

Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΓΕΦΥΡΕΣ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ
ΕΙΔΗ ΓΕΦΥΡΩΝ
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

**ΑΜΠΟΚΟΝΙΕΣ ΑΝΤΕΛ
ΘΑΝΕΛΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΚΑΣΙΔΑΚΗΣ ΙΩΒ**

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
σε αντικατάσταση της ΡΩΜΑΝΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ

Πάτρα 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ:

Η εργασία αυτή είχε ως αφετηρία την γέφυρα του Ρίου-Αντιρρίου που τα τελευταία χρόνια έχει παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στις μετακινήσεις στη Δυτική Ελλάδα και τις έχει βελτιώσει κατά κόρον. Παράλληλα η ραγδαία αύξηση στην προτίμηση της κατασκευής καλωδιωτών γεφυρών και η έντονη τεχνολογική τους βελτίωση αποτέλεσαν το θεμέλιο λίθο της αρχικής σύλληψης του θέματος ης πτυχιακής. Θεωρήσαμε λοιπόν, η καθηγήτριά μου κυρία Ρωμανού Χριστίνα κι εγώ ότι θα ήταν ενδιαφέρον να κάνουμε μία σύγκριση σε τεχνικά χαρακτηριστικά του εν λόγω είδους γεφυρών και να τα παρουσιάζαμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα σε τεχνικό και οικονομικό επίπεδο. Ελπίζω η παρουσίασή τους να είναι ευχάριστη και σαφής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

Ø Πρόλογος	.....	2
Ø Περίληψη	.....	5
Ø Εισαγωγή	.....	6
Ø 1. Σύντομο ιστορικό των γεφυρών	.....	7
Ø 2. Είδη φορέων των ολόσωμων γεφυρών	.....	9
• Γέφυρες μορφής δοκού	.....	9
• Πλαισιωτές γέφυρες	.....	9
• Τοξοτες γέφυρες	.....	10
• Καλωδιωτές γέφυρες	.....	10
• Κρεμαστές γέφυρες	.....	10
Ø 3. Καλωδιωτές γέφυρες	.....	11
• 3.1. Διάταξη καλωδίωσης	.....	12
• 3.1.1. Κατά τη διαμήκη έννοια	.....	12
• 3.1.2. Διάταξη καλωδίωσης κατά την εγκάρσια έννοια	.....	14
...	.....	14
• 3.1.3. Διαμήκης απόσταση καλωδίων	.....	15
• 3.2. Πυλώνες	.....	15
• 3.2.1. Πυλώνες τύπου Α	.....	17
• 3.3. Καλώδια	.....	18
• Καλώδια παράλληλων ράβδων	.....	18
• Καλώδια παράλληλων συρμάτων	.....	19
• Καλώδια με τένοντες	.....	19
• Καλώδια τύπου locked-coil	.....	19
• 3.4. Αγκυρώσεις	.....	20
• 3.5. Καταστρώματα	.....	22
• 3.5.1. Μεταλλικά καταστρώματα	.....	22
• 3.5.2. Καταστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα	.....	22
• 3.5.3. Σύμμικτα καταστρώματα	.....	23
• 3.6. Σύνδεση πυλώνα καταστρώματος	.....	25
• 3.6.1. Παραδείγματα καλωδιωτών γεφυρών ανά τον κόσμο	.....	28
..	.....	28
• 3.6.2. Τεχνικά στοιχεία των παραπάνω γεφυρών	.....	34
Ø 4. Γέφυρα Russky	.....	37
Ø 5. Γέφυρα Tatara	.....	59
• Κατασκευή	.....	60
• Τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας	.....	64
Ø 6. Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου	.....	66
• Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά	.....	67
• Κύρια σύλληψη της γέφυρας	.....	68
• Θεμελίωση	.....	68
• Πυλώνες	.....	70

			.....71
			.....72
			.....73
			.....77
			.....78
			...80
Ø	7. Σύγκριση μεταξύ των τριών γεφυρών		.....82
			....82
			....83
			.....83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή ως σκοπό έχει την επαφή του ακροατή με την πληθώρα των κατασκευαστικών επιτευγμάτων στο πλαίσιο της τεχνολογίας των γεφυρών που έχουν λάβει χώρα τις τελευταίες δεκαετίες ανά τον κόσμο αλλά και ένα σύντομο ιστορικό αυτών. Στη συνέχεια θα γίνει μια εκτενής αναφορά στις καλωδιωτές γέφυρες και τα τεχνικά γνωρίσματά τους. Τέλος θα παρουσιασθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γέφυρας του Ρίου Αντιρρίου , μιας γέφυρας τόσο σημαντικής για τις μετακινήσεις στη δυτική Ελλάδα και τόσο πολυσυζητημένης και θα γίνει αντιπαράθεση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά άλλων γεφυρών ίδιου είδους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ακόμα και οι πιο πρωτόγονες κοινωνίες ανθρώπων πρέπει να είχαν κατασκευάσει γέφυρες από υλικά που έβρισκαν πρόχειρα. Κυνηγοί και τροφοσυλλέκτες ακολουθούσαν κάποια συγκεκριμένα μονοπάτια για πιο γρήγορη πρόσβαση στις περιοχές που ασκούσαν την επιρροή τους. Αυτό όπως είναι φυσικό δημιουργεί την ανάγκη είτε να αποφύγεις ένα μεγάλο εμπόδιο είτε να βρεις τρόπους για να προσπελάσεις ένα μικρότερο. Όπως συμβαίνει μέχρι και σήμερα ο άνθρωπος ανέκαθεν αναζητούσε το νερό. Αυτό σημαίνει, λίμνες, ποτάμια, θάλασσες, βρίσκονταν στις προτιμήσεις των ανθρώπων όχι μόνο για τις προσωπικές του ανάγκες σε νερό αλλά και γιατί γύρω από νερά υπάρχει βλάστηση και κυνήγι. Άρα η προσπέλαση ενός ποταμού στο στενότερό του σημείο πρέπει να ήταν πάντοτε βασικό εμπόδιο στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Ένας κορμός συρμένος έτσι ώστε να ενώνει τις άκρες του ποταμού, κλαδιά δεμένα για στήριγμα ίσως είναι και η πρώτη υποτυπώδης κρεμαστή γέφυρα. Σχεδίες δεμένες η μία δίπλα στην άλλη και πακτωμένες στις άκρες, η πρώτη προκατασκευασμένη γέφυρα.

1.ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

Οι γέφυρες στην αρχαία Ελλάδα φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν σε μικρό βαθμό και σε απλή μορφή μιας και τα εναπομείναντα στοιχεία είναι λίγα και δεν αποδεικνύουν κάτι περισσότερο. Παρόλα αυτά έχουν γίνει αναφορές για αρχαίες γέφυρες στην Αργολίδα, όπως η γέφυρες Καζάρμα, Γαλούση και Αρκαδικού. Έχουμε επίσης αναφορές από τον Ηρόδοτο για την γέφυρα της Βαβυλώνας αλλά για την περίφημη πλωτή γέφυρα του Ξέρξη.

Η πρώτη μαζική κατασκευή γεφυρών στην ιστορία φαίνεται ότι επιτελέστηκε από τους Ρωμαίους όπως και πλήθος άλλων κατασκευαστικών επιτευγμάτων (δρόμων, υδραγωγείων). Ουσιαστική συμβολή για την ανάπτυξη αυτή έπαιξε η ανακάλυψη του φυσικού τσιμέντου (πουζολάνης) και η τεχνική των πασσαλοφραγμάτων με ξύλινους πασσάλους, που επέτρεψαν την κατασκευή μεσόβαθρων σε κοίτες χειμάρων και ποταμών με αποτελεσματικότητα. Χαρακτηριστικά της τεχνοτροπίας τους οι θολωτές κατασκευές και τα κυκλικά τόξα. Η γέφυρα του Σαντ' Αντζελο στη Ρώμη πάνω στον ποταμό Τίβερι, κατασκευάστηκε πριν από περίπου 1800 χρόνια. Τα μεσόβαθρά της κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια πασσαλοφραγμάτων και θεμελιώθηκαν πάνω σε ξύλινους πασσάλους και στα πασσαλοφράγματα. Επίσης στη Ρωμαϊκή εποχή συναντάται για πρώτη φορά εξειδικευμένο προσωπικό, σχολές και συνεργεία κατασκευής γεφυρών.

Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας οι κατασκευές γεφυρών λιγόστεψαν σημαντικά. Μετά το 12ο αιώνα εμφανίζεται ξανά σημαντική δραστηριότητα. Εισάγεται στην κατασκευή των γεφυρών το οξυκόρυφο τόξο, με προέλευση την Αίγυπτο και τις χώρες της μέσης ανατολής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η γέφυρα του

Λονδίνου καθώς και η γέφυρα της Αβινιόν στη Γαλλία, με

20 ελλειπτικά τόξα , ανοίγματος 30 μέτρων. Μια καινοτομία της εποχής είναι τα σπίτια πάνω σε γέφυρες μέσα στην αγορά όπως η γέφυρα Βέκιο στη Φλωρεντία. Το 16ο αιώνα εμφανίζεται ο ελλειπτικός θόλος με εμπνευστή τον Μπαρτολομέο Αμανάτι και τη γέφυρα Σάντα Τρινιτά 1567 – 1569 στη Φλωρεντία. Στα μέσα του 18ου αιώνα ξαναεμφανίζεται η κατασκευή λίθινων γεφυρών ενώ παράλληλα ιδρύεται η πρώτη συστηματική σχολή μηχανικών (Ecole des Ponts et Chaussées). Προς το τέλος του αιώνα εφαρμόζεται για πρώτη φορά η τεχνική των βυθιζόμενων κιβωτίων ως θεμελίων μεσοβάθρων στη γέφυρα Γουέστμινστερ (Λονδίνο) από τον Ελβετό μηχανικό Σαρλ Λαμπελιέ. Ισχυρά ξύλινα κιβώτια ρυμουλκήθηκαν κενά στις θέσεις των μεσοβάθρων , εκεί γεμίστηκαν με πέτρες και βυθίστηκαν αποτελώντας έτσι τα θεμέλια των βάθρων της γέφυρας.

Στα μέσα περίπου του 19ου αιώνα με την ανάπτυξη του σιδηροδρόμου και την εισαγωγή του χάλυβα στη γεφυροποιία έχουμε την κατασκευή γεφυρών μορφής δοκού. Στο μεταίχμιο του 19ου με τον 20ο αιώνα έχουμε μεγάλες γέφυρες όπως η γέφυρα Φορθ στη Σκωτία με δύο κεντρικά ανοίγματα των 519 μέτρων (1890) και τη γέφυρα στο Κεμπέκ (1918) με μέγιστο άνοιγμα 549 μέτρα.

Με τον ερχομό του 20ου αιώνα αρχίζει πλέον να μπαίνει για τα καλά στη γεφυροποιία το οπλισμένο σκυρόδεμα. Μετά το πέρας του 2ου παγκοσμίου πολέμου ξεκινάει η εξειδίκευση κάθε γέφυρας ανάλογα με τα τεχνικά της πλεονεκτήματα. Σε μεγάλα ανοίγματα επιβάλλεται κατακράτως η κρεμαστή γέφυρα και στο τελευταίο τέταρτο του αιώνα η καλωδιωτή, με κύριο εκφραστή

αυτής της τεχνικής τον γερμανό καθηγητή F. Leonhardt. Η εξέλιξη της τεχνικής αυτής φαίνεται τόσο από την αύξηση του αριθμού των γεφυρών (το 1986 μόλις 150 – το 2012 >1000) όσο και από την αύξηση του μεγίστου ανοίγματος και του συνολικού μήκους (το 1975 μέγιστο άνοιγμα 404 m , το 2012 - 1104 m).

2. ΕΙΔΗ ΦΟΡΕΩΝ ΤΩΝ ΟΛΟΣΟΜΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

α) ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΔΟΚΟΥ

-ΣΤΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΗ ΔΟΚΟΣ
- ΣΕΙΡΑ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΠΛΑΚΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ
- ΔΟΚΟΣ GERBER
- ΤΡΑΠΕΖΙΑ ΠΡΟΒΟΛΩΝ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ ΑΝΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ
- ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΔΟΚΟΥΣ
- ΣΤΑΤΙΚΑ ΑΟΡΙΣΤΗ ΕΔΡΑΣΗ

-ΜΟΡΦΕΣ ΔΟΚΩΝ

- ΟΙ ΔΟΚΟΙ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ
- ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΔΟΚΟΙ

β) ΠΛΑΙΣΙΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

-ΣΤΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- ΤΡΙΑΡΘΩΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΙΣΟΣΤΑΤΙΚΑ
- ΕΚΚΕΝΤΡΟ ΤΡΙΑΡΘΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- ΔΙΑΡΘΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΠΤΕΡΥΓΙΑ
- ΑΜΦΙΠΑΚΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ
- ΚΛΕΙΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ
- ΔΙΑΡΘΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΟΧΗΣ
- ΠΟΛΥΣΤΥΛΑ ΠΛΑΙΣΙΑ
- ΠΛΑΙΣΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ (ώστε να αποφευχθούν εκεί τα κινητά εφέδρανα)

-ΜΟΡΦΕΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

- ΠΛΑΙΣΙΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ
- ΧΑΜΗΛΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΕ ΟΔΟ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
- ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΠΤΕΡΥΓΙΑ
- ΑΝΤΙΡΙΔΩΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΕ ΚΟΙΛΑΔΑ ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΠΛΑΓΙΕΣ
- ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ

ΤΥΠΙΚΗ ΕΛΒΕΤΙΚΗ ΛΥΣΗ , ΠΡΟΣΦΕΡΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ
· ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΩΣΗΣ

γ) ΤΟΞΟΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

-ΣΤΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- ΤΡΙΑΡΘΩΤΟ ΤΟΞΟ
- ΔΙΑΡΘΩΤΟ ΤΟΞΟ
- ΤΟΞΟ ΜΕ ΜΙΑ ΑΡΘΩΣΗ ΣΤΗ ΚΟΡΥΦΗ

-ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΞΩΝ

- ΤΟΞΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΚΛΕΙΣΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΥΜΠΙΑΝΩΝ
- ΤΡΙΑΡΘΩΤΟ ΤΟΞΟ
- ΜΕ ΕΠΙΚΑΘΗΜΕΝΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ

δ) ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

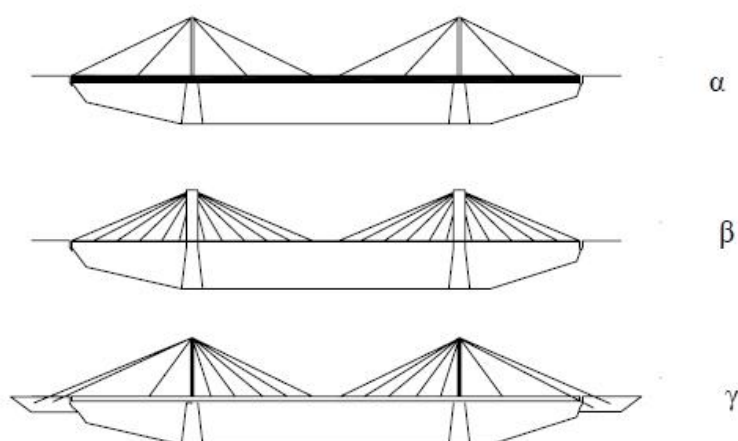
ε) ΚΑΛΩΔΙΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

3. ΚΑΛΩΔΙΩΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

Η κατασκευή καλωδιωτών γεφυρών δεν αποτελεί σύγχρονη σύλληψη. Αλλά οι νέες τεχνολογίες έδωσαν την ώθηση που χρειαζόταν για να εξελιχθεί η κατασκευή τους. Η διάδοση της χρήσης του χάλυβα το 19ο αιώνα ήταν καθοριστική για την χρήση των καλωδιωτών γεφυρών. Η ουσιαστική βέβαια ανάπτυξη επετεύχθη μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο όταν οι γερμανοί μηχανικοί με επικεφαλής τον καθηγητή F. Leonhardt ειδικεύθηκαν βαθύτατα στον τομέα αυτό και εκτόξευσαν κυριολεκτικά την τεχνολογία και τη χρήση τους. Η τεχνολογική εξέλιξη σε συνδυασμό με την έντονη βιομηχανοποίηση των υλικών, αναρτήρων, μεθόδων ανέγερσης και μεθόδων ανάλυσης επέβαλε τη καλωδιωτή γέφυρα σε ανοίγματα από 150 m μέχρι 1500 m, με το όριο αυτό να μετατίθεται όλο και ψηλότερα. Το 1986 καταγράφονταν παγκοσμίως περί τις 150 καλωδιωτές γέφυρες και το 1975 το μέγιστο άνοιγμα ήταν 404 m (St. Nazaire pont), ενώ το 2012 υπερβαίνει τις 1000 σε αριθμό και τα 1100 μέτρα σε άνοιγμα (Russky Bridge, 1104 m).

