει και διέρχεται το νερό, και ο βαθμός βλαπτικότητας τους ποικίλει.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρυπαντών που προκαλεί η μονάδα παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη στη Μεγαλόπολη, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση περίπου 9 km από την Καρύταινα.

2.6 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ιστορία της σύγχρονης τοξωτής γέφυρας είναι σχετικώς μικρή, καθώς η κατασκευή της ολοκληρώθηκε σύμφωνα με προφορικές μαρτυρίες περί το 1961. Μελετητής της γέφυρας υπήρξε ο πολιτικός μηχανικός Ζεράρ Ναχνικιάν, αποκαλούμενος από μερικούς «πατριάρχης» των μηχανικών των δεκαετιών 1930 - 1960.



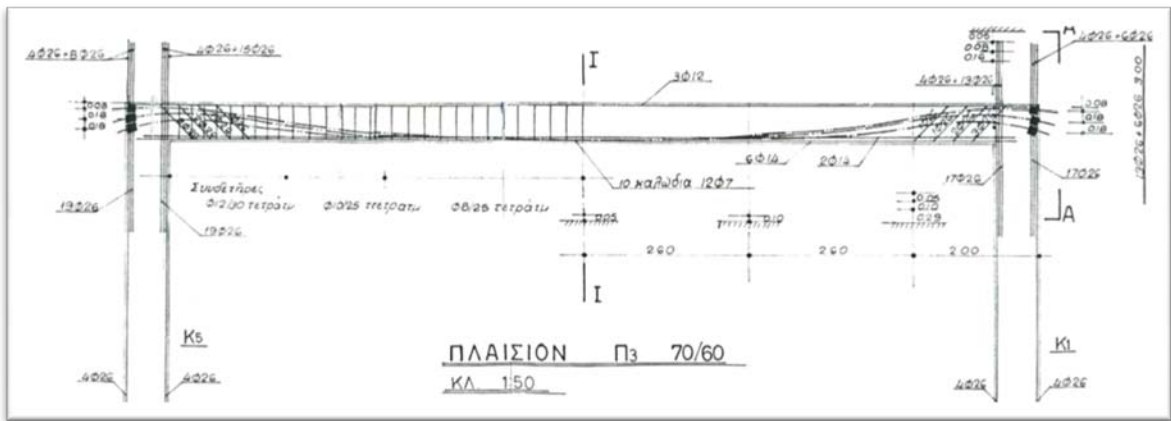
Εικ. 2.7 : Σφραγίδα και υπογραφή του Ζεράρ Ναχνικιάν

⁶ Βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας, ΙΓΜΕ, 1989

Ο Ναχνικιάν ενδέχεται να ήταν ο πρώτος μηχανικός που εφάρμοσε την τεχνολογία του προεντεταμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα. Το γραφείο που τον διαδέχθηκε έχει την επωνυμία των εταίρων του «Παγώνης - Χρονέας - Κινάτος» και υπάρχει μέχρι και σήμερα.

Από τους τρεις εταίρους, ο πολιτικός μηχανικός Νικόλαος Χρονέας ενσωματώθηκε στο γραφείο του Ναχνικιάν το 1960, αμέσως μετά την ολοκλήρωση των στρατιωτικών του υποχρεώσεων και σε εποχή άνθισης της οικοδομικής δραστηριότητας. Το γραφείο του Ναχνικιάν, με έδρα στην Αθήνα, ήταν από τα κορυφαία της περιόδου για την Ελλάδα.

Συγκυριακά, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας προέκυψε επαγγελματική ενασχόληση με αντικείμενο την αποτίμηση φέρουσας ικανότητας σε κτήριο μελετημένο από το εν λόγω γραφείο, από το οποίο ευρέθησαν η σφραγίδα και η υπογραφή του επί κεφαλής (Εικ. 2.7). Στην εν λόγω μελέτη φαίνεται η άνεση με την οποία χειρίζονταν το σχεδιασμό φορέων από ωπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, και μάλιστα τη χρήση του τελευταία ακόμη και σε έργα μικρής κλίμακας. Η ιδιαίτερη επιμέλεια τόσο στα γενικά σχέδια, τα σχέδια λεπτομερειών (Εικ. 2.8,11) αλλά και το τεύχος στατικών υπολογισμών επιβεβαιώνει πως επρόκειτο για γραφείο σοβαρών προδιαγραφών.



Εικ. 2.8 : Σχέδιο όπλισης πλαισίου με προεντεταμένο ζύγωμα από μελέτη του Ζ. Ναχνικιάν

ΠΑΡΑΔΟΧΑΙ

Η παρούσα στατική μελέτη αφορά τών μετέωρων υλορείου και υλορείου, μετά προβλεπόμενους 2 ούστες φόρμους.-

<u>Παραδοχαι φορτίων:</u>	Υψ. φορτ. κερφόρου	2.40 t/m ²
	Στοιχοποιία μασσαί	0.36 t/m ²
	Υψηρικήας	0.08 t/m ²
<u>Χιόνισα:</u>	Είς τών οροφών υλορείου ράμφο	0.50 t/m ²
	Είς τού εδάφους τού υλορείου ράμφο	4.50 t/m ²
	" τής υλορείου "	1.00 t/m ²
<u>Υδάτα:</u>	Συμφορμα	8.450
	Χάμφο	5t III ₄
	Καλώδια φορτωσίους	12φ7 St 150/170
Τόπος Δομοκλίσεως	α = 2.50 t/m ²	
Σταθμικός συντελεστής	ε = 0.04	

Εικ. 2.9 : Πίνακας παραδοχών στατικής μελέτης

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ
 ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΔΗΛΩΣΙΣ
 ΜΕΛΕΤΗΤΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
 ΤΩΝ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Ο υπογεγραμμένος *Ζεραφ. Ναχικιάν* Διπλωματούχος *Πολιτικός Μηχανικός*
 κεκτημένος βάσει του Νόμου του δικαιώματος άσκησης του επαγγέλματος *Πολιτικός Μηχανικός*
 κάτοικος *Αθηνών* οδός ... *Παροδ. Λαμπροπούλου* αριθ. *4* .. τηλ. *7.15.7.7*
 Αριθ. Ταυτότητας ... *23.54.1* Χρονολογία εκδόσεως ... *13-3-68* Αστυν. Τμήμα *Κέραια*
 αζ. αριθμ. Μητρώου του Π.Γ.Α.Π. *1287*

ΔΗΛΩΣΗ ΥΠΕΥΘΥΝΟΥΣ

A) Διά την περίπτωσιν φέροντος οργανισμού έξ όπλισμένου σκυροδέματος:

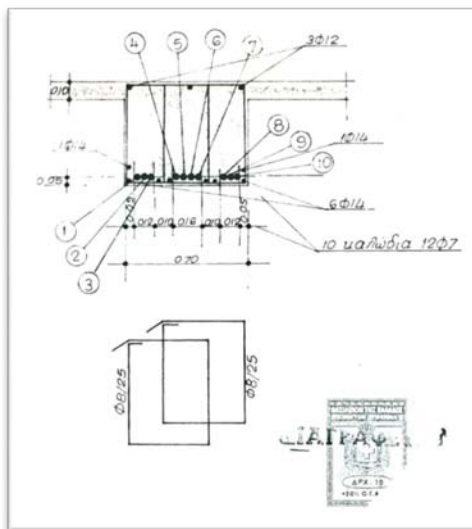
- 1) "Ότι κατά την σύνταξιν τής μελέτης, συνεμορφώθη πλήρως προς τούς έν ισχύϊ κανονισμούς όπλισμένου σκυροδέματος, ώς και τόν αντισεισμικόν Κανονισμόν οικοδομικών Εργων.
- 2) "Ότι αναλαμβάνω την πλήρη εϋθύνην διά την ακρίθειαν τών υπολογισμών.
- 3) "Ότι κατά την έκτέλεσιν θά προθώ εις την Έγκαιρον και έπιμελημένην σύνταξιν τών σχεδίων λεπτομερειών.
- 4) "Ότι θά συμμορφωθώ πλήρως κατά την κατασκευήν προς τάς διατάξεις του κανονισμού όπλισμένου σκυροδέματος (B.Δ. 18.2.1954).
- 5) "Ότι συνεχώς θά παρακολουθώ και θά έλέγχω την όρθήν και ακριβή τοποθέτησιν τών όπλισμών, την στατικήν έπάρκειαν τών ζυλοτύπων, την σύμφωνον προς την μελέτην από πάσης άπόψεως έπιμελημένην έκτέλεσιν του σκυροδέματος, ύπέχων πλήρη και άκεραίαν την εϋθύνην επί πάντων τών ζητημάτων τούτων.

B) Διά την περίπτωσιν φέροντος οργανισμού υλικών διαφόρων του όπλισμένου σκυροδέματος:

- 1) "Ότι συνεμορφώθη πλήρως προς τόν έν ισχύϊ αντισεισμικόν κανονισμόν οικοδομικών Εργων.
- 2) "Ότι αναλαμβάνω την πλήρη εϋθύνην διά την ακρίθειαν τών υπολογισμών.
- 3) "Ότι κατά την έκτέλεσιν θά προθώ εις την Έγκαιρον και έπιμελημένην σύνταξιν τών σχεδίων λεπτομερειών.

Έν ... *Αθηνών* τη ... *5* ... *Απριλίου* ... 1969.

Εικ. 2.10 : Υπεύθυνη δήλωση στατικής μελέτης του γραφείου Ναχικιάν



Εικ. 2.11 : Λεπτομέρεια όπλισης δοκού

Παρά ταύτα, η προφορική επικοινωνία με τον Ν. Χρονέα δεν έδωσε διαφωτιστικά στοιχεία για τη σταδιοδρομία του Ζ. Ναχικιάν είτε για το σχεδιασμό της γέφυρας, πέραν του ότι πρέπει να μελετήθηκε προ της συνεργασίας τους.

Η αναζήτηση στην αρμόδια Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (ΔΜΕΟ) απέβη εξίσου άκαρπη, καθώς σύμφωνα με τον υπεύθυνο του αρχείου δεν υπάρχει κανένα στοιχείο τεκμηρίωσης για τεχνικά έργα οδοποιίας στην Ελλάδα προ του 1980.

Γενικώς, η επιλογή φορέα τριαρθρωτού τόξου δεν είναι σπάνια σε έργα γεφυροποιίας εκείνης της περιόδου, ενίοτε δε χρησιμοποιείται και σε σύγχρονες κατασκευές. Δύο είναι οι λόγοι καταφυγής σε μη μονολιθικό φορέα: πρώτος είναι η ανεπαρκής φέρουσα ικανότητα του εδάφους που μπορεί να επιφέρει διαφορικές καθιζήσεις ή και γενικευμένη αστοχία της θεμελίωσης. Τα φορτία που προκαλούν στις κατασκευές οι υποχωρήσεις στηρίξεων είναι ιδιαίτερος σημαντικά, συχνά πολύ μεγαλύτερα των ιδίων βαρών και των φορτίων λειτουργίας. Ως εκ τούτου, σε τέτοιες περιπτώσεις επιλέγονται φορείς με σχετική κινητότητα, όπως το τριαρθρωτό τόξο. Ο δεύτερος λόγος επιλογής τριαρθρωτού φορέα σε παλαιότερους καιρούς ήταν οι περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες. Η έλλειψη ηλεκτρονικών υπολογιστών οδηγούσε τους μηχανικούς στην επιλογή ισοστατικών φορέων, προκειμένου να είναι δυνατή η σχετικώς ασφαλής εκτίμηση των εντατικών μεγεθών.

Μη καθοριστικής σημασίας παράγοντες που εμφανίζονται με μικρότερη ένταση σε φορείς με εσωτερικές ελευθερώσεις απ' ότι σε μονολιθικούς είναι η συστολή ξηράνσεως, οι συστολοδιαστολές λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών με καθολικό ή διαφορικό τρόπο (διαφορετικές συνθήκες ηλιασμού μεταξύ των πλευρών της γέφυρας) και ο ερπυσμός.

Η γέφυρα της Καρύταινας θεμελιώνεται σε βραχώδες, ως εκ τούτου πρακτικώς ασυμπίεστο, υπόβαθρο. Η επιλογή τριαρθρωτού φορέα υπάγεται πέραν πάσης αμφιβολίας στη δεύτερη περίπτωση.

Κατά τη δεκαετία του 1970, το μελετητικό γραφείο του Ζεράρ Ναχνικιάν έπαψε να χρησιμοποιεί τριαρθρωτούς φορείς καθώς είχε πλέον πρόσβαση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ορισμένα συγκριτικά στοιχεία μπορεί να αντληθούν από την τοξωτή γέφυρα της Τούμπρης (Εικ. 2.12), στους Δελφούς. Η εν λόγω γέφυρα μελετήθηκε από το κληρονόμο γραφείο «Παγώνης - Χρονέας - Κινάτος» σε επίπεδο οριστικής μελέτης, για λογαριασμό της εργοληπτικής εταιρίας δημοσίων έργων Σκαπανεύς Α.Ε. Η γέφυρα είναι τριών ανοιγμάτων συνολικού μήκους 100 m όπου τα ακραία ανοίγματα με μήκος 25 m είναι αμφιέριστα ενώ το κεντρικό, μήκους 50 m, είναι τοξωτό. Στα στοιχεία που παρατίθενται στην ιστοσελίδα της εταιρείας, αναφέρεται πως το κυρίως άνοιγμα κατασκευάστηκε με τέσσερα προεντεταμένα τοξωτά δοκάρια, τα οποία θεμελιώνονται στα πέδιλα των βάθρων και αναρτώνται από το κατάστρωμα μέσω προεντεταμένων ελκυστήρων. Τα ακραία ανοίγματα της γέφυρας έχουν κατασκευαστεί από προεντεταμένη πλάκα πάχους 0.80 m, ενώ το μεσαίο με πάχος 0.50 m. Τα βάθρα αποτελούνται από δίστηλα πλαίσια με μέγιστο ύψος περίπου 25 m. Η ανάθεση έγινε τον Απρίλιο του 1971 και η περαίωση τον Ιανουάριο του 1972.



Εικ. 2.12 : Γέφυρα Τούμπρης στους Δελφούς

Η γέφυρα της Τούμπρης, παρότι εξ όψεως είναι σχεδόν πανομοιότυπη με τη γέφυρα της Καρύταινας, διαφέρουν, αφ' ενός, στη χρήση προεντεταμένων στοιχείων και, αφ' ετέρου, στο ότι το τοξωτό άνοιγμα της μεν είναι μονολιθικό ενώ της δε τριαρθρωτό. Όπως προαναφέρθη, σύμφωνα και με τη μαρτυρία του Ν. Χρονέα, η επιλογή του στατικού συστήματος καθεμιάς επιβλήθηκε από τις υπολογιστικές δυνατότητες της κάθε εποχής.

Η γέφυρα της Καρύταινας υπολογίστηκε στα μέσα έως τέλη της δεκαετίας του 1950 κατά πάσα πιθανότητα «με το χέρι» και το λογαριθμικό κανόνα (Εικ. 2.13) ή κάποια επιτραπέζια υπολογιστική μηχανή (Εικ. 2.14) που λειτουργούσε με πολύπλοκα συστήματα γραναζιών και εκτελούσε προσθαφαιρέσεις και πολλαπλασιασμούς.



Εικ. 2.13 : Λογαριθμικός κανόνας



Εικ. 2.14 : Επιτραπέζια υπολογιστική μηχανική ελβετικής κατασκευής (1952)

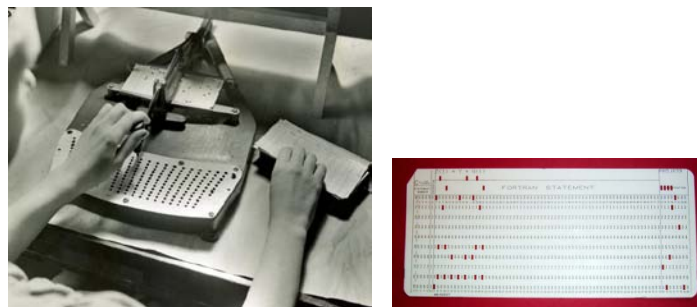
Την εποχή εκείνη κατά πάσα πιθανότητα δεν υπήρχαν άλλα υπολογιστικά μέσα στην Ελλάδα: ο πρώτος υπολογιστής IBM 650 (Εικ. 2.15) εγκαταστάθηκε στην Εθνική Τράπεζα της Ελλάδας το 1959.

Η επιλογή τριαρθρωτού τόξου διευκολύνει τον υπολογισμό των αντιδράσεων καθώς πρόκειται για ισοστατικό φορά. Ωστόσο, καθένα από τα δύο συμμετρικά τμήματα του τόξου αποτελούν εσωτερικώς υπερστατικούς φορείς. Προκειμένου να υπολογιστούν τα εντατικά μεγέθη και να γίνει η διαστασιολόγηση των δοκών του καταστρώματος εκτιμάται πως έγινε η παραδοχή συνεχούς δοκού. Εν συνεχεία, οι αντιδράσεις των στηρίξεων χρησιμοποιήθηκαν για τη διαστασιολόγηση των υποστρωμάτων και τελικά, λαμβάνοντας υπ' όψιν και το φορτία ίδιου βάρους τους τη φόρτιση του τόξου. Δεν υπάρχουν ενδείξεις για χρήση προεντάσεως σε κανένα δομικό στοιχείο της γέφυρας.

Μια δεκαετία αργότερα, στην περίπτωση της γέφυρας Τούμπρης, ο υπολογισμός έγινε με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή με πρόγραμμα το οποίο είχε συντάξει ο Ν. Χρονέας, που υπήρξε πρωτοπόρος του προγραμματισμού για εφαρμογές πολιτικού μηχανικού στην Ελλάδα (δημιουργός του λογισμικού NEXT). Τις πρώτες δεκαετίες χρήσης υπολογιστών, τα μηχανήματα καταλάμβαναν ιδιαίτερος σημαντικό όγκο, είχαν ταχύτητες που σήμερα φαίνονται αδιανόητα χαμηλές, είχαν πολύ μεγάλη κατανάλωση ρεύματος και τόσο η εισαγωγή δεδομένων όσο και η εξαγωγή τους ήταν ιδιαίτερος κοπιώδεις. Ο κώδικας μετά από κωδικοποίηση μέσω του δυαδικού συστήματος και εισήγето στον υπολογιστή διά μέσου διάτρητων καρτών (Εικ. 2.16,17). Οι μελετητές «έτρεχαν» τα προγράμματά τους σε εταιρείες που διέθεταν υπολογιστές προς ενοικίαση με χρονοχρέωση.



Εικ. 2.15 : Ηλεκτρονικός υπολογιστής IBM 650



Εικ. 2.16,17 : Διατρητική μηχανή (Hollerith pantograph) και διάτρητη κάρτα εισαγωγής δεδομένων (punched card)

Η υπολογιστική ευχέρεια έδωσε τη δυνατότητα επιλογής ενός κατασκευαστικά απλούστερου φορέα, άνευ συνδέσεων ιδιαίτερων κατασκευαστικών απαιτήσεων, ο οποίος ήταν κατά πάσα πιθανότητα οικονομικότερος και σε όρους όγκου σκυροδέματος ως υπερστατικός.

Ένα ακόμη κοινό στοιχείο που συνδέει τις δύο γέφυρες, όπως επίσης και μεγάλο πλήθος γεφυρών ανά τον κόσμο, είναι οι αφορμές κατασκευής τους: η καταστροφή των προγενεστέρων τους από πολεμικές συγκρούσεις.

Η παρακείμενη λίθινη πεντάτοξη γέφυρα της Καρύταινας, συνολικού μήκους 50 m, συνιστά μνημείο ιδιαίτερης ιστορικής σημασίας καθώς ανάγεται στην περίοδο της φραγκοκρατίας (13ος αιώνας) και βρίσκεται στο δρόμο που συνέδεε το κάστρο της Καρύταινας με τη Μεσσηνία κατά το μεσαίωνα. Μια εντοιχισμένη μαρμάρινη επιγραφή πληροφορεί πως η γέφυρα επισκευάστηκε το 1441 από τον Ραούλ Μανουήλ τον Μελική, ενώ στη δυτική πλευρά υπάρχει παρεκκλήσι αφιερωμένο στην Παναγία. Η γέφυρα είναι ευρέως γνωστή από την απεικόνιση της στο παλαιό χαρτονόμισμα των 5000 δραχμών (Εικ. 2.18).



Εικ. 2.18 : Λίθινη γέφυρα Καρύταινας στο χαρτονόμισμα των 5000 δραχμών

Από τα πέντε τόξα που την αποτελούσαν αρχικά, σήμερα σώζονται μονό τα τρία. Το μεγαλύτερο τόξο το οποίο γεφύρωνε την μόνιμη κοίτη του Αλφειού, καθώς επίσης και το γειτονικό του, ανατινάχθηκαν από

αντάρτες κατά την περίοδο του εμφυλίου. Η αποκατάσταση έγινε άμεσα από τον τακτικό στρατό, με μεταλλικές δοκούς και ξύλινο κατάστρωμα τα οποία παραμένουν έως και σήμερα. Η καταστροφή αυτή, σε συνδυασμό με την ανάκαμψη της χώρας μετά το πέρας της ιταλογερμανικής κατοχής και του εμφυλίου πολέμου, οδήγησαν στην ανάγκη της νέας χάραξης και της κατασκευής γέφυρας πολύ μεγαλύτερης δυναμικότητας από την παλαιά.

