

## **Μεταλλικές Δικτυωτές Γέφυρες**



**Ημερομηνία :**  
**29/10/2009**

**Εκπονητής :**  
**Δημήτριος Κεκές**  
**Επιβλέπων Καθηγητής :**  
**Νικόλαος Παπάζογλου**

## Πίνακας Περιεχομένων

1.	Εισαγωγή .....	4
2.	Μεταλλικές Γέφυρες .....	6
2.1.	Υλικά Κατασκευής Μεταλλικών Γεφυρών .....	6
2.1.1.	Το Στοιχείο Σίδηρος ανά την ανθρώπινη Ιστορία .....	6
2.1.2.	Παράγωγα του Ορυκτού Σιδήρου .....	8
2.1.3.	Εξέλιξη της Μεταλλουργίας κατά την Βιομηχανική Επανάσταση.....	9
2.1.4.	Παραγωγή Σφυρήλατου Σιδήρου με τη διαδικασία Εκκαμίνευσης .....	9
2.1.5.	Παραγωγή Ακατέργαστου Χυτοσιδήρου με τη διαδικασία Χύτευσης.....	10
2.1.6.	Εξευγενισμός Χυτοσιδήρου με τη διαδικασία Υπεξανθράκισης .....	11
2.1.7.	Παραγωγή Χάλυβα με τη διαδικασία Ενανθράκωσης.....	12
2.1.8.	Παραγωγή Χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer .....	13
2.1.9.	Παραγωγή Χάλυβα με τη μέθοδο Ανοικτής Εστίας .....	15
2.1.10.	Κατηγορίες και τεχνικά χαρακτηριστικά Χάλυβα .....	16
2.1.11.	Χρήση του Χάλυβα στη σύγχρονη Γεφυροποιία .....	18
2.2.	Κατηγορίες Γεφυρών .....	20
2.2.1.	Στατικά πρότυπα κατασκευής.....	21
2.2.2.	Διατάξης καταστρώματος Γέφυρας, σε σχέση με το Φορέα.....	22
2.2.3.	Τύποι δοκών και ενισχυμένων δοκών .....	23
2.2.4.	Τοξωτές Μεταλλικές Γέφυρες.....	25
2.2.5.	Μεταλλικές Γέφυρες Πρόβολοι .....	27
2.2.6.	Μεταλλικές Κρεμαστές Γέφυρες .....	28
2.3.	Σημαντικότερες Μεταλλικές Γέφυρες από το 1779 έως το 1929 .....	29
2.3.1.	Η πρώτη Μεταλλική Γέφυρα των T. F. Pritchard και A. Darby III .....	29
2.3.2.	Οι Μεταλλικές Γέφυρες Αλυσίδων του T. Telford.....	30
2.3.3.	Οι Μεταλλικές Σιδηροδρομικές Γέφυρες των R. Stephenson και I. K. Brunel .....	31
2.3.4.	Οι Μεταλλικές Σιδηροδρομικές Γέφυρες του G. Eiffel .....	32

2.3.5.	Οι Κρεμαστές Μεταλλικές Σιδηροδρομικές του J. A. Roebling .....	33
2.3.6.	Οι μεγαλύτερες Γέφυρες Σιδηροδρόμων πριν τον Πρώτο Παγκόσμιο .....	35
3.	Δικτυωτές Γέφυρες.....	38
3.1.	Γέννεση του Δικτυώματος .....	38
3.1.1.	Η ανάγκη για υπολογισμούς μεγαλύτερης ακριβείας .....	38
3.1.2.	Οι πρώτες Δικτυωτές Γέφυρες .....	39
3.2.	Έννοια του Δικτύωματος στη κατασκευή Γεφυρών .....	41
3.2.1.	Μέθοδοι Στατικής επίλυσης .....	41
3.2.2.	Διαστασιολόγηση Μελών .....	42
3.2.3.	Η εξέλιξη των Δικτυωμάτων σε σχέση με την οικονομία.....	43
3.3.	Τύποι Δικτυωμάτων στην Γεφυροποιία.....	44
3.3.1.	Δικτύωμα τύπου Kingpost .....	44
3.3.2.	Δικτύωμα τύπου Queenpost.....	45
3.3.3.	Δικτύωμα τύπου Truss arch .....	46
3.3.4.	Δικτύωμα τύπου Burr .....	47
3.3.5.	Δικτύωμα τύπου Town's Lattice .....	49
3.3.6.	Δικτύωμα τύπου Long "X" .....	52
3.3.7.	Δικτύωμα τύπου Haupt.....	54
3.3.8.	Δικτύωμα τύπου Howe.....	55
3.3.9.	Δικτύωμα τύπου Bowstring .....	57
3.3.10.	Δικτύωμα τύπου Pratt.....	60
3.3.11.	Δικτύωμα τύπου Whipple.....	62
3.3.12.	Δικτύωμα τύπου Warren.....	63
3.3.13.	Δικτύωμα τύπου Bollman .....	64
3.3.14.	Δικτύωμα τύπου Brown.....	66
3.3.15.	Δικτύωμα τύπου Fink .....	68

---

3.3.16.	Δικτύωμα τύπου Post .....	69
3.3.17.	Δικτύωμα τύπου Lenticular (Φακοειδές Δικτύωμα).....	70
3.3.18.	Δικτύωμα τύπου Partridge .....	72
3.3.19.	Δικτύωμα τύπου Smith.....	73
3.3.20.	Δικτύωμα τύπου Parker (Camelback).....	74
3.3.21.	Δικτύωμα τυπου Baltimore.....	75
3.3.22.	Δικτύωμα τύπου Pennsylvania (Petit) .....	78
3.3.23.	Δικτύωμα τύπου Pegram .....	79
3.3.24.	Δικτύωμα τυπου Allan .....	80
3.3.25.	Δικτύωμα τύπου Waddell .....	82
3.3.26.	Δικτύωμα τύπου “Κ” .....	83
3.3.27.	Δικτύωμα τύπου Cantilever .....	85
3.3.28.	Δικτύωμα τύπου Vierendeel .....	88
3.3.29.	Δικτύωμα τυπου Bailey .....	89
3.3.30.	Μείζονες τύποι Δικτυωμάτων .....	91
4.	Συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση Δικτύωματος στις κατασκευές .....	94

## 1. Εισαγωγή

Οι Γέφυρες είναι από τα αρχαιότερα έργα υποδομής που εφηύρε ο άνθρωπος, καθώς και ένα από τα σημαντικότερα. Από την πρωτόγονη μορφή της (έναν κορμό δένδρου εδραζόμενος σε δύο αντικριστές όχθες), μέχρι τις σύγχρονες μορφές της (Καλωδιωτές, Κρεμαστές, Δικτυωτές, Πρόβολοι κ.ο.κ.), η αναγκαιότητα του ανθρώπου να διευκολύνει τις μετακινήσεις του κάνοντας τις ταχύτερες και ασφαλέστερες, καθιστά την γέφυρα μια από τις σπουδαιότερες συλλήψεις του ανθρωπίνου νου, μια ιδέα που βοήθησε σημαντικά στην εξέλιξη του ανθρώπου.

Οι εκάστοτε πλυθυσμοί, που διέμεναν σε μια περιοχή με δύσβατη μορφολογία εδάφους (ποτάμια, χαράδρες, φαράγγια, κλπ) περιορίζονταν στις μετακινήσεις τους, αδυνατώντας να αλληλεπιδράσουν με τους γύρω οικισμούς. Ακόμα και σε περιπτώσεις που τα φυσικά εμπόδια μπορούσαν να παρακαμφθούν, η διαδρομή ίσως να ήταν επισφαλής και χρονοβόρα. Έχοντας εξασφαλίσει συντομότερες και ασφαλέστερες διαδρομές, με την κατασκευή των Γεφυρών, στους γειτονικούς λαούς, το ανθρώπινο είδος ήταν ελεύθερο να ανταλλάξει αγαθά, ιδέες, ήθη και θεσμούς, ακόμα και πλυθισμούς. Η εμπορική και πολιτισμική άνθιση προωθούσε την καλή γειτνίαση και τον αργό σχηματισμό όλο και μεγαλύτερων οικισμών, ενίοτε και πόλεων, οδηγώντας στην δημιουργία νέων θεσμών (πολιτικών, νομικών, οικονομικών) παρέχοντας στους ανθρώπους ασφάλεια και ελευθερία να εξελιχθούν και να επεκταθούν.

Οι Γέφυρες όμως δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για ειρηνικούς σκοπούς. Πολλές φορές μια Γέφυρα χρειάστηκε να κατασκευαστεί ώστε να περάσουν στρατεύματα. Το εκτεταμένο οδικό δίκτυο της αρχαίας Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας διένυε απέραντες αποστάσεις, μη σταματώντας ούτε σε ποταμούς ούτε σε άλλα εμπόδια, χάρη στις περίφημες Ρωμαϊκές Γέφυρες, χρησιμοποιούνταν όχι μόνο για την εύκολη και γρήγορη μετακίνηση αγαθών σε όλη την Αυτοκρατορία αλλά και στην γρήγορη μεταφορά στρατευμάτων. Το οδικό δίκτυο αυτό επέτρεπε την άριστη λειτουργία της πολεμικής μηχανής της Ρώμης, κάνοντας την μια από τις ισχυρότερες και πιο επίφοβες Δυνάμεις στον αρχαίο κόσμο. Εντός ολίγων ημερών, ένα μήνυμα μπορούσε να διαβιβαστεί από το ένα άκρο της επικρατείας στο άλλο και οι λεγεώνες να συγκεντρωθούν γρήγορα σε οποιο μέρος της Αυτοκρατορίας χρειαζόταν, καθοριστικός παράγοντας σε πολλές μάχες.

Από την αρχαιότητα έως σήμερα, η αναγκαιότητα της Γέφυρας παρέμεινε ίδια. Ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται για ταχύτερες μεταφορές, ελαχιστοποίηση των αποστασέων, ακόμα και στους πρόσφατους πολέμους, οι Γέφυρες ήταν στρατηγικής σημασίας, δίνοντας την υπεροχή σε οποιον τις χρησιμοποιούσε ή τις κατέστρεφε ώστε να μην χρησιμοποιηθούν από τον εχθρό.

Τα χαρακτηριστικά του Σιδήρου και του Χάλυβα είναι πραγματικά εκπληκτικά και συνέβαλαν σημαντικά στην εξέλιξη της **Γεφυροποιίας**. Λαμβάνοντας υπόψη τη διαδικασία εξέλιξης του μεταλλεύματος Σιδήρου, που αρχίζει από το Χυτοσίδηρο, στον Σφυρήλατο Σίδηρο και έπειτα στο Χάλυβα, ο Χάλυβας πιθανόν είναι το τρέχον κυριότερο βιομηχανικό υλικό από τα παράγωγα του αρχικού μεταλλεύματος. Έχει μακρά ιστορία στην αξιοπιστία του στη χρήση, έχει σημαντική Ολκιμότητα, δύναμη, Ακαμψία, ιδιότητες συγκόλλησης, μικρό οικονομικό κόστος και την ευχέρεια ότι μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί.

Ανά τις εποχές, χρησιμοποιήθηκαν πολλά παράγωγα του Σιδήρου στη κατασκευή Γεφυρών, ώσπου τον **18<sup>ο</sup> αιώνα** άρχισε η κατασκευή Γεφυρών κατασκευασμένων εξ'ολοκλήρου από μέταλλο, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσίαζαν τα υλικά. Με την εξέλιξη της Τεχνολογίας, τα όποια μειονεκτήματα ξεπεράστηκαν και σταδιακά μεταβήκαμε από τον Σφυρήλατο Σίδηρο σε Κράματα Χάλυβα.

Με την παράλληλη εξέλιξη της **Μεταλλουργίας** και της **Γεφυροποιίας**, οι Γέφυρες εξελίσσονταν, όλο και μεγαλύτερα ανοίγματα επιτεύχθηκαν. Τα νέα υλικά επέτρεψαν στους Μηχανικούς να ξεπεράσουν παλαιότερους περιορισμούς και τα νέα σχέδια γεφυρών γέννησαν Γέφυρες όχι μόνο μεγάλων ανοιγμάτων, αλλά και ξεχωριστής αισθητικής. Οι Μεταλλικές Γέφυρες σήμερα χρησιμοποιούν διάφορες κατηγορίες Χαλύβων, ανάλογα τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Μπορεί κάποιος να πεί, ότι πλέον προσαρμόζεται το υλικό στη Γέφυρα, αντί να γίνεται το αντίθετο.

Σε αυτήν την εργασία, θα γίνει μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία των Μεταλλικών Γεφυρών και των υλικών κατασκευής τους, θα παρουσιαστούν βασικές μορφές Γεφυρών επιτρέποντας να γίνει κατανοητή η κατηγοριοποίηση και κατάταξη τους. Θα παρουσιαστούν βασικές έννοιες του Δικτυώματος και της λειτουργίας του, αλλά και οι τύποι Δικτυωμάτων που χρησιμοποιούνται στην **Γεφυροποιία**. Απώτερος σκοπός είναι η παρουσίαση και κατανόηση της Μεταλλικής Δικτυωτής Γέφυρας και ποια οφέλη και μειονεκτήματα παρουσιάζει ένα τέτοιο έργο **Γεφυροποιίας**.

## 2. Μεταλλικές Γέφυρες

### 2.1. Υλικά Κατασκευής Μεταλλικών Γεφυρών

#### 2.1.1. Το Στοιχείο Σίδηρος ανά την ανθρώπινη Ιστορία

Δεν υπάρχει καθαρός Σίδηρος στη φύση. Εάν δεν ληφθεί η απαραίτητη προσοχή επέρχεται οξύδωση. Η προέλευση του Σιδήρου μπορεί να χρονολογηθεί από την αρχή του κόσμου. Ο κόσμος γεννήθηκε πιθανά από το “**Big Bang**” που πραγματοποιήθηκε **13,7 δισεκατομμύρια έτη** πριν. Το Υδρογόνο είναι το στοιχείο που συναντάμε με την μεγαλύτερη αφθονία στον κόσμο. Το μεγαλύτερο μέρος του Υδρογόνου βρίσκεται υπό μορφή αερίου στα άστρα, στους γαλαξίες και ως συστατικό άστρων ή πλανητών με αέρια υπόσταση όπως ο Δίας. Ο Σίδηρος είναι παράγωγο του τελευταίου σταδίου της κύριας δραστηριότητας των άστρων, δηλαδή, της πυρηνικής τήξης.

Εφ’ όσον το μέγεθος ενός αστεριού είναι περίπου όσο του Ήλιου μας, μόνο Άνθρακας και Οξυγόνο μπορούν να παραχθούν από τη τήξη. Ο Σίδηρος, εντούτοις, μπορεί να παραχθεί μόνο στην περίπτωση των άστρων **8 έως 30 φορές** μεγαλύτερα από τον Ήλιο μας. Μέσω της διαδικασίας της πυρηνικής τήξης, ο Σίδηρος γεννιέται ως παράγωγο του τελευταίου σταδίου. Στο τελευταίο στάδιο, τα άστρα εκπέμπουν τα **neutrino** που θεωρείται ότι συγκρούονται τα εξωτερικά άτομα ενός μορίου προκαλώντας μεγάλη έκρηξη. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως **Nova**. Σαν αποτέλεσμα, προϊόντα όπως ο Σίδηρος διασκορπίζονται και αιωρούνται στο διάστημα. Κατά συνέπεια, ο Σίδηρος είναι ένα από τα πλέον κοινά Στοιχεία.

Όταν η Γη γεννήθηκε, Οξυγόνο δεν υπήρχε και η επιφάνεια του πλανήτη καλύπτοταν από Διοξείδιο του Άνθρακα, Υδροχλωρικό Οξύ και Διοξείδιο του Θείου. Όξινη βροχή έπεφτε για ένα εξαιρετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα το Σίδηρο να διαλυθεί και να καταλήξει στον ωκεανό. Βακτηρίδια που ήταν συναφή με την άλγη, γεννήθηκαν πριν από **2,7 δισεκατομμύρια έτη** και άρχισαν να παράγουν Οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης. Το Οξυγόνο με το Σίδηρο σχημάτισαν Οξείδια Σιδήρου, τα οποία άρχισαν να συγκεντρώνονται και να διαμορφώνουν αποθέματα Σιδήρου.

Περίπου το **4.000 π.Χ.** μια τεχνική παραγωγής Σιδήρου εφευρέθηκε με το κάψιμο Ορυκτού Σιδήρου με Ξυλάνθρακα. Ένα κομμάτι εγχειριδίου από Σίδηρο βρέθηκε στον τάφο Χετταίου βασιλιά, περίπου του **3.000 π.Χ.** Τον **17<sup>ο</sup> αιώνα** π.Χ., οι Χετταίοι κατέστρεψαν την Πρώτη Βαβυλωνιακή Δυναστεία χρησιμοποιώντας Σιδερένια όπλα και τον **15<sup>ο</sup> αιώνα** π.Χ., χάρη στην υπεροπλία τους, εξελίσσονται σε μεγάλη δύναμη στο χώρο.

Χρονολογία	Περιοχή	Ευρήματα τις χρονολογίας αυτής
4000 π.Χ.	Συρία	Εφεύρεση τεχνικής παραγωγής Σιδήρου με την καύση ορυκτού Σιδήρου μαζί με ξυλάνθρακες
3000 π.Χ.	Συρία	Ανακάλυψη σιδερένιου εγχειριδίου εποχής στον τάφο Χετταίου βασιλιά
2890 π.Χ.	Αίγυπτος	Κομμάτι Σιδήρου βρίσκεται σε Πυραμίδα
17 <sup>ος</sup> αι. π.Χ.	Μικρά Ασία	Οι Χετταίοι δημιουργούν αυτοκρατορία και καταστρέφουν την Πρώτη Βαβυλωνιακή Δυναστεία με όπλα από Σίδηρο
1500 π.Χ.	Αίγυπτος	Σιδερένιο δρεπάνι εποχής βρέθηκε στο Καρνάκ
1400 π.Χ.	Συρία	Ασσύριοι και Έλληνες χρησιμοποιούν Σίδηρο
1350 π.Χ.	Αίγυπτος	Βρέθηκε Σίδηρος από την εποχή του βασιλιά Τουταγχαμών
1285 π.Χ.	Συρία	Μάχη Αιγυπτίων και Χετταίων στη <b>Kadesh</b> με την χρήση σιδερένιων όπλων
500 π.Χ.	Κίνα	Εύρημα αγαλματιδίου χοίρου από Σίδηρο
300 π.Χ.	Ευρώπη	Χρήση φουσερών στη παραγωγή Σιδήρου
200 π.Χ.	Ιαπωνία	Σφυρήλατα εργαλεία από Σίδηρο βρίσκονται στο <b>Yoshinogasato</b> (περίοδος <b>Yayoi</b> )
1 <sup>ος</sup> αι. μ.Χ.	Νοβεοκα, Ιαπωνία	Ερείπια από εργαστήριο παραγωγής Σιδήρου
319 μ.Χ.	Δελχί, Ινδία	Κατασκευή δοκού από Σίδηρο
700 μ.Χ.	Κίνα	Κρεμαστή σε σιδερένιες αλυσίδες Γέφυρα
954 μ.Χ.	Κίνα	Λιοντάρι από Σίδηρο κατασκευάζεται
1596 μ.Χ.	ποταμός Jintsu , Ιαπωνία	Πλωτή Γέφυρα συγκρατούμενη με σιδερένια Στοιχεία
1700 μ.Χ.	Αγγλία	Χτίσιμο εργοστασίου παραγωγής Σιδήρου, με Υψικάμινο, μονάδα εξευγενισμού και κατεργασίας
1734 μ.Χ.	Πρωσσία	Πρώτη Κρεμαστή Γέφυρα με αλυσίδες στην Ευρώπη
1779 μ.Χ.	Αγγλία	Ο <b>Abraham Darby</b> χτίζει την Γέφυρα στο <b>Coalbrookdale</b> , τη πρώτη Μεταλλική Γέφυρα μεγάλου ανοίγματος

Χρονολικός πίνακας αρχαιολογικών ευρημάτων ανα τον κόσμο, σχετικά με την μεταλλουργία του Σιδήρου



### 2.1.2. Παράγωγα του Ορυκτού Σιδήρου

Ο Χυτοσίδηρος μπορεί να γίνει με την πλήρωση μιας μήτρας με λειωμένο Σίδηρο. Μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μορφή. Έχει μεγάλη Θλιπτική Αντοχή αλλά η Αντοχή του σε Εφελκυσμό είναι σχετικά χαμηλή και καταλήγει να κινδυνεύει να αστοχίσει από καταπόνηση σε Εφελκυσμό. Ο Σφυρήλατος Σίδηρος έχει μεγαλύτερη σκληρότητα. Παρουσιάζει μεγαλύτερη Αντοχή σε Θλίψη και Εφελκυσμό. Συνεπώς ο Σφυρήλατος Σίδηρος είναι προτιμότεο από το Χυτοσίδηρο στην κατασκευή Δοκών. Δεδομένου ότι δεν μπορεί να χυτευθεί, η κατεργασία του περιορίζεται στο κύλισμα ή τη σφυρηλάτηση, θέτοντας περιορισμούς στη μορφή των μελών. Τα χαρακτηριστικά του Μαλακού Χάλυβα είναι παρόμοια με του Σφυρήλατου Σιδήρου, αλλά είναι ανθεκτικότερος και η **Χύτευση** είναι εφικτή. Ωστόσο, δεν είναι καλύτερος του Σφυρήλατου Σιδήρου, τόσο στην αντίσταση σε διάβρωση, όσο και στην ευκολία μορφοποίησης του.

