



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ



Διπλωματική Εργασία: ΜΙΧΑΛΗΣ ΓΕΩΡΓΟΥΣΗΣ (ΑΜ 6418)

Επιβλέπων Καθηγητής: ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ, Αναπλ. Καθηγ.

ΑΘΗΝΑ
21/10/2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **Γεωργούσης Μιχαήλ**

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

Τριαντάφυλλος - Φίλης Κόκκινος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Επιβλέπων

Νικόλαος Πνευματικός
Καθηγητής
Μέλος

Σταυρούλα Δενεζάκη
Λέκτορας
Μέλος

Νοέμβριος 2022, ΑΙΓΑΛΕΩ

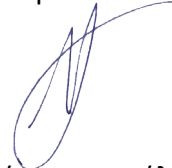
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γεωργούσης Μιχαήλ** του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 6418, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνει υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο *ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ* και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Γεωργούσης Μιχαήλ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
Περίληψη	9
ABSTRACT.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
<i>Ιστορία και τύποι της γέφυρας</i>	<i>11</i>
Κεφάλαιο 1:.....	14
Γέφυρα AKASHI KAIKYO	14
1.1 Εισαγωγή.....	14
1.2 Λόγοι κατασκευής της γέφυρας	15
1.3 Αρχιτεκτονική.....	15
1.4 Δυσκολίες που εμφανίστηκαν πριν την κατασκευή.....	17
1.5 Σχέδιο	17
1.6 Κατασκευή.....	17
1.6.1 Κατασκευή θεμελίωσης των πύργων.....	17
1.6.2 η Κατασκευή των πύργων.....	19
1.6.3 η Τοποθέτηση των καλωδίων από χάλυβα στους πύργους	20
1.6.4 Η Τοποθέτηση του καταστρωματος.....	21
1.7 Παραλίγο καταστροφή.....	23
1.8 Νέες τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τη γέφυρα AKASHI KAIKYO...23	
Κεφάλαιο 2:.....	24

Γέφυρα Golden Gate.....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Αρχιτεκτονική.....	25
2.3 Κατασκευή.....	26
2.3.1 Κατασκευή θεμελίωσης.....	26
2.3.2 Κατασκευή πύργων.....	29
2.3.3 Τοποθέτηση καλωδίων.....	30
2.3.4 Τοποθέτηση καταστρώματος.....	32
2.4 Δυσκολίες.....	33
Κεφάλαιο 3:.....	34
Γέφυρα Lyrri.....	34
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Κατασκευή.....	35
3.2.1 Κατασκευή θεμελίωσης.....	35
3.2.2 Γέφυρες προσέγγισης.....	37
3.2.3 Πλάγια ανοίγματα.....	38
3.2.4 Κατασκευή του σκελετού του τόξου.....	39
3.2.5 Οι δοκοί του καταστρώματος.....	40
Κεφάλαιο 4:.....	42
Η γέφυρα στο λιμάνι του Σίδνεϊ.....	42
4.1 Εισαγωγή.....	42
4.2 Περιγραφή.....	43

4.3 Κατασκευή.....	44
4.3.1 Κατασκευή θεμελίωσης.....	44
4.3.2 Κατασκευή της αψίδας.....	45
4.3.3 Κατασκευή των πυλώνων.....	46
4.3.4 Κατασκευή του καταστρώματος.....	48
Κεφάλαιο 5:.....	49
Γέφυρα Russky.....	49
5.1 Εισαγωγή.....	49
5.2 Αρχιτεκτονική.....	50
5.3 Κατασκευή.....	51
5.3.1 Κατασκευή των γεφυρών προσέγγισης.....	51
5.3.2 Κατασκευή των βάθρων.....	52
5.3.3 Κατασκευή των τεχνιτών νησιών.....	53
5.3.4 Κατασκευή πασσάλων έδρασης για τα βάθρα.....	54
5.3.5 Κατασκευή των πεδίλων.....	55
5.3.6 Τα αναρριχόμενα πάνελα.....	55
5.3.7 Κατασκευή δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	56
5.3.8 Η χαλύβδινη δοκός.....	57
5.3.9 Η προ-συναρμολόγηση των πάνελ.....	58
5.3.10 Η ανύψωση των πάνελ.....	58
5.3.11 Το σύστημα καλωδίων.....	59
5.3.12 Το περίβλημα των καλωδίων.....	60

Κεφάλαιο 6:.....	61
Γέφυρα Millau.....	61
6.1 Εισαγωγή.....	61
6.2 Αρχιτεκτονική.....	62
6.3 Σχεδιασμός.....	62
6.4 Κατασκευή.....	63
6.4.1 Κατασκευή πυλώνων.....	64
6.4.2 Η δοκός.....	64
6.4.3 Η εκκίνηση της δοκού.....	65
6.4.4 Κατασκευή πύργων.....	67
6.4.5 Τα καλώδια της γέφυρας.....	68
Κεφάλαιο 7:.....	70
Γέφυρα Forth.....	70
7.1 Εισαγωγή.....	70
7.2 στοιχεία ενός θαύματος της βικτωριανής μηχανικής.....	71
7.3 Σχεδιασμός.....	71
7.3.1 Διαστάσεις γέφυρας.....	71
7.3.2 Η αρχή της μηχανικής.....	72
7.4 τα στάδια της Κατασκευής.....	73
7.4.1 Γέφυρες προσέγγισης.....	73
7.4.2 Προετοιμασίες.....	74
7.4.3 Μετακίνηση των υλικών.....	74

7.4.4 Κατασκευή κυκλικών βάθρων.....	75
7.4.5 Inchgarvie.....	76
7.4.6 North Queensferry & South Queensferry.....	76
7.4.7 Κατασκευή των αρθρωτών δικτυωμάτων	77
Κεφάλαιο 8:.....	79
Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου	79
8.1 Εισαγωγή	79
8.2. Κατασκευή	82
8.2.1 Κατασκευή θεμελίωσης.....	82
8.2.2 Κατασκευή βάθρων.....	82
8.2.3 Καλώδια ανάρτησης.....	83
8.2.4 Κατασκευή καταστρώματος.....	84
8.3. Μέθοδοι κατασκευής	87
8.4. Σύγκριση της γέφυρας με άλλες ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΓΝΩΣΤΕΣ.....	89
Κεφάλαιο 9:.....	90
Γέφυρα Great Belt.....	91
9.1 Εισαγωγή	91
9.2 Σχεδιασμός	92
9.3 Κατασκευή.....	93
9.3.1 Κατασκευή θεμελίωσης.....	93
9.3.1.1 Κατασκευή θεμελίωσης βάθρων αγκύρωσης.....	93
9.3.1.2 Κατασκευή θεμελίωσης πυλώνων	95

9.3.2 Κατασκευή πυλώνων.....	95
9.3.3 Κατασκευή βάθρων αγκύρωσης	96
9.3.4 Κατασκευή δοκού.....	97
9.3.5 Σύστημα καλωδίων.....	97
Κεφάλαιο 10:.....	99
Γέφυρα Bloukrans	99
10.1 Εισαγωγή.....	99
10.2 Βασικά μεγέθη της γέφυρας Bloukrans.....	100
10.3 Αισθητική.....	100
10.3.1 Ιστορικό.....	100
10.3.2 Η αισθητική της γέφυρας Bloukrans.....	101
10.4 Γεωλογία.....	102
10.5 Γεωτεχνικά Έργα και Θεμελίωση.....	103
10.6 Σεισμοί.....	103
10.7 Κατασκευή.....	104
10.7.1 Η κατασκευή της αψίδας.....	104
10.7.2 Η ανέγερση των στηλών.....	107
10.7.3 Η κατασκευή του καταστρώματος.....	107
10.8 η Φόρτιση της γεφυρας.....	109
10.8.1 Μόνιμα φορτία.....	109
10.8.2 Υπερτιθέμενα μόνιμα φορτία.....	110
10.8.3 Φόρτιση ΗΑ.....	110

10.8.4 Φόρτιση ΗΒ.....	110
10.8.5 Φορτίο του ανέμου.....	111
10.9 Θερμοκρασία.....	112
10.10 διάρκεια ζωής της γεφυρας.....	113
10.10.1 Απώλεια προέντασης.....	114
10.10.2 σκόπιμη / Τυχαία Καταρευση.....	114
10.10.3 Χημική επίθεση.....	114
10.10.4 Κλιματική αλλαγή.....	115
Βιβλιογραφία.....	117

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Φτάνοντας στο σημείο της ολοκλήρωσης της Διπλωματικής μου εργασίας, η οποία συνδέεται και με την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους μου προσέφεραν την πολύτιμη βοήθεια τους. Πρώτα, θα ήθελα να ξεκινήσω με τον σύμβουλο καθηγητή μου τον κ. Τριαντάφυλλο-Φίλη Κόκκινο, ο οποίος με υπομονή και θέληση με συμβούλευε εύστοχα κατά τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της εργασίας μου και με την πολύτιμη αυτή βοήθεια, συντόνισε μέχρι τέλους τη διπλωματική μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την οικογένεια μου, που με στήριξε ηθικά και υλικά και πίστεψε σε όλες τις αποφάσεις, που πήρα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός, η αρχιτεκτονική, ο τρόπος κατασκευής και ορισμένες δυσκολίες που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής δέκα γεφυρών, οι οποίες έχουν από τα μεγαλύτερα ανοίγματα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η συγκεκριμένη εργασία αποτελείται από δέκα κεφάλαια. Αρχικά στην εισαγωγή γίνεται μία γενική αναφορά στην ιστορία της γέφυρας καθώς και στους τύπους που διακρίνεται, ενώ στα επόμενα κεφάλαια αναλύονται σε κάθε ένα ξεχωριστά μία από τις δέκα γέφυρες. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη γέφυρα Akashi Kaikyo, στο δεύτερο στη γέφυρα Golden Gate, στο τρίτο στη γέφυρα Luru, στο τέταρτο στη γέφυρα που βρίσκεται στο λιμάνι του Σίδνεϋ, στο πέμπτο στη γέφυρα Russky, στο έκτο στη γέφυρα Millau, στο έβδομο στη γέφυρα Forth, στο όγδοο στη γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου, στο ένατο στη γέφυρα Great Belt και τέλος στο δέκατο στη γέφυρα Bloukrans.

ABSTRACT

The subject of this dissertation is the design, the architecture, the construction method and the difficulties that occurred in the construction process of ten bridges, which have spans among the largest in the world. The particular dissertation is composed of ten chapters. In the introduction, a general reference to the history of the bridge and to the types it is distinguished will be made. The author will then focus on analyzing each of the ten bridges. More specifically, the author will refer to: the Akashi Kaikyo bridge in the first chapter, the Golden Gate bridge in the second, the Lupu bridge in the third, the bridge located in Sydney port in the fourth, the Russky bridge in the fifth, the Millau bridge in the sixth, the Forth bridge In the seventh, the Rio Antirio bridge in the eighth, the Great Belt bridge in the ninth and, finally, to the Bloukrans bridge in the tenth chapter.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Στην ιστορία του ο άνθρωπος από αρχαιοτάτων χρόνων κατασκευάζει γέφυρες προκειμένου να διασχίσει εμπόδια που συναντά στον δρόμο του, όπως είναι ένα ποτάμι ή μια χαράδρα. Οι γέφυρες διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση ή τον τύπο του φορέα τους, σε οδικές, σιδηροδρομικές, πεζογέφυρες, πεζογέφυρες μαζί με δρόμο για ποδήλατα, υδατογέφυρες κ.λπ. .Ακόμα χωρίζονται και ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους δηλαδή, σε ξύλινες (οι αρχαιότερες γέφυρες), λίθινες (αψιδωτές ή τοξωτές), σχοινένιες, μεταλλικές, τσιμεντένιες ή και μικτές. Τέλος από τον τρόπο έδρασης τους, που είναι και ο σημαντικότερος διαχωρισμός, δηλαδή σε κινητές και σε σταθερές ή σταθερώς εδραζόμενες. Οι κινητές διακρίνονται επιμέρους σε αναρτώμενες, περιστροφικές και πτυσσόμενες. Στις κινητές γέφυρες υπάγονται και οι πλωτές. Οι σταθερές γέφυρες τις οποίες θα εξετάσουμε παρακάτω διακρίνονται επιμέρους:

Γέφυρα σε δοκούς: Η γέφυρα αυτή είναι το απλούστερο είδος γέφυρας. Στο παρελθόν, μπορεί να ήταν με τη μορφή ενός κορμού πάνω από ένα ρέμα, αλλά σήμερα μας είναι πιο οικία με μεγάλες χαλύβδινες δοκούς. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι γέφυρας σε δοκούς. Μια τέτοια γέφυρα πρέπει να είναι δύσκαμπτη. Πρέπει να αντιστέκεται στο στρίψιμο και στην κάμψη υπό την πίεση του φορτίου. Στην πιο βασική της μορφή, μια γέφυρα με δοκούς αποτελείται από μια οριζόντια δοκό που υποστηρίζεται σε κάθε άκρο από τα ακρόβαθρα με το βάρος της δοκού να τα σπρώχνει κατ'ευθείαν προς τα κάτω. Υπό την πίεση του φορτίου, η επάνω επιφάνεια της δοκού πιέζεται προς τα κάτω ή συμπιέζεται ενώ η κάτω άκρη τεντώνεται ή τοποθετείται υπό τάση. Αν φανταστούμε ότι υπάρχει μια φανταστική γραμμή που τρέχει κάτω από το κέντρο της δοκού, αυτή η γραμμή παραμένει στο αρχικό της μήκος ενώ το υλικό από πάνω συμπιέζεται και το υλικό από κάτω είναι τεντωμένο. Αυτή η γραμμή ονομάζεται ουδέτερος άξονας. Οι υπάρχουσες γέφυρες σε δοκούς, σχηματίζονται από δοκούς, κιβωτιοειδείς δοκούς, δικτυώματα ή δοκούς σχήματος I, που υποστηρίζονται σε ισχυρά βάθρα. Οι κιβωτιοειδείς δοκοί είναι τεντωμένοι και αποτελούνται από στοιχεία με σχήμα κιβωτίου τα οποία είναι κατάλληλα για να φέρουν τα φορτία της γέφυρας. Τα δικτυώματα αποτελούνται από ένα ή περισσότερα τριγωνικά στοιχεία συνδεδεμένα σε αρμούς ή κόμβους. Τέλος τα δοκάρια σχήματος I είναι τα πιο οικονομικά και απλά στην κατασκευή. Είναι απλά δοκάρια με διατομή σε σχήμα I ή σε σχήμα H. Τα οριζόντια κομμάτια της διατομής I είναι τα πέλματα και τα κατακόρυφα είναι ο ιστός της κατασκευής.

Δικτυωματική γέφυρα: Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της γέφυρας είναι μια κατασκευή η οποία είναι μια δομή συνδεδεμένων στοιχείων που σχηματίζουν τριγωνικές μονάδες. Το δικτύωμα χρησιμοποιείται επειδή είναι μια πολύ άκαμπτη κατασκευή και μεταφέρει το φορτίο από ένα σημείο σε μία πολύ

μεγαλύτερη περιοχή. Αυτές οι γέφυρες εμφανίστηκαν πολύ νωρίς στην ιστορία των σύγχρονων γεφυρών και είναι οικονομικές στην κατασκευή τους επειδή χρησιμοποιούν τα υλικά με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Από την πρώτη γέφυρα, οι μηχανικοί πειραματίστηκαν με διαφορετικές μορφές δικτύωματος προσπαθώντας να βρουν το καλύτερο σχήμα και εκείνο που θα τους ταιριάζει για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων. Εξαιτίας αυτού σήμερα έχουμε πολλές μορφές τέτοιων γεφυρών. Η γέφυρα αυτή μπορεί να έχει κατάστρωμα στην κορυφή, στη μέση ή στο κάτω μέρος της. Αν οι πλευρές του δικτύωματος εκτείνονται πάνω από το οδόστρωμα αλλά δεν είναι συνδεδεμένες, ονομάζεται δικτύωμα <<πρόνι>> ή κατά το ήμισυ δικτύωμα.

Κρεμαστή γέφυρα: Μια κρεμαστή γέφυρα είναι ένας τύπος γέφυρας στην οποία το κατάστρωμα είναι κρεμασμένο κάτω από τα καλώδια ανάρτησης σε κατακόρυφους πυλώνες. Τα πρώτα μοντέρνα παραδείγματα αυτού του τύπου γέφυρας χτίστηκαν στις αρχές του 19ου αιώνα. Απλές γέφυρες ανάρτησης, οι οποίες δεν διαθέτουν κάθετους πυλώνες, έχουν μεγάλη ιστορία σε πολλά ορεινά μέρη του κόσμου. Αυτός ο τύπος γέφυρας έχει αιωρούμενα καλώδια μεταξύ των πύργων, καθώς και κάθετα καλώδια ανάρτησης που φέρουν το βάρος του καταστρώματος από το οποίο διασχίζεται ο δρόμος της κυκλοφορίας. Αυτή η διάταξη επιτρέπει στο κατάστρωμα να είναι επίπεδο ή να καμπυλώνει προς τα πάνω για πρόσθετη αντοχή. Όπως και άλλοι τύποι γεφυρών ανάρτησης, αυτός ο τύπος συχνά κατασκευάζεται χωρίς σκαλωσιές. Τα καλώδια ανάρτησης πρέπει να αγκυρώνονται σε κάθε άκρο της γέφυρας, καθώς οποιοδήποτε φορτίο που εφαρμόζεται στη γέφυρα μετατρέπεται σε τάση που επιδρά σε αυτά τα κύρια καλώδια. Τα κύρια καλώδια συνεχίζουν πέρα από τους πυλώνες σε υποστηρίγματα στο επίπεδο του καταστρώματος και συνεχίζουν περαιτέρω τις συνδέσεις με αγκύρια στο έδαφος. Ο δρόμος υποστηρίζεται από κατακόρυφα καλώδια ή ράβδους ανάρτησης, που ονομάζονται κρεμάστρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι πύργοι μπορούν να εδράζονται σε ένα βράχο ή άκρη φαραγγιού όπου ο δρόμος μπορεί να προχωρήσει απευθείας στο κύριο άνοιγμα, διαφορετικά η γέφυρα θα έχει συνήθως δύο μικρότερα ανοίγματα, τα οποία είναι ανάμεσα στους κύριους πυλώνες του κεντρικού ανοίγματος και των ακρόβαθρων. Αυτά τα δευτερεύοντα ανοίγματα υποστηρίζονται πάλι με τα καλώδια ανάρτησης τα οποία αγκυρώνονται στους πυλώνες της γέφυρας.

Αψιδωτή γέφυρα: Είναι μια γέφυρα με ακρόβαθρα σε κάθε άκρη της και έχει σχήμα καμπύλης τόξου. Η γέφυρα αυτή λειτουργεί μεταφέροντας το βάρος της και των φορτίων της εν μέρει σε μια οριζόντια ώθηση που συγκρατείται από τα βάθρα σε κάθε πλευρά. Μια τέτοια οδογέφυρα μπορεί να κατασκευαστεί από μια σειρά από καμάρες, παρόλο που σήμερα χρησιμοποιούνται συνήθως άλλες πιο οικονομικές κατασκευές.

Τύποι αψιδωτής γέφυρας:

Αψιδωτή γέφυρα Corbel: Η γέφυρα αυτή είναι μια τοιχοποιία ή μια πέτρινη γέφυρα, όπου κάθε διαδοχικά υψηλότερη στρώση προβάλλει ελαφρώς περισσότερο από την προηγούμενη. Τα σκαλοπάτια της τοιχοποιίας μπορεί

να κοπούν για να κάνουν το τόξο να έχει στρογγυλεμένο σχήμα. Η καμάρα δεν παράγει ώθηση ή πίεση προς τα έξω στο κάτω μέρος της αψίδας και δεν θεωρείται αληθινή καμάρα. Είναι πιο σταθερή από μια αληθινή καμάρα γιατί δεν έχει αυτή την ώθηση. Το μειονέκτημα της είναι ότι αυτός ο τύπος τόξου δεν είναι κατάλληλος για μεγάλα ανοίγματα.

Υδροαγωγία και γέφυρες καναλιών: Σε ορισμένες περιοχές είναι απαραίτητο να συνδέσουμε ένα μεγάλο κενό σε σχετικά υψηλό υψόμετρο, όπως όταν ένα κανάλι ή μια παροχή νερού πρέπει να διασχίζει μια κοιλάδα. Αντί να κατασκευάσουμε εξαιρετικά μεγάλες καμάρες ή πολύ ψηλές στηρίξεις (δύσκολο με πέτρες), μια σειρά από τοξωτές κατασκευές είναι χτισμένες η μία επάνω στην άλλη, με φαρδύτερες κατασκευές στη βάση. Οι πολιτικοί μηχανικοί της Ρώμης ανέπτυξαν αυτήν την τεχνική και δημιούργησαν εξαιρετικά εξευγενισμένες κατασκευές χρησιμοποιώντας απλά υλικά, εξοπλισμό και μαθηματικά. Αυτός ο τύπος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε οδογέφυρες και οδοστρώματα καθώς έχει ένα ευχάριστο σχήμα, ιδιαίτερα όταν εκτείνεται σε νερό, καθώς οι αντανάκλασεις των καμαρών σχηματίζουν μια οπτική εντύπωση κύκλων ή ελλείψεων.

Γέφυρα με αψίδα καταστρώματος: Αυτός ο τύπος γέφυρας περιλαμβάνει ένα τόξο όπου το κατάστρωμα είναι εντελώς πάνω από την αψίδα. Η περιοχή μεταξύ της αψίδας και του καταστρώματος είναι γνωστή ως *sprandrel*. Εάν το *sprandrel* είναι στερεό, συνήθως σε μια τοιχοποιία ή πέτρινη αψίδα, η γέφυρα ονομάζεται κλειστή-*sprandrel* γέφυρα με αψίδα καταστρώματος. Αν το κατάστρωμα στηρίζεται από μια σειρά από κάθετες κολώνες που ανεβαίνουν από την αψίδα, η γέφυρα είναι γνωστή ως ανοικτή-*sprandrel* γέφυρα με αψίδα καταστρώματος.

Γέφυρα με το κατάστρωμα να περνά μέσα από την αψίδα: Αυτός ο τύπος γέφυρας έχει ένα τόξο του οποίου η βάση είναι στο κατάστρωμα ή κάτω από αυτό, αλλά το πάνω μέρος του υψώνεται πάνω στη βάση, έτσι ώστε το κατάστρωμα να περνά μέσα από την αψίδα. Το κεντρικό τμήμα του καταστρώματος υποστηρίζεται από το τόξο μέσω καλωδίων ανάρτησης ή ράβδων σύνδεσης. Τα άκρα της γέφυρας μπορούν να υποστηριχθούν από κάτω, όπως και με μια γέφυρα αψίδας καταστρώματος. Οποιοδήποτε τμήμα που υποστηρίζεται κάτω από το τόξο μπορεί να έχει κλειστά ή ανοιχτά *sprandrels*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΓΕΦΥΡΑ ΑΚΑΣΗ ΚΑΙΚΥΟ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η **ΑΚΑΣΗ ΚΑΙΚΥΟ** γέφυρα είναι αυτή με το μεγαλύτερο κεντρικό άνοιγμα συγκριτικά με κάθε κρεμαστή γέφυρα με άνοιγμα 1.991 μέτρων. Βρίσκεται στην Ιαπωνία και η ολοκλήρωσή της χρονολογείται το 1998. Μέσω της γέφυρας ενώνεται η πόλη Κόμπε στο ηπειρωτικό τμήμα του Χονσού με την Iwaya στο νησί Αβάτζι πάνω από τα στενά Ακάσι. Είναι μέρος της εθνικής οδού Χονσού-Σικόκου και έχει συνολικό μήκος τέσσερα χιλιόμετρα. Κατά τη στιγμή της ολοκλήρωσης, αυτή η γέφυρα πραγματοποίησε τρία παγκόσμια ρεκόρ:

- Η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα στον κόσμο με ύψος 280 μ.
- Η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα με κεντρικό άνοιγμα μήκους περίπου 2χλμ
- Το πιο ακριβό έργο γέφυρας στον κόσμο έχοντας κόστος 4,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων

Πριν χτιστεί η γέφυρα, οι άνθρωποι διέσχιζαν τα στενά Ακάσι με πλοία. Σε αυτή την επικίνδυνη «πλωτή οδός» συχνά γίνονται έντονες καταιγίδες και, το 1955, δύο πλοία βυθίστηκαν στα στενά, κατά τη διάρκεια μιας τρομερής καταιγίδας, σκοτώνοντας 168 ανθρώπους. Το επακόλουθο σοκ και η δημόσια κατακραυγή έπεισε την ιαπωνική κυβέρνηση να αναπτύξει σχέδια για μια κρεμαστή γέφυρα που θα διασχίζει το στενό. Το αρχικό πρόγραμμα προέβλεπε μια μικτή σιδηροδρομική και οδική γέφυρα, αλλά όταν άρχισε η κατασκευή της τον Απρίλιο του 1988, περιορίστηκε σε έξι λωρίδες δρόμου. Η κατασκευή της γέφυρας ξεκίνησε το Μάιο του 1988, και άνοιξε για το κοινό στις 5 Απριλίου 1998. Τα στενά Ακάσι πραγματοποιούνται διεθνή δρομολόγια ναυσιπλοΐας και αυτό καθιστά επιτακτική την κατασκευή μιας γέφυρας η οποία θα παρέχει ένα άνοιγμα πλάτους ενάμιση χιλιομέτρου για τα πλοία.



Εικόνα 1 Η γέφυρα AKASHI KAIKYO σήμερα

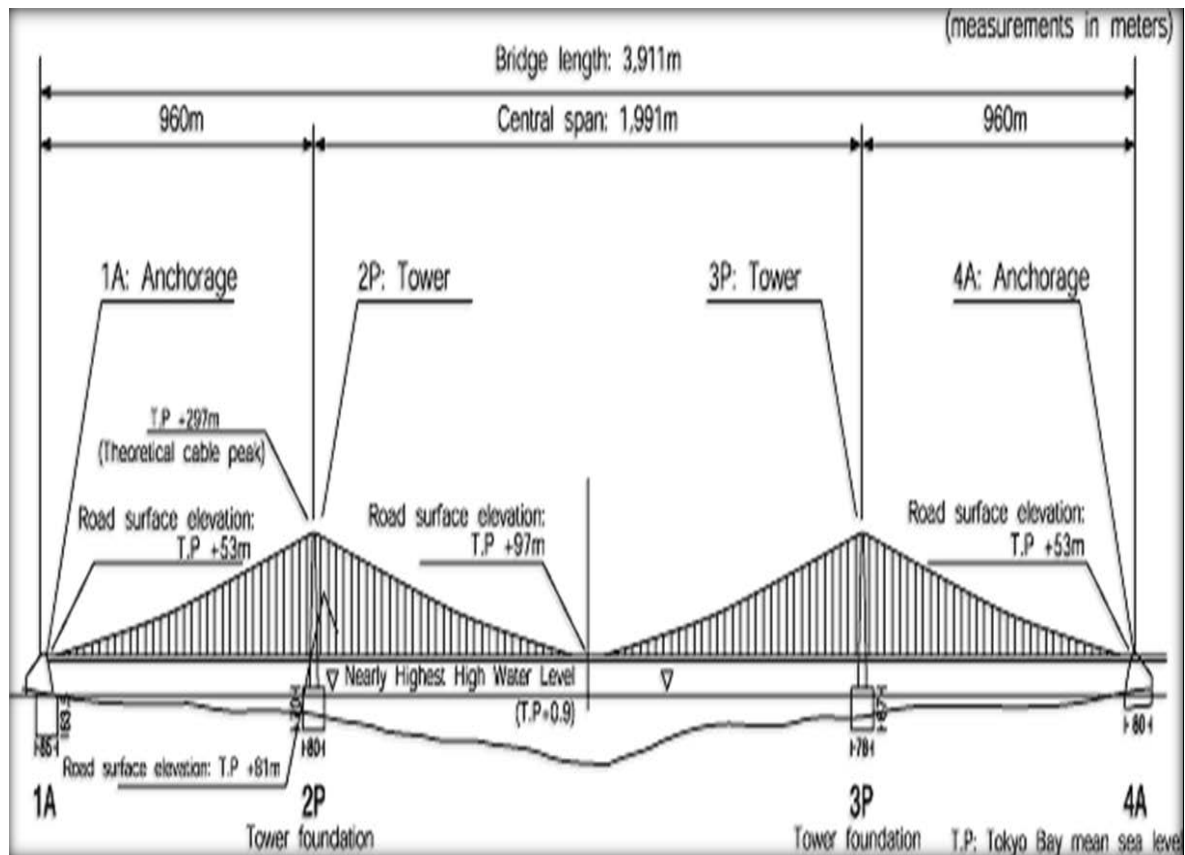
1.2 ΛΟΓΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

1. Στο πλαίσιο των σχεδίων εκσυγχρονισμού της Ιαπωνίας, τα διάφορα νησιά που αποτελούν την ιαπωνική επικράτεια έπρεπε να συνδεθούν, έτσι αυτή η γέφυρα θα εξυπηρετούσε αυτό το σκοπό.
2. Η μόνη σύνδεση μεταξύ Kobe και Awaji ήταν με πλοίο, αλλά το δυστύχημα του 1955 υποχρέωσε τους Ιάπωνες να σκεφτούν συντομότερα την κατασκευή της γέφυρας.
3. Η κατασκευή της γέφυρας θα ήταν ένα σύμβολο της ιαπωνικής ανθηρότητας, καθώς ήταν η πρώτη φορά που επιχειρήθηκε ένα τόσο μεγάλο έργο.

1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η γέφυρα έχει τρία ανοίγματα. Το κεντρικό άνοιγμα είναι 1.991 μέτρα και τα άλλα δύο τμήματα από 960 μ. το καθένα. Η γέφυρα έχει ολικό μήκος 3.911 μ. Το κεντρικό άνοιγμα αρχικά ήταν 1.990 μ. όμως ο μεγάλος σεισμός του Kobe στις 17 Ιανουαρίου 1995, μετακίνησε τους δύο πύργους (μόνο οι πύργοι είχαν

ανεγερθεί τότε), οπότε το άνοιγμα αυξήθηκε κατά 1 μ. Η γέφυρα έχει σχεδιαστεί με ένα ειδικό σύστημα δύο αρθρωτών δοκών, που της επιτρέπει να αντέχει ανέμους 286 χιλιομέτρων ανά ώρα, σεισμούς έντασης 8,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, και ισχυρά θαλάσσια ρεύματα. Η γέφυρα επίσης διαθέτει εκκρεμή τα οποία έχουν σχεδιαστεί να επιδρούν στην ιδιοσυχνότητα της γέφυρας ώστε να περιορίζουν την ένταση των ταλαντώσεων από τις δυνάμεις της θάλασσας. Οι δύο κύριοι πύργοι υποστήριξης έχουν ύψος 298 μ. πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, και η γέφυρα μπορεί να επεκταθεί λόγω των διαστολών έως και 2 μ. κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κάθε αγκύρωση απαιτεί 350.000 τόνους σκυροδέματος. Τα καλώδια από χάλυβα αποτελούνται από 300.000 χιλιόμετρα σύρματος. Κάθε καλώδιο έχει διάμετρο 112 εκατοστά και περιέχει 36.830 επιμέρους καλώδια. Η Γέφυρα AKASHI KAIKYO διαθέτει συνολικά 1.737 λάμπες φωτισμού: 1.084 για τα κύρια καλώδια, 116 για τους κύριους πύργους, 405 για τις δοκούς και 132 για τις αγκυρώσεις.



Εικόνα 2 Οι διαστάσεις της γέφυρας

1.4 ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΤΗΚΑΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

- 1 Η τοποθεσία όπου πρόκειται να κατασκευαστεί η γέφυρα AKASHI KAIKYO βρίσκεται σε μια έντονα σεισμογενή περιοχή.
- 2 Στο στενό AKASHI επικρατούν ρεύματα ταχύτητας 40 χλμ. / Ώρα, έχει βάθος 100 μ και είναι τόπος δημιουργίας τυφώνων που παράγουν άνεμους ταχύτητας 280 χλμ. / Ώρα.
- 3 Το εγχείρημα της κατασκευής μιας γέφυρας με μήκος σχεδόν 4 χιλιόμετρα, μια απόσταση που δεν είχε επιχειρηθεί ποτέ έως τότε.

1.5 ΣΧΕΔΙΟ

Η λειτουργία αυτής της γέφυρας ήταν να στηρίξει το φορτίο κυκλοφορίας από τον αυτοκινητόδρομο 6 λωρίδων, όμως πριν από αυτό η γέφυρα έπρεπε να στηρίξει το ίδιο της το βάρος. Το φορτίο που φέρει η γέφυρα διανεμήθηκε ως εξής: το 91% του φορτίου είναι το ίδιο το βάρος της γέφυρας, ενώ μόνο το 9% του συνολικού φορτίου αφορούσε το φορτίο της κυκλοφορίας του δρόμου. Η βασική ιδέα ήταν η ανέγερση δύο πύργων υποστήριξης, όπου θα διέρχονται από αυτούς χαλύβδινα καλώδια.

1.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 4 στάδια:

Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης των πύργων

Στάδιο 2: Η κατασκευή των πύργων.

Στάδιο 3: Η τοποθέτηση των καλωδίων από χάλυβα στους πύργους.

Στάδιο 4: Η τοποθέτηση του καταστρώματος

1.6.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΥΡΓΩΝ

Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στην κατασκευή της γέφυρας, ήταν η ανέγερση των πύργων στην κοίτη του στενού Akashi. Λόγω του τεράστιου βάθους των 110 μέτρων και της παρουσίας ταχέων θαλάσσιων ρευμάτων, η συνήθης μέθοδος δημιουργίας θεμελίωσης με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων κυλινδρικών κομματιών σκυροδέματος το ένα πάνω στο άλλο εγκαταλείφθηκε. Έτσι δημιουργήθηκε μια νέα λύση. Δύο τεράστια καλούπια από χάλυβα χτίστηκαν στην στεριά και στη συνέχεια ρυμουλκήθηκαν και βυθίστηκαν στην ακριβή τοποθεσία του κάθε πύργου. Τα καλούπια από χάλυβα είχαν 70 μέτρα ύψος, 80 μέτρα πλάτος και ζύγιζαν περίπου 15.000 τόνους. Τα καλούπια βυθίστηκαν γεμίζοντας τα με θαλασσινό

νερό, όμως το επόμενο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν η πλήρωση του καλουπιού με σκυρόδεμα, καθώς θαλασσινό νερό και το σκυρόδεμα δεν μπορούσε μέχρι τότε να πήξει μέσα σε αυτό. Τότε οι Ιάπωνες μηχανικοί δημιούργησαν ένα νέο τύπο σκυροδέματος το οποίο ήταν ικανό να σκληρύνει μέσα στο θαλασσινό νερό.



Εικόνα 3 Η μεταφορά του χαλύβδινου καλουπιού



Εικόνα 4 Χύτευση σκυροδέματος στα καλούπια σε μακέτα

1.6.2 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΡΓΩΝ

Οι πύργοι έπρεπε να αντέχουν όχι μόνο το ίδιο βάρος τους, αλλά και το φορτίο που οφείλεται στους σεισμούς. Έτσι αποφασίστηκε να κατασκευαστούν οι πύργοι από χάλυβα, οι οποίοι χτίστηκαν κομμάτι-κομμάτι με σύνολο τα 90 κομμάτια που αποτελούσαν τον κάθε πύργο. Έτσι ολοκληρώθηκε το δεύτερο στάδιο της κατασκευής. Για να ελεγχθεί το σεισμικό φορτίο, οι μηχανικοί έβαλαν μία ντουζίνα εργατών στην κορυφή του κάθε πύργου και τους είπαν να κουνηθούν.



