



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΔΥΟ ΚΛΑΔΩΝ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΜΕ ΔΥΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ
ΚΙΒΩΤΙΟΕΙΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ
ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ, ΩΣ ΕΡΓΟ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑ – ΚΟΡΙΝΘΟΣ –
ΠΑΤΡΑ – ΠΥΡΓΟΣ – ΤΣΑΚΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Η/Υ**



ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ :

Δρ. ΔΙΟΝΥΣΙΑ-ΠΗΝΕΛΟΠΗ Ν. ΚΟΝΤΟΝΗ
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Αναπλ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Πάτρας

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΑΡΟΣ
Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Δ.Ε.
Εργαστ. Συνεργάτης Τ.Ε.Ι. Πάτρας

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:

ΕΛΕΝΗ-ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΜΠΑΡΜΠΕΡΗ: Α.Μ.:4792
ΝΙΚΟΛΕΤΑ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΤΣΕΛΕ: Α.Μ.:4359
ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΧΟΝΔΡΟΛΕΟΥ: Α.Μ.:4742

ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε από τις σπουδάστριες Ελένη – Ευαγγελία Μπαρμπέρη, Νικολέτα – Παναγιώτα Τσελέ και Αγγελική Χονδρολέου.

Βασικός της στόχος είναι η παρουσίαση βασικών γνώσεων και τεχνικών που σχετίζονται με την κατασκευή και τη μελέτη γεφυρών, καθώς επίσης και η παρουσίαση της περίπτωσης μελέτης της νέας προεντεταμένης γέφυρας του Λαδοποτάμου, που αποτελεί τμήμα του έργου υποδομής του αυτοκινητόδρομου Ελευσίνα – Κόρινθος – Πάτρα – Πύργος – Τσακώνα (Ολυμπία Οδός). Στη θέση της νέας γέφυρας (κόμβος Διακοπτού – Καλαβρύτων της διαδρομής από Κόρινθο προς Πάτρα) υπήρχε στο παρελθόν γέφυρα δύο κλάδων η οποία και κατεδαφίστηκε προκειμένου να κατασκευαστεί η νέα.

Οι συντάκτριες επιθυμούν να ευχαριστήσουν τους εισηγητές - επιβλέποντες Δρ. Διονυσία-Πηνελόπη Κοντονή, Αν. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. και κ. Δημήτριο Μπάρο, Εργαστηριακό Συνεργάτη Τ.Ε.Ι., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, καθώς επίσης και την εταιρεία ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ και τον κ. Βασίλειο Συριανό, Πολιτικό Μηχανικό για τη διάθεση των στοιχείων της μελέτης που χρησιμοποιήθηκε σαν βασική πηγή της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποκατάσταση της συνέχειας μίας οδού πάνω από μία υδάτινη επιφάνεια ή γενικότερα από ένα εμπόδιο αποτελεί ένα σημαντικό και συχνό πρόβλημα, άρρηκτα συνδεδεμένο με την ανθρώπινη κοινωνική, οικονομική και στρατιωτική δραστηριότητα. Έτσι δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι η κατασκευή γεφυρών αρχίζει από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους και συνεχίζεται έως και σήμερα.

Στον κλάδο των έργων υποδομής η μελέτη μίας γέφυρας είναι ιδιαίτερα περίπλοκη εργασία. Ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ασφάλεια της κατασκευής έναντι συνήθους (βαρύτητα) και τυχηματικής (σεισμός, ανεμοπύση, υδραυλική υποσκαφή) καταπόνησης, τη διατήρηση της αντοχής στο χρόνο, την εναρμόνιση στο φυσικό περιβάλλον αλλά και την οικονομία. Το πρώτο κριτήριο αναμφισβήτητα είναι το πλέον καθοριστικό ενώ η αντιμετώπιση της σεισμικής τρωτότητας της γέφυρας μια πολύ σημαντική παράμετρος.

Λόγω της πολυπλοκότητας των φορέων των γεφυρών και των υψηλών απαιτήσεων ασφάλειας που επιβάλλονται, για τον υπολογισμό και το σχεδιασμό των κατασκευών αυτών χρησιμοποιούνται πλέον αποκλειστικά ηλεκτρονικοί υπολογιστές (H/Y) και κατάλληλα προγράμματα λογισμικού.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει τις βασικές αρχές της σύγχρονης γεφυροποιίας και να αναδείξει τα βήματα και τα αποτελέσματα του υπολογισμού μιας γέφυρας με χρήση σύγχρονων εξειδικευμένων προγραμμάτων. Για το σκοπό αυτό αντλούνται πληροφορίες και παρουσιάζεται η προμελέτη της νέας γέφυρας του Λαδοποτάμου που συντάχθηκε από την εταιρεία μελετών Τ. Τσικνιάς και Συνεργάτες ΑΕΜΤΕ.

Αρχικά, στο 1ο Κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια ιστορική επισκόπηση της δόμησης των γεφυρών και αναφέρονται στοιχεία της ιστορικής εξέλιξης της γεφυροποιίας.

Στο 2ο Κεφάλαιο της εργασίας αναφέρονται τα είδη των γεφυρών, γίνεται αναφορά στα δομικά τους στοιχεία καθώς και στους βασικούς τρόπους και τεχνικές κατασκευής. Επίσης εξετάζονται οι γέφυρες οπλισμένου σκυροδέματος και οι προεντεταμένες γέφυρες και αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στο 3ο Κεφάλαιο της εργασίας περιγράφονται τα βασικά στάδια της ανάλυσης γεφυρών, όπως οι φορτίσεις που προβλέπουν οι κανονισμοί, οι τεχνικές προσομοίωσης στον υπολογιστή καθώς και οι μέθοδοι ανάλυσης.

Στο 4ο Κεφάλαιο της εργασίας αρχικά αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για το έργο του αυτοκινητοδρόμου της Ολυμπίας Οδού εν γένει και για την γέφυρα του Λαδοποτάμου συγκεκριμένα. Στη συνέχεια αναφέρονται τα στάδια της μελέτης της προεντεταμένης γέφυρας του Λαδοποτάμου, συμπεριλαμβανομένων των φορτίσεων που ελήφθησαν υπόψη, της στατικής και αντισεισμικής μελέτης και των διαγραμμάτων εντατικών μεγεθών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ.....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ.....	10
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥΣ.....	10
2.2.1 Πλαισιωτές γέφυρες.....	10
2.2.2 Τοξωτές γέφυρες.....	12
2.2.3 Καλωδιωτές γέφυρες.....	14
2.2.4 Κρεμαστές γέφυρες.....	15
2.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	16
2.3.1 Χάλυβας.....	16
2.3.2 Σκυρόδεμα.....	17
2.3.3 Σύνθετα υλικά.....	17
2.4 ΚΥΡΙΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	17
2.4.1 Κατάστρωμα.....	18
2.4.2 Ακρόβαθρα.....	21
2.4.3 Μεσόβαθρα.....	23
2.4.4 Εφέδρανα.....	25
2.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	29
2.5.1 Εισαγωγή.....	29
2.5.2 Προκατασκευή σε τμήματα κατά πλάτος.....	29
2.5.3 Σταδιακή δόμηση σε πρόβολο με επιτόπου σκυροδέτηση.....	31
2.5.4 Γέφυρες προεντεταμένου σκυροδέματος.....	33
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	38
2.6.1 Παραδοσιακές μέθοδοι.....	38
2.6.2 Σύγχρονες μέθοδοι με χρήση Η/Υ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ.....	40
3.1 ΟΛΥΜΠΙΑ ΟΔΟΣ.....	40
3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ.....	41
3.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ.....	44
3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	45
3.5 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	46
3.5.1 Φορέας Ανωδομής.....	46
3.5.2 Βάθρα και θεμελίωση.....	47
3.5.3 Υλικά.....	48
3.6 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	48
3.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ.....	52
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	52
4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ.....	53
4.2.1 Εισαγωγικά.....	53
4.2.2 Γεωμετρία προσομοιώματος.....	53
4.2.3 Υλικά και διατομές.....	53
4.2.4 Φορτίσεις.....	59
4.2.5 Ιδιομορφική ανάλυση και αποτελέσματα αυτής.....	64
4.2.6 Στατική και δυναμική ανάλυση.....	64
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ.....	71
4.3.1 Εισαγωγικά.....	71
4.3.2 Γεωμετρία του προσομοιώματος.....	71
4.3.3 Υλικά και διατομές.....	72
4.3.4 Φορτίσεις.....	77
4.3.5 Δυναμική ανάλυση.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα είναι από τα σημαντικότερα έργα υποδομής και ταυτόχρονα ένα εξαιρετικά δύσκολο κατασκευαστικό εγχείρημα, τόσο από πλευράς τεχνικής δυσκολίας όσο και οικονομικής βιωσιμότητας. Το σύνολο των γεφυρών μιας χώρας χαρακτηρίζει το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται οι υποδομές της και την συνολική της οικονομική και οικιστική ανάπτυξη. Έτσι οι γέφυρες αποτελούν σύμβολα που χαρακτηρίζουν την τεχνογνωσία και την οικονομική ευημερία μιας χώρας σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα κριτήρια τα οποία πρέπει να πληροί μια γέφυρα είναι:

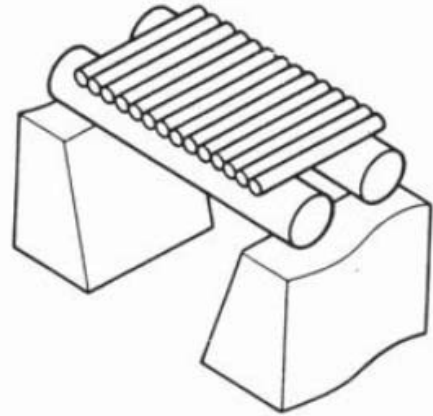
- Να είναι λειτουργική
- Να είναι αισθητικώς αποδεκτή και κατάλληλα ενταγμένη στο φυσικό περιβάλλον
- Να είναι στατικώς επαρκής
- Να είναι γρήγορα κατασκευάσιμη
- Να είναι κατά το δυνατόν οικονομική

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ

Πρωταρχικό ρόλο στην εξέλιξη της γεφυροποιίας διαδραμάτισαν τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής. Τα υλικά δόμησης μέχρι και τον 19ο αιώνα ήταν ξύλο και πέτρες. Οι πρωτόγονοι κατασκεύαζαν γέφυρες με υλικά που παρείχε η φύση και ελάχιστη ανθρώπινη επεξεργασία, όπως ξύλινες γέφυρες ή γέφυρες από σχοινιά μορφής δοκού, δοκού με άντωση ή κρεμαστών κατασκευών. Οι πρώτες τεχνητές γέφυρες κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο με δύο τρόπους:

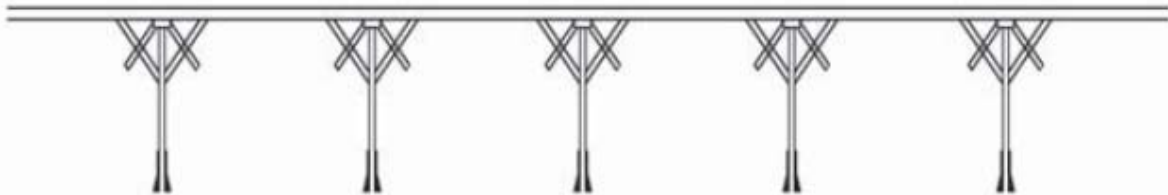
- με την τοποθέτηση μεγάλων, επίπεδων λίθων, πάνω από τις φυσικές ροές,
- με μεγάλους κορμούς δέντρων, που γεφύρωναν μικρά ρεύματα.

Σχετικά σύντομα θα έγινε αντιληπτό ότι η τοποθέτηση δύο ή και περισσότερων κορμών δεμένων μεταξύ τους με σχοινιά έδινε μια πολύ πιο αποτελεσματική κατασκευή. Και οι δύο τρόποι παρείχαν ιδιαίτερα περιορισμένες δυνατότητες. Οι άνθρωποι που ζούσαν στους λιμναίους οικισμούς αντιλήφθηκαν πρώτοι τη δυνατότητα που προσέφεραν τα φυσικά σχοινιά. Η πλέξη αυτών των φυσικών σχοινιών οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων κρεμαστών γεφυρών. Κατάλοιπο αυτών των πρωτογόνων γεφυρώσεων αποτελεί η «λεσιά» ή «λιάσα», η οποία συναντάται ακόμη και σήμερα πάνω από μικρά ποταμάκια της ελληνικής υπαίθρου. Η λεσιά είναι η πιο χαρακτηριστική περίπτωση πρόχειρης και αποκλειστικά ξύλινης γεφύρωσης, η οποία κατασκευάζεται με σπασμένα αλλά απελέκητα κλαδιά δέντρων, δε στηρίζεται σε βάθρα παρά σε παρόχθια υγιή δέντρα ή ογκώδη βράχια και κατασκευάζεται σύντομα και εύκολα και με μηδαμινό οικονομικό κόστος. Προσπαθώντας να κατασκευάσουν μια ασφαλέστερη γέφυρα, τοποθέτησαν πάνω σε λίθινα βάθρα δυο έως τέσσερις παράλληλους κορμούς δέντρων και πάνω τους στερέωσαν κάθετα το ξύλινο κατάστρωμα (ζεύγμα), όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



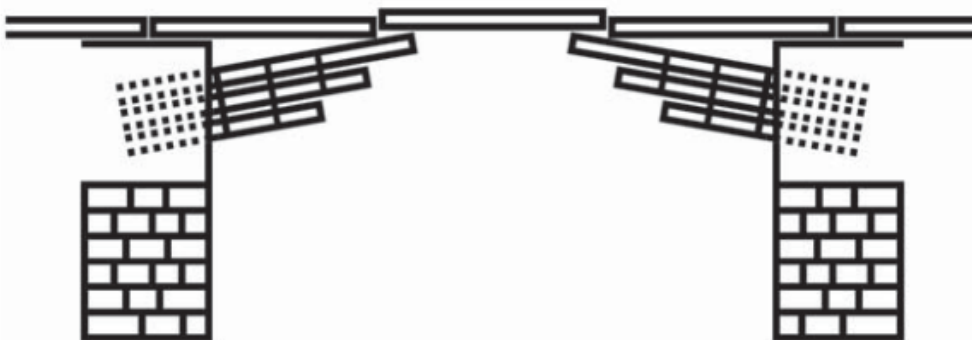
Εικόνα 1.1: Γέφυρα με λίθινα βάθρα και ξύλινο κατάστρωμα. Γέφυρα στον ποταμό Σαραντάπορο (αριστερά) και σκίτσο (δεξιά)^[7].

Ο Ηρόδοτος αναφέρει ότι για τη γέφυρα του Ευφράτη στη Βαβυλώνα, έχτισαν κάθε 9 μέτρα λίθινα μεσόβαθρα πάχους 9μ. και στήριξαν πάνω τους ξύλινα δοκάρια, μερικά απ' τα οποία αφαιρούνταν τη νύχτα για ασφάλεια. Ξύλινα δοκάρια χρησιμοποιήθηκαν όχι μόνο στους φορείς αλλά αρκετές φορές και στα μεσόβαθρα. Παρακάτω δίνεται η τομή μιας γέφυρας κατασκευασμένης αποκλειστικά από επεξεργασμένο ξύλο.



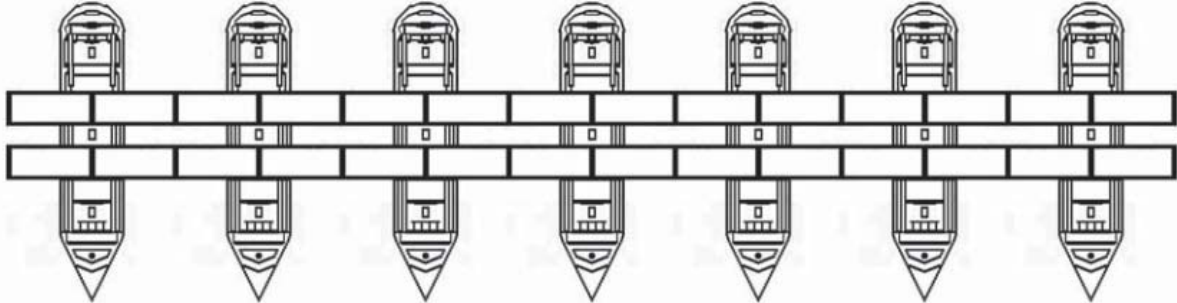
Εικόνα 1.2: Γέφυρα κατασκευασμένη αποκλειστικά από επεξεργασμένο ξύλο^[7].

Εκατοντάδες χρόνια πριν οι Κινέζοι είχαν κατασκευάσει μια ειδική γέφυρα που στηρίζονταν σε ξύλινους προβόλους, δηλαδή σε μια σειρά από τρία επάλληλα ξύλινα δοκάρια που στηρίζονταν μόνο στο ένα άκρο τους όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



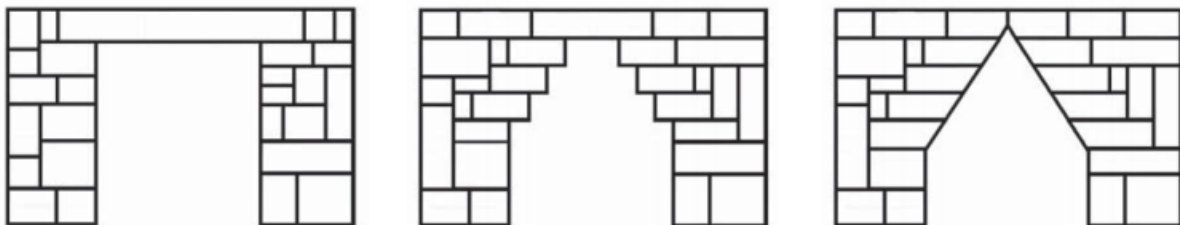
Εικόνα 1.3: Ξύλινη γέφυρα πάνω σε ξύλινους προβόλους^[7].

Το 2000 π.Χ., οι Κινέζοι κατασκεύασαν πλωτές γέφυρες (εικόνα 24). Το 515 π.Χ. ο Σάμιος Μανδροκλής κατασκεύασε πλωτή γέφυρα στο Βόσπορο για τον Πέρση Δαρείο. Στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιήθηκε ευρέως η λεμβόζευκτη γέφυρα, κάτοψη της οποίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.4: Λεμβόζευκτη γέφυρα του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου^[7].

Το 1500 π.Χ. κατασκευάστηκαν στις Μυκήνες γέφυρες με μεγάλιθους και με οριζόντια λίθινη δοκό που κάλυπτε το κενό μεταξύ των απέναντι τοίχων. Τέτοια είναι η γέφυρα στη Δρακονέρα στα ΒΔ της Ακρόπολης των Μυκηνών. Σταδιακά οι Μυκηναίοι γεφυροποιοί βασίστηκαν στο εκφορικό σύστημα κατασκευής. Η κάλυψη των ανοιγμάτων γινόταν με λιθοδομή και κάθε ανώτερη στρώση προεξείχε της κατώτερης, δημιουργώντας λίθινους προβόλους. Οι Μυκηναίοι εξέλιξαν περαιτέρω το εκφορικό σύστημα κατασκευής γεφυρών χτίζοντας συγκλίνοντα ακρόβαθρα που συναντώνται στην οξεία κορυφή με κατακόρυφο αρμό, δημιουργώντας έτσι ψευδοθόλους με τριγωνικά ανοίγματα. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα στατικά συστήματα των λίθινων γεφυρών των Μυκηνών.



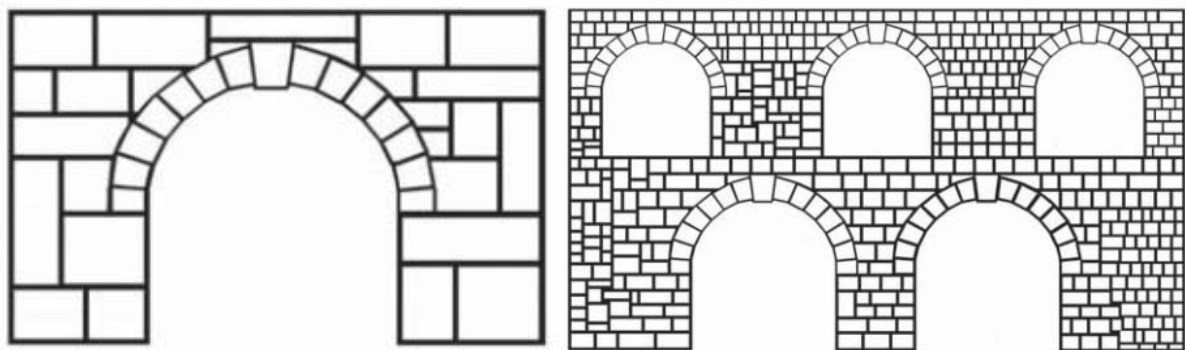
Εικόνα 1.5: Λίθινες γέφυρες στις Μυκήνες^[7].

Λίθινες θολωτές γέφυρες κατασκεύαζαν οι Κινέζοι και οι Ρωμαίοι πριν ακόμη από την γέννηση του Χριστού^[8]. Η τέχνη της μόρφωσης των γεφυρών (ημικυκλικά τόξα με άνοιγμα μέχρι 30 μέτρων) και της κατεργασίας του λίθου γνώρισε εξαιρετική άνθηση στους Ρωμαϊκούς χρόνους. Παραδείγματα αποτελούν η γέφυρα του Αδριανού στον Τίβερη και η Ponte Piedra στη Βερόνα. Οι καταπληκτικοί αυτοί οικοδόμοι γεφύρωσαν ολόκληρες κοιλάδες για τα υδρευτικά τους έργα (Pont du Gard στις Nimes, Νότια Γαλλία 1800 μΧ.). Και οι Τούρκοι κατασκεύασαν νωρίς λίθινες γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων σχεδόν πάντα όμως δίνοντας τη μορφή οξυκόρυφου τόξου. Στον Μεσαίωνα άρχισε να αυξάνεται η ακτίνα καμπυλότητας των θόλων (ανοίγματα έως 50 μέτρων). Παραδείγματα αποτελούν η γέφυρα Scaliger στη Βερόνα (1354), στο Ponte Vecchio στη Φλωρεντία, η γέφυρα του Ροδανού στην Avignon, η γέφυρα του Δούναβη στο Regensburg, η γέφυρα του Καρόλου στην Πράγα, η γέφυρα στον Main στο Wurzburg κα.

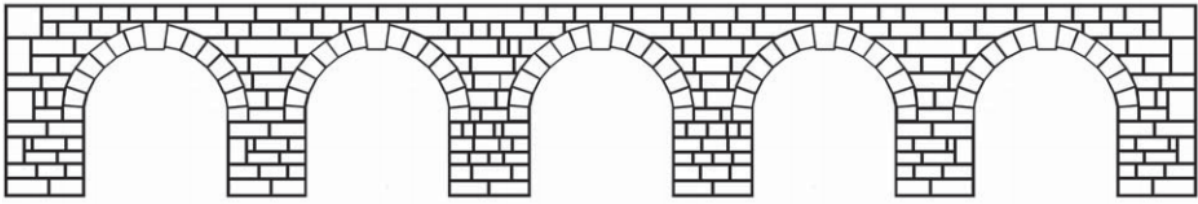


Εικόνα 1.6: Γέφυρα Scaliger στη Βερόνα^[9].

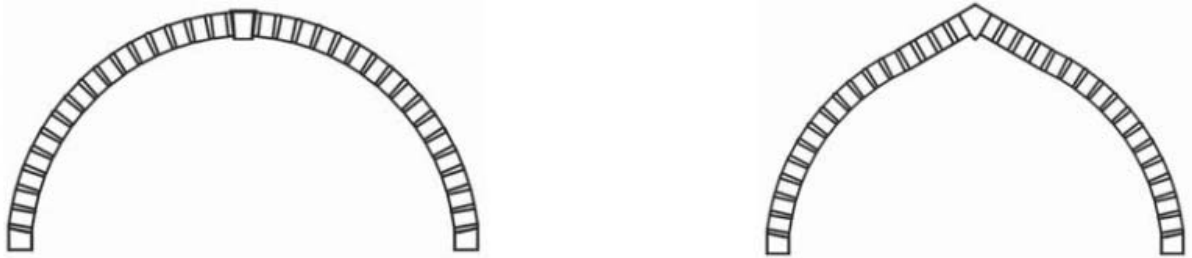
Οι Ρωμαίοι μηχανικοί είναι οι πρώτοι που κατανόησαν και ανέπτυξαν από το 2ο αιώνα π.Χ. τις δυνατότητες του γνήσιου ημικυκλικού τόξου και της θολοδομίας^[7]. Τα τόξα είναι λεπτά και τα βάθρα έχουν υπερβολικό πάχος όπως φαίνεται αριστερά στην Εικόνα 1.7. Εκτός από τις τοξωτές γέφυρες οι Ρωμαίοι και αργότερα οι Βυζαντινοί κατασκεύασαν υδατογέφυρες για την υδροδότηση πόλεων. Επί Ιουστινιανού, για την ύδρευση της Κωνσταντινούπολης κατασκευάστηκε μια υδατογέφυρα με μήκος 240μ. και ύψος 33μ. που φαίνεται δεξιά στην Εικόνα 1.7. Το 14 μ.Χ., επί Αγρίππα, κατασκευάστηκε η υδατογέφυρα του Gard κοντά στο Nîm της Γαλλίας και το 100 μ.Χ., επί Τραϊανού, κατασκευάστηκε η πεντάτοξη γέφυρα στον ποταμό Alcantara της Ισπανίας Υδατογέφυρα με δύο διαζώματα που φαίνεται στην Εικόνα 1.8. Μέχρι το 1700 μ.Χ. η ρωμαϊκή παράδοση στην κατασκευή γεφυρών είτε συνεχίζεται με το ημικυκλικό τόξο είτε επηρεάζεται από τον ανατολικό ρυθμό με την οξυγώνια θλάση του τόξου. Αυτό το δεύτερο τόξο ονομάζεται ψαλιδωτό ή οξυκόρυφο τόξο.



Εικόνα 1.7: Ημικυκλικό τόξο και υδατογέφυρα με δύο διαζώματα^[7].

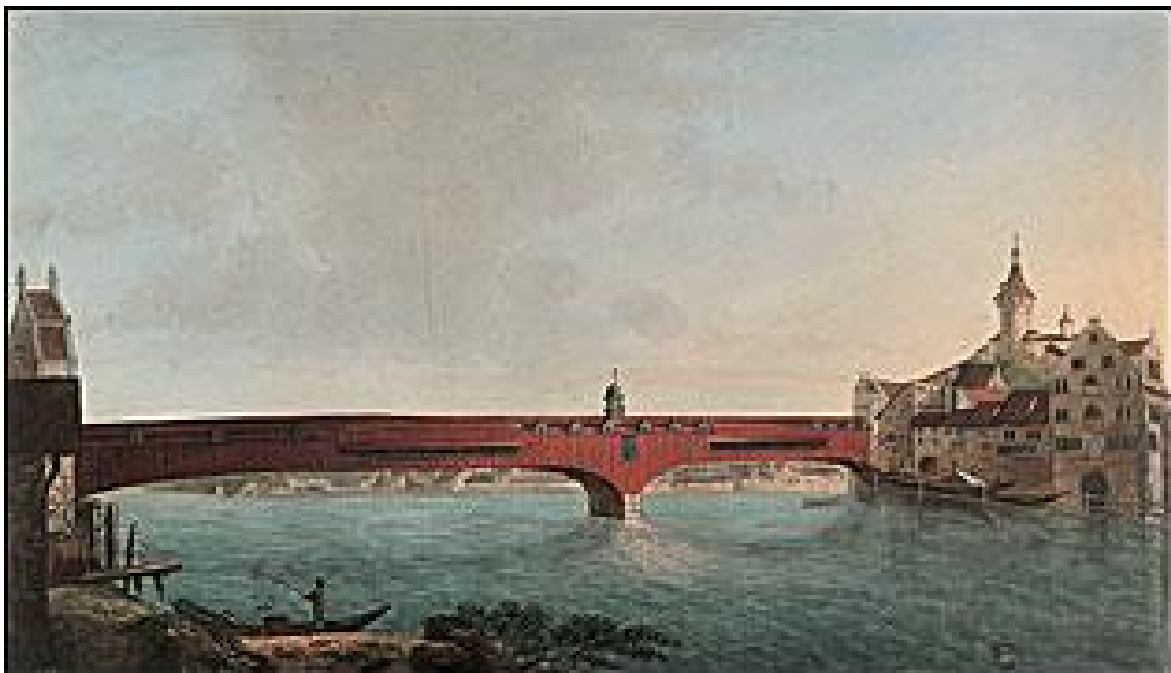


Εικόνα 1.8: Πεντάτοξη γέφυρα από την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας^[7].



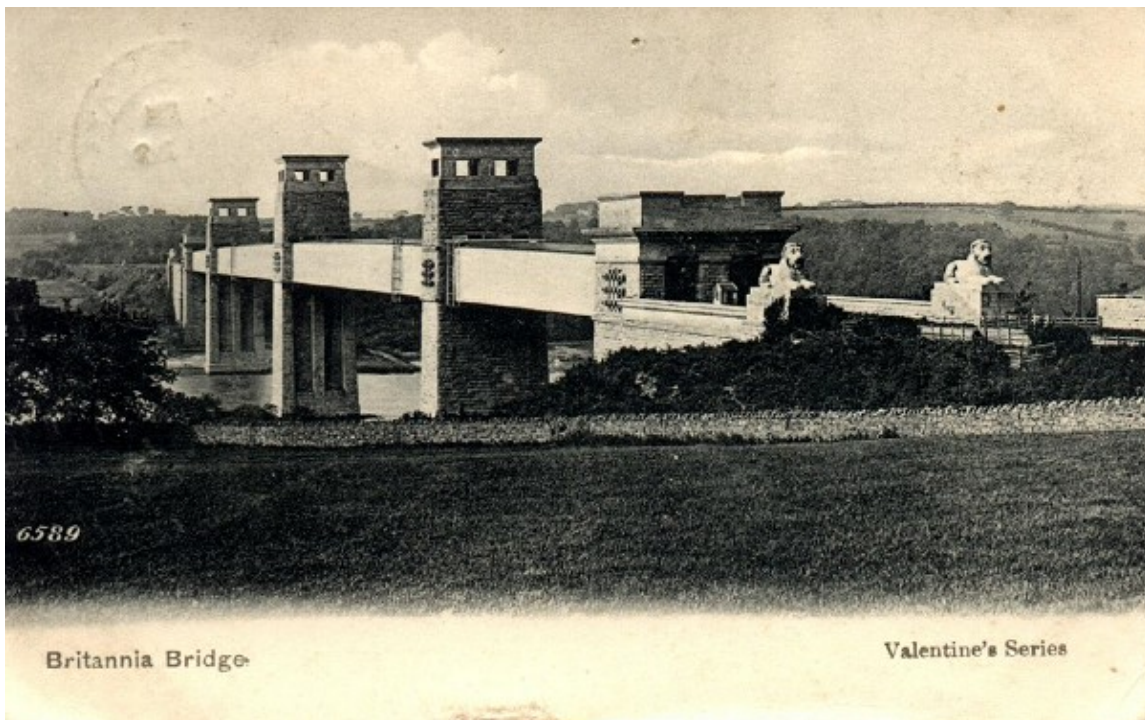
Εικόνα 1.9: Ημικυκλικό και οξυκόρυφο τόξο^[7].

Οι πολιτισμένοι λαοί κατασκεύαζαν από νωρίς έντεχνες γεφυρώσεις. Οι Κινέζοι κατασκεύαζαν δοκούς από γρανίτη με άνοιγμα 18 μέτρων. Οι Γερμανοί και οι Ελβετοί τεχνίτες οδήγησαν κατά τον ίδιο αιώνα τις ξύλινες γέφυρες στην πλήρη τους ανάπτυξη. Η ξύλινη γέφυρα του Ρήνου στο Schaffhausen που φαίνεται στην εικόνα 1.10 κατασκευάστηκε το 175 από τον αρχιμάστορα J. U. Grubenmann και είχε το σημαντικό άνοιγμα των 18 μέτρων.



Εικόνα 1.10: Ξύλινη γέφυρα Ρήνου στο Schaffhausen^[9].

Χυτοσιδηρές γέφυρες τοξωτής μορφής εμφανίστηκαν στα τέλη του 18ου αιώνα. Οι Κινέζοι κατασκεύασαν τις πρώτες κρεμαστές γέφυρες με αλυσίδες από το 1750. Με την εμφάνιση του σιδηρόδρομου χρειάστηκαν μεγάλες γέφυρες για βαριά φορτία. Λίθινες γέφυρες γεφύρωσαν ολόκληρες κοιλάδες όπως η γέφυρα στην κοιλάδα του Goltsh στη Σαξονία με μήκος 578 μέτρα και ύψος 78 μέτρα. Τα νέα υλικά ήταν ο σφυρήλατος σίδηρος και ο χάλυβας. Το 1846 ο υιός του εφευρέτη της ατμομηχανής Robert Stephenson κατασκεύασε τη γέφυρα Britannia, την πρώτη μεγάλη γέφυρα μορφής δοκού (κιβωτιοειδούς διατομής από σφυρήλατο σίδηρο) με άνοιγμα 141 μέτρα στον δρόμο Menai (Αγγλία).



Εικόνα 1.11: Γέφυρα Britannia από σφυρήλατο σίδηρο στο δρόμο Menai στην Αγγλία^[9].

Σύντομα εμφανίστηκαν και οι χαλύβδινοι δοκιδωτοί φορείς όπως η γέφυρα Weichsel στο Dirschau με έξι ανοίγματα των 125 μέτρων το καθένα (1850). Αργότερα ήρθαν και οι κρεμαστές και δικτυωτές κατασκευές. Τεράστια ανοίγματα επιτεύχθηκαν με κατασκευές προβόλων όπως η σιδηροδρομική γέφυρα στο Firth of Forth (Σκωτία) με ανοίγματα 512 μέτρα (1883 - 1990). Η πιο διάσημη γέφυρα που είναι κατασκευασμένη από χάλυβα είναι η Golden Gate Bridge στο San Francisco. Η κατασκευή της ξεκίνησε το 1933 και ολοκληρώθηκε 4 χρόνια αργότερα, και έχει συνολικό μήκος 2700 μέτρων με το μεσαίο άνοιγμά της να εκτείνεται σε μήκος 1280 μέτρων.



Εικόνα 1.12: Σιδηροδρομική γέφυρα Firth of Forth στη Σκωτία^[9].



Εικόνα 1.13: Γέφυρα Golden Gate Bridge στο San Francisco^[9].

Από το 1900 άρχισαν να κατασκευάζονται οι πρώτες γέφυρες από το νέο υλικό σκυρόδεμα^[16]. Στην αρχή ήταν τριαρθρωτά τόξα όπου το σκυρόδεμα απλώς αντικαθιστούσε τους λίθους. Το οπλισμένο σκυρόδεμα ή σιδηροπαγές σκυρόδεμα όπως λεγόταν τότε, χρησιμοποιήθηκε στην αρχή στις πλάκες καταστρώματος, μετά στις νευρώσεις των τόξων κοκ. Μόνον από το 1912 και μετά άρχισε να χρησιμοποιείται σε γέφυρες μορφής δοκού ή πλαισιωτές, για ανοίγματα όμως μόνο μέχρι 30 μέτρα. Την ίδια εποχή οι τοξωτές γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονταν με όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις. Η γέφυρα του Sando στη Σουηδία που κατασκευάστηκε το 1941 - 1945 έχει άνοιγμα τόξου 280 μέτρα. Μέχρι το 1964 ήταν η μεγαλύτερη τοξωτή γέφυρα από σκυρόδεμα. Η εξέλιξη της

γεφυροποιίας σε συνδυασμό με τη βελτίωση των κατασκευαστικών μεθόδων έχει οδηγήσει σε κατασκευαστικά θαύματα όπως η μεγαλύτερη αυτή τη στιγμή τοξωτή γέφυρα στον κόσμο που βρίσκεται στην Κίνα και καλείται Chaotianmen Bridge. Η γέφυρα αυτή έχει μήκος 552 μέτρα, είναι κατασκευασμένη από χάλυβα και φέρει 6 λωρίδες κυκλοφορίας σε δύο κατευθύνσεις και 2 λωρίδες πεζοδρομίων.



Εικόνα 1.14: Γέφυρα Chaotianmen Bridge στην Κίνα^[10].

Γέφυρες από προεντεταμένο σκυρόδεμα άρχισαν να κατασκευάζονται από το 1938 αλλά η ανάπτυξή τους διακόπηκε με τον πόλεμο. Μόνο μετά το 1948 το προεντεταμένο σκυρόδεμα αξιοποιήθηκε στη γεφυροποιία. Προτιμήθηκαν κυρίως γέφυρες μορφής δοκού με ανοίγματα μέχρι 230 μέτρα. Με λοξά καλώδια επιτεύχθηκαν το 1977 ανοίγματα των 300 μέτρων (Γέφυρα στον ποταμό Columbia στο Pasco – Kennewick, Γέφυρα στον Σηκουάνα στη Brotonne).



Εικόνα 1.15: Γέφυρα στον ποταμό Columbia στο Pasco – Kennewick^[9].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται μια αναλυτικά παρουσίαση της γέφυρας ως ενός σύνθετου κατασκευαστικού συστήματος. Αρχικά γίνεται μια ταξινόμηση των γεφυρών, ανάλογα με το στατικό σύστημά τους, και παρουσίαση των χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας. Στη συνέχεια εξετάζονται τα βασικά μέρη του δομικού συστήματος των γεφυρών και τέλος παρουσιάζονται οι επικρατέστερες κατασκευαστικές μέθοδοι γεφυρών.

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια γέφυρα αποτελεί μια πολύπλοκη κατασκευή που απαιτεί πολλά στάδια μελέτης και μια συνολική αντιμετώπιση. Συνεπώς, και η ταξινόμηση γεφυρών μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια τα οποία αναφέρονται παρακάτω.

Η πρώτη κατηγοριοποίηση γεφυρών είναι με βάση το υλικό κατασκευής τους. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μιας γέφυρας είναι πολλά και περιλαμβάνουν και συνδυασμούς μεταξύ τους. Μια πρώτη κατηγορία υλικών είναι οι φυσικοί λίθοι με ανθεκτικότητα, όπως ο γρανίτης, ο πορφυρίτης, ο διορίτης, ο βασάλτης, η βασαλτική λάβα καθώς και ασβεστόλιθοι όπως το μάρμαρο και ο ψαμμίτης. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται επίσης στη γεφυροποιία για επενδύσεις βάθρων τεχνητοί λίθοι όπως το κλίνκερ οικοδομών και τα τούβλα επένδυσης. Το πλέον ευρέως διαδεδομένο υλικό κατασκευής γεφυρών είναι το σκυρόδεμα, είτε οπλισμένο είτε προεντεταμένο. Υπάρχουν επίσης οι μεταλλικές γέφυρες που είναι κατασκευασμένες από δομικό χάλυβα καθώς και οι σύμμικτες, που βασίζονται στην συνεργασία χάλυβα - σκυροδέματος.

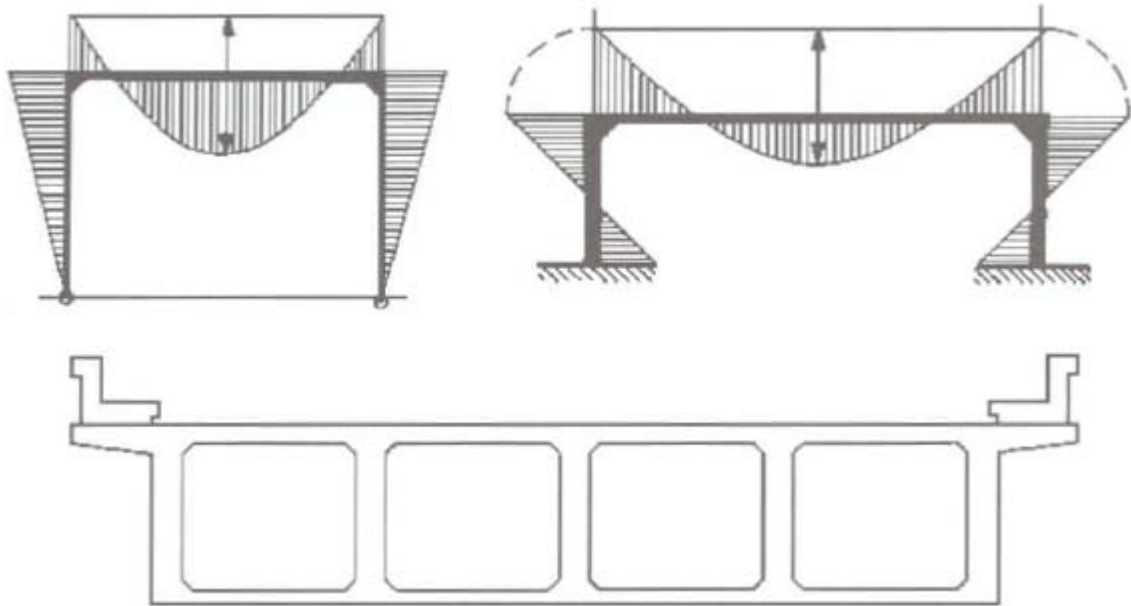
Η δεύτερη κατηγοριοποίηση είναι με βάση τη χρήση τους. Με βάση αυτό το κριτήριο οι γέφυρες διακρίνονται σε πεζογέφυρες, οδικές γέφυρες, σιδηροδρομικές γέφυρες.

Η τρίτη κατηγοριοποίηση των γεφυρών γίνεται με βάση τη στατική λειτουργία του φέροντος συστήματος στο σύνολό του. Με βάση αυτό το κριτήριο οι γέφυρες διακρίνονται σε γέφυρες επιφανειακών φορέων (πλάκες, εσχάρες, πολυκυψελωτές διατομές), σε γέφυρες φορέων μορφής δοκού (πλακοδοκοί, κιβωτιοειδείς), σε πλαισιωτές γέφυρες, σε τοξωτές γέφυρες, σε καλωδιωτές γέφυρες και σε κρεμαστές γέφυρες. Παρακάτω ακολουθούν σύντομες περιγραφές και ενδεικτικές φωτογραφίες των κυριότερων τύπων γεφυρών.

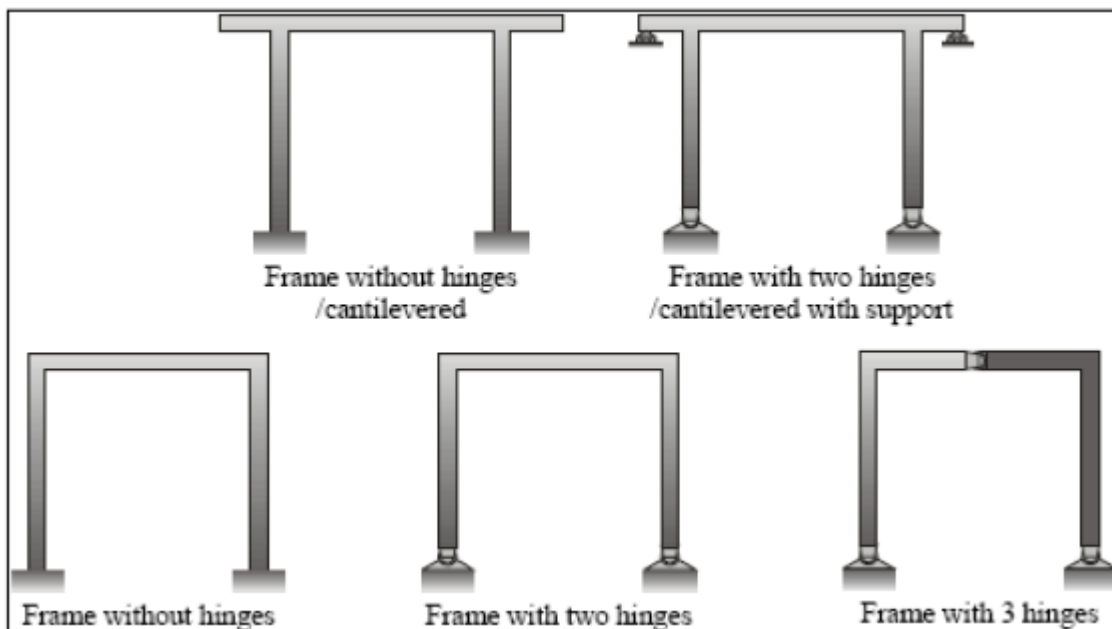
2.2.1 Πλαισιωτές γέφυρες

Οι πλαισιωτές είναι γέφυρες των οποίων η ανωδομή στηρίζεται σε κατακόρυφα ή κεκλιμένα βάθρα, τα οποία είναι μονολιθικά συνδεδεμένα με το κατάστρωμα και κατασκευάζονται τόσο από χάλυβα όσο και από σκυρόδεμα. Το κατάστρωμα πακτώνεται, πχ., στα μεσόβαθρα, με αποτέλεσμα τη μεταφορά μέρους της ροπής ανοίγματος στις στηρίξεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.1. Με κατάλληλη επιλογή αναλογίας δυσκαμψιών ζυγώματος - στύλων προκύπτει σημαντική μείωση των ροπών στο μέσο του ζυγώματος και επιτυγχάνεται μικρό κατασκευαστικό ύψος δοκού. Το κατάστρωμα συνήθως αποτελείται από κλειστή κιβωτιοειδή διατομή, ενώ από άποψη οικονομίας οι γέφυρες αυτές είναι κατάλληλες για μέσου μεγέθους ανοίγματα. Αντίθετα, για ανοίγματα μέχρι 15 μέτρα οι κιβωτιοειδείς διατομές δεν ενδείκνυνται (το όφελος από τη μείωση του βάρους εξανεμίζεται από το αυξημένο κατασκευαστικό τους κόστος) και συνήθως χρησιμοποιούνται πλήρεις διατομές. Όσον αφορά το στατικό σύστημα των γεφυρών αυτής της κατηγορίας, αυτό μπορεί να είναι το ανεξάρτητο δυνάμεων καταναγκασμού από σχετικές βυθίσεις ή θερμοκρασιακές

μεταβολές ισοστατικό τριαρθρωτό τόξο, έκκεντρο τριαρθρωτό τόξο, αμφιαρθρωτό τόξο, διαρθρωτό με περύγια κατάλληλο για γέφυρες πάνω από αυτοκινητόδρομους, αμφίπακτο, διαρθρωτό με σύστημα άντωσης ή το συχνά χρησιμοποιούμενο στις υψηλές κοιλαδογέφυρες πολύστυλο πλαίσιο.