Υλικό	Περιεκτικότητα Σε Άνθρακα (%) Θερμοκρασία Τήξης (°C) Ιδιότητες	Θλιπτική Αντοχή (MPa or N/mm <sup>2</sup> )	Εφελκυστική Αντοχή (MPa or N/mm <sup>2</sup> )
Χυτοσίδηρος	3,0-4,5 % 1.200 (°C) Δύσκαμπος και ψαθυρός	400-1.000	100-150
Σφυρήλατος ή Κατεργασμένος Σίδηρος	0,02-0,08 % 1.530 (°C) Ελατός με αυξημένη σκληρότητα	250-400	250-400
Χάλυβας	0,3-2,06 % 1.400 (°C) Ισχυρός και με σημαντική σκληρότητα	350-700	350-700

Πίνακας Περιεκτικότητας Σε Άνθρακα, Θερμοκρασίας Τήξης, Ιδιοτήτων, Θλιπτικής και Εφελκυστικής Αντοχής Χυτοσίδηρου, Σφυρήλατου ή Κατεργασμένου Σιδήρου και Χάλυβα

### 2.1.3. Εξέλιξη της Μεταλλουργίας κατά την Βιομηχανική Επανάσταση

Η Βιομηχανική Επανάσταση άρχισε στη Μεγάλη Βρετανία, σηματοδοτώντας την μετάβαση από την αγροτική εργασία σε κλάδους της νεογέννητης τότε βιομηχανίας. Παρατηρήθηκε έντονα το φαινόμενο της αστυφιλίας, καθώς πολλοί άνθρωποι πήγαιναν στις πόλεις αναζητώντας θέσεις εργασίας. Νέες μέθοδοι παραγωγής έδειχναν ότι αγαθά μπορούσαν να παραχθούν πολύ φτηνότερα και γρηγορότερα από πριν. Υπήρξαν πολλές νέες εφευρέσεις, ιδέες και μέθοδοι. Αυτές οι εξελίξεις σήμαναν ότι τα πράγματα θα μπορούσαν να είναι παραχθούν πολύ αποτελεσματικότερα και με πιο εύλογο τρόπο. Η χρήση νέων υλικών όπως ο Σίδηρος και ο Άνθρακας ήταν πολύ σημαντική, οδηγώντας στην εφεύρεση της Μηχανής Ατμού. Κατά συνέπεια, η Βιομηχανική Επανάσταση είδε μια τεράστια αύξηση στην αποδοτικότητα μέσω της χρήσης νέων μεθόδων και υλικών. Μεταξύ αυτών ήρθε και η ωρίμανση των διαδικασιών επεξεργασίας και εξευγενισμού του Ορυκτού Σιδήρου, σταδιακά οδηγώντας στην παρασκευή του Χάλυβα. Στην Αγγλία, η Βιομηχανική Επανάσταση προχώρησε βαθμιαία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, από το **1760** έως το **1830**.

### 2.1.4. Παραγωγή Σφυρήλατου Σιδήρου με τη διαδικασία Εκκαμίνευσης

Ο Σίδηρος υπάρχει στο μέταλλευμα Σιδήρου (μερικές φορές αποκαλούμενο Ορυκτός Σίδηρος). Δεδομένου ότι ο Σίδηρος έχει ισχυρή συνάφεια με το Οξυγόνο, το μέταλλευμα Σιδήρου είναι ένα μίγμα από Οξειδία Σιδήρου και ποικίλες ποσότητες άλλων στοιχείων όπως το Πυρίτιο, το Θείο, το Μαγγάνιο, και ο Φώσφορος. Η **Εκκαμίνευση** είναι η διαδικασία από την οποία ο Σίδηρος εξάγεται από το μέταλλευμα Σιδήρου. Όταν το μέταλλευμα Σιδήρου θερμαίνεται σε ισχυρή φωτιά με Ξυλάνθρακες, το μέταλλευμα Σιδήρου αρχίζει να απελευθερώνει μέρος του Οξυγόνου του, το οποίο συνδυάζεται με το Μονοξείδιο του Άνθρακα, σχηματίζοντας Διοξείδιο του Άνθρακα. Κατά αυτόν τον τρόπο, μια σπογγώδης, πορώδης μάζα του σχετικά καθαρού Σιδήρου διαμορφώνεται, ανακατεμένη με κομμάτια Ξυλάνθρακα και ξένης ύλης που απελευθερώνονται από το μέταλλευμα, γνωστό ως Σκωρία. (Ο χωρισμός της Σκωρίας από το Σίδηρο διευκολύνεται από την προσθήκη ρευστοποιητών, δηλ., συντριμμένα θαλασσινά κοχύλια ή ασβεστόλιθο).

Ο σχηματισμός αυτής της μάζας Σιδήρου ήταν ότι καλύτερο ο πρωτόγονος σιδηρουργός μπορούσε να κάνει: θα αφαιρούσε αυτήν την σαν ζυμάρι μάζα από το φούρνο και θα την σφυρηλατούσε σε ένα αμόνι για να διώξει τις στάχτες και τη Σκωρία και για να συμπιέσει τα μεταλλικά μόρια. Έτσι παρασκευαζόταν ο Σφυρήλατος Σίδηρος και περιείχε γενικά από **0,02-0,08 %** Άνθρακα (που απορροφάται από τον Ξυλάνθρακα), ακριβώς αρκετό ώστε να καταστήσει το μέταλλο και σκληρό και ελατό. Ο Σφυρήλατος Σίδηρος ήταν το συνηθέστερα παραχθέν μέταλλο για το μεγαλύτερο μέρος της Εποχής του Σιδήρου.

### 2.1.5. Παραγωγή Ακατέργαστου Χυτοσιδήρου με τη διαδικασία Χύτευσης

Στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες (σπάνια συναντώνται εκτός Υψικαμίνου), μια ριζική αλλαγή πραγματοποιείται: ο Σίδηρος αρχίζει να απορροφά τον Άνθρακα γρήγορα, και αρχίζει να λειώνει, δεδομένου ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε Άνθρακα χαμηλώνει το σημείο τήξης του Σιδήρου. Το αποτέλεσμα είναι Χυτοσίδηρος, ο οποίος περιέχει **3-4,5 %** Άνθρακα. Αυτή η μεγάλη περιεκτικότητα σε Άνθρακα καθιστά το Χυτοσίδηρο δύσκαμπτο και ψαθυρό, πιθανόν να ραγίσει ή να καταστραφεί κάτω από ένα βαρύ χτύπημα, έτσι δεν μπορεί να σφυρηλατηθεί (δηλαδή να θερμανθεί και να διαμορφωθεί από τα χτυπήματα σφυριών) σε οποιαδήποτε θερμοκρασία. Μέχρι τα τέλη του Μεσαίωνα, οι Ευρωπαίοι σιδηρουργοί είχαν αναπτύξει την Υψικάμινο, μια κατασκευή όμοια με ψηλή καπνοδόχο, στην οποία η καύση εντεινόταν από αεραντλίες που τροφοδοτούσαν με ριπές αέρα την Υψικάμινο μέσα από εναλλασσόμενες στρώσεις Ξυλάνθρακα, ρευστοποιητών, και ορυκτού Σιδήρου (οι σιδηρουργοί του Μεσαίωνα έμαθαν επίσης να εκμεταλλεύονται τους υδραυλικούς τροχούς ώστε να τροφοδοτούν φουσητήρες για να διοχετεύουν τον αέρα μέσα στις Υψικαμίνους και για να τροφοδοτούν ογκώδεις σφύρες κατεργασίας Σιδήρου. Μετά το **1777**, η νέα Μηχανή Ατμού του **James Watt** χρησιμοποιήθηκε και με αυτούς τους τρόπους.) Ο λειωμένος Χυτοσίδηρος θα έρρεε άμεσα από τη βάση της Υψικαμίνου σε μια γούρνα με άμμο η οποία με τη σειρά της, τον διμεοίραζε σε διάφορες μικρότερες πλευρικές γούρνες. Λόγω του ότι αυτή η διαμόρφωση εμοιάζε με έναν θηλυκό χοίρο που θηλάζει τα μικρά της, ο Χυτοσίδηρος παραχθείς κατά αυτόν τον τρόπο έμεινε γνωστός ως "**Pig Iron**", στα Ελληνικά, Ακατέργαστος Χυτοσίδηρος.

Ο Σίδηρος μπορούσε να εγχυθεί κατ'ευθείαν σε καλούπια στη βάση της Υψικαμίνου ή να λειώσουν ξανά τον Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο για να φτιάξουν σόμπες, δοχεία, τηγάνια, πυροβόλα, οβίδες, κανονιών ή κουδούνια από Χυτοσίδηρο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **Χύτευση** (εξού και η ονομασία "Χυτοσίδηρος") και γινόταν στα χυτήρια.

### 2.1.6. Εξευγενισμός Χυτοσίδηρου με τη διαδικασία Υπεξανθράκισης

Οι σιδηρουργοί του Μεσαίωνα ήξεραν επίσης πώς να μετασχηματίζουν τον Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο στην πιο χρήσιμη μορφή, αυτή του Σφυρήλατου Σιδήρου με την οξείδωση της περίσσειας Άνθρακα από τον Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο σε έναν φούρνο Ξυλάνθρακα, το Καμίνι. Μετά από το **1784**, ο Ακατέργαστος Χυτοσίδηρος εξευγενιζόταν σε **Κάμινο Υπεξανθράκισης** (μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Άγγλο **Henry Cort**). Η **Κάμινος Υπεξανθράκισης** απαιτούσε την ανάμειξη του λειωμένου μετάλλου, που κρατήθηκε χωριστά από την φωτιά Ξυλάνθρακα, μέσω ενός ανοίγματος από έναν έμπειρο τεχνίτη, τον Υπεξανθρακιστή. Αυτό εξέθετε το μέταλλο ομοιόμορφα στα αέρια θερμότητας και καύσης στο φούρνο έτσι ώστε ο Άνθρακας να μπορεί να οξειδωθεί και να απομακρυνθεί. Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε Άνθρακα μειώνεται, παρατηρείται άνοδος του σημείου τήξης, αναγκάζοντας τα μερικώς τηγμένα κομμάτια του Σιδήρου να εμφανιστούν στην υγρή μάζα. Ο Υπεξανθρακιστής τα σύλλεγε σε μια ενιαία μάζα και στη συνέχεια τα κατεργαζόταν με σφυρηλάτηση. Έπειτα ο καυτός Σφυρήλατος Σίδηρος, περνώντας από ράουλα σε ειδικά διαμορφωμένα ελασματουργεία, μορφωνόταν σε επίπεδα φύλλα ή ράβδους Σιδήρου. Τα φύλλα κόβονταν σε στενές λουρίδες, από μύλους σχάσης Σιδήρου, για την παραγωγή των καρφιών.

Ενώ οι Υψικάμινοι παρήγαγαν Χυτοσίδηρο με μεγάλη αποδοτικότητα, η διαδικασία επεξεργασίας Χυτοσίδηρου και η μετατροπή του σε Σφυρήλατο Σίδηρο παρέμενε ανεπαρκής, μέχρι τα μέσα του **19<sup>ου</sup> αιώνα**. Ο ιστορικός **David Landes** γράφει: «Η διαδικασία εξευγενισμού του Ακατέργαστου Χυτοσίδηρου μέσω της **Καμίνου Υπεξανθράκισης** δυσχερώνει την βιομηχανία. Μόνο άνδρες αξιοθαύμαστης δύναμης και Αντοχής θα μπορούσαν να αντέξουν την υψηλή θερμοκρασία για ώρες, να αναμοχλεύουν και να ανακατεύουν το παχύρρευστο μείγμα του υγροποιούμενου μετάλλου, και να συλλέγουν τους σβόλους Κατεργασμένου Σιδήρου. Ο Υπεξανθρακιστής ήταν η αριστοκρατία του προλεταριάτου, υπερήφανος, πατρώς, διακεκριμένος από τον

ιδρώτα και το αίμα. Λίγοι από αυτούς έζησαν πέραν του τεσσαρακοστού έτους ηλικίας. Πολυάριθμες προσπάθειες καταβλήθηκαν για να εκμηχανισθεί η **Κάμιнос Υπεξανθράκισης**. Μάταια όμως. Μηχανές ανάδευσης του μείγματος μπορούσαν να κατασκευαστούν, αλλά μόνο το ανθρώπινο μάτι και η αφή μπορούσαν να ξεχωρίσουν το απανθρακισμένο μέταλλο υπό τήξη. Το μέγεθος των Καμίνων και των οφελών της παραγωγικότητας είναι αναλόγως περιορισμένο» (η οικονομική ιστορία του Καίμπριτζ της Ευρώπης, εντάσεις **VI**, μέρος **I**, 1966, σελ. 447).

Μια άλλη σημαντική ανακάλυψη του **18<sup>ου</sup> αιώνα** (από τον Άγγλο **Abraham Darby**) ήταν ότι το **κοκ** (“**coke**” σύμπτυξη του “**coal-cake**”), ή ο Άνθρακας που ψήθηκε για να αφαιρεθούν ακαθαρσίες όπως το Θείο, θα μπορούσε να αντικαταστήσει τον Ξυλάνθρακα στην **Εκκαμίνευση**. Αυτό ήταν μια σημαντική πρόοδος, καθώς οι αυξημένη παραγωγή Ξυλάνθρακα είχε οδηγήσει στην αποδάσωση σημαντικού μέρους της δυτικής Ευρώπης και της Μεγάλης Βρετανίας.

### 2.1.7. Παραγωγή Χάλυβα με τη διαδικασία Ενανθράκωσης

Ο Χάλυβας έχει περιεκτικότητα σε Άνθρακα **0,2-2,06 %**, αρκετό Άνθρακα ώστε να είναι σκληρότερος από τον Σφυρήλατο Σίδηρο, αλλά όχι τέτοια ώστε να τον καταστήσει το ίδιο εύθρυπτο με τον Χυτοσίδηρο. Η Σκληρότητα του, συνδυασμένη με την Εργασιμότητα και την Εφελκυστική Αντοχή του, καθιστούν το Χάλυβα πολύ πιο χρήσιμο από κάθε άλλο τύπο Σιδήρου: είναι ανθεκτικότερος και διατηρεί την αιχμηρή του κόψη καλύτερα, ακόμα και από τον μαλακότερο Σφυρήλατο Σίδηρο. Συμπεριφέρεται όμως σε καταπονήσεις και σε Εφελκυσμό καλύτερα από τον πιο εύθρυπτο Χυτοσίδηρο. Εντούτοις, μέχρι τα μέσα του **19<sup>ου</sup> αιώνα**, η παραγωγή Χάλυβα ήταν δύσκολη και πολυδάπανη. Πριν από την εφεύρεση του **μετατροπέα Bessemer** (που περιγράφεται κατωτέρω), ο Χάλυβας παραγόταν κυρίως με διεργασίες **Ενανθράκωσης**. Ράβδοι Σφυρήλατου Σιδήρου συσκευάζονταν με κονιορτοποιημένο Ξυλάνθρακα, σε στρώσεις, σε στενά κλειστά Λίθινα κιβώτια και θερμαινόταν. Μετά από αρκετές ημέρες θέρμανσης, οι ράβδοι Σφυρήλατου Σιδήρου απορροφούσαν τον Άνθρακα. Για επιτευχθεί ομοιόμορφη διανομή του Άνθρακα, το μέταλλο το κατακερμάτιζαν, επανασυσκευαζόταν με σκόνη Ξυλάνθρακα, και θερμαινόταν εκ νέου. Ο προκύπτων καυτός Χάλυβας θερμαινόταν ξανά και σφυραλατείτο ώστε να αποκτήσει αδιατάρακτη σύσταση.

Τη δεκαετία του **1740**, ο Άγγλος Ωρολογοποιός **Benjamin Huntsman**, αναζητώντας Χάλυβα υψηλότερων προδιαγραφών για την παραγωγή ελασμάτων ρολογιών, ανακάλυψε ότι ο καυτός Χάλυβας μπορούσε να καθαριστεί περαιτέρω, λείωνοντας τον σε κεραμικές χοάνες (χωνευτήρια) και προσθέτοντας έναν ειδικό ρευστοποιητή που αφαιρούσε από το μέταλλο τα λεπτόκοκκα Στοιχεία Σκωρίας, που δεν είχαν αφαιρεθεί με την διαδικασία της **Ενανθράκωσης**. Το παράγωγο ονομάστηκε Χάλυβας Χοάνης, ήταν υψηλής ποιότητας, αλλά ακριβός.

Πριν από το **1856** όμως, δεν υπήρχε εύκολος τρόπος να ελεγχθεί το επίπεδο Άνθρακα στο σίδηρο ώστε να κατασκευαστεί Χάλυβας φτηνά και αποτελεσματικά. Η αύξηση των σιδηροδρόμων στον **19<sup>ο</sup> αιώνα** δημιούργησε μια τεράστια αγορά για την χαλυβουργία. Οι πρώτοι σιδηρόδρομοι κινούνταν πάνω σε ράγες Σφυρήλατου Σιδήρου που ήταν πάρα πολύ μαλακές για να είναι ανθεκτικές. Σε συχνά καταπονούμενα τμήματα και στις εξωτερικές άκρες των καμπυλών, οι ράγες έπρεπε να αντικατασταθούν κάθε έξι με οκτώ εβδομάδες. Οι ράγες Χάλυβα ήταν πολύ ανθεκτικότερες, όμως η απαιτητική -σε εργασία και πόρους- διαδικασία **Ενανθράκωσης**, κατέστησε την τιμή του Χάλυβα απαγορευτικά υψηλή για μεγάλης κλίμακας χρήσεις.