Εικόνα 5 Η κατασκευή των πύργων

1.6.3 Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟΥΣ ΠΥΡΓΟΥΣ

Το επόμενο στάδιο ήταν η στερέωση των καλωδίων στον πύργο, όπου 37.000 κλώνοι σύρματος ήταν συνδεδεμένοι και αποτελούσαν ένα καλώδιο. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε χαλύβδινο σύρμα υψηλής αντοχής. Το καλώδιο ανυψώθηκε με ελικόπτερο από το Kobe, πέρασε μέσα από τις κορυφές του πρώτου και του δεύτερου πύργου και αγκυρώθηκε στο άκρο του Awaji. Το επόμενο στάδιο αφορούσε την κατασκευή και την τοποθέτηση του οδοστρώματος με τις έξι λωρίδες. Το κατάστρωμα έπρεπε να είναι ισχυρό για να υποστηρίξει την κίνηση αλλά και το ίδιο του το βάρος, καθώς επίσης να είναι και λεπτό για να επιτρέπει στον άνεμο να περνά από μέσα του. Το κατάστρωμα ήταν κατασκευασμένο από μία χαλύβδινη δοκό με τριγωνικό σχήμα μαζί έναν κατακόρυφο σταθεροποιητή σε όλο το μήκος της γέφυρας για επιπλέον αντοχή. Όταν ο άνεμος φυσάει, ο κατακόρυφος σταθεροποιητής ισορροπεί την πίεση κάτω από το οδόστρωμα και μειώνει τους κραδασμούς που κατέστρεψαν την Tacoma.



Εικόνα 6 Η διατομή του καλωδίου με τους 37.000 κλώνους



Εικόνα 7 Η τοποθέτηση του καλωδίου

1.6.4 Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η τελική φάση ήταν η τοποθέτηση του καταστρώματος, αλλά ο σεισμός στο Κόμπε προκάλεσε μια αλλαγή στο σχέδιο. Ως αποτέλεσμα του σεισμού οι πύργοι είχαν μετακινηθεί πλάγια κατά ένα μέτρο. Αυτό τέντωσε το μήκος της γέφυρας κατά ένα μέτρο. Προκειμένου να αυξηθεί το μήκος της γέφυρας, οι μηχανικοί αποφάσισαν να χωρίσουν τα καλώδια αγκύρωσης. Τα τεράστια τμήματα του οδοστρώματος από χάλυβα βάρους 100 τόνων κουβαλήθηκαν και συναρμολογήθηκαν με πλωτούς γερανούς.



Εικόνα 8,9 Κατασκευή καταστρώματος γέφυρας: Μεταφορά προκατασκευασμένων σπονδύλων

1.7 ΠΑΡΑΛΙΓΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ

Όταν ο σεισμός έπληξε το Κόμπε, το επίκεντρο ήταν μόλις 4 χλμ. από τη γέφυρα και το ότι η γέφυρα δεν υπέστη σοβαρές ζημιές οφείλεται εν μέρει στην τύχη αλλά και στην μελέτη των μηχανικών.

Δεδομένου ότι ο δρόμος δεν είχε κατασκευαστεί μέχρι τότε, η κατασκευή δεν μπορούσε να υποστεί μεγάλες ζημιές που θα προέκυπταν από την πιθανή κατάρρευση της γέφυρας.

Δεδομένου ότι ο πύργος είχε κατασκευαστεί από χάλυβα, ήταν εύκαμπτος σε περίπτωση σεισμού. Επίσης, υπήρχαν 20 απορροφητές κραδασμών σε κάθε πύργο οι οποίοι βοήθησαν να διατηρηθεί ο πύργος στη θέση του μετά τον σεισμό.

Μετά τον σεισμό, μία λεπτομερής τοπογραφική έρευνα έδειξε ότι ο πύργος στην πλευρά του Awaji είχε μετατοπιστεί κατά ένα μέτρο λόγω του σεισμού. Αυτό έδειξε ότι οι ζημιές του σεισμού θα μπορούσαν να είναι πιο καταστροφικές για την γέφυρα.

1.8 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΑΚΑΣΗ ΚΑΙΚΥΟ

Οι Ιάπωνες μηχανικοί έδειξαν τις πραγματικές τους δυνατότητες όταν αντιμετώπισαν τα εμπόδια που συνάντησαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Λίγες από τις καινοτομίες που αναπτύχθηκαν ήταν:

- 1 Όταν, λόγω της βίαιης φύσης της θάλασσας, δεν ήταν δυνατή η συνήθης μέθοδος κατασκευής θεμελίων γέφυρας με τοποθέτηση κυλίνδρων σκυροδέματος το ένα πάνω στο άλλο και οι μηχανικοί εισήγαγαν μια νέα ιδέα χύτευσης των θεμελίων σε χαλύβδινα καλούπια τα οποία βυθίζονταν στην θέση ακριβή θέση.
- 2 Το super-μπετόν το οποίο αναπτύχθηκε ώστε να μπορεί να σκληραίνει με θαλασσινό νερό, δεδομένου ότι τα καλούπια της θεμελίωσης είχαν γεμίσει με αυτό, αυτός ο νέος τύπος σκυροδέματος ήταν απαραίτητος.
- 3 Αναπτύχθηκε ένα νέο καλώδιο υψηλής αντοχής χάλυβα αλλάζοντας τις αναλογίες του κράματος. Αυτό το καλώδιο υψηλής αντοχής ήταν τόσο ισχυρό ώστε ένα καλώδιο πάχους μόλις 5mm μπορούσε να μεταφέρει 3 οικογενειακά αυτοκίνητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΓΕΦΥΡΑ GOLDEN GATE

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τον Αύγουστο του 1919, αξιωματούχοι της πόλης ζήτησαν επισήμως από τον O'Shaughnessy να διερευνήσει τη δυνατότητα κατασκευής γέφυρας που διασχίζει το στενό. Ο O'Shaughnessy άρχισε να συζητά με μηχανικούς από όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες σχετικά με τη σκοπιμότητα και το κόστος της οικοδόμησης μιας γέφυρας. Οι περισσότεροι εικάζουν ότι μια τέτοιας γέφυρα θα κοστίσει πάνω από 100 εκατομμύρια δολάρια και ότι δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί. Τότε ο Joseph Baermann Strauss εμφανίστηκε και είπε ότι μια γέφυρα σαν αυτή δεν ήταν μόνο εφικτή, αλλά θα μπορούσε να κατασκευαστεί για 25 έως 30 εκατομμύρια δολάρια. Στις 28 Ιουνίου του 1921, ο Strauss υπέβαλε τα προκαταρκτικά σχέδια του στον O'Shaughnessy και τον Edward Rainey, γραμματέα του Δημάρχου του Σαν Φρανσίσκο, του αξιότιμου James Rolph. Η εκτίμηση του κόστους από τον αρχικό σχεδιασμό του έργου ήταν 17 εκατομμύρια δολάρια.



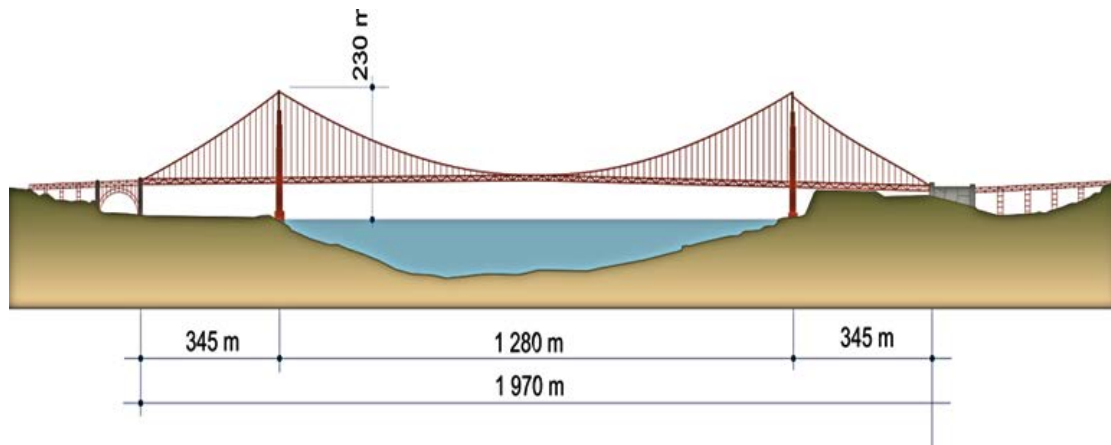
Εικόνα 10 Η γέφυρα σήμερα

Ο O'Shaughnessy χρειάστηκε ενάμιση χρόνο για να βγάλει τα σχέδια στη δημοσιότητα και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο Strauss προώθησε την ιδέα της γέφυρας, χρησιμοποιώντας το αρχικό της σχέδιο, σε κοινότητες σε όλη τη βόρεια Καλιφόρνια. Ο Strauss αφιέρωσε τον εαυτό του να πείσει τους πολιτικούς ηγέτες ότι το έργο δεν ήταν μόνο εφικτό, αλλά θα μπορούσε να πληρωθεί μόνο με τα έσοδα από τα διόδια. Οι ενέργειές του αποδυνα-

μώθηκαν, καθώς μόλις τα σχέδια του έγιναν γνωστά από τον O'Shaughnessy τον Δεκέμβριο του 1922, οι πολίτες εξέφρασαν μικρή αντίθεση, καθώς και ο τοπικός τύπος που το χαρακτήρισε "άσχημο". Ο Strauss ήταν σταθερός και οργάνωσε πολιτικές, οικονομικές και διαφημιστικές προσπάθειες για την κατασκευή της Γέφυρας. Η ώρα για την κατασκευή είχε έρθει καθώς αυξάνονταν ο πληθυσμός και η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις αποβάθρες των πορθμείων καθίσταται απαράδεκτη. Μέχρι το 1929, τα ταξίδια με οχηματαγωγά είχαν εξαντληθεί, με τη ζήτηση να υπερβαίνει τη διαθέσιμη χωρητικότητα, όμως το πρόβλημα ήταν ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα ομοσπονδιακά ή κρατικά κονδύλια για την κατασκευή μιας γέφυρας επειδή η κατασκευή της γέφυρας του κόλπου του Σαν Φρανσίσκο-Όκλαντ είχε ήδη λάβει όλα τα περιορισμένα διαθέσιμα ομοσπονδιακά κεφάλαια. Από την αρχή, ο Strauss και οι συνεργάτες του αντιμετώπισαν πολυάριθμες προκλήσεις, όπως η αντιπολίτευση από σκεπτικιστές αξιωματούχους της πόλης (που ανησυχούσαν για το κόστος), περιβαλλοντολόγους και πορθμεία (που ανησυχούσαν ότι η γέφυρα θα επηρέαζε την επιχείρησή τους). Κάποια μέλη της τεχνικής κοινότητας δήλωσαν ότι ήταν τεχνικά αδύνατο να χτίσουν τη γέφυρα και δεν ήταν εύκολο να συγκεντρωθούν κονδύλια για το έργο στην αρχή της Μεγάλης Ύφεσης. Παρ' όλ' αυτά μόλις ξεκίνησε η κατασκευή της, οι εργαζόμενοι έπρεπε να αντιμετωπίσουν τα ισχυρά ρεύματα των ωκεανών, τους ισχυρούς ανέμους και την ομίχλη στο Στενό της Golden Gate. Έντεκα εργάτες έχασαν τη ζωή τους κατά τη διάρκεια της κατασκευής της γέφυρας, δέκα από αυτούς σε μία ημέρα, στις 17 Φεβρουαρίου του 1937, όταν η σκαλωσιά τους έπεσε μέσα από ένα δίκτυ ασφαλείας με αποτέλεσμα το δίκτυ να κοπεί και να βρουν τραγικό θάνατο.

2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το συνολικό μήκος της γέφυρας, συμπεριλαμβανομένων των προσεγγίσεων από ακρόβαθρο σε ακρόβαθρο, είναι 1,7 μίλια (2,737 μ.). Το συνολικό μήκος της γέφυρας, συμπεριλαμβανομένων των προσεγγίσεων από ακρόβαθρο σε ακρόβαθρο, καθώς και η απόσταση από τα διόδια, είναι 2.788 μ. Το μήκος του ανοίγματος, συμπεριλαμβανομένου του κύριου ανοίγματος μαζί με τα πλευρικά ανοίγματα 1,970 μ. Το μήκος του κύριου τμήματος της κρεμαστής δομής (απόσταση μεταξύ των πύργων) είναι 1.280 μ. Το μήκος ενός πλάγιου πλευρικού ανοίγματος είναι 345 μ. Το πλάτος της Γέφυρας είναι 27 μ. Το πλάτος του οδοστρώματος μεταξύ των πεζοδρομίων είναι 21 μ. Το πλάτος του πεζοδρομίου είναι 3 μ.



Εικόνα 11 Οι διαστάσεις της γέφυρας

2.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 4 στάδια:

Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης

Στάδιο 2: Κατασκευή πύργων

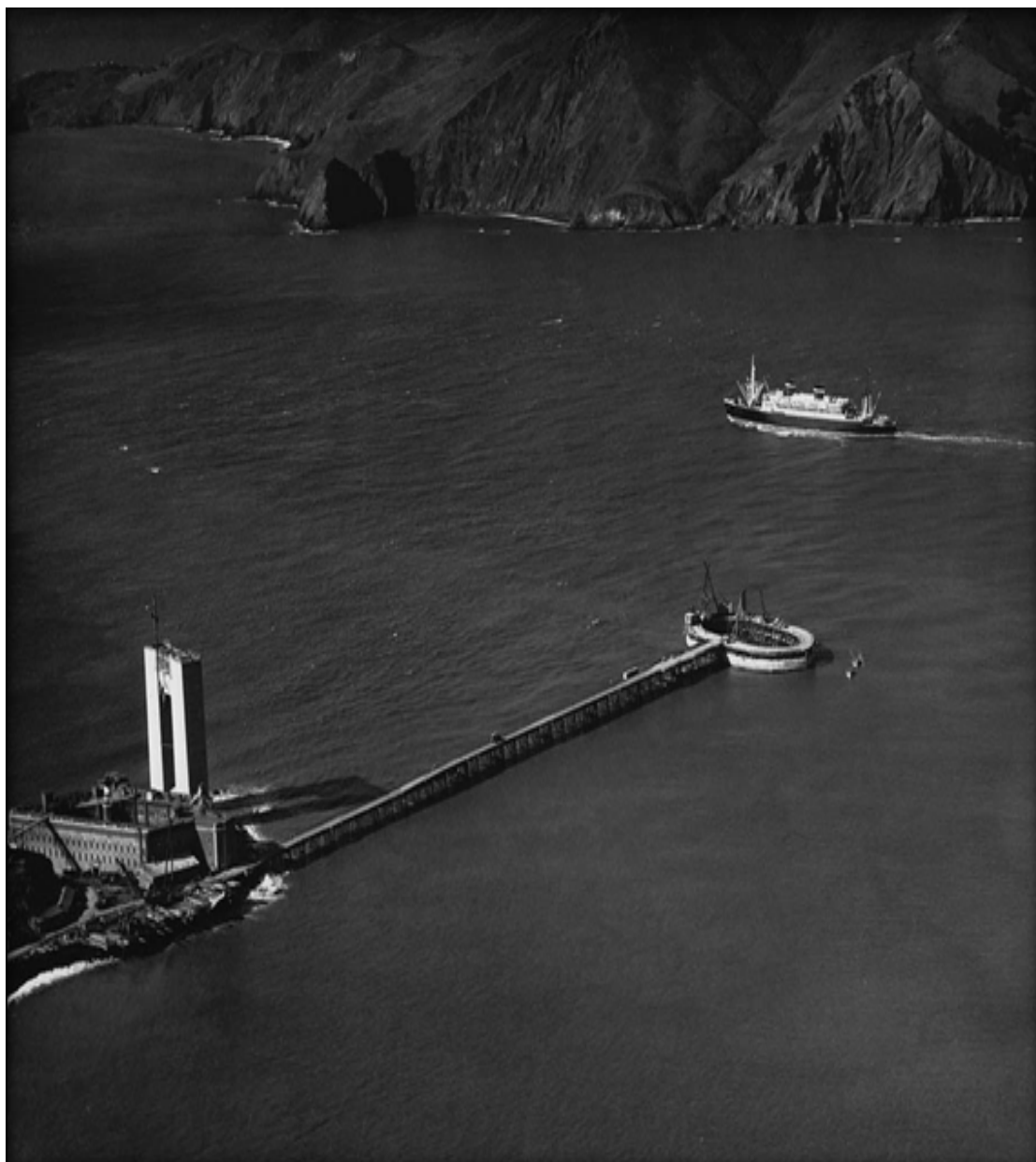
Στάδιο 3: Τοποθέτηση καλωδίων

Στάδιο 4: Τοποθέτηση καταστρώματος

2.3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Για να φτάσουν στο χώρο της θεμελίωσης του νότιου πύργου, οι εργάτες κατασκεύασαν μια ξύλινη προβλήτα από την ακτή του Σαν Φρανσίσκο. Οι κίνδυνοι όμως της εκτεθειμένης θέσης της έγιναν σύντομα εμφανείς το 1933, όταν ένα φορτηγό πλοίο συγκρούστηκε με την προβλήτα. Δύο μήνες αργότερα, πάνω από το ήμισυ της επισκευασμένης προβλήτας καταστράφηκε σε μια καταιγίδα. Αυτό όμως δεν πτόησε τους μηχανικούς και τους εργαζόμενους καθώς αποκατέστησαν την κατασκευή και συνέχισαν κανονικά τη δουλειά τους. Τα σχέδια των θεμελίων απαιτούσαν ένα τεράστιο οβάλ φράγμα σκυροδέματος, για την προστασία της βάσης του νότιου πύργου από τυχόν συγκρούσεις πλοίων κατά την ομίχλη. Για να χτίσουν το φράγμα, οι εργάτες χρησιμοποίησαν σωλήνες για να βάλουν το σκυρόδεμα κάτω από την επιφάνεια του νερού μέσα στα ξύλινα καλούπια, τα οποία είχαν τοποθετήσει πιο πριν. Όταν το φράγμα ανέβηκε πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και ήταν ορατό, οι εργάτες το ονόμασαν «γιγαντιαία μπανιέρα». Για τη θεμελίωση του βάρου, όπου θα κατασκευαζόταν ο πύργος, οι εργάτες έκαναν υποβρύχια έγχυση σκυροδέματος για να γεμίσουν το κάτω μέρος του φράγματος. Τέλος με την άντληση των υπόλοιπων 35,6 εκατομμυρίων λίτρων θαλασσινού νερού, οι εργάτες ολοκλήρωσαν την τοποθέτηση του οπλισμού και την έγχυση του σκυροδέματος στο εσωτερικό της "μπανιέρας". Μόλις ολοκληρώθηκε η συγκεκριμένη εργασία, η ανέγερση για τον νότιο πύργο

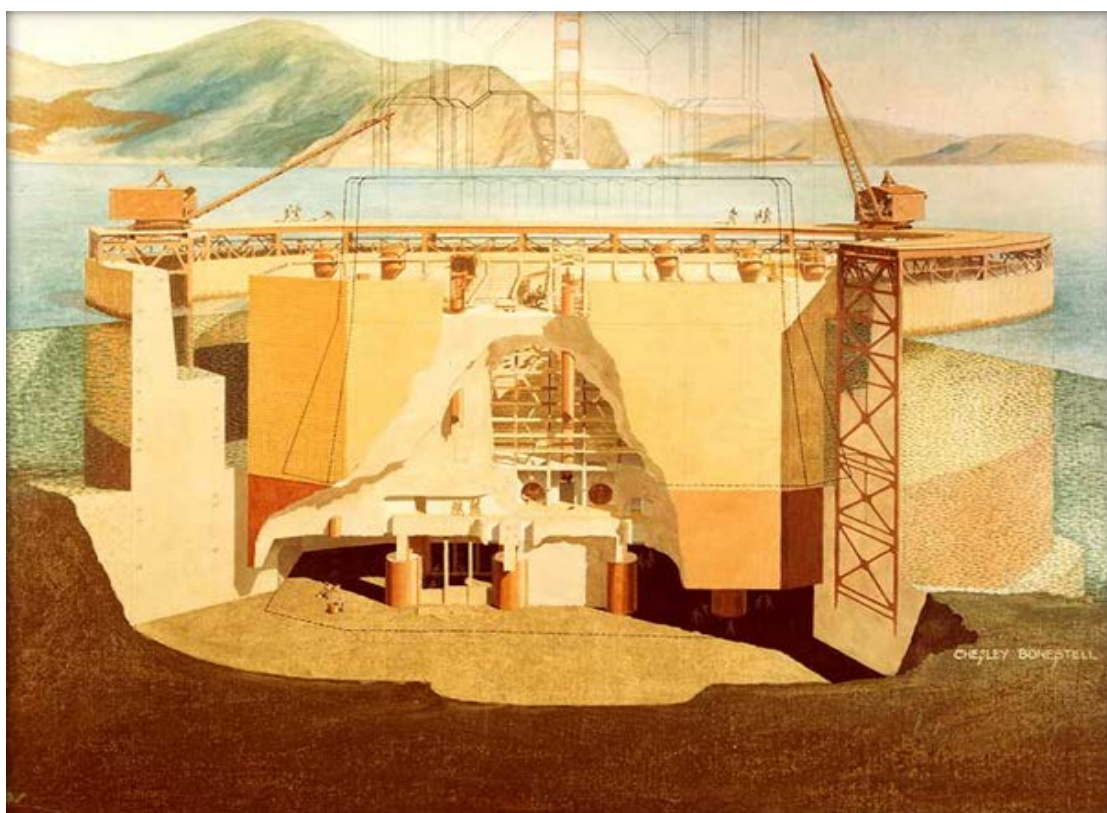
ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 1935 και ολοκληρώθηκε σε μόλις έξι μήνες.



Εικόνα 12 Η ξύλινη προβλήτα και το βάθρο



Εικόνα 13 Το εσωτερικό της “μπανιέρας”



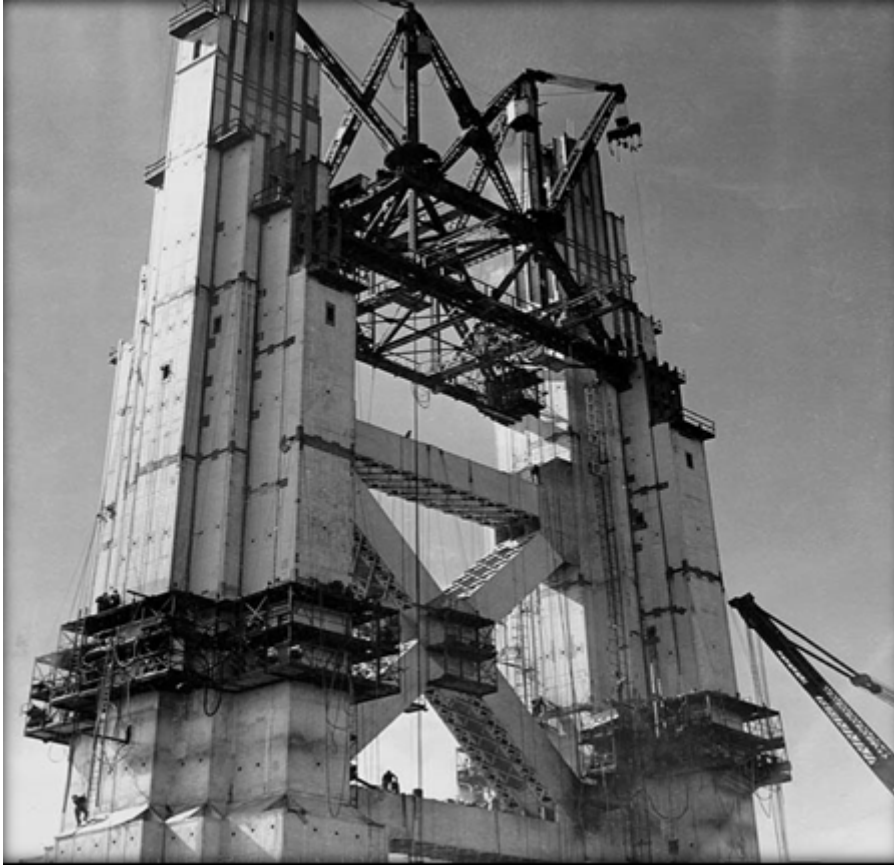
Εικόνα 14 Η τομή του βάθρου

2.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΥΡΓΩΝ

Η γέφυρα Golden Gate έχει δύο κύριους πύργους που υποστηρίζουν τα δύο κύρια καλώδια. Το ύψος του κάθε πύργου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας είναι 227 μ, ενώ το ύψος των πύργων πάνω από το οδόστρωμα είναι 152 μ. Οι διαστάσεις της βάσης του κάθε πύργου είναι 10 x16 μέτρα. Το φορτίο που μεταδίδεται σε κάθε πύργο από τα καλώδια είναι 61.500 τόνοι. Το βάρος και των δύο πύργων είναι 44.000 τόνοι . Μια γέφυρα τέτοιου μεγάλου μεγέθους έχει συνήθως ψηλούς πύργους. Το ύψος των πύργων της γέφυρας κατευθύνει τις δυνάμεις εφελκυσμού στα κύρια καλώδια προς τα πάνω, έτσι ώστε τα καλώδια να μπορούν να κάνουν αποτελεσματικά τη δουλειά τους και να συγκρατούν το κατάστρωμα. Οι πύργοι όταν ολοκληρώθηκε η γέφυρα το 1937 είχαν ύψος 227μ και ήταν οι ψηλότεροι πύργοι γεφυρών στον κόσμο και κατασκευάστηκαν με την ανύψωση προκατασκευασμένων χαλύβδινων τμημάτων. Για να γίνει αυτό χρειάστηκε να τοποθετηθεί μια προσωρινή πλατφόρμα για γερανοί (αναρριχόμενους γερανοί) που χτίστηκαν μεταξύ των δύο «ποδιών» του κάθε πύργου. Οι γερανοί πάνω στην πλατφόρμα σήκωναν τμήματα του πύργου μέχρι αυτό το επίπεδο και στη συνέχεια η πλατφόρμα με τους γερανοί υψωνόταν στον αναπτυσσόμενο πύργο και η διαδικασία επαναλαμβανόταν.



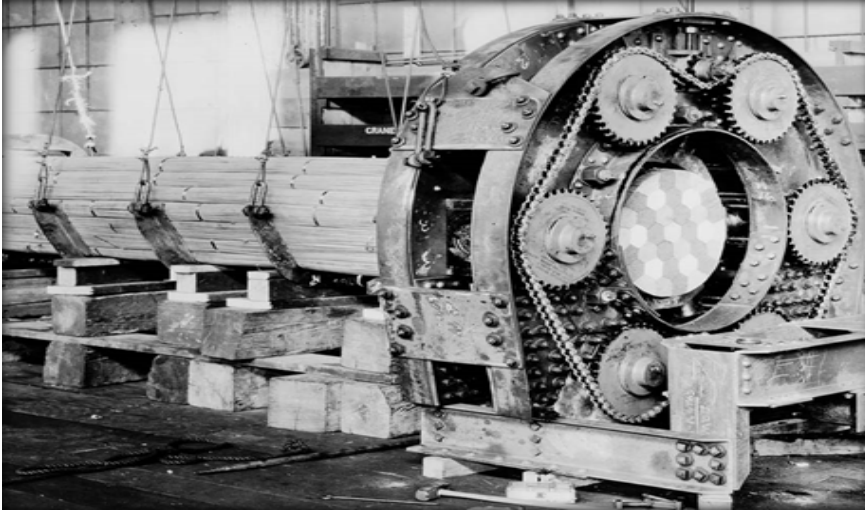
Εικόνα 15 Τα κομμάτια του πύργου φτάνουν στο σημείο με φορηγίδες



Εικόνα 16 Η ανύψωση των κομματιών με τους γεραμούς

2.3.3 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Η Γέφυρα Golden Gate έχει δύο κύρια καλώδια τα οποία περνούν πάνω από τις κορυφές των δύο πύργων και είναι ασφαλισμένα σε κάθε άκρο της γέφυρας σε γιγαντιαίες αγκυρώσεις. Το γαλβανισμένο σύρμα από ανθρακούχο χάλυβα που περιλαμβάνει κάθε κύριο καλώδιο τοποθετήθηκε περιστρέφοντας το σύρμα με τη χρήση ενός φορείου τύπου «αργαλειού» που μπορούσε να μετακινείται εμπρός και πίσω καθώς έβαζε το σύρμα στη θέση του ώστε να σχηματιστούν τα καλώδια. Η περιστροφή των κυρίων καλωδίων ολοκληρώθηκε σε 6 μήνες και 9 ημέρες. Τα κύρια καλώδια βρίσκονται πάνω από τους πύργους σε ύψος 227μ. σε τεράστιες χαλύβδινες χυτεύσεις που ονομάζονται σέλες. Η διάμετρος ενός κύριου καλωδίου μαζί με το εξωτερικό περιτύλιγμα είναι 0,92 μ. Το μήκος ενός κύριου καλωδίου είναι 2.332 μ.. Το συνολικό μήκος του γαλβανισμένου χαλύβδινου σύρματος που χρησιμοποιήθηκε και στα δύο κύρια καλώδια είναι 129.000 χλμ.. Ο αριθμός των γαλβανισμένων ατσάλινων συρμάτων σε ένα κύριο καλώδιο διαμέτρου 0,192 ιντσών είναι 27.572. Το σύνολο των δεσμών ή των κλώνων από το γαλβανισμένο χαλύβδινο σύρμα σε ένα κύριο καλώδιο είναι 61. Ο μέσος αριθμός γαλβανισμένων ατσάλινων συρμάτων σε κάθε μία από τις 61 δεσμίδες είναι 452. Το βάρος και των δύο κύριων καλωδίων, των καλωδίων ανάρτησης είναι 24.500 τόνοι .



Εικόνα 17 Ο «αργαλειός» που χρησιμοποιήθηκε για την περιστροφή του σύρματος



Εικόνα 18 Η υδραυλική πρέσα που συμπύκνωσε τα λεπτά σύρματα σε ένα μεγάλο καλώδιο

Επίσης η γέφυρα Golden Gate έχει 250 ζεύγη κάθετων συρματόσχοινων που κρέμονται σε απόσταση 50 ποδιών μεταξύ τους και στις δύο πλευρές της

γέφυρας. Κάθε συρματόσχοινο έχει διάμετρο 16 ίντσες. Όλα τα σχοινιά αντικαταστάθηκαν μεταξύ 1972 και 1976, με την τελευταία αντικατάσταση να ολοκληρώθηκε στις 4 Μαΐου 1976.

2.3.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το χαλύβδινο δικτύωμα που τοποθετείται σε κάθε πλευρά κατά μήκος του καταστρώματος μπορεί να αναγνωριστεί από τα τρίγωνα του. Το δικτύωμα υποστηρίζει τις δοκούς που συγκρατούν το οδόστρωμα και ενισχύουν την κατασκευή του καταστρώματος ώστε να αντιστέκεται στον άνεμο. Τα κατακόρυφα συρματόσχοινα τραβούν το βάρος του καταστρώματος, μαζί με την κυκλοφορία του, μέχρι τα κύρια καλώδια. Όταν εγκαταστάθηκαν τα 250 ζευγάρια συρματόσχοινων έμοιαζαν με χορδές σε μια γιγαντιαία άρπα. Ένα πλεονέκτημα μιας κρεμαστής γέφυρας είναι ότι μόλις εγκατασταθούν οι πύργοι, τα κύρια καλώδια και οι αγκυρώσεις, δεν χρειάζονται προσωρινά στηρίγματα κάτω από τη γέφυρα για να χτιστεί το κατάστρωμα. Το κατάστρωμα είναι κατασκευασμένο σε τμήματα και προχωράει από τους πύργους με ισορροπημένο τρόπο προς τα απέναντι άκρα, με κάθε τμήμα να κρεμιέται από τα συρματόσχοινα.





Εικόνες 19,20 Η τοποθέτηση του καταστρώματος

2.4 ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ

Από την αρχή ο Strauss και οι συνεργάτες του αντιμετώπισαν πολυάριθμες προκλήσεις, όπως αντιπολίτευση από σκεπτικιστές αξιωματούχους της πόλης (που ανησυχούσαν για το κόστος), περιβαλλοντολόγοι και πορθμεία (που ανησυχούσαν ότι η γέφυρα θα επηρέαζε την επιχείρησή τους). Κάποια μέλη της τεχνικής κοινότητας δήλωσαν ότι ήταν τεχνικά αδύνατο να χτίσουν τη γέφυρα και δεν ήταν εύκολο να συγκεντρωθούν κονδύλια για το έργο στην αρχή της Μεγάλης Ύφεσης. Μόλις ξεκίνησε η κατασκευή, οι εργαζόμενοι έπρεπε να αντιμετωπίσουν τα ισχυρά ρεύματα των ωκεανών, τους ισχυρούς ανέμους και την ομίχλη στο στενό Golden Gate. Έντεκα εργάτες έχασαν τη ζωή τους κατά τη διάρκεια της κατασκευής της γέφυρας, 10 από αυτές σε μία ημέρα, 17 Φεβρουαρίου 1937.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΓΕΦΥΡΑ LURU

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

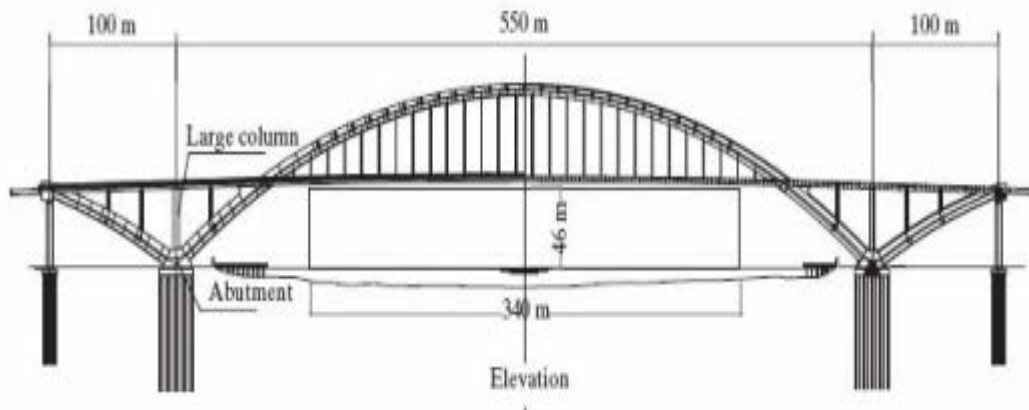
Η γέφυρα Luru είναι σήμερα η μακρύτερη χαλύβδινη αψιδωτή γέφυρα στον κόσμο με μήκος 550 μ. και είναι η μόνη γέφυρα με αψίδα στον κόσμο που είναι εξολοκλήρου φτιαγμένη με συγκόλληση. Η γέφυρα Luru βρίσκεται στη Σαγκάη της Κίνας. Είναι το έβδομο πέρασμα που έπρεπε να κατασκευαστεί τον ποταμό Huangpu στην πόλη. Η γέφυρα βρίσκεται στη νότια πλευρά της πόλης και είχε σκοπό να διευκολύνει την κυκλοφοριακή συμφόρηση στις ταχέως αναπτυσσόμενες περιοχές γύρω από τη νότια πλευρά του ποταμού και του κέντρου της πόλης, καθώς επίσης να βοηθήσει και με την αυξημένη κίνηση που αναμένονταν στην παγκόσμια Έκθεση 2010 (World Expo). Η γέφυρα εγκαινιάστηκε επίσημα τον Ιούνιο του 2003 με το συνολικό κόστος των 302 εκατομμυρίων δολαρίων των ΗΠΑ.



Εικόνες 21 Η γέφυρα σήμερα

Το συνολικό μήκος της γέφυρας είναι 3.900μ. μαζί με τις γέφυρες προσέγγισης εκατέρωθεν του ποταμού. Η γέφυρα αρχικά επικρίθηκε έντονα διότι θεωρήθηκε ως σπατάλη από πολλούς ανθρώπους σε σχέση με το είδος της

γέφυρας που χρειαζόταν πραγματικά για το σκοπό αυτό. Η αψίδα της γέφυρας αποτελείται από δεμένα τμήματα χαλύβδινων κουτιών. Το κεντρικό άνοιγμα του καταστρώματος κρέμεται από δύο σειρές με 28 διπλά καλώδια στις δύο κεκλιμένες καμάρες. Οι συνθήκες εδάφους στις δύο πλευρές της γέφυρας δεν ήταν οι καταλληλότερες για τις μεγάλες ωθήσεις που θα προκαλούσε μια κανονική αψιδωτή γέφυρα και αυτό ήταν που οδήγησε στην απόφαση της χρήσης μιας διακλαδισμένης καμάρας.