Τα βασικά στατικά συστήματα στις αναρτημένες από ευθύγραμμο καλώδια γέφυρες είναι ουσιαστικά τρία :

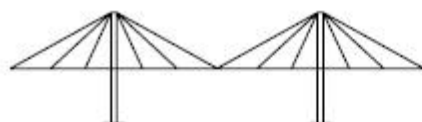
- Κατάστρωμα μεγάλης ακαμψίας αναρτώμενο από λίγα καλώδια σε συνδυασμό με μικρών διαστάσεων λυγηρούς πυλώνες
- Πυλώνες μεγάλης ακαμψίας που δύνανται να αναλάβουν μεγάλες ροπές σε συνδυασμό με ελαφρύ κατάστρωμα, στηριζόμενο από πολλά καλώδια
- Αγκυρωμένα σε ακρόβαθρα καλώδια τα οποία προέρχονται από την κορυφή των (εύκαμπτων) πυλώνων και αναρτούν το κατάστρωμα



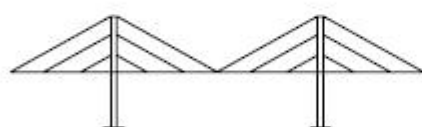
Σχήμα 1.1 : Βασικοί τύποι μόρφωσης καλωδιωτού φορέα

3.1. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ

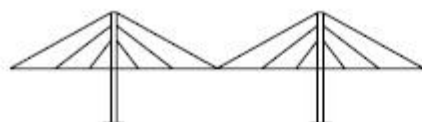
3.1.1. Διάταξη καλωδίωσης κατά τη διαμήκη έννοια



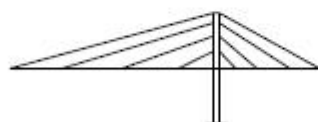
α. Ακτινωτή διάταξη (radial- fan)



β. Παράλληλη διάταξη (harp)



γ. Ημιακτινωτή διάταξη (semi-harp)



δ. Ασύμμετρη διάταξη
(assymetric pattern)

Σχήμα 1.2 : Συστήματα διάταξης καλωδίων κατά την διαμήκη έννοια

A) Ακτινωτή διάταξη (radial – fan)

Ο τύπος αυτός καλωδίωσης προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Καταρχήν οι οριζόντιες δυνάμεις που εισάγονται στο κατάστρωμα είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με τους άλλους τύπους, αφού αυξάνεται η μέση γωνία καταστρώματος–καλωδίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτούνται μικρότερες διατομές καλωδίων και κατά συνέπεια περισσότερη οικονομία στο ακριβότερο υλικό κατασκευής. Επίσης, η ακτινωτή διάταξη έχει το πλεονέκτημα ότι υποβάλλει τους πυλώνες σε μέτρια κάμψη κατά την οριζόντια διεύθυνση αφού (συνήθως) η διάταξη των καλωδίων είναι συμμετρική.

Στον αντίποδα πρέπει να αναφερθεί ότι αισθητικά το ακτινωτό σύστημα υπολείπεται κατά γενική ομολογία της παράλληλης διάταξης καλωδίων. Ταυτόχρονα

, ένα σημαντικό κατασκευαστικό πρόβλημα που προκύπτει αφορά στην περιοχή της αγκύρωσης των καλωδίων στην κορυφή του πυλώνα. οι τάξεις που δημιουργούνται απαιτούν την χρήση ειδικών διατάξεων αγκύρωσης. Η προσομοίωση και μόνο τέτοιων διατάξεων είναι δύσκολη, πόσο μάλλον η κατασκευή τους, ωστόσο το οικονομικό όφελος των μικρότερων καλωδίων πιθανότατα υπερβαίνει αυτή τη δυσχέρεια.

B) Παράλληλη διάταξη (harp)

Το αισθητικό αποτέλεσμα είναι το κύριο πλεονέκτημα της διάταξης αυτής. Η μικρή κλίση των καλωδίων έχει ως αποτέλεσμα σημαντικό ποσοστό της δύναμης να «χάνεται» στην οριζόντια διεύθυνση και έτσι απαιτούνται μεγαλύτερες διατομές καλωδίων. Άλλωστε η μεγάλη θλίψη που εισάγεται στις κύριες δοκούς από ένα σημείο και πέρα μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα για την αντοχή τους. Κατασκευαστικά το βασικό πλεονέκτημα είναι η κατανομή καθ' ύψος των καλωδίων στον πυλώνα που δημιουργεί μια καλύτερη κατανομή των τάσεων (μειωμένες διαστάσεις πυλώνων, ευκολότερη αγκύρωση καλωδίων).

Γ) Ημιακτινωτή διάταξη (semi - fan)

Συνδυάζει πλεονεκτήματα των δύο παραπάνω τύπων κατά μήκος καλωδίωσης. Η καθ' ύψος αγκύρωση των καλωδίων στους πυλώνες και η αυξημένη μέση γωνία καλωδίου καταστρώματος δημιουργεί πολλά πλεονεκτήματα. Η ευκολία

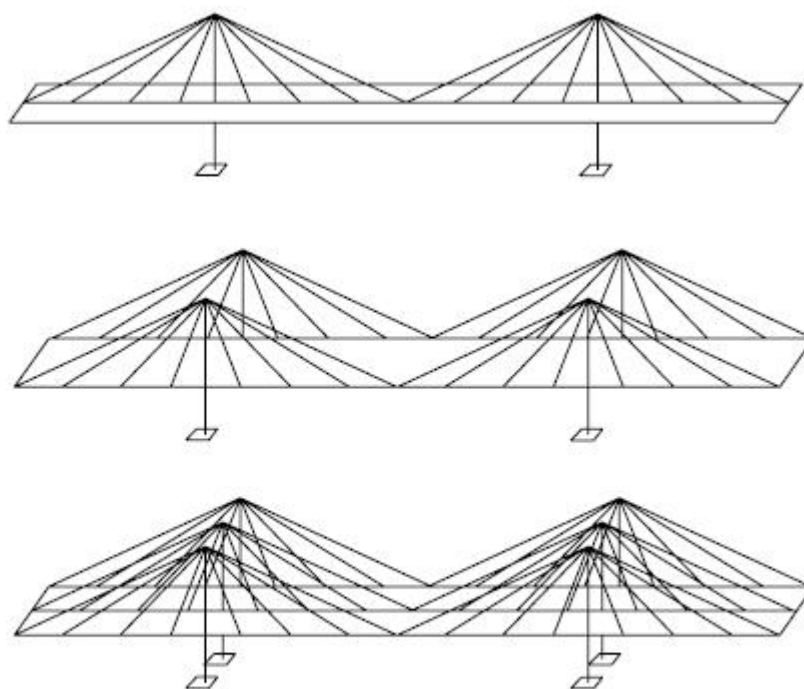
Στην κατασκευή των αγκυρώσεων και η μικρότερη θλίψη στο κατάστρωμα σε συνδυασμό με την αισθητική αρτιότητα κάνουν την ημιακτινωτή διάταξη την συνηθέστερη επιλογή στις σύγχρονες καλωδιωτές γέφυρες.

Δ) Ασύμμετρη διάταξη

Η ασύμμετρη διάταξη εφαρμόζεται συνήθως σε γέφυρε με ένα πυλώνα. Συνήθως τα καλώδια από τη μία πλευρά αγκυρώνονται σε block από σκυρόδεμα. Μία μέση γωνία καλωδίων της τάξης των 45° δίνει τα πλέον οικονομικά αποτελέσματα. Γενικά η τάση της μείωσης του ίδιου βάρους (λόγω χρήσης σύμμικτων καταστρωμάτων κτλ) έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα γεφύρωσης μεγαλύτερων ανοιγμάτων με αυτή τη διάταξη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάταξη αυτή είναι συνήθως σε πεζογέφυρες, όπου μάλιστα συνδυάζεται με την διάταξη καλωδίων σε ένα μόνο επίπεδο κατά την εγκάρσια έννοια.

3.1.2 Διάταξη καλωδίων κατά την εγκάρσια έννοια

Κατά την εγκάρσια διεύθυνση η καλωδίωση γίνεται σε ένα, δύο ή και τρία επίπεδα, κατακόρυφα ή υπό γωνία. Όταν η ανάρτηση του καταστρώματος γίνεται σε ένα επίπεδο, τότε μειώνεται η στροφική δυσκαμψία της κατασκευής στην εγκάρσια διεύθυνση και γι' αυτό λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα. Στις περισσότερες οδικές καλωδιωτές γέφυρες τα καλώδια διατάσσονται σε δύο επίπεδα. Επιτυγχάνεται έτσι, αφενός μεγαλύτερη ευστάθεια του φορέα έναντι εγκάρσιων φορτίσεων (ανεμοπίεση) και αφετέρου η καλύτερη διανομή των τάσεων στα καλώδια. Διάταξη σε τρία επίπεδα έχει εφαρμοστεί σε ελάχιστες περιπτώσεις. Σχετικά με την κλίση των καλωδίων στο κατακόρυφο επίπεδο αυτή υπαγορεύεται καταρχήν από τον τύπο των πυλώνων. Όταν τα καλώδια βρίσκονται υπό κλίση προφανώς δημιουργούνται επιπλέον εντάσεις τόσο στους πυλώνες όσο και στο κατάστρωμα η παραλαβή των οποίων δε μπορεί να αγνοηθεί. Ειδικά στις γέφυρες με σύμμικτο κατάστρωμα μπορεί η κλίση αυτή να λειτουργήσει ευνοϊκά, προσφέροντας θλίψη κατά την εγκάρσια διεύθυνση (όταν οι διαδοκίδες είναι σύμμικτες).



Σχήμα 1.3: Διάταξη καλωδίωσης σε ένα, δύο ή τρία επίπεδα

3.1.3. Διαμήκης απόσταση καλωδίων στο φορέα

Η τακτική που ακολουθούν οι μελετητές σε παλαιότερες καλωδιωτές γέφυρες ήταν η τοποθέτηση όσο το δυνατόν λιγότερων καλωδίων στο φορέα. Έτσι προέκυπταν αναγκαστικά μεγάλες διατομές κυρίων δοκών για να επιτευχθεί η ακαμψία. Η σύγχρονη θεώρηση του προβλήματος είναι η διάταξη περισσότερων καλωδίων στο κατάστρωμα, ώστε να προκύπτουν μικρότερα ανοίγματα. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες διατομές και μικρότερη αγκύρωση. Ταυτόχρονα είναι δυνατή η αντικατάσταση των καλωδίων (ο φορέας μπορεί να ανακατανεύσει τα εντατικά μεγέθη όταν εδράζεται σε πολλές ελαστικές στηρίξεις-καλώδια) και η καλύτερη προστασία τους από διάβρωση σε σχέση με τα καλώδια μεγάλης διαμέτρου.

Η συνήθης απόσταση των αγκυρώσεων στο κατάστρωμα είναι 15 – 25 m. Το υλικό κατασκευής των κύριων δοκών κατασκευάζει κατά πολύ βέβαια (καταστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα απαιτούν πιο πυκνή διάταξη καλωδίων εκτός και αν εφαρμόζεται ισχυρή προένταση). Επίσης ο τρόπος κατασκευής του φορέα είναι καθοριστικός για την επιλογή του μήκους των ανοιγμάτων. Στην περίπτωση που η κατασκευή γίνεται με προβολοδόμηση πρέπει να είναι δυνατή η ανύψωση και η αποκατάσταση της συνέχεις των νέων τμημάτων του καταστρώματος. Αντίθετα όταν ο φορέας κατασκευάζεται παραπλεύρως της θέσης τοποθέτησης και προωθείται στην τελική του θέση μέσω προσωρινών στηρίξεων, είναι δυνατή μια πιο αραιή διάταξη καλωδίωσης.

3.2. ΠΥΛΩΝΕΣ

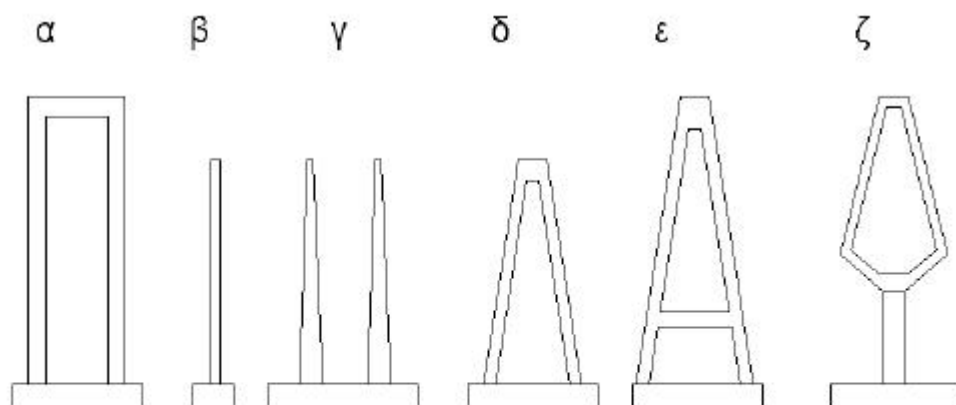
Οι πυλώνες μιας καλωδιωτής γέφυρας αποτελούν πρώτα από όλα το πλέον συμβολικό μέρος-αισθητικά-της κατασκευής. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η αισθητική διάσταση της επιλογής της μορφής των πυλώνων είναι η πρωταρχική απαίτηση στο σχεδιασμό τους.