Σχήμα 2.1: Διαγράμματα ροπών σε πλαίσιο (πάνω) και κιβωτιοειδής διατομή καταστρώματος (κάτω)^[5].



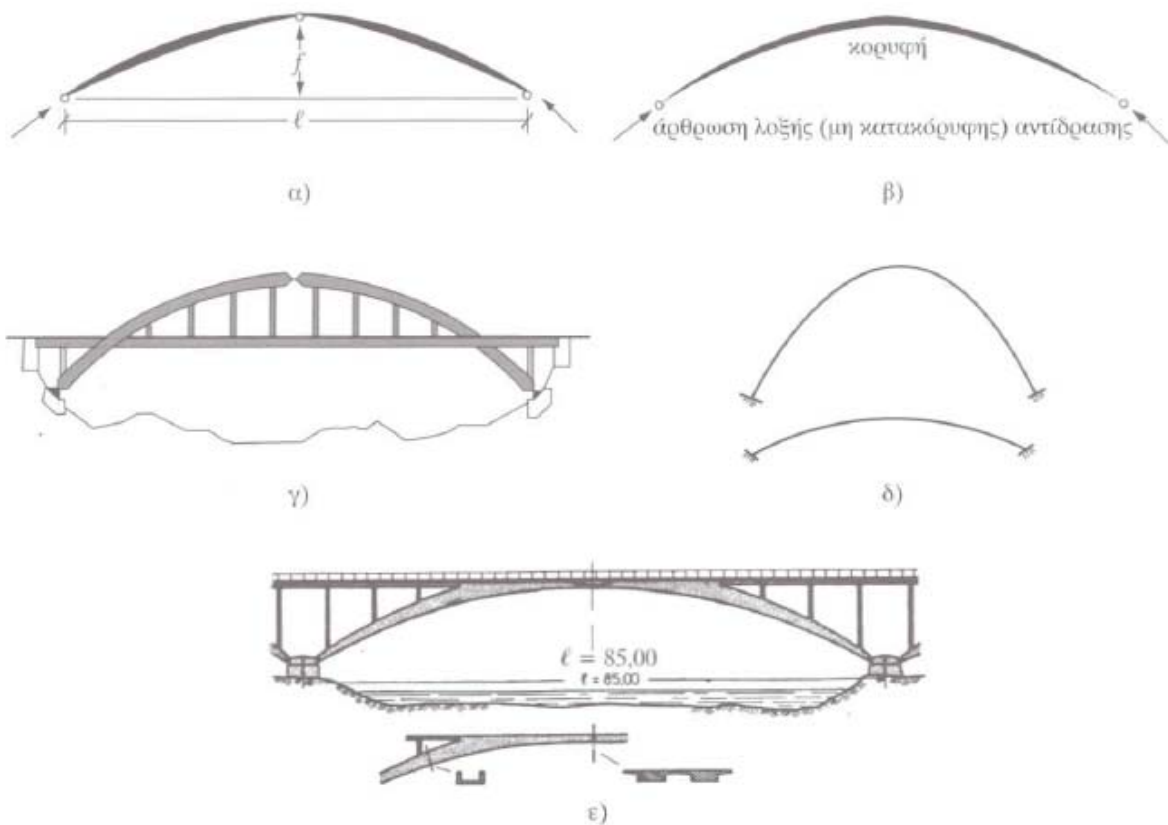
Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστικά στατικά συστήματα πλαισιωτών γεφυρών^[3].

2.2.2 Τοξωτές γέφυρες

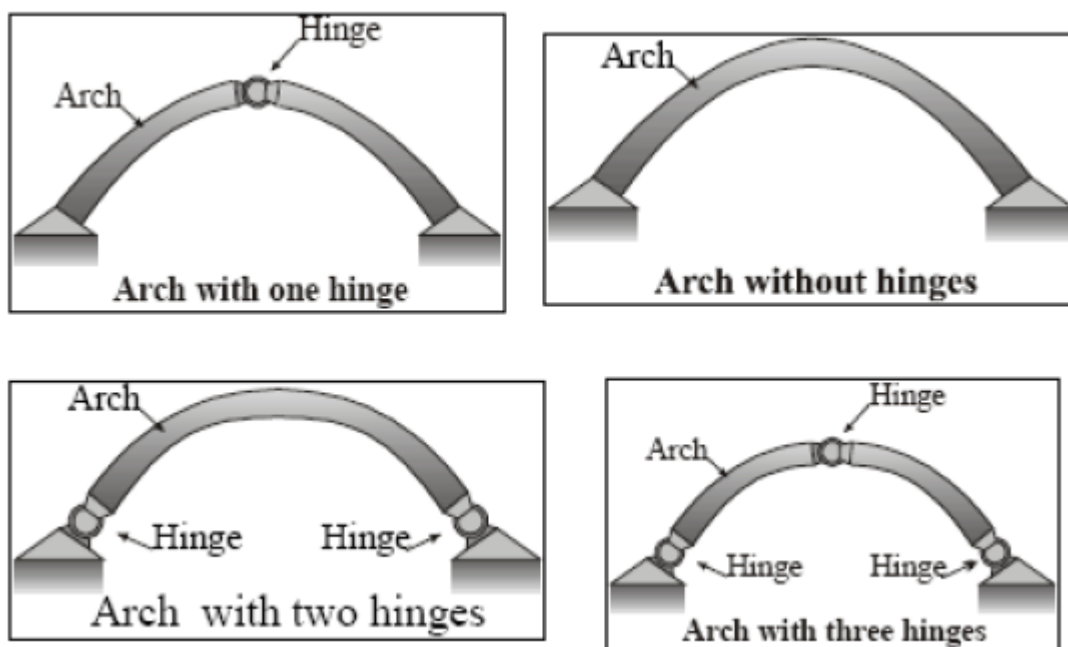
Οι τοξωτές γέφυρες αποτελούν τον παλαιότερο τύπο γέφυρας καθώς υπάρχουν γέφυρες του τύπου αυτού ηλικίας 2000 ετών, κατασκευασμένες από πέτρα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μεταφορά του φορτίου στις στηρίξεις (με θλίψη) και ενδείκνυται για φορείς από συμπαγή δομικά υλικά με υψηλή θλιπτική αντοχή. Επειδή για μεγάλα ανοίγματα η οριζόντια συνιστώσα της αντίδρασης είναι σημαντική, είναι πιθανό να μην είναι δυνατόν να μεταφερθεί η αντίδραση αυτή στο έδαφος με ασφάλεια, ιδιαίτερα αν η ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης δεν είναι ικανοποιητική. Εντούτοις έχουν κατασκευαστεί γέφυρες τόξου μέχρι και 334 μέτρα (Gladesville Bridge, Αυστραλία), ενώ για ανοίγματα μικρότερα των 50 μέτρων η επιλογή τοξωτής γέφυρας είναι αντιοικονομική. Στην περίπτωση οριζόντων δυνάμεων μεγάλου μεγέθους στις στηρίξεις, η οριζόντια συνιστώσα αναλαμβάνεται από έναν ελκυστήρα, ο οποίος συνδέει τα άκρα του τόξου. Για να ελαχιστοποιηθεί η οριζόντια συνιστώσα της αντίδρασης το τόξο πρέπει να είναι όσο δυνατόν μικρότερου βάρους και μεγαλύτερου ύψους. Ός προς το στατικό σύστημα των τοξωτών γεφυρών, αυτό μπορεί να είναι:

- ισοστατικό τριαρθρωτό τόξο, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα μόρφωσης κατά την καμπύλη των πιέσεων και μεταβλητό πάχος για τη διακύμανση λόγω κινητών φορτίων
- μια φορά υπερστατικό διαρθρωτό τόξο
- τόξο με άρθρωση στην κορυφή
- αμφίπακτο πλαίσιο
- μια ιδιαίτερη μορφή τριαρθρωτού τόξου που επινοήθηκε από τον A. Maillart και είναι ιδιαίτερα οικονομική για ανοίγματα πάνω από 50 μέτρα. Το τόξο αρχίζει στη στήριξη ως πλάκα, στο τέταρτο του ανοίγματος έχει διατομή U για ανάληψη των καμπτικών ροπών ενώ στην κορυφή ο θόλος ενώνεται με την πλάκα του καταστρώματος.

Τέλος, διώρυγες ή ποταμοί γεφυρώνονται συχνά, και μάλιστα με μικρό κατασκευαστικό κόστος, με σύστημα δυο παραλλήλων τοξωτών αντηρίδων και ανάρτηση του καταστρώματος από αυτές. Στις περιπτώσεις στις οποίες το έδαφος δεν είναι καλής ποιότητας για την άμεση θεμελίωση των αντηρίδων. Το κατάστρωμα μπορεί να διαμορφωθεί σαν ελκυστήρας για την παραλαβή των οριζοντίων ωθήσεων του τόξου.



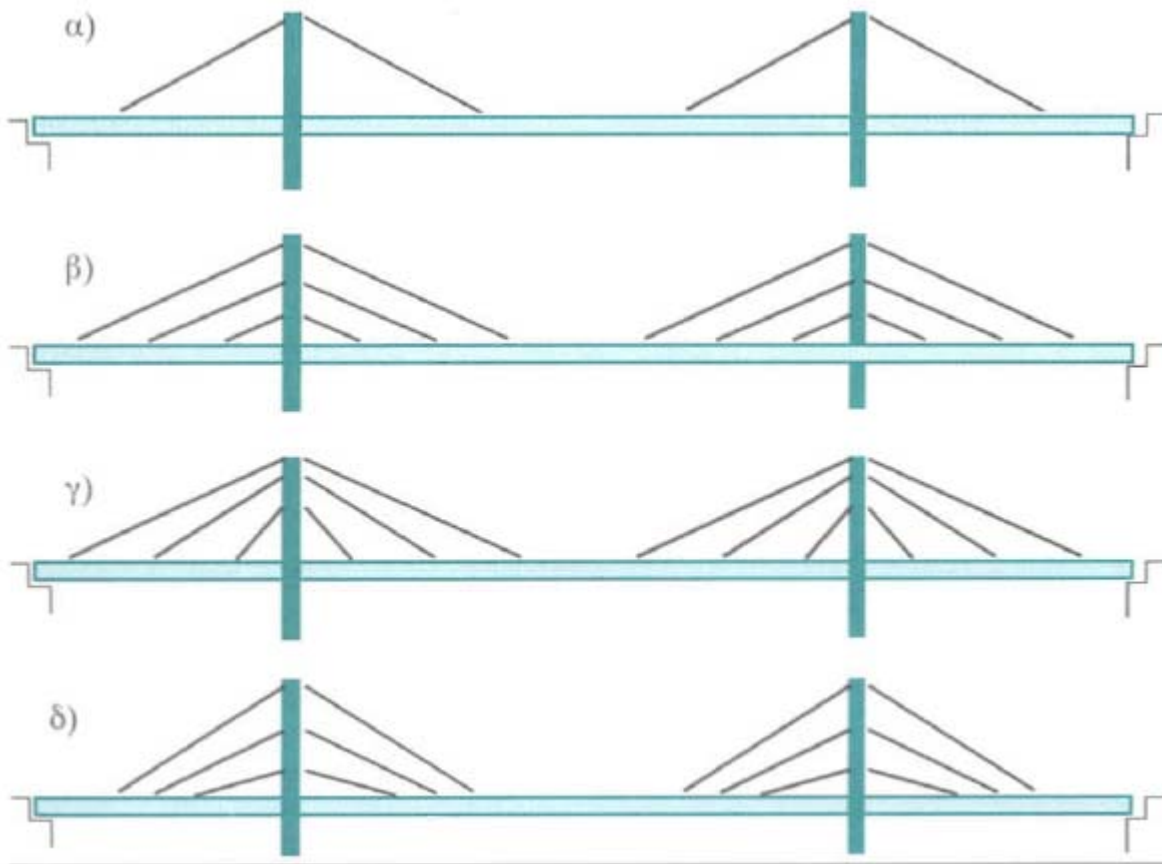
Σχήμα 2.3: Χαρακτηριστικές περιπτώσεις τοξωτών γεφυρών^[5].



Σχήμα 2.4: Ενδεικτικά στατικά συστήματα τοξωτών γεφυρών^[3].

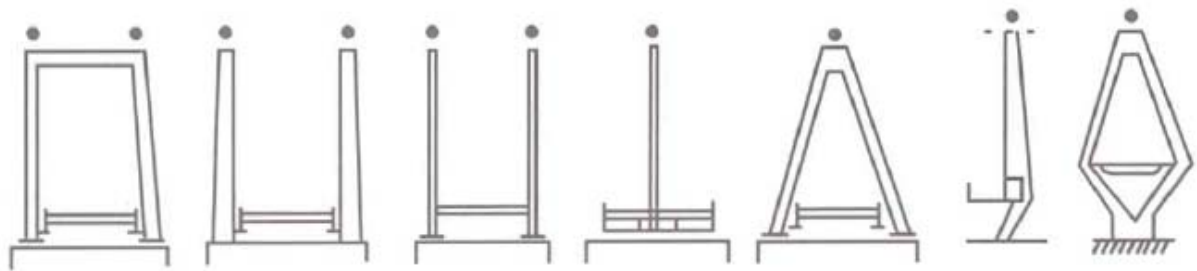
2.2.3 Καλωδιωτές γέφυρες

Οι καλωδιωτές γέφυρες αντιπροσωπεύουν την πλέον καινοτομική εξέλιξη και ανάπτυξη μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Αποτελούν εξαιρετικά ανταγωνιστική οικονομικά λύση για τη σύνδεση μεσαίων και μεγάλων ανοιγμάτων και είναι από τις πλέον ευχάριστες αισθητικά κατασκευές. Στις καλωδιωτές γέφυρες το κατάστρωμα αναρτάται από τένοντες ενδιάμεσα στο μήκος του· οι τένοντες αυτοί καταλήγουν στους πυλώνες μεταφέροντας απευθείας σε αυτούς το φορτίο του καταστρώματος (Εικόνα 2.2.5). Προκύπτει έτσι μια μεγάλης αντοχής κατασκευή με σημαντική όμως ευκαμψία. Επειδή η καμπτική ένταση του καταστρώματος αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τους τένοντες, το βάρος των δοκών του καταστρώματος μπορεί να μειωθεί με αποτέλεσμα μικρότερο βάρος γέφυρας. Οι καλωδιωτές γέφυρες είναι μεν ευάλωτες στον άνεμο, αλλά πλεονεκτούν στην περίπτωση που η φόρτιση είναι σεισμική, με εξαίρεση πιθανές διαφορικές καθιζήσεις στις οποίες οι γέφυρες αυτές είναι πολύ ευαίσθητες. Κατά την όψη της γέφυρας τα καλώδια διατάσσονται παράλληλα ή ακτινωτά όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Η ακτινωτή διάταξη είναι περισσότερο σκόπιμη τεχνικά και οικονομικότερη από την παράλληλη, η οποία είναι αισθητικά κομψότερη.



Σχήμα 2.5: Εναλλακτικές διατάξεις των τενόντων σε καλωδιωτές γέφυρες^[5].

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται διάφορες μορφές πυλώνων που υιοθετούνται στις καλωδιωτές γέφυρες. Συχνά τα καλώδια της γέφυρας τοποθετούνται σε ένα μόνο επίπεδο με αγκυρώσεις κατά τον άξονα της γέφυρας και συνεπώς η διατομή πρέπει να είναι δύστροπη για την ανάληψη των μονόπλευρων φορτίων κυκλοφορίας.



Σχήμα 2.6: Μορφές πυλώνων καλωδιωτών γεφυρών^[5].

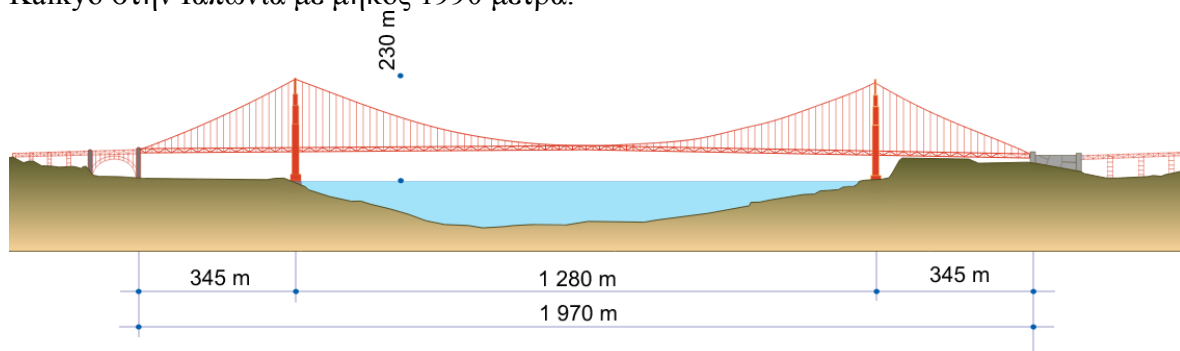


Εικόνα 2.1: Χαρακτηριστικές καλωδιωτές γέφυρες^[9].

Η γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου στην Ελλάδα αποτελεί την μεγαλύτερου συνολικού μήκους καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο με συνολικό γεφυρωμένο άνοιγμα 2290 μέτρα και ύψος πυλώνων 159 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

2.2.4 Κρεμαστές γέφυρες

Σε αντίθεση με τις καλωδιωτές, στις κρεμαστές γέφυρες οι τένοντες από τους οποίους αναρτάται το ενιαίο κατάστρωμα δε μεταφέρουν το φορτίο στους πυλώνες αλλά σε ένα κεντρικό καλώδιο, το οποίο διέρχεται πάνω από τους πυλώνες και αγκυρώνεται στα άκρα της γέφυρας. Από τα κύρια καλώδια αναρτώνται δευτερεύοντα κατακόρυφα καλώδια για την ανάρτηση του καταστρώματος. Η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα σήμερα είναι η Akashi – Kaikyo στην Ιαπωνία με μήκος 1990 μέτρα.



Σχήμα 2.8: Κρεμαστή γέφυρα Golden Gate Bridge στο San Fransisco^[9].



Σχήμα 2.9: Σύστημα ανάληψης δυνάμεων στις κρεμαστές γέφυρες^[5].

2.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

Στην ενότητα αυτή γίνεται περιληπτική αναφορά στα υλικά κατασκευής των γεφυρών. Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα αποτελούν στη γεφυροποιία τα κυρίαρχα υλικά κατασκευής. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόοδος στον τομέα των σύνθετων υλικών είναι πιθανό στο μεσοπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο μέλλον να αλλάξει τους συσχετισμούς αυτούς υπέρ των τελευταίων, αφού τα χαρακτηριστικά τους (υψηλός λόγος αντοχής προς βάρος και δυσκαμψία προς βάρος, αντίσταση σε διάβρωση, ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές δράσεις, ευκολία προσαρμογής κατά την κατασκευή) είναι ιδιαίτερα ελκυστικά.

2.3.1 Χάλυβας

Ο χάλυβας, είτε με τη μορφή ράβδων οπλισμού είτε με τη μορφή καλωδίων ανάρτησης και καλωδίων προέντασης είτε ως μορφοχάλυβας, βρίσκεται σε κάθε γέφυρα. Η σημαντική εφελκυστική αντοχή, η ανθεκτικότητα σε διάρκεια και η ολκιμότητά του αποτελούν αρκετά ελκυστικά χαρακτηριστικά για τη χρήση του στη γεφυροποιία.

Μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες εφαρμογές του χάλυβα σε έργα γεφυροποιίας είναι στα καλώδια προεντεταμένων ή και καλωδιωτών γεφυρών. Το βασικό στοιχείο όλων των καλωδίων είναι το σύρμα, διαμέτρου 3 - 7 mm και με αντοχή πενταπλάσια σχεδόν του μαλακού χάλυβα και διπλάσια του χάλυβα υψηλής αντοχής. Η αύξηση της αντοχής γίνεται όμως σε βάρος της ολκιμότητας, αφού η μήκυνση θραύσης του σύρματος είναι το 1/5 περίπου αυτής του κατασκευαστικού χάλυβα. Το καλώδιο των γεφυρών συντίθεται από μεγάλο αριθμό συρμάτων, λόγω του ότι το βήμα περιέλιξης των συρμάτων είναι σχετικά μεγάλο και η κλίση τους σε σχέση με τον άξονα περιέλιξης του συρματόσχοινου μικρή, η δυσκαμψία του συρματόσχοινου είναι λίγο μικρότερη (περίπου 5%) από αυτή των ευθύγραμμων συρματόσχοινων και ισοδυναμεί με τυπικό μέτρο ελαστικότητας 195 GPa. Με την πρώτη φόρτιση του συρματόσχοινου, η επιμήκυνσή του οφείλεται τόσο στην ελαστική του παραμόρφωση όσο και στη σύμπτυξη του. Για να αναιρεθεί η παραμόρφωση λόγω σύμπτυξης επιβάλλεται προένταση 10 - 20% περίπου της φόρτισης.

Στις καλωδιωτές γέφυρες στις οποίες τα μήκη των καλωδίων είναι μεγάλα, τα καλώδια κατασκευάζονται επιτόπου είτε με τη μέθοδο της περιέλιξης είτε με τη μέθοδο των παράλληλων συρματόσχοινων. Λόγω της σημαντικής ευαισθησίας των καλωδίων σε σκωρίαση, γίνεται στα σύρματα θερμός γαλβανισμός, ενώ για παραπάνω προστασία επαλείφονται με ψευδαργυρικό υλικό και περιτυλίγονται με γαλβανισμένο σύρμα ή PVC.

2.3.2 Σκυρόδεμα

Αν και στη γεφυροποιία δεν αποκλείεται από τους κανονισμούς η χρήση σκυροδεμάτων των συνήθων κατηγοριών αντοχής, σε περιπτώσεις μεγάλων ανοιγμάτων και ιδιαίτερα όταν απαιτείται προένταση η χρήση σκυροδεμάτων ειδικής σύνθεσης, υψηλής ή υπερυψηλής αντοχής είναι επιβεβλημένη.

Για γέφυρες μικρού και μεσαίου ανοίγματος οι διαστάσεις των στοιχείων καθορίζονται από τις απαιτήσεις λειτουργικότητας και λεπτομερειών όπλισης και λιγότερο από την αντοχή του σκυροδέματος. Συνεπώς από την άποψη αυτή δεν είναι απαραίτητη η χρήση σκυροδέματος υψηλής αντοχής (με εξαίρεση στοιχεία που υπόκεινται σε υψηλές θλιπτικές δυνάμεις, όπως οι πυλώνες και τα βάθρα). Εντούτοις, η μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή εξαρτάται όχι μόνο από τις απαιτήσεις αντοχής αλλά και την ανθεκτικότητά του, τη συστολή ξήρανσης, τους κύκλους ψύξης - απόψυξης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, πρέπει να είναι εργάσιμο, μη υδατοπερατό, ανθεκτικό στο χρόνο και στην τριβή. Έτσι τα τελευταία χρόνια εξαπλώνεται στη γεφυροποιία η χρήση σκυροδέματος αντοχής άνω των 40 MPa.

2.3.3 Σύνθετα υλικά

Τα σύνθετα υλικά έχουν εισαχθεί σχετικά πρόσφατα για χρήση σε κατασκευές, αλλά η εξάπλωσή τους, ιδιαίτερα σε συγκεκριμένους τομείς της κατασκευής, ήταν ραγδαία. Αποτελούνται από συνδυασμούς των άλλων τριών ειδών δομικών υλικών δηλαδή των μετάλλων, των κεραμικών και των πολυμερών, και η εξάπλωσή τους οφείλεται στο ότι συνδυάζουν ιδιότητες που κανένα από τα άλλα τρία είδη δεν παρουσιάζει από μόνο του. Στα σύνθετα υλικά περιλαμβάνονται τα ενισχυμένα πολυμερή (Reinforced Plastics, RP), τα με ίνες πολυεστέρα οπλισμένα πολυμερή (Fiber Reinforced Plastics, FRP), τα με ίνες γυαλιού οπλισμένα πολυμερή (Glass - Fiber Reinforced Plastics, GFRP), τα πολυστρωματικά πολυμερή (Laminates) κ.ά. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από μικρό βάρος, υψηλό λόγο αντοχής - βάρους και δυσκαμψίας - βάρους και υψηλή αντοχή σε κόπωση και οξείδωση.

2.4 ΚΥΡΙΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει αναφορά στα βασικά μέρη μιας πλαισιωτής γέφυρας, που είναι το κατάστρωμα, τα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα.

Στη γεφυροποιία διακρίνουμε την «υποδομή» της γέφυρας από την «ανωδομή». Η υποδομή περιλαμβάνει τα βάθρα (ακροβάθρα και μεσόβαθρα), τους τυχόν τοίχους αντιστήριξης στα ακροβάθρα, έργα μετάβασης στην οδό (πλάκες πρόσβασης κ.α) και τέλος τη θεμελίωση. Η ανωδομή περιλαμβάνει το φορέα καταστρώματος, το κατάστρωμα κυκλοφορίας, τα τυχόν εφέδρανα στήριξης του φορέα στα βάθρα και διάφορα άλλα στοιχεία χωρίς δομικό ρόλο (πεζοδρόμια, κιγκλιδώματά τους, στηθαία ασφαλείας στα πεζοδρόμια, διαχωριστικά στηθαία κλάδων κυκλοφορίας, οδόστρωμα και τυχόν μόνωση φορέα καταστρώματος, αρμούς διαστολής, αποχετεύσεις ομβρίων, στύλους φωτισμού, διελεύσεις αγωγών, κ.α). Κάποια από τα ανωτέρω διάφορα στοιχεία, ιδίως το οδόστρωμα με τη μόνωση, κ.α, καλούνται και «επιδομή» της γέφυρας. (Στις σιδηροδρομικές γέφυρες, αντί οδοστρώματος υπάρχουν ως «επιδομή» οι στρωτήρες, το έρμα και οι σιδηροτροχιές).

Όταν η πρόσβαση στη γέφυρα γίνεται με επίχωμα, το ακρόβαθρο αποτελείται από ένα τοίχο αντιστήριξης κάθετο στον άξονα της γέφυρας, που συνεχίζεται δεξιά και αριστερά σε δύο άλλους τοίχους αντιστήριξης για τον εγκιβωτισμό του επιχώματος, είτε παράλληλους στον άξονα της γέφυρας (οπότε καλούνται τοίχοι αντεπιστροφής), είτε λοξούς (που καλούνται απλώς πτερυγότοιχοι).

Αν ο φορέας καταστρώματος στηρίζεται στο ακρόβαθρο με εφέδρανα (διαφορετικά μπορεί να συνδέεται μονολιθικά με το ακρόβαθρο), τότε το ακρόβαθρο συνεχίζεται προς τα πάνω μέχρι την επιφάνεια της οδού πρόσβασης πίσω από το φορέα καταστρώματος, σχηματίζοντας ένα μικρό και λεπτότερο τοίχο αντιστήριξης που λέγεται θωράκιο. Στόχος του θωρακίου είναι να προστατεύσει τα εφέδρανα από το επίχωμα. Συνήθως υπάρχει θωράκιο και δεξιά και αριστερά από το φορέα καταστρώματος, παράλληλα στον άξονα της γέφυρας, έτσι ώστε να σχηματίζεται σε κάτοψη ένα Π, μέσα στο οποίο εισχωρεί ο φορέας καταστρώματος.

Αν το ακρόβαθρο δεν συνδέεται μονολιθικά με το φορέα καταστρώματος, τότε μεταξύ θωρακίων αφενός και πλάκας καταστρώματος/οδοστρώματος αφετέρου τοποθετείται ο αρμός διαστολής (επειδή οι αρμοί προκαλούν όχληση στην κυκλοφορία, τοποθετούνται πλέον μόνο στα άκρα της γέφυρας, στα ακρόβαθρα). Συχνά κάτω από το οδόστρωμα της οδού πρόσβασης τοποθετείται η λεγόμενη «πλάκα πρόσβασης», η οποία είναι πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάνω από το επίχωμα, που στηρίζεται σε πατούρα του θωρακίου ή του ακροβάθρου και έχει στόχο την εξομάλυνση διαφορικών καθιζήσεων του ακροβάθρου και του επιχώματος, ώστε αυτές να μην εκδηλωθούν με τη μορφή αναβαθμού στον αρμό μεταξύ ακροβάθρων και επιχώματος. Η πλάκα πρόσβασης έχει πλάτος όσο το κατάστρωμα και μήκος (κατά τον άξονα της γέφυρας) λίγων μέτρων.

Σε αστικές περιοχές τα πεζοδρόμια έχουν πλάτος 2m έως 2.5m και εκτός αστικών περιοχών 0.5m έως 1m. Αν το κράσπεδο που τα χωρίζει από το οδόστρωμα είναι χαμηλό (λιγότερο από 0.15-0.2m), χρειάζεται να τοποθετηθεί και χαμηλό στηθαίο ασφαλείας (συνήθως χαλύβδινο), για την προστασία των πεζών αλλά και την αποφυγή πτώσης των οχημάτων.

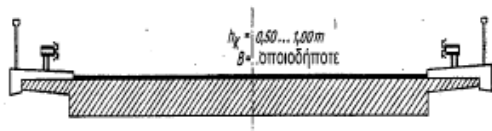
Γενικά το οδόστρωμα αποτελείται από σχετικά λεπτό ασφαλτοτάπητα και φύλλο μόνωσης (ανάλογα με το υλικό της μόνωσης μπορεί να χρειάζεται και τσιμεντοκονία προστασίας). Αν η πάνω επιφάνεια του οδοστρώματος δεν έχει κλίση εγκάρσια ή κατά μήκος λόγω της χάραξης, η πάνω επιφάνεια της πλάκας καταστρώματος διαμορφώνεται με εγκάρσιες κλίσεις προς τα πεζοδρόμια για την απορροή των ομβρίων. Έτσι αποφεύγεται η επιβάρυνση της ανωδομής με υλικό ρήσεων κάτω από τον ασφαλτοτάπητα.

Σε γέφυρες μικρού ανοίγματος (π.χ. πλακογέφυρες) μπορεί να συμφέρει η κατασκευή οριζόντιας πάνω επιφάνειας πλάκας καταστρώματος και η χρήση ασθενούς σκυροδέματος ως υλικού ρήσεων κάτω από τον ασφαλτοτάπητα. Στις περιπτώσεις αυτές ο ασφαλτοτάπητας μπορεί να έχει το ίδιο πάχος όπως και στην οδό πρόσβασης.

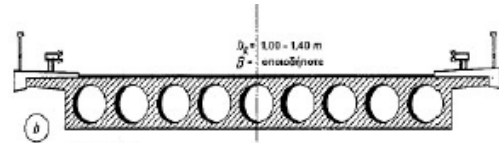
Αγωγοί για τη διέλευση καλωδίων ή και νερού εγκιβωτίζονται συνήθως στα πεζοδρόμια, ή, αν είναι μεγαλύτερης διαμέτρου, τοποθετούνται κάτω από το φορέα καταστρώματος. Στόμια αποχέτευσης ομβρίων τοποθετούνται ανά 100 m² περίπου κάτοψης. Κατακόρυφοι αγωγοί αποχέτευσης των ομβρίων τοποθετούνται στα βάρθρα.

2.4.1 Κατάστρωμα

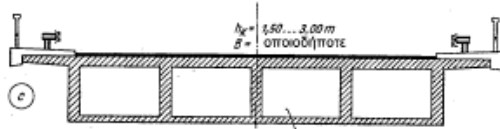
Το κατάστρωμα είναι η πλάκα που αποτελεί τον κυρίως κορμό της γέφυρας και η οποία δέχεται τα φορτία κυκλοφορίας των οχημάτων που διέρχονται από τη γέφυρα. Η διατομή του καταστρώματος μπορεί να έχει διάφορα σχήματα και να είναι είτε συμπαγής είτε με κενά. Ενδεδειγμένη επιλογή καταστρώματος πλαισιωτών γεφυρών αποτελεί η κιβωτιοειδής διατομή, ιδιαίτερα σε γέφυρες με καμπύλο άξονα σε κάτοψη, επειδή έχει αρκετά μεγάλη δυστρεψιά. Οι πιθανές μορφές της διατομής του καταστρώματος φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



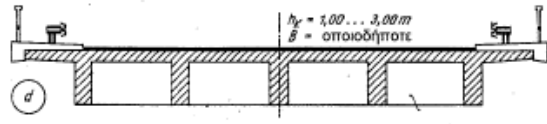
Πλήρης Πλάκα



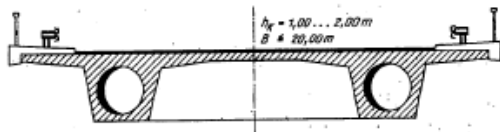
Πλάκα με κενά



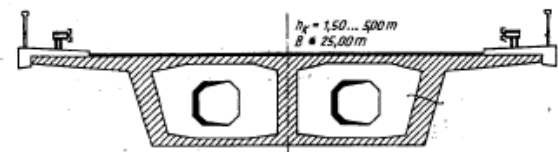
Κουβελωτή διατομή



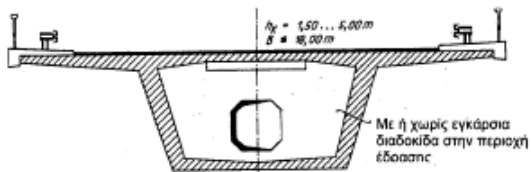
Εσχάρα δοκών



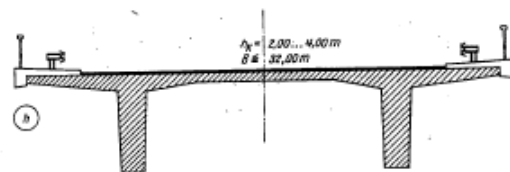
Δίδυμη πλακοδοκός



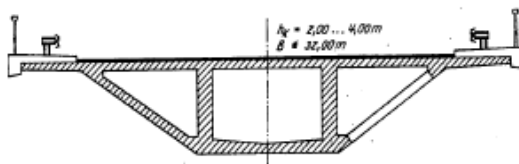
Δίδυμο κιβώτιο



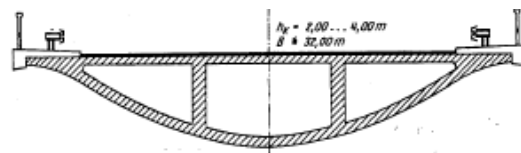
Απλό κιβώτιο



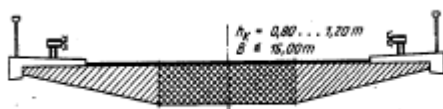
Δίδυμη πλακοδοκός



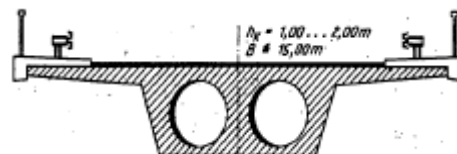
Τραπεζοειδές κιβώτιο



Κιβώτιο με παραβολική κάτω παρειά



Τραπεζοειδής Πλάκα



Ευρεία πλακοδοκός με κυλινδρικά κενά

Σχήμα 2.10: Βασικές μορφές διατομής καταστρώματος πλαισιωτής γέφυρας^[3].

Η επιλογή του τύπου της διατομής είναι συνάρτηση αρκετών παραγόντων, μεταξύ των οποίων^[5]:

- το άνοιγμα που πρόκειται να γεφυρωθεί και το στατικό σύστημα που θα υιοθετηθεί

- το διατιθέμενο κατασκευαστικό ύψος (π.χ. για λόγους διέλευσης οχημάτων) καθώς και τα φορτία
- το λόγο των κινητών προς τα μόνιμα φορτία q/g (μεγάλες τιμές του λόγου q/g οδηγούν σε διατομές μορφής διπλού T ή κιβωτιοειδούς μορφής)
- τα διατιθέμενα μέσα, την εμπειρία του εργολάβου και τη μέθοδο κατασκευής
- το συνολικό κόστος

Η ολόσωμη πλάκα σκυροδέματος προσφέρεται ιδιαίτερα για μικρές γέφυρες μέχρι 20 μέτρων (για γέφυρες ενός ανοίγματος) ή 30 μέτρων (για περισσότερα του ενός ανοίγματα). Είναι επίσης πλεονεκτική λύση για λοξές γέφυρες ή γέφυρες μεταβαλλόμενου πλάτους. Για ολόσωμες πλάκες η λυγηρότητα (λόγος απόστασης μεταξύ δύο στηρίξεων προς το ύψος της διατομής, l/h) εκλέγεται να κυμαίνεται στο διάστημα 15 - 22 (για οπλισμένο σκυρόδεμα) και 18 - 30 (για προεντεταμένο σκυρόδεμα). Οι μεγαλύτερες τιμές αφορούν προφανώς μεγαλύτερα ανοίγματα ή, με άλλα λόγια, μικρότερους λόγους q/g . Το πάχος ποικίλει μεταξύ 0.25 και 0.70 μέτρα, ενώ για μεγαλύτερο πάχος συνιστάται πλάκα με διάκενα (κοίλης ή ορθογωνικής μορφής) ή με νευρώσεις. Πολλές φορές η διατομή των πλακών διαμορφώνεται με μεταβαλλόμενη μορφή, για να ενισχυθεί η οπτική εντύπωση της λυγηρότητας. Για λόγους ευκολίας οι πλάκες πολλές φορές κατασκευάζονται από προκατασκευασμένα τμήματα μορφής στενής διαμήκους λωρίδας και τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο και αρμοί σφραγίζονται με τσιμεντοκονία. Για να εξασφαλιστεί η λειτουργία των λωρίδων ως πλάκα, εφαρμόζεται προένταση στην περιοχή στήριξης των λωρίδων και σε μήκος $1/2$ μέχρι $1/3$. Είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιηθούν παράλληλες προκατασκευασμένες δοκοί μορφής ανεστραμμένου T σε συνδυασμό με επιτόπου παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα αποφεύγοντας έτσι πλήρως τη χρήση ξυλοτύπων.

Όταν μια γέφυρα μορφής δοκού καλείται να αναλάβει σημαντικά κατακόρυφα φορτία ή όταν το άνοιγμα είναι μέχρι 70 μέτρα, τότε υιοθετείται η λύση διατομής πλακοδοκού, οπλισμένης ή μερικά προεντεταμένης, με λυγηρότητα 8-10 (οπλισμένο σκυρόδεμα) και 10-18 (προεντεταμένο σκυρόδεμα). Το πάχος του κορμού τους εξαρτάται από τις ανάγκες αντοχής του εφελκόμενου πέλματος της δοκού, ενώ πρέπει να καλύπτει και τις απαιτήσεις των λοξών κύριων τάσεων θλίψης. Σημειώνεται ότι οι πλακοδοκοί γεφυρών μπορούν να αναλάβουν αρνητικές ροπές (εφελκυσμός στο πάνω πέλμα της δοκού) περιορισμένου μόνο μεγέθους λόγω μικρού πάχους πλάκας.

Οι πλακοδοκοί γεφυρών μπορούν να είναι και προκατασκευασμένες και να προεντείνονται στο συνολικό τους μήκος. Οι τρεις δυνατότητες μόρφωσης της διατομής της πλάκας είναι:

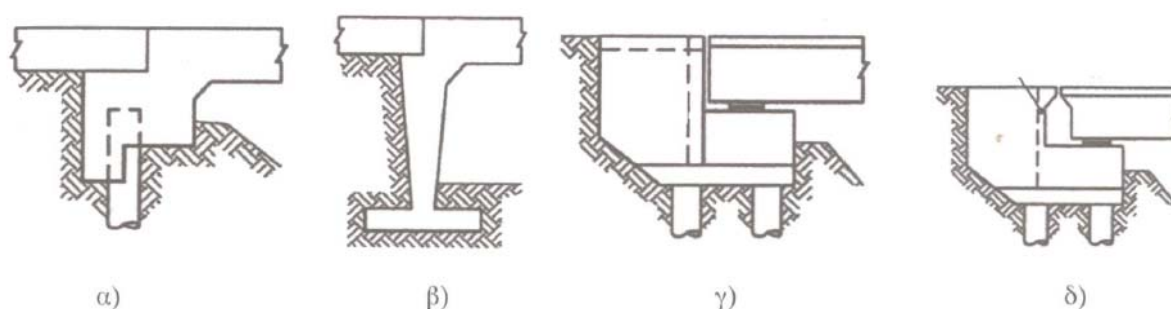
- πλατιά άνω πλακολωρίδα με εγκάρσιο οπλισμό βρόχου και εγκάρσια προένταση
- στενή άνω πλακολωρίδα και πλατιά ενδιάμεση πλάκα από επιτόπιο σκυρόδεμα
- στενό άνω πέλμα και ολόσωμη συνεχή πλάκα από επιτόπιο σκυρόδεμα· η μέθοδος αυτή διευκολύνει την αποκατάσταση της συνέχειας σε γέφυρες πολλών ανοιγμάτων.

Μια μορφή διατομής που εφαρμόζεται σε ιδιαίτερη έκταση είναι αυτή των κιβωτιοειδών δοκών, η οποία προσφέρεται ιδιαίτερα για προεντεταμένες συνεχείς δοκούς, επειδή διαθέτει σε κάθε θέση επαρκές πλάτος άνω και κάτω πέλματος καθώς και πάχος πλακών πέλματος που μπορεί να προσαρμοστεί στο διάγραμμα ροπών κάμψης του φορέα. Προσφέρεται επίσης για γέφυρες μεταβλητού πλάτους (με αυξομείωση του μήκους των προβόλων της πλάκας καταστρώματος) και επιτρέπει μεγάλες λυγηρότητες, επειδή αναλαμβάνει μεγάλες δυνάμεις στα πέλματα. Ανάλογα με το λόγο των φορτίων q/g , η λυγηρότητα κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40. Αν η δυσκαμψία του κλειστού πλαισίου κορμών - πλάκας είναι επαρκής, τότε η παραμόρφωσή τους είναι μικρή και οι στρεπτικές ροπές μεταφέρονται με πλαισιακή λειτουργία στις στηρίξεις. Διαφορετικά απαιτείται η τοποθέτηση διαδοκίδων ή διαφραγμάτων στις στηρίξεις.

2.4.2 Ακρόβαθρα

Σε αντίθεση με το φορέα καταστρώματος, για τον οποίον καθοριστικά είναι τα κατακόρυφα φορτία και ο τρόπος κατασκευής, για τα βάθρα καθοριστικός παράγοντας – τουλάχιστον στην Ελλάδα – είναι η σεισμική δράση.

Τα ακρόβαθρα είναι τα στοιχεία στα οποία στηρίζεται η ανωδομή στα επιχώματα της γέφυρας. Το ύψος του επιχώματος, το ύψος της ανωδομής της γέφυρας, το μέγεθος της αντίδρασης στήριξης, οι εδαφικές συνθήκες και οι αναμενόμενες μετακινήσεις αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες για την επιλογή της μορφής των ακροβάθρων. Τα ακρόβαθρα μικρών γεφυρών αποτελούνται από τοίχωμα οπλισμένου σκυροδέματος, η στέψη του οποίου αποτελεί την επιφάνεια έδρασης της πλάκας. Δύο τρόποι μονολιθικής σύνδεσης των ακροβάθρων με το κατάστρωμα φαίνονται στο Σχήμα 2.42. Στον πρώτο, τα φορτία ίδιου βάρους αναλαμβάνονται από τους πασσάλους, ενώ οι οριζόντια ένταση λόγω σεισμού μεταφέρεται μέσω ώθησης γαιών και εγκάρσιας αντίστασης των πασσάλων. Ο βαθμός πάκτωσης βέβαια που επιτυγχάνεται είναι προφανές ότι δεν μπορεί να εκτιμηθεί αξιόπιστα και ποικίλλει, καθώς οι οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις μετακινούν το ακρόβαθρο ώστε αυτό να προσεγγίζει ή να απομακρύνεται από το έδαφος, ανάλογα με τη διεύθυνση της σεισμικής έντασης. Η δεύτερη περίπτωση στήριξης είναι περισσότερο αξιόπιστη λόγω της πάκτωσης που προσφέρεται από το θεμέλιο. Η μονολιθική σύνδεση ακρόβαθρου - καταστρώματος είναι κατάλληλη για ενός ή δύο ανοιγμάτων γέφυρες και σπανίως για μεγαλύτερες γέφυρες. Λόγω δε της μεγαλύτερης δυσκαμψίας τους τα ακρόβαθρα αναλαμβάνουν σημαντικό τμήμα της σεισμικής έντασης, με συνέπεια να μπορούμε να σχεδιάσουμε τα ενδιάμεσα βάθρα για τα κατακόρυφα φορτία μόνο. Για ανοίγματα μεγαλύτερα των 15 - 20 μέτρων η πλάκα του καταστρώματος μπορεί να εδραστεί σταθερά στο ένα μόνο άκρο, ενώ στο απέναντι άκρο μπορεί να τοποθετηθεί εφέδρανο (Σχήμα 2.4.2 γ, δ) με πρόβλεψη μικρού κενού μεταξύ καταστρώματος και ακρόβαθρου για λόγους θερμοκρασιακών μεταβολών και ερπυσμού. Με τον τρόπο αυτό όμως το ακρόβαθρο καλείται να αναλάβει εξ ολοκλήρου την ένταση που προκύπτει όταν, κατά τη διάρκεια της διέγερσης, το κενό κλείσει.