Εικόνες 22 Οι διαστάσεις της γέφυρας

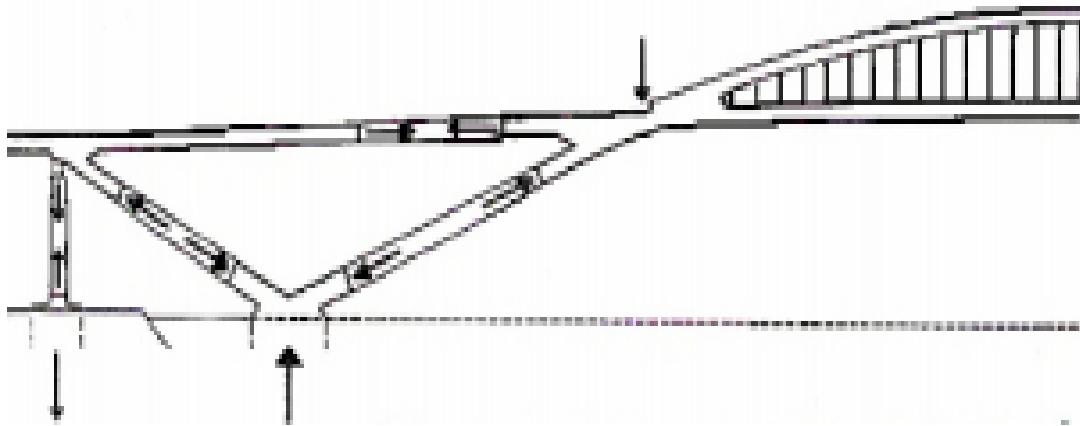
3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 5 στάδια:

- Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης
- Στάδιο 2: Γέφυρες προσέγγισης
- Στάδιο 3: Πλάγια ανοίγματα
- Στάδιο 4: Κατασκευή του σκελετού του τόξου
- Στάδιο 5: Δοκοί του καταστρώματος

3.2.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Οι συνθήκες εδάφους εκατέρωθεν του ποταμού δεν ήταν οι καταλληλότερες για τις μεγάλες ωθήσεις που παράγει μια τέτοια γέφυρα, ειδικά μία τόσο μεγάλη όσο η Luru. Αν και η καμάρα είναι δεμένη, μειώνοντας έτσι τις δυνάμεις που μεταφέρονται στα θεμέλια, η συνολική κάθετη δύναμη της είναι ακόμα πολύ μεγάλη. Επίσης, λόγω της δέσμευσης της αψίδας, τμήματα της θεμελίωσης πρέπει να είναι σε θέση να αντισταθούν στην ανύψωση όπως φαίνεται στην **Εικόνα 23**



Εικόνα 23 Διάγραμμα δυνάμεων του μισού συστήματος

Η Σαγκάη έχει γενικά μαλακό έδαφος, αλλά δίπλα στο ποτάμι το έδαφος είναι ιδιαίτερα μαλακό. Για το λόγο αυτό, η θεμελίωση με πασσάλους ήταν η καταλληλότερη επιλογή. Τα θεμέλια αποτελούνταν από χαλύβδινους σωλήνες με διάμετρο 900mm, όπου κάθε πάσσαλος έχει μήκος περίπου 65 μ. Η μεγάλη επιφάνεια των πασσάλων καθώς και το μακρύ τους μήκος υπονοεί ότι λειτουργούν περισσότερο σαν πάσσαλοι τριβής παρά πάσσαλοι έδρασης. Ο κεφαλόδεσμος της θεμελίωσης του κεντρικού ανοίγματος έχει πάχος 3,5 μ και συνδεόταν με τον κεφαλόδεσμο της γέφυρας προσέγγισης με την βοήθεια εγκάρσιων δοκών για περίπου 51 μέτρα. Η σύνδεση μεταξύ των δύο κεφαλόδεσμων θα βοηθήσουν στην ανακούφιση των τάσεων στο έδαφος στην οριζόντια διεύθυνση και στη μείωση της απόκλισης. Τα θεμέλια έχουν επίσης ενισχυθεί με τη χρήση σωληνώσεων ανάμιξης εδάφους-τσιμέντου με διάμετρο 700mm που αντιστέκονται στην οριζόντια δύναμη και περιορίζουν την μετατόπιση λόγω αυτής της δύναμης. Κάθε ένας από αυτούς τους σωλήνες είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους για να βελτιώσουν την ακεραιότητα του συστήματος. Ο μεγάλος αριθμός των θεμελίων και η προσθήκη σωληνώσεων ανάμιξης οφείλονται εν μέρει στα μόνιμα φορτία της γέφυρας και επίσης στα φορτία που μεταδίδονται στα θεμέλια κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής στήθηκαν μεγάλοι προσωρινοί πύργοι πάνω από κάθε βάθρο. Αυτοί θα προσδώσουν πολύ μεγάλες κατακόρυφες δυνάμεις στα θεμέλια και πιθανότατα θα είναι η μεγαλύτερη κάθετη δύναμη που θα νιώσουν. Λόγω της οριζόντιας δύναμης που προσδίδεται από τις κεκλιμένες καμάρες, η στήριξη στα θεμέλια πρέπει επίσης να ενισχυθεί στην οριζόντια κατεύθυνση. Το βάθρο θα πρέπει να έχει υψηλό φορτίο προέντασης στο τμήμα του σκυροδέματος καθώς επίσης να υπάρχουν και πάσσαλοι που θα έρχονται από το βάθρο σε κλίση παρόμοια με εκείνη των καμάρων.

3.2.2 ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

Το μεγαλύτερο μέρος της γέφυρας Luru αποτελείται από τις γέφυρες προσέγγισης εκατέρωθεν της κύριας αψίδας. Η μεγαλύτερη από τις δύο γέφυρες προσέγγισης βρίσκεται στη νότια πλευρά του ποταμού. Αυτό το κομμάτι της γέφυρας χτίστηκε φαινομενικά με ακανόνιστα τμήματα. Αυτό πιθανόν έγινε για να προκαλέσει ελάχιστη διαταραχή στη γύρω πόλη κατά τη διάρκεια της κατασκευής έτσι ώστε τα τμήματα που χρειάζονται ειδικό εξοπλισμό να μπορούν να γίνουν σε συνεχή χρονικό διάστημα. Το καταστρώμα είναι κατά πάσα πιθανότητα κατασκευασμένο από χάλυβα ως συνέχιση του καταστρώματος της κύριας έκτασης καθώς επίσης και οι κολώνες που το υποστηρίζουν. Οι δοκοί του καταστρώματος ήταν προκατασκευασμένοι και τοποθετήθηκαν στην κορυφή των προ-ανεγερμένων κολώνων. Κάθε τμήμα έχει 13,5 μ μήκος όπως και τα κεντρικά τμήματα του καταστρώματος. Αυτό το καθιστά ένα αποδεκτό μέγεθος για τη μεταφορά στο χώρο μέσω της πολυσύχναστης πόλης. Η κατασκευή των γεφυρών προσέγγισης ήταν ταυτόχρονη με της αψίδας μειώνοντας έτσι τον χρόνο των εργασιών που ήταν λιγότερο από 3 χρόνια.



Εικόνα 24 Η νότια γέφυρα προσέγγισης

3.2.3 ΠΛΑΓΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Τα πλάγια ανοίγματα της Γέφυρας Lyru κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ένα σύστημα σκαλωσιών το οποίο εδραζόταν όπου υπήρχε ακόμη έδαφος για να πατήσει. Το κατάστρωμα κατασκευάστηκε μέχρι την εγκάρσια δοκό στο σημείο σύνδεσης της με την καμάρα για να παρέχει επιπλέον σταθερότητα κατά την κατασκευή του τόξου. Η σκαλωσιά που υποστήριζε τα πλάγια ανοίγματα παρέμεινε σε ισχύ σε όλη τη διάρκεια της κατασκευής του κυρίου τόξου για να βοηθήσει στη βελτίωση της σταθερότητας καθώς επίσης και για να απλώσει το φορτίο στη βάση της θεμελίωσης. Η ολοκλήρωση αυτών των πλάγιων ανοιγμάτων δεν μπορούσε να γίνει μέχρις ότου ολοκληρωθεί το τόξο και οι προσωρινοί πύργοι να αποσυναρμολογηθούν καθώς οι πύργοι αυτοί υποστηρίζονταν στα ίδια τα βάθρα.



Εικόνα 24 Τα 2 πλάγια ανοίγματα εκατέρωθεν του ποταμού μαζί με τους δύο προσωρινούς πύργους

3.2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΤΟΥ ΤΟΞΟΥ

Το τόξο κατασκευάστηκε με καλωδιωτή μέθοδο προβόλου. Κάθε κομμάτι του τόξου δενόταν στους προσωρινούς πύργους και στις δύο πλευρές του τόξου και με τη χρήση της συγκόλλησης γινόταν η ένωση του με το προηγούμενο κομμάτι όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25 Το δέσιμο των κομματιών κατά την κατασκευή

Αυτή η διαδικασία μείωνε σημαντικά τις τάσεις κάμψης στο τόξο κατά την κατασκευή και αντίθετα έβαζε το κατασκευασμένο τμήμα του τόξου σε συμπίεση όπως θα ήταν μετά την ολοκλήρωση της γέφυρας. Τα καλώδια από τους προσωρινούς πύργους ήταν συνδεδεμένα με τη θεμελίωση που έπρεπε να αντέχει στην ανύψωση κατά την ολοκλήρωση της γέφυρας. Χρησιμοποιώντας τα ίδια τα θεμέλια μειώνουν το κόστος για επιπλέον υποστήριξη που θα χρειαζόνταν κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Τα κομμάτια είχαν μήκος 13,5 μέτρων και κάθε κομμάτι συνδεόταν με ένα οριζόντιο κιβώτιο στήριξης για τον αέρα. Για την ανύψωση των κομματιών από τις φορτηγίδες στον ποταμό χρησιμοποιήθηκε ένα κινητός γερανός. Στη συνέχεια ο γερανός συγκρατεί το κομμάτι στη θέση του ώστε να συγκολληθεί με το προηγούμενο.



Εικόνα 26 Η ανύψωση των κομματιών από τον ποταμό

3.2.5 ΟΙ ΔΟΚΟΙ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Για τις δοκούς του μεσαίου ανοίγματος, χρησιμοποιήθηκε η συμβατική μέθοδος κατασκευής κρεμαστής γέφυρας. Μετά την ολοκλήρωση του τόξου, χρησιμοποιήθηκαν οριζόντια καλώδια για να δεθούν οι δύο άκρες του τόξου μαζί. Στη συνέχεια, η γέφυρα ήταν έτοιμη να δεχθεί τις δοκούς του καταστρώματος. Αυτά ήρθαν πάλι από τον ποταμό με βάρκες σε κομμάτια των 13,5 μ. Οι δοκοί εγκαταστάθηκαν από το κέντρο προς τα έξω. Αυτό έγινε για να εξασφαλιστεί ότι η κάμψη στα οριζόντια καλώδια θα ήταν ομοιόμορφη και ότι δεν θα συνέβαινε καμία παραμόρφωση στο κατάστρωμα. Ένας άλλος λόγος ήταν ότι το φορτίο που τίθεται στο τόξο μπορεί να μεταβληθεί σε συμπίεση, εάν τα κομμάτια εισαχθούν από άλλα σημεία και αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει στιγμές μεγάλης κάμψης στο τόξο. Στα εγκάρσια δοκάρια σε κάθε πλευρά του κύριου ανοίγματος, το κατάστρωμα στηρίζεται σε συρόμενα εφέδρανα που επιτρέπουν τη διαστολή λόγω επιδράσεων της θερμοκρασίας. Επίσης σε αυτή τη θέση υπάρχει μια διάταξη αποσβεστήρων στην κατά μήκος διεύθυνση η οποία μειώνει τις επιδράσεις του σεισμού στη γέφυρα.



Εικόνα 27 Τα οριζόντια καλώδια με τα οποία δέθηκαν οι άκρες του τόξου



Εικόνα 28 Η σταδιακή τοποθέτηση του καταστρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

Η ΓΕΦΥΡΑ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΣΙΔΝΕΪ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα στο λιμάνι του Σίδνεϊ είναι μια χαλύβδινη αψιδωτή γέφυρα που διασχίζει το λιμάνι του Σίδνεϊ και μεταφέρει σιδηροδρομική γραμμή, οδικό και ποδηλατικό δίκτυο καθώς και πεζοδρόμιο για την κίνηση μεταξύ της κεντρικής επιχειρηματικής περιοχής του Σίδνεϊ και της βόρειας ακτής. Η δραματική θέα της γέφυρας, του λιμανιού και της κοντινής όπερας του Σίδνεϊ είναι μια εικόνα ορόσημο του Σίδνεϊ και της ίδιας της Αυστραλίας. Η γέφυρα έχει το ψευδώνυμο "The Coathanger" λόγω του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού της υπό τη διεύθυνση του Δρ. John Bradfield του Τμήματος Δημοσίων Έργων της Νέας Νότιας Ουαλίας. Η γέφυρα σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τη βρετανική εταιρία Dorman Long and Co Ltd του Middlesbrough και άνοιξε το 1932.



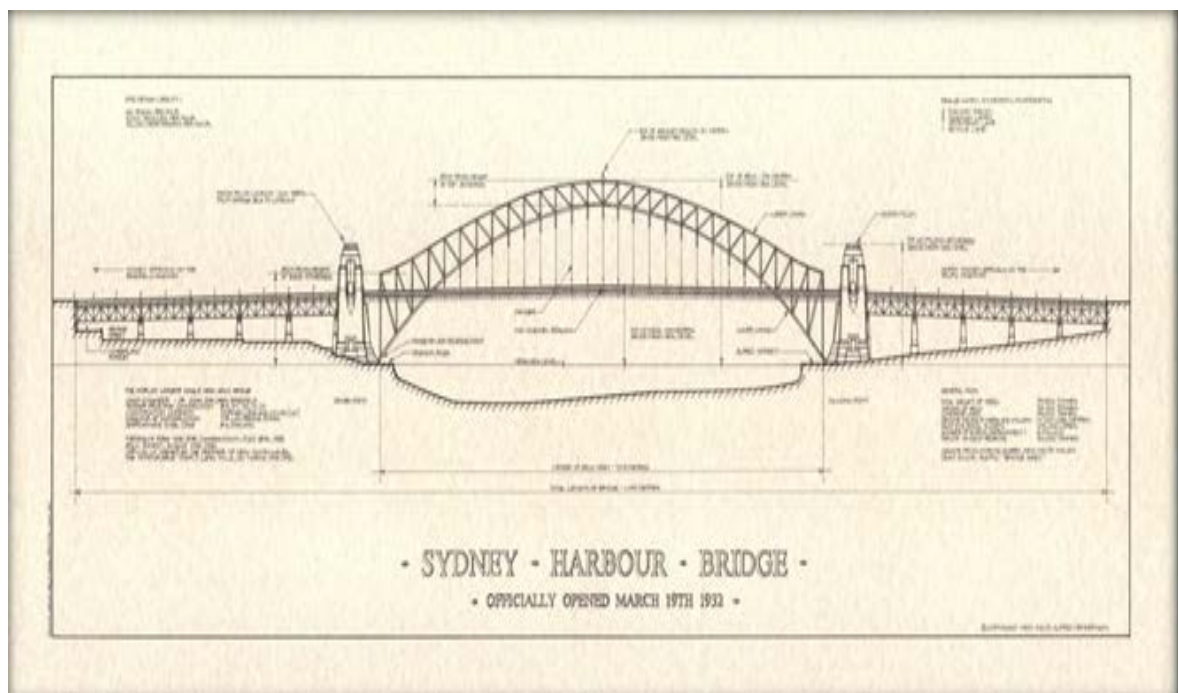
Εικόνα 29 Η γέφυρα σήμερα

Η σχεδίαση της γέφυρας επηρεάστηκε από τη γέφυρα Hell Gate στη Νέα Υόρκη. Είναι η έκτη μεγαλύτερη αψιδωτή γέφυρα στον κόσμο και η ψηλότερη γέφυρα από χάλυβα, με ύψος 134 μ. από την κορυφή μέχρι την στάθμη της

θάλασσας, καθώς επίσης και η φαρδύτερη γέφυρα μεγάλης έκτασης στον κόσμο, με πλάτος 48,8 μ., έως το 2012 με την κατασκευή της νέας γέφυρας Port Mann στο Βανκούβερ.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το νότιο άκρο της γέφυρας βρίσκεται στο Dawes Point στην περιοχή The Rocks και το βόρειο άκρο στο Milsons Point στην χαμηλότερη περιοχή του North Shore. Υπάρχουν έξι λωρίδες οδικής κυκλοφορίας μέσω του κεντρικού δρόμου, συν δύο επιπλέον λωρίδες οδικής κυκλοφορίας στην ανατολική πλευρά, που παλιότερα χρησιμοποιούνταν ως γραμμές του τραμ. Δίπλα στην οδική κυκλοφορία, υπάρχει μια διαδρομή για τους πεζούς που διατρέχει κατά μήκος την ανατολική πλευρά της γέφυρας, ενώ μια αποκλειστική διαδρομή για τη χρήση ποδηλάτων τρέχει μόνο κατά μήκος της δυτικής πλευράς. Ακόμα μεταξύ του κεντρικού δρόμου των αυτοκινήτων και του δυτικού δρόμου για τα ποδήλατα υπάρχουν δύο λωρίδες που χρησιμοποιούνται για σιδηροδρομικές γραμμές που εξυπηρετούν την T1 North Shore γραμμή για τρένα του Σίδνεϊ. Ο κύριος δρόμος πέρα από τη γέφυρα είναι γνωστός ως ο αυτοκινητόδρομος Bradfield και έχει μήκος περίπου 2,4 χλμ (1,5 μίλια), καθιστώντας τον έναν από τους συντομότερους αυτοκινητόδρομους στην Αυστραλία.



Εικόνα 30 Οι διαστάσεις της γέφυρας

4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 4 στάδια:

Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης

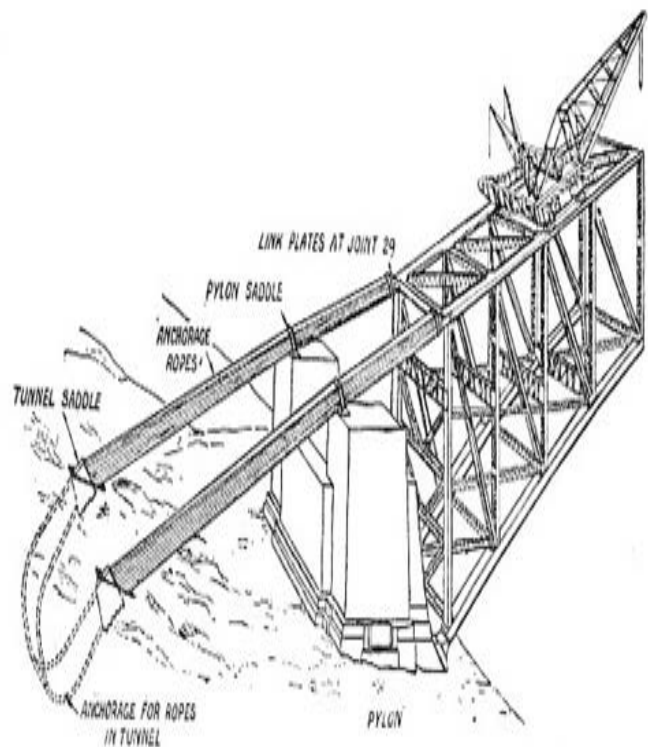
Στάδιο 2: Κατασκευή της αψίδας

Στάδιο 3: Κατασκευή των πυλώνων

Στάδιο 4: Κατασκευή του καταστρώματος

4.3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Τα θεμέλια της γέφυρας ήταν βαθιά μέσα στον ψαμμίτη σε κάθε πλευρά του λιμανιού και στήριζαν τους τέσσερις γιγάντιους μεντεσέδες που τελικά θα κρατούσαν ολόκληρο το βάρος της γέφυρας. Κάθε έδρανο ζύγιζε περισσότερους από 300 τόνους. Πίσω από τους μεντεσέδες υπήρχαν σήραγγες σχήματος U μέσα από τις οποίες πέρασαν τα καλώδια αγκύρωσης που ήταν 128 για κάθε πλευρά της Γέφυρας.



Εικόνα 31 Ο γιγάντιος μεντεσές και τα καλώδια αγκύρωσης

4.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΑΨΙΔΑΣ

Η αψίδα αποτελείται από δύο δικτυώματα με 28 πάνελ. Τα ύψη τους κυμαίνονται από 18 μέτρα στο κέντρο της αψίδας έως 57 μέτρα στις άκρες δίπλα στους πυλώνες. Η αψίδα έχει μήκος 504 μ. και η κορυφή της είναι στα 134 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η επέκταση της χαλύβδινης δομής τις ζεστές μέρες μπορεί να αυξηθεί στο ύψος της αψίδας κατά 18 εκατοστά. Το συνολικό βάρος της σιδηροκατασκευής της γέφυρας, συμπεριλαμβανομένων της αψίδας και των ανοιγμάτων προσέγγισης, είναι 52.800 τόνους, με το ίδιο το τόξο να ζυγίζει 39.000 τόνους. Περίπου το 79% του χάλυβα εισήχθη από την Αγγλία, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από το Newcastle. Στο εργοτάξιο, οι εργολάβοι (Dorman Long and Co.) δημιούργησαν δύο εργαστήρια στο Milsons Point, στο χώρο του σημερινού Luna Park, και μετέτρεπαν το χάλυβα σε δοκούς και σε άλλα απαιτούμενα μέρη.

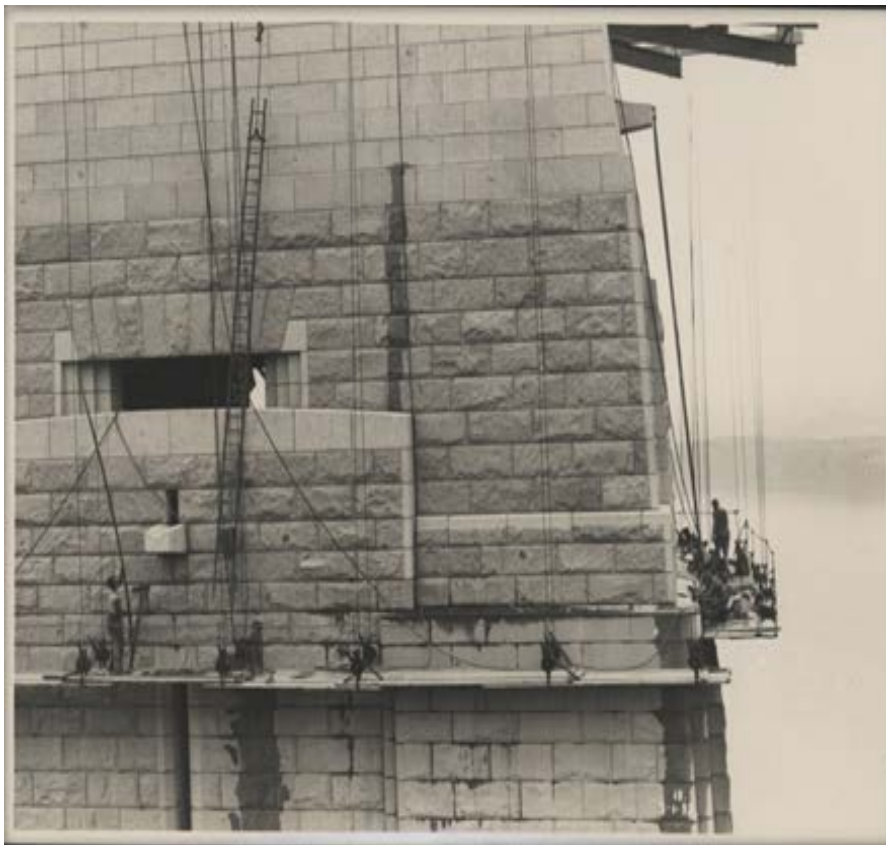


Εικόνα 32 Η κατασκευή της αψίδας

Η γέφυρα συγκρατείται από έξι εκατομμύρια πριτσίνια που κατασκευάστηκαν στην Αυστραλία τα οποία μπήκαν με το χέρι. Τα πριτσίνια θερμάνθηκαν μέχρι να πάρουν κόκκινο χρώμα και εισήχθησαν στις πλάκες. Το ακέφαλο άκρο στρογγυλοποιήθηκε αμέσως με ένα μεγάλο ειδικό πιστόλι. Τα μεγαλύτερα από τα πριτσίνια που χρησιμοποιήθηκαν ζύγισαν 3,5 κιλά και ήταν 39,5 εκατοστά. Η πρακτική της σύσφιξης μεγάλων χαλύβδινων δομών, ήταν τότε η πιο αποδεδειγμένη και πιο κατανοητή τεχνική κατασκευής σε σχέση με τη συγκόλληση καθώς η δομική συγκόλληση δεν είχε αναπτυχθεί επαρκώς σε αυτό το στάδιο για χρησιμοποιηθεί σε γέφυρα.

4.3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ

Σε κάθε άκρο της αψίδας υπάρχει ένα ζεύγος από πυλώνες σκυροδέματος με 89 μ. ύψος, οι οποίοι έχουν επικάλυψη από γρανίτη. Οι πυλώνες σχεδιάστηκαν από τον σκωτσέζο αρχιτέκτονα Thomas S. Tait.. Περίπου 250 Αυστραλοί, Σκωτσέζοι και Ιταλοί τεχνίτες πέτρας και οι οικογένειές τους μεταφέρθηκαν σε προσωρινές κατοικίες στο Moruya, 300 χλμ. νότια του Σίδνεϊ, όπου εξόρυξαν περίπου 18.000 m³ γρανίτη για τους πυλώνες της γέφυρας. Οι τεχνίτες έκοψαν και αριθμήσαν τα κομμάτια, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο Σίδνεϊ με τρία πλοία ειδικά κατασκευασμένα για το σκοπό αυτό. Το λατομείο Moruya διαχειρίστηκε ο John Gilmore, ένας σκωτσέζος λιθοποιός που μετανάστευσε, με τη νέα του οικογένεια στην Αυστραλία το 1924, κατόπιν αιτήματος των διαχειριστών του έργου. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν επίσης κατασκευασμένο στην Αυστραλία και η προμήθεια του έγινε από το Devonport της Τασμανίας και μεταφέρθηκε στο Σίδνεϊ με πλοίο με το όνομα Goliath. Τα βάθρα στη βάση των πυλώνων είναι απαραίτητα για τη στήριξη των φορτίων από την αψίδα και για να κρατήσουν σταθερή τη θέση της, καθώς οι πυλώνες δεν έχουν κάποιο δομικό σκοπό.



Εικόνα 33 Η κατασκευή του πυλώνα

Κατασκευάστηκαν για να παράσχουν ένα πλαίσιο για τα τοξωτά πάνελ και για να δώσουν καλύτερη οπτική ισορροπία στη γέφυρα. Οι πυλώνες δεν ήταν μέρος του αρχικού σχεδιασμού και προστέθηκαν μόνο για να καθησυχάσουν

την κοινή γνώμη σχετικά με τη δομική ακεραιότητα της γέφυρας, αν και αρχικά προστέθηκαν στη γέφυρα μόνο για την αισθητική και οι τέσσερις πυλώνες έχουν πλέον τεθεί σε χρήση. Ο νοτιοανατολικός πυλώνας περιλαμβάνει ένα μουσείο και τουριστικό κέντρο, με θέα 360 ° στην κορυφή, προσφέροντας θέα στο λιμάνι και στην πόλη. Ο νοτιοδυτικός πυλώνας χρησιμοποιείται από την New South Wales Roads and Traffic Authority για να υποστηρίξει τις κάμερες CCTV με θέα τη γέφυρα και τους δρόμους γύρω από αυτήν την περιοχή. Οι δύο πυλώνες στη βόρεια ακτή περιλαμβάνουν εξαερισμό με καπνοδόχους από την σήραγγα του λιμανιού του Σίδνεϊ με τη βάση του νότιου πυλώνα να φιλοξενεί το υπόστεγο συντήρησης RMS για τη γέφυρα και τη βάση του βόρειου πυλώνα που το υπόστεγο διαχείρισης κυκλοφορίας για φορτηγά και οχήματα ασφαλείας που χρησιμοποιούνται στη γέφυρα. Το 1942 οι πυλώνες τροποποιήθηκαν ώστε να περιλαμβάνουν στηθαία και αντιαεροπορικά όπλα σχεδιασμένα για να βοηθούν τόσο στην άμυνα της Αυστραλίας όσο και στη γενική πολεμική εικόνα της εποχής.



Εικόνα 34 Οι πυλώνες στην τελική τους μορφή

4.3.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Μόλις ολοκληρώθηκε η αψίδα, οι γερανοί αναρρίχησης άρχισαν να δουλεύουν προς τα πίσω, επιτρέποντας στο κατάστρωμα και σε άλλα μέρη της γέφυρας να κατασκευαστούν από το κέντρο προς τα έξω. Τα κατακόρυφα συρματόσχοινα προσαρτήθηκαν στην αψίδα, και αυτά ενώθηκαν με οριζόντιους εγκάρσιους δοκούς. Το κατάστρωμα για το οδόστρωμα και το σιδηρόδρομο χτίστηκαν στην κορυφή των εγκάρσιων δοκών και ολοκληρώθηκαν τον Ιούνιο του 1931 όπου και αποσυναρμολογήθηκαν οι γερανοί αναρρίχησης. Τέλος τοποθετήθηκαν ράγες για τραίνα και τραμ και ο δρόμος φτιάχτηκε χρησιμοποιώντας σκυρόδεμα με άσφαλτο.



Εικόνα 34 Η κατασκευή του καταστρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΓΕΦΥΡΑ RUSSKY

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

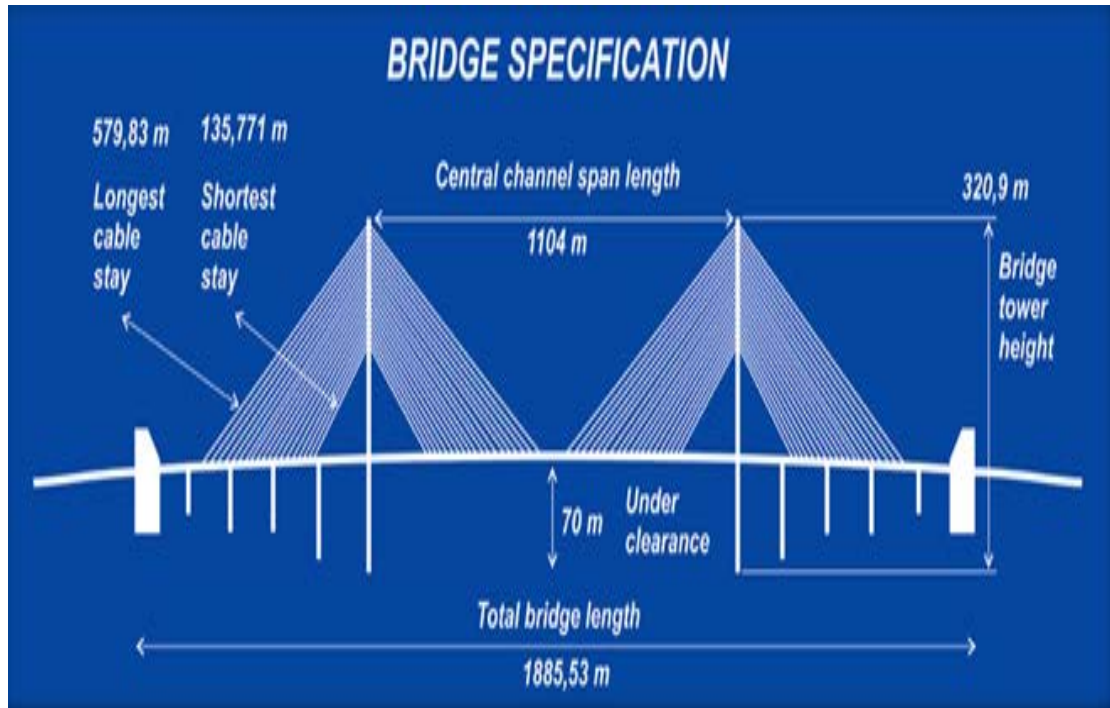
Η γέφυρα Russky είναι μια καλωδιωτή γέφυρα στο Vladivostok, στη Ρωσία. Η γέφυρα συνδέει το Russky Island και τα τμήματα του Muravyon-Amursky Peninsula της πόλης απέναντι από το στενό του ανατολικού Βοσπόρου και με μια κεντρικό άνοιγμα 1.104 μ. είναι η μακρύτερη καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο. Η γέφυρα Russky χτίστηκε αρχικά για να εξυπηρετήσει το συνέδριο οικονομικής συνεργασίας Ασίας-Ειρηνικού το 2012 που φιλοξενήθηκε στην πανεπιστημιούπολη του Άπω Ανατολικού Πανεπιστημίου στο νησί Russky. Ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2012 και εγκαινίασε ο πρωθυπουργός της Ρωσίας Ντιμίτρι Μεντβέντεφ και στις 3 Σεπτεμβρίου του 2012 δόθηκε επίσημα το όνομα της. Η γέφυρα έχει επίσης τους δεύτερους υψηλότερους πυλώνες μετά τη γέφυρα Millau.



Εικόνα 35 Η γέφυρα σήμερα

5.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

- 1 Συνολικό μήκος γέφυρας - 1885,53 μ
- 2 Συνολικό μήκος, μαζί με οδογέφυρες - 3100 μ
- 3 Μήκος κύριου ανοίγματος - 1104 μ
- 4 Συνολικό πλάτος οδοστρώματος - 21 μ
- 5 Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας - 4
- 6 Ύψος του καταστρώματος πάνω από τη στάθμη της θάλασσας- 70 μ
- 7 Ύψος πυλώνων - 324 μ



Εικόνα 36 Οι διαστάσεις της γέφυρας

Ο σχεδιασμός της διέλευσης της γέφυρας προσδιορίστηκε με βάση δύο πρωταρχικούς παράγοντες:

- 1 Η συντομότερη απόσταση από την μία ακτή προς την άλλη, η οποία είναι 1460 μ. με το βάθος της θάλασσας να είναι έως 50 μ.
- 2 Η τοποθεσία του εργοταξίου της γέφυρας χαρακτηρίζεται από έντονες κλιματολογικές συνθήκες: οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από -31°C έως 37°C , οι καταιγίδες με ανέμους έως 36 m/s , κύματα ύψους μέχρι και 6 μ. και ο σχηματισμός πάγων το χειμώνα που το πάχος τους μπορεί να φτάσει και τα 70 cm.

5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 12στάδια:

- Στάδιο 1: Κατασκευή των γεφυρών προσέγγισης
- Στάδιο 2: Κατασκευή των βάθρων
- Στάδιο 3: Κατασκευή των τεχνιτών νησιών
- Στάδιο 4: Κατασκευή πασσάλων έδρασης για τα βάθρα
- Στάδιο 5: Κατασκευή των πεδίων
- Στάδιο 6: Τα αναρριχόμενα πανέλα
- Στάδιο 7: Κατασκευή δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα
- Στάδιο 8: Η χαλύβδινη δοκός
- Στάδιο 9: Η προ-συναρμολόγηση των πάνελ
- Στάδιο 10: Η ανύψωση των πάνελ
- Στάδιο 11: Το σύστημα καλωδίων
- Στάδιο 12: Το περίβλημα των καλωδίων

5.3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

Οι γέφυρες προσέγγισης με συνολικό μήκος άνω των 900 μέτρων παρέχουν την πρόσβαση στη γέφυρα. Οι στήριξη του γίνεται με κολώνες που έχουν από 9 μ. έως 30 μ. ύψος. Το κατάστρωμα τους είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, και αποτελείται από τμήματα τα οποία έχουν με τη μορφή κιβωτίου, όπου τα πλάγια τοιχώματα του είναι κεκλιμένα.



