

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑΣ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΓΡΙΒΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εντάσσεται στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών, και έχει ως ερευνητικό αντικείμενο την καταγραφή της τεχνολογικής εξέλιξης της γεφυροποιίας. Η μελέτη αυτή έχει στόχο, να παρουσιάσει τις μεταβολές που συντελέστηκαν στην κατασκευή γεφυρών μέσα στο πέρασμα των αιώνων, υπό το πρίσμα συγκεκριμένων κριτηρίων. Με άλλα λόγια παρατηρούμε την εξέλιξη αυτής της τεχνικής κυρίως μέσα από τα «ζωντανά» δημιουργήματα της, που δεν είναι άλλα από τις γέφυρες, οι οποίες εξελίσσονται με αποτέλεσμα να γίνονται ολοένα και πιο «γερές», λειτουργικές καθώς και αρμονικά συνδεδεμένες με το περιβάλλον.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα την τεχνολογική εξέλιξη της γεφυροποιίας. Το θέμα προσανατολίστηκε σε δύο κύριες κατευθύνσεις: στη μελέτη και παρουσίαση τεσσάρων κύριων ιστορικών περιόδων και ακολούθως στην εστίαση και ανάπτυξη των περιόδων αυτών, μέσω της ανάπτυξης σημαντικών κριτηρίων κάθε περιόδου.

Το θέμα αυτό επιλέχθηκε διότι οι γέφυρες είναι πολύπλοκες και σύνθετες τεχνικές κατασκευές και πάντα προκαλούν δέος και θαυμασμό σε αυτούς που τις παρατηρούν. Εξάλλου, ο τομέας της γεφυροποιίας πάντα θα βρίσκεται στο επίκεντρο της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού και η κατασκευή γεφυρών πάντα θα συναρπάζει με το μεγαλείο που εκπέμπει.

Κύριος στόχος της εργασίας υπήρξε η συλλογή στοιχείων που καταδεικνύουν την φυσιογνωμία των γεφυρών και δίνουν έμφαση στις κατασκευαστικές τους ιδιορρυθμίες και καινοτομίες.

Ειδικότερα, η εργασία αυτή έχει χωριστεί σε πέντε κεφάλαια, τα οποία συνοψίζονται στο τέλος τους με τη βοήθεια πινάκων. Έτσι λοιπόν έχουμε:

Το *Πρώτο* κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στην τεχνική της γεφυροποιίας. Πιο συγκεκριμένα δίνονται κάποια γενικά στοιχεία των γεφυρών και γίνεται μια κατηγοριοποίηση αυτών, ανάλογα με τα υλικά κατασκευής, το άνοιγμα τους, το είδος του φορέα, τον τρόπο έδρασης και με τη χρήση τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα κύρια και δευτερεύοντα μέρη των γεφυρών, στη συμπεριφορά τους αλλά και στα χαρακτηριστικά που κάνουν το ένα είδος να διαφέρει από το άλλο. Τελειώνοντας αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται, οι κατά καιρούς καταρρεύσεις γεφυρών καθώς και μερικές αστοχίες στο κατασκευαστικό τομέα. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται και μέσα από εικόνες και σχήματα.

Το *Δεύτερο κεφάλαιο* αναφέρεται στη γεφυροποιία στον Αρχαίο Κόσμο κάνοντας αναφορά στο ιστορικό πλαίσιο αυτής της περιόδου, καθώς και στα υλικά αλλά και στις κατασκευαστικές τεχνικές που αναπτύσσονταν κυρίως, στην Αρχαία Ελλάδα και την Αρχαία Ρώμη. Όλα αυτά παραθέτονται μέσα από παραδείγματα χαρακτηριστικών γεφυρών της εποχής, αλλά και μέσα από την καταγραφή ιστορικών μαρτυριών για την επιστήμη της γεφυροποιίας εκείνη την εποχή.

Το *Τρίτο Κεφάλαιο* ασχολείται με την γεφυροποιία στο Μεσαίωνα(Μεσαιωνική Δύση - Μεσαιωνικό Βυζάντιο) και την Αναγέννηση. Σε όλο λοιπόν το κεφάλαιο διαφαίνονται καθαρά τα υλικά και οι μέθοδοι κατασκευής που χαρακτηρίζουν την εποχή και μέσα από τη βοήθεια παραδειγμάτων συγκεκριμένων γεφυρών.

Το *Τέταρτο κεφάλαιο* ασχολείται με την κατασκευή γεφυρών κατά την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης, εστιάζοντας στις αλλαγές που έφερε στον τομέα της γεφυροποιίας η σημαντική αυτή περίοδος. Μέσα από την εισαγωγή του σιδήρου ως ένα από τα βασικά υλικά κατασκευής, αναλύουμε τα είδη γεφυρών που κάνουν την παρουσία τους τη συγκεκριμένη περίοδο.

Το τελευταίο κεφάλαιο και *Πέμπτο* κατά σειρά, εστιάζει το θέμα στην σύγχρονη εποχή. Παραθέτονται σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευών της σύγχρονης εποχής, που έχουν στόχο να αναδείξουν την τεχνολογική εξέλιξη και πρόοδο που παρατηρείται σήμερα στον κατασκευαστικό τομέα των γεφυρών. Στην εποχή του χάλυβα και του σκυροδέματος στις κατασκευές, περιγράφουμε τις σύγχρονες μεθόδους κατασκευής γεφυρών, καθώς και τα είδη γεφυρών.

Όλα τα προηγούμενα κεφάλαια συμπληρώνονται από το παράρτημα, στο οποίο αναφέρονται και αναλύονται περισσότερες γέφυρες, με σκοπό να αποδοθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για κάθε περίοδο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
----------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΓΕΦΥΡΕΣ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ

1.1. Εισαγωγή.....	3
1.2. Στοιχεία και τύποι γεφυρών.....	3
1.3. Αστοχία γεφυρών.....	8
1.4. Σύνοψη.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ ΚΟΣΜΟ

2.1. Εισαγωγή.....	13
2.2. Προϊστορία, Μεσοποταμία, Αρχαία Ελλάδα, Αρχαία Ρώμη	
2.2.1. Ιστορικό Πλαίσιο.....	13
2.2.2. Υλικά Κατασκευής.....	16
2.2.3. Μέθοδοι Κατασκευής.....	18
2.2.4. Γνωστές γέφυρες.....	29
2.3. Σύνοψη	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΟΝ ΜΕΣΑΙΩΝΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

3.1. Εισαγωγή.....	33
3.2. Μεσαιωνική Δύση και Μεσαιωνικό Βυζάντιο	
3.2.1. Ιστορικό Πλαίσιο.....	33
3.2.2. Υλικά Κατασκευής.....	35
3.2.3. Μέθοδοι κατασκευής.....	35

3.2.4. Γνωστές γέφυρες.....	38
3.3. Αναγέννηση	
3.3.1. Ιστορικό Πλαίσιο.....	41
3.3.2. Υλικά κατασκευής.....	41
3.3.3. Μέθοδοι κατασκευής.....	42
3.3.4. Γνωστές γέφυρες.....	43
3.4. Σύνοψη.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ : Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

4.1. Εισαγωγή.....	46
4.2. Το Ιστορικό Πλαίσιο.....	46
4.3. Υλικά Κατασκευής.....	51
4.4. Μέθοδοι Κατασκευής.....	53
4.5. Είδη Γεφυρών	
4.5.1. Τοξωτές Γέφυρες.....	56
4.5.2. Γέφυρες τύπου Δοκού.....	57
4.5.3. Δικτυωτές Γέφυρες.....	59
4.5.4. Κρεμαστές Γέφυρες.....	60
4.5.5. Στρατιωτικές Γέφυρες.....	61
4.6. Σύνοψη.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

5.1. Εισαγωγή.....	64
5.2. Ιστορικό πλαίσιο.....	64
5.3. Υλικά Κατασκευής	
5.3.1. Χυτοσίδηρος.....	65
5.3.2. Σφυρήλατος σίδηρος.....	65
5.3.3. Χάλυβας.....	66
5.3.4. Σκυρόδεμα.....	67
5.4. Μέθοδοι κατασκευής.....	68
5.5. Είδη γεφυρών	
5.5.1. Γέφυρες μορφής δοκού.....	76
5.5.2. Σιδηρές γέφυρες.....	77
5.5.3. Πλαισιωτές γέφυρες.....	79
5.5.4. Κινητές γέφυρες.....	81
5.5.5. Πεζογέφυρες.....	82
5.5.6. Κρεμαστές γέφυρες.....	83
5.6. Σύνοψη.....	86
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ

- 1). Η Γέφυρα της «Άσσου».....92

II. ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

- 2). Η Γέφυρα της «Καζάρμας».....93

III. ΑΡΧΑΙΑ ΡΩΜΗ

- 3). «San Angelo bridge».....94

- 4). Η «Ρωμαϊκή γέφυρα της Πάτρας».....95

IV. ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΔΥΣΗ – ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΒΥΖΑΝΤΙΟ

- 5). Η Γέφυρα «Μοσχολουρίου».....97

- 6). «Old London bridge».....98

- 7). Η « Γέφυρα της Καρύταινας».....99

- 8). Η Γέφυρα του «Αγίου Βησσαρίωνα».....101

V. ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

- 9). « Η Μακρά γέφυρα», (Uzunkorpu).....102

- 10). Η «Πέτρινη γέφυρα των Σκοπίων».....104

VI. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

- 11). Η Κρεμαστή Γέφυρα «Μέναϊ».....105

- 12). «Britannia bridge».....107

VII. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

- 13). Η Γέφυρα «Κεμάλ Ατατούρκ» ή «Γέφυρα του Βοσπόρου».....108

- 14). «George Washington bridge».....109

15). «Verrazano Narrows bridge».....	110
16). Η Γέφυρα «Μιγιά».....	111
17). Η Γέφυρα «Εράσμου».....	113

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι ίσως παράξενο, αλλά μια από τις πρώτες κατασκευές, που έκανε ο άνθρωπος στη προσπάθεια του να συνδυάσει τα φυσικά στοιχεία με τα δομικά υλικά, ήταν να δημιουργήσει και την γέφυρα.

Πριν ακόμα ο προϊστορικός νομαδικός άνθρωπος, που ζούσε αλλάζοντας συνεχώς θέση σε κάποια μικρή ή μεγάλη γεωγραφική περιοχή, κατασκευάσει μια απλή έστω αλλά μόνιμη κατοικία, και ενώ του αρκούσε ένα στοιχειώδες φυσικό και προσωρινό στέγαστρο από κλαδιά και χόρτα, αναγκάστηκε να γεφυρώσει τα ποτάμια, που τόσο συχνά συναντούσε στις αλλεπάλληλες μετακινήσεις του και που αποτελούσαν σοβαρό και πολλές φορές ανυπέρβλητο εμπόδιο στον καθημερινό του αγώνα.

Την έννοια της γέφυρας ο άνθρωπος τη συνέλαβε παρατηρώντας την ίδια τη φύση. Πολλές φορές βρέθηκε να κοιτάζει μπροστά σε ένα ορμητικό ρεύμα, αμήχανος στη αρχή αλλά ολοένα και με μεγαλύτερη περιέργεια στη συνέχεια, έναν πεσμένο κορμό δέντρου, που με την τυχαία πτώση του γεφύρωνε το ποτάμι από όχθη σε όχθη.

Εκείνος που πρώτος σκέφτηκε να σκαρφαλώσει και να περπατήσει ακροβατώντας πάνω σε ένα τέτοιο πεσμένο κούτσουρο και να διασχίσει ένα ποτάμι, ήταν το πρώτο ανθρώπινο όν που περνούσε ένα ποτάμι δίχως να βραχεί. Η γέφυρα είχε πλέον ανακαλυφθεί.

Ο πρωτόγονος άνθρωπος δεν έμεινε εκεί, καθώς προχώρησε ακόμα περισσότερο. Για να ενώσει τις όχθες ενός ποταμού, έριχνε ένα δέντρο ή τοποθετούσε έναν επίπεδο βράχο επάνω σε μεγάλες πέτρες που βρίσκονταν στον πυθμένα ενός χειμάρρου. Τέτοιου είδους ενέργειες συμβολίζουν τη νίκη της ανθρώπινης ευφυΐας έναντι των φυσικών δυσκολιών και έτσι, από εκείνη την εποχή, ξεκίνησε ένας ατελείωτος αγώνας. Κάθε γέφυρα αποτελεί απάντηση σε μια πρόκληση που μας έθεσε η φύση.

Υπήρξαν στιγμές στην ιστορία, που η κατασκευή μιας γέφυρας θεωρήθηκε ακόμα και προσβολή κάποιων μεταφυσικών δυνάμεων, οι οποίες έπαιρναν την εκδίκησή τους καταστρέφοντας το ανθρώπινο έργο. Έχουν δημιουργηθεί πολυάριθμοι μύθοι για το πώς ο διάβολος (σε μερικές περιπτώσεις το πνεύμα του ποταμού) κατέστρεφε κατά τη διάρκεια της νύχτας τις εργασίες που είχαν πραγματοποιηθεί την ημέρα και για το πώς κάποιες γέφυρες ολοκληρώθηκαν χάρη στη φιλόδοξη παρέμβαση ενός θεού ενάντια στις δυνάμεις του κακού. Στην πραγματικότητα, οι δυνάμεις που εναντιώθηκαν στην κατασκευή βρίσκονται στους νόμους της φυσικής και μπορεί να ξεπεραστούν μόνο με τη γνώση τους. Καθώς προόδευε σταδιακά η μελέτη αυτών των νόμων, η τόλμη του κατασκευαστή αύξανε διαρκώς μέχρι και σήμερα, υπερνικώντας ακόμα και τις μεγαλύτερες δυσκολίες, οδηγώντας στην κατασκευή γεφυρών που κάποτε θεωρούνταν ακατόρθωτες.

Μόλις τελειώσει η κατασκευή της, μια γέφυρα είναι μια νέα παρουσία: επιβλητική και ογκώδης, μπορεί να φαίνεται ξένη σε σχέση με την περιβάλλουσα ύπαιθρο και να μεταβάλει το χαρακτηριστικό περίγραμμα του τοπίου. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να ταιριάζει αρμονικά με το τοπίο και να μετατραπεί σε στοιχείο της γενικής εικόνας.

Ανά τους αιώνες, έχουν κατασκευαστεί γέφυρες όλων των τύπων. Εάν εξαιρέσουμε περιπτώσεις έτοιμων σχεδίων, θα παρατηρήσουμε ότι σπανίως οι αρχιτέκτονες αμέλησαν την αισθητική μιας γέφυρας. Παρ' όλα αυτά δεν κατάφεραν πάντα να κάνουν τις γέφυρες ελκυστικές.

Κατά καιρούς, σε μια προσπάθεια να δώσουν μνημειώδη αίσθηση, οι σχεδιαστές υπερέβαλλαν με τη διακόσμηση και την ανωδομή.

Η αισθητική άποψη είναι πάντα υποκειμενική, όμως κάποια κριτήρια είναι κοινά. Όπως έγραψε και ο Λε Κορμπιζιέ, *«το λανθασμένο και το πομπώδες σπανίως ωφελούν την τέχνη, αλλά η απροσδόκητη ομορφιά μπορεί να πηγάζει από τον αυθορμητισμό των κατασκευών του μηχανικού, που διέπονται από τους νόμους της φύσης και μπορεί συνεπώς να πετύχουν την αρμονία»*.

Ομοίως με άλλα έργα υποδομής, μια γέφυρα μπορεί να προάγει τη δημιουργία ενός νέου αστικού οικισμού ή την ανάπτυξη περιφερειακών ζωνών σε μια πόλη.

Εκτός του ότι αποτελούν μια παρουσία στο χώρο, οι γέφυρες αντιπροσωπεύουν επίσης και μια παρουσία στον χρόνο. Η ιστορία τις χρησιμοποιεί: ιστορικά γεγονότα όπως μάχες, θριαμβευτικές είσοδοι και συμβολικές συναντήσεις ταυτίζονται χρονικά μαζί τους. Οι γέφυρες των πόλεων, συγκεκριμένα, αποτελούν ένα σημείο έλξης της κοινωνίας. Από την παιδική τους ηλικία, οι άνθρωποι τρέφουν αισθήματα αγάπης για τις τοπικές γέφυρες με τον ίδιο τρόπο που οι κάτοικοι της υπαίθρου αγαπούν τα βουνά, τις πεδιάδες, τα δάση ή τα ποτάμια τους.

Εν κατακλείδι, οι γέφυρες είναι μοναδικά μνημεία που τα χρησιμοποιούμε και τα θαυμάζουμε. Είναι μνημεία που κατασκευάστηκαν όχι μόνο για λόγους πρακτικούς και επίλυσης προβλημάτων επικοινωνίας, αλλά αποτελούν επίσης και σημεία αναφοράς πολιτισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΓΕΦΥΡΕΣ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ

1.1. Εισαγωγή

Γέφυρα είναι μια *τεχνική – αρχιτεκτονική* κατασκευή που έχει σαν σκοπό την αποκατάσταση της συνέχειας μιας γραμμής επικοινωνίας, όπως μιας οδού, ενός σιδηροδρόμου, μιας ροής πεζών, ή ενός αγωγού, πάνω από ένα εμπόδιο φυσικό ή τεχνητό. Τα συνήθη εμπόδια που γεφυρώνονται είναι ποτάμια ή γενικότερα υδάτινες επιφάνειες, άλλοι συγκοινωνιακοί άξονες (άλλες οδοί – που όταν υπάρχει και σύνδεση, η γέφυρα ή οι γέφυρες εντάσσονται στον ανισόπεδο κυκλοφοριακό κόμβο που σχηματίζεται – ή σιδηροδρομικές γραμμές), τεχνητές υδάτινες ροές, εδαφικές ταπεινώσεις (χαράδρες, κοιλάδες, φαράγγια).

Ο άνθρωπος στην προσπάθειά του να παρακάμψει τα εμπόδια που του επέβαλε η φύση αναγκάστηκε να κατασκευάσει γέφυρες από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους. Η δυσκολία του έργου απαιτούσε (και εξακολουθεί, αν και σε άλλη κλίμακα, να απαιτεί) την επιστράτευση ιδιαίτερων ικανοτήτων του ανθρώπου, που συγκεκριμένα είναι: η γνώση των χαρακτηριστικών του εμποδίου και της διαχρονικής μεταβολής τους, η γνώση των υλικών κατασκευής, η επινοητικότητα, η τεχνική δεξιότητα και εμπειρία και η αξιοποίηση πολλών τεχνολογικών εξελίξεων στο πιο σύγχρονο για την κάθε εποχή, στάδιο τους.

Έτσι, δεν είναι αφύσικο το γεγονός ότι οι κατασκευές των γεφυρών συνδέθηκαν με *θρύλους, θυσίες* ή και *ανθρωποθυσίες* (ο σχετικός θρύλος για το γεφύρι της Άρτας). Πολλές γέφυρες τραγουδήθηκαν ή έγιναν αντικείμενα της παράδοσης. Η ονομασία των γεφυρών συχνά εξατομικεύεται. Συνήθως συνδυάζεται με τοπωνύμια της θέσης της γέφυρας, με τον κατασκευαστή, τον πολιτικό ή στρατιωτικό ηγέτη που διέταξε την κατασκευή της ή ακόμη με το εμπόδιο που γεφυρώνεται.

Οι πρώτες γέφυρες ήταν απλές κατασκευές. Την σημερινή, όμως, εποχή οι γέφυρες είναι αρκετά πολύπλοκες και μεγάλες κατασκευές και για την κατασκευή τους απαιτείται η χρήση τεχνολογιών αιχμής.

Μετά από την αναφορά μας στον ορισμό της γέφυρας αλλά και την δημιουργία της ανάγκης για την κατασκευή της, θα αναφερθούμε στους τύπους καθώς και στα στοιχεία των γεφυρών που υπάρχουν από το παρελθόν μέχρι και σήμερα. Όλα αυτά θα γίνουν κατανοητά μέσα από τη χρήση σχημάτων αλλά και με τη σύνοψη τους σε πίνακες. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε και κάποιες αστοχίες στην κατασκευή γεφυρών οι οποίες οδήγησαν ακόμη και σε κατάρρευση τις συγκεκριμένες γέφυρες.

1.2. Στοιχεία και τύποι Γεφυρών

Όλες οι γέφυρες δεν είναι ίδιες αλλά έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στοιχεία τα οποία γίνονται αυτομάτως κριτήρια του διαχωρισμού τους. Έτσι, λοιπόν κατατάσσουμε τις γέφυρες με κριτήριο το *υλικό κατασκευής τους, το ελεύθερο άνοιγμα τους, το είδος του φορέα τους, τον τρόπο έδρασης τους, καθώς και την χρήση τους.*

Ανάλογα, λοιπόν, με το *υλικό κατασκευής* τους οι γέφυρες διακρίνονται σε:

- α) Ξύλινες.
- β) Πέτρινες.
- γ) Μεταλλικές.
- δ) Οπλισμένου ή Προεντεταμένου Σκυροδέματος.

ε) Σύμμικτες (συνδυάζουν υλικά όπως μέταλλο, σκυρόδεμα, ξύλο ή λίθους σε οποιοδήποτε συνδυασμό μεταξύ τους). Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιούνται και άλλα μοντέρνα υλικά όπως το γυαλί, ή ακόμη και σύνθετα υλικά. Η συμπεριφορά μιας τέτοιας κατασκευής είναι άμεσα εξαρτημένη από τις ιδιότητες των υλικών που την αποτελούν. Τέλος, σημαντικό σημείο, κατά το σχεδιασμό αλλά και την κατασκευή τους, αποτελεί η επισήμανση των διαφορών μεταξύ των υλικών, καθώς και η σύνδεση μεταξύ τους.

Επί πολλούς αιώνες οι γέφυρες κατασκευάζονταν είτε από ξύλο, είτε από λίθους. Η εμφάνιση των μεταλλικών γεφυρών από σίδηρο χρονολογείται στο τέλος του 18^{ου} αιώνα, καθώς η πρώτη κατασκευάστηκε από χυτοσίδηρο στην Αγγλία το 1779.

Στη σύγχρονη εποχή οι γέφυρες που κατασκευάζονται μπορεί να είναι αμιγώς μεταλλικές, από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, από σύγχρονα σύνθετα υλικά, και τέλος μπορεί να είναι και συνδυασμός αυτών, δηλαδή σύμμικτες κατασκευές. Με την εμφάνιση του οπλισμένου σκυροδέματος ουσιαστικά τελειώνει η εποχή των λιθόκτιστων γεφυρών. Τις μεγάλες καμάρες από οπλισμένο σκυρόδεμα θα τις ανταγωνιστούν με τη σειρά τους τα καταστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα. Τα τελευταία, όπως και οι κρεμαστές γέφυρες με αλυσίδες, τείνουν από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα να αντικατασταθούν από τις γέφυρες με τεταμένα ξάρτια και μα καταστρώματα από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

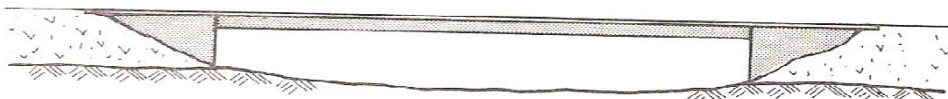
Μια ακόμη διάκριση των γεφυρών γίνεται με κριτήριο που μπορεί να σχετίζεται με το *ελεύθερο ανοιγμά τους*. Με βάση αυτό έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- α) Μικρών ανοιγμάτων, έως 40 μέτρα μήκους ανοίγματος γέφυρες.
- β) Μεσαίων ανοιγμάτων, από 40 έως 150 μέτρα μήκους ανοίγματος γέφυρες.
- γ) Μεγάλων ανοιγμάτων, άνω των 150 μέτρων μήκους ανοίγματος γέφυρες.

Είναι γνωστό ότι η απαίτηση για όλο και μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων θα απασχολεί για χρόνια την κοινότητα των μηχανικών.

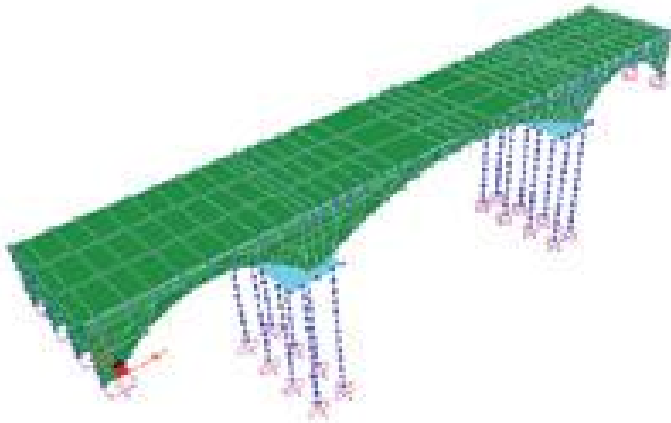
Επιπλέον, αναφορικά με το *είδος του φορέα* οι γέφυρες διακρίνονται σε:

α) Γέφυρες τύπου Δοκού (σχ.1.1) : αποτελούνται από παράλληλα πέλματα και τα ανοίγματά τους είναι περίπου ίσια. Είναι κατασκευασμένες από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα και είναι αρκετά άκαμπτες κατασκευές. Ακόμη εμφανίζουν σημαντικές ροπές κυρίως εκ των μόνιμων φορτίων στα σημεία στηρίξεως, δηλαδή πάνω από τις δοκούς στήριξης, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ροπές λυγισμού που εμφανίζονται στο μέσον των ανοιγμάτων τους. Επιπλέον, είναι δυνητικά πιο ευάλωτες εμφανίζοντας μεγαλύτερες μετατοπίσεις στα σημεία στηρίξεως παρά στα ανοίγματα, τέλος χρησιμοποιούνται συνήθως για μικρά ή για μεσαία ανοίγματα.



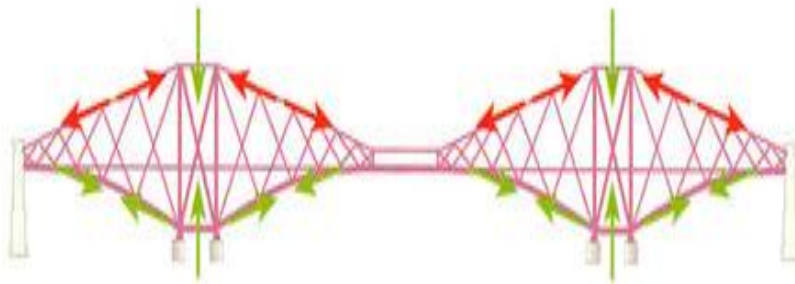
Σχήμα 1.1. Γέφυρα τύπου δοκού

β) Τοξωτές Γέφυρες (σχ.1.2) : στηρίζουν τη λειτουργία τους στη μεταφορά του φορτίου στις *στηρίξεις*. Οι στηρίξεις τους λόγο της μεταφοράς του φορτίου υποβάλλονται σε θλίψη. Για το λόγο αυτό οι γέφυρες αυτού του τύπου ενδείκνυνται για φορείς από συμπαγή δομικά υλικά με υψηλή θλιπτική αντοχή. Όσο αφορά το τόξο τους το οποίο μορφώνεται ως θόλος. Κατά την καμπύλη των πιέσεων των φορτίων λόγω ιδίου βάρους αποτελεί το καλύτερο είδος φορέα για συμπαγή δομικά υλικά (λίθοι, σκυρόδεμα) με υψηλή θλιπτική αντοχή, εφόσον το έδαφος θεμελίωσης είναι στέρεο και μπορεί να καταλάβει την ώθηση τόξου με φθηνή θεμελίωση. Κατά κανόνα σήμερα οι τοξωτές γέφυρες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα με προεντεταμένη πλάκα καταστρώματος.



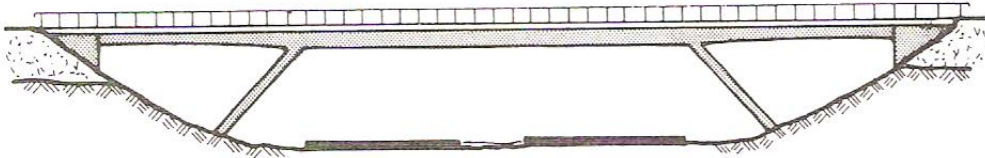
Σχήμα 1.2. Τοξωτή γέφυρα

γ) Δικτυωτές Γέφυρες(σχ.1.3) : είναι *άκαμπτες κατασκευές*. Χρησιμοποιούνται συνήθως για ανοίγματα 20 έως 50 μέτρων. Τα μέλη, αυτού του τύπου γέφυρας, υπόκεινται συνήθως σε *αξονικές δυνάμεις*, με αποτέλεσμα σημαντικές δυνάμεις να είναι δυνατόν να αναλαμβάνονται από *μικρές σχετικά διατομές* και στη συνέχεια αυτές να μεταφέρονται στη *θεμελίωση* της κατασκευής. Σημαντικό σημείο προσοχής για αυτού του τύπου τις γέφυρες αποτελούν τα σημεία που γίνεται η ένωση των *δικτυωμάτων* μεταξύ τους καθώς και τα σημεία που γίνεται η ένωση αυτών με τις *δοκούς στήριξης*. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι το *ίδιο βάρος* της κατασκευής που ξεπερνά αυτό μιας ίδιου όγκου γέφυρας από σκυρόδεμα.



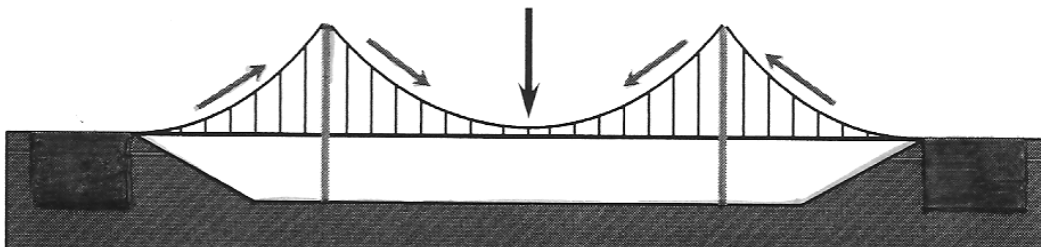
Σχήμα1.3. Δικτυωτή γέφυρα

δ) Πλαισιωτές Γέφυρες (σχ.1.4) : δημιουργούνται με την άκαμπτη σύνδεση της δοκού της γέφυρας με τα τοιχώματα των ακροβάθρων ή τα μεσόβαθρα και είναι κατάλληλες για μέσου μεγέθους ανοίγματα, για το λόγο ότι οι ροπές γίνονται μέγιστες στο μέσον του ζυγώματος. Ακόμη η ανωδομή τους στηρίζεται σε κατακόρυφα ή κεκλιμένα βάθρα και τα υλικά κατασκευής τους είναι κυρίως χάλυβας και σκυρόδεμα.



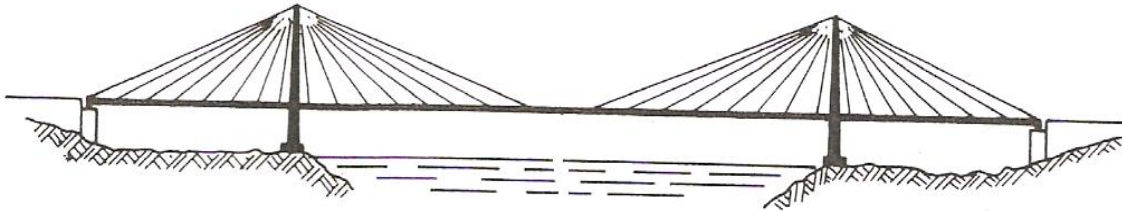
Σχήμα 1.4. Πλαισιωτή γέφυρα

ε) Κρεμαστές Γέφυρες (σχ.1.5.): είναι η κλασική μορφή κρεμαστής γέφυρας με παραβολικά καλώδια και κατακόρυφους αναρτήρες δεν προσφέρεται για ολόσωμες γέφυρες και για το λόγο αυτό σπάνια εφαρμόστηκε, ακόμη σε αυτού του τύπου γέφυρας τα καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος είναι κάθετα προς το κατάστρωμα. αποτελούνται από τένοντες από του οποίους αναρτάται το ενιαίο κατάστρωμα. Ακόμη οι τένοντες τους δεν μεταφέρουν το φορτίο στους πυλώνες, σε αντίθεση με τις καλωδιωτές, αλλά σε ένα κεντρικό καλώδιο το οποίο διέρχεται πάνω από τους πυλώνες και αγκυρώνεται στα άκρα της γέφυρας. Σημαντικό σημείο κατά το σχεδιασμό τέτοιου τύπου γεφυρών είναι το μήκος του κυρίου ανοίγματος και αυτό διότι στο μέσον αυτού αναμένεται να εμφανιστούν και οι μέγιστες τιμές μετατοπίσεων και ταλαντώσεων. Επιπλέον, οι κρεμαστές γέφυρες, όπως και οι καλωδιωτές είναι ευάλωτες στα φορτία του ανέμου.



Σχήμα 1.5. Κρεμαστή γέφυρα

ζ) Καλωδιωτές Γέφυρες (σχ.1.6.): έχουν την ικανότητα να πραγματοποιούν μεγάλες μετακινήσεις (κατά τη διάρκεια ενός σεισμού) και να μην υφίστανται σημαντικές βλάβες. Η ελασικότητά τους αυτή οφείλεται κυρίως στις μικρές ιδιοσυχνότητές τους. Η ταλάντωση αυτού του τύπου γεφυρών πραγματοποιείται κυρίως κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, όταν το αίτιο είναι η επίδραση φορτίων εκ της κυκλοφορίας ή η απόκριση της γέφυρας στη δίνη θυελλωδών ανέμων. Η ροή του αέρα πάνω από το μικρό σε πάχος (συγκριτικά με το μήκος του) κατάστρωμα μια καλωδιωτής γέφυρας προκαλεί κατακόρυφη κάμψη και στρεπτικές ταλαντώσεις του καταστρώματος. Έτσι, εμφανίζονται μέγιστες τιμές στο μέσον του ανοίγματος (ή των ανοιγμάτων) της γέφυρας. Η καμπτική ένταση του καταστρώματος αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τους τένοντες, που με τη σειρά τους την μεταφέρουν στους πυλώνες



Σχήμα1.6. Καλωδιωτή γέφυρα

Αξίζει να αναφέρουμε ότι για την επιλογή του είδους του φορέα σημαντικό ρόλο παίζουν η ασφάλεια και η αισθητική της κατασκευής.

Ανάλογα με τον τρόπο έδρασής τους έχουμε δύο σημαντικές κατηγορίες:

- α) Κινητές Γέφυρες.
- β) Σταθερές Γέφυρες.

Και ανάλογα με την χρήση τους έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- α) Οδικές.
- β) Σιδηροδρομικές.
- γ) Πεζογέφυρες.
- δ) Υδατογέφυρες.

Τέλος θα αναφερθούμε στα μέρη μιας γέφυρας, τα οποία είναι ίδια ανεξάρτητα σε πιο τύπο ανήκει η κάθε μία. Η γέφυρα λοιπόν διαχωρίζεται σε κύρια και δευτερεύοντα μέρη. Σαν κύρια μέρη μιας γέφυρας λαμβάνονται :

- α) Η θεμελίωση, η οποία μεταφέρει τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος.
- β) Τα βάθρα (στύλοι, πάσσαλοι, κολώνες).
- γ) Οι Κύριοι φορείς, οι οποίοι στηρίζουν το επίπεδο του δρόμου και ανάλογα με τη μορφή και το υλικό κατασκευής τους προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά της γέφυρας.
- δ) Το επίπεδο της οδού, το οποίο συνιστάται από τις λωρίδες κυκλοφορίας των οχημάτων για τις οδοφόρους γέφυρες ή τους στρωτήρες και σιδηροτροχιές για τις σιδηροδρομικές.

Ενώ σαν δευτερεύοντα μέρη μιας γέφυρας λαμβάνονται:

- α) Τα έργα προστασίας (ασφαλτικός τάπητας, τοίχοι αντιστήριξης).
- β) Τα έργα διακόσμησης γέφυρες.

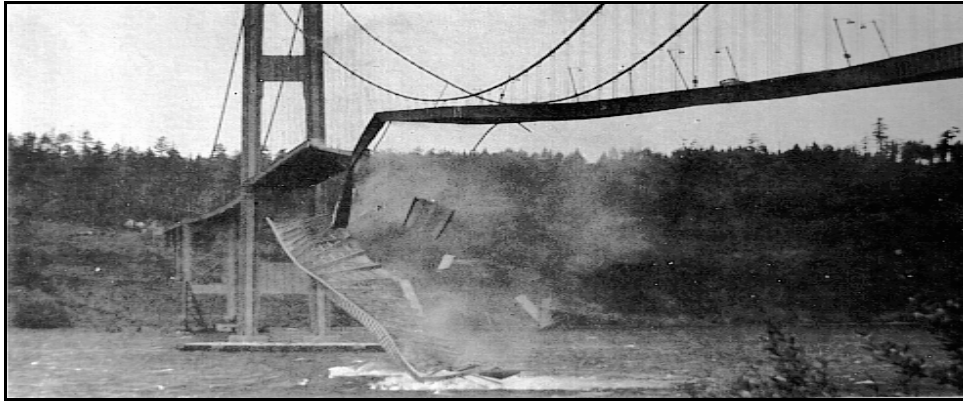
1.3. Αστοχία γεφυρών

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να αναφερθούμε σε ένα από τα πιο σπουδαία στοιχεία των γεφυρών που αφορά τη συμπεριφορά αυτών. Θα αναφερθούμε, λοιπόν, στις *αστοχίες γεφυρών* παρουσιάζοντας μερικά παραδείγματα διάσημων γεφυρών που κατέρρευσαν. Η αστοχία μιας κατασκευής και ιδιαίτερα μιας μεγάλης κατασκευής, όπως είναι μια γέφυρα απασχολεί σε πολύ μεγάλο βαθμό του μελετητές.

Μεγάλες κατασκευές όπως είναι οι γέφυρες, τα φράγματα ή ακόμη και οι σήραγγες έχουν κατά καιρούς υποστεί σημαντικές καταστροφές οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις έχουν οδηγήσει σε ολοκληρωτική κατάρρευσή τους. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις εκτός από υλικές ζημιές έχουν προκληθεί και ανυπολόγιστες ανθρώπινες απώλειες.

Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας καταστροφής αποτελεί η κατάρρευση της γέφυρας «*Tacoma Narrows*» (Εικόνα 1.1.). Η γέφυρα αυτή βρίσκεται στην Ουάσιγκτον και δόθηκε στην κυκλοφορία την 1η Ιουλίου του 1940. Για την κατασκευή της χρειάστηκαν δύο χρόνια και για την εποχή της ήταν η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα με συνολικό μήκος 1891,40 μέτρα. Το μήκος του μεσαίου ανοίγματος αυτής ήταν 891,72 μέτρα. Η γέφυρα αυτή ήταν η πιο εύκαμπτη κατασκευή που είχε κατασκευαστεί μέχρι τότε και από την αρχή που παραδόθηκε στην κυκλοφορία παρουσίαζε έντονες μετακινήσεις και στροφές. Στις 7 Νοεμβρίου 1940, μόλις τέσσερις μήνες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της, η γέφυρα κατέρρευσε ολοκληρωτικά. Το αίτιο που προκάλεσε την κατάρρευση ήταν οι θυελλώδεις άνεμοι που έπνεαν στην περιοχή και είχαν ταχύτητα 42 μιλίων ανά ώρα. Πιο συγκεκριμένα, η συχνότητα του ανέμου συνέπεσε με την ιδιοσυχνότητα της γέφυρας, προκαλώντας έτσι την κατάρρευσή της. Το τεράστιο σφάλμα που έκαναν οι μελετητές της γέφυρας αυτής είναι ότι δεν συμπεριέλαβαν στη μελέτη την δυναμική φόρτιση του ανέμου, καθώς την θεώρησαν αμελητέα ποσότητα.

ΠΕΡΙΟΧΗ / ΧΩΡΑ	Ουάσινγκτον / Η.Π.Α.
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1940
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Σίδηρος, χυτοσίδηρος, σφυρήλατος σίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Κρεμαστή γέφυρα



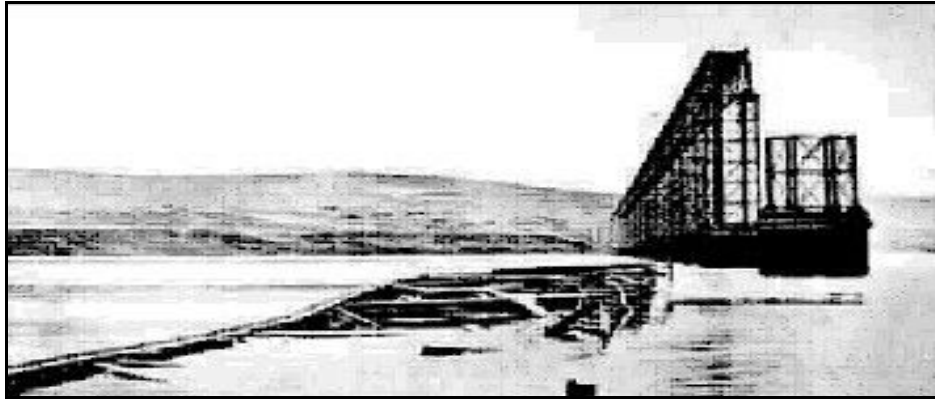
Εικόνα 1.1. «Tacoma Narrows bridge» (Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.)

Ένα ακόμα παράδειγμα αστοχίας, αποτελεί η σιδηροδρομική γέφυρα «Tay» (Εικόνα 1.2.). Βρισκόταν πάνω από τον ποταμό «Firth of Tay» στη Σκωτία. Για την κατασκευή της απαιτήθηκαν έξι χρόνια (1871-1877) μιας και ήταν μια πολύπλοκη μεταλλική κατασκευή με δικτυώματα. Είχε μήκος 3.264 μέτρα και 85 μέτρα ανοίγματα.

Στις 28 Δεκεμβρίου 1879, μόλις δεκαεννέα μήνες μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της, εξαιτίας μιας ισχυρότατης καταιγίδας με θυελλώδεις ανέμους που έφταναν τα 70 μίλια ανά ώρα, μεγάλο μέρος της γέφυρας καταστράφηκε ολοκληρωτικά. Τη στιγμή της καταστροφής διέσχιζε τη γέφυρα μια αμαξοστοιχία με έξι βαγόνια και διακόσιους επιβάτες, οι οποίοι και έχασαν τη ζωή τους κατά την πτώση της γέφυρας. Στο πόρισμα των εμπειρογνομόνων για την κατάρρευση της γέφυρας «Tay», αναφέρεται ως αιτία της καταστροφής η ελλιπής ενίσχυση και πάκτωση των δικτυωμάτων έτσι ώστε να αντέξουν το φορτίο της καταιγίδας. Βρέθηκε ακόμα ότι κατά το σχεδιασμό της γέφυρας είχε υποεκτιμηθεί το φορτίο του ανέμου.

Επίσης, κατά την κατασκευή της είχε χρησιμοποιηθεί πολύ χαμηλής ποιότητας σίδηρος. Ακόμη προσδιορίστηκε ότι υπήρχε και πρόβλημα στις συγκολλήσεις των μεταλλικών στοιχείων. Βλέπουμε λοιπόν ότι έγιναν σημαντικότερα λάθη και παραλείψεις των μηχανικών τόσο στη μελέτη, όσο και στην κατασκευή.

ΠΕΡΙΟΧΗ / ΧΩΡΑ	Σκωτία / Μ. Βρετανία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1877
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Σίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Σιδηροδρομική γέφυρα



Εικόνα 1.2. «Tay bridge» (Σκωτία, Μ. Βρετανία)

Τέλος, η γέφυρα «*Falls View*»(Εικόνα 1.3.) ή όπως είναι πιο γνωστή, «*Honeymoon bridge*» ήταν οδική γέφυρα και βρισκόταν σε ένα φαράγγι των καταρρακτών του Νιαγάρα. Κατασκευάστηκε για να αντικαταστήσει μια κρεμαστή γέφυρα, από την οποία απείχε μόλις 4 μέτρα και η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το 1898. Ήταν μια μεταλλική τοξωτή γέφυρα με δικτυωτές δοκούς και είχε άνοιγμα 256 μέτρα. Από την αρχή της λειτουργίας της υπήρξαν ενδείξεις ότι η γέφυρα παρουσίαζε σημαντικά προβλήματα. Για παράδειγμα, όταν έπνεαν ισχυροί άνεμοι πολλά αυτοκίνητα και πεζοί εξοστρακίζονταν από τη γέφυρα. Ακόμα, η γέφυρα είχε ξύλινο κατάστρωμα με αποτέλεσμα να είναι πολύ ολισθηρό όταν έβρεχε και να προκαλούνται δυστυχήματα.

ΠΕΡΙΟΧΗ / ΧΩΡΑ	Καταρράκτες Νιαγάρα / Η.Π.Α.
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1898
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Σίδηρος, ξύλο
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Μεταλλική τοξωτή γέφυρα με δικτυωτές δοκούς

Τα πρώτα σημάδια της επερχόμενης καταστροφής φάνηκαν το 1899 όταν τόνοι πάγου, που έρχονταν από τη λίμνη «*Erie*», συγκεντρώθηκαν γύρω από τους πυλώνες της γέφυρας. Το ύψος του πάγου έφτασε τα 25 μέτρα, προκαλώντας την κάμψη των πυλώνων. Κατά τους χειμερινούς μήνες όμως της ίδιας χρονιάς, πραγματοποιήθηκε μια συστηματική προσπάθεια για την απομάκρυνση του πάγου και έπειτα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες κατασκευάστηκε μια σειρά από προστατευτικά τοιχία γύρω από τους πυλώνες για την περαιτέρω προστασία τους από την επόμενη «επίθεση» του πάγου.

Αυτή η μέθοδος λειτούργησε καλά μέχρι τις 23 Ιανουαρίου 1938 οπότε και η λίμνη «*Erie*» κατέβασε από τους καταρράκτες μία τεράστια ποσότητα πάγου. Η δύναμη του πάγου ήταν τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στην

κατασκευή. Η γέφυρα από τότε έμεινε κλειστή μέχρι την ολοκληρωτική κατάρρευση της, η οποία πραγματοποιήθηκε μερικές μέρες μετά.



Εικόνα 1.3. «Falls View bridge» (Καταρράκτες Νιαγάρα, Η.Π.Α.)

Συμπερασματικά λοιπόν, διαπιστώνουμε ότι πρωταρχική αιτία των αστοχιών είναι η *λανθασμένη μελέτη* από τη πλευρά των μηχανικών. Από τα παραπάνω παραδείγματα γεφυρών παρατηρούμε ότι στη μελέτη δεν έχουν συμπεριληφθεί σωστά τα μεγέθη των καιρικών φαινομένων, όπως η δυναμική φόρτιση του ανέμου που πολλές φορές είχε θεωρηθεί αμελητέα ποσότητα με αποτέλεσμα οι καιρικές συνθήκες και συγκεκριμένα ο μεγάλος άνεμος να προκαλέσει και την κατάρρευση γεφυρών. Ακόμη εξίσου σημαντική είναι και η αναφορά μας και σε άλλα φυσικά φαινόμενα όπως οι σεισμοί, οι καταιγίδες, ο παγετός που δεν συμπεριλήφθηκαν στις μελέτες, έτσι ώστε σε τέτοιες συνθήκες να μπορέσουν να αντέξουν οι κατασκευές. Αμέσως επόμενη αιτία αστοχίας μπορεί να θεωρηθεί και η *χρήση υλικών χαμηλής ποιότητας* για παράδειγμα χαμηλή ποιότητα σιδήρου, αλλά και ο λάθος συνδυασμός των υλικών μεταξύ τους. Τέλος έχει γίνει λόγος σε παλιότερες αστοχίες ακόμη και σε *κατασκευαστικά λάθη ή σε αμέλειες των κατασκευαστών*.

1.4. Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παραθέσουμε με τη βοήθεια πίνακα τους τύπους γεφυρών που υπάρχουν με βάση κάποιον χαρακτηριστικών κριτηρίων όπως είναι το υλικό κατασκευής, το ελεύθερο άνοιγμα, το είδος του φορέα τους, τον τρόπο έδρασης τους και τη χρήση τους.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ
ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλινες. - Πέτρινες. - Μεταλλικές. - Οπλισμένου ή Προεντεταμένου σκυροδέματος. - Σύμμικτες.
ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΑΝΟΙΓΜΑ	<ul style="list-style-type: none"> - Μικρών ανοιγμάτων, έως 40 μέτρα. - Μεσαίων ανοιγμάτων, από 40 έως 150 μέτρα. - Μεγάλων ανοιγμάτων, άνω των 150 μέτρων.
ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΕΑ	<ul style="list-style-type: none"> - Γέφυρες τύπου Δοκού. - Τοξωτές γέφυρες. - Δικτυωτές γέφυρες. - Πλαισιωτές γέφυρες. - Κρεμαστές γέφυρες. - Καλωδιωτές γέφυρες.
ΤΡΟΠΟΣ ΕΔΡΑΣΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Κινητές γέφυρες. - Σταθερές γέφυρες.
ΧΡΗΣΗ	<ul style="list-style-type: none"> - Οδικές γέφυρες. - Σιδηροδρομικές. - Πεζογέφυρες. - Υδατογέφυρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ ΚΟΣΜΟ

2.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στην εξέλιξη της γεφυροποιίας στον *Αρχαίο Κόσμο*. Λέγοντας *Αρχαίο κόσμο* αναφερόμαστε στην *προϊστορία*, στην *Μεσοποταμία*, την *Αρχαία Ελλάδα* και τέλος στην *Αρχαία Ρώμη*. Πιο συγκεκριμένοι, αναφερόμαστε στην χρονική περίοδο που εκτείνεται από τον 40^ο αιώνα π.Χ. έως τον 5^ο αιώνα μ.Χ. Οι άξονες τους οποίους θα αναπτύξουμε είναι πρωταρχικά το *ιστορικό πλαίσιο* της εποχής, όπου θα δώσουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά της περιόδου, κάνοντας ταυτόχρονα αναφορά σε λόγους και αιτίες που συνέβαλλαν στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας τη συγκεκριμένη εποχή. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα *υλικά κατασκευής* των γεφυρών καθώς και τον τρόπο κατασκευής που χρησιμοποιούσαν σε αυτή την περίοδο. Ακόμη για πλήρη κατανόηση των τύπων γεφυρών που κατασκεύαζαν αυτή τη περίοδο θα δώσουμε παραδείγματα γνωστών γεφυρών τα οποία θα αναφέρουν τα υλικά και τα στάδια κατασκευής. Στο τέλος του κεφαλαίου παραθέτουμε ένα πίνακα με τον οποίο συνοψίζουμε όλα τα παραπάνω για να γίνονται πιο ευδιάκριτα στον αναγνώστη.

2.2. Προϊστορία, Μεσοποταμία, Αρχαία Ελλάδα, Αρχαία Ρώμη

2.2.1. Το Ιστορικό Πλαίσιο

Στο σημείο αυτό θα ήταν σκόπιμο να δώσουμε μια σύντομη περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της εποχής. Έτσι θα αναφερθούμε στις επιμέρους περιόδους που συνθέτουν το κεφάλαιο αυτό δίνοντας μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών καθεμίας από αυτές.

Αρχίζοντας, λοιπόν, από την *προϊστορία* αναφέρουμε ότι με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε την χρονική περίοδο του μακρινού παρελθόντος του ανθρώπου. Είναι η περίοδος της Ιστορίας που εκτείνεται από την εμφάνιση του ανθρώπου στη γη έως την ανακάλυψη της γραφής. Τα χρονικά όρια της περιόδου αυτής δεν είναι εντελώς καθορισμένα. Διαφέρουν, αρκετά μάλιστα, ανάλογα με τη χώρα και την ήπειρο. Γενικά, όμως, η αρχή της προϊστορίας παρατηρείται δύο εκατομμύρια χρόνια πριν τη γέννηση του Χριστού και το τέλος της, το 3.500 π.Χ.

Ερχόμενοι τώρα στην κατασκευή γεφυρών θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούμε στους λόγους που οδήγησαν τον άνθρωπο να στραφεί στο τομέα αυτό. Βλέπουμε έτσι σταδιακά τη κατασκευή γεφυρών να γίνεται ένα από τα πρώτα *έργα υποδομής* που κατασκεύασε ο άνθρωπος. Έτσι, οι γέφυρες κατέχουν ρόλο εξίσου σημαντικό με εκείνο της κατοικίας. Πράγματι, από τα πανάρχαια χρόνια, στην προσπάθειά του ο άνθρωπος να επικοινωνήσει κυρίως για τροφή και εμπόριο, υπήρχε η ανάγκη υπερπήδησης χειμάρρων, ποταμών και χαραδρών που στέκονταν εμπόδιο στη μετακίνηση του. Έπρεπε λοιπόν να βρεθεί μια λύση για την αποκατάσταση της συνέχειας μιας οδού πάνω από μια υδάτινη ροή. Ο άνθρωπος αντιμετώπισε το πρόβλημα αυτό κατασκευάζοντας γέφυρες από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους. Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι ότι, κατά την προϊστορία, οι λόγοι που οδήγησαν τον άνθρωπο στην κατασκευή γεφυρών είναι καθαρά βιοποριστικοί.

Καθώς όμως περνούσαν τα χρόνια οι ανάγκες του ανθρώπου αυξήθηκαν, κατά συνέπεια αυξήθηκαν και οι λόγοι που τον οδήγησαν στο να κατασκευάζει γέφυρες.