Αντίστοιχη ήταν η ιστορία της Τούμπρης όπως προκύπτει από αρχεία του Γενικού Επιτελείου Στρατού, καθώς ανατινάχθηκε το 1943 προκειμένου να αποφευχθεί καταδίωξη συντάγματος του ελληνικού στρατού από τις γερμανικές δυνάμεις.

Τέλος, από συνομιλία με κάτοικο της Καρύταινας ο οποίος είχε εργαστεί στην κατασκευή της γέφυρας, προέκυψαν περιορισμένα στοιχεία σχετικά με το εργατικό δυναμικό και τη χρονική διάρκεια της κατασκευής. Σχεδόν όλος ο ανδρικός πληθυσμός της Καρύταινας αλλά και πλήθος από τα εγγύς χωριά συνέβαλαν στην κατασκευή, μεγάλο μέρος των οποίων ήταν ανειδίκευτο. Πλησίον του εργοταξίου υπήρχε πρόχειρο μαγειρείο και τραπεζαρία για το προσωπικό ενώ η εργασία γινόταν σε δύο βάρδιες. Εντύπωση προκαλούσαν τα ξύλινα ικριώματα λόγω του πλήθους και της πυκνότητάς τους, καθώς επίσης και οι αρθρωτές στηρίξεις οι οποίες έμειναν στη μνήμη του εργάτη ως «ρουλεμάν». Ο εν λόγω εργάτης δεν είχε υπ' όψιν το όνομα του μελετητή ή κάποιου άλλου συντελεστή, παρά μόνον γνώριζε για την ύπαρξη κάποιου τοπικού υπεργολάβου.

2.7 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΗΜΑΤΟΣ

2.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η γέφυρα της Καρύταινας αποτελεί σύνολο από τρία επιμέρους ευθύγραμμα τμήματα γεφυρώσεων, δομικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η ζεύξη των ακραίων ανοιγμάτων 18.80 m πραγματοποιείται μέσω επαλλήλων αμφοερείστων δοκών, ενώ το κεντρικό άνοιγμα 62.00 m γεφυρώνεται από επάλληλα τριαρθρωτά τόξα. Το ωφέλιμο πλάτος της γέφυρας είναι 7.15 m και το συνολικό 9.30 m, ενώ η μέγιστη τιμή της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του καταστρώματος και της στάθμης ύδατος του ποταμού, πλησιάζει τα 28 m.

2.7.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Η θεμελίωση όλων των βάθρων γίνεται στο μητρικό πέτρωμα, η επιφανειακή έξαρση του οποίου χαρακτηρίζει την ευρύτερη γειτονία της γέφυρας αλλά και της κοίτης του ποταμού. Ενδέχεται κατά τη φάση διαμόρφωσης να εμπήχθησαν μεταλλικές ράβδοι στο βραχώδες υπόβαθρο για αύξηση της ευστάθειας έναντι ολίσθησης, αν και την περίοδο κατασκευής η διαθεσιμότητα μηχανημάτων διάτρησης ήταν μάλλον περιορισμένη.

Περισσότερα στοιχεία για τη θεμελίωση παρατίθενται εν συνεχεία, ανά δομικό στοιχείο.

2.7.3 ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ

Τα ακρόβαθρα είναι θεμελιωμένα σε υψομετρική διαφορά από τα μεσόβαθρα, περί τα 11 m υψηλότερα όσον αφορά στο νότιο και περί τα 13 m για το βόρειο. Η γεωμετρία της θεμελίωσης δεν είναι εμφανής, ωστόσο αναμένεται να έχει κατασκευαστεί πέδιλο όπισθεν της εμφανούς όψεως των βάθρων, το οποίο πέραν της αύξησης της επιφάνειας επιβολής των φορτίων κατασκευάζεται συνήθως προκειμένου να συμβάλλει στην ευστάθεια των βάθρων, αξιοποιώντας το βάρος των επιχώσεων της περιοχής πρόσβασης

(μεταβατικό επίχωμα). Το εμφανές τμήμα ταυτίζεται με τις εξωτερικές διαστάσεις των ακροβάθρων, ήτοι 9.30x1.00 m² περίπου.

Οι κορμοί των ακροβάθρων είναι συμπαγή τοιχώματα από ωπλισμένο σκυρόδεμα, πλάτους ίσου με το πλάτος του καταστρώματος, ήτοι 9.30 m και ύψους περίπου 7 m για το ανατολικό και 5 m για το δυτικό άκρο. Το πάχος τους δεν είναι εμφανές, ωστόσο σύμφωνα με τον τρόπο κατασκευής των μεσοβάθρων, αναμένεται να είναι τουλάχιστον 1.20 m, δηλαδή κατά 20 cm παχύτερα από την εσοχή της στέψης τους (βάθρο) στην οποία εδράζονται οι δοκοί που φέρουν το κατάστρωμα. Το πάχος αυτό συνιστά το θωράκιο του ακροβάθρου, το οποίο ενδέχεται να περιλαμβάνει διάταξη βραχέως προβόλου στην οπίσθια παρειά του, προκειμένου να αναλάβει την πλάκα πρόσβασης. Κατά τις πλάγιες - διαμήκειες πλευρές τα ακρόβαθρα συνδέονται με τοιχία που ακολουθούν την κλίση του εδάφους έως ότου προσεγγισθεί η θέση μετάβασης στο επίχωμα.

Η πλευρική συγκράτηση των χωμάτων γίνεται από λίθινες κατασκευές (Εικ. 2.19) περίπου τεταρτοκωνικής μορφής.



Εικ. 2.19 : Λίθινος αναλημματικός τοίχος

2.7.4 ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ

Τα μεσόβαθρα είναι σκυροδετημένα σε βραχώδες υπόβαθρο με κλίση περί τις 30° τοπικά, το οποίο ενδεχομένως να διαμορφώθηκε μερικώς κατά την κατασκευή, καθώς η θεμελίωση σε επιφάνεια κάθετη στη συνισταμένη των αντιδράσεων περιορίζει τη δυνατότητα ολίσθησης. Τα πέδιλα είναι συμπαγείς όγκοι σκυροδέματος, τραπεζοειδούς διατομής με ορθογωνική προέκταση και μεταβλητό ύψος σύμφωνα με τη γεωμετρία του εδάφους, με μικρή βάση 2.70 m, μεγάλη βάση περί τα 6.00 m, μέγιστο ύψος 3.50 m και πλάτος 11.30 m, κατά 2.90 m μεγαλύτερο από το συνολικό πλάτος των τεσσάρων τόξων.

Τα μεσόβαθρα συνιστούν υψηλούς και παχείς τοίχους, στους οποίους εδράζονται οι αμφιέριστες δοκοί. Ο τοξωτός φορέας θεμελιώνεται από κοινού με τα μεσόβαθρα, δίχως να έρχεται πουθενά σε επαφή με αυτά. Όπως και στην περίπτωση των ακροβάθρων, τα μεσόβαθρα δείχνουν να είναι συμπαγείς όγκοι από σκυρόδεμα, καθώς διεπιστώθη από διαμπερές άνοιγμα που έχει μείνει από τη φάση σκυροδέτησης και χρήση συμβατικής (Εικ. 2.20) και ενδοσκοπικής κάμερας.



Εικ. 2.20 : Σχέδια - φωτογραφίες γεωμετρίας μεσοβάθρων

2.7.5 ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΕΣ ΔΟΚΟΙ

Η γεφύρωση των ακραίων ανοιγμάτων γίνεται με αμφιέρειστες δοκούς σταθερού πλάτους 30 cm και μεταβλητού ύψους. Στις εδράσεις η κρέμαση των δοκών είναι 1.50 m, ενώ στο μέσον των ανοιγμάτων μειούνται κατά περίπου 45 cm, φθάνοντας τα 1.05 m. Όπως προαναφέρθη, η μείωση αποδίδεται σε αισθητικούς λόγους, καθώς η απαίτηση για μεγιστοποίηση της φέρουσας ικανότητας έναντι κάμψης, άρα και του στατικού ύψους, συναντάται στο μέσον των ανοιγμάτων. Συμμετρικά ως προς το μέσον, σε απόσταση 2.50 m, διατάσσονται εγκάρσιες δοκοί με διατομή περίπου 20 cm. Δοκοί περίπου ίδιας διατομής συναντώνται στην αρχή και το πέρας των αμφιερείστων μελών, διαμορφώνοντας ένα κλειστό πλαίσιο περιμετρικά της εσχάρας.

Οι εδράσεις των δοκών στις στέψεις των ακροβάθρων και των μεσοβάθρων γίνεται δίχως την παρεμβολή εφεδράνων και, κατά πάσα πιθανότητα, άνευ παρεμβολής οπλισμού. Ως εκ τούτου, το σύνολο αμφιέρειστες δοκοί - πλάκες καταστρώματος είναι απλώς εδραζόμενο, αντιστεκόμενο στις δυνάμεις ολισθήσεως μέσω των δυνάμεων τριβής υπό τον περιορισμό των θωρακίων και, για την περίπτωση των μεσοβάθρων, των απολήξεων που χρησιμεύουν και ως τοιχία πλευρικής συγκράτησης (ωτίδες).



Εικ. 2.21 : Εδράσεις αμφιερείστων δοκών βορείου ανοίγματος σε μεσοβάθρο και ακρόβαθρο

2.7.6 ΤΟΞΑ

Τα τέσσερα επάλληλα τόξα συνιστούν τους βασικούς φορείς γεφύρωσης του κεντρικού ανοίγματος. Κάθε τόξο αποτελείται από δύο τμήματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους στην κορυφή (Εικ. 2.21) μέσω μηχανισμών - αρθρώσεων, όπως και στις εδράσεις τους (Εικ. 2.22,23) με τα πέδιλα.

Η διατομή των τόξων είναι ορθογωνική, με πλάτος 88 cm και μεταβαλλόμενο ύψος: η μέγιστη τιμή τους είναι 165 cm στις γενέσεις - θέσεις εδράσεως, ακολουθεί γραμμική μείωση έως τα 125 cm σε απόσταση περίπου 2.70 m από το άκρο της έδρασης, τιμή που διατηρείται σταθερή έως τη θέση, πλησίον της κλείδας, όπου κάθε τόξο ενοποιείται με την αντίστοιχη δοκό καταστρώματος, και η διατομή του τοξωτού τμήματος φθάνει τα 95 cm.

Οι αρθρώσεις υλοποιούνται μέσω επαλλήλων εμπλεκόμενων ελασμάτων τριγωνικής απολήξεως, τα οποία διατρέχονται από πείρο. Η διάταξη δεσμεύει τους πέντε από τους έξι διαθέσιμους βαθμούς ελευθερίας χωρικού σημείου (μετακινήσεις κατά x-y-z και στροφές κατά x-z) αφήνοντας ελεύθερη τη στροφή περί τον άξονα του πείρου (y).



Εικ. 2.21-23 : Αρθώσεις εδράσεων και κορυφής

2.7.7 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Στο άνω πέλμα εκάστου ημιτόξου εδράζονται πέντε υποστυλώματα τετραγωνικής διατομής, διάστασης πλευράς 40 cm, με λοξότμηση των ακμών πλευράς 4 cm. Στη γένεση των τόξων, τα υποστυλώματα εμφανίζουν ορθογωνική διατομή με πλευρές 40x60 cm² και συνδέονται με τοίχιο πάχους 30 cm, το οποίο διατάσσεται προς το μέσον τους, σε απόσταση 13 cm από την οπίσθια πλευρά τους, κατά πάσα πιθανότητα για να είναι δυνατή η ορθή διάταξη των οπλισμών αμφοτέρων των στοιχείων.

2.7.8 ΔΟΚΟΙ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Οι δοκοί του καταστρώματος είναι ορθογωνικής διατομής, με κρέμαση περίπου 40 cm και εκτιμώμενο συνολικό ύψος 60 cm. Διατάσσονται κατά τη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας, συνδέοντας τις κορυφές των υποστυλωμάτων που εδράζονται στα τέσσερα επάλληλα τόξα. Όπως προαναφέρθη, σε απόσταση περίπου 8 m από την κορυφή του τόξου, οι δοκοί του καταστρώματος ενοποιούνται με το καμπύλο τόξο, αυξάνοντας το ύψος τους μα διατηρώντας σταθερό το πλάτος τους. Κατά το εν λόγω διάστημα των 8 m διατάσσονται τρεις ακόμη σειρές δοκών κατά την εγκάρσια διεύθυνση, εκ των οποίων η τελευταία απέχει περίπου 80 cm από το άκρο του φορέα και τον αντίστοιχο αρμό, κατά πάσα πιθανότητα προκειμένου να διευκολύνει την κατασκευή του.

2.7.9 ΠΛΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το κατάστρωμα της γέφυρας αποτελείται από συμπαγείς πλάκες που ορίζονται από τα φατνώματα των δοκών. Το τυπικό φάτνωμα είναι 2.00x3.50 m² ενώ το ακριβές πάχος των πλακών είναι άγνωστο. Από οπτική παρατήρηση προκύπτει πως το πάχος των τμημάτων των πλακών που ευρίσκεται εν προβόλω, με άνοιγμα περίπου 70 cm, διαθέτει αυξημένο πλάτος. Με συντηρητική εκτίμηση, το πάχος των πλακών στα εσωτερικά φατνώματα δεν αναμένεται λιγότερο από 20 cm.

2.7.10 ΜΗ ΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μη φέροντα στοιχεία της γέφυρας συνίστανται στα κάτωθι:

- Το οδόστρωμα, που αποτελείται από ασφαλική επίστρωση πάχους 3 cm άνωθεν χυτής υποβάσεως πάχους περίπου 10 cm.
- Τα ρείθρα, σκυροδετημένα σε δεύτερη φάση. Ο εγκάρσιος οπλισμός είναι συχνά ορατός λόγω απώλειας επικαλύψεων και έχει διάμετρο 6 mm.
- Τα στηθαία ασφαλείας - παραπέτα (Εικ. 2.25-27), που αποτελούνται από χαλύβδινες ράβδους τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής με πάχη 1-2 cm και πλάτη 2-5 cm.
- Αγωγός ύδρευσης (Εικ. 2.26), αναρτημένος από τους ορθοστάτες των στηθαίων, διαμέτρου περίπου 10 cm. Οι αναρτήρες είναι ελάσματα ορθογωνικής διατομής 1x4 cm² με κατάλληλη διαμόρφωση. Ο αγωγός διέρχεται από τις απολήξεις των μεσοβάθρων προς ανατολάς.
- Τα αρμοκάλυπτρα (Εικ. 2.24), που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν τη συνέχεια του οδοστρώματος στις επτά θέσεις αρμών της γέφυρας. Είναι μεταλλικά ελάσματα πάχους 1 cm, συνδεδεμένα με τη στέψη των θωρακίων των μεσοβάθρων και ακροβάθρων, και με ένα από τα δύο ημίτοξα του κεντρικού ανοίγματος.
- Οπές απορροής ομβρίων υδάτων, απλές ορθογωνικές άνευ σωληνώσεων, που υπάρχουν σε τέσσερις θέσεις ανά πλευρά κατά μήκος του κεντρικού ανοίγματος και δύο ακόμη ανά άνοιγμα στις ακραίες γεφυρώσεις.



Εικ. 2.24 : Αρμοκάλυπτρο νοτίου μεσοβάθρου - τόξου



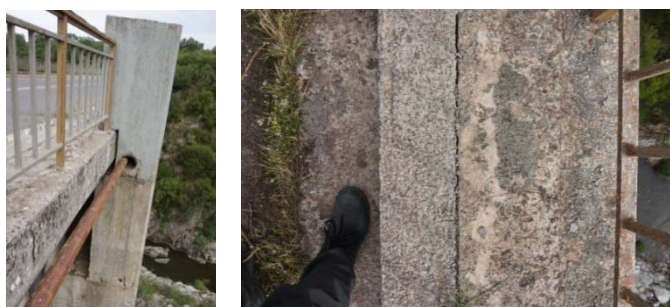
Εικ. 2.25-27 : Λεπτομέρειες κγκλιδώματος και ανάρτησης αγωγού ύδρευσης



Εικ. 2.28 : Οπή απορροής ομβρίων



Εικ. 2.29 : Αρμόι καταστρώματος στην περιοχή του βορείου μεσοβάθρου



Εικ. 2.30,31 : Διελεύσεις αγωγών ύδρευσης

2.8 ΥΛΙΚΑ

Στην περίπτωση υφισταμένων κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα, η διερεύνηση των επί τόπου αντοχών του σκυροδέματος περιλαμβάνει άμεσες και έμμεσες μεθόδους σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θέτει μεταξύ άλλων ο Κανονισμός Επεμβάσεων έργων από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

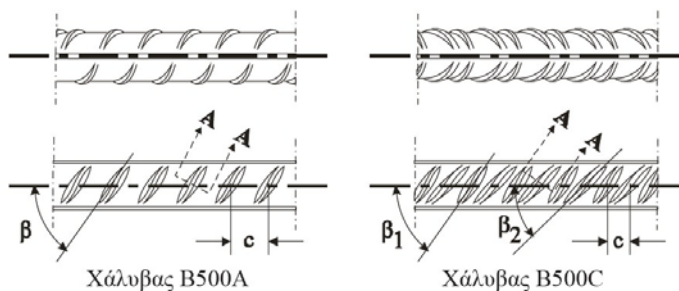
Οι άμεσες μέθοδοι συνίστανται, πρακτικώς κατ' αποκλειστικότητα, στη λήψη και θραύση πυρήνων σκυροδέματος από χαρακτηριστικές θέσεις, σε στατιστικώς επαρκές πλήθος. Οι έμμεσες μέθοδοι ποικίλουν (κρουσιμέτρηση, υπερηχοσκόπηση, δειξοδυσή ή εξόλκευση ήλου) και δίνουν στοιχεία που, προκειμένου να αξιοποιηθούν ποσοτικά, οφείλουν να υποβληθούν σε βαθμονόμηση ως προς τις αντοχές που προκύπτουν από τους εργαστηριακώς ελεγχθέντες πυρήνες. Σε διαφορετική περίπτωση, τα στοιχεία που αντλούνται έχουν κυρίως ποιοτικό χαρακτήρα και συνεισφέρουν στην αξιολόγηση του βαθμού ομοιογένειας της σκυροδέματος και, ως εκ τούτου, στην ανάδειξη περιοχών με αδυναμίες λόγω αρχικών συνθηκών ή εν χρόνω υποβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Εν προκειμένω, η λήψη πυρήνων ήταν ασφαλώς αδύνατη. Εφαρμόστηκαν οι έμμεσες μέθοδοι της κρουσιμέτρησης και των υπερήχων σε προσβάσιμες θέσεις. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν ψεκασμοί με

διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης, προκειμένου να διερευνηθεί το βάθος ενανθράκωσης των προσβάσιμων θέσεων.

Ο οπλισμός των προσβάσιμων στοιχείων (τόξα και υποστυλώματα) ήταν εμφανής σε σημαντική έκταση λόγω των πλημμελών επικαλύψεων και της διάβρωσης και, ως εκ τούτου, δε χρειάστηκε περαιτέρω διερεύνηση.

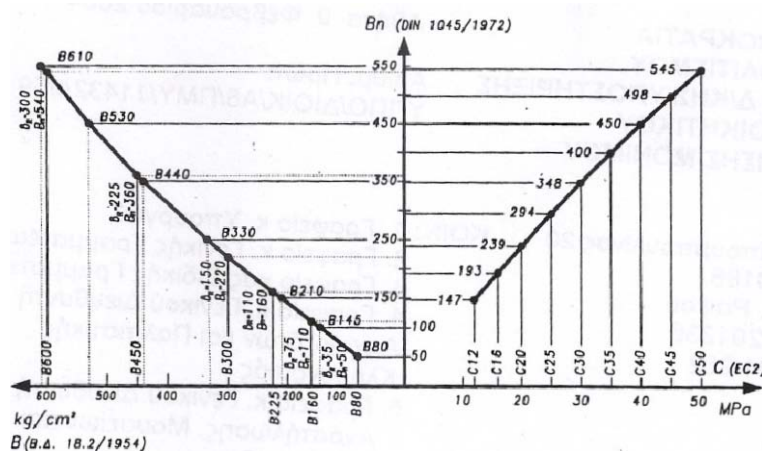
Ως προς τις αντοχές των οπλισμών, είναι σύνηθες να παραλείπεται η δειγματοληψία και ο εργαστηριακός έλεγχος, καθώς η μορφή - σήμανση της επιφάνειας (Εικ. 2.32) παραπέμπει στην ποιότητα που έχει εξασφαλιστεί από την τυποποιημένη και πιστοποιημένη διαδικασία παραγωγής.



Εικ. 2.32 : Σήμανση ποιότητας ράβδων χάλυβα κατά ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων (2008)

Πέραν των εργασιών, που περιγράφονται αναλυτικά στο σχετικά παράρτημα, για την εκτίμηση των αντοχών των υλικών μπορεί να γίνει επίκληση των σχετικών μεγεθών από έργα αντίστοιχης κλίμακας που πιστεύεται πως θα ακολουθούσαν τις ισχύουσες προδιαγραφές.