Η επιλογή του τύπου των πυλώνων γίνεται-πέραν της αισθητικής-με βάση τις απαιτήσεις του στατικού συστήματος του φορέα και των κατασκευαστικών περιορισμών. Ανάλογα με το σύστημα καλωδίωσης που επιλέγεται, γίνεται η επιλογή της κατά μήκος του φορέα διατομής. Συγκεκριμένα , όταν επιλέγεται παράλληλη καλωδίωση (όπου το κοντό μήκος των κοντινών καλωδίων είναι κρίσιμο), είναι

απαραίτητο οι πυλώνες να έχουν μεγάλη ακαμψία ώστε να μην παραμορφώνεται το κατάστρωμα και ταυτόχρονα υψηλή αντοχή (αφού λόγω της μη ενδοτικότητας τα εντατικά μεγέθη παραμένουν υψηλά). Στην περίπτωση ακτινωτής διάταξης, οι πυλώνες δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την διαμήκη διεύθυνση, ιδιαίτερα δε αν χρησιμοποιούνται καλώδια που αγκυρώνονται στα ακρόβαθρα.

Κατά την εγκάρσια διεύθυνση οι πυλώνες μπορεί να έχουν διάφορες μορφές (σχ.14). Η επιλογή γίνεται και εδώ βασισμένη σε διάφορους παράγοντες όπως το αν η καλωδίωση γίνεται σε ένα ή δύο επίπεδα, το απαιτούμενο ελεύθερο ύψος κάτω από το κατάστρωμα κτλ.

Συχνή είναι η χρήση μορφών Α, Π ή ρόμβου οι οποίοι έχουν το πλεονέκτημα της επιπλέον ακαμψίας σε σχέση με τους απλούς προβόλους. Πυλώνες τύπου Π αποτελούν οικονομικότερη λύση για χαμηλά ύψη, ενώ όταν το ύψος είναι μεγάλο (π.χ. θεμελίωση σε βαθύ θαλάσσιο πυθμένα) προτιμάται από οικονομικής και από αισθητικής άποψης η μορφή ρόμβου-διαμαντιού. Διάφοροι τύποι πυλώνων παρατίθενται πιο κάτω .



Σχήμα 1.4 : Τύποι πυλώνων : α) μορφής Π, β) πρόβολος, γ) δύο πρόβολοι, δ) μορφής Λ, ε) μορφής Α, ζ) μορφής ρόμβου

3.2.1 Πυλώνες τύπου A

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πυλώνες αυτού του τύπου λόγω της υψηλής ακαμψίας τους κατά την εγκάρσια έννοια του φορέα . Οι δύο βραχίονε – στύλοι των πυλών συνδέονται τόσο στην κορυφή , όσο και κάτω από το ύψος του καταστρώματος. Η απαραίτητη εγκάρσια απόσταση μεταξύ του καταστρώματος και του πυλώνα σε αυτή την περίπτωση επιτυγχάνεται χωρίς να μειώνεται ιδιαίτερα η εγκάρσια κλίση των καλωδίων. Ωστόσο η κατασκευή πυλώνων τέτοιου τύπου είναι πιο δύσκολη σε σχέση με τους πυλώνες τύπου προβόλου.

Οι πυλώνες κατασκευάζονται από χάλυβα ή σκυρόδεμα. Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει η χρήση κυψελοειδών διατομών οπλισμένου σκυροδέματος. Ιδιαίτερη κατασκευαστική δυσκολία παρουσιάζει η υλοποίηση της σύνδεσης των καλωδίων με τον πυλώνα, ειδικά στην περίπτωση του ακτινωτού συστήματος καλωδίωσης. Η θεμελίωση των πυλώνων συνήθως υλοποιείται ως πάκτωση, οδηγώντας σε μεγάλες καμπτικές ροπές στη βάση τους.

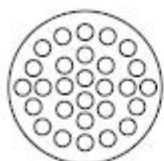
Η επιλογή του μελετητή είναι οικονομικοτεχνική, αφού ο συνδυασμός του πυλώνα με την καλωδίωση και τον τύπο καταστρώματος είναι το κρίσιμο στοιχείο. Για παράδειγμα η απαίτηση για ακαμψία στους πυλώνες αναπόφευκτα οδηγεί σε μεγάλες διατομές. Ωστόσο μια τέτοια επιλογή επηρεάζει και τον τύπο του καταστρώματος ο οποίος μπορεί να μορφωθεί πολύ πιο λυγρός (άρα και οικονομικός). Γίνεται λοιπόν σαφές ότι κάθε επιλογή σε κάποιο δομικό στοιχείο επηρεάζει ολόκληρη την κατασκευή και με αυτό το κριτήριο πρέπει να γίνεται ο σχεδιασμός.



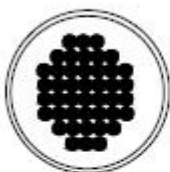
Σχήμα 1.5: Ανέγερση πυλώνα μορφής A

3.3. ΚΑΛΩΔΙΑ

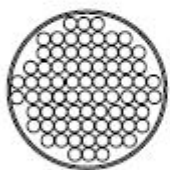
Το βασικό δομικό στοιχείο των καλωδιαστών γεφυρών είναι τα καλώδια. Ολόκληρο το στατικό σύστημα του φορέα σχετίζεται με τη δυνατότητα ανόληψης των μόνιμων και κινητών φορτίων του καταστρώματος από τα καλώδια και τη μεταφορά τους στους πύλωνες. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι καλωδίων σε γέφυρες αυτής της μορφής. Οι συνήθεις τύποι που χρησιμοποιούνται φαίνονται στο επόμενο σχήμα:



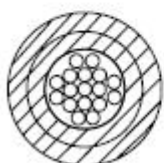
τύπου παράλληλων ράβδων
(parallel - bars cables)



τύπου παράλληλων συρμάτων
(parallel - wires cables)



τύπου συρματοσχοίνων /
τένοντες (stranded cables)



τύπου locked - coil (κλώνοι
κλειστής περιέλιξης)

Σχήμα 1.6: Τύποι καλωδίων

- Καλώδια παράλληλων ράβδων

Μορφώνονται από ευθύγραμμες χαλύβδινες ράβδους που τοποθετούνται εντός μεταλλικών σωλήνων. Οι ράβδοι έχουν μήκος 15-20 m οπότε είναι αναγκαία η τοποθέτηση παρεμβλημάτων για την ένωσή τους κατά μήκος, πράγμα που κάνει αυτόν τον τύπο καλωδίων ευπαθή σε αστοχία λόγω κόπωσης. Η συνήθης διάμετρος των ράβδων είναι 16 mm. Το κενό μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και των ράβδων γεμίζεται με ένεμα (πολυαιθυλένιο). Η χρήση των καλωδίων παράλληλων ράβδων είναι αποδοτική κυρίως σε φορείς που ο λόγος των μόνιμων φορτίων προς τα κινητά είναι μεγάλος.

- Καλώδια παράλληλων συρμάτων

Καλώδια σύρματα τοποθετούνται σε σωλήνες πολυαιθυλενίου και το εσωτερικό γεμίζεται με ένεμα σκυροδέματος το οποίο κρατά τα σύρματα στη θέση τους. Η αντοχή των καλωδίων αυτών είναι ικανοποιητική σε κόπωση. Τα καλώδια που μορφώνονται με αυτόν τον τρόπο έχουν εφελκυστική αντοχή στα 1300 – 9000 KN. Η συνήθης διάμετρος των συρμάτων είναι 7 mm

- Καλώδια με τένοντες

Η ευρέως διαδεδομένη χρήση αυτού του τύπου καλωδίων (χρησιμοποιείται σε προεντεταμένους φορείς) τα καθιστά πλέον οικονομική αλλά και αξιόπιστη επιλογή. Το καλώδιο αποτελείται από έναν αριθμό τενόντων (ανάλογα με την απαιτούμενη αντοχή τους). Οι πλέον διαδεδομένοι τένοντες αποτελούνται από επτά πλεγμένα σύρματα των 0.5 ή 0.7 in (12.7 – 17.78 mm). Τα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζει αυτός ο τύπος καλωδίων (αυξημένος κίνδυνος κόπωσης, διάβρωση) έχουν πλέον αντιμετωπιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό με κατάλληλα μέτρα προστασίας.

- Καλώδια τύπου locked – coil (κλώνοι κλειστής περιέλιξης)

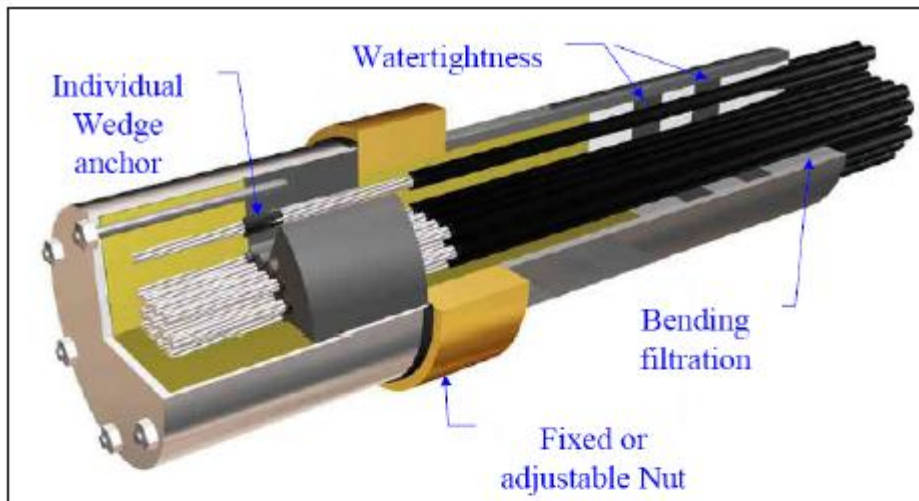
Τα καλώδια αυτά αρχικά έχουν εφαρμογή στις κρεμοιστές γέφυρες και συγκεκριμένα στους αναρτήρες. Στον πυρήνα τους τοποθετούνται κυκλικής διατομής σύρματα, ενώ περιμετρικά αυτού του πυρήνα διατάσσονται «στρώσεις» συρμάτων τραπεζοειδούς διατομής και διατομής S. Μπορούν να φέρουν ιδιαίτερα ψηλά αξονικά φορτία και παράλληλα η κατασκευή τους τα κάνει ανθεκτικά στις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την προένταση. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η εύκολη τοποθέτησή τους, το γεγονός ότι δεν απαιτείται ένεμα μετά την προένταση και ο περιορισμένος χώρος που απαιτείται για την αγκύρωσή τους.

Για την προστασία των καλωδίων από τη διάβρωση χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Γίνεται χρήση ειδικών καλυμμάτων ή σωλήνων μέσα στους οποίους τοποθετούνται τα καλώδια . Παράλληλα διαδεδομένη τακτική για την προστασία των καλωδίων είναι ο γαλβανισμός. Ο εμπροτισμός δηλαδή των συρμάτων σε διάλυμα ψευδαργύρου. Εκτός της διάβρωσης, κατάλληλα μέτρα λαμβάνονται και για την προστασία από κεραυνούς. Τοποθετούνται αλεξικέραυνα στην κορυφή των πυλώνων, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος θραύσης του καλωδίου. Σε κάθε

περίπτωση, είναι αναγκαίο να προβλέπεται η δυνατότητα αντικατάστασης ενός καλωδίου που έχει φθαρεί, λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα κατά τη μελέτη (δυνατότητα ανακατανομής της έντασης ενός καλωδίου στα γειτονικά του χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η στατικότητα του φορέα).

3.4. Α Γ Κ Υ Ρ Ώ Σ Ε Ι Σ

Η σύνδεση των βασικών δομικών στοιχείων μιας καλωδιωτής γέφυρας, των καλωδίων, με τους πυλώνες και το κατόστρωμα επιτυγχάνεται μέσω των αγκυρώσεων. Σε πολλές περιπτώσεις τα ακραία καλώδια αγκυρώνονται στο έδαφος προσδίδοντας επιπλέον ακεμμία στους πυλώνες. Η αγκύρωση αυτού του τύπου επιτυγχάνεται μέσω της σύνδεσης των κλώνων ή των ράβδων του καλωδίου σε σταθερά μπλοκ σκυροδέματος (κιβώτιο αγκύρωσης) στα άκρα του φορέα επί του εδάφους ή σε ακρόβαθρα. Η προένταση στα καλώδια επιβάλλεται μόνο από την αγκύρωση στους πυλώνες και όχι από το κατόστρωμα, όπου οι αγκυρώσεις είναι σταθερές. Όπως είναι φυσικό, ανάλογα με τον τύπο καλωδίου που χρησιμοποιείται, η διάταξη της αγκύρωσης είναι διαφορετική. Στο κατόστρωμα η αγκύρωση γίνεται με διαδοκίδες ή με τις κύριες δοκούς. Για διάταξη καλωδίων σε δύο επίπεδα οι αγκυρώσεις γίνονται στο πλάτος του πεζοδρομίου και σε απόσταση τέτοια ώστε να μην επηρεάζουν το περιτύπωμα του οδοστρώματος. Στους πυλώνες, η δυσκολία που παρουσιάζεται είναι η διάταξη των αγκυρώσεων, αφού αφ' ενός ο χώρος είναι περιορισμένος και αφ' ετέρου οι τάσεις που δημιουργούνται είναι ιδιαίτερα υψηλές. Η διάταξη των αγκυρώσεων καθ' ύψος μπορεί σαφώς να αποτελέσει λύση σε αυτό το πρόβλημα. Επίσης η τοποθέτηση ειδικά κατασκευασμένων για την κάθε περίπτωση μεταλλικών «υποδοχών» αγκυρώσεων οι οποίες προσαρτώνται στη κορυφή των πυλώνων είναι συνηθισμένη τακτική. Οι διάφορες εταιρίες κατασκευής καλωδίων (DINA , VSL , FREYSSINET , STRONGHOLD κ.α) έχουν αναπτύξει τα δικά τους συστήματα αγκυρώσεων (τα οποία βέβαια ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές που τίθενται από τον κύριο του έργου). Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται κάποιες διατάξεις αγκυρώσεων.



Σχήμα 1.7: Αγκύρωση καλωδίων τύπου τενόντων



Σχήμα 1.8: Αγκυρώσεις καλωδίων επί του καταστρώματος

1.6 Κατάστρωμα

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ο τύπος καταστρώματος που επιλέγεται (εύκαμπτο-όκαμπτο, βαρύ-ελαφρύ) παίζει σημαντικό ρόλο στο στατικό σύστημα του φορέα, οπότε και στην επιλογή των λοιπών δομικών στοιχείων. Στις κολωδιατές γέφυρες χρησιμοποιούνται καταστρώματα από σπλισμένο σκυρόδεμα, αμιγώς μεταλλικά αλλά και σύμμικτα. Κάθε τύπος έχει τα πλεονεκτήματά και τα μειονεκτήματά του. Γενικά η οκαμμία του καταστρώματος καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και τα εντακτικά μεγέθη στους πυλώνες. Μέσω παραμετρικών αναλύσεων έχει αποδειχθεί ότι όσο πιο εύκαμπτο είναι ένα κατάστρωμα, τόσο μειώνονται οι ροπές (κατά τη διεύθυνση της γέφυρας) στους πυλώνες.