### 2.1.8. Παραγωγή Χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer

Η μαζική παραγωγή φτηνού Χάλυβα ήταν εφικτή μετά από την καθιέρωση της **μεθόδου Bessemer**, που ονομάστηκε από τον εφευρέτη της, τον Βρετανό Μεταλλουργό **Sir Henry Bessemer (1813-1898)**. Ο **Bessemer** εκλογίκευσε ότι ο Άνθρακας ενώνεται εύκολα με το Οξυγόνο στον τηγμένο Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο, άρα ένα ισχυρό φύσημα αέρα στον τηγμένο Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο θα πρέπει να τον μετατρέψει σε Χάλυβα, με την μείωση της περιεκτικότητας του σε Άνθρακα. Το **1856**, ο **Bessemer** σχεδίασε έναν μετατροπέα, ένα μεγάλο, δοχείο σε σχήμα αχλαδιού, με τρύπες στο κατώτατο σημείο για να επιτρέπει στην έγχυση συμπιεσμένου αέρα. Ο **Bessemer** το γέμισε με τηγμένο Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο, φύσηξε το συμπιεσμένο αέρα εν μέσω του λειωμένου μετάλλου, και διαπίστωσε ότι ο Ακατέργαστος Χυτοσίδηρος πράγματι απαλάχθηκε του Άνθρακα και του Πυριτίου μέσα σε λίγα λεπτά και επιπλέον, αντί να παγώσει από το φύσημα του κρύου αέρα και να αρχίσει η διαδικασία πήξης, το μέταλλο έγινε ακόμα πιο καυτό και παρέμεινε λειωμένο.

Οι πειραματισμοί ενός άλλου Βρετανό εφευρέτη, τον **Robert Mushet**, έδειξαν ότι η ριπή αέρα αφαίρεσε περισσότερο του επιθυμητού Άνθρακα και αύξανε την περιεκτικότητα του λειωμένου μετάλλου σε Οξυγόνο. Ήταν απαραίτητη η προσθήκη μιας ένωσης Σιδήρου, Άνθρακα, και Μαγγάνιου, το οποίο ονόμασε **spiegeleisen** (ή **spiegel** για συντομία): το Μαγγάνιο απομακρύνει το Οξυγόνο υπό μορφή Οξειδίου Μαγγάνιου, το οποίο ενώνεται με την Σκωρία, και ο Άνθρακας εμπλουτίζει το μείγμα, μετατρέποντας τον λειωμένο Σίδηρο σε Χάλυβα (το Σιδηρομαγγάνιο εξυπηρετεί έναν παρόμοιο σκοπό). Η **μέθοδος Bessemer** σε συνδυασμό με την προσθήκη μιας μικρής ποσότητας **spiegel**, μετατρέπει ολόκληρη τη μάζα του τηγμένου Ακατέργαστου Χυτοσίδηρου σε Χάλυβα, εντός ολίγων λεπτών, χωρίς την ανάγκη πρόσθετων καυσίμων (εν αντιθέση με τις ημέρες, τους τόνους των πρόσθετων καυσίμων και της εργασίας, που απαιτούνται για τις διεργασίες **Υπεξανθράκισης** και την **Ενανθράκωσης**).

Μια ανεπάρκεια της αρχικής μεθόδου **Bessemer**, όμως, ήταν ότι δεν αφαιρούσε τον Φώσφορο από τον Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο. Ο Φώσφορος καθιστά το Χάλυβα υπερβολικά εύθραυστο. Επομένως, η **μέθοδος Bessemer** μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, μόνο, σε Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο που προήλθε από μεταλλεύματα χωρίς Φώσφορο. Τέτοια μεταλλεύματα είναι δυσεύρετα και ακριβά, και βρίσκονται μόνο σε μερικές περιοχές (π.χ. Ουαλία και Σουηδία, όπου ο **Bessemer** προμηθεύτηκε τον Ορυκτό Σίδηρο που χρησιμοποίησε, και στις άνω περιοχές του Μίτσιγκαν). Το **1876**, η **Welshman Sidney Gilchrist Thomas** ανακάλυψε ότι με την προσθήκη μιας χημικής βάσεως, όπως ο ασβεστόλιθος, στον **μετατροπέα Bessemer**, μεταφέρει το Φώσφορο από τον Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο στη Σκωρία, όπου επιπλέει στην κορυφή του μετατροπέα όπου και μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα, παράγοντας Χάλυβα άνευ Φωσφόρου (αυτή ονομάζεται **μέθοδος βάσεων Bessemer** ή **μέθοδος βάσεων Thomas**.) Αυτή η σημαντικότερη ανακάλυψη σήμαινε ότι απέραντα κοιτάσματα μεταλλεύματος Σιδήρου μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο για τους μετατροπέες **Bessemer**, οι οποίοι στη συνέχεια στην παρήγαγαν φτηνό Χάλυβα, εκτοξεύοντας στα ύψη την παραγωγή του σε Ευρώπη και ΗΠΑ.

### 2.1.9. Παραγωγή Χάλυβα με τη μέθοδο Ανοικτής Εστίας

Η **μέθοδος Bessemer** δεν μονοπώλησε την παραγωγή Χάλυβα για πολύ, καθώς επίδοξοι εφευρέτες ψάχναν τρόπους να παρακάμψουν τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας (πάνω από **100**) που κατείχε ο **Henry Bessemer**. Το **1860**, ένας ανταγωνιστής εμφανίστηκε στη σκηνή: η **μέθοδος Ανοικτής Εστίας**, που αναπτύσσεται αρχικά από το Γερμανό Μηχανικό **Karl Wilhelm Siemens**. Αυτή η διαδικασία μετατρέπει το Σίδηρο σε Χάλυβα σε έναν ευρύ, ρηχό, **φούρνο ανοικτής Καμίνου** (επίσης αποκαλούμενο **φούρνο αερίου Siemens** δεδομένου ότι καύσιμες ύλες ήταν πρώτα το αέριο Άνθρακα, αργότερα το φυσικό αέριο) με την προσθήκη Σφυρήλατου Σιδήρου ή Οξειδίων Σιδήρου στον τηγμένο Ακατέργαστο Χυτοσίδηρο έως ότου μειωθεί η περιεκτικότητά του σε Άνθρακα από τη διάλυση και την οξείδωση. Χρησιμοποιώντας απαγόμενα καυσαέρια για να προθερμάνει τον αέρα και το αέριο πριν από την ανάφλεξη, ο **φούρνος Siemens** μπορούσε να επιτύχει πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Όπως με τους **μετατροπείς Bessemer**, η χρήση βάσεων, όπως ο ασβεστόλιθος, στους **φούρνους Ανοικτής Εστίας** αφαιρεί το Φώσφορο από το λειωμένο μέταλλο (μια τροποποίηση ονομαζόμενη **διαδικασία βάσεων Ανοικτής Εστίας**). Αντίθετα από το **μετατροπέα Bessemer**, που παράγει Χάλυβα σε λίγες στιγμές, η **μέθοδος Ανοικτής Εστίας** διαρκεί κάποιες ώρες, επιτρέποντας την περιοδική εργαστηριακή δοκιμή του τηγμένου Χάλυβα έτσι ώστε το τελικό προϊόν να πληρεί τις ακριβείς προδιαγραφές του πελάτη ως προς τη χημική σύνθεση και τις μηχανικές ιδιότητες. Η **μέθοδος Ανοικτής Εστίας** επιτρέπει την παραγωγή μεγαλύτερων παρτίδων Χάλυβα από τη μέθοδο **Bessemer** και την ανακύκλωση μεταλλικών απορριμάτων της διαδικασίας.

Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων, μέχρι τις αρχές του **20<sup>ου</sup> αιώνα**, η **μέθοδος Ανοικτής Εστίας** είχε κατα κύριο λόγο αντικαταστήσει τη **μέθοδο Bessemer** (Μετά από το **1960**, και αυτή με τη σειρά της αντικαταστάθηκε από την **μέθοδο βάσεων Οξυγόνου**, μια τροποποίηση της **μεθόδου Bessemer**, στην παραγωγή Χάλυβα από μέταλλευμα Σιδήρου, και από τον **Κλίβανο Ηλεκτρικού Τόξου** στην παραγωγή Χάλυβα από τα μεταλλικά απορρίματα.)



### 2.1.10. Κατηγορίες και τεχνικά χαρακτηριστικά Χάλυβα

Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από **3.500** διαφορετικά είδη Χάλυβα με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών Χάλυβα δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι Χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες Χαλύβων. Αν χιζόταν σήμερα ο Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειαζόταν το ένα τρίτο της ποσότητας Χάλυβα. Ο Χάλυβας διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες (**Grades**), ανάλογα με την χημική σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία, την κρυσταλλική δομή ή και την τελική του χρήση. Ως προς την χημική τους σύσταση, ταξινομούνται ως εξής:

- Κοινοί ή Ανθρακούχοι Χάλυβες (**carbon steels**). Περιέχουν Άνθρακα (έως **2,06 %**), μικρό ποσοστό Μαγγανίου (έως **1,65%**), Πυριτίου (έως **0,6 %**) και Χαλκού (έως **0,6%**). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο Άνθρακα, οι κοινοί Χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
  - Χάλυβας χαμηλού Άνθρακα ή μαλακοί Χάλυβας (**mild steels · C < 0,30 %**),
  - Χάλυβας μέτριου Άνθρακα (**medium carbon steels · 0,30 % < C < 0,60 %**),
  - Χάλυβας υψηλού Άνθρακα (**high carbon steels · 0,60 % < C < 1,00 %**), και
  - Χάλυβας πολύ υψηλού Άνθρακα (**ultra-high carbon steels · 1,00 % < C < 2,06 %**).
- Κραματωμένοι χάλυβες (**alloy steels**), δηλ. κράματα Χάλυβα με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τα κράματα Χάλυβα, όπως Ελαφρά Κραματωμένος Χάλυβας ή Χάλυβας Χαμηλής Κραμάτωσης, περιέχουν συνήθως Χρώμιο, Μολυβδαίνιο, Βανάδιο, Νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το **10 %** κ.β., όπως π.χ. οι Εργαλειοχάλυβες (**0,7 % < C < 1,4%, Mn < 0,3 %**), και οι
  - Ισχυρά Κραματωμένοι Χάλυβες ή Χάλυβες Υψηλής Κραμάτωσης, όπως οι Ανοξειδωτοί Χάλυβες (**Cr > 10,5%**), οι Ταχυχάλυβες (**C ~ 0.7%, Cr ~4,0%, 5,0% < Mo < 10%, 1,5% < W < 18,0%, 0 % < Co < 8,0%**), κ.λπ.
- Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι Χάλυβες διακρίνονται σε:
  - Χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
  - Χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με **Χύτευση** υπό μορφή πλινθωμάτων ("χελωνών") και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.
- Τέλος, οι Χάλυβες διακρίνονται ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική τους φάση, σε Φερριτικούς, Περλιτικούς, Μαρτενσιτικούς, Μπαινιτικούς κ.λ.π..

Η ονοματολογία των Χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως **DIN**, **ASTM**, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας Χάλυβα και την Αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας Χάλυβα σε Εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ **1421-3** ορίζει ότι ο Χάλυβας **B500C** πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από **500 MPa (500 N/mm<sup>2</sup>)**.

Αν και στον σημερινό κόσμο υπάρχουν ιδιαίτερα προηγμένα υλικά, όπως οι μικρο-ίνες Άνθρακα και ενισχυμένα με ανθρακονήματα πλαστικά, μόνο ο Χάλυβας μπορεί να θεωρηθεί ως βασιλιάς των βιομηχανικών υλικών. Στην πραγματικότητα, τα όπλα Σιδήρου αποδείχθηκαν εκπληκτικά αποτελεσματικά στους πολέμους των Χετταίων με τους Αιγυπτίους. Ο Σίδηρος ήταν ένας από τα βιομηχανικά υλικά που πρωταγωνίστησαν στη Βιομηχανική Επανάσταση και από το σημείο αυτής της περιόδου και έπειτα, διάφορες αξιοπρόσεκτες Γέφυρες ανά τον κόσμο εμφανίστηκαν. Ο Χάλυβας και οι ιδιότητες της σημαντικής Ολκιμότητας και δύναμης του συνέβαλαν σημαντικά στην είσοδο μας στη εποχή των Γεφυρών Μεγάλων Ανοιγμάτων.

Ο Χάλυβας έχει συγχρόνως και πολλά μειονεκτήματα. Ο Χάλυβας μπορεί να διαβρωθεί αρκετά εύκολα εάν δεν λειφθεί η απαραίτητη προσοχή. Είναι αρκετά βαρύς. Χρειάζεται να καταναλωθούν μεγάλα ποσά ενέργειας, πρώτων υλών και καυσίμων κατά τη παραγωγή του. Ως οικοδομικό υλικό υπολείπεται την ζεστασιά που προσφέρει το Ξύλο. Τα περισσότερα από αυτά τα μειονεκτήματα έχουν βελτιωθεί επιτυχώς από τις καινοτόμες εφευρέσεις, όπως το Ανοξειδωτο Ατσάλι και τα υβριδικά υλικά.

Αξιοπεριέργο είναι ότι οι Μεταλλικές Κατασκευές θεωρούνται πολύ ελαφρύτερες από κατασκευές από Σκυρόδεμα. Αυτό δεν μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό και φαίνεται παράλογο δεδομένου ότι το ειδικό βάρος του Χάλυβα είναι **78,5 Kn/m<sup>3</sup>** και αυτό του Ωπλισμένου Σκυροδέματος είναι περίπου **25 Kn/m<sup>3</sup> (24 Kn/m<sup>3</sup> το Άοπλο Σκυρόδεμα)**.

Πώς οι Μεταλλικές Κατασκευές θεωρούνται πολύ ελαφρύτερες από τις κατασκευές από Σκυρόδεμα, εάν αυτή η διαφορά του ειδικού βάρους ληφθεί υπόψη; Φυσικά, οι Δομικοί Μηχανικοί μπορούν να δώσουν μια καλή εξήγηση για αυτή τη φαινομενικά παράλογη δήλωση. Παρά το μεγαλύτερο ειδικό βάρος, ο Χάλυβας μπορεί να φέρει τα ίδια και μεγαλύτερα Φορτία με το Σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας ελαφρύτερες διατομές, λόγω του ότι παρουσιάζει υψηλότερη Ακαμψία, μεγαλύτερη Αντοχή και την ευκολία διαμόρφωσης διασταυρούμενων στοιχείων.

Παραδείγματος χάριν, αυτές οι ελαφρότερες διατομές μπορεί να αξιοποιηθούν πλήρως στην κατασκευή αστικών Οδογέφυρων στις μεγάλες πόλεις. Οι περισσότερες μεγάλες πόλεις, πλην μερικών εξαιρέσεων στηρίζονται σε μαλακά υποστρώματα γης. Δεν μπορούν να φέρουν μεγάλο βάρος, εκτός και αν ληφθούν αντίμετρα, επειδή υποβάλλεται σε διαδικασίες, όπως καθίζηση, ανακατατάξεις γαιών και της σταθεροποίησης. Γι' αυτό σε μεγάλες πόλεις όπως το **Tokyo** και η **Ozaka**, οι Οδογέφυρες οδών ταχείας κυκλοφορίας κατασκευάζονται από Χάλυβα.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών Χάλυβα, βελτιώνοντας την Ολκιμότητα και Αντοχή του, Γέφυρες Μεγάλων Ανοιγμάτων έχουν χτιστεί ανά τον κόσμο. Παραδείγματος χάριν, η Γέφυρα **Akashi Strait** που ολοκληρώθηκε το **1998**, το μέγιστο μήκος ανοίγματος έφθασε τα **1.991 μέτρα**. Μια από τις βασικές καινοτομίες, ήταν η δύναμη των υψηλής Αντοχής Χαλύβδινων Συρματόσχοινων. Έφτασε τα **1.900 MPa**, Αντοχή πολύ υψηλότερη από τη μέση Αντοχή των **400 MPa** του Χάλυβα Άνθρακα. Χωρίς αυτήν την καινοτομία, η Γέφυρα **Akashi Strait** θα έπρεπε να έχει χρησιμοποιήσει δίδυμα Κύρια Καλώδια, εν αντιθέση με το υπάρχον μονό Καλώδιο.

### 2.1.11. Χρήση του Χάλυβα στη σύγχρονη Γεφυροποιία

Σχετικά με την εξέλιξη των Μεταλλικών Κατασκευών και ιδιαίτερα των Γεφυρών, πολλά περιθώρια για βελτιώσεις θεωρείται ότι υπάρχουν. Καταρχήν, όσον αφορά την κατασκευή Γεφυρών με τεράστια ανοίγματα, η παρούσα σχεδίαση με τη χρήση Χάλυβα ως κατασκευαστικό υλικό, δεν μπορεί να εφαρμοστεί τόσο εύκολα. Ειδικά, όταν το μήκος του ανοίγματος υπερβαίνει τα **3.000 μέτρα**, η τωρινές μέθοδοι χρήσης του Χάλυβα καταστούν την κατασκευή εξαιρετικά δύσκολη. Υπερβάλλοντας λίγο, μπορούμε να πούμε ότι οι Γέφυρες μπορούν να φέρουν μόνο το Ίδιον Βάρος τους και ούτε Εξωτερικά Φορτία όπως τα Κινητά Φορτία από τα οχήματα ούτε Φυσικά Φορτία όπως Φορτία Αέρα, Χιόνος και Σεισμού μπορούν ενδεχομένως να αντιμετωπιστούν! Πολλοί Μηχανικοί έχουν προτείνει διάφορες καινοτόμες ιδέες, όπως η χρήση του ενισχυμένου με ανθρακονήματα πλαστικού προς αντικατάσταση του Χάλυβα, υλικό με πολύ μικρότερο ειδικό βάρος, υψηλότερη Αντοχή και μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση. Εντούτοις, συγκρινόμενο με τη μεγάλη ιστορία και εμπειρία στη χρήση Σιδήρου και Χάλυβα κατά τη διάρκεια σχεδόν **6.000 ετών**, αυτό το υλικό υψηλής επίδοσης υπολείπεται σε αξιοπιστία, λόγω μόνο της πολύ μικρής ηλικίας και πρόσφατης χρήσης του.

Επιπλέον, καθώς το μέγεθος των κατασκευών γίνεται όλο και μεγαλύτερο, θα υπήρχαν πολλοί κίνδυνοι σχετικά με την αστάθεια από Φορτία Ανέμου, της συναρμογής και της μακροπρόθεσμης Αντοχής του, ιδιαίτερα στη θάλασσα.