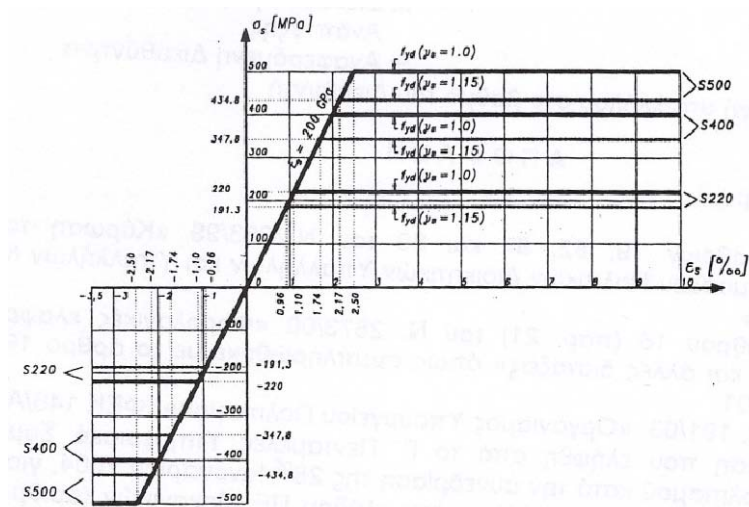
Ως προς το σκυρόδεμα, στην Ελλάδα ακολουθούντο πιστά οι γερμανικοί κανονισμοί, συγκεκριμένα ο DIN 1045 με τις εν συνεχεία προσθήκες και εξελίξεις του (DIN 1048, 4225, 4227). Έως το 1972 οι ποιότητες που ήταν σε εφαρμογή ήταν η σειρά B (B160, B225, B300, B450, B600) ενώ ο προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος βασιζόταν στο μέσο όρο της αντοχής θραύσεως τριών κυβικών δοκιμίων, με διάσταση πλευράς 20 cm, χωρίς αναφορά σε τυπική απόκλιση ή λοιπά στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται σήμερα.



Εικ. 2.33 : Διάγραμμα ισοδυναμίας σκυροδεμάτων κατά DIN 1045 και EC2

Ως προς το χάλυβα οπλισμού, η ποιότητα που χρησιμοποιείτο ήταν St I, με αντοχή διαρροής 220 MPa. Οι ράβδοι ήταν λείες, με μέγιστη διάμετρο που έφθανε τα 26 mm. Παρά το ότι πολλά τεχνικά έργα των

πρώτων δεκαετιών του 20^{ου} αιώνα κατασκευάζονταν με εισαγόμενο χάλυβα, δεν αποκλείεται ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα της Καρύταινας να ήταν ελληνικής παραγωγής, καθώς ο σχετικός βιομηχανικός κλάδος στην επικράτεια ήδη λειτουργούσε.



Εικ. 2.34 : Διάγραμμα ισοδυναμίας χαλύβων κατά DIN 1045 και EC2

Συγκεκριμένα, η πρώτη ελληνική βιομηχανία χάλυβα, που έφερε τον τίτλο «Ελληνική Χαλυβουργία», ιδρύθηκε στην Αθήνα το 1937. Το 1951, το εργοστάσιο της Ελληνικής Χαλυβουργίας μετακόμισε στον Ασπρόπυργο Αττικής, όπου λειτουργούσε ως μία από τις δύο μονάδες της «Χαλυβουργίας Ελλάδος». Η δεύτερη ελληνική χαλυβουργία ήταν η «Χαλυβουργική», η οποία το 1953 έθεσε σε λειτουργία καμίνους ηλεκτρικού τόξου στην Ελευσίνα, που σύντομα μεταβλήθηκαν σε πλήρως καθετοποιημένη σιδηρουργία - χαλυβουργία.

2.9 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Ο εν ισχύ κανονισμός για την εποχή σχεδιασμού της γέφυρας ενδέχεται να ήταν προσχέδια του DIN 1072, το οποίο δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1967. Ωστόσο, σίγουρα υπήρχαν προδιαγραφές και πρότυπα προ του επισήμου κειμένου, καθώς τα έργα γεφυροποιίας τόσο στη Γερμανία, όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη γνώρισαν ραγδαία άνθιση μετά τις καταστροφές του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου.

Δεν αποκλείεται, ωστόσο, να χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από αμερικανικούς κανονισμούς, καθώς ο πρώτος εξεδόθη το 1933 από το σχετικό φορέα American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO).

2.10 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ & ΒΛΑΒΩΝ

Για την αποτύπωση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές μέθοδοι (μετροταινία, ξύλινο μέτρο - σταδία) καθώς η κανονικότητα του φορέα επιτρέπει σχετική αντιμετώπιση, δίχως η περαιτέρω ακρίβεια να δίνει ουσιαστικά στοιχεία για το σχεδιασμό ή τον τρόπο κατασκευής του φορέα.

Οι μετρήσεις έγιναν από εδάφους όσον αφορά στη θεμελίωση, τα βάθρα και τις διαστάσεις των υποστρωμάτων και των τόξων. Στοιχεία σχετικά με το κατάστρωμα ελήφθησαν με μεγαλύτερη ευκολία, ενώ οι περιοχές που ήταν αδύνατον να διερευνηθούν ήταν οι κάτω παρειές των πλακών του

καταστρώματος και, ως εκ τούτου, το ακριβές πάχος τους μένει άγνωστο. Στοιχεία σχετικά με τις κρεμάσεις των δοκών του καταστρώματος έγιναν μέσω φωτογραφικών λήψεων.

2.11 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ

2.11.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ

Συχνή είναι η εμφάνιση εκτινάξεων και απολεπίσεων στην επιφάνεια των δομικών μελών.

Κατά τόπους (Εικ. 2.35) παρατηρούνται συσσωματώματα αδρανών άνευ επαρκούς τσιμεντοπολτού, χαρακτηριστικό απόμιξης λόγω κακής διάστρωσης, συμπύκνωσης και συντήρησης.



Εικ. 2.35 : Απόμιξη σκυροδέματος στην έδραση του τόξου

Εκτεταμένη είναι η ανεπάρκεια επικαλύψεων, τόσο στα κατακόρυφα όσο και στα οριζόντια στοιχεία, καθώς ο εγκάρσιος οπλισμός είναι εμφανής δια γυμνού οφθαλμού. Οι λεπτές επικαλύψεις των εγκαρσίων οπλισμών μαρτυρούν την πλημμελή μέριμνα για αποστάτες, ενώ η συχνή εμφάνιση αποκλίσεων ή και πυκνώσεων δηλώνει αδυναμία κατασκευαστικής σύνδεσης μεταξύ οριζοντίων και κατακορύφων οπλισμών.

Οι εν λόγω περιοχές είναι οι πλέον ευπρόσβλητες από τις περιβαλλοντικές δράσεις και εμφανίζουν σημαντικές φθορές, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.11.2 ΔΟΜΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Τόσο οι κύριοι όσο και οι δευτερεύοντες φορείς της γέφυρας φαίνονται επαρκείς ως προς την αντοχή τους. Δεν παρατηρούνται αποκλίσεις, καθιζήσεις ή ρηγματώσεις που να παραπέμπουν σε υπέρβαση αντοχών από κατακόρυφα ή οριζόντια φορτία. Οι αρμοί στις περιοχές των αρθρώσεων παραμένουν σε παραλληλία, γεγονός που μαρτυρά πως δεν έχουν λάβει χώρα μόνιμες στροφές λόγω παραμορφώσεων του εδάφους ή της ανωδομής.

2.11.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΦΘΟΡΕΣ

Εμφανίζεται εκτεταμένη προσβολή του οπλισμού και των μεταλλικών μη φερόντων στοιχείων από διάβρωση, και τα συνεπαγόμενα προβλήματα στο σκυρόδεμα.

Αποφλοιώσεις εμφανίζονται σχεδόν στο σύνολο των βάσεων των υποστυλωμάτων (Εικ. 2.39), καθώς επίσης σε μεγάλη συχνότητα και στα λοιπά δομικά στοιχεία, κατά κανόνα σε θέσεις περιορισμένου ηλιασμού και συγκέντρωσης ύδατος.

Χαρακτηριστική είναι η χρωματική αλλοίωση του σκυροδέματος (μαύροι λεκέδες) στις θέσεις που είναι έντονη η απορροή ομβρίων, κατά κανόνα πλησίον και κάτωθεν των σχετικών οπών. Ο χρωματισμός οφείλεται κυρίως σε επικαθίσεις ουσιών και, δευτερευόντως, σε ανάπτυξη μικροοργανισμών. Επιπλέον, στις θέσεις απορροής (Εικ. 2.40) αλλά και στη ζώνη θεμελίωσης (Εικ. 2.39) εμφανίζονται εξανθίσεις αλάτων.

Τα μη φέροντα στοιχεία εμφανίζουν και αυτά υποβάθμιση λόγω διάβρωσης.

Τέλος, η έλλειψη συντήρησης - αλλαγής του ασφαλτοτάπητα αποτυπώνεται υπό μορφήν αποδιοργάνωσης στις περιοχές όπου υπάρχουν αρμοί, ωστόσο δε δημιουργείται σοβαρή όχληση στα διερχόμενα οχήματα.



Εικ. 2.36-38 : Οξείδωση οπλισμών στη βάση τόξου, στην έδραση αμφιέριστης δοκού και στο άνοιγμα δοκού καταστρώματος



Εικ. 2.39 : Γενική εικόνα φθορών στη βάση του βορείου μεσοβάθρου (εξανθήσεις αλάτων, απώλεια επικαλύψεων, διάβρωση οπλισμού, χρωματική αλλοίωση από χημικές και βιολογικές επικαθίσεις



Εικ. 2.40,41 : Γενική εικόνα φθορών στο άνοιγμα και στην κορυφή του τόξου



Εικ. 2.42 : Αποδιοργάνωση ασφαλτοτάπητα σε θέση αρμού

2.12 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ & ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

Δεν υπάρχουν ενδείξεις για επεμβάσεις μεταγενέστερες της αρχικής κατασκευής της γέφυρας. Μόνη προσθήκη μη δομικού χαρακτήρα είναι η διέλευση αγωγού από το ανατολικό ρείθρο, ο οποίος ενσωματώθηκε μέσω έγχυσης σκυροδέματος και αλλαγής της διατομής του.

2.13 ΔΙΑΓΝΩΣΗ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Όπως έγινε σαφές από την ανωτέρω περιγραφή, τα εμφανιζόμενα προβλήματα της γέφυρας περιορίζονται σε φθορές φυσικοχημικού χαρακτήρα.

Εν γένει, τα προβλήματα διάβρωσης επηρεάζουν πληθώρα παραγόντων όπως απομείωση της αντοχής του σκυροδέματος λόγω χημικών αντιδράσεων, απομείωση των διατομών λόγω αποφλοιώσεων, απομείωση των διατομών των οπλισμών, απομείωση συνάφειας μεταξύ οπλισμών και σκυροδέματος, απομείωση φέρουσας ικανότητας δομικών μελών λόγω αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος, εξέλιξη ρηγματώσεων και περαιτέρω έκθεση σε διαβρωτικούς παράγοντες.

Παρά το ότι οι κατασκευές σχεδιάζονται με περιθώρια ασφαλείας, η εξέλιξη των ανωτέρω φαινομένων σε βάθος χρόνου οδηγεί σε δομική αστοχία.

Ωστόσο, η ποσοτική πρόβλεψη της εξέλιξης των ανωτέρω μηχανισμών με το χρόνο είναι αδύνατη. Ακόμη και για δεδομένη χρονική, ο βαθμός απομείωσης της φέρουσας ικανότητας δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί αξιόπιστα, καθώς δε μπορεί να είναι γνωστή η έκταση των εσωτερικών ρηγματώσεων και της απώλειας συνάφειας.

Ως εκ τούτου, είναι αδύνατο να γνωρίζουμε τα περιθώρια που απομένουν ακόμη στην κατασκευή, προκειμένου να αποφανθούμε πότε οφείλουμε να λάβουμε μέτρα αποκατάστασης.

Το πρόβλημα έχει οδηγήσει στην κατάρτιση προγραμμάτων επιθεώρησης και αξιολόγησης με ποσοτικά αλλά σε μεγάλο βαθμό και με ποιοτικά κριτήρια (οπτική αξιολόγηση) προκειμένου να υπάρχει ένας ορθολογικός τρόπος που να συμβάλει στη λήψη αποφάσεων.

3 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας των επιμέρους ανοιγμάτων της γέφυρας έγινε μέσω ελαστικών αναλύσεων για τα σύγχρονα κανονιστικά κατακόρυφα (μόνιμα και κινητά) και οριζόντια (σεισμικά) φορτία, και αντιστοίχων ελέγχων φέρουσας ικανότητας. Αποτέλεσμα της εν λόγω διαδικασίας είναι η εκτίμηση του διατιθέμενου συντελεστή ασφαλείας είτε δείκτη ανεπάρκειας των μελών ή και της κατασκευής εν συνόλω.

Λόγω της απουσίας στοιχείων σχετικών με τους οπλισμούς των πλακών και των δοκών του καταστρώματος, οι έλεγχοι περιορίστηκαν στα τόξα και τα υποστυλώματα. Άλλωστε, τα εν λόγω στοιχεία είναι τα κρισιμότερα για τη φέρουσα ικανότητα του δομήματος.

Τα τρία ανοίγματα (κεντρικό - τοξωτό και ακραία - αμφιέρειστα) είναι στατικώς ανεξάρτητα, τουλάχιστον ως προς τα κατακόρυφα φορτία, και ως εκ τούτου η εξέταση καθενός ξεχωριστά είναι εύλογη. Λόγω των ιδιαίτερως μεγάλων διατομών και της μη εμφάνισης αστοχιών, η εξέταση των ακροβάθρων και των μεσοβάθρων παραλείπεται.

3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Για τη στατική και δυναμική ανάλυση του φέροντος οργανισμού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SOFISTIK. Οι φορείς προσομοιώθηκαν με επιφανειακά και ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία.

Η περιβάλλουσα των εντατικών μεγεθών, όπως προκύπτει από τους συνδυασμούς φορτίσεων υπολογίζεται με το υποπρόγραμμα MAXIMA, για τους απαιτούμενους συνδυασμούς φορτίσεων. Η διαστασιολόγηση των επιφανειακών στοιχείων έγινε με το υποπρόγραμμα BEMESS ενώ οι διατομές των ραβδωτών στοιχείων με το υποπρόγραμμα AQB.

Τα προσομοιώματα μορφώθηκαν με τους παρακάτω τύπους πεπερασμένων στοιχείων, σύμφωνα με την ξενόγλωσση ονομασία τους:

- Στοιχεία quad :

Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία τρίκομβα ή τετράκομβα. Πρόκειται για στοιχεία δίσκου, πλάκας ή κελύφους. Μπορεί να έχουν μεταβλητό πάχος, να εδράζονται ελαστικά, να αποτελούνται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες και διαφορετικές στρώσεις, να φέρουν προένταση και να έχουν ορθότροπη συμπεριφορά.

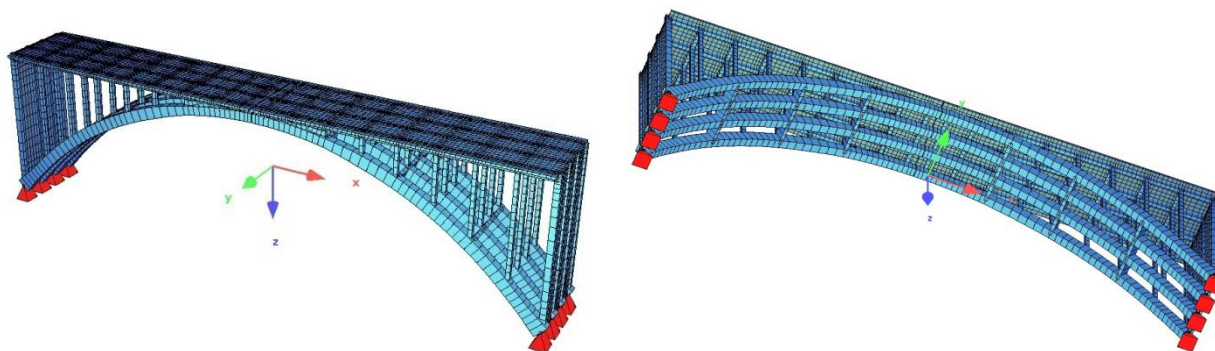
Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν οι κατακόρυφοι τοίχοι και οι πλάκες ωπλισμένου σκυροδέματος (πάχος στοιχείων σημαντικά μικρότερο από τις άλλες διαστάσεις).
- Στοιχεία beam :

Ραβδωτό στοιχείο μεταβλητής και έκκεντρης διατομής με δυνατότητα προέντασης. Μπορεί να παραλάβει στρέβλωση. Μπορεί να εδράζεται ελαστικά και να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες.

Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν τα γραμμικά μέλη από ωπλισμένο σκυρόδεμα (τόξα, υποστυλώματα, δοκοί).

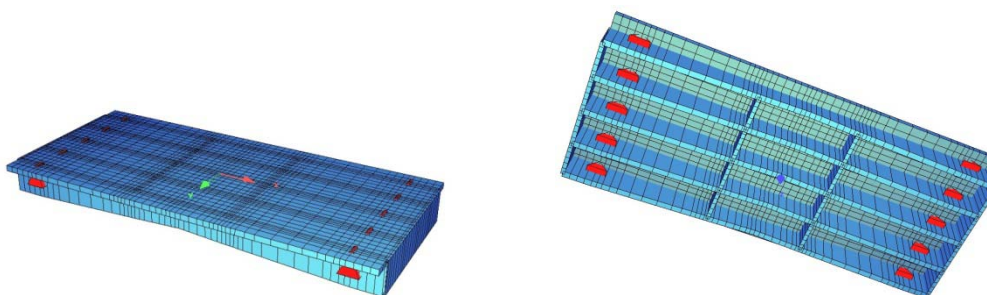
- Κόμβοι: Χρησιμοποιήθηκαν 1404 κόμβοι για το κεντρικό άνοιγμα και 397 για το ακραίο.

Στην περίπτωση του κεντρικού ανοίγματος (Εικ 4.1,2), οι στηρίξεις θεωρήθηκαν ανένδοτες με ελεύθερη τη στροφή περί τον άξονα καθέτως στη διεύθυνση του καταστρώματος (y-y). Επίσης, οι κόμβοι στο πέρας κάθε ημιτόξου εξαρτήθηκαν μεταξύ τους ως προς όλους τους βαθμούς ελευθερίας πλην του στροφικού, προκειμένου να προσομοιωθεί η αντίστοιχη άρθρωση.



Εικ. 3.1,2 : Άποψη του προσομοιώματος του κεντρικού - τοξωτού ανοίγματος

Ως προς τα ακραία ανοίγματα (Εικ. 3.3), οι στηρίξεις θεωρήθηκαν επίσης ακλόνητες και η θέση τους απλουστευτικά σημειακή, στο άκρο του βάθρου. Όπως και στην ανωτέρω περίπτωση, οι στροφές περί τον εγκάρσιο στο κατάστρωμα άξονα ήταν ελεύθερες.



Εικ. 3.3 : Άποψη του προσομοιώματος των ακραίων - αμφιερείστων ανοιγμάτων

3.3 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Ελήφθησαν υπ' όψιν τα παρακάτω υλικά, όπως περιγράφονται από τον τίτλο, την αρίθμηση και τις ιδιότητες τους:

Αριθμός υλικού	Ονομασία υλικού	Περιγραφόμενα στοιχεία	Είδος στοιχείων
1	B 300	Στοιχεία σκυροδέματος	Area, beam
2	St I	Χάλυβας οπλισμών	-

Όπως αναλύθηκε ανωτέρω, ελλείπει ακριβέστερων στοιχείων για την ποιότητα του σκυροδέματος, έγινε η εύλογη υπόθεση εργασίας πως πρόκειται για σκυρόδεμα B300, το οποίο αντιστοιχεί σε ποιότητα ενδιάμεση των συγχρόνων C 16/20 και C 20/25. Η κλάση του χάλυβα ελήφθη St I, αντίστοιχη της σύγχρονης S 220.

Για τα υλικά ελήφθησαν υπ' όψιν οι χαρακτηριστικές τιμές (συντελεστής ασφαλείας υλικού $\gamma_m = 1.00$) προκειμένου να προκύψει ορθότερα ο συνολικός συντελεστής ασφαλείας - δείκτης ανεπάρκειας.

3.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Τα κανονιστικά κείμενα που ελήφθησαν υπ' όψιν στη μελέτη αποτίμησης είναι τα κάτωθι:

1. Ευρωκώδικας 0 «Eurocode - Basis of structural design / Ευρωκώδικας - Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων».
2. Ευρωκώδικας 1 «Basis of design and actions on structures / Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές».
3. Ευρωκώδικας 2 «Design of concrete structures / Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα».
4. Ευρωκώδικας 8 «Design of structures for earthquake resistance / Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών».
5. Πρότυπο DIN 1072 «Φορτία υπολογισμού γεφυρών»
6. Κανονισμός Φορτίσεων Δομικών Έργων (ΚΦΔΕ), (Β.Δ. 10.12.45, ΦΕΚ 171Α/46).
7. Βασιλικό Διάταγμα 18-2-1954 «Περί Κανονισμού δια την μελέτη και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ Ωπλισμένου Σκυροδέματος άρθρα 1 έως και 10» (ΦΕΚ 160 Α).