Σχήμα 2.11: Χαρακτηριστικοί τύποι ακροβάθρων^[5].

Επειδή ενδέχεται όμως να μην είναι εφικτός ο σχεδιασμός του τοιχώματος για τόσο υψηλή ένταση, υιοθετείται η λύση του Σχήματος 2.4.2 δ, η οποία ελαχιστοποιεί την πιθανή βλάβη του ακρόβαθρου και οδηγεί σε πιο αξιόπιστη συμπεριφορά. Η κορυφή του ακρόβαθρου κατασκευάζεται έτσι ώστε να δημιουργείται ένα τοπικό επίπεδο αστοχίας στην περίπτωση ισχυρής οριζόντιας έντασης. Εάν προκληθεί αστοχία στο επίπεδο αυτό, απομένει μεταξύ ακρόβαθρου και πλάκας κενό μεγαλύτερου πλάτους το οποίο επιτρέπει την ανεμπόδιστη εξέλιξη των μετακινήσεων όσο διαρκεί η φόρτιση. Μετά το τέλος της διέγερσης η βλάβη μπορεί εύκολα να αποτιμηθεί και να διορθωθεί.

Για τα ακρόβαθρα καθοριστική, γενικά, είναι η διαμήκης διεύθυνση της γέφυρας. Και τούτο διότι: α) λόγω γεωμετρίας αυτή είναι η “αδύνατη” διεύθυνση των ακροβάθρων, και β) αυτή είναι η διεύθυνση της κύριας στατικής λειτουργίας και φόρτισής τους, αφενός μεν για τη σεισμική δράση, όπου – ανάλογα βέβαια και με τον τρόπο σύνδεσής τους με το φορέα καταστώματος – τα ακρόβαθρα καλούνται να συνεισφέρουν το σύνολο σχεδόν της αντίδρασης στη μετάθεση του φορέα καταστώματος ως προς το έδαφος, αφετέρου δε για τις ωθήσεις γαιών.

Τρεις είναι οι δυνατότητες σύνδεσης των ακροβάθρων με το φορέα καταστώματος:

- Η μονολιθική σύνδεση.
- Η στήριξη του φορέα σε εφέδρανα που επιτρέπουν την ελεύθερη οριζόντια μετακίνηση του φορέα μέχρι κάποιο όριο, μετά από το οποίο το κενό μεταξύ φορέα και ακροβάθρων κλείνει και δεν υφίσταται δυνατότητα περαιτέρω σχετικής μετακίνησης του φορέα καταστώματος ως προς το ακρόβαθρο.
- Η στήριξη του φορέα στο ακρόβαθρο με εφέδρανα που επιτρέπουν οριζόντια μετακίνηση του φορέα καταστώματος, χωρίς να τίθεται ουσιαστικά όριο στην οριζόντια μετάθεση του φορέα εκεί, τουλάχιστον για το σεισμό σχεδιασμού.

Η μονολιθική σύνδεση ισχύει τόσο για τη διαμήκη διεύθυνση όσο και για την εγκάρσια. Αντίθετα, μπορεί να επιλεγεί μία από τις δύο άλλες λύσεις στη διαμήκη διεύθυνση και η άλλη στην εγκάρσια.

Μονολιθική σύνδεση φορέα-ακροβάθρων μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε γέφυρες με ένα, έως τρία το πολύ, (σχετικά) μικρά ανοίγματα^[4]. Πλεονεκτήματά της είναι η απουσία αρμού στο οδόστρωμα στα άκρα της γέφυρας και η αποφυγή της σχετικής όχλησης κατά την οδήγηση. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ακόμη σημαντικότερο σε σιδηροδρομικές γέφυρες. Βεβαίως, έτσι οι θερμοκρασιακές μεταβολές και η συστολή ξήρανσης του καταστώματος προκαλούν σημαντική ένταση, τόσο στο φορέα καταστώματος (εφελκυσμό για συστολή, θλίψη για διαστολή), όσο και στα ακρόβαθρα (κάμψη μεταξύ φορέα καταστώματος και θεμελίων για συστολή, μικρότερη κάμψη μεταξύ φορέα καταστώματος και θεμελίου για διαστολή, με ταυτόχρονη ενεργοποίηση παθητικής ώθησης γαιών πίσω από το ακρόβαθρο). Κυριότερο πρόβλημα είναι ο εφελκυσμός στο φορέα καταστώματος, ο οποίος αναπόφευκτα θα προκαλέσει τη ρηγμάτωσή του κάθετα στον άξονα της γέφυρας, καθώς μάλιστα φορείς καταστώματος μονολιθικά συνδεδεμένοι με τα ακρόβαθρα δεν προσφέρονται για διαμήκη προένταση. Το μόνο δυνατό μέτρο για τον εφελκυσμό αυτό είναι οι διαμήκεις οπλισμοί του φορέα καταστώματος και ο έλεγχός τους για την οριακή κατάσταση ανοίγματος ρωγμών υπό το σχετικό συνδυασμό δράσεων λειτουργικότητας.

Ένα δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό των γεφυρών με μονολιθική σύνδεση ακροβάθρων και φορέα καταστώματος είναι ότι το σύνολο της σεισμικής δράσης (θεωρούμενης ως δύναμης) αναλαμβάνεται από τα ακρόβαθρα, τόσο στη διαμήκη διεύθυνση, όσο και στην εγκάρσια. Και στην μεν διαμήκη, ενεργοποιείται η παθητική ώθηση πίσω από το ένα ακρόβαθρο (με σχετικά ασήμαντη μεταφορά δυνάμεων μέσω των θεμελίων των δύο ακροβάθρων), στη δε εγκάρσια, το κάθε ακρόβαθρο λειτουργεί ως τοιχοειδές βάθρο, το οποίο, λόγω του μεγάλου μεγέθους στην εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας, δεν έχει κανένα πρόβλημα να την παραλάβει, ασχέτως από το αν διαθέτει πασσάλους ή όχι. Έτσι τα τυχόν μεσόβαθρα (σε γέφυρες με περισσότερα από ένα ανοίγματα) δεν εντείνονται από τη σεισμική δράση και διαμορφώνονται συνήθως ως σειρά υποστυλωμάτων σχετικά μικρής (συνήθως κυκλικής) διατομής, λύση που είναι οικονομική και λειτουργική (διευκολύνοντας, π.χ, την ορατότητα μεταξύ τους). Επισημαίνεται ότι η μονολιθική γέφυρα αποκρίνεται σε σεισμό ως περίπου άκαμπτο σώμα, και μπορεί να σχεδιάζεται όχι μόνον για ελαστική συμπεριφορά ($q=1$) αλλά και θεωρώντας ότι αποκρίνεται με (σεισμική) επιτάχυνση ίση με τη μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους, χωρίς (φασματική) μεγέθυνση.

Η στήριξη του φορέα καταστώματος στα ακρόβαθρα μέσω εφεδράνων διευκολύνει τις μεταβολές του μήκους του λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συστολής ξήρανσης. Αν υιοθετείται παρόμοιος τρόπος στήριξης και στα (τυχόν) μεσόβαθρα, τότε οι ανωτέρω

μεταβολές δεν προκαλούν καμία ένταση, ούτε στο φορέα καταστρώματος ούτε στα (τυχόν) μεσόβαθρα. Αν πάλι εμποδίζεται η οριζόντια μετάθεση του φορέα μόνον ως προς την κορυφή ορισμένων μεσοβάθρων κοντά στο μέσο του μήκους της γέφυρας, τότε η σχετική ένταση περιορίζεται στα μεσόβαθρα αυτά και στο μεταξύ τους τμήμα του φορέα καταστρώματος, είναι δε αρκετά περιορισμένη.

2.4.3 Μεσόβαθρα

Βασική επιδίωξη στο σεισμικό σχεδιασμό των μεσοβάθρων είναι να έχουν όλα πρακτικά το ίδιο ύψος. Και τούτο διότι λόγω διαφοράς δυσκαμψίας τα πιο κοντά βάθρα αναπτύσσουν (πολύ) υψηλότερες σεισμικές δυνάμεις από τα υπόλοιπα. Για λόγους αισθητικής οι υψηλότερες δυνάμεις δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν με αύξηση της διατομής των πιο κοντών βάθρων, πέραν του ότι η αύξηση δυσκαμψίας λόγω της μεγαλύτερης διατομής θα οδηγούσε σε φαύλο κύκλο. Σε παρόμοιο φαύλο κύκλο οδηγούν και οι τυχόν αυξημένοι διαμήκεις οπλισμοί των πιο κοντών βάθρων (η μείωση της σεισμικής ροπής κάμψης με το ύψος τους δεν επαρκεί για να αντισταθμίσει τη μεγάλη αύξηση της σεισμικής τέμνουσας λόγω της αύξησης της δυσκαμψίας αντιστρόφως ανάλογα με τον κύβο του ύψους). Και τούτο διότι η πραγματική δυσκαμψία του βάθρου (που ορίζεται ως η οριζόντια δύναμη που οδηγεί στη διαρροή του δια της αντίστοιχης μετακίνησης στην κορυφή) αυξάνεται με την ποσότητα του διαμήκους οπλισμού.

Λόγω των αδιεξόδων αυτών, όταν είναι ανέφικτη η κατασκευή όλων των βάθρων με παρόμοιο ύψος (π.χ. πάνω από κοιλάδες με ομαλή και σταδιακή μεταβολή του ανάγλυφου του εδάφους, σε ράμπες πρόσβασης σε αυτοκινητόδρομους, κ.λ.π.), τότε εφαρμόζεται διαφορετικός τρόπος σύνδεσης των διαφορετικού ύψους βάθρων με την ανωδομή (μονολιθική, έναντι μέσω εφεδράνων), με στόχο την διαφοροποίηση της δυσκαμψίας και των σεισμικών δυνάμεων σε αντίθετη κατεύθυνση απ' αυτήν στην οποία οδηγεί η διαφορά ύψους. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό (π.χ. σε γέφυρες που κατασκευάζονται με προβολοδόμηση, και με μονολιθική σύνδεση του φορέα καταστρώματος με τα βάθρα) μπορεί το ελεύθερο ύψος κάποιων βάθρων να αυξηθεί, με επέκτασή τους κάτω από τη φυσική επιφάνεια του εδάφους και κατασκευή του "υπόγειου" τμήματος του ύψους τους μέσα σε "πηγάδι", μέχρι την πάνω επιφάνεια της θεμελίωσης. Τέλος, αν ο φορέας στηρίζεται σ' όλα τα βάθρα μέσω εφεδράνων, μπορεί να αξιοποιηθεί η δυσκαμψία του ίδιου του ελαστομεταλλικού εφεδράνου, για να αντισταθμίσει τη διαφορά λόγω του ύψους (να χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικό εφέδρανο μεγαλύτερου ύψους, δηλ. πιο εύκαμπτο, πάνω από τα πιο κοντά βάθρα).

Δεύτερη επιδίωξη – αν και όχι τόσο βαρύνουσα όσο η πρώτη – είναι να έχουν τα βάθρα πρακτικά την ίδια αντοχή και δυσκαμψία έναντι σεισμικής δράσης σε οποιαδήποτε οριζόντια διεύθυνση. Δεδομένου ότι τα βάθρα είναι πρακτικώς πακτωμένα στο θεμέλιό τους, η επιδίωξη αυτή σημαίνει παρόμοια στατική λειτουργία της σύνδεσης βάθρων και φορέα στην διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση: Αν το βάθρο συνδέεται μονολιθικά με το φορέα, πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλό στην εγκάρσια διεύθυνση (δηλ. να αποτελείται από δύο τουλάχιστον κολώνες), για να λειτουργεί σ' αυτήν ως αμφίπακτο, όπως δηλαδή στη διαμήκη (μόνο βάθρο μονολιθικά συνδεδεμένο με το φορέα λειτουργεί στην εγκάρσια διεύθυνση ως κατακόρυφος πρόβολος). Επίσης, αν υπάρχει δυνατότητα σχετικής οριζόντιας μετακίνησης του φορέα ως προς την κορυφή του βάθρου στη μία διεύθυνση, να υπάρχει και στην άλλη. Τέλος, με την προϋπόθεση της ίδιας στατικής λειτουργίας στις δύο κύριες διευθύνσεις της γέφυρας, η επιδίωξη παρόμοιας αντοχής και δυσκαμψίας σ' όλες τις οριζόντιες διευθύνσεις ευνοεί τα βάθρα κυκλικής διατομής.

Τρίτη επιδίωξη είναι η χαμηλή ανηγμένη αξονική δύναμη στα βάθρα υπό το σεισμό σχεδιασμού, προς όφελος της πλαστιμότητας και της σεισμικής συμπεριφοράς τους.

Βασικό στοιχείο του σχεδιασμού των μεσοβάθρων είναι η επιλογή μεταξύ μονολιθικής σύνδεσης της κορυφής τους με το φορέα καταστρώματος ή έδρασης του τελευταίου στα

μεσόβαθρα μέσω εφεδράνων που επιτρέπουν τη στροφή του ως προς την κορυφή των βάθρων. Και για τις δύο επιλογές (δηλ. τη μονολιθική σύνδεση και την επιλογή εφεδράνων) υπάρχει περαιτέρω η επιλογή μεταξύ μονού βάθρου ή πολλαπλού (που αποτελείται δηλαδή από περισσότερες από μία κολώνες κατά πλάτος της γέφυρας). Τέλος, στην περίπτωση των εφεδράνων, υπάρχει η επιλογή μεταξύ αρθρωτών εφεδράνων, εφεδράνων ολίσθησης, ή ελαστομερών (ελαστομεταλλικών) εφεδράνων. Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, η κάθε επιλογή έχει τα υπέρ και τα κατά της.

Συχνά καθοριστικός για την επιλογή μεταξύ μονολιθικής σύνδεσης ή χρήσης εφεδράνων μεταξύ βάθρων και φορέα καταστρώματος είναι ο τρόπος κατασκευής: η προβολοδόμηση ταιριάζει κατά κανόνα με μονολιθική σύνδεση φορέα-βάθρων, ενώ στις προκατασκευασμένες δοκούς και στην προώθηση του φορέα από το ακρόβαθρο ταιριάζει ασφαλώς η έδραση σε εφέδρανα. Όταν όμως ο τρόπος κατασκευής αφήνει περιθώρια επιλογής, λαμβάνονται υπόψη τα υπέρ και τα κατά των δύο αυτών λύσεων, τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

Τα πλεονεκτήματα της μονολιθικής σύνδεσης είναι^[4]:

- Η βέβαιη αποτροπή παραμένουσας σχετικής οριζόντιας μετάθεσης του φορέα ως προς τα βάθρα, περιλαμβανόμενης και της ενδεχόμενης πτώσης του φορέα ή τμημάτων του από τα βάθρα κατά το σεισμό. (Ακόμα και αν δεν έχει υποστεί καμία βλάβη η γέφυρα από το σεισμό, ο φορέας χρειάζεται να επανέλθει στη θέση του αν έχει μετατοπισθεί οριζόντια).
- Ο διπλασιασμός των θέσεων κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας κατά το σεισμό, με το σχηματισμό πλαστικών ορθώσεων όχι μόνο στη βάση, αλλά και στην κορυφή των μεσόβαθρων. Ταυτοχρόνως, για την ίδια σεισμική τέμνουσα μειώνεται στο μισό η απαιτούμενη καμπτική αντοχή της διατομής του (καθότι αυτή ισούται με την τέμνουσα επί το μισό αντί επί το σύνολο του ύψους). Το πλεονέκτημα αυτό δεν ισχύει στην εγκάρσια διεύθυνση μονών βάθρων, καθότι αυτά λειτουργούν ως κατακόρυφοι πρόβολοι ανεξάρτητα της μονολιθικής σύνδεσής τους με το φορέα.

Τα μειονεκτήματα της μονολιθικής σύνδεσης είναι^[4]:

- Η μεγάλη ένταση που προκαλείται, τόσο στα βάθρα όσο και στον φορέα, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συστολής ξήρανσης. Για την ελαχιστοποίηση της έντασης αυτής συμφέρει η επιλογή βάθρων εύκαμπτων στη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας, καθώς και η αποφυγή μονολιθικής σύνδεσης του φορέα με τα βάθρα που απέχουν πολύ από το μέσο του μήκους της γέφυρας.
- Η δυσχέρεια της κατασκευαστικής διαμόρφωσης και της διαστασιολόγησης του “κόμβου” βάθρων-φορέα καταστρώματος και η σημαντική αβεβαιότητα στη συμπεριφορά του κατά τη μεταφορά της σεισμικής έντασης από το φορέα στο βάθρο και αντίστροφα (“συνεργαζόμενο πλάτος” φορέα κατά τη διεύθυνση του διανύσματος της ροπής, κ.α). Επισημαίνεται το μεγάλο μέγεθος της διατμητικής καταπόνησης του εσωτερικού του “κόμβου” αυτού, καθώς και οι δυσχέρειες ευθύγραμμης αγκύρωσης των μεγάλης διαμέτρου κατακορύφων ράβδων του βάθρου μέσα στο ύψος του φορέα καταστρώματος.
- Η χαμηλή αξιοποίηση της αντοχής μονών βάθρων στην εγκάρσια προς τον άξονα της γέφυρας διεύθυνση.

Μονά βάθρα χρησιμοποιούνται συνήθως όταν η έδραση του φορέα γίνεται με εφέδρανο, οπότε το βάθρο συμπεριφέρεται ως κατακόρυφος πρόβολος σε οποιαδήποτε οριζόντια διεύθυνση. Βεβαίως, αν η έδραση γίνεται σε ελαστομερές εφέδρανο και επιπλέον στην εγκάρσια διεύθυνση τοποθετούνται stoppers με διάκενο επαρκώς μικρό ώστε να κλείσει υπό το σεισμό σχεδιασμού, τότε ο σχεδιασμός του βάθρου γίνεται στη μεν εγκάρσια διεύθυνση

για πλαστική άρθρωση στη βάση (και $q=3.5$), στη δε διαμήκη για ελαστική συμπεριφορά ($q=1$). (Στη διαμήκη διεύθυνση η σεισμική δράση μπορεί να μεταφερθεί στα ακρόβαθρα και από εκεί στο έδαφος με παθητική ώθηση).

Πολλαπλά βάθρα (τουλάχιστον δύο κατά πλάτος) προσφέρονται για μονολιθική σύνδεση με το φορέα καταστρώματος, οπότε λειτουργούν ως αμφίπακτα σε οποιαδήποτε οριζόντια διεύθυνση. Έτσι μειώνεται η μέγιστη ροπή κάμψης στο βάθρο (ισούται με το μισό του ύψους επί την τέμνουσα). Αν το βάθρο είναι πολύ ψηλό και λυγηρό στην εγκάρσια διεύθυνση (στην οποία μπορεί να θεωρείται αμφίπακτο μεν αλλά με οριζόντια μεταθετά άκρα), τότε μπορεί να είναι σκόπιμη η σύνδεση των βάθρων με εγκάρσια δοκό στο μέσο του ύψους τους, μειώνοντας το μήκος λυγισμού στο μισό. Έτσι μειώνονται και οι σεισμικές ροπές για την ίδια σεισμική τέμνουσα, αλλά μόνον στην εγκάρσια διεύθυνση. Πάντως, για μονολιθική σύνδεση με το φορέα η χρήση πολλαπλών βάθρων μειώνει και τη σεισμική ροπή που μεταφέρεται από κάθε βάθρο στο φορέα και διευκολύνει τη σύνδεσή τους.

Γενικά τα πλεονεκτήματα της χρήσης εφεδράνων, αντί μονολιθικής σύνδεσης, είναι^[4]:

- Η δυνατότητα προστασίας του βάθρου από σεισμικές βλάβες, μέσω ικανοτικού σχεδιασμού με βάση την (υπερ)αντοχή των εφεδράνων.
- Η απλότητα της κατασκευής.
- Η αποφυγή υψηλής σεισμικής έντασης στην ανωδομή, ιδίως στην σύνδεσή της με το βάθρο.
- Για μονά βάθρα, η παρόμοια αντοχή και δυσκαμψία και γενικότερα η παρόμοια αξιοποίηση του βάθρου στις δύο κύριες διευθύνσεις.

Τα γενικά μειονεκτήματα της χρήσης εφεδράνων είναι^[4]:

- Για πολλαπλά βάθρα, και συγκεκριμένα για βάθρα που αποτελούνται από σειρά κολωνών κατά πλάτος του φορέα συνδεδεμένα σε πλαίσιο με κεφαλοδοκό, η χαμηλή αξιοποίησή τους στη διαμήκη διεύθυνση, όπου λειτουργούν ως κατακόρυφοι πρόβολοι ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση λειτουργούν ως αμφίπακτοι στύλοι.
- Απαιτούν πρόβλεψη περιοδικού έλεγχου και αντικατάστασής τους (επισκεψιμότητα και επαρκή χώρο για τοποθέτηση υδραυλικών γρύλλων μεταξύ κάτω επιφάνειας φορέα και κορυφής βάθρου, κ.λ.π.)

2.4.4 Εφέδρανα

Τα εφέδρανα αποτελούν διατάξεις οι οποίες τοποθετούνται μεταξύ του καταστρώματος και των βάθρων, για να εξυπηρετήσουν μετατοπίσεις του καταστρώματος, όπως:

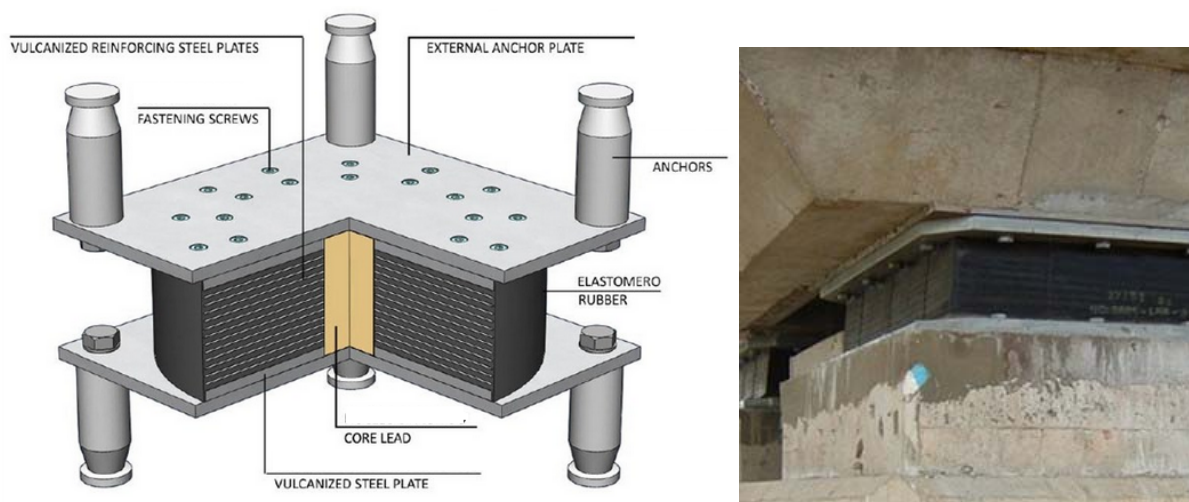
- διαμήκη μετακίνηση του καταστρώματος λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών,
- κατακόρυφη μετακίνηση λόγω βύθισης των βάθρων,
- διαμήκη μετακίνηση των δοκών του καταστρώματος που προκαλείται από συστολή ξήρανσης, ερπυσμό ή ελαστική βράχυνση λόγω προέντασης.

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται είναι για λόγους αντισεισμικής προστασίας: η αύξηση της απόσβεσης της κατασκευής που προσφέρουν ορισμένοι τύποι εφεδράνων αυξάνει την περίοδο ταλάντωσης της κατασκευής και την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μεγάλο ποσοστό της ενέργειας διοχετεύεται σε μικρό αριθμό στοιχείων που είναι εύκολο να ελεγχθούν και, εάν είναι απαραίτητο, να αντικατασταθούν. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι οι γέφυρες αποτελούν κατασκευές στρατηγικής σημασίας, οι οποίες απαιτούν υψηλό δείκτη προστασίας για την εξασφάλιση της λειτουργίας τους μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο μελετητής επιλέγει το κατάλληλο τύπο εφεδράνου με κριτήρια τις συνθήκες στήριξης που επιδιώκει να επιβάλει στο κατάστρωμα και την οικονομία. Από άποψη λειτουργίας τα εφέδρανα διακρίνονται σε σταθερά και σε κινητά, ενώ από άποψη κατασκευής οι βασικοί τύποι εφεδράνων είναι:

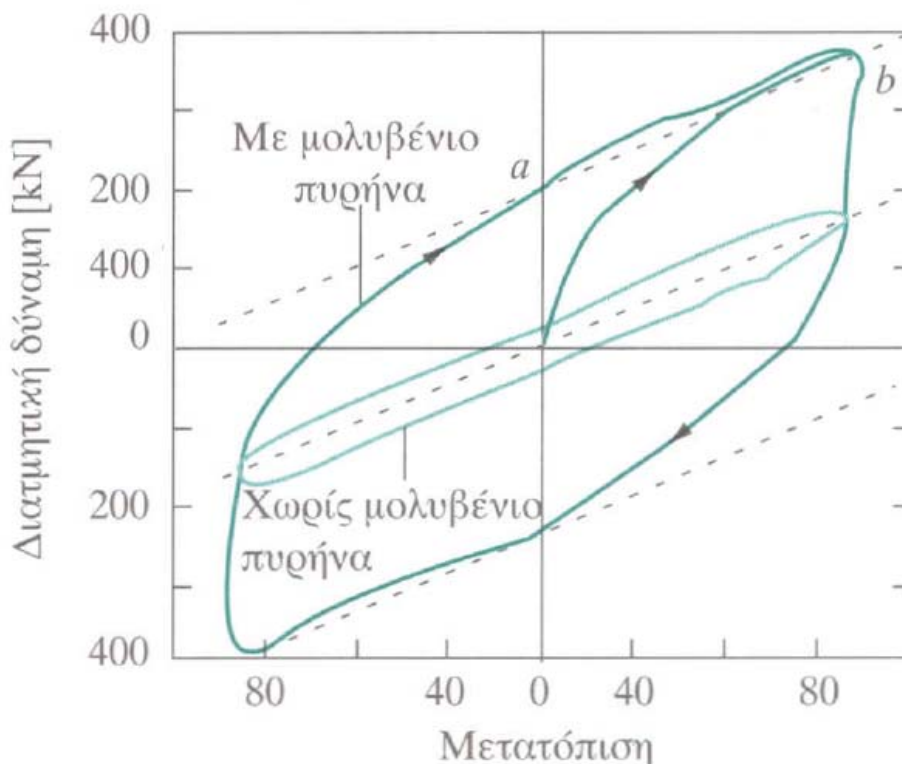
- τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα (lead – rubber bearings),
- τα εφεδράνα εγκιβωτισμένου ελαστικού (pot bearings) και,
- τα εφεδράνα ολίσθησης (sliding bearings).

Τα σταθερά εφεδράνα παραλαμβάνουν εκτός από τα κατακόρυφα φορτία και οριζόντιες δυνάμεις, γι' αυτό και χρειάζονται αγκύρωση στην ανωδομή (δοκοί καταστρώματος) και στην υποδομή (βάθρα / ακρόβαθρα της γέφυρας). Τα κινητά εφεδράνα επιτρέπουν γραμμικές παραμορφώσεις της ανωδομής (από θερμοκρασιακές μεταβολές, συστολή ξήρασης, ερπυσμό, ελαστική βράχυνση λόγω προέντασης, εγκάρσιες μετακινήσεις κεφαλών μεσοβάθρων). Τα σταθερά αλλά και τα κινητά εφεδράνα ενδέχεται να παρουσιάσουν κατά την καταπόνηση της γέφυρας από σεισμική διέγερση βλάβες, οι οποίες συνίστανται στη μερική ή και πλήρη καταστροφή του εφεδράνου, λόγω μεγάλων οριζόντιων σχετικών μετατοπίσεων του φορέα γέφυρας-κεφαλής βάθρων, ή στην υποχώρηση του φορέα (μέχρι και 30 cm) ως συνέπεια της καταστροφής του εφεδράνου. Εφεδράνα τα οποία έχουν υποστεί βλάβες μπορούν γενικά να αντικατασταθούν ή να επισκευαστούν.

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα (lead – rubber bearings) έχουν την ευρύτερη εφαρμογή και είναι σχετικά απλά (Σχήμα 2.12): αποτελούνται από μεταλλικά ελάσματα (2 - 4 mm πάχους) με ενδιάμεσες στρώσεις βουλκανισμένου ελαστικού 5 - 8 mm πάχους. Λόγω των ελασμάτων τα εφεδράνα διαθέτουν σημαντική κατακόρυφη ατένεια (είναι πρακτικά ασυμπίεστα) και αποτρέπουν την κατακόρυφη παραμόρφωση από τα μεταβαλλόμενα κατακόρυφα φορτία. Ταυτόχρονα, το ελαστικό έχει χαμηλό μέτρο διάτμησης ($G = 100 \text{ MPa}$) μέχρι γωνία διατμητικής παραμόρφωσης $\varphi = 0.7$, ενώ για μεγαλύτερες τιμές εγκάρσιας παραμόρφωσης το μέτρο διάτμησης αυξάνει ραγδαία και ο ρυθμός εγκάρσιας παραμόρφωσης περιορίζεται. Η οριζόντια μετατόπιση που επιτρέπει η παραμορφωσιμότητα του εφεδράνου είναι σημαντική και εξαρτάται από το πάχος του στρώματος ή των στρωμάτων του ελαστικού και κυρίως από την ύπαρξη ή όχι μολύβδινου πυρήνα, όπως φαίνεται και στους βρόχους υστέρησης διατμητικής δύναμης - εγκάρσιας παραμόρφωσης (Σχήμα 2.13). Σημειώνεται ότι η ικανότητα απόσβεσης των ελαστομεταλλικών εφεδράνων οφείλεται μόνο στο ελαστικό και είναι της τάξης του 5% της κρίσιμης απόσβεσης.



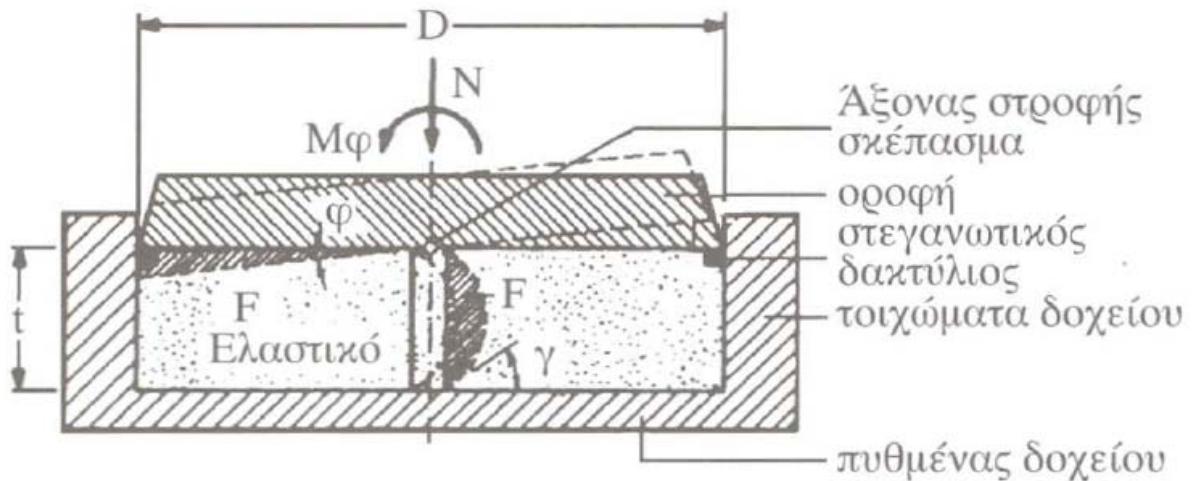
Σχήμα 2.12: Σχηματική τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου (αριστερά)^[11] και εφαρμογή σε στήριξη γέφυρας (δεξιά)^[12].



Σχήμα 2.13: Καμπύλη υστέρησης για εφέδρανα με ή χωρίς πυρήνα μολύβδου^[5].

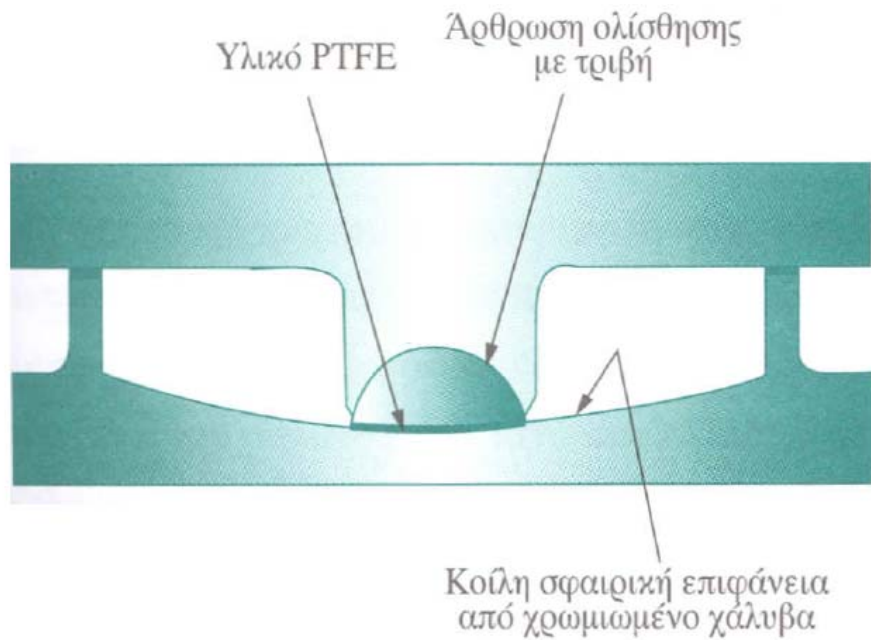
Η μικρή τιμή της απόσβεσης και η σημαντική παραμορφωσιμότητά τους ακόμα και σε μικρές τιμές στατικά φορτία είναι τα κύρια μειονεκτήματα των ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Η τοποθέτηση μολύβδινου πυρήνα παρέχει επαρκή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας αλλά και δυσκαμψία για στατικά φορτία. Αυτά οφείλονται στις ευνοϊκές μηχανικές ιδιότητες του μολύβδου: μικρή διατμητική αντοχή περίπου στα 10 MPa, σημαντική διατμητική δυσκαμψία περίπου στα 130 MPa, ελαστοπλαστική συμπεριφορά και ευνοϊκή απόκριση σε κύκλους κόπωσης στην πλαστική περιοχή. Το σχήμα, η γεωμετρία και ο αριθμός των εφεδράνων καθορίζεται από το κατακόρυφο φορτίο που χρειάζεται να μεταφέρουν.

Τα εφέδρανα εγκιβωτισμένοι ελαστικού (rot bearings) αποτελούνται από μαλακό ελαστικό μέτρου διάτμησης περίπου 80 GPa τοποθετημένο μέσα σε μικρού ύψους χαλύβδινο δοχείο και καλυμμένο με μεταλλική πλάκα η οποία κλείνει με μεγάλη ακρίβεια το ανοικτό πάνω μέρος του δοχείου όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.14. Το ελαστικό είναι ασυμπίεστο και επειδή περιορίζεται πλευρικά το εφέδρανο δεν παραμορφώνεται κατά τη διεύθυνση θλίψης. Ακόμα και όταν η πάνω πλάκα στρέφεται, το ελαστομερές ασκεί ομοιόμορφη πίεση στον πυθμένα του δοχείου με αποτέλεσμα καλύτερη μεταφορά των φορτίων σε σύγκριση με σφαιρικά ή άλλα πολύπλοκα εφέδρανα. Η αντίσταση στροφής είναι αντιστρόφως ανάλογη του λόγου του πάχους του ελαστικού προς τη διάμετρο του δοχείου.



Σχήμα 2.14: Λειτουργία εφεδράνου από εγκιβωτισμένο ελαστικό^[5].

Ο τρίτος τύπος εφεδράνων τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα εφέδρανα ολίσθησης τα οποία χρησιμοποιούνται τα τελευταία 30 χρόνια περίπου κυρίως για τη διευκόλυνση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Σχηματική τομή ενός εφεδράνου ολίσθησης φαίνεται στο Σχήμα 2.15. Αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα και Τεφλόν. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ των δύο αυτών υλικών είναι 0.02 – 0.03 για μικρούς ρυθμούς ολίσθησης ενώ αυξάνεται μέχρι και 0.10 – 0.15 με αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης. Λόγω της μη ικανοποιητικής αξιοπιστίας και δυνατότητας πρόβλεψης της απόκρισής τους και κυρίως λόγω έλλειψης μηχανισμού επαναφοράς, τα εφέδρανα ολίσθησης χρησιμοποιούνται ως σεισμικοί μονωτήρες μόνο σε συνδυασμό με άλλες διατάξεις επαναφοράς. Ο συνδυασμός τους με ελαστομεταλλικά εφέδρανα είναι αρκετά αποδοτικός, αφού το κατακόρυφο φορτίο αναλαμβάνεται και από τις δύο διατάξεις, με το εφέδρανο ολίσθησης να αναλαμβάνει μικρότερο κατακόρυφο φορτίο ενώ το ελαστομεταλλικό εφέδρανο παρέχει την απαραίτητη δύναμη επαναφοράς. Εφέδρανα ολίσθησης και ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε σειρά (το ένα πάνω στο άλλο) για να παράσχουν ευκαμψία σε επίπεδο δυνάμεων χαμηλότερο της δύναμης ολίσθησης.



Σχήμα 2.15: Σχηματική τομή εφεδράνου ολίσθησης^[5].

2.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

2.5.1 Εισαγωγή

Ο τρόπος κατασκευής αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιλογή της μορφής μιας γέφυρας μικρού έως μεσαίου ανοίγματος. Περαιτέρω, ο τρόπος ανάλυσης για τα κατακόρυφα φορτία για το σκοπό της διαστασιολόγησης εξαρτάται και από τη μορφή της γέφυρας και από τον τρόπο κατασκευής, καθότι αναφέρεται στα διάφορα στάδια κατασκευής της γέφυρας μέχρι την ολοκλήρωσή της. Παρακάτω αναλύονται οι περισσότερο διαδεδομένοι τρόποι κατασκευής γεφυρών, οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος.

2.5.2 Προκατασκευή σε τμήματα κατά πλάτος

Η προκατασκευή αφορά ευθύγραμμα τμήματα, που τοποθετούνται ως αμφιέριστα μεταξύ γειτονικών βάθρων. Θεωρητικά μπορεί να εφαρμοσθεί και σε γέφυρες με φορέα καταστρώματος μορφής πλάκας (“πλακογέφυρες”), οπότε τα προκατασκευασμένα τμήματα θα αποτελούν διαμήκεις λωρίδες της πλάκας ορθογωνικής διατομής που τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη και συνδέονται κατόπιν με εγκάρσια προένταση. Όμως τέτοιος τρόπος κατασκευής σπάνια εφαρμόζεται σε “πλακογέφυρες”, καθότι αυτές συνήθως σκυροδετούνται σε σταθερά ικρίσματα. Αυτός ο τρόπος κατασκευής έχει εφαρμοσθεί σε τοξωτές γέφυρες, οι οποίες κατασκευάζονται συνήθως πάνω από χαράδρες, που δεν προσφέρονται για σταθερά ικρίσματα. Στην περίπτωση αυτή προκατασκευάζονται τόξα στο έδαφος, κατόπιν στήνονται κατακόρυφα με το ένα άκρο του τόξου να εδράζεται στην τελική του θέση στο ένα ακρόβαθρο και το απέναντι να συγκρατείται στον αέρα με συρματόσχοινα. Στη συνέχεια το δεύτερο αυτό άκρο κατεβαίνει στην τελική του θέση στο απέναντι ακρόβαθρο ελεγχόμενο με τα συρματόσχοινα.

Η συνήθης εφαρμογή της κατά πλάτος κατασκευής αφορά γέφυρες με ένα, ή συνήθως περισσότερα, ίσα αμφιέριστα ανοίγματα. Ο φορέας καταστρώματος αποτελείται από παράλληλες πλακοδοκούς από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα που προκατασκευάζονται και τοποθετούνται στη θέση τους με γερανό. Η εφαρμογή αυτή μιμείται

γέφυρες με φορέα καταστρώματος από σιδηροδοκούς. Απαιτεί βάθρα μεγάλου πλάτους στη θέση έδρασης των δοκών και κατά κανόνα παράλληλα μεταξύ τους (ώστε το άνοιγμα των δοκών να είναι κατά προτίμηση το ίδιο) και περιορίζεται σε γέφυρες με πρακτικά σταθερό πλάτος και μικρή καμπυλότητα σε κάτοψη (μικρή καμπυλότητα μπορεί να επιτευχθεί με βάθρα σε σχετικά μικρές αποστάσεις, τοποθέτηση διαδοχικών δοκών σε συνεχόμενα ανοίγματα σε τεθλασμένη και επιτόπου σκυροδέτηση της πλάκας καταστρώματος και των πεζοδρομίων με καμπυλότητα σε κάτοψη).

Όταν η προκατασκευή γίνεται σε εργοστάσιο, όλες οι δοκοί είναι βεβαίως ίδιες. Όταν η σκυροδέτηση γίνεται στο εργοτάξιο, δηλ. στο έδαφος κοντά στην τελική θέση, οι δοκοί μπορεί να έχουν κάπως διαφορετικό άνοιγμα, ώστε τα βάθρα να μην είναι κατ' ανάγκην παράλληλα ούτε τα ανοίγματα ίσα. Όμως προτιμάται να είναι σταθερό το άνοιγμα των δοκών, ώστε να επαναχρησιμοποιούνται οι ίδιοι μεταλλοτύποι για τα πλαϊνά τους και να απλουστεύεται η κατασκευή αλλά και η μελέτη.

Ασφαλώς η μέθοδος είναι οικονομικότερη όταν κατασκευάζονται μ' αυτήν πολλές δοκοί, που σημαίνει αρκετό αριθμό ίσων ανοιγμάτων. Όμως, επειδή, στα πλαίσια τουλάχιστον της προκατασκευής στο εργοτάξιο, ο ειδικός εξοπλισμός που απαιτείται είναι ασήμαντος (μεταλλότυποι), ο αριθμός των ίσων ανοιγμάτων δεν αποτελεί ουσιαστικό κριτήριο για την εφαρμογή και την οικονομικότητα της μεθόδου. Αυτός είναι σημαντικότερο κριτήριο όταν η προκατασκευή γίνεται σε εργοστάσιο σε «προεντεταμένη κλίση».

Η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων δοκών στα βάθρα γίνεται με συνήθη αυτοκινούμενο γερανό, εφόσον βεβαίως αυτός έχει τη δυνατότητα πρόσβασης κοντά στα βάθρα. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδικός γερανός μορφής γέφυρας («gantry»), που πατάει σε δύο διαδοχικά βάθρα για να τοποθετήσει τις δοκούς που είναι αμφιέριστες μεταξύ των βάθρων αυτών. Οι γερανοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα επέκτασης του μήκους τους σε δύο συνεχή ανοίγματα, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν τη στήριξή τους από το ένα βάθρο στο άλλο.



Εικόνα 2.2: Πρόπλακες με ενσωματωμένο στις δοκούς εγκάρσιο κάτω οπλισμό πλάκας καταστρώματος (Γέφυρες πρόσβασης Ρίου Αντιρρίου, Γέφυρα Α.Ε.)^[4].

Πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου κατασκευής γεφυρών είναι^[4]:

- Η οικονομικότητά τους, αν δεν διατίθεται ήδη άλλος ειδικός εξοπλισμός απαραίτητος για κάποιον άλλο τρόπο κατασκευής.
- Η έλλειψη ευαισθησίας σε διαφορικές καθιζήσεις, θερμοκρασιακές μεταβολές, κ.λ.π, χωρίς να προκαλείται ένταση στο φορέα καταστρώματος ή στα βάθρα.
- Η εξαιρετική απλότητα μελέτης και κατασκευής.
-

Μειονεκτήματα αυτού του τρόπου κατασκευής γεφυρών είναι^[4]:

- Οι γεωμετρικοί περιορισμοί.
- Η έλλειψη συνέχειας του φορέα καταστρώματος πάνω από τα μεσόβαθρα, που δεν επιτρέπει τη ανάπτυξη αρνητικών ροπών εκεί για τη μείωση της ροπής ανοίγματος λόγω κατακορύφων δράσεων και δημιουργεί κίνδυνο πτώσης κάποιων δοκών από τις στηρίξεις τους λόγω σεισμού. Αυτό το τελευταίο ενδεχόμενο μειώνεται με κατάλληλη επιλογή του πλάτους των βάθρων στις θέσεις έδρασης και προσθήκη «stoppers» στην εγκάρσια διεύθυνση, με σύνδεση των δοκών μεταξύ τους (με διαδοκίδα πάνω στη στηρίξη) αλλά και των διαδοχικών ανοιγμάτων (με συνεχή πλάκα καταστρώματος, κ.α).
- Το μεγάλο πλάτος βάθρων που απαιτείται κατά την εγκάρσια στον άξονα της γέφυρας διεύθυνση για την έδραση των δοκών.
- Οι αρμοί στο κατάστρωμα μεταξύ των δοκών διαδοχικών ανοιγμάτων και η όχληση που προκαλούν κατά την οδήγηση. (Το μειονέκτημα αυτό αίρεται με σκυροδέτηση συνεχούς πλάκας καταστρώματος πάνω από τους αρμούς μεταξύ των άκρων των δοκών).
- Ο χαμηλός βαθμός συνεργασίας των παράλληλων δοκών για την ανάληψη μεγάλων φορτίων κυκλοφορίας. Η συνεργασία μεταξύ των δοκών βελτιώνεται με την σύνδεσή τους με εγκάρσιες διαδοκίδες. Μια διαδοκίδα στο μέσο του ανοίγματος είναι εξίσου αποτελεσματική όσο δύο διαδοκίδες στα τρίτα, ενώ η προσθήκη διαδοκίδων στα τέταρτα του ανοίγματος δεν βελτιώνει ουσιαστικά τη συνεργασία.
- Η χαμηλή αισθητική της γέφυρας.
- Η σχετικά μεγάλη ποσότητα χάλυβα και σκυροδέματος που απαιτούν.