Φυσικά μπορούν να εξεταστούν και άλλες δυνατότητες. Ίσως είναι υπερβολικά ματαιόδοξες οι απόπειρες να υπερνικήσουμε την βαρύτητα της γης. Αυτό που συμβαίνει παραδείγματος χάριν στην κατασκευή των Βάθρων στη ζεύξη των Στενών του Γιβραλτάρ, όπου ο βυθός μπορεί να έχει βάθος μέχρι και **900 μέτρα**. Ακόμα κι αν η ανωδομή μπορεί να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί με επιτυχία, χρησιμοποιώντας υλικά υψηλής επίδοσης όπως πλαστικά ενισχυμένα με ανθρακονήματα, πώς είναι εφικτή η κατασκευή Βάθρων ύψους μεγαλύτερου του ενός χιλιομέτρου, λαμβάνοντας υπόψη και τον οικονομικό παράγοντα; Σε αυτήν τη περίπτωση, μια βιώσιμη ιδέα είναι αυτή της Πλωτής Γέφυρας. Συνήθως η θάλασσα θεωρείται εμπόδιο στην κατασκευή γεφυρών. Εντούτοις, στην περίπτωση των Πλωτών Κατασκευών, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα ελαστικό ελατήριο που παρέχει τη δύναμη πλευστότητας.

Σε ένα κόσμο που ξεπερνάει την παλαιά νοοτροπία του “εκμεταλλεύομαι και αναλίσκω”, και καθώς αρχίζουμε να αντιλαμβανόμαστε την ανάγκη για ανάπτυξη αλλά και τη διατήρηση των φυσικών πόρων για τις επόμενες γενιές, ένας Μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη το κόστος μιας κατασκευής σε οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό επίπεδο. Και οι Μεταλλικές Γέφυρες είναι σημαντικά οικονομικότερες σε σχέση με τις Ολόσωμες και από άποψη οικονομική αλλά και οικολογική.

Οι εξελίξεις στον χώρο της **Μεταλλουργίας** παρείχαν τα υλικά ανώτερης ποιότητας που επέτρεπαν στους Γεφυροποιούς κάθε φορά να υπερβαίνουν τα πρώτερα όρια που τους έθεταν τα ίδια τα υλικά και να επιτυγχάνουν συνεχώς όλο και μεγαλύτερα ανοίγματα στις Μεταλλικές Γέφυρες. Κάθε ένα από τα υλικά κυριάρχησε για κάποια περίοδο και γενικότερα, οι τελευταίοι τρεις αιώνες μπορούν χωριστούν σε χρονολογικές περιόδους με βάση τη χρήση των Μεταλλευμάτων, αν και πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σαν μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής, καθώς, ποτέ ένα υλικό δεν αντικαταστάθηκε αμέσως, και συχνότερα χρησιμοποιούνταν μαζί, αναλόγως την κατασκευή.

Ο Χυτοσίδηρος κυριάρχησε από το **1780** έως το **1850**, ο Σφυρήλατος ή Κατεργασμένος Σίδηρος, από το **1850** έως το **1900** και ο Χάλυβας από το **1880** έως και σήμερα.

## 2.2. Κατηγορίες Γεφυρών

### Αναλόγως του Υλικού κατασκευής:

Ξύλινες	Λίθινες
Άοπλου Σκυροδέματος	Ωπλισμένου Σκυροδέματος
Προεντεταμένου Σκυροδέματος	Μικτές Ωπλισμένου Σκυροδέματος και προτύπων Σιδηρών Ελασμάτων (Σύμμικτες)
Σιδηρές	Σιδηρές προεντεταμένες

### Αναλόγως του σκοπού εξυπηρέτησης:

Σιδηροδρομικές	Τροχιοδρομικές
Οδογέφυρες	Πεζογέφυρες
Υδατογέφυρες	Ειδικές Γέφυρες(καλωδίων, σωλήνων, κλπ)

### Αναλόγως του Γεφυρούμενου εμποδίου:

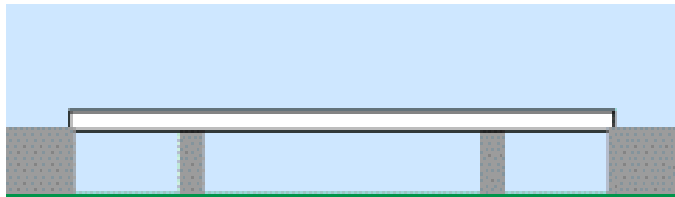
Χειμάρων και Ποταμών	Κοιλαδογέφυρες
Χαραδρογέφυρες	Οχετοί
Κάτω διαβάσεων οδών ή πεζών	Άνω διαβάσεων οδών ή πεζών

### Αναλόγως της μορφής του Στατικού τους προτύπου:

Πλακοσκεπείς (Αμφιέριστες ή Συνεχείς)	Εσχάρας Πλακοδοκών (Αμφιέριστες ή Συνεχείς)
Πλαισιωτές	Θολωτές
Τοξωτές	Δικτυωτές
Κρεμαστές	Κινητές
Πλωτές	Λυόμενες

### 2.2.1. Στατικά πρότυπα κατασκευής

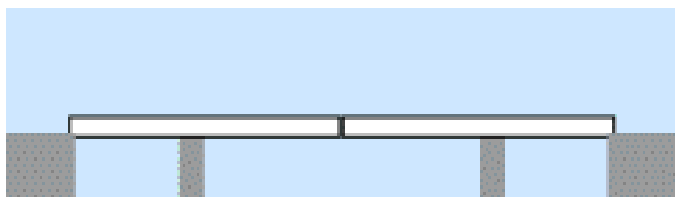
Οι βασικοί τύποι ανοιγμάτων παρουσιάζονται παρακάτω. Οποιαδήποτε από αυτά τα ανοίγματα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας Δοκούς, Ενισχυμένες Δοκούς ή Δικτυώματα. Οι Τοξωτές Γέφυρες είναι είτε Απλές είτε Συνεχείς. Μια Γέφυρα με Προβόλους στα ακρόβαθρα μπορεί επίσης να περιλάβει ένα Ανηρτημένο άνοιγμα.



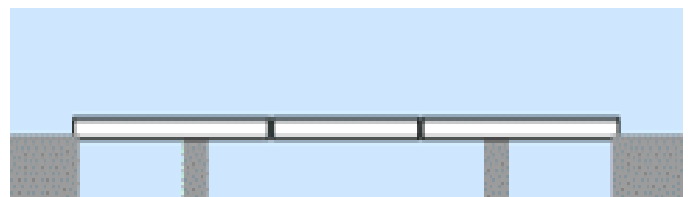
Απόλυτο συνεχές σύστημα



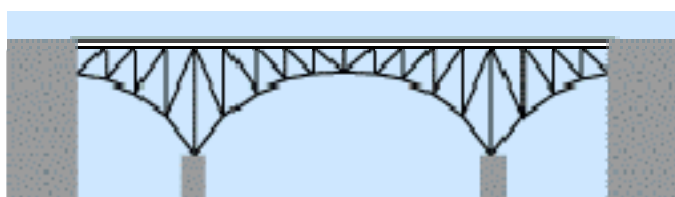
Συνεχές σύστημα με αμφιέριστα ανοίγματα



Σύστημα ανοιγμάτων μορφής Προβόλων



Σύστημα τύπου Gerber με το μεσαίο άνοιγμα ανηρτημένο



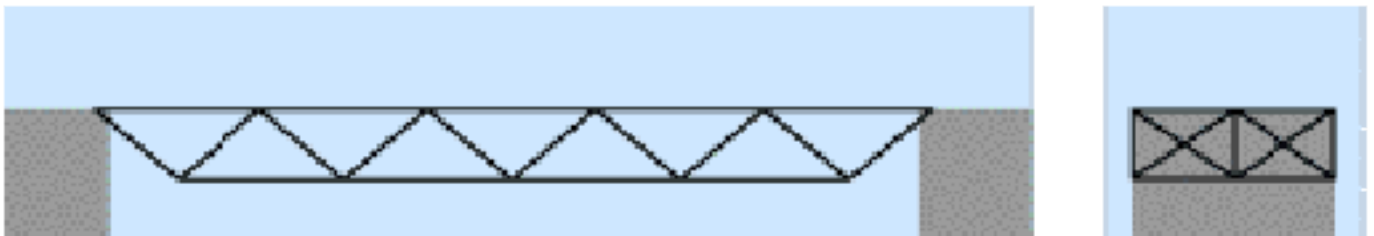
Γέφυρα Πρόβολος, παρόμοια με Τοξωτή



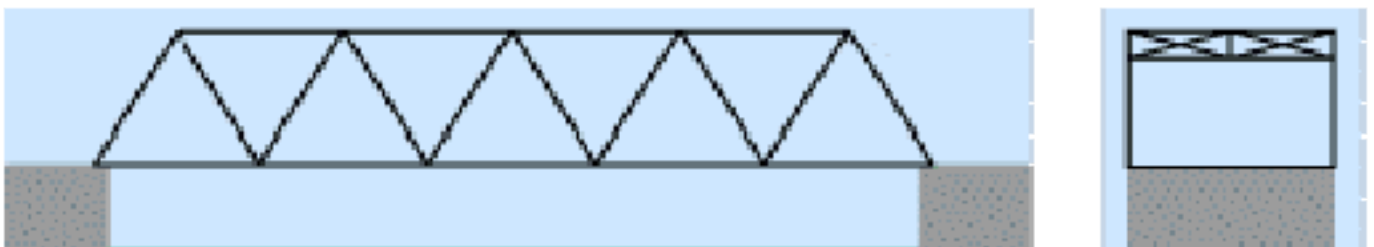
Κρεμαστή Γέφυρα

### 2.2.2. Διατάξης καταστρώματος Γέφυρας, σε σχέση με το Φορέα

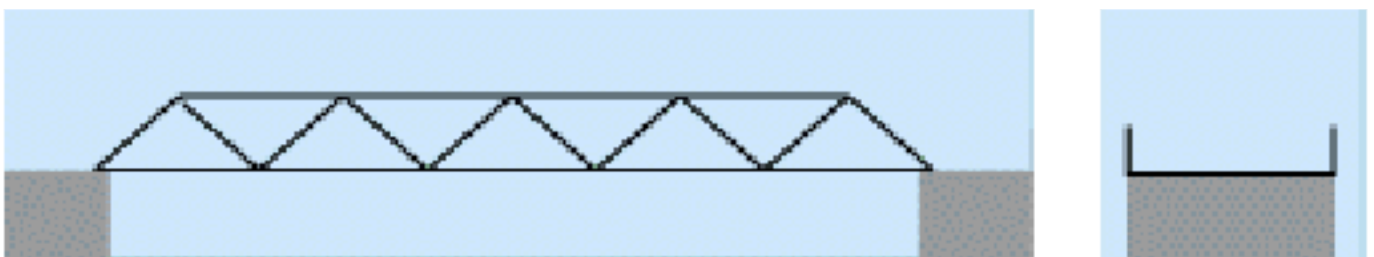
Τα παραδείγματα των τριών συνηθέστερων διαμορφώσεων επιφάνειας ταξιδιού παρουσιάζονται στα σχέδια τύπων Δικτυωμάτων κατωτέρω. Σε μια διάταξη Γεφύρας τύπου **deck** η κυκλοφορία ταξιδεύει πάνω από την κύρια δομή, σε μια διάταξη τύπου **pony** η κυκλοφορία ταξιδεύει μεταξύ των παράλληλων εποικοδομών οι οποίες δεν συνδέονται με Διαδοκίδες στην κορυφή. Στην διάταξη **through** η κυκλοφορία ταξιδεύει μέσω των εποικοδομημάτων (συνήθως Δικτυώματα) των οποίων τα μελη συνδέονται με Διαδοκίδες επάνω και κάτω από την κυκλοφορία.



Δικτύωμα διάταξης deck (Άνω διαβάσεως κλειστή Διατομή)



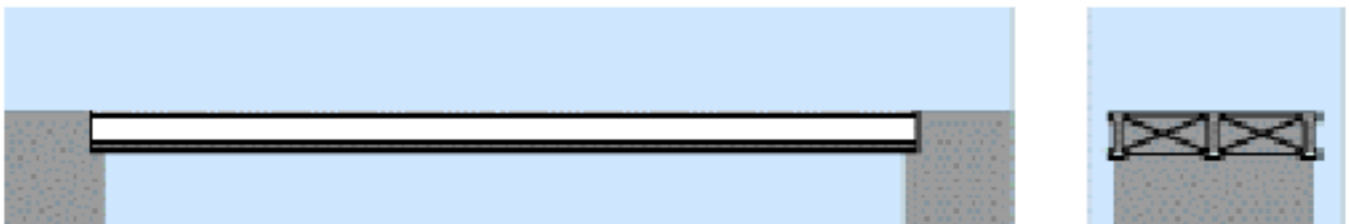
Δικτύωμα διάταξης through (Κάτω διαβάσεως κλειστής Διατομής με διαδοκίδες στο άνω πέλμα)



Δικτύωμα διάταξη pony (Κάτω διαβάσεως ανοικτής Διατομής)

### 2.2.3. Τύποι δοκών και ενισχυμένων δοκών

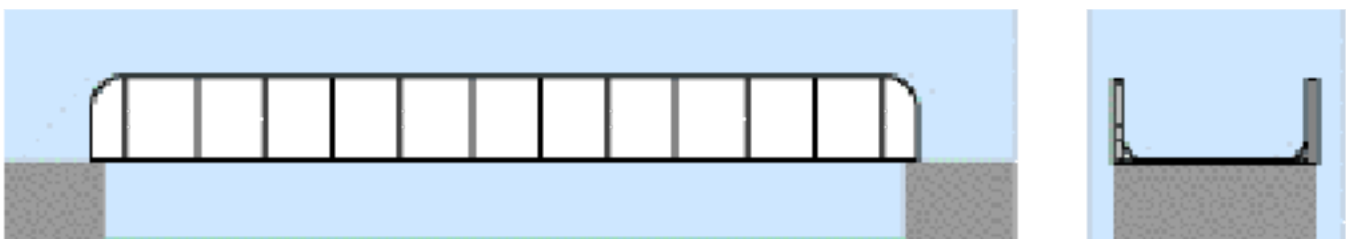
Οι απλές Γέφυρες μορφής Δοκού κατασκευάζονται συνήθως από Μέταλλο ή Ωπλισμένο Σκυρόδεμα. Άλλοι τύποι Δοκαριών και Ενισχυμένων Δοκών κατασκευάζονται από Μέταλλο. Στο τμήμα στο τέλος της Γέφυρας διάταξης διπλού καταστρώματος (**two deck configuration**) φαίνονται οι Δοκοί, οι οποίες συνήθως συνδέονται με Διαδοκίδες. Στο τμήμα στο τέλος της Γέφυρας διάταξης πόνεϋ (**pony**) τα Δικτυώματα και το κατάστρωμα συνδέονται με ένα διαγώνιο μέλος, ώστε να αποτραπεί παρέκλιση μεταξύ τους.



Γέφυρα μορφής Δοκού (το κατάστρωμα είναι πάνω στις Δοκούς)

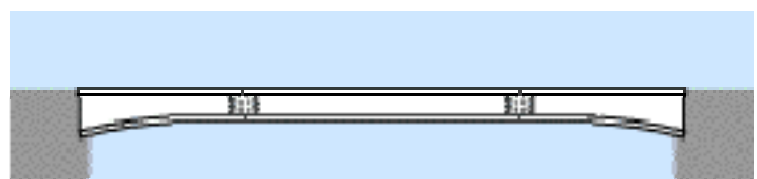


Γέφυρα διάταξης deck υποστηριζόμενη (το κατάστρωμα είναι πάνω σε πλάκες οι οποίες εδράζονται σε τραβέρσα)



Γέφυρα διάταξης pony (η Διαδοκίδα και το κατάστρωμα συνδέονται άκαμπτα με έλασμα ενισχύσεως)

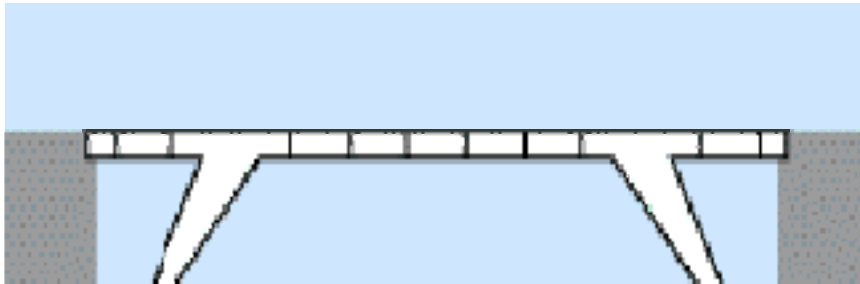
Μια μέθοδος ώστε να επιτευχθεί αύξηση της φέρουσας ικανότητας μιας Ενισχυμένης Δοκού, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιείται το ύψος του πλέγματος της, είναι η προσθήκη Αντιρίδων στα υποστηριζόμενα άκρα. Συνήθως το κεντρικό άνοιγμα είναι τυποποιημένης μορφής με παράλληλες προβολές (ελάσματα, καμπύλες ή υπό γωνία). Οι προβολές αυτές συναρμολογούνται βλυτρώνοντας ή βιδώνοντας τις σε



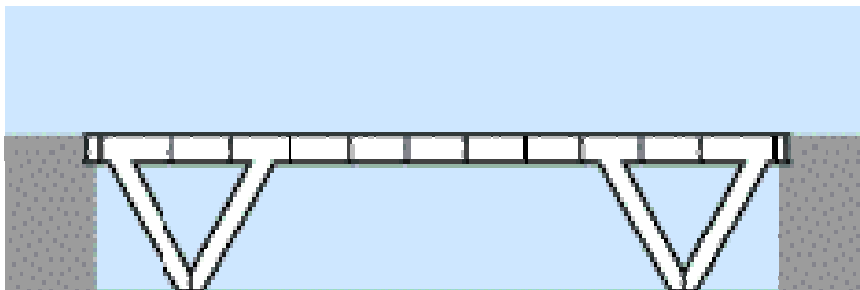
τρία ανοίγματα τα οποία συναρμολογούνται μεταξύ τους με Κομβοελάσματα



ελάσματα. Λόγω των περιορισμών που υφίστανται οι μεταφορές μεγάλων Δοκών στο εργοτάξιο, μικρότερα, πιά εύχρηστα μήκη μεταφέρονται στο εργοτάξιο, όπου και συνδέονται χρησιμοποιώντας ελάσματα.



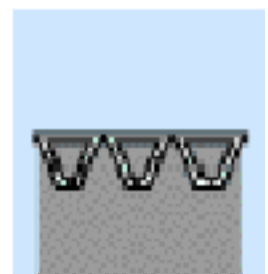
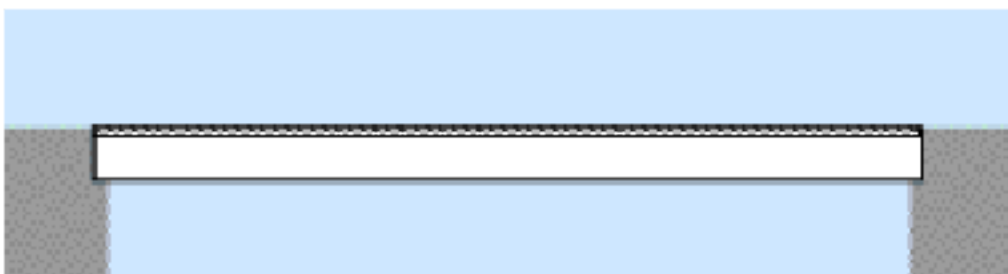
**Άκαμπτο Πλαίσιο με κεκλιμενα μεσόβαθρα**



**Άκαμπτο Πλαίσιο με μεσόβαθρα μορφής τύπου 'N'**

Πολλές σύγχρονες Γέφυρες χρησιμοποιούν καινοτόμα σχέδια, ανεπτυγμένα με τη χρήση προγραμμάτων υπολογιστών για υπολογισμό εντατικών καταστάσεων. Ο άκαμπτος τύπος Πλαισίων έχει ενσωματωμένες την ανωδομή και την υποδομή. Συνήθως, τα Βάθρα ή το σημείο τομής του βάθρου και του καταστρώματος είναι ένα εννιαίο κομμάτι που καρφώνεται σε άλλα τμήματα.