Φτάνοντας, λοιπόν, στην Αρχαία Ελλάδα βλέπουμε ότι εκτός από τους λόγους που προαναφέρθηκαν υπάρχουν και κάποιοι άλλοι, εξίσου σημαντικοί με αυτούς. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι στην Ελλάδα, καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια της αρχαίας εποχής, από τα Μυκηναϊκά χρόνια και μετέπειτα υπήρχε ένα εκτεταμένο δίκτυο δρόμων που εξυπηρετούσε τόσο το χερσαίο εμπόριο, όσο και τις άλλες μετακινήσεις του πληθυσμού για τις πολιτιστικές του, κυρίως, εκδηλώσεις. Εξυπηρετούσε, επίσης και τις πολυάριθμες μετακινήσεις του στρατού. Αξίζει να αναφέρουμε το οδικό δίκτυο που κατασκευάστηκε στην Αργολίδα γύρω στα τέλη του 13^{ου} αιώνα π.χ. το οποίο είναι από τα αρχαιότερα του κόσμου, κι αν λάβει κανείς υπόψη τις δύσκολες συνθήκες του Ελληνικού εδάφους, αποτελεί πραγματικό άθλο για την εποχή. Το οδικό, αυτό, δίκτυο καθιστά τις Μυκήνες ένα σημαντικότερο επικοινωνιακό και εμπορικό κέντρο όχι μόνο του Αιγαίου αλλά και ολόκληρης της Μεσογείου. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μεγάλη ακμή που γνώρισε ο Μυκηναϊκός πολιτισμός οφείλεται εκτός των άλλων και στο σημαντικό αυτό οδικό δίκτυο. Σημαντικότερη επινόηση των Μυκηναίων ήταν και το υδρευτικό σύστημα το οποίο μάλιστα αποτελεί και το αρχαιότερο στην Ευρώπη. Αποτέλεσε και αυτό με τη σειρά του άλλο ένα λόγο που συνέβαλε στην ακμή του Μυκηναϊκού πολιτισμού.

Η μεγάλη ανάπτυξη του δικτύου της οδοποιίας ήταν η αιτία της ανάπτυξης της γεφυροποιίας, κυρίως στη Μυκηναϊκή εποχή, δεδομένου ότι η συνέχεια όλων αυτών των δρόμων, την οποία διέκοπταν οι ποταμοί, έπρεπε να επιτευχθεί με κατάλληλες γέφυρες. Ακόμη η επινόηση του υδρευτικού συστήματος συνέβαλε στη κατασκευή γεφυρών διότι πολλές Μυκηναϊκές γέφυρες εξυπηρετούσαν και υδρευτικούς σκοπούς.

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στους λόγους που οδήγησαν στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας στην *Αρχαία Ρώμη*. Τους Ρωμαϊκούς χρόνους κατασκευάστηκε ένα μεγάλο πλήθος γεφυρών, οδών και υδραγωγείων. Δίκαια λοιπόν οι Ρωμαίοι θεωρούνται οι μεγαλύτεροι γεφυροποιοί της αρχαιότητας. Εάν αναφερθούμε πιο εκτεταμένα στη ρωμαϊκή γεφυροποιία, θα παρατηρήσουμε ότι σε σύγκριση με τη γεφυροποιία άλλων πιο σύγχρονων λαών κατέχει τα πρωτεία. Το προβάδισμα της Ρώμης στον κατασκευαστικό αυτό τομέα οφείλεται σε ποικίλους λόγους, από τους οποίους κυριότερος ήταν η ανάγκη ταχείας και απρόσκοπτης μετακίνησης του στρατού και των ανώτερων στελεχών της επικράτειας, αλλά και της άμεσης προώθησης των εντολών του συγκεντρωτικού κέντρου προς την περιφέρεια.

Επίσης η Ρώμη για την όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική διοίκηση τόσο στη μητρόπολη όσο και στα πέρατα της απέραντης επικράτειας της κατασκεύασε και περίζωσε την τότε γνώστη οικουμένη με ένα τεράστιο σε μήκος δίκτυο οδών, για το οποίο γνωρίζουμε ότι είχε μήκος πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Αποτέλεσμα της τεράστιας ανάπτυξης του δικτύου της οδοποιίας είναι η εκ παραλλήλου ανάπτυξη και της γεφυροποιίας. Το οδικό δίκτυο έπρεπε να είναι λειτουργικό κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες και σε κάθε εποχή, προκειμένου να εξυπηρετούνται απρόσκοπτα και ταχύτατα οι στόχοι της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, στρατιωτικοί και εμπορικοί. Για το λόγο αυτό, λοιπόν, η συνέχεια των δρόμων που διακόπτονταν από ποταμούς ή χείμαρρους έπρεπε να αποκατασταθεί με γέφυρες.

Ακόμη η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία είχε εξελιχθεί σε μια τεράστια υπερδύναμη με άφθονους οικονομικούς πόρους που της έδιναν τη δυνατότητα να επιχειρήσει την κατασκευή μεγάλων οικοδομημάτων – έργων υποδομής αφού οι μεγάλες δαπάνες σε χρήμα δεν αποτελούσαν για την Ρωμαϊκή αυτοκρατορία ανασταλτικό παράγοντα.

Μερικοί ακόμα λόγοι που συνέτειναν στο να αναπτυχθεί η Ρωμαϊκή γεφυροποιία ήταν:

α) Η εκμετάλλευση των ιδιοτήτων ενός εγχώριου υλικού της *ποζολάνης*, από το οποίο κατασκεύαζαν ένα κονίαμα για υδραυλικές κατασκευές με άριστη συμπεριφορά τόσο μέσα στο νερό όσο και στον αέρα.

β) Η ικανότητα να θεμελιώνουν στα μεγάλα ποτάμια «*υπό το ύδωρ*», χρησιμοποιώντας μεθόδους που εφαρμόζονται και σήμερα (φράγματα από πασσαλοσανίδες και καταδυόμενα φρέατα).

γ) Η ικανότητα να κατασκευάζουν με μεγάλη επιδεξιότητα ξυλότυπους σημαντικών διαστάσεων, προκειμένου να στηρίζονται οι «*θολίτες*» λίθοι των μεγάλων γεφυρών ανοίγματος 25 ή και 30 μέτρων όσο διαρκούσε η κατασκευή. Η κατασκευή των ξυλότυπων ήταν μια ενδιάμεση μεν αλλά βαρύνουσα σημασίας εργασία, χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η αποπεράτωση του όλου έργου.

δ) Η σημαντική πρόοδος στις θολωτές κατασκευές, και ιδιαίτερα στα κυκλικά τόξα.

Στο σημείο αυτό ας δούμε πόσο σημαντική ήταν η τέχνη της γεφυροποιίας για τους Ρωμαίους. Είναι αποδεκτό από όλους ότι οι Ρωμαίοι αποτέλεσαν τους μεγαλύτερους γεφυροποιούς της αρχαιότητας. Είναι οι πρώτοι που συγκρότησαν ένα *τεχνικό σώμα* από μηχανικούς και έμπειρους τεχνίτες που συντόνιζαν και επέβλεπαν, σε όλη την έκταση της αυτοκρατορίας την κατασκευή γεφυρών. Ίδρυσαν σχολές ενώ κατέγραψαν τις πρώτες οδηγίες και τεχνικές προδιαγραφές, με σημαντικότερο το έργο του *Βιτρούβιου*¹ «*Η Αρχιτεκτονική*». Πραγματοποιήθηκε ουσιαστική ανάπτυξη στην τεχνική της γεφυροποιίας, αλλά και γενικότερα των κατασκευών. Η τέχνη της γεφυροποιίας στη Ρώμη περιβλήθηκε με τέτοια αίγλη και κύρος, ώστε κατέστη ιερή, η κατασκευή γεφυρών θεωρήθηκε θρησκευτική πράξη που διενεργούσαν ειδικοί αξιωματούχοι των οποίων το αξίωμα είχε θεσμοθετηθεί από την πολιτεία και οι οποίοι αναφέρονται στην ιστορία ως «*ποντίφικες*». Οι αξιωματούχοι αυτοί, ενώ αρχικά είχαν επωμισθεί μόνο τις πρακτικές φροντίδες για την ανέγερση της γέφυρας, με την πάροδο του χρόνου λειτούργησαν και ως «*ιερείς επί των γεφυρών*».

Τελειώνοντας ας δούμε τι επέτρεψε η εξέλιξη της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας στο πέρασμα των χρόνων. Η Ρωμαϊκή γεφυροποιία, όπως εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου, αποτελεί τεχνολογικό επίτευγμα πρώτου μεγέθους. Η συσσώρευση πείρας, σε συνδυασμό με τους άφθονους οικονομικούς πόρους που διέθετε η Ρώμη επέτρεπε να κατασκευαστούν γέφυρες:

α) Ανθεκτικές στο χρόνο.

β) Ενδιαφέρουσες τόσο από άποψη αρχιτεκτονική όσο και αισθητική, καθώς σιγά – σιγά οι γέφυρες παύουν να αποτελούν μια απλή χρηστική κατασκευή, διάφοροι καλλιτέχνες προσέδωσαν σ' αυτές χαρακτήρα μνημειώδους έργου τέχνης κοσμώντας τις με ασίδες, αγάλματα, ορθομαρμαρώσεις καθώς και με πλούσιο διάκοσμο.

γ) Μεγάλου ελευθέρου ανοίγματος με σωστές διαστάσεις και πλήρη στατική επάρκεια, χάρη στη σχεδόν αποκλειστική χρήση του εξ Ανατολών προερχόμενου ορθού ή γνήσιου κυλινδρικού θόλου, που, για την τότε εποχή των μεγάλων λίθινων κατασκευών αλλά και πολύ μεταγενέστερα, αποτελούσε τον τέλειο στατικό φορέα.

¹ Ρωμαίος συγγραφέας, μηχανικός και αρχιτέκτονας που έζησε τον 1^ο π.χ. αιώνα.

2.2.2. Υλικά κατασκευής

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε αναλυτικά στα υλικά κατασκευής των γεφυρών ξεκινώντας από την προϊστορία μεταβαίνοντας στην Μεσοποταμία, ύστερα στην Αρχαία Ελλάδα και τέλος στην Αρχαία Ρώμη.

Ο άνθρωπος της *προϊστορικής εποχής* χρησιμοποίησε, για την κατασκευή γεφυρών, υλικά που απαντούσε στη φύση. Αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς η έλλειψη τεχνικών μέσων και τεχνολογικής εξειδίκευσης δεν του επέτρεπαν να επεξεργαστεί τα υπάρχοντα υλικά ή ακόμη να κατασκευάσει κάποια άλλα. Μιλάμε για μια εποχή όπου οι γνώσεις του ανθρώπου ήταν πολύ περιορισμένες.

Έτσι, λοιπόν, για τις πρώτες υποτυπώδεις κατασκευές χρησιμοποιούσε το *ξύλο*, *φυσικούς λίθους*, καθώς και κάποια *φυσικά σχοινιά*.

Το *ξύλο* ήταν ένα από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος καθώς αυτό απαντούσε άφθονο στη φύση. Δυστυχώς, όμως, δεν υπάρχουν στοιχεία που να μας αναφέρουν τα είδη ξύλων που χρησιμοποιήθηκαν στη γεφυροποιία κατά την εποχή αυτή. Μόνο υποθέσεις μπορούμε να κάνουμε, όπου σύμφωνα με αυτές πιθανότατα χρησιμοποιήθηκε ξύλο που προέρχονταν από μεγάλα δέντρα κυρίως από κυπαρίσσι και κέδρο.

Ακολουθούν οι *φυσικοί λίθοι* που χρησιμοποιήθηκαν και ήταν πιθανότατα *ασβεστόλιθοι* οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα, μικρό πορώδες και υδατοαπορρόφηση, καθώς και μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Επίσης, έχουν μεγάλες μηχανικές αντοχές και παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στη θλίψη, μεγάλη αντοχή στον παγετό, στην υψηλή θερμοκρασία καθώς και υψηλές τιμές σκληρότητας και δυναμικών ελαστικών σταθερών. Οι περισσότεροι, είναι δυνατόν να κοπούν, να λαξευτούν και να λειανθούν με ευκολία και κυρίως οι ασβεστόλιθοι που πιθανός χρησιμοποιούσαν παρουσίαζαν μεγάλη ανθεκτικότητα. Πιο συγκεκριμένα ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του *ασβεστόλιθου* είναι ότι αποτελείται κυρίως από *ασβεστίτη* με ποικίλο χρώμα και σύσταση. Είναι πέτρωμα συμπαγές μέχρι πορώδες με καλή λείανση και κατεργάζεται εύκολα.

Τέλος έχουμε και τα *φυσικά σχοινιά* που χρησιμοποιήθηκαν στην προϊστορία προέρχονταν από μερικές ποικιλίες *υδροχαρών φυτών*. Τα εν λόγω φυτά αναπτύσσονταν σε περιοχές που υπήρχε άφθονο νερό, όπως λίμνες, ποτάμια. Και τις δυνατότητες που προσέφεραν τα φυσικά σχοινιά τις αντιλήφθηκαν πρώτοι οι άνθρωποι που ζούσαν στους λιμναίους οικισμούς. Οι ίνες που προέρχονταν από μερικές ποικιλίες υδροχαρών φυτών πλέκονταν σε σχοινιά, τα οποία είχαν το απαραίτητο μέγεθος για την κατασκευή γέφυρας. Η πλέξη των σχοινιών αυτών οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων κρεμαστών γεφυρών.

Ερχόμενη τώρα στη *Μεσοποταμία* παρατηρούμε και εκεί ανάπτυξη της γεφυροποιίας έχοντας ως πηγές μας μόνο τους αρχαίους συγγραφείς, οι οποίοι ανέφεραν στα συγκράματα τους ορισμένα στοιχεία για τις κατασκευές εκείνης της περιόδου. Όσο αφορά τα υλικά κατασκευής έχουμε αναφορές για ξύλινες και μάλιστα λυόμενες κινητές γέφυρες, οι οποίες αποτελούνταν από ξύλινους δοκούς στηριζόμενους σε λιθόκτιστα βάθρα. Όσο αφορά τώρα τη σύνδεση των λίθων μεταξύ τους επιτυγχάνονταν με σίδηρο και μόλυβδο. Έτσι συμπεραίνουμε ότι ως κύρια υλικά κατασκευής χρησιμοποιούσαν το *ξύλο*, τους *φυσικούς λίθους* καθώς επίσης σαν συνδετικούς παράγοντες αυτών το *σίδηρο* και το *μόλυβδο*.

Τέλος σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στα υλικά που χρησιμοποιούσαν οι Αρχαίοι Έλληνες στις κατασκευές. Είναι γνωστό ότι τα υλικά δόμησης των Αρχαίων Ελλήνων έχουν μια γενική χρονική κατανομή η οποία ακολουθεί περίπου την εξής

πορεία. Έτσι από την γεωμετρική εποχή και μέχρι την πρώιμη αρχαϊκή τα βασικά υλικά δόμησης ήταν το ξύλο, ο πηλός και οι λίθοι. Τον 6^ο αιώνα π.Χ. η κατασκευή αλλάζει και το ξύλο χάνει έδαφος, έναντι των φυσικών λίθων που το αντικαθιστούν στις κατασκευές. Χρησιμοποιούνται περισσότερο οι *πωρόλιθοι* και οι *ασβεστόλιθοι*, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται τεχνική επίχρισης με κονιάματα ή με πηλό. Τον 5^ο και τον 4^ο αιώνα π.χ. τα υλικά του 6^{ου} αιώνα π.Χ. γενικεύονται και παράλληλα τελειοποιείται η τεχνική κατάρτιση πάνω σε αυτά. Κατά τους Ελληνιστικούς χρόνους τα υλικά παραμένουν τα ίδια με αυτά των προηγούμενων αιώνων.

Στην αρχαία Ελληνική γεφυροποιία τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ξύλο και οι *φυσικοί λίθοι*. Το ξύλο υπήρξε ένα από τα υλικά δόμησης που χρησιμοποιήθηκε κατά κανόνα στην γεφυροποιία κυρίως από τα τέλη των Μυκηναϊκών χρόνων μέχρι και τα τέλη των Ελληνιστικών χρόνων. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ξύλα με μεγάλη αντοχή όπως *έλατο*, *κυπαρίσσι*, *πεύκο*, *κέδρος*. Το ξύλο χρησιμοποιήθηκε είτε για την *ανωδομή* της γέφυρας, της οποίας όμως τα *βάθρα* ήταν λίθινα (μεικτή ξύλινη - λίθινη γέφυρα), είτε για την κατασκευή μιας εξ' ολοκλήρου ξύλινης γέφυρας. Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι το υλικό αυτό έχει ένα βασικό μειονέκτημα, που δεν ήταν άλλο από τη μικρή αντοχή τόσο στο χρόνο όσο και στις καιρικές συνθήκες. Αποτέλεσμα του μειονεκτήματος αυτού, ήταν, να μην σωθούν μέχρι τις μέρες μας ούτε αξιόλογα, ούτε πολλά δείγματα γεφυρών της εποχής. Δεν άντεξαν τη φθορά του χρόνου και των καιρικών συνθηκών.

Μεγαλύτερη, όμως, εφαρμογή στην αρχαία Ελληνική γεφυροποιία έβρισκαν οι φυσικοί λίθοι και συγκεκριμένα οι *ασβεστόλιθοι*. Ο ασβεστόλιθος είναι πέτρωμα με κυριότερο ορυκτό συστατικό τον *ασβεστίτη*. Είναι τυπικό ιζηματογενές πέτρωμα χημικό ή βιογενές ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του. Το χρώμα του πετρώματος είναι συνήθως άσπρο, γαλαζωπό – γκρι ή κιτρινωπό, σπάνια μαύρο ή κοκκινωπό και εξαρτάται από τις προσμίξεις του. Η Ελληνική κατασκευή περιορίστηκε στην χρήση των φυσικών λίθων που υπήρχαν στην επικράτειά της εξαιτίας του φυσικού πλούτου αλλά και του υψηλού κόστους μεταφοράς των δομικών πρώτων υλών.

Η μεγάλη αντοχή των φυσικών λίθων στο χρόνο επέτρεψε να σωθούν μέχρι τις μέρες μας αξιόλογα δείγματα γεφυρών της εποχής. Αυτό μας επιτρέπει να έχουμε μια πιο πλήρη εικόνα και να κατανοούμε καλύτερα αυτά που έχουμε ακούσει για τις κατασκευές αυτές, αφού έχουμε τη δυνατότητα να τις παρατηρήσουμε από κοντά. Στη Ρωμαϊκή γεφυροποιία λοιπόν συναντήσουμε το ξύλο, τους *φυσικούς λίθους*, τα διάφορα *κονιάματα*, καθώς και το *Ρωμαϊκό σκυρόδεμα*. Βασικό συστατικό του Ρωμαϊκού σκυροδέματος ήταν ένα υλικό που ονομάζεται ποζολάνη². Πιο συγκεκριμένα τα ξύλα που χρησιμοποιούνταν στην Αρχαία Ρώμη είναι τα εξής: το έλατο, η δρυς, η βελανιδιά, η οξιά, η λεύκα, η ιτιά, η φτελιά, η φλαμουριά, το κυπαρίσσι, η σφένδαμνος, το πεύκο, και ο κέδρος. Το ξύλο χρησιμοποιήθηκε στη Ρωμαϊκή γεφυροποιία άλλοτε για την κατασκευή γεφυρών εξ' ολοκλήρου από ξύλο (ξύλινες γέφυρες) και άλλοτε για την κατασκευή γεφυρών τόσο από φυσικούς λίθους όσο και από ξύλο (μεικτές κατασκευές). Και οι φυσικοί λίθοι χρησιμοποιήθηκαν στη Ρωμαϊκή γεφυροποιία καθώς βρήκαν τεράστια εφαρμογή στις λίθινες γέφυρες των οποίων αποτελούσαν το βασικό υλικό κατασκευής. Πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι οι καλλιτέχνες στη Ρωμαϊκή εποχή κοσμούσαν τις γέφυρες με διάφορα διακοσμητικά στοιχεία όπως αγάλματα ή ορθομαρμαρώσεις που ήταν κατασκευασμένα από πολυτελή και ακριβά *μάρμαρα* και *γρανίτες*. Ο *γρανίτης* αποτελείται κυρίως από *άστριο* και *χαλαζία* με χρώμα τεφρό μέχρι μαύρο. Είναι πέτρωμα *όξινο*, *κρυσταλλικό*,

² Στην Ελλάδα ήταν από παλιά γνωστή ως Θηραϊκή Γή.

κοκκώδες, πολύ σκληρό, αδιαπέραστο από την υγρασία, δύσκολο στην κατεργασία και καλής στίλβωσης. Είναι ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.

Τη Ρωμαϊκή εποχή τα κονιάματα χρησιμοποιήθηκαν σαν συνδετικά υλικά, με βασικό τους υλικό τον ασβέστη, μαζί με άμμο ή θηραϊκή γη. Έτσι ξεκίνησε μια τεχνολογία χυτών υλικών που βασίζονταν στα κονιάματα και τον συνδυασμό αυτών με χαλίκια και λίθους μικρού μεγέθους. Τα κονιάματα που περιείχαν θηραϊκή γη διέθεταν υδραυλικές ιδιότητες και για το λόγο αυτό έβρισκαν εφαρμογές σε κατασκευές που χρειαζόνταν υδατοστεγανότητα όπως τα θεμέλια μιας γέφυρας. Τα κονιάματα απέκτησαν σημαντική θέση στην κατασκευή. Η παραγωγή τους ήταν μια διαδικασία ξήρανσης και επακόλουθης ύγρανσης. Οι ποσότητες κονιάματος που έπρεπε να χρησιμοποιηθούν σε δεδομένες χρονικές στιγμές μπορούσαν να υπολογιστούν με ευκολία και ακρίβεια. Το κονίαμα έδωσε στους αρχιτέκτονες την ευπλαστότητα που χρειαζόνταν για την κατασκευή ποικίλων μορφών.

Το Ρωμαϊκό σκυρόδεμα ήταν συνδυασμός άμμου, ασβέστη και ποζολάνης. Αποτελούσε το σημαντικότερο συνθετικό προϊόν των πειραματισμών των Ρωμαίων με τα κονιάματα και τα αδρανή υλικά. Βασικά ήταν ένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε μνημειακά έργα, όπως ήταν οι γέφυρες. Όταν φτιαχνόταν σωστά παρείχε σταθερότητα από τα θεμέλια μέχρι τη στέψη των θόλων μιας κατασκευής.

Η ποζολάνη είναι ένα ανόργανο υλικό με ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές του τσιμέντου. Μπορεί να προέρχεται είτε από τη φύση (φυσική ποζολάνη), είτε από τεχνικές πηγές. Η φυσική ποζολάνη είναι ένα βιομηχανικό ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης και περιέχει υψηλό ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου, αλλά και οξειδίο του αργιλίου. Αλεσμένη ποζολάνη, που έχει αναμειχθεί με άσβεστο και νερό, δημιουργεί ένα είδος τσιμέντου. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα στην τσιμεντοβιομηχανία (ποζολανικά τσιμέντα) ως πρόσθετο. Η ανακάλυψη των ιδιοτήτων της έγινε από τους Ρωμαίους. Το όνομά της προέρχεται από το χωριό *Pozzuoli*³ (που ονομάζονταν τότε *Puteoli*) της Ιταλίας στην περιοχή του Βεζούβιου. Η ποζολάνη ήταν συστατικό του Ρωμαϊκού σκυροδέματος το οποίο αποτέλεσε σημαντική καινοτομία των Ρωμαίων στις κατασκευές.

2.2.3. Μέθοδοι κατασκευής

Ερχόμενη τώρα σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε στους τρόπους κατασκευής γεφυρών της συγκεκριμένης περιόδου και με τη βοήθεια σχημάτων αλλά και εικόνων θα γίνουν πιο κατανοητοί για τον αναγνώστη.

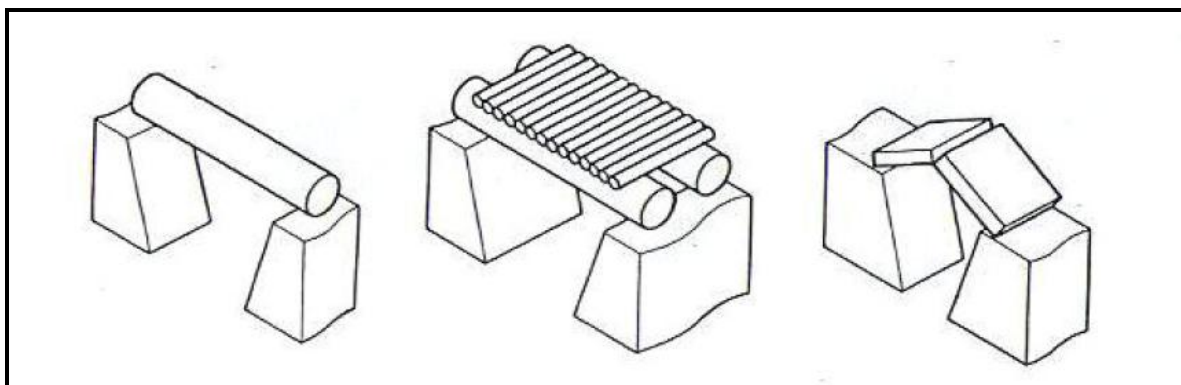
Αρχίζοντας λοιπόν από την *Προϊστορία* παρατηρούμε τον άνθρωπο να παρακολουθεί τα δημιουργήματα της φύσης, και παίρνοντας ιδέες από αυτά, άρχισε να κατασκευάζει τις πρώτες τεχνητές γέφυρες. Ήταν υποτυπώδεις κατασκευές δίχως να παρουσιάζουν κάποιο σημαντικό ενδιαφέρον από άποψη τεχνολογική, αισθητική ή αρχιτεκτονική. Οι πρώτες τεχνητές γέφυρες, όπως προαναφέραμε, ήταν δυνατό να κατασκευάζονται μόνο από υλικά που παρείχε η φύση. Στην αρχή τα υλικά αυτά δεν επιδέχονταν κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία ή κατεργασία καθώς οι γνώσεις και το τεχνολογικό υπόβαθρο της εποχής δεν επέτρεπαν κάτι τέτοιο. Στη συνέχεια ο προϊστορικός άνθρωπος άρχισε να επεξεργάζεται τα υλικά αυτά, στο βαθμό που του επέτρεπαν οι γνώσεις και η τεχνολογία που είχε, και να τα χρησιμοποιεί κατάλληλα, με αποτέλεσμα σιγά – σιγά να αναπτύσσει κάποιες μεθόδους κατασκευής.

³ Από εκεί εξορύχτηκαν σημαντικές ποσότητες του υλικού από τους Ρωμαίους

Συγκεκριμένα χρησιμοποιούσε μεγάλους κορμούς δέντρων, χωρίς να τους επεξεργάζεται σε μεγάλο βαθμό, τοποθετώντας τους κατάλληλα, ώστε να γεφυρώνει μικρά ρεύματα. Ακόμη χρησιμοποιούσε μεγάλες λίθινες πλάκες (Σχήμα 2.1.), τις οποίες κατεργαζόταν για να τους δώσει όσο το δυνατόν πιο επίπεδο σχήμα, τοποθετώντας αυτές πάνω από φυσικές ροές. Σχετικά σύντομα έγινε αντιληπτό ότι η τοποθέτηση δύο ή περισσότερων κορμών δεμένων μεταξύ τους με φυσικά σχοινιά έδινε μια πιο αποτελεσματική κατασκευή. Οι δυνατότητες, όμως, που προσέφεραν οι τρόποι γεφύρωσης που εφαρμόστηκαν στην αρχή ήταν κάπως περιορισμένες. Τα προβλήματα εμφανίστηκαν όταν απαιτήθηκε να διασχίσει κάποιος ένα πλατύ ποτάμι με χαμηλές όχθες και σχετικά μικρό βάθος. Στην περίπτωση αυτή αναπτύχθηκε η ιδέα της ανεύρεσης ή της κατασκευής ενδιάμεσων στηριγμάτων, που είναι γνωστά ως μεσόβαθρα. Τα μεσόβαθρα, στην αρχή, ήταν είτε ένα μικρό νησί, είτε ένας προεξέχων βράχος, ή ακόμη ένας τεχνητός σωρός από μεγάλες πέτρες. Αποτελέσαν έτσι τα πρώτα βάθρα για την στήριξη κορμών δένδρων ή λίθινων πλακών για τη γεφύρωση ανοιγμάτων μεγαλύτερου μήκους. Αρκετές φορές μάλιστα για την κατασκευή μεσόβαθρων χρησιμοποιήθηκαν ξύλινα δοκάρια.

Ας δούμε τώρα πως χρησιμοποιήθηκαν τα φυσικά σχοινιά στην γεφυροποιία κατά την προϊστορία. Οι γέφυρες αυτές αποτελούνταν από τρία δεμένα μεταξύ τους σχοινιά, δύο στις πλευρές ως προστατευτικά και ένα τρίτο, ισχυρότερο, όπου βάδιζε ο χρήστης. Το επόμενο βήμα στην κατασκευή ήταν τέσσερα σχοινιά, δύο κάτω ενωμένα με ένα πλέγμα φυτικών ινών έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα δάπεδο, και δύο υπερυψωμένα για την προστασία του χρήστη.

Όπως είναι φυσικό δεν έχουν σωθεί στις μέρες μας, έργα της εποχής αυτής. Δεν είναι δυνατόν μια κατασκευή να καταφέρει να αντέξει τόσες χιλιάδες χρόνια, πόσο μάλλον, όταν είναι κατασκευασμένη από φθαρτά υλικά όπως ξύλο ή σχοινιά. Ακόμη και οι πληροφορίες που έχουμε είναι λίγες, συγκεχυμένες και δεν παρέχουν ακριβή και συγκεκριμένη εικόνα των υλικών ή των μεθόδων κατασκευής, καθώς βασίζονται περισσότερο σε υποθέσεις. Αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς αναφερόμαστε σε κατασκευές που έγιναν χιλιάδες χρόνια πριν τη γέννηση του Χριστού, όπου δεν υπήρχε τρόπος να καταγραφούν τα στοιχεία αυτά.



Σχήμα 2.1. Χαρακτηριστικοί τρόποι γεφύρωσης κατά τη Προϊστορία. Διακρίνεται η χρήση κορμών δέντρων και μεγάλων λίθινων πλακών.

Μεταβαίνοντας τώρα στη *Μεσοποταμία* παρατηρούμε και εδώ τη μεγάλη ανάπτυξη της γεφυροποιίας. Αυτό επιβεβαιώνεται από αρχαίες πηγές που υπάρχουν. Στις πηγές αυτές πολλοί συγγραφείς αναφέρουν κάποια σημαντικά έργα χαρακτηρίζοντας τα μεγαλειώδη. Δυστυχώς όμως τις περισσότερες φορές δεν δίνουν καθόλου ή δίνουν ελάχιστες τεχνικές λεπτομέρειες ή λεπτομέρειες του τρόπου κατασκευής τους.

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε σε μία από τις πιο γνωστές γέφυρες, της οποίας η περιγραφή υπάρχει σε αρχαίες πηγές (Ηρόδοτος, Διόδωρος ο Σικελιώτης). Πρόκειται για τη γέφυρα επί του Ευφράτη στη Βαβυλώνα. Τόσο ο Ηρόδοτος όσο και ο Διόδωρος ο Σικελιώτης, αναφέρονται σε αυτή και παρέχουν στοιχεία για τη κατασκευή της, παρόλο που πολλά απ' αυτά θεωρούνται υπερβολικά ή λανθασμένα, μας δίνουν μια ικανοποιητική εικόνα του έργου και του τρόπου κατασκευής του. Βέβαια αξίζει να αναφέρουμε ότι δεν παρουσιάζουν πολλές λεπτομέρειες σε σχέση με τη μέθοδο κατασκευής.

Η εν' λόγω γέφυρα πρέπει να χτίστηκε επί βασιλείας του Ναβουχοδονόσορ Β (604 – 561 π.Χ.). Ανασκαφές που έγιναν από τον R. Koldewey, κατέδειξαν ότι το συνολικό μήκος της δεν ξεπερνούσε τα 123 μέτρα, το πλάτος της ήταν εννέα μέτρα, είχε επτά βάθρα, πάχους εννέα μέτρων, τα οποία βρίσκονταν σε απόσταση εννέα μέτρων το ένα από το άλλο. Ήταν ξύλινη και μάλιστα λυόμενη, κινητή και αποτελούνταν από ξύλινους δοκούς στηριζόμενους σε λιθόκτιστα βάθρα. Η σύνδεση των λίθων επιτυγχανόταν με σίδηρο και μόλυβδο.

Ας δούμε λοιπόν την περιγραφή του τρόπου δόμησης της γέφυρας αυτής όπως δίνεται από τον Ηρόδοτο:

« Επειδή η πόλη είναι χωρισμένη στα δύο από τον ποταμό που περνάει στη μέση, την εποχή προηγούμενων βασιλιάδων, αν ήθελε κανείς να περάσει από το ένα τμήμα στο άλλο, έπρεπε να χρησιμοποιήσει βάρκα και, κατά τη γνώμη μου, αυτό ήταν μεγάλη φασαρία. Εκείνη όμως το προέβλεψε και αυτό. Τον καιρό που άνοιξε τον μεγάλο λάκκο για τη λίμνη, μαζί με αυτό το έργο, άφησε και ένα άλλο μνημείο, το εξής: Έβγαλε μεγάλα αγκωνάρια, και όταν ετοιμάστηκαν και είχε σκαφτεί η λίμνη, διοχέτευσε όλο το ρεύμα του ποταμού στο σκαμμένο μέρος. Και τον καιρό που αυτό γέμιζε νερό, ξεράθηκε η παλιά κοίτη, και τότε από τη μια έχτισε τις όχθες του ποταμού σε όσο μέρος ήταν στη πόλη, και τις καθόδους που οδηγούσαν από τις μικρές πύλες στον ποταμό, με ψημένα τούβλα, κατά τον ίδιο τρόπο που χτίστηκε το τείχος, κι από την άλλη, στο μέσο περίπου της πόλης, έχτισε μια γέφυρα, με τα αγκωνάρια που είχε ετοιμάσει και τα έδεσε με σίδηρο και με μολύβι. Όσο ήταν μέρα, άπλωνε απάνω τους τετράγωνα ξύλα, κι απ' αυτά περνούσαν από τη μια μεριά στην άλλη οι Βαβυλώνιοι. Τις νύχτες όμως αφαιρούσαν τα ξύλα αυτά για να μην περνούν από δω κι από κει και κλέβουν ο ένας τον άλλο. Κι όταν πια ο λάκκος της λίμνης γέμιζε καλά από το ποτάμι και τελείωσε η κατασκευή του γεφυριού, διοχέτευσε πάλι τον Ευφράτη ποταμό από τη λίμνη και τον ξανάφερε πάλι στην παλιά του κοίτη. Κι έτσι το όρυγμα έγινε έλος, και φαινόταν πως ήταν καλό για ώρα ανάγκης, κι ετοιμάστηκε και μια γέφυρα για τους πολίτες».

Περισσότερες λεπτομέρειες σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής μας δίνει ο Διόδωρος ο Σικελιώτης. Έτσι παραθέτουμε και την δική του περιγραφή η οποία αναφέρει:

«Η Σεμίραμις ανέλαβε την κατασκευή μιας γέφυρας μήκους πέντε σταδίων στο στενότερο σημείο του ποταμού στερεώνοντας με τέχνη στο βυθό τις κολώνες, που απείχαν η μια από την άλλη δώδεκα πόδια. Και τις πέτρες, που ήταν γερά στερεωμένες η μία με την άλλη, τις έδεσε με σιδερένιες αρπάγες και γέμιζε τους αρμούς με λιωμένο μολύβι. Μπροστά πάλι απ' τις κολώνες, στην πλευρά που θα

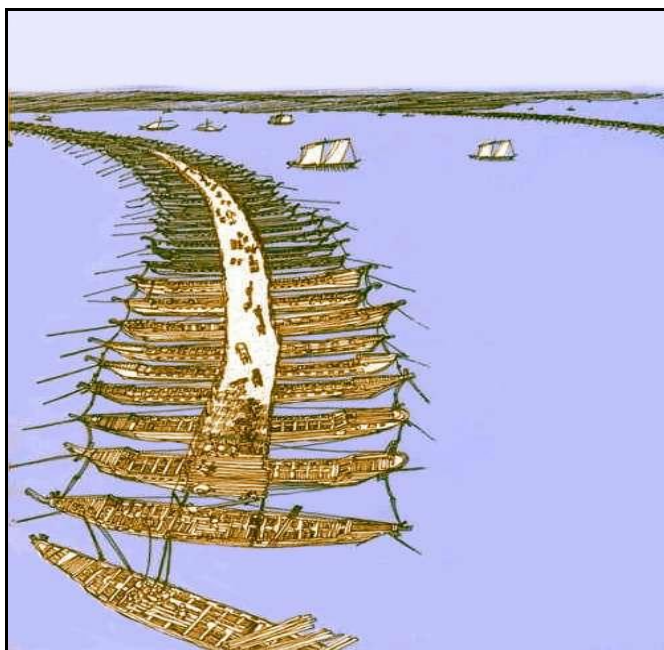
δεχόταν την ορμή του ρεύματος, κατασκεύασε γωνιώδεις προεξοχές, που οι πλευρές τους στρογγύλευαν για ν' απλώνουν το νερό κι έφταναν βαθμιαία στο πλάτος της κολώνας, ώστε το αιχμηρό σημείο της προεξοχής να κόβει την ορμή του ρεύματος, ενώ οι στρογγυλές πλευρές ενδίδοντας στην ορμή του να πραΰνουν τη σφοδρότητα του ποταμού. Η γέφυρα, λοιπόν, στερεωμένη με δοκάρια από κέδρο κι από κυπαρίσσι, επίσης με πελώριους κορμούς από φοινικίες, είχε πλάτος τριάντα πόδια και δεν θεωρούνταν κατώτερο στην τεχνική από κανένα απ' τα έργα της Σειραμίδος. Και σε κάθε πλευρά του ποταμού έχτισε μια πολυδάπανη προβλήτα, στο ίδιο πλάτος με τα τείχη και σε μήκος εκατόν εξήντα στάδια».

Να παρατηρήσουμε εδώ ότι η θεμελίωση των βάθρων της γέφυρας έγινε «εν ξηρώ», με εκτροπή του Ευφράτη, και ότι το ζεύγμα (η ανωδομή) τους ήταν από μεγάλα ισχυρά ξύλινα δοκάρια, από τα οποία αφαιρούσαν έναν ορισμένο αριθμό κάθε βράδυ ώστε να αχρηστεύεται η γέφυρα για λόγους ασφαλείας και να μην είναι δυνατή η κυκλοφορία πάνω σ' αυτή.

Αξιοσημείωτες, ήταν, επίσης οι πλωτές πολεμικές γέφυρες (Εικόνα 2.2.) που κατασκευάζονταν κατά την διάρκεια εκστρατειών και εξυπηρετούσαν όπως ήταν αναμενόμενο τη μεταφορά του στρατού. Η πρώτη μεγάλη πλωτή πολεμική γέφυρα κατασκευάστηκε από τον Ξέρξη για να περάσει ο στρατός του τον Ελλήσποντο, κατά την εκστρατεία εναντίον της Ελλάδας το 480 π.Χ. Κατασκευάστηκαν δύο γέφυρες και χρησιμοποιήθηκαν 360 πλοία για την μία και 314 για την άλλη. Τα πλοία τα αγκυροβόλησαν δίπλα – δίπλα και τέντωσαν σε κάθε σειρά των πλοίων έξι σχοινιά τα οποία συγκρατούσαν τα πλοία μεταξύ τους, αλλά υποβάσταζαν και το κατάστρωμα. Ο Ηρόδοτος μας δίνει την ακόλουθη περιγραφή:

«Τριήρεις και πεντηκόνταροι, 674 συνολικά, δέθηκαν μεταξύ τους με σχοινιά. Οι πέρσες μηχανικοί προσανατόλισαν τα σκάφη κατά το ρεύμα του Ελλήσποντου και αγκύρωσαν τα πλοία. Τέντωσαν τα σχοινιά που έδεναν τα πλοία και πάνω σ' αυτά τοποθέτησαν κορμούς δέντρων, καλά δεμένους μεταξύ τους και με τα σχοινιά. Πάνω σ' αυτούς κατασκεύασαν το τελικό κατάστρωμα με κλαδιά δέντρων και λάσπη. Στις πλευρές τοποθέτησαν φραγμούς για να μη φοβούνται τα υποζύγια και τα άλογα βλέποντας τη θάλασσα από πάνω. Είναι αξιόλογο ότι και αυτή η πλωτή γέφυρα είχε τρία κινητά τμήματα, για τη διασφάλιση της ναυσιπλοΐας. Και είχαν δεθεί τα δύο γεφύρια όταν έπεσε μεγάλη τρικυμία κι έκοψε και διέλυσε όλα τα δεσίματα των γεφυριών. Άμα το έμαθε ο Ξέρξης θύμωσε και παράγγειλε να μαστιγώσουν 300 φορές τον Ελλήσποντο και να ρίξουν στο πέλαγος ένα ζευγάρι σίδερα. Άκουσα ακόμη πως έστειλε στιγματιστάδες να στιγματίσουν τον Ελλήσποντο και παράγγειλε σ' αυτούς που θα τον έδερναν να του λένε λόγια προσβλητικά και βάρβαρα. Εσένα, πικρό νερό, ο αφέντης μας σου κάνει αυτή την τιμωρία επειδή του έκανες κακό, χωρίς αυτός να σε αδικήσει. Ο βασιλιάς Ξέρξης θα σε περάσει, θέλεις δε θέλεις. Σωστά, όμως, κανένας άνθρωπος σ' εσένα δεν προσφέρει θυσίες, διότι είσαι ποταμός δολερός και αλμυρός. Μ' αυτές τις ποινές παράγγειλε να τιμωρήσουν τη θάλασσα και να κόψουν τα κεφάλια εκείνων που επιστάτησαν στο γεφύρωμά της. Και οι προσταγές του εκτελέστηκαν από τους ανθρώπους που είχαν αναλάβει αυτό το έργο».

Χαρακτηριστικό παράδειγμα γεφύρας αναφέρουμε στο **Παράρτημα #1**.



Εικόνα 2.2. Μια από τις δύο πλωτές γέφυρες του Ξέρξη στον Ελλήσποντο.

Μεταβαίνοντας τώρα στην *Αρχαία Ελλάδα* διαπιστώνουμε ότι με τα σημερινά δεδομένα γνωρίζουμε ότι στην Αρχαία Ελλάδα, καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια της αρχαίας εποχής, από τα Μυκηναϊκά χρόνια και μετέπειτα, υπήρχε ώριμη τεχνογνωσία (τεχνική της γεφυροποιίας) για τη κατασκευή γεφυρών. Πρέπει, όμως, να επισημάνουμε ότι δεν υπάρχουν γραπτές πηγές που να μας πληροφορούν αν οι Αρχαίοι Έλληνες ακολουθούσαν κάποιους μαθηματικούς ή στατικούς υπολογισμούς τους οποίους εφάρμοζαν για την κατασκευή γεφυρών. Ακόμα και αν εφάρμοζαν κάποια μεθοδολογία δε γνωρίζουμε ποια ήταν αυτή.

Επίσης, είναι άξιο αναφοράς ότι οι γέφυρες στην Αρχαία Ελλάδα είναι κατασκευές με έμφαση στο κτίσμα, το βαρύ και στέρεο κατασκεύασμα και όχι τόσο στο μέγιστο άνοιγμα της γέφυρας, το οποίο αναπτύχθηκε στη Ρωμαϊκή περίοδο με την πλήρη εξέλιξη της σφηνοειδούς τοξοδομίας.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρέαζαν σημαντικά τη μέθοδο κατασκευής που εφαρμόζονταν, ήταν, η τοποθεσία και το φάρδος του ποταμού που επρόκειτο να γεφυρωθεί. Οι παράγοντες αυτοί προσδιόριζαν το σχήμα της γέφυρας, αλλά και τις διαστάσεις της, δηλαδή το μήκος, το πλάτος και το άνοιγμα.

Ιδιαίτερη σημασία είχε να τοποθετούνται σωστά οι πέτρες στην λιθοδομή, στα θεμέλια και στις βάσεις μιας γέφυρας ώστε να προσδίδουν αντοχή στην κατασκευή, παρά την μεγάλη πίεση του νερού. Για τον σκοπό αυτό, έπρεπε ο τεχνίτης να εξετάζει την φορά των υδάτων του ποταμού ώστε να τοποθετεί τους λίθους κατάλληλα (οριζοντίως ή καθέτως) αλλά και να αποφεύγει τις πλημμύρες.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν ορισμένες πληροφορίες που παρουσιάζουν τις τεχνικές που ακολουθούσαν οι Αρχαίοι Έλληνες όταν θεμελιώναν μέσα στο νερό.

Οι Αρχαίοι Έλληνες γεφυροποιοί προτιμούσαν να θεμελιώνουν τα ακρόβαθρα πάνω σε βράχο για να είναι πιο στέρεα τα θεμέλια της γέφυρας. Έτσι δεν κινδύνευαν να παρασυρθούν από τα ορμητικά νερά του ποταμού κατά τη διάρκεια μιας νεροποντής. Ακόμη, διάλεγαν τα στενότερα περάσματα του ποταμού. Στα

σημεία αυτά κατασκεύαζαν μικρά σε άνοιγμα τόξα⁴. Με τον τρόπο αυτό επιδίωκαν να έχουν πιο γερά και ασφαλή τόξα, ώστε να αντέχουν το πέρασμα βαριών φορτίων πάνω από το κατάστρωμα της γέφυρας. Στην περίπτωση που υπήρχε μέσα στη κοίτη του ποταμού βράχος, πατούσαν πάνω στον βράχο και κατασκεύαζαν περισσότερα τόξα, μικρότερου, όμως ανοίγματος. Στη περίπτωση που δεν υπήρχε βράχος επέλεγαν η θέση των ακρόβαθρων να βρίσκεται σε ρηχά νερά.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι οι εργασίες θεμελίωσης σε μικρά και μεσαία ποτάμια, όπου έπρεπε να θεμελιωθούν πολλά βάθρα, επιτυγχάνονταν με την κατάλληλη εκτροπή και διευθέτηση του ρεύματος μέσα στην ίδια την κοίτη, αλλά εκτός του σημείου όπου γίνεται η θεμελίωση. Αντίθετα στα μεγάλα και πλατιά ποτάμια, όπου θεμελιώνονται δεκάδες βάθρα με εργασίες υπό του ύδατος κατασκευάζονταν μια εξ' ολοκλήρου ξύλινη γέφυρα επί πασσάλων.

Οι αρχαίοι Έλληνες επέλεγαν έτσι ένα πλατύ και βραχώδες σημείο της κοίτης, στο οποίο το νερό μπορούσε να διοχετευθεί κατάλληλα κάπου αλλού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, και έχτιζαν ένα προς ένα τα βάθρα (ακρόβαθρα και μεσόβαθρα) με θεμελίωση στο βραχώδες έδαφος. Η ανωδομή της γέφυρας στρώνονταν με ξύλινες δοκούς, που αποτελούσαν το οδόστρωμα, και σε περιόδους πλημμυρών ή πολέμου τις απομάκρυναν από τις θέσεις τους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονταν και κάτι άλλο: στην ξεχωριστή υποθεμελίωση καθενός από τα μεσόβαθρα της, η γέφυρα δεν καταστρέφονταν ολοσχερώς αλλά μόνο μερικώς, πράγμα που διευκόλυνε και την άμεση και περιορισμένης έκτασης επισκευή της.

Είναι γεγονός ότι οι εργασίες θεμελίωσης μέσα στο νερό δημιουργούσαν πληθώρα προβλημάτων στους Αρχαίους Έλληνες γεφυροποιούς. Χάρη όμως στην εφευρετικότητά τους κατάφεραν να αναπτύξουν τεχνικές, οι οποίες τους βοήθησαν να παρακάμψουν τα προβλήματα αυτά. Εξίσου σημαντικές δυσκολίες εντοπίζονταν όταν έπρεπε να πραγματοποιηθούν εργασίες θεμελίωσης σε πεδινά προσχωσιγενή και ιλυώδη εδάφη.

Για να μπορέσουν όμως να πραγματοποιηθούν οι εργασίες θεμελίωσης ήταν αναγκαία η σταθεροποίηση των εδαφών αυτών. Έτσι οι Αρχαίοι Έλληνες ανέπτυξαν μια τεχνική η οποία χρησιμοποιήθηκε και τα επόμενα χρόνια, όταν απαιτούνταν να γίνουν εργασίες θεμελίωσης σε τέτοιου είδους εδάφη. Πιο συγκεκριμένα για τη σταθεροποίηση των εδαφών χρησιμοποιούσαν ξύλινους πασσάλους από δρυ ή καστανιά, οι οποίοι επιφανειακά ήταν ελαφρώς καμένοι για να μη σαπίζουν. Μετά από την τοποθέτηση αυτών των ξυλοπασσάλων, που γινόταν με ταυτόχρονη άντληση νερού και λάσπης, ακολουθούσε η κατασκευή κεφαλόδεσμου με διάταξη εσχάρας διασταυρουμένων ξυλοδοκών, πάνω στην οποία χτίζονταν τα θεμέλια του βάθρου. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η μέθοδος αυτή ακολουθείται ακόμη και σήμερα, με τη μόνη διαφορά ότι τους ξύλινους πασσάλους αντικατέστησαν αντίστοιχοι από μπετόν και αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι τεχνικές που ανέπτυξαν οι Αρχαίοι Έλληνες στον τομέα της θεμελίωσης γεφυρών είναι εξαιρετικά αξιόλογες.

Όλα τα παραπάνω είναι γενικές τεχνικές στον τομέα κατασκευής που χρησιμοποιούσαν στη Αρχαία Ελλάδα, όμως αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα οι μέθοδοι κατασκευής των Αρχαίων Ελληνικών γεφυρών αναπτύχτηκαν με βάση τρία συστήματα κάλυψης τα οποία είναι τα ακόλουθα:

α) Με εκφορικά διατεταγμένες οριζόντιες στρώσεις.

⁴ Είναι η καμπυλόγραμμη αρχιτεκτονική κατασκευή.

β) Με οριζόντιες εφαπτόμενες πλακοδοκούς στηριγμένες σε στύλους ή παράλληλες σειρές υποστηριγμάτων, οι οποίες διαιρούσαν την κοίτη του ποταμού σε μικρότερα ρεύματα.

γ) Με τοξωτές κατασκευές.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά είδη γεφυρών τα οποία συναντώνται καθ' όλη τη διάρκεια της Αρχαίας Ελληνικής ιστορίας και σε αυτά θα αναφερθούμε ξεχωριστά δίνοντας σημαντικές λεπτομέρειες για το καθένα ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν τα είδη αυτά είναι τα εξής:

α) *Γέφυρες εκφορικού τόξου.*

β) *Γέφυρες αμφιέρειστης δοκού.*

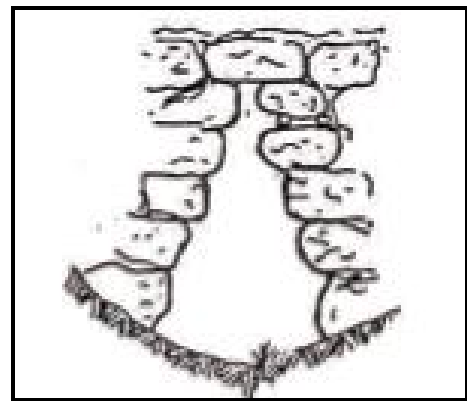
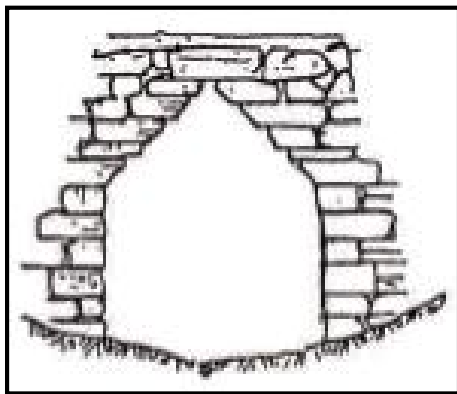
γ) *Τοξωτές γέφυρες.*

Οι γέφυρες που κατασκευάζονταν με το σύστημα του *εκφορικού τόξου* είναι λίθινες κατασκευές μικρού συνήθως ανοίγματος και αποτελούν φραγματοειδείς κατασκευές με μία στενή δίοδο παροχέτευσης στην κοίτη των χειμάρρων. Ανάλογα με τη μορφή της δίοδου παροχέτευσης μπορούμε να διακρίνουμε δύο διαφορετικές μορφές: την τραπεζοειδή, στην οποία η οριζόντια πλάκα καλύπτει το κενό μεταξύ των αντωπών εκφορικών τοιχωμάτων, και την τριγωνική, όπου οι ευθύγραμμες πλευρές είτε συναντώνται στην οξεία κορυφή σε κατακόρυφο αρμό, είτε κλειδώνονται με σφηνοειδές έμβολο. Πρέπει να τονίσουμε ότι δεν υπάρχει καμία απολύτως διαφορά στην λειτουργία των δύο αυτών διαφορετικών ειδών. Η μόνη διαφορά που υπάρχει έχει να κάνει με την μορφή και το σχήμα της δίοδου παροχέτευσης.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να δοθούν ορισμένες πληροφορίες που αφορούν τη στατική συμπεριφορά της κατασκευής. Οι κάθετες θλιπτικές δυνάμεις, οι οποίες προέρχονται από τη μάζα της κατασκευής, αλλά και τα κινητά φορτία, ασκούνται πάνω στα βάρη στήριξης. Για να γίνει μπορέσει, λοιπόν, η κατασκευή να παραλάβει τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτή, έχει εφαρμοστεί η τεχνική κατά την οποία οι αλληπάλληλες οριζόντιες στρώσεις τοποθετούνται σε συνεχή εξοχή, προς την πλευρά του ανοίγματος, με το κέντρο βάρους του υπερκείμενου λίθου να βρίσκεται επάνω από τον υποκείμενο. Με τον τρόπο αυτό αποσοβείται η μετακίνηση και η πτώση του. Ακόμη, η πάκτωση των εκφορικών λίθων (προβόλων) στους τοίχους των ακροβάθρων και το υπερκείμενο βάρος τους διασφαλίζουν από θραύση, αφού το κέντρο βάρους κάθε τοιχώματος έχει βαθμιαία μετατεθεί πέρα από το σημείο γένεσης της θόλου.