3.5 ΦΟΡΤΙΑ

Για την ανάλυση των δομημάτων ελήφθησαν τα κάτωθι φορτία:

- Μόνιμα φορτία (G)
 Φορτία από ίδια βάρη υλικών φέροντος οργανισμού

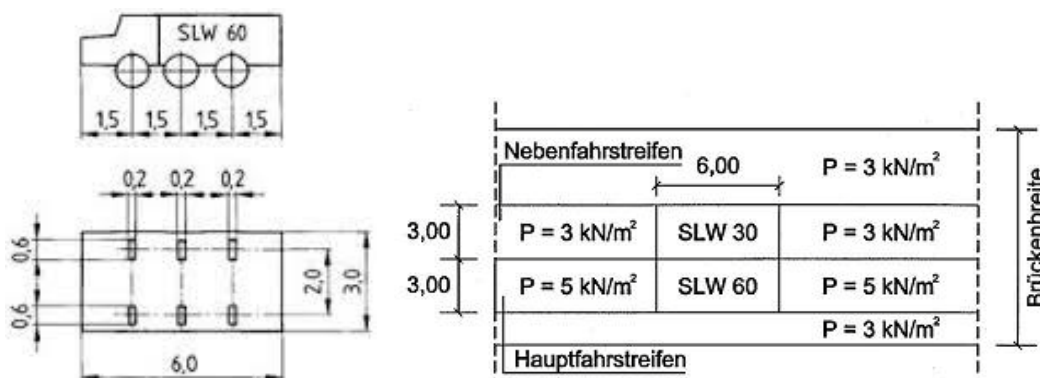
Ίδιο βάρος ωπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m ³
Ίδιο βάρος χάλυβα	78.50 kN/m ³
Ίδιο βάρος ασφάλτου	22.00 kN/m ³
- Επιφανειακά φορτία

Οδόστρωμα	1.50 kN/m ²
Πεζοδρόμιο	5.00 kN/ m ₂

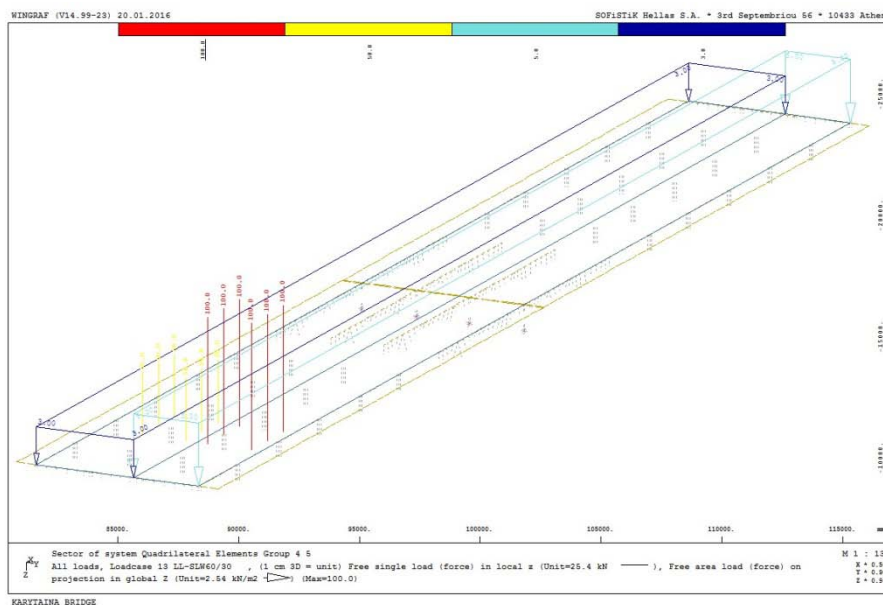
- Μεταβλητά φορτία - ωφέλιμα (Q)
 Επιφανειακά φορτία
 Φορτίο κυρίας λωρίδας κυκλοφορίας 5.00 kN/m²
 Φορτίο δευτερεύουσας λωρίδας κυκλοφορίας 3.00 kN/m²
 Βάρος κυρίου οχήματος 6.00 kN
 Βάρος δευτερεύοντος οχήματος 3.00 - 6.00 kN

Για το κύριο και δευτερεύον όχημα εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις: μία με κύριο όχημα βαρύ φορτηγό κλάσεως SLW 60 (βάρος 60 tn - 600 kN) και δευτερεύον βαρύ φορτηγό κλάσεως SLW 30 (βάρος 30 tn - 300 kN), και μία με δύο φορτηγά κλάσεως SLW 60.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές διαστάσεων του DIN 1075 (Εικ. 3.4) το φορτίο στις λωρίδες εφαρμόστηκε επιφανειακά, ενώ των οχημάτων σημειακά (Εικ. 3.5). Το σύνολο των δώδεκα σημειακών φορτίων εφαρμόστηκε καθ' όλον το μήκος του φορέα, με βήμα 1.50 m, προκειμένου να εξεταστεί κάθε δυνατή θέση και να προσδιοριστεί η μέγιστη επιβάρυνση.



Εικ. 3.4 : Όχημα και λωρίδες φόρτισης σύμφωνα με τη θεώρηση του DIN 1075



Εικ. 3.5 : Απεικόνιση εφαρμογής σημειακών και επιφανειακών φορτίων

Δεν εξετάστηκαν φορτία πεζοδρομίων, χιονιού ή ανέμου, καθώς δεν έχουν κρίσιμο χαρακτήρα για το συγκεκριμένο τύπο έργων.

- Σεισμικά φορτία (E)

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Z1
Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	$\alpha_{gR} = 0.16 g$
Κατηγορία εδάφους	A: $T_1 = 0.10$, $T_2 = 0.40$
Συντελεστής φασματικής μεγέθυνσης	2.50
Συντελεστής συμπεριφοράς	$q = 1.50$
Συντελεστής απόσβεσης	$\zeta = 5\%$
Συντελεστής σπουδαιότητας δομήματος	$\gamma_i = 1.00$
Συντελεστής θεμελίωσης	$S = 1.00$

Για τη σεισμική φόρτιση, η συνεισφορά μαζών των κινητών φορτίων (σημειακό οχημάτων, επιφανειακό λωρίδων) ελήφθη υπ' όψιν μέσω ισοδυνάμου επιφανειακά κατανεμημένου φορτίου στο κατάστρωμα, που προκύπτει από το σύνολο των εν λόγω φορτίων με μειωτικό συντελεστή 0.20, κατά τις συστάσεις του DIN 1072.

Όπως και για τα υλικά, οι δράσεις εξετάστηκαν με τις χαρακτηριστικές τιμές τους (συντελεστής ασφαλείας δράσεων $\gamma_{sd} = 1.00$). Για τους ίδιους λόγους, ο δείκτης συμπεριφοράς κατά το σεισμό ελήφθη 1.50, τιμή που συνιστάται αντί μονάδος, προκειμένου να αναιρευθούν επιμέρους υπεραντοχές.

3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.6.1 ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Η κρισιμότερη θέση για την επιβολή των συγκεντρωμένων φορτίων των οχημάτων προκύπτει πλησίον της κλειδας, στην περιοχή που ενοποιούνται τα τόξα με τις δοκούς του καταστρώματος. Η εν λόγω φόρτιση μεγιστοποιεί ταυτοχρόνως τις αξονικές και τέμνουσες δυνάμεις των τόξων, καθώς επίσης και τις καμπτικές ροπές.

Πιν. 3.1.2 : Μέγιστα εντακτικά μεγέθη και οπλισμοί στα τόξα (κατακόρυφα φορτία)

Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση		Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Ίδιο βάρος	Κινητό			
Αξονική (NX)	(kN)	2775	3478			
Τέμνουσα (VZ)	(kN)	172	373			
Ροπή (MY)	(kNm)	494	990			
Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση		Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Ίδιο βάρος	Κινητό			
Διαμήκης οπλισμός	(mm ²)	1650	2376	4909	✓	2.07
Εγκάρσιος οπλισμός	(mm ² /m)	304	997	1570	✓	1.57

Τα υποστυλώματα διατηρούνται υπό θλίψη για κάθε θέση επιβολής των κινητών φορτίων, παρά το ότι η ασυμμετρία της φόρτισης οδηγεί σε μείωση των θλιπτικών δυνάμεων εκ των μονίμων.

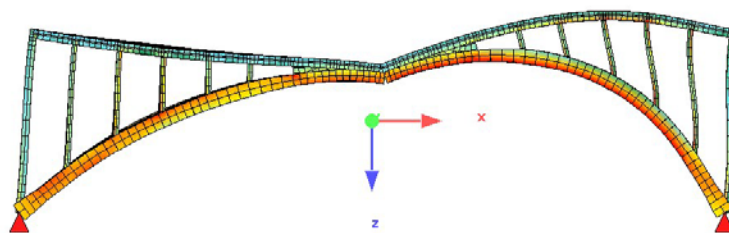
Πιν. 3.3,4 : Μέγιστα εντατικά μεγέθη και οπλισμοί στους στύλους (κατακόρυφα φορτία)

Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση		Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Ίδιο βάρος	Κινητό			
Αξονική (NX)	(kN)	163	418			
Τέμνουσα (VZ)	(kN)	-	33			
Ροπή (MY)	(kNm)	-	48			

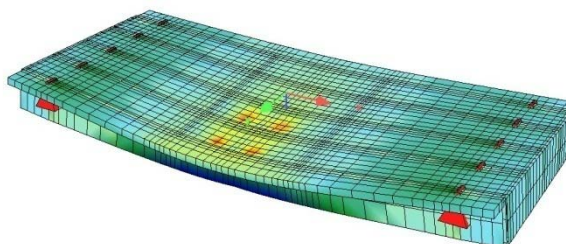
Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση		Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Ίδιο βάρος	Κινητό			
Διαμήκης οπλισμός	(mm ²)	452	1347	2513	✓	1.87
Εγκάρσιος οπλισμός	(mm ² /m)	45	354	1570	✓	4.44

Σύμφωνα με τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν, δεν παρουσιάζονται υπερβάσεις σε απαιτήσεις διαμήκων ή εγκάρσιων οπλισμών.

Ακολουθούν εικόνες των παραμορφωμένων φορέων τόσο του κεντρικού όσο και του ακραίου ανοίγματος, καθώς επίσης και τα διαγράμματα αξονικών, τεμνουσών και ροπών για το κρίσιμότερο τόξο (ακραίο) υπό την κρίσιμότερη φόρτιση.



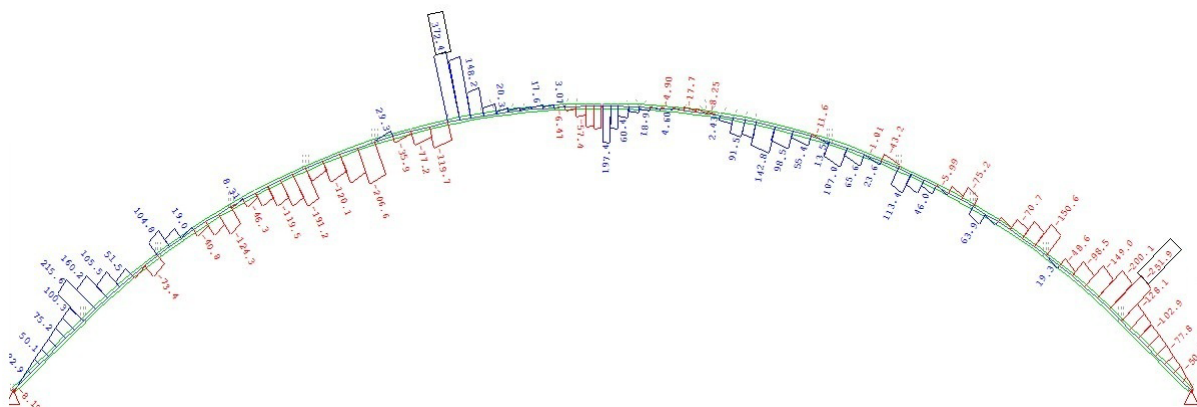
Εικ. 3.6 : Παραμορφωμένη κατάσταση του τοξωτού ανοίγματος για την κρίσιμη φόρτιση



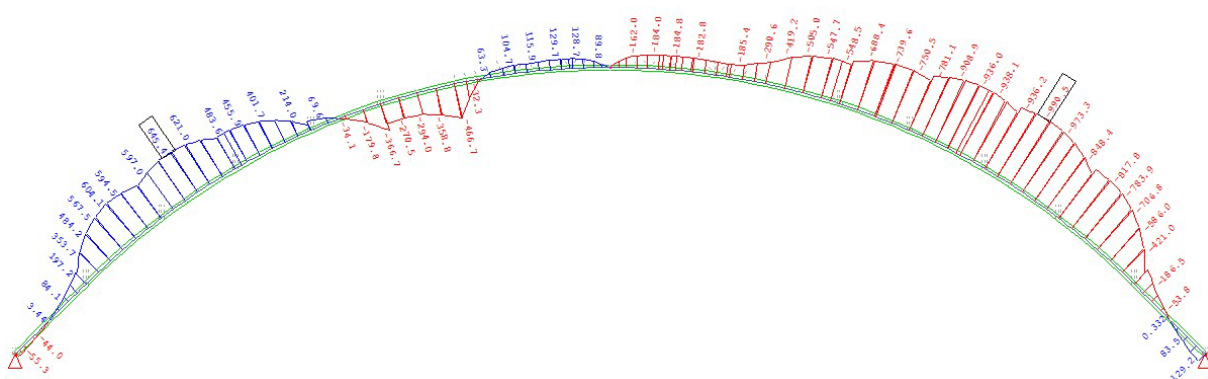
Εικ. 3.7 : Παραμορφωμένη κατάσταση του αμφιερείστου ανοίγματος για την κρίσιμη φόρτιση



Εικ. 3.8 : Μέγιστη αξονική δύναμη στο τόξο (κινητό φορτίο πλησίον κλειδας)



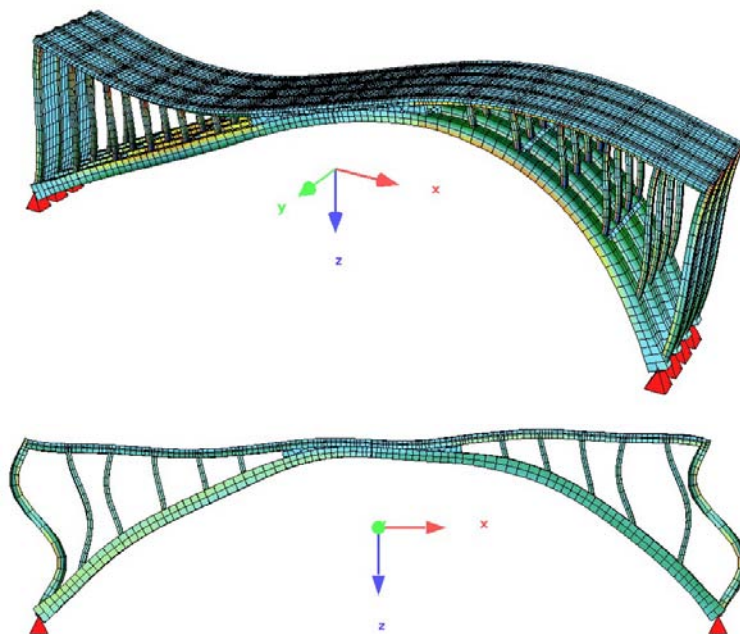
Εικ. 3.9 : Μέγιστη τέμνουσα δύναμη στο τόξο (κινητό φορτίο πλησίον κλειδας)



Εικ. 3.10 : Μέγιστη καμπτική ροπή στο τόξο (κινητό φορτίο πλησίον κλειδας)

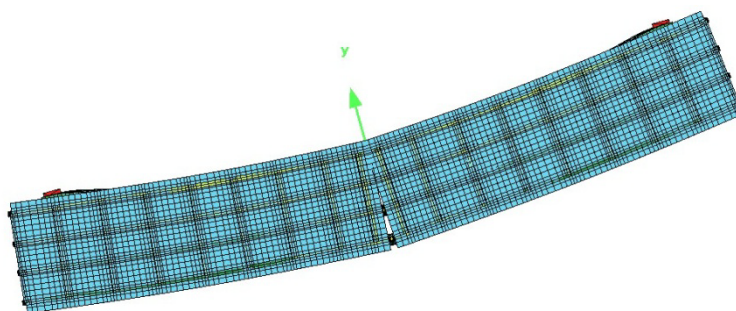
3.6.2 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης προκύπτει ότι η 1^η ιδιομορφή (Εικ. 3.11) είναι κυρίως μεταφορική κατά τη διεύθυνση X-X (άξονας γέφυρας) με περίοδο $T=0.87$ sec και ποσοστό συμμετοχής 44.5%. Τρεις ακόμη ιδιομορφές (Εικ. 3.12) έχουν αξιόλογη συνεισφορά (ποσοστό συμμετοχής $f_{xx} = 11.2 - 18.3\%$).



Εικ. 3.11,12 : Απόκριση του φορέα κατά X-X (1^η ιδιομορφή - $T = 0.87$ sec, 41^η ιδιομορφή - $T = 0.08$ sec)

Κατά τη διεύθυνση υπολογισμού Y-Y (εγκάρσια) επικρατεί η 2^η ιδιομορφή (Εικ. 3.13) με τιμή $T=0.56$ sec και ποσοστό συμμετοχής 71.3%. Οι υπόλοιπες ιδιομορφές έχουν αμελητέα συνεισφορά ($f_{yy} < 1\%$).



Εικ. 3.13 : Απόκριση του φορέα κατά Y-Y (2^η ιδιομορφή - $T = 0.56$ sec)

Ακολουθούν (Πιν. 3.5) συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των 100 ιδιομορφών που υπολογίστηκαν, προκειμένου να επιτευχθεί άθροισμα ποσοτών συμμετοχής άνω του 90%.

Πιν. 3.5 : Στοιχεία ιδιομορφών προσομοιώματος

AA	LC	Συχνότητα (hz)	Περίοδος (sec)	Απόσβεση (%)	fx-x (%)	fy-y (%)	AA	LC	Συχνότητα (hz)	Περίοδος (sec)	Απόσβεση (%)	fx-x (%)	fy-y (%)
1	801	1.16	0.87	5.00	44.5	0	51	851	17.40	0.06	5.00	0	0
2	802	1.79	0.56	5.00	0	71.3	52	852	17.45	0.06	5.00	0	0
3	803	1.92	0.52	5.00	0	0	53	853	17.45	0.06	5.00	0	0
4	804	4.10	0.24	5.00	0	0	54	854	17.47	0.06	5.00	0	0
5	805	4.84	0.21	5.00	0	4.5	55	855	17.50	0.06	5.00	0	0
6	806	5.10	0.20	5.00	11.7	0	56	856	17.53	0.06	5.00	0	0
7	807	5.15	0.19	5.00	0	0	57	857	17.53	0.06	5.00	0	0
8	808	5.29	0.19	5.00	0.1	0	58	858	17.53	0.06	5.00	0	0
9	809	5.37	0.19	5.00	0	3.9	59	859	17.66	0.06	5.00	0.4	0
10	810	5.84	0.17	5.00	0	0	60	860	17.74	0.06	5.00	0	0.3
11	811	6.34	0.16	5.00	0	0	61	861	17.75	0.06	5.00	0	0
12	812	7.58	0.13	5.00	0	0	62	862	17.77	0.06	5.00	0	0
13	813	7.71	0.13	5.00	0	1.5	63	863	18.29	0.06	5.00	0	0
14	814	7.82	0.13	5.00	0	0	64	864	18.31	0.06	5.00	0	0
15	815	8.29	0.12	5.00	0	4.4	65	865	19.01	0.05	5.00	0	0
16	816	8.75	0.11	5.00	0	0.1	66	866	19.12	0.05	5.00	0	0
17	817	8.79	0.11	5.00	0	0	67	867	19.16	0.05	5.00	0	0
18	818	8.80	0.11	5.00	0	0	68	868	19.51	0.05	5.00	0	0
19	819	8.94	0.11	5.00	0	0	69	869	20.30	0.05	5.00	0	0
20	820	8.98	0.11	5.00	0	0	70	870	20.32	0.05	5.00	0	0
21	821	8.98	0.11	5.00	0	0	71	871	20.39	0.05	5.00	0	0.3
22	822	9.03	0.11	5.00	0	0	72	872	20.47	0.05	5.00	0	0
23	823	9.04	0.11	5.00	0	0	73	873	20.66	0.05	5.00	0	0
24	824	9.05	0.11	5.00	0	0	74	874	20.96	0.05	5.00	0	0
25	825	9.05	0.11	5.00	0	0	75	875	21.33	0.05	5.00	0	0
26	826	9.15	0.11	5.00	1.2	0	76	876	21.51	0.05	5.00	0	0
27	827	9.17	0.11	5.00	0	0	77	877	21.52	0.05	5.00	0	0.4
28	828	9.17	0.11	5.00	0	0	78	878	21.53	0.05	5.00	0	0
29	829	9.18	0.11	5.00	0	0	79	879	22.04	0.05	5.00	0	0.5
30	830	9.18	0.11	5.00	0	0	80	880	22.07	0.05	5.00	0.6	0
31	831	9.21	0.11	5.00	0	0.1	81	881	22.21	0.05	5.00	0	0
32	832	9.25	0.11	5.00	0	0	82	882	22.50	0.04	5.00	0.1	0
33	833	9.32	0.11	5.00	0	0	83	883	23.10	0.04	5.00	0	0
34	834	9.41	0.11	5.00	0	0.3	84	884	23.71	0.04	5.00	0	0
35	835	10.83	0.09	5.00	0	0	85	885	24.67	0.04	5.00	0	0
36	836	11.21	0.09	5.00	0	2.1	86	886	24.70	0.04	5.00	0	0
37	837	11.76	0.09	5.00	1.5	0	87	887	24.71	0.04	5.00	0	0
38	838	11.80	0.09	5.00	0	0.4	88	888	24.75	0.04	5.00	0	0
39	839	12.52	0.08	5.00	0	0	89	889	24.77	0.04	5.00	0	0
40	840	12.95	0.08	5.00	0	0	90	890	25.15	0.04	5.00	0	0
41	841	13.00	0.08	5.00	18.3	0	91	891	25.16	0.04	5.00	0	0
42	842	14.11	0.07	5.00	0	0	92	892	25.19	0.04	5.00	0	0
43	843	15.38	0.07	5.00	0	0	93	893	25.19	0.04	5.00	0	0.1
44	844	15.88	0.06	5.00	11.2	0	94	894	25.23	0.04	5.00	0	0
45	845	15.98	0.06	5.00	0	0	95	895	25.35	0.04	5.00	0	0
46	846	17.18	0.06	5.00	0	0	96	896	25.64	0.04	5.00	0	0
47	847	17.26	0.06	5.00	0	0	97	897	25.66	0.04	5.00	0.3	0
48	848	17.27	0.06	5.00	0	0	98	898	25.82	0.04	5.00	0	0.1
49	849	17.32	0.06	5.00	0	0	99	899	25.89	0.04	5.00	0	0
50	850	17.32	0.06	5.00	0	0	100	900	25.94	0.04	5.00	0	0

Ούτε για την περίπτωση των οριζοντίων φορτίων παρατηρούνται υπερβάσεις στις απαιτήσεις οπλισμών των τόξων ή των στύλων. Ωστόσο, οι συντελεστές ασφαλείας (Πιν. 3.7,9) είναι αισθητά μειωμένοι ως προς τους αντιστοίχους των κατακορύφων φορτίων, και σε ορισμένες περιπτώσεις πλησιάζουν τη μονάδα.