Οι Ορθοτροπικές Δοκοί είναι πρότυπες μορφές ικανές να αντισταθούν σε πολλαπλές, ταυτόχρονες καταπονήσεις διαφόρων διευθύνσεων. Ποικίλλουν στη διατομή και μπορούν να είναι ανοικτής ή κλειστής μορφής.



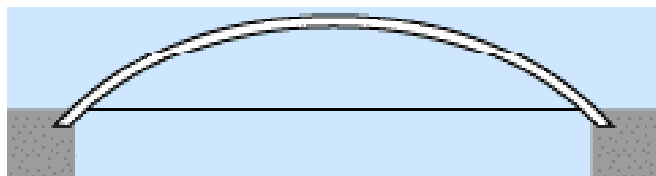
**Ορθοτροπική Δοκός ανοικτής μορφής**

### 2.2.4. Τοξωτές Μεταλλικές Γέφυρες

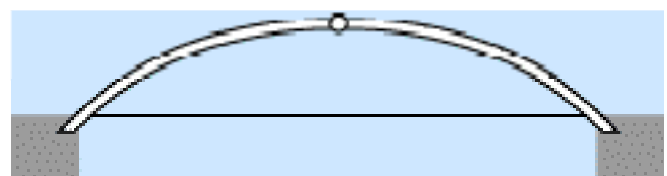
Οι Τοξωτές Γέφυρες είναι κατασκευές στις οποίες σε κάθε άνοιγμα διαμορφώνεται από ένα Τόξο. Τα ανοίγματα κυμαίνονται περίπου μέχρι **520 μέτρα**. Η Τοξωτή Γέφυρα είναι ένας από τους παλαιότερους τύπους Γεφυρών. Οι πρώιμες Τοξωτές Γέφυρες κατασκευάστηκαν από μεγάλους, λαξευμένους ογκόλιθους που σφηνώθηκαν μαζί για να διαμορφώσουν ένα Ολόσωμο Τόξο. Σήμερα, η πλειοψηφία των Τοξωτών Γεφυρών μικρών ανοιγμάτων κατασκευάζεται από Σκυρόδεμα, παλαιότερα από Ξύλο. Τοξωτές Γέφυρες μεγαλύτερων ανοιγμάτων χρησιμοποιούν σαν υλικά κατασκευής το Σκυρόδεμα ή το Μέταλλο. Τα Δικτυώματα είναι συνήθως δευτερεύοντα Στοιχεία σε μια τέτοια Γέφυρα, αν και δεν είναι σπάνια τα Τόξα που αξιοποιούν και κατασκευάζονται από Δικτυώματα.

Οι Μηχανικοί πρέπει να σχεδιάζουν τις Τοξωτές Γέφυρες έτσι ώστε οι Εδράσεις του Τόξου να μην ολισθαίνουν όταν δέχονται Φορτία, καθώς αυτό μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση της Γέφυρας. Το οδόστρωμα μερικών Γεφυρών βρίσκεται πάνω από την Αψίδα και υποστηρίζεται από τα Μεσόβαθρα (**spandrel columns**). Αυτά μεταφέρουν το Φορτίο του οδοστρώματος στην Αψίδα, η οποία φέρει το και το Ίδιο Βάρος της (βάρος της Γέφυρας). Το οδόστρωμα μιας Αμφίπακτης Τοξωτής Γέφυρας (**tied arch bridge**) είναι κάτω από την καμπύλη του Τόξου. Το οδόστρωμα υποστηρίζεται από Ενισχυμένες Δοκούς ή άλλους τύπους Δοκαριών που αναρτώνται από το Τόξο. Οι Δοκοί συνδέονται επίσης με τις Εδράσεις του Τόξου έτσι ώστε να αποτραπεί μία τυχούσα παρέκλιση τους, από την αρχική θεωρητική τους θέση. Οι Στηρίξεις φέρουν το βάρος της Γέφυρας.

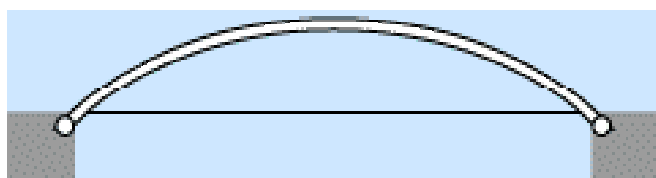
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να ταξινομηθούν οι Τοξωτές Γέφυρες. Η τοποθέτηση της Γέφυρας σε σχέση με το επικοινωνήμα παρέχει τους περιγραφικούς όρους που χρησιμοποιούνται σε όλες τις Γέφυρες: **deck**, **pony**, και **through**. Επίσης, μπορεί να



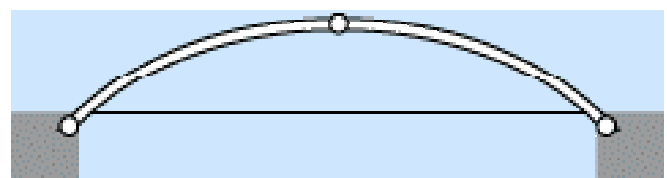
Αμφίπακτο Τόξο



Μονοαρθρωτό Τόξο



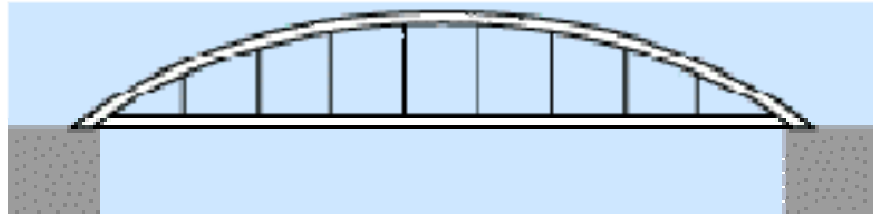
Διαρθρωτό Τόξο



Τριαρθρωτό Τόξο

χρησιμοποιηθεί ο τύπος συνδέσεων που χρησιμοποιούνται στις Στηρίξεις και στο μέσον του Τόξου, μετρώντας τον αριθμό Αρθρώσεων, οι οποίες ορίζουν την συμπεριφορά της κατασκευής σε διάφορες Φορτίσεις και Δυνάμεις. Παρουσιάζεται Αψίδα διάταξης **through**, αλλά αυτό ισχύει για όλους τους τύπους Αψίδων.

Μια άλλη μέθοδος ταξινόμησης βασίζεται στη διαμόρφωση ενός Τόξου. Για παράδειγμα, οι μορφές των Στέρων Ελκυστήρων σε

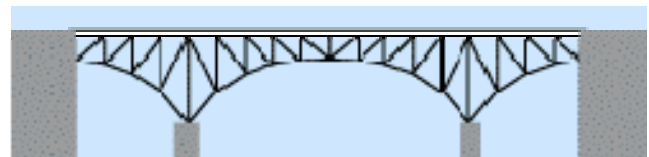


**Αμφίπακτη Τοξωτή Γέφυρα Ελκυστήρων**

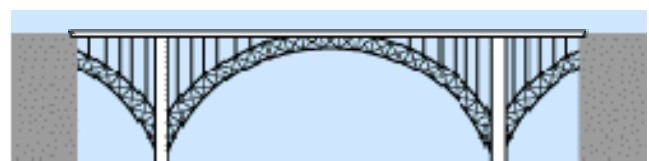
Αμφίπακτο Τόξο, του ενισχυμένου με Ελκυστήρες Τοξωτού Δικτυώματος και Ενισχυμένα Τόξα με Τύμπανα ανοικτού τύπου. Ένα Τόξο με Ελκυστήρες, κατασκευάζεται συνήθως χρησιμοποιώντας καμπύλα τμήματα δοκών. Ένα ενισχυμένο Τόξο Ελκυστήρων έχει ένα καμπύλο Δικτύωμα διάταξης **through**, με το κατάστρωμα της Γέφυρας να βρίσκεται στο κάτω Πέλμα του Δικτυώματος. Σε μια Αψίδα με Τύμπανα ανοικτού τύπου το κατάστρωμα βρίσκεται στο άνω Πέλμα του Δικτυώματος, το οποίο το στηρίζει.

Μερικές Μεταλλικές Γέφυρες που εκ πρώτης όψεως φαίνονται να είναι Τόξα με Τύμπανα ανοικτού τύπου είναι, στην πραγματικότητα, Γέφυρες Πρόβολοι. Αυτές στηρίζονται στη διαγώνια ενίσχυση (**diagonal bracing**), ενώ μια Τοξωτή Γέφυρα μεταδίδει το Φορτίο που φέρει η Αψίδα βασιζόμενη στα κατακόρυφα Στοιχεία.

Η Αμφίπακτη Αψίδα τύπου “χορδή Τόξου” (**bowstring**) χρησιμοποιείται συνήθως για Κρεμαστές Γέφυρες. Το Τόξο μπορεί να είναι Δικτυωτό ή Ολόσωμο.



**Γέφυρα Πρόβολος, παρόμοια Τοξωτής Γέφυρα με τύμπανα ανοικτού τύπου**



**Δικτυωτή Αψίδα διάταξης deck**



**Αμφίπακτη Δικτυωτή Τοξωτή Γέφυρα διάταξης through**



**Δικτυωτή Τοξωτή Γέφυρα διάταξης through**

Τα Δικτυώματα που αποτελούν την Αψίδα ποικίλουν στη διαμόρφωση, αλλά συνηθίζεται η χρήση των μορφών **Pratt** ή **Warren**. Ενώ μια τυπική Τοξωτή Γέφυρα

μεταφέρει το Φορτίο της στα Θεμέλια μέσω των Βάθρων της, η μορφή Αμφίπακτου Τόξου αποτρέπει την ολίσθηση των Βάθρων της, με τη χρήση του καταστρώματος της Γέφυρας ως δεσμικό στοιχείο.



Τύμπανο κλειστού τύπου

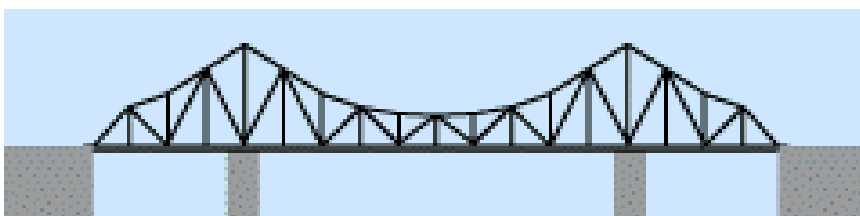


Τύμπανο ανοικτού τύπου

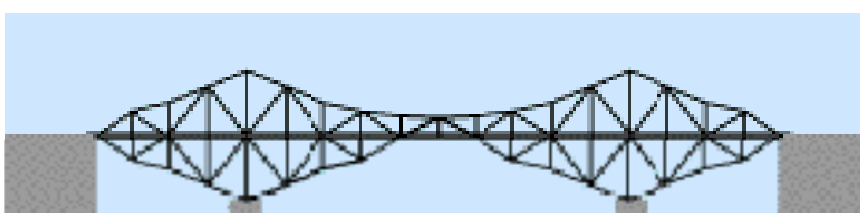
Οι Λιθόκτιστες Γέφυρες, κατασκευασμένες από Πέτρα και Σκυρόδεμα, μπορούν να έχουν Τύμπανα ανοικτού ή κλειστού τύπου. Ένα Τύμπανο κλειστού τύπου γεμίζεται συνήθως με εκχώματα και επενδύεται με Πέτρα ή Σκυρόδεμα. Περιστασιακά, το Ενισχυμένο Σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στην οικοδόμηση των Αψίδων διάταξης **pony**.

### 2.2.5. Μεταλλικές Γέφυρες Πρόβολοι

Πρόβολος είναι ένα δομικό Μέλος που εκτείνεται πέρα από την Στήριξη του και υποστηρίζεται μόνο στο ένα άκρο του. Γέφυρες μορφής Προβόλου κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας Δικτυώματα, Δοκάρια ή Ενισχυμένες Δοκούς. Η υιοθέτηση των αρχών Προβολοδόμησης, επιτρέπει την κατασκευή μεγαλύτερων ανοιγμάτων απ'ότι μια απλή κατασκευή. Μπορούν επίσης να συμπεριλαμβάνουν Ανηρητημένο Άνοιγμα,. Μερικές Γέφυρες που μοιάζουν να είναι Τοξωτές, είναι στην πραγματικότητα, Δικτυωτοί Πρόβολοι. Αυτοί μπορούν να προσδιοριστούν από τα διαγώνια Μέλη που χρησιμοποιούνται στη μόρφωση των Τύμπανων ανοικτού τύπου. Οι τύποι **Pratt** και **Warren** είναι μεταξύ των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων Δικτυωμάτων για την κατασκευή Δικτυωτών

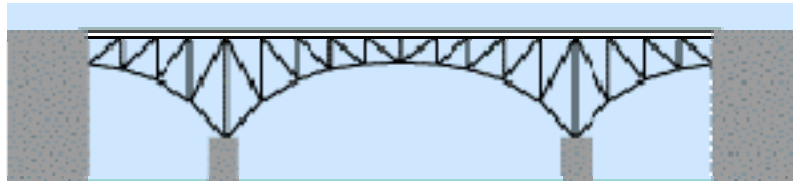


Γέφυρα Πρόβολος διάταξης through, όπου το κατάστρωμα βρίσκεται στο κάτω Πέλμα του Δικτυώματος



Γέφυρα Πρόβολος διάταξης through, όπου το Δικτύωμα εκτείνεται και πάνω και κάτω από το κατάστρωμα της Γέφυρας

Προβόλων. Το κλασικό σχέδιο Προβόλου, Γέφυρα διάταξης **through** που εκτείνεται επάνω από το κατάστρωμα της Γέφυρας.



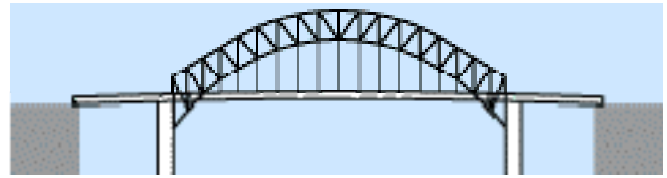
Γέφυρα Πρόβολος, παρόμοια με Τοξωτή Γέφυρα

### 2.2.6. Μεταλλικές Κρεμαστές Γέφυρες

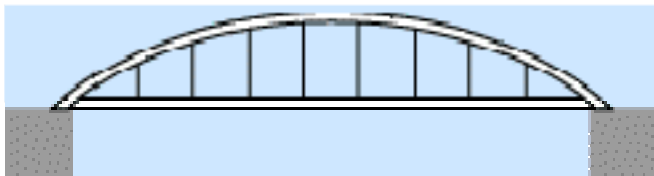
Οι μακρύτερες Γέφυρες στον κόσμο είναι οι Κρεμαστές Γέφυρες. Το κατάστρωμα αναρτάται με νεύρα (Συρματόσχοινα, Ράβδους Εφελκυσμού, Καλώδια, Αλυσίδες, κ.α.), σε Δικτυώματα, Καλώδια που ενώνουν Πυλώνες ή και στους ίδιους τους Πυλώνες. Τα υλικά για τα άλλα Στοιχεία ποικίλλουν επίσης: οι Πυλώνες μπορούν να είναι Χαλύβδινοι ή από Σκυρόδεμα, το κατάστρωμα να είναι Δικτύωμα ή Ενισχυμένες Δοκοί.



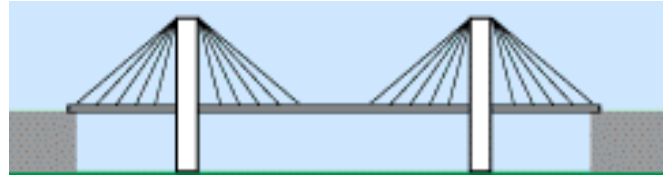
Κρεμαστή Γέφυρα



Δικτυωτή Γέφυρα διάταξης through



Αμφίπακτη Τοξωτή Γέφυρα Ελκυστήρων



Καλωδιωτή Γέφυρα

## 2.3. Σημαντικότερες Μεταλλικές Γέφυρες από το 1779 έως το 1929

### 2.3.1. Η πρώτη Μεταλλική Γέφυρα των T. F. Pritchard και A. Darby III

Όλες οι πρώιμες Μεταλλικές Γέφυρες ήταν Τοξωτές Γέφυρες. Αν και ο Χυτοσίδηρος αντικατέστησε μόνο τη Λιθοδομή, το Ίδιον Βάρος και οι οριζόντιες Δυνάμεις αντίδρασης μειώθηκαν σημαντικά. Αυτή η μείωση οδήγησε σε βελτιώσεις στην κατασκευή και οι Μηχανικοί προσανατολίστηκαν προς οικονομικότερες κατασκευές με μικρότερο χρόνο κατασκευής. Η



Γέφυρα Ironbridge

πρώτη Μεταλλική Γέφυρα, μεγάλου ανοίγματος, κατασκευάστηκε από Σίδηρο, στο **Coalbrookdale** και ολοκληρώθηκε το **1779**. Η **Γέφυρα στο Coalbrookdale**, ένα θαυμάσιο και καινοτόμο σχέδιο της εποχής της, γνωστή και ως **Ironbridge**, είναι μαρτυρία των θαυμάτων που έφερε η Βιομηχανική Επανάσταση. Όλη η Γέφυρα κατασκευάστηκε από μέλη Χυτοσιδήρου, μια Τοξωτή Γέφυρα η οποία μιμείται την λειτουργία των Ολόσωμων Γεφυρών, εκμεταλλευόμενη την Θλιπτική Αντοχή του Χυτοσιδήρου. Στις αρχές του **19<sup>ου</sup> αιώνα**, ο μόνος τρόπος να διασχίσει κάποιος τον ποταμό **Severn** στο **φαράγγι του Ironbridge** ήταν μέσω βάρκας. Οι αναπτυσσόμενες βιομηχανίες στις περιοχές **Coalbrookdale** και **Broseley** χρειάζονταν όμως ένα πιο αξιόπιστο πέρασμα. Το **1773**, ο **Thomas Farnolls Pritchard** έγραψε στον σιδηρουργό **John Wilkinson** από το **Broseley**, για να του προτείνει την κατασκευή μιας Γέφυρας από Χυτοσίδηρο. Μέχρι το **1775**, ο **Pritchard** είχε τελειώσει τα σχέδια της Γέφυρας και ανατέθηκε στον **Abraham Darby III**, έναν Σιδηρουργό που εργαζόταν για το **Coalbrookdale** στο φαράγγι, να χυτεύσει και να χτίσει τη Γέφυρα. Το **1795** η περιοχή **Severn** επλήγει από πλυμμήρες. Η Γέφυρα **Ironbridge**, μην έχοντας ογκώδεις, φαρδιές επιφάνειες όπως οι Ολόσωμες Γέφυρες, επέτρεψε στα νερά να περάσουν μέσα από την κατασκευή, προβάλλοντας ελάχιστη αντίσταση στα ορμητικά νερά. Ήταν η μόνη γέφυρα στη περιοχή που έμεινε ανέπαφη.