2.5.3 Σταδιακή δόμηση σε πρόβολο με επιτόπου σκυροδέτηση

Με την προβολοδόμηση επιτυγχάνονται μεγάλα ανοίγματα (μεγαλύτερα των 60 μέτρων). Πρόκειται ουσιαστικά για σταδιακή δόμηση σε πρόβολο από το βάθρο, με επιτόπου σκυροδέτηση σε ικρίωμα και ξυλότυπους που στηρίζονται στο άκρο του μέχρι τότε κατασκευασμένου τμήματος του ανοίγματος.

Η δόμηση γίνεται σε μικρά τμήματα (σπονδύλους), μήκους 3 έως 5m συνήθως, τα οποία κατασκευάζονται σε διάστημα λίγων ημερών το καθένα (συνήθως 1 εβδομάδα) και πακτώνονται στο ήδη κατασκευασμένο τμήμα του ανοίγματος με προένταση τενόντων πάνω πέλματος. Συνήθως η δόμηση γίνεται αμφίπλευρα και συμμετρικά από το βάθρο. Είναι όμως εφικτή και η μονόπλευρη δόμηση από ένα βάθρο, αρκεί σ' αυτό ή από την άλλη πλευρά του να υπάρχει αντίβαρο επαρκές για το βάρος του προβόλου μέχρι το μέσο του ανοίγματος όπου αυτός θα συναντήσει τον πρόβολο του άλλου μισού για να κλείσει το άνοιγμα.

Αυτός ο τρόπος κατασκευής απαιτεί σταθερή πάκτωση των προβόλων κατά την κατασκευή, τόσο στην κατακόρυφη διεύθυνση, όσο και στην οριζόντια την εγκάρσια στον άξονα της γέφυρας (έναντι οριζοντίων δυνάμεων από άνεμο ή σεισμό). Συνήθως αυτό επιτυγχάνεται με μονολιθική σύνδεση των προβόλων με τα βάθρα. Είναι βεβαίως εφικτή και η δόμηση σε πρόβολο φορέα καταστρώματος που εδράζεται στα βάθρα, αρκεί η έδραση αυτή να επιτυγχάνεται με συνδυασμό ενός αριθμού εφεδράνων και προσωρινής κατακόρυφης αγκύρωσης του φορέα στο βάθρο με καλώδια προέντασης.

Η μονολιθική σύνδεση με τα βάθρα δημιουργεί έναν πλαισιακό φορέα στη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας, κατάλληλο για την ανάληψη της σεισμικής δράσης στη διεύθυνση αυτή. Στην εγκάρσια διεύθυνση τα βάθρα λειτουργούν στο σεισμό ως κατακόρυφοι πρόβολοι, αναπτύσσοντας αρκετά μεγαλύτερη (περίπου διπλάσια) σεισμική ροπή απ' ότι στη διαμήκη διεύθυνση για την ίδια συνολική σεισμική τέμνουσα στη γέφυρα. Γι' αυτό διαμορφώνονται συνήθως με διατομή τέτοια που να παρέχει μεγαλύτερη καμπτική αντοχή στην εγκάρσια διεύθυνση απ' ότι στη διαμήκη. Συνήθως διατομή για το σκοπό αυτό είναι αυτή των διδύμων ορθογωνικών βάθρων («λεπίδων») με μεγάλη διάστασή τους στη

διεύθυνση του πλάτους της γέφυρας και σε επαρκή απόσταση μεταξύ τους κατά τον άξονα της γέφυρας ώστε να εξασφαλίζουν στη διάρκεια της κατασκευής ευστάθεια των αμφίπλευρων προβόλων. Τέτοια δίδυμα ορθογωνικά βάθρα είναι επαρκώς εύκαμπτα στη διαμήκη διεύθυνση, ώστε να μην εισάγουν υψηλή καμπτική ένταση στο φορέα καταστρώματος λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συστολής ξήρανσης.



Εικόνα 2.3: Διάφορες γέφυρες με προβολοδόμηση^[4].

Με προβολοδόμηση είναι δυνατή η κατασκευή γεφυρών με τουλάχιστον δύο (περίπου) ίσα συνεχή ανοίγματα. Για τη συνήθη περίπτωση περισσότερων από δύο συνεχών ανοιγμάτων, τα ακραία ανοίγματα (πρέπει να) έχουν μήκος τουλάχιστον 60% (του ή) των εσωτερικών. Διαφορετικά στα ακρόβαθρα πρέπει να προβλέπονται αντίβαρα ή αγκύρωση του φορέα στο βάθρο, προς αποφυγή ανύψωσης για κινητά φορτία (μόνο) στο (1ο) εσωτερικό άνοιγμα.

Για τα ανοίγματα και τις απαιτήσεις αντοχής που χαρακτηρίζουν την προβολοδόμηση, το κιβώτιο αποτελεί την ιδανική, αν όχι τη μοναδική δυνατή διατομή φορέα καταστρώματος. Μάλιστα με την προβολοδόμηση είναι εύκολη η κατασκευή κιβωτίου με ύψος που αυξάνεται προς τις στηρίξεις, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της καμπτικής αντοχής. Η αύξηση του ύψους της διατομής προς τις στηρίξεις μειώνει επίσης τις ροπές ανοίγματος και στηρίξεων, σε σχέση με αυτές μιας γέφυρας με σταθερό ύψος. Μάλιστα, η αύξηση του ύψους προς τις στηρίξεις δίνει καλλίτερο αισθητικό αποτέλεσμα, τουλάχιστον σε γέφυρες με (περίπου) ευθύγραμμο άξονα σε οριζοντιογραφία και με ίσα εσωτερικά ανοίγματα. Αν τα εσωτερικά ανοίγματα είναι άνισα, η μεταβολή του ύψους δίνει αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα μόνον αν υπάρχει ένα τμήμα σταθερού ύψους τουλάχιστον στο μεσαίο 50% του κάθε ανοίγματος, ενώ σε ακραία τμήματα με το ίδιο μήκος σ' όλα τα ανοίγματα το ύψος αυξάνεται προς τις στηρίξεις γραμμικά ή παραβολικά. Μεταβλητό ύψος διατομής δεν δίνει ικανοποιητικό αισθητικό αποτέλεσμα σε γέφυρες με έντονη καμπυλότητα σε κάτοψη και πολλές φορές ούτε όταν υπάρχουν δύο παράλληλες γέφυρες – μία για κάθε κλάδο.

Τα πλεονεκτήματα της προβολοδόμησης με επιτόπου σκυροδέτηση είναι τα εξής^[4]:

- Αποτελεί τη μόνη μέθοδο με την οποία είναι εφικτή και οικονομική η κατασκευή γεφυρών από σκυρόδεμα με άνοιγμα πάνω από 60m.
- Δεν απαιτεί πολύ ακριβό ειδικό μηχανολογικό εξοπλισμό.
- Είναι ουσιαστικά η μόνη μέθοδος με την οποία είναι εφικτή η επίτευξη ύψους διατομής που αυξάνεται προς τις στηρίξεις, προς όφελος της αντοχής και της αισθητικής της γέφυρας.

- Η μονολιθική σύνδεση με τα βάθρα είναι ευνοϊκή για την αντισεισμική συμπεριφορά και το σεισμικό σχεδιασμό της γέφυρας στη διαμήκη διεύθυνση.

Ως μειονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν^[4]:

- Η βραδεία πρόοδος των εργασιών, η οποία δεν μπορεί να επιταχυνθεί σε επίπεδο ανοίγματος ούτε σε επίπεδο γέφυρας, αν δεν χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα ζεύγη φορείων για την ταυτόχρονη κατασκευή περισσότερων ανοιγμάτων.
- Η ειδική τεχνογνωσία και οι λεπτοί χειρισμοί που απαιτούνται για την κατασκευή.
- Η απαίτηση ανάπτυξης πολύ υψηλής αντοχής σκυροδέματος σε μικρή ηλικία (δύο ημέρες).
- Η απαίτηση μεγάλου αριθμού τενόντων και αγκυρώσεων, ορισμένες από τις οποίες σε δυσχερείς θέσεις
- Η υψηλή ένταση που αναπτύσσεται στο φορέα καταστρώματος και στα βάθρα από θερμοκρασιακές μεταβολές και συστολή ξήρανσης, εξαιτίας της συνήθως μονολιθικής τους σύνδεσης.
- Η αδυναμία σεισμικής μόνωσης εξαιτίας της συνήθως μονολιθικής σύνδεσης βάθρων και φορέα καταστρώματος.

Το ύψος του κιβωτίου στο κέντρο του ανοίγματος κυμαίνεται από 1/35 έως 1/50 του ανοίγματος. Για λόγους αισθητικής, το ύψος στις στηρίξεις επιλέγεται περίπου διπλάσιο απ' ότι στο άνοιγμα αν τα βάθρα είναι υψηλά, ή τριπλάσιο αν είναι χαμηλά. Για λόγους αισθητικής αλλά και ευκολίας κατασκευής, αν το κιβώτιο έχει μεταβλητό ύψος, οι κορμοί του είναι κατακόρυφοι, όχι λοξοί. Λόγω μεγάλων ανοιγμάτων, χρειάζεται συνήθως πάχος κορμών μεγαλύτερο από 0.5m. Το πάχος της κάτω πλάκας στη στήριξη είναι συχνά μεγαλύτερο από 1m. Το κιβώτιο διαθέτει τρεις τύπους διαμήκων τενόντων προέντασης^[4]:

- “Τένοντες προβόλου”
- “Τένοντες ανοίγματος”
- “Τένοντες συνέχειας”.



Εικόνα 2.4: Τένοντες προβόλου στην πάνω πλάκα, προβολοδόμηση Γέφυρας Ισθμού (ΠΑΘΕ, Παντεχνική)^[4].

2.5.4 Γέφυρες προεντεταμένου σκυροδέματος

Οι γέφυρες προεντεταμένου σκυροδέματος αποτελούν για τα τελευταία 40 χρόνια τον πλέον συνηθισμένο τύπο γεφυρών, ιδιαίτερα για μέσα και μεγάλα ανοίγματα. Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι η εξισορρόπηση των εφελκυστικών τάσεων που προκαλούνται σε κάθε διατομή λόγω των εξωτερικών φορτίων με

ίσου ή και μεγαλύτερου μεγέθους και αντίθετης φοράς (θλιπτικές) τάσεις, που δημιουργούνται ως αντιδράσεις στον εφελκυσμό (προένταση) τενόντων (ράβδων ή συρμάτων χάλυβα). Οι τένοντες τοποθετούνται σε σωλήνα περιβολής μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, πριν ή και μετά τη σκυροδέτηση, και εξασκούν μέσω της αγκυρωσής τους στα άκρα θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα αποτρέποντας σε κάθε σημείο της διατομής του μέλους την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων (ρηγμάτωση). Οι κατασκευές προεντεταμένου σκυροδέματος απαιτούν χρήση υλικών (ράβδων / συρμάτων χάλυβα και σκυροδέματος) υψηλής αντοχής. Έτσι το προεντεταμένο σκυρόδεμα συνδέεται στενά, αλλά όχι αποκλειστικά με την έννοια της προκατασκευής, καθώς, εάν απαιτείται σκυρόδεμα πολύ υψηλής αντοχής, αυτό μπορεί να παραχθεί μόνο σε εγκαταστάσεις με πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες. Οι περισσότερες όμως γέφυρες μεσαίων ανοιγμάτων κατασκευάζονται με επιτόπου σκυροδέτηση και προεντείνονται μετά την κατασκευή τους μέσω τάνυσης των τενόντων που έχουν εγκιβωτιστεί στο σκυρόδεμα.

Στον Πίνακα 2.1 αναφέρονται οι τύποι προεντεταμένων γεφυρών που χρησιμοποιούνται ως συνάρτηση του ανοίγματος που πρόκειται να γεφυρώσουν.

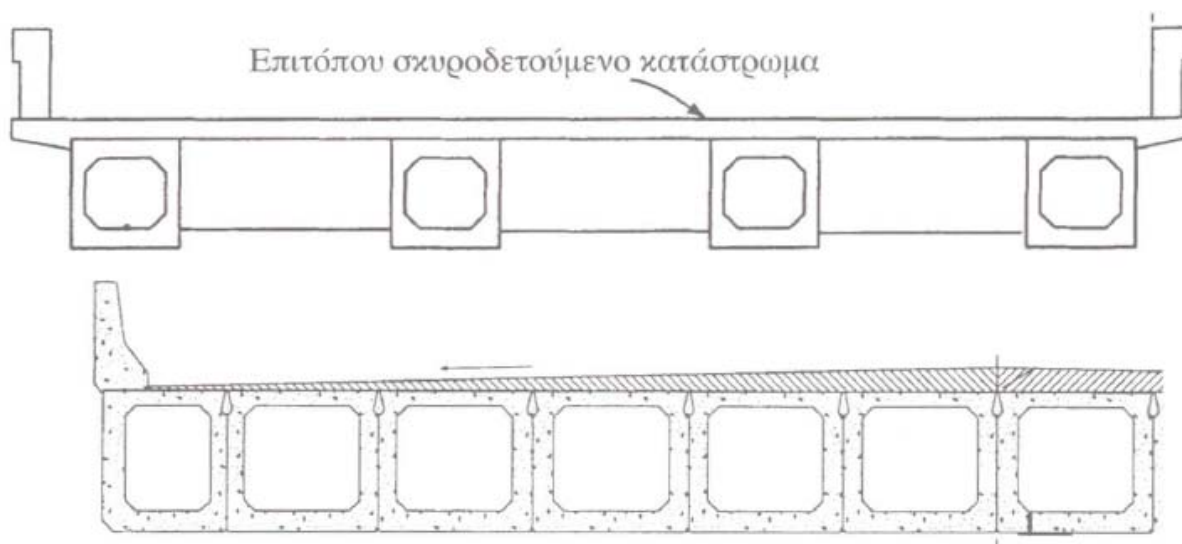
Πίνακας 2.1: Τύποι προεντεταμένων γεφυρών οπλισμένου σκυροδέματος ως συνάρτηση του προς γεφύρωση ανοίγματος^[5].

<i>Άνοιγμα (m)</i>	<i>Τύπος γέφυρας</i>
0 – 50	Γέφυρα με προεντεταμένες δοκούς I
35 – 100	Γέφυρα κιβωτιοειδούς διατομής, σκυροδετούμενης επιτόπου
35 – 100	Προκατασκευασμένη γέφυρα με διατομή σταθερού ύψους και κατασκευασμένη με προβολοδόμηση ή σταδιακή προώθηση
80 – 200	Προκατασκευασμένη γέφυρα διατομής μεταβλητού ύψους και κατασκευασμένη με προβολοδόμηση ή σταδιακή προώθηση
65 – 330	Γέφυρα σκυροδετούμενη επιτόπου με σταδιακή προώθηση
250 - 500	Καλωδιωτή γέφυρα κατασκευασμένη με προβολοδόμηση ή σταδιακή προώθηση

Ως προς το κατάστρωμα διακρίνονται δυο βασικές μορφές:

- τα καταστρώματα που αποτελούνται από προκατασκευασμένες - προεντεταμένες δοκούς μορφής I (με συμμετρικά ή ασύμμετρα πέλματα), με τις οποίες συνδέεται και στις οποίες στηρίζεται η πλάκα του καταστρώματος. Η πλάκα καταστρώματος και τα πιθανά διαφράγματα σκυροδετούνται επιτόπου.
- Τα καταστρώματα κιβωτιοειδούς διατομής ή διατομής πολλαπλών T, στα οποία εξοικονομείται η εκ των υστέρων σκυροδέτηση πλάκας καταστρώματος, αλλά απαιτείται πιο πολύπλοκος ξυλότυπος.

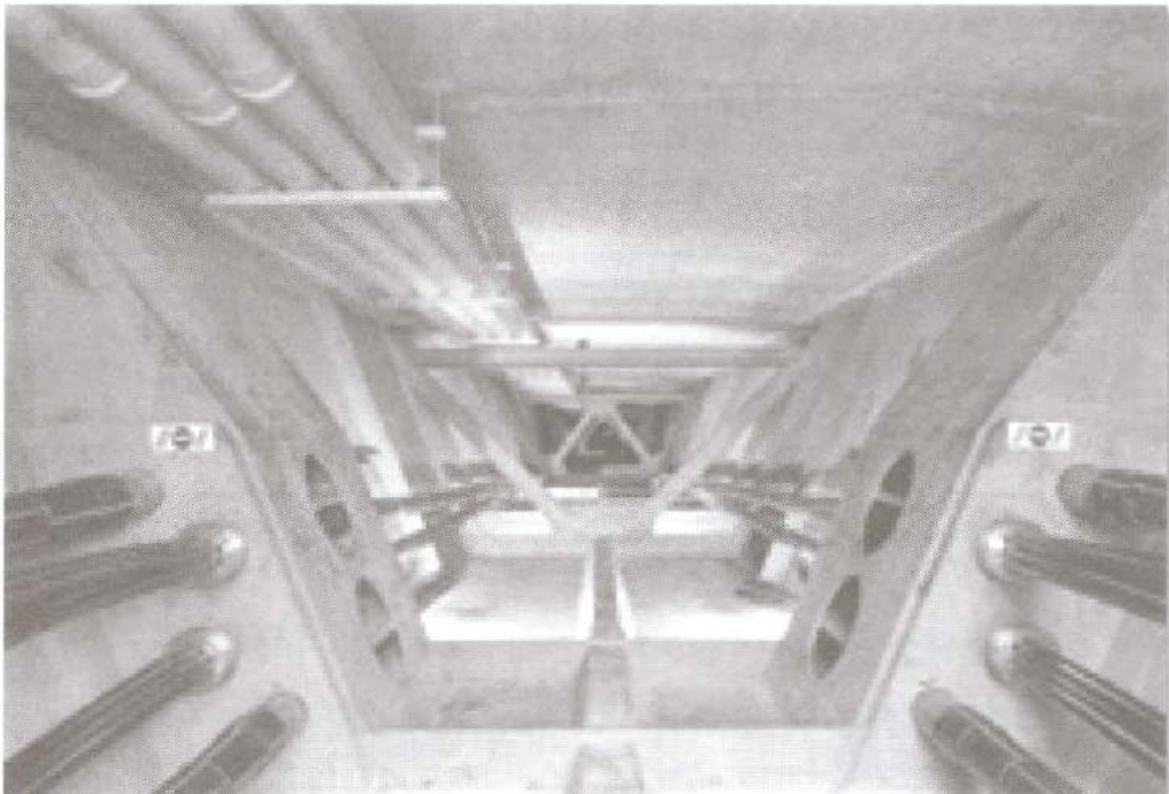
Τα πρώτα αποτελούνται από προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς μορφής ενός, δύο ή πολλών δοκών T με πλάτος άνω πέλματος 1 - 3 μέτρα/ Στο άνω πέλμα κατασκευάζονται εγκοπές μορφής V, οι οποίες, αφού πληρωθούν με μη συρρικνούμενο κονίαμα, εξυπηρετούν την εγκάρσια σύνδεση των δοκών μεταξύ τους. Για μεγαλύτερη αντοχή στην εγκάρσια στον άξονα διεύθυνση και εξασφάλιση της συνέχειας στη διεύθυνση αυτή εφαρμόζεται εγκάρσια προένταση στο ύψος των πελμάτων των δοκών. Τα καταστρώματα της δεύτερης κατηγορίας χρησιμοποιούνται είτε στη μορφή των πολλών ανεξάρτητων κυψελών (με τοποθέτηση αναμονών για τη σύνδεσή τους με την επιτόπου σκυροδετούμενη πλάκα του καταστρώματος) είτε στη μορφή ενοποιημένων κυψελών (Σχήμα 2.16). Ο τύπος των ενοποιημένων κυψελών πλεονεκτεί λόγω μικρού συνολικού ύψους και επειδή δίνει τη δυνατότητα κατασκευής του επιθυμητού πλάτους καταστρώματος χωρίς να απαιτείται η σκυροδέτηση πλάκας καταστρώματος (το ρόλο αυτό παίζουν τα συνεχή άνω πέλματα των κυψελών).



Σχήμα 2.16: Πολυκυψελικές διατομές καταστρώματος προεντεταμένων γεφυρών^[5].

Επειδή η δημιουργία εφελκυστικών τάσεων σε οποιοδήποτε σημείο του φορέα είναι συνάρτηση των εξωτερικών φορτίων και της κατανομής τους πάνω στη γέφυρα, για να είναι αποτελεσματική η προένταση, πρέπει η θέση εφαρμογής της δύναμης προέντασης να μεταβάλλεται σε κάθε διατομή σε τρόπο ώστε να αναιρεί τις εφελκυστικές τάσεις. Αυτό σημαίνει δυνατότητα τοποθέτησης του σωλήνα περιβολής και των τενόντων σε καμπύλο άξονα καθ' ύψος της διατομής. Μετά την προένταση οι τένοντες αγκυρώνονται στα άκρα τους, ενώ οι σωλήνες που περιβάλλουν τους τένοντες πληρούνται με τσιμεντένεμα για προστασία του τένοντα από τη διάβρωση και εξασφάλιση μονολιθικής συμπεριφοράς με το περιβάλλον σκυρόδεμα.

Τα τελευταία χρόνια έχει εφαρμοστεί προένταση σε γέφυρες με τοποθέτηση των τενόντων προέντασης εκτός της σκυροδετούμενης διατομής όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5. Παρότι η ιδέα αυτή δεν είναι καινούρια (ο μηχανικός Franz Dischinger είχε κατοχυρώσει πατέντα για την εξωτερική προένταση από την δεκαετία του 1930), δε γνώρισε επιτυχία στις πρώτες εφαρμογές της λόγω της διάβρωσης που υφίσταντο οι τένοντες, ιδιαίτερα όσοι αφήνονταν χωρίς καμία προστασία όπως βαφή κ.α.

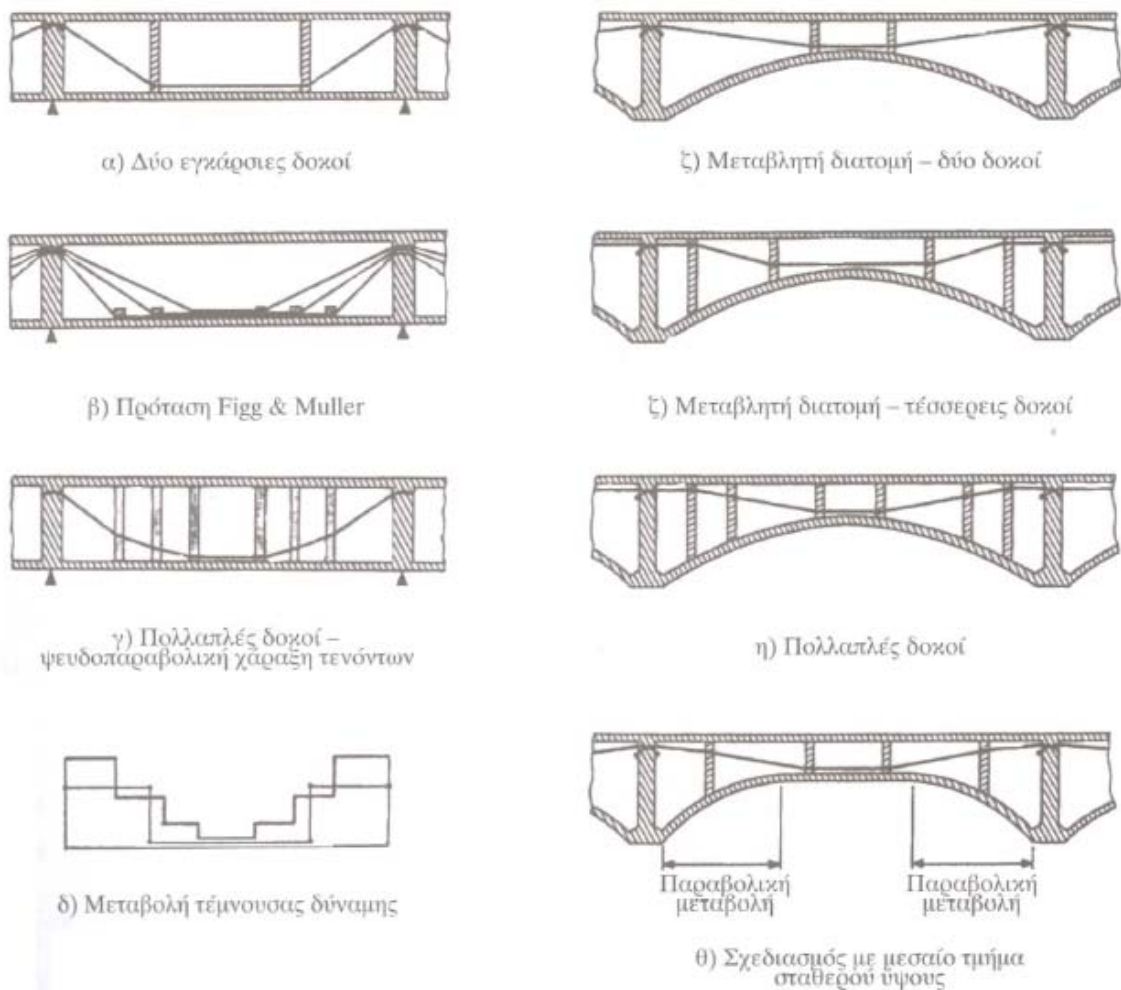


Εικόνα 2.5: Εξωτερική προένταση^[5].

Με την εξέλιξη προστατευτικών συστημάτων για τους τένοντες η ιδέα της εξωτερικής προέντασης επανήλθε στο τέλος της δεκαετίας του 1970 και μάλιστα χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την ενίσχυση παλαιότερων γεφυρών με σκοπό την αναβάθμισή τους από πλευράς αντοχής. Κατά την εξωτερική προένταση οι τένοντες αγκυρώνονται στα άκρα, όπως και στην κλασική προένταση, και εκτός του ότι τοποθετούνται εκτός σκυροδέματος διαφέρουν και στο ότι η εκτροπή τους δε γίνεται βαθμιαία (καμπύλη χάραξη) αλλά τοπικά σε διάφορα σημεία κατά μήκος τους. Κατασκευαστικά οι τένοντες αγκυρώνονται στα άκρα, όπως και στην περίπτωση της κλασικής προέντασης. Στο σχεδιασμό των τενόντων της εξωτερικής προέντασης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο το πρόβλημα της κατανομής των δυνάμεων στις θέσεις αγκύρωσης όσο και αυτό των έντονων διατμητικών δυνάμεων και της τοπικής κάμψης στην προεξοχή στην οποία αυτοί αγκυρώνονται. Η λύση που υιοθετείται είναι η αγκύρωση να γίνεται σε ογκώδη στοιχεία και κυρίως σε υπάρχοντα μέλη, όπως τα εγκάρσια διαφράγματα στα βάθρα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.17. Στις γέφυρες με διατομή σταθερού ύψους αρχικά τοποθετούνταν δύο εγκάρσιες δοκοί (τοποθετημένες στα τρίτα του ανοίγματος) για την εκτροπή των τενόντων. Ο βέλτιστος, από πλευράς τεμνουσών δυνάμεων, σχεδιασμός για τη βαθμιαία μείωση των διατμητικών δυνάμεων συνίσταται είτε στην ακτινική ανάπτυξη των τενόντων από τις εγκάρσιες δοκούς πάνω στα βάθρα προς το άνοιγμα είτε με εκτροπή των τενόντων μέσω πολλαπλών εγκάρσιων δοκών. Η εικόνα διαφοροποιείται στις κιβωτιοειδείς διατομές μεταβλητού ύψους: οι εγκάρσιες δοκοί εκτροπής βρίσκονται πολύ κοντά στο μέσο και η μείωση των διατμητικών δυνάμεων είναι μικρή. Η συμπεριφορά βελτιώνεται με προσθήκη περισσότερων δοκών εκτροπής πλησιέστερα προς το κέντρο παρά προς τις στηρίξεις, αφού εκεί ή διατομή έχει μεγαλύτερο ύψος. Καλύτερη λύση όμως θεωρείται η κατάλληλη μεταβολή του ύψους της διατομής: παραβολική μεταβολή του ύψους στο ακραίο 20 - 25% του ανοίγματος και σταθερό ύψος στο κεντρικό τμήμα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της εξωτερικής προέντασης είναι^[45]:

- η ευκολία επιθεώρησης,
- η απλοποίηση της γεωμετρικής χάραξης του τένοντα κατά μήκος της γέφυρας,
- η σημαντική μείωση των απωλειών δύναμης προέντασης (προερχόμενων από την τριβή του τένοντα στα τοιχώματα του σωλήνα περιβολής),
- η βελτίωση των συνθηκών σκυροδέτησης,
- η αποφυγή εξόδου των σωλήνων τσιμεντένεσης στην πλάκα του καταστρώματος,
- η δυνατότητα αντικατάστασης του τένοντα (λόγω διάβρωσης ή λόγω ανάγκης αύξησης της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής),
- η μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής.



Σχήμα 2.17: Διευθέτηση τενόντων εξωτερικής προέντασης^[5].

Αν και πολύ οικονομική λύση, η εξωτερική προένταση παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα της προέντασης. Η χάραξη των τενόντων παρουσιάζει έντονες αποκλίσεις στα σημεία εκτροπής, οι αγκυρώσεις στους κορμούς των κιβωτιοειδών διατομών παρουσιάζουν πρακτικά προβλήματα και τα διαφράγματα στα ακρόβαθρα πρέπει να είναι ογκώδη για να παραλάβουν τις συγκεντρωμένες δυνάμεις στα άκρα οι οποίες είναι σημαντικού μεγέθους.

2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΦΥΡΩΝ

2.6.1 Παραδοσιακές μέθοδοι

Ο υπολογισμός γεφυρών συνίσταται στον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών που καταπονούν την πλάκα καταστρώματος, τις δοκούς στήριξης του καταστρώματος (εάν υπάρχουν) καθώς και τα βάθρα της γέφυρας. Ο καθορισμός των εντατικών μεγεθών αποσκοπεί στον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού στα διάφορα δομικά μέρη της γέφυρας.

Η πλάκα καταστρώματος λειτουργεί σε κάμψη κατά βάση σε μία διεύθυνση, κατά το πλάτος της γέφυρας και κάθετα στις δοκούς. Οι παραδοσιακές μέθοδοι υπολογισμού της καμπτικής έντασης της πλάκας καταστρώματος για τη διαστασιολόγηση των οπλισμών της είναι οι παρακάτω^[4]:

- η μέθοδος της στερεάς διαδοκίδας (ή μέθοδος Courbon), η οποία αποτελεί ένα καλό προσεγγιστικό εργαλείο για την κατανόηση της βασικής συμπεριφοράς μιας γέφυρας από παράλληλες δοκούς (και διαδοκίδες) και για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της έντασης των δοκών στα πλαίσια της προμελέτης (για έναν πρώτο καθορισμό των απαιτούμενων διαστάσεων των δοκών). Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά συνίσταται στην εγκάρσια κατανομή φορτίων στις κύριες δοκούς γεφυρών με μορφή εσχάρα δοκών και διαδοκίδων κατά μία προσεγγιστική διαδικασία. Η μέθοδος αυτή δίνει συντηρητικά αποτελέσματα για τις ακραίες δοκούς και ενδεχομένως μη συντηρητικά αποτελέσματα για τις δοκούς που βρίσκονται κοντά στον άξονα της γέφυρας.
- η μέθοδος Ruesch, η οποία χρησιμοποιεί τους ομώνυμους πίνακες και αποτελεί ένα παλιό αλλά πολύ απλό και καλό εργαλείο το οποίο προσφέρει ικανοποιητική ακρίβεια στα πλαίσια του πεδίου εφαρμογής του. Οι Πίνακες Ruesch δίνουν συντελεστές για τον υπολογισμό της ροπής κάμψης στα χαρακτηριστικά σημεία της πλάκας όπου διαστασιολογούνται οι οπλισμοί. Οι Πίνακες Ruesch καλύπτουν πλακογέφυρες ενός ανοίγματος, μορφής παραλληλογράμμου σε κάτοψη, ορθογωνίου ή όχι («ορθές» και «λοξές» γέφυρες). Η στήριξη είναι σε δύο απέναντι πλευρές (οι άλλες δύο είναι ελεύθερες), με έδραση ή πάκτωση στα ακρόβαθρα. Παράμετροι των Πινάκων είναι ο λόγος των πλευρών της πλάκας σε κάτοψη, I_y/I_x , και για λοξές πλάκες η γωνία λοξότητας, φ , του άξονα ως προς την κάθετο στα βάθρα.

2.6.2 Σύγχρονες μέθοδοι με χρήση H/Y

Ο σύγχρονος τρόπος υπολογισμού και διαστασιολόγησης γεφυρών περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με τη μέθοδο αυτή, η πλάκα του καταστρώματος και οι δοκοί που τη στηρίζουν προσομοιώνονται με *πεπερασμένα στοιχεία* τύπου πλάκας οπότε διαμορφώνεται ένα προσομοίωμα (μοντέλο) που αποδίδει ικανοποιητικά όλες τις βασικές μηχανικές ιδιότητες της κατασκευής^[13]. Στη συνέχεια η κατασκευή αναλύεται για τους συνδυασμούς φόρτισης που ορίζουν οι κανονισμοί, και το λογισμικό του H/Y υπολογίζει τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη. Ο μελετητής – μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να ελέγξει αυτοτελώς την ορθότητα των αποτελεσμάτων με βάση την επιστημονική του εκτίμηση.

Η μέθοδος αυτή υπολογισμού γεφυρών είναι κοπιώδης, χρειάζεται προσοχή στην προσομοίωση και εμπειρία και φυσικά απαιτεί την χρήση κατάλληλου ειδικού προγράμματος ανάλυσης και υπολογισμού κατασκευών. Ο H/Y είναι ικανός να εκτελέσει με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα αριθμητικές πράξεις και να δώσει αποτελέσματα. Η μέθοδος όμως αυτή υπόκειται και σε σφάλματα, τα οποία δεν οφείλονται κατά κανόνα στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του υπολογιστή αλλά στον ανθρώπινο παράγοντα που υπεισέρχεται στη

διαδικασία ανάλυσης της κατασκευής και έχει το ρόλο είτε του συντάκτη του προγράμματος είτε του χρήστη^[13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

3.1 ΟΛΥΜΠΙΑ ΟΔΟΣ

Η Ολυμπία Οδός, (ο οδικός άξονας Ελευσίνα - Κόρινθος - Πάτρα - Πύργος - Τσακώνα) αποτελεί το μεγαλύτερο συγχρηματοδοτούμενο έργο της Ελλάδος. Πρόκειται για έναν σύγχρονο και άνετο αυτοκινητόδρομο, συνολικού μήκους 365,4 χλμ, ο οποίος θα δημιουργήσει μια πιο άμεση και ασφαλή σύνδεση μεταξύ της Ελευσίνας και της Τσακώνας Μεσσηνίας και θα συμβάλει στη βελτίωση της γενικότερης κινητικότητας στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ελλάδας, μειώνοντας κυρίως το χρόνο ταξιδιού και καθιστώντας πιο εύκολες τις επιχειρηματικές δραστηριότητες στις περιφέρειες Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας. Από τα 365,4 χλμ του έργου, τα 283,7 χλμ κατασκευάζονται από την αρχή, ενώ τα υπόλοιπα 81,7 χλμ βελτιώνονται και αναβαθμίζονται.



Σχήμα 3.1: Χάρη της Ολυμπίας οδού στο χάρτη της Ελλάδας^[9].

Η σύμβαση παραχώρησης της Ολυμπίας Οδού υπογράφηκε στις 4 Αυγούστου 2008. Τα οφέλη από την κατασκευή και λειτουργία αυτού του σημαντικού έργου υποδομής κρίνεται ότι θα είναι πολλά, και συνοψίζονται παρακάτω^[1]:

▪ **Οδική Ασφάλεια**

Σήμερα, ο δρόμος που συνδέει την Κόρινθο με την Πάτρα και τον Πύργο θεωρείται από τους πιο επικίνδυνους δρόμους στην Ελλάδα. Η Ολυμπία Οδός θα είναι ασφαλέστερη γιατί δεν θα υπάρχουν επικίνδυνες διασταυρώσεις με άλλους δρόμους, τα δυο ρεύματα κυκλοφορίας των οχημάτων θα διαχωρίζονται με μπάρες ασφαλείας, που μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο

μετωπικών συγκρούσεων και επίσης θα εφαρμόζονται και θα τηρούνται οι περιορισμοί στην κίνηση οχημάτων όπως βαριά αγροτικά μηχανήματα. Στην Ολυμπία Οδό θα εφαρμόζεται επίσης σύστημα περιπολιών και ανίχνευσης ατυχημάτων σε 24ωρη βάση

▪ **Εξοικονόμηση χρόνου**

Με την ολοκλήρωση της Ολυμπίας Οδού, οι οδηγοί θα απολαμβάνουν συντομότερα και πιο ασφαλή ταξίδια. Η εξοικονόμηση χρόνου είναι σημαντική και υπολογίζεται ανά διαδρομή ως εξής:

Κόρινθος – Πάτρα: περίπου 20% (15 λεπτά συντομότερο ταξίδι)

Πάτρα - Πύργος: περίπου 30% (15 λεπτά συντομότερο ταξίδι)

Πύργος - Τσακώνα: περίπου 40% (30 λεπτά συντομότερο ταξίδι)

▪ **Οικονομική ανάπτυξη και ευκαιρίες απασχόλησης**

Η ολοκλήρωση της Ολυμπίας Οδού αναμένεται να τονώσει σημαντικά την οικονομική και τουριστική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής της Πελοποννήσου. Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου θα ωφεληθούν από τις σύγχρονες συνθήκες πρόσβασης, μεταφορών και αναβάθμισης της περιοχής. Επίσης, ο τουρισμός θα λάβει άνθηση καθώς ο νέος αυτοκινητόδρομος παρέχει ευκολότερη πρόσβαση στα σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος. Επιπροσθέτως, το έργο δημιουργεί ευκαιρίες απασχόλησης για τον πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής, τόσο κατά τη διάρκεια των 6 ετών που απαιτούνται για την κατασκευή του όσο και στη συνέχεια, κατά τη λειτουργία του.

▪ **Αναβάθμιση του περιβάλλοντος**

Μέσω των έργων της Ολυμπίας Οδού, οι υδάτινοι πόροι προστατεύονται αποτελεσματικότερα και βελτιώνεται η ποιότητά τους. Επίσης, λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση του θορύβου και την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής μόλυνσης και προστατεύεται η πανίδα του τόπου με την κατασκευή φραγμάτων και διόδων για τα ζώα.

3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

Την 28/04/10 η εταιρία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., μετά από εντολή της αναδόχου εταιρίας Ακτωρ Α.Τ.Ε, πραγματοποίησε την κατεδάφιση με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών του δεξιού Κλάδου της γέφυρας Λαδοποτάμου, στον Κόμβο Διακοφτού – Καλαβρύτων, διαδρομής από Κόρινθο προς Πάτρα. Ο σχεδιασμός του Έργου «Αυτοκινητόδρομος ΕΛΕΥΣΙΝΑ – ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΠΑΤΡΑ – ΠΥΡΓΟΣ – ΤΣΑΚΩΝΑ» έθετε ως βασική προϋπόθεση την καθαίρεση της εν λόγω γέφυρας και αντικατάσταση της από μια νέα, σύγχρονη γέφυρα η οποία θα καλύπτει τις αυστηρές προδιαγραφές του νέου Αυτοκινητόδρομου. Η οδική γέφυρα του ποταμού Λαδοποτάμου, που βρίσκεται στο Χ.Θ 71+150 της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών, είχε κατασκευαστεί στη δεκαετία 1970. Είχε μήκος 100 m και μέγιστο ύψος περίπου 20 m. Δύο μεσόβαθρα που αποτελούνταν το καθένα από δύο βαριά υποστυλώματα, ήταν υπεύθυνα για την στήριξη της γέφυρας. Λόγω του μεγάλου ύψους της αλλά και της απαίτησης για ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής της κυκλοφορίας στην Εθνική Οδό, η μέθοδος κατεδάφισης με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών θεωρήθηκε η άριστη επιλογή.

Η γέφυρα ήταν δίδυμη και ο Αριστερός Κλάδος, διαδρομής από Πάτρα προς Κόρινθο, θα έπρεπε να παραμείνει άθικτος, αν και ήταν σε επαφή με τον δεξιό Κλάδο της κατεδάφισης (ένας αρμός λίγων εκατοστών χώριζε το κατάστρωμα – φορέα των δύο γεφυρών). Όλη η κυκλοφορία του Αυτοκινητόδρομου, είχε εκτραπεί στη γέφυρα του Αριστερού Κλάδου, μέχρι την κατασκευή της νέας γέφυρας.

Η γέφυρα που επρόκειτο να καθαιρεθεί ήταν εξ ολοκλήρου από οπλισμένο σκυρόδεμα με προένταση στο φορέα. Είχε δύο μεσόβαθρα – υποστυλώματα, δύο ακρόβαθρα και τον φορέα του καταστρώματος. Το κάθε μεσόβαθρο αποτελείται από δύο ορθογωνικές κολώνες – υποστυλώματα και μια συνδετήρια ορθογωνική δοκό στην κορυφή τους. Η κατεδάφιση έγινε στα μεσόβαθρα έως το επίπεδο του υπάρχοντος δρόμου κάτω από το δυτικό τμήμα της Γέφυρας και στο φορέα – κατάστρωμα του δεξιού κλάδου. Σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, τα παρακάτω στοιχεία ελήφθησαν υπ’ όψει, τόσο στο σχεδιασμό της κατεδάφισης και εφαρμογής των εκρηκτικών, όσο και στα προτεινόμενα μέτρα ασφαλείας^[2]:

- Το κατάστρωμα και οι κυκλοφοριακές συνθήκες της Εθνικής Οδού (Ν.Ε.Ο.) Κορίνθου - Πατρών.
- Η γειτονική Γέφυρα του Αριστερού Κλάδου και ο σχετικός Κόμβος της Ν.Ε.Ο.
- Τα πλησιέστερα κτίσματα κυρίως στη Βόρεια πλευρά της Γέφυρας (σε αποστάσεις πάνω από 150 – 200 m).
- Με βάση τις επιτόπου πληροφορίες και τα στοιχεία που χορηγήθηκαν από τους Τεχνικούς της ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε., δεν υπάρχουν σε λειτουργία δίκτυα στο χώρο της πτώσης, ή κοντά σε αυτόν, πέραν των δικτύων της ευρύτερης περιοχής.

Η μέθοδος που προτάθηκε και έγινε αποδεκτή ήταν η κατεδάφιση με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών υλών. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής αποσκοπούσε αποκλειστικά στην κατεδάφιση της κατασκευής και όχι στον δευτερογενή τεμαχισμό τμημάτων της. Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής όλη η κατασκευή θα επρόκειτο να κατεδαφιστεί με ελεγχόμενο τρόπο, κατακόρυφα, περίπου στο περίγραμμα της κάτοψής της. Θα χρειαζόταν δευτερογενής τεμαχισμός - θραύση των τμημάτων που θα προκύψουν (κυρίως από τον φορέα), έτσι ώστε να διευκολυνθεί η αποκομιδή των υλικών. Αναμένονταν ορισμένα τμήματα να σπάσουν μερικώς (ή πλήρως, τοπικά) κατά την πτώση στο έδαφος και την χαλάρωση – αποτόνωση του συστήματος προέντασης..

Στις εργασίες προετοιμασίας της κατασκευής για την κατεδάφιση περιλαμβάνονταν^[2]:

- Απομάκρυνση των μεταλλικών στηθαίων – κιγκλιδωμάτων που υπήρχαν στις δύο πλευρές του φορέα του δεξιού κλάδου
- Κοπή – αφαίρεση του πεζοδρομίου
- Διερεύνηση και εξασφάλιση ότι ο φορέας της γέφυρας είναι ελεύθερος από τη πλευρά των δύο ακροβάθρων, έτσι που η κίνηση του κατά την κατεδάφιση να είναι όσο το δυνατόν ανεμπόδιστη.
- Τοπική κοπή σιδηρού οπλισμού στο τμήμα του κάθε υποστυλώματος – κολώνας του μεσόβαθρου όπου βρίσκονται τα διατρήματα – γομώσεις, πριν την τοποθέτηση της προστατευτικής κάλυψης στα τέσσερα υποστυλώματα και αφού ολοκληρωθεί η κίνηση μηχανημάτων πάνω στον φορέα, για να διευκολυνθεί η αποτελεσματική θραύση των μεσόβαθρων και να εξελιχθεί ανεμπόδιστα η πτώση του φορέα.