Εικ. 3.14 : Μέγιστη αξονική δύναμη στο τόξο - φόρτιση 305 (σεισμός κατά Χ)

Πιν. 3.6,7 : Μέγιστα εντατικά μεγέθη και οπλισμοί στα τόξα (σεισμικά φορτία)

Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση
		Σεισμός
Αξονική (NX)	(kN)	4490
Τέμνουσα (VZ)	(kN)	353
Ροπή (MY)	(kNm)	1158

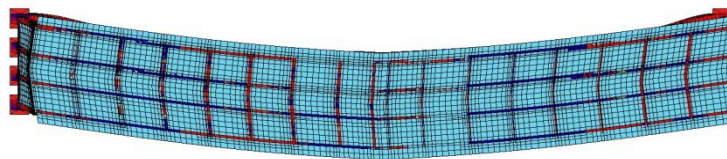
Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση	Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Σεισμός			
Διαμήκης οπλισμός	(mm ²)	4205	4909	✓	1.17
Εγκάρσιος οπλισμός	(mm ² /m)	1420	1570	✓	1.11

Πιν. 3.8,9 : Μέγιστα εντατικά μεγέθη και οπλισμοί στους στύλους (σεισμικά φορτία)

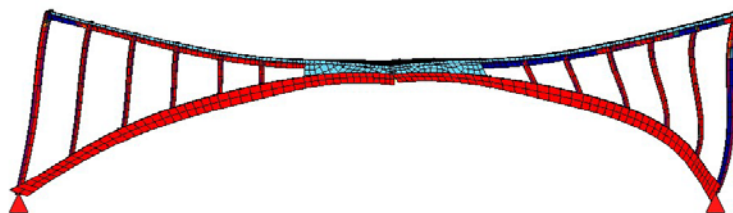
Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση
		Σεισμός
Αξονική (NX)	(kN)	200
Τέμνουσα (VZ)	(kN)	32
Ροπή (MY)	(kNm)	39

Μέγεθος	Μονάδες	Φόρτιση	Διαθέσιμος	Έλεγχος	Συντελεστής ασφαλείας
		Σεισμός			
Διαμήκης οπλισμός	(mm ²)	2440	2513	✓	1.03
Εγκάρσιος οπλισμός	(mm ² /m)	491	1570	✓	3.20

Οι μέγιστες μετατοπίσεις που προκύπτουν λόγω των σεισμικών δράσεων, είναι περίπου 25 mm κατά την εγκάρσια διεύθυνση (Εικ. 3.15) και 15 cm κατά τη διαμήκη (Εικ. 3.16).



Εικ. 3.15 : Μέγιστη εγκάρσια μετακίνηση από σεισμική φόρτιση



Εικ. 3.16 : Μέγιστη διαμήκης μετακίνηση από σεισμική φόρτιση

3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθη ανωτέρω, για τις θέσεις που υπάρχουν σχετικώς ακριβή στοιχεία δεν προκύπτουν υπερβάσεις σε απαιτήσεις οπλισμών ή αντοχές μελών. Οι έλεγχοι έναντι των οριζοντίων φορτίων προκύπτουν κρισιμότεροι από τους αντιστοίχους για τα κατακόρυφα φορτία. Κατά συνέπεια, δεν προκύπτει ανάγκη ενίσχυσης της γέφυρας.

Ωστόσο, τα προβλήματα διάβρωσης και ανθεκτικότητας που παρουσιάστηκαν ανωτέρω καθίστανται προβλήματα αντοχών (απομείωση διαθέσιμου οπλισμού, απώλεια συνάφειας, ρηγματώσεις κλπ) εφ' όσον δεν αντιμετωπιστούν εγκαίρως.

4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως ανεφέρθη διεξοδικά ανωτέρω, ο φέρων οργανισμός της γέφυρας είναι σε θέση να αναλάβει με ασφάλεια τις απαιτούμενες δράσεις, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Παρά ταύτα, η διάβρωση που πλήττει τα δομικά στοιχεία οδηγεί σε σταδιακή απομείωση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

Προτείνονται δύο γραμμές επεμβάσεων που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό αποδοτικότητας, κύκλου ζωής και κόστους. Οι προτάσεις παρουσιάζονται σε επίπεδο αρχών, με συνοπτική περιγραφή του τρόπου εφαρμογής.

4.2 ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Ως συντηρητική επέμβαση χαρακτηρίζεται αυτή που αναστέλλει μια εξελισσόμενη διαδικασία φθοράς χωρίς να επιδιορθώνει αυτή που έχει ήδη συμβεί είτε η επέμβαση που αποκαθιστά την αρχική ποιότητα των υλικών αφαιρώντας τους βλαπτικούς παράγοντες.

Οι μέθοδοι συντηρητικών επεμβάσεων μάλλον προτιμώνται έναντι των ενεργών που θα περιγραφούν εν συνεχεία, λόγω του μεγάλου κόστους και της αβέβαιος εν χρόνω συμπεριφοράς των τελευταίων.

4.2.1 ΚΑΘΑΙΡΕΣΕΙΣ ΣΑΘΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα σαθρά τμήματα λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων ή θραύσεων θα απομακρυνθούν με χρήση μηχανικών μέσων (ηλεκτρόσφυρας ή αερόσφυρας) ή χειρονακτικά (σφυρί και καλέμι).

Μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται προκειμένου να μην προκληθούν περαιτέρω βλάβες στα δομικά στοιχεία.

Ο τελικός καθαρισμός από σκόνη και μικροθραύσματα θα γίνεται με χρήση συρματόβουρτσας χειρός ή προσαρμοσμένης σε ηλεκτροκίνητο γωνιακό τροχό, προκειμένου να βελτιωθεί η πρόσφυση του επισκευαστικού κονιάματος που θα χρησιμοποιηθεί κατά την αποκατάσταση της διατομής.

4.2.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Οι οπλισμοί θα καθαρισθούν από τη σκουριά χειρονακτικά, με χρήση συρματόβουρτσας είτε χαλύβδινης σφύρας χειρός διπλής κεφαλής (ματσακόνι) σε περίπτωση στρώσεων οξειδίων μεγάλου πάχους (απολέπιση).

4.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ

Το κονίαμα ενίσχυσης πρόσφυσης θα εφαρμόζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτού και με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης κάλυψη της επιφάνειας του απομένοντος σκυροδέματος στην ζώνη της επέμβασης.

4.2.4 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Αμέσως μετά τη διάστρωση του κονιάματος ενίσχυσης πρόσφυσης και όσο αυτό είναι ακόμη νωπό, θα διαστρώνεται το επισκευαστικό τσιμεντοειδές κονίαμα, σε όσες στρώσεις απαιτείται κατά περίπτωση για την αποκατάσταση της διατομής του σκυροδέματος. Η εφαρμογή θα γίνει με μυστρί.

Για την ελαφρά αύξηση της ανθεκτικότητας της κατασκευής είναι δέουσα η δημιουργία πρόσθετης στρώσεως επικάλυψης, με αναπτύγματα σε μικρά πάχη έως και 5 mm.

4.2.5 ΒΑΦΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ως τελικό μέτρο προστασίας, θα γίνει βαφή των επιφανειών του σκυροδέματος με ουσίες που θα προσφέρουν υδροφοβισμό ώστε να περιορίζεται η διείσδυση υγρασίας και ρυπαντών στους πόρους του υλικού.

4.3 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

4.3.1 ΕΠΑΝΑΛΚΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Προκειμένου να αναιρεθεί η απολεσθείσα λόγω ενανθρακώσεως αλκαλικότητα του σκυροδέματος, γίνεται επάλειψη ή ψεκασμός του με υγρό αναστολέα διάβρωσης ο οποίος διαχέεται σε βάθος μερικών εκατοστών προσφέροντας προστατευτικό περιβάλλον για τους υφιστάμενους οπλισμούς.

4.3.2 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Ο μηχανισμός που εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή έως και πλήρη προστασία έναντι διάβρωσης είναι η καθοδική προστασία. Οι βασικές μεθοδολογίες είναι η χρήση θυσιαζόμενων ανοδίων - καθοδίων είτε η εγκατάσταση ηλεκτρικού κυκλώματος ελεγχόμενης τάσης. Και για τις δύο μεθοδολογίες απαιτείται μερική ή και πλήρης σύνδεση των οπλισμών σε ενιαίο κύκλωμα. Στην πρώτη μεθοδολογία, χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία τα οποία λόγω της διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας ως προς του εγκατεστημένου οπλισμούς οξειδώνονται έναντι αυτών. Στη δεύτερη περίπτωση, εξωτερικό σύστημα επιβάλλει την απαιτούμενη τάση προκειμένου να αίρει τα ηλεκτρικά αίτια ενεργοποίησης της διάβρωσης.

Και οι δύο λύσεις έχουν αυξημένο κόστος εγκατάστασης και προϋποθέτουν συχνή επιθεώρηση και συντήρηση προκειμένου να αποδίδουν. Η μη τήρηση αυτών των προϋποθέσεων, η οποία είναι μάλλον κανόνας στη χώρα, ιδίως για το δευτερεύον οδικό δίκτυο, καθιστά τέτοιες λύσεις ασύμφορες.

4.4 ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Προκειμένου το νερό που απορρέει από το κατάστρωμα να μην έρχεται σε επαφή με την υποδομή του, προτείνεται η εγκατάσταση αγωγών απορροής ή, τουλάχιστον σωλήνων που θα απομακρύνουν το νερό από τα υποκείμενα τόξα.

4.5 ΑΛΛΑΓΗ ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΑ & ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Παράλληλα με την αλλαγή του ασφαλτοτάπητα, προτείνεται η στεγάνωση του άνω πέλματος των πλακών του καταστρώματος, προκειμένου το νερό να μην εισρέει στη μάζα τους, εντείνοντας την οξείδωση των οπλισμών τους. Το υλικό θα πρέπει να προσφέρει προστασία δίχως να εμποδίζει την πρόσφυση του νέου ασφαλτοτάπητα.

4.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

4.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως φάνηκε από τα ιστορικά στοιχεία, οι γέφυρες συνιστούν φορείς σχετικώς απλούς στη σύλληψη και τη διαστασιολόγηση, πλην όμως ιδιαίτερως απαιτητικούς στην υλοποίηση. Αντιστοίχως, οι μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης χαρακτηρίζονται από αντίστοιχο βαθμό απλότητας, ενώ η συνθετότητα χαρακτηρίζει τον τρόπο εφαρμογής τους. Ασφαλώς, ο φορέας υπάρχει ήδη και μπορεί να στηρίξει τις απαραίτητες διατάξεις πρόσβασης.

Συνηθέστερη περίπτωση συνιστά η εγκατάσταση μονίμων ικριωμάτων από δικτυωτά μέλη από σωληνωτά στοιχεία, αναρτημένων από το κατάστρωμα. Ως εναλλακτική λύση, μελετήθηκε μεταλλικό φορείο με δύο βαθμούς ελευθερίας κίνησης: κυλιόμενος κατά μήκος της γέφυρας και μεταβαλλόμενης καθ' ύψος θέσης κάτωθεν των τόξων. Η προτεινόμενη διάταξη προκύπτει από το συνδυασμό των αρχών σχεδιασμού οχημάτων επιθεώρησης γεφυρών (Εικ. 4.1), τα οποία διαθέτουν πολυμελείς υδραυλικούς βραχίονες και κλωβό, και σταθερών αναρτημένων ικριωμάτων (Εικ. 4.2).

Η σκοπιμότητα εντοπίζεται στην οικονομία του υλικού και του χρόνου εγκατάστασης, και την ευελιξία ως προς τη χρήση στο συγκεκριμένο έργο, αλλά και τη δυνατότητα προσαρμογής και επανάχρησης. Επιπλέον, παρ' ότι γίνεται χρήση του καταστρώματος της γέφυρας η κυκλοφορία των οχημάτων δεν εμποδίζεται.



Εικ. 4.1,2 : Οχημα επιθεώρησης και αναρτημένο δάπεδο εργασίας

4.6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ - ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

Το φορείο εργασιών θα συνίσταται από ζεύγος πλαϊσίων σε συμμετρική διάταξη, αποτελούμενων από χαλύβδινες τυποποιημένες διατομές. Κάθε πλαίσιο θα έχει στύλους διατομής HEA 200 οι οποίοι θα συνδέονται σε ζεύγος δικτυωτών δοκών, με πέλματα διατομής UPN 120 και διαγώνια στοιχεία RHS 50x100x3. Κάθε δικτυωτή δοκός θα διατάσσεται εκατέρωθεν των στύλων, ενώ στο ίδιο διάστημα θα παρεμβάλλονται τρεις τροχοί, προκειμένου το φορείο να κυλίνεται κατά μήκος της γέφυρας. Το πλάτος του πλαισίου θα είναι 6.96 m, ελαφρώς μικρότερο από το πλάτος του οδοστρώματος (7.16 m) ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο πλαϊσίων θα είναι 3.71 m.

Στις εξωτερικές πλευρές των στύλων θα συνδέονται μέλη HEA 160 σε τραπεζοειδή διάταξη, εκτός του συνολικού πλάτους της γέφυρας, προκειμένου να εγκατασταθεί το μηχανικό σύστημα ανάρτησης (ηλεκτροκίνητα παλάγκα). Το συνολικό πλάτος του πλαισίου θα είναι 10.20 m.

Οι στύλοι κάθε πλαισίου θα συνδέονται με ζύγωμα διατομής IPE 200, άνωθεν του οποίου θα εφαρμόζουν διαγώνιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας σε οριζόντια διάταξη, διατομής L 100x10. Τα τέσσερα γωνιακά θα συνδέονται σε κεντρικό κομβόελασμα, προκειμένου ο φορέας να είναι εξασφαλισμένος έναντι στρεβλώσεως.

Για την προσέγγιση των τόξων αλλά και των υποστυλωμάτων, θα υπάρχουν δύο καταστρώματα εργασίας. Το κύριο θα κινείται κάτωθεν των τόξων και το δευτερεύον, που θα συναρμολογείται πάνω στο κύριο, θα κινείται καθ' ύψος των υποστυλωμάτων.

Το κύριο κατάστρωμα εργασίας θα αποτελείται από πρωτεύουσες και δευτερεύουσες δοκούς διατομής IPE 240, οι οποίες θα αναρτώνται από τα πλαίσια σε αμφιπροέχουσα διάταξη. Στα άκρα τους θα εφαρμόζουν ανισοσκελή γωνιακά L 40x80x4 που θα λειτουργούν ως όρια - οδηγοί για την τοποθέτηση διαδοκίδων διατομής SHS 50x3 ανά περίπου 50 cm. Το δάπεδο εργασίας θα αποτελείται από κόντρα πλακέ θαλάσσης πάχους 2 cm. Οι γενικές διαστάσεις του κυρίου καταστρώματος θα είναι 4.15 m (πλάτος) και 12.00 m (μήκος).

Το δευτερεύον κατάστρωμα θα αποτελείται ομοίως από πρωτεύουσες δοκούς διατομής UPN 220 και δευτερεύουσες IPE 160 στην εγκάρσια διεύθυνση. Η σύνδεση θα γίνεται με κοινή την κάτω παρειά των μελών, προκειμένου να υπάρχει διαθέσιμο ύψος για την τοποθέτηση διαδοκίδων SHS 50x3 στη διαμήκη διεύθυνση, ανά περίπου 50 cm. Οι δευτερεύουσες δοκοί και οι διαδοκίδες θα περιβάλλουν τα υποστυλώματα της γέφυρας, αφήνοντας προσβάσιμο διάδρομο πλάτους 80 cm. Το δάπεδο θα αποτελείται και στην περίπτωση αυτή από κόντρα πλακέ θαλάσσης 2 cm. Οι γενικές διαστάσεις του δευτερεύοντος καταστρώματος θα είναι 1.40 m (πλάτος) και 9.50 m (μήκος).

Όλες οι συνδέσεις μεταξύ των τυποποιημένων διατομών έχουν επιλεγεί με κριτήρια την εύκολη συναρμολόγηση και τη μέγιστη δυνατή ακαμψία, ως εκ τούτου όλες περιλαμβάνουν μετωπικές πλάκες και κοχλίες υπό εφελκυσμό (συνδέσεις ροπής).

Η ανάρτηση των καταστρωμάτων θα γίνεται μέσω συρματόσχοινων διατομής 10 mm με διαμορφωμένα άκρα (σαμπάνια), ζευγών μεταλλικών ελασμάτων και πείρων. Θα υπάρχουν δύο ζεύγη μηχανισμών κίνησης ανεξαρτήτων μεταξύ τους, ενώ ανά ζεύγος η στροφική κίνηση θα πρέπει να είναι συσχετισμένη ώστε να μην είναι δυνατές αποκλίσεις.

Τα καταστρώματα θα διαθέτουν στηθαία ασφαλείας, αποτελούμενα από σωληνωτά στοιχεία CHS 48x3, σε στάθμη περίπου 1.20 m από τα δάπεδα εργασίας. Οι ορθοστάτες θα συνδέονται μέσω πείρων και ελασμάτων στις δοκούς των καταστρωμάτων, ενώ τα οριζόντια μέλη θα συνδέονται στους ορθοστάτες μέσω κοινών συνδέσμων ικριωμάτων. Σημειώνεται πως στις θέσεις των τόξων το στηθαίο του κυρίου καταστρώματος θα διακόπτεται, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή προσέγγιση.

Όλα τα στοιχεία θα μεταφερθούν στο έργο με φορητό που θα περιλαμβάνει μικρό γερανό (παπαγαλάκι). Η συναρμολόγηση του μεταλλικού πλαισίου θα γίνει επί τόπου, στο κατάστρωμα της γέφυρας. Το κύριο κατάστρωμα εργασίας θα συναρμολογηθεί επί εδάφους, καθώς το νότιο μεσόβαθρο της γέφυρας είναι προσβάσιμο από χωματόδρομο. Όπως προαναφέρθη, η συναρμολόγηση του δευτερεύοντος καταστρώματος θα γίνεται στο κύριο και οι εργασίες θα προχωρούν με σταδιακά βήματα προώθησης και ανέλκυσης.