Οι γέφυρες αυτού του είδους συναντώνται την περίοδο των Μυκηναϊκών χρόνων. Κατά τους χρόνους αυτούς κατασκευάστηκαν μόνο στην περιοχή της ακρόπολης των Μυκηνών και της Αργολικής περιοχής. Και αποδείχθηκαν κατασκευές εξαιρετικής αντοχής, γι' αυτό άλλωστε εξακολουθούν να υπάρχουν και μέχρι σήμερα. Γενικά οι Μυκηναίοι κατασκευαστές διέθεταν υψηλή τεχνογνωσία καθώς χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα κάλυψης με τεράστιες δυνατότητες. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται από το πλήθος των Ρωμαϊκών γεφυρών οι οποίες κτίστηκαν με τη βοήθεια του ημικυκλικού, κλειδωτού τόξου, γεγονός που μαρτυρεί την τεράστια σημασία της εφαρμογής αυτής στη γεφυροποιία. Η κατασκευή γεφυρών με *εκφορικά τόξα* (*Εικόνα 2.3.*) και σφηνόλιθο παρ' όλα αυτά ήταν ένα εγχείρημα περιορισμένο τοπικά και χρονικά, που λησμονήθηκε στους κατοπινούς ιστορικούς χρόνους. Οι είκοσι περίπου Μυκηναϊκές γέφυρες, που έχουν ανιχνευθεί, κατά μήκος των δρόμων γύρω από την Ακρόπολη των Μυκηνών και στην πεδιάδα της Ναυπλίας είναι στο σύνολό τους κυκλώπειες κατασκευές από ακανόνιστους ασβεστολιθικούς ογκόλιθους και βύσματα στους χαλαρούς αρμούς γύρω από το μοναδικό τριγωνικό τους άνοιγμα.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η γέφυρα στο φαράγγι μεταξύ των υψωμάτων Κοντοβούνι και Κουτσογιάννης, όπου οι ογκόλιθοι εκατέρωθεν της στενής τριγωνικής διόδου έχουν τοποθετηθεί σε περίπου ισοϋψείς σειρές οι οποίες συναντώνται υπεράνω της οξείας κορυφής. Η μεγαλιθική πλαισίωση της οδού παροχέτευσης απέβλεπε στην ενίσχυση των μερών τα οποία βρίσκονταν συνεχώς υπό την επίδραση δυνάμεων. Με τη βαρύτητα όμως των όγκων και τη συμμετρικότητά της ως προς τον κατακόρυφο άξονα τόνιζε ακόμη, τη σταθερότητα της κατασκευής και προσέδιδε σ' αυτή αρμονία. Επίσης είχαν αρμολογηθεί μικρότεροι λίθοι με τη βοήθεια βυσμάτων (λιθίων) κατά το πολυγωνικό σύστημα τοιχοδομίας στην υπόλοιπη επιφάνεια.



Εικόνα 2.3. Γέφυρες με το σύστημα του εκφορικού τόξου. Η επικάλυψη των ανοιγμάτων επιτυγχάνεται με λιθοδομή όπου κάθε ανώτερη στρώση προεξείχε της κατώτερης.

Αφού, λοιπόν, μιλήσαμε για τις γέφυρες του εκφορικού τόξου και αναλύσαμε το σύστημα αυτό, είναι καιρός πλέον, να μιλήσουμε για τις γέφυρες της αμφιέριστης δοκού, αναλύοντας συγχρόνως το σύστημα γεφύρωσης που εφαρμόστηκε γι' αυτό το είδος γεφυρών. Οι γέφυρες που κατασκευάζονται με το σύστημα των οριζόντιων εφαπτόμενων πλακοδοκών που στηρίζονται σε στύλους ή παράλληλες σειρές υποστηρίγματος συναντώνται στη περίοδο από τα τέλη των Μυκηναϊκών χρόνων και μέχρι τα τέλη των Ελληνιστικών. Οι περισσότερες, όμως, κατασκευές έγιναν κατά την Κλασσική και Ελληνιστική περίοδο.

Η απλή αυτή μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τη γεφύρωση μικρών ποταμών ή χειμάρρων με χαμηλές όχθες, λόγω της αδυναμίας των λίθινων πλακοδοκών να καλύψουν ανοίγματα μεγαλύτερα των πέντε μέτρων. Το βασικό χαρακτηριστικό του είδους είναι το επίπεδο κατάστρωμα, με μίμηση ξύλινων προτύπων, ενώ τα σχετικά σωζόμενα παραδείγματα είναι ολιγάριθμα. Το σύστημα γεφύρωσης με οριζόντιες πλακοδοκούς (Εικόνα 2.4.) στηρίζεται στη βασική αρχή της ευθύγραμμης ελληνικής αρχιτεκτονικής, της αμφιέριστης δοκού επί στύλων, που είναι και το κύριο γνώρισμα της Ελληνικής αρχιτεκτονικής στο σύνολό της. Ας δούμε, λοιπόν, τη στατική συμπεριφορά του εν' λόγω συστήματος. Οι κατακόρυφες λοιπόν τάσεις που αναπτύσσονται εξαιτίας του βάρους των πλακοδοκών, αλλά και λόγω των δυνάμεων που ασκούν τα κινητά φορτία είναι θλιπτικές στα υποστηρίγματα και εφελκυστικές στο μέσον της κάθε δοκού. Μάλιστα, οι τάσεις που ασκούνται στη κάθε δοκό είναι συμπιεστικές στο ανώτερο μισό της δοκού και εκτατικές στο κατώτερο μισό αυτής. Παράλληλα, εξαιτίας αυτής της ανελαστικότητας του λίθου κάθε προσπάθεια υπέρβασης του προς γεφύρωση διαστήματος ή του μέγιστου ανεκτού βάρους αύξανε

την τιμή των εκτατικών ωθήσεων, η οποία εκφραζόταν με ρήγμα ή και πιθανόν θραύση της δοκού στο σημείο δράσης των δυνάμεων αυτών.



Εικόνα 2.4. Γέφυρα με οριζόντιες εφαπτόμενες πλακοδοκούς στηριγμένες σε στύλους.

Στο σημείο αυτό δεν θα μπορούσαμε να προσπεράσουμε και τις τοξωτές κατασκευές και να μην αναφερθούμε σε αυτές παραθέτοντας σημαντικά στοιχεία. Παρόλο που η τοξωτή κατασκευή ήταν γνωστή στην Κλασική εποχή και εφαρμοζόταν για να καλυφθούν κυρίως πύλες και καμαροσκεπείς τάφοι, οι Αρχαίοι Έλληνες γεφυροποιοί απέφυγαν να την χρησιμοποιήσουν στη γεφυροποιία, κατά την περίοδο αυτή. Η χρήση της *αψίδας*⁵ και του κυλινδρικού γνήσιου θόλου στην Αρχαία Ελληνική γεφυροποιία δε χρησιμοποιήθηκε εκτενώς την παραπάνω περίοδο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δομική των μικρών ανοιγμάτων. Η ιδιότητα του γνήσιου θόλου να επιτρέπει την κατασκευή γεφυρών με μεγάλα ανοίγματα παραμένει αδιάφορη για τους Έλληνες, μιας και αυτή την εποχή δεν κτίζονται μεγάλα πέτρινα γεφύρια, όχι για λόγους αρχιτεκτονικών αγκυλώσεων ή άγνοιας, αλλά για λόγους ασφάλειας. Ο θόλος δεν καθιερώνεται ως δομικό στοιχείο και σε άλλες εκδηλώσεις της Ελληνικής αρχιτεκτονικής, όπου γίνεται χρήση της αμφιέριστου δοκού επί στύλων.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν ότι ο γνήσιος θόλος, αν και ευρέως γνωστός στην Ελλάδα, περιορίζεται σε δευτερεύουσες χρήσεις και μένει ουσιαστικά αχρησιμοποίητος στην γεφυροποιία μέχρι την εποχή που έγινε αποδεκτός κατά τους χρόνους της Ελληνιστικής εποχής.

Ας παραθέσουμε κάποιες τεχνικές λεπτομέρειες που αφορούν την μορφή των τοξωτών αυτών κατασκευών.

Οι *τοξωτές αυτές γέφυρες* (Εικόνα 2.5.) έχουν σχήμα ημικυκλικό ή ελλειπτικό. Οι *θολίτες*⁶ έχουν μήκος 40 εκ., ύψος 50 εκ., και πλάτος από 15 έως 25 εκ., ενώ έχουν σχήμα κώνου. Οι όψεις τους είναι χτισμένες με το *ισόδομο σύστημα*, δηλαδή με οριζόντιους αρμούς, με πελεκητές πέτρες που έχουν μήκος 70 εκ., πλάτος 40 εκ., και ύψος 40 εκ. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό ήταν οι μεγάλες *λιθόπλακες* διαστάσεων περίπου 90 εκ. μήκους, 17 εκ. πάχους και 40 εκ. πλάτους. Οι λιθόπλακες αυτές τοποθετούνταν επάνω στο κατάστρωμα της πέτρινης γέφυρας και προεξείχαν τουλάχιστον δέκα εκ. από υπόλοιπο σώμα της. Το πιο δύσκολο και απρόβλεπτο στάδιο κατασκευής των τοξωτών γεφυρών ήταν αναμφίβολα η κατασκευή της καμάρας⁷. Το κτίσιμο της καμάρας ξεκινούσε από κάτω προς τα πάνω και από τις

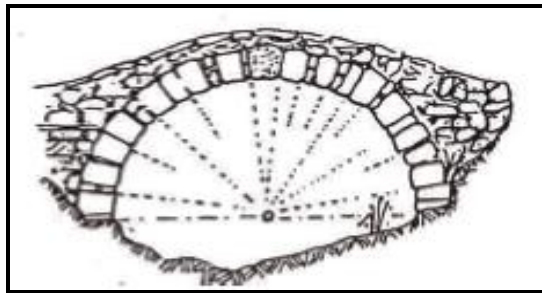
⁵ Είναι ένα από τα είδη τόξου

⁶ Έτσι ονομάζονται οι πέτρες από τις οποίες αποτελείται το τόξο.

⁷ Πρόκειται για τόξο μικρότερο του ημικυκλίου. Αποτελεί μια διαφορετική μορφή αψίδας.

δύο άκρες, με δύο συνεργεία που δούλευαν ταυτόχρονα και, όταν αντάμωναν στη κορυφή, σφήνωναν τη τελευταία πέτρα (θολίτη) που ονομάζονταν κλειδί⁸. Η ονομασία ήταν συμβολική γιατί κλείδωνε την καμάρα. Το κλειδί σε ορισμένες γέφυρες προεξείχε πάνω από το κατάστρωμα της γέφυρας, δίνοντας έτσι την εντύπωση ενός στέμματος. Το μήκος και το ύψος των θολίτων ήταν περίπου 30 εκ. και έφθανε μέχρι τα 45 ενώ το πλάτος τους από 15 έως 20 εκ. Σε ορισμένες γέφυρες τοποθετούνταν, επάνω ακριβώς από την καμάρα και δεύτερο τόξο το οποίο έδινε στην κατασκευή μεγαλύτερη σταθερότητα. Οι θολίτες του δεύτερου τόξου εξείχαν από αυτούς του πρώτου, δίνοντας έτσι διαφορετική αισθητική στην όλη εικόνα της γέφυρας, προστατεύοντας συγχρόνως τους αρμούς των θολιτών του πρώτου τόξου από τα νερά της βροχής.

Παράδειγμα γέφυρας αυτής της περιόδου βλέπουμε στο **Παράρτημα #2**.



Εικόνα 2.5. Τοξωτή γέφυρα. Διακρίνεται το ημικυκλικό άνοιγμα του τόξου

Τέλος ερχόμενη στη Αρχαία Ρώμη παρατηρούμε ότι Ρωμαίοι για την κατασκευή γεφυρών ακολουθούσαν τέσσερα στάδια. Επιγραμματικά τα στάδια αυτά ήταν τα ακόλουθα:

- α) Η μελέτη και ο σχεδιασμός της γέφυρας.
- β) Η κατασκευή της βάσης και των στηριγμάτων, τα οποία ουσιαστικά αποτελούσαν τα θεμέλια της γέφυρας.
- γ) Η κατασκευή της αψίδας.
- δ) Η ολοκλήρωση της κατασκευής με την προσθήκη διακοσμητικών στοιχείων.

Το πρώτο και βασικότερο βήμα για την κατασκευή μιας γέφυρας ήταν η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας. Ήταν απαραίτητο η μορφολογία του σημείου να εξυπηρετεί τις εργασίες που θα πραγματοποιούνταν. Για το λόγο αυτό το κύριο μέλημα των γεφυροποιών ήταν η επιλογή ενός σημείου με όσο το δυνατόν λιγότερα μορφολογικά εμπόδια. Τα εμπόδια αυτά, αν λάβουμε υπ' όψιν, τα τεχνικά μέσα της εποχής ήταν πολλές φορές ανυπέβλητα, δημιουργώντας πληθώρα προβλημάτων ακόμη και στην έναρξη των εργασιών κατασκευής.

Ύστερα από την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας έπρεπε να γίνει ένα σχεδιάγραμμα της κατασκευής. Στο σχέδιο αυτό παραθέτονταν τα μέρη της γέφυρας, λεπτομερώς και με διαστάσεις. Επίσης είναι πολύ πιθανό να υπήρχε και σχεδιάγραμμα της περιοχής το οποίο παρουσίαζε τη θέση της γέφυρας στην τοποθεσία αυτή. Αν και δεν έχουν ανακαλυφθεί λεπτομερή Ρωμαϊκά αρχιτεκτονικά σχέδια για γέφυρες, οι ιστορικοί αρχιτεκτονικής είναι σχεδόν σίγουροι ότι οι Ρωμαίοι σχεδίαζαν λεπτομερή σχεδιαγράμματα.

Όταν η μελέτη και ο σχεδιασμός τελείωναν, πρακτικά μπορούσε να αρχίσει η κατασκευή. Τα στηρίγματα ή αλλιώς τα ακριανά τμήματα της γέφυρας

⁸ Έτσι ονομάζεται ο υψηλότερα τοποθετημένος θολίτης στον άξονα του τόξου.

κατασκευάζονταν ταυτόχρονα με την ενδιάμεση βάση. Τα στηρίγματα γινόταν πλατύτερα από την κεντρική βάση. Τον κανόνα αυτό ακολουθούσαν γενικότερα οι Ρωμαίοι. Άλλωστε σε αυτό έχει αναφερθεί εκτενώς ο Βιτρούβιος ο οποίος λέει τα εξής: «όταν υπήρχαν ασπίδες δεμένες με σφηνόλιθους με ενώσεις ακτινωτές προς το κέντρο, οι ακριανές βάσεις σε αυτές τις γέφυρες έπρεπε να γίνουν φαρδύτερες από τις άλλες». Οι Ρωμαίοι δεν κατασκεύαζαν αυτά τα στηρίγματα χωρίς πρακτικό λόγο. Γνωρίζοντας ότι οι δυνάμεις, οι οποίες ασκούνται στην ασίδα μπορεί να γίνουν αιτία να εξωθούν προς τα έξω τα ακριανά στηρίγματα, επειδή ασκούνται μεγάλη δύναμη σε αυτά. Γι αυτό το λόγο τα κατασκεύαζαν κατά τον ίδιο τρόπο όπως και η βάση και με εσωτερικό πυρήνα ο οποίος αποτελούνταν από πέτρα. Άλλωστε είναι γνωστό ότι η Ρώμη ήταν μια περιοχή πλούσια σε φυσικούς λίθους. Είναι σχεδόν σίγουρο ότι η πέτρα λαμβανόταν από μια περιοχή κοντά στο σημείο, όπου κατασκευαζόταν η γέφυρα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τους Ρωμαίους ήταν η κατασκευή της βάσης και των στηριγμάτων μέσα στο νερό. Το πρόβλημα αυτό το αντιμετώπισαν με τη χρήση ενός συστήματος που ονομάζονταν υδατόφραξη. Βασικά αποτελούσε έναν υδατοστεγή φράκτη, γύρω από την περιοχή όπου θα τοποθετούνταν η κεντρική βάση και τα στηρίγματα. Τέτοια φράγματα μπορούσαν να κατασκευαστούν με πολλούς τρόπους, όπως είναι η συσσώρευση μεγάλης ποσότητας λάσπης και χαλικιών γύρω από την περιοχή, όπου θα κατασκευάζονταν η κεντρική βάση, ή ακόμη οδηγώντας ξύλινους πασσάλους μέσα στην κοίτη του ποταμού και σφραγίζοντας αυτούς με πηλό. Ο Βιτρούβιος δίνει μια περιγραφή της διαδικασίας αυτής:

«Ο υδατοφράκτης με διπλές πλευρές ενωμένες με πασσάλους δεμένους μεταξύ τους με δεσμούς, μπορεί να κατασκευασθεί στο ορισμένο σημείο και πηλός σε καλάθια μπορεί να μπει ανάμεσα στα υποστηρίγματα. Αφού έχει πακεταριστεί και γεμιστεί, όσο το δυνατό πιο σφιχτά, τοποθετούνται οι βίδες, οι ρόδες και τα βαρέλια και αφήνουν διάστημα καθορισμένο τώρα από στεγνό και άδειο περίγυρο».

Πάντως η τεχνική, που περιγράφεται από το Βιτρούβιο ήταν η αναμενόμενη μέθοδος εξάλλου ήταν κοινή γνώση για κάθε μηχανικό. Σε κάθε περίπτωση, όταν οι πάσσαλοι και ο πηλός είχαν απομονώσει τον περιβάλλοντα ποταμό, το νερό εντός του υδατοφράκτη μπορούσε να αντληθεί. Η μετακίνηση του ύδατος ολοκληρωνόταν, με κουβάδες. Έπειτα οι άνδρες αναλάμβαναν να σκάψουν κάτω στη λάσπη, μέχρι να φτάσουν στην πέτρα της κοίτης, ή μέχρι η διαφυγή του νερού να μην εμπόδιζε περαιτέρω το σκάψιμο. Οι μεγάλες εξωτερικές πέτρες της κεντρικής βάσης τοποθετούνταν τότε στον υδατοφράκτη. Αυτές οι πέτρες ήταν ενωμένες μεταξύ τους με ασβεστόλασπη και έχτιζαν επάνω τους, πάνω από την επιφάνεια του ποταμού. Το εσωτερικό της κεντρικής βάσης και των στηριγμάτων γεμιζόταν με επιπρόσθετα υλικά. Η κεντρική βάση σχεδιαζόταν κατά τέτοιο τρόπο ώστε, ερχόμενο το νερό, να μην κτυπά κατευθείαν πάνω στην τετράγωνη βάση. Αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει εξαιρετικά μεγάλη τριβή. Εάν αυτή η τριβή δεν αποτραπεί, η κεντρική βάση θα μπορούσε να κλονιστεί προκαλώντας την πτώση της γέφυρας. Αντιμετώπισαν το πρόβλημα αυτό κατασκευάζοντας ένα μεγάλο κενό – παράθυρο πάνω στην κεντρική βάση. Αυτό ήταν ένα μεγάλο άνοιγμα, από όπου μπορούσε να περάσει το νερό σε περιόδους πλημμύρας. Το άνοιγμα τοποθετούνταν στη μέση της γέφυρας και ήταν έξι μέτρα πλατύ.

Μετά την κατασκευή των κατώτερων τμημάτων της κεντρικής βάσης και των ακριανών στηριγμάτων, το επόμενο βήμα ήταν να κατασκευαστεί η πέτρινη θολωτή ασίδα. Οι ασίδες μοίραζαν το βάρος αποτελεσματικά και έδιναν μέγιστο πλεονέκτημα στην συμπιεστική πίεση των λίθων. Η κατασκευή της ασίδας άρχιζε με την εξεύρεση των λίθων. Έπειτα κοβόταν σε ασύμμετρα κομμάτια και οδηγούνταν κατά μήκος του ποταμού, στο σημείο που θα κτιζόταν η γέφυρα. Μετά την άφιξη στο σημείο

κατασκευής της γέφυρας, οι πέτρες κόβονταν σε μικρότερα κομμάτια. Στο μεταξύ κατασκευαζόταν το κέντρο. Το κέντρο είναι το προσωρινό ξύλινο πλαίσιο, το οποίο χρησιμοποιούνταν για να υποστηρίξει την ασίδα μέχρι την ολοκλήρωσή της. Μια ξύλινη υποστήριξη τοποθετούνταν στην πέτρινη κατασκευή, στην κατακόρυφη όψη της κεντρικής βάσης και των πλαϊνών στηριγμάτων. Η πρώτη γραμμή των σφηνόλιθων τοποθετούνταν στη βάση των ασίδων ή σε τμήμα της κεντρικής βάσης σε κάθε μια από τις ασίδες. Οι σφηνόλιθοι συνέχιζαν να τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο και το ξύλινο πλαίσιο απομακρυνόταν μετά την τοποθέτηση της κεντρικής πέτρας, ή της πέτρας κλειδί όπως είναι πιο γνωστή.

Η πέτρα κλειδί ήταν η κεντρική πέτρα στην ασίδα. Σε κάποιες περιπτώσεις οι πέτρες, μπορούσαν να στηρίξουν τη γέφυρα χωρίς την χρήση σφιγκτήρων ή ασβεστολάσπης. Αν και δεν υπάρχουν μαρτυρίες για τη χρησιμοποίηση σφιγκτήρων, είναι σχεδόν σίγουρο ότι σιδερένιοι σφιγκτήρες συγκρατούσαν τις πέτρες μεταξύ τους. Υπάρχει μια μαρτυρία από μια τέτοια σύνδεση στη γέφυρα του *San Martino*. Σε αυτή τη γέφυρα μπορεί να δει κανείς αυλακιές στους θόλους, οι οποίες προέρχονται από τη χρήση σφιγκτήρων. Οι πλευρές της ασίδας υποστήριζαν το «ενδιάμεσο διάστημα» δηλαδή το εσωτερικό τμήμα μεταξύ της ασίδας της γέφυρας και του δρόμου. Οι ενδιάμεσοι τοίχοι στην κορυφή των πλευρών τις ασίδας γεμίζονταν με ένα συμπυκνωμένο πυρήνα. Αυτός ο πυρήνας ήταν φτιαγμένος από ασβέστη, νερό και άμμο. Και το κονίαμα χυνόταν μέσα στο μεσοδιάστημα, που οριζόταν από δύο ενδιάμεσους τοίχους. Όταν το κονίαμα τοποθετούνταν, σχηματιζόταν ο πυρήνας της γέφυρας και ταυτόχρονα βοηθούσαν στη συγκράτηση της ασίδας. Η κατασκευή της ασίδας και οι ενδιάμεσοι τοίχοι ολοκληρώνονταν, μόνο ελάχιστες λεπτομέρειες απέμεναν και αυτές οι λεπτομέρειες περιελάμβαναν την τοποθέτηση του τοίχου κατά μήκος της επιφάνειας της γέφυρας και την προσθήκη διακοσμητικών στοιχείων. Τέλος η διακόσμηση της πρόσοψης, η οποία κάλυπτε τους ενδιάμεσους τοίχους και την κεντρική βάση, γινόταν καθαρά για αισθητικούς λόγους και δεν εξυπηρετούσε πρακτικούς σκοπούς καθώς και η τελική επιγραφή με τον κατασκευαστή και την ημερομηνία κατασκευής η οποία τοποθετούνταν πάνω στους σφηνόλιθους.

2.2.4. Γνωστές Γέφυρες

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε παραδείγματα γεφυρών της *Προϊστορικής περιόδου* καθώς και σε μια γέφυρα στην Αρχαία Ρώμη και με τη βοήθεια των εικόνων.

Είναι αναγκαίο να μιλήσουμε για τις *φυσικές γέφυρες*, καθώς αυτές έδωσαν στον προϊστορικό άνθρωπο την πρώτη ώθηση για την κατασκευή των πρώτων τεχνητών γεφυρών. Αποτέλεσαν, δηλαδή, την πρώτη ιδέα. Έτσι φυσική γέφυρα είναι ένας βραχώδης τοξοειδής σχηματισμός που μοιάζει με γέφυρα και έχει δημιουργηθεί από φυσικά αίτια. Οι περισσότερες προήλθαν από τη διάβρωση συμπαγών ασβεστόλιθων ή ψαμμιτών που παρουσίαζαν οριζόντια στρώση. Ο σχηματισμός μερικών μπορεί να οφείλεται στην κατάρρευση της οροφής ενός σπηλαίου, τα υπολείμματα του οποίου αποτέλεσαν την φυσική γέφυρα. Άλλες μπορεί να προήλθαν από εγκιβωτισμένους ποταμούς (ποταμοί που ρέουν σε βαθιές χαράδρες), όταν αυτοί διέβρωσαν τον αυχένα της χέρσου ενός μαιάνδρου, έτσι ώστε να αποκόψουν τον μαιάνδρο και να σχηματίσουν μια πιο ευθύγραμμη κοίτη. Τέλος μερικές δημιουργήθηκαν ως αποτέλεσμα της αποφλοίωσης κάποιου πετρώματος και της μετέπειτα διαβρωτικής δράσης του ανέμου.

Μια από τις γνωστότερες φυσικές γέφυρες είναι η «*Natural Bridge*» (Εικόνα 2.6.) στη δυτική Βιρτζίνια, ύψους εξήντα έξι μέτρων και ανοίγματος τριάντα μέτρων, σε ασβεστολιθικό πέτρωμα. Πολύ γνωστές είναι επίσης οι τρεις φυσικές γέφυρες του Εθνικού μνημείου Φυσικών γεφυρών της Γιούτα, με την μεγαλύτερη από αυτές να έχει άνοιγμα ογδόντα δύο μέτρων. Τέλος άλλη μια σημαντική φυσική γέφυρα είναι η «*Rainbow Bridge*», (Εικόνα 2.7.) ύψους ογδόντα δύο μέτρων και ανοίγματος ογδόντα πέντε μέτρων. Εκτός όμως από τους σχηματισμούς αυτούς, οι οποίοι δημιουργήθηκαν με την πάροδο πολλών ετών υπάρχουν και άλλες πολύ πιο απλές φυσικές γέφυρες, όπως για παράδειγμα ένας κορμός δέντρου πεσμένος πάνω από κάποιον χείμαρρο ή ακόμη ένα κλαδί δέντρου κρεμασμένο σε ένα άλλο.



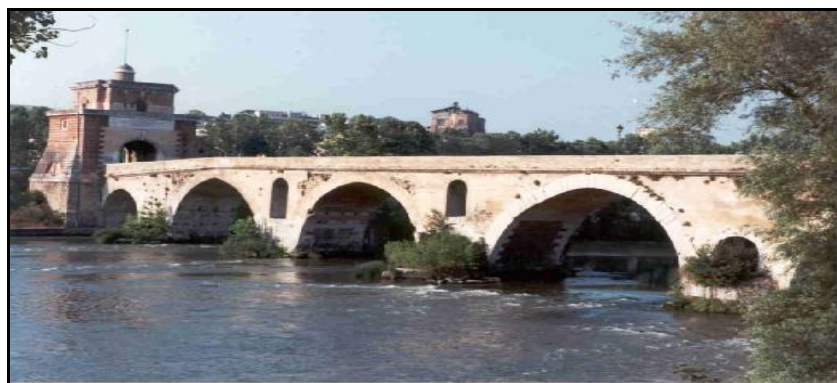
Εικόνα 2.6. «Natural Bridge»
(Δυτική Βιρτζίνια, Η.Π.Α.)



Εικόνα 2.7. «Rainbow Bridge»
(Εθνικό Πάρκο της Γιούτα, Η.Π.Α.)

Οι Ρωμαϊκές γέφυρες έφεραν τα ίδια χαρακτηριστικά: στρογγυλές αψίδες, τεράστιες ορθογώνιες πέτρινες πλάκες, μεγάλη σοβαρότητα, τελειότητα και συμμετρία. Πολλές από αυτές χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα χάρη στα πολλά έργα ανασύλωσης που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των αιώνων και, παρά την περιστασιακή αντικατάσταση ορισμένων στοιχείων, τα αρχικά οικοδομήματα δεν έχουν χαθεί και τα τμήματα εκείνα που στέκονται ακόμα ολόκληρα είναι απολύτως αναγνωρίσιμα. Θα αναφερθούμε, λοιπόν, σε χαρακτηριστικές γέφυρες της εποχής παρουσιάζοντας τεχνικά στοιχεία αυτών.

Αξιόλογο έργο της εποχής είναι η «*Milvia Bridge*» (Εικόνα 2.8.) Η γέφυρα αυτή κατασκευάστηκε το 109 π.Χ. και είναι μια από τις παλαιότερες και πιο μεγαλοπρεπείς γέφυρες σε ολόκληρο το Ρωμαϊκό οδικό δίκτυο. Βρίσκεται στη *Φλαμίνια οδό*, έξω από τη *Φλαμίνια πύλη*. Το αρχικό μήκος της ήταν 150,9 μέτρα και το πλάτος της 7,6 μέτρα. Αποτελείται από τέσσερις ελαφρώς συμπιεσμένες αψίδες που κάθε μία έχει άνοιγμα 18 μέτρα. Χάρη στη στρατηγικής σημασίας τοποθεσία της η *Milvia Bridge* έπαιξε σημαντικό ρόλο σε μάχες και αγώνες. Είναι άξιο αναφοράς ότι το 63 π.χ. καταλήφθηκε από οπαδούς του *Σύλλα*, ακόμη το 69 π.Χ. έλαβε χώρα εκεί, η μάχη μεταξύ του *Όθωνος* και του *Βιτελλίου*. Περισσότερες γέφυρες παρουσιάζονται στο **Παράρτημα#3,4**.



Εικόνα 2.8. «Milvia Bridge» (Ρώμη, Ιταλία)

2.3. Σύνοψη

Σε αυτή την ενότητα θα συνοψίσουμε όλα τα παραπάνω με τη βοήθεια πινάκων. Οι πίνακες αυτοί θα αναφέρουν επιγραμματικά στη συγκεκριμένη περίοδο τους εξελικτικούς παράγοντες, τα υλικά και τη μέθοδο κατασκευής ,τις γνωστές γέφυρες και τέλος τους τύπους κατασκευής γεφυρών.

	ΠΡΟΙΣΤΟΡΙΑ	ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ	ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΑΡΧΑΙΑ ΡΩΜΗ
ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Η ανάγκη του ανθρώπου να διαπεράσει τα φυσικών εμποδίων. 	<ul style="list-style-type: none"> - Οι μετακινήσεις πληθυσμών. - Οι πολυάριθμες μετακινήσεις του στρατού. 	<ul style="list-style-type: none"> - Η ανάπτυξη του οδικού δικτύου. - Η ανάπτυξη του χερσαίου εμπορίου. - Οι μετακινήσεις του στρατού. 	<ul style="list-style-type: none"> - Οι μετακινήσεις του στρατού. - Η ανάπτυξη του εμπορίου. -Εξέλιξη του οδικού δικτύου. - Η οικονομική άνθηση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. - Η επιδεξιότητα στο τομέα της γεφυροποιίας.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο. - Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι). - Φυσικά σχοινιά. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο. - Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι). - Σίδηρος. - Μόλυβδος. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο (έλατο, πεύκο, κέδρος). - Πηλός. - Φυσικοί λίθοι (πωρόλιθοι, ασβεστόλιθοι). 	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο. - Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι). - Ρωμαϊκό σκυρόδεμα. - Ποζολάνι ανόργανο (ηφαιστιογενούς προέλευσης υλικό).

	ΠΡΟΙΣΤΟΡΙΑ	ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ	ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	ΑΡΧΑΙΑ ΡΩΜΗ
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Τοποθέτηση δύο ή περισσότερων κορμών μεταξύ τους ενωμένα με φυσικά σχοινιά. - Κατασκευή ενδιάμεσων στηριγμάτων τα γνωστά ως μεσόβαθρα. 	<ul style="list-style-type: none"> - Θεμελίωση των βάθρων της γέφυρας σε ξηρό έδαφος , ύστερα από εκτροπή του ποταμού. - Κατασκευή γεφυρών με κορμούς δένδρων ή με τη χρήση λίθων. - Κατασκευή πλωτών γεφυρών με χρήση αγκυροβολημένων σε σειρά πλοίων. 	<ul style="list-style-type: none"> - Θεμελίωση ακρόβαθρων πάνω σε βράχο. - Επιλογή του στενότερου περάσματος του ποταμού για τη κατασκευή του κεντρικού τόξου. - Εκτροπή του ποταμού και κατασκευή των βάθρων σε ξηρό έδαφος. - Δημιουργία οδοστρώματος με χρήση ξύλινων δοκών. - Δημιουργία τοξωτών γεφυρών. - Κατασκευή γεφυρών με το σύστημα του εκφορικού τόξου και αυτό της αμφιέριστης δοκού. 	<ul style="list-style-type: none"> - Μελέτη και σχεδιασμός της γέφυρας. - Κατασκευή της βάσης και των στηριγμάτων της γέφυρας με κύριο χαρακτηριστικό την αύξηση του πλάτους στη κεντρική βάση. - Δημιουργία φραγμάτων για τον περιορισμό του νερού με σκοπό την κατασκευή σε ξηρό έδαφος. - Κατασκευή της αψίδας. - Ολοκλήρωση της κατασκευής με τη προσθήκη διακοσμητικών στοιχείων.
ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ		<ul style="list-style-type: none"> - Πλωτές γέφυρες. 	<ul style="list-style-type: none"> - Γέφυρες εκφορικού τόξου. - Γέφυρες αμφιέριστης δοκού. - Τοξωτές γέφυρες. 	
ΓΝΩΣΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - «Natural Bridge» (Δυτική Βιρτζίνια, Η.Π.Α.). - «Rainbow Bridge» (Εθνικό Πάρκο της Γιούτα, Η.Π.Α.) 			<ul style="list-style-type: none"> - «Milvia Bridge» (Ρώμη, Ιταλία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΟΝ ΜΕΣΑΙΩΝΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

3.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην εποχή του *Μεσαίωνα* και της *Αναγέννησης*. Χρονολογικά περίπου από τις αρχές του 6^{ου} μ.Χ. αιώνα και φτάνει έως και τον 17^{ου} αιώνα.

Θα μελετήσουμε το ιστορικό πλαίσιο αυτών των εποχών και την τεχνολογική εξέλιξη της γεφυροποιίας, αναφέροντας τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής καθώς και τις χαρακτηριστικές γέφυρες εκείνης της περιόδου. Όλα τα παραπάνω θα αναλυθούν για την Μεσαιωνική Δύση, το Μεσαιωνικό Βυζάντιο και την Αναγέννηση. Ο διαχωρισμός μεταξύ Μεσαιωνικής Δύσης και Μεσαιωνικού Βυζαντίου γίνεται περισσότερο για το λόγο ότι κινούμαστε σε διαφορετικούς εξελικτικούς παράγοντες οι οποίοι συνέβαλαν με τη σειρά τους στην ανάγκη κατασκευής γεφυρών. Αντιθέτως τα υλικά κατασκευής και οι μέθοδοι κατασκευής είναι σχεδόν ίδιοι, με μόνο λίγες διαφορές στις οποίες θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά. Στο τέλος του κεφαλαίου συνοψίζουμε όλες τις ενότητες σε ένα πίνακα, ο οποίος θα συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση του.

3.2. Μεσαιωνική Δύση και Μεσαιωνικό Βυζάντιο

3.2.1. Το ιστορικό πλαίσιο

Ο όρος *Μεσαίωνας* χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους λόγιους της Αναγέννησης για να ορίσει την περίοδο ανάμεσα στο διαμελισμό της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και την εποχή των μεγάλων γεωγραφικών ανακαλύψεων. Σε αυτή τη περίοδο άρχισαν να διαμορφώνονται τα ευρωπαϊκά κράτη, που οι πρωταρχικοί πυρήνες τους προήλθαν από τις μεγάλες εισβολές που προκάλεσαν την πτώση του Δυτικού Ρωμαϊκού κράτους και την εμφάνιση μιας σειράς γερμανικών βασιλείων. Γνωρίσματα της εποχής ήταν η αντιπαράθεση μεταξύ κοσμικής εξουσίας (αυτοκρατόρων) και πνευματικής εξουσίας (του Πάπα και της εκκλησίας), η οποία διήρκησε πολλά χρόνια. Η εκκλησία λοιπόν έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εποχή και με τις σταυροφορίες μετέφερε στοιχεία πολιτισμού και ενέπνευσε την τέχνη, τη μουσική και την λογοτεχνία. Βλέπουμε η Ευρώπη και συγκεκριμένα η *Μεσαιωνική Δύση* ήταν χωρισμένη σε πολλές Μεσαιωνικές πόλεις κράτη που άλλοτε χαρακτηρίζονταν ως εμπορικές, επισκοπικές και κομητειακές. Αυτές είχαν τεχνίτες που μιμούμενοι τους Ρωμαίους, που ήταν οι μεγαλύτεροι γεφυροποιοί της αρχαιότητας, επιστράτευαν τις ιδιαίτερες γνώσεις και δεξιότητες τους, όπως τη γνώση των χαρακτηριστικών του εμποδίου, τη γνώση των υλικών κατασκευής, τη τεχνική δεξιότητα και την εμπειρία αξιοποίησης πολλών τεχνολογικών εξελίξεων της εποχής τους, για την κατασκευή γεφυρών ή τη συντήρηση αυτών που ήδη υπήρχαν.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της εποχής, μας οδηγούν σταδιακά στην αναζήτηση των λόγων που οδήγησαν τους ανθρώπους στην κατασκευή γεφυρών εκείνη την περίοδο στη *Μεσαιωνική Δύση*. Ένας από τους κυριότερους ήταν πρωταρχικά οι ανάγκες των ανθρώπων να διαπεράσουν τα φυσικά εμπόδια, είτε

αυτά ήταν ποτάμια, είτε ρυάκια που έπρεπε να γεφυρωθούν. Εξίσου βασικός λόγος ήταν και ο σχηματισμός των πρώτων Ευρωπαϊκών κρατών και λόγω των πολέμων μεταξύ τους, οι μετακινήσεις των πληθυσμών ήταν μεγάλες και όχι μόνο, μιας και ο στρατός με άρματα και υλικά για οικοδόμηση των πρώτων πόλεων, έπρεπε να διανύσει πολλά χιλιόμετρα και να διαπεράσει πολλά εμπόδια τα οποία θα έπρεπε να γεφυρωθούν, ή ακόμη να κατασκευάσει και παλαιότερες γέφυρες που είχαν καταστραφεί. Είτε από τους μεταξύ τους πολέμους αλλά και από το πέρασμα των χρόνων και τις καιρικές συνθήκες, οι οποίες τις καταπονούν, αν είχαν αστοχίες στην κατασκευή τους. Επιπλέον χαρακτηριστικό ήταν το γεγονός ότι οι πόλεις βρίσκονταν περιτριγυρισμένες με τείχη και μόνο είχαν ανοικτές πύλες και κινητές γέφυρες πάνω σε αυτές, για να μπορέσουν έτσι να απομονώσουν αμέσως τις πόλεις τους από τυχόν επιδρομές, κλείνοντας τις εισόδους των πόλεων για να μπορούν να παρεισφρήσουν μέσα οι εχθροί και τις κάνουν καταστροφές και λεηλασίες.

Όλα τα προηγούμενα αφορούν την Μεσαιωνική Δύση, μιας και η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία χωρίστηκε στα δύο περίπου από το 395 μ.χ., γι' αυτό το λόγο έχουμε και τη δημιουργία του *Μεσαιωνικού Βυζαντίου*. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο το Δυτικό κράτος καταλύθηκε από τους βάρβαρους ενώ το Ανατολικό (η Βυζαντινή αυτοκρατορία) κατόρθωσε να αντιμετωπίσει για άλλα χίλια περίπου χρόνια τις πιέσεις των Γερμανών, των Σλάβων, των Περσών, των Αράβων και των Τούρκων. Έπεσε τελικά στα χέρια των Τούρκων το 1453 μ.Χ. Μετά το 395 μ.Χ. στο Βυζαντινό κράτος θα υπερισχύει ο ελληνισμός μαζί με τους Σύριους, όπου ασκείται το εμπόριο και ταυτόχρονα κινεί την οικονομική ζωή του Βυζαντίου. Επίσης έχει και την πνευματική ηγεσία που αργότερα αναλαμβάνει σιγά – σιγά τη διοίκηση του Βυζαντίου και το μετατρέπει σε ελληνικό κράτος. Όσο αφορά τώρα τη πορεία της γεφυροποιίας, έχουμε πολλαπλές αναφορές μιας και εκείνη τη περίοδο, γέφυρες συνέδεσαν και στο Βυζάντιο οδούς τοπικής και υπερτοπικής σημασίας, γεφυρώνοντας ποταμούς αλλά και τμήματα πόλεων κτισμένων στις δυο όχθες των ποταμών, διευκολύνοντας έτσι τα ταξίδια το εμπόριο και τις πολεμικές επιχειρήσεις. Ακόμη εκείνη την εποχή η γεφυροποιία εντάχθηκε στον τομέα των «δημοσίων έργων». Σύμφωνα με τον Προκόπιο, ιστορικό του 6^{ου} αιώνα, γινόταν προσπάθειες στην κατασκευή ή επισκευή γεφυρών από των αυτοκράτορα Ιουστινιανό Α' (527-565), στο πλαίσιο των προσπαθειών βελτίωσης του οδικού συστήματος και των αντιπλημμυρικών του έργων. Σε υστερότερους χρόνους η Βυζαντινή γεφυροποιία συνδέεται και με την ιδιωτική πρωτοβουλία, συχνά με απώτερο σκοπό την άφεση των αμαρτημάτων του δωρητή. Ένα ακόμη εύρημα εκείνης της περιόδου, συγκεκριμένα μια επιγραφή του 1027 αποδίδει στον μοναχό Νικόδημο το «θεοπρεπές έργο» της κατασκευής μιας γέφυρας στον ποταμό Ίρη (Ευρώτα), στο κάστρο της Λακεδαίμονος (Σπάρτη). Σύμφωνα με την ίδια επιγραφή ο Νικόδημος ίδρυσε στην αριστερή πλευρά της γέφυρας ένα μοναστήρι το οποίο θα αναλάμβανε στο εξής την συντήρησή της. Αλλά και στη μονή Κοσμοσωτείρας στις Φέρες της Θράκης, ο κτήτορας αναθέτει στον ηγούμενο της μονής, να συντηρεί και να επισκευάζει με τα έσοδα της μονής τις δυο γέφυρες της περιοχής Λίγο αργότερα περίπου γύρω στο 1440, μια ακόμη επιγραφή χαραγμένη πάνω σε μαρμαρίνη πλάκα, η οποία μνημονεύει των Ραούλ Μανουήλ Μελική ως «νέον δομήτορα» της γέφυρας του ποταμού Αλφειού, κοντά στην Καρύταινα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ταυτόχρονα είχε επιβληθεί και ένας ειδικός φόρος «η γεφύρωσις» που συνέλαβε για την διατήρηση ή την επισκευή γεφυρών.

Φανερώνονται έτσι και οι ιδιωτικές πρωτοβουλίες εκείνης της εποχής στις κατασκευές. Σε αυτή τη περίοδο διαφαίνονται ευδιάκριτα όλες οι παρεμβάσεις που έκαναν εκείνη τη περίοδο για να συντηρήσουν τις ήδη υπάρχουσες γέφυρες αλλά και να φτιάξουν καινούργιες βασιζόμενοι στο γεγονός ότι, έπρεπε πρωταρχικά εκτός από

την εξυπηρέτηση στις μετακινήσεις τους να εξασφαλίσουν και τη μεταφορά του νερού προς τη πόλη. Πιο συγκεκριμένα η παροχή νερού σε μια πόλη σήμαινε τη χρησιμοποίηση των υδάτων του ποταμού δίπλα στον οποίο ήταν κτισμένη, την άντληση του από τα πηγάδια ή τη συλλογή του σε δεξαμενές, ή σε μικρότερο αριθμό περιπτώσεων, τη μεταφορά του νερού από τα γειτονικά βουνά με υδραγωγεία, που από επάνω είχαν διαβάσεις ένας τρόπος κατασκευής γέφυρας σε συνδυασμό με υδραγωγείο και στις μεταξύ τους μάχες ήταν ο πρώτος στρατηγικός στόχος.

3.2.2. Υλικά Κατασκευής

Στην προηγούμενη ενότητα αναφερθήκαμε στο ιστορικό πλαίσιο κατά την περίοδο του Μεσαίωνα με άλλα λόγια στους λόγους που οδήγησαν στην κατασκευή γεφυρών και στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας. Και θα συνεχίσουμε με την αναφορά μας στα υλικά κατασκευής.

Ξεκινώντας λοιπόν από τη *Μεσαιωνική Δύση* τα υλικά κατασκευής που συναντούμε σε αυτή τη περίοδο είναι: *πέτρα, ξύλο, φυσικοί λίθοι*(ασβεστόλιθοι, πωρόλιθοι), *κονιάματα* (άχυρα και κοπριά) και *μέταλλου*(χαλκός).

Πιο συγκεκριμένα στη προσπάθεια μας να αναλύσουμε τα υλικά κατασκευής των γεφυρών, παρατηρούμε κάποιες ομοιότητες με εκείνα που χρησιμοποιούσαν στην Ρωμαϊκή εποχή. Αρχίζοντας έτσι από τους *φυσικούς λίθους*(ασβεστόλιθους και πωρόλιθους) παρατηρούμε ότι στη γεφυροποιία είχαν τεράστια εφαρμογή σε γέφυρες και αποτελούσαν ένα από τα κύρια και βασικά υλικά κατασκευής τους, λόγω όμως των πολέμων και των οχυρωμένων μέσα σε τοίχους πόλεων δεν είχαν τα διακοσμητικά στοιχεία και τα πολυτελή και ακριβά μάρμαρα, γρανίτες που χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι, αλλά είχαν πιο απλοϊκή μορφή. Οι φυσικοί λίθοι θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε όλες τις μορφές των πετρωμάτων που βρισκόταν σε κάθε περιοχή που κατασκευαζόταν μια γέφυρα, ή μεταφέρονταν με τα τότε μεταφορικά μέσα από τριγύρω περιοχές, συνήθως ήταν κάθε μορφής λίθοι, ασβεστόλιθοι, πωρόλιθοι κ.τ.λ. Μεταφέρονταν κοντά στην περιοχή κατασκευής και ύστερα από ανάλογη επεξεργασία από τους τότε τεχνίτες. Οι φυσικοί λίθοι και οι πέτρες παρατηρούμαι ότι η χρήση τους ως δομικό υλικό και στον Μεσαίωνα ήταν διαδεδομένα μιας και συγκεκριμένα η *πέτρα* έχει υψηλές αντοχές σε θλίψη αλλά σημαντικά μικρότερες σε εφελκυσμό. Αξιόλογη ήταν επίσης και η χρήση του *ξύλου* που κυρίως ήταν έλατο ή δρυς, κυπαρίσσι, πεύκο ή κέδρος και τοποθετούνταν για την κατασκευή του καταστρώματος των γεφυρών, που πολλές φορές γινόταν εξολοκλήρου από ξύλο και άλλοτε ήταν μεικτή. Σαν συνδετικό υλικό ανάμεσα στις πέτρες ή τους φυσικούς λίθους ήταν τα *κονιάματα*, που έβρισκαν εφαρμογή και στα θεμέλια της γέφυρας μιας και σαν κατασκευή χρειαζόταν την στεγανότητα μέσα στο νερό, εκεί που γινόταν τα θεμέλια αλλά και εκεί που πολλές φορές το κατάστρωμα στηριζόταν πάνω στα βάθρα. Σύμφωνα με ευρήματα από εκείνη την εποχή βλέπουμε και την χρήση ενός μείγματος άχυρου μαζί με κοπριάς, δηλαδή αποξηραμένου στελέχους σιτηρών σε ανάμειξη χώματος μαζί με περιττώματα ζώων, το οποίο κάλυπτε τμήματα της τοιχοποιίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, για να μειωθεί η ζημιά που γινόταν από τα παγωμένα νερά κυρίως των ποταμών. Τέλος έχουμε τη χρήση του *μετάλλου* (*χαλκού*) κυρίως στις ανυψούμενες γέφυρες σαν συνδετικός κρίκος των βάθρων και του καταστρώματος και στις δυο όχθες της γέφυρας ήταν οι εγκάρσιοι ελκυστήρες με μεταλλικές(χάλκινες) απολήξεις. Ειδικόι τεχνίτες της εποχής ασχολούνταν όχι μόνο με την επεξεργασία του μετάλλου, αλλά και με την εξέλιξη της

«μηχανικής» κατασκευάζοντας μεταλλικούς ελκυστήρες προσαρμοσμένους κάθε φορά στα διάφορα μεγέθη γεφυρών.

Ύστερα από την εκτενή αναφορά μας στη Μεσαιωνική Δύση ερχόμαστε τώρα στην άλλη άκρη στο λεγόμενο *Μεσαιωνικό Βυζάντιο*.

Τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούσαν ήταν, ίδια με αυτά της Μεσαιωνικής Δύσης, η μόνη διαφορά που μπορούμε να εντοπίσουμε ήταν η χρήση του *μαρμάρου*, του *κονιάματος με ασβεστολιθική βάση* καθώς και την εκτενή χρήση της «*τοπικής πέτρας*».

Αναλύοντας αυτά τα υλικά δόμησης θα ξεκινήσουμε από τις *πέτρες*, τους λεγόμενους λίθους, οι οποίοι συλλέγονταν από την περιοχή της εκάστοτε γέφυρας και ονομάζονταν χαρακτηριστικά «*τοπική πέτρα*» και η χρήση της γινόταν στα υψηλότερης οικοδομικής σημασίας σημεία, μιας και ήταν σκληρή και πιο ανθεκτική, ενώ αντίστοιχα στα χαμηλότερης σημασίας η ποιότητα που θα επιλέγονταν ήταν σαφώς χαμηλότερη. Ακόμη μια άλλη λεπτομέρεια των υλικών κατασκευής ήταν και η χρήση του *μαρμάρου* που χρησιμοποιούνταν συνήθως στη δημιουργία του κόμβου των γεφυρών και συγκεκριμένα του *γρανίτη*, που είναι ένα πέτρωμα με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων και περιέχει πυριτικά συστατικά που τον κάνουν να έχει μεγάλη αντοχή. Ελάχιστη ήταν και η χρήση του *μετάλλου*, μόνο σε όσες γέφυρες είχαν μεταλλικές απολήξεις στα μεγάλα και κεντρικά κυρίως *τόξα*¹¹. Όπως και στη Μεσαιωνική Δύση έτσι και στο Μεσαιωνικό Βυζάντιο έχουμε τη χρήση των *κονιαμάτων*¹² με τη μόνη διαφορά την προσθήκη των *αρμών* που χρησιμοποιούνται για τη συνένωση των *τόξων προβόλων*¹³ οι οποίοι με τη σειρά τους καλύπτονται καλυπτόμενοι από *κονιάματα* λευκού συνήθως χρώματος με *ασβεστολιθική σύσταση* μαργώδη ή ψαμμώδη και ιστό κοκκώδη. Το λεγόμενο αυτό *ασβεστοκονίαμα* χρησιμοποιήθηκε κατά το πλείωτων ως οικοδομικό υλικό στη γεφυροποιία αυτής της εποχής, μιας και ήταν ανθεκτικό, ελαφρύ και λαξεύονταν εύκολα.

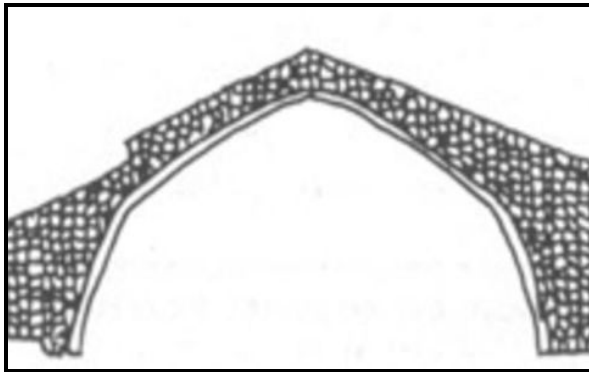
3.2.3. Μέθοδοι κατασκευής

Ύστερα από την εκτενή αναφορά μας στα υλικά κατασκευής της συγκεκριμένης περιόδου, θα αναλύσουμε τους μεθόδους κατασκευής των γεφυρών που κάνουν την εμφάνιση τους ξεκινώντας από τη *Μεσαιωνική Δύση*.