Εικόνα 37,38 Οι γέφυρες προσέγγισης

5.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΒΑΘΡΩΝ

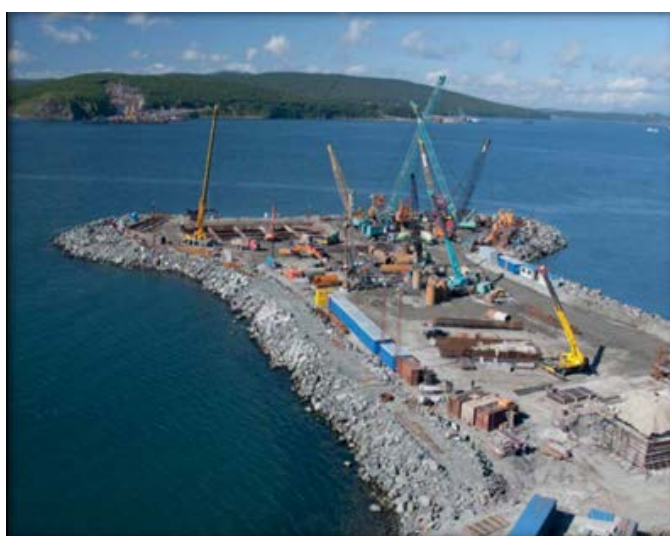
Τα δύο βάθρα της γέφυρας, με το M1 να βρίσκεται στο Ναζίμοφ και το M12 στο Russky Island, είναι οι βαρύτερες και πιο σύνθετες δομές της γέφυρας. Έχουν ύψος περίπου 35 μέτρα. Τα δύο βάθρα χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του φορτίου στο έδαφος. Αυτά παραλαμβάνουν το οριζόντιο φορτίο από τα καλώδια. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποίησαν οι κατασκευαστές είναι αυτοσυμπυκνόμενο τσιμέντο Πόρτλαντ Β35 που είναι ανθεκτικό στο θειικό άλας. Το σκυρόδεμα αυτό θα είναι σε θέση να προστατεύσει τα βάθρα από τα διαβρωτικά υγρά και τον οπλισμό από το να σκουριάσει.



Εικόνες 39.40 Η κατασκευή των βάθρων

5.3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΤΩΝ ΝΗΣΙΩΝ

Για την κατασκευή της γέφυρας οι μηχανικοί έπρεπε να δημιουργήσουν ένα τεχνητό νησί γεμάτο βράχια για να πατήσει ο πυλώνας M6 στη χερσόνησο Nazimov. Οι πάσσαλοι έδρασης του πυλώνα M7 στο Russky Island χτίστηκαν στο νερό, χρησιμοποιώντας ένα προσωρινό χαλύβδινο νησάκι. Τέλος μετά την ολοκλήρωση των πασάλων και της επίστρωσης που τους περικλείει, χρειάστηκε να κατασκευαστεί μια τεχνητή χερσόνησος γεμάτη πέτρες. Αυτή η μικρή χερσόνησος έχει σχεδιαστεί για την προστασία από συγκρούσεις πλοίων χωρητικότητας έως 66.000 τόνων, κομμάτια πάγων και μεγάλα κύματα. Συνολικά 1,5 εκατομμύρια m³ με χώμα και βράχια μετακινήθηκαν για την κατασκευή των εργοταξίων στο Russky Island και τη χερσόνησο Nazimov.



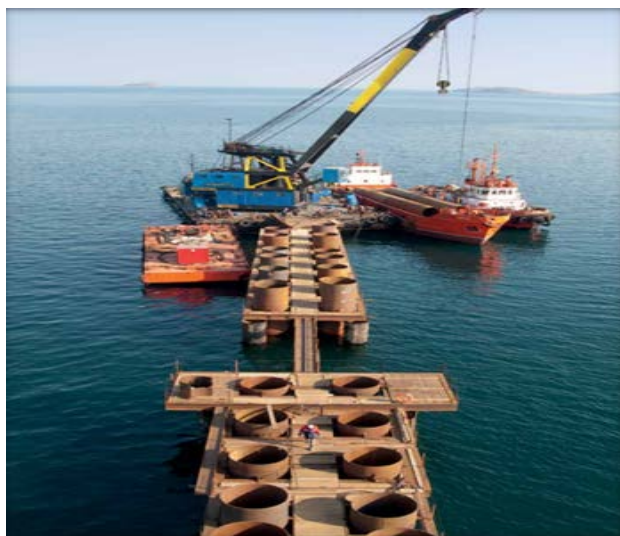
Εικόνα 41 Το ανθρωπογενές νησάκι



Εικόνα 42 Το προσωρινό χαλύβδινο νησάκι μαζί με την χερσόνησο

5.3.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΕΔΡΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΑΘΡΑ

Οι γεωτρήσεις και οι σκυροδετήσεις για τους πασσάλους στο νερό της θάλασσας έγιναν για πρώτη φορά στη Ρωσία για κατασκευή γέφυρας. Τα βάθη των υδάτων κυμάνθηκαν από 14 μ. έως 20 μ. Τοποθετήθηκαν συνολικά 120 πάσσαλοι, με 2 μ. διάμετρο ο καθένας για την κατασκευή του κάθε πυλώνα. Οι μόνιμες χαλύβδινες θήκες των πασσάλων βυθίστηκαν σε βάθος 46 μ. κάτω από τον πυλώνα M7, ενώ οι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα στη χερσόνησο Nazimov πηγαίνουν μέχρι τα 77 μ. βάθος.



Εικόνα 43,44 Τοποθέτηση και σκυροδέτηση των πασσάλων

5.3.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΠΕΔΙΛΩΝ

Χρειάστηκαν περίπου 20.000 m³ μπετόν και περίπου 3.000 τόνους χάλυβα για την ανέγερση των πεδίων για καθένα πυλώνα. Αυτή ήταν η πιο κρίσιμη λειτουργία για την κατασκευή της γέφυρα και για αυτό το λόγο, ενσωματώθηκαν μετρητές τάσης στα σώματα των πεδίων για να γίνεται συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας αυτής της γιγαντιαίας έδρασης.



Εικόνα 45 Η κατασκευή των πεδίων

5.3.6 ΤΑ ΑΝΑΡΡΙΧΟΜΕΝΑ ΠΑΝΕΛΑ

Ειδικά προσαρμοσμένα αναρριχόμενα πανέλα χρησιμοποιήθηκαν για τη σκυροδέτηση των πυλώνων. Επτά επίπεδα εργασίας συνολικού ύψους 19 μ. επιτρέπουν την προετοιμασία, την ανοικοδόμηση, την σκυροδέτηση, την επιδιόρθωση και τέλος να δουλεύουν ταυτόχρονα σε τρία τμήματα με 4,5 μ. ύψος το καθένα. Τα πανέλα κινούνται μόνα τους με υδραυλικές μονάδες ανύψωσης και περιορίζουν το χρόνο ανέγερσης κατά ενάμισι που είναι ένα σημαντικό χρονικό κέρδος δεδομένου ότι το συνολικό μέγεθος της σκυροδέτησης για κάθε πυλώνα είναι πάνω από 20.000 m³.



Εικόνα 46 Τα αναρριχόμενα πανέλα

5.3.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα σημεία αγκύρωσης της γέφυρας βρίσκονται συμμετρικά σε σχέση με το κεντρικό άνοιγμα και τους πυλώνες και εκτίνονται σε μήκος 316 μ. Το άνοιγμα αυτό είναι κατασκευασμένο από προεντεταμένο σκυρόδεμα, το οποίο θα χρειαστεί περίπου 21.000 m³ σκυροδέματος για να ολοκληρωθεί. Εκτός από τις ράβδους του οπλισμού εγκαταστάθηκαν πλαστικοί αγωγοί κατά τη διάρκεια της όπλισης όπου μέσα τους τοποθετήθηκαν δέσμες χάλυβα υψηλής εφελκυστικής αντοχής για την προένταση. Οι δέσμες αυτές τεντώθηκαν με δύναμη τάνυσης από 300 έως 370 τόνους χρησιμοποιώντας ειδικούς γρύλους προέντασης αφού πρώτα όμως το σκυρόδεμα είχε αποκτήσει την απαραίτητη αντοχή. Τέλος οι εργάτες γέμισαν τα κενά μέσα στους αγωγούς με ειδικό κονίαμα με βάση το τσιμέντο μετά την ολοκλήρωση της τάνυσης.



Εικόνα 47 Η τοποθέτηση της προέντασης και ο ειδικός γρύλος

5.3.8 Η ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΔΟΚΟΣ

Η ενισχυμένη δοκός του καταστρώματος της γέφυρας προς το νησί Russky είναι από χάλυβα. Είναι κατασκευασμένη σαν ένα κουτί με το σύνολο της διατομής να αποτελείται από τις κάτω και τις άνω ορθότροπες πλάκες και ένα σύστημα εγκάρσιων διαφραγμάτων. Η χαλύβδινη δοκός αποτελείται από 103 πάνελ με 12 μ. μήκος και πλάτος 26 μ. το καθένα και δύο μεταβατικά πάνελ κάθε 6 μ. Τα πάνελ ζυγίζουν συνολικά 23.000 τόνους και το μήκος της δοκού συνολικά έχει μήκος 1248 μέτρα.



Εικόνα 48 Η χαλύβδινη δοκός

5.3.9 Η ΠΡΟ-ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΝΕΛ

Τα πάνελ ήταν προ-συναρμολογημένα από τη μονάδα παραγωγής στη χερσόνησο Nazimov και στο ναυπηγείο Nakhodka. Αυτή η διαδικασία απέκλεισε επιπλέον εργασίες τοποθέτησης των βαρέων πάνελ κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, η οποία είναι σημαντική επειδή το έργο διεξήχθη υπό ισχυρούς ανέμους και σε υψόμετρο 70 μ. πάνω από τη θάλασσα. Το κέρδος του χρόνου ήταν σημαντικό, δεδομένου ότι ολοκληρώθηκαν πάνω από 30 χιλιόμετρα συγκολλημένων αρμών πρώτης κατηγορίας με 100 % ανίχνευση ελαττωμάτων με υπερήχους.



Εικόνα 49 Πάνελ έτοιμο για τοποθέτηση

5.3.10 Η ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΩΝ ΠΑΝΕΛ

Τα πάνελ μετακινήθηκαν στο χώρο εγκατάστασης με φορηγίδες και στη συνέχεια ανυψώθηκαν με γερανό στο υψόμετρο των 70 μ. Η κάθε φορηγίδα πήγαινε ακριβώς κάτω από το σημείο εγκατάστασης χρησιμοποιώντας το GLONASS, ένα ρωσικό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης. Μετά την τοποθέτηση του εικοστού πάνελ, χρησιμοποιήθηκαν πάνελ με μήκος 24 μ. το διπλάσιο μήκος δηλαδή από τα προηγούμενα ώστε να επιταχυνθεί η ολοκλήρωση του καταστρώματος.



Εικόνα 50 Η ανύψωση των πάνελ

5.3.11 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Ένα βελτιωμένο σύστημα καλωδίων με υψηλότερη πυκνότητα «νήματος» εντός του περιβλήματος χρησιμοποιείται για τη γέφυρα. Το σύστημα καλωδίων ζυγίζει 3720 τόνους με συνολικό μήκος άνω των 54 χιλιομέτρων. Τα καλώδια αποτελούνται από 13 έως 85 παράλληλα ανεξάρτητα προστατευμένα από τη διάβρωση «νήματα». Κάθε σκέλος αποτελείται από επτά γαλβανισμένα χαλύβδινα σύρματα που περικλείονται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Μία συμπαγής σύνθεση καλωδίου που χρησιμοποιεί περίβλημα μικρότερης διαμέτρου μειώνει το φορτίο από τον άνεμο από 25 έως 30%. Ο σχεδιασμός αυτός μειώνει το κόστος των υλικών για τον πυλώνα, το κατάστρωμα και πέδιλα από 35 έως 40%.



Εικόνα 51 Η τοποθέτηση των καλωδίων

5.3.12 ΤΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Το περίβλημα των καλωδίων είναι κατασκευασμένο από δύο στρώματα: το εσωτερικό στρώμα που είναι από μαύρο πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και το εξωτερικό λεπτότερο στρώμα που είναι στα χρώματα της ρωσικής σημαίας. Το διακοσμητικό περίβλημα έχει επίσης ελικοειδής αυλάκωση για την προστασία από δονήσεις με ταυτόχρονη έκθεση σε βροχή και άνεμο. Η ολοκληρωμένη προστασία και η παρακολούθηση της ποιότητας καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής όλων των καλωδίων εξασφαλίζει υψηλή δύναμη, ανθεκτικότητα και δείκτες αντοχής στη διάβρωση. Ο σχεδιασμός της διάρκειας ζωής των καλωδίων είναι τουλάχιστον 100 έτη.



Εικόνα 52 Το περίβλημα με τα χρώματα της Ρωσίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

ΓΕΦΥΡΑ MILLAU

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα Millau είναι μια καλωδιωτή γέφυρα που εκτείνεται στην κοιλάδα του φαραγγιού του ποταμού Tarn κοντά στο Millau στη νότια Γαλλία. Είναι η ψηλότερη γέφυρα του κόσμου, με τη μία της κορυφή να είναι στα 343 μ. (1,125,3 πόδια) πάνω από το έδαφος. Είναι μία γαλλο-βρετανική συνεργασία, με τον σχεδιασμό της από τον Άγγλο αρχιτέκτονα Sir Norman Foster και τον Γάλλο μηχανικό Michel Virlogeux, και από τον Μάιο του 2017 έχει το εικοστό δεύτερο υψηλότερο κατάστρωμα γέφυρας στον κόσμο, το οποίο είναι 270 μ. (890 πόδια) πάνω από το έδαφος.



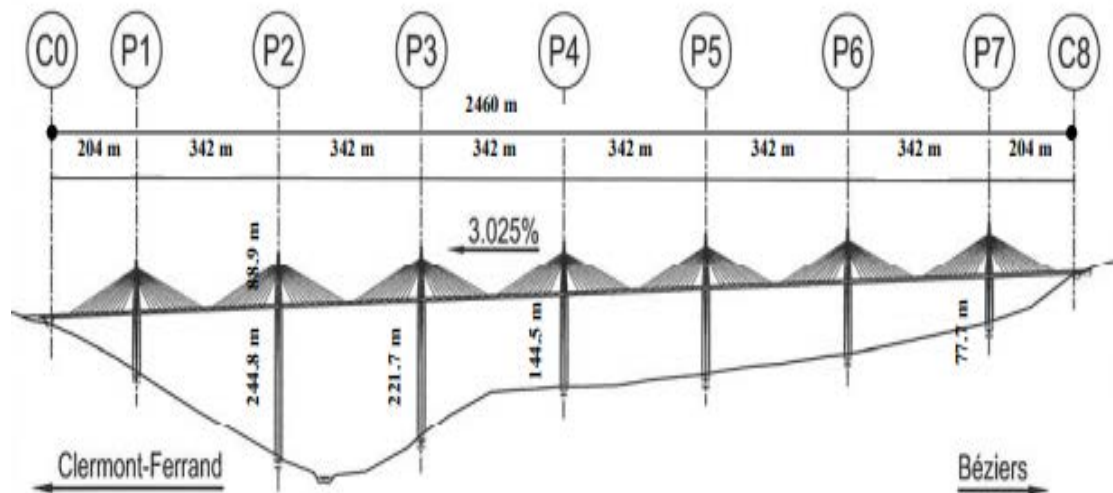
Εικόνα 53 Η γέφυρα σήμερα

Η γέφυρα είναι μέρος του αυτοκινητόδρομου A75-A71 από το Παρίσι προς το Béziers και το Montpellier. Το κόστος κατασκευής ήταν περίπου 394 εκατ. ευρώ. Κατασκευάστηκε μέσα σε τρία χρόνια, εγκαινιάστηκε επισήμως στις 14 Δεκεμβρίου 2004 και άνοιξε δύο ημέρες αργότερα στις 16 Δεκεμβρίου. Η γέφυρα έχει ανακηρυχθεί ως ένα από τα σπουδαιότερα μηχανολογικά επιτεύγματα όλων των εποχών.

6.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η γέφυρα Millau είχε τις εξής παραμέτρους:

1. συνολικό μήκος: 2 460 μ
2. μήκη ανοιγμάτων :204 μ - 6 × 342 μ - 204 μ
3. οριζόντια ακτίνα καμπυλότητας 20 000 μ
4. ύψος πάνω από το έδαφος της κοιλάδας ή νερό: 270 μ
5. συνολικό πλάτος: 32.050 μ
6. διαμήκης κλίση: 3.025%
7. πυλώνας P1: ύψος 94,50 μ
8. πυλώνας P2: ύψος 244,96 μ
9. πυλώνας P3: ύψος 221,05 μ
10. πυλώνας P4: ύψος 144,21 μ
11. πυλώνας P5: ύψος 136,42 μ
12. πυλώνας P6: ύψος 111,94 μ
13. πυλώνας P7: ύψος 77,56 μ
14. ύψος πυλώνα (πάνω από το κατάστρωμα): 88,92 μ
15. ύψος πυλώνα (πάνω από το έδαφος) μέγιστο: 343 μ



Εικόνα 52 Οι διαστάσεις της γέφυρας

6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η γέφυρα Millau έχει συνολικό μήκος 2.460 μ. και περιλαμβάνει οκτώ ανοίγματα: δύο πλευρικά με 204 μ. μήκος και έξι εσωτερικά με 342 μ. Η διατομή αποτελείται από ένα χαλύβδινο κουτί με ορθότροπες πλάκες, δύο κάθετα εσωτερικά δικτυώματα και δύο κεκλιμένες εξωτερικές πλάκες. Τα

κατακόρυφα δικτυώματα απαιτούνται για την κατασκευή με βαθμιαία εκκίνηση και τα τριγωνικά εξωτερικά κουτιά δημιουργούν μια βελτιωμένη διατομή που μειώνει το φορτίο του ανέμου στη γέφυρα. Στο εξωτερικό μέρος της δοκού τοποθετούνται ασπίδες για τον άνεμο που εμποδίζουν την ανατροπή των υψηλών οχημάτων. Οι στρογγυλεμένες άκρες και στις δύο πλευρές βελτιώνουν την αεροδυναμική συμπεριφορά και την εμφάνιση της γέφυρας. Λόγω του μεγάλου ύψους πάνω από την κοιλάδα, μια κεντρική δοκός, με ένα μόνο καλωδιακό επίπεδο, ήταν ο πιο αποτελεσματικός σχεδιασμός για την αποφυγή δίδυμων πυλώνων. Η απαιτούμενη στρεπτική ακαμψία παρέχεται από τη χαλύβδινη δοκό. Η διαχείριση του σχεδιασμού της γέφυρας ήταν η προϋπόθεση ότι οι πυλώνες ύψους μέχρι και 230 μ είναι αρκετά δύσκαμπτοι ώστε να μεταφέρουν ασύμμετρα φορτία κατά τη διαμήκη κατεύθυνση. Επίσης, πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτοι ώστε να ακολουθούν τις διαμήκεις μεταβολές της δοκού λόγω θερμοκρασίας. Η λύση είναι ένα ισχυρό εγκιβωτισμένο κιβώτιο από σκυρόδεμα για τους πυλώνες με μία κάθετη σχισμή κάτω από το κατάστρωμα. Αυτή η διχοτόμηση του κιβωτίου παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία. Οι πύργοι με ύψος 87 μ. πάνω από το κατάστρωμα σχηματίζουν δύσκαμπτα πλαίσια διατομής (A) κατά τη διαμήκη κατεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα συνολικό σύστημα από τον πυλώνα και τον πύργο, το οποίο μετατρέπει τη στιγμή που τα φορτία δρουν στις άκρες του πύργου σε ζεύγη τάσεων και συμπίεσεων και έτσι συγκρατεί την κεφαλή του πύργου. Οι άξονες του πυλώνα μήκους 90 μ είναι κάθετοι μετά την τάνυση για να εξουδετερώσουν τις εφελκυστικές τάσεις που οφείλονται στον άνεμο στους εσωτερικούς φραγμούς και λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας στους εξωτερικούς φραγμούς. Τα εφέδρανα τοποθετούνται μεταξύ της χαλύβδινης δοκού και των πύργων με τη χρήση ενός νέου τύπου σφαιρικού εφεδράνου. Τα ασύμμετρα φορτία και οι ακραίοι άνεμοι προκαλούν αντιδράσεις υποστήριξης σε κάθε βάθρο μέχρι 100 MN. Οι πύργοι πάνω από το κατάστρωμα είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα για να γίνουν όσο το δυνατόν ελαφρύτεροι και λεπτότεροι. Το κεντρικό καλωδιακό σύστημα είναι αγκυρωμένο στις κεφαλές του πύργου και εξαιτίας αρχιτεκτονικών λόγων οι πύργοι εκτείνονται πέρα από τα επάνω καλώδια.

6.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 4 στάδια:

Στάδιο 1: Κατασκευή πυλώνων

Στάδιο 2: Η δοκός

Στάδιο 3: Η εκκίνηση της δοκού

Στάδιο 4: Κατασκευή πύργων

Στάδιο 5: Τα καλώδια της γέφυρας

6.4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΥΛΩΝΩΝ

Οι πυλώνες έχουν ποικίλες διατομές, αλλά οι διαστάσεις επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να διαμορφώνονται εύκολα. Οι τέσσερις πλευρές έχουν σταθερές διαστάσεις και οι άλλες διαφέρουν ομοιόμορφα σε κάθε τμήμα της κατασκευής. Αυτό επιτρέπει την κατασκευή με εξωτερικά αυτό-αναρριχόμενα καλούπια και εσωτερικά καλούπια που ανυψώνονται σταδιακά από τον γερανό. Τα αυτό-αναρριχόμενα καλούπια θα μπορούσαν να είχαν κάνει τη σωστή τοποθέτηση των ενσωματωμένων στοιχείων δύσκολη.

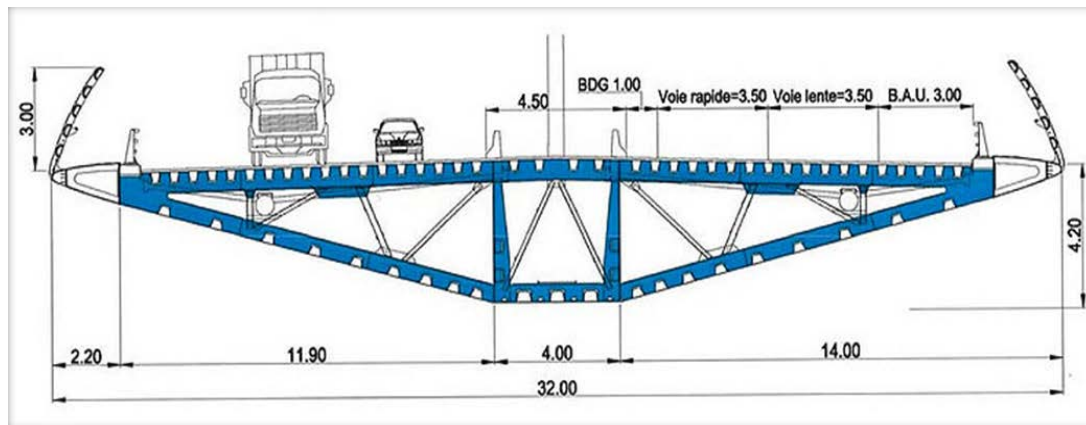


Εικόνα 53 Η κατασκευή των βάθρων

6.4.2 Η ΔΟΚΟΣ

Το κατάστρωμα αποτελείται από μία τραπεζοειδή μεταλλική δοκό μοιρασμένη σε πάνελ (κουτιά) με μέγιστο ύψος τα 4,2μ στον άξονα με το επάνω ορθότροπο κατάστρωμα να είναι φτιαγμένο από μεταλλικά φύλλα με πάχος 12-14χιλ στο μεγαλύτερο μέρος του κυρίου ανοίγματος. Για να διασφαλίσουν την αντοχή στην κόπωση, το πάχος των 14χιλ υιοθετήθηκε για όλο το μήκος της κατασκευής κάτω από τις λωρίδες κυκλοφορίας. Αυτό το πάχος αυξάνεται γύρο από τους πυλώνες. Η διαμήκης ακαμψία του πάνω ορθότροπου καταστρώματος παρέχεται από τραπεζοειδή ενισχυτικά με πάχος 7χιλ και με απόσταση μεταξύ τους 600χιλ τα οποία περνάνε μέσα από τα διαφράγματα. Οι κεκλιμένες πλάκες στα πλάγια του κιβωτίου αποτελούνταν από μεταλλικά

φύλλα με πάχος 12χιλ στο μεγαλύτερο μέρος του ανοίγματος και 14-16χιλ πάχος γύρω από τους πυλώνες. Τραπεζοειδή ενισχυτικά με πάχος 6χιλ έχουν τοποθετηθεί σε ευμετάβλητα σημεία. Ο πάτος του κιβωτίου αποτελείται από μεταλλικά φύλλα με πάχος από 25 έως 80χιλ. Η ακαμψία παρέχεται από τρία τραπεζοειδή ενισχυτικά με πάχος 14-16χιλ. Δύο κατακόρυφα δικτυώματα με 4μ απόσταση μεταξύ τους, τα οποία αποτελούνται από μεταλλικά φύλλα με πάχος από 20-40χιλ, είναι τοποθετημένα σε όλο το μήκος της κατασκευής προκειμένου να απλώσουν τις τοπικές δυνάμεις από τα προσωρινά βάθρα, κατά την διάρκεια της εκκίνησης του καταστρώματος. Αυτά τα δικτυώματα είναι άκαμπτα στο κατώτερο μέρος τους, από δύο διαμήκη τραπεζοειδή ενισχυτικά. Η εγκάρσια ακαμψία του καταστρώματος παρέχεται από δικτυωτά διαφράγματα στα 4,17μ απόσταση στα ανοίγματα. Περίπου 2100 ενισχυμένα πάνελ, τέσσερα ανά εργάσιμη ημέρα, κατασκευάστηκαν μέσα στα εργαστήρια του Eiffel Construction Métallique στο Lauterbourg (Αλσατία). Μετά τη μεταφορά τους στο εργοτάξιο συγκολλήθηκαν στους δύο χώρους προκατασκευής μήκους 170 μ. Τα κεντρικά κουτιά είχαν προηγουμένως συγκολληθεί στο Fos-sur-Mer. Σε κάθε χώρο προκατασκευής δούλευαν έως και 75 συγκολλητές.



Εικόνα 54 Η διατομή της δοκού

6.4.3 Η ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΟΥ

Ο λεπτομερής σχεδιασμός και η κατασκευαστική μηχανική των χαλύβδινων κομματιών - δοκών, πύργων και βοηθητικών πυλώνων - δόθηκε από τον σύμβουλο Greisch από τη Λιέγη, Βέλγιο. Ο υπεύθυνος μηχανικός ήταν ο Jean-Marie Crémer. Κατά τη διάρκεια της εκκίνησης από τα δύο άκρα, εισήχθησαν μερικά ειδικά μέτρα για τον έλεγχο των μεγάλων στιγμιαίων προβόλων. Τα ανοίγματα μειώθηκαν κατά το ήμισυ με προσωρινούς τηλεσκοπικούς πυλώνες και χρησιμοποιήθηκε μύτη εκκινήσεως. Ο εμπρός πύργος με μερικά από τα τελικά καλώδια στήριξης ξεκίνησε μαζί με τη δοκό. Αυτά τα καλώδια δεν προσαρμόστηκαν κατά την εκκίνηση. Μετά το τέλος στις 28 Μαΐου 2004, εγκαταστάθηκαν τα υπόλοιπα καλώδια και πύργοι παραμονής ενώ αφαιρέθηκαν οι βοηθητικοί πυλώνες. Οι χαλύβδινες δοκοί ξεκίνησαν και από τις δύο άκρες ταυτόχρονα. Στο κέντρο των μεγάλων ανοιγμάτων εγκαταστάθηκαν βοηθητικοί πυλώνες με εξαίρεση του κεντρικού

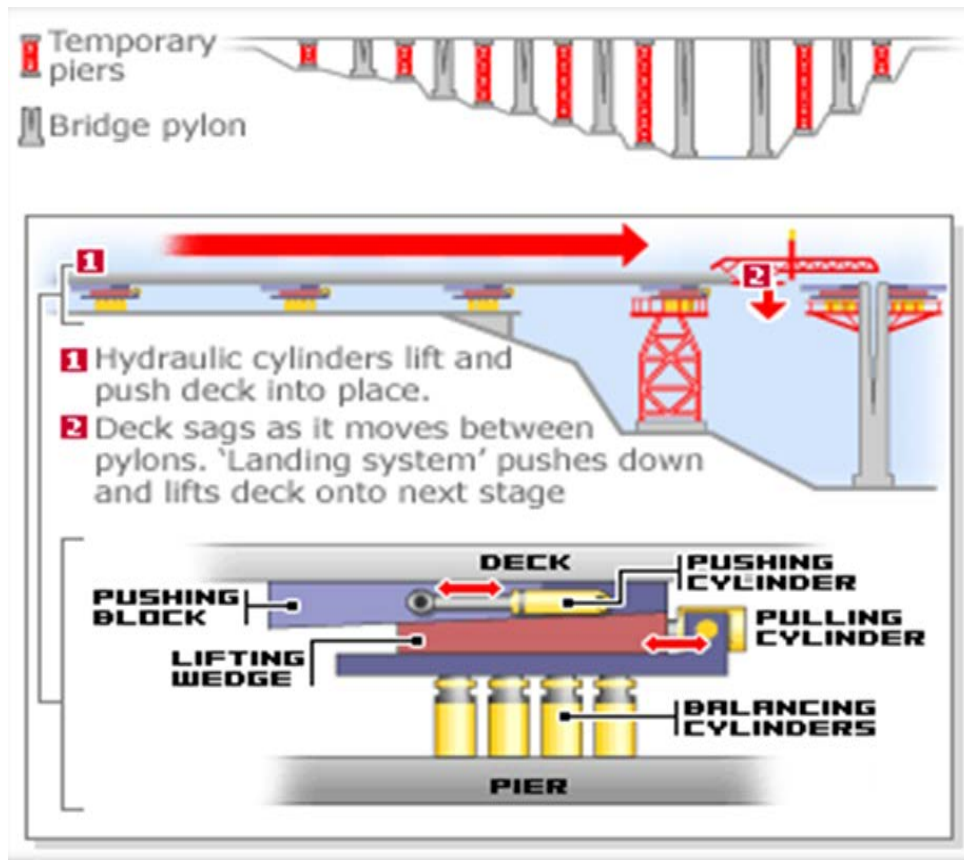
ανοίγματος, το οποίο γεφυρώθηκε με πρόβολο και από τις δύο πλευρές. Τα εφέδρανα εκκίνησης στην κορυφή των πυλώνων σε απόσταση 20 μ μείωσαν σημαντικά τις ροπές δέσμης σε αναλογία μήκους εύρους $(151/171)^2 = 0,78$. Οι βοηθητικοί πυλώνες ήταν κατασκευασμένοι από προκατασκευασμένα τμήματα με ύψος 12 μ. και είναι σχεδιασμένοι σαν γερανοί.



Εικόνα 55 Οι βοηθητικοί πυλώνες

Τα στοιχεία που ήταν προκατασκευασμένα στο έδαφος από χαλύβδινα τμήματα ανυψώνονται με μια εσωτερική διάταξη ανύψωσης με τέτοιο τρόπο ώστε τα επόμενα τμήματα να μπορούν να εγκατασταθούν από κάτω και επίσης να ανυψωθούν μέχρι αυτοί οι τηλεσκοπικοί πυλώνες να φτάσουν σε ύψος μέχρι 175 m. Το υψηλότερο φορτίο τους ανήλθε σε 7000 τόνους περίπου ίσο με το συνολικό βάρος του πύργου του Eifel. Οι τελικοί πυλώνες ήταν εφοδιασμένοι μόνο με βοηθητικό ικρίωμα για εκκίνηση. Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό αυτής της εκκίνησης ήταν ότι, για λόγους κόστους, ο χώρος προ-συναρμολόγηση βρισκόταν στο επίπεδο της μελλοντικής οδού, 4,8 μ. πάνω από το τελικό υψόμετρο του καταστρώματος. Μια συντομευμένη εικόνα κατά την εκκίνηση δείχνει την ελαστικότητα της χαλύβδινης δοκού ξεπερνώντας την μετατόπιση της κλίσης. Κάθε ένα από τα δύο μισά των δοκών ξεκίνησαν πάνω από ένα βοηθητικό βάθρο και μια μύτη εκκινήσεως να εκτείνεται στην εξωτερική πλευρά. Στη συνέχεια, ο τελευταίος πύργος εγκαταστάθηκε στο εμπρόσθιο άκρο ως βοηθητικό στήριγμα, αλλά με μειωμένο ύψος 70 μ. αντί για 87 μ. για να ελαχιστοποιήσει τα εγκάρσια φορτία του ανέμου κατά την εκκίνηση. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου που επιτρεπόταν κατά την εκκίνηση ήταν 3 χλμ./ώρα. Λόγω των ακραίων υψών των πυλώνων, οι δυνάμεις τριβής κατά την εκκίνηση έπρεπε να εξισωθούν, οπότε στην κορυφή κάθε πυλώνα τοποθετήθηκαν δύο ενεργά εφέδρανα εκκίνησης σε κάθε άξονα στήριξης. Οι οριζόντιες υδραυλικές υποδοχές λειτουργούσαν μεταξύ της δοκού και των πυλώνων με τέτοιο τρόπο ώστε τα άκρα των ακροπτερυγίων να παραμένουν στη θέση τους κατά την εκκίνηση, κεντρικά ελεγχόμενα από τους αισθητήρες. Τελικά το κεντρικό άνοιγμα γεφυρώθηκε από κάθε πλευρά με προβόλους, υποστηριζόμενοι από τους πύργους. Ο σχεδιασμός και η

κατασκευή στο χώρο ήταν ένα εξαιρετικό επίτευγμα της μηχανικής.



Εικόνα 56 Οι υδραυλικές υποδοχές πάνω στα βάθρα και στους βοηθητικούς πυλώνες

6.4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΥΡΓΩΝ

Όταν η χαλύβδινη δοκός ήταν στη θέση της, οι υπόλοιποι μεταλλικοί πύργοι ήταν προ-συναρμολογημένοι πίσω από τα ακρόβαθρα. Κάθε πύργος μετακινήθηκε στη συνέχεια με γεραμούς ερπύστριας πάνω από τη δοκό της γέφυρας στην τελική του θέση. Το συνολικό βάρος μιας τέτοιας μεταφοράς ανήλθε σε 8 MN, πράγμα που ενεργεί ως δοκιμαστική φόρτωση. Οι πύργοι ανυψώθηκαν από την οριζόντια θέση τους με τη βοήθεια ενός προσωρινού πύργου. Τέλος, συνδέθηκαν με τη δοκό και εγκαταστάθηκαν τα καλώδια στήριξης.



Εικόνα 57 Η τοποθέτηση των πύργων

6.4.5 ΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Τα έντεκα ζευγάρια καλωδίων τα οποία υποστήριζαν κάθε άνοιγμα ήταν διατεταγμένα σε μονό επίπεδο σε σχήμα μισού ανεμιστήρα. Τα καλώδια είναι αγκυρωμένα κατά μήκος του άξονα με διάστημα 12,51μ μεταξύ τους, ακολουθώντας την καμπυλότητα της κατασκευής. Τα καλώδια αποτελούνται από ίνες T15 της τάξεως των 1.860MPa οι οποίες είναι σούπερ-γαλβανισμένες, με επένδυση και κερωμένες. Κάθε καλώδιο είναι καλυμμένο από μία άσπρη τελείως αεροδυναμική επένδυση φτιαγμένη από μη-εγχυμένο PEHD. Αυτό δρα σαν ασπίδα στο υπεριώδες φως και έχει ένα διακεκομμένο σπирάλ στην επιφάνεια του προκειμένου να αντιμετωπίσει τις δονήσεις από τις συνδυασμένες επιπτώσεις του αέρα και της βροχής. Ο αριθμός των ινών που φτιάχτηκε το κάθε καλώδιο ποικίλει ανάμεσα σε 45T 15s κοντά στα βάθρα και 91T 15s προς το κέντρο κάθε ανοίγματος. Οι αγκυρώσεις των καλωδίων είναι ευπροσάρμοστες στο κατάστρωμα και πακτωμένες στους πύργους.