Ο κύριος μηχανικός εξοπλισμός που έπρεπε να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί στο Έργο για την προετοιμασία – ολοκλήρωση της κατεδάφισης, είναι^[2]:

- Διατρητικό μηχάνημα.
- Αεροσυμπιεστής με φορητές – ατομικές αερόσφυρες.
- Ερπυστριοφόρος υδραυλικός εκσκαφέας με δυνατότητα προσαρμογής υδραυλικής σφύρας.
- Ελαστιχοφόρος υδραυλικός εκσκαφέας, με υδραυλική σφύρα.
- Ελαστιχοφόρος φορτωτής.
- Ανυψούμενη πλατφόρμα ή ανάλογο όχημα ή γερανός.

Η βασική διάτρηση στο κάθε μεσόβαθρο έγινε από την εσωτερική πλευρά του κάθε υποστυλώματος (κολώνας). Έχει μεγάλη σημασία η σωστή - ακριβής διάτρηση των τμημάτων της κατασκευής, έτσι ώστε:

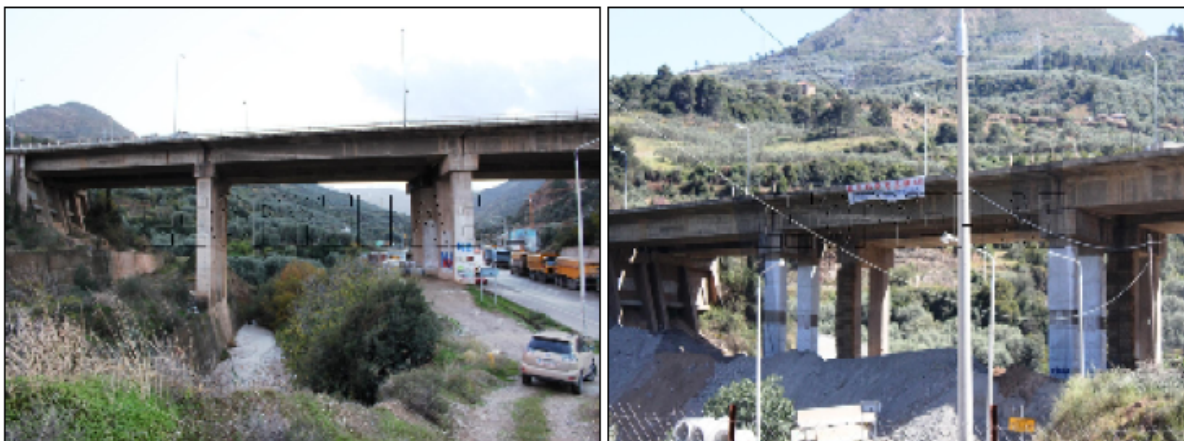
- να μην δημιουργείται απόκλιση στα διατρήματα, κυρίως εξ αιτίας του σιδηρού οπλισμού
- να είναι απολύτως παράλληλα προς την Ανατολική και Δυτική πλευρά του κάθε υποστυλώματος
- το βάθος τους, να είναι αυτό ακριβώς που επιβάλλεται και όπως προβλέπεται στο σχεδιασμό.

Επίσης προβλεπόταν σε ορισμένες θέσεις, να γίνουν διερευνητικές τομές (με κρουστική φορητή αερόσφουρα ή την υδραυλική βραχοσφύρα), πριν την έναρξη της διάτρησης, με μερική τοπική αποκάλυψη του σιδηρού οπλισμού και ακριβή εντοπισμό των τμημάτων (έστω ορισμένων μόνον), που προορίζονται να φέρουν τις γομώσεις. Αποτύπωση με ειδική συσκευή (scanner) εντοπισμού, θα διευκόλυνε προς τον ίδιο σκοπό.

Η διαδικασία της κατεδάφισης διήρκησε μόλις μερικά δευτερόλεπτα, αφού πρώτα είχε προηγηθεί η προετοιμασία της γέφυρας και του περιβάλλοντος χώρου. Η κυκλοφορία στην Νέα Εθνική Οδό διακόπηκε για λιγότερο από μια ώρα, ενώ με την βοήθεια των κυκλοφοριακών ρυθμίσεων μέσω της Παλαιάς Εθνικής Οδού, η ταλαιπωρία των οδηγών ήταν ελάχιστη. Η εταιρία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. επίσης ανέλαβε την εφαρμογή του προγράμματος ελέγχου των δονήσεων που προκλήθηκαν από την κατεδάφιση. Η επεξεργασία των καταγραφικών δεδομένων ενός δικτύου τεσσάρων ψηφιακών δονησιογράφων, έδειξε ότι οι δονήσεις που αντλήθηκε η γέφυρα του Αριστερού Κλάδου, κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα. Το ίδιο συνέβη και στις κοντινότερες κατασκευές - κατοικίες, στις οποίες σχεδόν δεν έγιναν αντιληπτές οι δονήσεις που προκάλεσε η κατεδάφιση. Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται τα στάδια της κατεδάφισης.



Εικόνα 3.1: Ανατολικά μεσόβαθρα των δύο κλάδων της Γέφυρας του Λαδοποτάμου (αριστερά) και εργασίες γόμωσης (δεξιά) ^[2].



Εικόνα 3.2: Βόρεια όψη του δεξιού Κλάδου της Γέφυρας λίγο πριν την κατεδάφιση^[2].



Εικόνα 3.3: Κατεδάφιση της Γέφυρας^[2].



Εικόνα 3.4: Αμέσως μετά την κατεδάφιση της Γέφυρας (αριστερά) και εκτροπή κυκλοφορίας στον παραμένοντα αριστερό κλάδο (δεξιά)^[2].

3.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

Η στατική μελέτη της Γέφυρας Β269 του ποταμού Λαδοποτάμου διενεργήθηκε από την εταιρεία Τ. Τσιγκιάς και Συνεργάτες ΑΕΜΤΕ. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην ενότητα της παρούσης εργασίας προέρχονται από τη τεχνική έκθεση της μελετητικής εταιρείας η οποία συνοδεύει τα τεύχη υπολογισμών και τα σχέδια της στατικής προμελέτης της γέφυρας με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Η στατική αυτή μελέτη βασίζεται στα παρακάτω δεδομένα:

- Τοπογραφική Αποτύπωση της περιοχής καθώς και γεωμετρική περιγραφή των γειτονικών υφιστάμενων κατασκευών που ενδέχεται να επηρεάζουν το σχεδιασμό και τις εργασίες κατασκευής του έργου.
- Δεδομένα από τη μελέτη οδοποιίας (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, διάγραμμα επικλίσεων κτλ.), όλων των οδών που εμπλέκονται στο σχεδιασμό και στις εργασίες κατασκευής του έργου, καθώς επίσης και διαστάσεις και λεπτομέρειες των τυπικών διατομών του καταστρώματος (συμπεριλαμβανομένων πεζοδρομίων, στηθαίων ασφαλείας κτλ.).
- Δεδομένα υδραυλικής μελέτης (συμπεριλαμβανομένων του απαιτούμενου υδραυλικού ανοίγματος και κατ' επέκταση του ανοίγματος και του μήκους της γέφυρας, της οριζοντιογραφικής και μηκοτομικής χάραξης των προβλεπόμενων τεχνικών έργων διευθέτησης ή εκτροπής ρέματος ή ποταμού που επηρεάζουν το σχεδιασμό και τις εργασίες κατασκευής του έργου, τις χαρακτηριστικές διατομές των έργων αυτών, του είδους και της γεωμετρίας των μέτρων προστασίας από διάβρωση του εδάφους, της ανώτατης στάθμης ύδατος, του βάθους υποσκαφής, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών οποιωνδήποτε αγωγών διέρχονται κάτω από το έργο, της αποχέτευσης καταστρώματος όλων των οδών που εμπλέκονται στο σχεδιασμό και στις εργασίες κατασκευής του έργου κτλ.).
- Δεδομένα από τη γεωτεχνική μελέτη (συμπεριλαμβανομένων των φερουσών ικανοτήτων και καθιζήσεων των συγκεκριμένων στοιχείων θεμελίωσης (βαθιών ή ρηχών) του έργου, των επιτρεπόμενων κλίσεων πρανών για προσωρινές και μόνιμες εκσκαφές, των τιμών των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στη μελέτη για την προσομοίωση της εδαφικής ευκαμψίας, της κατάταξης του εδάφους για σεισμική κατηγοριοποίηση κτλ.).

3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η γέφυρα B269 εξασφαλίζει τη διέλευση του ενιαίου κλάδου αυτοκινητοδρόμου υπεράνω του ποταμού Λαδοπόταμου καθώς και των τοπικών οδών του παρακείμενου κόμβου Καλαβρύτων. Αποτελείται από δύο κλάδους διαφορετικού πλάτους. Ο αριστερός κλάδος που εξυπηρετεί την κυκλοφορία από Πάτρα προς Κόρινθο εκτείνεται από την Χ.Θ. 071+050.00 μέχρι την Χ.Θ. 071+180.00 (θέσεις αξόνων ακραίων εδράσεων). Ο έτερος κλάδος εκτείνεται από την Χ.Θ. 071+056.00 έως την Χ.Θ. 071+180.00. Οριζοντιογραφικά ο άξονας της γέφυρας βρίσκεται σε ευθυγραμμία., ενώ σε μηκοτομή, ο άξονας της γέφυρας βρίσκεται σε κατωφέρεια με καθοδική κλίση πολυγωνικής 3.616%.

Η διατομή της γέφυρας B269 του αυτοκινητόδρομου έχει συνολικό πλάτος 30.23m από τα οποία τα 25.65m (12.20m ο δεξιός κλάδος και 13.45m ο αριστερός) καταλαμβάνονται από τα οδοστρώματα των δύο κλάδων, τα 2*1.25m από τα πεζοδρόμια στις εξωτερικές οριογραμμές (πάνω στα οποία τοποθετούνται στηθαία STE-1), τα 2*0.53m από τα εσωτερικά στηθαία ασφαλείας SG-9 και το 1.02m από την καθαρή απόσταση μεταξύ των δύο κλάδων.

Για το οδόστρωμα προβλέπονται ασφαλικές στρώσεις οδοστρώματος ελάχιστου συνολικού πάχους 0.10m. Για τη στεγάνωση του καταστρώματος προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί στεγανωτική μεμβράνη. Όσον αφορά στις πλευρικές διαμορφώσεις, κατά μήκος αμφοτέρων των εξωτερικών (μόνο) άκρων του οδοστρώματος προβλέπεται διαμόρφωση κρασπέδου πεζοδρομίου πλάτους 1.25m με ύψος ρείθρου 0.18 m (πάνω από την επιφάνεια κύλισης) και επίκλιση 4% (καθοδική προς το εσωτερικό του καταστρώματος).

Επί των πεζοδρομίων στα άκρα της διατομής του καταστρώματος προβλέπεται τοποθέτηση στηθαίου τύπου STE-1 σύμφωνα με τον Κανονισμό Μελετών Ερευνών (ΚΜΕ) §1.15.2.2.1.(1).d. Στις εσωτερικές πλευρές του καταστρώματος των δύο κλάδων, τοποθετούνται στηθαία ασφαλείας τύπου SG9.

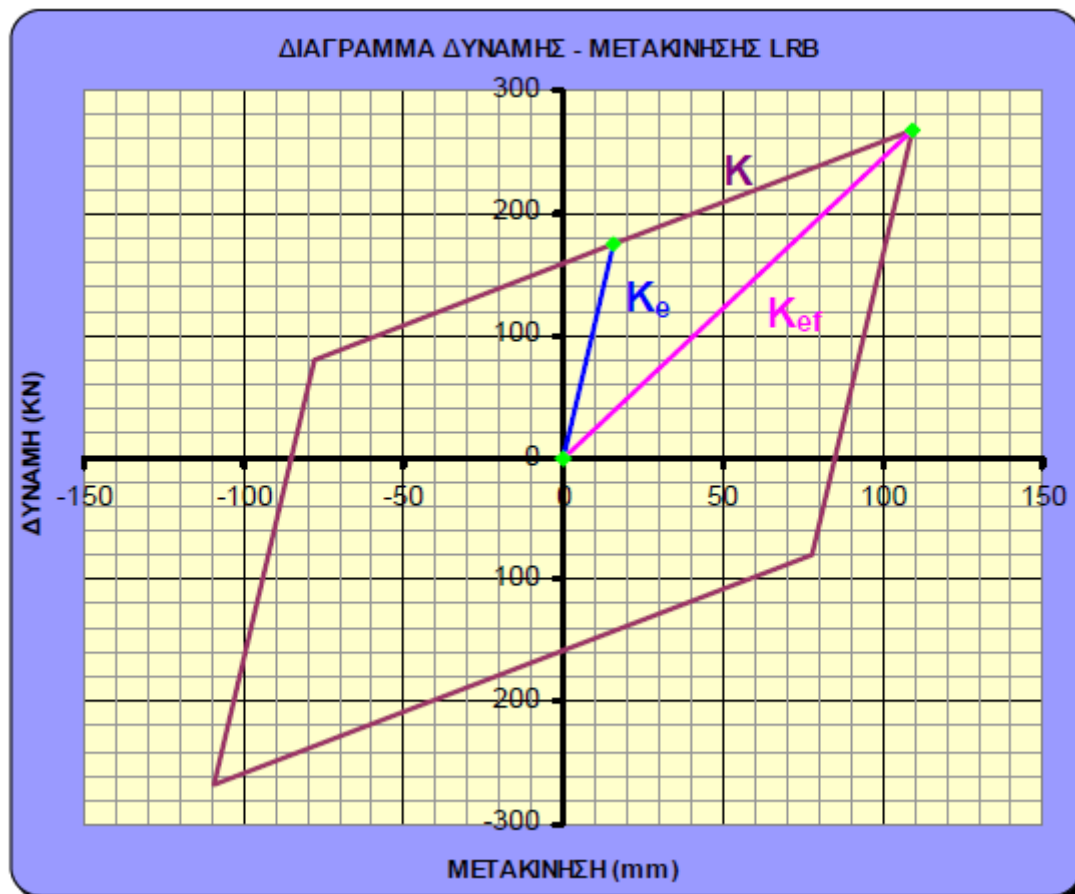
3.5 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Στην ενότητα αυτή δίνονται στοιχεία και λεπτομέρειες για τα στοιχεία που συνθέτουν την κατασκευή της γέφυρας. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στον ο φορέα της ανωδομής, τα βάθρα και τη θεμελίωση όπως επίσης και τα υλικά κατασκευής της γέφυρας.

3.5.1 Φορέας Ανωδομής

Για καθέναν από τους δύο κλάδους της γέφυρας η ανωδομή αποτελείται από δύο αμφιέριστες δοκούς κιβωτοειδούς διατομής. Ο αριστερός κλάδος της γέφυρας έχει διατομή πλάτους 14.75m και θεωρητικό άνοιγμα κάθε δοκού (από έδραση σε έδραση) 65m. Ο δεξιός κλάδος έχει κατά 1.25m μικρότερο πλάτος και το αντίστοιχο άνοιγμα κάθε δοκού είναι 62m. Ο γεωμετρικός σχεδιασμός των κιβωτίων κάθε κλάδου έγινε ούτως ώστε η μια διατομή να προκύπτει από την άλλη με αφαίρεση των δύο ακραίων οριζόντιων, μήκους 0.625m έκαστο, τμημάτων. Οι διατομές έχουν σταθερό ύψος κατά μήκος της γέφυρας. Παρά τις στηρίξεις, όμως, μεταβάλλονται τα πάχη των κορμών και των πλακών μέχρι να καταλήξουν στο διάφραγμα επί της στήριξης. Εξαιτίας της υψηλής σεισμικής δράσης ($\alpha=0.36g$) καθώς και του έντονου ανάγλυφου της περιοχής και της διαμόρφωσης του κόμβου, η γέφυρα εφοδιάζεται με σύστημα σεισμικής μόνωσης. Έτσι, η έδραση του φορέα ανωδομής επί των βάθρων γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου (Lead Rubber Bearings). Η διαρροή του πυρήνα μολύβδου προσφέρει στα εφέδρανα αυτά υστερητική συμπεριφορά η οποία αποδίδεται από το διάγραμμα δύναμης – μετακίνησης του Σχήματος 4.2. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της ενεργού απόσβεσης του συνολικού συστήματος ως ποσοστό της ιξώδους απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην ενέργεια που αποσβένεται τόσο από το σύστημα σεισμικής μόνωσης κατά την διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης στην μετακίνηση σχεδιασμού, όσο και από τον υπόλοιπο φορέα. Έτσι επιτυγχάνεται η μείωση της επιτάχυνσης σχεδιασμού και συνεπώς τα εντατικά μεγέθη που καταπονούν τη γέφυρα.

Στις θέσεις των ακροβάθρων και του μεσόβαθρου προβλέπονται αρμοί. Οι αρμοί πρέπει να παρέχουν πλήρη ελευθερία ταυτόχρονης μετακίνησης και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (απαίτηση για ταυτόχρονη δυνατότητα μετακίνησης $\delta x=\pm 170\text{mm}$, $\delta y=\pm 50\text{mm}$ και $\delta x=\pm 51\text{mm}$, $\delta y=\pm 160\text{mm}$). Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση RPT-KP1-CON-B269-GAZ-G-01269-A (Ειδική Μελέτη Σχεδιασμού της Γέφυρας του Λαδοποτάμου και της Θεμελίωσής της έναντι Τεκτονικής Παραμόρφωσης), θα πρέπει η γέφυρα να εξασφαλιστεί έναντι πτώσεως από το βάθρα σε περίπτωση που συντελεστούν τεκτονικές παραμορφώσεις μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπονται στο εν λόγω κείμενο. Αυτό επηρέασε το γεωμετρικό σχεδιασμό του προσκεφαλαίου του μεσοβάθρου και των ακροβάθρων, καθώς η απαίτηση αυτή ικανοποιήθηκε με χρήση διατμητικού κλειδιού. Τα πεζοδρόμια, τα στηθαία ασφαλείας και η οδοστρωσία θα κατασκευαστούν μετά την ολοκλήρωση της ανωδομής, κατά την κατασκευή της οποίας θα έχουν προβλεφθεί οι κατάλληλες αναμονές.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα δύναμης – μετακίνησης του εφεδράνου LRB που χρησιμοποιήθηκε για την έδραση του φορέα της ανωδομής επί των βάθρων^[6].

3.5.2 Βάθρα και θεμελίωση

Το κάθε ένα από τα ακρόβαθρα της γέφυρας έχει ορθογωνική κάτοψη και αποτελείται από τη δοκό έδρασης, το θωράκιο και τον περυγότοιχο. Τα ακρόβαθρα των κλάδων χωρίζονται με αρμό 2cm στον άξονα της γέφυρας. Στις θέσεις όπου από τη Μελέτη Οδοποιίας προβλέπονται τοίχοι αντιστήριξης στα άκρα της οδού, δεν δημιουργείται περυγότοιχος, ώστε να μπορεί να γίνει συναρμογή με τον τοίχο αντιστήριξης. Ανάμεσα στα δύο ακρόβαθρα στην αρχή της γέφυρας θα δημιουργηθεί πασσαλότοιχος, τα οριστικά στοιχεία του οποίου θα αποφασιστούν στην Οριστική Μελέτη, όπου θα οριστικοποιηθούν οι φάσεις κατασκευής. Το μεσόβαθρο αποτελείται από μια ορθογωνική κιβωτοειδή διατομή εξωτερικών διαστάσεων 4x7m. Έχει καθαρό ύψος 20.5m περίπου. Εν συνεχεία διαμορφώνεται η κεφαλή του βάθρου ύψους 2.5m. Η κεφαλή τόσο του μεσοβάθρου, όσο και των ακροβάθρων διαμορφώνονται με τρόπο που να χωράει το διατμητικό κλειδί.

Καθένα από τα ακρόβαθρα θεμελιώνεται σε δυο σειρές των πέντε πασσάλων $\varnothing 120$ με αξονική απόσταση 3.40m εγκάρσιως και 4.50m διαμήκως. Οι αντίστοιχες διαστάσεις για το ακρόβαθρο του δεξιού κλάδου είναι 3.1m και 4.5m. Το μήκος των πασσάλων των ακροβάθρων εκτιμήθηκε στα 26.0m. Το μεσόβαθρο θεμελιώνεται σε ένα κάναβο 4x5 πασσάλων $\varnothing 120$ μέσω κεφαλοδέσμου πάχους 2.5m. Το μήκος των πασσάλων εκτιμήθηκε στα 20.0m. Όλοι οι πάσσαλοι έχουν ελάχιστη αξονική απόσταση μεταξύ τους $3D=3.60m$.

3.5.3 Υλικά

Ο φορέας της ανωδομής και τα βάθρα της γέφυρας θα κατασκευαστούν από σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα θα οπλιστεί με χάλυβα οπλισμού και προέντασης. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η λίστα με τα χρησιμοποιούμενα υλικά.

Πίνακας 3.1 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της γέφυρας^[6].

<i>Σκυρόδεμα φορέα ανωδομής</i>	B45 C(35/45)
<i>Σκυρόδεμα μεσοβάθρου, κεφαλοδέσμου</i>	B35 C(30/37)
<i>Σκυρόδεμα προσκεφαλαίου μεσοβάθρου</i>	B45 C(35/45)
<i>Σκυρόδεμα 'διατμητικού κλειδιού'</i>	B55 C(45/55)
<i>Σκυρόδεμα Πασσάλων</i>	B25 C(25/30)
<i>Σκυρόδεμα Ακροβάθρων και τοίχων</i>	B35 C(30/37)
<i>Σκυρόδεμα Κορμού Ακροβάθρων</i>	B45 C(35/45)
<i>Σκυρόδεμα κεφαλοδέσμων ακροβάθρων</i>	B35 C(30/37)
<i>Σκυρόδεμα πλακών πρόσβασης</i>	B25 C(25/30)
<i>Χάλυβας προέντασης</i>	BSt 1670 / 1860
<i>Χάλυβας οπλισμού</i>	B500C (S500s)

3.6 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η γέφυρα B269 θα αντικαταστήσει την υφιστάμενη στο σημείο αυτό. Συνεπώς, για να διατηρηθεί η κυκλοφορία, πρέπει η νέα γέφυρα να κατασκευαστεί σε φάσεις. Κατά την πρώτη φάση, κατεδαφίζεται ο ένας κλάδος της υφιστάμενης γέφυρας και κατασκευάζεται στη θέση του ο αντίστοιχος της νέας. Σε δεύτερη φάση και αφού γίνει παράκαμψη της κυκλοφορίας από τον ολοκληρωμένο κλάδο της νέας γέφυρας, γίνεται κατεδάφιση του δεύτερου υφιστάμενου κλάδου και κατασκευάζεται ο νέος. Κάθε κλάδος της νέας γέφυρας θα κατασκευαστεί σύμφωνα με την παρακάτω μέθοδο^[6]:

- Θα γίνουν οι απαραίτητες εκσκαφές και θα κατασκευαστεί ο κεφαλόδεσμος και τα ακρόβαθρα.
- Κατασκευάζεται το μεσόβαθρο και η κεφαλή μεσοβάθρου.
- Κατασκευάζεται ο υπόλοιπος φορέας ανωδομής με χρήση συμβατικού ξυλοτύπου.
- Κατασκευάζεται η επιδομή που περιλαμβάνει πεζοδρόμια, στηθαία ασφαλείας, οδοστρωσία κλπ.
- Η προένταση επιβάλλεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του DIN4227.

3.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν οι φορτίσεις (σεισμικές και μη) και οι συνδυασμοί τους που προβλέπονται από τους Κανονισμούς μελέτης και ελήφθησαν υπ' όψει κατά τον υπολογισμό της γέφυρας όπως παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσης.

Κύριες Φορτίσεις

Στην κατηγορία των κυρίων φορτίσεων περιλαμβάνονται τα μόνιμα φορτία, τα κινητά φορτία, οι ωθήσεις του εδάφους, ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης. Τα μόνιμα φορτία προσδιορίζονται βάσει των κανονισμών DIN 1072 §3.1 και ΟΜΟΕ §2.3 και περιλαμβάνουν:

- Ίδιο βάρος σκυροδέματος : $\gamma_{σκ} = 25\text{KN/m}^3$
- Ασφαλτικά (ΟΜΟΕ §2.3.1.1) : $\gamma_{ασ} = 24\text{KN/m}^3$
- Πάχος Οδοστρώσας: : 10 cm
- Πεζοδρόμιο : $\gamma_{πεζ} = 25\text{KN/m}^3$
- Στηθαίο (STE - 1) : $\gamma_{στ} = 0.7\text{KN/m}$
- Κιγκλίδωμα : $\gamma_{κ} = 0.5\text{KN/m}$
- Στηθαίο (SG - 9) : $\gamma_{στ} = 25\text{KN/m}^3$
- Ειδικό βάρος επιχώσεων : $\gamma_{επ} = 20\text{KN/m}^3$

Κινητά Φορτία

Τα κινητά φορτία προσδιορίζονται βάσει του κανονισμού DIN 1072 §3.3.

- Κλάση γέφυρας: SLW 60/30
- Συντελεστής ταλάντωσης: $\varphi = 1.4 - 0.008 l\varphi \geq 1.0$
 Όπου $l\varphi = 65.0\text{m} \rightarrow \varphi = 1.0$
 Όπου $l\varphi = 62.0\text{m} \rightarrow \varphi = 1.0$
- Κατανεμημένο φορτίο Κύριας Λωρίδας: $p_1 = 5\varphi \text{ kN/m}^2$
- Κατανεμημένο φορτίο στο υπόλοιπο κατάστρωμα: $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$
- Όχημα SLW60: (Συνολικό Φορτίο) $P_1 = 600 \varphi \text{ kN}$
- Όχημα SLW30: (Συνολικό Φορτίο) $P_2 = 300 \text{ kN}$

Ωθήσεις Εδάφους

Για το έδαφος θεωρούνται τα χαρακτηριστικά:

- $\Phi = 30^\circ$
- $C = 0 \text{ kPa}$
- $\gamma = 20\text{kN/m}^3$

Οι ωθήσεις ηρεμίας στους τοίχους των ακροβάθρων λαμβάνονται ως ουδέτερες για τις στατικές φορτίσεις. Για τις σεισμικές φορτίσεις λαμβάνεται το άθροισμα των ουδετέρων ωθήσεων και της σεισμικής μεταβολής ωθήσεων στα δύο ακρόβαθρα σύμφωνα με τη Μέθοδο Monopobe - Okabe όπως προβλέπεται από το άρθρο 3.2.1(3) της Ε39/99 (παραπέμπει στην παράγραφο 5.3α του ΕΑΚ).

Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης

Προσδιορίζονται βάσει του κανονισμού DIN 4227 §8 με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Μέση σχετική υγρασία: 70%
- Μέση θερμοκρασία: 20°C
- Τσιμέντο κανονικής πήξεως.

Από τον Πίνακα 8 του DIN 4227 προκύπτουν με βάση τις πιο πάνω παραδοχές βασικές τιμές του συντελεστή διαρροής και της συρρίκνωσης 2.00 και $-32 \cdot 10^{-5}$ αντίστοιχα.

Σεισμικές φορτίσεις

Για τον συνυπολογισμό του σεισμού στις φορτίσεις της γέφυρας επιλέγεται φασματική ανάλυση για τις τρεις δυνατές διευθύνσεις του σεισμού. Σύμφωνα με την παραγρ. 4.1 των Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση (Ιούνιος 2007), η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000/2003). Σύμφωνα με το Παράρτημα Α.1 αυτού, με τις τροποποιήσεις που προβλέπονται στην εν λόγω παράγραφο. Ως εκ τούτου, η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται από το φάσμα σχεδιασμού Φ_d της οριζόντιας συνιστώσας της επιτάχυνσης:

$$\Phi_d(T) = \begin{cases} \gamma_1 A \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \theta \beta_0}{q} - 1 \right) \right] & \text{για } 0 \leq T \leq T_1 \\ \gamma_1 A \frac{\eta \theta \beta_0}{q} & \text{για } T_1 \leq T \leq T_2 \\ \gamma_1 A \frac{\eta \theta \beta_0}{q} \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & \text{για } T_2 \leq T \end{cases}$$

όπου οι εμπλεκόμενες παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- A είναι η μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους στην περιοχή του έργου, η οποία για τη Ζώνη ΙΙ του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας έχει την τιμή $0.24g$
- γ_1 είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας που έχει την τιμή 1.5
- θ είναι ο συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης που έχει την τιμή 1
- η είναι ο διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης $\neq 5\%$, οπότε $\eta = 1$ για $\xi = 5\%$.
- β_0 είναι ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης που έχει την τιμή 2.5
- q είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής ο οποίος λόγω της σεισμικής μόνωσης λαμβάνεται να έχει την τιμή 1
- T_1, T_2 είναι οι χαρακτηριστικές περιόδους του φάσματος, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους

Στις παραπάνω σχέσεις που παρέχουν την επιτάχυνση σε συνάρτηση με την περίοδο, η τιμή του συντελεστή η αντικαθίσταται από το η_{eff} για όσες ιδιομορφές έχουν περίοδο μεγαλύτερη από το $0.8T_{eff}$. Σύμφωνα με τη παράγραφο 5.4 των οδηγιών για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση οι τιμές του συντελεστή η_{eff} για ποσοστά ιξώδους απόσβεσης ξ_{eff}

δίδονται από την σχέση $\eta_{eff} = \sqrt{\frac{0.10}{0.05 + \xi_{eff}}} \geq 0.40$.

Το φάσμα σχεδιασμού της κατακόρυφης συνιστώσας της επιτάχυνσης του σεισμού σχεδιασμού προκύπτει από το οριζόντιο λαμβάνοντας $A_v=0.9A$, $T_1=0.05s$ και $T_2=T_c=0.15s$ και $\beta_0 = 3.0$ για όλες τις κατηγορίες εδάφους.

Θερμοκρασιακές μεταβολές

Ελήφθησαν υπόψη θερμοκρασιακές μεταβολές σύμφωνα με τον Κανονισμό DIN 1072 § 4.1 για τον έλεγχο των εφεδράνων του φορέα ως ακολούθως:

- ομοιόμορφη αύξηση θερμοκρασίας: $\Delta T = +20^\circ \text{K}$
- ομοιόμορφη μείωση θερμοκρασίας: $\Delta T = -30^\circ \text{K}$
- Για τον έλεγχο των αρμών ελήφθησαν επίσης υπόψη κατά DIN 1072 § 6.1:
υποθετική μέγιστη τιμή θερμοκρασίας: $+50^\circ \text{C}$
υποθετική ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας: -40°C

Φορτία πέδησης και επιτάχυνσης

Το φορτίο πέδησης λαμβάνεται σύμφωνα με τον Κανονισμό DIN 1072 § 4.4 ως $\max[0.25 \cdot (600 + (L-6) \cdot 3 \cdot 5), 0.33 \cdot 900] < 900 \text{ KN}$. Ως L λαμβάνεται το συνολικό μήκος της γέφυρας (130.00m και 124.00m αντίστοιχα για τον αριστερό και δεξιό κλάδο) και το φορτίο πέδησης προκύπτει 615kN και 592.5kN αντίστοιχα για τους δύο κλάδους. Το φορτίο πέδησης λαμβάνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Φορτία ανέμου

Τα φορτία ανέμου λαμβάνονται σύμφωνα με την παρακάτω πίνακα του DIN 1072 § 4.2. Για τη γέφυρα του Λαδοποτάμου εφαρμόζεται η περίπτωση για ύψη από 20 έως 50 μέτρα.

Πίνακας 3.2 Υπολογισμός φορτίων ανέμου^[6].

Υψος από το έδαφος ή από τη μέση στάθμη ύδατος	Φορτίσεις χωρίς κινητά (kN / m^2)	Φορτίσεις με κινητά (kN / m^2)
Από 0 έως 20 μέτρα	1.75	0.90
Από 20 έως 50 μέτρα	2.1	1.10
Από 50 έως 100 μέτρα	2.5	1.25

Κινητά φορτία (συνδυασμός με σεισμό)

Λαμβάνεται βάσει του Κανονισμού E23/2007 §2.6.2 το 20% ενός ομοιομορφισμένου κινητού φορτίου που λαμβάνει υπόψη του ένα συγκεντρωμένο φορτίο 600kN (SLW 60), ένα συγκεντρωμένο φορτίο 300kN (SLW 30), στην κύρια λωρίδα κατανεμημένο φορτίο ίσο με 5 kN/m² ενώ στο υπόλοιπο κατάστρωμα συμπεριλαμβανομένων και των πεζοδρομίων ένα κατανεμημένο φορτίο ίσο με 3 kN/m².

Φορτίσεις σε άκαμπτα μεταλλικά στηθαία τύπου Σ.Τ.Ε.-1

Λαμβάνεται σύμφωνα με τον Κανονισμό Κ.Μ.Ε. § 15.2.2.10.2 σημειακή εγκάρσια δύναμη 300 kN και ροπή 200 kNm στην βάση κάθε ορθοστάτη του στηθαίου ασφαλείας. Τα δύο παραπάνω φορτία θεωρούνται σε οριακή κατάσταση αστοχίας, προσαυξάνονται κατά 40% και αθροίζονται στα κύρια και πρόσθετα φορτία των τεχνικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τη στατική και τη φασματική δυναμική ανάλυση και διαστασιολόγηση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SOFiSTiK της Sofistik GmbH Software.

Η σειρά προγραμμάτων SOFiSTiK είναι ένα δυναμικό και αξιόπιστο πακέτο ανάλυσης και διαστασιολόγησης, γερμανικής προέλευσης, που στηρίζεται στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και διατίθεται στην ελληνική αγορά από το 1990. Λόγω της αξιοπιστίας του και των πολλών δυνατοτήτων του είναι πλέον ευρέως γνωστό στους Έλληνες μηχανικούς. Δεν θα ήταν υπερβολή να ειπωθεί ότι η πλειοψηφία των μελετών εφαρμογής των προεντεταμένων γεφυρών στην Ελλάδα έχει γίνει με τα προγράμματα SOFiSTiK. Παρέχονται σημαντικές δυνατότητες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που συναντά ο μελετητής στο μεγαλύτερο φάσμα εφαρμογών και ειδικά στην γεφυροποιία. Πρόκειται για μία σειρά προγραμμάτων που συνεργάζονται όλα μεταξύ τους κάτω από μία κοινή βάση δεδομένων. Υπάρχουν προγράμματα γραφικής επεξεργασίας και εισαγωγής δεδομένων (pre-processing), προγράμματα γραφικής αξιολόγησης αποτελεσμάτων και διαχείρισης εκτυπώσεων (post-processing) και προγράμματα σχεδίασης κατασκευαστικών σχεδίων.

Γενικά, η ανάλυση για στατικά φορτία τόσο στις φάσεις κατασκευής όσο και στην φάση λειτουργίας γίνεται για όλες τις φορτίσεις που προδιαγράφονται από το DIN 1072.

Οι μάζες και οι λοιπές αδρανειακές σταθερές του συστήματος υπολογίζονται από το σύνολο των μονίμων φορτίων της γέφυρας και το 20% των φορτίων κυκλοφορίας. Το τμήμα του φορτίου κυκλοφορίας λαμβάνεται ομοιόμορφα κατανεμημένο σε ολόκληρο το μήκος του φορέα. Η επαλληλία των ιδιομορφικών μετακινήσεων και εντατικών μεγεθών γίνεται με τη μέθοδο της πλήρους τετραγωνικής επαλληλίας (CQC) σύμφωνα με τις σχέσεις 2.6 και 2.7 των ΟΑΜΓ. Στην ανάλυση ελήφθησαν υπόψη 50 ιδιομορφές έτσι ώστε το άθροισμα των δρυσών ιδιομορφικών μαζών να είναι τουλάχιστον ίσο με το 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας της γέφυρας (Παραγρ. 2.5.2(4) των ΟΑΜΓ).

Οι έλεγχοι συντελεστών ασφάλειας και επιτρεπομένων τάσεων για συνδυασμούς δράσεων οι οποίοι δεν περιλαμβάνουν σεισμική δράση γίνονται με βάση τον κανονισμό DIN 4227. Για συνδυασμούς φορτίσεων οι οποίοι περιλαμβάνουν σεισμική δράση οι έλεγχοι γίνονται σύμφωνα με την Εγκύκλιο Ε23/2007 (Οδηγίες για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών) / ΥΠΕΧΩΔΕ, τις Οδηγίες για τη Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση (Ιούνιος 2007) και σε θέματα που δεν καλύπτονται από τις οδηγίες, με τον EC8-Part 2.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα βασικότερα σημεία από την ανάλυση της γέφυρας του Λαδοποτάμου και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτήν. Επιλέχθηκε η παρουσίαση της πορείας προσομοίωσης και ανάλυσης της κατασκευής μέσω σκαριφημάτων και διαγραμμάτων που ελήφθησαν από το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος και συνοδεύουν τα κείμενα της προμελέτης που συντάχθηκε από την ομάδα μελέτης του έργου και αναφέρονται σε κάθε παράγραφο.

Τη μελέτη του έργου εκπόνησε το 2010 η Τεχνική Εταιρεία Αθηνών «T.T.A.STRUCTURAL ENGINEERS T.TSIKNIAS & ASSOCIATES S.A.» για τις κατασκευαστικές εταιρείες «APION KLEOS C.J.V» και «ΑΚΤΩΡ».

Η παρουσίαση αυτή χωρίζεται σε δύο ενότητες, η πρώτη εκ των οποίων αναφέρεται στην ανάλυση του μεσόβαθρου και της ανωδομής, και η δεύτερη στην ανάλυση των ακρόβαθρων.

4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ

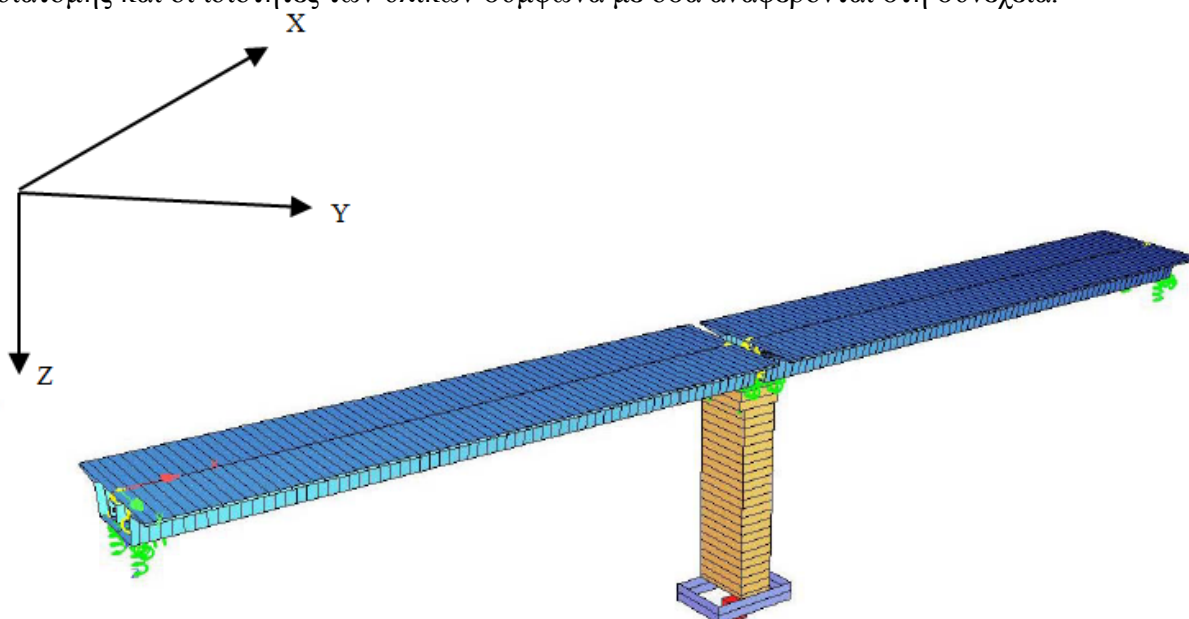
4.2.1 Εισαγωγικά.

Οι πληροφορίες της ενότητας αυτής λαμβάνονται από το κείμενο ITTP92269B-1 της ομάδας μελέτης που συνοδεύει την υποβληθείσα προμελέτη του έργου. Δεν προέρχονται από πρωτότυπες αναλύσεις και υπολογισμούς των συντακτριών της παρούσης εργασίας.

Παρουσιάζονται στοιχεία για τον έναν εκ των δύο κλάδων της γέφυρας. Η ανάλυση του δεύτερου κλάδου παρουσιάζεται σε αντίστοιχο έγγραφο της εταιρείας μελέτης και, δεδομένου ότι η διαδικασία που ακολουθείται είναι απόλυτα αντίστοιχη, δεν παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία χάριν απλότητας.

4.2.2 Γεωμετρία προσομοιώματος

Στο παρακάτω Σχήμα 4.1 δίνεται μια γενική άποψη του στατικού προσομοιώματος της ανωδομής και του μεσόβαθρου όπως αυτό δημιουργήθηκε και αποδίδεται στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος SOFiSTiK. Η ανάλυση της ανωδομής και του μεσόβαθρου γίνεται με χρήση γραμμικών, πρισματικών πεπερασμένων στοιχείων, δύο κόμβων και έξι βαθμών ελευθερίας ανά κόμβο. Σε κάθε στοιχείο αποδίδονται τα χαρακτηριστικά της διατομής και οι ιδιότητες των υλικών σύμφωνα με όσα αναφέρονται στη συνέχεια.



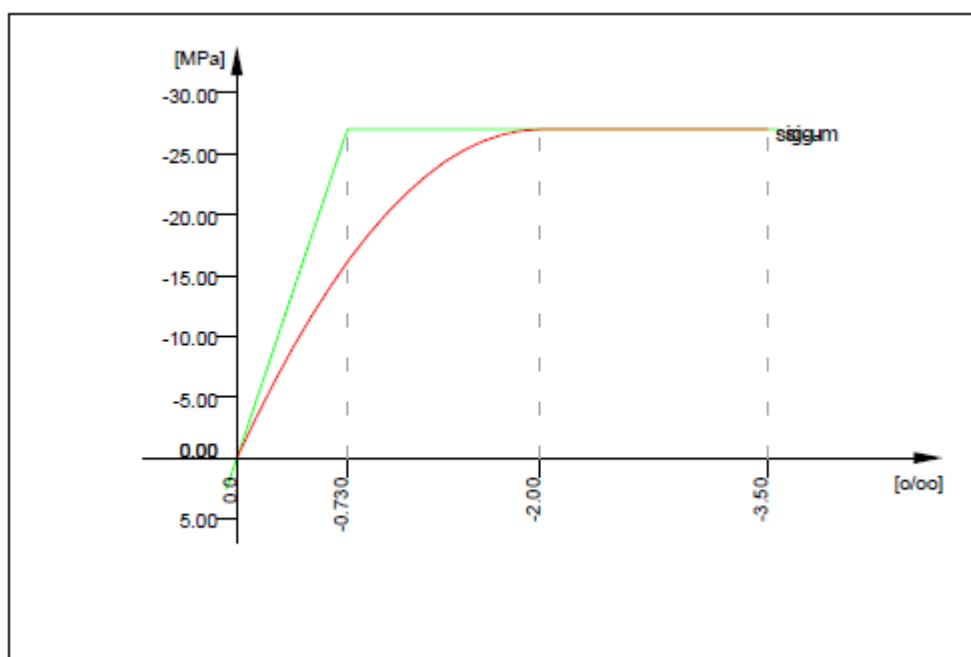
Σχήμα 4.1: Γενική άποψη του στατικού προσομοιώματος του συστήματος ανωδομή – μεσόβαθρο.

4.2.3 Υλικά και διατομές

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι σκυρόδεμα και χάλυβας διαφόρων κατηγοριών. Το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα ανήκει στις κατηγορίες B35 και B45 ενώ ο χάλυβας είναι BSt 1860 για τα στοιχεία προέντασης και B500C για τον τυπικό οπλισμό. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως προκύπτουν από το συνοδευτικό τεύχος υπολογισμών της μελέτης. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα όπως εισάγεται στο πρόγραμμα SOFiSTiK. Τα αντίστοιχα διαγράμματα για το χάλυβα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3.

Πίνακας 4.1 Ιδιότητες των σκυροδεμάτων B35 και B45 που εισάγονται στο πρόγραμμα ανάλυσης της γέφυρας.