Βλέπουμε σταδιακά την αρχιτεκτονική να εμφανίζει γενικά μια ποικιλία κατασκευής ως προς το μέγεθος, τη μορφή και τον αριθμό τόξων των γεφυρών. Μέχρι εκείνη την περίοδο οι πέτρινες τοξωτές γέφυρες έχουν τη μορφή ημικυκλίου σχήματος, δηλαδή τα κεντρικά τους τόξα είναι ημικυκλικά καθώς και ελλειπτικά, αυτό το σχήμα δεν επέτρεπε ανοίγματα μεγαλύτερα των τριανταπέντε και σαράντα μέτρων και για αυτό τον λόγο, αναπτύχθηκε και η κατασκευή πλακωτών τόξων ώστε να μπορέσουν να χτιστούν ελαφρότερες γέφυρες με μεγαλύτερα τόξα. Συγκεκριμένα στα σημεία έδρασης στους βράχους χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτεροι λίθοι για μικρές κατασκευές, ενώ στις μεγάλες κατασκευές η κατανομή των πλίσθων σχημάτιζε ένα είδος πλατώματος που προστάτευε τη βάση και το συνολικό οικοδόμημα, από τη σφοδρότητα του υγρού στοιχείου.

Αυτές ήταν μικρές καινοτομίες στον τρόπο κατασκευής που ήδη χρησιμοποιήσαν πιο πριν οι Ρωμαίοι, η βασική διαφορά που χαρακτήρισε αργότερα όλες τις Μεσαιωνικές γέφυρες έγινε γύρω στα μέσα του 12^{ου} αιώνα και ήταν η εισαγωγή του *οξυκόρυφου τόξου*¹⁰ (Σχήμα 3.1.) που είχε την προέλευση του στην Αίγυπτο και τις χώρες της Μέσης Ανατολής. Αυτή η μέθοδος έχει είκοσι ελλειπτικά τόξα ανοίγματος χαρακτηριστικά μέχρι και τριάντα μέτρων. Τα τόξα αυτά με τη σειρά

τους μεταβιβάζουν κατανεμημένα κατακόρυφα φορτία στη θεμελίωση, κυρίως με τάσεις θλίψης λόγω των συγκεκριμένων ιδιοτήτων του υλικού της λιθοδομής. Γι' αυτό κυρίως το λόγω χρησιμοποιούνταν τα οξυκόρυφα τόξα ως η πιο κατάλληλη μορφή κατασκευής για πέτρινες κυρίως γέφυρες.



Σχήμα 3.1. «οξυκόρυφο τόξο»

Ερχόμενοι τώρα στην κατασκευή των βάθρων, δηλαδή των κυρίων υποστηριγμάτων μιας γέφυρας, παρατηρούμε ότι η θεμελίωση τους είναι το δυσκολότερο πρόβλημα το οποίο αντιμετώπιζαν οι γεφυροποιοί, επειδή σε πολλές περιπτώσεις έπρεπε να κατασκευάζουν, τα θεμέλια των βάθρων, δηλαδή των κύριων υποστηριγμάτων μιας γέφυρας. Η θεμελίωση τους πιο αναλυτικά γινόταν με ξύλα και λίθους μονοκόμματα, μιας και πάνω τους στηρίζονταν τα τόξα που με τη σειρά τους στηρίζουν το κατάστρωμα των γεφυρών, έτσι ταυτόχρονα με την κατασκευή των βάθρων δημιουργούν και τα τόξα. Ακόμη σε πολλές Ευρωπαϊκές γέφυρες αυτής της περιόδου πραγματοποιούνται επάνω στο κατάστρωμα των γεφυρών ποικίλες κατασκευές σπιτιών και καταστημάτων σε τέτοια πυκνότητα ώστε μερικές γέφυρες να παίρνουν τη μορφή εμπορικού (γραμμικού) κέντρου. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των γεφυρών είναι και η εφαρμογή των βυθιζόμενων κιβωτίων ως θεμέλια μεσόβαθρων, συγκεκριμένα ισχυρά ξύλινα κιβώτια ρυμουλκήθηκαν κενά στις θέσεις των μεσόβαθρων. Εκεί γεμίστηκαν με πέτρες και βυθίστηκαν αποτελώντας έτσι τα θεμέλια των βάθρων της γέφυρας(οι λεγόμενες προβλήτες). Εκείνη την εποχή κατασκευάστηκαν και γέφυρες μεταξύ των πύργων με σκοπό να ελευθερώνουν το δίαυλο των πλοίων. Αυτού του είδους οι γέφυρες κατατάσσονται στη πρωταρχική μορφή των μεταγενέστερων ανυψούμενων γεφυρών, οι οποίες ήταν σταθερές κατά τη διαδικασία ανύψωσης. Έχουν σχεδιαστεί σαν δοκοί δηλαδή σαν συμπαγείς σύνθετες διατομές ή δικτυώματα με αποτέλεσμα να μπορούν να γεφυρώνουν κάθε είδους ανοίγματα, το μόνο όμως που απαιτείται είναι το ύψος των πύργων, μιας και πρέπει να υψώνονται σε καθαρό ύψος όσο αυτό των πύργων, που πολλές φορές κάνει τους πύργους πιο αντισοικονομικούς. Επιπλέον τα νεκρά φορτία του ανελκυστήρα, ο οποίος συμβάλει στην ανύψωση θα πρέπει να έχουν βάρος εξισορρόπησης μιας και επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες όταν μιλάμε για μεγάλα ανοίγματα, κάθε φορά κατά τη διάρκεια της ανύψωσης.

¹⁰ είναι το τόξο που στην κορυφή του σχηματίζει οξεία γωνία

Ερχόμενη τώρα στο *Μεσαιωνικό Βυζάντιο*, η μορφή των γεφυρών που συναντάμε ήταν συνήθως ξύλινες ή πέτρινες κατασκευές με τόξα και οι μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιούνταν ήταν ίδιοι με αυτές της Μεσαιωνική Δύσης, με μόνες διαφορές κυρίως ως προς τις παραλλαγές στο μέγεθος των θόλων, τη λιθοδομή των τόξων, αλλά και την υποστήριξη των βάθρων.

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν τα κεντρικά μεγάλα τόξα που διακρίνονται από *άριστη λάξευση των μεγάλων θολωτών τους, αλλά και το μαρμάρινο κομβίο τους*. Για την κατασκευή τους έκαναν χρήση μαλακών πυρόλιθων για να έχουν άριστη ποιότητα λιθοδομής στα τόξα αλλά και στις βάσεις των πεσσών¹⁴. Η μορφή των τόξων και κυρίως του κεντρικού ήταν *οξυκόρυφη*, με λαξευμένη λιθοδομή, ενώ τα τύμπανα κατασκευάζονταν από ξεστή ορθογωνική λιθοδομή με πλακοειδούς μορφής πέτρες, συγκεκριμένα λευκός και γκρι ασβεστόλιθος. Όσο αφορά τους αρμούς των διαζωμάτων των τόξων είναι λεπτότατοι πιθανώς χωρίς κονιάματα, ενώ οι αρμοί μόνο των τόξων είναι αρκετά παχύς με ύψος δυο περίπου μέτρων. Στα κατώτερα τώρα τμήματα των γεφυρών και συγκεκριμένα στους πεσσούς που γεινιάζουν με την κοίτη για στεγανωτικούς λόγους, η τοιχοποιία είναι ισόδομη με αφανείς αρμούς.

Αξίζει να σημειωθεί και η ύπαρξη ξυλότυπων διαμορφωμένων έτσι ώστε να βοηθούν την στήριξη, αλλά και στα βάθρα των γεφυρών παρατηρούμε την ενίσχυση τους με *αντήριδες*¹⁵ τριγωνικής ή ημικυκλικής διατομής. Οι αντήριδες αυτές ήταν ράβδοι ειδικά τοποθετημένοι έτσι ώστε να μην καταρρεύσει η κατασκευή από τα υπό διάτμηση φορτία. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό αυτών των γεφυρών ήταν και οι χαραγμένες επιγραφές πάνω σε παλιά μαρμάρινα αρχιτεκτονικά μέλη, όπου επάνω τους αναγραφόταν το όνομα του «δομήτορα» της γέφυρας.

3.2.4. Γνωστές γέφυρες

Ύστερα από την περιγραφή των υλικών και των μεθόδων κατασκευής των γεφυρών στη Μεσαιωνική Δύση και στο Μεσαιωνικό Βυζάντιο θα αναφερθούμε και σε χαρακτηριστικές γέφυρες που είχαν κατασκευαστεί εκείνη τη περίοδο.

Ξεκινώντας από τη Μεσαιωνική Δύση, έχουμε μια από τις πιο αξιόλογες γέφυρες είναι και η γέφυρα «Ponte Vecchio», (Εικόνα 3.2) η παλαιότερη γέφυρα από τις έξι γέφυρες στη Φλωρεντία της Ιταλίας και αποτελεί το σήμα κατατεθέν της πόλης. Μέχρι το 1218 ήταν η μοναδική γέφυρα του ποταμού Άρνου που διασχίζει τη Φλωρεντία. Χρονολογείται περίπου στις αρχές του Μεσαίωνα εξαιτίας των πλήθινων βάσεων της και των ξύλινων στηριγμάτων και ήταν επηρεασμένη η κατασκευή της από τους Ρωμαίους. Τουλάχιστον δύο πλημμύρες έπληξαν τη γέφυρα Ponte Vecchio, με αποτέλεσμα να ανακατασκευαστεί γύρω στο 1345. Η Ponte Vecchio επέζησε στον Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου ανέπαφη και ήταν η μόνη γέφυρα της Φλωρεντίας που δεν καταστράφηκε από τους Ναζί κατά τη διάρκεια του 1944. Αντί να καταστρέψουν την γέφυρα Ponte Vecchio, κατά την αποχώρησή τους οι Ναζί κατέστρεψαν μόνο τα κτίρια σε κάθε άκρο της γέφυρας.

¹¹καμάρες

¹²συνδετικό υλικό, ¹³προεσοχή, ¹⁴πυλώνες

¹⁵λήθος,

Αλλά και το 1966 ακόμα μια πλημμύρα, απέτυχε πάλι να καταστρέψει μία από τις αρχαιότερες γέφυρες της Ευρώπης. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της γέφυρας ήταν, η δημιουργία κατά μήκος της γέφυρας καταστημάτων κυρίως οπωροπωλείων, κρεοπωλείων και ψαράδικων, που αργότερα όμως εξαιτίας πιθανότατα της κακής οσμής, ο Φερδινάνδος Α΄ τα αντικατέστησε με χρυσοχοεία, κάνοντας έτσι το δρόμο πιο κομψό και πιο καθαρό με σκοπό η διάσχιση της να γίνεται όλο και πιο ευχάριστα.



Εικόνα 3.2. «Ponte Vecchio bridge» (Φλωρεντία , Ιταλία)

Ερχόμενοι τώρα στα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρατηρούμε ότι δεν είχαν αλλάξει πολλά πράγματα η πασσάλωση της έγινε όπως και στην αρχαιότητα με τη μυϊκή δύναμη των ανθρώπων. Από πέντε λοιπόν καμάρες που ήταν αρχικά ύστερα από τις καταστροφικές πλημμύρες έγινε η ανακατασκευή της έγιναν τρεις οι καμάρες και το κύριο μέρος τους πλατύνθηκε. Το άνοιγμα της περίπου είναι στα τριάντα δύο μέτρα και ύψος πέντε μέτρα, ενώ έχει ελλειπτικά τόξα, με τα οποία δίνεται μια άλλη αισθητική καθώς και στο κατάστρωμα της βλέπουμε την κατασκευή σπιτιών και καταστημάτων.

Παραδείγματα περισσότερων γεφυρών ακολουθούν στο **Παράρτημα #5,6,7,8**

Μεταβαίνοντας τώρα στο *Μεσαιωνικό Βυζάντιο* ένας τύπος γέφυρας που συναντάμε θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι και οι λεγόμενες *γέφυρες υδραγωγεία*. Αυτού του είδους οι γέφυρες καταλήγουν στο εσωτερικό ενός κάστρου και μπορούσαν να τους διασχίσουν οι πεζοί. Αποτελούνταν από οξυκόρυφα τόξα, διαφόρων μεγεθών, κάτω από το μεγαλύτερο από αυτά ρέουν χείμαρροι ή μικρά ποτάμια με χαμηλή στάθμη νερού. Ο τρόπος κατασκευής των συγκεκριμένων τόξων ποικίλει, ανάλογα με την περιοχή και το άνοιγμα του ποταμού κατά μέσο όρο όμως θα μπορούσαμε να πούμε ότι το μέσο πάχος των τόξων και των πεσσών είναι κοντά στα δύο μέτρα, ανάλογα με το συνολικό μήκος των γεφυρών μπορούν και να διαφοροποιηθούν. Επάνω από το ύψος της γένεσης των μεγάλων τόξων και της αξονικής των πεσσών, ανοίγονται μικρότερα, επίσης οξυκόρυφα τόξα. Και εδώ παρατηρούμε την ύπαρξη ενός μαρμάρινου κόμβου που ήταν τοποθετημένος στο κέντρο της μεγαλύτερης *αψίδας*¹⁶, το λεγόμενο «διακοσμητικό στοιχείο» των γεφυρών εκείνης της περιόδου.



Εικόνα 3.3. «Της Κόρης το γεφύρι» (Χίος, Ελλάδα)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα έχουμε το 1500 της «Κόρης το γεφύρι» (Εικόνα 3.3.) που βρίσκεται στην ομώνυμη περιοχή στα νοτιοδυτικά της πόλης της Χίου. Στην πραγματικότητα δεν πρόκειται εξ' ολοκλήρου για γέφυρα, αλλά για υδραγωγείο σε συνδυασμό με γέφυρα μιας και από εκεί γινόταν μεταφορά του νερού καθώς και για διέλευση πεζών. Συγκεκριμένα μεταφέρονταν το νερό από εκεί στη πόλη της Χίου, μέσω της γέφυρας και έπρεπε να κατέληγε στο εσωτερικό ενός πύργου. Το μέσο πάχος των τόξων και των πεσσών είναι 1,90 μέτρα και το συνολικό μήκος του κτίσματος είναι περίπου 55 μέτρα. Από τον αγωγό που έτρεχε πάνω στην συγκεκριμένη γέφυρα δεν σώζονται ίχνη του, αλλά σύμφωνα με μελετητές πρέπει να ήταν ένα πήλινο κανάλι ορθογωνικής διατομής, πλάτους περίπου είκοσι πέντε εκατοστών και ύψους τουλάχιστον 15 εκατοστών. Ερχόμενη τώρα στα υλικά κατασκευής βλέπουμε να έχει χρησιμοποιηθεί ο μαλακός πωρόλιθος της περιοχής Θυμιανών, ενώ σε λίγα μόνο σημεία έχει χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά η τοπική σκληρή πέτρα, καθώς και η ποιότητα της λιθοδομής είναι άριστη στις βάσεις των πεσσών και στα τόξα. Τέλος γύρω από την συγκεκριμένη κατασκευή έχει αναπτυχθεί πλούσια μυθολογία, η οποία συνδέεται με την θυσία της κόρης του πρωτομάστορα, στην οποία οφείλεται και η ονομασία της.

¹⁶ το τόξο που σχηματίζεται πάνω στα στηρίγματα μιας γέφυρας

3.3. Αναγέννηση

3.3.1. Ιστορικό πλαίσιο

Ερχόμενοι τώρα στην *Αναγέννηση* δηλαδή την επανεμφάνιση της πολιτικής κλασικής κληρονομιάς μετά την μεγάλη παρένθεση του Μεσαίωνα. Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την βεβαιότητα ότι ο άνθρωπος βρισκόταν πράγματι μπροστά σε μια καινούργια εποχή της ιστορίας. Η πολιτιστική ζωή της Ευρώπης άλλαξε βαθμιαία όψη από εκείνη τη περίοδο και έπειτα μιας και ξεκίνησαν βαθιές πολιτιστικές, κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές. Η πίστη στο μέλλον και μια νέα «αίσθηση ζωής» αποτελούσαν τα χαρακτηριστικά στοιχεία του ανθρώπου της Αναγέννησης. Γεννήθηκε με άλλα λόγια η εμπιστοσύνη του ανθρώπου να δαμάσει τη φύση και να γίνει ο πρωταγωνιστής της ιστορίας. Ο άνθρωπος απέκτησε καινούργιες γνώσεις για το σώμα του, για τη γη, το σύμπαν, κι αυτό του επέτρεψε να διαμορφώσει μια καινούρια εικόνα του κόσμου. Όταν οι Τούρκοι έκλεισαν το χερσαίο δρόμο των εμπορικών συναλλαγών με την Ασία, οι άνθρωποι της Αναγέννησης, σπρωγμένοι από ένα θαρραλέο πνεύμα περιπέτειας, βγήκαν στη θάλασσα αναζητώντας το δρόμο για τις Ινδίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ο Βάσκο Ντε Γκάμα που περίπλευσε στην Αφρική και έφτασε στην Ινδία και ο Κολόμβος πάλι ακολουθώντας τον δυτικό δρόμο ανακάλυψε μια νέα ήπειρο που πήρε το όνομα Αμερική. Με άλλα λόγια η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την αρμονία που φαίνεται μέσα από την αρχιτεκτονική που χρησιμοποίησε την κλασική αρχαιότητα και την εξέλιξε, αλλά και από την ανάπτυξη των τεχνών, των επιστημών και των γραμμάτων, η Αναγέννηση δημιούργησε το δικό της στυλ και ανέδειξε σημαντικούς ανθρώπους σε όλους τους τομείς.

Και στην περίοδο της Αναγέννησης παρουσιάστηκαν αλλαγές στη γεφυροποιία, η οποία εντατικοποιήθηκε με την ανάπτυξη των πόλεων. Κλασική ήταν η ρήση εκείνης της εποχής στην Ευρώπη «Γέφυρες και καπηλειά ενώνουν τους ανθρώπους, τείχη τους χωρίζουν!» και σε αυτό το πνεύμα κάθε κατασκευή νέας γέφυρας ήταν μια σημαντική προσφορά στον πολιτισμό. Μετά το Μεσαίωνα η άνθηση της Αναγέννησης θα φέρει την ανάγκη μετακίνησης των ανθρώπων, μιας και η ανάπτυξη του ελεύθερου πνεύματος των ιδεών, η εξέλιξη των επιστημών, του εμπορίου και η διεύρυνση των πόλεων ήταν ανάγκη της εποχής. Και εδώ παρατηρούμε ότι ένας σημαντικός λόγος δημιουργίας γεφυρών ήταν η εξυπηρέτηση των πολιτών, χαρακτηριστικό παράδειγμα οι μεγάλες κατασκευές στην γεφυροποιία εκείνη την περίοδο ενώνουν όχθες μεγάλων ποταμών, που χώριζαν μεγάλες πόλεις στα δυο και διευκόλυναν με αυτό τον τρόπο την καθημερινή ζωή των ανθρώπων, αλλά και την ταυτόχρονη ανάπτυξη και από τις δυο πλευρές, μεταφέροντας όχι μόνο υλικά, τρόφιμα αλλά και στοιχεία πολιτιστικά.

3.3.2. Υλικά κατασκευής

Μετά από την ενότητα του ιστορικού πλαισίου της περιόδου της Αναγέννησης θα μεταβούμε σε αυτή των υλικών κατασκευής. Επιγραμματικά λοιπόν, τα υλικά ήταν η πέτρα, η άμμος, ο πελεκητός ασβεστόλιθος, το ξύλο, τα μάρμαρα και τα κονιάματα καθώς και ορισμένοι φυσικοί λίθοι.

Μεταβαίνοντας τώρα πιο λεπτομερώς στα υλικά, θα πρέπει να κάνουμε την επισήμανση ότι από το Μεσαίωνα στην Αναγέννηση δεν υπήρχαν διαφοροποιήσεις, καθώς τα υλικά ήταν τα ίδια με μόνη προσθήκη περισσότερων ειδών φυσικών λίθων. Οι φυσικοί λίθοι συνεχίζουν να έχουν θέση στην κατασκευή γεφυρών, λόγω όχι μόνο

της αισθητικής τους ομορφιάς, αλλά και γιατί έχουν καλύτερη γήρανση και όψη καθώς μετά από πολλά χρόνια διατηρούνται καλύτερα. Εξίσου καλή είναι και η αντοχή τους στη διάβρωση και στην τριβή από το νερό και την άμμο, σε σημείο όπου μεταγενέστερα έχει χαρακτηριστεί μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του σκυροδέματος, κάτι που είχε ιδιαίτερη σημασία για τα βάθρα γεφύρωσης κυρίως των ποταμών. Η δομή των φυσικών λίθων τους δίνει μια ζωντανή και χρωματιστή εικόνα σε αντίθεση με τις νεκρές επιφάνειες του σημερινού σκυροδέματος. Μερικοί από αυτούς τους φυσικούς λίθους που χρησιμοποιήθηκαν κατά την Αναγέννηση ήταν οι εξής: ο *πορφυρίτης*, το λεγόμενο σκληρό πέτρωμα, ο *βασάλτης*, ο οποίος έχει συνήθως χρώμα τεφρό σκούρο ή μαύρο και είναι πάρα πολύ σκληρό πέτρωμα που αντέχει στην επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα, των καιρικών συνθηκών, καθώς και σε μεγάλες πιέσεις. Και τέλος αποχωρίζεται εύκολα σε πλάκες και σε στύλους. Ακόμη συναντούμε τη χρήση του *ψαμμίτη* που είναι πέτρωμα, το οποίο προέρχεται από τη συγκόλληση αμμωδών ιζημάτων *ασβεστολιθικών, αργιλικών ή πυριτικών* με ποικίλο χρώμα. Καθώς παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις, ανάλογα με τη σύστασή τους. Τέλος συναντούμε και τις *τραβερίνες*, οι οποίες σχηματίζονται σε περιοχές με γλυκά νερά, νερά άβαθων λιμνών, πηγών, ποταμών και περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο καθώς και έχουν μεγάλους πόρους στην επιφάνειά τους, το χρώμα τους είναι κιτρινωπό και σε κάποιες περιπτώσεις ερυθρό.

3.3.3. Μέθοδοι κατασκευής

Μετά την αναφορά μας στα υλικά θα αναλύσουμε τους μεθόδους κατασκευής των γεφυρών στην περίοδο της *Αναγέννησης*, δηλαδή ποια μορφή είχαν τα τόξα, με ποία υλικά κατασκευάστηκαν, καθώς και διάφορες άλλες τεχνικές αναφορές που χαρακτήριζαν την συγκεκριμένη εποχή.

Στο πέρασμα από τον Μεσαίωνα στην Αναγέννηση δεν εντοπίζονται ουσιαστικές διαφορές στον τρόπο κατασκευής, το μόνο που μπορεί να χαρακτηριστεί ως *καινοτομία* την συγκεκριμένη εποχή είναι οι *αλλαγές στην αισθητική πλευρά των κατασκευών* αλλά και η χρήση περισσοτέρων υλικών. Ακολουθώντας έτσι τις Ρωμαϊκές γέφυρες κράτησαν τα στάδια κατασκευής των Ρωμαίων. Δηλαδή την μελέτη και τον σχεδιασμό της γέφυρας, το κόψιμο της πέτρας που χρησιμοποιούσαν στις ασίδες, την κατασκευή των στηριγμάτων, το χτίσιμο των θεμελίων και της βάσης για την ενδιάμεση υποστήριξη και τέλος την προσθήκη στην ολοκλήρωση της κατασκευής των διακοσμητικών στοιχείων.

Αρχίζοντας από τα τόξα βλέπουμε να διατηρούνται κυρίως τα *κυκλικά* με την μόνη διαφορά η ακτίνα τους μεγαλώνει προσεγγίζοντας σχεδόν τα *ελλειπτικά*, ενώ ταυτόχρονα γίνονται πιο θολωτά. Συναντάμε επίσης και την ύπαρξη *χθαμλών τόξων* δηλαδή τόξων πιο χαμηλών που τα εντοπίζουμε σε κατασκευές που γεφυρώνουν ποτάμια ή ρυάκια με χαμηλή στάθμη νερού καθώς και οξυκόρυφων τόξων. Όσο αφορά τώρα τον τρόπο κατασκευής τους παρατηρούμε μόνο λίγες διαφορές από τις Μεσαιωνικές γέφυρες, συγκεκριμένα στο σημείο συνάντησης του άνω μέρους του τόξου, δηλαδή στο κεντρικό του τμήμα που τοποθετούσαν την *κλείδα του τόξου* συνήθως από ασβεστόλιθο που στην ουσία αυτή κλείδωνε την κατασκευή. Σημαντικότερη λεπτομέρεια ήταν και το είδος της πέτρας που χρησιμοποιούνταν, η οποία έπρεπε να είναι συμπαγής και καθαρή για το κτίσιμο των τόξων. Ερχόμενοι τώρα στα βάθρα των γεφυρών μόνη καινοτομία που παρατηρούμε είναι η *χρήση των διαφορετικών φυσικών λίθων*, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν όπως έχουμε αναφέρει (βλέπε υλικά κατασκευής) για την κατασκευή, αλλά και για την επένδυση τους τις περισσότερες φορές. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι ότι τα *θεμέλια* αποτελούνταν

από πέτρες αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που χρησιμοποιούνταν στην υπόλοιπη κατασκευή. Τέλος η *επιφάνεια κυκλοφορίας* (κατάστρωμα), όπως σχεδόν και σε όλες τις παλιές λίθινες γέφυρες, σχηματίζονταν με λίθους με ελαφρές οδοντώσεις, ώστε να διευκολύνουν έτσι τη διάβαση των ανθρώπων και των ζώων.

3.3.4. Γνωστές γέφυρες

Μετά από την ανάλυση των υλικών κατασκευής και των μεθόδων κατασκευής θα δούμε δυο χαρακτηριστικές γέφυρες της Αναγέννησης. Συγκεκριμένα πρώτη είναι η γέφυρα «Ponte Castelvechio» (Εικόνα 3.4.), η γέφυρα του παλιού κάστρου στη Βερόνα της Ιταλίας. Κτίστηκε περίπου το 1500 η οποία έχει άνοιγμα γύρω στα πενήντα τρία μέτρα και οδηγεί στο κάστρο «Castelvechio» που με αυτή τη γέφυρα ενώνεται με τη πόλη. Έχει τρία ημικυκλικά τόξα και δύο μεσόβαθρα σε σχήμα πύργου στη κορυφή τους είναι επηρεασμένη η κατασκευή του από τη Ρωμαϊκή εποχή με προσθήκη στοιχείων Αναγέννησης. Όσο αφορά τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φυσικοί λίθοι και συγκεκριμένα ο πορφυρίτης για το επάνω μέρος της γέφυρας σε συνδυασμό με τραβερτίνες στα τόξα.



Εικόνα 3.4. « *Ponte Castelvechio bridge* » (Βερόνα, Ιταλία)

Η γέφυρα σώζεται μέχρι και σήμερα και μαζί με το κάστρο αποτελεί ένα από τα αξιοθέατα της Βερόνα, μιας και είναι πόλος έλξης τουριστών. Εργασίες συντήρησης της, έγιναν κατά το πέρασμα των χρόνων καθώς το οδόστρωμα αντικαταστάθηκε με σκυρόδεμα και άλλες παρεμβάσεις με σκοπό να αντέξει στο χρόνο.

Ακόμη δύο παραδείγματα χαρακτηριστικών γεφυρών αυτής της περιόδου βρίσκονται στο **Παράρτημα#9,10**

3.4. Σύνοψη

Μεταβαίνοντας σε αυτή την ενότητα θα κάνουμε μια σύνοψη του κεφαλαίου του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης με τη χρήση ενός πίνακα ο οποίος θα εμπεριέχει όλα όσα έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

	ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΔΥΣΗ	ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΒΥΖΑΝΤΙΟ	ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ
ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Διαπέραση φυσικών εμποδίων. - Μετακίνηση πληθυσμών λόγω πολέμων. - Σχηματισμός των πρώτων Ευρωπαϊκών Κρατών. 	<ul style="list-style-type: none"> - Δημιουργία οδικών δικτύων τοπικής και υπερτοπικής σημασίας. - Ανάπτυξη ιδιωτικής πρωτοβουλίας στον τομέα των κατασκευών. - Ένταξη της γεφυροποιίας στον τομέα των δημοσίων έργων. - Μεταφορά νερού από τα βουνά στα υδραγωγεία μέσω των γεφυρών. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ανάπτυξη του εμπορίου. - Διεύρυνση των Πόλεων Κρατών. - Ανάπτυξη του ελεύθερου πνεύματος, των ιδεών καθώς και η εξέλιξη των επιστημών.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο. - Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι, πωρόλιθοι). - Κονιάματα (άχυρα, άμμος). - Μέταλλο (χαλκός). 	<ul style="list-style-type: none"> - Τοπική πέτρα. - Μάρμαρο (γρανίτης). - Κονιάματα (ασβεστοκονιάματα). <p><i>* τα υπόλοιπα υλικά είναι ίδια με αυτά της Μεσαιωνικής Δύσης.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ξύλο. - Φυσικοί λίθοι (πελεκητός ασβεστόλιθος, πορφυρίτης, βασάλτης, ψαμμίτης, τραβερτίνες). - Μάρμαρο (γρανίτης).
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή πέτρινων τοξωτών γεφυρών με μορφή ημικυκλικού σχήματος. - Κατασκευή πλακωτών τόξων. - Κατασκευή οξυκόρυφων τόξων. - Ταυτόχρονη κατασκευή βάθρων και τόξων. - Εφαρμογή ρυθμιζόμενων κιβωτίων ως θεμέλια μεσόβαθρων. 	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή τοξωτών με μεγαλύτερους θόλους και μαρμάρινο κομβίο. - Κατασκευή οξυκόρυφων τόξων με λαξευμένη λιθοδομή. - Υποστήριξη βάθρων με ξυλότυπους και ενίσχυση αυτών με αντίριδες τριγωνικής ή ημικυκλικής διατομής. 	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή ελλειπτικών και θολωτών τόξων. - Δημιουργία κλείδας στο κεντρικό τόξο. - Κατασκευή βάθρων με τη χρήση διαφορετικών φυσικών λίθων.

	ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΔΥΣΗ	ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΒΥΖΑΝΤΙΟ	ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ
ΓΝΩΣΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ	- «Ponte Vecchio bridge»(Φλωρεντία, Ιταλία).	- «Της Κόρης το Γεφύρι» (Χίος, Ελλάδα).	- «Ponte Castelvecchio» (Βερόνα, Ιταλία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

4.1. Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στη τεχνολογική εξέλιξη της γεφυροποιίας κατά τη διάρκεια της *Βιομηχανικής Επανάστασης*. Χρονολογικά, η περίοδος που θα μελετήσουμε καλύπτει τον 18^ο καθώς και τον 19^ο αιώνα.

Αρχικά λοιπόν, θα παρουσιάσουμε το *ιστορικό πλαίσιο* της εποχής, όπου εκεί θα παρατεθούν κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά της εποχής, οι ανάγκες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας, καθώς και κάποιες νέες προοπτικές στον σχεδιασμό γεφυρών που εμφανίστηκαν τότε. Στη συνέχεια θα μιλήσουμε για τα *υλικά δόμησης* καθώς και τις *μεθόδους κατασκευής* των γεφυρών της εποχής περιγράφουμε τα διάφορα *είδη γεφυρών* της εποχής με την προσθήκη τεχνικών λεπτομερειών μέσα από παραδείγματα γνωστών γεφυρών. Τέλος θα κάνουμε μια σύνοψη όλων των εννοιών που αναφέραμε σε αυτό το κεφάλαιο με μορφή πίνακα.

4.2. Το Ιστορικό Πλαίσιο

Η *Βιομηχανική Επανάσταση*, λοιπόν, ήταν ένα ιδιαίτερο σύστημα ραγδαίων μεταβολών και ανακατατάξεων (τεχνικών, οικονομικών, κοινωνικών και πνευματικών) οι οποίες είχαν σαν αποτέλεσμα τον οικονομικό και κοινωνικό μετασχηματισμό της αγροτικής κοινωνίας. Το κυριότερο, χαρακτηριστικό της περιόδου αυτής είναι η βαθμιαία και συνεχώς επιταχυνόμενη χρησιμοποίηση της μηχανής, ως μέσου παραγωγής αγαθών.

Είναι γεγονός ότι η Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται ως η *εποχή του άνθρακα και του σιδήρου* και σημαδεύεται από την χρήση του σιδηροδρόμου και του ατμόπλοιου στις μεταφορές. Εξίσου κορυφαία επιτεύγματα της εποχής ήταν η μηχανή εσωτερικής καύσης και η παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το φαινόμενο αυτό άρχισε στην *Μεγάλη Βρετανία* μεταξύ των ετών 1750 – 1870. Την αλλαγή αυτή ακολούθησαν ανάλογες, αλλά όχι και ταυτόσημες βιομηχανικές επαναστάσεις και σε άλλες ευρωπαϊκές κοινωνίες που επέφεραν σε αυτές την εκβιομηχάνισή τους. Ιδιαίτερα επηρεάστηκε η Γαλλία και αργότερα οι Η.Π.Α. σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας και ανάπτυξης της οικονομίας και της δομής της κοινωνίας. Η μεγάλη σημασία της Βιομηχανίας κατέστη προφανής, από τη στιγμή που η εκβιομηχάνιση έγινε διεθνώς ο πρωτεύων σκοπός της οικονομικής πολιτικής και αναγνωρίστηκε ότι συμβάλλει ουσιαδώς στην οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν:

- α) Η εκτεταμένη χρήση νέων τεχνικών μέσων που περιόριζαν τη χειρωνακτική εργασία, αυξάνοντας την παραγωγή και μειώνοντας το κόστος των προϊόντων.
- β) Η αξιοποίηση νέων μορφών ενέργειας.
- γ) Η εφαρμογή καινοτομιών στη μεταλλουργία.
- δ) Η ανάδειξη του εργοστασίου ως βασικού τύπου παραγωγής, όπου συγκεντρώθηκε η πλειοψηφία των εργατών.
- ε) Οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης.

Όπως είναι φυσικό οι συνέπειες της Βιομηχανικής Επανάστασης έγιναν αισθητές σε πολύ μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Περισσότερο αισθητές έγιναν στην αγροτική τάξη. Οι ανάγκες της βιομηχανίας σε εργατικό δυναμικό και η ελπίδα μιας καλύτερης ζωής, οδηγούν τους αγρότες στα μεγάλα βιομηχανικά κέντρα γεγονός που προκαλεί ανισόρροπη περιφερειακή ανάπτυξη, εγκατάλειψη της υπαίθρου και ανάπτυξη της αστυφιλίας. Ο ρυθμός της ζωής εντείνεται, οι εκδηλώσεις παίρνουν μαζικό χαρακτήρα και η ζωή ομαδοποιείται. Δημιουργείται λοιπόν μια κοινωνία, όπου κυριαρχεί η βιομηχανία, μια κοινωνία που αναπτύχθηκε ή προσπάθησε να αναπτυχθεί πάνω σε κάποιο βιομηχανικό μοντέλο.

Στις πρώτες εποχές της βιομηχανικής επανάστασης οι οικογένειες συνεχίζουν να προσλαμβάνονται ως ενιαίες μονάδες από τους βιομηχάνους, δημιουργώντας το φαινόμενο της παιδικής βιομηχανικής εργασίας, που σύντομα δημιουργεί προβλήματα ως αντιπαραγωγική, μη – δημοφιλής και σκληρή για τα παιδιά. Έτσι, λοιπόν από την μια πλευρά οι ιδιοκτήτες των μέσων παραγωγής οδηγήθηκαν σε οικονομική ανάπτυξη και πλουτισμό και από την άλλη οι εργαζόμενοι μετετράπησαν σε θύματα εκμετάλλευσης και οικονομικής εξαθλίωσης. Το κράτος αρχικά τήρησε ουδέτερη στάση σε αυτή τη σύγκρουση συμφερόντων, στη συνέχεια όμως, μέσα από κοινωνικές ανακατατάξεις και μετά τις επαναστατικές εκρήξεις, υιοθέτησε ένα παρεμβατικό ρόλο αναδιανομής του πλούτου.

Την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης έγιναν μερικές από τις μεγαλύτερες μεταβολές και ανακατατάξεις σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς, ο οποίος, μάλιστα, είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ζωή του ανθρώπου και την επηρεάζει σημαντικά είναι η άνθηση του τομέα των τεχνικών – αρχιτεκτονικών κατασκευών. Πράγματι την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης κατασκευάστηκαν μερικές από τις σημαντικότερες και πιο εντυπωσιακές τεχνικές κατασκευές οι οποίες έπαιξαν σημαντικότερο ρόλο στη ζωή του ανθρώπου. Έτσι λοιπόν κατασκευάστηκαν μεγάλα κτήρια τα οποία ήταν υπεύθυνα για την στέγαση των εργοστασίων και των βιομηχανιών που την περίοδο αυτή αναπτύσσονταν ταχύτατα. Σημαντικότερη, επίσης, τεχνική κατασκευή η οποία άλλαξε κατά πολύ τη ζωή του ανθρώπου ήταν ο σιδηρόδρομος. Η ανάπτυξη της γεφυροποιίας, λοιπόν, δεν θα μπορούσε να μην είναι ανάλογη με την γενικότερη ανάπτυξη που παρατηρούνταν στον τομέα των τεχνικών κατασκευών.

Ας δούμε, λοιπόν, ποιοι ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας τότε. Την περίοδο αυτή λόγω της χρησιμοποίησης των μηχανικών μέσων για την παραγωγή αγαθών, υπήρχε αυξημένη παραγωγή προϊόντων και αγαθών. Επίσης υπήρχε αυξημένη ζήτηση. Έπρεπε, λοιπόν τα αγαθά να ταξιδεύουν απρόσκοπτα και με ταχύτητα στον τόπο προορισμού τους. Ακόμη, οι άνθρωποι μετακινούνταν συνεχώς είτε γιατί ακολουθούσαν την τάση της εποχής αυτής, είτε γιατί έπρεπε να προσεγγίσουν τα μεγάλα *Βιομηχανικά κέντρα* που δημιουργήθηκαν την εποχή αυτή, καθώς τα πάντα στρέφονταν γύρω από τα κέντρα αυτά. Το οδικό δίκτυο, εξάλλου που ήδη υπήρχε επέτρεπε τις μετακινήσεις αυτές. Τα χάσματα, όμως, που παρεμβάλλονταν, λόγω κάποιου φυσικού εμποδίου είτε αυτό ήταν ποταμός είτε χαράδρα αποτελούσαν ανασταλτικό παράγοντα για τις μετακινήσεις ανθρώπων και αγαθών. Έπρεπε να γεφυρωθούν. Αυτό προϋπόθετε την κατασκευή των κατάλληλων γεφυρών, γιατί μόνο έτσι θα εξασφαλιζονταν η ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία της Βιομηχανίας.

Ακόμη η έλευση του σχετικά φθηνού *χυτοσίδηρου* και του *σφυρήλατου σίδηρου*⁹ σε συνδυασμό με την σημαντική ποσότητα παγκόσμιας παραγωγής του,

⁹ Είναι ο σίδηρος που τήκεται στη φωτιά και μορφοποιείται με σφυρηλασία.

συνέβαλλε κατά πολύ στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας την εποχή αυτή. Το νέο αυτό υλικό είχε πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα υλικά που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα στη γεφυροποιία (λίθοι, ξύλα). Μερικά από τα πλεονεκτήματα του νέου αυτού υλικού είναι: το πολύ μειωμένο βάρος και η οριζόντια αντίσταση της κατασκευής, η οικονομία που επιτυγχάνεται στην κατασκευή λόγω χρήσης του υλικού αυτού και η ταχύτητα ανέγερσης της κατασκευής που, σαφώς, είναι υψηλότερη. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα δεν πέρασαν απαρατήρητα και σχετικά σύντομα οι άνθρωποι κατάλαβαν ότι έπρεπε να χρησιμοποιήσουν το νέο αυτό υλικό στην κατασκευή γεφυρών.

Η ταχεία διάδοση των σιδηροδρόμων στα μέσα του 19^{ου} αιώνα άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη της γεφυροποιίας. Είναι βέβαιο ότι η ανάπτυξη της γεφυροποιίας και του σιδηροδρόμου αλληλοστηρίχθηκαν και συμβάδισαν χρονικά. Την εποχή αυτή απαιτούνταν μεγάλες γέφυρες για βαριά φορτία. Τα βαρυφορτωμένα τρένα απαιτούσαν γραμμές με ελάχιστη κλίση και όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμες, Έτσι κατασκευάστηκαν επιμήκεις κοιλαδογέφυρες, συχνά με πλατιά ανοίγματα και υψηλούς πυλώνες στήριξης. Οι γέφυρες με *δικτυώματα*¹⁰ χρησιμοποιήθηκαν ευρέως επειδή μπορούσαν να γεφυρώσουν μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση λιγότερου υλικού. Τέτοιες γέφυρες από σίδηρο αντικατέστησαν, σε μεγάλο βαθμό, τις ελάχιστα ανθεκτικές ξύλινες γέφυρες που χρησιμοποιούνταν για τη διέλευση σιδηροτροχιών πάνω από ανώμαλο έδαφος.

Οι παραπάνω λόγοι, λοιπόν, συνέβαλλαν στο να αναπτυχθεί η γεφυροποιία την εποχή αυτή. Μάλιστα οι αλλαγές που έγιναν την εποχή αυτή στη γεφυροποιία είναι πολύ σημαντικότερες σε σχέση με άλλες περιόδους. Έγιναν πολύ σημαντικές αλλαγές τόσο στα υλικά κατασκευής των γεφυρών, όσο και στον τρόπο κατασκευής τους. Για τους λόγους αυτούς την περίοδο αυτή ξεκινά η «*χρυσή εποχή*» της *γεφυροποιίας* και αποτελεί μαζί με τη σύγχρονη εποχή την πλέον αξιόλογη περίοδο στο τομέα της γεφυροποιίας. Αφού, πλέον, δόθηκε μια σύντομη περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της εποχής καθώς και των λόγων που οδήγησαν στην ανάπτυξη της γεφυροποιίας είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στις νέες προοπτικές στην κατασκευή γεφυρών που εμφανίστηκαν παράλληλα με την Βιομηχανική Επανάσταση.

Συγκεκριμένα οι νέες αυτές προοπτικές αφορούν την *ίδρυση σχολών και πολυτεχνείων* καθώς και την εμφάνιση κάποιων νέων *θεωριών* που αφορούν την *στατική λειτουργία* των γεφυρών. Οι νέες αυτές καινοτομίες που εμφανίστηκαν είναι επακόλουθο της Βιομηχανικής Επανάστασης καθώς όπως αναφέραμε και πιο πάνω την εποχή αυτή υπήρχε η ανάγκη της επιστημονικής εξειδίκευσης μεγάλου μέρους του πληθυσμού, κάτι που ώθησε στο να ιδρυθούν αυτές οι σχολές.

Η Γαλλική κυβέρνηση συνειδητοποίησε ότι οι μηχανικοί της χώρας χρειαζόνταν καλύτερη θεωρητική εκπαίδευση. Έτσι ένα πρώτο βήμα για να καταρτιστούν οι μηχανικοί σε επαγγελματικό επίπεδο πραγματοποιήθηκε το 1716 με την δημιουργία του *Σώματος Γεφυρών και Φραγμάτων*, στο οποίο εντάσσονταν η Υπηρεσία Σχεδιαστών. Το 1747 ο *Jean Rodolphe Perronet* αντικατέστησε την Υπηρεσία με την *Σχολή Γεφυρών και Φραγμάτων* και το 1795 ιδρύθηκε το Πολυτεχνείο, ώστε να προσφέρει τεχνικές για την αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων.

Από εκείνη την εποχή η τεχνική έγινε εφαρμοσμένη επιστήμη: τέθηκαν νόμοι και διαδικασίες για την κοπή της πέτρας, τους οποίους υπέδειξε η περιγραφική γεωμετρία, και οι πραγματείες εισήχθησαν ως επιστημονική «στερεομετρία», που

¹⁰ Μη συμπαγείς δοκοί, αποτελούμενοι από πέλματα που συνδέονται με κατακόρυφα και διαγώνια στοιχεία.

ορίστηκε ως «η τέχνη της χρήσης του βάρους της πέτρας ώστε να στηρίξει τον εαυτό της». Η κατασκευή του θόλου από πρακτικό πρόβλημα είχε γίνει επιστημονικό ερώτημα. Η *Εποχή της Λογικής* μετέτρεψε την «τέχνη της εφεύρεσης» σε «επιστήμη της κατασκευής». Οι τεχνικές σχεδιασμού και κατασκευής που σχετίζονταν με τις γέφυρες πραγματοποίησαν ένα άλμα προς την πρόοδο όσον αφορά την ποιότητα: έχοντας αναπτύξει μια μέθοδο που στηρίζονταν στη θεωρία και είχε δοκιμαστεί σε άπειρες εφαρμογές, ο Perronet εγκαινίασε μια νέα εποχή στην κατασκευή πέτρινων γεφυρών. Και ενώ η Γαλλία ίδρυε τις ανεγνωρισμένου κύρους τεχνικές και επιστημονικές σχολές της, στην Αγγλία οι μηχανικοί εκπαιδεύονταν σε εργαστήρια και εργοτάξια. Καλούσαν μαθηματικούς και φυσικούς για να επιλύσουν τα απτά προβλήματα, ωστόσο εάν η απάντηση των επιστημόνων δεν τους έπειθε, στρέφονταν στην κατασκευή πιστών αντιγράφων και πρωτοτύπων.

Εξαιρετικά αξιόλογες είναι οι θεωρίες που αναπτύχθηκαν την εποχή αυτή, οι οποίες ήταν επακόλουθο της επιστημονικής εξειδίκευσης. Διατυπώθηκαν από διάσημους μηχανικούς και αφορούσαν τη στατική λειτουργία των γεφυρών.

Είναι γνωστό ότι μια στατική θεωρία που να οδηγεί σε ποσοτικούς όρους δεν εμφανίστηκε μέχρι το τέλος του 17^{ου} αιώνα. Αλλά και αφού εμφανίστηκε παρέμεινε επί δεκαετίες υπόθεση λίγων επιστημόνων και η ενσωμάτωση των θεωριών αυτών στον εξοπλισμό του μηχανικού της πράξης χρειάστηκε πάνω από έναν αιώνα ακόμα. Πρέπει να αναφερθεί, όμως, ότι βασικές πλευρές της στατικής συμπεριφοράς των κατασκευών ήταν από πολύ παλιά γνωστές και μάλιστα καθοδηγούσαν την κατασκευαστική πρακτική. Για παράδειγμα ο Βιτρούβιος είχε μιλήσει, αιώνες πριν, για την ώθηση που ασκούν τα τόξα στους τοίχους και τα βάθρα των γεφυρών.

Τα πρώτα αξιόλογα βήματα για την δημιουργία μιας στατικής θεωρίας των τόξων γίνονται από τον Γάλλο αστρονόμο και μαθηματικό *Philippe De la Hire* με τις εργασίες του το 1695 και 1712. Ο De la Hire αναλύει το τόξο σε στοιχειώδεις σφήνες τις οποίες θεωρεί σαν απολύτως στερεά σώματα τα οποία είναι και απολύτως λεία (αγνοεί την τριβή ανάμεσά τους, θεωρώντας την αμελητέα ποσότητα). Το βασικό μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής ήταν η παράβλεψη της τριβής. Παρ' όλα αυτά η συνεισφορά του De la Hire είναι σημαντική αλλά η διαστασιολόγηση που συνεπάγεται οδηγεί σε διάφορα παράδοξα και έρχεται σε αντίφαση με τα πειραματικά δεδομένα. Αποτελεί, όμως την αρχή για μια συστηματική προσέγγιση της στατικής των τόξων που θα δεσπόσει όλο τον 18^ο αιώνα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί η συνεισφορά του *Claude Antoine Couplet* με τα μνημόνια του στη *Βασιλική Ακαδημία Επιστημών*¹¹ το 1731 και το 1732 όπου εισάγει την έννοια της τριβής ανάμεσα στα μέλη του τόξου, χωρίς όμως να δώσει ποσοτική εκτίμηση για αυτήν. Ακόμη κατέληξε σ' ένα κανόνα διαστασιολόγησης που είχε εφαρμόσει και ο *Leonardo da Vinci* αρκετά χρόνια πιο πριν. Ο *Belidor* στο έργο του, το 1729, έδινε απλοποιημένους τύπους για τον υπολογισμό του μεγέθους των βάθρων για κάθε τύπο τόξου, απευθυνόμενος ακόμη και σε αυτούς που δεν γνωρίζουν μαθηματικά.

Το πρώτο βιβλίο περί γεφυρών που απευθύνεται σε επαγγελματίες το «*Traite des Ponts*» γράφτηκε το 1727 από τον *H. Gautier*, διάσημο μηχανικό του *Cops des Ponts et Chauusees*. Το βιβλίο αυτό εξηγούσε τους διάφορους τεχνικούς όρους και τους κανονισμούς του Σώματος των Μηχανικών. Είχε υποδείγματα προϋπολογισμού και μια μέθοδο για τον υπολογισμό των τοίχων αντιστήριξης. Μετά το 1770 οι θεωρίες για τα τόξα πήρε περισσότερο ακαδημαϊκό χαρακτήρα και έγινε αντικείμενο μελέτης επιφανών μαθηματικών οι οποίοι ανέπτυσαν πολύπλοκους αλγόριθμους.

¹¹ Ιδρύθηκε το 1666 από τον βασιλιά της Γαλλίας Λουδοβίκο ΙΔ'.

Σοβαρό βήμα στην κατανόηση της λειτουργίας των τόξων αποτελεί η εργασία του *Coulomb* που παρουσιάστηκε στην Βασιλική Ακαδημία Επιστημών τον 1773. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε ξανά στον μεγαλύτερο γεφυροποιό του 18^{ου} αιώνα τον *Jean rodolphe Perronet*. Ιδρυτής, όπως αναφέραμε και πιο πριν της *Ecole des Ponts et Chaussees*, κατασκεύασε αρκετές γέφυρες στο Παρίσι με πιο διάσημη αυτή του *Neully*. Ο *Perronet* βασίζονταν στην εμπειρία την οποία θεωρούσε πιο αξιόπιστη από την γεωμετρία. Στο βιβλίο του αναφέρεται σε παραδείγματα και προσπαθεί να διδάξει μέσα από αυτά.

Ο *Emiland Marie Gauthey*, αρχιτέκτονας και επιθεωρητής του Σώματος *Ponts et Chaussees* προσπάθησε να δώσει τις γενικές αρχές σχεδιασμού των γεφυρών. Πίστευε ότι τίποτα σε μια γέφυρα δεν είναι αυθαίρετο, συμβολικό και έξω από την μαθηματική ανάλυση. Όλοι οι παράγοντες που καθορίζουν τον σχεδιασμό μιας γέφυρας πρέπει να υπακούν σε μαθηματικούς κανόνες. Για την κατασκευή, λοιπόν, μιας γέφυρας σύμφωνα με τον *Gauthey* έπρεπε να λαμβάνονται υπ' όψη τα εξής:

- α) Η εκλογή της θέσης.
- β) Η παροχή του ποταμού.
- γ) Η μορφή των τόξων.
- δ) Οι διαστάσεις των τόξων.
- ε) Το πλάτος της γέφυρας.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες ήταν μεταβλητές που έπρεπε να συντεθούν στα πλαίσια ενός μαθηματικού τύπου για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Τον 19^ο αιώνα έχουμε μια σταδιακή στροφή στον τρόπο αντιμετώπισης του θέματος σαν συνέπεια της ανάπτυξης της επιστήμης και ιδιαίτερα της θεωρίας της ελαστικότητας. Ο *Luis Navier* σε αρκετές εργασίες που έκανε σε σχέση με την στατική του τόξου, εισήγαγε την έννοια της τάσης που κατανέμεται σε κάθε σημείο μιας διατομής. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη θλιπτική αντοχή των υλικών υπολόγιζε τις οριζόντιες ωθήσεις που αναπτύσσονται στα τόξα.

Το 1831, ο *F. J. Gerstner*, στο έργο του «*Handbuch der Mechanik*» εισήγαγε για πρώτη φορά δύο έννοιες που τα επόμενα χρόνια χρησιμοποιηθούν αρκετά συχνά στην μελέτη του τόξου. Οι δύο αυτές έννοιες είναι η καμπύλη της αντοχής και η καμπύλη των πιέσεων.

Μεγάλες αλλαγές συντελέστηκαν στο δεύτερο μισό του 1800, οπότε και μπήκαν σε εφαρμογή οι σύγχρονες θεωρίες της στατικής. Το 1864 κυκλοφορεί ο πρώτος τόμος της «*Graphische Statik*» του διάσημου μηχανικού *K. Culmann*. Τότε δόθηκε σαφή γραφική λύση σε αρκετά προβλήματα ανάλυσης φορέων. Κυρίως όμως έχουμε την ανάπτυξη της θεωρίας της ελαστικότητας, που θα επιλύσει και την περίπτωση του τόξου σαν μια απλή εφαρμογή της ελαστικής δοκού με καμπύλο άξονα.

4.3. Υλικά Κατασκευής

Αφού πλέον έχουμε αναφερθεί στο ιστορικό πλαίσιο της εποχής κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούμε και στα υλικά που χρησιμοποιούσαν την περίοδο αυτή στη γεφυροποιία. Και δεν είναι άλλα από το *σίδηρο*, *χυτοσίδηρο*, *σφυρήλατο σίδηρο*, *χάλυβα* και τους *φυσικούς λίθους*, τα οποία χρησιμοποιούνταν ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό.

Είναι γεγονός ότι η έλευση του *σιδήρου* έφερε μεγάλες αλλαγές στον τομέα της γεφυροποιίας, καθώς η χρήση του νέου αυτού υλικού έθεσε νέες βάσεις στην κατασκευή γεφυρών. Η έλλειψη ικανών τεχνικών μέσων δεν επέτρεψε τη χρήση του ως *δομικού υλικού* τους προηγούμενους αιώνες, διότι η εξόρυξη σημαντικών ποσοτήτων καθώς και η μεγάλη δυσκολία κατεργασίας του δεν ήταν κάτι το οποίο μπορούσε να επιτευχθεί με τα τεχνικά μέσα των προηγούμενων αιώνων.