Εικόνα 58 Η καλωδίωση της γέφυρας και η αγκύρωση μέσα στο κατάστρωμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:

ΓΕΦΥΡΑ FORTH

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα Forth είναι μια αρθρωτή γέφυρα που διασχίζει το Firth of Forth στα ανατολικά της Σκωτίας, 14 μίλια δυτικά του κέντρου του Εδιμβούργου και χρησιμοποιείται από μία σιδηροδρομική γραμμή. Θεωρείται μία κατασκευή σύμβολο για τη Σκωτία (που ψηφίστηκε το μεγαλύτερο τεχνητό θαύμα της Σκωτίας το 2016) και αποτελεί Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO. Σχεδιάστηκε από τους Αγγλικούς μηχανικούς Sir John Fowler και Sir Benjamin Baker. Μερικές φορές αναφέρεται ως Γέφυρα Forth για να τη διακρίνει από τη γέφυρα Forth Road, αν και αυτό δεν ήταν ποτέ το επίσημο της όνομα. Η κατασκευή της γέφυρας ξεκίνησε το 1882 και άνοιξε στις 4 Μαρτίου 1890 από τον δούκα της Rothesay, ο μελλοντικός Edward VII. Η γέφυρα εκτείνεται μεταξύ των χωριών South Queensferry και North Queensferry και έχει συνολικό μήκος 2.467 μ. Όταν ολοκληρώθηκε είχε το μακρύτερο μονό αρθρωτό άνοιγμα γέφυρας στον κόσμο μέχρι το 1919, όταν πήρε τη θέση της η γέφυρα του Κεμπέκ στον Καναδά. Συνεχίζει όμως να είναι στη δεύτερη παγκοσμίως, με άνοιγμα 529 μ.



Εικόνα 59 Η γέφυρα σήμερα

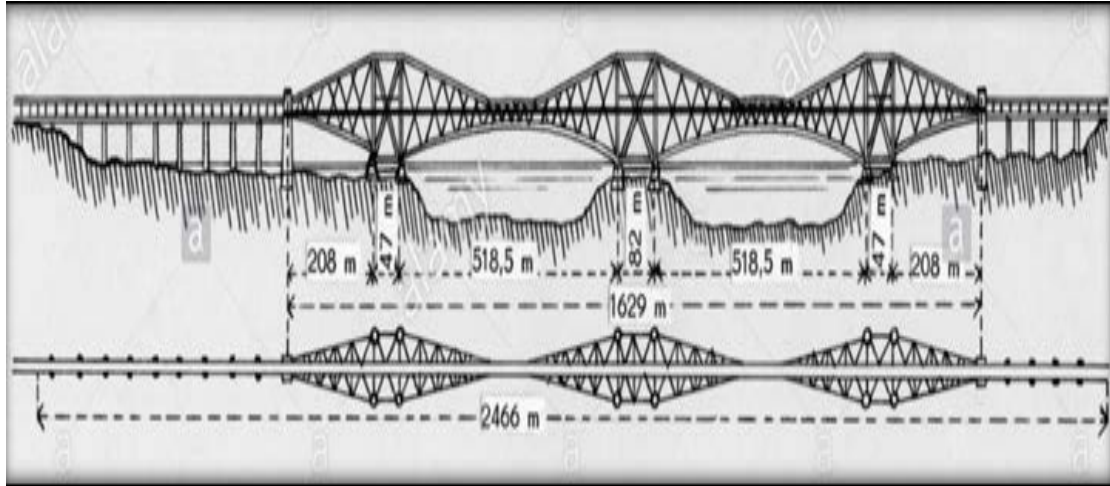
7.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΘΑΥΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΒΙΚΤΩΡΙΑΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

- 1 Η γέφυρα Forth άνοιξε για πρώτη φορά το 1890.
- 2 Το συνολικό μήκος της γέφυρας είναι 2.467 μ.
- 3 Η κύρια δομή είναι 1.630 μ.
- 4 Το υψηλότερο σημείο της γέφυρας Forth βρίσκεται 110 μ πάνω από το νερό και 137 μ πάνω από τα θεμέλια.
- 5 Για την κατασκευή της γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν 53.000 τόνοι χάλυβα και 6.5 εκατομμύρια πριτσίνια
- 6 Τα βάθρα της γέφυρας Forth κατασκευάστηκαν από 120.000 μ³ σκυρόδεμα και τοιχοποιίας, με επικάλυψη από γρανίτη πάχους 60 εκ.
- 7 200 τρένα χρησιμοποιούν τη γέφυρα καθημερινά, μεταφέροντας 3 εκατομμύρια επιβάτες κάθε χρόνο.
- 8 Η συνολική έκταση της γέφυρας Forth είναι 230.000 τμ, απαιτώντας 240.000 λίτρα χρώματος.

7.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

7.3.1 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

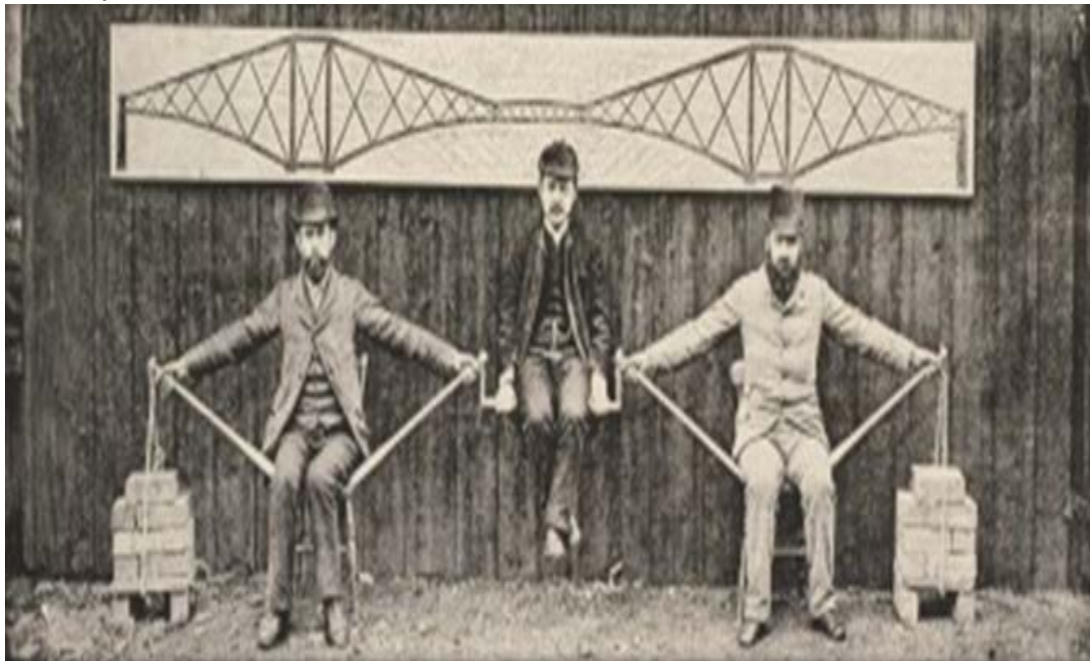
Η γέφυρα εκτείνεται μεταξύ των χωριών South Queensferry και North Queensferry και έχει συνολικό μήκος 2.467 μ. Η γέφυρα Forth έχει διπλή τροχιά και ανυψώνεται σε ύψος 45,72 μ. πάνω από τη στάθμη του νερού κατά την παλίρροια. Αποτελείται από δύο κύρια ανοίγματα των 518,16 μ, δύο πλευρικά ανοίγματα των 207,3 μ και 15 ανοίγματα προσέγγισης των 151,2 μ. Κάθε κύριο άνοιγμα αποτελείται από δύο βραχίονες με πρόβολο των 207,3 μ που υποστηρίζουν ένα κεντρικό δοκάρι μήκους 106,7 μ. Το βάρος της υπερκατασκευής της γέφυρας είναι 50.513 τόνοι, συμπεριλαμβανομένων των 6.5 εκατομμυρίων πριτσινιών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και των 18.122 μ³ γρανίτη. Οι τρεις μεγάλες αρθρωτές κατασκευές τεσσάρων πύργων έχουν ύψος 110,03 μ. και κάθε πύργος στηρίζεται σε ξεχωριστό βάθρο από γρανίτη τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας κουτιά διαμέτρου 21 μ. Αυτά τα κουτιά χρησιμοποιήθηκαν στο βόρειο κομμάτι της κατασκευής αλλά και στα δύο από τα τέσσερα βάθρα στο μικρό ακατοίκητο νησί Inchgarvie και ενήργησαν ως φρεάτια, ενώ τα άλλα δύο βάθρα στο Inchgarvie και εκείνα της νότιας πλευράς, όπου η κοίτη του ποταμού ήταν 28 μ κάτω από το επίπεδο του νερού, χρησιμοποιήθηκε συμπιεσμένος αέρας για να κρατήσει το νερό έξω από το θάλαμο εργασίας στα θεμέλια.



Εικόνα 60 Οι διαστάσεις της γέφυρας

7.3.2 Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η γέφυρα είναι χτισμένη χρησιμοποιώντας την αρχή της αρθρωτής γέφυρας, όπου ένα αρθρωτό δικτύωμα υποστηρίζει μια ελαφριά κεντρική δοκό, όπου αυτή η αρχή χρησιμοποιείται για χιλιάδες χρόνια στην κατασκευή γεφυρών. Για να δείξει τη χρήση του εφελκυσμού και της συμπίεσης στη γέφυρα, με μια επίδειξη το 1887 ο Ιάπωνας μηχανικός Kaichi Watanabe υποστηρίζεται μεταξύ των Fowler και Baker που κάθονται σε καρέκλες. Ο Fowler και ο Baker αντιπροσωπεύουν τα αρθρωτά δικτύωματα, με τα χέρια τους να εφελκύνονται και τα ραβδία να είναι υπό συμπίεση, ενώ τα τούβλα ζυγίζουν τις άκρες των ραβδών όπως κάνουν τα ακρόβαθρα με τις άκρες των δικτυωμάτων.



Εικόνα 61 Η αναπαράσταση του Kaichi Watanabe

7.4 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 7 στάδια:

Στάδιο1: Γέφυρες προσέγγισης

Στάδιο2: Προετοιμασίες

Στάδιο3: Μετακίνηση των υλικών

Στάδιο4: Κατασκευή κυκλικών βάθρων

Στάδιο5: Inchgarvie

Στάδιο6: North Queensferry & South Queensferry

Στάδιο 7: Κατασκευή των αρθρωτών δικτυωμάτων

7.4.1 ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

Οι γέφυρες προσέγγισης κατασκευάστηκαν με χωριστό συμβόλαιο και σχεδιάστηκαν από τον μηχανικό James Carswell. Τα υποστηρίγματα των γεφυρών αυτών είναι κωνικά ώστε να αποφευχθεί η εντύπωση της πλάτυνσης των κολώνων καθώς φτάνουν την κορυφή τους και στην αξιολόγηση της αισθητικής της Γέφυρας το 2007 από τον AD Magee του Πανεπιστημίου του Bath, συμπεριλαμβάνονται και οι γέφυρες προσέγγισης. Ο Magee επισημαίνει ότι η τοιχοποιία σχεδιάστηκε προσεκτικά και έχει καθαρό αρμό ακόμη και σε περιοχές που δεν είναι άμεσα ορατές από το έδαφος. Οι γέφυρες προσέγγισης στο βορρά και στο νότο έπρεπε να φτάσουν σε ύψος 39,78 μ. πάνω από τη στάθμη του νερού. Τελικά αποφασίστηκε να κατασκευαστούν σε χαμηλότερο επίπεδο και στη συνέχεια να αυξηθούν παράλληλα με την κατασκευή των βάθρων.



Εικόνα 62 Η μία από τις δύο γέφυρες προσέγγισης

Οι δύο γέφυρες προσέγγισης έχουν δεκαπέντε ανοίγματα μεταξύ τους, που το καθένα έχει μήκος 51 μ. και ζυγίζει ελαφρώς πάνω από 200 τόνους. Δύο ανοίγματα συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια συνεχή δοκό, με έναν σύνδεσμο διαστολής μεταξύ κάθε ζεύγους διαστημάτων. Λόγω της κλίσης του λόφου κάτω από την οδογέφυρα, οι δοκοί συναρμολογήθηκαν σε διαφορετικά ύψη και συνενώθηκαν μόνο όταν είχαν φτάσει στο ίδιο επίπεδο. Η ανύψωση έγινε με μεγάλα υδραυλικά έμβολα και πραγματοποιήθηκε σε βήματα περίπου 1,07 μ. κάθε τέσσερις ημέρες.

7.4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΕΣ

Αρχικά μια ακριβής τοπογραφική έρευνα έγινε από τον Reginald Middleton, για να προσδιορίσει την ακριβή θέση της γέφυρας και να επιτρέψει την έναρξη των μόνιμων κατασκευαστικών εργασιών. Ο παλιός σταθμός της ακτοφυλακής στο άκρο του Fife έπρεπε να κατεδαφιστεί για να ανοίξει ο δρόμος προς το βορειοανατολικό βάθρο. Η βραχώδης ακτή καλύφθηκε σε ύψος 2,1 μ. πάνω από το ύψος των υδάτων για να κάνουν το δρόμο για τα εργοστάσια και τα υλικά, ενώ καλύβες και άλλες εγκαταστάσεις για εργάτες εγκαταστάθηκαν περαιτέρω στο εσωτερικό. Οι προετοιμασίες στο South Queensferry είχαν πολύ πιο ουσιαστικό χαρακτήρα, και απαιτούσαν την να μετατροπή της απότομης πλαγιάς σε αναβαθμούς. Ξύλινες καλύβες και καταστήματα για τους εργάτες ήταν τοποθετημένες, καθώς και σπίτια από τούβλα για τους αρχιτέκτονες και καταλύματα για τους πρωτομάστορες και τους εργοδηγούς. Κατασκευάστηκαν δρόμοι και εργαστήρια γεωτρήσεων, καθώς και ένα σχεδιαστήριο 61 επί 18 μ, ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν σχέδια πλήρους μεγέθους. Ένα καλώδιο τοποθετήθηκε επίσης σε όλο το Forth για να επιτρέψει την τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ των κέντρων στο Νότιο Queensferry, Inchgarvie και Βόρειο Queensferry, και οι δοκοί από την κατεστραμμένη γέφυρα Tay τοποθετήθηκαν σε όλη τη σιδηροδρομική γραμμή προς τα δυτικά προκειμένου να επιτραπεί η πρόσβαση από το έδαφος εκεί.

7.4.3 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για τη γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν 55.000 τόνοι χάλυβα και 140.000 μ³ τοιχοποιίας. Πολλά υλικά, όπως ο γρανίτης από το Αμπερντίν, τα ερείπια του Arbroath, η άμμος, η ξυλεία, και μερικές φορές ο σπτάνθρακας και ο άνθρακας, θα μπορούσαν να μεταφερθούν κατευθείαν στο κέντρο όπου απαιτούνταν. Ο χάλυβας παραδόθηκε με το τρένο και ετοιμάστηκε στο πεδίο του South Queensferry όπου χρωματίστηκε με βρασμένο λινέλαιο πριν μεταφερθεί εκεί όπου θα τοποθετούνταν με φορηγίδα. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τσιμέντο Portland που παράχθηκε στο Medway και έπρεπε να αποθηκεύεται ανά 1.200 τόνους τσιμέντου, όσο και το φορτίο που μπορούσε να μεταφέρει μία φορηγίδα. Για κάποιο χρονικό διάστημα ένα ατμόπλοιο μισθώθηκε για την κίνηση των εργαζομένων, αλλά μετά από λίγο αντικαταστάθηκε με ένα μεγαλύτερο ικανό να μεταφέρει 450 άνδρες.

7.4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΒΑΘΡΩΝ

Οι τρεις αρθρωτοί πύργοι πατάνε σε τέσσερα κυκλικά βάθρα ο καθένας. Δεδομένου ότι τα θεμέλια έπρεπε να κατασκευαστούν στο ίδιο επίπεδο ή ακόμα και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια υδατοστεγών κιβωτίων και φρεατίων. Τα υδατοστεγή κιβώτια χρησιμοποιήθηκαν σε τοποθεσίες που ήταν πάντα κάτω από το νερό, ακόμη και σε χαμηλή παλίρροια, ή όπου τα θεμέλια έπρεπε να χτιστούν με λάσπη και πηλό. Τα φρεάτια χρησιμοποιήθηκαν εκεί που ο βράχος ήταν πιο κοντά στην επιφάνεια και ήταν εφικτό να δουλέψουν με χαμηλή παλίρροια. Έξι υδατοστεγή κιβώτια φτιάχτηκαν από την γαλλική ανάδοχο L. Coisea. Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε μια θετική πίεση αέρα μέσα σε ένα σφραγισμένο κιβώτιο για να επιτρέψει ξηρές συνθήκες εργασίας σε βάθη έως και 27 μ. Αυτά τα κιβώτια κατασκευάστηκαν και συναρμολογήθηκαν στη Γλασκώβη από τους αδελφούς Arrol, πριν αποσυναρμολογηθούν και μεταφερθούν στο Queensferry. Στη συνέχεια τα κιβώτια σχηματίστηκαν σε μεγάλο βαθμό πριν από την πτώση τους στις τελευταίες θέσεις.



Εικόνα 63 Το υδατοστεγές κιβώτιο

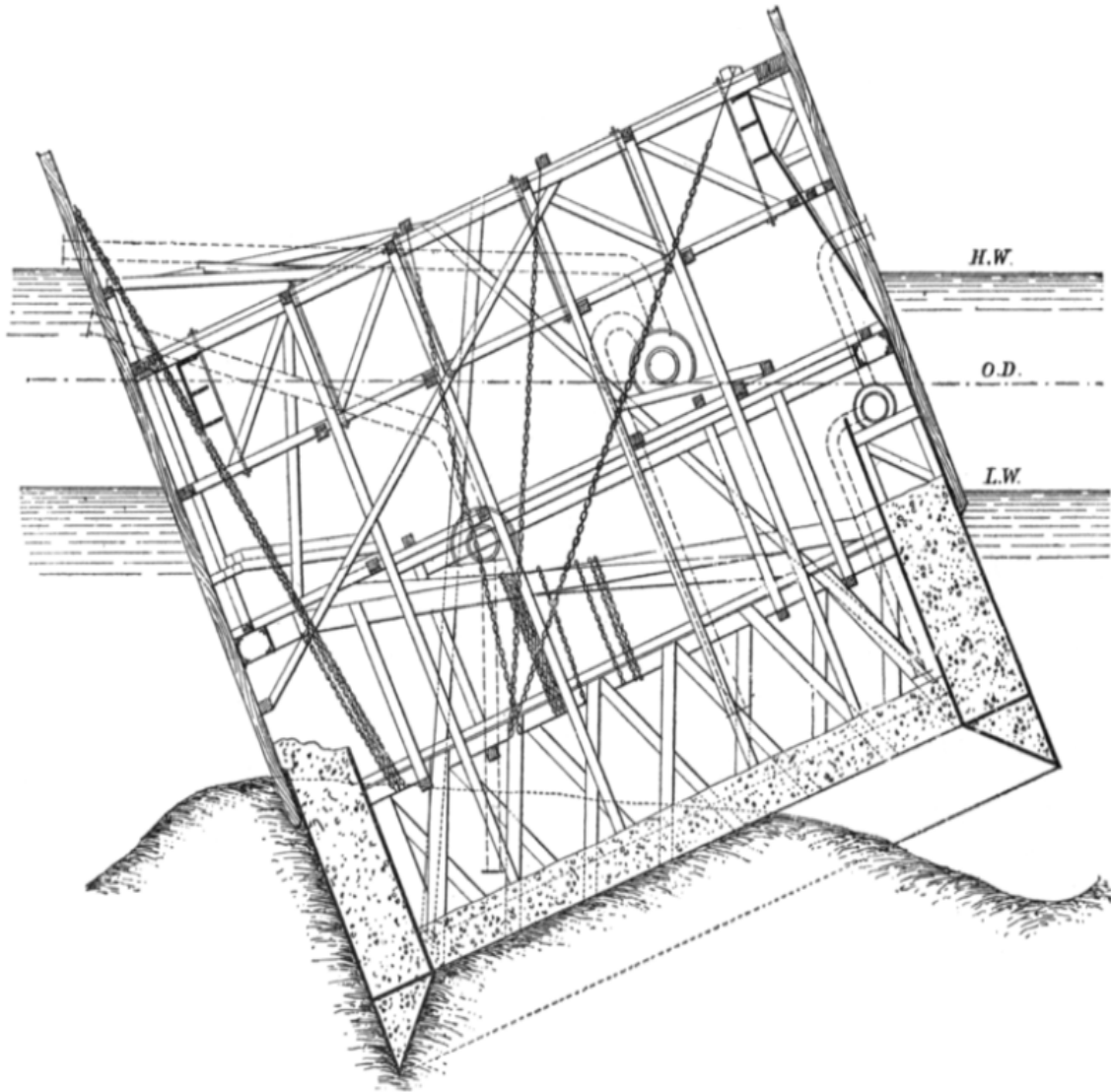
Το πρώτο κιβώτιο για το νοτιοδυτικό βάθρο στο South Queensferry ξεκίνησε στις 26 Μαΐου του 1884 και το τελευταίο στις 29 Μαΐου του 1885 για το νοτιοδυτικό βάθρο του Inchgarvie. Όταν τα κιβώτια πήγαν στην τελική τους τοποθεσία, επεκτάθηκαν προς τα πάνω με ένα προσωρινό φράγμα για να κρατήσουν το νερό έξω και να επιτρέψουν στο βάθρο από γρανίτη να κατασκευαστεί. Πάνω από τα θεμέλια, καθένα από τα οποία είναι διαφορετικό για να ταιριάζει στις διαφορετικές θέσεις που είναι, υπάρχει ένα κωνικό κυκλικό βάθρο από γρανίτη με διάμετρο 17 μ. στο κάτω μέρος και ύψος 11 μ.

7.4.5 INCHGARVIE

Ο βράχος πάνω στον οποίο βρίσκονται τα δύο βόρεια βάθρα του Inchgarvie είναι τελείως βυθισμένα στο νερό, ενώ για τα άλλα δύο βάθρα, το ανατολικό είναι περίπου το μισό βυθισμένο και το δυτικό είναι βυθισμένο κατά τα τρία τέταρτα του. Αυτό σήμαινε ότι η εργασία αρχικά έπρεπε να γίνει με χαμηλή παλίρροια. Τα νότια βάθρα του Inchgarvie είναι τοποθετημένα σε συμπαγή βράχο με κλίση περίπου 1 προς 5 και για αυτό το λόγο ο βράχος προετοιμάστηκε με σκυρόδεμα και σακιά για να δημιουργηθεί ένα σημείο έδρασης για τα κιβώτια. Η εκσκαφή διεξήχθη με γεώτρηση και ανατίναξη, μέχρι την απόσταση των 0,46 μ από τα κιβώτια, και ο υπολειπόμενος βράχος λατομήθηκε σε απόσταση μέχρι τα 150 χιλιοστά.

7.4.6 NORTH QUEENSFERRY & SOUTH QUEENSFERRY

Μόλις δημιουργήθηκαν οι θέσεις των βάθρων, η πρώτη αποστολή στο Fife ήταν να ισοπεδωθούν τα σημεία των βορειότερων βάθρων. Τα νότια βάθρα στο North Queensferry τοποθετούνται πάνω σε βράχο που κλίνει προς τη θάλασσα και η περιοχή προετοιμάζεται με τρύπες από γεωτρύπανα διαμαντιού για την ανατίναξη του βράχου. Τα κιβώτια του South Queensferry βυθίστηκαν και είναι πανομοιότυπα στο σχέδιο εκτός από τις διαφορές ύψους. Στην περιοχή των βάθρων του South Queensferry χτίστηκε μία προβλήτα σχήματος T, το οποίο έδινε τη δυνατότητα να τοποθετείται σε κάθε γωνιά του ένα κιβώτιο, όπου θα ενωνόταν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ανέβουν και να πέσουν με την παλίρροια. Η εκσκαφή κάτω από τα κιβώτια γινόταν μόνο κατά την παλίρροια όταν το περίβλημα στήριζε την πλευστότητα και έπειτα όταν έπεφτε η παλίρροια μειωνόταν η πίεση του αέρα, ώστε να επιτραπεί η πτώση του κιβωτίου και η εκσκαφή να ξεκινούσε εκ νέου. Το βορειοδυτικό κιβώτιο ρυμουλκήθηκε στη θέση του τον Δεκέμβριο του 1884, αλλά μια εξαιρετικά χαμηλή παλίρροια την Πρωτοχρονιά του 1885 έκανε το κιβώτιο να βυθιστεί στη λάσπη του ποταμού και να πάρει μια μικρή κλίση. Όταν έφτασε η παλίρροια, πλημμύρισε την κατώτατη άκρη, γεμίζοντας το κιβώτιο με νερό. Το πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν ότι, όταν η παλίρροια χαμήλωσε το νερό δεν έφυγε από το κιβώτιο και η βαρύτητα προκάλεσε περαιτέρω κλίση. Δύτες βίδωσαν πλάκες για να ανυψώσουν την άκρη του κιβωτίου πάνω από το επίπεδο του νερού και το περίβλημα ενισχύθηκε με ξύλινα στηρίγματα καθώς αντλούσαν το νερό, αλλά η άντληση πραγματοποιήθηκε πολύ γρήγορα και η πίεση του νερού άνοιξε μια οπή μεταξύ 7,6 και 9,1 μ. Έτσι αποφασίστηκε να κατασκευαστεί ένα "βαρέλι" από μεγάλα ξύλα στο εσωτερικό του κιβωτίου για να το ενισχύσει και χρειάστηκαν δέκα μήνες πριν την άντληση του νερού από το κιβώτιο και να σκαφτεί για να ελευθερωθεί. Το κιβώτιο ανελκύθηκε στις 19 Οκτωβρίου του 1885 και στη συνέχεια μεταφέρθηκε στη ακριβή θέση και βυθίστηκε με τις κατάλληλες τροποποιήσεις.



Εικόνα 64 Το κεκλιμένο κιβώτιο

7.4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΩΝ

Τα σωληνοειδή μέλη κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο υπ' αριθμόν 2 στο λόφο του South Queensferry. Για την κάμψη των μελών στο απαιτούμενο σχήμα, αρχικά θερμαίνονταν σε φούρνο αερίου και στη συνέχεια πιέζονταν ώστε να πάρουν το σωστό σχήμα. Τα καμπυλωτά μέλη στη συνέχεια συναρμολογήθηκαν σε ένα μανδρέλι και ανοίχτηκαν οπές για τα τα πριτσίνια, πριν μετακινηθούν στη σωστή θέση για να προστεθούν στην κατασκευή. Τα μέλη του δικτυώματος μαζί με άλλα στοιχεία συναρμολογήθηκαν επίσης στο South Queensferry, χρησιμοποιώντας γερανούς και υψηλής απόδοσης υδραυλικά πριτσίνια.



Εικόνα 65 Τα αρθρωτά δικτυώματα

Η γέφυρα ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 1889 και η δοκιμή του φορτίου της πραγματοποιήθηκε στις 21 Ιανουαρίου του 1890. Δύο τρένα, που αποτελούνταν από τρεις βαριές ατμομηχανές και 50 βαγόνια φορτωμένα με άνθρακα, συνολικού βάρους 1.880 τόνων, οδηγήθηκαν αργά από το South Queensferry στη μέση του βόρειου αρθρωτού δικτυώματος, σταματώντας συχνά για να μετρήσουν την εκτροπή της γέφυρας. Αυτό αντιπροσωπεύει περισσότερο από το διπλάσιο του σχεδιαστικού φορτίου της γέφυρας και η εκτροπή κάτω από το φορτίο ήταν όπως αναμενόταν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:

ΓΕΦΥΡΑ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου (Χαρίλαος Τρικούπης) είναι μία καλωδιωτή γέφυρα που αποτελείται από τέσσερεις πυλώνες και έχει μήκος δύο χιλιάδες διακόσια πενήντα δύο (2.252) μέτρα, ενώ σε αυτή περιλαμβάνονται και δύο γέφυρες πρόσβασης, η πρώτη τριακοσίων ενενήντα δύο (392) μέτρων από την περιοχή του Ρίου και η άλλη διακοσίων τριάντα εννέα (239) μέτρων στην περιοχή του Αντιρρίου. Εντάσσεται στις γέφυρες με τα μεγαλύτερα ανοίγματα, καθώς τα ανοίγματά της έχουν μήκος, με τη σειρά διακόσια ογδόντα έξι (286) μέτρα, πεντακόσια εξήντα (560) μέτρα, πεντακόσια εξήντα (560) μέτρα, πεντακόσια εξήντα (560) μέτρα και διακόσια ογδόντα έξι (286) μέτρα. Η συγκεκριμένη γέφυρα υπάρχει στο σημείο, που βρίσκεται ο δρόμος για Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνες, ο οποίος ενώνει τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδος και είναι μέρος του ευρωπαϊκού δικτύου αυτοκινητοδρόμων. Ταυτόχρονα, στο ίδιο σημείο ξεκινάει ο δυτικός άξονας Καλαμάτας-Πάτρας-Ηγουμενίτσας, δηλαδή η Ιόνια Οδός, μέσω της οποίας εξυπηρετείται η επικοινωνία της Ελλάδος με την γειτονική της χώρα την Ιταλία και κατ' επέκταση με την Δυτική Ευρώπη, αφού «επικοινωνούν» τα λιμάνια της Πάτρας και της Ηγουμενίτσας. Επιπλέον, μέσω της γέφυρας η διέλευση μεταξύ Ρίου- Αντιρρίου πραγματοποιείται σε άνετες και υψηλού επιπέδου συνθήκες, ενός ο χρόνος τους περάσματός τους από περίπου σαράντα πέντε λεπτά (45') μειώθηκε στα πέντε λεπτά (5').



Εικόνα 66 Η γέφυρα σήμερα

Η γέφυρα του Ρίου-Αντιρρίου αποτελούσε όραμα του Χαρίλαου Τρικούπη από όπου και το όνομα της. Ο ίδιος είχε καταγωγή από το Μεσολόγγι, περιοχή δίπλα στη σημερινή γέφυρα και διετέλεσε επανειλημμένα πρωθυπουργός την τελευταία εικοσαετία του 19ου αιώνα. Κατά την πρωθυπουργική του θητεία και συγκεκριμένα σε μία ομιλία του στη Βουλή των Ελλήνων το 1889, τόνισε την ανάγκη για άμεση σύνδεση των δύο περιοχών, όμως για να δρομολογηθεί το έργο αυτό και να καταστεί τεχνικά εφικτό, χρειαζόταν να περάσουν τουλάχιστον εκατό χρόνια. «Ο διαγωνισμός προκηρύχθηκε το 1991 και οι προσφορές κατατέθηκαν την 1η Δεκεμβρίου του 1993. Έτσι, στις 3 Ιανουαρίου του 1996 το Ελληνικό Δημόσιο και η εταιρία ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε. υπέγραψαν τη σύμβαση παραχώρησης για τη μελέτη, την κατασκευή, τη χρηματοδότηση, τη συντήρηση και την εκμετάλλευση της γέφυρας Ρίου - Αντιρρίου. Η σύμβαση αυτή όμως, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις παραχώρησης, τέθηκε σε ισχύ στις 24 Δεκεμβρίου του 1997, ενώ στις 25 Ιουλίου του 1997 υπογράφηκε η κύρια σύμβαση δανειοδότησης.». Με την ισχύ της σύμβασης αυτής ημερομηνία έναρξης ορίστηκε η 24η Δεκεμβρίου του 1997 ενώ παράδοσης 24η Δεκεμβρίου του 2004. Τελικά το έργο παραδόθηκε κατά τέσσερεις μήνες νωρίτερα (Αύγουστο του 2004).

Για την ολοκλήρωση του έργου χρειάστηκε να αντιμετωπιστούν αρκετές δυσόιωνες συνθήκες συνθηκών που συνθέτουν το φυσικό περιβάλλον της γέφυρας. Ειδικότερα, το βάθος της θάλασσας το οποίο είναι μεγάλο, δηλαδή φτάνει ως και τα εξήντα πέντε μέτρα, ο πυθμένας που είναι μειωμένων αντοχών και η έντονη σεισμική δραστηριότητα και οι πιθανές τεκτονικές μετακινήσεις.

Σχεδιασμός

Σχεδιαστικά το πιο δύσκολο φορτίο για το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής ήταν ο συνδυασμός τυχηματικού σεισμικού φορτίου. «Ο κρίσιμος τυχηματικός σεισμικός συνδυασμός φόρτισης συνίσταται στον σεισμό σχεδιασμού και 50% των τεκτονικών μετακινήσεων.». Η απάντηση αυτού πάρθηκε μέσα απο πολλές και διάφορες εναλλακτικές επιλογές τόσο ως προς το είδος της ανάρτησης, δηλαδή αν θα είναι καλωδιωτή ή κρεμαστή γέφυρα, όσο και ως προς το σύστημα θεμελίωσης. Τα θεμέλια και οι αντίστοιχες κατασκευαστικές μέθοδοι ήταν κύριο ζήτημα και έγνοια μέσα στις δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες που προαναφέρθηκαν (χαλαρό έδαφος πυθμένα, έντονες σεισμικές επιταχύνσεις και μεγάλο βάθος νερού), έτσι ελέγχθηκαν αρκετά διαφορετικά συστήματα θεμελίωσης, όπως θεμελίωση με πασσάλους, οι βαθιά πακτωμένοι θάλαμοι και η αντικατάσταση εδάφους και τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής, τη δυνατότητα υλοποίησης και την τεχνική αρτιότητα. Έπειτα από αναλύσεις η πιο ολοκληρωμένη λύση ήταν η αβαθής θεμελίωση, με προϋπόθεση πως θα μπορούσε να γίνει σημαντική βελτίωση για τα πρώτα είκοσι μέτρα του εδάφους, κάτι που υλοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση μεταλλικών ενθεμάτων.

Από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της κατασκευής είναι το συνεχές καλωδιωτό κατάστρωμα, το οποίο είναι το μεγαλύτερο σε μήκος στον κόσμο και είναι εντελώς αναρτημένο. Με την επιλογή του καλωδιωτού καταστρώ-

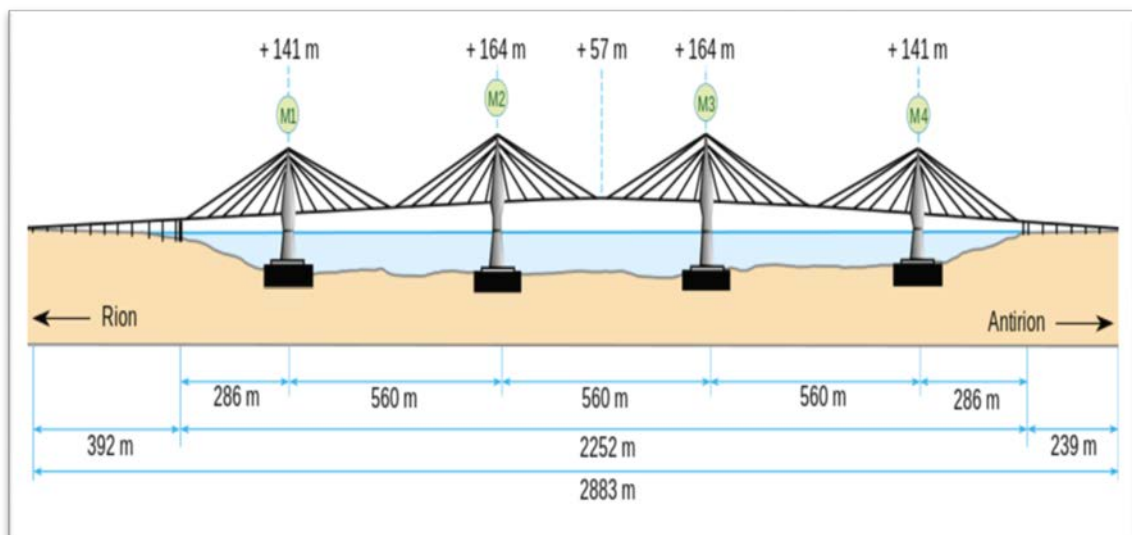
ματος μειώνονται σημαντικά οι σεισμικές δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό, ενώ ταυτοχρόνως εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ευκαμψία, ώστε να παραλαμβάνονται οι πιθανές μετακινήσεις ρηγμάτων μεταξύ των γειτονικών βάθρων.