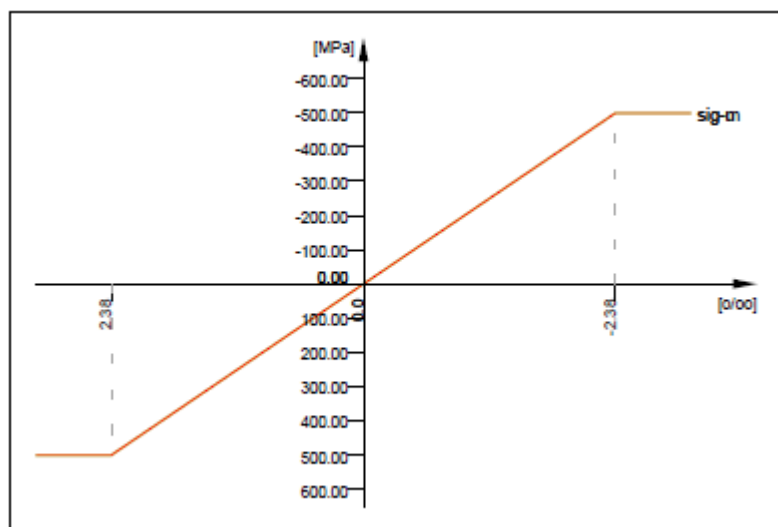
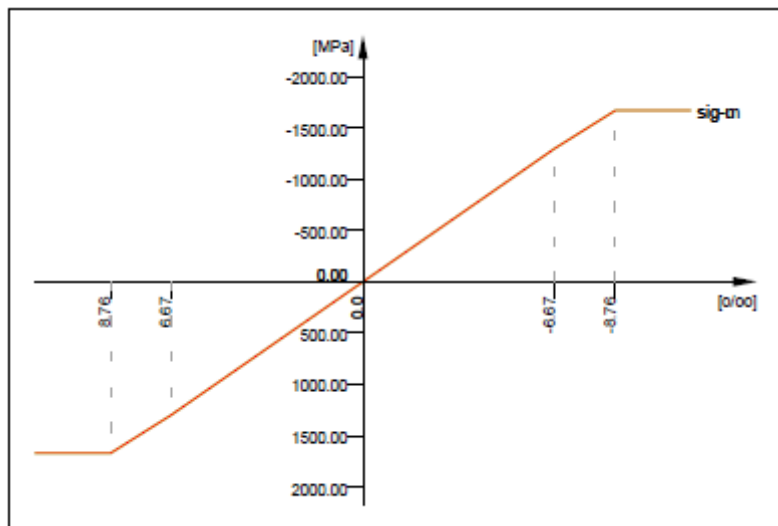
	B35	B45
Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)	34000	37000
Λόγος Poisson ν	0.20	0.20
Μέτρο διάτμησης G (MPa)	14167	15417
Μέτρο διόγκωσης K (MPa)	18889	20556
Ειδικό βάρος (kN/m^3)	25.0	25.0
Συντελεστής ασφαλείας	1	1
Θλιπτική αντοχή f_c (MPa)	21.0	27.00
Ονομαστική αντοχή f_{cn} (MPa)	35.0	45.00
Εφελκυστική αντοχή f_{ctm} (MPa)	3.21	3.8
5% Χαρακτηριστική Εφελκυστική αντοχή f_{ctk} (MPa)	2.67	3.16
95% Χαρακτηριστική Εφελκυστική αντοχή f_{ctk} (MPa)	3.85	4.55
Αντοχή συνάφειας (MPa)	2.20	3.71
Αντοχή κόπωσης (MPa)	0.00	0.00



Σχήμα 4.2: Ενδεικτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής B45 όπως προκύπτει από την εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα

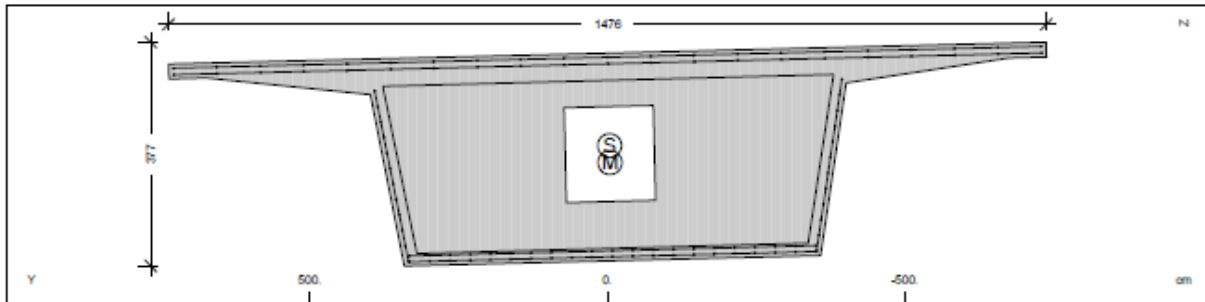
Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά χαλύβων BSt 1860 και B500C που εισάγονται στο πρόγραμμα ανάλυσης της γέφυρας.

	BSt 1860	B500C
Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)	195000	210000
Λόγος Poisson ν	0.30	0.30
Μέτρο διάτμησης G (MPa)	75000	80769
Μέτρο διόγκωσης K (MPa)	162500	175000
Ειδικό βάρος (kN/m^3)	78.5	78.5
Συντελεστής ασφαλείας	1	1
Τάση διαρροής f_y (MPa)	1670	500
Τάση διαρροής σε θλίψη f_{yc} (MPa)	1670	500
Εφελκυστική αντοχή f_t (MPa)	1860	550
Θλιπτική αντοχή f_c (MPa)	1860	550
Πλαστική παραμόρφωση αστοχίας	6 ‰	0 ‰
Μέτρο κράτνωσης (MPa)	0	0
Όριο αναλογίας (MPa)	1300	500
Συντελεστής συνάφειας $K_1 EC_2$	1.60	0.80

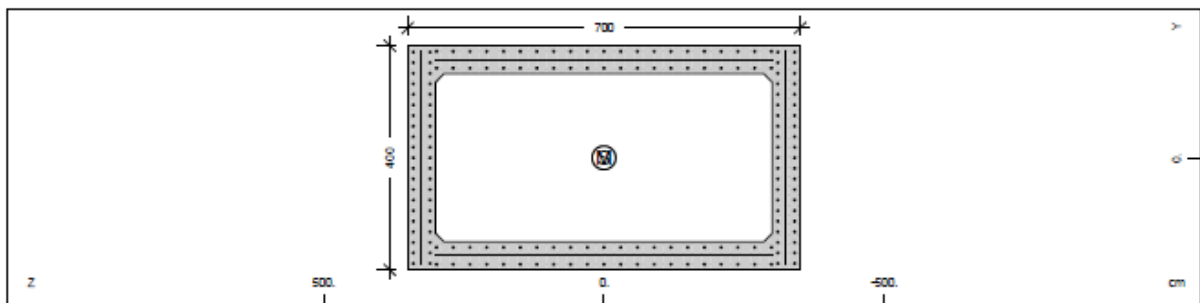


Σχήμα 4.3: Ενδεικτικά διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης για τους χάλυβες BSt 1860 (πάνω) και B500C (κάτω) όπως προκύπτουν από την εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα.

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων των υλικών εισάγονται οι διατομές του φορέα ανωδομής και του μεσοβάθρου (διαστάσεις και γεωμετρία) οι οποίες ακολούθως αντιστοιχίζονται στα γραμμικά στοιχεία του μοντέλου. Μια τυπική κιβωτιοειδής διατομή (περιοχή κοντά στη στήριξη) με τις διαστάσεις της, όπως προκύπτει κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4. Αντίστοιχα στο Σχήμα 4.5 δίνεται μια τυπική διατομή μεσοβάθρου (κοίλη ορθογωνική).



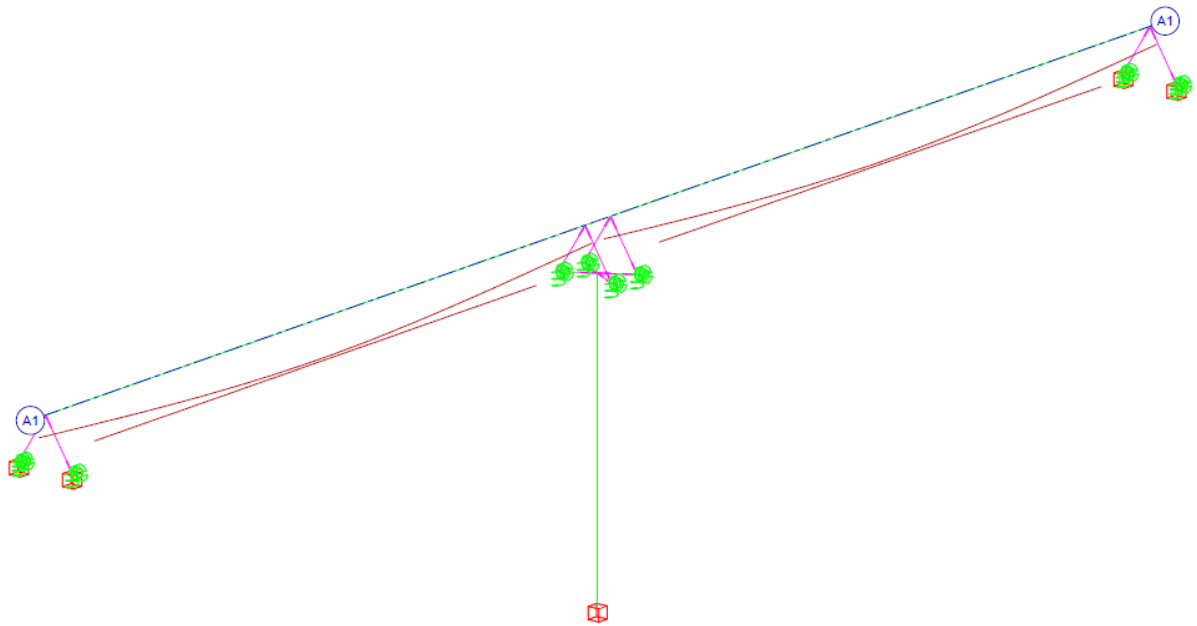
Σχήμα 4.4: Τυπική διατομή του φορέα ανωδομής με διαστάσεις σε cm όπως προκύπτει κατά την εισαγωγή αριθμητικών δεδομένων στο πρόγραμμα.



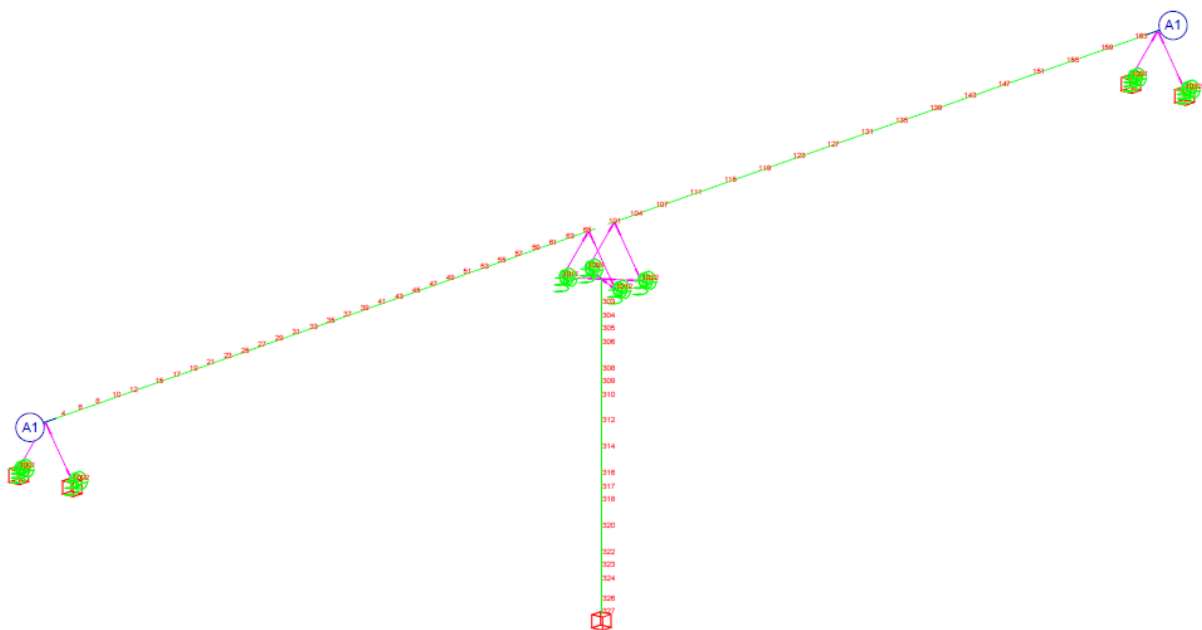
Σχήμα 4.5: Τυπική διατομή του μεσοβάθρου με διαστάσεις σε cm όπως προκύπτει κατά την εισαγωγή αριθμητικών δεδομένων στο πρόγραμμα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω εισάγονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία του προσομοιώματος της ανωδομής και του μεσοβάθρου. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται απεικονίσεις από το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος SOFiSTik, από τις οποίες μπορούν αντλούνται περαιτέρω πληροφορίες για το προσομοίωμα, καθώς και άλλες παραμέτρους της μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται μια γενική άποψη του προσομοιώματος της ανωδομής και του μεσοβάθρου, όπου διακρίνεται και η παραβολική χάραξη των τενόντων προέντασης που ελήφθη. Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται η αρίθμηση των κόμβων του μοντέλου (συνολικά 1032). Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η διάταξη και αρίθμηση των στοιχείων δοκού (beam elements) του προσομοιώματος. Το Σχήμα 4.9 παρουσιάζει τα στοιχεία που αφορούν την προσομοίωση της προέντασης, δηλαδή τη χάραξη των τενόντων και τον αριθμός των χρησιμοποιούμενων στοιχείων. Στο Σχήμα 4.10 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των ελατηρίων και της μεταξύ τους σύζευξης που χρησιμοποιήθηκαν για να προσομοιωθεί η λειτουργία των εφεδράνων.

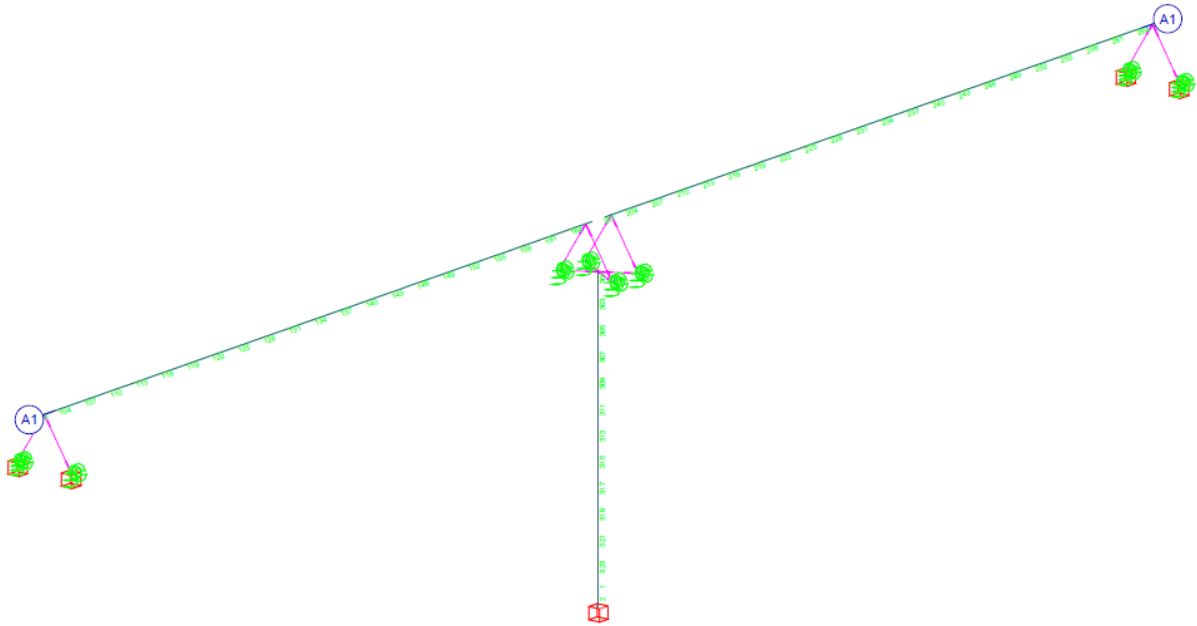
Τα στοιχεία προσομοίωσης της προέντασης περιλαμβάνουν αναλυτικούς πίνακες με την αξονική δύναμη τάνσης των τενόντων στις διάφορες θέσεις οι οποίοι χάριν απλούστευσης δεν συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα διπλωματική.



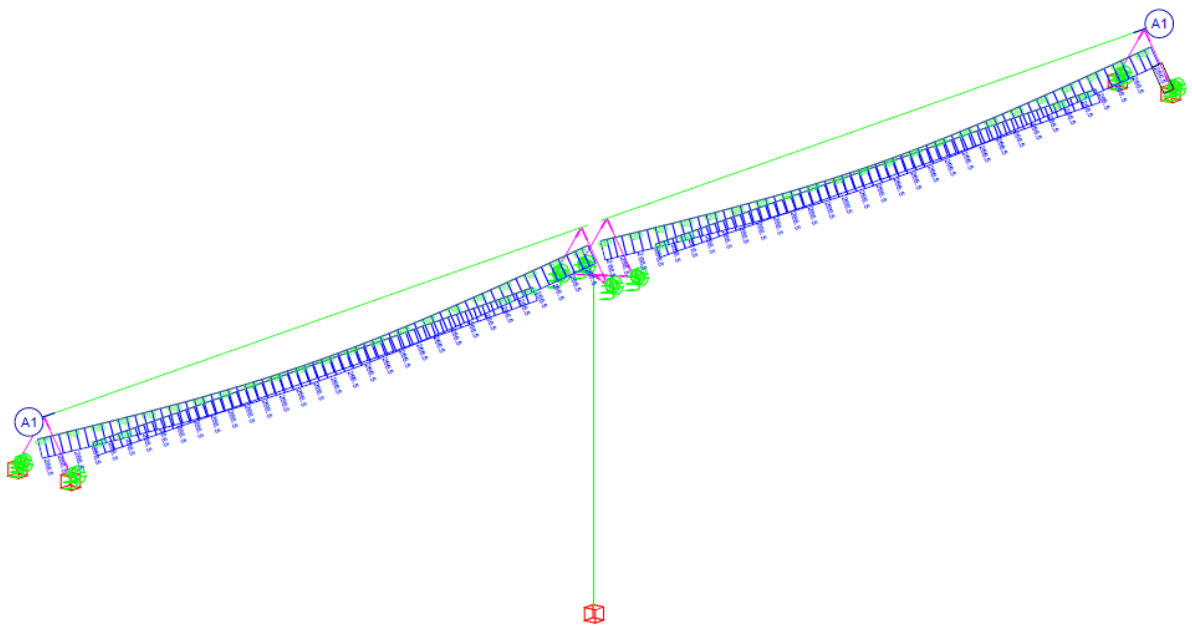
Σχήμα 4.6: Γενική άποψη του μαθηματικού προσομοιώματος του φορέα.



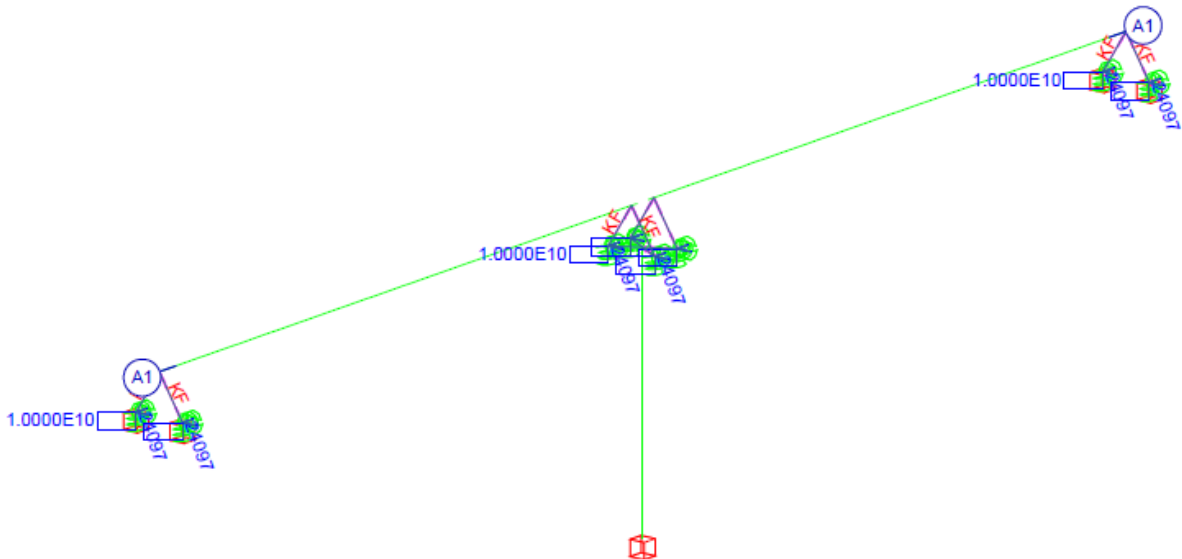
Σχήμα 4.7: Κόμβοι και αρίθμησή τους.



Σχήμα 4.8: Στοιχεία τύπου δοκού και αρίθμησή τους.



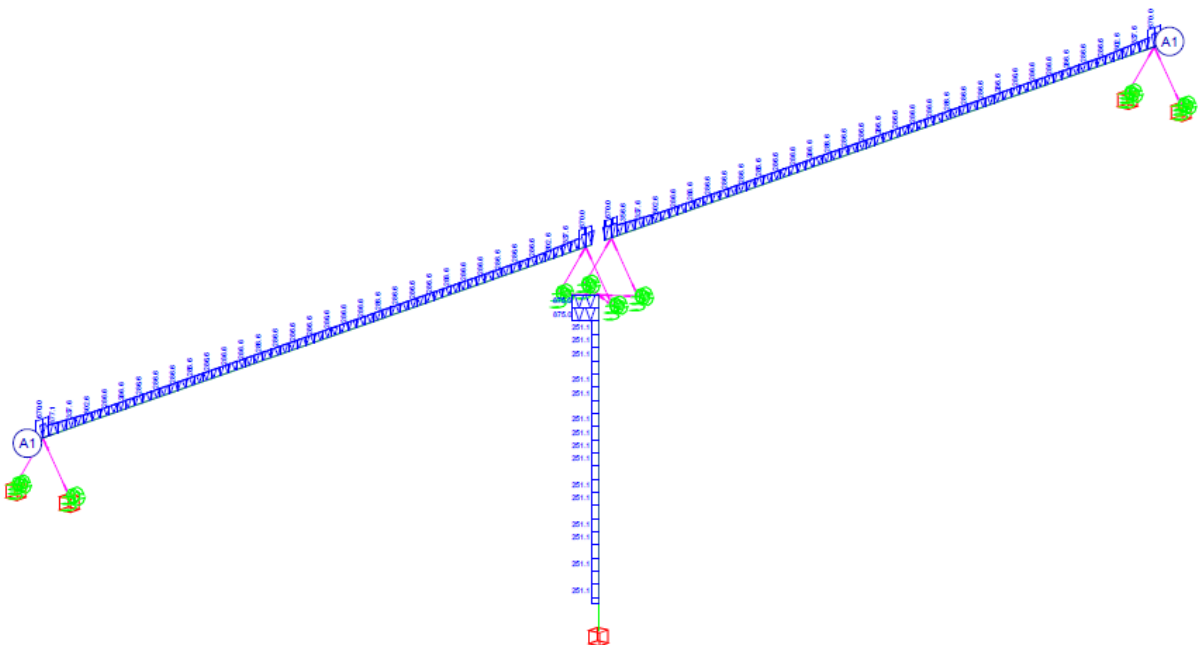
Σχήμα 4.9: Προσομοίωση και χάραξη (εκκεντρότητες) των τενόντων προέντασης.



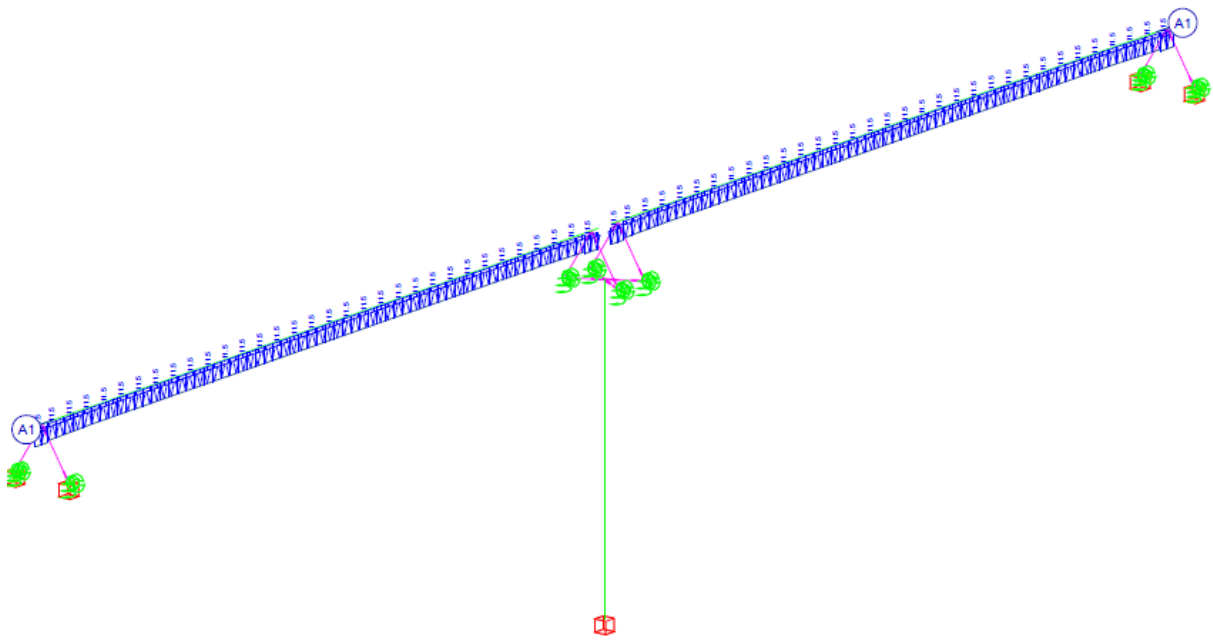
Σχήμα 4.10: Χαρακτηριστικά των ελατηρίων που προσομοιώνουν το σύστημα μόνωσης.

4.2.4 Φορτίσεις

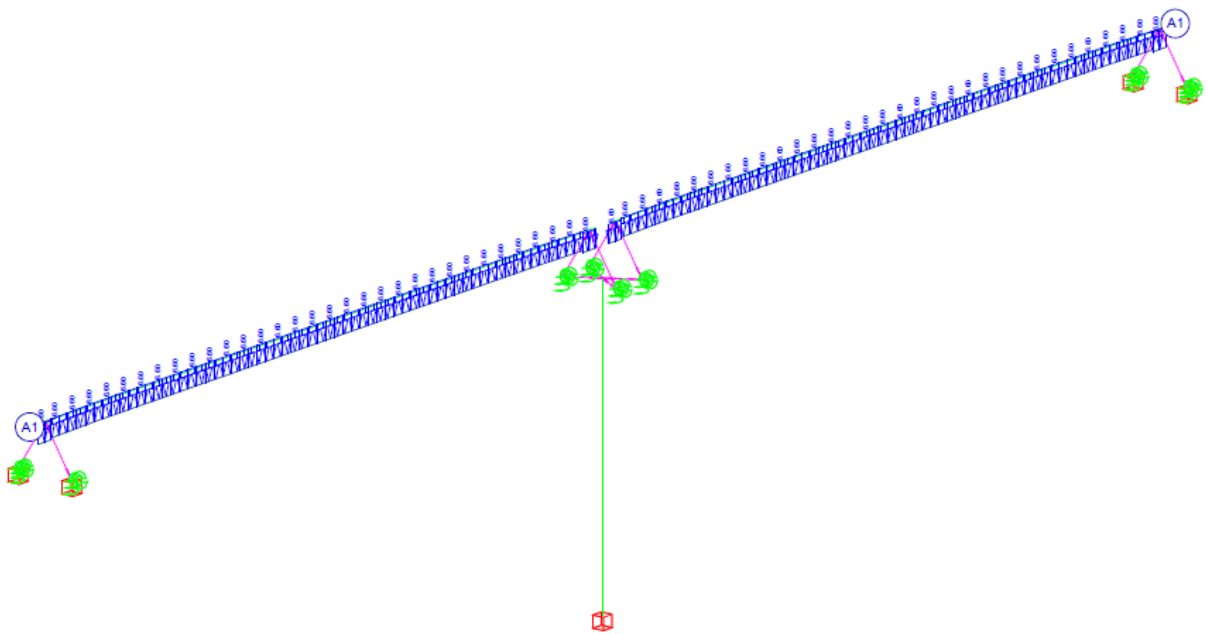
Τα φορτία που αντιστοιχούν σε κάθε περίπτωση φόρτισης που ελήφθη υπόψη, οι οποίες αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσης, εφαρμόζονται επί των μελών και των κόμβων του φορέα. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα φορτία που ελήφθησαν υπόψη κατά τον υπολογισμό της κατασκευής όπως εισήχθησαν στο προσομοίωμα και απεικονίζονται γραφικά από το πρόγραμμα SOFiSTik.



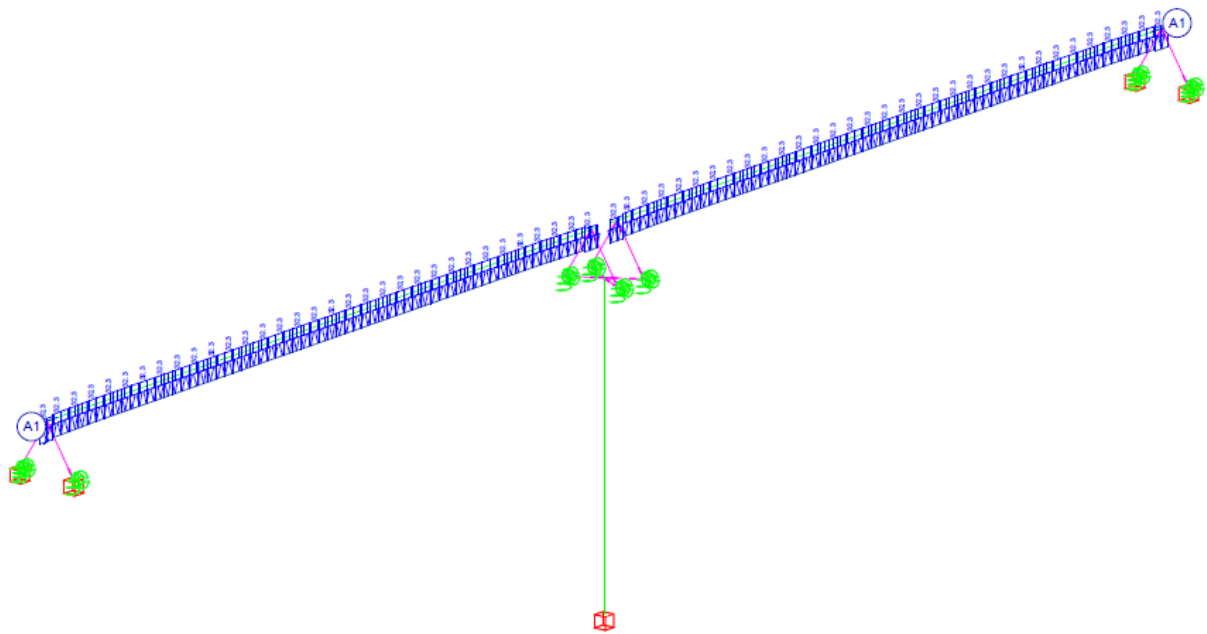
Σχήμα 4.11: Ίδια βάρη των μελών του συστήματος ανωδομής και μεσοβάθρου.



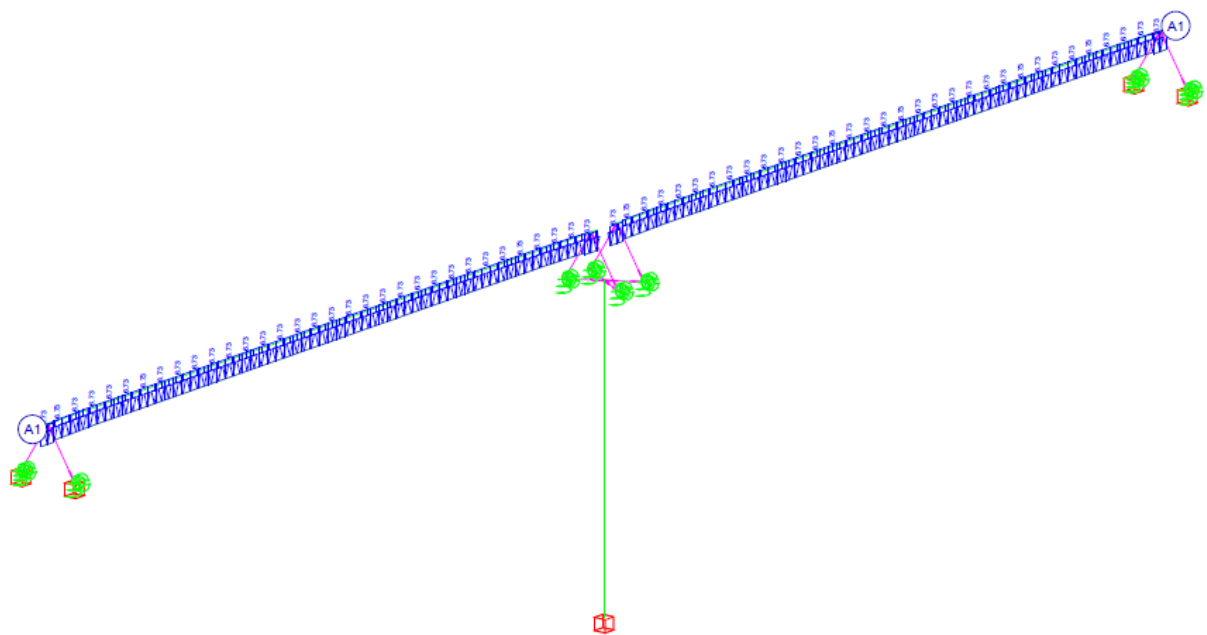
Σχήμα 4.12: Μόνιμο φορτίο πεζοδρομίων που ασκείται επί των μελών του φορέα ανωδομής.



Σχήμα 4.13: Μόνιμο φορτίο στηθαίων που ασκείται επί των μελών του φορέα ανωδομής.

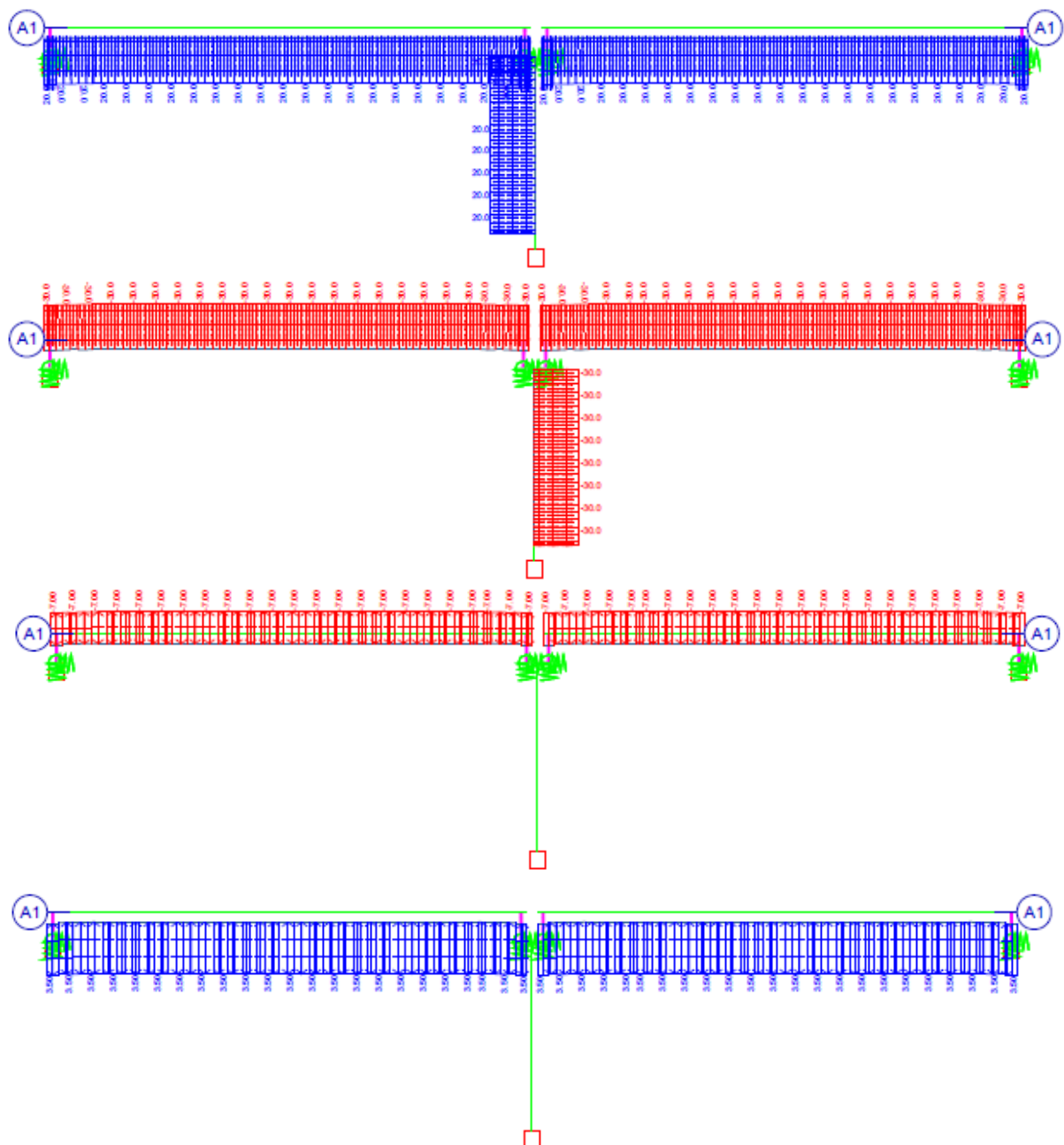


Σχήμα 4.14: Μόνιμο φορτίο ασφαλτικών ασφαλτικών επιστρώσεων που ασκείται επί των μελών του φορέα ανωδομής.



Σχήμα 4.15: Μόνιμο φορτίο κιγκλιδωμάτων που ασκείται επί των μελών του φορέα ανωδομής.

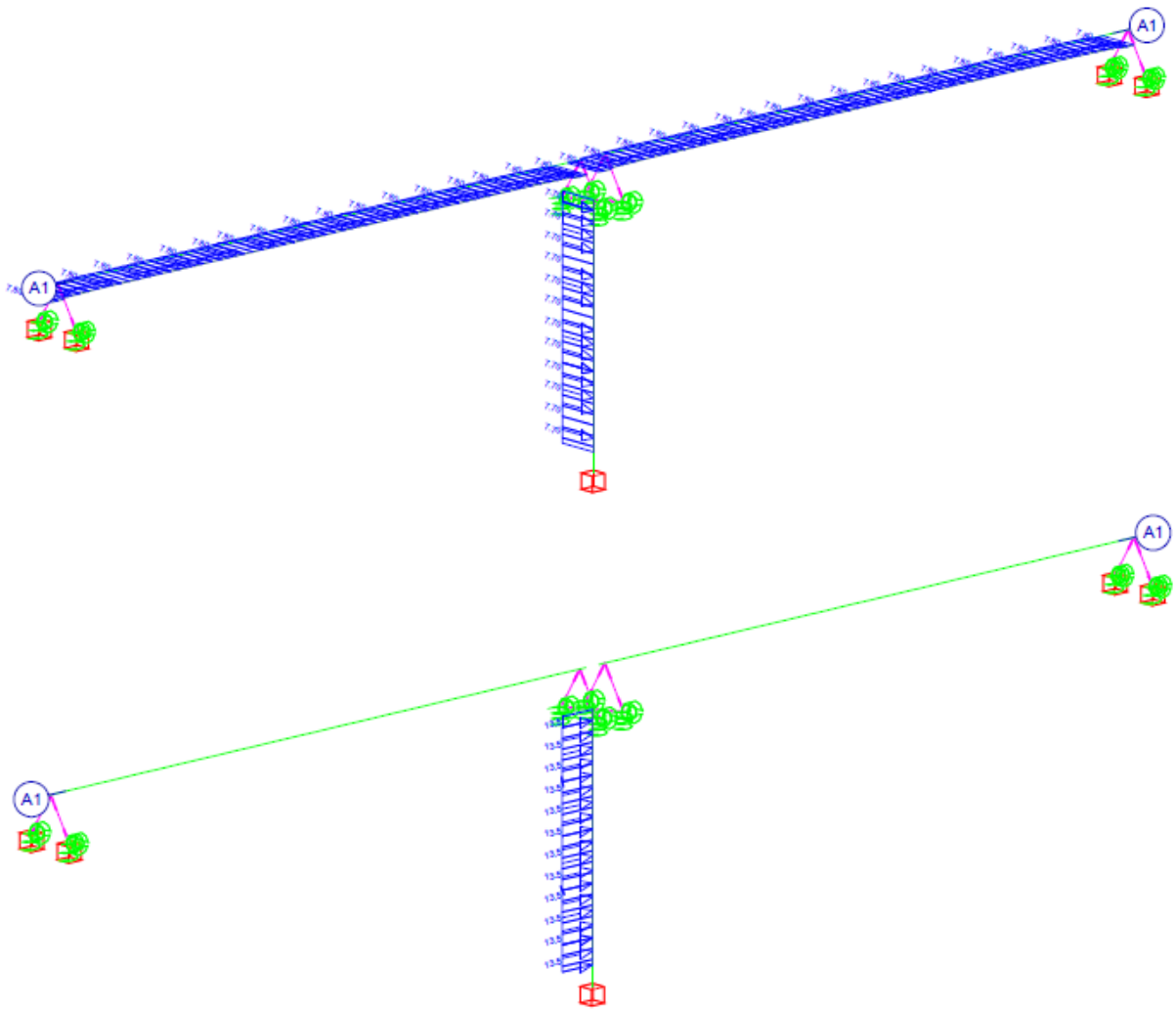
Ακολούθως δίνονται σχηματικά τα φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών που ελήφθησαν υπόψη κατά την ανάλυση της γέφυρας. Οι φορτίσεις αυτές αφορούν θερμοκρασιακές τις διακυμάνσεις $\Delta T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $\Delta T = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ που προβλέπονται από τους Κανονισμούς, και τις διαφορές θερμοκρασίας (προς τα θερμότερα και προς τα ψυχρότερα) που επίσης απαιτείται να ληφθούν υπόψη.



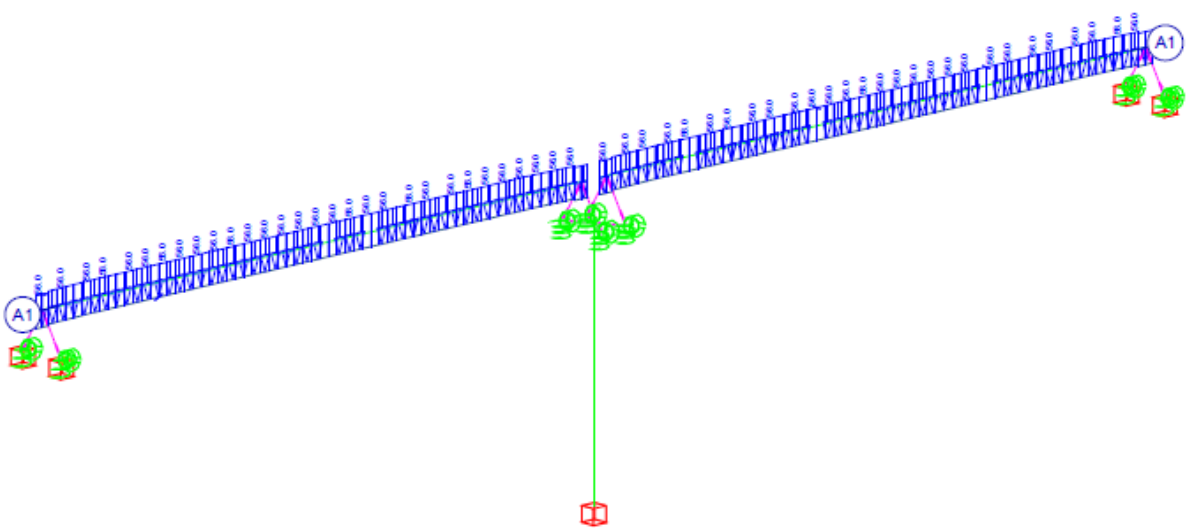
Σχήμα 4.16: Αναπαράσταση των δράσεων λόγω θερμοκρασίας. Από άνω: διακυμάνσεις +20 °C, -30 °C, διαφορές θερμοκρασίας προς τα θερμότερα και προς τα ψυχρότερα.

Στη συνέχεια, απεικονίζονται (Σχ. 4.17) οι επιβαλλόμενες από τον άνεμο φορτίσεις στην ανωδομή και στα μεσόβαθρα, κατά την εγκάρσια (φορτίζεται και το κατάστρωμα) και τη διαμήκη διεύθυνση του συστήματος φορέα και ανωδομής.

Το τελευταίο σχήμα (Σχ. 4.18) αφορά τα κινητά φορτία που προβλέπουν οι Κανονισμοί.



Σχήμα 4.17: Φορτία ανεμοπιέσεων κατά την εγκάρσια (άνω) και τη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας όπως εισάγονται στο προσομοίωμα.



Σχήμα 4.18: Κινητά φορτία που ελήφθησαν υπόψη κατά την ανάλυση της γέφυρας.

4.2.5 Ιδιομορφική ανάλυση και αποτελέσματα αυτής

Με βάση τα δεδομένα της γεωμετρίας του συστήματος ανωδομή – μεσόβαθρο που εισάγονται στο προσομοίωμα και της κατανομής των μόνιμων και κινητών φορτίων προκύπτουν οι μάζες της κατασκευής που κατανέμονται στους κόμβους του προσομοιώματος αυτόματα και, τελικά οι ιδιομορφές. Στον Πίνακα 4.3 συνοψίζονται οι τιμές της μεταφορικής μάζας και της μαζικής ροπής αδράνειας της κατασκευής σε καθέναν από τους τρεις άξονες του γενικού συστήματος.

Πίνακας 4.3 Μάζες και μαζικές ροπές αδράνειας της κατασκευής.