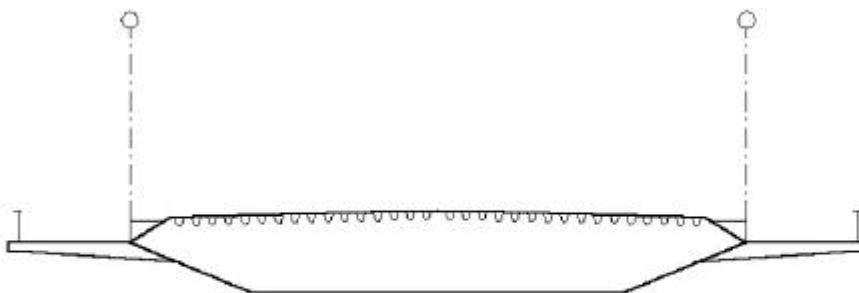
Από στατικής άποψης ο φορέας του καταστρώματος ανεξάρτητα από το υλικό και τη μόρφωσή του, αποτελεί μια συνεχή δοκό επί ελαστικών στηρίξεων. Στην περίπτωση που στις διατομές των πυλώνων και στα άκρα του καταστρώματος

υπάρχει πρόβλημα για όμοιατη σύνδεση-έδρωση, τότε οι αντίστοιχες στηρίξεις θεωρούνται σκλόνητες. Οι ελαστικές στηρίξεις έχουν δυσκοιμία ανάλογη του μήκους και της κλίσης του ανοιχτήρα.

3.5. ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΑ

3.5.1. Μεταλλικά καταστρώματα

Η μόρφωση του καταστρώματος από χολύβδινες κύριες δοκούς (διατομής ή κβααίου) και η χρήση ορθότροπων χολύβδινων καταστρώματων αποτελέσσε την πρώτη επιλογή στις κολαδιατές γέφυρες για δεκαετίες. Η οροή διάταξη κολαδίων επέβαλε όμοιατα καταστρώματα σε συνδυασμό με χαμηλό ίδιο βόρος φορέα. Ωστόσο η επιλογή αυτή δεν είναι η πλέον οικονομική αφού το αντίστοιχο κόστος για κατάστρωμα από σπλισμένο σκυρόδεμα-ον και το ι.β. είναι μεγαλύτερο-είναι ιδιαίτερα χαμηλότερο. Οι διατομές που χρησιμοποιούνται στα μεταλλικά καταστρώματα είναι συνήθως μορφής I για τις κύριες δοκούς και τις διαδοκάδες ή κβααοειδούς διατομής. Το ίδιο βόρος είναι της τάξης των 2.5–3.5 KN/m². Ο λόγος ύψους καταστρώματος προς μήκος ανοιχτήρα συνήθως κυμαίνεται από 1/50 για φορείς με οροή κολαδίωση έως και 1/500.



Σχήμα 1.9: Κιβααοειδής σιδηρά διατομή με ορθότροπη πλάκα σε κρεμαστή γέφυρα

3.5.2. Καταστρώματα από σπλισμένο σκυρόδεμα

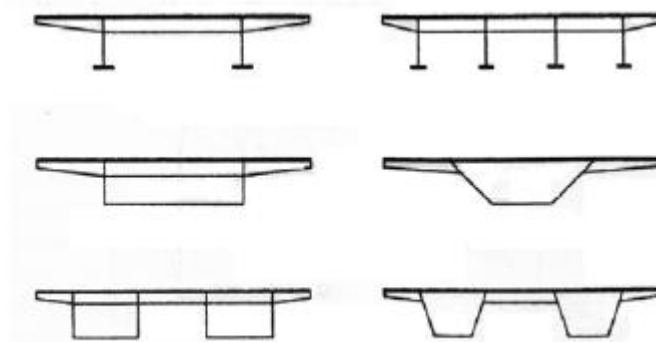
Η χρήση του στις κολαδιατές γέφυρες διευρύνθηκε καθώς η τοκτική της χρήσης πυκνής κολαδίωσης άρχισε να εφαρμόζεται. Σε σύγκριση με τα χολύβδινά καταστρώματα, τα καταστρώματα από σπλισμένο σκυρόδεμα έχουν αρκετά υψηλότερο ίδιο βόρος (10-15 KN/m²). Συνήθως οι δοκοί μορφώνονται κβααοειδής διατομής. Το μέσο πάχος των τοιχωμάτων των κβααίων κυμαίνεται γύρω στα 50 cm. Ο λόγος μονίμων προς κινήτων φορτίων είναι βέβαια υψηλότερος απ' ότι στην περίπτωση της χρήσης του χολύβα. Οι διατομές είναι δυνατόν να προκατασκευαστούν στο εργοτάξιο και να αποκατασταθεί η συνέχεια τους με πρόενταση αμέσως μετά τη σύνδεση με το προηγούμενο μέλος του καταστρώματος. Λόγω του υψηλού ίδιου βόρους του καταστρώματος, η αεροδυναμική συμπεριφορά

του φορέα είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με τα ελαφρύτερα χάλυβδινα καταστρώματα.

3.5.3. Σύμμικτα καταστρώματα

Η χρήση σύμμικτων διατομών καταστρώματων αποτελεί κατά πολλούς τη χρυσή τομή μεταξύ των δύο παραπάνω τύπων καταστρώματων. Αν και ήδη έχουν κατασκευαστεί πολλές σύμμικτες γέφυρες ανά τον κόσμο τα πλεονεκτήματα της ταυτόχρονης χρήσης χάλυβα και σκυροδέματος για τη μόρφωση του κύριου φορέα δεν έχουν πλήρως διερευνηθεί.

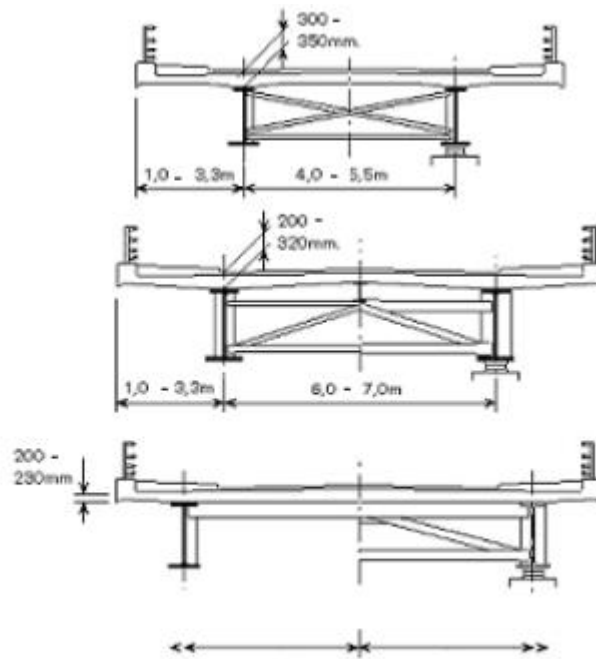
Η βασική διαφορά των σύμμικτων από τις σιδηρές γέφυρες έγκειται στο διαφορετικό τύπο πλόκας καταστρώματος. Στις σιδηρές γέφυρες χρησιμοποιείται ορθότροπη πλόκα, η οποία παρουσιάζει διάφορα μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα οι ορθότροπες πλόκες έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος, χαμηλή θερμοαγωγιμότητα και είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στην κόπωση. Σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος η συνάφεια μεταξύ της πλόκας και της οσφύλου μειώνεται, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες δημιουργείται πάγος. Γέρον αυτού, η ορθότροπη μεταλλική πλόκα δεν συνεισφέρει στην αντοχή των κύριων δοκών, παρά μόνο μεταφέρει σε αυτές τα φορτία κυκλοφορίας. Στις σύμμικτες γέφυρες η πλόκα μορφώνεται από σπλισμένο σκυροδέμα και συνεργάζεται διαμητρικά με τις σιδηροδοκούς. Εκτός από την μεταφορά των φορτίων, συνεισφέρει στην αντοχή του φορέα παραλαμβάνοντας τόσο κομπιλικές ροπές, όσο και αξονικές δυνάμεις (οι οποίες στην περίπτωση του κολυδιαστού φορέα είναι σημαντικές). Η οικονομικότητα της χρήσης σύμμικτου καταστρώματος μπορεί εύκολα να αποδειχθεί. Για την παραλαβή των φορτίων, μια αμιγώς σιδηρά διατομή πρέπει να έχει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις σε σχέση με την αντίστοιχη σύμμικτη (δεδομένου ότι ο χάλυβας είναι πολύ πιο ακριβό υλικό από το σκυροδέμα).



Σχήμα 1.10: Μορφές διατομής σύμμικτων καταστρωμάτων

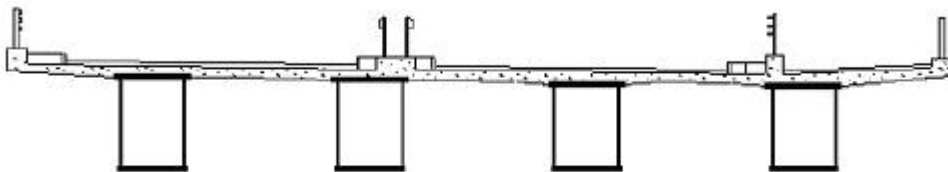
Η μόρφωση του καοιστρέματος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Τα εντοτικά μεγέθη και τα ανοίγματα κατά τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση καθορίζουν τον τύπο που θα χρησιμοποιηθεί. Οι συνήθεις μορφές είναι οι ανοικτές με χρήση διατομών διπλού του και οι κβατισειδής.

Αν επιλεγεί χρήση διατομών διπλού του το καοιστρέμα διαμορφώνεται ως εσχόρα δοκών. Κατά την διαμήκη έννοια τοποθετούνται δύο ή περισσότερες κύριες δοκοί οι οποίες εγκάρσια ενώνονται με διαδοκίδες (οι οποίες και αυτές συνεργάζονται με την πλάκα του σκυροδέματος). Οι σιδηροδοκοί που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι συγκολλητές και συχνά μεταβαλλόμενων διαστάσεων κατά μήκος του φορέα, ανάλογα με τα εντοτικά μεγέθη. Οι συγκολλητές βέβαια έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής, ωστόσο είναι ελαφρύτερες από τις ελατές και δεν υπάρχει περιορισμός στη διαβόθμιση. Στην πράξη οι ελατές χρησιμοποιούνται μόνο για μικρά ανοίγματα όπου διατάσσονται περισσότερες από μία κύριες δοκοί. Στην περίπτωση της πυκνής διάταξης κύριων δοκών δεν απαιτούνται συνήθως διαδοκίδες. Όταν διατάσσονται διαδοκίδες, αυτές είναι συνήθως διατομές I ή χριστή σύνδεσμοι μεταξύ των δοκών.



Σχήμα 1.11: Καταστρώματα με δύο κύριες δοκούς τύπου I

Εκτός από εσχάρες δοκών, συνηθής είναι η χρήση καβαριοειδών διατομών. Έχουν ορθογωνικό ή τραπεζοειδές σχήμα και συνδέονται διαμηθικά με την πλάκα σκυροδέματος με ήλους που τοποθετούνται στο ανώτερο τοίχωμά τους. Διακρίνονται σε αεροστεγή μικροκαβώτια και επισκέψιμα καβώτια. Οι διατομές αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυστρεψία (καλύτερη παραλαβή των έκκεντρων φορτίων κυκλοφορίας) και καλή συμπεριφορά σε αεροδυναμικά φαινόμενα.



Σχήμα 1.12: Σύμμεκτο κατάστρωμα με κλειστά κιβώτια

3.6. ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΥΛΩΝΑ - ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η απόσβεση της κίνησης του καταστρώματος από αυτή των πυλών υπό την επίδραση δυναμικών φορτίσεων είναι βασικό χαρακτηριστικό των κολυδιακών γεφυρών. Σε πολλές κολυδιακές γέφυρες υιοθετείται η λύση της σκλόνιτης σύνδεσης των δομικών αυτών στοιχείων η οποία όμως έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση των εντακτικών μεγεθών τόσο στους πύλους όσο και στις δοκούς του καταστρώματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις κρίνεται αναγκαία μία – τύπου ελατηρίου – σύνδεση μεταξύ του πύλου και του καταστρώματος είτε για την απόσβεση αεροδυναμικών ταλαντώσεων που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο το φορέα, είτε για

τον περιορισμό του εύρους των ταλαντώσεων αυτών από κάποιο όριο και πάλι ώστε να αποφευχθεί σύγκρουση του καταστράματος με τους πυλώνες κατά την εγκάρσια έννοια. Σε ορισμένες καλωδιατές γέφυρες έχουν τεθεί ειδικά στοιχεία σύνδεσης τα οποία εμποδίζουν τη μετατόπιση του καταστράματος από κάποιο σημείο και πέρα. Για παράδειγμα στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου τέθηκαν ειδικοί αποσβεστήρες με τη μορφή εμβόλων οι οποίοι αφήνουν ελεύθερη την εγκάρσια κίνηση του καταστράματος σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας του φορέα, αρχίζουν και αποσβένουν όμως την ταλάντωση κατά τη διάρκεια σεισμικής διέγερσης ή ισχυρών ανέμων που προκαλούν διάφορες μετατοπίσεις στα στοιχεία του φορέα.



Σχήμα 1.13 : Σύνδεση καταστράματος-πυλώνων στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου

Μεθοδολογία βελτιστοποίησης σχεδιασμού

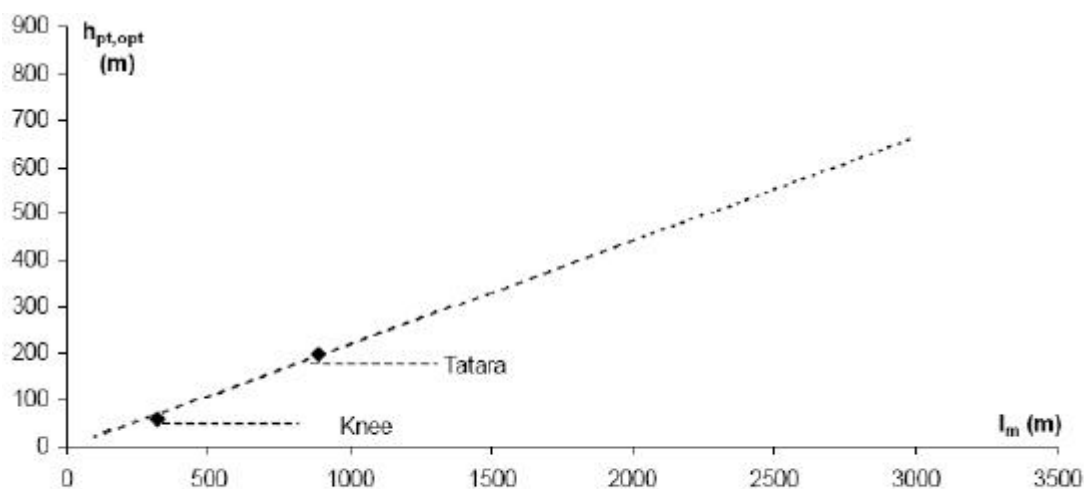
Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως ο σχεδιασμός μιας καλωδιατής γέφυρας δεν περιορίζεται στην επιλογή των κατάλληλων διατομών και μεθόδου κατασκευής βάσει κανονισμών όπως σε άλλα έργα. Η διαδικασία σχεδιασμού προϋποθέτει έναν καλά καταστραμένο αλγόριθμο βελτιστοποίησης ώστε να προκύψει ο πλέον οικονομικός φορέας ο οποίος ταυτόχρονα θα ικανοποιεί τα κριτήρια της αισθητικής και φυσικά της ασφάλειας. Η επιλογή του συστήματος καλωδίωσης του φορέα του καταστράματος των διατομών των πυλώνων, της αγκύρωσης ή μη στα ακρόβοθρα των ακροίων καλωδίων και άλλων παραμέτρων γίνεται θεωρώντας τα παραπάνω δεδομένα ως παραμέτρους του προβλήματος.