Επίσης, κάθετα προς τον άξονα του μήκους του καταστρώματος, αυτό θα παρουσιάζεται ως εκκρεμές, που οι πλευρικές του κινήσεις πρέπει να περιορίζονται. Η λύση αυτού δόθηκε με την τοποθέτηση υδραυλικών αποσβεστήρων στους πυλώνες και στα μεταβατικά ακρόβαθρα, έτσι μεταξύ του καταστρώματος και των πυλώνων απορροφάται μεγάλο μέρος της ενέργειας, που εισάγεται κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων.

Τέλος, κατά τη διάρκεια των πολύ δυνατών ανέμων που συναντάμε στην Ελλάδα, το κατάστρωμα πρέπει να μένει σταθερό, παρεμποδίζοντας την μάταιη καταπόνηση του συστήματος απόσβεσης. Η λύση αυτού φαίνεται στη σύνδεση του «με κάθε έναν πυλώνα μέσω μιας οριζόντιας μεταλλικής ράβδου (που ονομάζεται «αναστολέας εγκάρσιας στήριξης») η οποία «απελευθερώνει» το κατάστρωμα σε περίπτωση ισχυρού σεισμικού γεγονότος, επιτρέποντας έτσι στους αποσβεστήρες να ενεργοποιηθούν. Ο αρμός διαστολής έχει σχεδιαστεί για να παραλαμβάνει τις μέγιστες μετακινήσεις χωρίς καμία ζημιά και περιορισμένες/ελεγχόμενες βλάβες για τον σεισμό σχεδιασμού».

Αρχιτεκτονική

Όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή της συγκεκριμένης ενότητας, η γέφυρα περιλαμβάνει την κυρίως γέφυρα, ειδικότερα μια καλωδιωτή γέφυρα πολλαπλών ανοιγμάτων μήκους 2.252 μέτρων, με ανοίγματα μήκους 286m-560m-560m-560m-286m και δύο γέφυρες πρόσβασης μήκους 392 μέτρων στην πλευρά του Ρίου (σύμμεικτο κατάστρωμα) και 239 μέτρων στην πλευρά του Αντιρρίου (προεντεταμένες αμφίεριστες δοκοί).



Εικόνα 67 Οι διαστάσεις της γέφυρας

8.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 4 στάδια:

Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης

Στάδιο 2: Κατασκευή βάθρων

Στάδιο 3: Καλώδια ανάρτησης

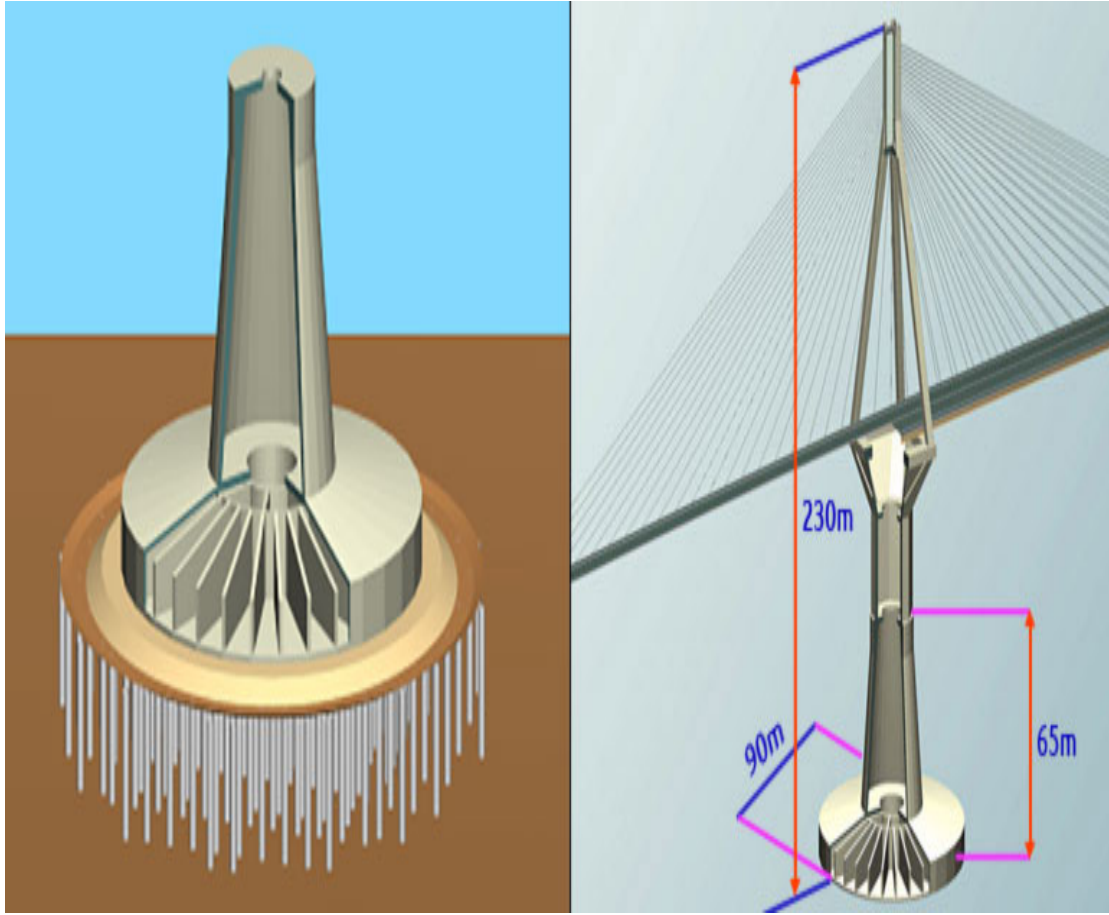
Στάδιο 4: Κατασκευή καταστρώματος

8.2.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Όπως σημειώθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, η άνω στρώση του υπεδάφους, που θα τοποθετιόντουσαν οι πυλώνες, ενισχύθηκε με μεταλλικά ενθέματα και συγκεκριμένα με κοίλους μεταλλικούς σωλήνες, με μήκος είκοσι πέντε ως τριάντα μέτρα και διάμετρο δύο μέτρα, «που εμπήγνουνται ανά αποστάσεις» επτά μέτρων ανάμεσά τους. «Στη θέση των βάθρων τοποθετήθηκαν κατά περίπτωση 110-200 τέτοιοι σωλήνες». Τα μεταλλικά αυτά ενθέματα καλύπτονται με μία στρώση αμμοχάλικου πάχους τριών μέτρων. Επιπλέον, τα θεμέλια της γέφυρας, που τοποθετούνται στη στρώση του αμμοχάλικου, αποτελούνται από τριάντα δύο θαλάμους, οι οποίοι είναι ενισχυμένοι με πέδιλα δηλαδή, σκυρόδεμα με διάμετρο ενενήντα μέτρων

8.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΘΡΩΝ

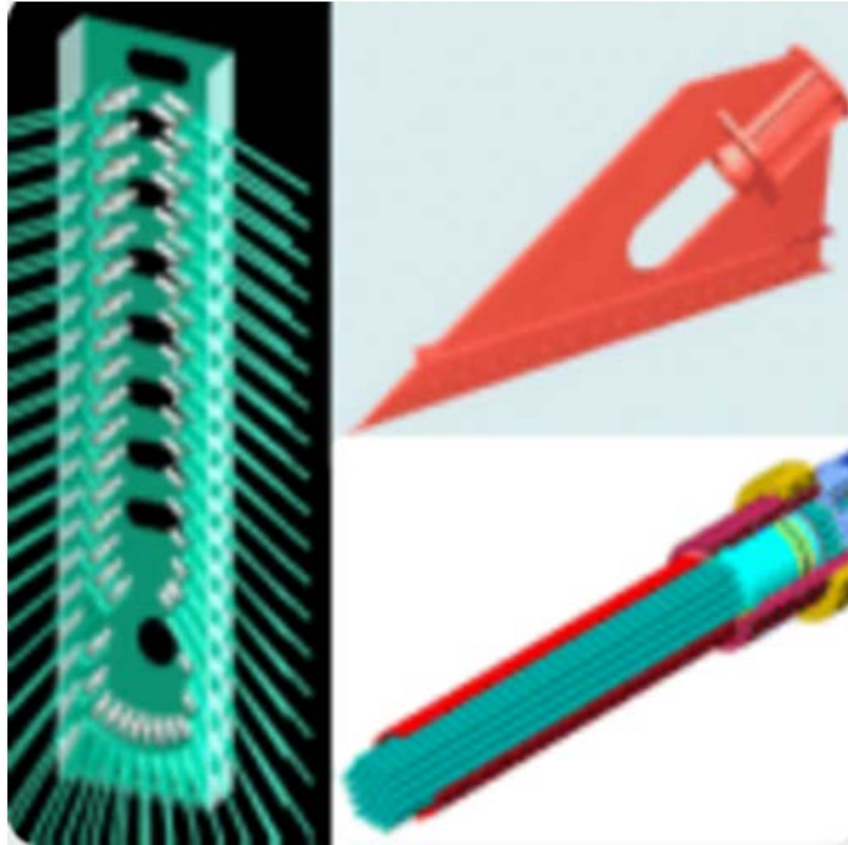
Το άνω μέρος του βάθρου αποτελείται από τον κορμό του, που είναι μία οκταγωνική κατασκευή και την κεφαλή του, μια ανεστραμμένη πυραμίδα ύψους σχεδόν δέκα πέντε μέτρων. Το κάτω μέρος του βάθρου περιλαμβάνει έναν κώνο με διάμετρο είκοσι έξι ως τριάντα οκτώ μέτρα. Οι πυλώνες έχουν από μία τετράγωνη βάση με πλευρά τριάντα οκτώ μέτρων και τέσσερα σκέλη διατομής 4x4 μέτρων τα οποία αρχίζουν από τις τέσσερις γωνίες της βάσης του πυλώνα και ενώνονται στην κορυφή της κεφαλής του, δίνοντας έτσι στο έργο την αναγκαία ακαμψία, «ώστε να υπάρχει αντοχή σε ασύμμετρα φορτία λειτουργίας και σεισμικές δυνάμεις». Τα σκέλη αυτά είναι ενισχυμένα με σκυρόδεμα.



Εικόνα 68 Δεξιά η θεμελίωση του βάθρου και αριστερά το σύνολο του βάθρου από την ένωση με το πέδιλο μέχρι την κορυφή του πυλώνα

8.2.3 ΚΑΛΩΔΙΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ

«Τα καλώδια ανάρτησης είναι τοποθετημένα σε δύο κεκλιμένες διατάξεις, με το κάτω μέρος τους να αγκυρώνεται στις πλευρές του καταστρώματος και το πάνω μέρος τους στην κεφαλή του πυλώνα. Αποτελούνται από 43 ως 73 παράλληλους γαλβανισμένους τένοντες που προστατεύονται από μια στρώση εξηλασμένου πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE). Τέλος, όλοι οι τένοντες είναι τοποθετημένοι μέσα σε περίβλημα από HDPE. Το σύστημα καλωδίων ανάρτησης που έχει προμηθεύσει η εταιρεία Freyssinet είναι εξοπλισμένο με ειδικά εξαρτήματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του σε ισχυρούς σεισμούς. Περιλαμβάνει διατάξεις που ασφαλίζουν τις σφήνες σε περίπτωση που το καλώδιο αποφορτίζεται και σωλήνες εκτροπής στην αγκύρωση, για να ελέγχεται η καμπυλότητα του καλωδίου στη διάρκεια σεισμικών ταλαντώσεων».

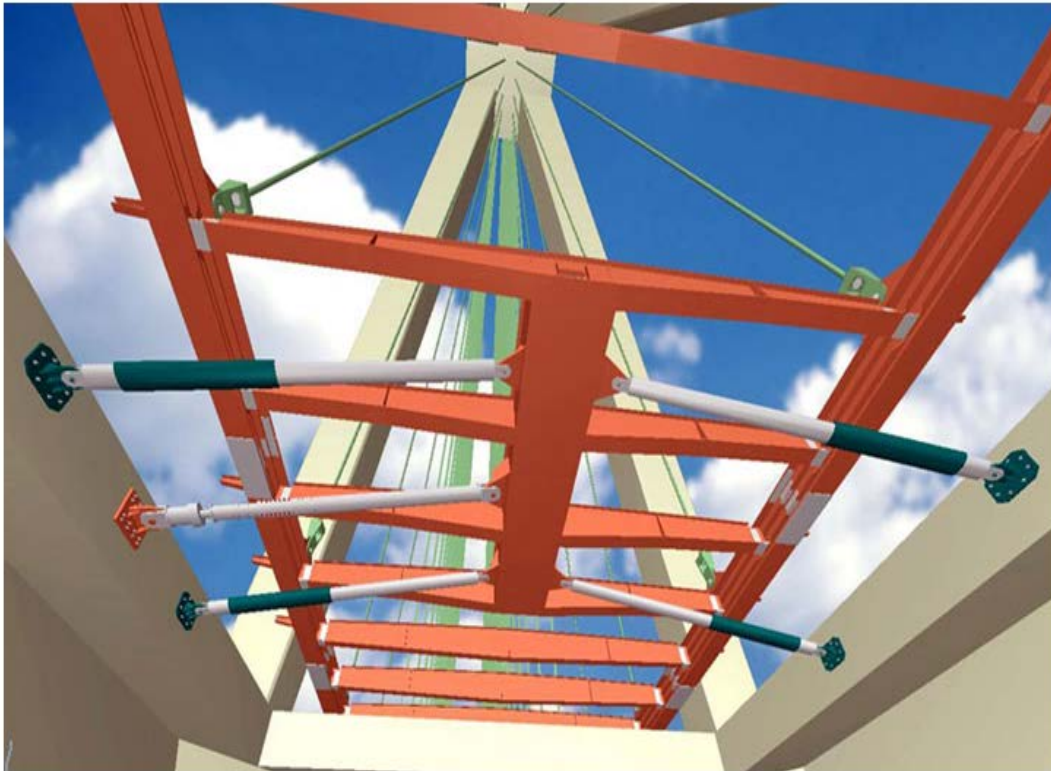


Εικόνα 69 Το σύστημα των καλωδίων και ο τρόπος αγκύρωσης σε πυλώνα και κατάστρωμα

8.2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το κατάστρωμα είναι πλάτους είκοσι επτά μέτρα και δύο εκατοστά και περιλαμβάνει δύο λωρίδες κυκλοφορίας, μια λωρίδα ασφαλείας και πεζοδρόμιο σε κάθε κατεύθυνση. Η πάνω δομή του είναι συνεχόμενη και σε όλο της το μήκος είναι πλήρως αναρτημένη με καλώδια ανάρτησης. Το μεγάλο σύστημα απόσβεσης που ενώνει το κατάστρωμα με τις κορφές των βάθρων και βοηθά στον περιορισμό της πλευρικής κίνησης του καταστρώματος, απορροφώντας τη σεισμική ενέργεια σε περιπτώσεις σεισμικής δόνησης. «Το σύστημα αντισεισμικής προστασίας περιλαμβάνει αναστολείς εγκάρσιων στηρίξεων (ικανότητα 10.5 MN και 3.5 MN στα κυρίως βάθρα και τα μεταβατικά ακρόβαθρα αντιστοιχώς) και ιξώδεις αποσβεστήρες (ικανότητας 3,5 MN ο καθένας) που λειτουργούν παράλληλα και συνδέουν εγκάρσια το κατάστρωμα με τα βάθρα.». Οι αναστολείς εγκάρσιων στηρίξεων σε στιγμή σεισμού αφήνουν τους ιξώδεις αποσβεστήρες ελεύθερους να απορροφήσουν την ενέργεια που εκλύεται από τον σεισμό στην κατασκευή. Οι υδραυλικοί αποσβεστήρες κατασκευής της FIP-Industriale S.p.A έχουν τη δυνατότητα να μετατοπιστούν -1650mm/+1850mm στα κυρίως βάθρα και -2600mm/+2600mm στα μεταβατικά ακρόβαθρα. «Οι αναστολείς είναι σχεδιασμένοι ως σταθερή σύνδεση που προστατεύει τα υδραυλικά εξαρτήματα παραλαμβάνοντας τα φορτία ανέμου». Ύστερα από μία ενδεχόμενη σεισμική ενέργεια το

κατάστρωμα σταθεροποιείται σε μικρό χρονικό διάστημα, με την αντικατάσταση των αναγκαίων εξαρτημάτων αναστολέων των εγκάρσιων στηρίξεων.



Εικόνα 70 Το σύστημα απόσβεσης του καταστρώματος στην κορυφή του βάθρου

Η γέφυρα του Ρίου-Αντιρρίου είναι μία σύμμεικτη κατασκευή που είναι από χαλύβδινο σκελετό και έχει δύο διαμήκεις πλακοδοκούς ύψους δύο μέτρων και δύο εκατοστών σε κάθε πλευρά και εγκάρσιες πλακοδοκούς ανά τέσσερα μέτρα. Η άνω πλάκα είναι ενισχυμένη με σκυρόδεμα.

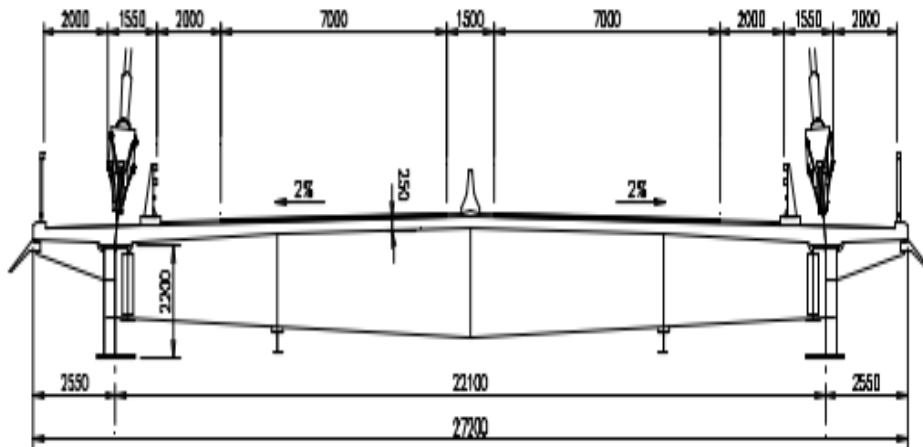
Η δοκιμές της υλοποιήθηκαν σε αεροδυναμική σήραγγα του γαλλικού ερευνητικού κέντρου CSTB – Nantes, για να μπορέσει να εξασφαλιστεί ότι τηρούνται όλες οι αεροδυναμικές προϋποθέσεις και να μπορέσει να βρεθεί η ακριβής βέλτιστη γεωμετρία της διατομής του καταστρώματος.

Το κατάστρωμα στη διαμήκη διεύθυνση έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί όλες τις επιβαλλόμενες θερμικές και τεκτονικές μετακινήσεις. Γι' αυτό τα ακρόβαθρα είναι περιστρεφόμενα μεταλλικά πλαίσια, ώστε να υφίστανται δυνατές οι μεγάλες μετακινήσεις του καταστρώματος μήκους 2.252 μέτρων.

Επίσης, στην ένωση της κεντρικής γέφυρας με τις γέφυρες πρόσβασης οι αρμοί συστολο-διαστολών, από τη Maurer Söhne δύνανται να παραλάβουν σε λειτουργία μετακίνηση 1,22 μ (κλείσιμο) και 1,26 μ (άνοιγμα) κατά μήκος και έχουν σχεδιαστεί για μέγιστη μετακίνηση 2,20 μ (κλείσιμο) και 2,81 μ (άνοιγμα) κατά μήκος και +/- 2,50 μ εγκάρσιως για τον σεισμό σχεδιασμού.



Εικόνα 71 Η σύνδεση του καταστρώματος με το μεταλλικό περιστρεφόμενο ακρόβαθρο



Εικόνα 72 Η διατομή του καταστρώματος

8.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την κατασκευή υπερθαλάσσιων πλατφόρμων χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο θεμέλια από σκυρόδεμα. Επίσης, η κατασκευή των πέλδλων των θεμέλιων πραγματοποιείται σε ξηρά δεξαμενή, η οποία τοποθετήθηκε σε μικρή απόσταση από το εργοτάξιο, είχε μήκος διακόσια μέτρα και βάθος δεκατέσσερα μέτρα και ήταν το ύψος μέχρι δεκαπέντε μέτρα, για να μπορεί να υπάρχει η άνωση που απαιτείται, ενώ συγχρόνως δύνανται να υποστηρίξει την ταυτόχρονη κατασκευή δύο θεμελίων. Η κατασκευή του πρώτου θεμελίου γινόταν πίσω από ένα ανάχωμα και όταν ρυμουλκείτο έξω, το δεύτερο θεμέλιο, το οποίο είχε ήδη αρχίσει να κατασκευάζεται, έπλεε στη μπροστινή θέση και χρησίμευε ως θύρα της δεξαμενής. Έπειτα αυτά ρυμουλκούνται και προσδένονται σε υγρά δεξαμενή με το αναγκαίο επαρκή βάθος. Επιπλέον, η κατασκευή του κωνικού τμήματος των θεμελίων γίνεται σε υγρά δεξαμενή και σε συνθήκες επίπλευσης, που ασφαρίζεται με αλυσίδες και είναι εύκολα προσβάσιμο από την ξηρά με τη χρήση προσωρινών επιπλευσών γεφυρών. Ακόμα, υλοποιείται η κατασκευή της επιτόπιας θεμελίωσης υπεδάφους με ειδικευμένο θαλάσσιο εξοπλισμό και τέλος η ρυμούλκηση και η πόντιση των θεμελίων στην τελική τους θέση.

Μεγάλο θαλάσσιο εγχείρημα, το οποίο χρειαζόταν ειδικό εξοπλισμό και διαδικασίες ήταν η βυθοκόρηση του πυθμένα, η έμπηξη ενθεμάτων, η τοποθέτηση και η διάστρωση κατάλληλα διαβαθμισμένου εδαφικού υλικού σε βάθος εξήντα πέντε μέτρων. Η πλωτή εξέδρα ήταν μια ιδιοκατασκευή που βασίστηκε στο πολύ γνωστό σύστημα των εξεδρών τεταμένης κατακορύφου αγκυρώσεως (TLP), που χρησιμοποιήθηκε όμως για πρώτη φορά σε κινητό εξοπλισμό. Το σύστημα αυτό βασίστηκε στην ενεργό κατακόρυφη αγκύρωση σε αντίβαρα τοποθετημένα στον πυθμένα της θάλασσας. Η τάνυση σε αυτά τα κάθετα συρματόσχοινα αγκύρωσης διαμορφώθηκε έτσι ώστε η εξέδρα να μπορεί να σταθεροποιείται σε κινήσεις της θάλασσας και με τα φορτία που χειρίζεται ο γερανός που υπάρχει στο κατάστρωμά της. Με το τέντωμα των συρματόσχοινων αγκύρωσης, η άνωση της εξέδρας επιτρέπει στα βάρη αγκύρωσης να ανασηκώνονται από τον πυθμένα της θάλασσας και έτσι η εξέδρα και τα βάρη της μπορούν να πλεύσουν σε νέα θέση.



Εικόνα 73 Η κατασκευή των θεμελίων στην ξηρά δεξαμενή



Εικόνα 74 Η ρυμούλκηση του θεμελίου

Οι βάσεις των βάθρων όπως αναφέρθηκε με την ολοκλήρωσή τους τοποθετήθηκαν στην τελική τους θέση. Οι θάλαμοι που δημιουργούνται στα θεμέλια, από τις ακτινωτές δοκούς χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αντιστάθμισης και της πόντισης με διαφορικό ερματισμό. Στη συνέχεια, «οι βάσεις των βάθρων πληρώθηκαν με νερό για να επιταχυνθούν οι καθιζήσεις, που είναι σημαντικές (μεταξύ 0,1 και 0,2 μ)». Έτσι ακριβώς έγινε και με την κατασκευή του κορμού του βάθρου και της κεφαλής του και έτσι μπορούσε να πραγματοποιηθεί διόρθωση ενδεχόμενων διαφορικών καθιζήσεων πριν την κατασκευή των πυλώνων και της ανωδομής καταστρώματος.

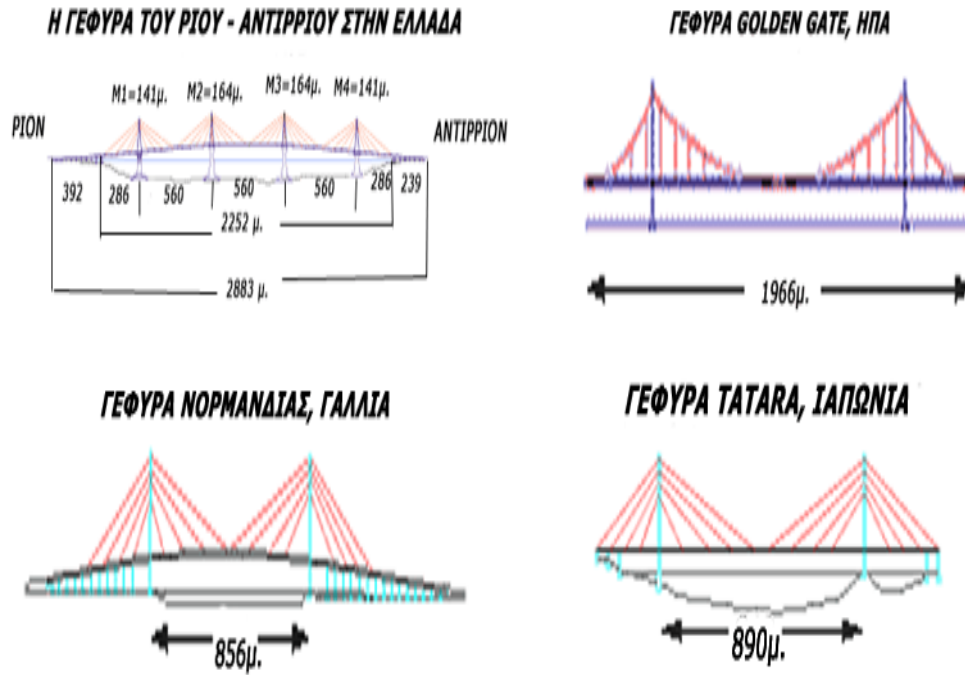
Η κατασκευή της κυρίως γέφυρας έγινε με την τεχνική της αμφίπλευρης προβολοδόμησης, με προκατασκευασμένα στοιχεία καταστρώματος με μήκος δώδεκα μέτρων μαζί με την πλάκα σκυροδέματός τους. Το βάρος του προκατασκευασμένου τεμαχίου ανερχόταν στους τριακόσιους σαράντα τόνους, ενώ τοποθετήθηκε με πλωτό γερανό (TAKLIFT 7) και ο ρυθμός ανέγερσης της δομής καταστρώματος έφτανε την εβδομάδα τα εξήντα μέτρα.



Εικόνα 75 Η κατασκευή του καταστρώματος με την τεχνική της αμφίπλευρης προβολοδότησης

8.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΓΝΩΣΤΕΣ

Η αναγκαιότητα και η δυσκολία του έργου φαίνεται μέσω της σύγκρισης των διαστάσεων της γέφυρας αυτής με άλλες «μεγάλες» γέφυρες σε ολόκληρο τον κόσμο. Αρχικά, σε θέμα μήκους καλωδιωτού καταστρώματος, η γέφυρα του Ρίου-Αντιρρίου είναι η μεγαλύτερη παγκοσμίως με μόλις δύο χιλιάδες διακόσια πενήντα δύο μέτρα (2.252 μ.), έτσι την καθιστά μεγαλύτερη ακόμα και από την πολύ γνωστή κρεμαστή γέφυρα Golden Gate, συνολικού μήκους καταστρώματος χιλίων εννιακοσίων εξήντα έξι μέτρων (1966μ.). «Στην κατάταξη καλωδιωτών γεφυρών με βάση το άνοιγμα η γέφυρα Tatara στην Ιαπωνία και η γέφυρα της Νορμανδίας στη Γαλλία βρίσκονται στην πρώτη και στη δεύτερη θέση στον κόσμο (890 και 856 μέτρα αντιστοίχως), ενώ στην πρώτη δεκάδα περιλαμβάνεται και η γέφυρα Ρίου - Αντιρρίου με βασικό άνοιγμα 560 μέτρων. Η τελευταία όμως, χάρις στους 4 πυλώνες της (αντί των 2 που αποτελούν την κοινή πρακτική).».



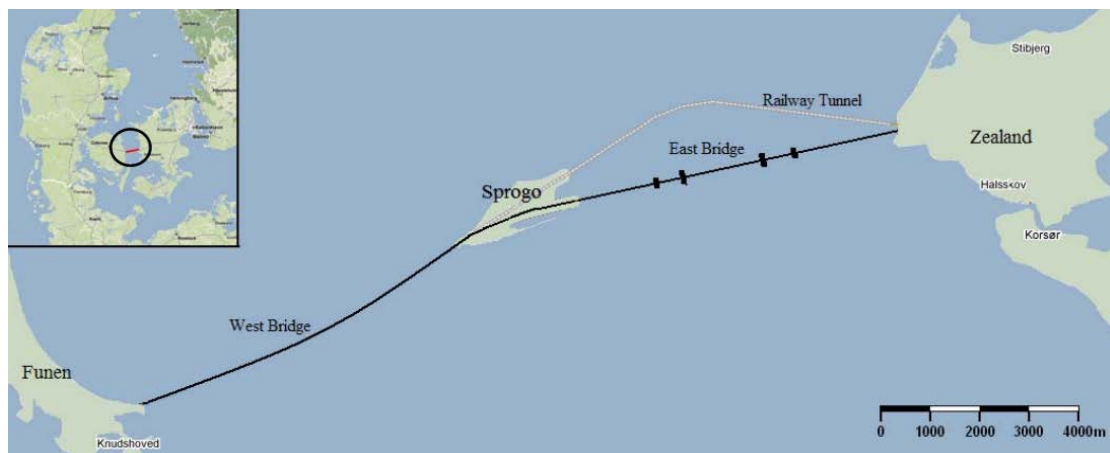
Εικόνα 76 Οι διαστάσεις σε 4 από τις μεγαλύτερες γέφυρες του κόσμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:

ΓΕΦΥΡΑ GREAT BELT

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Great Belt, ή Storebaelt στα δανέζικα, είναι ένα φαρδύ στενό 16-32 χιλιομέτρων μεταξύ των δύο μεγαλύτερων δανέζικων νησιών, Zealand και Funen. Για εκατοντάδες χρόνια η διαδρομή μεταξύ των δύο νησιών με πλοία θεωρούνταν από τους Δανούς ως εξαιρετικά σημαντική, αλλά οι δουλειά των πορθμείων συχνά διαταράσσονταν λόγω των καταιγίδων και του ιδιαίτερα σκληρού χειμώνα. Η κατασκευή ενός οδικού συνδέσμου για την αντικατάσταση των πορθμείων ήταν υπό συζήτηση για αρκετές δεκαετίες μέχρι το 1987, όταν ένα σχέδιο για την κατασκευή του τελικά εγκρίθηκε από την κυβέρνηση.



Εικόνα 77 Το στενό Great Belt

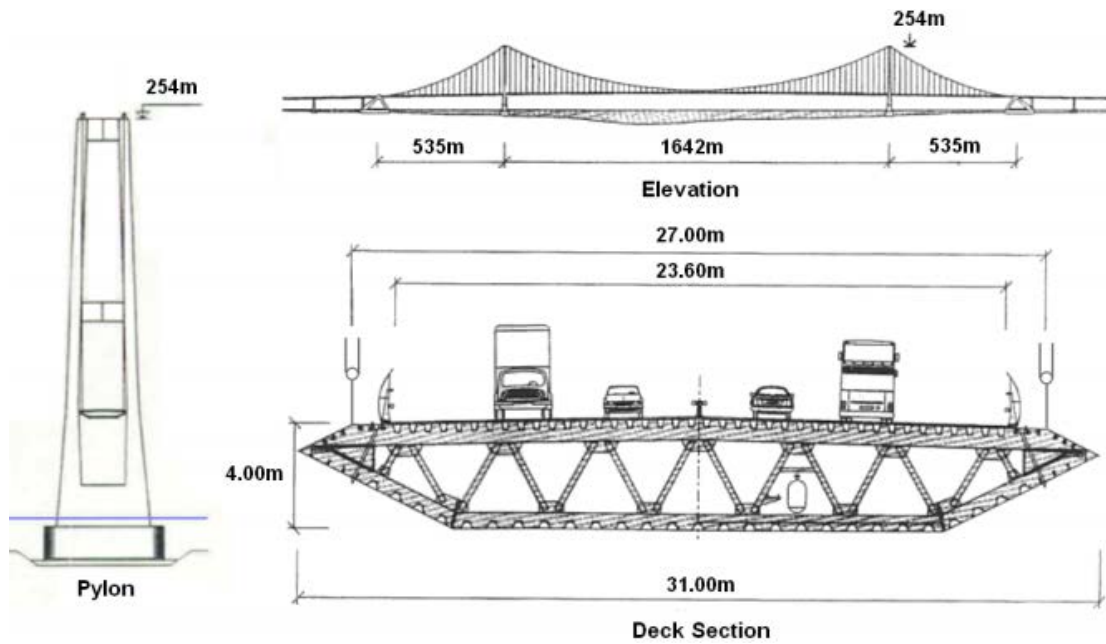
Η κατασκευή άρχισε το 1988, αν και ο σύνδεσμος ήταν ανοικτός για την κυκλοφορία του σιδηροδρόμου πάνω από ένα έτος, η βασίλισσα Margrethe II της Δανίας εγκαινίασε τελικά το τελευταίο του μέρος, με την ανατολική γέφυρα να ανοίγει για την κυκλοφορία οχημάτων στις 14 Ιουνίου του 1998. Ο σύνδεσμος αυτός διακηρύχθηκε ως το μεγαλύτερο μηχανικό εγχείρημα της Δανία, μειώνοντας το χρόνο μετακίνησης στη χώρα, συνδέοντας την πρωτεύουσα της Κοπεγχάγης με την υπόλοιπη Δανία καθώς και με την ηπειρωτική Ευρώπη. Ο ίδιος ο σύνδεσμος διασπάται από το νησί Sprogø και αποτελείται από μια κρεμαστή γέφυρα και μια σιδηροδρομική σήραγγα ανάμεσα στα νησιά Sprogø και Zealand, αλλά και μια γέφυρα με δοκού μεταξύ των νησιών Funen και Sprogø. Με τους πυλώνες που φθάνουν έως και 254 μ η κρεμαστή γέφυρα στην ανατολική πλευρά του Great Belt είναι χωρίς αμφιβολία το πιο εντυπωσιακό μέρος του έργου. Η ανατολική γέφυρα έχει 1.624 μ κεντρικό άνοιγμα, που επισκιάζεται μόνο από την Akashi-Kaikyo (γέφυρα στην Ιαπωνία) που είχε μόλις ολοκληρωθεί 2 μήνες νωρίτερα.