Άξονας	Μεταφορική μάζα (tons)	Ροπή αδράνειας μάζας (tm^2)
X	5710.206	159600
Y	5710.206	7577
Z	5710.206	4.736

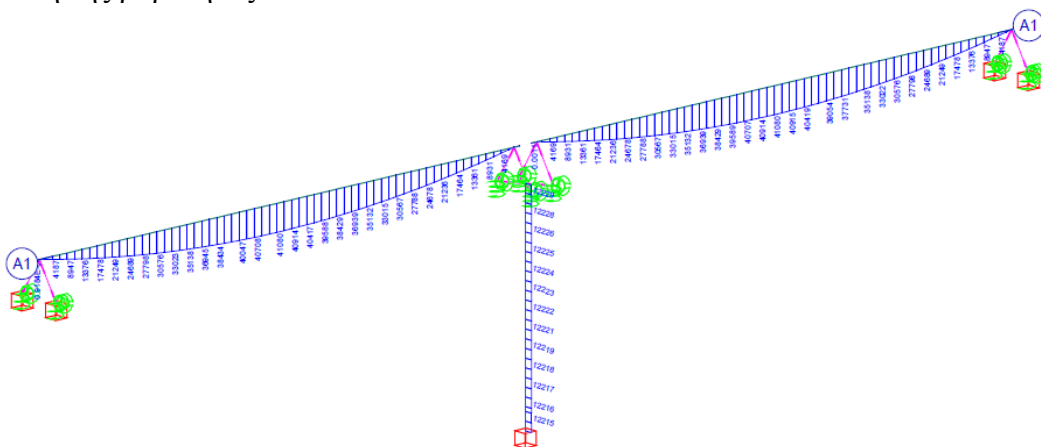
Η πρώτη ιδιομορφή της κατασκευής αντιστοιχεί σε θεμελιώδη ιδιοπερίοδο ίση με 1.943 sec. Συνολικά προκύπτει ότι οι πρώτες 50 ιδιομορφές αντιστοιχούν στο 75% της συνολικής μάζας της κατασκευής.

4.2.6 Στατική και δυναμική ανάλυση

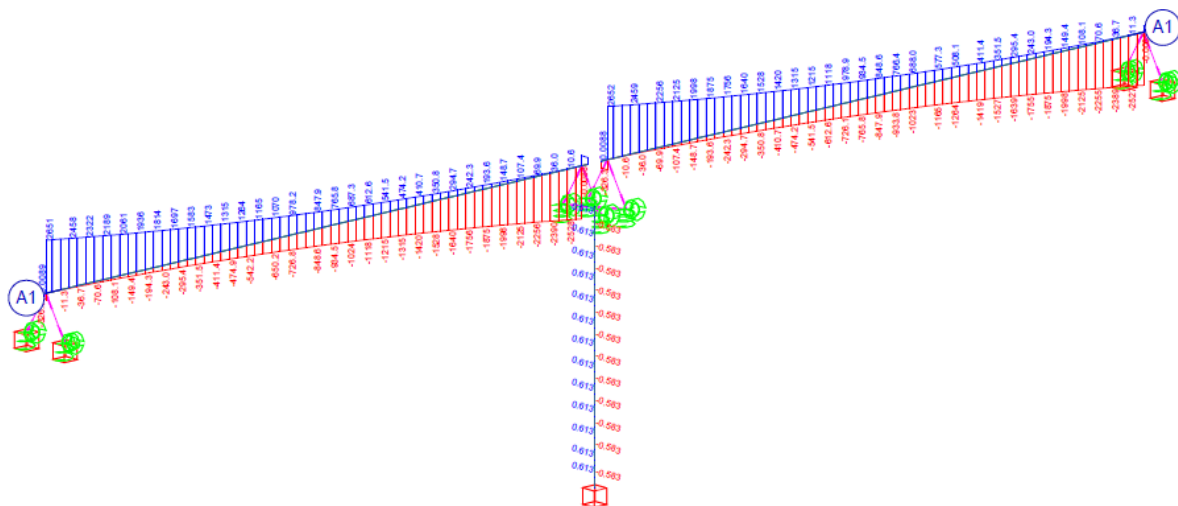
Με βάση τα δεδομένα για τις φορτίσεις που εισήχθησαν στο προσομοίωμα και τους συνδυασμούς αυτών που προβλέπονται από τους Κανονισμούς, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά σε πινακοποιημένη μορφή στο τεύχος της προμελέτης που συντάχθηκε από τη μελετητική ομάδα και παραλείπονται εδώ χάριν απλότητας, διενεργείται η στατική και δυναμική ανάλυση της κατασκευής με σκοπό τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και μετακινήσεων που απαιτούνται για το σχεδιασμό των διατομών της ανωδομής, του μεσοβάθρου και των εφεδράνων.

Κατά τη δυναμική ανάλυση η σεισμική απειλή αντιπροσωπεύεται από το φάσμα σχεδιασμού όπως ορίζουν οι Κανονισμοί και περιγράφηκε παραπάνω.

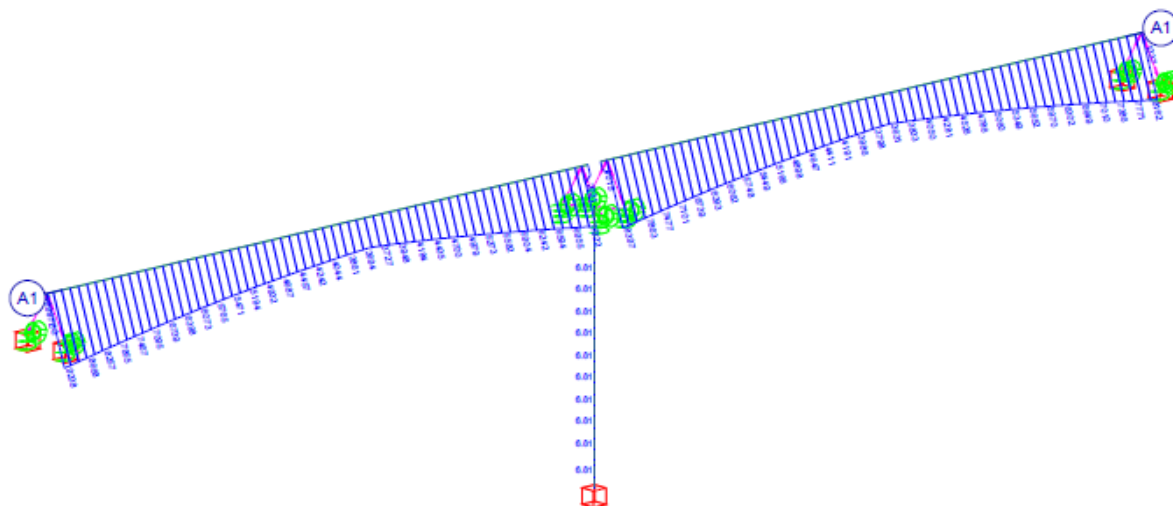
Τα προκύπτοντα για το σύστημα ανωδομή – μεσόβαθρο δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη προκύπτουν στην τελική φάση της ανάλυσης και αποτελούν τον απώτερο σκοπό αυτής. Στα σχήματα δίνονται τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών όπως προκύπτουν από την ανάλυση του προσομοιώματος που δημιουργήθηκε. Το τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων τίθεται ώστε ο διαμήκης άξονας να είναι ο X, ο εγκάρσιος είναι ο Y και ο κατακόρυφος με διεύθυνση της βαρύτητας είναι ο Z.



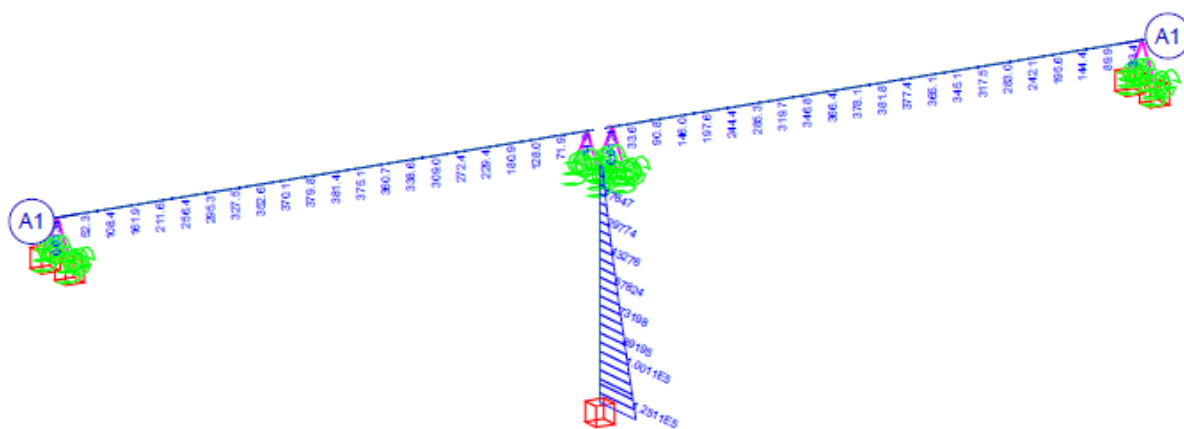
Σχήμα 4.19: Διάγραμμα μεγίστων ροπών κάμψης M_y στον φορέα του καταστρώματος (μέγιστη τιμή 41080 kNm στο άνοιγμα).



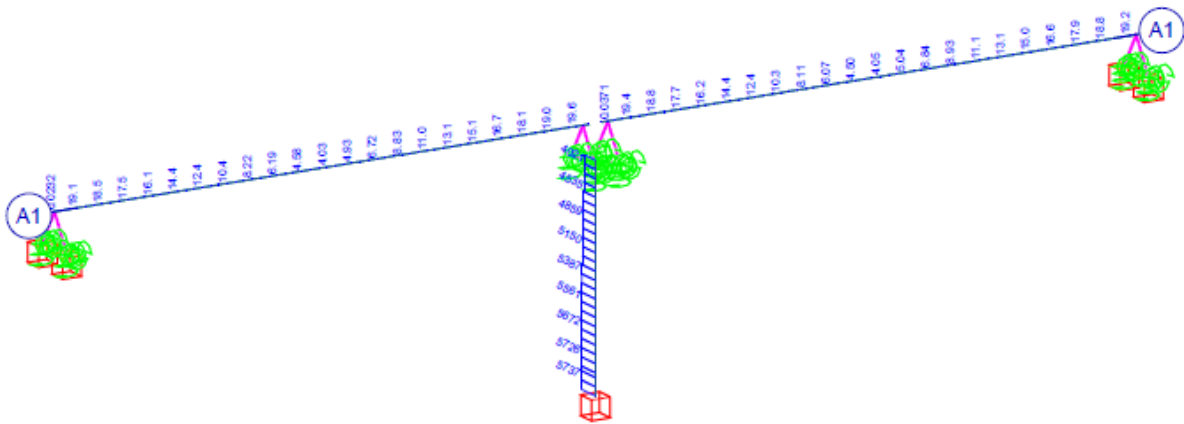
Σχήμα 4.20: Διάγραμμα μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων V_z στον φορέα του καταστρώματος (μέγιστη τιμή 2652 kN στις στηρίξεις).



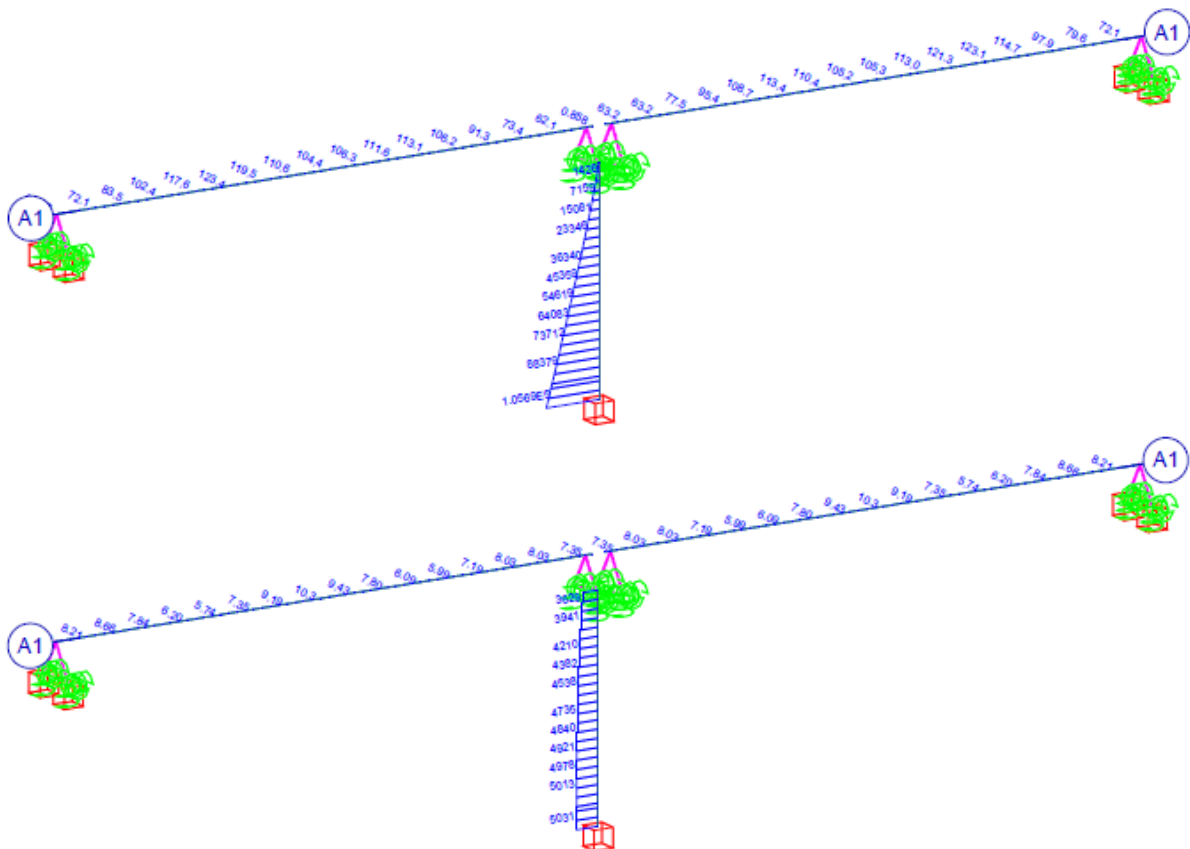
Σχήμα 4.21: Διάγραμμα μεγίστων στρεπτικών ροπών στον φορέα του καταστρώματος (μέγιστη τιμή 9238 kNm στις στηρίξεις).



Σχήμα 4.22(α): Διαγράμματα μεγίστων ροπών κάμψης (μέγιστη τιμή 136340 kNm) στο μεσόβαθρο για σεισμική δράση κατά την εγκάρσια διεύθυνση.



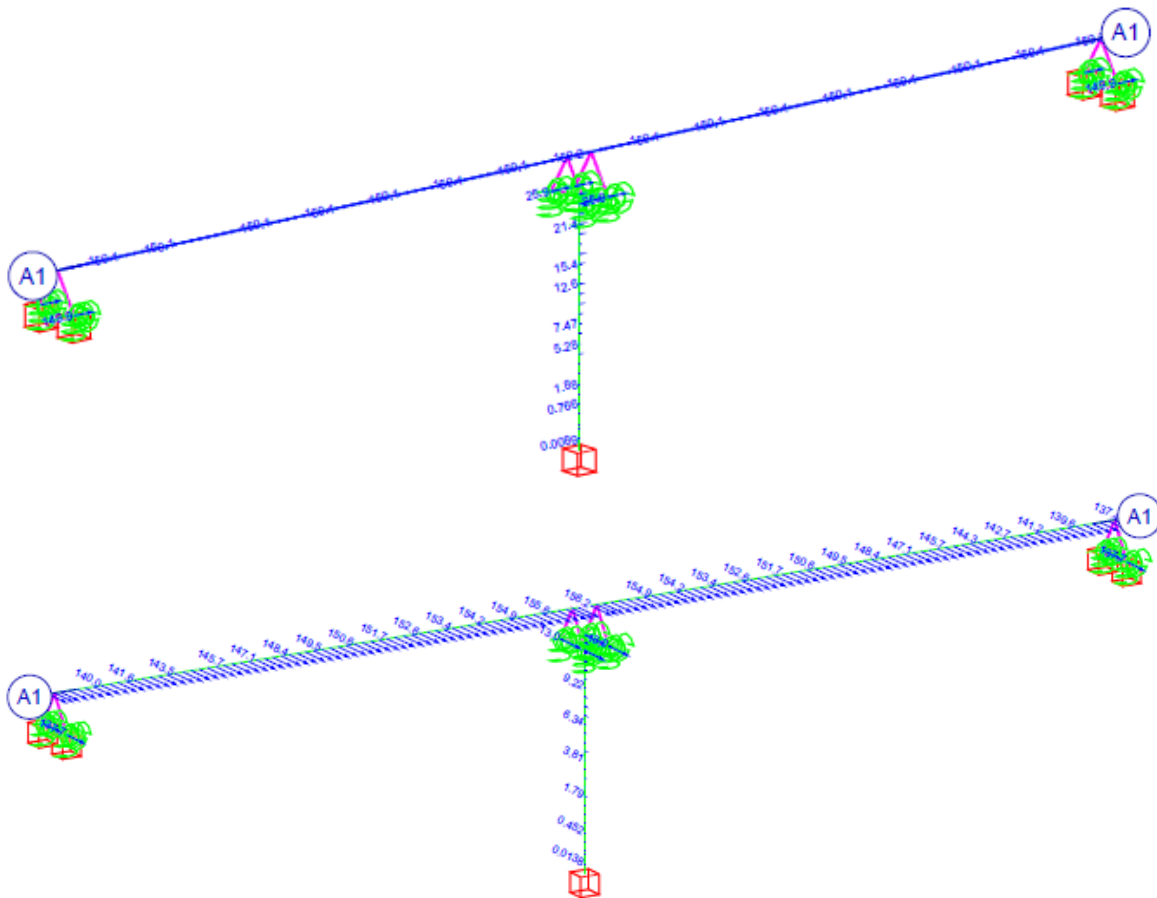
Σχήμα 4.22(β): Διαγράμματα μεγίστων ροπών μεγίστων τεμνουσών (μέγιστη τιμή 5737 kN), στο μεσόβαθρο για σεισμική δράση κατά την εγκάρσια διεύθυνση.



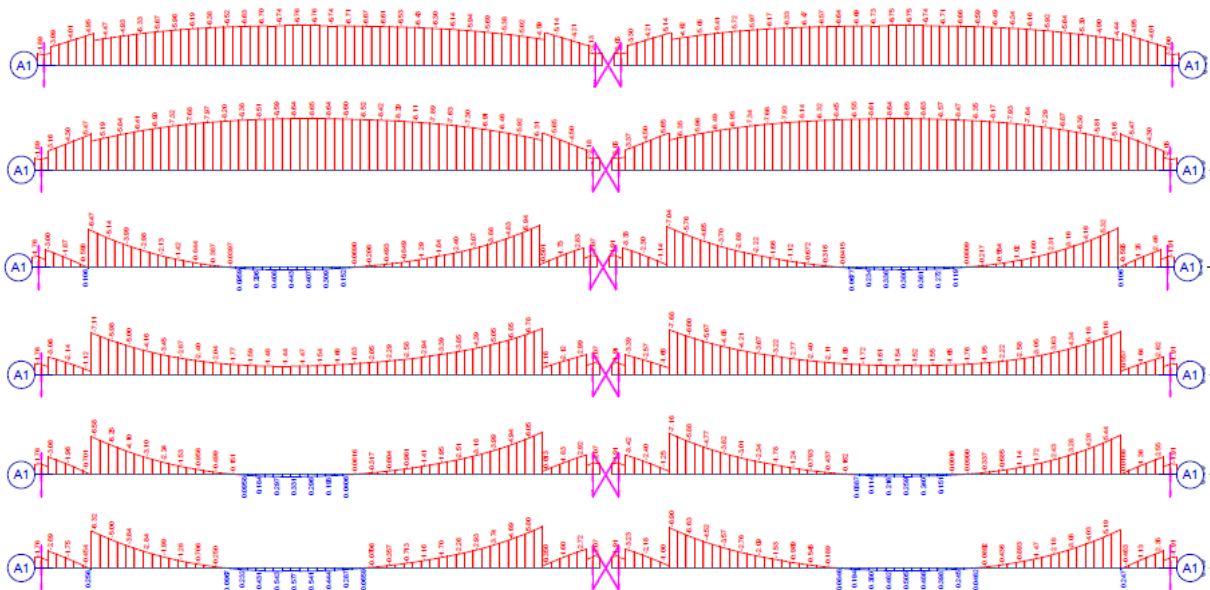
Σχήμα 4.23: Διαγράμματα μεγίστων ροπών κάμψης (άνω, μέγιστη τιμή 115630 kNm) και μεγίστων τεμνουσών (κάτω, μέγιστη τιμή 5031 kN), στο μεσόβαθρο για σεισμική δράση κατά τη διαμήκη διεύθυνση.

Πέραν το διαγραμμάτων των εντατικών μεγεθών, από την ανάλυση προκύπτουν και συμπεριλαμβάνονται στο τεύχος προμελέτης που συντάχθηκε από τη μελετητική ομάδα διαγράμματα που απεικονίζουν τη μέγιστη μετατόπιση κόμβων τόσο κατά την εγκάρσια όσο και κατά τη διαμήκη διεύθυνση του φορέα..

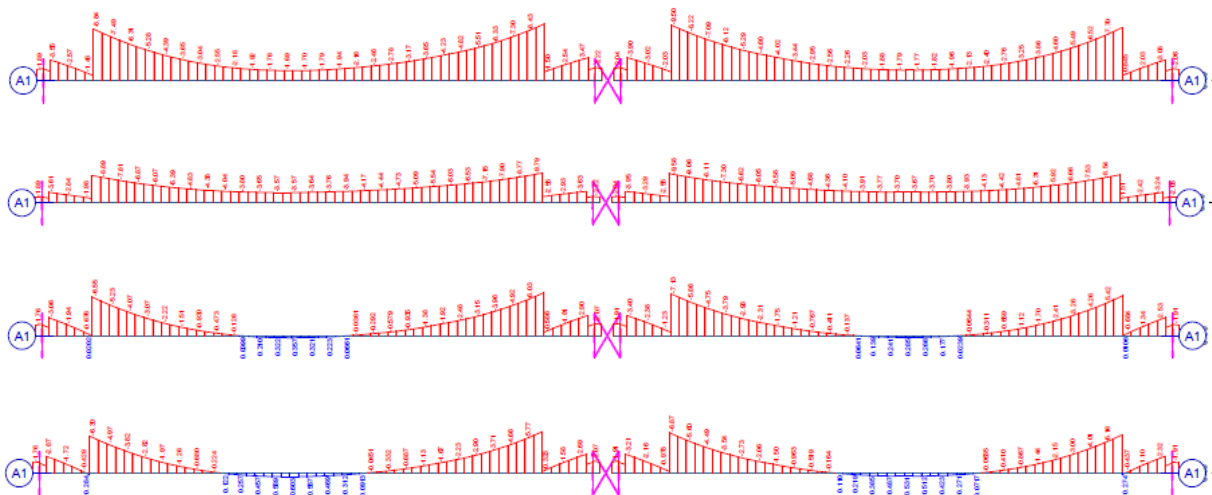
Το πρόγραμμα SOFiSTiK έχει επιπλέον τη δυνατότητα κατασκευής διαγραμμάτων των αναπτυσσόμενων τάσεων. Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ. 4.25 και 4.26) παρουσιάζονται τα διαγράμματα μέγιστων αναπτυσσόμενων θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων στο κατάστρωμα.



Σχήμα 4.24: Διαγράμματα μέγιστων μετατοπίσεων κόμβων κατά τη διαμήκη (άνω, μέγιστη τιμή 150.2 mm) και την εγκάρσια (κάτω, μέγιστη τιμή 156.2 mm) διεύθυνση του φορέα.

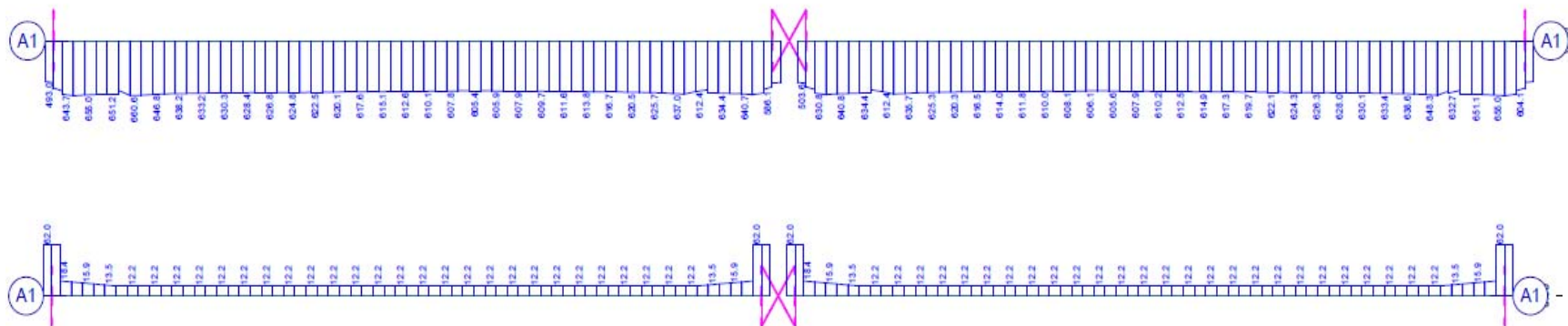


Σχήμα 4.25: Διαγράμματα μέγιστων αναπτυσσόμενων θλιπτικών τάσεων στο κατάστρωμα για διάφορους συνδυασμούς φόρτισης (μέγιστη τιμή 8.65 MPa).

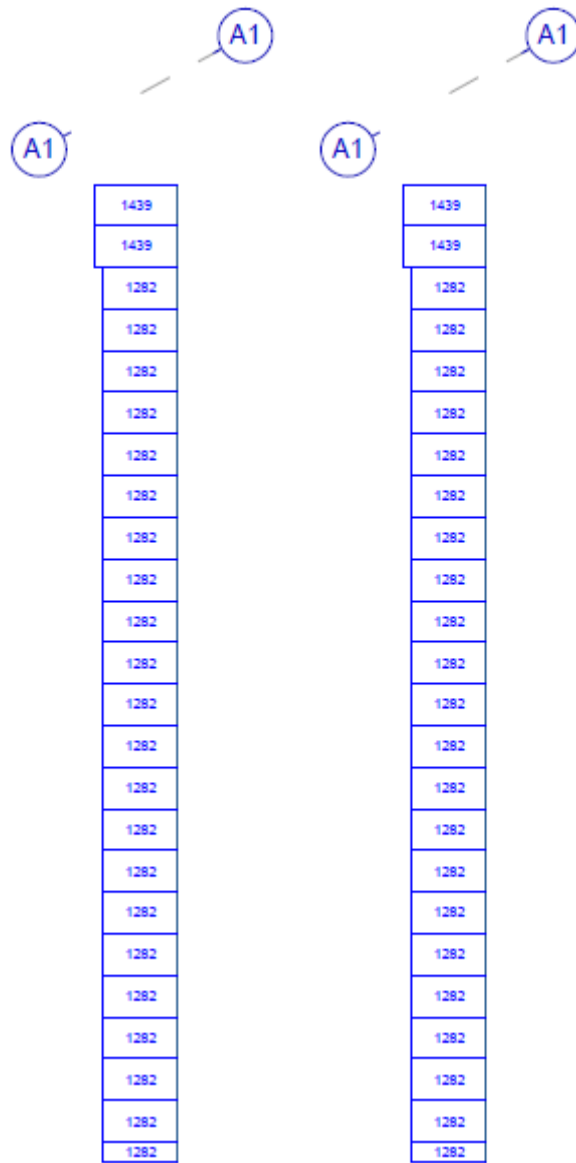


Σχήμα 4.26: Διαγράμματα μέγιστων αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων στο κατάστρωμα για διάφορους συνδυασμούς φόρτισης (μέγιστη τιμή 10.4 MPa).

Το τελικό προϊόν των υπολογισμών είναι ο απαιτούμενος σπλισμός στο κατάστρωμα και στο μεσόβαθρο που παρουσιάζεται σε αντίστοιχα διαγράμματα (Σχ. 4.27 και 4.28). Το σχήμα 4.27 ακολουθεί παρακάτω σε οριζόντια διάταξη για λόγους ευκρινείας.



Σχήμα 4.27: Διαγράμματα απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού (άνω) με μέγιστη τιμή 665.6 cm² και απαιτούμενου εγκάρσιου οπλισμού (κάτω) με μέγιστη τιμή 62 cm² στο κατάστρωμα.



Σχήμα 4.28: Διαγράμματα απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού στο μεσόβαθρο, για διάφορους συνδυασμούς φόρτισης, με μέγιστη τιμή 1439 cm²

Τα αποτελέσματα για τους απαιτούμενους οπλισμούς παρουσιάζονται στο πρόγραμμα SOFiSTik και σε πινακοποιημένη μορφή για κάθε γραμμικό μέλος. Ενδεικτικός ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 4.4 Πινακοποιημένη μορφή αποτελεσμάτων για τον απαιτούμενο οπλισμό στο πρόγραμμα ανάλυσης.

Required Reinforcements										
Beam	x[m]	NoS	LC	Ni [kN]	Myi/Mzi [kNm]	e1/yn	e2/zn	nue	rel	As L [cm2]
324	0.000	10	C01	-45639.1	58285.39	-3.04	5.00	1.00	1.56	497.17 1
					160918.59	678	-3990			785.00 3
						e=	0.37 -0.65 =>		3.59	
			Material		2	-3.04	-15.33		min	
						5.19	0.00		max	
			Reinforcem.		12	-2.85	-434.78		min	
						5.00	434.78		max	
			Section 1		T/Tmax	0.941	(D 0.000, Z 0.941)			16898.9 [kN]
			Section 2		T/Tmax	0.172	(D 0.384, Z 0.556)			-8154.0 [kN]

4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ

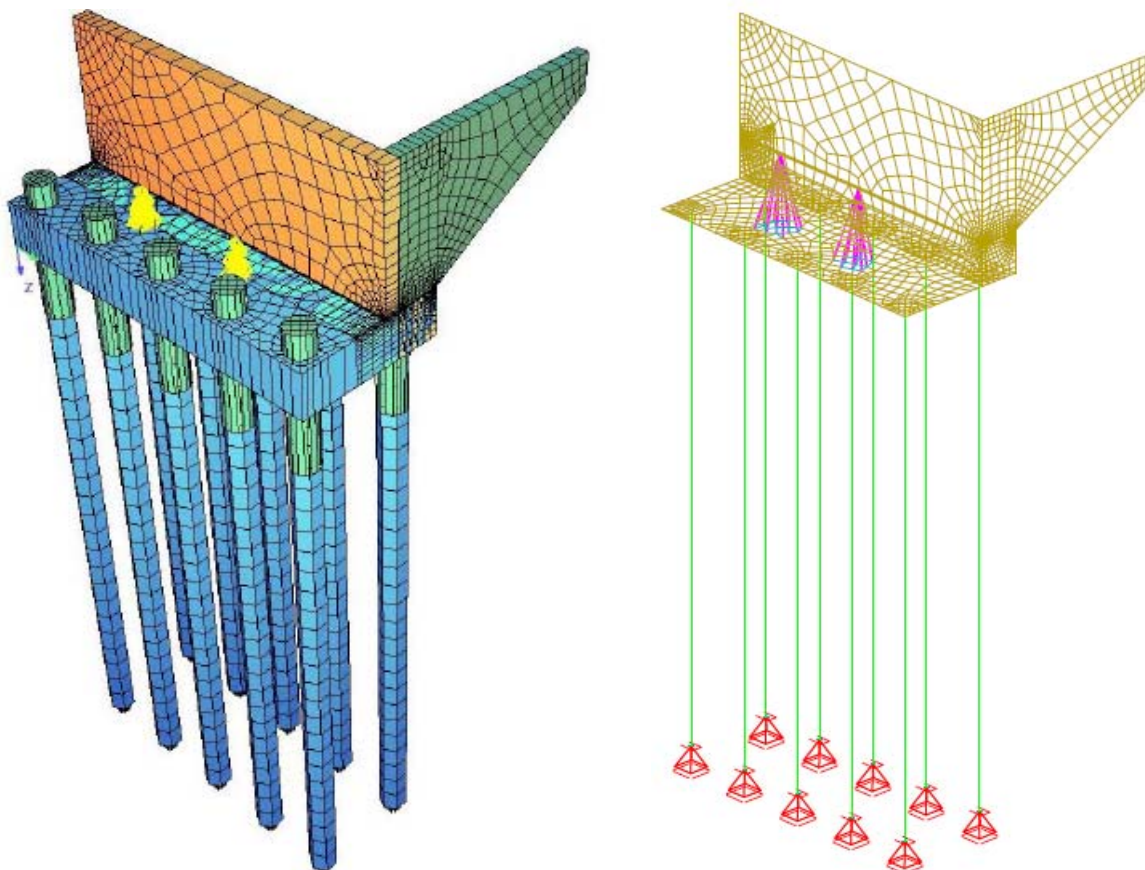
4.3.1 Εισαγωγικά.

Οι πληροφορίες της ενότητας αυτής λαμβάνονται από το κείμενο ΙΤΤΡ93269Β της ομάδας μελέτης που συνοδεύει την υποβληθείσα προμελέτη του έργου. Δεν προέρχονται από πρωτότυπες αναλύσεις και υπολογισμούς των συντακτριών της παρούσης εργασίας.

Παρουσιάζονται ενδεικτικά στοιχεία για ένα ακρόβαθρο. Οι αναλύσεις για όλα τα ακρόβαθρα περιλαμβάνονται σε αντίστοιχα έγγραφα της εταιρείας μελέτης και δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία χάριν απλότητας.

4.3.2 Γεωμετρία του προσομοιώματος

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 4.29) δίνεται μια γενική άποψη του μαθηματικού προσομοιώματος ενός ακρόβαθρου όπως αυτό δημιουργείται στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος SOFiSTiK. Η ανάλυση των ακρόβαθρων γίνεται με δίκτυο επιφανειακών στοιχείων καθώς είναι επίπεδοι φορείς που λειτουργούν σαν τοίχοι αντιστήριξης, ενώ ταυτόχρονα μεταβιβάζουν με ασφάλεια τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος. Με γραμμικά στοιχεία προσομοιώνονται μόνο οι φρεατοπάσσαλοι της θεμελίωσης του ακρόβαθρου.



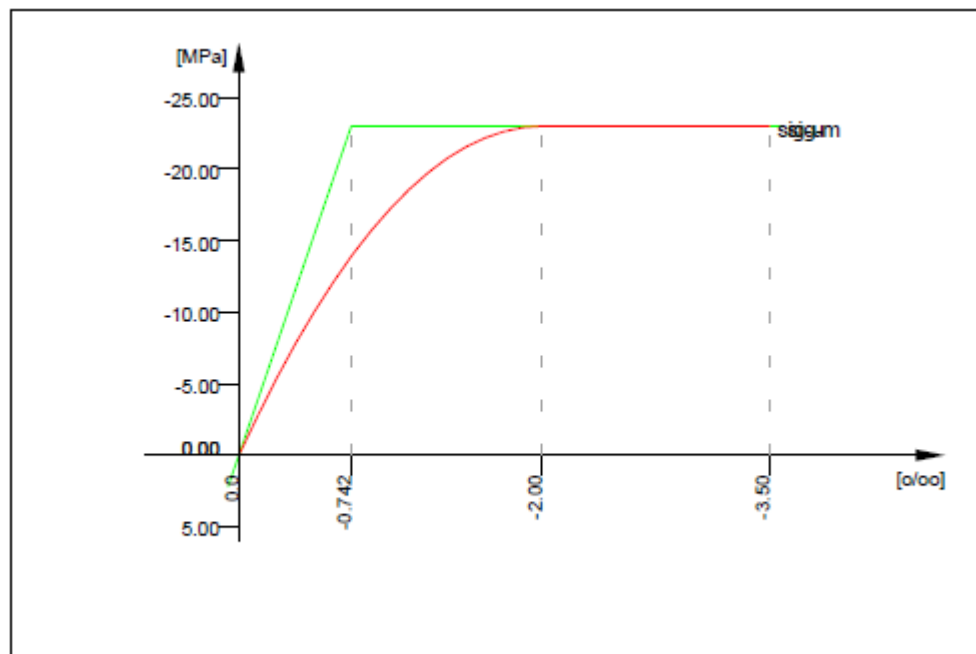
Σχήμα 4.29: Γενική άποψη του στατικού προσομοιώματος του ακρόβαθρου.

4.3.3 Υλικά και διατομές

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή είναι σκυρόδεμα διαφόρων κατηγοριών και χάλυβας. Το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα ανήκει στις κατηγορίες B35 και B25 ενώ ο χάλυβας είναι B500C. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως προκύπτουν από το τεύχος της μελέτης και δηλώθηκαν στο πρόγραμμα ανάλυσης.

Πίνακας 4.5 Ιδιότητες σκυροδεμάτων B35 και B25 όπως εισάγονται στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό των ακροβάθρων.

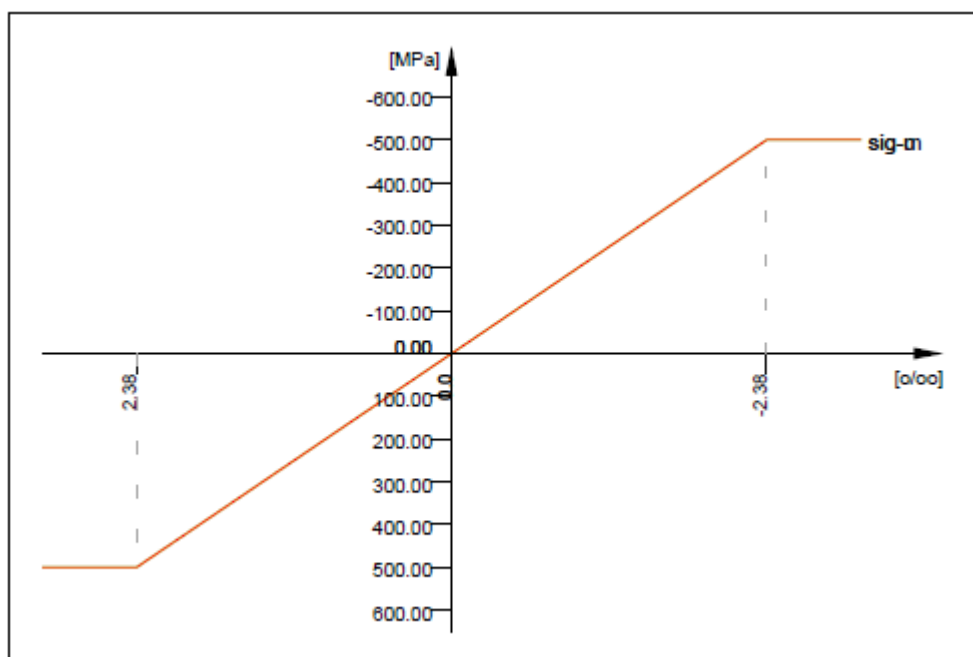
	B25	B35
Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)	30000	31000
Λόγος Poisson ν	0.20	0.20
Μέτρο διάτμησης G (MPa)	12500	12917
Μέτρο διόγκωσης K (MPa)	16667	17222
Ειδικό βάρος (kN/m^3)	25.0	25.0
Συντελεστής ασφαλείας	1	1
Θλιπτική αντοχή f_c (MPa)	17.5	23.00
Ονομαστική αντοχή f_{cn} (MPa)	25.0	35.00
Εφελκυστική αντοχή f_{ctm} (MPa)	2.56	3.21
5% Χαρακτηριστική Εφελκυστική αντοχή f_{ctk} (MPa)	2.14	2.67
95% Χαρακτηριστική Εφελκυστική αντοχή f_{ctk} (MPa)	3.08	3.85
Αντοχή συνάφειας (MPa)	1.80	2.20
Αντοχή κόπωσης (MPa)	0.00	0.00



Σχήμα 4.30: Ενδεικτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης σκυροδέματος κατηγορίας B35 όπως προκύπτει στο πρόγραμμα έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων.

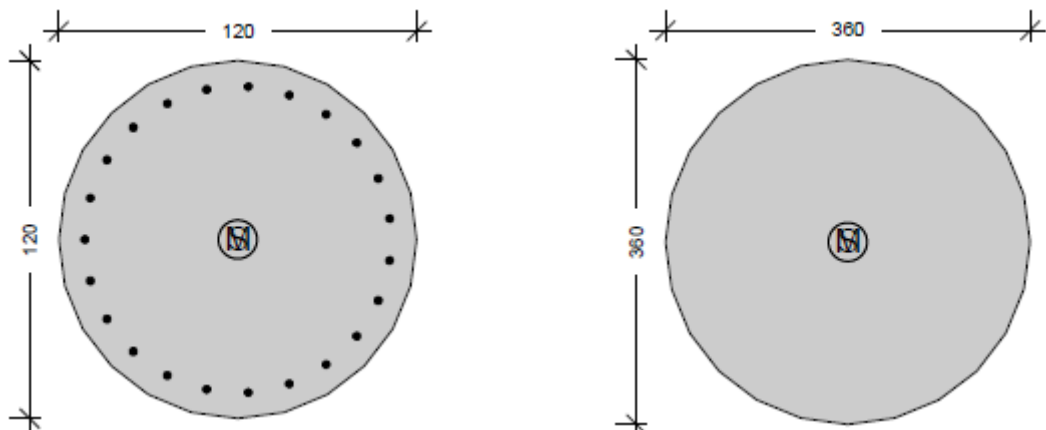
Πίνακας 4.6 Ιδιότητες του χάλυβα κατηγορίας B500C όπως εισάγονται στο πρόγραμμα για την ανάλυση των ακροβάθρων.

	B500C
Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)	210000
Λόγος Poisson ν	0.30
Μέτρο διάτμησης G (MPa)	80769
Μέτρο διόγκωσης K (MPa)	175000
Ειδικό βάρος (kN/m^3)	78.5
Συντελεστής ασφαλείας	1
Τάση διαρροής f_y (MPa)	500
Τάση διαρροής σε θλίψη f_{yc} (MPa)	500
Εφελκυστική αντοχή f_t (MPa)	550
Θλιπτική αντοχή f_c (MPa)	550
Πλαστική παραμόρφωση αστοχίας	0 ‰
Μέτρο κράτνωσης (MPa)	0
Όριο αναλογίας (MPa)	500
Συντελεστής συνάφειας $K_1 EC_2$	0.80



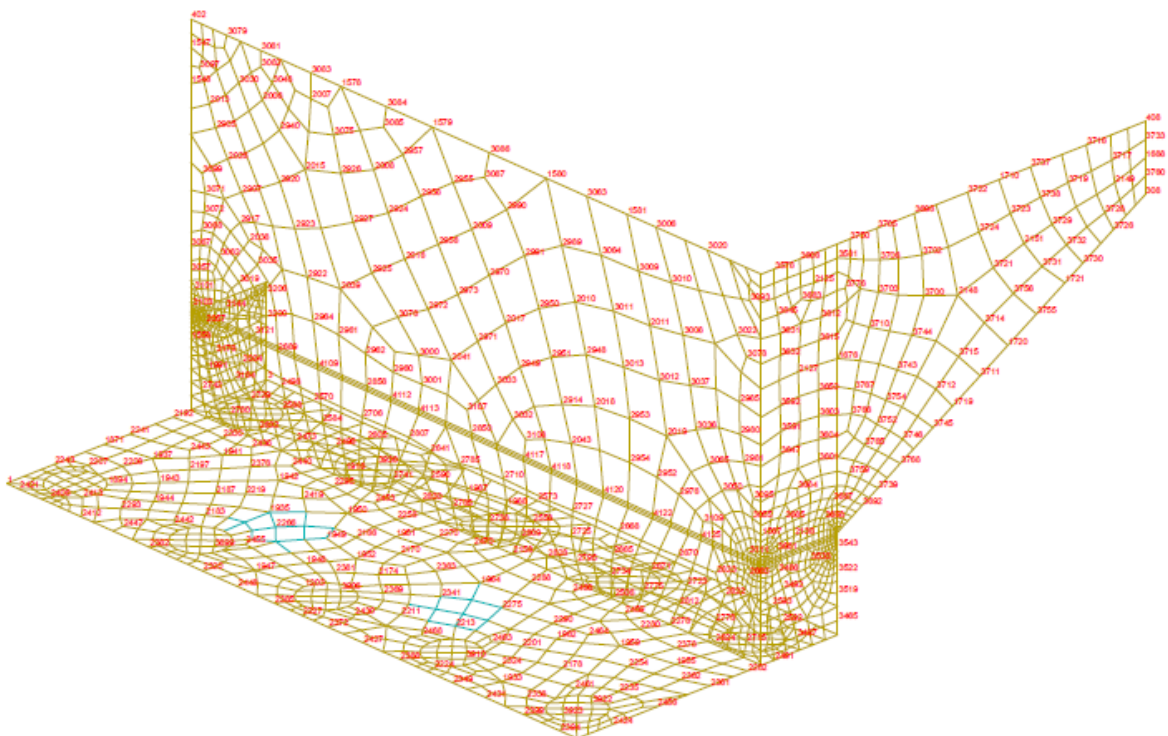
Σχήμα 4.31: Ενδεικτικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης χάλυβα κατηγορίας B500C όπως προκύπτει στο πρόγραμμα έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων.