5 ΑΝΑΛΥΣΗ & ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

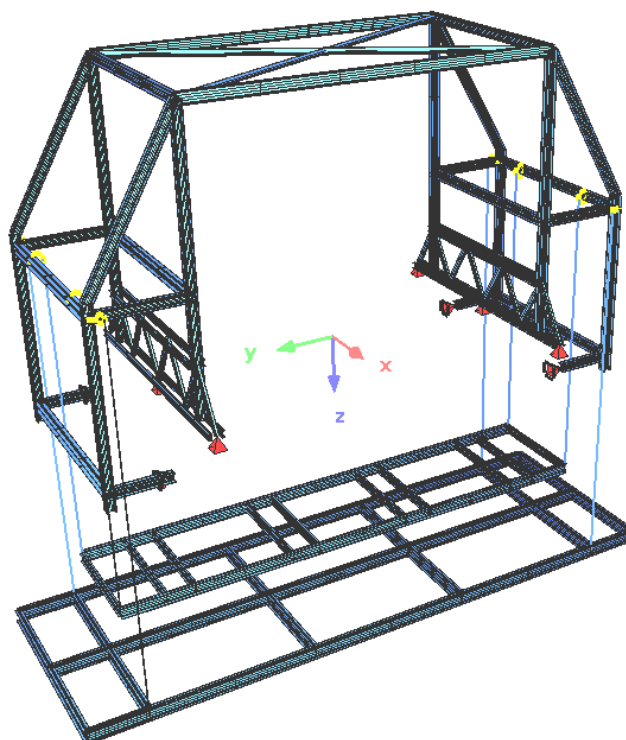
5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Προκειμένου να διαστασιολογηθεί το φορείο και τα καταστρώματα, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η προσομοίωση έγινε στο λογισμικό SOFISTIK και χρησιμοποιήθηκαν ραβδωτά στοιχεία και στοιχεία δικτυώματος. Για τον έλεγχο των μεταλλικών στοιχείων σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό (Ευρωκώδικας 3) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα STEEL MEMBERS της εταιρείας FIDES, και για τον έλεγχο των συνδέσεων το λογισμικό STEEL CONNECTIONS, της ίδιας εταιρείας.

Τα προσομοιώματα μορφώθηκαν με τους παρακάτω τύπους πεπερασμένων στοιχείων, σύμφωνα με την ξενόγλωσση ονομασία τους:

- Στοιχεία beam : Ραβδωτό στοιχείο μεταβλητής και έκκεντρης διατομής με δυνατότητα προέντασης. Μπορεί να παραλάβει στρέβλωση. Μπορεί να εδράζεται ελαστικά και να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες.
Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν όλα τα γραμμικά μέλη εκτός από τους διαγωνίους συνδέσμους και τα συρματόσχοινα.
- Στοιχεία truss : Στοιχείο ράβδου δικτυώματος με δυνατότητα αξονικής καταπόνησης.
Με τα εν λόγω στοιχεία προσομοιώθηκαν οι διαγώνιοι σύνδεσμοι και τα συρματόσχοινα.
- Κόμβοι: Χρησιμοποιήθηκαν 204 κόμβοι.

Οι κατακόρυφες στηρίξεις που αντιστοιχούν στις θέσεις των τροχών θεωρήθηκαν αρθρωτές, ενώ τα άκρα των δοκών που λειτουργούν ως αποστάτες από τις δοκούς του καταστρώματος δεσμεύθηκαν μόνο για την μετακίνηση κατά την αξονική τους διεύθυνση (κυλίσεις).



Εικ. 5.3 : Άποψη του προσομοιώματος του κεντρικού - τοξωτού ανοίγματος

5.2 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Ελήφθησαν υπ' όψιν τα παρακάτω υλικά, όπως περιγράφονται από τον τίτλο, την αρίθμηση και τις ιδιότητες τους:

Αριθμός υλικού	Ονομασία υλικού	Περιγραφόμενα στοιχεία	Είδος στοιχείων
1	S 235	Μεταλλικά στοιχεία	Beam, truss

5.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Κανονιστικά κείμενα που ελήφθησαν υπ' όψιν στη μελέτη αποτίμησης είναι τα κάτωθι:

1. Ευρωκώδικας 0 «Eurocode - Basis of structural design / Ευρωκώδικας - Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων».
2. Ευρωκώδικας 1 «Basis of design and actions on structures / Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές».
3. Ευρωκώδικας 3 «Design of steel structures / Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα».

5.4 ΦΟΡΤΙΑ

Για την ανάλυση του φορέα ελήφθησαν τα κάτωθι φορτία:

- Μόνιμα φορτία (G)
 Φορτία από ίδια βάρη υλικών φέροντος οργανισμού
 Ίδιο βάρος χάλυβα 78.50 kN/m³
 Ίδιο βάρος ξύλου 5.00 kN/m³

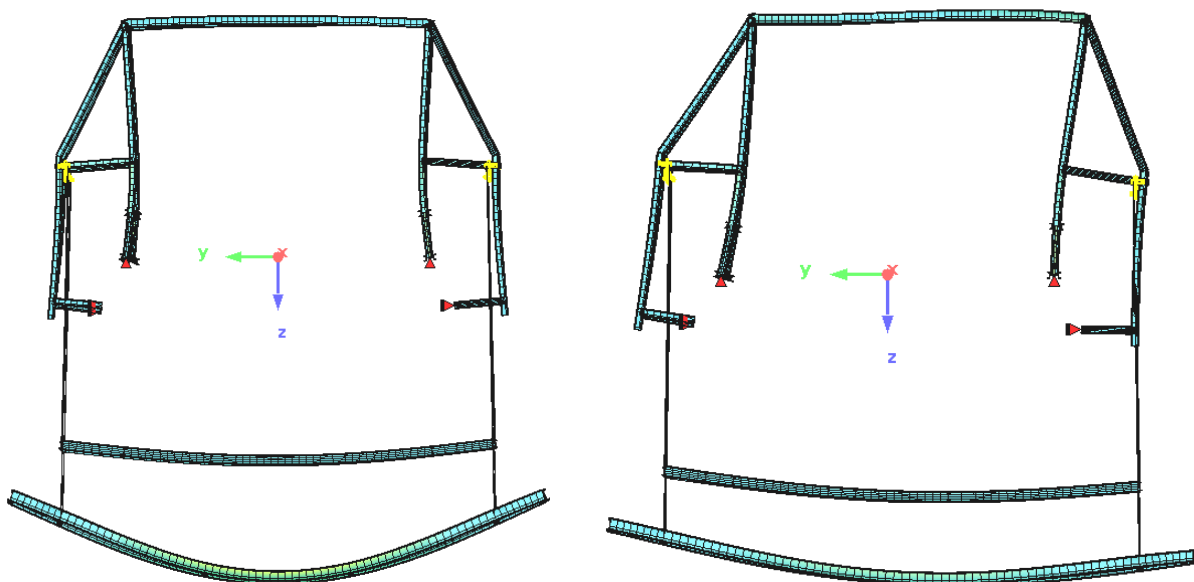
- Επιφανειακά φορτία
 Επικάλυψη με κ/π θαλάσσης 0.10 kN/m²

- Μεταβλητά φορτία - ωφέλιμα (Q)
 Επιφανειακά φορτία
 Ωφέλιμο φορτίο δαπέδου εργασίας 1.00 kN/m²

- Σημειακά φορτία
 Φορτίο εργάτη 1.00 kN

Εξετάστηκε συμμετρική (Εικ. 5.4) και ασύμμετρη (Εικ. 5.5) εφαρμογή των κινητών φορτίων για να εκτιμηθεί η μέγιστη δυνατή επιβάρυνση του φορέα.

Λόγω του προσωρινού χαρακτήρα της κατασκευής και του ότι υπό συνθήκες λειτουργίας θα υπάρχει πρόσθετη εξασφάλιση στον φορέα της γέφυρας, δεν εξετάζεται η σεισμική φόρτιση.

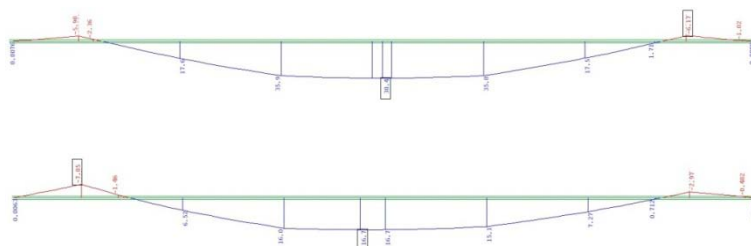


Εικ. 5.4,5 : Άποψη του προσομοιώματος

5.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Κρίσιμοι για την επιλογή των διατομών των κυρίων δοκών των φορέων εργασίας ήταν οι έλεγχοι παραμορφώσεων και ταλαντώσεων.

Σε όρους φέρουσας ικανότητας, για όλα τα μέλη έχει επιλεγεί λειτουργία υπό χαμηλούς λόγους αξιοποίησης (περίπου 60 %) καθώς αφ' ενός το κόστος δεν είναι καθοριστικός παράγων για τόσο μικρή κλίμακα, αφ' ετέρου είναι δέον να υπάρχουν περιθώρια για απρόβλεπτες - τυχηματικές καταστάσεις (πρόσκρουση οχήματος, κατασκευαστικές ατέλειες κλπ).



Εικ. 5.6,7 : Καμπτικές ροπές κυρίου δαπέδου εργασίας για συμμετρική και ασύμμετρη φόρτιση

6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ορισμένα θεωρητικά ερωτήματα προκύπτουν από την ενασχόληση με τη γέφυρα της Καρύταινας: πρόκειται για νεώτερο μνημείο; Ποιά χαρακτηριστικά την καθιστούν μνημείο; Συνιστούν μνημεία όλα τα αντίστοιχα έργα γεφυροποιίας;

Οι βασικοί λόγοι που ενδεχομένως προκαλούν αμηχανία περί του σχετικού ισχυρισμού είναι η έλλειψη παλαιότητας και η εξοικείωση με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής. Ο κοινός νους δε θεωρεί αυτομάτως ως ιδιαίτερος αξιόλογο ένα έργο από σκυρόδεμα, το υλικό που βλέπει να χρησιμοποιείται κατά κόρον και συχνά το απαξιώνει ως παράγοντα υποβάθμισης του αστικού και όχι μόνο τοπίου. Ενδεχομένως να δυσκολεύεται να αντιληφθεί το βαθμό πολυπλοκότητας και σπουδαιότητας ενός αντιστοίχου έργου και να υπερεκτιμήσει τη γοητεία του παλαιού λίθινου γεφυριού, παρά το ότι μπορεί να επρόκειτο για έργο αναλογικώς χαμηλότερης τεχνολογικής στάθμης.

Ωστόσο, η κλίμακα των έργων υποδομής συνιστά καθοριστικό παράγοντα για την παραδοχή του μνημειακού τους χαρακτήρα. Σύμφωνα με τον μεσαιωνικό αρχιτέκτονα Andrea Palladio: «Οι ιστορικές γέφυρες χτίστηκαν όταν οι άνθρωποι άρχισαν να αναζητούν την αθανασία της μνήμης τους επειδή ζουν περισσότερο και χαρίζουν μεγάλη δόξα στους κατασκευαστές τους». Οι διαστάσεις γεφυρών τουλάχιστον αντιστοίχων της Καρύταινας υποβάλλουν το θεατή, ακόμη και όταν η αισθητική δεν ήταν παράμετρος σχεδιασμού για τον μηχανικό που τις μελέτησε.

Μια αξία κοινωνικής τάξεως που σχετίζεται με την κλίμακα τέτοιων έργων είναι οι άνθρωποι που εργάστηκαν σε μεγάλο πλήθος για την κατασκευή τους. Όπως ανεφέρθη, κατά την περίοδο κατασκευής της η γέφυρα της Καρύταινας προσέλκυσε εργατικό δυναμικό από πολλά γύρω χωριά, ήταν προφανώς στο επίκεντρο συζήτησης της τοπικής κοινωνίας. Αντίστοιχα τεχνικά έργα γίνονται ορόσημα και αφορμές καύχησης από τις κοινωνίες, καθώς στη δική τους κλίμακα πρόκειται για έργα μοναδικά και ανεπανάληπτα.

Η χρήση ενός τεχνικού έργου από μεγάλο πλήθος πολιτών είναι ακόμα ένας λόγος που κινητοποιεί το αίσθημα της σπουδαιότητας. Η μετακίνηση για λόγους βιοποριστικούς ή τουριστικούς εξασφαλίζονται από αυτά τα τεχνικά έργα για πολλές δεκαετίες και, κατά συνέπεια οι χρήστες αναπτύσσουν οικειότητα με αυτά τα έργα που συνιστούν τις προϋποθέσεις για την κάλυψη των αναγκών τους.

Κατά συνέπεια, παρά το γεγονός πως η μορφή της δε διακρίνεται από πρωτοτυπία, ούτε και οι διαστάσεις της είναι αξιοσημείωτες σε ευρύτερο επίπεδο, η γέφυρα της Καρύταινας συνιστά μνημείου του ελληνικού τεχνικού πολιτισμού και του τόπου που τη φιλοξενεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1.1 ΒΙΒΛΙΑ

Leonardo Fernandez Troyano : Bridge Engineering: A Global Perspective

David P. Billington : Robert Maillart's Bridges - The Art of Engineering

Rowland J. Mainstone : Structure in Architecture

Matthew Wells : Engineers - A history of engineering and structural design

Jacques Heyman : Structural analysis - A historical approach

Henry Cowan : The master builders

Pier Luigi Nervi : Aesthetics and technology in building

John Fitcher : Building construction before mechanization

CIM béton : Histoire du béton - naissance et développement

Ove Arup : Philosophy of Design

Ove Arup : Master Builder of the Twentieth Century

Stamatios Stathopoulos : Bridge engineering in Greece

V.K. Raina : Concrete bridges

Θ.Ν. Σκουλικίδης : Διάβρωση και συντήρηση των δομικών λίθων των μνημείων

Θ.Π. Τάσιος & Κ. Αλιγιζάκη : Ανθεκτικότητα ωπλισμένου σκυροδέματος

Θ.Π. Τάσιος : Σημειώσεις γεφυροποιίας

Λεωνίδα Σταυρίδης : Στατική των δομικών φορέων

6.1.2 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

The Getty Conservation Institute : Conserving concrete heritage - Experts meeting

Tilly & Jacobs : Concrete repairs - performance in service and current practice

David P. Billington : The Revolutionary Bridges of Robert Maillart

Denis Zastavni : What Was Truly Innovative about Maillart's Designs Using Reinforced Concrete?

Allen C. Sit : Structural Behavior of Deck-Stiffened Arch Bridges

Xercavins et al : Eugene Freyssinet - His incredible journey to invent and revolutionize prestressed concrete construction

6.1.3 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

www.structurae.net

www.iabse.org

www.wikipedia.com

www.efreyssinet-association.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' : ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

A.1 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Λόγω των εκτεταμένων οξειδώσεων και της συνεπαγόμενης απώλειας των επικαλύψεων του σκυροδέματος, ήταν δυνατή η οπτική αναγνώριση του πλήθους και της γεωμετρίας των ράβδων για τα τόξα και τα υποστυλώματα.

Παρά τις επικαθίσεις σκουριάς, φαίνεται πως ο οπλισμός δεν έχει νευρώσεις. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τις συστάσεις του ΕΠΑΝΤΥΚ (§3.6 “Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών”, 2006) και βάσει του χρόνου εφαρμογής (προ του 1960) η ποιότητα του χάλυβα είναι St I κατά DIN 448 που αντιστοιχεί σε S220 κατά ΕΛΟΤ 959.

Όσον αφορά στο πλήθος διαπιστώθηκαν:

- Τόξα: Διαμήκης οπλισμός κάτω παρειάς 10Φ20
Εγκάρσιος οπλισμός ΣΦ10/20
- Υποστυλώματα: Κατακόρυφος οπλισμός 8Φ20
Εγκάρσιος οπλισμός ΣΦ10/20

A.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ

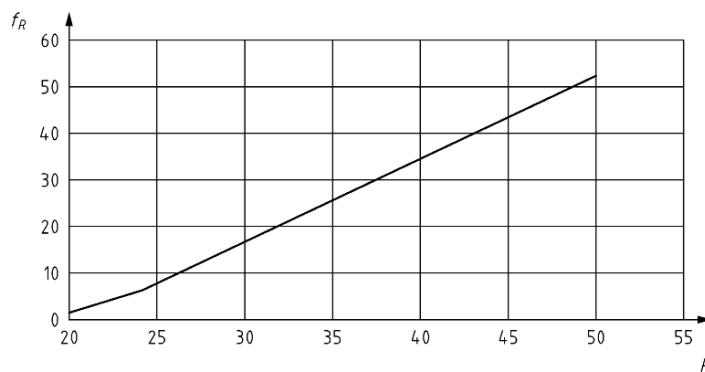
Για τον έλεγχο ομοιογένειας και την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εφαρμόστηκε η μέθοδος της κρουσιμέτρησης. Η συσκευή (Schmidt hammer) εκτοξεύει μεταλλική μάζα μέσω ελατηρίου και μετράται η αναπήδησή της επί της επιφάνειας του υλικού. Χρησιμοποιήθηκε το κρουσίμετρο AT 241/E, τύπου Normal, της εταιρείας Technotest.

Προδιαγραφές για τη διαδικασία της κρουσιμέτρησης ορίζονται από πρότυπο prEN 12504-2 (Testing concrete in structures Part 2: Non-destructive testing – Determination of rebound number) η μετάφραση του οποίου εντάσσεται στην εγκύκλιο Ε7.

Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι στις κάτωθι θέσεις και δομικά στοιχεία:

- Θεμελίωση: Έξι θέσεις ανά θεμέλιο μεσοβάθρου
- Μεσόβαθρα: Έξι θέσεις ανά μεσόβαθρο
Τρεις θέσεις ανά απόληξη - στηθαίο
- Τόξα: Δύο θέσεις ανά έδραση τόξου
- Υποστυλώματα: Μία θέση ανά ακραίο υποστύλωμα

Όπως προαναφέρθη, η μέθοδος χρησιμοποιείται συμπληρωματικά ως προς τις λήψεις και θραύσεις πυρήνων, βαθμονομείται δε καταλλήλως από τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ελλείψει αμέσων δοκιμών, χρησιμοποιήθηκε η βασική καμπύλη (Εικ. Α.2) άνευ βαθμονόμησης, σύμφωνα με την οποία αποδίδεται η εκτίμηση θλιπτικής αντοχής για κάθε θέση κρουσιμέτρησης που πραγματοποιήθηκε. Τελικά, λαμβάνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των μετρήσεων συνολικά.