Η επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων αποτελεί το βασικότερο πρόβλημα. Το ύψος πυλώνων, για παράδειγμα, καθορίζεται από τη σχέση του κόστους των καλωδίων, της γωνίας αγκύρωσης στο κατώστρεμμα

και του κόστους ανά μονάδα ύψους του πλώνα. Στο σκηνικό σύστημα καλωδίωσης για παρόδειγμα η αύξηση του ύψους των πλώνων σημαίνει μεγαλύτερη γωνία αγκύρωσης άρα και καλύτερο βαθμό απόδοσης της αντοχής των καλωδίων (μικρότερες διαμέτροι). Ταυτόχρονα όμως το μήκος τους αυξάνεται, όπως και το κόστος των πλώνων. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι η επιλογή ενός δομικού μέλους εξαρτάται από πλήθος άλλων παραγόντων πέραν της συμβατικής του αντοχής. Σε μια πιο αρχική του μορφή το πρόβλημα αφορά στην επιλογή του πλήθους των ανοημάτων (

άρα και των πλώνων) σε γέφυρες μεγάλου μήκους, καθώς και της μορφής της καλωδίωσης και του τύπου πλώνων που θα επιλεγούν. Προφανώς οι παράγοντες που επιβάλλουν τον τελικό σχεδιασμό είναι συχνά ανεξάρτητοι από το καθαρά στατικό μέρος της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Γεωλογικοί – τοπογραφικοί παράγοντες συχνά επιβάλλουν τη θέση και το πλήθος των πλώνων, ενώ η αισθητική διάσταση σε έργα συμβολικής αξίας όπως είναι τα έργα του μεγέθους των καλωδιακών γεφυρών περιορίζει τις δυνατές λύσεις.

Στο παρόδειγμα της βελτιστοποίησης του ύψους του πλώνα σε σχέση με το άνοιγμα του φορέα σε καλωδιακές γέφυρες με σκηνική διάταξη καλωδίωσης, η στατική ανάλυση των ήδη κατασκευασμένων καλωδιακών γεφυρών δίνει τη βέλτιστη σχέση μεταξύ τους.



Σχήμα 1.14: Βέλτιστο ύψος πλώνων σε σχέση με το άνοιγμα του φορέα

3.6.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΛΩΔΙΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Γέφυρα Greenville :

Η τρίτη μεγαλύτερη γέφυρα ως προς το κεντρικό της άνοιγμα στην Αμερική, 420 μέτρα και τέταρτη μεγαλύτερη στη βόρεια Αμερική. Διοσχίζει το ποταμό Mississippi ανάμεσα στην πόλη Lake Village του Arkansas και την πόλη Greenville του Mississippi.









Figure 1. Cable-stayed bridge



Figure 2. Cable-stayed bridge





4. ΓΕΦΥΡΑ RUSSKY



Η γέφυρα στο νησί Russky στα στενά του ανατολικού Βοσπόρου χτίστηκε με ομοσπονδιακό πρόγραμμα για την ανάπτυξη του Βλαδιβοστόκ ως κέντρο διεθνής συνεργασίας των Ασιατικών χωρών του ειρηνικού. Η γέφυρα θα χρησιμοποιηθεί σαν πρωταρχικό μέσο διευκόλυνσης των μεταφορών από το Βλαδιβοστόκ στο νησί Ράσκι και της ευρύτερης περιοχής του Πρίμορι.

Η γέφυρα Ράσκι είναι μοναδικών διαστάσεων. Το κεντρικό άνοιγμα της γέφυρας είναι 1,104 m και το μακρύτερο μήκος καλωδίου 580 m, το οποίο αποτελεί παγκόσμιο ρεκόρ και για τα δύο μεγέθη. Το άνοιγμα της γέφυρα ανάμεσα στην επιφάνεια της θάλασσας και του καταστρώματος φτάνει τα 70 m.

Οι εργασίες ξεκίνησαν το Σεπτέμβριο του 2008 και ολοκληρώθηκαν το Ιούλιο του 2012 οπότε και το νησί Ράσκι φιλοξένησε το Σεπτέμβριο του ίδιου χρόνου τη σύνοδο κορυφής της οικονομικής συνεργασίας των Ασιατικών χωρών του ειρηνικού.

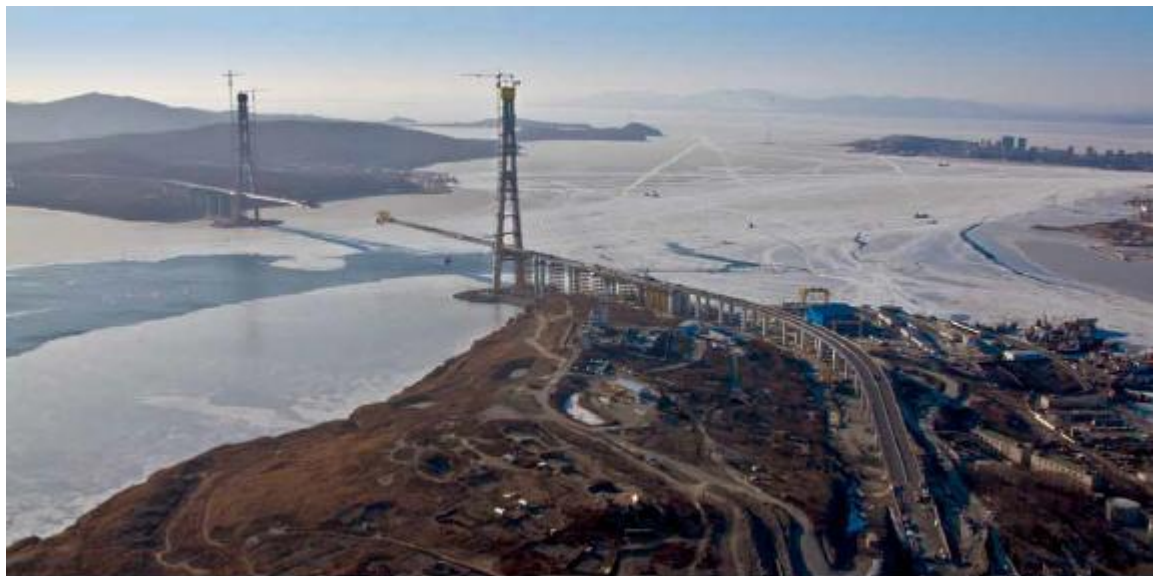


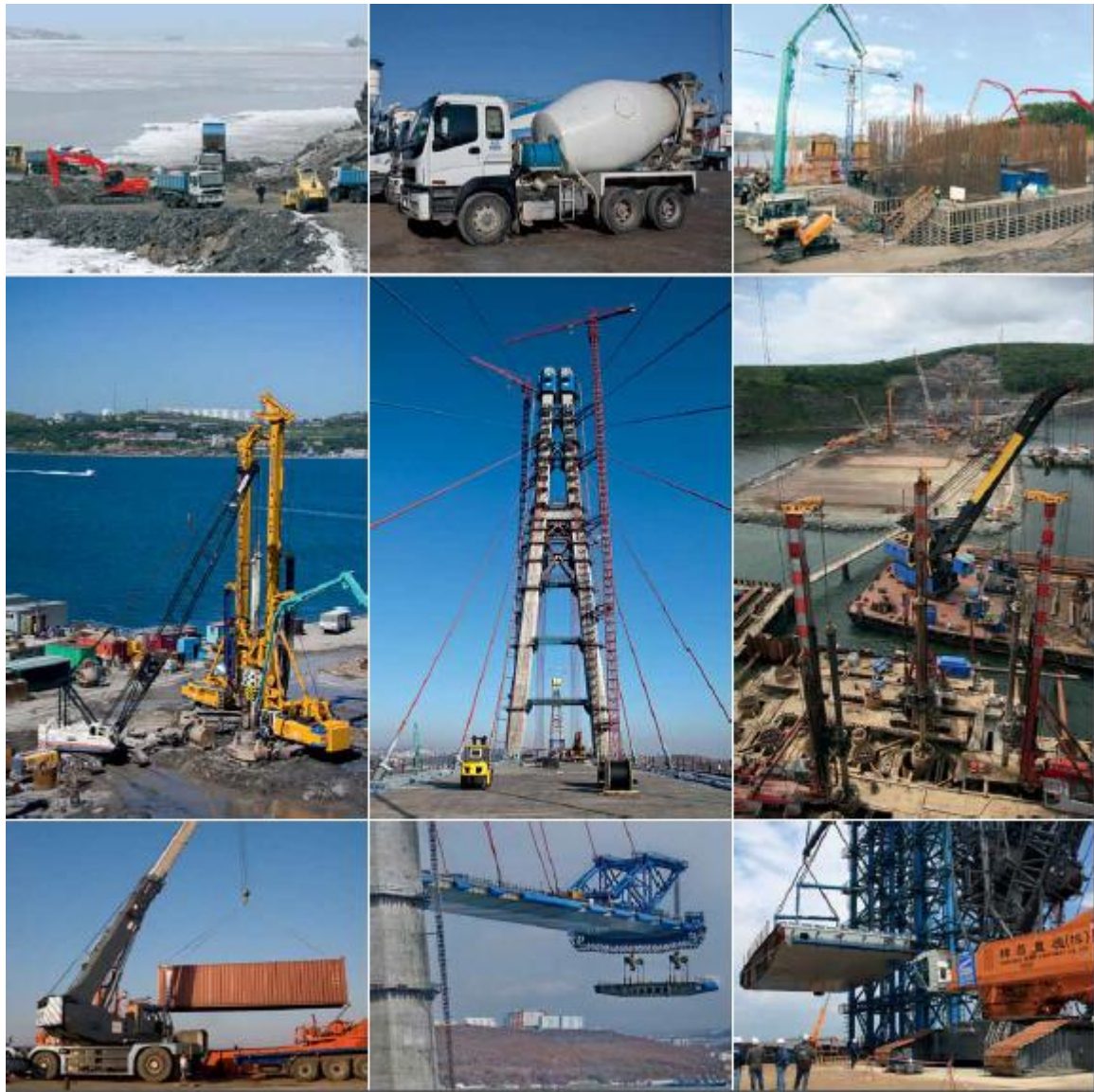
Το συνολικό κόστος της γέφυρας ξεπέρασε το \$ 1 δισεκατομμύριο δολάρια.

Οι αντίξοες καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ήταν ένα εμπόδιο που έπρεπε να υπερβούν εργαζόμενοι και μηχανικοί στην κατασκευή της γέφυρας. Η ταχύτητα του ανέμου έφτανε τιμές της τάξεως των 37 m/s, ο άνεμος προκαλούσε κύματα έως και 6 m ύψους και το πάχος του πάγου κατά τους χειμερινούς μήνες έφτανε τα 70 cm με τη θερμοκρασία να αγγίζει μέχρι και τους μείον 36° βαθμούς κελσίου! Το εντυπωσιακό της υπόθεσης είναι ότι τους καλοκαιρινούς μήνες έπρεπε να προσαρμοστούν σε θερμοκρασίες έως και 37° βαθμών κελσίου!



Δύο εργοτάξια στήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την περάτωση του έργου, το ένα στη χερσόνησο Νάζιμοβ και το άλλο στο νησί Ράσκι. Καθένα από αυτά ήταν πλήρως επανδρωμένο με μηχανικούς, εργάτες, γραφεία, δωμάτια για τους εργαζόμενους και εστιατόρια. Το υπάρχον δίκτυο 4.5 χιλιομέτρων που εξυπηρετούσε την περιοχή επεκτάθηκε άλλα 1,340 m για να διασφαλίσει την έγκαιρη προέλευση των υλικών.





Περίπου 320 μηχανήματα τελευταίας τεχνολογίας χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της γέφυρας. Μοναδικοί πυργογερανοί 40 τόνων και 20 τόνων της Kroll που μπορούν να φτάσουν ακόμα και τα 340 m, χρησιμοποιήθηκαν για να ανεγερθούν οι πυλώνες. Οι Ρώσοι έφτιαξαν πυργογεραμούς γεώτρησης με ανυψωτική ικανότητα 400 ton για την εγκατάσταση των πάλων του καταστρώματος. Ένας γερανός Liebherr Crawler ανυψωτικής ικανότητας 1,350 ton εγκαταστάθηκε σε χρόνο ρεκόρ για την τοποθέτηση των πρώτων δέκα τμημάτων του χαλύβδινου καταστρώματος της γέφυρας.

Για την ομαλή προσαρμογή της γέφυρας με το έδαφος κατασκευάστηκαν κοιλαδογέφυρες συνολικού μήκους 900 m και κολώνες με ύψος από 9 μέχρι 30 m. Το κατάστρωμα είναι φτιαγμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελούμενο από ένα κυβωτιοειδές επικλινές χαλύβδινο κουτί και μιας χτυπημένης επί τόπου οπλισμένου σκυροδέματος πλάκας.



Οι προβλήτες της γέφυρας, η M1 στη χερσόνησο του Νοζιμόβ και η M12 στο νησί Ράσκι είναι οι βαρύτερες και οι πιο πολύπλοκες κατασκευές. Είναι περίπου 35 m ύψους. Οι προβλήτες είναι πραγματικά οι αποδέκτες όλου του κατακόρυφου φορτίου των πυλώνων από τα καλώδια που κρατάνε το κατάστρωμα.

Για την κατασκευή των προβλητών χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα πόρτλαντ B35 αντοχής στη διάβρωση από θείο. Το σκυρόδεμα θα προστατέψει την πέδηση από διαβρωτικά υγρά και θα αποτρέψει τις χαλύβδινες ράβδους από το να σκουριάσουν.

Στην κατασκευή των πυλώνων βοήθησε και ένας ανελκυστήρας ο οποίος είναι κατάλληλος είτε για επιβάτες είτε για φορτία μέχρι και 2 ton και η ταχύτητά του 65 m/min.



Για την ανέγερση του πυλώνα Μ6 κατασκευάστηκε μια τεχνητή νησίδα στη χερσόνησο Νοζιμόβ. Η βάση των πασσάλων του πυλώνα Μ7 κατασκευάστηκε στο νερό με προσωρινή χαλύβδινη νησίδα.

Μια τεχνητή χερσόνησος κατασκευάστηκε με βράχους και πέτρες μετά την περάτωση της πασσαλοέμπτηξης. Ο σκοπός που εξυπηρετεί είναι η προστασία των πυλώνων από συγκρούσεις με πλοία, παγόβουνα, κύματα έως και 66,000 ton.

Συνολικά για τις εργασίες χρησιμοποιήθηκαν 1.5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα χωμάτων και πέτρας.