Η διατομή των πρισματικών στοιχείων που προσομοιώνουν τους φρεατοπασσάλους στους οποίους θεμελιώνεται το ακρόβαθρο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

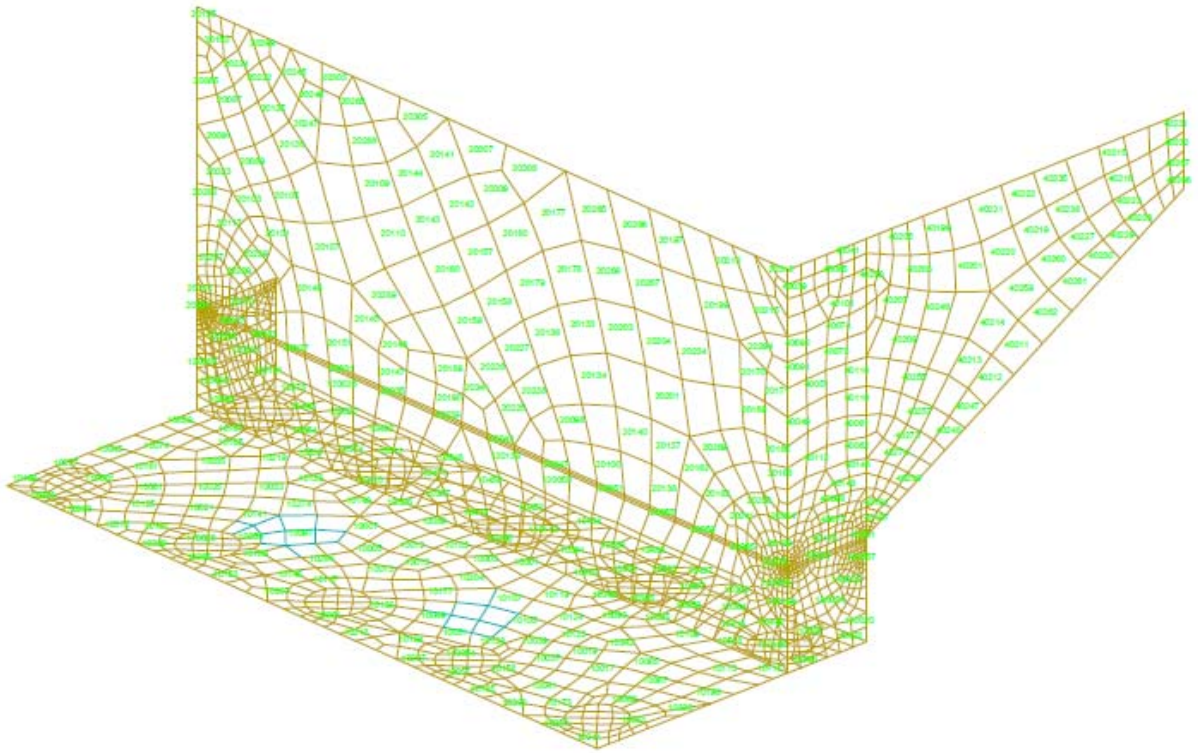


Σχήμα 4.32: Τυπική διατομή φρεατοπασσάλου και δύσκαμπτων φρεατοπασσάλου με τις διαστάσεις σε cm όπως εισάγεται στο πρόγραμμα.

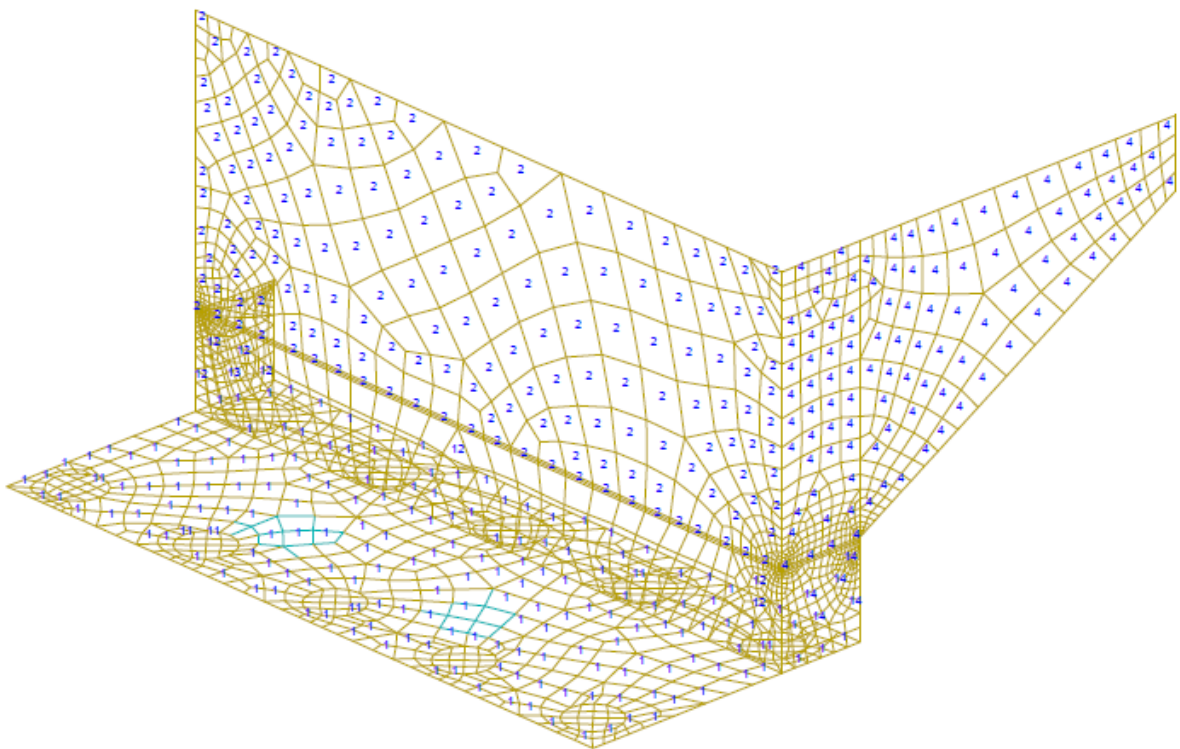
Στα σχήματα που ακολουθούν συνοψίζονται τα βασικά στοιχεία του τελικά διαμορφωμένου προσομοιώματος του ακροβάθρου, όπως απεικονίζονται στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος. Τα σχήματα αυτά συνοδεύουν την προμελέτη της γέφυρας και συγκεκριμένα αφορούν την αρίθμηση των κόμβων του μοντέλου, την αρίθμηση των επιφανειακών στοιχείων που δημιουργούνται, την ομαδοποίηση των στοιχείων ανάλογα με το πάχος τους και το μέσο πάχος του ακροβάθρου σε διάφορες θέσεις του.



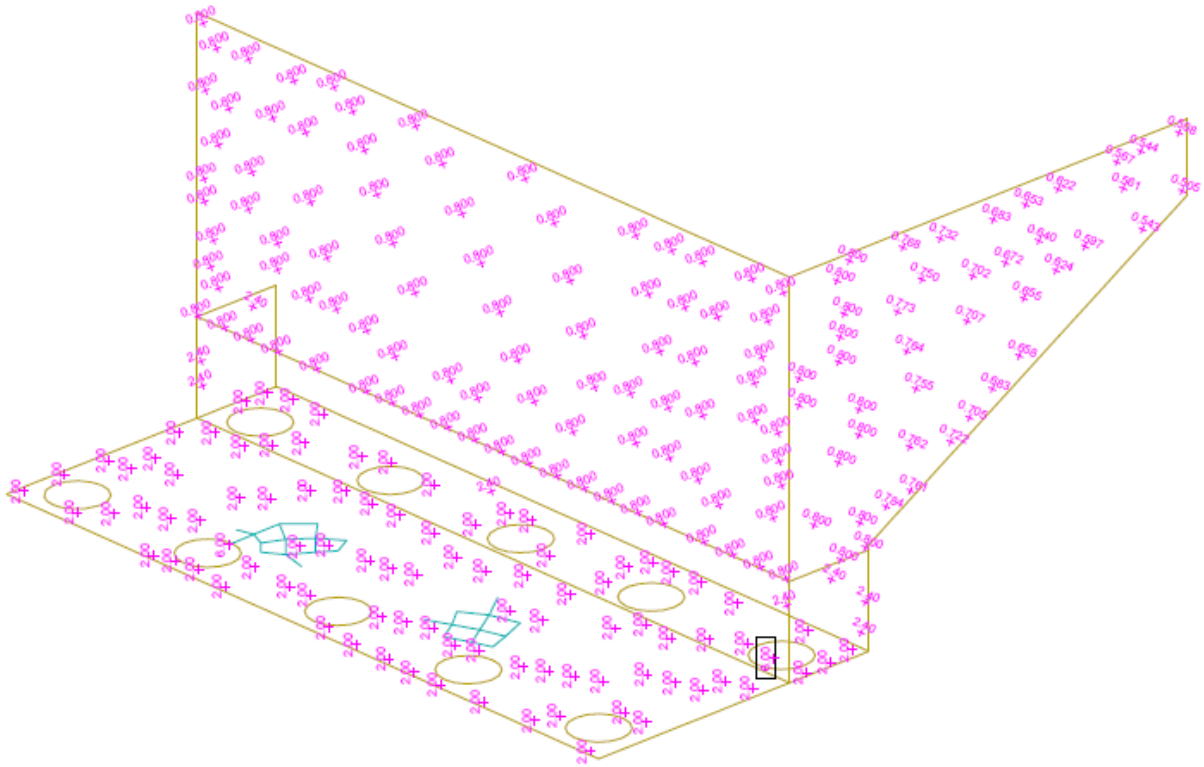
Σχήμα 4.33: Γενική άποψη του προσομοιώματος του ακροβάθρου όπου διακρίνεται η αρίθμηση που των κόμβων του (10002 συνολικά).



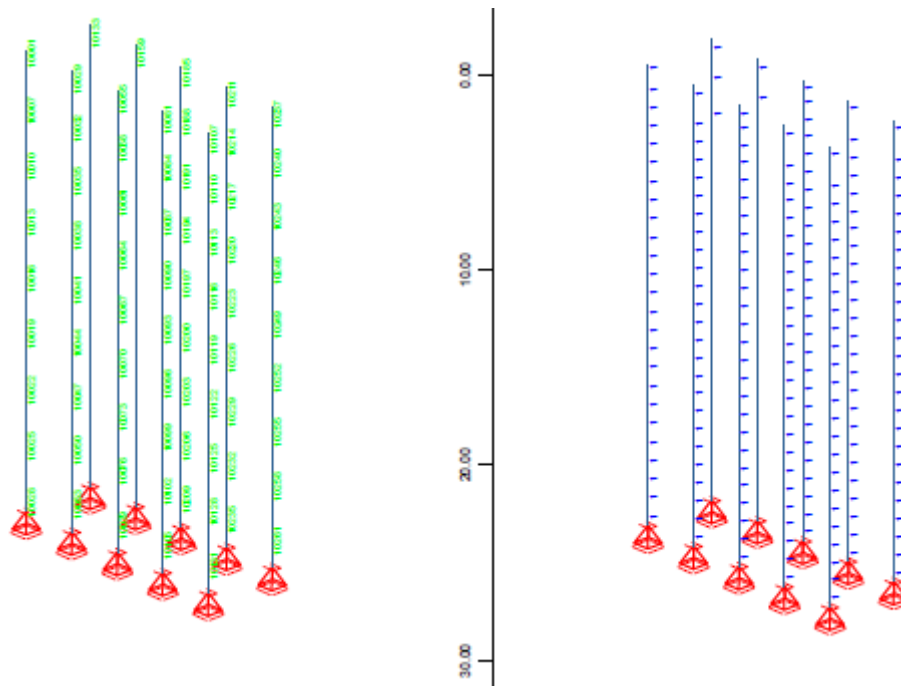
Σχήμα 4.34: Γενική άποψη του προσομοιώματος του ακρόβαθρου όπου διακρίνεται η αρίθμηση που των επιφανειακών στοιχείων του (140128 συνολικά).



Σχήμα 4.35: Γενική άποψη του προσομοιώματος του ακρόβαθρου όπου διακρίνεται η ομαδοποίηση των επιφανειακών στοιχείων με ίδιες ιδιότητες (υλικό και διατομή).

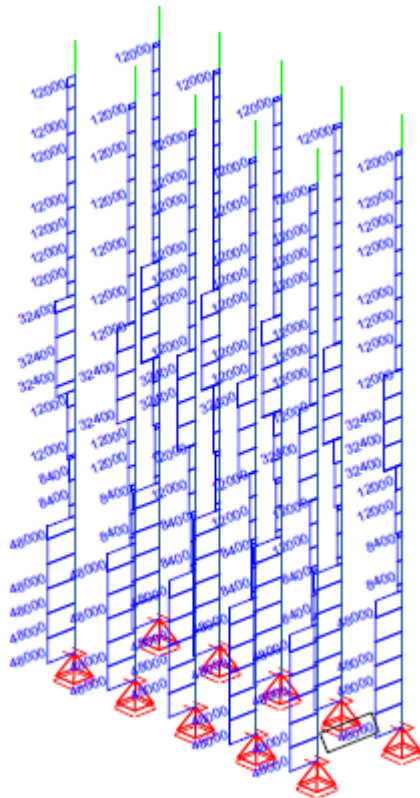


Σχήμα 4.36: Γενική άποψη του προσομοιώματος του ακρόβαθρου με τις ενδείξεις του μέσου πάχους των επιφανειακών στοιχείων σε διάφορες θέσεις.



Σχήμα 4.37: Προσομοίωση των φρεατοπασσάλων της θεμελίωσης με γραμμικά στοιχεία – αρίθμηση των στοιχείων (αριστερά, συνολικά 10262) και ομάδες με ίδιες ιδιότητες (δεξιά).

Για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης του συστήματος εδάφους – φρεατοπασσάλων χρησιμοποιούνται στοιχεία εγκάρσιας δυσκαμψίας (ελατήρια) που συνδέονται στους κόμβους των γραμμικών στοιχείων των φρεατοπασσάλων όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.38: Προσομοίωση των ελαστικών ιδιοτήτων του εδάφους με εγκάρσια ελατήρια (μέγιστη τιμή δυσκαμψίας 48000 kN/m²).

4.3.4 Φορτίσεις

Οι επιβαλλόμενες στα ακρόβαθρα φορτίσεις διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στις φορτίσεις εκείνες που προκύπτουν από την ανάλυση του συστήματος ανωδομή – μεσόβαθρο καθώς και στις φορτίσεις εκείνες που ασκούνται κατ' ευθείαν στο ακρόβαθρο. Οι φορτίσεις αυτές περιλαμβάνουν τα μόνιμα φορτία και το ίδιο βάρος, τις ωθήσεις ηρεμίας των γαιών που περιβάλλουν τα ακρόβαθρα, τα κινητά φορτία της γέφυρας και τις ωθήσεις των κινητών φορτίων, και τη σεισμική φόρτιση κατά τις διευθύνσεις X, Y, Z.

Η γεωμετρία του ακροβάθρου και η προσομοίωση του με επιφανειακά στοιχεία καθιστούν δύσκολη την παρουσίαση των φορτίων σχηματικά με εποπτικό τρόπο. Τελικώς τα φορτία παρουσιάζονται στο τεύχος της προμελέτης που συντάχθηκε από τη μελετητική ομάδα και χρησιμοποιήθηκε ως πηγή της παρούσης εργασίας σε πινακοποιημένη μορφή. Ενδεικτικοί οι πίνακες που ακολουθούν (Πιν. 4.7 – 4.9).

Πίνακας 4.7: Μόνιμα φορτία λόγω ιδίου βάρους των ακροβάθρων όπως παρουσιάζονται στο τεύχος δεδομένων του προγράμματος SOFiSTiK.

Load Case 1 IB+MENIMA_SW DEAD LOAD							
Factor forces and moments 1.000							
Factor dead weight DL-XX 0.000							
Factor dead weight DL-YY 0.000							
Factor dead weight DL-ZZ 0.000							
Meshfree Loading							
Kind	Referenceto	Projection	Coordinates			Type	Loadvalue
		W[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]		
Area			0.000	0.000	0.000	PG	50.00 [kN/m2]
			0.000	15.450	0.000		50.00 [kN/m2]
			4.700	15.450	0.000		50.00 [kN/m2]
			4.700	0.000	0.000		50.00 [kN/m2]
	QGRP	1	(--)		activated		92.42 percent
Area			4.700	0.000	0.000	PG	50.00 [kN/m2]
			4.700	15.450	0.000		50.00 [kN/m2]
			6.650	15.450	0.000		50.00 [kN/m2]
			6.650	0.000	0.000		50.00 [kN/m2]
	QGRP	1	(--)		activated		81.71 percent
Area			4.700	0.000	0.000	PG	160.00 [kN/m2]
			4.700	15.450	0.000		160.00 [kN/m2]
			6.650	15.450	0.000		160.00 [kN/m2]
			6.650	0.000	0.000		160.00 [kN/m2]
	QGRP	1	(--)		activated		81.71 percent
Loads acting on Nodes							
Node	PX[kN]	PY[kN]	PE[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	ME[kNm]	MB[kNm2]
10001			6100.0				
10002			6100.0				
sum			12200.0				
Loads acting on QUAD-elements							
Elements	from	to	inc	Load Prim Type LC/CC	Load val.	Dimension	Variation dP/dX dP/dY dP/dZ
	10000	19999	1	PG	9.02	[kN/m2]	
	20000	29999	1	PG	20.00	[kN/m2]	
	30000	39999	1	PG	20.00	[kN/m2]	
	40000	49999	1	PG	12.50	[kN/m2]	

Πίνακας 4.8: Κινητά φορτία στα ακρόβαθρα όπως παρουσιάζονται στο τεύχος δεδομένων του προγράμματος SOFiSTiK.

Load Case 101 KINHHTA ΓΕΦΥΡΑΕ LIVE LOAD							
Factor forces and moments 1.000							
Factor dead weight DL-XX 0.000							
Factor dead weight DL-YY 0.000							
Factor dead weight DL-ZZ 0.000							
Loads acting on Nodes							
Node	PX[kN]	PY[kN]	PE[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	ME[kNm]	MB[kNm2]
10001			2600.0				
10002			2600.0				
sum			5200.0				

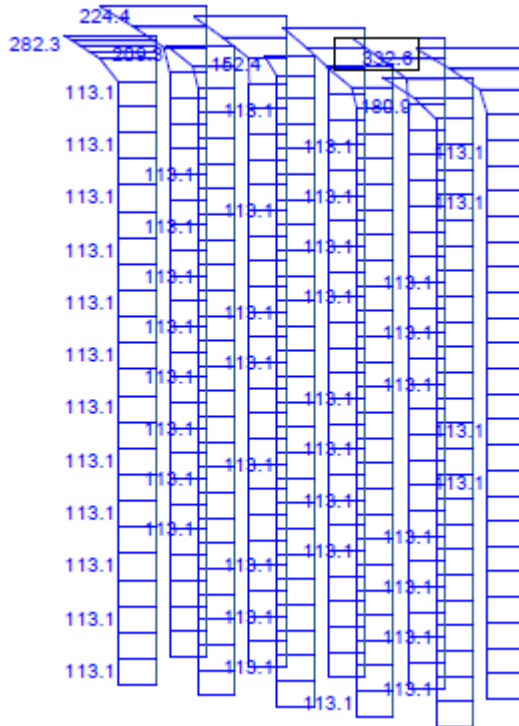
Πίνακας 4.9: Ωθήσεις γαιών στα ακρόβαθρα όπως παρουσιάζονται στο τεύχος δεδομένων του προγράμματος SOFiSTiK.

Load Case 2 COHESIVE HORIZONTAL PRESSURES AT REST						
Factor forces and moments						1.000
Factor dead weight	DL-XX					0.000
Factor dead weight	DL-YY					0.000
Factor dead weight	DL-ZZ					0.000
Meshfree Loading						
Kind	Referenceto	Projection Coordinates			Type	Loadvalue
		W[m]	X[m]	Y[m]	Z[m]	
Area		4.700	0.000	-8.000	Pz	0.00 [kN/m2]
		4.700	15.450	-8.000		0.00 [kN/m2]
		4.700	15.450	0.000		80.00 [kN/m2]
		4.700	0.000	0.000		80.00 [kN/m2]
	QGRP	2	(--)	activated		75.00 percent
Area		4.700	0.000	-8.000	Pz	0.00 [kN/m2]
		4.700	15.450	-8.000		0.00 [kN/m2]
		4.700	15.450	0.000		80.00 [kN/m2]
		4.700	0.000	0.000		80.00 [kN/m2]
	QGRP	12	(--)	activated		25.00 percent
Area		4.700	0.000	-8.000	Pz	0.00 [kN/m2]
		14.500	0.000	-8.000		0.00 [kN/m2]
		14.500	0.000	-6.500		15.00 [kN/m2]
		6.650	0.000	-2.100		59.00 [kN/m2]
		6.650	0.000	-2.000		60.00 [kN/m2]
		4.700	0.000	-2.000		60.00 [kN/m2]
	QGRP	3	(--)	activated		100.00 percent
Area		4.700	15.450	-8.000	Pz	0.00 [kN/m2]
		14.500	15.450	-8.000		0.00 [kN/m2]
		14.500	15.450	-6.500		15.00 [kN/m2]
		6.650	15.450	-2.100		59.00 [kN/m2]
		6.650	15.450	-2.000		60.00 [kN/m2]
		4.700	15.450	-2.000		60.00 [kN/m2]
	QGRP	4	(--)	activated		100.00 percent

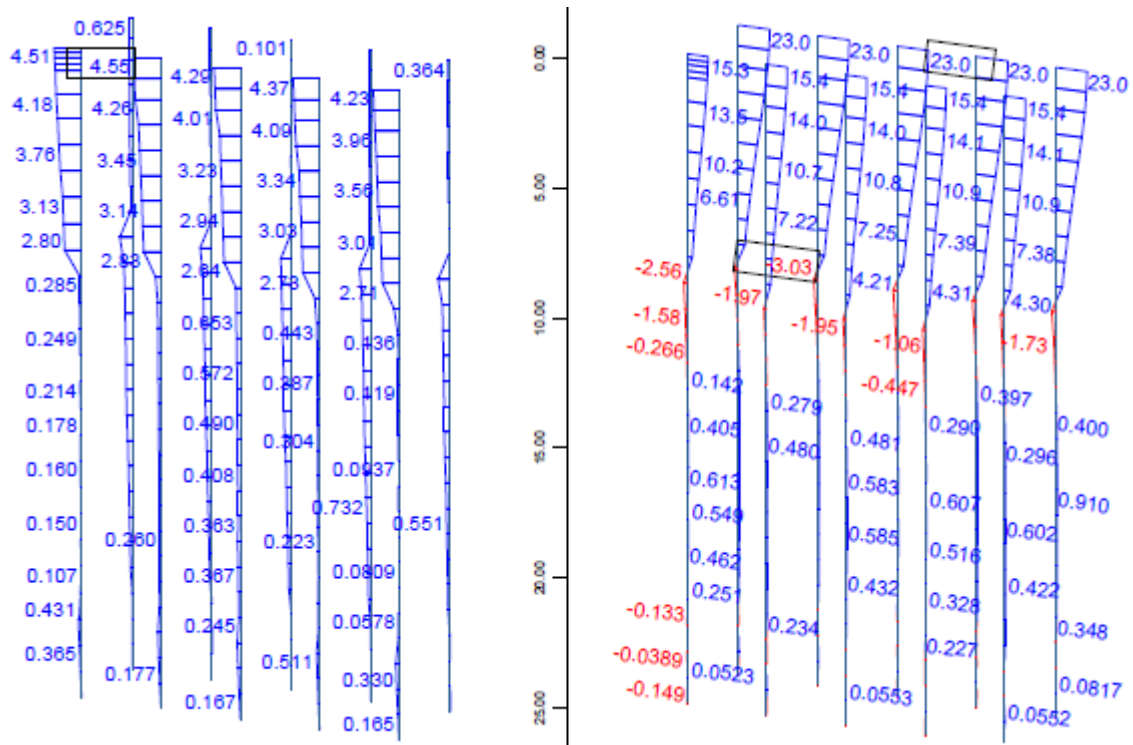
4.3.5 Δυναμική ανάλυση

Η διενέργεια της στατικής και δυναμικής ανάλυσης στο ολοκληρωμένο πλέον προσομοίωμα των ακρόβαθρων δίνει αποτελέσματα για τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη και τους απαιτούμενους οπλισμούς. Για τη δυναμική ανάλυση λαμβάνονται υπ' όψει οι συνδυασμοί και το φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων που αναφέρθηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο. Οι πολυσέλιδοι πίνακες των συνδυασμών δράσεων που λαμβάνονται υπ' όψει σε κάθε στοιχείο του φορέα, που συνοδεύουν την προμελέτη και δημιουργούνται από το πρόγραμμα πριν την ανάλυση αφού δηλωθούν οι απαραίτητοι συνδυασμοί από το χρήστη, παραλήφθηκαν χάριν απλότητας.

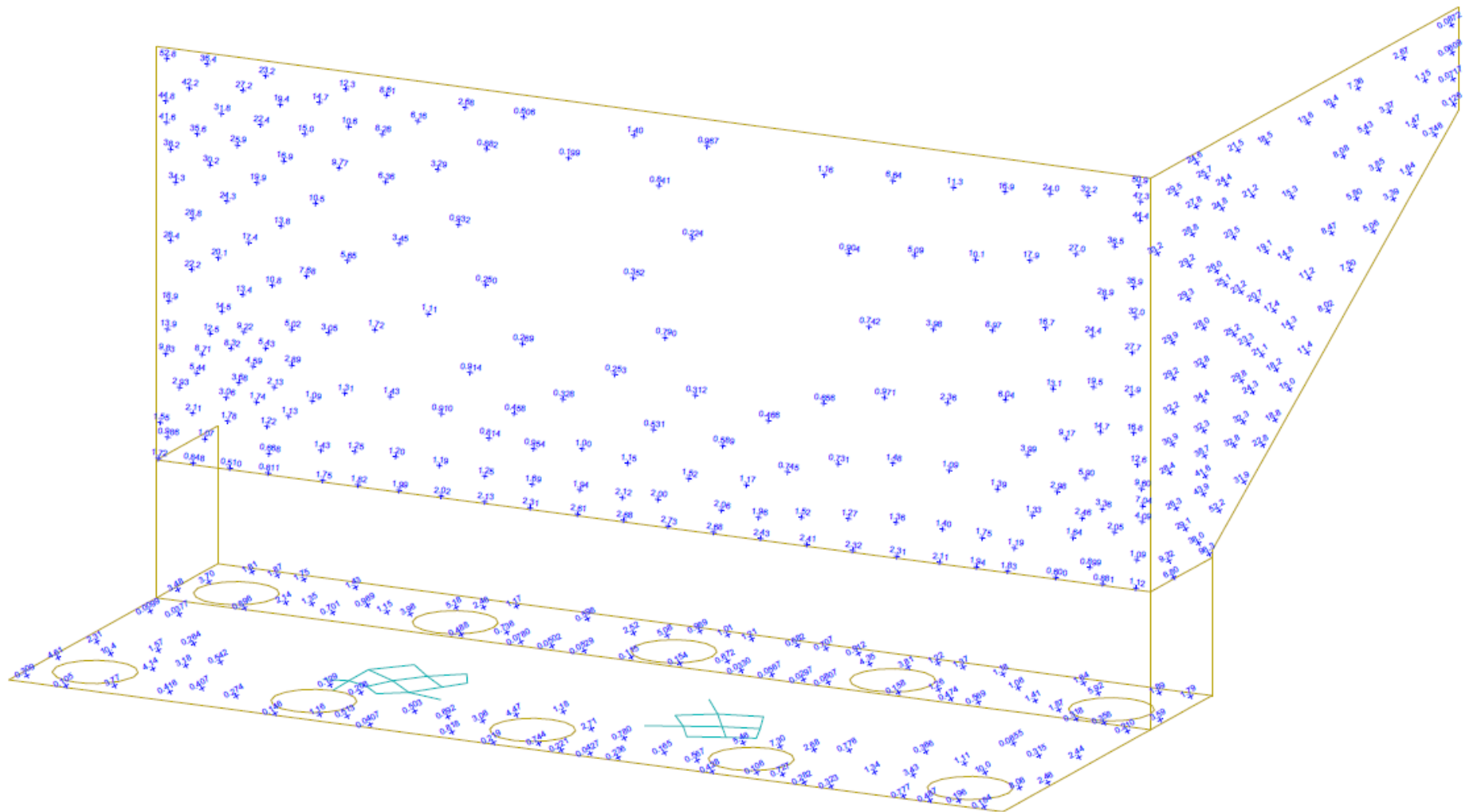
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται διαγράμματα με τους απαιτούμενους οπλισμούς καθώς και τις μέγιστες μετατοπίσεις σε διάφορες στάθμες του ύψους των πασσάλων.



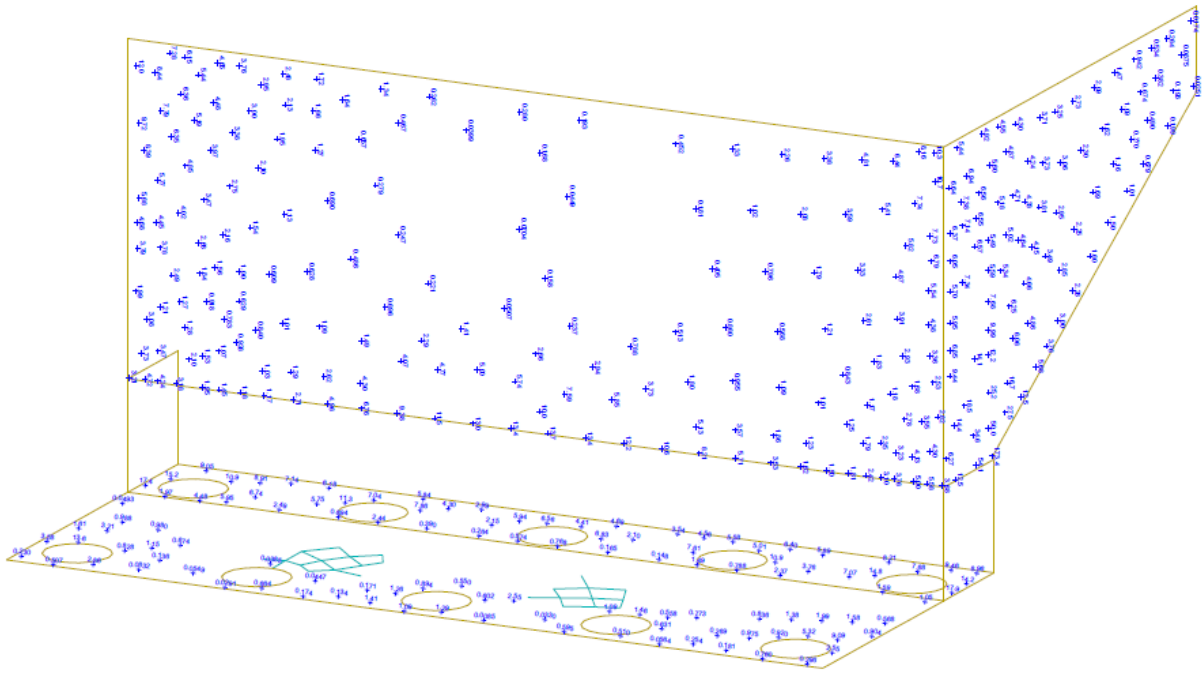
Σχήμα 4.39: Απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός στους πασσάλους, σε cm^2 .



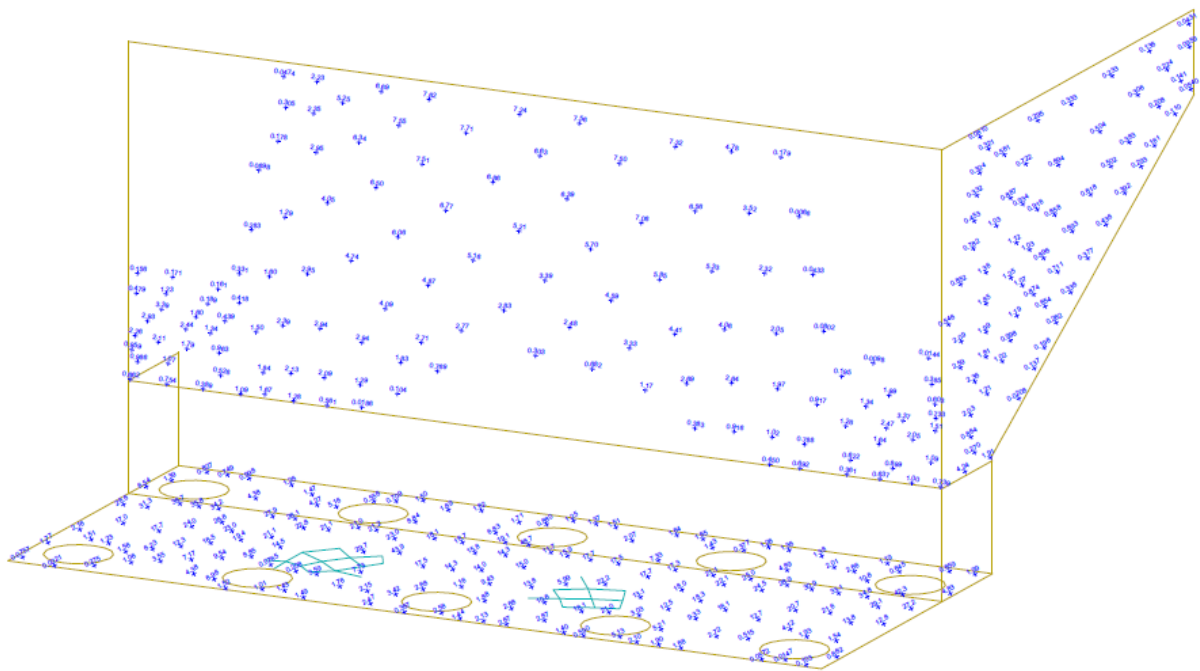
Σχήμα 4.40: Μέγιστες μετατοπίσεις στους πασσάλους κατά τη διεύθυνση X (αριστερά) και Y (δεξιά) σε cm.



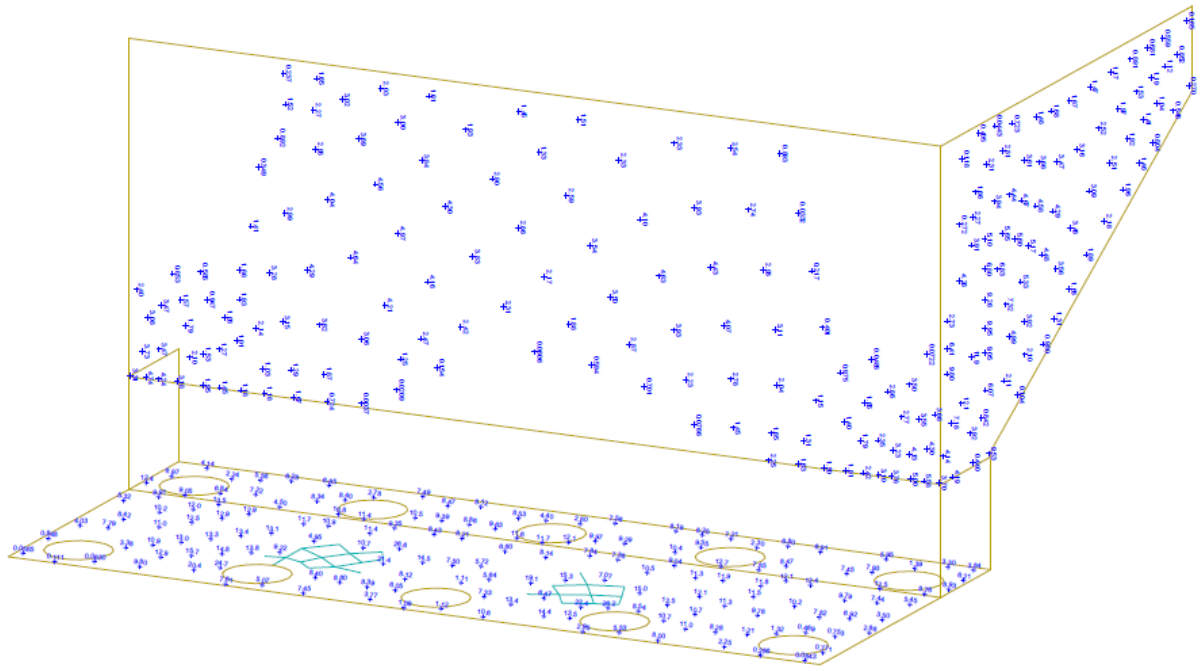
Σχήμα 4.41: Απαιτούμενος κύριος διαμήκης κατακόρυφος εξωτερικός σπλισμός (1^η στρώση άνω παρειάς) στα τοιχώματα του ακρόβαθρου, με μέγιστη τιμή 215.9 (σε cm²/m).



Σχήμα 4.42: Απαιτούμενος διαμήκους οριζόντιος εξωτερικός σπλισμός (2^η στρώση άνω παρειάς) στα τοιχώματα του ακρόβαθρου, με μέγιστη τιμή 415,6 (σε cm²/m).



Σχήμα 4.43: Απαιτούμενος κύριος διαμήκης κατακόρυφος εσωτερικός σπλισμός (1^η στρώση κάτω παρειάς) στα τοιχώματα του ακρόβαθρου, με μέγιστη τιμή 105,8 (σε cm²/m).



Σχήμα 4.44: Απαιτούμενος διαμήκης οριζόντιος εσωτερικός οπλισμός (2^η στρώση κάτω παρειάς) στα τοιχώματα του ακρόβαθρου, με μέγιστη τιμή 105,8 (cm²/m).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΛΑΔΟΠΟΤΑΜΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται φωτογραφίες της υπό κατασκευή νέας γέφυρας του Λαδοποτάμου που ελήφθησαν από τις σπουδάστριες Ε.-Ε Μπαρμπέρη, Ν.-Π. Τσελέ & Α.Χονδρολέου τον Σεπτέμβριο του 2012 στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας.



Φωτογραφία 5.1: Κατάστρωμα παλαιάς (δεξιά) και νέας (αριστερά) γέφυρας Λαδοποτάμου.



Φωτογραφία 5.2: Κατάστρωμα και μεσόβαθρο παλαιάς και νέας γέφυρας Λαδοποτάμου.



Φωτογραφία 5.3: Κοντινό πλάνο καταστρώματος και μεσόβαθρου παλαιάς γέφυρας. Διακρίνονται οι αγωγοί απορροής υδάτων



Φωτογραφία 5.4: Όψη του καταστρώματος των κλάδων παλαιάς και νέας γέφυρας.



Φωτογραφία 5.5: Λεπτομέρεια της σύνδεσης του κλάδου της νέας γέφυρας στο μεσόβαθρο, και ο σχετικός κατασκευαστικός αρμός.



Φωτογραφία 5.6: Ακρόβαθρο της νέας γέφυρας και αποκαλυμμένοι οπλισμοί στο ακρόβαθρο της παλαιάς γέφυρας.



Φωτογραφία 5.7: Οπλισμοί ακρόβαθρου της νέας γέφυρας.



Φωτογραφία 5.8: Οπλισμοί πασσάλων ακρόβαθρου της νέας γέφυρας και αποκαλυμμένοι οπλισμοί ακρόβαθρου της παλαιάς γέφυρας.



Φωτογραφία 5.9: Όψη εφεδράνου στήριξης του καταστρώματος της νέας γέφυρας στο μεσόβαθρο.



Φωτογραφία 5.10: Αύξηση διατομής του μεσόβαθρου της νέας γέφυρας στη στήριξη στο κατάστρωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η γεφυροποιία είναι ένας κλάδος της κατασκευής έργων υποδομής που απαιτεί μεγάλη εμπειρία και εξοικείωση με κατασκευαστικά και μελετητικά ζητήματα. Μια γέφυρα είναι ένας πολύπλοκος φορέας με διακριτά μέρη που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καθώς και με το έδαφος θεμελίωσης.
- Η κατασκευαστική εμπειρία στον κλάδο της γεφυροποιίας είναι απαραίτητη για την κατάλληλη εκλογή της μεθόδου κατασκευής της γέφυρας, σε συνδυασμό πάντα με την εκλογή του στατικού συστήματος. Καθεμία από τις διαθέσιμες μεθόδους κατασκευής δεν μπορούν να εφαρμοστούν παρά μόνο για συγκεκριμένα στατικά συστήματα, συνεπώς η συνολική επιλογή του συστήματος μελέτης και κατασκευής της γέφυρας απαιτεί μια συνολική αντιμετώπιση παραγόντων όπως η τοπογραφία της περιοχής που πρόκειται να γίνει το έργο, οι απαιτήσεις της χρήσης της γέφυρας, οι αναμενόμενες φορτίσεις και η απαιτούμενη διάρκεια ζωής της γέφυρας.
- Στον τομέα του υπολογισμού των Κατασκευών ο ηλεκτρονικός υπολογιστής έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο που βοηθά το μελετητή μηχανικό στην εκτέλεση της εργασίας του.
- Τα πλεονεκτήματα επίλυσης φορέων με ηλεκτρονικό υπολογιστή προβάλλονται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις φορέων με πολλά μέλη όπου η επίλυση με κλασσικές μεθόδους «με το χέρι» θα ήταν μακροχρόνια και κοπιώδης. Βέβαια ο μελετητής μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να ελέγξει αυτοτελώς την ορθότητα των αποτελεσμάτων που δίνει το λογισμικό του H/Y.
- Ο Μελετητής – Μηχανικός οφείλει να είναι σε θέση να ελέγξει αυτοτελώς την ορθότητα των αποτελεσμάτων που του δίνει το πρόγραμμα H/Y που χρησιμοποιεί, πράγμα που απαιτεί να γνωρίζει πολύ καλά την κλασσική στατική. Ο έλεγχος επιβάλλεται για την ασφάλεια της κατασκευής.
- Η μελέτη της νέας γέφυρας του Λαδοποτάμου διενεργήθηκε με το πρόγραμμα SOFiSTiK, με την κατασκευή προσομοιώματος αποτελούμενου από πεπερασμένα στοιχεία διαφόρων τύπων (γραμμικών και επιφανειακών). Η χρήση του H/Y είναι εξαιρετικά αποδοτική στην περίπτωση αυτή καθώς καθιστά δυνατή την προσομοίωση της συμπεριφοράς της γέφυρας μέσω της κατασκευής και ανάλυσης ενός μαθηματικού μοντέλου.
- Κάθε μελέτη τεχνικού έργου οφείλει να συμμορφώνεται με τους ισχύοντες κανονισμούς υλικών, φορτίσεων, ανάλυσης και διαστασιολόγησης. Για τη μελέτη της παρούσας γέφυρας λήφθηκαν υπόψη οι κανονισμοί: DIN1072, DIN4227, κ.λ.π., Ε.Α.Κ. 2000/2003 και Ε.Κ.Ω.Σ. 2000.
- Τελικό και επιθυμητό αποτέλεσμα είναι ο καθορισμός του απαιτούμενου οπλισμού στα διάφορα δομικά στοιχεία της γέφυρας όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς του λογισμικού, που με τη σειρά του πρέπει να ελέγχεται για να διαπιστωθεί η ορθότητά του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Επίσημο site Ολυμπίας Οδού <http://www.olympiaodos.gr>
- [2] Δελτίο Τύπου Εταιρείας Εξόρυξη Α.Ε. <http://www.exorixi.gr/pdf/diakofto.pdf>
- [3] Δημήτριος Κωνσταντινίδης, «Γεφυροποιία», Σημειώσεις, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, 2012.
- [4] Μ. Ν. Φαρδής, «Σύνθεση γεφυρών σκυροδέματος», Πανεπιστήμιο Πατρών, 2011.
- [5] Δ. Θεοδωρακόπουλος, Ε. Μπούσιας, Π.Γιαννόπουλος, «Ανάλυση και Σχεδιασμός Κατασκευών», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Β' Έκδοση, Πάτρα, 2008.
- [6] Κείμενα Τεχνικών Εκθέσεων και Μελετών της Εταιρείας Τ. Τσικνιάς και Συνεργάτες ΑΕΜΤΕ.
- [7] «Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας», Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας, Μακρινίτσα Πηλίου, Δεκέμβριος 2007.
- [8] Fritz Leonhardt, «Ολόσωμες Κατασκευές, Μέρος Έκτο: Ολόσωμες Γέφυρες», Εκδόσεις Γκιούρδα, Αθήνα, 1980.
- [9] Ιστοσελίδα “The Free Encyclopedia”, <http://en.wikipedia.org>.
- [10] Ιστοσελίδα της Εταιρείας China Communications Construction Company Ltd, http://en.ccccltd.cn/business/btbot/BT/201011/t20101112_1609.html.
- [11] Ιστοσελίδα “Archiproducts, the worldwide source for architecture and design products”, <http://www.archiproducts.com/>.
- [12] Ιστοσελίδα “International Database and Gallery of Structures”, <http://en.structurae.de/index.cfm>.
- [13] Δ.- Π.Ν.Κοντονή, «Υπολογισμός Κατασκευών με Η/Υ», ΤΕΙ Πάτρας, 1995 – 1999.
- [14] Δ.-Π.Ν.Κοντονή, Επιστημονικά Εκπαιδευτικά Προγράμματα Η/Υ ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού, Πάτρα, 1985-2012.
- [15] Δ.-Π.Ν.Κοντονή, «Πολιτικός Μηχανικός & Η/Υ», «Εισαγωγή στους Η/Υ», «Εισαγωγή στο Διαδίκτυο (Internet) και στις υπηρεσίες του» (Διδακτικές Σημειώσεις), «Ασκήσεις Προγραμματισμού Η/Υ Ι & ΙΙ» (Φύλλα Έργου), Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Πάτρα, 1999-2012.