Οι πρώτες απόπειρες κατασκευής σιδηρών κατασκευών ανάγονται στις αρχές του 18^{ου} αιώνα και οφείλονται κυρίως, σε Γάλλους μηχανικούς που είχαν τα θεωρητικά εφόδια για τη χρησιμοποίηση του νέου υλικού. Όλες, όμως, οι προσπάθειες απέτυχαν λόγω της αδυναμίας παραγωγής ικανοποιητικής ποσότητας υλικού και μόρφωσής των διαφόρων τεμαχίων που απαιτούνταν για την κατασκευή. Στο τέλος, όμως, του 18^{ου} αιώνα άρχισε η συστηματική χρησιμοποίηση των κραμάτων του σιδήρου στη κατασκευή σιδηρών γεφυρών, στις οποίες το κυρίως φέρων σύστημα συντίθεται από σιδηρά στοιχεία. Με δεδομένα τα πολλαπλά πλεονεκτήματα του υλικού αυτού στις διάφορες μορφές του (*χυτοσίδηρος*, *σφυρήλατος σίδηρος*, *χάλυβας*) έναντι των μέχρι τότε εν χρήσει φυσικών υλικών (*λίθοι*, *ξύλο*), διανοίγονται νέοι ορίζοντες για την γεφυροποιία η οποία καλείται να παρακολουθήσει την πρόοδο των μέσων συγκοινωνίας και της τεχνολογίας, αλλά και τις αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου (μετακινήσεις, διακίνηση αγαθών). Η επαναστατική εξέλιξη της βιομηχανίας του σιδήρου δίνει τη δυνατότητα της παραγωγής του απαραίτητου υλικού σε ποιότητες συνεχώς βελτιούμενες. Γίνεται με αυτόν τον τρόπο δυνατή η ζεύξη σημείων που στον παρελθόν δεν μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ανικανότητας των υλικών.

Παρατηρώντας τη χρήση των σιδηρούχων μετάλλων στην κατασκευή γεφυρών βλέπουμε ότι αρχικά στη γεφυροποιία χρησιμοποιήθηκε ο *χυτοσίδηρος*. Σχεδόν επτά δεκαετίες αργότερα χρησιμοποιήθηκε ο *σφυρήλατος σίδηρος*, και σχεδόν μισό αιώνα μετά τη χρήση του *σφυρήλατου σιδήρου*, ο *χάλυβας*. Υπάρχουν βέβαια και περίοδοι αλληλοκάλυψης των παραπάνω υλικών. Πρέπει να τονίσουμε ότι ο *χάλυβας* κυριαρχεί στην κατασκευή μεταλλικών γεφυρών, καθώς χρησιμοποιείται μέχρι τις μέρες μας σε πολύ μεγάλο βαθμό. Ας αναφερθούμε στις διάφορες μορφές των σιδηρούχων μετάλλων παραθέτοντας λεπτομέρειες για κάθε μια από αυτές.

Ο *χυτοσίδηρος* είναι κράμα σιδήρου με άνθρακα, πυρίτιο και μαγγάνιο. Η παραγωγή¹² του ξεκίνησε το 1750 και η χρήση του στις μεταλλικές γέφυρες το 1780 όπου και κυριάρχησε μέχρι το 1850. Χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στη γεφυροποιία καθώς παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος παραγωγής, ευκολία μηχανουργικής κατεργασίας, καλή αντίσταση στη μηχανουργική φθορά και την διάβρωση καθώς και σχετικά καλή μηχανική αντοχή.

¹² Παρόλο που ήταν δυνατό στον 16^ο αιώνα να παραχθεί, ο *χυτοσίδηρος* ήταν δύσκολο να παραχθεί σε μεγάλη κλίμακα πριν την αλλαγή του *ξυλάνθρακα*, σαν καύσιμη ύλη, σε *σπένθρακα*.

Ο σφυρήλατος σίδηρος¹³ κυριάρχησε στη γεφυροποιία από το 1850 έως το 1900. Στην περίοδο αυτή μελετάται περισσότερο το υλικό, θεμελιώνεται η στατική των κατασκευών και χρησιμοποιούνται στην πράξη όλες οι γνωστές μορφές φορέων. Η νέα αυτή μορφή σιδήρου παρουσιάζει μεγαλύτερη ολκιμότητα σε σχέση με το χυτοσίδηρο. Για το λόγο αυτό είναι πολύ πιο ασφαλές υλικό για την κατασκευή δοκών. Βασικό μειονέκτημά του είναι ότι μπορεί να μορφοποιηθεί μόνο με σφυρηλάτηση, μειώνοντας έτσι τις δομικές και διακοσμητικές μορφές που μπορούσε να πάρει.

Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου – άνθρακα που περιέχει μαγγάνιο, πυρίτιο, φώσφορο, θείο και οξυγόνο. Η χρήση του στη γεφυροποιία ξεκίνησε γύρω στο 1880. Η γνώση των ιδιοτήτων του, καθώς και οι ασφαλείς μέθοδοι υπολογισμού του υλικού αυτού, χωρίς περιορισμό των δυνατοτήτων της κατασκευής, έδωσαν την ώθηση για την αλματώδη εξέλιξή¹⁴ του. Εισάγεται, έτσι, η χρήση πλήθους ποιοτήτων χάλυβα υψηλής αντοχής, καθώς και μεγάλη ποικιλία διατομών εξυπηρετώντας τις ανάγκες του κατασκευαστή. Όλα αυτά οδήγησαν στην εμφάνιση μίας νέας μορφής κατασκευής, της κατασκευής από πλήρη σιδηρό σκελετό.

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο σίδηρος στην γεφυροποιία, όπως προαναφέρθηκε, ήταν τα αυξημένα πλεονεκτήματα που παρουσίαζε σε σχέση με άλλα υλικά. Τα πλεονεκτήματα αυτά απορρέουν από τις ιδιότητες του χάλυβα και είναι τα ακόλουθα:

- α) Ο χάλυβας παράγεται υπό ευνοϊκές συνθήκες και συνεχή έλεγχο έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης ασφάλεια για την ομοιομορφία του υλικού.
- β) Η υψηλή αντοχή του, επιτρέπει την διαμόρφωση φορέων με μικρό ίδιο βάρος, μικρότερες δυνατές διαστάσεις και γενικότερα οικονομία υλικού και χώρου.
- γ) Τα τεμάχια του μεταλλικού έργου κατασκευάζονται υπό συνεχή επίβλεψη ειδικευμένου προσωπικού.
- δ) Η συναρμολόγηση γίνεται επί τόπου σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.
- ε) Υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής της μορφής και εκλογής της μεθόδου συναρμολόγησης ώστε να ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις.
- στ) Είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του υλικού.
- ζ) Η διάρκεια ζωής των μεταλλικών κατασκευών είναι σχεδόν απεριόριστη.
- η) Η ολκιμότητα, η εκτεταμένη δηλαδή παραμόρφωση χωρίς αστοχία
- θ) Η δυνατότητα ζεύξης μεγάλων ανοιγμάτων (άνω των 2.000 μέτρων).
- ι) Τα άριστα αισθητικά αποτελέσματα.

Αντίθετα, ως κυριότερο μειονέκτημα, αναφέρεται η οξειδωση, η οποία αποτελεί την «Αχίλλειο πτέρνα» όλων γενικά των σιδηρών κατασκευών. Αυτό συνεπάγεται αύξηση του κόστους συντήρησης έναντι άλλων υλικών.

¹³ Ο σφυρήλατος σίδηρος, έγινε εφαρμόσιμος κυρίως σαν αποτέλεσμα των εξελίξεων που αποκορυφώθηκαν από τον φούρνο ανάδευσης του Henry Cort. Στον φούρνο αυτό, ο άνθρακας του ακατέργαστου χυτοσίδηρου καιγόταν σε ένα αντανάκλαστικό φούρνο ενώ οι προσμίξεις αφαιρούνταν με ανάδευση. Καθώς συνεχίζονταν η διαδικασία και ο σίδηρος γινόταν καθαρότερος, έφτανε στο σημείο τήξης και το υλικό του φούρνου γινόταν περισσότερο παχύρρευστο και απομακρυνόταν σε μια στερεή πλαστική μορφή για έλαση ή σφυρηλάτηση.

¹⁴ Αν και ο σίδηρος μορφής χάλυβα υπήρχε για πολλούς αιώνες, ο χάλυβας, όπως χρησιμοποιείται σήμερα χρονολογείται από τον 18^ο αιώνα. Παρήχθη είτε από ενανθράκωση, μια διεργασία στην οποία οι ράβδοι καθαρού σφυρήλατου σιδήρου απορροφούσαν τον άνθρακα κατά τη διάρκεια παρατεταμένης διαδικασίας θέρμανσης, είτε μετά το 1750 με μορφή χυτεύσιμη μέσω της διαδικασίας χώνευσης του Hunsman. Η ενανθράκωση δεν είχε πραγματική σχέση με τη κατασκευή. Ο χωνευτός χάλυβας συνέχισε να κατασκευάζεται, αν και με μειωμένο ρυθμό παραγωγής, μέχρι το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου.

Είναι γεγονός ότι ο σίδηρος χρησιμοποιήθηκε στην γεφυροποιία, κατά την περίοδο αυτή, σε πολύ μεγάλο βαθμό καθώς τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσέφερε η χρήση του δεν ήταν δυνατόν να αγνοηθούν. Η χρήση των *λίθων (φυσικών και τεχνητών)*, παρά τα σημαντικά τους μειονεκτήματα σε σχέση με το σίδηρο, δεν πέρασε στο περιθώριο. Εξακολουθούν, λοιπόν, να χρησιμοποιούνται στη γεφυροποιία, σε μικρότερο όμως βαθμό σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια.

Οι *φυσικοί λίθοι* τους οποίους χρησιμοποιούσαν με μεγάλη επιτυχία στη γεφυροποιία άλλοτε σαν φέροντα στοιχεία, και άλλοτε σαν επένδυση ήταν ο *γρανίτης*, ο *διορίτης*, ο *βασάλτης*, αλλά και οι *λεγόμενοι ασβεστόλιθοι* όπως οι *ψαμμίτες* και οι *σχιστόλιθοι*.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των παραπάνω λίθων τα έχουμε αναφέρει στα προηγούμενα κεφάλαια μια και συναντήσαμε και εκεί τη χρήση τους. Αυτοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά στη συγκεκριμένη περίοδο είναι ο *διορίτης*, οι *σχιστόλιθοι* και κάποιοι *τεχνητοί λίθοι*, πιο αναλυτικά λοιπόν:

Ο *διορίτης*, είναι πέτρωμα κοκκώδες, που μοιάζει εξωτερικά με το γρανίτη (γρανιτοειδής ιστός). Χαρακτηρίζεται από τα έγχρωμα συστατικά που περιέχει ως *μελανοκρατικό πέτρωμα* και τα κυριότερα συστατικά του είναι όξινα *πλαγιόκλαστα*, *ολιγόκλαστα*, *ανδεσίνης* και *κεροστίλβη*. Μπορεί ακόμη να περιέχει *βιοτίτη*, *αυγίτη* και πολύ λίγο ή καθόλου *χαλαζία* επίσης είναι πέτρωμα που αλλοιώνεται από ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι *σχιστόλιθοι* που είναι κρυσταλλικά πετρώματα, τα οποία προέρχονται από τη μεταμόρφωση αργιλικών σχιστόλιθων και αποτελούνται από χαλαζία μαρμαρυγία, χλωρίτη. Έχουν ακόμη ποικίλο χρώμα και είναι ανθεκτικοί στη φωτιά και στις καιρικές επιδράσεις.

Τέλος εκτός από τους φυσικούς λίθους που αναφέραμε παραπάνω, παρατηρούμε ακόμη τη χρήση και διαφόρων *τεχνητών λίθων*. Οι τεχνητοί λίθοι, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή γεφυρών. Μερικά από τα πλεονεκτήματά τους είναι η δυνατότητα στην επιλογή πρώτων υλών, η παραγωγή δομικών στοιχείων με προκαθορισμένες διαστάσεις και ιδιότητες, η ομοιομορφία της δομής τους, καθώς και η οικονομική κατασκευή τους λόγω της δυνατότητας κατασκευής τους κοντά στο εργοτάξιο.

4.4. Μέθοδοι Κατασκευής

Αφού, πλέον, έχουμε μιλήσει για τα υλικά δόμησης κατά την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στις μεθόδους κατασκευής των γεφυρών της παραπάνω περιόδου.

Το πρώτο και σημαντικότερο που παρατηρούμε καθώς μελετάμε την εξέλιξη της γεφυροποιίας στη συγκεκριμένη εποχή είναι η γενικευμένη χρήση του σιδήρου. Πράγματι, το νέο αυτό υλικό χρησιμοποιήθηκε συστηματικά για την κατασκευή γεφυρών καθώς, όπως, είπαμε και πιο πάνω παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, τα οποία έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Η διαδικασία κατασκευής των μεταλλικών γεφυρών είναι εντελώς διαφορετική από αυτή που ακολουθούνταν τα προηγούμενα χρόνια. Η νέα αυτή διαδικασία κατασκευής ακολουθούσε πορεία περίπου ίδια με τη σημερινή. Έτσι, αρχικά γινόταν η μελέτη του έργου, ύστερα ακολουθούσε η βασική κατασκευή των επιμέρους τμημάτων της κατασκευής στο εργοστάσιο, και τέλος η διαδικασία ολοκληρώνονταν με τη συναρμολόγηση των τμημάτων της κατασκευής στο εργοτάξιο. Στο σημείο αυτό

θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στη διαδικασία κατασκευής δίνοντας περισσότερες πληροφορίες.

Για να ξεκινήσει η κατασκευή μιας γέφυρας αρχικά γινόταν μια χονδρική σχεδίαση, δηλαδή επιλέγονταν το είδος και η μορφή του φέροντος οργανισμού, καθώς και το μέγεθος της κατασκευής σύμφωνα πάντα με τις λειτουργικές απαιτήσεις. Πρέπει να τονίσουμε ότι αυτό ήταν ένα από τα σημαντικότερα στάδια της κατασκευής καθώς η παραπέρα μελέτη βασίζονταν στη σωστή επιλογή του κατάλληλου τύπου και των κατάλληλων διαστάσεων της κατασκευής. Στη συνέχεια έπρεπε να προσδιοριστούν τα φορτία (μόνιμα και κινητά) που θα επιδρούσαν στη κατασκευή καθώς έτσι μπορούσε να γίνει διαστασιολόγηση των διατομών. Παράλληλα γινόταν η επιλογή των μέσων σύνδεσης (ήλοι, κοχλίες, συγκολλήσεις) των μερών της κατασκευής. Αφού, πλέον, είχε επιλεγεί το είδος και οι διαστάσεις της κατασκευής, και είχαν καθοριστεί τα φορτία και τα μέσα σύνδεσης σειρά είχε το σημαντικότερο στάδιο της κατασκευής, που είναι ο στατικός υπολογισμός. Με τον στατικό υπολογισμό καθορίζονταν οι επιτρεπόμενες τάσεις των υλικών, καθώς και οι συντελεστές ασφαλείας. Ακόμα υπολογίζονταν οι αναπτυσσόμενες τάσεις των τεμαχίων και των μέσων σύνδεσης της κατασκευής. Παράλληλα γινόταν συγκρίσεις και διορθώσεις στην περίπτωση που εμφανίζονταν σφάλματα και παραλείψεις. Αφού είχε ολοκληρωθεί ο στατικός υπολογισμός το επόμενο βήμα της μελέτης ήταν η τελική σχεδίαση του έργου. Γινόταν λεπτομερής σχεδίαση των μερών της γέφυρας, καθώς και των μικρότερων τεμαχίων αλλά και των συνδέσεων (συνδέσεις κόμβων υποστυλωμάτων, εδράσεις ραφών και συγκολλήσεων). Και τέλος, γινόταν η μελέτη συναρμολόγησης, η οποία καθόριζε τον τρόπο με τον οποίο θα συναρμολογούνταν η κατασκευή, δηλαδή ποια τμήματα θα μεταφέρονταν έτοιμα από το εργοστάσιο και ποια θα κατασκευάζονταν στο εργοτάξιο.

Ύστερα από τη μελέτη κατασκευής της γέφυρας σειρά είχε η κατασκευή των διαφόρων μερών της στο εργοστάσιο και η συναρμολόγηση αυτών στο εργοτάξιο. Τα δεδομένα που εξάγονταν, λοιπόν, από τη μελέτη συλλέγονταν και χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των μερών της γέφυρας. Οι γνώσεις που υπήρχαν για τις ιδιότητες του σιδήρου, επέτρεψαν την πλήρη κατεργασία του. Με αυτό τον τρόπο έγινε δυνατή η κατασκευή μεγάλης ποικιλίας φορέων συχνά σύνθετων μορφών και διατομών. Ας αναφερθούμε, λοιπόν, στις διάφορες μορφές φορέων που επιλέγονταν για την κατασκευή σιδηρών γεφυρών. Μιλώντας, έτσι για τις τοξωτές γέφυρες παρατηρούμε ότι το κύριο τόξο της κατασκευής αποτελούνταν από μικρότερα τμήματα. Ο κύριος φορέας δεν κατασκευάζονταν σαν ένα ενιαίο τμήμα, αλλά αποτελούνταν από μικρότερα μέρη τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους με *μεταλλικά βλήτρα*¹⁵ (μεταλλικοί ήλοι) ή με κοχλίες¹⁶. Η κατασκευή των τεμαχίων αυτών γινόταν στο εργοστάσιο, κάτω από συνεχή επίβλεψη ειδικευμένου προσωπικού. Εκεί, ο σίδηρος χύνονταν μέσα σε ειδικά καλούπια, όπου έπαιρνε την απαιτούμενη μορφή, ύστερα από την στερεοποίησή του. Συνήθως χρησιμοποιούνταν χυτοσίδηρος ή σφυρήλατος σίδηρος. Η τελική συναρμολόγηση των τμημάτων αυτών γινόταν στο εργοτάξιο, το οποίο βρισκόταν στο σημείο κατασκευής του έργου. Η μεταφορά τους στο σημείο αυτό γινόταν με την χρήση χερσαίων ή πλωτών μέσων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η ανύψωση των φορέων και η τοποθέτηση αυτών πάνω στα βάθρα της κατασκευής επιτυγχάνονταν με τη χρήση υδραυλικών γρύλων. Σημαντικότερη επινοήση στις μεθόδους κατασκευής των τοξωτών γεφυρών είναι η καινοτομία που εφήρμοσε ο G. Eiffel. Ο μηχανικός αυτός για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της

¹⁵ Ως βλήτρα χαρακτηρίζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι, όταν αυτοί καταπονούνται με διαμητικό φορτίο.

¹⁶ Είναι η βίδα ή οποιοδήποτε άλλο σπειρωτό εξάρτημα.

ισχυρής πίεσης του ανέμου που δέχονταν οι γέφυρες με μεγάλο ύψος τοποθέτησε χαμηλότερα το άνω πέλμα των δοκών, για να ελαττωθεί με τον τρόπο αυτό η προσβαλλόμενη από τον άνεμο επιφάνεια. Είναι γνωστό ότι η πίεση του ανέμου αποτελεί μια από τις βασικότερες αιτίες καταστροφής σιδηρών γεφυρών. Γι' αυτό η καινοτομία του Eiffel αποτελεί ιδέα μεγάλης σπουδαιότητας.

Δοκοί αμφίκυρτης μορφής χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή γεφυρών τύπου δοκού. Η κατασκευή των δοκών γινόταν στο εργοστάσιο, όπου έπαιρναν την μορφή τους, ύστερα από τη τοποθέτηση λιωμένου μετάλλου μέσα σε καλούπια. Ιδιαίτερα προτιμούνταν οι *διατομές κυκλικού σχήματος, κιβωτιοειδούς σχήματος* καθώς και *κλειστού ορθογωνικού σχήματος*. Η τελική τους συναρμολόγηση γινόταν στο εργοτάξιο, όπου τα επιμέρους τμήματα συνδέονταν μεταξύ τους με βλήτρα και κοχλίες. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η τεχνική των κατασκευαστών της εποχής επέτρεπε οι εργασίες κατασκευής στο εργοτάξιο να πραγματοποιούνται σε μικρό χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό γινόταν δυνατή η ταχύτερη αποπεράτωση του έργου.

Τέλος έχουμε τη χρήση *αλυσίδων* και *συρμάτων* που ήταν κατασκευασμένα από σίδηρο παρατηρείται στις κρεμαστές γέφυρες της εποχής. Η κατασκευή των αλυσίδων και των συρμάτων στο εργοστάσιο δεν ακολουθούσε κάποια περίπλοκη διαδικασία και ήταν σαφώς πιο εύκολη από την κατασκευή τοξωτών φορέων και δοκών. Αποτελούνταν από *αμφιαρθρωτά ελάσματα*¹⁷, τα οποία επιδέχονταν ειδική διαμόρφωση στα άκρα τους ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύνδεση μέσω βλήτρων. Τη μεγαλύτερη δυσκολία παρουσίαζε η διαδικασία που ακολουθούνταν για την κατασκευή γεφυρών από αλυσίδες και σύρματα, δηλαδή το κύριο πρόβλημα στην κατασκευή καλωδίων από σύρμα είναι να εγγωθηούμε ότι όλα τα καλώδια φέρουν την ίδια τάση. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε προεκτείνοντας όλα τα καλώδια με τρόπο ώστε κανένα να μην μένει αφόρτιστο. Αυτό σήμαινε την *προένταση* των καλωδίων με μια ειδική συσκευή και την μετέπειτα ανύψωσή τους στη θέση τους. Για να επιτευχθεί το τύλιγμα των καλωδίων τα σύρματα φέρονταν από ένα τροχό και προωθούνταν πάνω από τους πύργους και τις *αγκυρώσεις*. Με αυτή κυρίως τη μέθοδο, όλα τα καλώδια βρίσκονταν υπό την ίδια τάση, έχοντας το καθένα από αυτά την ίδια καμπύλωση.

Σύντομα εμφανίστηκε η χρήση *δικτυωμάτων*¹⁸ στη γεφυροποιία. Η κατασκευή των ράβδων που αποτελούσαν το δικτύωμα γινόταν στο εργοστάσιο. Ο τρόπος κατασκευής των ράβδων δεν διέφερε από τον τρόπο κατασκευής των δοκών. Η μόρφωσή τους, λοιπόν, γινόταν με την χρήση καλουπιών. Προτιμούνταν, συνήθως, οι ράβδοι σωληνωτής διατομής. Οι ράβδοι που αποτελούσαν τον δικτυωτό φορέα συνδέονταν μεταξύ τους με αρθρώσεις. Τα δικτυώματα ξεκινούσαν από τα βάθρα της κατασκευής και είχαν τη μορφή προβόλου. Ακόμη μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι δικτυωτοί φορείς ήταν πλατύτεροι στη βάση. Αυτό γινόταν για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ευστάθεια του φορέα.

¹⁷ Λεπτό φύλλο μετάλλου, που σχηματίζεται με διάφορα τεχνικά μέσα (σφυρηλάτηση, κυλίνδρωση).

¹⁸ Είναι ο φορέας που μορφώνεται από ευθύγραμμες ράβδους που συνδέονται μεταξύ τους στα άκρα με αρθρώσεις.

4.5. Είδη Γεφυρών

Τα είδη γεφυρών που συναντάμε σε αυτή τη περίοδο ονομαστικά είναι: οι τοξωτές γέφυρες, οι γέφυρες τύπου δοκού, οι δικτυωτές γέφυρες, οι κρεμαστές γέφυρες και τέλος οι στρατιωτικές γέφυρες. Όλα αυτά τα είδη θα τα αναλύσουμε διεξοδικά στη συνέχεια.

4.5.1. Τοξωτές Γέφυρες

Από την αρχή, κυρίως όμως από τα μέσα, του 19^{ου} αιώνα, η ευρεία χρήση του σιδήρου αρχικά και του χάλυβα αργότερα έδωσε μεγάλες δυνατότητες στη γεφύρωση ανοιγμάτων με τη βοήθεια *τοξωτών φορέων*. Το κατάστρωμα των τοξωτών γεφυρών φέρεται από τον φορέα, που κατά κανόνα είναι δύο συνδεδεμένα και στατικά συνεργαζόμενα τόξα. Το κατάστρωμα στηρίζεται πάνω από τον φορέα συνήθως με κατακόρυφα *θλιβόμενα* στοιχεία.

Έτσι, λοιπόν, οι πρώτες σιδηρές γέφυρες κατασκευάστηκαν μιμούμενες τις λίθινες τοξωτές γέφυρες, δεδομένου ότι στα τόξα έχουμε τάσεις θλίψεως τις οποίες, τώρα, αναλάμβανε να παραλάβει ο χυτοσίδηρος. Έτσι ο χυτοσίδηρος αντικατέστησε τους φυσικούς λίθους, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που είχε έναντι αυτών. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του χυτοσίδηρου ήταν η οικονομία της κατασκευής με αποτέλεσμα η ταχύτητα ανέγερσης να γίνεται σαφώς μεγαλύτερη. Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι για τη γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων το τόξο χρησιμοποιήθηκε συγκριτικά με άλλες μορφές πολύ αργότερα. Ο σημαντικότερος λόγος είναι ότι υπήρχε πάντα η δυσχέρεια της ανάληψης μεγάλων λοξών αντιδράσεων στις στηρίξεις του τόξου. Σε αυτή τη περίπτωση προτιμούνταν άλλες μορφές φορέων, οι οποίοι μπορούσαν να παραλάβουν τις δυνάμεις αυτές χωρίς να παρατηρείται αστοχία.

Το πλέον αξιόλογο παράδειγμα τοξωτής κατασκευής της εποχής είναι η γέφυρα επί του ποταμού Severn στο Coalbrookdale της Αγγλίας, η γνωστή «*Ironbridge*» (Εικόνα 4.1), η οποία αποτελεί και την πρώτη στον κόσμο σιδηρά τοξωτή γέφυρα. Κατασκευάστηκε το 1776 -1779 από τον *A. Darby*, στο εργοστάσιο του. Αποτελείται από πέντε τοξωτούς φορείς. Έχει άνοιγμα 30,48 μέτρα, ύψος 12,19 μέτρα και ολικό πλάτος 7,30 μέτρα. Το συνολικό βάρος της κατασκευής είναι 378 τόνοι. Αξίζει να αναφερθεί ότι η συναρμολόγηση της σιδερένιας αυτής γέφυρας ακολούθησε τα πρότυπα της ξυλουργικής. Αρχικά δεν είχαν χρησιμοποιηθεί καθόλου βλήτρα (ήλοι), αλλά όλες οι συνδέσεις ήταν αντίστοιχες με τις *εντορμίες*¹⁹ των ξυλουργών. Η κατασκευή της ήταν πολύ σημαντικό γεγονός, ο δε κατασκευαστής της τιμήθηκε από την Αγγλική *Society of Arts* με χρυσό μετάλλιο. Επί σειρά ετών ήταν το θαυμάσιο επίτευγμα της εποχής. Από την ώθηση των γαιών στο ένα ακρόβαθρο της γέφυρας προκλήθηκε μικρή υποχώρηση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μια μικρή παραμόρφωση της κατασκευής και εμφάνιση ρωγμών. Για το λόγο αυτό το 1800 προστέθηκαν δύο μικρά ανοίγματα και σε αυτή τη μορφή σώζεται σήμερα η γέφυρα.

¹⁹ Τρόπος σύνδεσης δύο μερών μιας κατασκευής κατά τον οποίο στο ένα τμήμα της κατασκευής δημιουργείται κοιλότητα και στο άλλο προεξοχή.



Εικόνα 4.1. « Ironbridge» (Coalbrookdale, Μ. Βρετανία)

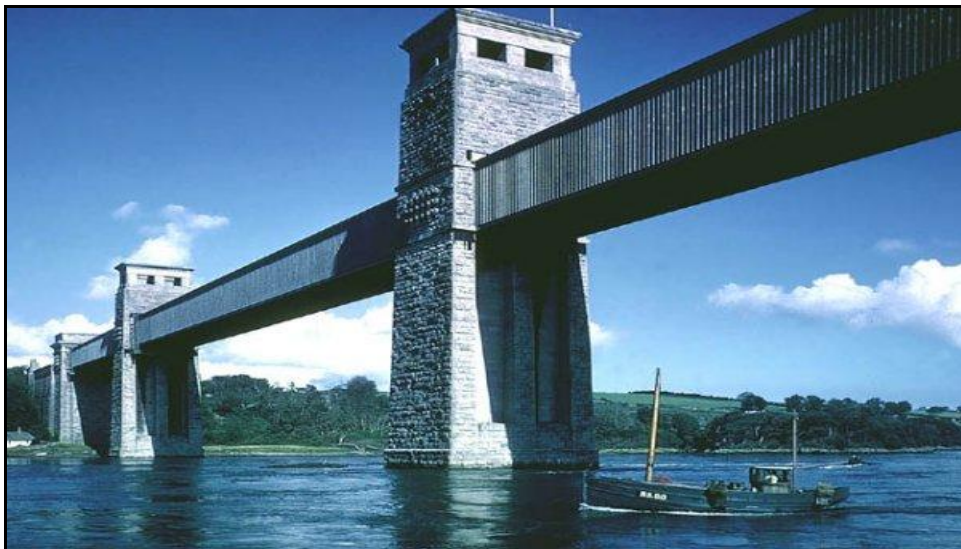
4.5.2. Γέφυρες τύπου Δοκού

Η δοκός είναι ένα από τα πρώτα συστήματα γεφύρωσης που εφάρμοσε ο άνθρωπος. Χρησιμοποιήθηκε για γεφύρωση σε διάφορες στατικές μορφές: αμφιέριστη, συνεχή, συνεχή με αρθρώσεις. Οι συνεχείς δοκοί συγκριτικά με τις αμφιέριστες έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων (οικονομία υλικού, μικρότερες δαπάνες κατασκευής). Για την εκμετάλλευση του πλεονεκτήματος της συνέχειας του φορέα αλλά και την εξασφάλιση έναντι υποχώρησης του εδάφους θεμελίωσης, καθώς και για λόγους απλούστερης συναρμολόγησης διατάσσονται αρθρώσεις. Πρώτος ο Gerber εφάρμοσε αυτό το σύστημα γι' αυτό η ονομασία συνεχών δοκών με άρθρωση έχει το όνομά του.

Ο χυτοσίδηρος που ήταν το υλικό των σιδηρών γεφυρών μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα δεν ήταν δυνατόν να αναλάβει αξιόλογες τάσεις εφελκυσμού και είναι ακατάλληλος για μόρφωση δοκών. Μόνο μικρά ανοίγματα με ειδικές διατάξεις για την ανάληψη δυνάμεων εφελκυσμού μπορούσαν να κατασκευαστούν. Η μεγάλη, όμως, ανάπτυξη γεφυρών τύπου δοκού σημειώθηκε από το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα με την εισαγωγή των χαλύβων στη γεφυροποιία, και συγχρονίστηκε με την ανάπτυξη του σιδηροδρόμου. Σημαντική παραλλαγή αποτέλεσε η μόρφωση προβόλων από τα βάθρα και η ένωση των άκρων τους με αρθρώσεις ή με μικρότερες γέφυρες (αιωρούμενο τμήμα). Η δοκός, ανάλογα με τη μόρφωσή της και τη στήριξη στα βάθρα, μορφώνεται με διατομή που ενισχύεται στις περιοχές μεγίστων καταπονήσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα ορατό στις γέφυρες με μεγάλα ανοίγματα και κυρίως στις μεταλλικές. Μόνο με την παραγωγή και χρήση πολτοπαγούς σιδήρου στις κατασκευές (μέσα του 19^{ου} αιώνα) άρχισε η κατασκευή γεφυρών από ποικίλες μορφές δοκού.

Αξιόλογο παράδειγμα γέφυρας τύπου δοκού είναι η σιδηροδρομική γέφυρα «*Britannia bridge*» (*Εικόνα 4.2.*). Ο μηχανικός *Robert Stephenson* αποφάσισε το 1846 να κατασκευάσει μια γέφυρα με μορφή δύο σωλήνων ορθογωνικής διατομής κάθε μια με πλάτος 4,4 μέτρα και ύψος 9 μέτρα) που ανάμεσά τους έτρεχαν δύο σιδηροδρομικές γραμμές.

Εκτέλεσε τη μελέτη του με βάση εκτεταμένες παρατηρήσεις σε μοντέλα κλίμακας 1:6 με κυκλικές, ελλειπτικές και ορθογωνικές διατομές. Η έρευνα έγινε σε συνεργασία με τον μηχανικό *W. Fairbairn*, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τις δοκιμές και με τον *E. Hodgkinson*, που εκτελούσε τη θεωρητική εργασία. Αποδείχθηκε ότι οι πλακοειδείς δοκοί με πυκνές ενισχύσεις οι οποίες κατασκευάζονταν από σφυρήλατο σίδηρο συνδυαζόμενο με κυψελωτό άνω και κάτω κατάστρωμα, ήταν αρκετά ισχυρές ώστε να φέρουν το φορτίο πάνω από το άνοιγμα των 142 μέτρων, χωρίς πρόσθετη στήριξη, αλλά με απλή ανάρτηση μέσω καλωδίων από την κορυφή των βάθρων. Τέτοια καλώδια είχαν κατασκευαστεί κατά την ανέγερση των πύργων, οι οποίοι έδωσαν στη γέφυρα τη μοναδική της εμφάνιση.



Εικόνα 4.2. «*Britannia Bridge*» (Νότια Ουαλία ,Μεγάλη Βρετανία)

Η γέφυρα λοιπόν έχει τέσσερα ανοίγματα των $71,9+141,73+141,73+71,9$ μέτρων, είναι διπλής τροχιάς με δύο παρακείμενους ορθογωνικούς σωλήνες. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το 1850. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν 10.600 τόνοι σιδήρου και ενσωματώθηκαν τρεισήμισι εκατομμύρια ήλοι. Κατασκευάστηκε κοντά στο εργοτάξιο σε ίσα κομμάτια για κάθε άνοιγμα, και κάθε ένα από αυτά ρυμουλκήθηκε στο εργοτάξιο και υψώθηκε στην τελική του θέση. Η γέφυρα *Britannia* έφερε την κυκλοφορία σιδηροδρόμων για 120 χρόνια μέχρι το 1970, όταν έπαθε σοβαρές ζημιές από μια πυρκαγιά.

4.5.3. Δικτυωτές Γέφυρες

Η κατασκευή χαλύβδινων δικτυωτών γεφυρών επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από τα παραδείγματα των ξύλινων δικτυωμάτων, τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας διάφορα συστήματα στις Η.Π.Α.

Ειδικά την πρώτη περίοδο όταν ήταν διαθέσιμες μόνο επίπεδες ράβδοι, οι δικτυωτές δοκοί αντιγράφονταν σε χάλυβα, με αποτέλεσμα μια τέλεια μορφή δικτυωτής δοκού, μια και οι επίπεδες διατομές μπορούν να αντέξουν σε θλιπτικές δυνάμεις μόνο με μειωμένο μήκος λυγισμού. Παρ' όλα αυτά, οι δικτυωτές δοκοί είχαν καλή στατική συμπεριφορά και σύντομα κατασκευάστηκαν με αξιόλογα ανοίγματα.

Η παραπέρα πρόοδος της κατασκευής δικτυωμάτων ενθαρρύνθηκε από τις νέες μεθόδους ανάλυσης των φορέων. Ο μηχανικός *Karl Cullman* ύστερα από μελέτες που έκανε στις Η.Π.Α. ανέπτυξε γραφικές μεθόδους ανάλυσης των κατασκευών. Έτσι, έδωσε μια πλήρη θεωρία για τον σχεδιασμό των δικτυωμάτων. Οι δικτυωτές γέφυρες κατασκευάστηκαν σε μεγάλη ποικιλία, ειδικά για τις σιδηροδρομικές γραμμές στην Ευρώπη, με μια τάση προς συνεχώς απλούστερα στατικά συστήματα με επικρατέστερο το τριγωνικό δικτύωμα.

Χαρακτηριστική δικτυωτή γέφυρα είναι η σιδηροδρομική γέφυρα «*Firth of Forth*». (Εικόνα 4.3.) Κατασκευάστηκε το 1883 – 1890 και είναι διπλής τροχιάς με κύριες ράβδους σωληνωτής διατομής. Η μέγιστη διάμετρος των ράβδων είναι 3,66 μέτρα. Το ελεύθερο άνοιγμα μεταξύ των βάθρων είναι 521 μέτρα, ενώ το ύψος του δικτυώματος πάνω από τα βάθρα είναι 105 μέτρα. Το ύψος αυτό γίνεται 12,5 μέτρα στο σημείο στήριξης του ενδιάμεσου τμήματος.



Εικόνα 4.3. «Firth of Forth Bridge» (Εδιμβούργο, Σκωτία).

Ο σκοπός της επίτευξης βέλτιστης κατανομής των δυνάμεων στα πέλματα των δικτυωμάτων, οδήγησε σε νέα σχήματα φορέων, όπως το παραβολικό δικτύωμα με καμπυλωμένο το άνω πέλμα και ο τύπος δοκού μορφής κοιλιάς ψαριού με τα δύο πέλματα να καμπυλώνουν σε αντίθετες διευθύνσεις. Η τελευταία καλείται *δοκός Pauli* στη Γερμανία και κατάφερε να είναι πολύ οικονομική με τις δυνάμεις των πελμάτων να είναι προσεγγίσιμα σταθερές σε όλο το μήκος της γέφυρας.

4.5.4. Κρεμαστές Γέφυρες

Η σύλληψη της μορφής της κρεμαστής γέφυρας είναι πανάρχαια. Εκείνο, όμως, που έδωσε την κύρια ώθηση στην ανάπτυξη των κρεμαστών γεφυρών ήταν η ανάπτυξη της χαλυβουργίας. Η βασική μορφή αυτής της γέφυρας είναι:

α) Τένοντες (καλώδια) που στηρίζονται σε υψηλά, σε σχέση με το κατάστρωμα της γέφυρας, σημεία, τους πύργους ή κύρια μεσόβαθρα.

β) Κατάστρωμα, που αναρτάται σε πολλά κατακόρυφα καλώδια.

Χάρη στη μορφή αυτή, το κατάστρωμα, καθώς έχει πολλά και πυκνά σημεία στήριξης, έχει αντοχή τόση όση επαρκεί για τα μεταξύ των σημείων στήριξης ανοίγματα. Όλο το βάρος του καταστώματος καθώς και τα φορτία που κυκλοφορούν επάνω σε αυτό, για μεν τα μεταξύ των σημείων ανάρτησης ανοίγματα φέρονται από το ίδιο το κατάστρωμα, ενώ για το συνολικά γεφυρούμενο τμήμα φέρονται από τα καλώδια. Η επινόηση των καλωδίων αυτών είναι πολύ μεγάλη. Έτσι, δεν θα μπορούσε να υπάρξει πραγματική εξέλιξη στις κρεμαστές γέφυρες αν δεν αναπτύσσονταν η τεχνολογία του χάλυβα με απόδοση υλικού πολύ υψηλής αντοχής.

Η τεχνολογία των κρεμαστών γεφυρών αναπτύχθηκε με βάση δύο διαφορετικά συστήματα κατασκευής των καλωδίων. Έτσι, έχουμε τις κρεμαστές γέφυρες με *καλώδια από αλυσίδες* και τις κρεμαστές γέφυρες με *καλώδια από σύρματα*.

Η πρώτη αλυσιδωτή γέφυρα στην Ευρώπη κατασκευάστηκε στη Μεγάλη Βρετανία. Το 1819 ο *Samuel Brown* κατασκεύασε την γέφυρα «*Union*». Είχε άνοιγμα 120 μέτρα και ήταν κατασκευασμένη με ένα καινούριο τύπο αλυσίδας η οποία λεγόταν ράβδοι με σύνδεση από πείρους. Ύστερα από αυτή την ανακάλυψη, η κατασκευή των αλυσίδων διαχωρίστηκε από την κατασκευή συνηθισμένων αλυσίδων για αγκυρώσεις από τα σιδηρουργεία σε προμηθευτές σφυρήλατου σιδήρου. Ο *Marc Isambard* κατασκεύασε δύο αλυσιδωτές γέφυρες στο νησί Reunion οι οποίες ήταν αποτελεσματικά ενισχυμένες ενάντια στον άνεμο με πρόσθετες καμπυλωτές αλυσίδες που βρίσκονταν κάτω από το κατάστρωμα της γέφυρας.

Ενώ η κατασκευή αλυσιδωτών γεφυρών συνεχίστηκε στη Μεγάλη Βρετανία και στη Γερμανία, στη Γαλλία, Ελβετία, και Αμερική ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται καλώδια από σύρματα, που βασίζονταν στην εμπειρία ότι τα καλώδια είχαν σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις σιδερένιες αλυσίδες. Ο Ελβετός μηχανικός *Durfour* και ο *Marc Seguin* κατασκεύασαν την πρώτη γέφυρα με καλώδια από σύρματα στον κόσμο. Η γέφυρα αυτή ονομάζονταν «*Pont St. Antoine*», βρίσκονταν στη Γενεύη, είχε έξι καλώδια, όπου το κάθε καλώδιο είχε ενενήντα σύρματα. Τα έξι αυτά σύρματα στήριζαν τα δύο ανοίγματα των 40 μέτρων το κάθε ένα.

Μετά από αυτή την περίοδο, η περαιτέρω ανάπτυξη των μεγάλων κρεμαστών γεφυρών πέρασε από την Ευρώπη στην Αμερική. Αυτό συνέβη λόγω της επέκτασης των σιδηροδρομικών γραμμών στο δυτικό μέρος της χώρας και επίσης λόγω της μετανάστευσης Ευρωπαίων μηχανικών στην Αμερική και μεταφορά των τεχνικών τους γνώσεων.

Οι μοντέρνες μέθοδοι κατασκευής κρεμαστών γεφυρών είναι κατ' αρχήν, οι ίδιες. Μερικές από τις λειτουργίες που παλαιότερα εκτελούνταν χειροκίνητα, έχουν πλέον μηχανοποιηθεί. Η κύρια καινοτομία που αναπτύχθηκε ύστερα από τις εργασίες του μηχανικού *Roebling* ήταν η αποδοτική σύλληψη του σχεδιασμού, που έλαβε υπόψη την απαιτούμενη αντοχή στην επίδραση των καταιγίδων μέσω αντιανέμιων από διαγώνια καλώδια όπως και με πρόσθετα καλώδια κάτω από το οδικό τμήμα. Ο *Roebling* ήταν ο επίσης ο πρώτος που κατασκεύασε κρεμαστές γέφυρες με συστηματική ακαμψία της δοκού του καταστρώματος. Εξέδωσε τις θεωρίες του και έδωσε έμφαση στη σημασία να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις του ανέμου στο σχεδιασμό. Ο μεγάλος αυτός μηχανικός μελέτησε και την κρεμαστή γέφυρα του «*Brooklyn*» (Εικόνα 4.4) στο East River η οποία θεωρήθηκε ως ένα από τα κορυφαία επιτεύγματα για την τεχνική και την αισθητική της. Το ολικό μήκος της είναι 1.825 μέτρα, το πλάτος της 26 μέτρα και το καθαρό ύψος κάτω από το κατάστρωμα 41 μέτρα. Ολοκληρώθηκε το 1883 και έχοντας άνοιγμα 488 μέτρα, κράτησε το παγκόσμιο ρεκόρ του μεγαλύτερου ανοίγματος για περίπου 20 χρόνια.



Εικόνα 4.4. «Brooklyn Bridge» (Brooklyn, Η.Π.Α.)

4.5.5. Στρατιωτικές Γέφυρες

Τα κύρια χαρακτηριστικά και οι διαφοροποιήσεις των στρατιωτικών έναντι των υπολοίπων γεφυρών είναι τα εξής:

- α) Πρέπει να κατασκευάζονται σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, συχνά κάτω από δυσμενείς πολεμικές συνθήκες.
- β) Είναι προσωρινές.
- γ) Δεν απαιτείται να εξασφαλίζουν πλήρη ομαλότητα στην κυκλοφορία, ενώ παράλληλα η κυκλοφορία επί των γεφυρών επιτρέπεται να γίνεται με περιορισμούς (το ένα όχημα κινείται πίσω από το άλλο ή σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους).
- δ) Είναι λυόμενες, δηλαδή μπορούν να αποσυντεθούν χωρίς καταστροφή του μέγιστου μέρους των τμημάτων τους και να επαναχρησιμοποιηθούν.
- ε) Μπορεί να χρησιμοποιηθούν με μικρότερους, από τις υπόλοιπες γέφυρες, συντελεστές ασφάλειας.

Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά οδηγούν υποχρεωτικά σε:

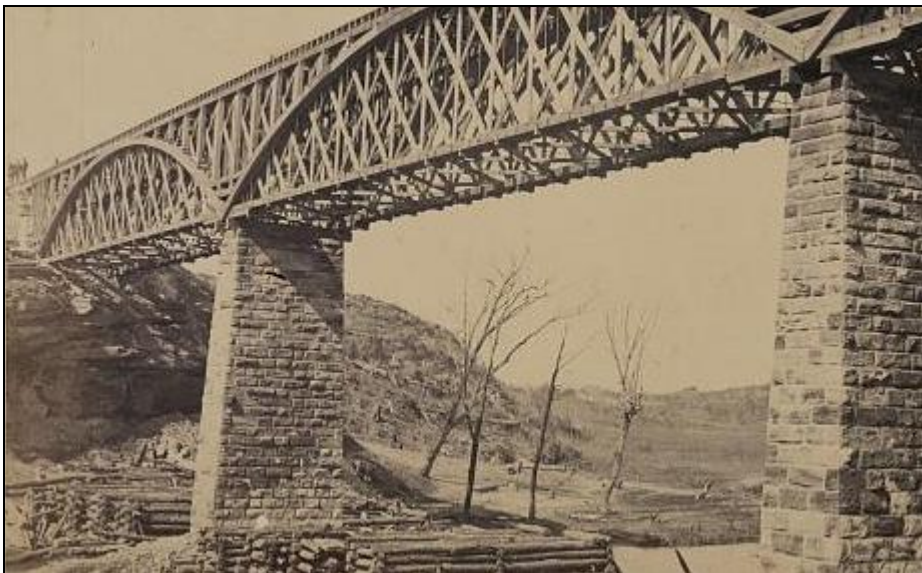
α) Προτυποποίηση του υλικού.

β) Προκατασκευή όλων σχεδόν των τμημάτων μιας γέφυρας, και μάλιστα με τέτοιο τρόπο ώστε η συναρμολόγηση και η τοποθέτηση να γίνονται εύκολα, απλά και πολύ γρήγορα, η δε μεταφορά τους να γίνεται στο υπάρχον οδικό δίκτυο.

Ο ειδικός εξοπλισμός και η χρήση των στρατιωτικών γεφυρών οδήγησε στην ύπαρξη ειδικών τμημάτων μηχανικών που υποστήριζαν τις μεγάλες στρατιωτικές μονάδες. Τέτοια τμήματα εμφανίστηκαν κατά τον 18^ο αιώνα.

Μια από τις πιο αξιόλογες στρατιωτικές γέφυρες είναι μια σιδηροδρομική γέφυρα μήκους 120 μέτρων που κατασκευάστηκε μέσα σε εννέα μέρες επί του ποταμού *Ποτόμακ* των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (*Εικόνα 4.5.*) στα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Περισσότερα παραδείγματα γεφυρών ακολουθούν στο **Παράρτημα#11,12**



Εικόνα 4.5. «Γέφυρα Ποτόμακ» (Ποταμός Ποτόμακ, Η.Π.Α.)

4.6. Σύνοψη

Μεταβαίνοντας λοιπόν σε αυτή την ενότητα θα συνοψίσουμε το κεφάλαιο με τη χρήση πίνακα ο οποίος θα εμπεριέχει όλα όσα έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ
ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none">- Οι συχνές μετακινήσεις των ανθρώπων στα βιομηχανικά κέντρα.- Η έλευση των νέων πιο οικονομικών υλικών κατασκευής όπως ο χυτοσίδηρος και ο σφυρήλατος σίδηρος.- Η ταχεία διάδοση των σιδηροδρόμων αλληλοστηρίχθηκε και συμβάδισε χρονικά με αυτή της γεφυροποιίας.- Ίδρυση σχολών πολυτεχνείων καθώς και εμφάνιση νέων θεωριών και καινοτομιών στον τομέα της γεφυροποιίας.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none">- Σίδηρος.- Χυτοσίδηρος.- Σφυρήλατος σίδηρος.- Χάλυβας.- Φυσικοί λίθοι (γρανίτης, διορίτης, βασάλτης, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι).
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none">- Αρχικά έχουμε τη μελέτη του έργου.- Επιλογή του κατάλληλου τύπου και των κατάλληλων διαστάσεων της κατασκευής.- Προσδιορισμός των φορτίων που θα επιδράσουν στην κατασκευή.- Επιλογή των μέσων σύνδεσης των μερών της κατασκευής.- Ο στατικός υπολογισμός του έργου, καθώς και οι διορθώσεις στην περίπτωση εμφάνισης σφαλμάτων ή παραλήψεων.- Τελική σχεδίαση του έργου.- Βασική κατασκευή των επιμέρους τμημάτων της κατασκευής στο εργοστάσιο.- Συναρμολόγηση των τμημάτων της κατασκευής στο εργοτάξιο.
ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ	<ul style="list-style-type: none">- Τοξωτές γέφυρες.- Γέφυρες Τύπου Δοκού.- Δικτυωτές γέφυρες.- Κρεμαστές γέφυρες.- Στρατιωτικές γέφυρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Η ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΙΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

5.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην εξέλιξη της γεφυροποιίας από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι και την σημερινή εποχή.

Μέσα σε όλη αυτή τη χρονική περίοδο θα αναφερθούμε στα εξής:

α) στο ιστορικό πλαίσιο, δηλαδή στους λόγους που οδήγησαν στην εξέλιξη της γεφυροποιίας.

β) στα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν εκείνη την περίοδο, για παράδειγμα ο χάλυβας, ο χυτοσίδηρος και άλλα τα οποία θα αναφέρουμε διεξοδικά.

γ) στους μεθόδους κατασκευής για την δημιουργία μιας σύγχρονης γέφυρας, καθώς και τι χρειάζεται για την μελέτη της.

δ) στα είδη γεφυρών που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου.

5.2. Ιστορικό πλαίσιο

Ξεκινώντας λοιπόν με το ιστορικό πλαίσιο της εποχής θα κάνουμε αναφορά σε ότι την χαρακτηρίζει, δηλαδή στα σημαντικά γεγονότα της εποχής που αναφερόμαστε καθώς και στους λόγους που οδήγησαν στην εξέλιξη της γεφυροποιίας.

Αρχίζοντας έτσι από τον 20^ο αιώνα έχουμε την άνθηση του φαινομένου της παγκοσμιοποίησης, που τη διέλυσαν τρεις μεγάλοι πολιτικοοικονομικοί κατακλυσμοί, ο Α Παγκόσμιος πόλεμος, η οικονομική κρίση και ο Β΄ παγκόσμιος πόλεμος. Χρειάστηκε μισός αιώνας μετά το τέλος του Β παγκοσμίου πολέμου για να επουλωθούν οι πληγές και να επιστρέψει ο κόσμος στα επιτεύγματα του 20^{ου} αιώνα, με μόνο νέο στοιχείο μια νέα, πολύ ισχυρότερη από ποτέ, τεχνολογική βάση. Η αρχιτεκτονική μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα παρουσιάζει γενικά την μεγαλύτερη άνθηση, η οποία την καθιερώνει και ως επιστήμη, τα νέα δεδομένα του 20^{ου} αιώνα είναι τα τεχνολογικά επιτεύγματα, τα νέα δομικά υλικά και η ταχύτητα. Με άλλα λόγια η ιστορία του πολιτισμού χάνει βασικά και θεμελιώδη γνωρίσματα των παλαιότερων εποχών, για να περάσει σε άλλα, με άλματα και βαθιές τομές. Ο άνθρωπο – γεωργός δίνει τη θέση του στον άνθρωπο-μηχανικό. Ο 19^ο αιώνα λοιπόν αρχίζει την εποχή του σιδήρου, του χάλυβα και του σκυροδέματος που ανατρέπουν και εξελίσσουν όλες τις κατασκευές και συγκεκριμένα των γεφυρών δίνοντας, στη συνέχεια τη σειρά του στον 20^ο αιώνα, τον αιώνα των επιτευγμάτων που θα αλλάξει τη μορφή γενικά του κόσμου δημιουργώντας νέα δεδομένα και συνθήκες.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά γνωρίσματα της σύγχρονης εποχής μας οδηγούν στην αναζήτηση των λόγων που οδήγησαν, τον σύγχρονο άνθρωπο στην κατασκευή και εξέλιξη των γεφυρών. Βλέπουμε έτσι, ύστερα από τους παγκοσμίους πολέμους και το οικονομικό κραχ, οι χώρες έπρεπε να ορθοποδήσουν ακολουθώντας ρυθμούς γρήγορης εξέλιξης και ανάπτυξης, καθώς το εμπόριο συνέχιζε να ακμάζει και να επεκτείνεται σε παγκόσμια κλίμακα. Χρησιμοποιούσαν έτσι τις γέφυρες σαν μέσο γρήγορης μετάδοσης της πληροφορίας και ανάπτυξης εμπορικών αλλά και κοινωνικών σχέσεων, γεφυρώνοντας πόλεις και χώρες μεταξύ τους. Όλες αυτές οι καινούργιες κατασκευές χρειάζονταν και επιστήμονες, οι οποίοι θα ασχολούνταν εξολοκλήρου με την γεφυροποιία, μιας λόγω των μεγάλων αποστάσεων που έπρεπε

να γεφυρώσουν προαπαιτούνταν εξειδικευμένες γνώσεις. Ένα ακόμη κύριο χαρακτηριστικό της εποχής είναι και η *εισαγωγή του αυτοκινήτου* ως το κυριότερο μέσο μεταφοράς ανθρώπων και αγαθών, που εκμηδένισε τις αποστάσεις και έκανε ταυτόχρονα επιτακτική την *ανάγκη δημιουργίας μεγάλων οδικών αρτηριών* που ενώνονται και με μεγάλες γέφυρες που θα πρέπει να πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για να εξυπηρετήσουν την διέλευση όλο και περισσότερων οχημάτων καθημερινώς. Χιλιάδες μηχανικοί έφτιαξαν τους αυτοκινητόδρομους, τις γέφυρες και τις σήραγγες που συνέδεσαν πόλεις και επιτάχυναν έτσι την *επικοινωνία* και την γενικότερη *ανάπτυξη* στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Φτάνοντας έτσι προοδευτικά στην δημιουργία κατασκευών πολλών χιλιομέτρων με την χρήση των πιο σύγχρονων επιστημονικών μεθόδων, προσαρμοσμένες στις σύγχρονες ανάγκες του ανθρώπου.