Εικόνα 78 Η ανατολική γέφυρα σήμερα

9.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Το σχεδιασμό της γέφυρας ανέλαβε μία κοινοπραξία των CBR και της COWI Σύμβουλοι Μηχανικοί και Σχεδιαστές, B. Hojlund Rasmussen και Ramboll & Hannemann, ενώ οι Δανοί αρχιτέκτονες Dissing και Weitling προσέφεραν όλες τις αισθητικές συμβουλές για το σχεδιασμό. Το Great Belt είναι μία διεθνής ναυτιλιακή διαδρομή και ως εκ τούτου ένα πέρασμα μεγάλης κυκλοφορίας πλοίων, με περίπου 20.000 σκάφη ετησίως. Πραγματοποιήθηκε μελέτη που αφορούσε τη θεωρητική σύγκρουση πλοίων καθώς και προσομοιώσεις πραγματικών συνθηκών πλοήγησης. Αυτές οι μελέτες έδειξαν ότι το κύριο άνοιγμα πρέπει να υπερβαίνει τα 1,5 χιλιόμετρα, οπότε μια κρεμαστή γέφυρα ήταν η μόνη ρεαλιστική λύση για την κάλυψη των βασικών απαιτήσεων. Με μια βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, επιλέχθηκε μια γέφυρα με 1.624 μ κύριο άνοιγμα και δύο πλάγια ανοίγματα των 535 μ, που φέρουν έναν αυτοκινητόδρομο τεσσάρων λωρίδων συν τις λωρίδες έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 79 Οι κύριες διαστάσεις της γέφυρας

9.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η φάση κατασκευής της γέφυρας χωρίστηκε σε 5 στάδια:

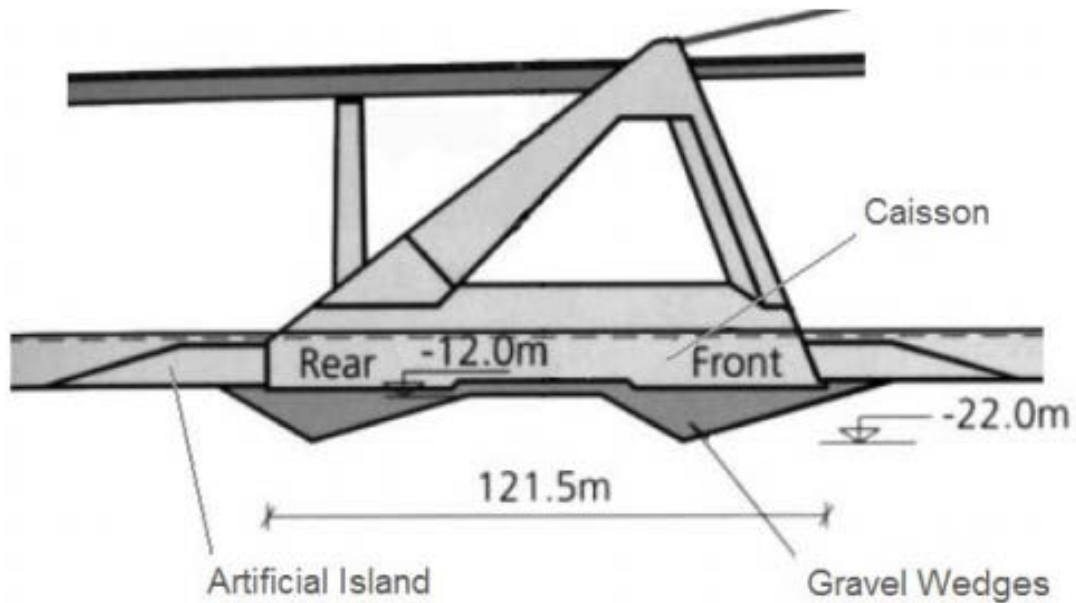
- Στάδιο 1: Κατασκευή θεμελίωσης
- Στάδιο 2: Κατασκευή πυλώνων
- Στάδιο 3: Κατασκευή βάθρων αγκύρωσης
- Στάδιο 4: Κατασκευή δοκού
- Στάδιο 5: Σύστημα καλωδίων

9.3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Η κατασκευή της θεμελίωσης της γέφυρας αφορά δύο κομμάτια. Την θεμελίωση των βάθρων αγκύρωσης και την θεμελίωση των πυλώνων

9.3.1.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΒΑΘΡΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

Για την κατασκευή των βάθρων ήταν απαραίτητο να σκαφτούν 22 μ κάτω από το επίπεδο της θάλασσας μέσα στον άργιλο για να τοποθετηθεί μία βάση θεμελίωσης από ένα σφηνοειδές χαλίκι που θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τη μεγάλη οριζόντια φόρτωση. Για να μειωθεί η διατμητική τάση στην επαφή και για να σταματήσει το βάθρο να ολισθαίνει κατά μήκος της λεπτής εξασθενημένης από τις ανασκαφές επιφάνειας του αργιλικού εδάφους, κατασκευάστηκαν δύο πέτρινες ογκώδης κλίνες σχήματος σφήνας με κλίση 16 μοίρες. Αυτές οι σφήνες υποστηρίζουν το μπροστινό και το πίσω μέρος του βάθρου αγκύρωσης, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 80.



Εικόνα 80 Διάφορα τμήματα της θεμελίωσης των βάθρων αγκύρωσης

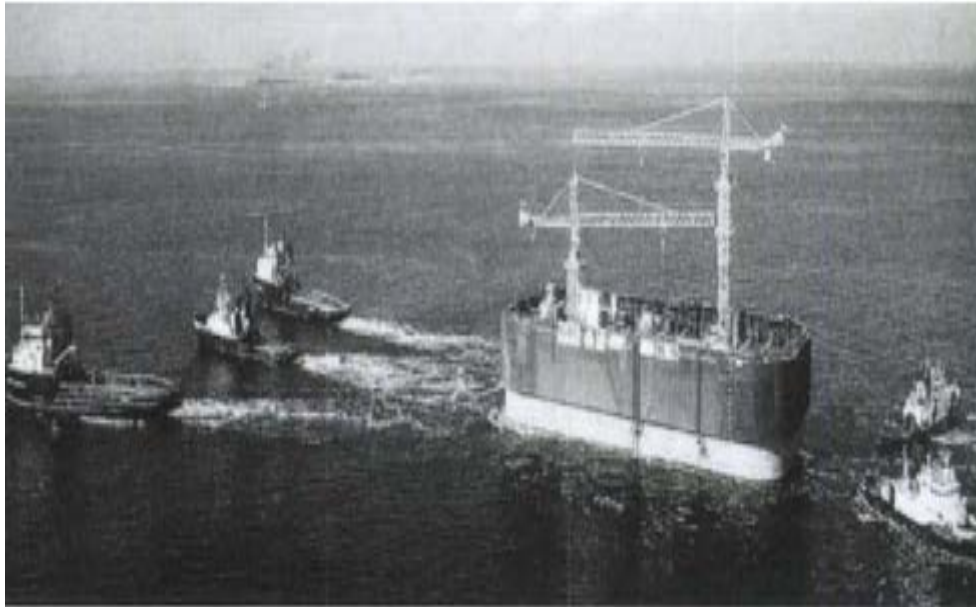
Η επαφή μεταξύ του κιβωτίου, του βάθρου αγκύρωσης και των σφηνών εξασφαλίζονται με χύτευση κάτω από τη βάση. Η κορυφή του κιβωτίου ήταν 4 μ πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Από αυτό το επίπεδο το υπόλοιπο βάθρο αγκύρωσης ανέβηκε μέχρι το τελικό του ύψος.



Εικόνα 81 Το κιβώτιο του βάθρου αγκύρωσης

9.3.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΠΥΛΩΝΩΝ

Το βάθος του νερού γύρω από τους πυλώνες είναι 20 μ. Για την κατασκευή έγινε εκσκαφή 10 μ σε ένα μαλακό στρώμα εδάφους και τοποθετήθηκε μία βάση 5 μ από θρυμματισμένη πέτρα. Τα κιβώτια έχουν χαλύβδινα πλακίδια που είναι 0,5 μ ψηλά που διεισδύουν στην πέτρινη βάση κατά 0,3 μ. Η επαφή μεταξύ της πέτρινης βάσης και του κιβωτίου εξασφαλίζεται επίσης με χύτευση. Η κορυφή του κιβωτίου του πυλώνα είναι 6 μ κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και έτσι χρησιμοποιήθηκε χαλύβδινο υδατοστεγές περίβλημα για να ανεβάσουν τη βάση του πυλώνα μέχρι τα 21 μ πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 82 Η ρυμούλκηση του κιβωτίου για τους πυλώνες

9.3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΥΛΩΝΩΝ

Οι πυλώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα φτάνουν σε ύψος τα 254 μ, σπάζοντας το ρεκόρ της γέφυρας Humber. Αυτό ήταν αποτέλεσμα του ασυνήθιστα μεγάλου καλωδιακού ανοίγματος. Οι πυλώνες έχουν δεχθεί επίσης ένα μεγάλο αριθμό αισθητικών βελτιώσεων, καταργώντας την ιδιαίτερα παραδοσιακή τεχνική των διασταυρωμένων δοκών κάτω από το κατάστρωμα όπως συνηθίζεται όταν έχουμε συνεχής δοκό καταστρώματος. Μετά τα 21 μ ο πυλώνας χωρίστηκε σε δύο μεγάλες κεκλιμένες κολώνες. Οι κολώνες αυτές κατασκευάστηκαν σε 58 κομμάτια μήκους 4 μ χρησιμοποιώντας αναρριχόμενα πανέλα. Ο μηχανισμός αυτός αποτελούνταν από επτά επίπεδα εργασίας για τη στερέωση οπλισμού, τη σκυροδέτηση και το τελικό φινίρισμα της επιφάνειας. Το σκυρόδεμα ερχόταν στο πεδίο με πλοία μέσω τακτικών δρομολογίων.



Εικόνα 83 Η κατασκευή των πυλώνων

9.3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΘΡΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

Τα βάθρα αγκύρωσης είναι ανοιχτές κατασκευές. Αυτό ήταν αποτέλεσμα του αισθητικού σχεδιασμού, αλλά είχε και πρακτικά πλεονεκτήματα όπως η μείωση της απαιτούμενης ποσότητας σκυροδέματος και επίσης το ανοικτό σχήμα σήμαινε ότι κατά τη διάρκεια της περιστροφής του καλωδίου τα βάθρα αγκύρωσης θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως περιοχές χειρισμού των καλωδίων.



Εικόνα 84 Μορφή του βάρου μας δείχνει πώς οι δυνάμεις από τα καλώδια μεταφέρονται στο πίσω μέρος του.

9.3.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΟΥ

Η κιβωτιοειδής δοκός από συγκολλημένο χάλυβα είναι συνεχής μεταξύ των βάθρων αγκύρωσης σε όλο το μήκος των 2700 μ. Ως εκ τούτου, υπάρχουν αρμοί διαστολής, που βρίσκονται στα βάθρα αγκύρωσης οι οποίοι δεν υπάρχουν στους πύργους. Η κάθετη ελαστική υποστήριξη παρέχεται αποκλειστικά από τα κατακόρυφα συρματόσχοινα. Αυτό εξάλειψε την ανάγκη για εφέδρανα στους πυλώνες που θα απαιτούσαν συντήρηση. Η μορφή της κιβωτιοειδούς δοκού βοήθησε από μόνη της την προκατασκευή, αλλά και στην αεροδυναμική απόδοση της γέφυρας. Εγκάρσιες δοκοί στο εσωτερικό της γέφυρας βελτιώνουν την αντοχή στην καταπόνηση του καταστρώματος. Το εσωτερικό του καταστρώματος προστατεύεται επίσης από τη διάβρωση και από την αφύγρανση.



Εικόνα 85 Η τοποθέτηση των πάνελ του καταστρώματος από την φορηγίδα

9.3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Ο λόγος καλωδίωσης 1:9 αποφασίστηκε να είναι ο βέλτιστος για τη μείωση των δυνάμεων ολίσθησης στις αγκυρώσεις. Τα κύρια καλώδια έχουν μήκος 3079 μ. Κάθε καλώδιο αποτελείται από 37 κλώνους οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούνται από 504 υψηλής εφελκυστικής αντοχής γαλβανισμένα σύρματα, τα οποία έχουν διάμετρο 5,38mm. Τα καλώδια προστατεύονται επίσης αφού είναι τυλιγμένα με ένα χαλύβδινο σύρμα που τοποθετείται σε μια πάστα ψευδαργύρου, ενώ είναι κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας μια νέα τροποποιημένη έκδοση του παραδοσιακού τρόπου. Η γέφυρα υποστηρίζεται κάθε 24μ από ένα ζεύγος συρματόσχοινων. Τα συρματόσχοινα αυτά προστατεύονται από μία θήκη πολυουρεθάνης. Τα συρματόσχοινα έχουν σχεδιαστεί έτσι

ώστε ένα ζευγάρι να μπορεί να αφαιρεθεί κατά την αντικατάστασή του, χωρίς να διαταραχθεί η κυκλοφορία στη γέφυρα.



Εικόνα 86 Η τοποθέτηση των κύριων καλωδίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10:

ΓΕΦΥΡΑ ΒΛΟΥΚΡΑΝΣ

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γέφυρα Bloukrans είναι μια εκπληκτική τοξωτή γέφυρα μονού ανοίγματος, που βρίσκεται στην περιοχή του Νότιου Ακρωτηρίου στη Νότια Αφρική. Η γέφυρα είναι μία από τις τρεις που λειτουργούν στη λεγόμενη 'Garden Route' διαδρομή για να βελτιώσουν τη συγκοινωνιακή σύνδεση μεταξύ του Πορτ Ελίζαμπεθ και Κέιπ Τάουν, με τη Bloukrans είναι η μεγαλύτερη.



Εικόνα 86 Η γέφυρα Bloukrans

Ο σχεδιασμός της γέφυρας έγινε από την Lienberg & Stander Western Cape Ltd και ο κύριος ανάδοχος ήταν ο Murray και ο Roberts. Η γέφυρα αρχικά προοριζόταν να έχει διπλάσιο πλάτος αλλά η έλλειψη χρηματοδότησης σήμαινε ότι ο σχεδιασμός έπρεπε να μειωθεί. Η κατασκευή άρχισε στο Bloukrans το Φεβρουάριο του 1980, χρησιμοποιώντας μια ανασταλμένη μέθοδο προβόλου για την κατασκευή του τόξου και το κατάστρωμα ξεκίνησε

σταδιακά μετά την ολοκλήρωση της αψίδας. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 1983, όπου με την ολοκλήρωση της, η γέφυρα ήταν η υψηλότερη τοξωτή γέφυρα με μονό άνοιγμα στην Αφρική και η τέταρτη υψηλότερη στον κόσμο.

10.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BLOUKRANS

Μήκος καταστρώματος 450μ

Πλάτος καταστρώματος 16μ

Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας 2

Ύψος καμάρας 62μ

Καθαρή έκταση αψίδας 272μ

Πλάτος αψίδας 12μ

Αριθμός στηλών 23x2

Μέγιστο ύψος στήλης 65,5μ

10.3 ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ

10.3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Συχνά πραγματοποιείται αισθητική ανάλυση των γεφυρών σύμφωνα με τους 10 κανόνες που περιγράφονται από τον Fritz Leonhardt στο βιβλίο του «Bridges». Ο Leonhardt πίστευε ότι οι απλές, κομψές και αρμονικές γέφυρες ήταν αισθητικά ισχυρότερες. Οι κανόνες που ανέπτυξε ενεργούν ως κατευθυντήριες αρχές για τους σχεδιαστές σε όλο τον κόσμο, ωστόσο είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι αυτές είναι μόνο οδηγίες. Οι 10 κανόνες του είναι οι εξής:

1. Εκπλήρωση της λειτουργικότητας.
2. Αναλογίες της γέφυρας.
3. Τάξη εντός της κατασκευής.
4. Βελτίωση του σχεδιασμού.
5. Ενσωμάτωση στο περιβάλλον.
6. Υφή της επιφάνειας.
7. Χρώμα των μελών της γέφυρας.
8. Χαρακτήρας.

9. Πολυπλοκότητα στο είδος.
10. Ενσωμάτωση της φύσης της γέφυρας.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού δόθηκε μεγάλη προσοχή στην αισθητική της γέφυρας καθώς περνάει <<παρθένα>> δάση σε μια περιοχή εξαιρετικής φυσικής ομορφιάς.

10.3.2 Η ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BLOUKRANS

Αισθητικά, το πρώτο και πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της γέφυρας είναι ότι <<φαίνεται>> σωστή, οι διαστάσεις, οι αναλογίες και το σχήμα φαίνονται όλα σωστά. Το τόξο είναι ένα απλό σχήμα και κάνει μία καλή σχεδιαστική αίσθηση σε αυτήν την τοποθεσία για μια σειρά τεχνικών και αισθητικών λόγων. Από την άποψη εκπλήρωσης της λειτουργικότητας η Bloukrans δεν μπορεί να αμφισβητηθεί. Η ασπίδα είναι ένα οικείο σχήμα και χρησιμοποιείται σε γέφυρες για εκατοντάδες χρόνια. Η τακτική απόσταση των στηλών και το μέγεθος της ασπίδας και του καταστρώματος δίνει άνεση στους χρήστες της γέφυρας. Η εμφανής διαδρομή των φορτίσεων είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό που μπορεί να εκτιμηθεί και από το ευρύ κοινό. Ο Leonhardt ασχολήθηκε με την αρμονία και την απλότητα της γέφυρας και είναι εύκολο να δούμε ότι και τα δύο έχουν επιτευχθεί με μεγάλη επιτυχία.



Εικόνα 86 Φωτογραφία με τους στήλους, το τόξο και τη διάταξη του καταστρώματος

Οι αναλογίες της γέφυρας δόθηκαν προφανώς με ιδιαίτερη προσοχή, από το πάχος της ασπίδας στο βάθος του δρόμου και το πλάτος των στηλών. Η τακτική απόσταση των στηλών φαίνονται και έχουν την αίσθηση του σωστού. Το πάχος της ασπίδας είναι μεγαλύτερο από το άλλα στοιχεία, κάτι που δείχνουν με σαφήνεια πώς λειτουργεί η κατασκευή. Επιπλέον το λεπτό κατάστρωμα έχει την επίδραση να ενισχύει την «αισθητική» δύναμη της ασπίδας. Σύμφωνα με τον Leonhardt οι άκρες και οι γραμμές της κατασκευής πρέπει να είναι λείες και συνεχής για να δίνουν καλή τάξη στην κατασκευή. Η γέφυρα το κάνει αυτό τέλεια με την λεία επιφάνεια στη δοκό και με τα βάρθρα στις άκρες του καταστρώματος να βρίσκονται σε εσοχές, αν και απαραίτητο καθώς η ασπίδα είναι στενότερη από το κατάστρωμα. Έχοντας δύο μόνο

βάθρα το ένα δίπλα στο άλλο, λύνεται το πρόβλημα της αδιαφάνειας όταν η γέφυρα παρατηρείται λοξά. Ορισμένα στοιχεία φαίνεται να μην έχουν τελειοποιηθεί σε τέτοιο βαθμό. Το κατάστρωμα φαίνεται να βυθίζεται στο κέντρο που είναι σχετικά ασυνήθιστο και ελαφρώς άβολο στις γέφυρες, ωστόσο, αυτό υπαγορεύτηκε από την τοπογραφία. Το ύψος των στηθαίων είναι επίσης σημαντικό επιτρέποντας σχετικά χαμηλά στηθαία με κενά μεταξύ τους, οι χρήστες του δρόμου μπορούν να επωφεληθούν πλήρως από την εκπληκτική θέα. Η γέφυρα έχει παραμείνει στο φυσικό χρώμα του σκυροδέματος. Αυτό φαίνεται να λειτουργεί καλά με το φυσικό περιβάλλον γιατί οι προεξοχές του χαλαζίτη και του ψαμμίτη έχουν το ίδιο χρώμα. Επίσης η γέφυρα φαίνεται και από κάτω γιατί η χρήση του γκρι χρώματος στη γέφυρα την βοηθάει να ξεχωρίζει έναντι του καθαρού μπλε ουρανού. Η χρήση του φυσικού χρώματος παίζει σημαντικό ρόλο γιατί συμβάλλει στην ενσωμάτωση της γέφυρας στο περιβάλλον. Η χρήση μιας τοξωτής γέφυρας φαίνεται η καταλληλότερη για την τοποθεσία, γιατί μία αψίδα ταιριάζει καλύτερα στο περιβάλλον από ένα ατσάλινο δικτύωμα ως εναλλακτική λύση. Η κρυφή θεμελίωση λειτουργεί ιδιαίτερα καλά καθώς η αψίδα φαίνεται να προέρχεται απευθείας από το τείχη της κοιλάδας. Η υφή της γέφυρας έχει παραμείνει στο φυσικό της φινίρισμα, καθώς η γέφυρα είναι μια “under-bridge”, η υφή της δεν είναι τόσο σημαντική. Ο χαρακτήρας της γέφυρας είναι αναμφισβήτητος με τις απλές γραμμές της κατασκευής και την εντυπωσιακή τόλμη. Η Bloukrans καταφέρνει να εξισορροπήσει την απλότητα με τη λεπτή πολυπλοκότητα, αυτό έρχεται σε μεγάλο βαθμό από την εκλεπτυσμένη σχεδίαση και περιλαμβάνει παράγοντες όπως ο περιορισμός των διακοπών σε γραμμές, η απόκρυψη των βάθρων και κάνοντας τη μικρότερη διάσταση των στηλών ορατή σε υπόμετρο. Συνολικά μπορούμε να πούμε ότι οπτικά η Bloukrans είναι μια μεγάλη επιτυχία συγκριτικά με τους 10 κανόνες για την αισθητική του Leonhardt. Η χρήση της αψίδας είναι κατάλληλη για το περιβάλλον και το μέγεθος της δίνει την αίσθηση της μεγάλης δύναμης. Γενικά θα να είναι δύσκολο να βελτιωθεί η αισθητική του σχεδιασμού της γέφυρας.

10.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η επιλογή μιας τοξωτής γέφυρας με το φορτίο να μεταφέρεται απευθείας στις πλευρές της κοιλάδας σχεδόν κάθετα, έχει γεωτεχνική σημασία και είναι η προφανής σχεδιαστική επιλογή για αυτήν την τοποθεσία. Η κατασκευή έξω από την κοιλάδα, όπως και στην περίπτωση της καλωδιωτής γέφυρας Clifton δεν έχει νόημα τεχνικά λόγω των εκτεταμένων εργασιών που απαιτείται για τη σταθεροποίηση των πρανών της κοιλάδας για την αποφυγή αστοχίας της πλαγιάς. Για πολλά χρόνια ο αδύναμος βράχος διαβρωνόταν και παρασύρονταν από τα τοιχώματα της κοιλάδας, με μόνο τα ισχυρά και ανθεκτικά βράχια να μένουν πίσω, ωστόσο αυτός ο βράχος είναι πιθανότατα αποσαθρωμένος σε μεγάλο βαθμό, και έτσι δεν μπορούμε να βασιστούμε στην κατασκευαστική του ακεραιότητα. Τα στρώματα των βράχων στην περιοχή έχουν διπλωθεί σχεδόν κάθετα. Αυτό έχει προκαλέσει σχηματισμό ραβδώσεων κατά μήκος των τειχών της κοιλάδας λόγω των διαφορετικών στρωμάτων και των ποσοστών διάβρωσης. Τα κύρια υλικά που υπάρχουν

στην κοιλάδα είναι χαλαζίτης και ψαμμίτης. Επίσης υπάρχουν στοιχεία αργιλώδους ψαμμίτη, αραιώδης σχιστόλιθος και σχιστόλιθος. Ο ορυκτός χαλαζίας κατατάσσεται υψηλά στην κλίμακα σκληρότητας Mohs. Αυτό δίνει μια καλή ένδειξη ότι τα τείχη της κοιλάδας θα έχουν επαρκή αντοχή για την υποστήριξη της αψίδας.

10.5 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Για την επιλογή του κατάλληλου σημείου της θεμελίωσης, απαιτούνται λεπτομερείς διερευνητικές επίγειες εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν. Η αρχική έρευνα έδειξε έναν πολύ σπασμένο αλλά σφιχτό αδιατάραχτο βράχο στην ανατολική πλευρά. Στη δυτική πλευρά υπάρχουν πολλές αδύναμες περιοχές σχιστόλιθου, αλλά αυτές ήταν καλά περιορισμένες από μία τεράστια στρώση «γραμμή» χαλαζιακού ψαμμίτη από βορρά προς νότο. Η ζώνη των βάθρων απαιτούσε προσεκτική γεωτεχνική εξέταση προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η εγκατάσταση της αψίδας. Μια διπλή διαστατική ανάλυση έδειξε ότι μια μετατόπιση μόλις 13 mm σε κάθε μία από τις βάσεις της καμάρας θα ήταν αναμενόμενη. Περίπου 12 μ χαλαρού υλικού κάτω από τα βάθρα της αψίδας αφαιρέθηκαν σαν εδαφική προετοιμασία της θεμελίωσης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι για τη σταθεροποίηση των πλευρών της κοιλάδας και για την προετοιμασία του εδάφους για την φόρτιση. Πρώτον, εγχύθηκαν ενέματα μέσα σε τρύπες που γίνανε στα μέτωπα της κοιλάδας για να κρατήσουν το βράχο ενωμένο και δεύτερον τοποθετήθηκαν αγκύρια για να αποτρέψουν την αστοχία της πλαγιάς.

10.6 ΣΕΙΣΜΟΙ

Η Νότια Αφρική βρίσκεται σε μία σχετικά μη ενεργή σεισμική περιοχή. Μέχρι τις 29 Σεπτεμβρίου του 1969 στη χώρα δεν είχαν παρουσιαστεί σημαντικοί σεισμοί και η σεισμική φόρτωση που δόθηκε από τους σχεδιαστές ήταν μικρή. Ωστόσο, στις 29 Σεπτεμβρίου του 1969 ένας σεισμός μεγέθους 6.3 βαθμών σημειώθηκε στην περιοχή Tulbagh. Μετά την εκδήλωση αυτού, έγινε ένας αριθμός από σχετικά ισχυρούς μετασεισμούς χωρίς την αναμενόμενη τοποθεσία που είναι κοινό χαρακτηριστικό των ενδοπλακικών σεισμών. Αυτό το γεγονός είχε σοβαρές επιπτώσεις στο σχεδιασμό της γέφυρας. Ο οικονομικός και κοινωνικός αντίκτυπος αν η γέφυρα κατέρρεε λόγω σεισμού θα ήταν ανυπολόγιστος. Πριν από το σχεδιασμό, έγινε μια μελέτη για τον προσδιορισμό πιθανών επιταχύνσεων εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και η πιθανότητα αυτών των γεγονότων να συμβούν κατά τη διάρκεια της ζωής της γέφυρας. Η μελέτη έδειχνε ότι ένα σεισμικό συμβάν έντασης VI στη τροποποιημένη κλίμακα Mercalli είχε 90% πιθανότητα να μην γίνει στα επόμενα 200 χρόνια. Αυτό αντιστοιχούσε σε επιταχύνσεις εδάφους μεταξύ 0,04g και 0,08g. Ο τελικός σχεδιασμός της γέφυρας ελέγχθηκε με επιτάχυνση εδάφους 0,1 g, που είναι προσομοίωση κάπου μεταξύ του VI και του VII στην κλίμακα Mercalli.

10.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

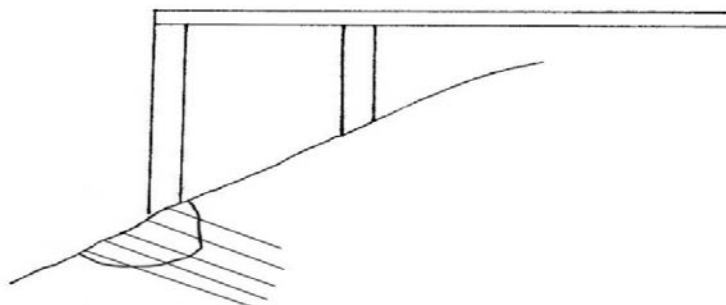
Όλα τα στοιχεία της γέφυρας κατασκευάστηκαν από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα. Αυτό δημιουργεί έναν αριθμό τεχνικών προβλημάτων για τους σχεδιαστές. Η μεγαλύτερη από τις αποφάσεις είναι αν θα χρησιμοποιηθούν προκατασκευασμένα κομμάτια ή αν θα γίνει επί τόπου έγχυση σκυροδέματος.

Η διαδικασία κατασκευής πραγματοποιήθηκε σε τρία κύρια στάδια σε περίοδο 36 μηνών. Αυτά είναι:

1. Η κατασκευή της αψίδας
2. Η ανέγερση των στηλών
3. Η κατασκευή του καταστρώματος

10.7.1 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΑΨΙΔΑΣ

Η αψίδα ήταν το πρώτο από τα τρία στοιχεία που έπρεπε να κατασκευαστεί, αν και αυτό το κομμάτι καλύπτει δύο πτυχές: την κατασκευή των βάθρων και την κατασκευή της ίδιας της αψίδας. Το πάχος της αψίδας ποικίλλει παραβολικά από πάχος 3,6 μ στο κέντρο έως 5,6 μ στην ένωση με τα βάθρα έτσι ώστε να γίνεται αποτελεσματική χρήση των υλικών. Η πρώτη φάση της κατασκευής ήταν να εκτελεστούν οι εργασίες του εδάφους που αναφερθήκαμε πιο πάνω. Χρειάστηκε ένα επιπλέον άνοιγμα στην ανατολική πλευρά για γεωμετρική ευθυγράμμιση λόγω της ασύμμετρης φύσης του φαραγγιού. Οι στήλη ανυψώθηκαν και στα δύο αναχώματα μέχρι το σημείο της βάσης της αψίδας. Ένα σετ στηλών και για τις δύο πλευρές σχεδιάστηκε για να ενεργούν πάνω στο σημείο έδρασης της αψίδας, για να μειωθεί ο αριθμός των ξεχωριστών θεμελίων.



Εικόνα 87 Σχεδιάγραμμα της πρώτης φάσης κατασκευής

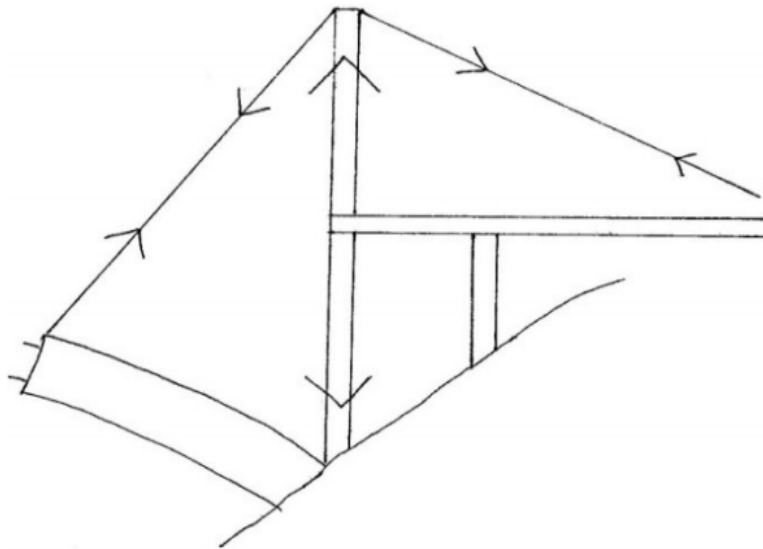
Σε αυτό το στάδιο άρχισε η κατασκευή της αψίδας και από τις δύο πλευρές. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανασταλμένου προβόλου και το σκυρόδεμα χύθηκε επί τόπου με μεταφερόμενους ξυλότυπους. Ακόμα φτιάχτηκε ένα τελεφερίκ πάνω από την κοιλάδα το οποίο λειτούργησε ως γερανός για τη μεταφορά υλικών στο πεδίο και αυτό ήταν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που

επιτάχυνε την κατασκευή.



Εικόνα 87 Η κατασκευή της αψίδας

Η χρήση της μεθόδου του ανασταλμένου προβόλου ήταν η καταλληλότερη για αυτή την τοποθεσία. Εναλλακτικά θα μπορούσαν να είχαν ανεγερθεί προσωριοί χαλύβδινοι πυλώνες σε ολόκληρη την κοιλάδα μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής. Αυτό η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε πολύ από τον Ελβετό μηχανικό, Maillart που σχεδίασε πολλές γέφυρες αψίδων στην Ελβετία. Στις μέρες μας αυτό το σύστημα είναι αντιοικονομικό λόγω του μεγάλου απαιτούμενου χρόνου κατασκευής και των επιπλέον υλικών που απαιτούνται. Τα κύρια πλεονεκτήματα του ανασταλμένου προβόλου είναι τα ανοίγματα μεγάλων αποστάσεων και η ικανότητα να ρυθμίζετε με ακρίβεια το ύψος της αψίδας με τα καλώδια ανάρτησης, όπου στην περίπτωση της Bloukrans όταν η κατασκευή πλησίαζε στην ολοκλήρωσή της, η μία πλευρά της αψίδας είχε ανυψωθεί πάνω από 600 mm. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το κόστος που σχετίζεται με την ανέγερση των προσωρινών βάθρων για τα καλώδια υποστήριξης. Επίσης η προς τα κάτω δύναμη που προκαλείται από τα βάθρα των καλωδίων υποστήριξης δημιουργούν υψηλά κάθετα φορτία που δρουν στα θεμέλια της αψίδας και μέσω των στηλών.



Εικόνα 88 Σχεδιάγραμμα που δείχνει τις δυνάμεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής

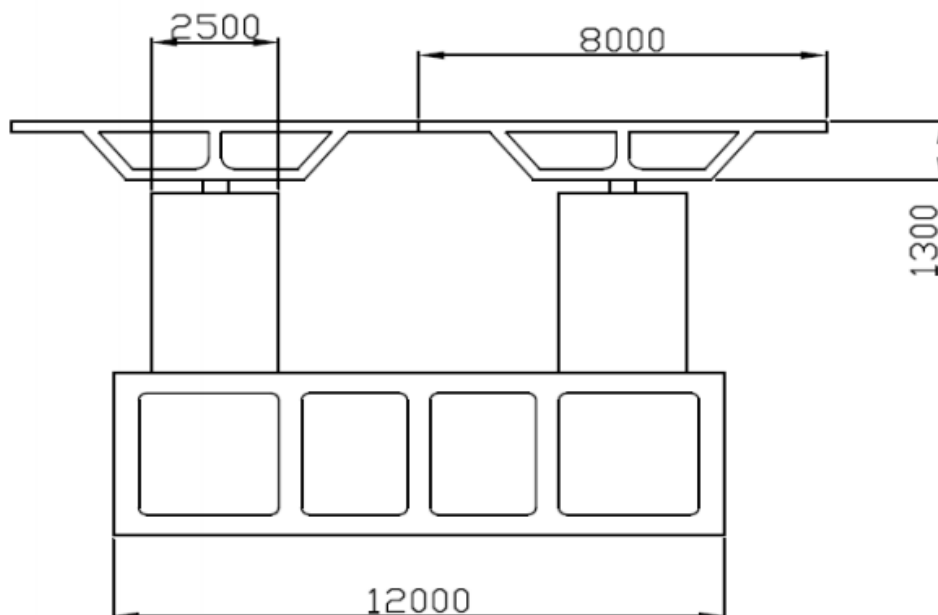
Με τη χρήση απλής στατικής μπορούμε να δούμε τη δύναμη από τα καλώδια υποστήριξης και τη δύναμη στη στήλη που ενεργεί στο βάθρο. Αντιμετωπίζοντας την κατάσταση ως μία αρθρωτή γέφυρα υποστηριζόμενη με τα καλώδια που λειτουργούν ως ένα, οι δυνάμεις στο καλώδιο μπορούν να βρεθούν. Η δυσμενέστερη φόρτωση στο κομμάτι αυτό θα πραγματοποιηθεί λίγο πριν από το ένωση των δύο τμημάτων όταν το μήκος του προβόλου θα είναι 135μ. Για το σκοπό αυτού του απλού υπολογισμού, γίνεται η παραδοχή ότι τα καλώδια συναντούν τον στύλο υπό γωνία 70° και αυτό θα έδινε μια τιμή για την τάση στο καλώδιο ίση με 87155,6 kN το ανώτατο επιτρεπτό όριο. Εάν υποθεθεί τότε ότι τα πίσω καλώδια ισορροπίας συναντούν τη στήλη στην ίδια γωνία με το καλώδιο υποστήριξης, η δύναμη που δρα μέσω των στηλών μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι 59618 kN. Αυτή η υψηλή δύναμη θα είναι ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού και στον στύλο, αλλά και για τα θεμέλια του βάθρου της αψίδας. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην **εικόνα 87** φαίνεται καθαρά ότι έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά καλώδια υποστήριξης. Ένα μόνο καλώδιο μπορεί να λειτουργεί κάτω από μεγάλες δυνάμεις και κατά επέκταση θα αυξηθεί δυσανάλογα με το εφαρμοζόμενο φορτίο, οδηγώντας σε σημαντικές εκτροπές και πιθανή κατάρρευση του προβόλου. Κατά την κατασκευή υπήρχε επίσης σημαντικό πρόβλημα στα δύο τμήματα με τον δυνατό άνεμο. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής τα τμήματα αγκυρώθηκαν αποτελεσματικά στο οριζόντιο επίπεδο. Αυτό σήμαινε ότι η κατασκευή δεν είχε κανέναν τρόπο αντίστασης στην οριζόντια φόρτιση του ανέμου. Μία λύση για να ξεπεραστεί αυτό ήταν να δεθούν τα μέτωπα των προβόλων με τις πλευρές της κοιλάδας, το οποίο φαίνεται στην **εικόνα 87**. Η ένωση των δύο τμημάτων της αψίδας ήταν περίπλοκη και λεπτή διαδικασία αλλά μετά την ολοκλήρωση της, η αψίδα θα είχε αποκτήσει τη δομική της ακεραιότητα και το επόμενο στάδιο της κατασκευής θα μπορούσε να ξεκινήσει.