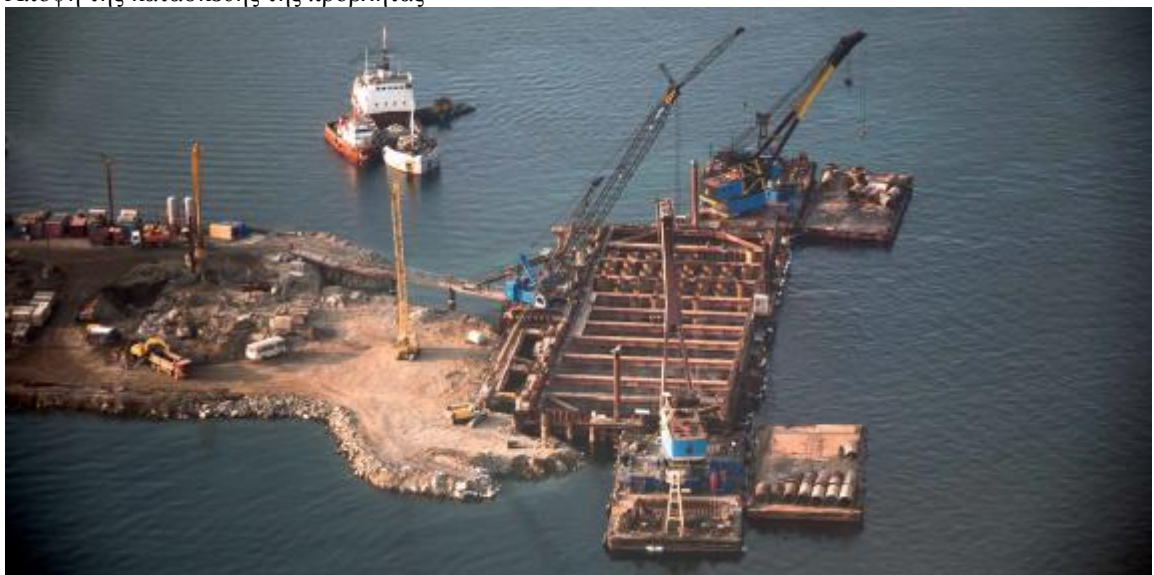
Όλες οι διαδικασίες γεώτρησης και πασσαλοέμπτηξης που πραγματοποιήθηκαν στη θάλασσα σε βάθη από 14 έως 20 m είναι πρωτοφανές για τα δεδομένα της Ρωσίας.

Για κάθε πέδιλο χρησιμοποιήθηκαν 120 πάσσαλοι διαμέτρου 2 m ο καθένας. Μόνιμοι εγκαθιστημένοι χάλυβα πάσσαλοι έχουν βυθιστεί 46 μέτρα κάτω από τον πυλώνα M7. Οι σπλισμένοι σκυροδέματος πάσσαλοι στη χερσόνησο του Νοζιμόβ φτάνουν τα 77 m βάθος.

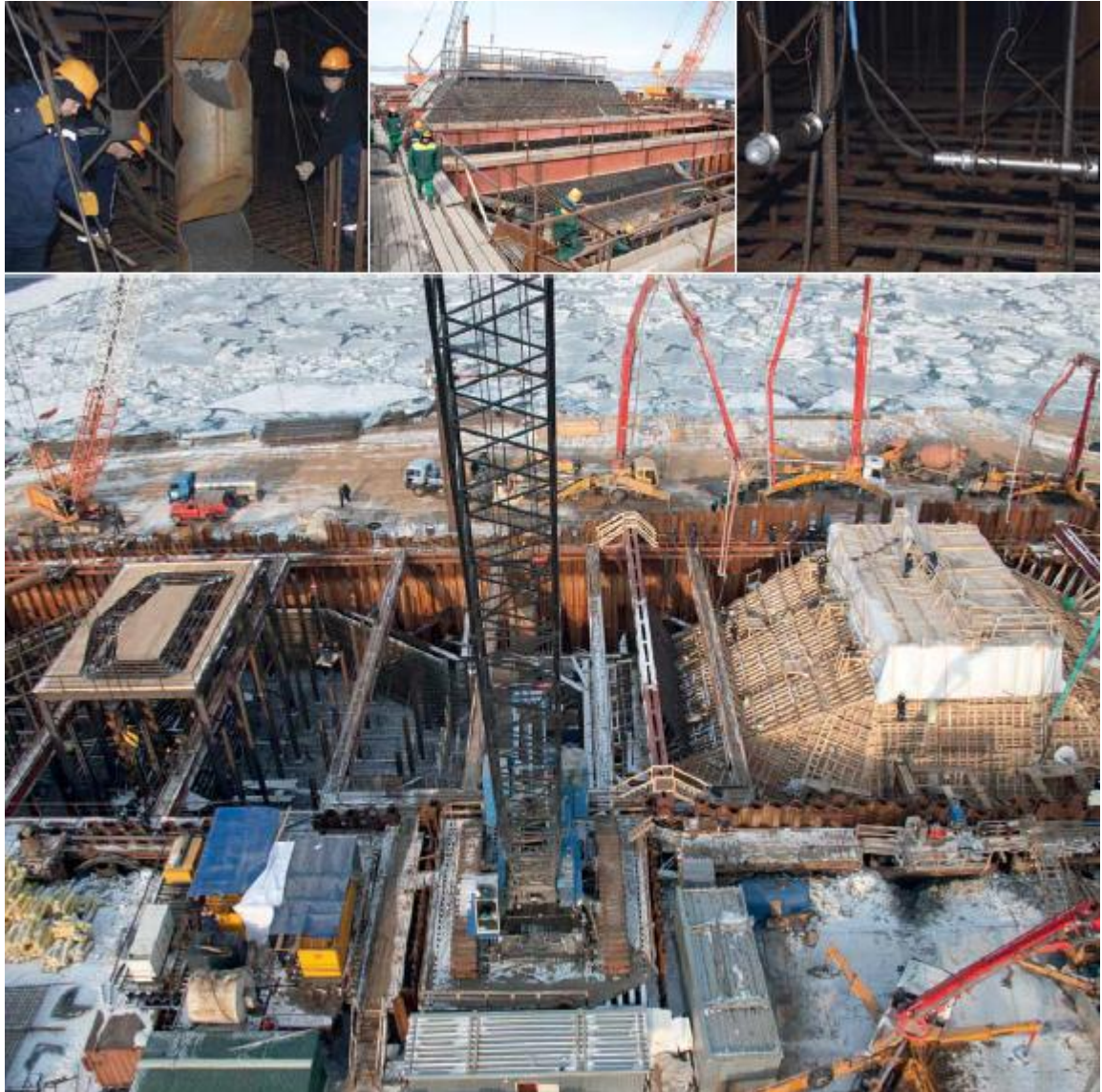




Άποψη της κατασκευής της προβλήτας



Χρειάστηκαν περίπου 20,000 κυβικά μέτρα σκυροδέματος και 3,000 ton χαλύβδινων σκελετών για την ανέγερση των πυλώνων. Ήταν η πιο απαιτητική διαδικασία σε εργατικό προσωπικό αλλά και σε σημαντικότητα. Εμβόλιμα στοιχεία στο σκελετό του πυλώνα παρακολουθούν την διάβρωση του.





Κατασκευή βάσεων πυλώνων

Ειδικής παραγγελίας αυτοκινούμενα καλούπια χρησιμοποιήθηκαν για τη σκυροδέτηση των πυλώνων, τα οποία λειτουργούν με υδραυλικό σύστημα ελεγχόμενης ανύψωσης. Εφτά βαθμίδες εργασιών συνολικού ύψους 19 μέτρων συνέβαλαν στην από κοινού κατασκευή της ενίσχυσης, της σκυροδέτησης, της ειδικής θεραπείας που ολοκληρώνονταν ταυτόχρονα σε τρεις ίδιες ενότητες των 4.5 μέτρων.

Η χρήση των αυτό κινούμενων καλουπιών κατέβασε το χρόνο κατασκευής των πυλώνων περίπου 1,5 φορά, το οποίο είναι πολύ σημαντικό αν σκεφτεί κανείς ότι για κάθε πυλώνα χρησιμοποιήθηκαν 20,000 κυβικά μέτρα σκυροδέματος.





Κατασκευή πολώνων

Τα αγκυρωμένα μέρη της γέφυρας είναι συμμετρικά τοποθετημένα ως προς το κεντρικό άνοιγμα και τους πυλώνες και έχουν 360 μέτρα μήκους το καθένα. Τα συνεχόμενα κομμάτια είναι φτιαγμένα από προεντεταμένο οπλισμένο σκυρόδεμα, για τα οποία χρειάστηκαν 21,000 κυβικά μέτρα σκυροδέματος για να ολοκληρωθούν.

Πλαστικοί σωλήνες εγκαταστάθηκαν ανάμεσα στα σίδερα και υψηλής αντοχής κεφαλές αγκύρωσης και δέσμες χαλύβων εφαρμόστηκαν στους σωλήνες. Στις δέσμες ασκήθηκε προένταση της τάξεως των 300 με 370 ton τοποθετώντας υποδοχές προέντασης όταν το σκυρόδεμα απέκτησε την επιθυμητή αντοχή. Μετά το τέλος της διαδικασίας προέντασης τα κενά των σωλήνων γεμίσανε με ειδική τσιμεντοκονία.



Άποψη των καλωδίων



Τοποθέτηση καλωδίων

Η άκαμπτη δοκός του κεντρικού ανοίγματος της γέφυρας είναι ολόκληρη μεταλλική. Είναι σαν ένα κουτί που συνθέτει όλο το μήκος της διατομής, με δύο ορθότροπες πλάκες πάνω και κάτω και ένα σύστημα εγκάρσιων διαφραγμάτων.

Η χαλύβδινη άκαμπτη δοκός αποτελείται από 103 πάνελ 12 μέτρων μήκους το καθένα και 26 μέτρων πλάτους και 2 μεταβατικών πάνελ των 6 μέτρων μήκους. Το συνολικό βάρος των πάνελ είναι 23,000 ton και το μήκος της δοκού 1,248 m.



Ανέγερση καταστρώματος

Τα πάνελ συναρμολογήθηκαν στις εγκαταστάσεις παραγωγής της χερσονήσου του Ναζιμόβ στο ναυπηγείο Νακόντκα. Αυτή η προσυναρμολόγηση απαιτούσε συμπληρωτική συναρμολόγηση κατά την εγκατάσταση στη γέφυρα μεγάλων και βαρέων πάνελ, το οποίο όμως ήταν αναγκαίο αν αναλογιστεί κανείς ότι η

εγκατάσταση γινόταν σε πολύ δυνατούς ανέμους και σε ύψος 70 μέτρων. Ο κερδισμένος χρόνος ήταν αρκετός δεδομένου ότι 30 km της πρώτης φάσης συγκόλλησης των αρμών με 100% ακρίβεια λόγω ανίχνευσης των σφαλμάτων με υπερηχογράφημα είχαν ήδη ολοκληρωθεί.



Τα πάνελ του καταστρώματος

Τα πάνελ παραδίδονταν στον χώρο εγκατάστασης με φορηγίδες και ανυψώνονταν στο 70 μέτρα με πυργογερανοούς. Η φορηγίδα τοποθετούνταν κάτω από τη μονάδα εγκατάστασης με τη χρήση ενός Ρωσικού συστήματος πλοήγησης με δορυφόρο του GLONASS.

Μετά την τοποθέτηση του κομματιού 20, ζεύγη πάνελ των 24 μέτρων παραδίδονταν για εγκατάσταση για να επισπευθεί η ολοκλήρωση της κεντρικής άκαμπτης δοκού.

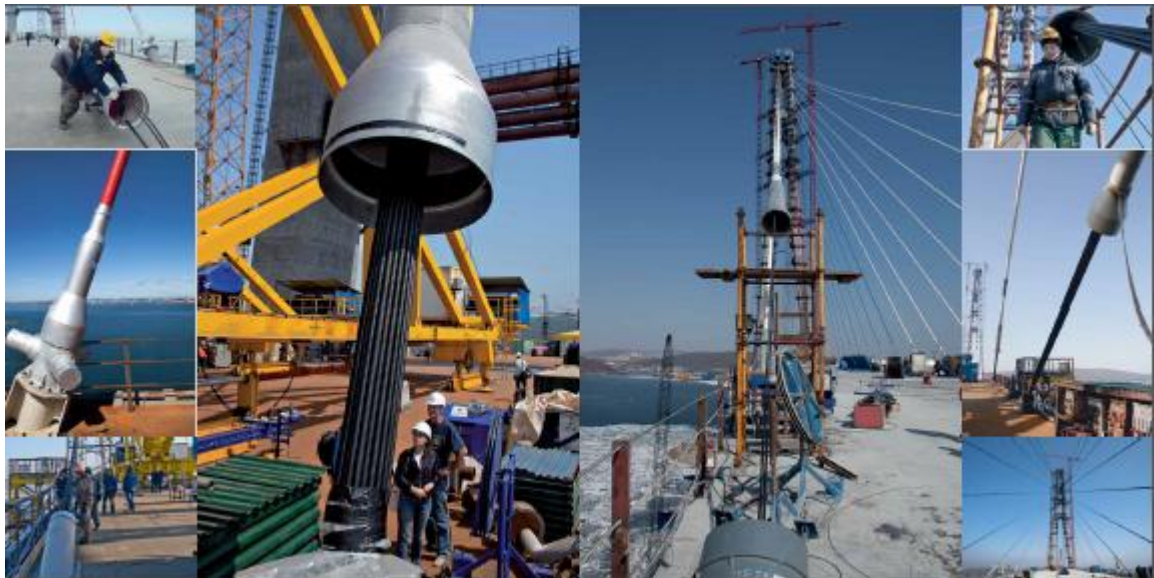


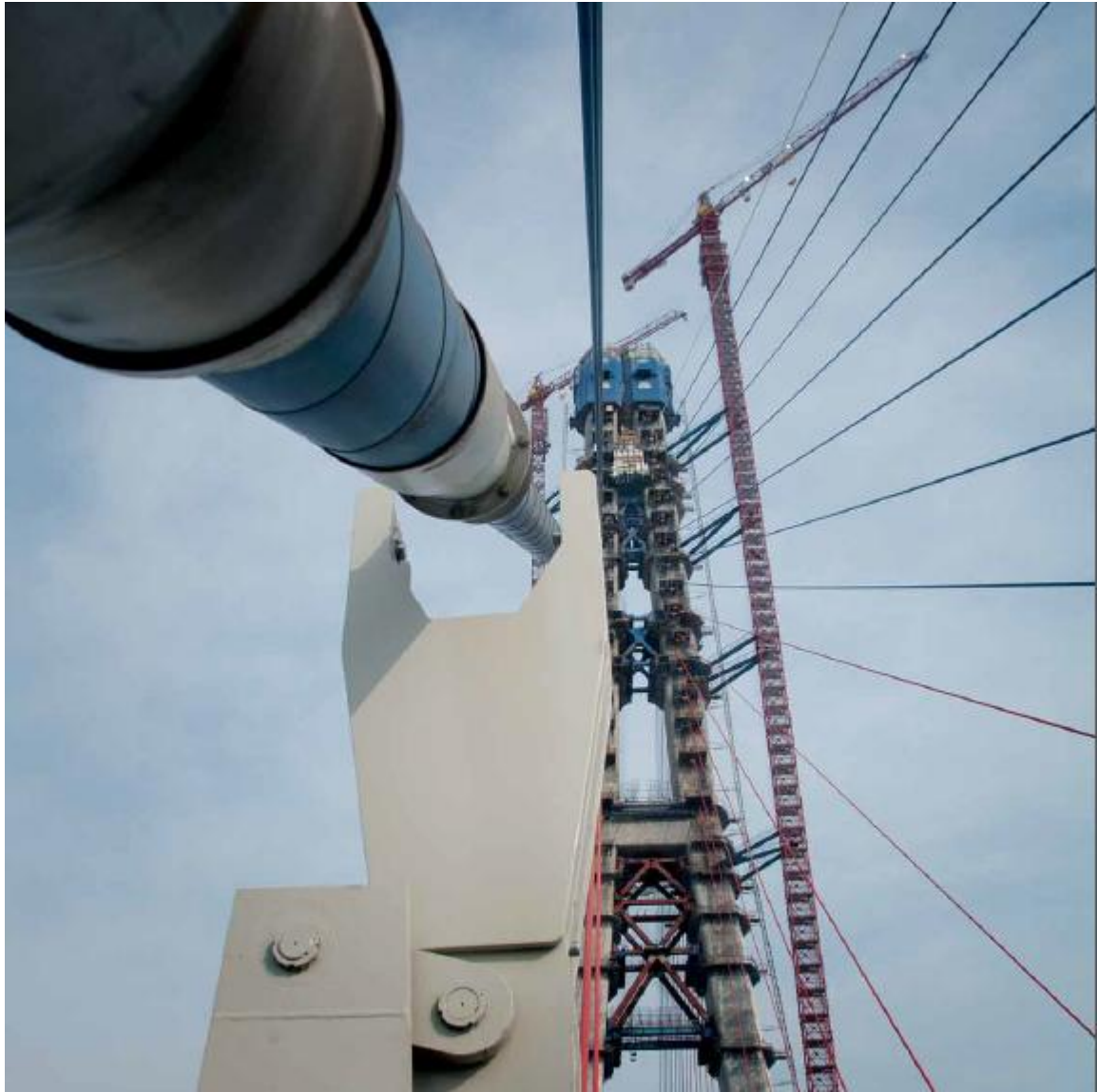


Εργασίες ανέγερσης καταστρώματος

Ένα βελτιωμένο σύστημα καλωδίωσης με μεγαλύτερη πυκνότητα συρμάτων μέσα στο καλώδιο χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της γέφυρας. Όλο το σύστημα ζυγίζει 3,720 tons και έχει συνολικό μήκος 54 χιλιόμετρα. Τα κάθε καλώδιο περιλαμβάνει 13 με 85 παράλληλα ξεχωριστά αντιδιαβρωτικά σύρματα. Κάθε σύρμα αποτελείται από 7 μικρότερα γαλβανισμένα σύρματα σε υψηλή πυκνότητα και με επικάλυψη πολυαιθυλενίου.