### 2.3.2. Οι Μεταλλικές Γέφυρες Αλυσίδων του T. Telford

Ο Σκωτσέζος Μηχανικός **Thomas Telford** έχτισε Μεταλλικές Γέφυρες που χαρακτηρίζονται οι τεχνικά αρτιότερες της εποχής τους. Η **Γέφυρα Craigellachie**, πάνω από τον **ποταμό Spey** στη Σκωτία, χτισμένη το **1814** με μήκος **45 μέτρων**, είναι η παλαιότερη σωζόμενη Γέφυρα του. Αποτελείται από δυο παραβολοειδή Τόξα που ενώνονται με αντιανέμια και το κατάστρωμα έχει μια ελαφρά καταμήκος καμπύλωση. Η χρήση σχετικά



**Γέφυρα Craigellachie**

φτηνού Σφυρήλατου Σίδηρου επέτρεψε στους Μηχανικούς να πειραματιστούν με ιδέες και ο **Telford** κατασκεύασε μια Κρεμαστή Γέφυρα Αλυσίδων. Χρησιμοποιήθηκαν Ράβδοι Σφυρήλατου Σίδηρου **6** έως **9 μέτρων**, οι οποίες στα άκρα είχαν μορφή θηλιάς. Ένα βλύτρο περνούσαν μέσα από τις αντίστοιχες θηλιές της κάθε ράβδου, σχηματίζοντας αλυσίδες από ράβδους. Φυσικά είναι καταννοητό ότι αυτά τα Στοιχεία μπορούσαν να λειτουργήσουν μόνο σε Εφελκυσμό και γι'αυτό λέγονται επίσης Ράβδοι Εφελκυσμού. Η πρώτη από τις Γέφυρες αυτού του τύπου, και η καλύτερη της εποχής της, ήταν η Γέφυρα **Menai**, που διέσχιζε τον πορθμό **Menai** στη βορειοδυτική Ουαλλία. Η κατασκευή της

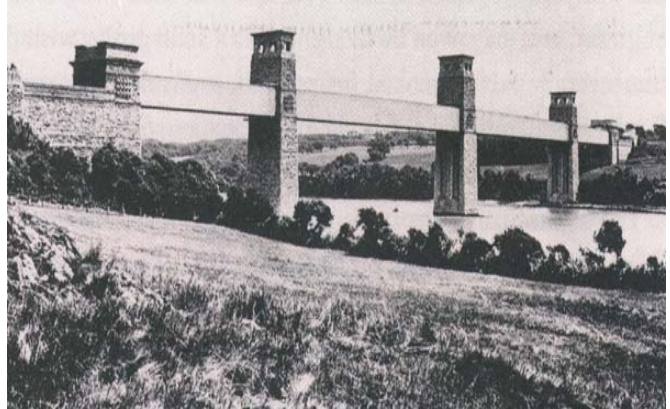


**Γέφυρα Menai**

ολοκληρώθηκε το **1826**, και έχοντας μήκος **174 μέτρων** ήταν η μεγαλύτερη Γέφυρα στον κόσμο. Το **1893** το κατάστρωμα από Ξύλο αντικαταστάθηκε από Μεταλλικό, και το **1940** αντικαταστάθηκαν οι διαβρωμένες πλέον Ράβδοι Εφελκυσμού από Σφυρήλατο Σίδηρο, με Χαλύβδινες. Η Γέφυρα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα.

### 2.3.3. Οι Μεταλλικές Σιδηροδρομικές Γέφυρες των R. Stephenson και I. K. Brunel

Κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, όλο και περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τους σιδηροδρόμους για τις μετακινήσεις τους, πράγμα το οποίο κατέστησε αναγκαία την κατασκευή ισχυρότερων Γεφυρών, ικανών να φέρουν το βάρος και τα δυναμικά Φορτία των τρένων. Εκ των Γεφυρών Σιδηροδρόμων, η σημαντικότερη ήταν η **Γέφυρα Britannia**,



Γέφυρα Britannia

με μέγιστο μήκος ανοίγματος **138 μέτρα**, κατασκευασμένη από τον **Robert Stephenson**, η οποία επίσης διέσχισε τον **πορθμό Menai**. Ολοκληρώθηκε το **1850** και ήταν η πρώτη Γέφυρα που κατασκευάστηκε με Διατομή Κιβωτίου. Η Κιβωτιωειδής Διατομή πρόσδιδε την Ακαμψία που θα έδινε μια Δικτυωτή Δοκός, και απαιτούνταν αρκετά μικρότερη ακρίβεια στους υπολογισμούς και στην κατασκευή της, εις βάρος όμως, της εξοικονόμησης υλικών. Οι Κιβωτιωειδείς Διατομές κατασκευάστηκαν από Χυτοσίδηρο και θα αναρτώνταν από Καλώδια-Αλυσίδες, αλλά, κατα την υλοποίηση και ύστερα από εκτεταμένη θεωρητική ανάλυση και πειραματισμό, αυτό κρίθηκε περριτό, με αποτέλεσμα οι Πυλώνες να μείνουν αχρησιμοποίητοι, ένα θέαμα κάπως περιεργο.

Στην κατασκευή της **Γέφυρας Royal Albert** (1859) που διέσχισε τον ποταμό **Tamar**, στο **Saltash** της Αγγλίας, ο **Isambard Kingdom Brunel** χρησιμοποίησε συνδυασμό Τοξωτών Κυλίνδρων και Αλυσιδωτών Καλωδίων. Οι Αψίδες υψώνονται πάνω από το κατάστρωμα και σε συνδυασμό με τις Αλυσίδες Κρέμασης, κάνουν τη πλαϊνή όψη της Γέφυρας να μοιάζει με μάτια. Η Γέφυρα αυτή μετέφερε



Γέφυρα Royal Albert

και τρένα, και τα δύο ανοίγματα μήκους **136,5 μέτρων**, κατατάσσεται στην ίδια κατηγορία με τη **Γέφυρα Britannia**.



### 2.3.4. Οι Μεταλλικές Σιδηροδρομικές Γέφυρες του G. Eiffel



Γέφυρα στη Rouzat

Μεταξύ των σημαντικότερων Σιδηροδρομικών Γεφυρών του ύστερου 19<sup>ου</sup> αιώνα, ήταν αυτές που σχεδίασε ο **Gustave Eiffel**. Από το 1867 έως το 1869 ο **Eiffel** είχε κατασκευάσει τέσσερις Οδογέφυρες Δικτυωμάτων, κατα μήκος της **σιδηροδρομικής γραμμής Gannat-Commentry**, δυτικά της **Vichy**, στη Γαλλία. Η πιο εντυπωσιακή αυτών, στη **Rouzat**, έχει Πυλώνες από Σφυρήλατο Σίδηρο και ενδεικνύουν την αναγκαιότητα πλευρικής Ακαμψίας στις Μεταλλικές Γέφυρες, σαν αντίμετρο στις οριζόντιες Δυνάμεις λόγω Ανέμου. Η Ακαμψία επιτεύχθηκε κυρτώνοντας προς τα έξω τους Πυλώνες στη βάση, εκεί όπου

εδράζονται πάνω στα Θεμέλια, τεχνοτροπία που μεσουράνησε στην διασημότερη κατασκευή του, τον Πύργο του **Eiffel** στο Παρίσι, το 1889.

Ο **Eiffel** επίσης, σχεδίασε τις δύο μεγαλύτερες Τοξωτές Γέφυρες της εποχής. Την πρώτη το 1877, πάνω από τον **ποταμό Duoro** στο **Oporto**, της Πορτογαλίας, την **Γέφυρα Pia Maria**, μήκος ανοίγματος 157 μέτρα. Το Τόξο έχει σχήμα ημισέληνου και στην κορυφή του είχε ελεύθερο ύψος 42 μέτρων. Και πάλι η πλευρική Ακαμψία



Γέφυρα Pia Maria



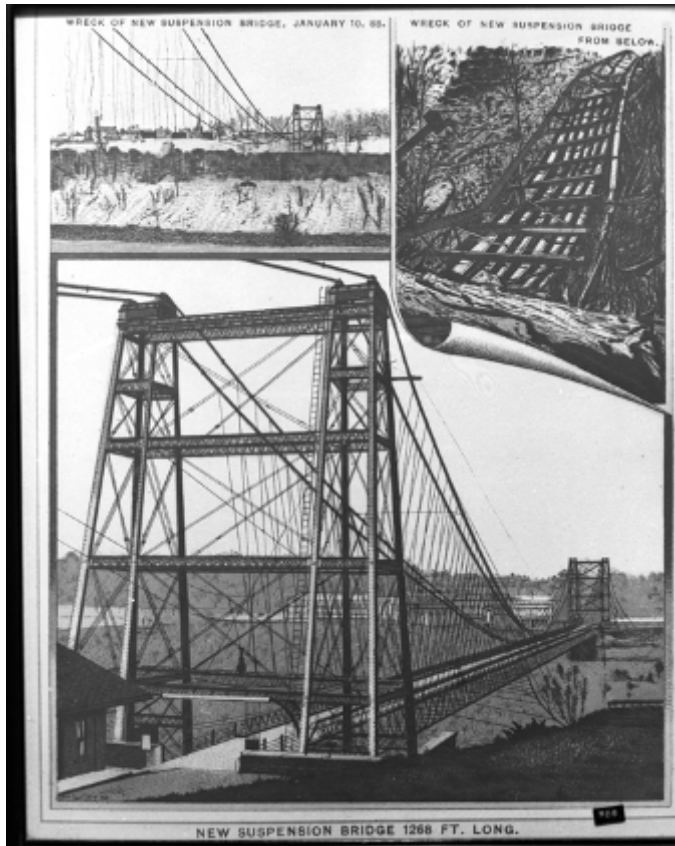
Γέφυρα Garabit

αυξήθηκε με την χρήση διατομών μεταβαλλόμενης Ροπής Αδράνειας. Το Τόξο-Ημισέληνος έφτασε στην αποκορύφωση του το 1884, όταν ο **Eiffel** κατασκεύασε την μήκους 162 μέτρων **Οδογέφυρα Garabit**, πάνω από τον **ποταμό Truyère**, κοντά στο **Saint-Flour**, της Γαλλίας. Εν αντιθέση με τη Γέφυρα στο **Duoro**, η **Γέφυρα Garabit** οπτικά χωριζόταν από μια

Δικτυωτή Δοκό. Και οι δύο Αψίδες σχεδιάστηκαν να έχουν Αρθρώσεις στις Στηρίξεις τους, ώστε η ημισέληνος να ξεκινάει σημειακά από τις Στηρίξεις και να φαρδαινει όσο πλησιάζει

στην κορυφή, όπου και κατέληγε σε ένα ψηλό, αλλά, ελαφρύ Δικτύωμα. Η σχεδίαση με Αρθρώσεις έγινε και για την διευκόλυνση κατασκευής, αλλά και επειδή ο **Eiffel** ήθελε η όψη της Γέφυρας να προκαλεί ισχυρή εντύπωση.

### 2.3.5. Οι Κρεμαστές Μεταλλικές Σιδηροδρομικές του J. A. Roebling



Γέφυρα του Niagara

Το **1841**, ο Πρώσος Μηχανικός **John Augustus Roebling** δραστηριοποιείται στη βιομηχανία παραγωγής συρματόσχοινων, αντικαταστώντας τα σχοινιά από κάνναβη που χρησιμοποιούνταν για την ανέλκυση αυτοκινήτων στους εμπορικούς σιδηρόδρομους της κεντρικής **Pennsylvania**. Αργότερα, ο **Roebling** χρησιμοποίησε τα συρματόσχοινα στην γεφυροποιΐα σαν Καλώδια Κρέμασης, και ανέπτυξε μια τεχνική που του επέτρεπε να πλέκει το συρματόσχοινο επι τόπου, αντί του να μεταφέρει προκατασκευασμένα καλώδια που χρειαζόταν να ανυψωθούν στους Πυλώνες. Τα Καλώδια του χρησιμοποιήθηκαν σε **180** Οδογέφυρες. Το **1855** ολοκλήρωσε την **246 μέτρων** Γέφυρα

Σιδηροδρόμων πάνω από τον ποταμό **Niagara** στο δυτικό τμήμα της πολιτείας **New York**. Τα Φορτία Ανέμου δεν είχαν γίνει ακόμη κατανοητά σε θεωρητική βάση, ο **Roebling** αναγνώριζε όμως ότι στην πράξη, υπήρχε ανάγκη να αποτραπούν οι μετατοπίσεις στη οριζόντια διεύθυνση. Γι'αυτό πρόσθεσε πολλά επιπλέον καλώδια, τα οποία εκτίνονταν προς όλες τις διευθύνσεις, κάνοντας τη Γέφυρα να μοιάζει με ιστό αράχνης, καλώδια να συγκρατούν το κατάστρωμα στους Πυλώνες αλλά και στην κοιλάδα από κάτω. Η Γέφυρα του **Niagara** επέσυρε την κατάκριση των τότε Μηχανικών, που υποστήριζαν ότι οι Κρεμαστές Γέφυρες δεν μπορούν να διασχίζονται από σιδηρόδρομους. Τα τρένα χρειαζόταν να ελλατώνουν ταχύτητα και να διασχίζουν την Γέφυρα με **5 χλμ./ώρα** και πάρα πολλές εργασίες συντήρησης και επισκευής ήταν αναγκαίες, η Γέφυρα, όμως,

λειτούργησε για **42 χρόνια**, αντικαταστάοντας την μόνο όταν οι νέοι τύποι τρένων έγιναν πολλοί βαριοί για να τους φέρει.

Η **Γέφυρα του Cincinnati** (μετονομάστηκε σε Γέφυρα **John A. Roebling**) πάνω από τον ποταμό **Ohio**, ήταν πρότυπο της ύστερης του Γέφυρας του **Brooklyn**. Η Γέφυρα αυτή, αναρτήθηκε από Καλώδια Συρματόσχοινων, ολοκληρώνεται το **1866**, και με μήκος **317 μέτρων**, είναι η μεγαλύτερη στον κόσμο. Η



Γέφυρα του Cincinnati

ωρίμανση της τεχνοτροπίας του **Roebling** φάνηκε, στη σχεδίαση εντυπωσιακών Λίθινων Πυλώνων μεγάλης Φέρουσας Ικανότητας και, αντίθετα, το Ανηρημένο Άνοιγμα ήταν λεπτό και μικρού βάρους, με Καλώδια να εκτείνονταν ακτινωτά από την κορυφή των Πυλώνων ώστε να αποτρέψουν οριζόντιες μετακινήσεις από Ανεμοφορτία.

Η **Γέφυρα του Brooklyn** είναι το διασημότερο επίτευγμα του, αλλά δυστυχώς δεν πρόλαβε να την δει ολοκληρωμένη. Πεθαίνει το **1869** σε ατύχημα ενώ επέβλεπε το έργο. Ο γιός του, **Washington Roebling**, συνεχίζει την κατασκευή της Γέφυρας και επίσης δεν πρόλαβε να δει τη Γέφυρα ολοκληρωμένη, καθώς πέθανε σε ατύχημα, στο εργοτάξιο **Πνευματικών Υδατοστεγών Κιβωτίων**. Η



Γέφυρα του Brooklyn

σύζυγος του, **Emily**, διδάχτηκε μόνη της **Γεφυροποιία** και συνείσφερε στην ολοκλήρωση του έργου. Η Γέφυρα ολοκληρώθηκε το **1883**, είχε μήκος **1.055 μέτρων** και το μεγαλύτερο άνοιγμα της είναι **486 μέτρα**. Η Οδογέφυρα αυτή ένωνε το **Manhattan** με το **Brooklyn** και είχε συνολικό κόστος **18 εκατομμύρια** δολάρια.

### 2.3.6. Οι μεγαλύτερες Γέφυρες Σιδηροδρόμων πριν τον Πρώτο Παγκόσμιο

Μεταξύ του Αμερικάνικου Εμφυλίου Πολέμου και του Πρώτου Παγκόσμιου Πολέμου, οι Γέφυρες Σιδηροδρόμων έφτασαν στο απώγειο τους στις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά και σε άλλα μέρη του κόσμου, καθώς αυξανόταν η ζήτηση Γεφυρών ικανών να φέρουν όλο και μεγαλύτερα Φορτία. Οι νέες διεργασίες παραγωγής Χάλυβα, επέτρεψαν την κατασκευή σημαντικών έργων, όπως η **Γέφυρα Eads** πάνω από τον **ποταμό Mississippi** στο **St. Louis**, η **Γέφυρα του Forth** πάνω από το **Firth** του **Forth** στη Σκωτία, η **Γέφυρα Hell Gate** και η **Γέφυρα Bayonne** στη πόλη **New York**, και η **Γέφυρα Sydney Harbour** στην Αυστραλία.

Το **1874** κατασκευάζεται η **Γέφυρα Eads**, η πρώτη μεγάλη, εξ' ολοκλήρου Χαλύβδινη Γέφυρα, με την εξαίρεση των Βάθρων της. Σχεδιασμένη από τον **James Buchanan Eads**, έχει τρία Τόξα, τα ακραία έχουν άνοιγμα **151 μέτρων** και το μεσαίο **156 μέτρων**. Η **Γέφυρα Eads** είχε αυξημένη Αντοχή λόγω των Θεμελίων της, στην κατασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκαν **Πνευματικά**



Γέφυρα του Eads

**Υδατοστεγή Κιβώτια**, μια τεχνική που εφαρμοζόταν για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μια άλλη σχεδιαστική καινοτομία του **Eads**, βασιζόμενος σε μια παλαιότερη ιδέα του **Telford**, ήταν η κατασκευή Τόξων Πρόβολων. Τα Τόξα συγκρατούνταν από τους

Πυλώνες με Καλώδια κατά την διάρκεια της κατασκευής και αφήνονταν ελεύθερα όταν μπορούσαν να φέρουν Φορτία.

Η **Γέφυρα του Forth** πάνω από τον **Firth** του **Forth** στη Σκωτία, σχεδιάστηκε από τον **Benjamin Baker**, έχει δύο Ανοίγματα Πρόβολους μήκους **513 μέτρων**, όταν ολοκληρώθηκε το **1890**, ήταν η μεγαλύτερη Γέφυρα που υπήρχε. Η Χαλύβδινη κατασκευή υψώνεται **103 μέτρα** πάνω από



Γέφυρα του Forth

τα λιθόδημητα Βάθρα της. Κοιτώντας την κατα μέτωπο φαίνεται ογκώδης, βαριά, στυβαρή, από το πλάι όμως φαίνεται εκπληκτικά ελαφρή.

Ο **Baker** λειτούργησε σαν καλλιτέχνης στην σχεδίαση της. Σε γραπτά του, επέκρινε την **Γέφυρα Britannia** για τους αχρησιμοποίητους Πυλώνες της, ακόμα και ο **Stephenson** είχε παραδεχτεί ότι παρέμεναν στην περίπτωση που χρειαστεί να αναρτηθεί σε Καλώδια και όχι γιατί ήταν αναγκαία από τεχνικής πλευράς. Η **Γέφυρα του Forth** από την άλλη δεν έχει κανένα στοιχείο αισθητικής, κατασκευάστηκε με μόνο κριτήριο την λειτουργικότητα και όλα της τα Στοιχεία εξυπηρετούν κατασκευαστικούς σκοπούς. Για πάνω από ένα αιώνα η Γέφυρα χρησιμοποιούνταν από σιδηρόδρομους και ήταν από τις τελευταίες μεγάλες Σιδηροδρομικές Γέφυρες του **19<sup>ου</sup> αιώνα**.