10.7.2 Η ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΤΩΝ ΣΤΗΛΩΝ

Με την αφίδα να έχει ολοκληρωθεί και την αντοχή του σκυροδέματος να είναι στα προβλεπόμενα επίπεδα, η ώρα για την ανέγερση των στηλών είχε φτάσει. Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τον παραδοσιακό τρόπο χτισίματος με οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο οπλισμός εγκαταστάθηκε, οι ξυλότυποι τοποθετήθηκαν και στη συνέχεια χύθηκε το σκυρόδεμα. Οι στήλες τοποθετήθηκαν με 19 μ απόσταση κεντρικά και με 15 μ σε κάθε άκρο. Τρία διαφορετικά μεγέθη στηλών χρησιμοποιήθηκαν σε όλη τη γέφυρα, με το πιο σύνηθες να είναι 2,5 μ x 1 μ, με ορατή τη λεπτή επιφάνεια λειτουργούσε καλύτερα από αισθητικής άποψης, αλλά επίσης κάνει και τη στήλη πιο ανθεκτική στις ροπές κάμψης που προκαλούνται από τη διαμήκη επέκταση του καταστρώματος λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Με δύο στήλες τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη, στηρίζονται τα δύο μονά κουτιά του καταστρώματος. Το σχετικά μικρό διάκενο μεταξύ των στηλών επιτρέπει στο να γίνει πιο ομοιόμορφη η φόρτιση της αφίδας, καθώς επίσης και στο να γίνει πιο λεπτό κατάστρωμα. Το μέγιστο ύψος οποιασδήποτε στήλης ήταν 65,5μ.

10.7.3 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το κατάστρωμα είναι κατασκευασμένο από δύο μονά κουτιά το ένα δίπλα στο άλλο και το καθένα υποστηρίζεται από μία στήλη. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για εγκάρσια δοκό, βοηθά στην εξοικονόμηση υλικών και τη μείωση του χρόνου κατασκευής.



Εικόνα 88 Εγκάρσια τομή που δείχνει τα δύο δίδυμα κουτιά

Τα δύο δίδυμα κουτιά θεωρήθηκαν ότι βασίστηκαν στην «κατασκευαστική τάση» της εποχής που υπήρχε την περίοδο που χτιζόταν η Bloukrans, με ένα

σταδιακό σύστημα καθέλκυσης να χρησιμοποιείται για την κατασκευή του καταστρώματος. Το σταθερό πάχος του καταστρώματος είναι μία σαφής ένδειξη ότι χρησιμοποιήθηκε αυτή η μέθοδος κατασκευής. Αυτό το σύστημα απαιτεί συνθήκες εργοστασιακού τύπου για να μπει πάνω σε ένα ανάχωμα. Τα τμήματα του καταστρώματος κατασκευάζονται εκεί και μετά απλώς ωθούνται στη θέση τους. Η διαδικασία αυτή έχει χρόνο κύκλου μεταξύ 7 και 10 ημερών και συνήθως τα τμήματα που κατασκευάζονται κάθε φορά είναι 15μ - 30μ. Η χρήση αυτού του συστήματος εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα κατασκευής για το κατάστρωμα. Περιβαλλοντικά είναι μια καλύτερη μέθοδος από τη χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων καθώς το κόστος μεταφοράς για τα προκατασκευασμένα στοιχεία είναι πολύ υψηλότερο από αυτά που φτιάχνονται εκεί. Άλλο ένα βασικό πλεονέκτημα αυτού είναι ότι για την μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος που απαιτείται για την αψίδα μπορεί να γίνει οικονομία μέσω του μικτού σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί σε ελεγχόμενο περιβάλλον, διασφαλίζοντας ένα υψηλά ποιοτικό προϊόν. Δεδομένου ότι το άνοιγμα της γέφυρας είναι σχετικά μεγάλο, η διαμόρφωση του καταστρώματος με επί τόπου έγχυση σκυροδέματος μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα με το σκυρόδεμα. Ο μέγιστος λόγος ανοίγματος / βάθους για μια τέτοια κατασκευαστική μέθοδο είναι περίπου 15 επομένως, το βάθος του καταστρώματος θα πρέπει να είναι κοντά στο 1,3 μ. Τα κύρια ζητήματα που πρέπει να ξεπεραστούν με αυτή τη μέθοδο κατασκευής είναι η διασφάλιση της εγκάρσιας σταθερότητας του καταστρώματος κατά την κατασκευή και η διασφάλιση της σταθερότητας των στηλών καθώς το κατάστρωμα ωθείται στη θέση του. Η εγκάρσια δράση του ανέμου στο διαμήκες πρόσωπο θα ήταν ιδιαίτερα προβληματική σε αυτήν την τοποθεσία. Η σταθερότητα των στηλών μπορεί να επιτευχθεί δένοντας τις στήλες μεταξύ τους με ένα πλέγμα προσωρινών καλωδίων. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι καθώς το κατάστρωμα ωθείται στη θέση του κάθε τμήμα κάποια στιγμή θα βιώσει μέγιστες θλιπτικές και καμπτικές δυνάμεις. Επομένως, κάθε τμήμα πρέπει να είναι σχεδιασμένο για αντέχει σε αυτές τις δυνάμεις και συνήθως πρέπει να κατασκευάζονται με ίσο πάχος στα πάνω και κάτω πέλματα. Ωστόσο, στην κατάσταση λειτουργίας του, ένα μεγάλο ποσοστό του σκυροδέματος των τμημάτων κάνει πολύ λίγη δουλειά. Τα εφέδρανα που χρησιμοποιούνται σε μία τέτοια κατασκευή είναι απαραίτητα για να εξασφαλιστεί ότι το κατάστρωμα που ωθείται τοποθετήστε αποτελεσματικά. Τα εφέδρανα είναι σχεδιασμένα για να επιτρέπουν για διαμήκη ολίσθηση κατά τη διαδικασία της ώθησης. Αυτό γίνεται κάνοντας την άνω επιφάνεια του εφεδράνου από ανοξειδωτο αστάλι, όπου κατά τη διάρκεια της ώθησης, φύλλα με πολύ χαμηλό συντελεστή τριβής PTFE τοποθετούνται μεταξύ του εφεδράνου και του καταστρώματος. Υπάρχουν δύο τύποι εφεδράνου για αυτήν τη λειτουργία, και οι δύο λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Ο ένας τύπος είναι τα προσωρινά συρόμενα εφέδρανα που χρησιμοποιούνται κατά τη φάση κατασκευής και μετά την ολοκλήρωση το κατάστρωμα ανυψώνεται και τα εφέδρανα αυτά αφαιρούνται και στη θέση τους μπαίνουν μόνιμα εφέδρανα. Ο άλλος τύπος συνδυάζει και τα δύο χαρακτηριστικά, όπου με την ολοκλήρωση του καταστρώματος ανυψώνεται για άλλη μια ακόμα φορά και αφαιρούνται μόνο τα φύλλα PTFE και το κενό

μεταξύ του καταστρώματος και του εφεδράνου γεμίζεται με ενέματα.

10.8 Η ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Η φόρτιση της Bloukrans μπορεί να αναλυθεί σε δύο μέρη. Το φορτίο που δρα στο κατάστρωμα και το φορτίο δρα στην αψίδα. Σε πλήρη σχεδίαση και τα δύο θα πρέπει να αξιολογηθούν με διαφορετικές περιπτώσεις φορτίου για να προσδιοριστεί ο δυσμενέστερος συνδυασμός που ενεργεί στην κατασκευή. Για την αψίδα η δυσμενέστερη περίπτωση φόρτωσης είναι πιθανό να προέρχεται από μια ομοιόμορφη φόρτιση πάνω στη μισή αψίδα. Η δυσμενέστερη περίπτωση φόρτωσης και πίεσης πιθανότατα θα εμφανιστεί στο κατάστρωμα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ώθησης του. Όλα τα φορτία που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση για το σκοπό αυτό είναι σύμφωνα με το BS 5400-2: 2006. Για τον σχεδιασμό γεφυρών τα φορτία πολλαπλασιάζονται με 2 συντελεστές ασφαλείας, γf3 και γf1 τόσο στο ULS όσο και στο Serviceability Limit State (SLS). Μια σημαντική πτυχή του BS 5400-2 είναι η ιδέα πλασματικών των λωρίδων. Αυτές διαφέρουν από τις επισημασμένες λωρίδες και για την ανάλυση εφαρμόζεται η φόρτιση του οχήματος στις θεωρητικές λωρίδες και όχι στις επισημασμένες λωρίδες. Η γέφυρα Bloukrans έχει πλάτος οδοστρώματος 15,05 μ, που ισοδυναμεί με 4 πλασματικές λωρίδες.

Το BS 5400-2 περιγράφει 5 βασικούς συνδυασμούς φορτίσεων που πρέπει αρχικά να ελεγχθούν στην ανάλυση της γέφυρας:

1. Όλα τα μόνιμα φορτία συν τα βασικά κινητά φορτία
2. Συνδυασμός 1, συν άνεμος και αν η ανέγερση ληφθεί υπ' όψιν, τότε συν προσωρινά φορτία ανέγερσης.
3. Συνδυασμός 1, συν θερμοκρασία, και αν η ανέγερση ληφθεί υπ' όψιν, τότε συν προσωρινά φορτία ανέγερσης.
4. Όλα τα μόνιμα φορτία συν τα δευτερεύοντα κινητά φορτία και συναφή βασικά κινητά φορτία
5. Όλα τα μόνιμα φορτία συν τα φορτία λόγω τριβής στα υποστηρίγματα.

10.8.1 ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα μόνιμα φορτία της γέφυρας λαμβάνονται ως το βάρος όλων των δομικών μελών. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε ότι το προεντεταμένο σκυρόδεμα έχει το ίδιο βάρος με οπλισμένο σκυρόδεμα (2400kg / m³). Τα μόνιμα φορτία κάθε μέλους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Τμήμα	Μόνιμο Φορτίο
Κατάστρωμα	163,6 kN/m
Αψίδα	410 kN/m
Στήλες	58.75 kN/m

10.8.2 ΥΠΕΡΤΙΘΕΜΕΝΑ ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

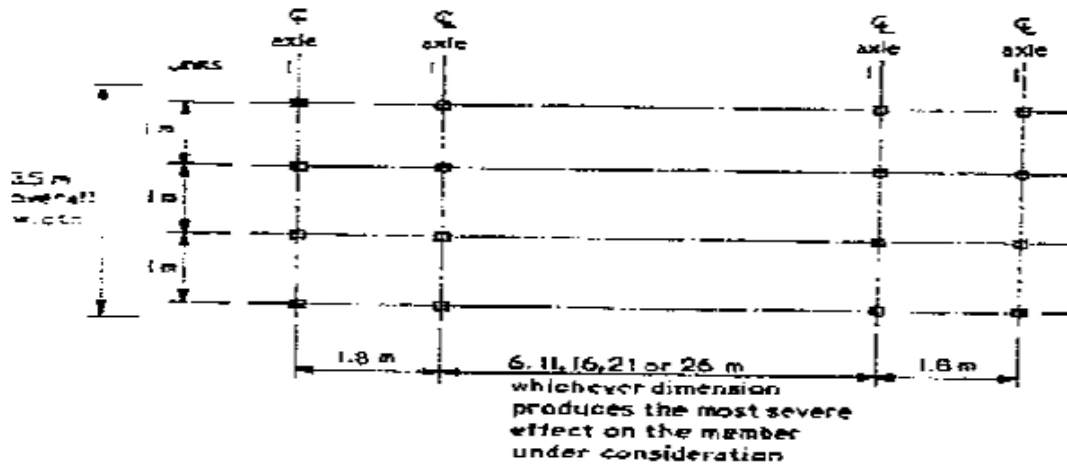
Μια χωριστή ταξινόμηση ισχύει για τα μόνιμα φορτία που ενεργούν στην κατασκευή αλλά δεν είναι δομικά στοιχεία. Αυτό περιλαμβάνει την επιφάνεια του δρόμου, το υλικό πλήρωσης για την επιφάνεια του δρόμου και οποιαδήποτε υπηρεσίας διατρέχει το κατάστρωμα της γέφυρας. Το ποσό του υπερτιθέμενου μόνιμου φορτίου είναι σχετικά δύσκολο να προβλεφθεί. Λόγω αυτού το BS5400-2 εφαρμόζει συντελεστές υψηλού φορτίου (γ_{fl}) 1,20 στο SLS και 1,75 στο ULS. Αυτό λαμβάνει υπόψη τον βαθμό με τον οποίο το φορτίο αυξάνεται κατά τη διάρκεια ζωής του δρόμου, λόγω νέων στρώσεων πίσσας και αυξανόμενων ποσοτήτων των υλικών στο κατάστρωμα. Το μέγεθος έχει υπολογιστεί 9,25 kN/m². Αυτό περιλαμβάνει περίπου 300 mm κορεσμένου υλικό πλήρωσης (πυκνότητα 2000 k/m³), 100mm πίσσας στο πάνω μέρος (πυκνότητα 2400 kg/m³) και 1 kN/m² επιπλέον φόρτιση για υπηρεσίες.

10.8.3 ΦΟΡΤΙΣΗ HA

Η φόρτωση του Οργανισμού Αυτοκινητόδρομων HA (Highways Agency's) χρησιμοποιείται ως βασικό κινητό οχηματικό φορτίο που εφαρμόζεται σε γέφυρες. Για γέφυρες με μήκος μεγαλύτερο από 380 μ το φορτίο HA λαμβάνεται ως 9 kN/m. Επομένως αυτή είναι η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση για την Bloukrans (μήκος 450 μ). Η τιμή των 9 kN/m λαμβάνει υπόψη τη χαμηλή πιθανότητα να είναι όλο το εύρος της γέφυρας φορτωμένο με βαριά φορτηγά ταυτόχρονα. Ως μέρος της φόρτωσης HA χρησιμοποιείται ένα επιπλέον φορτίο KEL 120 kN και εφαρμόζεται εκεί όπου θα έχει το δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

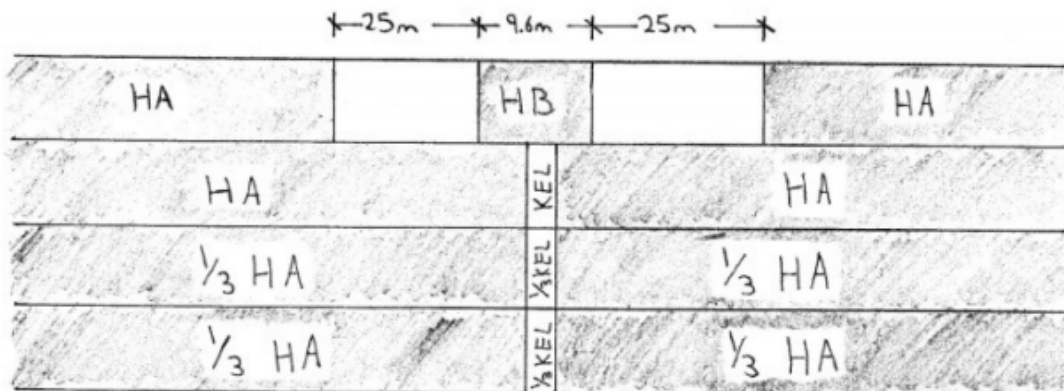
10.8.4 ΦΟΡΤΙΣΗ HB

Η φόρτιση HB προσομοιώνει τη δράση ενός ασυνήθιστα βαρύ φορτηγού και λαμβάνει μια βασική διάταξη για φορτηγά. Για πλήρη φόρτιση HB εφαρμόζονται 45 μονάδες φορτίου. Αυτό είναι ίσο με 450 kN ανά άξονα ή 1800 kN για ολόκληρο το φορτηγό. Το μήκος του φορτηγού μπορεί στη συνέχεια να ποικίλλει για να παράγει πιο δυσμενείς αποτέλεσμα στην κατασκευή.



Εικόνα 89 Σχεδιάγραμμα φόρτισης HB

Η φόρτιση HA και HB εφαρμόζεται ταυτόχρονα. Το BS 5400-2 σκιαγραφεί έναν αριθμό τρόπων εφαρμογής των δύο φορτίσεων μαζί. Η πλήρης HA φόρτιση εφαρμόζεται σε δύο πλασματικές λωρίδες και το 1/3 της HA εφαρμόζεται στις υπόλοιπες λωρίδες.



Εικόνα 90 Σχεδιάγραμμα που δείχνει τις φορτίσεις HA και HB στο κατάστρωμα

10.8.5 ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Σε μια κοιλάδα οι άνεμοι είναι πολλή σύνηθες γεγονός, το οποίο αυξάνει το φορτίο που ενεργεί στη γέφυρα. Στη περίπτωση της Bloukrans, η μικρή απόσταση της γέφυρα από τη θάλασσα παίζει επίσης ρόλο αυξάνοντας το φορτίο του ανέμου. Η φόρτιση της γέφυρας από τον άνεμο είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διάρκεια της κατασκευής του καταστρώματος και της απίδας. Ο σχεδιασμός των εφεδράνων χαμηλής τριβής στοχεύει στη μείωση της τριβής στη διαμήκη κατεύθυνση και επιτρέπει στο κατάστρωμα να ωθείται

στη θέση του. Αυτό δημιουργεί σχετικό πρόβλημα με τη μείωση της τριβής στην εγκάρσια κατεύθυνση ειδικά όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο άνεμος που ενεργεί στα προβολικά τμήματα της αψίδας κατά τη διάρκεια της κατασκευής θα ήταν ιδιαίτερα προβληματικός καθώς η κατασκευή δεν είχε κανένα τρόπο να αντισταθεί σε αυτόν. Τα φορτία ανέμου υπολογίζονται σύμφωνα με το BS 5400, με το πρώτο στάδιο είναι ο υπολογισμός της μέγιστης ριπής ανέμου (v_c) χρησιμοποιώντας τη σχέση (1). Η φόρτιση του ανέμου στο κατάστρωμα, στις στήλες και στην αψίδα θα υπολογιστούν ξεχωριστά.

$$V_c = v \times K_1 \times S_1 \times S_2 \quad (1)$$

v είναι η τοπική ταχύτητα ανέμου σε m/s. Προκαταρκτική έρευνα έδειξε ότι η ταχύτητα του ανέμου ήταν 25,6 m/s βάσει περιόδου 120 ετών. Το K_1 είναι ο συντελεστής του ανέμου όπου σε αυτήν την περίπτωση είναι 1,86, το S_1 είναι ένας παράγοντας διοχέτευσης για την τοπογραφία, σε αυτήν την περίπτωση είναι 1,1 και το S_2 είναι ο συντελεστής ριπής, που λαμβάνεται ως 1,66.

$$V_c = 86,9 \text{ m/s}$$

Για την ανάλυση αυτή η τιμή μετατρέπεται σε δυναμική πίεσης, q , χρησιμοποιώντας τη σχέση (2).

$$q = 0.613 \times V_c^2 \quad (2)$$

Αυτό δίνει μια συνολική δυναμική πίεσης 4,63 kN/m². Στη δυναμική εφαρμόζονται διάφοροι παράγοντες πίεσης για να δώσει το χαρακτηριστικό φορτίο ανέμου. Αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής

Τμήμα	Φορτίο Ανέμου
Κατάστρωμα	5,1 kN/m ²
Αψίδα	6,49 kN/m ²
Στήλες	6 kN/m ²

Ο άνεμος έχει επίσης την τάση να προκαλεί και τις δύο πιέσεις προς τα κάτω και προς τα πάνω, ανακουφίζοντας την πίεση της κατασκευής.

Τμήμα	Πίεση Ανέμου
Κατάστρωμα	3,47 kN/m ²
Αψίδα	3,47 kN/m ²

10.9 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασία της γέφυρας είναι σημαντική πτυχή στο σχεδιασμό της. Η διαστολή του υλικού οδηγεί σε σχετικές μετακινήσεις στο κατάστρωμα ή στην αύξηση της πίεσης αν η κίνηση της γέφυρας ήταν περιορισμένη. Η συμπεριφορά του καταστρώματος της γέφυρας με τη

Θερμοκρασία περιλαμβάνει μια περίπλοκη ανάλυση λόγω της μη γραμμικής επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας σε όλο το κατάστρωμα. Η τάση που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται στην σχέση (3)

$$\epsilon_T = \alpha \times \Delta T \quad (3)$$

Όπου α είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής για σκυρόδεμα, $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ και ΔT είναι η αύξηση σε θερμοκρασία στο κατάστρωμα, σε 25°C

$$\epsilon_T = 300 \mu\epsilon$$

Η διαστολή του καταστρώματος (ΔL) μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση (4)

$$\Delta L = \epsilon_T \times L \quad (4)$$

Όπου L είναι το πλήρες μήκος του καταστρώματος γέφυρας $450 \times 10^3 \text{mm}$

$$\Delta L = 135 \text{mm}$$

Εάν δεν υπήρχε αρμός διαστολής ή επρόκειτο να μπλοκαρισθεί, η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλούσε την αύξηση της τάσης (σ_c) στο κατάστρωμα. Η αύξηση της θλιπτικής τάσης μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση (5)

$$\sigma_c = \epsilon_T \times E \quad (5)$$

Όπου το E είναι ο συντελεστής Young του σκυροδέματος, 30000N/mm^2

$$\sigma_c = 9 \text{ N/mm}^2$$

Αυτή η τιμή της τάσης είναι πολύ υψηλή και συνδυασμένη με την τάση από τη φόρτιση και την προένταση προκαλούν σημαντικά προβλήματα στη γέφυρα. Αυτό δείχνει ότι πρέπει να έχει τουλάχιστον μία άρθρωση διαστολής που είναι απαραίτητη και η συντήρηση πρέπει να πραγματοποιείται για να διασφαλιστεί η συνεχής της λειτουργία. Ο σχεδιασμός των εφεδράνων απαιτεί προσεκτική εξέταση σε αυτήν την περίπτωση. Εάν η κίνηση του καταστρώματος συγκρατείται από τα εφέδρανα, θα δημιουργηθεί μεγάλη τάση στις στήλες.

10.10 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

Κατά τη διάρκεια της ζωής της γέφυρας, μπορεί να προκύψουν ορισμένα ζητήματα τα οποία μπορεί να επηρεάσουν το διάστημα της ζωής της. Για πολλά από αυτά έχει γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός, αλλά μερικά δεν μπορούν να αποφευχθούν.

10.10.1 ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Ένα πολύ γνωστό πρόβλημα με την προένταση είναι ότι το οι τένοντες χάνουν κάποιο ποσοστό της δύναμης τους κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η απώλεια δύναμης στους τένοντες μπορεί να δημιουργηθεί από διάφορους παράγοντες. Αυτά περιλαμβάνουν την μείωση της τριβής με τους αγωγούς, την ελαστική σύμπτυξη του σκυροδέματος κατά την προένταση, την χαλάρωση της τάσης στους χαλύβδινους τένοντες και οι απώλειες λόγω ερπυσμού στο σκυρόδεμα.

10.10.2 ΣΚΟΠΙΜΗ / ΤΥΧΑΙΑ ΚΑΤΑΡΕΥΣΗ

Η επιδεκτικότητα της γέφυρας σε τυχαία ή σκόπιμη ζημιά είναι σχετικά χαμηλή λόγω του μεγέθους της κατασκευής. Λόγω του η γέφυρα είναι σχεδιασμένη με τα στατικά τμήματα να βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα, δεν υπάρχει πιθανότητα τροχαίου ατυχήματος που να οδηγήσει σε κατάρρευση της γέφυρας. Εσκεμμένη ζημιά με τη μορφή τρομοκρατικής επίθεσης θα ανησυχούσε τους σχεδιαστές, αλλά ο κίνδυνος είναι χαμηλός. Η σύνθετη κατασκευή και το τεράστιο μέγεθος των τμημάτων της, κάνει την κατασκευή ισχυρή ενάντια σε κρουστικά φορτία που σημαίνει ότι οι στήλες, το κατάστρωμα και η ασίδα θα πρέπει να αντέχουν σε ένα μέτριο φορτίο έκρηξης.

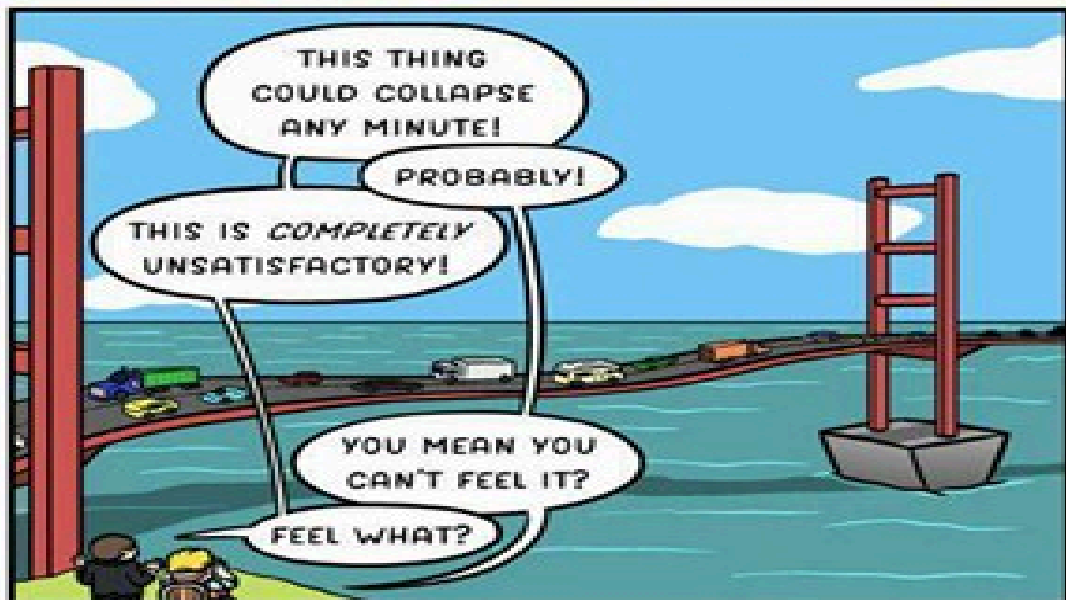
10.10.3 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΙΘΕΣΗ

Η χημική επίθεση σε γέφυρες από σκυρόδεμα στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη προσβολή του χλωρίου από τα άλατα πάγου που γίνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ωστόσο, αυτό είναι απίθανο να προκληθεί στη Νότια Αφρική λόγω του εύκρατου κλίματος. Υπάρχουν πολλές άλλες αιτίες συγκεκριμένων ζημιών που μπορούν να επηρεάσουν τη γέφυρα κατά τη διάρκεια της ζωής της όπως:

- Η υγρασία που διαπερνά τα μικρά τριχοειδή κενά. Συχνά προστίθεται επιπλέον νερό στο σκυρόδεμα για να βελτιώσει την εργασιμότητα του, αλλά όταν το νερό στεγνώνει αφήνει μικρά κενά μέσα από τα οποία η υγρασία μπορεί να διεισδύσει.
- Το σκυρόδεμα έχει πολύ υψηλή αλκαλική περιεκτικότητα και αυτό δρα για την προστασία του χάλυβα από διάβρωση. Ωστόσο, το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα αντιδρά με τον ασβέστη στο σκυρόδεμα και την εξουδετερώνει. Εάν η αντίδραση διεισδύσει στο επίπεδο του χάλυβα, η διάβρωση του χάλυβα είναι αναπόφευκτη.
- Η χημική διάβρωση μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα εμφανίζονται σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Με την χορήγηση κατάλληλων επιπέδων κάλυψης για τον προεντεταμένο αλλά και το χάλυβα οπλισμού, πολλά από αυτά τα προβλήματα θα αποφευχθούν. Η ίδια η προένταση βοηθά λόγω της θλιπτικής δύναμης που ασκεί σε όλο το κατάστρωμα.

10.10.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Ένα από τα ζητήματα με την αλλαγή του κλίματος είναι ότι στη Γη αναμένεται να έχουμε στο μέλλον μεγαλύτερο αριθμό καταιγίδων υψηλότερης έντασης. Αυτό σημαίνει ότι θα αυξηθούν σημαντικά τα φορτία του ανέμου που δρουν στη γέφυρα.



Βιβλιογραφία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τέσσερα κύρια είδη γεφυρών. (Χ.Χ). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 19/04/2018 από <https://www.engineeringbooks.info/four-main-types-bridges/4/>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Akashi Kaikyo Bridge. (2010,18 December). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 19/08/2020 από <http://seminarsincivil.blogspot.gr/2010/12/akashi-kaikyo-bridge.html>.

Akashi Kaikyo Bridge. (Χ.Χ.). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 27/09/2019 από <https://en.wikiarquitectura.com/building/akashi-kaikyo-bridge/>.

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited. (2005). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 27/09/2019 από <https://www.jb-honshi.co.jp/english/bridgeworld/bridge.html>.

Pipinato, A. (2016). *Chapter 26-Case study: the Akashi-Kaikyo bridge*. In A. Pipinato (Ed), *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance* (pp. 681-699). United States: Butterworth-Heinemann.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

The History of the Design and Construction of the Golden Gate Bridge (χ.χ). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 22/08/2020 από <http://www.mackinacbridge.org/history/historical-construction-album/>.

Griggs, F. Jr. (2017,March). *Golden Gate Bridge. Structure Magazine*, 60-62. Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 22/08/2020 από <https://www.structuremag.org/?p=11113>.

History & Research of Golden Gate Bridge. (X.X.). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 22/08/2020 από <https://www.goldengate.org/bridge/history-research/>.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ellis L J H. (2007). *CRITICAL ANALYSIS OF THE LUPU BRIDGE IN SHANGHAI*. In Bridge Engineering 2. First Annual Bridge Engineering 2 (113-122).Bath, UK: University of Bath. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 26/08/2020 από

<https://people.bath.ac.uk/jjo20/conference2/2007/COMPLETE%202007.pdf>

Yuanpei, L., Zehang Z., Ma, B., & Liang, Z. (2004). *Lupu Arch Bridge, Shanghai*. Structural Engineering International, 14:1, 24-26, DOI: 10.2749/101686604777964251. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 26/08/2020 από <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2749/101686604777964251>

Xiaoqiong Qin, Mingsheng Liao, Mengshi Yang & Lu Zhang. (2017, 27 June). *Monitoring structure health of urban bridges with advanced multi-temporal InSAR analysis*. Annals of GIS, 23, 293-302. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 26/08/2020 από

<https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/19475683.2017.1382572?scroll=top&needAccess=true>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Sydney Harbour Bridge: One of the World's Greatest Railway Links. (1935). Railway Wonders of the World, Part 38 (The "Rome Express"). Pages 1195-1208. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 26/08/2020 από <http://www.railwaywondersoftheworld.com/sydney-harbour.html>.

Carson, S. (2009). *Spun from four horizons: re-writing the Sydney Harbour Bridge*. Journal of Australian Studies, 33, 417-429. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 28/04/2018 από

https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14443050903308659?casa_token=qMEvNQqsSoYAAAAA%3AFUJLn5tP01ApY_vmYHm4bdkmmFWxxS9DOFEMmeNMmpnw33FuCFX6aSMTgCmwJjxv-HYWL6h2lak

Genoni, Paul. 2012. *The Sydney Harbour Bridge: from modernity to post-modernity in Australian fiction*. JASAL Journal of the Association for the

Study of Australian Literature. 12: pp. 1-12. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 28/04/2018 από https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/4025/189002_189002.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Rusky Bridge. (χ.χ). Ανακτήθηκε τελευταία φορά 28/04/2018 από <http://rusbridge.net/about/>

Pacheco, P., & Magalhaes, F. (2015). *Multi- Span Large Bridges*. London: CRS Press Taylor & Francis Group. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 28/04/2018 από

https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=r8sdCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA223&dq=Rusky+Bridge+construction&ots=j5PSD-Lio3&sig=wpEt-N3_7jw6j-fOGit36Uv7Ckl&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Pipinato, A. (2016). *Chapter 25 Case study the Rusky bridge*. In A. Pipinato (Ed), *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance* (pp. 671-680). United States: Butterworth-Heinemann.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Buonomo, M., Virlogeux, M., Servant, C., Cremer, J., M., Vincent, V., G., & Del Forno, J., Y. (2004). The design and the construction of the Millau Viaduct. In Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier (OTUA) (Ed.), *Steelbridge 2004: Steel bridges extend structural limits* (165-182). Paris-La Défense, France: OTUA . Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 23/08/2020 από <http://people.bath.ac.uk/jjo20/bh09/Papers/design.pdf>

Millau Viaduct. (2019,22 July). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 23/08/2020 από <https://structurae.net/structures/millau-viaduct> .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Baker, B. (1884). *FORTH BRIDGE*. Montreal: British Association for the Advancement of Science. Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 27/09/2020 από

https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=za10AQAAAMAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=%E2%80%A2%09Forth+Bridge+construction&ots=vw8w5FfDs0&sig=vXGOI3DypjZS1d7IpUxG3BvjmQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Forth Bridge. (2020,23 September). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 27/09/2020 από https://en.wikipedia.org/wiki/Forth_Bridge .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Η γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου. (2013,5 Μαΐου). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 24/08/2020 από <https://www.fourtounis.gr/gefyra.htm> .

Γέφυρα Χαρίλαος Τρικούπης (χ.χ). Ανακτήθηκε τελευταία φορά στις 24/08/2020 από <https://www.gefyra.gr/bridge/Meleth-Kataskeuh/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Weight, A.J. (2009). *CRITICAL ANALYSIS OF THE GREAT BELT EAST BRIDGE, DENMARK*. In Bridge Engineering 2 Conference 2009. Bath, UK: University of Bath. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 02/05/2018 από <http://www.bath.ac.uk/ace/uploads/StudentProjects/Bridgeconference2009/Papers/WEIGHT.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Isaac, P. M. (2007). A critical analysis of the Bloukrans Bridge. In Bridge Engineering 2. First Annual Bridge Engineering 2. Bath, UK: University of Bath. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 26/08/2020 από https://www.semanticscholar.org/paper/A-CRITICAL-ANALYSIS-OF-THE-BLOUKRANS-BRIDGE-Isaac/6eb704ccf8783ef350cd0765b37ca86d1c75e1ef?fbclid=IwAR2oYkqljoFX2RoAdSYuPOAkkdmSy0C2GobRNSzIsmNiVjZfzO1m_Y6RYVU

Liebenberg, A. C., Trumpelmann, V., & Kratz, R. D. (1984). *The planning, design and analysis of the Bloukrans Bridge*. The Civil Engineer in South Africa, 1984, No. 4 ,159-172. Ανακτήθηκε τελευταία φορά 27/08/2020 από https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/AJA10212019_18856