Μια συμπαγής διάταξη καλωδίων έχει ως αποτέλεσμα την χρήση μικρότερης διαμέτρου καλωδίων που μειώνει το φορτίου από τον αέρα κατά 25 - 30%. Αυτός ο σχεδιασμός μειώνει το κόστος των υλικών των επιμέρους κατασκευών, πυλώνων, άκαμπτης δοκού και πεδίου κατά 35 - 40%.





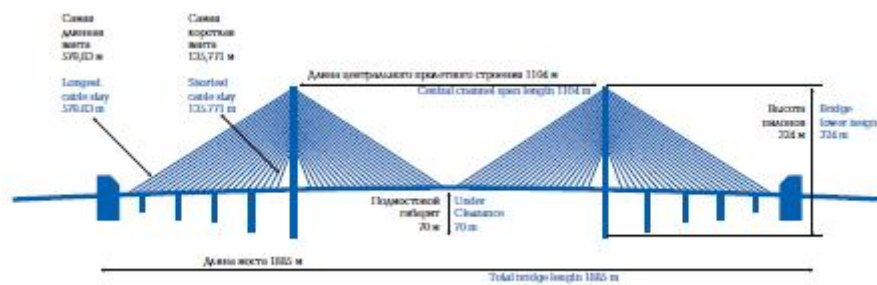
Τοποθέτηση των καλωδίων

Η φόρμα του καλωδίου φτιάχνεται από δύο στρώσεις : η εσωτερική είναι από μαύρο υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου και η άλλη η εξωτερική αποτυώνει τα χρώματα της σημαίας της Ρωσίας. Η διακοσμητική στρώση έχει επίσης μια ελικοειδή αυλάκωση για προστασία από τις δονήσεις της συνδυασμένης έκθεσής του από αέρα και βροχή.

Η ολοκληρωμένη μηχανική προστασία και η παρακολούθηση της ποιότητας της σε όλη την κατασκευή και σε όλα τα καλώδια και το εσωτερικό τους παρέχουν υψηλής δύναμης, αντοχής και αντοχής στη διάβρωση δείκτες. Ο ελάχιστος χρόνος ζωής τους είναι 100 χρόνια.



Εργασίες καταστρώματος



- Το σχέδιο της γέφυρας :
 $60 + 72 + 3 \times 84 + 1104 + 3 \times 84 + 72 + 60 \text{ m}$
 - Συνολικό μήκος της γέφυρας : 1885 m
 - Μήκος με τις κοιλαδογέφυρες συναρμογής : 3100 m
 - Μέγιστο άνοιγμα : 1104 m
 - Πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας : 21 m

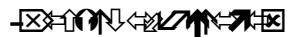
- Αριθμός λωρίδων : 4
- Καθαρό ύψος της γέφυρας : 70 m
- Ύψος πυλώνων : 324 m
- Μακρύτερο / κοντύτερο καλώδιο : 579.83 / 135.771 m

-Customer –Developer

∅ FKU DSD 



∅ USK MOST OJSC



∅ MOSTOVIK LLC 

∅  ipstroy most OJSC

∅  ipstroy most St Petersburg OJSC



∅ SK MOST OJSC

∅ SK MostVostok LLC

∅ Mostbstroy CJSC

∅ Bantomstroy OJSC

∅ Mostvik LLC 

Κατασκευή πύλων

Οι πύλοι είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα και έχουν μήκος 65 μέτρα και πλάτος 10 μέτρα. Η κατασκευή τους απαιτούσε ιδιαίτερες δεξιότητες και εξοπλισμό. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, ένας συνδυασμός από τις τελευταίες τεχνολογίες στις θαλάσσιες εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου, υποθαλάσσιων σηράγγων και μεγάλων καλωδιωτών γεφυρών χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς.

Κατασκευή βάσεων πυλώνων

Οι πύλωνες από την πλευρά του Αντιρρίου κατασκευάστηκαν σε δύο στάδια : το πέδιλο τοποθετήθηκε πρώτα σε μια αποβάθρα 230 m μήκους και 100 m πλάτους. Οι κωνικοί άξονες ολοκληρώνονταν αργότερα σε θαλάσσιες αποβάθρες όπου το νερό ήταν διαθέσιμο σε μεγάλο βάθος.

Στην αποβάθρα της ξηράς δύο κινητά πέδιλα πυλώνων κατασκευάζονταν συγχρόνως. Στην πραγματικότητα, δύο διαφορετικά επίπεδα στην προβλήτα παρείχαν 12 m νερό για την χύτευση του πρώτου πυλώνα και 8 m για το δεύτερο. Όταν το πρώτο πέδιλο ήταν έτοιμο συμπεριλαμβανομένου και ένα κομμάτι από τον αρχή του εκλεπτυσμένου άξονα η προβλήτα πλημμύριζε και το σχεδόν 17 μέτρων κατασκεύασμα ρυμουλκούνταν μερικά εκατοντάδες μέτρα για να βυθιστεί στο νερό.



Μια πολύ πρωτότυπη ιδέα συνείσφερε στο σωθεί πολύτιμος χρόνος στην κατασκευή των βάσεων των πυλώνων. Πριν τη ρυμούλκηση η αποβάθρα στην ξηρά έκλεινε με ένα φύλλο προστασίας σαν ανάχωμα το οποίο μετακινούνταν. Προφανώς το να χτίζεις και να γκρεμίζεις κάθε φορά ένα ανάχωμα ήταν μεγάλο χάσιμο χρόνου.

Στην πραγματικότητα, το δεύτερο πέδιλο που συρότανε μαζί με το πρώτο για να πάνε στην θαλάσσια αποβάθρα έμενε στο χείλος της πρώτης αποβάθρας και έκλεινε την είσοδο του νερού. Αντί να ξαναχτίζονται αναχώματα ή να χρησιμοποιούνται σιδερένια φύλλα, με αυτή τη μέθοδο υπήρχε άριστο αποτέλεσμα δεδομένου ότι όλα είχαν σχεδιαστεί καταλλήλως.





Η συνέχεια του κωνικού άξονα πραγματοποιούνταν στην προβλήτα στη θάλασσα τμηματικά στο πάνω μέρος του πεδίου. Τα κούφια μέρη του πεδίου γεμίζονταν λίγο λίγο ώστε να μένει πάντα μερικά μέτρα πάνω από το νερό. Όταν το ύψος της κατασκευής ήταν αρκετό για να μένει έξω από το νερό μόνη της, ρυμουλκά την μετακινήσουν και την τοποθετούσαν στο ακριβές σημείο όπου έπρεπε να μπει. Εκεί γεμίζονταν πλήρως με νερό και ήταν πλέον έτοιμο να δεχτεί όποιες διορθώσεις θα χρειαζόταν σε περίπτωση καθιζήσεων με την κατασκευή των πυλώνων.





Φωτογραφίες από την κατασκευή των βάσεων των πυλώνων

Κ Α Τ Α Σ Κ Ε Υ Η Θ Ε Μ Ε Λ Ι Ω Ν

Οι εργασίες για τα θεμέλια ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 1999 με την προετοιμασία του βυθού στα σημεία που θα τοποθετούνταν οι βάσεις των πυλώνων. Αρχικά στρώθηκε μια λεπτή στρώση άμμου 90 cm , έπειτα οι σωλήνες ενίσχυσης οι οποίοι αφέθηκαν να προεξέχουν 1.5 m και στη συνέχεια καλύφθηκαν με μία στρώση 1.6–2.3 m χαλικιού και άλλη μία 0.5 m θρυμματισμένου χαλικιού. Το χαλίκι στρώθηκε σε παράλληλα αναχώματα, 2 m πλάτους, με ξεχωριστά ύψη σε σχήμα V περίπου 30 cm διαφορά βάθους για να δώσουν μεγαλύτερο περιθώριο διόρθωσης όταν θα τοποθετούνταν οι βάσεις.

Όλες αυτές οι θαλάσσιες εργασίες πραγματοποιήθηκαν, βήμα - βήμα, σε μία 60 m μήκους και 40 m πλάτους πλατφόρμα τεταμένων μελών αγκυρωμένο σε κινητούς τσιμεντόλιθους με ρυθμιζόμενες αλυσίδες. Ο εξοπλισμός για την ενίσχυση του βυθού με χαλύβδινους σωλήνες τοποθετούνταν σε υποθαλάσσιες προβλήτες αγκυρωμένες στο ένα άκρο της πλατφόρμας με χαλύβδινους βραχίονες. Μια κινητή χαλύβδινη σωλήνα, που έφθανε σχεδόν στην επιφάνεια της θάλασσας, καθοδηγούσε

τον εξοπλισμό πασσαλοέμπηξης και κατέθετε άμμο και χαλίκι στο βυθό. Αυτός ο εξοπλισμός είχε την δυνατότητα να καλύψει μια επιφάνεια 28 m μήκους επί 14 m πλάτους. Έτσι η πλατφόρμα έπρεπε κάθε φορά να μετακινείται από μία εξοπλισμένη φορτηγίδα με ένα δυναμικό σύστημα εντοπισμού θέσης. Ένα μόνιμο σόναρ σάρωσης της τελικής επιφάνειας των χαλικιών επέτρεπε το ακριβές επίπεδο που απαιτούνταν για τη θεμελίωση με απόκλιση 5 cm. Σαράντα μετακινήσεις της πλατφόρμα διήρκησαν περίπου πέντε μήνες, παρόλα αυτά ήταν απολύτως αναγκαίο να προετοιμαστεί ο βυθός κάτω από κάθε πυλώνα.



Η Κ Α Τ Α Σ Κ Ε Υ Η Τ Ο Υ Π Α Ν Ω Μ Ε Ρ Ο Υ Σ Τ Ω Ν Π Υ Λ Ω Ν Ω Ν

Για τα εναπομείναντα τμήματα των πυλώνων, όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρειάστηκε παρέχονταν μέσω μιας φορτηγίδας που χρησιμοποιούνταν ως σταθερή βάση και μία φορτηγίδα η οποία μετέφερε τα υλικά από την ακτή. Οι οκταγωνικοί άξονες χυτεύτηκαν επιτόπου με αυτοκινούμενα καλούπια.

Οι τεράστιες, ανάποδου κώνου σχήματος, κεφαλές των βάσεων των πυλώνων είναι υψίστης σημασίας στην κατασκευή των πυλώνων. Είναι κατασκευασμένες να αντέχουν τις τεράστιες πιέσεις από τα πόδια των πυλώνων, κυρίως κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και να τις μεταφέρουν στους οκταγωνικούς άξονες. Γι' αυτό και είναι βαριά οπλισμένες και προεντεταμένες. Η κατασκευή αυτών των κεφαλών, οι οποίες

χυτεύτηκαν και αυτές επιτόπου , χρειάστηκε επτά μήνες και 4,000 m³ σκυροδέματος, 1,750 t χαλύβδινου οπλισμού, 30,000 m² καλουπιών καθώς και εντυπωσιακό εξοπλισμό.

Η κατασκευή των ποδιών των πυλώνων έγινε σταδιακά σε τμήματα των 4.8 m μέχρι το σημείο που ενώνονται για να συνθέσουν το τμήμα αγκύρωσης των καλωδίων. Μία πρόχειρη αντιστήριξη βοήθησε στην ευστάθειά τους από σεισμούς κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Ο χαλύβδινος πυρήνας της κεφαλής του πυλώνα κατασκευάστηκε σε εργοστάσιο και μεταφέρθηκε στο χώρο. Τοποθετήθηκε στην τελική του θέση από ένα τεράστιο πλωτό γερανό ικανό να φθάσει τα 170 m από την επιφάνεια της θάλασσας.





Α Ν Ε Γ Ε Ρ Σ Η Τ Ο Υ Κ Α Τ Α Σ Τ Ρ Ω Μ Α Τ Ο Σ

Η κατασκευαστική μέθοδος του σύνθετου χάλυβα-το κατάστρωμα ήταν παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στο πέρασμα Σίβερν που ενώνει την Αγγλία με την Ουαλία. Τα κομμάτια του καταστρώματος, 12 m μήκους ενσωματωμένης και της πλάκας σκυροδέματος, προκατασκευάζονταν σε ένα χώρο συναρμολόγησης.

Τοποθετούνταν στην τελική τους θέση από ένα πλωτό γερανό και βιδώνονταν στα ήδη τοποθετημένα τμήματα, χρησιμοποιώντας την κλασική μέθοδο ισορρόπησης προβόλου. Μόνο μικρές αρθρώσεις έπρεπε να τοποθετηθούν επί τόπου για να αφήνουν χώρο για την κατάλληλη επικάλυψη του οπλισμού.

Το κατάστρωμα στηνόταν από δύο πυλώνες ταυτόχρονα. Πέντε με επτά τμήματα τοποθετούνταν κάθε εβδομάδα. Συνολικά η ανέγερσή του πήρε 13 μήνες.