Η **Γέφυρα Hell Gate**, κατασκευασμένη από τον **Gustav Lindenthal** το **1916**, είχε λάβει υπόψην και τον παράγοντα της αισθητικής. Οι Πυλώνες από Πέτρα πρόσδιδαν στη Γέφυρα όγκο, αίσθηση που ενισχυόταν από τη σταδιακή απομάκρυνση των Πελμάτων του Δικτύωματος. Οι Πυλώνες ωστόσο δεν εξυπηρετούν κανένα σκοπό. Η Γέφυρα έχει Αρθρώσεις στις Στηρίξεις και όλο το Φορτίο μεταφέρεται στα Θεμέλια μέσω του κάτω Πέλματος της Δικτύωσης.



Γέφυρα Hell Gate

Παρ'όλα αυτά, η Γέφυρα είναι εντυπωσιακή στην όψη και είχε το μεγαλύτερο άνοιγμα Τόξου της εποχής της, της τάξεως των **293 μέτρων**.



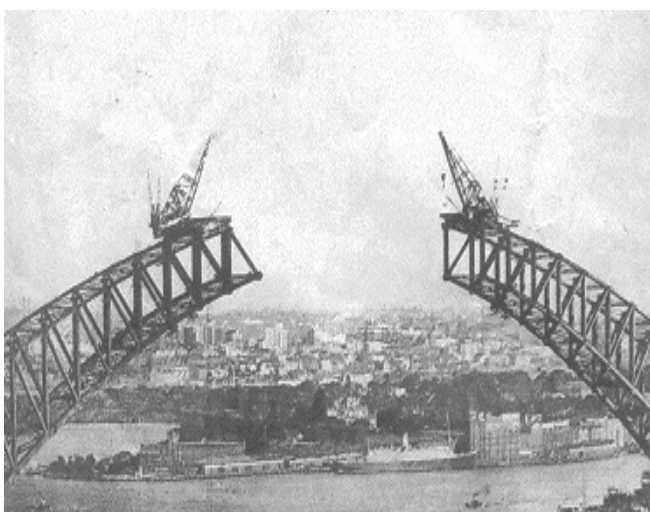
Γέφυρα Bayonne

Παρόμοια μορφή με τη **Γέφυρα Hell Gate** έχει η **Γέφυρα Bayonne**, σχεδιασμένη το **1931** από τον πρώην συνεργάτη του **Lindenthal**, τον **Othmar Ammann**. Εκτείνεται πάνω από το **Kill van Kull** μεταξύ του **Staten Island**, της **New York**, και του **Bayonne**, του **New Jersey**. Η **Γέφυρα**

**Bayonne** μήκους **496 μέτρων**, αν και μακρύτερη από τη **Γέφυρα Hell Gate** έχει πολύ μικρότερο βάρος. Το κύριο άνοιγμα της **Γέφυρας Hell Gate** χρειάστηκε **39.000** τόνους Χάλυβα, ενώ στην κατασκευή της **Γέφυρας Bayonne** χρησιμοποιήθηκαν **17.000** τόνοι. Ένα

από τους λόγους ήταν ο υπολογισμός Φορτίσεων. Στη **Γέφυρα Hell Gate**, τα Κινητά Φορτία τρένων υπολογίζονταν **36.000 kg/m** κατά μήκος της Γέφυρας, ενώ η **Γέφυρα Bayonne** είχε Κινητό Φορτίο αυτοκινήτων **10.000 kg/m**. Η διαφορά βάρους οφείλεται όμως και στην απόπειρα σχεδιασμού ενός Τόξου με περισσότερη χάρη αλλά και εξοικονόμηση χρημάτων. Ογκώδη Βάθρα επενδυμένα με Πέτρα θα κατασκευάζονταν για να κάνουν την κατασκευή εντυπωσιακότερη, αλλά τελικά δεν χτίστηκαν, ωστόσο τα μεταλλικά πλέγματα στις Εδράσεις παρέμειναν, αν και άχρηστα πλέον. Εξ όψεως, η **Γέφυρα Bayonne** έχει μια κομψότητα και λεπτότητα που καταφέρνει να εμπνεύσει κατασκευαστική στιβαρότητα.

Στο **Λιμάνι του Sydney**, στη **New South Wales** της Αυστραλίας, ο **Sir Ralph Freeman** σχεδίασε μια Χαλύβδινη Τοξωτή Γέφυρα ανοίγματος **495 μέτρων**, η οποία ξεκίνησε να κατασκευάζεται το **1924** και ολοκληρώθηκε το **1932**. Λόγω του μεγάλου βάθους του λιμανιού, ήταν μη πρακτικό να χρησιμοποιηθούν προσωρινές στηρίξεις, έτσι η Αψίδα κατασκευάστηκε σαν Πρόβολος, δύο τμήματα χιζόνταν ταυτόχρονα, ένα σε κάθε όχθη, μέχρι να συναντηθούν στη μέση. Χρησιμοποιήθηκε Πυριτούχος Χάλυβας, κάνοντας την την βαρύτερη κατασκευή στον κόσμο. Η **Γέφυρα Sydney Harbour** είναι ένα Διαρθρωτό Τόξο και το κατάστρωμα της βρίσκεται **52 μέτρα** πάνω από το νερό. Φέρει τέσσερις σιδηροτροχιές, αυτοκινητόδρομο πλάτους **17 μέτρων** και δύο πεζόδρομους. Σε κάθε όχθη υποστηρίζεται από ένα ζεύγος Λίθινων Πυλώνων, οι οποίοι κρύβουν το γεγονός ότι τα Φορτία φέρονται από το κάτω Πέλμα του Τόξου, όπως και στην **Γέφυρα Hell Gate**.



Γέφυρα Sydney Harbour, αριστερά, σκίτσο από την κατασκευή της και δεξιά, ολοκληρώμενη

### 3. Δικτυωτές Γέφυρες

#### 3.1. Γέννηση του Δικτυώματος

##### 3.1.1. Η ανάγκη για υπολογισμούς μεγαλύτερης ακριβείας

Μέχρι και τον **19<sup>ο</sup> αιώνα**, οι Γέφυρες αλλά και όλες οι κατασκευές σχεδιάζονταν με μεθόδους βασισμένες στο *de Architectura* του Βιτρούβιου, γραμμένο τον **1<sup>ο</sup> αιώνα** π.Χ. Σε αρχαία κείμενα και τιμητικές στήλες, αναφέρεται η κατασκευή Ξύλινων Δικτυωτών Γεφυρών στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, συνήθως σαν Στρατιωτικές Γέφυρες, χτιζόμενες εύκολα και γρήγορα, κατά την προέλαση των λεγεώνων στις εκστρατείες, αν και δεν επιτεύχθηκαν ιδιαίτερα μεγάλα ανοίγματα. Επίσης υπάρχουν σχέδια Δικτυωμάτων του **16<sup>ου</sup> αιώνα** μ.Χ. σχεδιασμένα από τον **Andrea Palladio**. Ο υπολογισμός γινόταν βάση της **Αναλογίας**, υποδεικνυόμενη εμπειρικά από παρόμοιες κατασκευές και αρμοστά στην σπουδαιότητα και το μέγεθος του έργου. Μια μονάδα μήκους καθιερωνόταν, και βάση αυτής, όλα τα μέρη διαστασιολογούνταν και σχεδιάζονταν σε κλίμακα. Τα σχέδια καθοδηγούσαν τους κτίστες, και εφόσον οι αναλογίες τηρούνταν, τα υλικά ήταν καλής ποιότητας και οι τεχνίτες ικανοί, το αποτέλεσμα ήταν μια λειτουργική κατασκευή. Αυτό το σύστημα προόδευε αργά και με προσοχή μέχρι να αλλάξει. Ακόμα και στην Βιομηχανική Επανάσταση, ο **Smeaton** και ο **Telford** χρησιμοποιούσαν αυτές τις μεθόδους.

Το νέο υλικό κατασκευής, ο Σίδηρος, καθώς ήταν πολύ ακριβό για να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές, οι Μηχανικοί χρειάστηκε να σκεφτούν νέες, αποτελεσματικότερες μεθόδους. Δεν υπήρχε εύκολος τρόπος για τον υπολογισμό μελών, όπως οι Αλυσίδες Ανάρτησης από Σφυρήλατο Σίδηρο, με βάση την Αναλογία. Ράβδοι Σφυρήλατου Σιδήρου κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν τα όρια της Εφελκυστικής Αντοχής τους, ασκώντας τους Δυνάμεις ώσπου να σπάσουν. Με βάση τα Φορτία Σχεδιασμού υπολογιζόταν η Ένταση στην οποία θα υπόκειντο οι Αλυσίδες απ' όπου θα αναρτώνταν η Γέφυρα και στη συνέχεια καθοριζόταν η απαραίτητη ποσότητα Σιδήρου. Η βελτιστοποίηση αυτών των διαδικασιών υπολογισμού από τη μια οδήγησε στον πειραματικό προσδιορισμό της Τάσης που μπορεί να ασκηθεί στον Σίδηρο με ασφάλεια, πριν αρχίσει να διαρρέει, και από την άλλη, σε μεθόδους Στατικού Υπολογισμού των Δύναμης που ασκούνταν στα Στοιχεία της κατασκευής. Διαιρώντας την ασκούμενη Δύναμη προς την επιτρεπόμενη Τάση, προκύπτει η απαραίτητη επιφάνεια της διατομής.

Αυτή η μέθοδος λογικού σχεδιασμού, που φαίνεται τόσο προφανής σε μας σήμερα, υιοθετήθηκε πολύ αργότερα. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τα Εφελκυόμενα Μέλη, όπως τα Διασυνδεδετικά Βάκτρα και οι Ράβδοι, για τις οποίες οι Δυνάμεις ήταν εύκολο να προσδιοριστούν, και είχαν ομοιόμορφη κατανομή Τάσεων. Η Πλαστικότητα του Σιδήρου διευκόλυνε την κατασκευή, καθώς οποιοδήποτε Μέλος φορτιζόταν υπερβολικά, παραμορφωνόταν ελαφρώς και το σύστημα ισορροπούσε δίχως να αστοχήσει. Οι περισσότερες κατασκευές, όπως τα κτήρια και οι Τοξωτές Γέφυρες, κατά κύριο λόγο λειτουργούσαν σε Θλίψη, και οι μέθοδοι υπολογισμού βασισμένοι στην Αναλογία ήταν πιά αξιόπιστες από τους άγνωστους και δύσκολους υπολογισμούς. Οι περισσότερες Λιθόδομητες κατασκευές σχεδιάστηκαν με κριτήριο τη στιβαρότητα και την εμφάνιση, με αποτέλεσμα η Φέρουσα Ικανότητα τους να είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι χρειαζόταν για να φέρουν τα Φορτία Λειτουργίας, όπως αποδεικνύεται από την πληθώρα των, μέχρι και σήμερα σωζόμενων, πρώιμων Τοξωτών Λίθινων Γεφυρών Σιδηροδρόμων.

### 3.1.2. Οι πρώτες Δικτυωτές Γέφυρες

Τα λίθινα Τόξα σπάνια συναντώνται στις αρχές των Ηνωμένων Πολιτειών, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους. Τα απαιτούμενα κονδύλια δεν δαπανώνταν στην Οδοποιία και έπρεπε να υποκατασταθούν με φτηνότερες λύσεις. Η προφανής λύση ήταν λοιπόν, η χρήση Ξύλου σαν κατασκευαστικό υλικό και εφαρμόστηκε κατα κόρον.

Τα Δικτυώματα όταν ξεκίνησαν να εφαρμόζονται, κατασκευάζονταν από Ξυλεία, αφού ήταν το μόνο φτηνό υλικό με ικανοποιητική Εφελκυστική Αντοχή, τουλάχιστον μέχρι που εμφανίστηκαν νέες μεταλλουργικές μέθοδοι και έπεσε η τιμή του Σιδήρου. Κατασκευάζονταν με Ξύλινα διαγώνια Μέλη και Μεταλλικά κατακόρυφα.

Τα μικρά ανοίγματα ήταν στρίποδα Μαδερικών και Δοκών ή Δικτυώματα τύπου **Kingpost** και **Quennpost**. Για την επίτευξη Γεφυρών με μεγαλύτερα ανοιγμάτα, κατασκευάζονταν Τόξα από Κατεργασμένη Ξυλεία από τα οποία ο κατάστρωμα αναρτώνταν ή υποστηριζόταν. Υπήρχε συνήθως κάποια διάταξη Δικτυώματος, ώστε να αυξηθεί η Ακαμψία της Γέφυρας και των κύριων Τόξων, σύμφωνα με τις αντιλήψεις του σχεδιαστή, έτσι ήταν συνήθως αβέβαιο ακριβώς ποια μέρη της Γέφυρας ήταν αποτελεσματικά και ποια όχι. Εάν η Γέφυρα παρουσίαζε κόπωση λόγω των φορτίων, περισσότερο ξύλο προστίθονταν για να ανακουφιστεί η κατασκευή. Σε συνδυασμό με τις



κακότεχνες Συναρμογές Στήριξης, που μετακινούνταν οριζόντια και κατακόρυφα, και τους εποχικούς χείμαρρους, αυτές οι Γέφυρες δεν ήταν αξιόπιστες, αν και μερικές αποδείχθηκαν εντυπωσιακά λειτουργικές.

Το **18<sup>ο</sup> αιώνα**, τα μήκη των ανοιγμάτων των Ξύλινων Δικτυωτών Γεφυρών αυξήθηκαν σημαντικά. Το **1755** ένας Ελβετός κατασκευαστής, ο **Hans Grubenmann**, χρησιμοποίησε Δικτύωμα για την υποστήριξη μιας Σκεπαστής Ξύλινης Γέφυρας με μήκος ανοιγμάτων **51** και **58 μέτρα**, πάνω από τον ποταμό **Rhine** στο **Schaffhausen**. Ένα από τα καλύτερα σχέδια Δικτυώματος με μεγάλο άνοιγμα, αναπτύχθηκε από τον **Theodore Burr**, από το Torrington στο Connecticut, και βασίστηκε σε σχέδια του Palladio. Ένα Δικτύωμα που ενισχύεται από ένα Τόξο, σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στις Σκεπαστές Γέφυρες των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο Burr κατασκεύασε την Γέφυρα **McCall's Ferry** στο ποταμό **Susquehanna** κοντά στο **Lancaster**, της **Pennsylvania**, η οποία έχοντας μήκος **108 μέτρων** ήταν από τις μεγαλύτερες του είδους της. Ένα άλλο σχέδιο που γνώρισε την επιτυχία, ήταν το Δικτύωμα **Town-Lattice** κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον **Ithiel Town** το **1820**, στο οποίο τα άνω και κάτω Πέλματα ήταν οριζόντιες Ξυλοδοκοί που συνδέονταν με ένα δίκτυο διαγώνιων σανίδων. Ο πρώτος Μηχανικός που ανέλυσε σωστά τις Τάσεις των Ράβδων ενός Δικτυώματος, ήταν ο **Squire Whipple**, ένας Αμερικανός που σχεδίασε εκατοντάδες μικρές Δικτυωτές έφυρες και δημόσιευσε τις θεωρίες του το **1869**. Η ακριβής κατανόηση της φόρτισης των μελών, είχε σαν αποτέλεσμα υπολογισμούς μεγαλύτερης ακριβείας, δηλαδή, καλύτερη αξιοποίηση των υλικών και οικονομία -τα οποία υλικά είχαν αρχίσει τη μετάβαση από το Ξύλο και την Πέτρα στο Σίδηρο και το Χάλυβα.

Με την άφιξη των σιδηροδρόμων μετά το **1830**, το θέμα των γεφυρών ήρθε πάλι στο προσκήνιο. Κάποιες μεγάλες κατασκευές ήταν Λιθόδομητες, αλλά το πολύ υψηλό κόστος δεν άφηνε πολλές επιλογές εκτός των Ξύλινων κατασκευών. Οι ήδη χρησιμοποιούμενες Ξύλινες Οδογέφυρες είχαν αποδειχτεί επισφαλείς και αναξιόπιστες, άρα κάτι άλλο έπρεπε να βρεθεί. Όπου ήταν εφικτό, κατασκευαζόταν Ξύλινοι Στρίποδες, που ήταν επαρκείς και ασφαλείς, αν και όχι μόνιμοι. Όπου αυτή η λύση δεν ήταν εφικτή, οι περισσότεροι Μηχανικοί στρέφονταν στις Σιδερένιες Γέφυρες, όπως ο **Fink** και ο **Bollman**. Αυτές οι Γέφυρες βασιζόντας στις, κατα κανόνα, λανθασμένες αντιλήψεις των δημιουργών τους. Όποιες είχαν αρκετή Αντοχή, ήταν συνήθως ανεπαρκείς, και όταν ασκούσαν υπερβολικές Δυνάμεις στα λιγότερο ισχυρά μέλη τους, έτειναν να Αστοχούν Ψαθυρά. Το **1860**, η εκλογίκευση του σχεδιασμού Δικτυωτών Γεφυρών ήταν ακόμη στα σπάργανα.

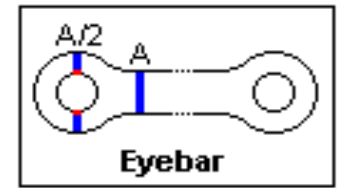
## 3.2. Έννοια του Δικτύωματος στη κατασκευή Γεφυρών

### 3.2.1. Μέθοδοι Στατικής επίλυσης

Τα Δικτυώματα είναι Στατικά Ορισμένοι Φορείς, δηλαδή οι Τάσεις των Μελών μπορούν να βρεθούν με την εφαρμογή των αρχών της Στατικής. Για να ισορροπεί ένα σημείο, πρέπει η συνισταμένη των Δυνάμεων που ασκούνται να είναι μηδέν και να έχει μηδενική Ροπή. Το πρώτο βήμα της επίλυσης είναι ο υπολογισμός των αναδράσεων στις Στηρίξεις. Το μόνιμο Φορτίο της Γέφυρας κατανέμεται στους Κόμβους, και υποθέτουμε ότι το ίδιο συμβαίνει και με τα Κινητά Φορτία. Το μέγεθος της φόρτισης των Κόμβων μεταβάλλεται ανάλογα με το πού ασκούνται οι Δυνάμεις, αν και οι Δυσμενέστερες Φορτίσεις μπορούν να εντοπιστούν εμπειρικά. Με τις Εξισώσεις Ισορροπίας σε ένα Κόμβο με γνωστή αντίδραση, υπολογίζουμε τις Δυνάμεις των Ράβδων του Κόμβου, αναλύοντας τις Δυνάμεις στους άξονες 'X', 'Y' και απαιτώντας η συνισταμένη των Δυνάμεων κατά άξονα να είναι ίση με το μηδέν. Προχωράμε στον επόμενο Κόμβο, μεταφέροντας τις Δυνάμεις της Ράβδου που τους ενώνει και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία, έχοντας δύο αγνώστους κάθε φορά, ώσπου να φτάσουμε στην άλλη αντίδραση. Αυτή ονομάζεται **Μέθοδος Κόμβων** και είναι μια απλή μέθοδος υπολογισμού, αν και μπορεί να αποβεί χρονοβόρα. Είναι πιο γρήγορο να φανταστούμε μια τομή που χωρίζει σε δύο μέρη το Δικτύωμα τέμνοντας Ράβδους (καλύτερα να τέμνει δυο Ράβδους που συναντώνται σε ένα Κόμβο και μια τρίτη άγνωστη, εκτός και αν τέμνει και Ράβδους με γνωστή φόρτιση, το οποίο δεν μας ενοχλεί αφού χρησιμοποιούνται σαν αριθμοί και όχι άγνωστοι, στους υπολογισμούς), με τις Δυνάμεις να ενεργούν στο ένα από τα δύο τμήματα, και να πάρουμε Ροπές σε Κόμβο όπου συναντώνται δύο Ράβδοι που τέμνει η τομή. Έτσι οι Δυνάμεις των δύο αυτών Ράβδων ασκούνται στον Κόμβο, δίνοντας μηδενική Ροπή και προκύπτει από την ισορροπία η Δύναμη στην τρίτη Ράβδο που τέμνεται. Αυτή η ταχύτερη μέθοδος μας επιτρέπει να βρίσκουμε Φορτίσεις μεμονομένων Ράβδων και ονομάζεται **Μέθοδος Τομής Ritter**.