Εικ. Α.2 : Βασική καμπύλη συσχέτισης ενδείξεων κρουσιμέτρου (R) με επί τόπου θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (f_R)

Πιν. Α.2 : Αποτελέσματα κρουσιμετρήσεων

		R												R_m	$f_{is,R}$ (MPa)
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	ΘΝ1	28	24	30	32	34	38	28	34	28	28	28	30	30.2	16.9
	ΘΝ2	30	24	28	26	34	28	28	34	40	28	32	34	30.5	17.5
	ΘΝ3	26	24	38	34	36	40	32	40	28	28	32	40	33.2	22.3
	ΘΝ4	30	24	24	32	34	28	26	34	28	40	32	26	29.8	16.4
	ΘΝ5	28	24	30	32	34	32	28	34	40	28	22	32	30.3	17.2
	ΘΝ6	24	28	42	32	34	30	32	34	36	40	26	28	32.2	20.5
	ΘΒ1	26	24	30	28	34	26	34	34	28	28	40	26	29.8	16.4
	ΘΒ2	30	24	26	32	30	34	36	30	34	28	24	26	29.5	15.8
	ΘΒ3	30	24	30	32	34	32	34	34	36	28	28	28	30.8	18.1
	ΘΒ4	32	24	30	32	28	28	28	30	34	40	28	40	31.2	18.7
	ΘΒ5	34	24	26	32	34	38	24	28	28	38	24	28	29.8	16.4
	ΘΒ6	32	24	26	32	36	32	34	32	28	34	36	26	31.0	18.4

Πιν. Α.2 : Αποτελέσματα κρουσιμετρήσεων (συνέχεια)

	R												R _m	f _{is,R} (MPa)	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ	MN1	34	32	28	32	40	38	34	28	26	34	22	34	31.8	19.9
	MN2	32	34	28	26	34	38	34	34	30	32	34	40	33.0	22.0
	MN3	32	34	32	28	34	38	34	34	26	34	34	34	32.8	21.7
	MN4	32	34	30	32	34	38	34	30	34	36	30	30	32.8	21.7
	MN5	28	34	26	34	34	38	30	34	36	30	34	42	33.3	22.5
	MN6	32	30	34	36	30	38	34	32	34	34	30	30	32.8	21.7
	MB1	32	34	32	34	34	38	26	38	34	30	34	26	32.7	21.4
	MB2	32	28	28	28	30	38	34	38	34	28	28	30	31.3	19.0
	MB3	30	24	40	38	34	28	24	30	34	34	28	30	31.2	18.7
	MB4	34	24	34	38	34	32	26	30	34	30	22	26	30.3	17.2
	MB5	30	30	24	30	34	30	24	28	28	34	22	26	28.3	13.7
	MB6	26	26	26	30	34	34	26	26	34	28	30	28	29.0	14.9
	ΣΝΑ1	28	24	24	28	28	30	24	28	30	28	28	28	27.3	11.9
	ΣΝΑ2	32	26	26	26	34	42	32	24	30	22	34	28	29.7	16.1
	ΣΝΑ3	34	28	24	28	26	30	28	24	30	34	30	28	28.7	14.3
	ΣΝΔ1	32	30	24	30	34	26	32	24	34	32	34	28	30.0	16.6
	ΣΝΔ2	32	34	28	28	30	30	32	34	28	28	22	28	29.5	15.8
	ΣΝΔ3	30	34	26	32	34	38	28	28	28	34	42	32	32.2	20.5
	ΣΒΑ1	34	32	34	38	34	26	24	40	26	34	30	28	31.7	19.6
	ΣΒΑ2	28	28	36	30	30	30	24	34	28	28	26	32	29.5	15.8
ΣΒΑ3	28	34	34	34	26	38	28	34	32	40	30	32	32.5	21.1	
ΣΒΔ1	26	34	28	30	30	26	28	30	32	34	30	28	29.7	16.1	
ΣΒΔ2	34	24	32	34	38	38	28	34	38	34	32	24	32.5	21.1	
ΣΒΔ3	34	30	26	34	38	26	28	34	30	32	26	24	30.2	16.9	

	R												R _m	f _{is,R} (MPa)	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
ΤΟΞΑ	TN1	24	40	38	34	28	26	26	34	28	28	22	28	29.7	16.1
	TN1'	24	34	38	34	32	24	24	34	28	28	22	28	29.2	15.2
	TN2	30	24	30	34	30	26	26	34	28	28	22	28	28.3	13.7
	TN2'	26	26	30	34	34	32	26	34	28	28	22	28	29.0	14.9
	TN3	24	24	28	30	24	30	34	34	28	28	22	28	27.8	12.8
	TN3'	26	26	26	34	28	40	38	34	28	28	22	28	29.8	16.4
	TN4	32	26	30	34	24	34	38	34	32	24	28	30	30.5	17.5
	TN4'	30	24	28	32	26	24	30	34	30	26	26	30	28.3	13.7
	TB1	34	26	30	34	26	26	30	34	34	32	26	30	30.2	16.9
	TB1'	30	24	28	30	30	24	28	28	30	30	34	34	29.2	15.2
	TB2	42	32	32	34	38	26	26	34	42	28	30	28	32.7	21.4
	TB2'	30	28	38	34	26	24	28	26	30	24	28	28	28.7	14.3
	TB3	26	32	30	30	30	34	38	32	26	26	26	26	29.7	16.1
	TB3'	30	32	34	26	38	34	26	28	28	24	34	42	31.3	19.0
	TB4	38	28	28	28	34	30	30	34	30	24	26	30	30.0	16.6
	TB4'	26	24	40	26	34	26	38	34	28	28	32	26	30.2	16.9

Πιν. Α.2 : Αποτελέσματα κρουσιμετρήσεων (συνέχεια)

		R												R _m	f _{is,R} (MPa)
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	YN1	26	30	34	32	34	38	28	34	28	28	22	28	30.2	16.9
	YN2	24	28	30	32	34	38	28	26	24	30	22	28	28.7	14.3
	YN3	26	26	30	24	28	30	30	24	28	28	30	28	27.7	12.5
	YN4	30	24	28	32	32	34	28	30	32	34	42	26	31.0	18.4
	YB1	38	26	26	26	24	28	26	30	24	28	28	26	27.5	12.2
	YB2	26	24	28	24	32	32	24	28	32	32	34	30	28.8	14.6
	YB3	30	34	38	32	28	38	26	26	26	24	30	38	30.8	18.1
	YB4	30	24	30	32	32	30	24	28	24	32	34	26	28.8	14.6

	f _R (MPa)	s
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	17.9	1.9
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ	18.3	3.1
ΤΟΞΑ	16.0	2.1
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	16.0	2.4
ΣΥΝΟΛΟ	17.2	2.8

Σύμφωνα με την ανωτέρω διαδικασία η εκτιμώμενη επί τόπου θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του κτηρίου προκύπτει:

$$f_{R,mean} = 17.2 \text{ MPa (μέση τιμή)}$$

$$s = 2.8 \text{ MPa (τυπική απόκλιση)}$$

A.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

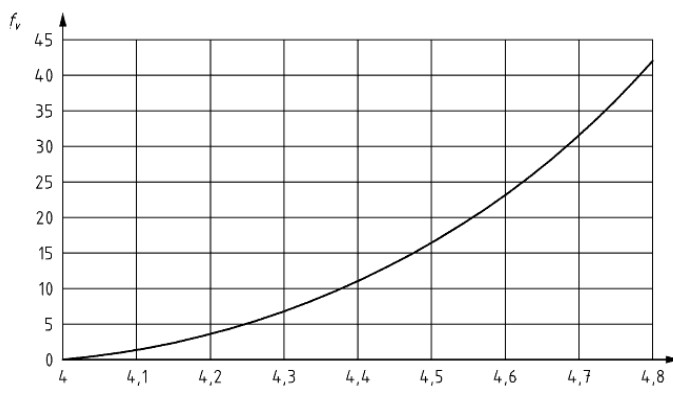
Για τον έλεγχο ομοιογένειας και την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εφαρμόστηκε η μέθοδος των υπερήχων. Η συσκευή καταγράφει το χρόνο διέλευσης τασικών κυμάτων (υπερήχων) δια μέσου της μάζας του υπό εξέταση στοιχείου. Η αντίστοιχη ταχύτητα διέλευσης πέραν της συσχέτισης με τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, παρέχει στοιχεία για την ομοιογένεια του υλικού και την τυχόν ύπαρξη ρηγματώσεων εντός της μάζας του. Χρησιμοποιήθηκε η συσκευή 58-E4800, της εταιρείας Controls.

Προδιαγραφές για τη διαδικασία της κρουσιμέτρησης ορίζονται από πρότυπο prEN 12504-4 (Testing concrete in structures Part 4: Non-destructive testing – Determination of ultrasonic pulse velocity) η μετάφραση του οποίου εντάσσεται στην εγκύκλιο Ε7.

Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι στις κάτωθι θέσεις και δομικά στοιχεία:

- Θεμελίωση: Τέσσερις θέσεις ανά θεμέλιο μεσοβάθρου
- Μεσόβαθρα: Τέσσερις θέσεις ανά μεσόβαθρο
- Τόξα: Μία θέση ανά έδραση τόξου
- Υποστυλώματα: Μία θέση ανά ακραίο υποστύλωμα

Όπως και για τη μέθοδο κρουσιμέτρησης, χρησιμοποιήθηκε η βασική καμπύλη (Εικ. Α.3) άνευ βαθμονόμησης, σύμφωνα με την οποία αποδίδεται η εκτίμηση θλιπτικής αντοχής για κάθε θέση κρουσιμέτρησης που πραγματοποιήθηκε. Τελικά, λαμβάνεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των μετρήσεων συνολικά.



Εικ. Α.3 : Βασική καμπύλη συσχέτισης ταχύτητας διέλευσης υπερήχων (v) με επί τόπου θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (fv)

Πιν. Α.3 : Αποτελέσματα μετρήσεων ταχύτητας διέλευσης υπερήχων

		t (ms)	d (cm)	v (km/s)	f _v (MPa)
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	ΘΝ1	61.5	28	4.6	23.9
	ΘΝ2	64.1	28	4.4	11.7
	ΘΝ3	64.5	28	4.4	10.2
	ΘΝ4	62.6	28	4.5	18.1
	ΘΒ1	63.0	28	4.5	16.2
	ΘΒ2	64.2	28	4.4	11.3
	ΘΒ3	65.3	28	4.3	7.7
	ΘΒ4	61.8	28	4.6	22.2

		t (ms)	d (cm)	v (km/s)	f _v (MPa)
ΤΟΞΑ	TN1	32.5	14	4.4	8.6
	TN2	31.8	14	4.4	13.6
	TN3	30.9	14	4.6	22.2
	TN4	31.6	14	4.5	15.3
	TB1	32.4	14	4.4	9.2
	TB2	31.1	14	4.5	20.1
	TB3	32.7	14	4.3	7.4
	TB4	32.1	14	4.4	11.3

		t (ms)	d (cm)	v (km/s)	f _v (MPa)
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ	MN1	61.5	28	4.6	23.9
	MN2	64.1	28	4.4	11.7
	MN3	64.5	28	4.4	10.2
	MN4	62.6	28	4.5	18.1
	MB1	62.7	28	4.5	17.6
	MB2	63.0	28	4.5	16.2
	MB3	64.4	28	4.4	10.6
	MB4	61.8	28	4.6	22.2

		t (ms)	d (cm)	v (km/s)	f _v (MPa)
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	YN1	31.0	14	4.6	21.1
	YN2	30.8	14	4.6	23.4
	YN3	32.1	14	4.4	11.3
	YN4	30.8	14	4.6	23.4
	YB1	32.1	14	4.4	11.3
	YB2	31.0	14	4.6	21.1
	YB3	32.8	14	4.3	6.8
	YB4	31.4	14	4.5	17.1

	f _{vm} (MPa)	s
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ	15.2	5.9
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ	16.3	5.2
ΤΟΞΑ	13.5	5.4
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	16.9	6.4
ΣΥΝΟΛΟ	15.5	5.6

Σύμφωνα με την ανωτέρω διαδικασία η εκτιμώμενη επί τόπου θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του κτηρίου προκύπτει:

$$f_{R,mean} = 15.5 \text{ MPa (μέση τιμή)}$$

$$s = 5.6 \text{ MPa (τυπική απόκλιση)}$$

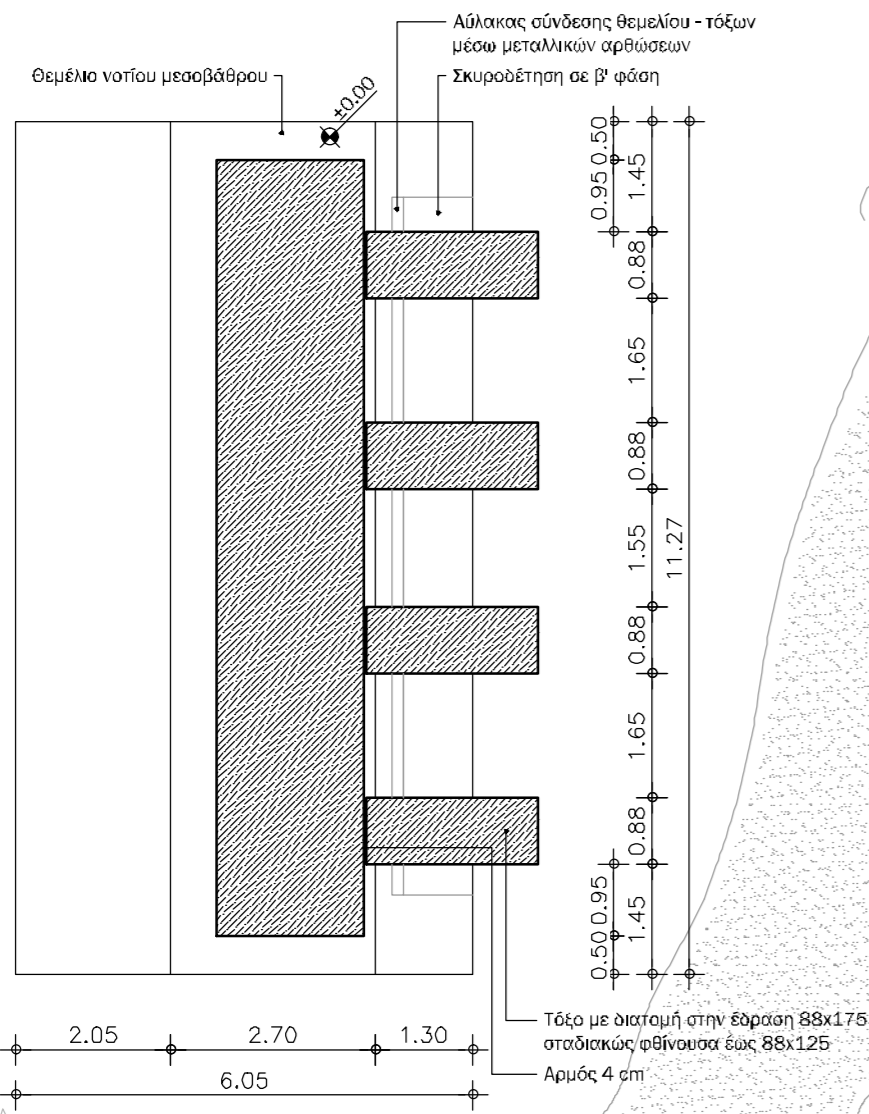
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' : ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ



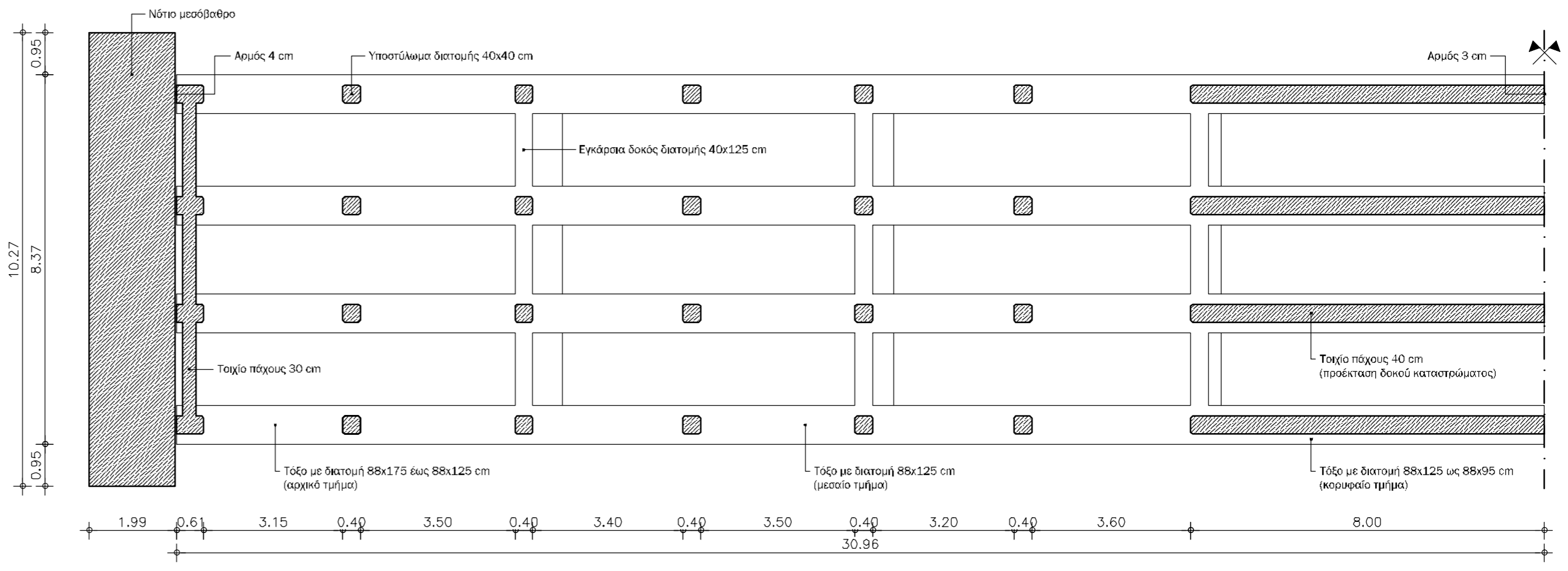




ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ' : ΣΧΕΔΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΝΟΤΙΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ



ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΞΟΥ

ΣΥ1

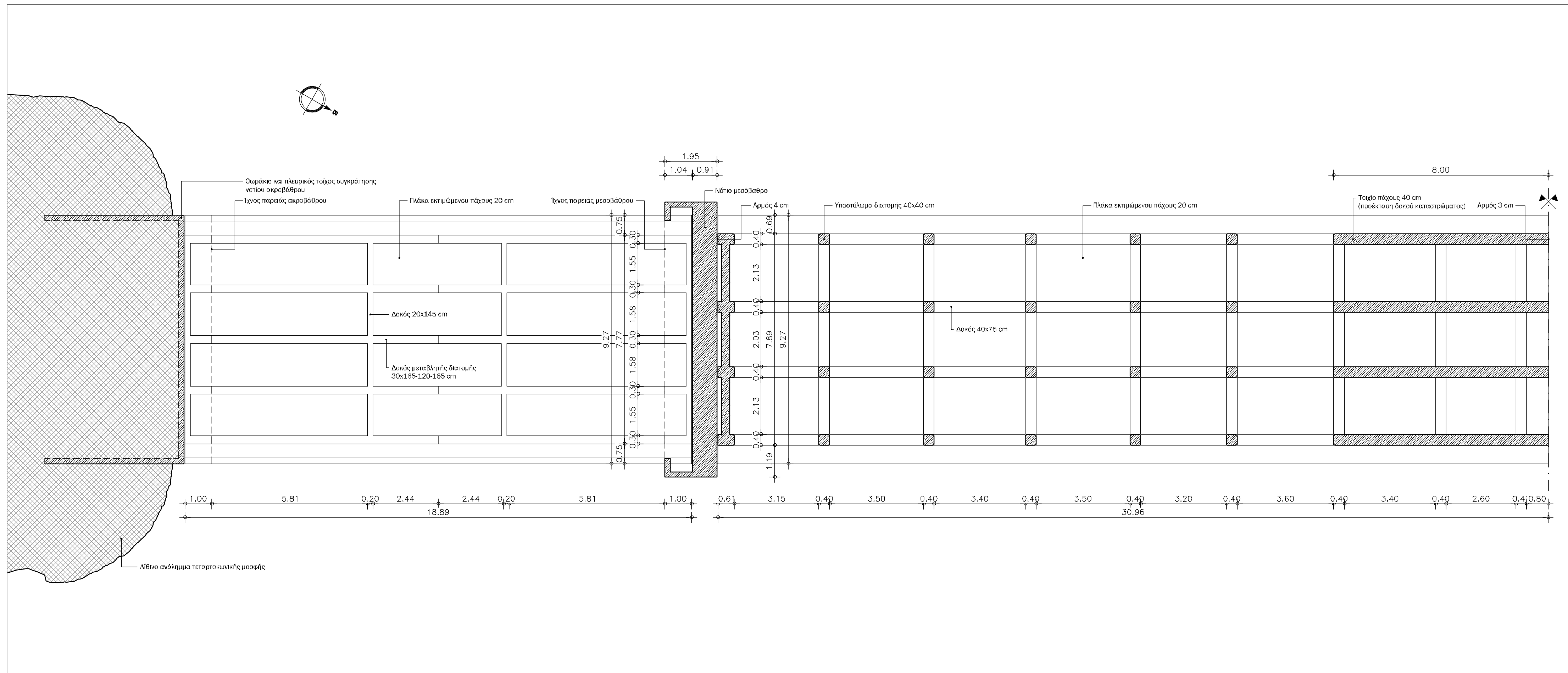
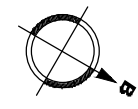
Η ΤΟΞΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΡΥΤΑΙΝΑΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ / ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΝΟΛΗΣ ΚΟΡΡΕΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

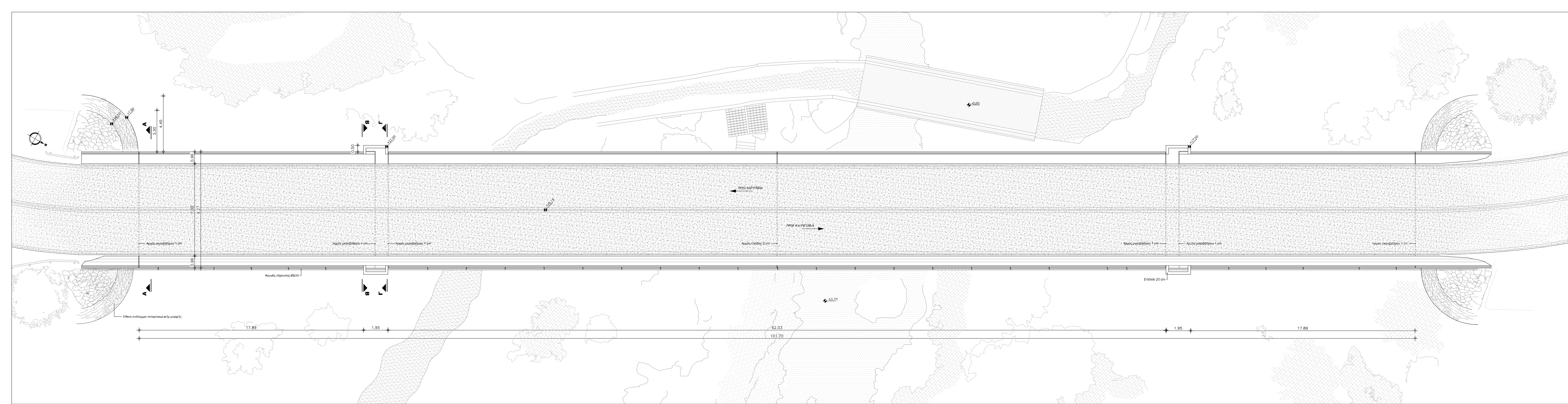
ΚΑΤΟΨΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΝΟΤΙΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ & ΤΟΞΟΥ