5.3. Υλικά Κατασκευής

Μετά την αναφορά μας στους λόγους που οδήγησαν τον άνθρωπο στην εξέλιξη της γεφυροποιίας από το 20^{ου} αιώνα μέχρι και σήμερα, θα αναλύσουμε τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται στη δημιουργία γεφυρών. Ονομαστικά λοιπόν είναι: ο *χυτοσίδηρος*, ο *σφυρήλατος σίδηρος*, ο *χάλυβας*, το *σκυρόδεμα* καθώς και η *άσφαλτος οδοστρωσίας*.

5.3.1. Χυτοσίδηρος

Όπως έχουμε αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο χυτοσίδηρος ανήκει στην οικογένεια κραμάτων τα οποία εκτός από άνθρακα, μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία, όπως πυρίτιο κλπ. Ακόμη είναι πιο εύθραυστος σε σύγκριση με τον χάλυβα, αλλά παρουσιάζει πιο καλή αντίσταση στην τριβή αλλά και στη διάβρωση.

Ξεκινώντας λοιπόν χρονολογικά, από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ο χυτοσίδηρος χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά σε εφελκυσμό για εφαρμογές όπως αλυσίδες, λάμες και συνδετικούς ράβδους. Η εφελκυστική αντοχή του χυτοσιδήρου ήταν αρκετά γνωστή από άκρη σε άκρη στην Ευρώπη και η βασική της τιμή ήταν περίπου 400 N/mm². Έτσι ακόμη αν λαμβάνονταν υπόψη ένα άλλο φάσμα διακυμάνσεων, η εφελκυστική του αντοχή με σιγουριά θα ήταν τρεις με τέσσερις φορές αυτής του χυτοσιδήρου και με μια ασύγκριτα μεγαλύτερη ολκιμότητα. Οι δοκοί από χυτοσίδηρο χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά και κατασκευάστηκαν στη Βρετανία και την Γαλλία. Ωστόσο η χρήση του καθιερώθηκε στον τομέα της κατασκευής γεφυρών από τις γέφυρες «Britannia» και «Conway», όπου με χυτοσίδηρο δημιούργησαν δοκούς και κοχλίες, σε ερευνητικό πρώτα επίπεδο. Αυτή η έρευνα πέτυχε και καθιέρωσε ύστερα το χυτοσίδηρο ως το πρώτο κατασκευαστικό υλικό για περίπου πενήντα χρόνια, σηματοδύοντας το αποκορύφωμα μιας εποχής δομικών υλικών και δοκιμών φορτίσεως.

5.3.2. Σφυρήλατος σίδηρος

Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν και ο *σφυρήλατος σίδηρος* έως και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, καθώς σε αυτή τη περίοδο η χρήση του ήταν ελάχιστη. Βασικός λοιπόν λόγος της σφυρηλάτησης είναι η απομάκρυνση της σκουριάς με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας, η διαδικασία αυτή γίνεται μόλις βγει ο σίδηρος από το καμίνι. Για αυτό το λόγο η χρήση του βρήκε εφαρμογή κυρίως σε *σύμμεικτες κατασκευές*²⁸, καθώς και σε γέφυρες με κιβωτοειδής δοκούς. Παρατηρώντας έτσι

αυτές τις κατασκευές μέσα σε μεγάλο χρονικό διάστημα, οι δοκοί από σφυρήλατο σίδηρο χρωστούν την δημιουργία τους, κατά ένα μέρος στις αυξανόμενες αμφιβολίες για την ασφάλεια του χυτοσιδήρου σε κάμψη. Τέλος διαπιστώθηκε ότι ο σφυρήλατος σίδηρος ήταν ασθενέστερος σε θλίψη από ότι σε εφελκυσμό και αυτό αποδείχθηκε ύστερα από μια σειρά δοκιμασιών των υλικών σε διάφορα μοντέλα γεφυρών.

5.3.3. Χάλυβας

Και κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) κάνει αισθητή την παρουσία του στη γεφυροποιία, με τη μόνη διαφορά την ύπαρξη των κραματωμένων χαλύβων, όπως π.χ. οι ανοξειδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες κλπ. αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων. Με το πέρασμα των χρόνων η παρουσία του τον κάνει ισχυρότερο από το σφυρήλατο σίδηρο, μιας και χρησιμοποιείται για κατασκευή ακόμη μεγαλύτερων γεφυρών. Ταυτόχρονα παρατηρούμε και την εισαγωγή της συγκόλλησης του χάλυβα, η οποία ήταν μια μεγάλη καινοτομία στις τεχνικές συνδέσεων οι οποίες διευκολύνουν την ευρύτερη χρήση του χάλυβα. Όλες αυτές οι εξελίξεις που γίνονται στα υλικά και στις ιδιότητες τους συνδέθηκαν με μια βελτιωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών. Στην πρώτη μορφή του ο χάλυβας, δεν είναι μόνο ανθεκτικότερος από τον σφυρήλατο σίδηρο αλλά επειδή παράγεται σε μια χυτή κατάσταση κάνει εφικτή την κατασκευή μεγαλύτερων ελατών ή σφυρήλατων στοιχείων.

Όσο για μερικές δεκαετίες, οι χαλύβδινοι φορείς κατασκευαζόταν με ηλώσεις²⁹ με τον ίδιο τρόπο όπως και ο σφυρήλατος σίδηρος και όταν ηλώνονταν φαίνονταν και οι δυο ίδιοι. Έτσι η περίοδος αυτή του χάλυβα στη γεφυροποιία χαρακτηρίστηκε κυρίως από την αύξηση του μεγέθους και του ανοίγματος. Εδώ η πρωτοβουλία μετατέθηκε πέρα από την Βρετανία, κυρίως στην Αμερική, όπου ήταν εκείνη την περίοδο μεγαλύτερη η ανάγκη για μεγάλες γέφυρες. Όλες οι μεγάλες κρεμαστές γέφυρες μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Golden Gate, George Washington, Transbay κλπ.), είχαν κατασκευαστεί από χάλυβα με ηλώσεις και πλεγμένα καλώδια από σύρματα υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό.

Η μεγάλη αλλαγή στην τεχνική του χάλυβα όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω ήταν η εισαγωγή της συγκόλλησης, κυρίως την δεκαετία του 1930. Σήμερα η ήλωση έχει εγκαταλειφθεί όπως και η παραγωγή του σφυρήλατου σιδήρου. Τώρα μόνο οι συγκολλήσεις και οι κοχλίες κυριαρχούν σε όλες τις χαλύβδινες κατασκευές. Εξάλλου, αν αναφερθούμε στις σημερινές τεχνικές αλλά και στις μελλοντικές προσδοκίες των κατασκευών, παρατηρούμε κυρίως στην Βρετανία, αλλά και στην υπόλοιπη Ευρώπη την αναβίωση κατασκευών από χάλυβα. Σε όλη αυτή τη προσπάθεια αναβίωσης των χαλύβδινων κατασκευών, σήμερα οι μελετητές σταδιακά έχουν κάνει κάποιες συγκρίσεις και έχουν βγάλει κάποια συμπεράσματα για την χρήση του χάλυβα έναντι άλλων υλικών. Ο ανθεκτικός λοιπόν σε καιρικές συνθήκες χάλυβας (άβαφος με σταθεροποιημένη οξειδωση) και οι εκτεθειμένοι χαλύβδινοι φορείς που είναι προστατευμένοι έναντι της πυρκαγιάς μέσω νερού σε κοίλες διατομές.

²⁸ η σύνδεση του χάλυβα με το οπλισμένο σκυρόδεμα, ²⁹ μέθοδος σύνδεσης μεταλλικών κομματιών

Όλες αυτές ήταν καινοτομίες της δεκαετίας μετά το 1960, αλλά καμιά από αυτές δεν φαίνεται να έχει μια ευρεία υιοθέτηση. Από την άλλη μεριά ο ανοξειδωτος χάλυβας, αν και είναι πολύ ακριβότερος από τον μαλακό χάλυβα ή και το χάλυβα υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό, βρίσκεται σε αξιόλογη ανάπτυξη από την στιγμή που λαμβάνεται υπόψη η συντήρηση. Κατά το 1980, έχει επέλθει μια έντονη αναγέννηση του κατασκευαστικού χάλυβα κατά συνέπεια και η αυξανόμενη χρήση του έχει ενθαρρυνθεί από την επιδίωξη για κατασκευές που να γίνονται γρήγορα, αλλά και η συνειδητοποίηση ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα που θα αναφερθούμε στην συνέχεια, δεν είναι ένα υλικό που δεν έχει ανάγκη συντήρησης.

5.3.4. Σκυρόδεμα

Όλα τα παραπάνω αναφέρονται στην γενικότερη χρήση χάλυβα, αλλά και στην εξέλιξη του. Στην κατασκευή γεφυρών όμως έχουμε και τη χρήση σαν υλικό δόμησης του σκυροδέματος. Το *σκυρόδεμα* είναι το δομικό υλικό που παράγεται με την ανάμειξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού και προσθέτων για την βελτίωση των ιδιοτήτων του κατά την παραγωγή και χύτευση αλλά και όταν σκληρυνθεί. Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό. Το οποίο διακρίνεται σε *προεντεταμένο και οπλισμένο σκυρόδεμα*. Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα, η προένταση είναι μια μέθοδος με την οποία επιβάλλονται θλιπτικές δυνάμεις στις διατομές του οπλισμένου σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό της προέντασης του σκυροδέματος προκαλεί την μη ρηγμάτωση του. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η αντιμετώπιση του σκυροδέματος ως ελαστικό υλικό. Περί τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, η εφεύρεση του αποτέλεσε ορόσημο στην κατασκευή των δομημάτων με οπλισμένο σκυρόδεμα. Ερχόμενοι τώρα στο *οπλισμένο σκυρόδεμα*, είναι το απλό σκυρόδεμα ενισχυμένο με χάλυβα ή άλλο υλικό υψηλής εφελκυστικής αντοχής.

Συγκεκριμένα στην γεφυροποιία η χρήση του σκυροδέματος γίνεται στην ανωδομή όπου έχουμε τα κανονικά σκυροδέματα B25 έως B55 (κατηγορίες σκυροδέματος), στα θεμέλια και στα επενδυμένα βάθρα. Μέσα από τις ορατές επιφάνειες του σκυροδέματος, διαφαίνεται η υφή και το χρώμα των ορατών επιφανειών αυτών, που παίζουν σημαντικό ρόλο στην οπτική εντύπωση που προκαλούν οι γέφυρες. Σημαντικές προϋποθέσεις είναι η χρήση του ίδιου του τσιμέντου και της άμμου, των αυτών αναλογιών τους κατά την ανάμειξη τους καθώς και η άψογη τους συμπύκνωση. Ακόμη πολλά τσιμέντα δίνουν ένα δυσάρεστο γκρι χρώμα στο σκυρόδεμα, το οποίο είναι δυνατό να αποφευχθεί με επιχρίσματα. Όσο αναφορά την ανθεκτικότητα των υλικών δόμησης και στην προκειμένη περίπτωση του σκυροδέματος, η επιλογή του γίνεται με βασική προϋπόθεση να υψηλής αντοχής και ανθεκτικότητας.

Μιλώντας τώρα για το προεντεταμένο σκυρόδεμα, το οποίο είναι μια μορφή σκυροδέματος το οποίο στα μέσα του 20^{ου} αιώνα αποτέλεσε ορόσημο στις κατασκευές. Η συγκεκριμένη λοιπόν μορφή σκυροδέματος ήταν η πραγματοποίηση μιας ιδέας που διατύπωσαν το 1888 δυο Γερμανοί κατασκευαστές, οι Ντέρινγκ και Κενέν. Πρόκειται για την συμπίεση του σκυροδέματος προτού χρησιμοποιηθεί, ώστε να αντισταθμιστούν οι δυνάμεις έλξης στις οποίες αυτό το υλικό δεν μπορεί να προβάλλει αντίσταση. Εκείνη την εποχή ήταν ανέφικτη η πραγματοποίηση της ιδέας, καθώς τα διαθέσιμα μέσα μπορούσαν να παράγουν ένα προϊόν, συμπιεσμένο σε πολύ μικρό βαθμό, το οποίο εξουδετερώνονταν γρήγορα από την επίδραση της συρρίκνωσης και κατέρρεε. Την αρχή έκανε τριάντα χρόνια μετά ο Εζέν Φρεσινέτ, από το 1920 οπότε κατοχύρωσε τις πρώτες ευρεσιτεχνίες. Κατά την διάρκεια του

1940 η χρήση του προεντεταμένου σκυροδέματος άρχισε να εξαπλώνεται με αργό ρυθμό και το νέο αυτό υλικό αναγνωρίστηκε επισήμως το 1953 με την ίδρυση της *Διεθνούς Ομοσπονδίας Προέκτασης* που υποστηρίζονταν από τα πιο έγκυρα ονόματα στο χώρο των πολιτικών μηχανικών στην Ευρώπη. Κατά την διάρκεια εκείνης της περιόδου εντατικοποιήθηκε η έρευνα για την συμπεριφορά του σκυροδέματος καθώς και η επιπλέον γνώση παρείχε τη δυνατότητα ευρύτερης χρήσης, δημιουργώντας μεγαλύτερα σχέδια και ειδικότερα σχέδια γεφυρών.

Τέλος μέσα στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αυτή την περίοδο για την κατασκευή γεφυρών είναι και η *άσφαλτος οδοστρωσίας*, η οποία είναι υπόλειμμα απόσταξης του αργού πετρελαίου και ανάλογα με την θερμοκρασία απόσταξης, ρυθμίζει το ποσοστό ελαιωδών συστατικών στο υπόλειμμα. Η ανάμειξη αδρανών υλικών με ασφαλτικό συνδετικό υλικό για την κατασκευή των πάνω στρώσεων του οδοστρώματος, ονομάζεται *ασφαλτόμιγμα*.

5.4. Μέθοδοι κατασκευής

Ερχόμενη τώρα στους μεθόδους κατασκευής μιας γέφυρας στην σύγχρονη εποχή, διαπιστώνουμε ότι δεν μπορούν να αναλυθούν ενιαία, αλλά ξεχωριστά μιας και στη προκειμένη περίοδο έχουμε διαφορετικά είδη γεφυρών. Γι' αυτό το λόγο θα αναφερθούμε στα είδη γεφυρών και θα προβούμε στην ανάλυση των μεθόδων κατασκευής του κάθε είδους. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν έχουμε *γέφυρες τύπου δοκού, σιδηρές γέφυρες, πλαισιωτές, πεζογέφυρες* και τέλος τις *κρεμαστές γέφυρες*.

Πριν από την αναφορά μας ξεχωριστά στο κάθε είδος διαπιστώνουμε ότι το πρωταρχικό βήμα σε όλα τα είδη γεφυρών είναι η σύνταξη της μελέτης του έργου. Ο μελετητής λοιπόν στο ξεκίνημα του χρειάζεται τα εξής:

- 1) *Οριζοντιογραφία*, με στοιχεία των εμποδίων που πρέπει να γεφυρωθούν, πορεία του ποταμού (αν επρόκειτο για ποτάμι), οδοί και δρόμοι, θέση του σιδηροδρόμου κτλ. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί η επιθυμητή πορεία του νέου κυκλοφοριακού δρόμου.
- 2) *Μηκοτομή*, κατά τον άξονα της γέφυρας με δεσμεύσεις λόγω ανισόπεδων διασταυρώσεων ή του πλάτους των ρευμάτων. Επιπλέον απαιτείται η ερυθρά του νέου κυκλοφοριακού δρόμου.
- 3) *Πλάτος της γέφυρας* – πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας και στάσης, των πεζοδρομίων κ.λ.π.
- 4) *Εδαφικές συνθήκες*, εδαφοτεχνικές τομές από γεωτρήσεις και πραγματογνωμοσύνες γεωλόγου και εδαφομηχανικού. Παράμετροι των εδαφικών στρώσεων. Οι δυσκολίες θεμελίωσης επηρεάζουν σημαντικά τη μόρφωση του φορέα και την οικονομικότητα των ανοιγμάτων.
- 5) *Τοπικές συνθήκες*, δυνατότητες πρόσβασης για μεταφορά μηχανημάτων, δομικών υλικών και δομικών στοιχείων. Ποια δομικά υλικά διατίθεται στην περιοχή με οικονομικά και τεχνικά ευνοϊκούς όρους.
- 6) *Μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες* – ανώτατη στάθμη νερού – στάθμες πλημμύρας και παλίρροιας - περίοδοι ξηρασίας - μέσες και ακρότατες θερμοκρασίες-περίοδοι παγετού, αν είναι σεισμογενής η περιοχή και τι μεγέθη σεισμών έχουν παρουσιαστεί χρονολογικά, μέχρι την ώρα που κατασκευαζόταν η γέφυρα.
- 7) *Μορφή του περιβάλλοντος*: ανοιχτό τοπίο – πεδινόι ή ορεινή περιοχή ή ακόμη κοιλάδα. Πόλη με παλιά κτίσματα, μικρή ανθρώπινη κλίμακα ή με σύγχρονες ογκώδεις κατασκευές. Η κλίμακα του περιβάλλοντος επηρεάζει σημαντικά την μελέτη.
- 8) *Απαιτήσεις προσαρμογής στο περιβάλλον*. Αισθητικές απαιτήσεις : οι γέφυρες σε αστικές περιοχές που επηρεάζουν την εικόνα της πόλης και όταν οι κάτοικοι της βλέπουν συχνά από κοντά – ιδιαίτερα οι πεζογέφυρες – χρειάζονται λεπτότερα και

ελαφρότερα σχήματα από αυτές σε ανοιχτό ύπαιθρο. Χρειάζονται οι πεζοί προστασία από τη βροχή τους θορύβους καθώς και οι περίοικοι χρειάζονται ηχοπροστασία. Στη συνέχεια ο μελετητής επεξεργάζεται τη μελέτη στις λεπτομέρειες της ώστε να ετοιμαστούν τα τεύχη συγγραφής υποχρεώσεων της κατασκευής της γέφυρας. Σε μια τεχνική περιγραφή καθορίζονται η μέθοδος κατασκευής, τα πιθανώς απαιτούμενα υλικά κατά τις φάσεις της κατασκευής, ώστε οι ανάδοχοι εταιρίες ή οι εργολάβοι που ενδιαφέρονται για το έργο, να έχουν μια άψογη βάση για τους υπολογισμούς των τιμών. Τέλος στις μεγάλες γέφυρες υπάρχει η δυνατότητα να προκηρυχθούν εθνικοί ή διεθνείς διαγωνισμοί, στους οποίους συνίσταται να ζητείται ενιαία μελέτη και προσφορά, ώστε να προσαρμόζονται υλοποιήσιμες μελέτες.

9) Ο μελετητής πρέπει να επισκεφθεί τη θέση και την περιοχή της γέφυρας ή τουλάχιστον να έχει στη διάθεση του ικανοποιητικές φωτογραφίες.

Όλα τα παραπάνω αφορούν τη μελέτη μιας γέφυρας, τώρα θα αναφερθούμε στους τρόπους κατασκευής, ξεκινώντας από τις **γέφυρες μορφής δοκού**.

Από τα μέσα λοιπόν του 20^{ου} αιώνα και μετά έχουμε τέτοιου είδους κατασκευές γεφυρών, οι οποίες είναι και σύμμεικτες μιας και για την κατασκευή τους έχουμε και τη χρήση σκυροδέματος πολλές φορές αλλά και άλλων υλικών όπως σιδήρου, χάλυβα κλπ. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η μορφοποίηση της δοκού ανάλογα με τις κατασκευές, έτσι έχουμε τους συνεχείς δοκούς, τους δοκούς ανοιγμάτων, τους δοκούς ενισχύσεις και τέλος του πλακοειδούς δοκούς.

Ερχόμενη τώρα στην *μέθοδο κατασκευής* των δοκών σε σχέση με την κατασκευή των συγκεκριμένων μορφών γεφυρών, αρχίζοντας από τους *δοκούς ενός ανοίγματος* παρατηρούμε ότι μορφώνονται καλύτερα με παράλληλα πέλματα, δηλαδή το κάτω πέλμα είναι παράλληλο προς την ερυθρά της γέφυρας (γραμμή φυσικού εδάφους της γέφυρας) και το κατασκευαστικό ύψος παραμένει σταθερά. Η αρχή αυτή ισχύει ακόμη και όταν η ερυθρά έχει σημαντική κλίση, ή η γέφυρα βρίσκεται σε κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής της οδού. Και οι *συνεχείς δοκοί* μορφώνονται κατά κανόνα με παράλληλα πέλματα, εφόσον τα ανοίγματα είναι περίπου ίσα και αυτό ισχύει ακόμη και όταν η γέφυρα βρίσκεται σε κοίλωμα της δοκού και συνεπώς το κάτω πέλμα «κρέμεται κάνοντας κοιλιά». Έχουμε έτσι τα παράλληλα πέλματα σε ευθυγραμμία με μικρά κατά μήκος κλίση, τα παράλληλα πέλματα σε κύρτωμα, τα παράλληλα πέλματα σε ευθυγραμμία με σημαντική κατά μήκος κλίση και τέλος στα παράλληλα πέλματα σε κοίλωμα. Στις γέφυρες ποταμών για παράδειγμα προτιμάται η δοκός τριών ανοιγμάτων με τονισμένο το κύριο άνοιγμα (που καθορίζεται π.χ. και από το πλάτος του ποταμού το εύρος πλεύσης κ.α.) όπου μειώνουμε το ίδιο βάρος στη μεσαία περιοχή του κύριου ανοίγματος και την αντίστοιχη ροπή ανοίγματος, μειώνοντας το κατασκευαστικό ύψος. Έτσι προκύπτει η *δοκός με ενισχύσεις*: στις ευθύγραμμες και στα κυρτώματα. Οι δοκοί αυτοί προσφέρονται ιδιαίτερα για την δόμηση σε πρόβολο. Το μεταβαλλόμενο κατασκευαστικό ύψος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους πιο διαφορετικούς τρόπους για την αισθητική της γέφυρας όταν τα ανοίγματα είναι άνισα.

Ακόμη αυτή τη περίοδο έχουμε και τις γέφυρες από *πλακοειδούς δοκούς* που μπορεί να παρέχουν μια πολύ ανταγωνιστική λύση για γέφυρες μικρού ή μεσαίου ανοίγματος, που σχεδιάζονται να δρουν σύμμεικτα με την πλάκα από σκυρόδεμα. Οι πλακοειδής δοκοί κατασκευάζονται με πλέγματα που συγκολλούνται με ένα λεπτό κορμό, ο οποίος συνήθως έχει εγκάρσιες ενισχύσεις και μπορεί να έχει και διαμήκειες ενισχύσεις. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν τρεις τύποι για τις διατομές μιας γέφυρας, για μικρότερα, για μεσαία και για μεγαλύτερα ανοίγματα. Η πολυπλοκότητα της κατασκευής μιας πλακοειδούς δοκού, ελέγχεται αρχικά από την λυγρότητα του κορμού της γέφυρας (το πάχος και το βάθος). Τέλος μια από τις βασικές απαιτήσεις,

όταν σχεδιάζονται γέφυρες μορφής δοκού και συγκεκριμένα πλακοειδούς, είναι το σύστημα αντιανέμιων το οποίο απαιτείται για όλες τις κατασκευές, εκτός από τις απλούστερες. Τα αντιανέμια (παρέχουν πλευρική ευστάθεια στις δοκούς, ειδικά κατά την εκτέλεση στηρίζοντας τις οριζόντιες διατμητικές δυνάμεις λόγω των οριζόντιων δράσεων, άνεμος, σεισμοί).

Μια άλλη μορφή γεφυρών που συναντούμε αυτή την περίοδο είναι και οι **σιδηρές γέφυρες**. Αυτές έκαναν την εμφάνιση του κυρίως στην Αμερική κατά τις αρχές του 19^{ου} αιώνα και ύστερα. Οι μορφές τους ποικίλουν, έτσι βλέπουμε την ύπαρξη σιδηρών γεφυρών με τόξα και με δικτυώματα.

Τα στοιχεία από τα οποία συντίθεται μια σιδηρά γέφυρα είναι τα ακόλουθα: το *κατάστρωμα*, το οποίο δέχεται απευθείας τα κινητά φορτία της γέφυρας και τα μεταβιβάζει στις κύριες δοκούς. Διακρίνεται στο *επίστρωμα και στις δοκούς καταστρώματος*. Το επίστρωμα, στις οδοφόρες αποτελείται από το οδόστρωμα και την φέρουσα πλάκα από (σκυρόδεμα ή μεταλλικά ελάσματα). Στις σιδηροδρομικές κυρίως γέφυρες με ανοικτό κατάστρωμα, από τους στρωτήρες και τις σιδηροτροχιές, ενώ για κλειστό κατάστρωμα υπάρχει και το έρμα με τη φέρουσα πλάκα. Οι δοκοί του καταστρώματος είναι οι μηκίδες (παράλληλες προς τις κύριες δοκούς) και οι διαδοκίδες (κάθετες προς τις κύριες δοκούς), οι οποίες μεταφέρουν τα φορτία στις γέφυρες. Τα εφεδράνα έχουν προορισμό να μεταφέρουν με ασφάλεια στα βάθρα, όλες τις δυνάμεις που επενεργούν στη γέφυρα. Διακρίνονται έτσι σε σταθερά και κινητά (μιας ή δυο κατευθύνσεων) και τοποθετούνται στα σημεία όλων των δοκών επί των βάθρων. Τέλος τα βάθρα αποτελούν κυρίως τα σημεία στήριξης της γέφυρας και διακρίνονται σε ακρόβαθρα ή μεσόβαθρα που αυτά παραλαμβάνουν μέσω των εφεδράνων, όλες τις δυνάμεις που ενεργούν στη γέφυρα, τις οποίες και μεταφέρουν στη θεμελίωση τους. Τα μεταλλικά βάθρα είναι συνήθως δικτυωτά, εδραζόμενα στο κάτω άκρο τους σε θεμελίωση οπλισμένου σκυροδέματος ή σπανιότερα, σε έδραση από λιθοποιία. Όλα τα παραπάνω αναφέρονται στη *μέθοδο κατασκευής* προπάντων των σιδηρών δικτυωτών γεφυρών.

Έχουμε όμως και τις *σιδηρές τοξωτές γέφυρες* οι οποίες διαφέρουν ως προς την κατασκευή τους μόνο στην δημιουργία των τόξων. Συγκεκριμένα λοιπόν μια τοξωτή γέφυρα λειτουργεί ως δοκιδωτή κατασκευή, η οποία βοηθείται στην ανάληψη φορτίων από ένα τόξο το οποίο συμπεριφέρεται παρόμοια με ένα καμπυλωμένο άνω πέλμα δικτυώματος, ενώ η δοκός του καταστρώματος λειτουργεί ως κάτω πέλμα. Η τοξωτή δοκός και η δοκός καταστρώματος συνδέονται και οι δυο με απλό τρόπο από αναρτήρες που μορφώνουν μια κατασκευή η οποία έχει σημαντικά κατασκευαστικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση κυρίως με ένα πραγματικό δικτύωμα, όταν γεφυρώνονται πλατιά απλά ανοίγματα ή φέρονται βαριά φορτία. Αυτού του είδους οι τοξωτές γέφυρες έχουν στατική συμπεριφορά που μοιάζει με συμπεριφορά δοκών παρά τόξων, δηλαδή μεταφέρουν κατακόρυφες αντιδράσεις στα ακρόβαθρα όταν υπόκεινται σε κατακόρυφα φορτία και *τα τόξα τους ανοίγονται κάτω από την πλάκα του καταστρώματος*.

Ερχόμενη τώρα σε πεδινές περιοχές παρατηρούμε ότι είναι δυνατό να γεφυρωθούν διώρυγες και ποταμοί με ιδιαίτερα μικρό κατασκευαστικό ύψος αν η πλάκα του καταστρώματος αναρτηθεί από δύο παράλληλες τοξωτές αντηρίδες. Το τόξο θεμελιώνεται άμεσα όταν το έδαφος είναι καλό, αλλιώς η πλάκα καταστρώματος μορφώνεται ως ελκυστήρας που παραλαμβάνει την ώθηση τόξου. Έτσι έχουμε και την κατασκευή των σιδηρών τοξωτών γεφυρών με την *διάταξη του τόξου πάνω από την πλάκα του καταστρώματος* σε συνδυασμό με ελκυστήρα, με αποτέλεσμα η να πλάκα αναρτάται με κατακόρυφους ράβδους αλλά και με λοξούς ράβδους ανάλογα τις κατασκευές.

Μεταβαίνοντας τώρα στις **πλαισιωτές γέφυρες** παρατηρούμε μια νέα μέθοδο κατασκευής των βάθρων με επιτόπια σκυροδέτηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος λοιπόν έχει χαρακτηριστεί ως η αρχαιότερη μέθοδος κατασκευής κυρίως με τη χρήση ξυλότυπου πάνω σε σταθερά ικριώματα όπου γίνεται επιτόπια χύτευση του σκυροδέματος. Παλαιότερα κατασκευάζονταν απλά ξύλινα ικριώματα (σκαλωσιές) με στύλους κατά μικρές αποστάσεις, καθώς και στις τοξωτές ιδιαίτερα γέφυρες χρειάζονταν σημαντικοί ξυλότυποι που από μόνοι τους αποτελούσαν αξιόλογες τεχνικές επιδόσεις. Σήμερα σχεδόν πάντα χρησιμοποιούνται μεταλλικά ικριώματα που μελετούν, υπολογίζουν, κατασκευάζουν και αφαιρούν εξειδικευμένες επιδόσεις. Τα προσπέκτους των επιχειρήσεων αυτών παρέχουν στοιχεία για τις τεχνικές δυνατότητες κάθε τύπου ικριώματος, τα ανοίγματα των φορέων, την αντοχή των στύλων, τα μέσα σύνδεσης κ.α. Τα ικριώματα πρέπει να θεμελιώνονται αξιόπιστα και να υπερυψώνονται ώστε να αντιμετωπιστούν οι παραμορφώσεις τους. Ιδιαίτερα πρέπει να προσέχεται η συμπίεστικότητα των αρμών, η οποία αποφεύγεται καλύτερα με μια στρώση κονιάματος. Η αφαίρεση του ικριώματος μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος πρέπει να προετοιμάζεται, ώστε να μην καταπονείται επιβλαβώς η γέφυρα. Τα παραπάνω ικριώματα χαρακτηρίζονται ως σταθερά, αλλά έχουμε και τα κινητά ικριώματα. Τα κινητά λοιπόν ικριώματα είναι οικονομικά, όταν πρόκειται να κατασκευαστούν περισσότερα από τρία ανοίγματα με την ίδια διατομή. Τότε σκυροδετείτε κάθε άνοιγμα. Ο ξυλότυπος αφαιρείται μαζί με το ικριώμα μετά την τάνυση των τενόντων του επόμενου ανοίγματος και στη συνέχεια μεταφέρεται στο επόμενο άνοιγμα. Η μέθοδος έχει νόημα όταν η τοπογραφία της περιοχής είναι περίπου επίπεδη, το έδαφος ομαλό και το ύψος των βάθρων δεν είναι μεγάλο. Οι ξυλότυποι αφαιρούνται από το σκληρυθέν σκυρόδεμα με γρύλους ή ατράκτους και αποσυναρμολογούνται τα μέρη τους στην περιοχή του στύλου ώστε να είναι δυνατή η προώθηση. Μια άλλη μέθοδος χρησιμοποιεί για την προώθηση χωριστές χαλύβδινες δοκούς κιβωτιοδούς διατομής που διατάσσονται στον άξονα της γέφυρας και εδράζονται σε κενό των μεσόβαθρων που η κεφαλή τους μορφώνεται διχαλωτή. Προωθείται έτσι η δοκός και στη συνέχεια οι εξωτερικοί δοκοί ικριώματος αναρτώνται σε γερανό και προωθούνται και αυτοί, έτσι ο εμπρός γερανός κινείται στη δοκό προώθησης και ο πίσω στην έτοιμη γέφυρα.

Στις **πεζογέφυρες**, η μέθοδος κατασκευής που χρησιμοποιείτε συνήθως είναι η εξής:

- 1) Κατασκευή θεμελίων.
- 2) Παράλληλη κατασκευή του μεταλλικού φορέα ανωδομής και του πυλώνα σε εργοστάσιο.
- 3) Μεταφορά του φορέα στην περιοχή που γίνεται το έργο σε δυο τεμάχια και συναρμολόγηση επί τόπου.
- 4) Ανέργεια και τοποθέτηση του φορέα ανωδομής στη τελική θέση πάνω σε προσωρινά υποστυλώματα.
- 5) Τοποθέτηση κλιμακοστασίου- κυλιόμενων κλιμάκων, ανελκυστήρων.
- 6) Τοποθέτηση του πυλώνα στη τελική θέση.
- 7) Ανάρτηση καλωδίων- προένταση αυτών.
- 8) Σκυροδέτηση πλάκας καταστρώματος - ρύθμιση τελικής θέσης πυλώνα.
- 9) Διευθέτηση χώρου και δημιουργία νέων εισόδων.

Οι φορείς στήριξης θεμελιώθηκαν σε εσχάρα φρεατοπασσάλων μέσω κεφαλόδεσμου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ερχόμενη τώρα στο κύριο φορέα παρατηρούμε ότι είναι ο κύριος φορέας συνήθως είναι μεταλλικός, κιβωτιοειδούς διατομής με άνω πέλμα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο φορέας αυτός λειτουργεί ως σύμμικτη δοκός συνολικού ύψους ενάμιση μέτρο η οποία αναρτάται από τον πυλώνα μέσω καλωδίων

ανά ίσες αποστάσεις. Το άνω πέλμα της κιβωτιοειδούς διατομής αποτελείται από μία πλάκα σύμμικτης λειτουργίας η οποία εδράζεται αμφιέριστα σε εγκάρσιες μεταλλικές δοκούς διατομής, που είναι τοποθετημένες σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος του φορέα. Η πλάκα αυτή μορφώνει το κατάστρωμα της πεζογέφυρας. Μεταξύ των εγκαρσίων δοκών εδράζονται διαμήκεις δοκοί διατομής και η σύνδεση μεταξύ των μεταλλικών δοκών και της πλάκας σύμμικτης λειτουργίας επιτυγχάνεται με ήλους διάτμησης. Οι κορμοί και το κάτω πέλμα της κιβωτιοειδούς διατομής του φορέα μορφώνονται από μεταλλικά ελάσματα τα οποία συνδέονται με το άνω πέλμα μέσω των διαμήκων μεταλλικών δοκών. Εσωτερικά του κιβωτίου υπάρχουν σύνδεσμοι ακαμψίας για την καλύτερη διανομή των φορτίων, ενώ αντίθετα εξωτερικά αυτού, στις θέσεις των εγκαρσίων δοκών υπάρχουν αντηρίδες οι οποίες πλαισιώνουν κυρίως το κάτω πέλμα και ταυτόχρονα συνδέονται με τις εγκάρσιες δοκούς.

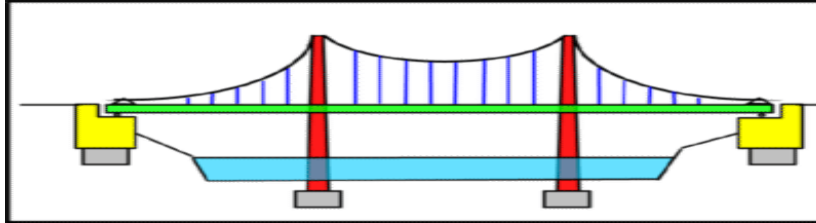
Όσο αφορά το φορέα στα δύο άκρα του στηρίζεται αρθρωτά σε έναν αντηριδωτό σύνδεσμο τύπου V στη μια πλευρά της και σε ένα διπλό αντηριδωτό κλιμακοστάσιο στην άλλη. Η ενδιάμεση στήριξη του φορέα κατά τη διαμήκη έννοια επιτυγχάνεται από τέσσερα προεντεταμένα καλώδια τα οποία αγκυρώνονται στο άνω άκρο του πυλώνα και στις αντίστοιχες θέσεις ανάρτησης κατά μήκος του φορέα. Όλοι οι φορείς στήριξης αποτελούνται από μεταλλικές κοίλες σύνθετες διατομές. Ενώ ο πυλώνας είναι μεταλλικός, κιβωτιοειδούς μεταβλητής διατομής και εδράζεται αρθρωτά με αποτέλεσμα να διαπερνά κάθετα τον κύριο φορέα χωρίς να παρέχει κατακόρυφη στήριξη στο κατάστρωμα. Για την εξασφάλιση της ισορροπίας του συστήματος, στο πίσω μέρος του πυλώνα υπάρχουν δύο επιπρόσθετα καλώδια κατά την διαμήκη έννοια, τα οποία τανύονται έμμεσα, είτε κατά την επιβολή προέντασης στα τέσσερα μπροστά καλώδια, είτε κατά την επιβολή κατακόρυφων φορτίων στο κατάστρωμα. Η πλευρική στήριξη του πυλώνα, εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση εγκαρσίων καλωδίων που βρίσκονται εκατέρωθεν του διαμήκους άξονα της πεζογέφυρας. Τέλος η πρόσβαση στην πεζογέφυρα και από τις δύο πλευρές, μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο μεταλλικών κλιμακοστασίων, δηλαδή δύο κλιμακοστασίων κυλιόμενων βαθμίδων και ενός ανελκυστήρα.

Τέλος έχουμε τις **Κρεμαστές γέφυρες** οι οποίες αποτελούνται κυρίως από τρία κυρίως μέρη: *πυλώνες που στηρίζουν το βάρος της, ένα κατάστρωμα που τοποθετείται πάνω στους πυλώνες και καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος και είναι στερεωμένα πάνω στους πυλώνες και σε δυο αντίβαρα εκατέρωθεν της γέφυρας.* Στις δύο πλευρές της κοιλάδας, ή του ποταμού ή της θάλασσας, την οποία ή τον οποίο περνάει η γέφυρα, κατασκευάζονται συνήθως δύο εργοτάξια. Σε αυτά τα εργοτάξια κυρίως οι εργάτες συναρμολογούν τα τμήματα του καταστρώματος (οδοστρώματος) και στις πιο σύγχρονες καλωδιωτές γέφυρες και τα πέλματα των βάθρων. Όταν ολοκληρώνουν ένα κομμάτι, οι μηχανές το σπρώχνουν προς την κοιλάδα. Έτσι το άκρο του καταστρώματος προχωρά σιγά σιγά πάνω από το κενό. Η γέφυρα μετακινείται κατά τμήματα εξήντα εκατοστών. Οι μηχανικοί ελέγχουν την κίνηση με μετρήσεις μέσω δορυφόρου (περιθώριο λάθους πέντε χιλιοστά). Μόνο όταν φυσάει με πάνω από εβδομήντα χιλιόμετρα την ώρα οι εργασίες σταματούν.

Αυτής της μορφής γέφυρες κάνουν την παρουσία τους σε αυτή την περίοδο μέχρι και σήμερα. Τις διαχωρίζουμε σε: *Κρεμαστές γέφυρες με κάθετα καλώδια* όπου κατασκευάστηκαν από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και φτάνοντας στα μέσα του αντικαταστήθηκαν από τις *Καλωδιωτές γέφυρες* όπου αυτή η κατασκευή είναι η πιο σύνηθες μέχρι σήμερα.

Κρεμαστές γέφυρα με κάθετα καλώδια

Σε αυτόν τον τύπο γέφυρας τα καλώδια είναι κάθετα ως προς το κατάστρωμα (Σχήμα 5.1.).

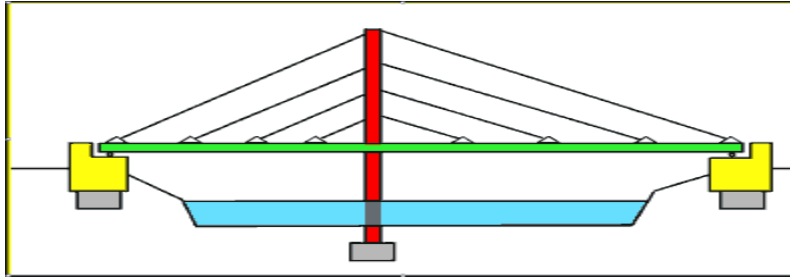


Σχήμα 5.1. Κρεμαστή γέφυρα με κάθετα καλώδια

Στις αρχές λοιπόν του 20^{ου} αιώνα έχουμε την κατασκευή γεφυρών με *κάθετα καλώδια*, το κόστος όπως και η ποσότητα των υλικών που χρησιμοποιούνταν για τη κατασκευή τους ήταν πολύ μεγάλα. Ερχόμενη τώρα στην μέθοδο κατασκευής τους ξεκινώντας από στη δημιουργία των *θεμελίων των βάθρων* η οποία γίνονταν με κατασκευή πασσάλων μεγάλης διαμέτρου που μπορούσαν να φτάσουν μέχρι και δυόμιση μέτρα και σε πολύ μεγάλο βάθος, ή με την κατασκευή διαφραγματικών τοίχων. Και στις δυο περιπτώσεις οι πάσσαλοι ή οι διαφραγματικοί τοίχοι συνδέονται με τη λεγόμενη πασσαλοεσχάρα η οποία μπορεί να βρίσκεται σε μικρό μόνο βάθος υπό την επιφάνεια του εδάφους. Πάνω σε αυτή στηρίζεται ο κορμός του βάθρου, τόσο οι πάσσαλοι όσο και οι διαφραγματικοί τοίχοι κατασκευάζονται με μηχανικά μέσα. Αυτή η μέθοδος ήταν εξελιγμένη μιας και μέχρι τότε για την κατασκευή των θεμελίων κυρίως μέσα στο νερό χρησιμοποιούσαν μεγάλα κιβώτια με αέρα, στο βυθό και στην αίθουσα εργασίας διατηρούσαν πίεση μεγαλύτερη από την εξωτερική που εμπόδιζε να μπει νερό και λάσπη, λόγω όμως των εργατικών ατυχημάτων εξακατήφθηκε. Όσο αφορά τώρα την κατασκευή του καταστρώματος, αυτή γίνονταν χωριστά από την κατασκευή των καλωδίων αυτό είχε ως αποτέλεσμα το κόστος όπως και η ποσότητα των υλικών που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή τους (χάλυβας και σκυρόδεμα) ήταν πολύ μεγάλη, αλλά όλα αυτά έκαναν την κατασκευή όλο και πιο χρονοβόρα. Επίσης δύσκολη ήταν και η αγκύρωση των κεντρικών καλωδίων όπου απαιτούνταν μεγάλες ποσότητες έρματος σκυροδέματος ή ακόμη και τεχνητές νησίδες στη μέση του διαύλου. Για όλους αυτούς τους λόγους με το πέρασμα των χρόνων, σιγά σιγά άρχισε να εγκαταλείπεται αυτή η μορφή και τα κάθετα να γίνονται λοξά και φτάσαμε μέχρι και την σημερινή εποχή, όπου έχουμε την κατασκευή των καλωδιωτών γεφυρών με λοξά κυρίως καλώδια.

Καλωδιωτές γέφυρες

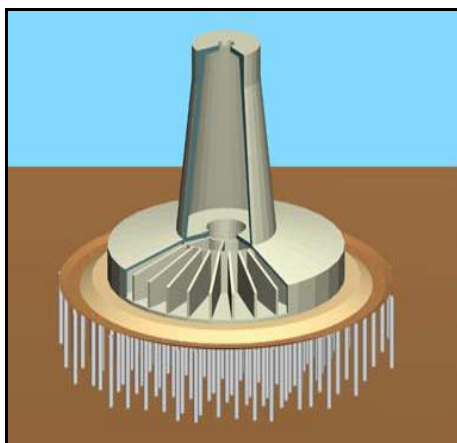
Τα καλώδια σε αυτό τον τύπο γέφυρας είναι λοξά ως προς το κατάστρωμα (Σχήμα 5.2.). Αυτές οι γέφυρες αποδείχτηκαν ιδανικές για μεγαλύτερες αποστάσεις, τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά. Επιγραμματικά, η μέθοδος κατασκευής τέτοιου είδους σύγχρονων γεφυρών είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 5.2. Καλωδιωτή γέφυρα με λοξά καλώδια

- Λιμενικά έργα: Εκσκαφές, ενίσχυση υπεδάφους με πασσάλους. Επίχωση πυθμένα για τη δημιουργία της επιφάνειας έδρασης του βάθρου με διάστρωση μιας ελεγχόμενης διαβάθμισης αδρών υλικών.
- Κατασκευή πελμάτων βάθρων σε ξηρά δεξαμενή.
- Μεταφορά βάθρων και καταπόντιση στην τελική θέση θεμελίωσης.
- Ολοκλήρωση της κατασκευής των πυλώνων.
- Προκατασκευή τμημάτων του σύμμεικτου φορέα στη ξηρά.
- Πλωτή μεταφορά και ανάρτηση των τμημάτων του φορέα με τη μέθοδο της αμφίπλευρης προβολοδομής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει και την τάνυση των καλωδίων.
- Τέλος ολοκλήρωση της γέφυρας με υδατοστεγάνωση, αρμούς, στηθαία, οδοστρωσία κτλ.

Ύστερα από την επιγραμματική αναφορά μας στην μέθοδο κατασκευής θα δούμε τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια σύγχρονη καλωδιωτή γέφυρα. Αρχίζοντας λοιπόν από τους *πυλώνες* (Σχήμα 5.3.), αυτοί εδράζονται σε βάθη που κυμαίνονται συνήθως από 48 έως 64 μέτρα. Για να θεμελιωθούν πρέπει πρώτα το υπέδαφος στον πυθμένα της θάλασσας να έχει εξυγιανθεί με εκσκαφή και να έχει επίσης ενισχυθεί με ενθέματα. Πρόκειται συνήθως για μεταλλικούς σωλήνες (πασσάλους) οι οποίοι τοποθετούνται σε πυκνό κάρναβο (Σχήμα 5.4.).



Σχήμα 5.3. Θεμελίωση

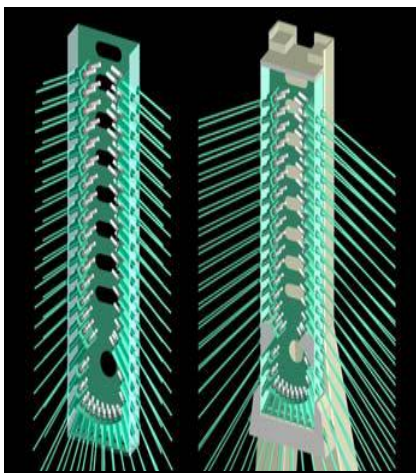


Σχήμα 5.4. Πυλώνας

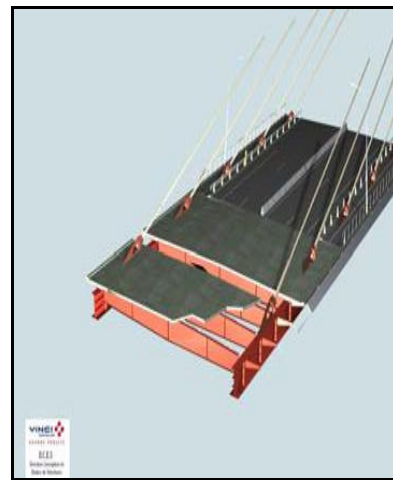
Η επιφάνεια έδρασης του βάθρου δημιουργείται από τη διάστρωση μιας ελεγχόμενης διαβάθμισης αδρανών υλικών (στρώσεις άμμου και χαλκού), όπου εκεί πάνω θεμελιώνονται οι πυλώνες οι οποίοι είναι συνεχείς σε όλο το ύψος τους. Ο κάθε πυλώνας λοιπόν αποτελείται από τέσσερις βραχίονες που ενώνονται στην

κεφαλή του πυλώνα (Σχήμα 5.5.) με μια σύμμικτη κατασκευή, που αποτελείται από ένα μεταλλικό σκελετό πάνω στον οποίο αγκυρώνονται τα ζεύγη των καλωδίων.

Στη συνέχεια έχουμε το *κατάστρωμα* (Σχήμα 5.6.), το οποίο είναι βασικά μια χαλύβδινη πλάκα που βρίσκεται στο πάνω μέρος και έχει μια επιφάνεια κύλισης, η οποία μπορεί να είναι από σκυρόδεμα ή άσφαλτο. Η χαλύβδινη πλάκα ενισχύεται κατά το μήκος της με νευρώσεις, οι οποίες μπορεί να είναι από ανοικτές ή κλειστές διατομές. Το κατάστρωμα λοιπόν, αναρτάται με λοξά καλώδια από πυλώνες. Όταν τα λοξά αυτά καλώδια είναι λίγα και οι αποστάσεις των σημείων ανάρτησης μεγάλες, η γέφυρα θεωρείται γέφυρα μορφής δοκού με ενδιάμεσες στηρίξεις. Τα σημεία ανάρτησης και η δοκός πρέπει να έχουν κατασκευαστικό ύψος και καμπική ακαμψία ανάλογα με την απόσταση των σημείων ανάρτησης. Έτσι έχουμε μια κατασκευή με την μέθοδο των δοκών και σε συνδυασμό με τα καλώδια, τα οποία μεταφέρουν τα φορτία στους πύργους των πυλώνων.

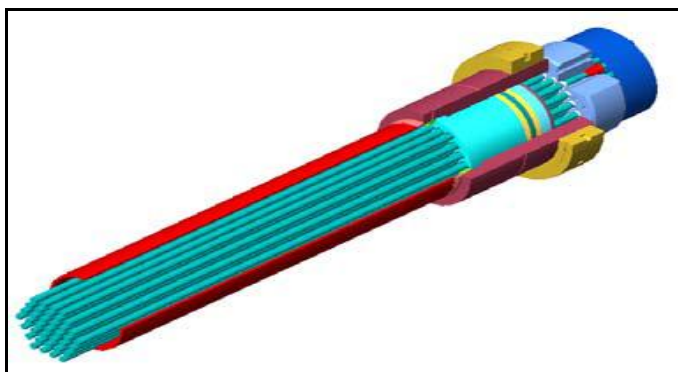


Σχήμα 5.5. Μεταλλική κεφαλή του πυλώνα



Σχήμα 5.6. Το κατάστρωμα

Τέλος έχουμε το *σύστημα καλωδίωσης* (Σχήμα 5.7.) δηλαδή τα καλώδια. Κατά την όψη της γέφυρας τα λοξά καλώδια μπορεί να έχουν ακτινωτή ή παράλληλη διάταξη. Η ακτινωτή διάταξη είναι τεχνικά περισσότερο σκόπιμη και οικονομικότερη από την παράλληλη, η τελευταία όμως είναι κομψότερη, όταν τα καλώδια δεν είναι πολλά. Τα καλώδια ακτινωτής διάταξης δεν συγκλείνουν στις σύγχρονες γέφυρες σε ένα σημείο (κορυφή), αλλά αγκυρώνονται το ένα κάτω από το άλλο, για να διευκολυνθεί η αγκύρωση τους. Ενώ η ενδιάμεση μορφή διάταξης των καλωδίων διευκολύνει την αγκύρωση τους στην κεφαλή του πυλώνα. Για τα μεγάλα ανοίγματα οι καλωδιωτές γέφυρες αποδείχθηκαν ιδιαίτερα πρόσφορες αλλά και οικονομικές. Έτσι το καλώδιο αποκτά ήδη από το εργοστάσιο μια αξιόπιστη αντιδιαβρωτική προστασία για δεκαετίες. Τα καλώδια αγκυρώνονται κατά βάση έτσι, ώστε να είναι δυνατή η αντικατάστασή τους. Θα πρέπει να έχουν στεγανότητα και την δυνατότητα απομάκρυνσης των υδάτων στα περιβλήματα πρέπει να διασφαλίζεται έτσι ώστε να αποφευχθεί η είσοδος και παραμονή υδάτων μέσα στους σωλήνες. Για αυτό το λόγο γίνονται οι δοκιμές στα καλώδια για να διαπιστωθεί αν είναι επαρκή σε αντοχή και τι χρειάζεται για να διορθωθούν τα τυχόν λάθη και οι αστοχίες.