7. Σ Υ Γ Κ Ρ Ι Σ Η Μ Ε Τ Α Ξ Υ Τ Ω Ν Τ Ρ Ι Ω Ν Γ Ε Φ Υ Ρ Ω Ν

Αρχικά και οι τρεις γέφυρες είναι καλωδιωτές , ημιακτινωτού συστήματος καλωδίωσης . Αυτό σημαίνει πως η σύγκριση των χαρακτηριστικών τους πρέπει να εστιαστεί σε τρία βασικά σημεία :

- Τους πυλώνες
- Το κατάστρωμα
- Τα καλώδια

Πυλώνες

Αρχικά και οι τρεις γέφυρες, όσο αναφορά τους πυλώνες τους κεντρικούς ως επί το πλείστον που είναι και το σημαντικότερο κομμάτι για την στατικότητα της γέφυρας, πρέπει να συγκριθούν στο υπέδαφος και τις συνθήκες έδρασής τους.

Η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου έχει το πιο ασταθές υπόστρωμα από τις υπόλοιπες δύο μιας και όπως προαναφέρθηκε ικασίες για σταθερό υπόστρωμα υπάρχουν για βαθύτερα από τα 500 m. Μέχρι και τα 30 m που έχει γίνει η έμπηξη των βοηθητικών πασσάλων το έδαφος είναι από χαλίκι μέχρι λασπώδη πηλό. Παρόλα αυτά η κατασκευάστρια εταιρία έχει εξοπλίσει τη γέφυρα με ένα καταπληκτικό σύστημα ενίσχυσης του υπεδάφους και έδρασης των πυλώνων που της εξασφαλίζουν αντοχή σε σεισμό πάνω από 7.5 ρίχτερ και επίσης σύγκρουση με δεξαμενόπλοιο 180,000 ton που κινείται με 16 κόμβους.

Οι πυλώνες είναι σχήματος ρόμβου και η βάση τους είναι πολύ μεγάλη τόσο σε ύψος (που φθάνει τα 230 m) όσο και σε διαστάσεις για να μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες της γέφυρας.

Από την άλλη η γέφυρα Ράσκι έχει επενδύσει την στατικότητα της γέφυρας στις δύο μεγάλες της προβλήτες οι οποίες παραλαμβάνουν όλα τα φορτία των πυλώνων. Μιλάμε για μία κατασκευή ιδιαίτερα σύνθετη και πρωτοφανή ακόμα και για τα Ρωσικά δεδομένα μιας και για την εξασφάλιση της σταθερότητας τους έχει γίνει πασσαλοέμπηξη μέχρι και βάθους 70 m. Οι επιμέρους ενισχύσεις δίνουν αντοχή στις προβλήτες ως και πρόσκρουσης δεξαμενόπλοιου 66,000 ton. Οι πυλώνες είναι σχήματος Α με ύψος 324 m στηριζόμενοι πάνω στις προβλήτες.

Τέλος για τη γέφυρα Τατάρα το έδαφος και το βάθος της θάλασσας είναι το δυνατότερό της σημείο μιας και ο γρανίτης είναι το κυρίαρχο πέτρωμα του υπεδάφους σε πολύ μικρό βάθος από το βυθό. Οι πυλώνες είναι σχήματος ρόμβου 220 m στηριζόμενες σε οπλισμένου σκυροδέματος κιβώτια με πασσαλοεμπήξεις στα πλάγια για την ενίσχυση της στατικότητάς τους. Το μικρό βάθος της θάλασσας δεν επιτρέπει τη διέλευση πλοίων κι έτσι μια ενδεχόμενη πρόσκρουση είναι αδύνατη.

Κ Α Λ Ω Δ Ι Α

Στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου τα καλώδια διατάσσονται σε δύο κεκλιμένα επίπεδα σύμφωνα με το ημιακτινωτό σχήμα. Είναι φτιαγμένα από 43 με 73 παράλληλα γαλβανισμένα συρματόσχοινα που προστατεύονται ξεχωριστά.

Στη γέφυρα Ράσκι τα καλώδια είναι ένα σύστημα 54 km και 3,720 ton. Το κάθε καλώδιο αποτελείται από 13 με 85 παράλληλα ξεχωριστά αντιδιαβρωτικά σύρματα και κάθε σύρμα με τη σειρά του από 7 μικρότερα γαλβανισμένα σύρματα σε

υψηλή πυκνότητα και με επικάλυψη πολυαιθυλενίου. Η συμπαγής διάταξη καλωδίων μικραίνει τη διάμετρο των καλωδίων και αυτό έχει αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης των ανέμων 25-30% και συνεπώς του κόστους της κατασκευής κατά 35-40%.

Στη γέφυρα Τατάρα τα καλώδια είναι τοποθετημένα σε δύο επιπέδων ημικαλωδιωτή διάταξη. Κάθε καλώδιο αποτελείται από 151 σύρματα κάθε ένα 7 mm διαμέτρου καθώς και 379 γαλβανισμένα σύρματα των 7 mm διαμέτρου που δεν συμπληρώθηκαν με ρευστοκονίαμα.

Κ Α Τ Α Σ Τ Ρ Ω Μ Α

Στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου το κατάστρωμα είναι από χάλυβα και σκυρόδεμα το οποίο αποτελείται από μια πλάκα σκυροδέματος 25 -30 cm πάχους στηριζόμενο σε διαμήκεις χαλύβδινες δοκούς των 2.20 m ενισχυμένες με 4 μέτρων εγκάρσιες δοκούς. Το συνολικό μήκος της κεντρικής δοκού είναι 2,252 m.

Στη γέφυρα Ράσκι η άκαμπτη δοκός του κεντρικού ανοίγματος αποτελείται εξολοκλήρου από χάλυβα. Περιλαμβάνει 105 πάνελ το συνολικό βάρος των οποίων είναι 23,000 ton και το μήκος τους 1,248 m.

Η γέφυρα Τατάρα αποτελείται από ένα σχήματος Α πλαισίου σύμμικτου δοκαριού το οποίο είναι ελαφρύ λόγω των πολλών καλωδίων της γέφυρας αλλά ταυτόχρονα με το σχήμα Α επιτυγχάνει καλή συμπεριφορά από άποψη αεροδυναμικής στους δυνατούς ανέμους της περιοχής.

Π Α Ρ Α Τ Η Ρ Η Σ Ε Ι Σ - Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Όπως μπορούμε να δούμε από την αναλυτική περιγραφή των γεφυρών προηγουμένως όσο και από την αντιστοίχιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, η κάθε καταγραφή επικεντρώνεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της γέφυρας αυτά που οριοθετούν τη διαφορετικότητα και τη μοναδικότητά της. Η κάθε γέφυρα αντιμετωπίζεται ξεχωριστά με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή τα φυσικά φαινόμενα τη σύσταση του εδάφους αλλά και το budget που διατίθεται από τον εκάστοτε φορέα.

Επί παραδείγματι για κάθε γέφυρα έχουν προληφθεί ισχυρά μέτρα σε περίπτωση σεισμού μιας και όλες οι αντίστοιχες περιοχές είναι αρκετά σειсмоγενείς. Στις γέφυρες Ράσκι και Τατάρα έχουν παρθεί επιπλέον μέτρα για πανίσχυρους ανέμους που απειλούν τις γέφυρες. Στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου παρατηρούμε αυξημένη πρόληψη σε περίπτωση σύγκρουσης δεξαμενόπλοιου με τους πυλώνες μιας και έχει τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των πυλώνων 560 m που αυξάνει κατά πολύ την πιθανότητα σε σχέση τα 1104 m της Ράσκι και τα πολύ ριχά νερά της Τατάρα που καθιστούν ένα τέτοιο συμβάν αδύνατο.

Επιπροσθέτως βλέπουμε τη γέφυρα Ράσκι η οποία απευθύνεται σε ένα πληθυσμό περίπου 5,000 ανθρώπων να ξεπερνά το ένα δισεκατομμύριο δολάρια διπλάσιο σχεδόν ποσό από τις άλλες δύο γέφυρες εκ των οποίων η μία έχει σχεδόν διπλάσιο καλωδιωτό μήκος. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς ότι ο σκοπός που εξυπηρετεί δεν είναι μόνο ο πληθυσμός του νησιού Ράσκι που είναι επακόλουθο, αλλά το κύρος που

θέλει να επιβληθεί από τους φορείς της ένωσης των Ασιατικών χωρών του Ειρηνικού που διεξήγαγαν στο νησί Ράσκι την επίσημη συγκέντρωση κορυφής.

Εξετάζοντας τους κατασκευαστικούς και σχεδιαστικούς παράγοντες που οδήγησαν στο τόσο υψηλό κόστος της γέφυρας παρατηρούμε τα εξής :

- Προβλήτες σύνθετες και δαπανηρές
- Μεγάλο κεντρικό άνοιγμα
- Μεταλλικό κατάστρωμα
- Ειδικής παραγγελίας καλώδια

Αν αντιπαραθέσουμε το κάθε ένα ξεχωριστά με τα χαρακτηριστικά των άλλων δύο γεφυρών καταλήγουμε στα

εξής :

Οι προβλήτες ή κάτι αντίστοιχα σύνθετο δεν υπάρχει στη γέφυρα Τατάρα στην οποία έχουμε ιδανικές συνθήκες υπεδάφους και έδρασης των πυλώνων παρόλα αυτά υπάρχει στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου και είναι οι τέσσερις πυλώνες της με την εκπληκτική υποδομή που έχει στηθεί για κάθε βάση. Η διαφορά είναι στα βάθη εκσκαφής που στη γέφυρα Ράσκι φτάνουν τα 77 m ενώ στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου περιορίζεται σε σταθερά βάθη της τάξεως των 22-27 m. Βέβαια στη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου έχουμε 150-200 πασσαλοεμπήξεις για κάθε βάση δηλαδή 600-800 ενώ στη γέφυρα Ράσκι έχουμε μόλις 240. Αναλογιζόμενοι και ότι οι εργασίες στη Ρίου-Αντιρρίου έχουν γίνει σε μεγαλύτερα βάθη δύσκολα από μόνη της η κατασκευή των προβλητών να αυξάνει τόσο πολύ την τιμή.

Όσον αφορά το μεγάλο άνοιγμα παίζει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση του κόστους. Παρόλο που η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου έχει το μεγαλύτερο συνολικό άνοιγμα, η γέφυρα Ράσκι με παρόμοιες εργασίες έδρασης και συναφών κατασκευών υπερδιπλασιάζει το κόστος της και επιπλέον η γέφυρα Τατάρα με μηδαμινές αντίστοιχες εργασίες και μισό συνολικό μήκος από τις άλλες δύο φτάνει σε κόστος την Ρίου-Αντιρρίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το πολύ μεγάλο κεντρικό άνοιγμα που έχουν η Ράσκι και η Τατάρα προϋποθέτει τη χρήση πολύ ακριβότερων υλικών για την κατασκευή του καταστρώματος, περισσότερη χρήση χάλυβα-πιο ακριβή κατασκευή.

Και συνεπώς ερχόμαστε στην ουσία της αυξημένης τιμής που είναι η κατασκευή του καταστρώματος. Το μεγάλο αιωρούμενο άνοιγμα ανάμεσα στους πυλώνες δημιουργεί την ανάγκη ελαφρύτερου καταστρώματος και καλύτερης καλωδίωσης, τα οποία και τα δύο απαιτούν περισσότερο και καλύτερης ποιότητας χάλυβα. Παρατηρούμε ότι στη γέφυρα Ράσκι που έχει το μεγαλύτερο άνοιγμα από τις τρεις αλλά και από όλες τις καλωδιωτές γέφυρες στον κόσμο επιλέγεται εξ' ολοκλήρου χαλύβδινο κατάστρωμα παρόλο που η περιοχή έχει πολύ δυνατούς ανέμους και το ελαφρύ κατάστρωμα αντιδρά κακώς με τον αέρα, ένας λόγος που στη γέφυρα Τατάρα έχουμε σύμμικτο κατάστρωμα. Παρόλα το συνδυάζουν με ειδικής παραγγελίας καλώδια για να είναι λεπτότερα και να αποφορτίζουν τη γέφυρα από δυνάμεις προερχόμενες από αέρα σε εκπληκτικό βαθμό.

Συγκρίνοντας τα καλωδιωτά μήκη των γεφυρών με τις αντίστοιχες τιμές τους βλέπουμε ότι η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου με το μεγαλύτερο μήκος και τα πολυσύνθετα θεμέλια έχει την ίδια τιμή με την Τατάρα που έχει το μικρότερο μήκος ανύπαρκτες εργασίες θεμελίων, αλλά έχει μεγαλύτερο άνοιγμα καλύτερα υλικά και πολύ προσεγμένη εμφάνιση. Τελικά η γέφυρα Ράσκι με το υπερβολικό κεντρικό της άνοιγμα και τα άριστα υλικά της υπερβαίνει κατά πολύ τις άλλες δύο αποδεικνύοντας ότι τελικά το ακριβότερο κομμάτι στην κατασκευή μίας γέφυρας δεν είναι ούτε οι πρωτοπόρες ιδέες ούτε η ποσότητα της κατασκευής αλλά η ποιότητα των υλικών και

η μη τυποποιημένη παραγωγή σε συνδυασμό με τον πολύ ακριβό μηχανικό εξοπλισμό που απαιτείται.

Τέλος παρατηρούμαι ότι ο χρόνος κατασκευής και των τριών γεφυρών είναι πάνω-κάτω τα 4 χρόνια πράγμα που δείχνει ότι η τεχνογνωσία και η κατασκευή των καλωδιωτών γεφυρών είναι αρκετά τυποποιημένη και τυχόν απρόσμενες καθυστερήσεις προξενούν μικρές καθυστερήσεις στα έργα. Οι επιμέρους εργασίες μικρή σημασία παίζουν μπροστά στο ογκώδη και δυσκίνητο εξοπλισμό που απαιτείται για την κατασκευή μιας γέφυρας.

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- Εγκυκλοπέδια παπυρος Larousse Britannica
- A critical analysis of Tatara bridge–Antony Wilson-University of bath
- Erection of Tatara bridge-engineering review
- Design of Tatara bridge-engineering review
- Comparison between three types of cable stayed bridges using structural optimization-thesis-Olfat Sarhang Zadeh-Faculty of Engineering Department of Civil and Enviromental Engineering
- Construction of the bridge crossing to Russky Island over the eastern Bosphorus strait in Vladivostock
- The Rion-Antirion bridge-When a dream becomes reality-Jacques Combault
- Fritz leonhardt-ολόσωμες γέφυρες-6η έκδοση



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
(Τ.Ε.Ι.) ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Μεγ. Αλεξάνδρου 1
Κουκούλι Πάτρας
263 34 Π Α Τ Ρ Α

Πληροφορίες: Α. Αταμέγκου

Τηλέφωνο: 2610 – 369.056/58
FAX: 2610 – 369.085
e-mail: library@teipat.gr

Βαθμός Ασφαλείας

Πάτρα
Αριθ. Πρωτ. Βαθμός Προτεραιότητας



ΠΡΟΣ: Τη Γραμματεία του Τμήματος
Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.



ΒΕΒΑΙΩΣΗ

Βεβαιώνεται ότι ο/η σπουδαστής/τρια
του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, με αριθμό μητρώου
παρέδωσε στη βιβλιοθήκη του ΤΕΙ Πατρών, την πτυχιακή του με τίτλο:

.....
.....
.....
.....

1. Σε έντυπη μορφή

2. Σε ηλεκτρονική μορφή

Η Αν. Προϊσταμένη του
Τμήματος Εκδόσεων και Βιβλιοθήκης

Αναστασία Αταμέγκου
Βιβλιοθηκονόμος