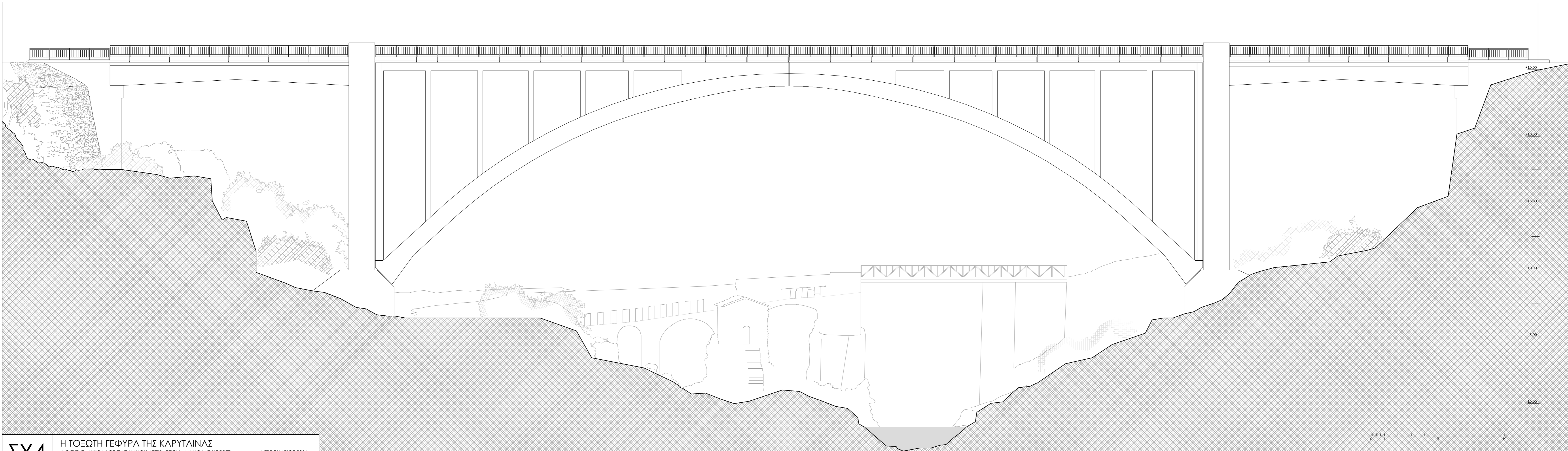
1:100



ΣΥ2

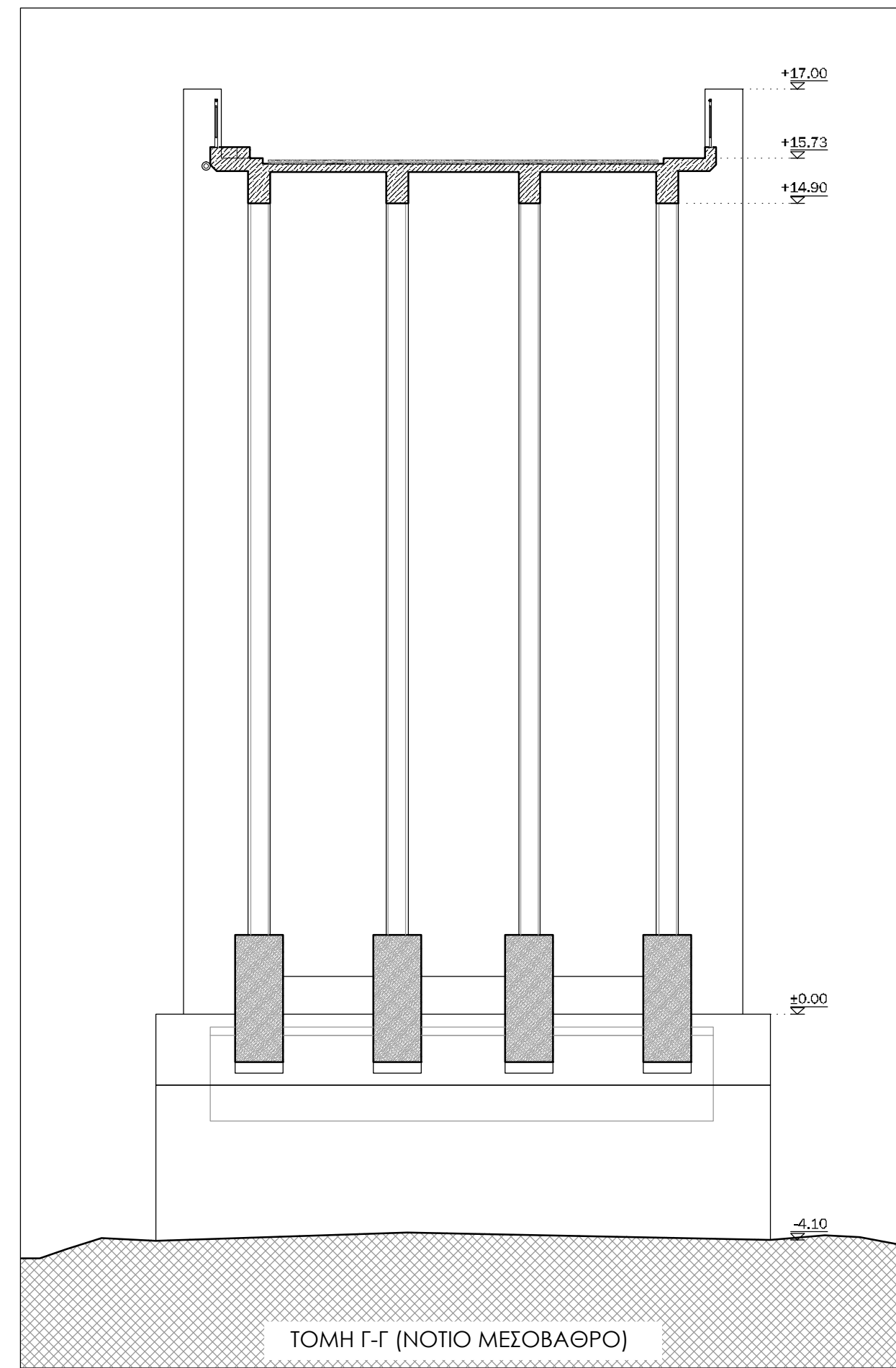
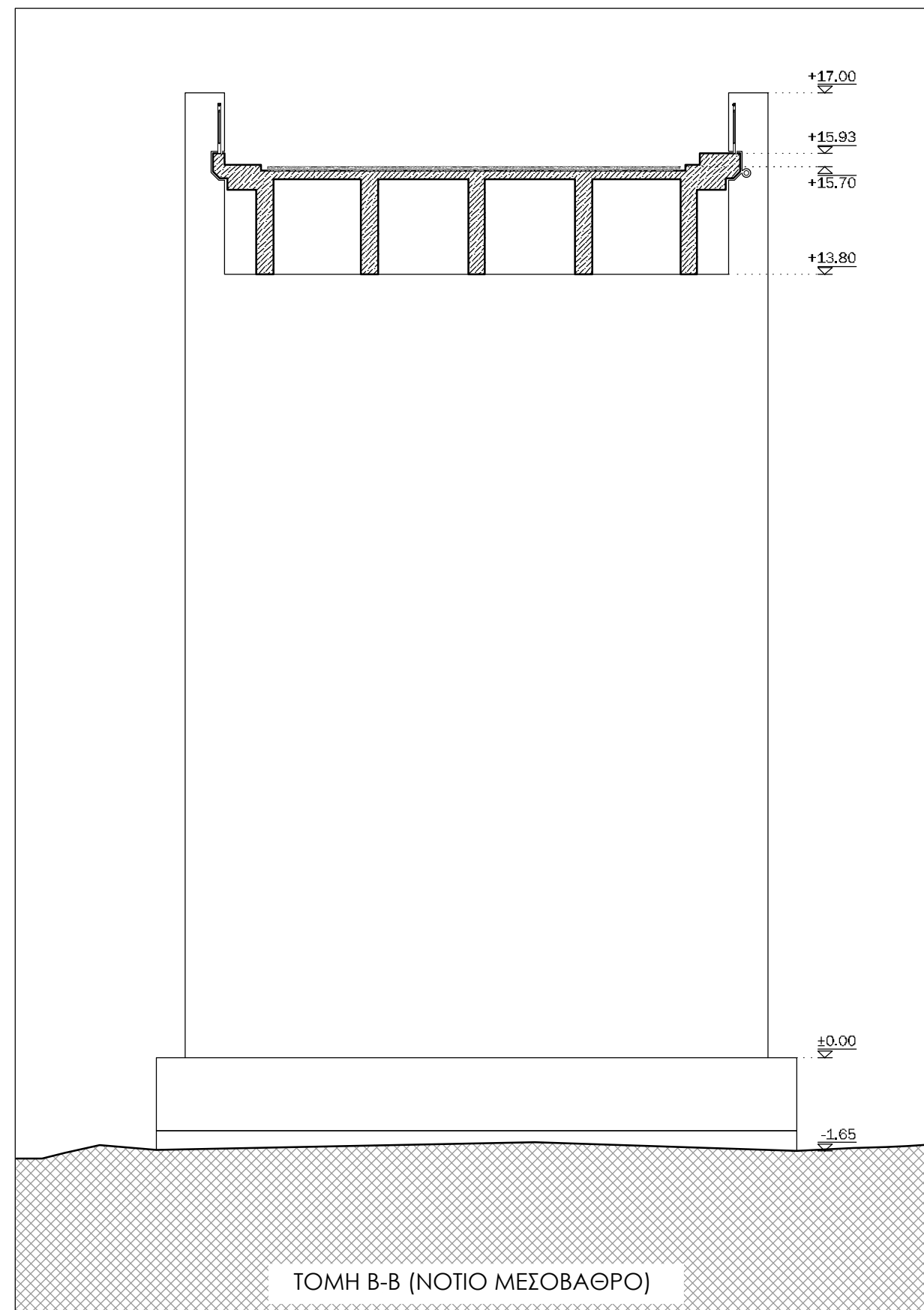
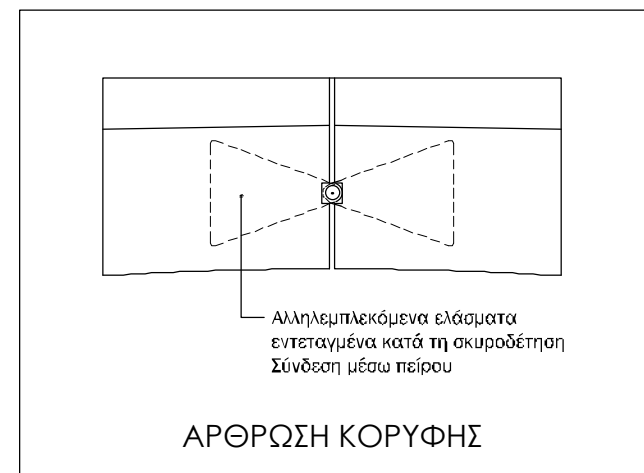
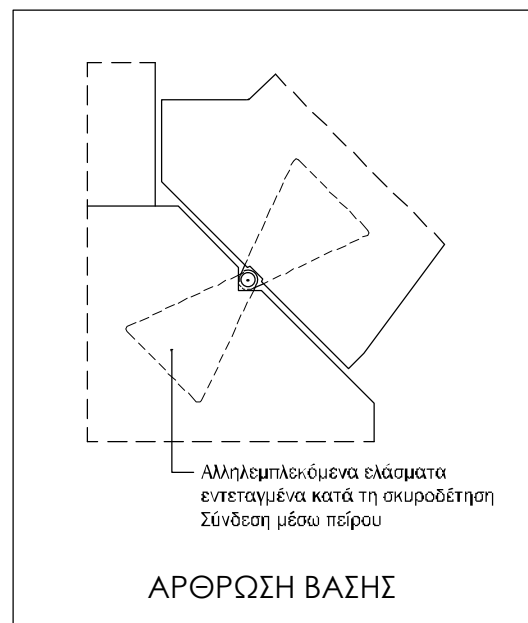
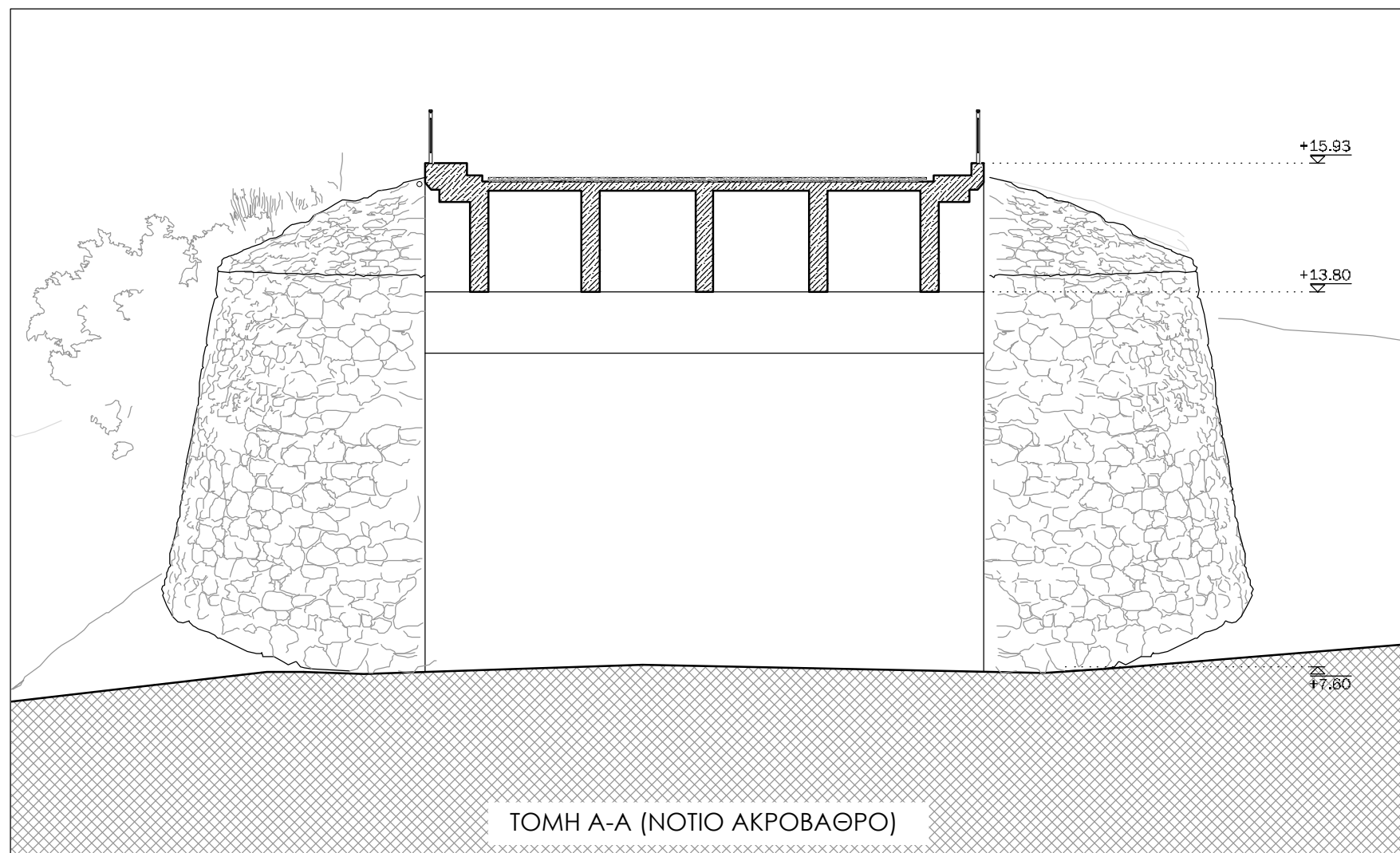
Η ΤΟΞΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΡΥΤΑΙΝΑΣ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ / ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΝΟΛΗΣ ΚΟΡΡΕΣ
ΕΞΥΛΟΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016
1:100

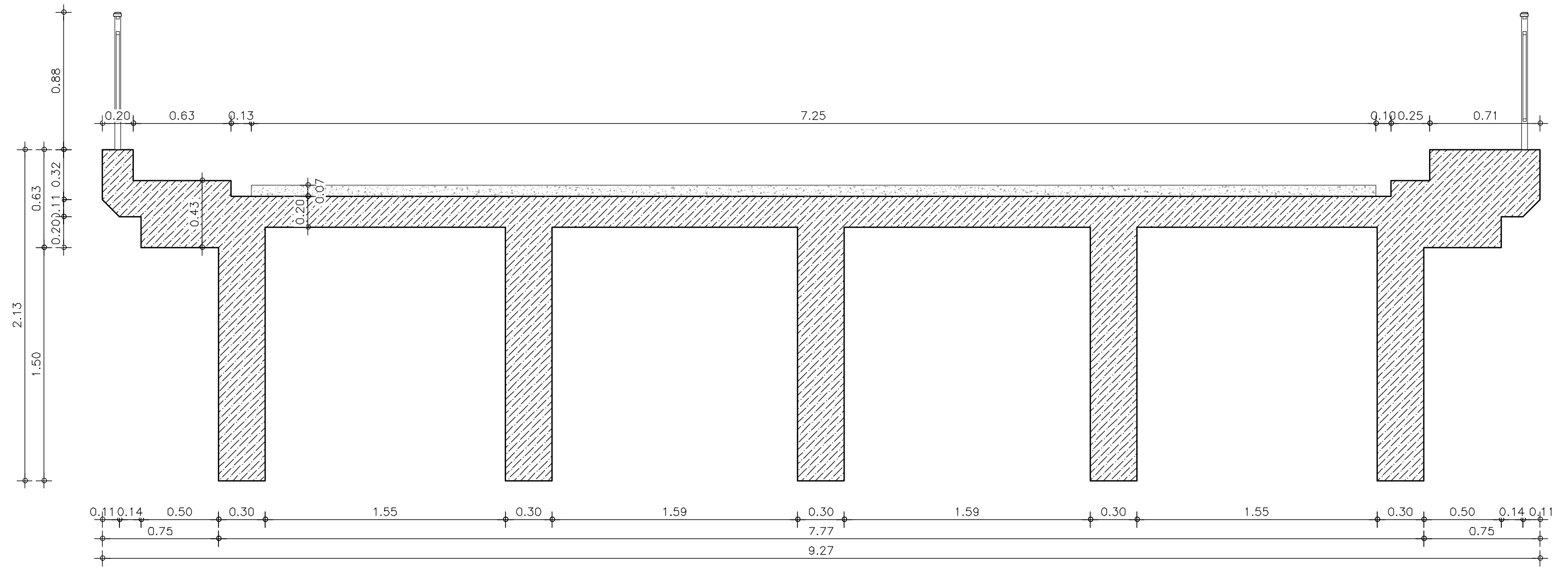




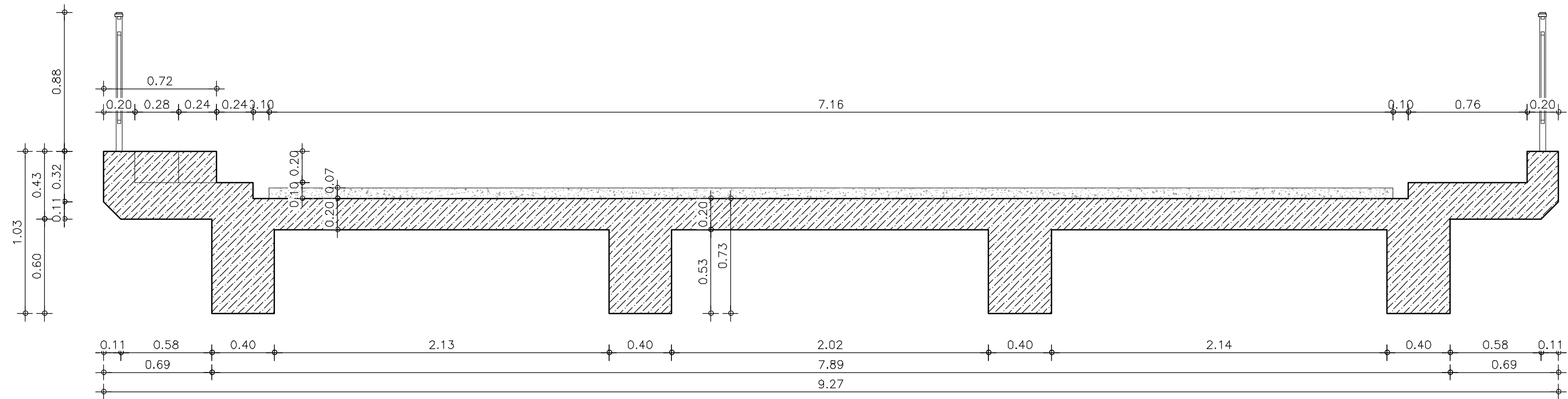
ΣΥ4 Η ΤΟΞΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΡΥΤΑΙΝΑΣ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΛΙΟΥ / ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΑΝΟΛΗΣ ΚΟΡΡΕΣ
ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016
1:125







ΤΟΜΗ Β-Β (ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΣΕ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟ ΤΜΗΜΑ)



ΤΟΜΗ Γ-Γ (ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΣΕ ΤΟΞΩΤΟ ΤΜΗΜΑ)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ' : ΣΧΕΔΙΑ ΠΡΟΤΑΣΗΣ - ΦΟΡΕΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