Σχήμα 5.7. Σύστημα καλωδίωσης (παράλληλοι τένοντες)

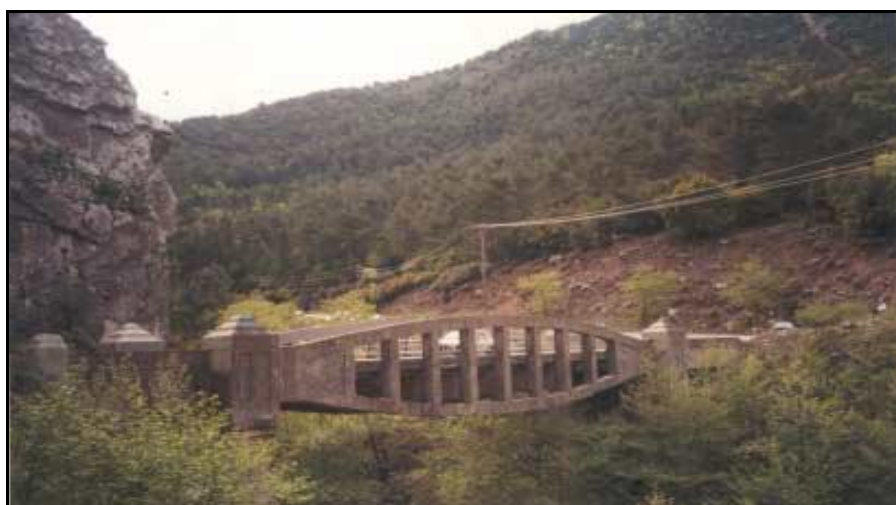
Ένα από τα κύρια υλικά από τα οποία κατασκευάζεται το περίβλημά τους είναι και ο χάλυβας, δηλαδή καλύπτονται από χαλύβδινους σωλήνες ή από πολυαιθυλένιο το οποίο περικλείει όλα τα στοιχεία εφελκυσμού. Οι χαλύβδινοι αυτοί σωλήνες που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να έχουν πολύ καλή ποιότητα σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά και παγκόσμια πρότυπα.

5.5. Είδη γεφυρών

Ονομαστικά τα είδη γεφυρών είναι: *οι γέφυρες μορφής δοκού, οι σιδηρές γέφυρες, οι πλαισιωτές, οι κινητές, οι πεζογέφυρες, οι κρεμαστές γέφυρες με κάθετα καλώδια και οι καλωδιωτές γέφυρες.*

5.5.1. Γέφυρες μορφής δοκού

Παράδειγμα γέφυρας μορφής δοκού έχουμε και στην Ελλάδα «*τη γέφυρα Κονδύλη*» (Εικόνα.5.8) 1930 στον Πορταϊκό ποταμό, στην οποία θα αναφερθούμε χαρακτηριστικά στη συνέχεια.



Εικόνα 5.8. «Γέφυρα Κονδύλη» (Τρίκαλα, Ελλάδα)

Στη δεκαετία του τριάντα είχαν κατασκευασθεί στην Ελλάδα γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα, των οποίων ο φέρων οργανισμός είχε απολύτως ευκρινές στατικό σύστημα λειτουργίας. Μια από τις γέφυρες αυτές με μορφή δοκού είναι η γέφυρα Κονδύλη πάνω στον Πορταϊκό ποταμό, στην εθνική οδό Τρικάλων- Άρτας, η οποία εξασφαλίζει ακόμη μέχρι σήμερα την αμαξιτή σύνδεση των Τρικάλων με τα χωριά της ορεινής Πίνδου (Ελάτη, Περτούλη, Μεσοχώρα κ.α). Η κατασκευή της πολύ σύγχρονης για την εποχή εκείνη γέφυρας άρχισε το 1930 και τέλειωσε τον Ιούνιο του 1936. Η γέφυρα έχει συνολικό μήκος 49,35 μέτρα αποτελούμενη από τρία ανοίγματα μήκους 11,60 μέτρα, 31,10 μέτρα και 6,65 μέτρα αντιστοίχως. Το μεσαίο άνοιγμα αποτελείται από δυο τοξωτούς δοκούς με καθαρό άνοιγμα 28,00 μέτρα επί των οποίων στηρίζεται η πλάκα του καταστρώματος, ενώ τα εκατέρωθεν ανοίγματα είναι αμφιέριστα πλακώδες δοκοί. Το πλάτος της ανωδομής είναι 5,2 μέτρα. Η γέφυρα βρίσκεται σε μέγιστο ύψος 22,00 μέτρα περίπου πάνω από την κοίτη του ποταμού. Εντυπωσιακές είναι και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της γέφυρας στη διαμόρφωση των βάθρων και των εμφανών σκυροδεμάτων των στηθαίων.

Τα υλικά κατασκευής της γέφυρας είναι σκυρόδεμα B300(φορέας),B150 (βάθρα, θεμελίωση) και χάλυβας StI, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εποχής εκείνης (Αρχείο Μελετών ΔΤΥΝΤ). Στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (1943) το αριστερό βάθρο της γέφυρας ανατινάχθηκε για την παρεμπόδιση της διέλευσης των μηχανοκίνητων ιταλικών τμημάτων. Ο ισχυρής αντοχής φορέας ανασύρθηκε αργότερα από το βραχώδη βυθό του ποταμού και επανατοποθετήθηκε στην αρχική του θέση, εξυπηρετώντας έτσι μέχρι σήμερα την οδική επικοινωνία της πεδιάδας με την Πίνδο. Βέβαια ύστερα από εξήντα επτά ολόκληρα χρόνια συνεχούς κυκλοφορίας, η γέφυρα παρουσιάζει φθορές λόγω του χρόνου και της έλλειψης συντήρησης. Παρατηρούνται ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις του σκυροδέματος με συνέπεια την αποκάλυψη των ράβδων του οπλισμού και την οξείδωσή τους. Η αποκατάσταση των ζημιών αυτών είναι σχετικά εύκολη και όχι δαπανηρή, αλλά κρίνεται αναγκαία για την περαιτέρω καλή λειτουργία της γέφυρας, στην οποία επιτρέπεται και η κυκλοφορία μεγάλων τροχοφόρων.

Δεδομένου ότι είναι ελάχιστες οι γέφυρες που έχουν κατασκευαστεί στην Ελλάδα με την ιδιαιτερότητα της μορφής αυτής, του καθαρού στατικού συστήματος, που προκαλεί το θαυμασμό για την αρμονία των γραμμών και την αντοχή, θεωρείται σκόπιμη η αναγνώριση από την πολιτεία της γέφυρας Κονδύλη ως νεότερου μνημείου, που ανήκει στην κληρονομιά των ειδικών τεχνικών έργων της χώρας.

5.5.2. Σιδηρές γέφυρες

Παράδειγμα **σιδηράς δικτυωτής γέφυρας**, η γέφυρα «Queensboro» (Εικόνα 5.9.) 1909 στην Αμερική. Είναι πέντε ανοιγμάτων και συνδέει το Manhattan της Νέας Υόρκης με το Queens, περνώντας ενδιάμεσα από το νησί Roosevelt. Η γέφυρα άνοιξε το Μάρτιο του 1909 και διαθέτει δυο καταστρώματα με 10 συνολικός λωρίδες κυκλοφορίας (τέσσερα στο άνω επίπεδο και έξι στο κάτω). Το συνολικό της μήκος είναι 1.135 μέτρα και το πλάτος της 30 μέτρα ενώ το καθαρό της ύψος κάτω από τη γέφυρα είναι 40 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του φορέα της μέταλλα και διάφοροι λίθοι για την δημιουργία των μεσόβαθρων, λόγω όμως της φθοράς και της διάβρωσης της γέφυρας από το 1987 έως και σήμερα γίνονται εκτεταμένες και δαπανηρές επεμβάσεις συντήρησης της.



Εικόνα 5.9. «Queensboro Bridge» (Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.)

Έχουμε όμως και τις **σιδηρές τοξωτές γέφυρες**, παράδειγμα τέτοιου είδους γέφυρας είναι η γέφυρα «New River Gorge» 1977 (Εικόνα 5.10.) στην Αμερική. Είναι μονότοξη γέφυρα κατασκευής καθαρά από χάλυβα κοντά στη δυτική Βιρτζίνια των Ηνωμένων Πολιτειών και γεφυρώνει το ποτάμι της περιοχής μιας και από εκεί έχει πάρει και το όνομα της. Έχει το μεγαλύτερο άνοιγμα σε τοξωτό δικτυωτού φορέα 510 μέτρα, πλάτος καταστρώματος 22 μέτρα και ύψος πάνω από το ποτάμι 268 μέτρα.



Εικόνα 5.10. «New River Gorge bridge», (Βιρτζίνια, Η.Π.Α.)

Στη συνέχεια παραθέτουμε και ένα παράδειγμα **σιδηράς τοξωτής γέφυρας με διάταξη του τόξου πάνω από την πλάκα του καταστρώματος, με κατακόρυφους ράβδους** είναι, η γέφυρα «Hell Gate Bridge» (Εικόνα 5.11) 1916 στην Αμερική. Η συγκεκριμένη γέφυρα συνδέει το Bronx με την Astoria και βρίσκεται στο βορειοανατολικό Manhattan, στο ποταμό East της Νέας Υόρκης. Το συνολικό της μήκος είναι πάνω από 5,5 χιλιόμετρα και οι δυο βασικοί πύργοι των τόξων είναι λίθινοι. Τα τόξα της έχουν άνοιγμα 310 μέτρα και το ύψος κάτω από το κατάστρωμα είναι 41 μέτρα. Οι λεπτομέρειες των τόξων διακρίνονται καθώς και οι ηλώσεις κοντά στη στήριξη. Τα υλικά κατασκευής της ήταν σίδηρος για την δημιουργία του τόξου και του καταστρώματος, καθώς σκυρόδεμα και προσθήκη φυσικών λίθων στις βάσεις και τα βάθρα. Η συγκεκριμένη γέφυρα δόθηκε σε κυκλοφορία τον Σεπτέμβριο του 1916.



Εικόνα 5.11. « Hell Gate Bridge» (Νέα Υόρκη, Η.Π.Α)

5.5.3. Πλαισιωτές γέφυρες

Άλλη μια μορφή γεφυρών την οποία συναντούμε αυτή τη χρονική περίοδο είναι και η *πλαισιωτή γέφυρα*. Αυτού του είδους οι γέφυρες είναι κατασκευασμένες για την γεφύρωση κυρίως χαράδρων, για το πέρασμα από αυτές αυτοκινητοδρόμων με τέσσερις κυρίως λωρίδες κυκλοφορίας, αλλά παρατηρούμε και την δημιουργία σιδηροδρομικών γραμμών πάνω σε αυτές για τη διέλευση τρένων. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ήταν σκυρόδεμα για τη δημιουργία των βάθρων καθώς και σε πολλές έχουμε την παρουσία χάλυβα στους δοκούς κάτω από το κατάστρωμα. Παράδειγμα τέτοιου είδους γέφυρας είναι και η γέφυρα «*Sfalassa George*» (Εικόνα 5.12.) στην Ιταλία, η οποία κατασκευάστηκε το 1974. Η δοκός του καταστρώματος βρίσκεται σε ύψος 250 μέτρα από τον ποταμό που διασχίζει και έχει ύψος 6,40 μέτρα και ανοίγματα 108+160+108 μέτρα αντίστοιχα.

Αρχίζοντας λοιπόν με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, οι πλαισιωτές γέφυρες δημιουργήθηκαν με άκαμπτη σύνδεση της δοκού της γέφυρας με τα τοιχώματα των ακροβάθρων ή τα μεσόβαθρα. Το άκρο της δοκού πακτώνεται και οι ροπές στο μέσον του ζυγώματος μπορούν να μειωθούν σημαντικά με δύσκαμπτα βάθρα ή στύλους. Διαλέγοντας κατάλληλη σχέση ακαμψιών, μπορούμε να επηρεάσουμε ευνοϊκά την διανομή των καμπτικών ροπών και να επιτύχουμε ασυνήθιστα μικρά κατασκευαστικά ύψη. Σε αυτή την μορφή γεφυρών έχουμε πλαίσια προσαρμοσμένα κάθε φορά στις ανάλογες συνθήκες, έτσι έχουμε:



Εικόνα 5.12. « Sfalassa George Bridge» (Sfalassa, Ιταλία)

- (1) *τα τριαρθρωτά πλαίσια* τα οποία είναι ελεύθερα από δυνάμεις καταναγκασμού. Οι αρθρωτές μπορούν να μορφωθούν ως αρθρώσεις σκυροδέματος, σημειακές ή γραμμικές.
- (2) *το έκκεντρο τριαρθρωτό πλαίσιο με αμφιαρθρωτό στύλο*, ισοστατικό. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η οριζόντια κινητικότητα του αμφιαρθρωτού στύλου. Η άμεση επιχωμάτωση στον άλλο στύλο δεν είναι δυνατή και για το λόγο αυτό δεν προσφέρεται για γέφυρες.
- (3) *αμφιδιαρθρωτό πλαίσιο με ή χωρίς προεντεταμένο ελκυστήριο*.
- (4) *διορθρωτό πλαίσιο με πτερύγια και με κατακόρυφους ή λοξούς στύλους*. Οι αρθρώσεις σχεδόν πάντα είναι από σκυρόδεμα και προσφέρεται για γέφυρες πάνω από αυτοκινητόδρομους.
- (5) *αμφίπακτο πλαίσιο* προσφέρεται για μικρά τεχνικά έργα κάτω διαβάσεων και οχετούς ρευμάτων. Τα πτερύγια είναι δυνατά όπως στα διαρθρωτά πλαίσια.
- (6) *κλειστό πλαίσιο* προσφέρεται για κάτω διαβάσεις και σε ιδιαίτερα δυσμενής εδαφικές συνθήκες.
- (7) *διαρθρωτικό πλαίσιο με σύστημα άντωσης με στήριξη άρθρωση ή ελαστική πάκτωση*, προσφέρεται για άνω διαβάσεις πάνω από αυτοκινητόδρομους.
- (8) *πολύστυλα πλαίσια με άρθρωση ή πάκτωση στις στηρίξεις των στύλων* ανάλογα με την επιθυμητή ακαμψία και την δυνατότητα παραλαβής των μεταβολών μήκους.
- (9) *πλαισιακή λειτουργία κυρίως στα μεσόβαθρα των γεφυρών*, ώστε να αποφευχθούν εκεί τα κινητά εφέδρανα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται συχνά στις υψηλές κοιλαδογέφυρες.

5.5.4. Κινητές γέφυρες

Και οι κινητές γέφυρες έχουν κάνει αισθητή την παρουσία τους από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ωστόσο γέφυρες με αντίβαρο και περιστροφή περί τον οριζόντιο άξονα υπήρχαν και παλαιότερα. Σημαντικές όμως κατασκευές έγιναν το τελευταίο τέταρτο του 19^{ου} αιώνα και το πρώτο του 20^{ου} αιώνα.

Οι κινητές γέφυρες λοιπόν κατασκευάζονται συνήθως επάνω από ποτάμια και άλλες υδάτινες οδούς με ναυσιπλοΐα. Έχουν κατάλληλους μηχανισμούς και κινητά τμήματα έτσι ώστε περιοδικά να γεφυρώνεται η πλωτή οδός και να εξυπηρετείται η κυκλοφορία και σε επόμενη φάση να «ανοίγει» η γέφυρα, οπότε διακόπτεται η οδική κυκλοφορία και εξυπηρετείται η ναυσιπλοΐα. Όλες οι κινητές γέφυρες έχουν κατασκευαστεί αποκλειστικά από σίδηρο και συγκεκριμένα χάλυβα ο οποίος διακρίνεται για την αντοχή του μέσα στο χρόνο. Όμως όλες οι κινητές γέφυρες δεν έχουν την ίδια μορφή, αλλά διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

(α) Σε αυτές που τα κινητά τους τμήματα περιστρέφονται κατά τον κατακόρυφο άξονα δηλαδή οι λεγόμενες στρεφόμενες ή περιστρεφόμενες.

(β) Γέφυρες με αντίβαρο ή αναπτυσσόμενες δηλαδή αυτές που τα κινητά τους τμήματα περιστρέφονται μόνο περί τον οριζόντιο άξονα.

(γ) Τα κινητά τμήματα σε αυτού του είδους τις γέφυρες ανυψώνονται λίγο ή χαμηλώνουν και «συρταρώνουν» προς το μέρος των βάθρων με τη βοήθεια κυλίστρων. Χαρακτηριστική είναι και η «παλιά γέφυρα της Χαλκίδας» (Εικόνα 5.13) στην Ελλάδα. Κατασκευάστηκε περίπου το 1962 και σήμερα χρησιμοποιείται και για διέλευση οχημάτων αλλά και από τους επισκέπτες ως σημείο παρατήρησης της παλιρροιακής εναλλασσόμενης κίνησης των νερών του Ευβοϊκού.



Εικόνα 5.13. «Παλιά γέφυρα της Χαλκίδας» (Χαλκίδα, Ελλάδα)

(δ) Το κινητό άνοιγμα ανυψώνεται, έχοντας ως οδηγούς τα εκατέρωθεν βάθρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι φορείς των κινητών γεφυρών είναι μεταλλικοί (χαλύβδινοι) για τη μείωση του ίδιου του βάρους. Συνήθως στην περιοχή του άξονα περιστροφής, προβλέπονται αντίβαρα για την μείωση των απαιτούμενων δυνάμεων μετακίνησης. Στις παλαιότερες κινητές γέφυρες οι μηχανισμοί ήταν σχεδόν κατά κανόνα υδραυλικοί ενώ στις νεότερες και σύγχρονες έχουμε τους ηλεκτρικούς μηχανισμούς.

5.5.5. Πεζογέφυρες

Οι πεζογέφυρες γίνονται αναγκαίες σε σημεία που πρέπει να προσφερθεί ένας ξεχωριστός δρόμος για τους πεζούς, που να διασχίζει κυκλοφοριακές ροές ή φυσικά εμπόδια, όπως ένας ποταμός. Τα φορτία που φέρουν σε σχέση με τις γέφυρες αυτοκινητοδρόμων ή σιδηροδρόμων, είναι αρκετά μικρότερα και στις περισσότερες περιπτώσεις χρειάζεται μια αρκετά ελαφριά κατασκευή. Ωστόσο, συχνά απαιτείται να δώσουμε ένα μεγάλο άνοιγμα, οπότε η δυσκαμψία γίνεται σημαντικός παράγοντας. Οι γέφυρες αυτές είναι συχνά άμεσα ορατές από το κοινό και η εμφάνιση τους δικαιούνται ιδιαίτερης προσοχής. Ο χάλυβας προσφέρει οικονομικές και ελκυστικές μορφές κατασκευής, οι οποίες ταιριάζουν με κάθε ανάγκη που απαιτείται από μια πεζογέφυρα.

Όπως και στις άλλες γέφυρες, οι πεζογέφυρες πρέπει να έχουν αρκετό μήκος, ώστε να μπορούν να ξεπερνούν το υπάρχον εμπόδιο και αρκετά ψηλές ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος επαφής με οτιδήποτε περνά κάτω από τη γέφυρα. Ωστόσο, ο δρόμος πρόσβασης της πεζογέφυρας είναι συχνά αρκετά διαφορετικός από αυτόν με τον οποίο είναι εξοικειωμένος ο μελετητής γεφυρών αυτοκινητοδρόμων: δεν υπάρχει η υποχρέωση για απαλή οριζόντια χάραξη. Επομένως ο συνεχής φορέας είναι λιγότερο απαραίτητος και το βασικό άνοιγμα είναι συχνά αμφιέριστο. Η πρόβλεψη κατάλληλης πρόσβασης για αναπηρικές πολυθρόνες και ποδηλάτες συχνά προδιαγράφεται στις πεζογέφυρες. Κάπου – κάπου η γέφυρα θα έχει ανάγκη διαχωρισμού των πεζών και των ποδηλάτων και στην περίπτωση αυτή πρέπει να είναι πλατύτερη. Τα στηθαία (μπάρες), τοποθετούνται για την ασφάλεια και των πεζών και της από κάτω κυκλοφορίας. Οι πεζογέφυρες πάνω από σιδηροδρομικές γραμμές μπορεί να απαιτείται να έχουν ψηλότερα στηθαία και να υπάρχουν συμπαγή τοιχία ακριβώς πάνω από τις γραμμές των σιδηροδρόμων.

Θα αναφερθούμε τώρα σε ένα παράδειγμα μιας σύγχρονης πεζογέφυρας στην Ελλάδα όπου είναι η «*πεζογέφυρα του Πειραιά*» (Εικόνα 5.14.) η οποία συνδέει την πλατεία Οδησσού που βρίσκεται στο σιδηροδρομικό σταθμό του ΗΣΑΠ με την αποβάθρα του επιβατικού λιμένα του Πειραιά και παραδόθηκε στο κοινό το 2006. Η λειτουργία της γέφυρας είχε ως στόχο αφενός την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας του δρόμου από την διέλευση των πεζών, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής κατά την προσέγγιση και απόπλου των πλοίων.

Η πρόταση για τη μορφή της πεζογέφυρας εκφράστηκε με μια καλωδιωτή μεταλλική ελαφριά κατασκευή που αναρτάται από ένα πυλώνα, προβλέποντας με ένταση τον κύριο στατικό φορέα της. Η φέρουσα κατασκευή του καταστρώματος της γέφυρας αποτελείται από ένα κεντρικό, μεταλλικό φορέα κιβωτοειδούς διατομής, ο οποίος αναρτάται με συρματόσχοινα από τον πυλώνα και από τον οποίο προβάλλονται εκατέρωθεν τα στοιχεία του σκελετού που φέρουν το τελικό δάπεδο κυκλοφορίας. Η πρόσβαση στην πεζογέφυρα γίνεται στα δυο άκρα της με ένα κατακόρυφο σύστημα επικοινωνίας που αποτελείται από δυο κυλιόμενες σκάλες, ένα σταθερό κλιμακοστάσιο και ένα ανελκυστήρα. Το συνολικό μήκος της κατασκευής στον κύριο άξονά της ανέρχεται σε 64,50 μέτρα. Οι διαστάσεις του καταστρώματος της γέφυρας είναι 46.00 μέτρα μήκος και 6,40 μέτρα πλάτος. Το κατώτερο σημείο της κατασκευής βρίσκεται σε ύψος 6.00 μέτρα, περίπου από την ερυθρά της ασφάλτου, ενώ το ύψος του ιστού από τον οποίο αναρτάται η κατασκευή είναι 25.50 μέτρα.



Εικόνα 5.14. «Πεζογέφυρα του Πειραιά» (Πειραιάς, Ελλάδα)

5.5.6. Κρεμαστές γέφυρες

Η πιο γνωστή γέφυρα αυτού του τύπου είναι η γέφυρα της «Χρυσής Πύλης του Σαν Φρανσίσκο» η οποία είναι **κρεμαστή γέφυρα με κάθετα καλώδια** (Εικόνα 5.15.) των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο Άγιος Φραγκίσκος είναι η δεύτερη σε μέγεθος πόλη των δυτικών ακτών της Βόρειας Αμερικής. Βρίσκεται σε μια χερσόνησο, που, σαν τεράστιος σύρτης, χαρίζει το μεγαλύτερο μέρος του κόλπου του Αγίου Φραγκίσκου, που έχει μήκος 90 χιλιόμετρα και πλάτος μέχρι 20 χιλιόμετρα από την ανοιχτή θάλασσα. Ένας θαλάσσιος βραχίονας που το πλάτος του μόλις και περνά το ένα χιλιόμετρο, οδηγεί από τον Ειρηνικό στον Κόλπο. Το στενότερο μέρος είναι η περίφημη Χρυσή Πύλη που από την οποία περνά η «Golden Gate Bridge» 1937. Ως το 1965 διεκδικούσε τη φήμη της μακρύτερης γέφυρας του κόσμου. Αρχικά στη λοφώδη αυτή χερσόνησο, υπήρχε μόνο μια αποικία δημιουργώντας ένα μικρό χωριό με πεντακόσιους κατοίκους όπου μέσα σε δυο χρόνια έγιναν εικοσιπέντε χιλιάδες. Το μικρό χωριό έγινε μια πόλη η οποία μεγάλωνε συνεχώς και χρειάζονταν η δημιουργία μιας γέφυρας στις ανατολικές και δυτικές ακτές του.

Η κατασκευή της γέφυρας όμως ήταν πολύ δύσκολη μιας και η γέφυρα θα έπρεπε να αντέξει ρεύματα που κινούνται με ταχύτητα 185 χιλιομέτρων την ώρα και ταλαντώσεις που προκαλούνταν από τον άνεμο μέχρι και οκτώ μέτρα, αλλά και τους σεισμούς οι οποίοι παρουσιάζονταν συχνά στην περιοχή. Πολλοί ειδικοί είχαν την γνώμη ότι ήταν αδύνατο να κατασκευαστεί μια γέφυρα με άνοιγμα 1280 μέτρα. Τελικά όμως κατασκεύασαν την περίφημη «Golden Gate Bridge» η οποία ολοκληρώθηκε το 1937 με συνολικό μήκος 2,2 χιλιόμετρα με κρεμαστά καλώδια πάχους 91 εκατοστόμετρα το καθένα, σε δυο πύργους ύψους 210 μέτρων και σε αυτούς στερεώνονταν η γέφυρα πλάτους 24 μέτρων. Ένα ελκυστικό χρωματικό εφέ δημιουργήθηκε από το ζωηρό κόκκινο χρώμα των υποστηρικτικών βάθρων. Στο νότιο άκρο της γέφυρας και στο κεντρικό υπάρχουν δυο σειρήνες για να καθοδηγούν τα πλοία σε περίπτωση ομίχλης. Μεταξύ Ιουλίου και Οκτωβρίου, δηλαδή την πιο ομίχλωδη εποχή, οι σειρήνες χρησιμοποιούνται πάνω από πέντε ώρες την ημέρα. Λόγω της ομίχλης στην περιοχή είναι και το χρώμα της κόκκινο καθώς και φανοί σηματοδότησης για τα αεροπλάνα έχουν τοποθετηθεί στην κορυφή των βράχων.

Σήμερα υπολογίζεται ότι διασχίζουν τη γέφυρα 40 εκατομμύρια οχήματα ετησίως. Ακόμη μια μόνιμη ομάδα 38 βαφένων και 17 συγκολλητών διεξάγουν συνεχείς εργασίες συντήρησης στη γέφυρα.



Εικόνα 5.15. «Golden Gate Bridge», (San Francisco, Η.Π.Α.)

Τέλος θα αναφέρουμε ένα παράδειγμα **κρεμαστής γέφυρας με λοξά καλώδια (καλωδιωτή γέφυρα)**, μια από τις πιο γνωστές αυτού του τύπου, είναι η «**γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου**», έχοντας τέσσερις πυλώνες και η απόσταση μεταξύ των πυλώνων είναι πεντακόσια εξήντα μέτρα και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη γέφυρα αυτού του τύπου στο κόσμο.

Τέτοιου είδους γέφυρες επιβάλλονται κυρίως, για κατασκευές που απαιτούν μεγάλα ανοίγματα ναυσιπλοΐας, για περιβαλλοντικούς λόγους και σε μεγάλα βάθη με ακριβές θεμελιώσεις καθώς και σε υποθαλάσσιες κατασκευές. Οι καλωδιωτές αυτές γέφυρες καλύπτουν ανοίγματα από διακόσια πενήντα μέτρα έως και εννιακόσια μέτρα περίπου. Η τεχνολογία των καλωδιωτών γεφυρών είναι η εξέλιξη της εξωτερικής προέντασης. Ο φορέας αναρτάται με κεκλιμένα καλώδια κατευθείαν από τον πυλώνα. Η κατασκευή γίνεται με την μέθοδο της ελεύθερης προβολοδόμησης (παράλληλοι αυτό – αγκυρούμενοι τένοντες). Οι απαιτήσεις αγκύρωσης των πλευρικών καλωδίων είναι σχετικά εύκολη (με άκαμπτο πυλώνα, το σύστημα μπορεί να είναι αυτό – ισορροπούμενο). Όλα αυτά κάνουν την κατασκευή πιο οικονομική και όταν επρόκειτο για πολύ μεγάλα μήκη, μιας και οι **καλωδιωτές με λοξά καλώδια γέφυρες** συνδέονται απευθείας στο κατάστρωμα. Άλλα χαρακτηριστικά τους είναι ότι επειδή είναι αγκυρωμένες εξαρτώνται λιγότερο από εδαφικές συνθήκες. Ωστόσο, το κατάστρωμα πρέπει να μελετηθεί για σημαντικές αξονικές δυνάμεις, λόγω της οριζόντιας συνιστώσας της δύναμης του καλωδίου. Οι καλωδιωτές γέφυρες μπορεί να χρησιμοποιηθούν μόνο με ένα κατάστρωμα κατασκευασμένο από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Γενικά, οι καλωδιωτές γέφυρες σχεδιάζονται με πολύ λυγηρά καταστρώματα στηρίζονται από τένοντες, οι οποίοι κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής. Όπως και οι τοξότες γέφυρες με εντατήρες, έτσι και οι καλωδιωτές γέφυρες στην πραγματικότητα συμπεριφέρονται ως ελαστικά στηριζόμενες συνεχείς δοκοί, παρά

σαν κρεμαστές γέφυρες, αν και συχνά θεωρούνται σαν σχετιζόμενες με αυτές. Οι καλωδιωτές γέφυρες παρέχουν μια περισσότερο ή λιγότερο ελαστική στήριξη σε μεμονωμένα σημεία κατά μήκος της δοκού της γέφυρας. Αυτή η ταξινόμηση επιτρέπει σε γέφυρες σημαντικού ανοίγματος να μπορούν να κατασκευαστούν με σχετικά λυγηρές δοκούς. Μόνο κατακόρυφες δράσεις μεταβιβάζονται στα ακρόβαθρα ως αποτέλεσμα των κατακόρυφων φορτίσεων. Οι καλωδιωτές γέφυρες αναπτύχθηκαν τελευταίες από όλους τους τύπους γεφυρών. Δημιουργήθηκαν στη Γερμανία και ακολούθησε ένας μεγαλύτερος αριθμός τέτοιων γεφυρών, με κυριότερες διαφορές στον τύπο των πυλώνων και το σχεδιασμό των καλωδίων.

Η Γέφυρα «Ρίου-Αντιρρίου» (Εικόνα 16.) είναι μια σύγχρονη καλωδιωτή γέφυρα, βρίσκεται στη Ελλάδα και ολοκληρώθηκε η κατασκευή της το 2004 έχει μήκος 2,920 χιλιόμετρα και το κόστος κατασκευής της ανέρχεται στο ένα δισεκατομμύριο δολάρια. Η συγκεκριμένη γέφυρα συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση των δεσμών της Δυτικής Ελλάδας με την υπόλοιπη χώρα, επιτρέποντας στην Πάτρα να αποτελέσει το δυναμικό μητροπολιτικό κέντρο μιας ευρύτερης περιοχής. Διευκολύνει την επικοινωνία της Ελλάδας με την Ιταλία και την υπόλοιπη Δυτική Ευρώπη, μέσω των λιμανιών της Πάτρας και της Ηγουμενίτσας. Ερχόμενη τώρα στο κατασκευαστικό κομμάτι αποτελείται από τρία κεντρικά ανοίγματα των 560 μέτρων και δυο πλευρικά των 260 μέτρων. Το καλωδιακό τμήμα της αναρτάται από τέσσερις πυλώνες από σκυρόδεμα, οι οποίοι υψώνονται εκατόν εξήντα μέτρα επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 5.16. Η Γέφυρα «Ρίου-Αντιρρίου» (Ρίο- Αντίρριο, Ελλάδα)

Τα θεμέλια των πυλώνων, έχουν διάμετρο 90 μέτρα και επικάθονται στον βυθό της θάλασσας σε βάθη μεταξύ 50 και 60 μέτρων, καθώς και σε έδαφος που ενισχύθηκε εκ των προτέρων με τοποθέτηση περίπου 500 μεταλλικών σωλήνων δημιουργώντας μια σύνθετη κατασκευή από προκατασκευασμένα τμήματα από χάλυβα και σκυρόδεμα, τα οποία τοποθετούνται σε πρόβολο συμμετρικά στις δυο πλευρές του κάθε πυλώνα και αναρτώνται με καλώδια ανάρτησης. Τα καλώδια ανάρτησης αποτελούνται από γαλβανισμένα συρματόσχοινα με πολλαπλή αντιδιαβρωτική επένδυση και το σύστημα τους επιτρέπει την ανεξάρτητη ρύθμιση του κάθε καλωδίου κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, χωρίς διακοπή της κυκλοφορίας.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τις συμβατικές υποχρεώσεις η γέφυρα θα παραμένει σε λειτουργία κατά τη διάρκεια αντικατάστασης ενός καλωδίου, ενώ θα έχει περιορισμένες τοπικές βλάβες σε περίπτωση ατυχηματικής φόρτισης που θα έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή δυο συνεχόμενων καλωδίων. Όσο αφορά τώρα την επιλογή των τσιμέντων, των αδρανών, των βασικών παραμέτρων των συνθέσεων σκυροδέματος αλλά και της επικάλυψης έχουν ως βασικό σκοπό την πλήρωση αυτής της ανθεκτικότητας. Χρησιμοποίησαν έτσι σκυρόδεμα υψηλής αντοχής. π.χ. C60/70. Η επικάλυψη στις ζώνες υψηλού κινδύνου θα πρέπει να είναι $c=10\text{cm}$, χωρίς όμως να παρουσιάζεται επιδερμική ρηγμάτωση.

Από άποψη συνθηκών κατασκευής αυτή η γέφυρα είναι μοναδική στον κόσμο εξ' αιτίας του εξαιρετικού συνδυασμού του μεγάλου βάθους, των στρωμάτων ιλύος του εδάφους θεμελίωσης, της υψηλής σεισμικότητας της περιοχής και της πιθανότητας τεκτονικών μετακινήσεων. Η γέφυρα αυτή έχει το μεγαλύτερο μήκος καλωδιωτού φορέα στον κόσμο και τα θεμέλια της είναι τα μεγαλύτερα που κατασκευάστηκαν ποτέ για θεμελίωση γέφυρας. Τέλος για την κατασκευή της συνδυάστηκαν οι πιο πρόσφατες τεχνολογίες στον τομέα της κατασκευής εξέδρων ανοιχτής θαλάσσης από σκυρόδεμα και των μεγάλων καλωδιωτών ανοιγμάτων.

Παραδείγματα περισσότερων γεφυρών ακολουθούν στο **Παράρτημα#13,14,15,16,17**

5.6 Σύνοψη

Μεταβαίνοντας τέλος σε αυτή την ενότητα θα συνοψίσουμε το κεφάλαιο με τη χρήση πινάκων οι οποίοι θα εμπεριέχει όλα όσα έχουμε αναφέρει προηγουμένως.

	ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ
ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Ο άνθρωπος «γεωργός» - γίνεται άνθρωπος «μηχανικός». - Αρχή της εποχής του σιδήρου, χάλυβα και σκυροδέματος. - Γρήγοροι ρυθμοί εξέλιξης και ανάπτυξης των χωρών καθώς και επέκταση του παγκόσμιου εμπορίου. - Χρήση του αυτοκινήτου ως το κυριότερο μέσο μεταφοράς των ανθρώπων και διακίνησης αγαθών.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Χυτοσίδηρος. - Σφυρήλατος σίδηρος. - Χάλυβας. - Σκυρόδεμα. - Άσφαλτος οδοστρωσίας.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<p><i>* οι μέθοδοι κατασκευής είναι διαφορετικοί για κάθε τύπο γέφυρας και θα τους αναλύσουμε ξεχωριστά στον επόμενο πίνακα.</i></p>
ΤΥΠΟΙ ΓΕΦΥΡΩΝ	<ul style="list-style-type: none"> - Γέφυρες μορφής δοκού. - Σιδηρές γέφυρες. - Πλαισιωτές γέφυρες. - Κινητές γέφυρες. - Πεζογέφυρες. - Κρεμαστές γέφυρες με κάθετα καλώδια. - Κρεμαστές γέφυρες με λοξά καλώδια (καλωδιωτές).

ΓΕΦΥΡΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΜΟΡΦΗΣ ΔΟΚΟΥ	<ul style="list-style-type: none"> - Μόρφωση των δοκών ενός ανοίγματος με παράλληλα πέλματα. - Μόρφωση συνεχών δοκών με παράλληλα πέλματα. - Μόρφωση δοκών με ενισχύσεις στις ευθυγραμίες και στα κυρτώματα των γεφυρών. - Μόρφωση πλακοειδών δοκών που συγκολλούνται με ένα λεπτό κορμό ο οποίος μπορεί να έχει εγκάρσιες ή διαμήκεις ενισχύσεις. - Κατασκευή αντιανέμιων(παρέχουν πλευρική ευστάθεια στους δοκούς).
ΣΙΔΗΡΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή βάθρων(ακρόβαθρων – μεσόβαθρων). - Δημιουργία σταθερών και κινητών εφεδράνων. - Κατασκευή των δοκών καθώς και του επιστρώματος του καταστρώματος. - Δημιουργία τόξων, με σκοπό την ανάληψη φορτίων από ένα τόξο το οποίο συμπεριφέρεται παρόμοια με ένα καμπυλωμένο άνω πέλμα δικτύωματος, ενώ η δοκός του καταστρώματος λειτουργεί σαν πέλμα. - Ανάρτηση της πλάκας του καταστρώματος με δυο παράλληλες τοξωτές αντήριδες.
ΠΛΑΙΣΙΩΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Άκαμπτη σύνδεση της δοκού της γέφυρας με τα τοιχώματα των ακρόβαθρων ή μεσόβαθρων. - Πάκτωση του άκρου της δοκού – μείωση ροπών με δύσκαμπτα βάθρα ή στύλους. - Κατασκευή πλαισίων, τριαρθρωτών, έκκεντρων τριαρθρωτών, αμφίδιαθρωτων, με ή χωρίς προεντεταμένο ελκυστήρα, διορθωτών με πτερύγια και με κατακόρυφους ή λοξούς στύλους, πολύστυλα πλαίσια. - Μέθοδος κατασκευής των βάθρων με επιτόπια σκυροδέτηση. - Μέθοδος προώθησης της δοκού πάνω στον άξονα της γέφυρας ανάμεσα στο κενό των μεσόβαθρων.
ΚΙΝΗΤΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Μέθοδος κατασκευής ίδια με τις σιδηρές η μόνη διαφορά είναι ότι τα κινητά τους τμήματα περιστρέφονται κατά τον κατακόρυφο άξονα ή στον οριζόντιο και ανυψώνονται ή χαμηλώνουν προς το μέρος των βάθρων με τη βοήθεια διαφόρων μηχανισμών.
ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΕΣ	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή θεμελίωσης στο χώρο κατασκευής της γέφυρας. - Παράλληλη κατασκευή του μελλοντικού φορέα αναδόμησης και του πυλώνα σε εργοστάσιο. - Μεταφορά του φορέα στην περιοχή που γίνεται το έργο.

	<ul style="list-style-type: none"> - Ανέργηση και τοποθέτηση του φορέα αναδομής στην τελική του θέση. - Τοποθέτηση κλιμακοστασίου κυλιόμενων κλιμάκων, ανελκυστήρα. - Τοποθέτηση του πυλώνα στην τελική του θέση. - Ανάρτηση καλωδίων και προένταση αυτών. - Σκυροδέτηση της πλάκας του καταστρώματος. - Διευθέτηση χώρου και δημιουργία νέων εισόδων.
ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΜΕ ΚΑΘΕΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	<ul style="list-style-type: none"> - Κατασκευή των θεμελίων των βάθρων με χρήση πασσάλων μεγάλης διαμέτρου, ή με τη κατασκευή διαφραγματικών τοίχων. - Κατασκευή του καταστρώματος χωριστά από τη κατασκευή των καλωδίων, με δυσκολία όμως στην αγκίστρωση των κεντρικών καλωδίων.
ΚΡΕΜΑΣΤΕΣ ΜΕ ΛΟΞΑ ΚΑΛΩΔΙΑ(ΚΑΛΩΔΙΩΤΕΣ)	<ul style="list-style-type: none"> - Λιμενικά έργα: εκσκαφές, ενίσχυση υπεδάφους με πασσάλους, επίχωση πυθμένα για τη δημιουργία της επιφάνειας έδρασης του βάθρου με διάστρωση μιας ελεγχόμενης διαβάθμισης αδρών υλικών. - Κατασκευή πελμάτων- βάθρων και καταπόντιση στην τελική θέση θεμελίωσης. - Ολοκλήρωση της κατασκευής των πυλώνων. - Προκατασκευή τμημάτων του σύμμεικτου φορέα στη ξηρά. - Πλωτή μεταφορά και ανάρτηση των τμημάτων του φορέα με τη μέθοδο της αμφίπλευρης προβολοδομής. Μέσα σε αυτή τη διαδικασία περιλαμβάνεται και η τάνυση των καλωδίων. - Τέλος ολοκλήρωση της γέφυρας με υδατοστεγάνωση, αρμούς, στηθαία, οδοστρωσία κ.λπ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Πριν από δυο χιλιάδες χρόνια λοιπόν παρατηρήσαμε τους Ρωμαίους να ανακαλύπτουν ότι οι θόλοι στηρίζουν τα αδύναμα σημεία στην απόσταση μεταξύ των δυο υποστηριγμάτων της γέφυρας και ότι ένα νέο μείγμα ασβεστόλιθου και άμμου μπορούσε να συγκρατήσει την κατασκευή. Ερχόμενη τώρα στο σήμερα, μια έκρηξη νέων σχεδίων και υλικών συνιστά την Τρίτη χρυσή εποχή των κατασκευών γεφυρών. Καλωδιωτές γέφυρες που μεταφέρουν το βάρος πάνω στην πλατφόρμα σε πυλώνες μέσω ελαστικών μεταλλικών σχοινιών.

Το παραπάνω παράδειγμα μπορεί να γίνει η αφορμή για να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα. Το οποίο θα βγει ξεχωριστά μέσα από την μετάβαση μας από την προϊστορία μέχρι σήμερα, σε σχέση με τους εξελικτικούς παράγοντες, τα υλικά καθώς και τους μεθόδους κατασκευής των γεφυρών.

Αρχίζοντας από τους παράγοντες που συνέβαλλαν στην εξέλιξη της γεφυροποιίας παρατηρούμε ότι ενώ στην αρχή η μόνη χρήση της γέφυρας ήταν η διαπέραση ενός ποταμού, ή ενός εμποδίου στη συνέχεια με την ανάπτυξη του εμπορίου, με την μετακίνηση του στρατού και των πληθυσμών, έτεινε να γίνει απαραίτητη σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του οδικού δικτύου. Από τότε λοιπόν μέχρι και σήμερα οι ανάγκες του ανθρώπου αυξήθηκαν καθώς και το βιοτικό επίπεδο ανέβαινε μαζί με την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις που επιβάλλουν οι σύγχρονες κυρίως κοινωνικοοικονομικές ανάγκες να είναι καλύτερα και ασφαλέστερα συγκοινωνιακά δίκτυα. Με άλλα λόγια ο άνθρωπος προσάρμοζε κάθε φορά και τις γέφυρες στην κάλυψη των αναγκών του σε τέτοιο σημείο όπου τα τελευταία χρόνια γίνονται ακόμη μελέτες για κατασκευή γεφυρών με τη χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας. Η επιστήμη έτσι της γεφυροποιίας εξελίσσεται σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μιλάμε για αρχιτεκτονικές λύσεις οι οποίες εναρμονίζονται τέλεια με τον περιβάλλοντα χώρο σεβόμενη την αισθητική του και πάντα όσο είναι δυνατό πιο φιλικές προς το περιβάλλον εξυπηρετώντας ταυτόχρονα στο έπακρο τις ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου.

Ερχόμενη τώρα στα υλικά κατασκευής, σύμφωνα με τη μελέτη μας διαπιστώνουμε ότι μέχρι τη βιομηχανική επανάσταση κυρίαρχο υλικό ήταν οι φυσικοί λίθοι και το ξύλο, τα οποία αντικαταστήθηκαν από το σίδηρο σε όλες τις μορφές του και το σκυρόδεμα. Ενώ αργότερα μέχρι και σήμερα κάνει την εμφάνιση του ο χάλυβας που θεωρείται πλέον, ως το πιο οικολογικό δομικό υλικό και μέσα από την ανακύκλωση του έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμη οι ιδιότητες αυτού του υλικού επιτρέπουν την κατασκευή φορέων μεγάλων ανοιγμάτων με μειωμένο βάρος. Όλη αυτή η πρόοδος της τεχνολογικής των υλικών, αλλά και της καλύτερης γνώσης τους είχε ως επακόλουθο την δημιουργία ολοένα και πιο καλύτερων συγκοινωνιακών δικτύων και τη γελοιοποίηση ολοένα και μεγαλύτερων ανοιγμάτων.

Όσο αφορά τώρα τους μεθόδους κατασκευής έχουμε την αντικατάσταση των τόξων από καλωδιωτές ή πλαισιωτές γέφυρες οι οποίες κατασκευάζονται κυρίως για μεγάλα ανοίγματα. Ακόμη πριν κάθε έργο έχουμε την σύνταξη της μελέτης με σκοπό την εύρεση του είδους της κατασκευής καθώς και των υλικών.

Κλείνοντας λοιπόν αυτή τη «μεταφορά» μας στη γεφυροποιία από την προϊστορία μέχρι και σήμερα, θα συμφωνήσουμε με τους Γάλλους, οι οποίοι όταν μιλάνε για γέφυρες μιλάνε για «*ouvrages d'art*» δηλαδή για «έργα τέχνης» που στην επιβλητική παρουσία τους υποκλινόμαστε στα δημιουργήματα των ανθρώπων.



Βάγιας Ι.- Βαλαμόντες Γ.- Γούλης Γ.- Ιωαννίδης Γ.- Ερμόπουλος Ι.-Καραμάνος Α.- Σκαρλάτος Μ, “Μετάφραση Διάλεξης με θέμα Σιδηρές Κατασκευές, Εισαγωγή στο Σχεδιασμό”, Εκδόσεις ΤΕΕ Ελλάδος.

Γαλερίδης Α.- Κάλφα Β.- Μακρής Κ.- Παπαγεωργίου Β.- Πυργιώτης Γ.- Σπανός Κ. (2001), “Τα πέτρινα γεφύρια της Θεσσαλίας”, Εκδόσεις ΤΕΕ Ελλάδας.

“**Δέκατο τέταρτο Συνέδριο Σκυροδέματος τόμος Γ**”, (2003), Εκδόσεις ΤΕΕ Κως.

Ερμόπουλος Ι. (2004), “Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες” – (Ανάλυση και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1- 8), Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Ευρωκώδικας δεύτερος, “Κατασκευές από σκυρόδεμα” (μέρος 2), Ευρωπαϊκό Δοκιμαστικό πρότυπο.

Ζουμπουλάκης Ε. (1987), “Εποπτική” - τόμος 4, Εκδόσεις Άτλας, Αθήνα.

“**Κοσμική Μεσαιωνική - Αρχιτεκτονική στα Βαλκάνια (1300-1500)**”, Γ΄ Έκδοσης (1999), Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσ/νίκη.

Κωστέας Α. (1972), “ Σιδηρά Γέφυρες” ,Έκδοση 5, Εκδότης τεχνικές επιστήμες.

Μακρής Γ. (2004), “Οι Γέφυρες στην Αρχαία Ελλάδα”, Εκδόσεις Αίολος, Αθήνα.

Παπανικόλας Π. (2008), “ Τεχνικά γεφύρωσης διαύλων κνημίδας και ωρέων”, ΤΕΕ Ελλάδας.

Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα - τόμος 16, (1984), Αθήνα.

“ **Ποτάμια και γιοφύρια της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης**”, (Απρίλιος 2009) ,Εργασία Β΄ τάξης 2^{ου} Πειραματικού Γυμνασίου Θεσσαλονίκης.

“ **Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας**”, (2007), Έκδοση του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Κέντρο περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης του Δήμου Μακρινίτσας.

National geographic (2005), “Γέφυρα Ρίου Αντιρρίου”.

National Geographic Society (1999), “Τα μεγάλα Έργα της Ιστορίας”, ελληνική έκδοση Δημόσιος Οργανισμός Λαμ πράκη.

Angia S. - Faraggiana G. (2004), “ Γέφυρες”, Εκδόσεις Καρακώτσογλου.

European Steel Design Education Program (1995), Αθήνα.

Roland Goock (2000), “Τα θαύματα του Κόσμου μας”, Εκδόσεις Ι. Δ. Αρσενίδης & ΣΙΑ.

Leonnardt F. (1980), “Ολόσωμες κατασκευές-Ολόσωμες γέφυρες”, Εκδότης Μ. Γκιούρδας, Μέρος 6, Αθήνα.

Lestie A. - Herbert C.- Kostxal R. (1998), “ The Wonders of the Word”, “Τα θαύματα του Κόσμου”, Ελληνική έκδοση, Δημοσιογραφικός Οργανισμός Λαμπράκη.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- <http://www.tmth.edu.gr/aet/thematic-areaslp546.html>.
(Η πύλη της Αρχαίας Ελληνικής επιστήμης και τεχνολογικής διαδρομής από τους Προϊστορικούς χρόνους μέχρι τα Βυζαντινά χρόνια και συγκεκριμένα αναφορά σε γέφυρες της αρχαιότητας.)
- <http://gefires.blogspot.com/>
(Παρουσιάζει ιστορικά στοιχεία για την γεφυροποιία, καθώς και είδη και τύπους γεφυρών).
- <http://www.fotosearch.gr>
(Φωτογραφίες γεφυρών από όλο τον κόσμο).
- <http://www.buildnet.gr>
(Κατασκευές, σπιτιών, γεφυρών, έργων οδοποιίας κ.λπ.).
- <http://www.eurytan.gr/selideso/gefiria.1htm>.
(Πέτρινα Ελληνικά γεφύρια).
- <http://www.petrinagefiria.uoi.gr>.
(Πέτρινα γεφύρια της Ηπείρου: γεφύρια του Νομού τρόπος κατασκευής, φωτογραφίες).
- <http://www.e-erevna.gr/portal/story.aspx?ID=39454>.
(Η ιστορία της γεφυροποιίας, άρθρο του Αποστόλη Ζώη στην ηλεκτρονική εφημερίδα « Η ΕΡΕΥΝΑ»).
- <http://sfrang.com/historis/selida423.htm>.
(Ιστορία της τεχνολογίας των γεφυρών).
- <http://www.e-erevna.gr/story.aspx?id=23636>
(Ιστορική εξέλιξη των γεφυρών από το παρελθόν μέχρι σήμερα).
- <http://sfrang.com/historis/selida622.htm>.
(Ιστορία της τεχνολογίας των γεφυρών, Αναγέννηση- Διαφωτισμός).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ

1). Η Γέφυρα της «Άσσου»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Άσσος / Μικρά Ασία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	4 ^{ος} π.Χ. αιώνα
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι, Ξύλα
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Λίθινη γέφυρα

Η γέφυρα της Μικρασιατικής Άσσου(Εικόνα 1), που βρίσκεται στην Τρωάδα, στη βόρεια ακτή του Αδριαμυτινού κόλπου, αποτελεί το αντιπροσωπευτικότερο δείγμα Ελληνικής γέφυρας των προρωμαϊκών χρόνων, κτίστηκε τον 4^ο π.Χ. αιώνα και βρίσκεται μπροστά σε μια πύλη, έξω από τα τείχη της πόλης. Η κατασκευή αυτή είναι η κορύφωση των τεχνικών λύσεων και της αισθητικής διεύθετης για αυτή τη κατηγορία γεφυρών. Το σωζόμενο τμήμα, μήκους 52 μέτρων, γεφύρωνε την πλακοστρωμένη περιοχή υπερχειλίσσης του Σατνιόντος ποταμού. Καθένας από τους δεκαπέντε ρομβοειδείς πεσσούς (μεσόβαθρα) μήκους 3,60 μέτρων, πλάτους ενός μέτρου και ύψους άνω των 2,50 μέτρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κατά διαστήματα 2,70 έως 3,73 μέτρων αποτελείται από δύο αντιθετικά συνενωμένους τριγωνικούς υδατοθραύστες. Η σταθερή κατακόρυφη σύνδεση των δομών εξασφαλίστηκε με βαθμιδωτούς οριζόντιους αρμούς. Τέσσερις έως έξι λίθινες δοκοί, πλάτους 0,44 έως 0,46 μέτρων και ύψους 0,34 μέτρων συνδεδεμένες με ξύλινους πελεκίνους κάλυπταν τα ανοίγματα. Επειδή η γέφυρα δεν διέσχισε τον ποταμό κατ' ορθή γωνία αλλά με παρέκκλιση οκτώ μοιρών, τα στενά άκρα των δοκών ήταν κομμένα λοξά ώστε να εξασφαλίζεται ευθύγραμμος εγκάρσιος αρμός.

Η γέφυρα της Άσσου θυμίζει έντονα τη γέφυρα του Ναβουχοδονόσωρ στη Βαβυλώνα που ήδη έχουμε περιγράψει, η οποία όμως (όπως και οι υπόλοιπες Ελληνικές γέφυρες) είχε ξύλινο κατάστρωμα, ενώ η γέφυρα της Άσσου είχε λίθινο κατάστρωμα που στηρίζονταν σε λίθινες δοκούς διαστάσεων 0,45×0,34×3,73 μέτρα. Καθεμία από αυτές ζύγιζε 1.600 κιλά.

Ο τύπος αυτός της γέφυρας, αν και επιλύει οριστικά το θέμα της γεφύρωσης των μικρού και μέσου μήκους και βάθους ποταμών, αντιμετωπίζει πρόβλημα από τους περιορισμούς που επιβάλλει το οριζόντιο κατάστρωμά της. Το λίθινο κατάστρωμα δημιουργούσε πολλά προβλήματα στην κατασκευή του καθώς δεν ήταν εύκολο να βρεθούν λίθινες δοκοί μεγαλύτερες από τρία ή τέσσερα μέτρα.

Αυτό, όπως ήταν φυσικό, ανάγκαζε τους γεφυροποιούς να κατασκευάζουν πολλά μεσόβαθρα. Στην περίπτωση της γέφυρας της Άσσου η απόσταση μεταξύ των μεσόβαθρων ήταν 2,70 έως 3,73 μέτρα.

Τα βάθρα αυτά θεμελιωμένα αρκετά επιφανειακά πάνω στα σκληρά στρώματα της κοίτης, κινδύνευαν να παρασυρθούν από την ορμή του νερού κατά τις μεγάλες πλημμύρες, παρά το τέλειο υδροδυναμικό σχήμα ρομβοειδής κάτοψης που παρουσίαζαν.

Τέλος η γέφυρα του τύπου της Άσσου ήταν έργο μεγάλης καλλιτεχνικής προσπάθειας και κατασκευάζονταν στους μεγάλους δρόμους. Εκεί δηλαδή που παρατηρούνταν αυξημένη κυκλοφορία πεζών, στρατιωτών και μεταφορικών μέσων (υποζυγίων, αμαξών) με τα οποία μετακινούνταν ταξιδιώτες και αγαθά.



Εικόνα 1. Η γέφυρα της «Άσσου» (αναπαράσταση),(Άσσος, Μ. Ασία)

II. ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

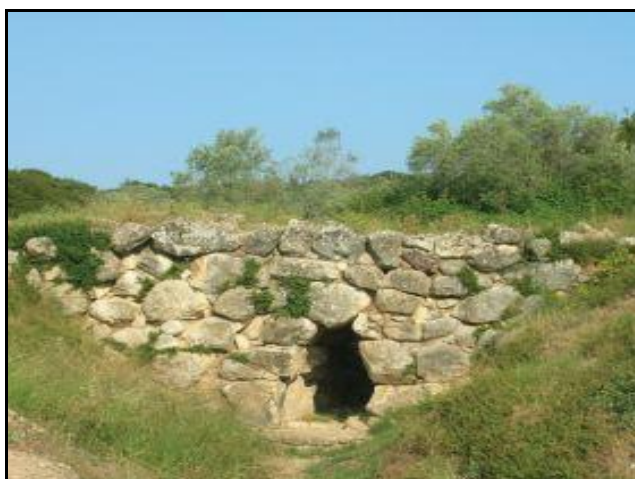
2). Η Γέφυρα της «Καζάρμας»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	N. Αργολίδος/ Ελλάδα
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1300 π.Χ.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Μονότοξη λίθινη γέφυρα

Η Μυκηναϊκή «*γέφυρα της Καζάρμας*» (Εικόνα 2) είναι κατασκευασμένη με μεγάλες ακατέργαστες ασβεστολιθικές πέτρες με τον χαρακτηριστικό Μυκηναϊκό (κυκλώπειο) τρόπο κατασκευής χωρίς τη χρήση συνδετικού υλικού.

Πρόκειται για χαρακτηριστική μνημειακή κατασκευή της Μυκηναϊκής Εποχής. Έχει μήκος 22 μέτρα, πλάτος 5,6 μέτρα και ύψος 4 μέτρα. Χαρακτηριστικό στοιχείο της Μυκηναϊκής αυτής γέφυρας, είναι η λοξή σφήνα που συγκρατεί τα τοιχώματα της *τριγωνικής διόδου* στη θέση τους.

Η γέφυρα της Καζάρμας κατασκευάστηκε κατά την Μυκηναϊκή εποχή, γύρω στο 1300 π.χ. και βρίσκεται κατά μήκος ενός Μυκηναϊκού δρόμου που συνέδεε τις Μυκήνες και την Τίρυνθα με την Επίδαυρο. Θεωρείται η αρχαιότερη διατηρημένη γέφυρα της Ευρώπης και η αρχαιότερη μονότοξη γέφυρα που παραμένει μέχρι σήμερα σε χρήση, καθώς η Μυκηναϊκή αυτή γέφυρα χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα από τους κατοίκους της περιοχής.



Εικόνα 2. Γέφυρα της «Καζάρμας», (N. Αργολίδος, Ελλάδα)

III. ΑΡΧΑΙΑ ΡΩΜΗ

3). «San Angelo bridge»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Ρώμη / Ιταλία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	174 μ.Χ.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι), Ρωμαϊκό σκυρόδεμα, Ποζολάνι.
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Τοξωτή λίθινη γέφυρα

Μια ακόμη αξιόλογη κατασκευή αυτής της περιόδου είναι η γέφυρα «*San Angelo*» (Εικόνα 3). Ήταν δημιούργημα του αυτοκράτορα και αρχιτέκτονα *Αδριανού* και ολοκληρώθηκε το 174 μ.Χ. Τη σχεδίασε ο ίδιος και κατασκευάστηκε για να ενώσει την πόλη με το μαυσωλείο που βρισκόταν στην άλλη όχθη του Τίβερη. Η γέφυρα ανακαινίστηκε σε μεγάλο βαθμό δομικός και αισθητικός. Από τις πέντε αψίδες ίσου ανοίγματος που είναι ορατές σήμερα, μόνο οι τρεις κεντρικές είναι αυθεντικές. Οι άλλες αντικατέστησαν πέντε μικρότερες και διαφορετικά σχεδιασμένες αψίδες που υποστήριζαν ασύμμετρα κεκλιμένα επίπεδα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα έργα που έγιναν τον 17^ο αιώνα στην οχυρωμένη περίφραξη του φρουρίου *San Angelo* (το φρούριο που χτίστηκε γύρω και επάνω από τον τάφο του *Αδριανού*) τελείωσαν καλύπτοντας το μεγαλύτερο τμήμα του κτίσματος που αποτελούσε τη δεξιά ράμπα, ενώ το νέο στηθαίο και τα δέκα αγάλματα στα βάθρα μετέτρεψαν τη γέφυρα σε ένα από τα πιο διάσημα μνημεία της Ρώμης.



Εικόνα 3. «San Angelo bridge», (Ρώμη / Ιταλία)

4). Η «Ρωμαϊκή γέφυρα της Πάτρας»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Πάτρα / Ελλάδα
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	2 ^{ος} με 3 ^{ος} αιώνα μ.Χ.
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθοι, πωρόλιθοι),
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Τοξωτή λίθινη γέφυρα

Στο σημείο αυτό θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθούμε στη Ρωμαϊκή γέφυρα Πατρών, καθώς αποτελεί την καλύτερα σωζόμενη Ρωμαϊκή γέφυρα που υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα. Η Ρωμαϊκή γέφυρα της Πάτρας (*Εικόνα 4.*) (γέφυρα του *Μειλίχου*) εντοπίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980, κατά τις εκσκαφές που γινόταν για την οικοδόμηση ιδιωτικής οικίας. Η γέφυρα κατασκευάστηκε το 2^ο με 3^ο αιώνα μ.Χ. στον ποταμό *Καλλίνας*. Ήταν ενταγμένη στον επαρχιακό δημόσιο δρόμο που συνέδεε την Πάτρα με το Αίγιο. Ο χαλικοστρωμένος δρόμος, στο τμήμα που διέρχεται πάνω από τη γέφυρα, είναι στρωμένος με πλάκες, στις οποίες διατηρούνται οι αυλακιές (αρματοτροχιές) που δημιούργησαν κατά την πυκνή διέλευσή τους τα τροχοφόρα οχήματα της εποχής.

Στο τμήμα αυτό, δεξιά και αριστερά, υπάρχει χαμηλό στηθαίο για την προστασία των διερχόμενων, χτισμένο από *οπτόπλινθους* και αρχιτεκτονικά μέλη σε δεύτερη χρήση. Από οπτόπλινθους είναι κατασκευασμένη και η ίδια η γέφυρα, ενώ οι *πεσσοί*²⁰ της, μέχρι τη γένεση των καμαρών, είναι λιθόκτιστοι.

Για την εξυγίανση της κοίτης του ποταμού και την ασφαλή θεμελίωσή της στρώθηκαν αρχιτεκτονικά μέλη παλιότερων κατεστραμμένων κτιρίων (κίονες, λιθόπλινθοι).

Η γέφυρα αυτή αντικατέστησε μια άλλη παλιότερη του 1^{ου} αιώνα μ.Χ., που διατηρείται λίγο νοτιότερα και είναι αρκετά μικρότερη, κατασκευασμένη από *πωρόλιθους*. Μετά την κατασκευή της νέας γέφυρας μίκρυνε το άνοιγμα της παλαιάς, ώστε να διέρχεται μικρότερη ποσότητα νερού, πιθανώς για την άρδευση της περιοχής. Επιπλέον, χτίστηκαν και τοίχοι εγκιβωτισμού της κοίτης του ποταμού.

Για την παλιότερη γέφυρα, σύμφωνα με τιμητική επιγραφή που βρέθηκε στην κοίτη θεμελίωσης της νέας γέφυρας, τη δαπάνη είχε αναλάβει ο *Μεσατεύς Αρτέμιος*, που συνένωσε έτσι την Πάτρα με την ιδιαίτερη πατρίδα του τη *Μεσάτι*. Μερικούς αιώνες αργότερα, ύστερα από μια φοβερή πλημμύρα, η κοίτη του ποταμού καταχώθηκε ολοσχερώς, και διανοίχθηκε νέα νοτιότερα. Παρόλα αυτά, αν και οι γέφυρες καταχώθηκαν, ο δρόμος επάνω από αυτές εξακολούθησε να είναι σε χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα.

²⁰ Έτσι ονομάζεται κάθε μία από τις κολώνες που στηρίζουν το θόλο.



Εικόνα 4. Ρωμαϊκή γέφυρα της Πάτρας.

Σε πρόσφατη ανασκαφή (έγινε το 2001) εντοπίστηκε η παλαιά κοίτη του ποταμού, που αντιστοιχούσε στη γέφυρα καθώς και ο τοίχος εγκιβωτισμού της νότιας όχθης του. Διαπιστώθηκε έτσι ότι μετά τον εγκιβωτισμό η κοίτη του ποταμού διευθετήθηκε απολύτως ευθύγραμμη. Η νοητή προέκτασή της εκβάλλει στην παραλιακή περιοχή Καβούρι, δίπλα στο έλος της Αγυιάς, στο οποίο κατέληγε πιθανότατα πριν από τα ιστορικά χρόνια. Η αρχική απόσταση των 100 μέτρων μεταξύ παλαιάς και νέας κοίτης φθάνει στις εκβολές στα 1.200 μέτρα.

IV. ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΗ ΔΥΣΗ – ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΒΥΖΑΝΤΙΟ

5). Η Γέφυρα «Μοσχολουρίου»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Θεσσαλία / Ελλάδα
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	<i>Μεταξύ 12^{ου} και 15^{ου} αιώνα.</i>
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι (ασβεστόλιθος, πωρόλιθος)
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Τοξωτή γέφυρα

Η «*γέφυρα Μοσχολουρίου*» (Εικόνα 3.) στον ποταμό Σοφαδίτη στη περιοχή της Θεσσαλίας, πιθανά κατασκευάστηκε επί Σαρακηνών κατά τη Βυζαντινή περίοδο, μεταξύ 12^{ου} και 15^{ου} αιώνα. Το 1952 μ.Χ. πήρε τη μορφή που έχει σήμερα κατόπιν εργασιών ανακαίνισης, διαπλάτυνσης του καταστρώματος και επιμήκυνσης της με την κατασκευή του τρίτου τόξου. Το γεφύρι σήμερα, είναι τρίτοξο με ημικυκλικής μορφής ανοίγματα και με δύο ανακουφιστικά ανοίγματα στα μεσόβαθρα της ίδιας μορφής.

Αρχικά κατασκευάστηκε με δύο τόξα μήκους 10,80 μέτρα και ύψους από την κοίτη του ποταμού 6,20 μέτρα και 7,20 μέτρα. Τα τόξα έχουν διπλό διάζωμα πλάτους

0,50 μέτρα, το πάνω που είναι και φέρων και 0,20 μέτρα το πάνω. Το κλειδί του κάτω διαζώματος έχει πλάτος 0,55 μέτρα. Τα ανακουφιστικά ανοίγματα έχουν πλάτος 1,80 μέτρα και ύψος 3,00 μέτρα. Τα μεσόβαθρα έχουν πλάτος 4,00 μέτρα και ύψος 2,70 μέτρα. Ο φορέας έχει πλάτος 4,20 μέτρα και το κατάστρωμα 4,80 μέτρα. Τα διαζώματα του γεφυριού είναι κατασκευασμένα από πωρόλιθο και τα υπόλοιπα τμήματα της γέφυρας είναι κατασκευασμένα από ασβεστόλιθο σε μορφή οριζόντων αρμών. Το τρίτο άνοιγμα και το στηθαίο είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα και προστέθηκαν στη γέφυρα το 1952. Η αρμολόγηση έγινε με τσιμεντοκονία. Το γεφύρι είναι συνδεδεμένο με θρύλους και παραδόσεις του τόπου, με ιστορικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στην περιοχή και με την καθημερινή ζωή των κατοίκων.



Εικόνα 5. Η Γέφυρα «Μοσχολουρίου» (Θεσσαλία, Ελλάδα)

6). «Old London bridge»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Λονδίνο / Μ. Βρετανία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1209
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Ξύλο, λίθοι, κονίαμα(άχυρου-κοπριάς)
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Οξυκόρφου τόξου

Μια ακόμη γέφυρα αυτής της περιόδου είναι και η Παλιά γέφυρα του Λονδίνου η ονομαζόμενη «Old London Bridge»(Εικόνα 6).

Η παλιά γέφυρα του Λονδίνου μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως «θαύμα της εποχής». Χτισμένη το 1209 ήταν στην πραγματικότητα η πρώτη μεγαλύτερη πέτρινη γέφυρα του κόσμου. Το 1212 όμως υπέστη την μεγαλύτερη καταστροφή όλων των εποχών όταν η γέφυρα πήρε φωτιά, με αποτέλεσμα να αποτεφρωθούν εκατοντάδες άνθρωποι, ενώ άλλοι πνίγονταν στο ποτάμι στη προσπάθεια τους να πέσουν για να γλιτώσουν από τη φωτιά. Έχει χαρακτηριστεί ως η μεγαλύτερη απώλεια ζωής ανθρώπων στην ιστορία των γεφυρών. Η τεράστια αυτή γέφυρα είχε πραγματικά κτίρια – κατοικίες και καταστήματα – σε λειτουργία σε ολόκληρο το μήκος της μέχρι το 1750 που ήταν η μόνη διέλευση κατά μήκος του Τάμεση στο Λονδίνο. Στην είσοδο – έξοδο της γέφυρας ήταν μια περιοχή γνωστή ως «Πύλη Προδότες», όπου οι προϊστάμενοι σε αυτά τα σημεία της γέφυρας αποκεφάλιζαν τους υφιστάμενους τους όταν αυτοί θεωρούνταν «προδότες». Αυτή η γέφυρα μετά από όλα αυτά ανακατασκευάζονταν μέχρι και το 1600 λόγω της φωτιάς και στάθηκε πάνω από 600 χρόνια μέχρι που κατεδαφιστική το 1831.

Η μεγάλη αυτή γέφυρα είχε 20 αψίδες(καμάρες), σε σχήμα οξυκόρφου τόξου, η κατασκευή της ήταν από ξύλο και λίθους καθώς και από μείγμα άχυρου και κοπριάς η οποία κάλυπτε τμήμα τοιχοποιίας. Συγκεκριμένα ήταν χτισμένη σε 19 προβλήτες του ποταμού και κάθε προβλήτα διαμορφώνονταν από την οδήγηση ενός δαχτυλιδιού των πασσάλων στη κοίτη του ποταμού, γεμίζοντας το χώρο στο εσωτερικό με μπάζα και στη συνέχεια τοποθετούσαν ένα πάτωμα από δρύινα δοκάρια. Το κατάστρωμα τέλος αποτελούνταν από κτίρια σχεδόν σε ολόκληρο το μήκος της αλλά και από δύο αμυντικούς πύργους, ο ένας κοντά στη νότια ακτή και ο άλλος επέβλεπε μια αμυντική ανυψούμενη γέφυρα για το πέρασμα των πλοίων κοντά στο κεντρικό σημείο της γέφυρας.



Εικόνα 6. «Old London Bridge» (Λονδίνο, Μ. Βρετανία)

7). Η « Γέφυρα της Καρύταινας»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Αλφειός Ποταμός / Ελλάδα
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1500
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Τοξωτή γέφυρα

Η «*γέφυρα της Καρύταινας*»(Εικόνα 7.) κοντά στον Αλφειό ποταμό που κατασκευάστηκε περίπου το 1440 στα χρόνια της Φραγκοκρατίας και επισκευάστηκε σχεδόν ριζικά γύρω στο 1500 από τον τοπικό βυζαντινό άρχοντα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της καθώς και οι διαστάσεις της είναι :

Το μήκος είναι 52,80 μέτρα και πλάτος 3,70 μέτρα, το μέσο ύψος του γεφυριού από τη στάθμη του νερού είναι 9,20 μέτρα. Με την επισκευή προστέθηκε και το εκκλησάκι που σώζεται σφηνωμένο σαν όστρακο στη βάση ενός από τα βάθρα του. Τα παλιά τόξα του γεφυριού διακρίνονται σε ύψος 3,50 μέτρα από τη στάθμη του Αλφειού. Το εκκλησάκι βρίσκεται στο δεύτερο βάθρο και στη δυτική πλευρά του γεφυριού έτσι ώστε να έχει εντοιχισμένο το ιερό το ιερό του στην ανατολή, στη μάζα της τοιχοποιίας του βάθρου. Το ύψος του είναι 7,40 μέτρα από τη στάθμη του

ποταμού και το δάπεδο του σε ύψος 3,50 μέτρα. Η άνοδος γίνεται με μια πολύ στενή πέτρινη κλίμακα με δεκατέσσερα σκαλοπάτια.



Εικόνα 7. «*Η γέφυρα της Καρύταινας*»

Οι εξωτερικές του διαστάσεις είναι 2,70X3,40 μέτρα και εσωτερικά στο ανατολικό τοίχο εγγράφονται δυο κόγχες ισότιμες πολύ κοντά μεταξύ τους. Στεγάζεται με ημικυκλική καμάρα κατά τον άξονα. Το πάχος των βάθρων είναι 5,30X4,20 και τα ανοίγματα των τριών τόξων του περίπου στα 4,50 μέτρα αντίστοιχα. Τα υλικά που χρησιμοποίησαν σε αυτή τη γέφυρα είναι λαξευμένες πέτρες ισοδύναμες με τους ασβεστόλιθους.

8). Η Γέφυρα του «Αγίου Βησσαρίωνα»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Θεσσαλία / Ελλάδα
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1514
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσιικοί λίθοι
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Λίθινη μονότοξη γέφυρα

Η «Γέφυρα του Αγίου Βησσαρίωνα» (Εικόνα 8.) αποτελεί σημαντικό μνημείο όχι μόνο για το Θεσσαλικό αλλά και για τον ευρύτερο Ελληνικό και Βαλκανικό χώρο, λόγω της εντυπωσιακής της μορφής και ευστάθειας, χάρη στην οποία διασώθηκε μέχρι σήμερα. Είναι λιθόκτιστη με συνολικό μήκος 68 μέτρα και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμη μέχρι και σήμερα ως πεζογέφυρα. Έχει κτισθεί, σύμφωνα με εντειχισμένη στο νότιο ακρόβαθρο της επιγραφή, η οποία αναγράφει 1514 μ.Χ. από το μητροπολίτη Λαρίσης Βησσαρίωνα, του οποίου το όνομα είναι συνενδεδυμένο και με μια άλλη μεγάλη λίθινη μονότοξη γέφυρα της περιοχής.



Εικόνα 8. Η Γέφυρα του «Αγίου Βησσαρίωνα» (Θεσσαλία, Ελλάδα)

Το τόξο της γέφυρας έχει άνοιγμα 28,90 μέτρα και ύψος 12,77 μέτρα. Το μικτό πλάτος της ανωδομής είναι 2,70 μέτρα και το καθαρό πλάτος του δαπέδου κυκλοφορίας είναι 2,10 μέτρα. Το ύψος των στηθαίων κυμαίνεται μεταξύ 0,60 μέτρα και 0,90 μέτρα. Η λιθοδομή της γέφυρας είναι από πελεκητούς ασβεστόλιθους και χωρίς επίχρισμα. Τα κονιάματα δόμησης είναι ισχυρό ασβεστοκονίαμα, που έχει ως αδρανές φυσική άμμο με μέγιστη διάμετρο κόκκων έξι χιλιοστά. Στην επιφάνεια κυκλοφορίας, όπως σχεδόν σε όλες τις παλιές λίθινες γέφυρες, σχηματίζονται με λίθους ελαφρές οδοντώσεις, ώστε να διευκολύνεται η διάβαση ανθρώπων και ζώων.

Με την πάροδο του χρόνου η γέφυρα παρουσίασε, ύστερα από πέντε περίπου αιώνες αρκετές ζημιές. Για την αποτροπή ενδεχόμενης κατάρρευσης της έγιναν στην τελευταία πεντηκονταετία ορισμένες εργασίες επισκευής, οι οποίες αναχαίτησαν την εξέλιξη της φθοράς. Μερικές από αυτές ήταν η κατασκευή αντηρίδας στη δυτική πλευρά του βορείου ακρόβαθρου, του οποίου η λιθοδομή παρουσίαζε παραμορφώσεις και έχει μέχρι σήμερα εμφανή δείγματα επισκευών, στην συνέχεια ενίσχυσαν τα ακρόβαθρα με λιθοδομή στη βάση του τοξωτού φορέα και επισκευή μεγάλου μέρους της επιφάνειας κυκλοφορίας η οποία παρουσίαζε τοπικές παραμορφώσεις.

V. ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

9). «Η Μακρά γέφυρα»,(*Uzunkopru*)

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Uzunkopru / Τουρκία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	15 ^{ος} αιώνα- 16 ^{ος} αιώνα
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Λίθινη γέφυρα οξυκόρυφων τόξων

Η «Μακρά γέφυρα» «*Uzunkopru*» στη Τουρκία (Εικόνα 9.), η οποία άρχισε να χτίζεται γύρω στα τέλη του 15^{ου} αιώνα μέχρι τα μέσα του 16^{ου} αιώνα από τον *Asik Pasa Zade* και κάτω από αυτή περνά ο ποταμός *Ergene*.

Με την κατασκευή της συγκεκριμένης γέφυρας η πόλη που υπήρχε εκεί αναπτύχθηκε σε όλους τους τομείς, αλλά ταυτόχρονα δημιουργήθηκε ένα μικρό χωριό από την άλλη πλευρά της γέφυρας. Ερχόμενοι τώρα στα τεχνικά χαρακτηριστικά της, είναι πέτρινη έχοντας 174 οξυκόρυφες αψίδες. Το μήκος της είναι 1392 μέτρα και πλάτος 5,5 μέτρα και στηρίζεται σε μια κομψή σειρά οξυκόρυφων αψίδων. Στην δεξιά και αριστερή πλευρά των αψίδων αυτών παρατηρούμε τις θυρίδες εκτόνωσης για τα νερά των πλημμυρών. Η γέφυρα σχηματίζει απαλές κυρτώσεις σε έξι σημεία και απαρτίζεται από τρία μέρη: την αριστερή πτέρυγα που είναι κάθετη προς τη ροή του ποταμού με μήκος 204 μέτρα, το μεσαίο τμήμα με μήκος 1056 μέτρα και τέλος την

δεξιά πτέρυγα που προστέθηκε για να εμποδίσει την επιτάχυνση του ρεύματος με μήκος 100 μέτρα. Σύμφωνα με ευρήματα υπήρχαν ορισμένα διακοσμητικά στοιχεία τα οποία δεν υφίσταται σήμερα, μιας και καταστράφηκαν μεταγενέστερα κατά την διάρκεια της αναστήλωσης της. Τα ευρήματα λίθινης διακόσμησης βρίσκονταν στις αντηρίδες των αψίδων και στους θολόλιθους, περιλαμβάνοντας ορισμένες μορφές ζώων, όπως ελέφαντες, επιγραφές κτλ. Ο δρόμος πάνω στη γέφυρα ήταν καλυμμένος με μεγάλες πλάκες από πέτρα, που με το πέρασμα των χρόνων καλύφθηκε σε ορισμένα σημεία του από άσφαλτο και τσιμέντο. Η γέφυρα αυτή σώζεται και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

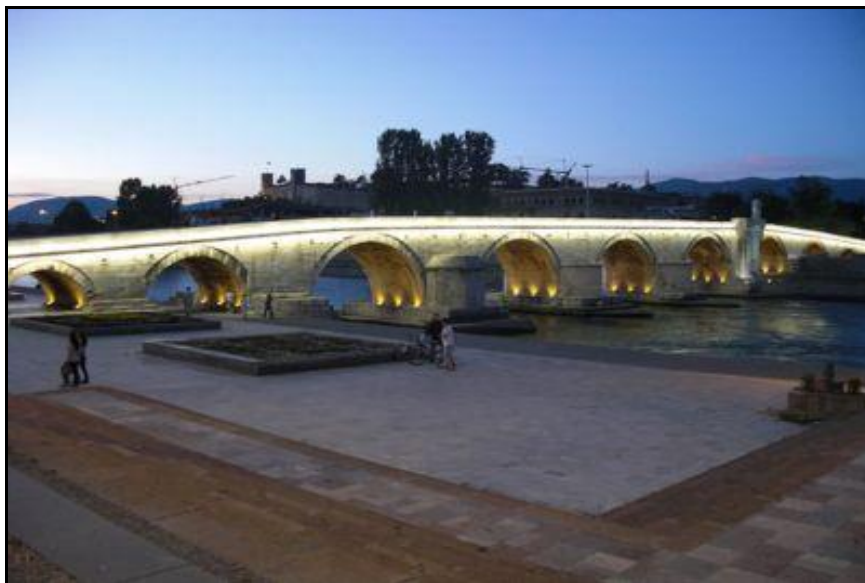


Εικόνα 9. «Μακρά γέφυρα» «Uzunköprü», (Uzunköprü, Τουρκία)

10). Η «Πέτρινη γέφυρα των Σκοπίων»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Όχθες Αξιού ποταμού / Σκόπια
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	15 ^{ος} αιώνα
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσιικοί λίθοι
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Λίθινη τοξωτή γέφυρα

Η «Πέτρινη γέφυρα των Σκοπίων»(Εικόνα 10.) χρονολογικά κατατάσσεται περίπου γύρο στο 15^ο αιώνα και η κατασκευή της συνδέεται με το Σουλτάνο Μουράτ το Β΄, με άλλα λόγια επηρεασμένη από τις κατασκευές των Οθωμανών. Ενώνει τις δυο όχθες του Αξιού ποταμού διευκολύνοντας την επικοινωνία στη καρδιά των Σκοπίων εδώ και αιώνες, με μήκος 214 μέτρα και πλάτος έξι μέτρα.



Εικόνα 10. Η «Πέτρινη γέφυρα των Σκοπίων» (Όχθες Αξιού ποταμού, Σκόπια)

Την υπερκατασκευή φέρουν 14 αψίδες οι οποίες στηρίζονται σε μεσόβαθρα. Το ύψος των μεσόβαθρων αλλά και η απόσταση που τα χωρίζει αυξάνονται προοδευτικά από τις όχθες, προς το μέσο της γέφυρας και έτσι δημιουργούν μια χαρακτηριστική τεθλασμένη γραμμή. Όλη η γέφυρα είναι κτισμένη από πέτρα. Το κεντρικό μεσόβαθρο είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον και φέρει λεπτά διακοσμητικά και γλυπτά στολίσματα. Ακόμη επάνω από το μεσόβαθρο χτίστηκαν πρόσθετα στοιχεία και στις δυο πλευρές της γέφυρας που περιλάμβαναν μια κόγχη για την τοποθέτηση επιγραφών. Στο εσωτερικό του κεντρικού μεσόβαθρου υπάρχουν δυο μικροί χώροι,

που διαιρούνται από ένα εγκάρσιο τοίχο. Καθένας διαθέτει δυο στενά ανοίγματα, το ένα προς την πλευρά της ροής του ποταμού και το άλλο στην αντίθετη μεριά της γέφυρας. Οι χώροι αυτοί χρησιμοποιούνταν για την προστασία της γέφυρας και ήταν επανδρωμένοι με φρουρούς. Λίγες λεπτομέρειες από τη διακόσμηση των πέτρινων ανάγλυφων αξίζει να αναφερθούν διότι περιλαμβάνουν προεξέχοντες κύκλους με στολίσματα καθώς και εγκάρσιους κύκλους με εσωτερικούς δίσκους.

VI. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

11). Η Κρεμαστή Γέφυρα «Μέναϊ»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Ουαλία / Μ. Βρετανία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1819
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι, σίδηρος, χυτοσίδηρος, σφυρήλατος σίδηρος, χάλυβας
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Κρεμαστή γέφυρα

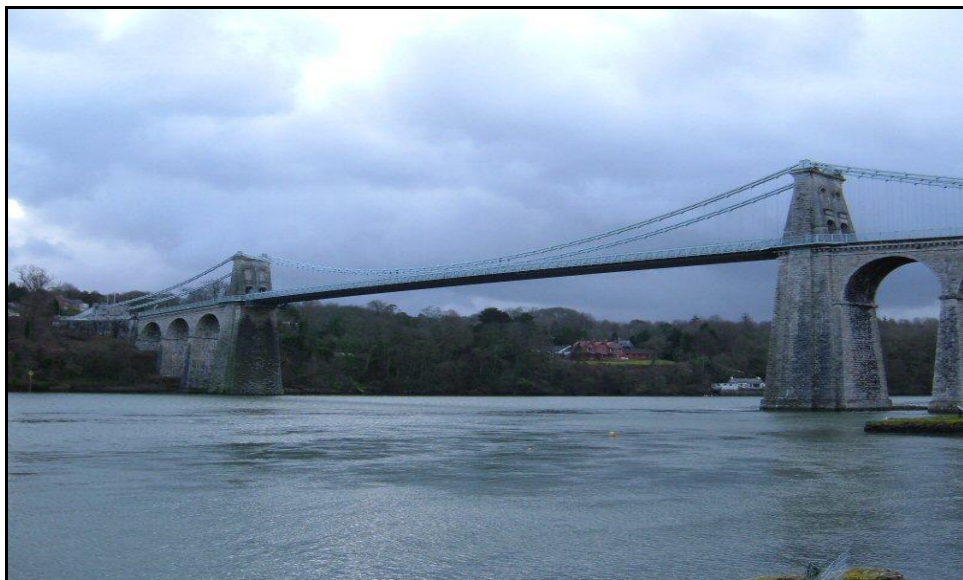
Στους αρχαίους χρόνους ο *πορθμός Μέναϊ* λειτουργούσε ως φυσική προστασία ενάντια στους φιλόδοξους κατακτητές, αλλά αργότερα έγινε τροχοπέδη για την επικοινωνία. Το 1801, όταν η Ιρλανδία ενώθηκε πολιτικά με την Αγγλία, η σύνδεση μεταξύ της Ουαλίας και της νήσου Άνγκλεσι, η οποία επί αιώνες πραγματοποιείτο με πορθμεία, δεν φαινόταν πλέον επαρκής. Ο πορθμός βρισκόταν στον δρόμο της ταχυδρομικής διαδρομής ανάμεσα στο Λονδίνο, στο λιμάνι του Χόλιχεντ και στο Δουβλίνο.

Το 1818 το ζήτημα του Πορθμού του Μέναϊ ήρθε μια ακόμα φορά στο προσκήνιο. Έπρεπε να χτιστεί μια γέφυρα η οποία θα βρισκόταν 30 μέτρα περίπου επάνω από το ανώτατο επίπεδο πλημμυρίδας, ώστε να επιτρέπεται στα σκάφη να περνούν χωρίς προβλήματα. Το σχέδιο του μηχανικού *Τόμας Τέλφορντ* για μια *κρεμαστή γέφυρα* ανταποκρινόταν σε αυτή την απαίτηση. Για το λόγο αυτό εγκρίθηκε αμέσως. Το έργο άρχισε να κατασκευάζεται το 1819. Εκείνη την εποχή, η κρεμαστή γέφυρα ήταν μια προηγμένης τεχνολογίας λύση που είχε υιοθετηθεί σε λίγες μόνο περιπτώσεις, κάθε μια εκ' των οποίων αποτελούσε μια περίπτωση για πειραματισμό με τα νέα συστήματα.

Ο Τόμας Τέλφορντ ήταν ένας από εκείνους τους Βρετανούς μηχανικούς που εκτιμούσαν τις συμβουλές των θεωρητικών μηχανικών και μαθηματικών. Το 1820,

όταν ήταν ήδη γνωστός ως εξαιρετικός κατασκευαστής μεγάλων δημοσίων έργων, διορίστηκε πρώτος πρόεδρος των μηχανικών για την κατασκευή της γέφυρας Μέναϊ.

Η γέφυρα (Εικόνα 11.) έχει ένα αναρτημένο άνοιγμα 176,5 μέτρων ανάμεσα στα δύο πέτρινα τμήματα. Το τμήμα που βρίσκεται στο άκρο του νησιού Άνγκλεσι σχηματίζεται από τέσσερις αψίδες και εκείνο που βρίσκεται στην πλευρά της Ουαλίας έχει τρεις αψίδες. Τα εσωτερικά άκρα των πέτρινων τμημάτων βρίσκονται εκεί όπου στέκονται οι πέτρινοι πύργοι που υποστηρίζουν τις τέσσερις κρεμαστές αλυσίδες. Κάθε αλυσίδα (που αποτελείται από τέσσερα πλατιά τμήματα ενωμένα με στρόφιγγες μεταξύ τους) κατασκευάστηκε από υπεξανθρακισμένο σίδηρο, ένα υλικό που θεωρήθηκε αξιόπιστο μετά το 1850. Με τη βοήθεια του Σάμιουελ Μπράουν, ο Τέλφορντ απέτρεψε κάθε πιθανότητα αποτυχίας, διεξάγοντας τους απαραίτητους ελέγχους φορτίου για να διασφαλίσει ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σιδήρου ήταν επαρκή. Τα αποτελέσματα ήταν άριστα και οι αλυσίδες με μια μικρή αναστύλωση επισκευή των συνδέσμων κράτησαν μέχρι το 1940, οπότε και αντικαταστάθηκαν από πανομοιότυπες ατσάλινου τύπου. Το κατάστρωμα που αρχικώς ήταν ξύλινο αντικαταστάθηκε με ένα σιδερένιο το 1893, το οποίο συνδέονταν με τις αλυσίδες με 444 ιμάντες. Το έργο της τοποθέτησης των αλυσίδων ήταν περιπετειώδες. Για κάθε μια από τις τέσσερις αλυσίδες, ένα τμήμα που ζύγιζε άνω των είκοσι τόνων, επέπλεε σε μια σχεδία κάτω από το κεντρικό άνοιγμα, ενώ ένα άλλο τμήμα είχε τοποθετηθεί σε μια πλευρά και είχε δεθεί και στις δύο όχθες. Τα πλαϊνά τμήματα έπρεπε τότε να περαστούν επάνω από την κορυφή του αντίστοιχου πύργου και μετά αιωρούνταν επάνω από το νερό. Η τελική επιχείρηση ήταν να ταιριάξουν τα τμήματα και να ενωθούν οι άκρες τους. Αυτή η εργασία απαιτούσε την συνεργασία 150 ανδρών, οι οποίοι είχαν στη διάθεσή τους μόνο χειροκίνητα βαρούλκα. Η γέφυρα ολοκληρώθηκε μετά από επτά χρόνια το 1826 και το μήκος της ανέρχεται σε 520,9 μέτρα.



Εικόνα 11. Η Κρεμαστή γέφυρα «Μέναϊ». (Ουαλία, Μ. Βρετανία).

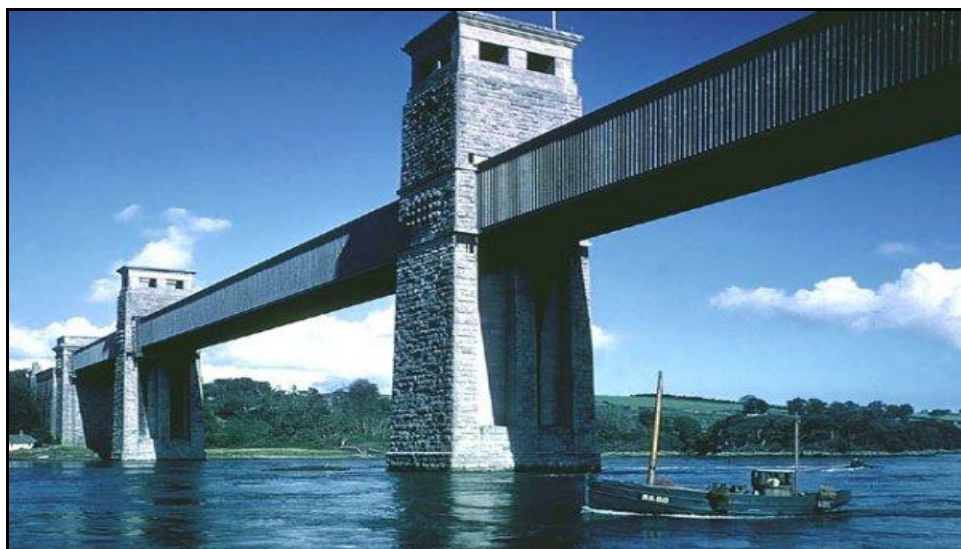
12). «Britannia bridge»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Νότια Ουαλία / Μ. Βρετανία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1846
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	Φυσικοί λίθοι, σίδηρος, σίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Σιδηροδρομική γέφυρα

Ο μηχανικός *Robert Stephenson* αποφάσισε το 1846 να κατασκευάσει μια γέφυρα με μορφή δύο *σωλήνων ορθογωνικής διατομής* (κάθε μια με πλάτος 4,4 μέτρα και ύψος 9 μέτρα) που ανάμεσά τους έτρεχαν δύο σιδηροδρομικές γραμμές.

Εκτέλεσε τη μελέτη του με βάση εκτεταμένες παρατηρήσεις σε μοντέλα κλίμακας 1:6 με κυκλικές, ελλειπτικές και ορθογωνικές διατομές. Η έρευνα έγινε σε συνεργασία με τον μηχανικό *W. Fairbairn*, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για τις δοκιμές και με τον *E. Hodgkinson*, που εκτελούσε τη θεωρητική εργασία. Αποδείχθηκε ότι οι πλακοειδείς δοκοί με πυκνές ενισχύσεις οι οποίες κατασκευάζονταν από σφυρήλατο σίδηρο συνδυαζόμενο με κυψελωτό άνω και κάτω κατάστρωμα, ήταν αρκετά ισχυρές ώστε να φέρουν το φορτίο πάνω από το άνοιγμα των 142 μέτρων, χωρίς πρόσθετη στήριξη, αλλά με απλή ανάρτηση μέσω καλωδίων από την κορυφή των βάθρων. Τέτοια καλώδια είχαν κατασκευαστεί κατά την ανέγερση των πύργων, οι οποίοι έδωσαν στη γέφυρα τη μοναδική της εμφάνιση.

Η γέφυρα (*Εικόνα 12.*) η οποία αποτελείται από τέσσερα ανοίγματα των 71,9+141,73+141,73+71,9 μέτρων, είναι διπλής τροχιάς με δύο παρακείμενους ορθογωνικούς σωλήνες. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το 1850. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν 10.600 τόνοι σιδήρου και ενσωματώθηκαν τρεισήμισι εκατομμύρια ήλοι. Κατασκευάστηκε κοντά στο εργοτάξιο σε ίσα κομμάτια για κάθε άνοιγμα, και κάθε ένα από αυτά ρυμουλκήθηκε στο εργοτάξιο και υψώθηκε στην τελική του θέση. Η γέφυρα *Britannia* έφερε την κυκλοφορία σιδηροδρόμων για 120 χρόνια μέχρι το 1970, όταν έπαθε σοβαρές ζημιές από μια πυρκαγιά.



Εικόνα 12. «Britannia Bridge» (Νότια Ουαλία, Μ. Βρετανία)

VII. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

13). Η Γέφυρα «Κεμάλ Ατατούρκ» ή «Γέφυρα του Βοσπόρου»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Βόσπορος / Τουρκία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1970
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	χάλυβας, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Κρεμαστή γέφυρα

Η γέφυρα «Κεμάλ Ατατούρκ» ή «Γέφυρα του Βοσπόρου» (Εικόνα 13.) ενώνει την ευρωπαϊκή με την ασιατική ακτή, μεταξύ Ορτάκιοι και Μπειλέρμπεγι. Σε ύψος εκατόν πέντε μέτρα από το οδικό δίκτυο και 64 μέτρα από τη στάθμη της θάλασσας, η γέφυρα έχει μήκος 1510 μέτρα, πλάτος 39 μέτρα και η απόσταση μεταξύ των πυλώνων της είναι 1074 μέτρα. Η απόφαση για την κατασκευή της ελήφθη το 1957 από τον τότε πρωθυπουργό Αντνάν Μεντερές και τη στατική μελέτη του έργου ανέλαβε η βρετανική εταιρία Freeman Fox & Partners το 1968. Σχεδιαστής ήταν ο βρετανός Gilbert Roberts. Η κατασκευή της γέφυρας, που άρχισε πανηγυρικά το Φεβρουάριο του 1970 με τελετές, στις οποίες παρέστησαν ο πρόεδρος Τζεβντέτ Σουνάου και ο πρωθυπουργός Σουλεϊμάν Ντεμιρέλ, υλοποιήθηκε από την τουρκική εταιρεία Enka Construction & Industrico σε συνεργασία με τη βρετανική Cleveland Bridge & Engineering Co. Ltd. και τη γερμανική Hochtief AG. Το κόστος της ανήλθε

σε 200 εκατομμύρια δολάρια. Οι 35 μηχανικοί και 400 εργάτες, που εργάστηκαν για την υλοποίηση του έργου, είδαν τους κόππους τους να ευοδώνονται στις 30 Οκτωβρίου 1973. Είναι κρεμαστή με κάθετα καλώδια και έχει δυο πυλώνες από την μια όχθη βρίσκεται ο ένας και στην απέναντι ο άλλος. Τα υλικά με τα οποία κατασκευάστηκε είναι κυρίως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.



Εικόνα 13. Η Γέφυρα «Κεμάλ Ατατούρκ» ή « Γέφυρα του Βοσπόρου» (Βόσπορος , Τουρκία)

14). «George Washington bridge»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Νέα Υόρκη / Η.ΠΑ.
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1931
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	χάλυβας, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Κρεμαστή γέφυρα

Η γέφυρα «George Washington» (Εικόνα 14.) στη Νέα Υόρκη, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τον διάσημο μηχανικό Othmar Ammann, χαρακτηρίστηκε δε από τον Le Corbusier ως η πιο όμορφη γέφυρα στον κόσμο. Είναι μία από τις γέφυρες με το μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο παγκοσμίως. Το κύριο άνοιγμα μεταξύ των πυλώνων είναι 1067 μέτρα, το πλάτος είναι 36 μέτρα, διαθέτει δε 14 λωρίδες κυκλοφορίας, διατεταγμένες στα δύο επίπεδα καταστρωμάτων (οκτώ στο άνω και έξι στο κάτω). Δόθηκε στην κυκλοφορία τον Οκτώβριο του 1931 (άνω κατάστρωμα), ενώ το κάτω κατάστρωμα ολοκληρώθηκε το 1962. Το ύψος των πυλώνων είναι 180 μέτρα, το δε καθαρό ύψος κάτω από τη γέφυρα είναι 61 μέτρα.

Τα υλικά κατασκευής της είναι κυρίως χάλυβας μιας και οι πυλώνες της οι δυο συγκεκριμένα είναι και αυτοί χαλύβδινοι.



Εικόνα14. « George Washington bridge» (Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.)

15). «Verrazano Narrows bridge»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Νέα Υόρκη / Η.Π.Α.
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1959
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	χάλυβας, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Κρεμαστή γέφυρα

Η γέφυρα *Verrazano Narrows* (Εικόνα 15.) συνδέει το Brooklyn με το Staten island στη Νέα Υόρκη, πήρε δε το όνομά της από τον ιταλό θαλασσοπόρο Giovanni da Verrazzano, ο οποίος πρώτος εισήλθε στο λιμάνι της Νέας Υόρκης και στον ποταμό Hudson, διασχίζοντας τα στενά όπου κατασκευάστηκε η γέφυρα. Η γέφυρα σχεδιάστηκε από τον γνωστό μηχανικό Othmar Ammann, ο οποίος σχεδίασε και πολλές άλλες μεγάλες γέφυρες της Ν. Υόρκης (G. Washington, Bayonne, Bronx Whitestone, Triborough κλπ). Η κατασκευή άρχισε το 1959 και το άνω κατάστρωμα ολοκληρώθηκε το 1964, ενώ το κάτω κατάστρωμα δόθηκε στην κυκλοφορία το 1969. Από το 1964 μέχρι το 1981 είχε το παγκόσμιο ρεκόρ ανοίγματος (1298 μέτρα), οπότε και κατασκευάστηκε η γέφυρα Humber (1410 μέτρα) στη Μ. Βρετανία. Διαθέτει 12 λωρίδες κυκλοφορίας στα δύο επίπεδα (6+6), το δε καθαρό ύψος από την επιφάνεια

της θάλασσας είναι 69,5 μέτρα. Οι μεταλλικοί πυλώνες έχουν ύψος 211 μέτρα, και καθένας τους περιλαμβάνει ένα εκατομμύριο κοχλίες και τρία εκατομμύρια ήλους. Η διάμετρος του κάθε παραβολικού καλώδιου είναι 91 μέτρα, απαρτίζεται δε από 26.108 σύρματα, συνολικού μήκους 230.087 χιλιόμετρα. Και αυτή η γέφυρα είναι κατασκευασμένη κυρίως από χάλυβα με χρήση σκυροδέματος και είναι κρεμαστή με κάθετα καλώδια.



Εικόνα 15. «Verrazano Narrows bridge» (Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.)

16). Η Γέφυρα «Μιγιά»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Μίγιο / Νοτιοδυτική Γαλλία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	2004
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	χάλυβας, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Καλωδιωτή γέφυρα

Η γέφυρα «Μιγιά» (Εικόνα 16.) ύψους 343 μέτρων, η οποία είναι κατά 23 μέτρα υψηλότερη από τον πύργο του Άιφελ, κατασκευάστηκε πάνω από τον ποταμό Ταρν σε μια προσπάθεια αποσυμφόρησης της κίνησης ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες στην πόλη της νοτιοδυτικής Γαλλίας, Μιγιά και αποτελεί μέρος του αυτοκινητοδρόμου A75 που συνδέει το Παρίσι με τη Βαρκελώνη.



Εικόνα 16. Η Γέφυρα «Μιγιό» (Μιγιό, Γαλλία)

Έργο του διάσημου βρετανού αρχιτέκτονα Νόρμαν Φόστερ που δόθηκε στην κυκλοφορία στις 16 Δεκεμβρίου 2004, έχει μήκος 2,46 χιλιομέτρων και ο μεγαλύτερος πυλώνας της υψώνεται 343 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του ποταμού Ταρν. Με το μεταλλικό της κατάστρωμα των 36000 τόνων, η οδογέφυρα αυτή από μπετόν και ατσάλι, η οποία ανεγέρθηκε σε χρόνο ρεκόρ τριών ετών, είναι για τη Γαλλία το πρώτο μεγάλο έργο του αιώνα. Είναι φτιαγμένη για να αντέχει ανέμους ταχύτητας 250 χιλιομέτρων την ώρα. Ο τύπος της ασφάλτου που χρησιμοποιήθηκε στο κατάστρωμα της μελετήθηκε επί έξι μήνες και υποβλήθηκε σε πολλές και σκληρές δοκιμές. Ο όμιλος Eiffage, που κατασκεύασε τη γέφυρα και θα την διαχειρίζεται για 75 χρόνια, εγγυείται «την τέλεια λειτουργία» του έργου για 120 χρόνια. Το έργο ξεκίνησε το 2001, στοίχησε περισσότερα από 310 εκατομμύρια ευρώ και χρηματοδοτήθηκε από την κατασκευαστική εταιρεία Eiffage, η οποία είχε κατασκευάσει και τον πύργο του Άιφελ, που με αυτές τις διαστάσεις καταρρίπτει όλα τα προηγούμενα τεχνολογικά ρεκόρ. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη γέφυρα επιτρέπει μόνο σε οχήματα να διασχίζουν τον ποταμό Ταρν, αφού η διάβαση των πεζών απαγορεύεται, ενώ οι οδηγοί αυτοκινήτων αναμένεται να πληρώνουν γύρω στα 4,6 ευρώ για να διασχίσουν την γέφυρα.

17). Η Γέφυρα «Εράσμου»

ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	Ρότερνταμ / Ολλανδία
ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	1989
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	χάλυβας, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος
ΕΙΔΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	Καλωδιωτή – Κινητή γέφυρα

Η κατασκευή της γέφυρας «*Εράσμου*» (Εικόνα 17.) που πήρε το όνομα της από διάσημο τέκνο του Ρότερνταμ, ήταν τμήμα του σχεδίου ανάπτυξης Κοπ φαν Ζαιντ για μια ευρεία περιοχή στη νότια όχθη του Νέου Μεύση. Ο διαγωνισμός προκηρύχτηκε το 1989 και ο νικητής ήταν ο Μπεν φαν Μπέρκελ. Το σχέδιο του νεαρού αρχιτέκτονα υπερτέρησε των υπολοίπων λόγω των δομικών χαρακτηριστικών του και της υψηλά διαφοροποιημένης αισθητικής του. Ο γιγάντιος πυλώνας υποστήριξης που στέκεται μόνος στη μέση του ποταμού έχει διεγείρει τη φαντασία των κατοίκων της πόλης σε τέτοιο βαθμό που είναι γνωστός με το όνομα «Κύκνος». Ολόκληρη η γέφυρα έχει μήκος 802 μέτρα και περιλαμβάνει μια επίστυλη γέφυρα πρόσβασης στη βόρεια όχθη του ποταμού. Η γέφυρα που περνά επάνω από το νερό αποτελείται από δυο διαφορετικούς τύπους ασάλινων τμημάτων που ενώνονται χωρίς διακοπή.



Εικόνα 17. Η Γέφυρα «Εράσμου» (Ρότερνταμ, Ολλανδία)

Από τη βόρεια πλευρά, εκεί όπου βρίσκεται η παλιά πόλη, φαίνεται το πιο ορατό τμήμα του διπλού ανοίγματος, ο ασύμμετρος «Κύκνος». Το μεγαλύτερο εκ των δυο ανοιγμάτων 284 μέτρα είναι κρεμαστό με καλώδια και το άλλο 74 μέτρα στηρίζεται σε βάθρα. Ένα πολύ χαρακτηριστικό στοιχείο της γέφυρας είναι το ασυνήθιστο σχέδιο του γαλάζιου πυλώνα ύψους 139 μέτρων. Το χαμηλότερο τμήμα του μοιάζει με ανεστραμμένο V στραμμένο προς τον νότο (δηλαδή προς το μικρότερο από τα δυο ανοίγματα). Το κάθετο ανώτερο τμήμα του έχει ύψος περίπου 60 μέτρα και αποτελεί σημείο σύνδεσης των 32 στηριγμάτων του μεγαλύτερου ανοίγματος. Αντίβαρο παρέχουν δυο στηρίγματα που ενώνουν τον πυλώνα με τα νότια θεμέλια του μικρότερου ανοίγματος στο τμήμα και υποστηρίζεται από οριζόντια στοιχεία. Ένας εσωτερικός ανεγκυστήρας επιτρέπει τις επιθεωρήσεις συντήρησης και τη διεξαγωγή εργασιών.

Το δεύτερο τμήμα του «Κύκνου» (μια κινητή γέφυρα με αντίβαρα) έχει μήκος 122 μέτρα. Συμπληρώθηκε για να επιτρέψει τη διέλευση των πλοίων σε μια πορεία παράλληλη με τη νότια όχθη του ποταμού. Το τμήμα που ανυψώνεται έχει το ασυνήθιστο σχήμα του λοξού παραλληλόγραμμου και περιστρέφεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα της γέφυρας. Παράλληλα με το ασυνήθιστο γεωμετρικό του σχέδιο, το μέγεθος του κινητού τμήματος είναι επίσης εξαιρετικό (μήκος 55 μέτρα και πλάτος 38 μέτρα). Η κίνηση τροφοδοτείται από ένα ηλεκτροδραυλικό σύστημα που απαιτεί μόνο ένα λεπτό για να σηκώσει τη γέφυρα και ενάμιση λεπτό για να την κατεβάσει. Το κατάστρωμα είναι επίσης κατασκευασμένο από ατσάλι. Αποτελείται από 28 προκατασκευασμένα στοιχεία, εκ των οποίων κάθε ένα έχει μήκος 15 και πλάτος 38 μέτρα. Το επίπεδο του δρόμου έχει δύο λωρίδες κυκλοφορίας που χωρίζονται από μια γραμμή ελαφρού σιδηροδρόμου. Στις δυο πλευρές του δρόμου υπάρχουν δυο λωρίδες ποδηλάτων και πεζών στις οποίες φτάνει κανείς από τον υπαίθριο σταθμό αυτοκινήτων στη βόρεια πλευρά. Η γέφυρα βρίσκεται 12,5 μέτρα επάνω από την επιφάνεια του νερού και έτσι αυτοί που τη χρησιμοποιούν μπορούν να δουν τα διερχόμενα σκάφη. Η γέφυρα του «Εράσμου» είναι καλωδιωτή γέφυρα η οποία ολοκληρώθηκε το 1996 και από τότε έγινε το σύμβολο του λιμανιού του Ρότερνταμ. Γίνεται πολύ ελκυστική τη νύχτα όταν το προφίλ της τονίζεται με ένα σύστημα φωτισμού που επίσης σχεδιάστηκε από τον Μπεν φαν Μπέρκελ.