### 3.2.2. Διαστασιολόγηση Μελών

Αφού υπολογιστούν οι Φορτίσεις των Ράβδων, το επόμενο στάδιο είναι η Διαστασιολόγηση των Μελών του Δικτυώματος. Τα ισχυρότερα Μέλη του κάτω Πέλματος λέγονταν Ράβδοι Εφελκυσμού, στα αγγλικά **eyebars** λόγω των οπών στα άκρα που έμοιαζαν με το μάτι της βελόνας. Εάν “**F**” είναι η δύναμη που ασκείται στη Ράβδο και “ $\sigma_{\text{επιτ.}}$ ” είναι η Μέγιστη Επιτρεπόμενη Τάση, τότε η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια της διατομής Ράβδου δίνεται από τον τύπο,  $A_{\text{min}} = F / \sigma_{\text{επιτ.}}$ . Το “μάτι” έχει την ίδια επιφάνεια με το στέλεχος της Ράβδου, ώστε να υπάρχει σχετικά ίση κατανομή Τάσεων. Παρά την συνυπολόγιση ενός Συντελεστή Ασφαλείας, μειώνοντας κατά ένα ποσοστό την υπολογισμένη Αντοχή, προκειμένου να προβλεθούν αστοχίες λόγω ανθρωπίνων σφαλμάτων, οι Ράβδοι μερικές φορές αστοχούσαν, με σοβαρές επιπτώσεις. Από τη στιγμή που σε ένα Στατικά Ορισμένο Δικτύωμα έχουν υπολογιστεί με τις Εξισώσεις Ισορροπίας οι Φορτίσεις των Ράβδων, η αστοχία μιας Ράβδου συνεπάγεται την αλλαγή της στατικής λειτουργίας του Δικτυώματος και, κατ’επέκταση, την αστοχία της Γέφυρας. Ένα πρόβλημα των Ράβδων Εφελκυσμού, ήταν ότι δεν υπήρχε ομοιόμορφη κατανομή Τάσεων στα “μάτια”, σε αντίθεση με το στέλεχος της Ράβδου. Οι Τάσεις συγκεντρώνονταν κοντά στην οπή, όπου ήταν τρεις φορές μεγαλύτερες του Μέσου Μεγέθους τους. Εάν αυτό λειφθεί υπόψιν στο σχεδιασμό των Ράβδων Εφελκυσμού, τότε αποτρέπεται η αστοχία, αν και, ακόμα και σήμερα, αυτό εννίοτε παραλείπεται.



Ράβδος Εφελκυσμού

Σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα τις Επιτρεπόμενες Τάσεις ορίζεται και η διαμόρφωση, παρά το ότι δεν προκύπτουν οι Τάσεις Σχεδιασμού αλλά μικρότερες, πάντα σχεδιάζοντας υπέρ της ασφαλείας. Οι σύγχρονες μέθοδοι υπολογισμού, με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, τείνουν να κάνουν τους νέους Μηχανικούς να υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας, συχνά με τραγικά αποτελέσματα.

### 3.2.3. Η εξέλιξη των Δικτυωμάτων σε σχέση με την οικονομία

Το Δικτύωμα **Pratt** αποδείχτηκε αρκετά αξιόπιστο, με συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας, δίνοντας σιγουριά στις Γέφυρες που χτίζονταν με αυτήν τη διάταξη. Οικονομικά μιλώντας όμως, δεν ήταν η βέλτιστη λύση. Το μεγαλύτερο μέρος των Μόνιμων Φορτίων ασκούσαν στη μέση του ανοίγματος, και καθώς τα ανοίγματα μεγάλωναν γινόταν όλο και πιο ανποικονομική η υποστήριξη της κατασκευής. Παράλληλα με το άνοιγμα, μεγάλωνε και το Ύψος Δικτύωσης, κάνοντας τα Μέλη μακρύτερα και πιο ευπαθή στον Λυγισμό.

Υπήρξαν τροποποιήσεις του Δικτυώματος **Pratt** που επέτυχαν μεγαλύτερα ανοίγματα, ενισχύοντας το με διαγώνιες Ράβδους και διάφορες άλλες αλλαγές. Ακόμη πιο οικονομική ήταν η κατασκευή Γέφυρων Συνεχών Ανοιγμάτων, αποτελούμενες από μικρά συνεχή ανοίγματα, στηριζόμενα σε Βάθρα. Η Γέφυρα είναι λεπτότερη στα άκρα και πιο ογκώδης στο μέσον. Μια ακόμη πιο οικονομική λύση ήταν η σχεδίαση της σαν Συνεχή Δοκό. Εδράζοντας το μέσον της σε Βάθρο, κατασκευαζόταν στην ουσία ένας Δικτυωτός Πρόβολος, μέθοδος η οποία δεν απαιτεί Άρθρωση στις στηρίξεις και το Δικτύωμα λειτουργεί σαν Πρόβολος. Η Γέφυρα έχει λιγότερο βάρος στο μέσο του ανοίγματος και περισσότερο στις εδράσεις. Το αποκορύφωμα αυτής της τεχνικής, ήταν η κατασκευή της **Γέφυρας του Forth**, Πρόβολοι μεγάλου ανοίγματος από κάθε πλευρά, οι οποίοι συνδέονται με μικρά, ελαφρά ανοίγματα. Η Προβολοδόμηση, λόγω των προτερημάτων της, χρησιμοποιήθηκε σε πολλές Γέφυρες με πολύ μεγάλο μήκος ανοιγμάτων, αν και η Συνεχής Δοκός δεν είναι Στατικά Ορισμένη και η Τάσεις εξαρτώνται από την παραμόρφωση των Μελών.

Καθώς μπορούσε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στο εργοτάξιο, η Βλύτρωση αντικαταστάθηκε από την χρήση Κομβοελασμάτων, καρφωτών ή συγκολλούμενων. Η Γέφυρες εξακολουθούν να κατασκευάζονται θεωρώντας τις Στατικά Ορισμένες, κάτι το οποίο είναι σχετικά αληθές. Όταν κατασκευάζονται δύο ή και περισσότερα Δικτυώματα δίπλα το ένα στο άλλο, πρέπει να δεσμεύονται μεταξύ τους, σαν αντίμετρο στον Πλευρικό Λυγισμό, για παράδειγμα με **Πυλαία Σύσφιξη**. Επίσης πρέπει να λειφθούν υπόψη οι θερμοκρασιακές μεταβολές, που προκαλούν διαστολή και συστολή της Γέφυρας, και να αντιμετωπιστούν καταλλήλως, συνήθως με μια μορφή κύλησης στο ένα άκρο.

### 3.3. Τύποι Δικτυωμάτων στην Γεφυροποιία

#### 3.3.1. Δικτύωμα τύπου Kingpost

Ένα Δικτύωμα τύπου **Kingpost** χρησιμοποιήθηκε στην οικοδόμηση στεγών Μεσαιωνικής Αρχιτεκτονικής, σε κτήρια όπως παρεκκλήσια και σιταποθήκες, και εμφανίζεται επίσης στη Γοτθική Αρχιτεκτονική Αναγέννησης και την Αρχιτεκτονική Βασιλίσσης Άννας. Παρομοίως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη κατασκευή μιας απλής Γέφυρας, αν και επιτυγχάνονται ανοίγματα μεταξύ **6 και 18 μέτρων**. Μεγαλύτερα ανοίγματα επιτυγχάνονται με την πολλαπλή εκδοχή του, η οποία κατασκευάζεται με την προσθήκη διαγώνιων και κατακόρυφων Μελών στα άκρα της Δικτύωσης.



Ένα πολλαπλό Kingpost Δικτύωμα

Είναι η απλούστερη μορφή Δικτυώματος, δεδομένου ότι κατασκευάζεται με τον μικρότερο δυνατό αριθμό Μελών (μεμονωμένα μήκη ξύλου ή μετάλλου). Το Δικτύωμα αποτελείται από δύο διαγώνια Μέλη που συναντιούνται στην κορυφή του Δικτυώματος, μια οριζόντια Δοκό που χρησιμεύει στη σύνδεση των κάτω άκρων των διαγώνιων Μελών και το κατακόρυφο Μέλος, που συνδέει την κορυφή με την οριζόντια Δοκό.

Η **Γέφυρα Buck Creek**, στο **Saline County**, του **Missouri**, κατασκευάστηκε το **1901**, από τους αδερφούς **Stupp**. Είναι Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Kingpost**, διάταξης **pony**. Έχει μήκος **9,38 μέτρα** και βρίσκεται **3,3 μέτρα** πάνω από την επιφάνεια του νερού.



Γέφυρα Buck Creek



Γέφυρα Sauk Creek

Η **Γέφυρα Sauk Creek**, στο **Port Washington**, της **Ozaukee County**, του **Wisconsin**, μεταφέρθηκε στην τοποθεσία που βρίσκεται σήμερα το **1925**. Είναι Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Kingpost**, διάταξης **pony**. Έχει συνολικό μήκος **12,89 μέτρα**, μήκος ανοίγματος **12,31 μέτρα** και πλάτος **3,5 μέτρων**.

### 3.3.2. Δικτύωμα τύπου Queenpost

Το δικτύωμα τύπου **Queenpost** είναι η εξελιξη του Δικτυώματος τύπου **Kingpost**. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανοίγματα **6-24 μέτρων**. Στο ένα τρίτο της απόστασης από την όχθη, τοποθετούνται τα κατακόρυφα Μέλη τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια οριζόντια Ράβδο και με διαγώνια Μέλη συνδέονται με τα άκρα της Ράβδου του κάτω Πέλματος. Επιτυγχάνει μεγαλύτερα ανοίγματα από το **Kingpost**, αλλά το κεντρικό φάτνωμα τείνει να είναι λιγότερο άκαμπτο, λόγω έλλειψης διαγώνιας ενίσχυσής του. Για την κατασκευή μεγαλύτερων Γεφυρών, το κεντρικό φάτνωμα ενισχυόταν με διαγώνια Μέλη που ξεκινούσαν από τα κάτω άκρα της δικτύωσης και συναντιούνταν στο μέσον του άνω πέλματος. Το κατάστρωμα της Γέφυρας υποστηριζόταν από κάθετες, στη διεύθυνση της Γέφυρας, Δοκούς στο κάτω Πέλμα.

Η **Γέφυρα Chambers Street**, στο **Jasper**, της **Pickens County**, της **Georgia**, κατασκευάστηκε το **1912**. Είναι Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Queenpost**, διάταξης **pony**. Έχει συνολικό μήκος **42 μέτρα**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **10,91 μέτρα** και πλάτος καταστρώματος **4,7 μέτρων**.



**Γέφυρα Chambers Street**



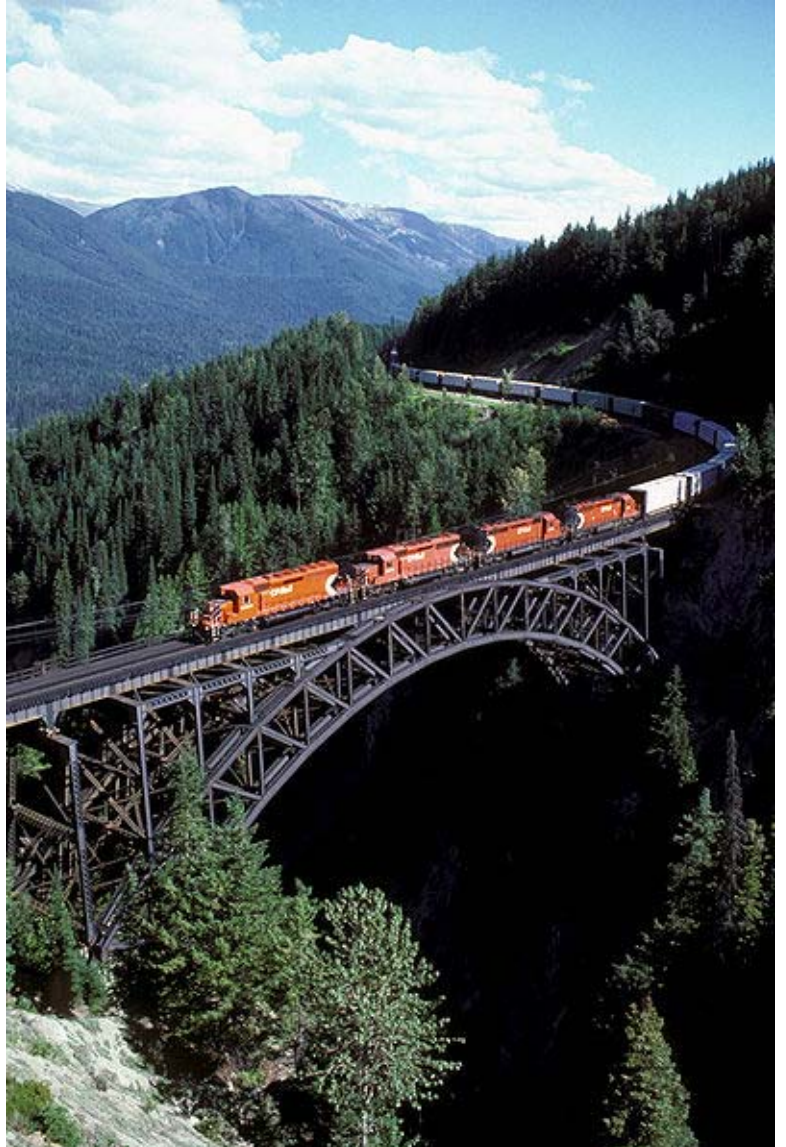
**Γέφυρα Taylor**

Η **Γέφυρα Taylor**, στο **Amnicon**, της **Douglas County**, του **Wisconsin**, κατασκευάστηκε το **1929-1930** και αντικαταστάθηκε το **1998**. Είναι Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Queenpost**, διάταξης **pony**. Όταν μετακινήθηκε ήταν η μόνη Δικτυωτή Γέφυρα του είδους της στο **Wisconsin** και μάλλον πωλήθηκε σε ιδιώτη ο οποίος την συναρμολόγησε σε κτήμα του. Έχει συνολικό μήκος **12,44 μέτρων** και πλάτος καταστρώματος **4,21 μέτρων**.

### 3.3.3. Δικτύωμα τύπου **Truss arch**

Το Δικτύωμα τύπου **Truss arch** είναι συνδυασμός στοιχείων του Δικτύωματος και της Τοξωτής Γέφυρας. Η φορτίσεις των Μελών και η λειτουργία του, εξαρτώνται από τον σχεδιασμό. Εάν δεν ασκηθούν οριζόντιες δυνάμεις, το σύστημα λειτουργεί ως Δικτύωμα σχήματος Τόξου, κατ'ουσίαν Κυρτή Δοκός. Εάν συνυπολογιστούν οριζόντιες ωθήσεις, αλλά υπάρχει στην κορυφή του Τόξου, Άρθρωση, τότε λειτουργεί σαν Τριαρθρωτό Τόξο. Για παράδειγμα, η πρώτη Μεταλλική Γέφυρα, η **Γέφυρα Ironbridge** του 1791, εάν αφαιρεθεί η Άρθρωση στην κορυφή, λειτουργεί σαν Διαρθρωτό Τόξο.

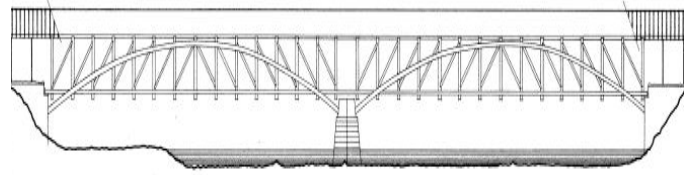
Η **Γέφυρα Stoney Creek**, αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τέτοιας Γέφυρας, βρίσκεται στο ανατολικό μέρος του **Glacier Park**, πάνω στον άξονα της Σιδηροδρομικής Γραμμής **Connaught**, μεταξύ των **Rogers** και **Flat Creek**, στο **όρος Sub**, της περιφέρειας **Revelstoke** της **Canadic Pacific Railway**. Έχει μήκος άνω των **183 μέτρων** και υψώνεται **100 μέτρα** πάνω από το ποτάμι.



Γέφυρα Stoney Creek

### 3.3.4. Δικτύωμα τύπου Burr

Το Δικτύωμα τύπου **Burr** είναι ο συνδυασμός ενός Τόξου και ενός πολλαπλού Δικτυώματος **Kingpost**. Εφευρέθηκε το **1804** από τον εφευρέτη Theodore **Burr** (1771-1822), και έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το **1817**. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως στους σκεπαστούς τύπους Γεφυρών, για ανοίγματα μήκους **15-53 μέτρων**.



Δικτύωμα τύπου Burr

Με την προσθήκη των τμημάτων αψίδων σε ένα πολλαπλό Δικτύωμα **Kingpost**, το **Burr** Τοξωτό Δικτύωμα ήταν σε θέση να επιτύχει μεγαλύτερα ανοίγματα. Η βασική αρχή του σχεδίου στηρίζεται στην αλληλεπίδραση των τμημάτων του Τόξου με τα Μέλη του Δικτυώματος για να φέρει το φορτίο. Το Τόξο πρέπει να αρκεί για την ανάληψη των Φορτίων, ενώ το Δικτύωμα αυξάνει την Ακαμψία της κατασκευής. Αν και το Δικτύωμα μπορεί να φέρει τα Φορτία από μόνο του, λόγω της μεταβολής φορτίσεων από Κινητά Φορτία, έπρεπε να κατασκευαστεί με αυτόν τον τρόπο. Μοντελοποίηση σε προγράμματα υπολογιστών έδειξε ότι μπορεί να ισχύει και το αντίθετο στη λειτουργία της, δηλαδή το φορτίο να αναλαμβάνεται από το Δικτύωμα και και το Τόξο να προσδίδει Ακαμψία. Όπως και να έχει, ο συνδυασμός του δικτυώματος με το Τόξο είχε σαν αποτέλεσμα την κατασκευή άκαμπτων Γεφυρών, μεγαλύτερης Φέρουσας Ικανότητας από μια Τοξωτή ή Δικτυωτή Γέφυρα. Υπήρξαν πολλοί από αυτόν τον τύπο στην περιοχή του **Pittsburg** και εξακολουθεί να είναι ένας από τους πιο κοινούς τύπους Σκεπαστών Γεφυρών. Σε πολλούς, μεταγενέστερους, τύπους Σκεπαστών Δικτυωτών Γεφυρών προστέθηκε ένα Τόξο στη δομή τους, με βάση την επιτυχία του Τοξωτού Δικτυώματος **Burr**.

Η **Γέφυρα West Union** διασχίζει το ποτάμι **Sugar Creek**, στο άξονα του **CR N525W**, της **Parke County**, στην **Indiana**, κατασκευάστηκε το **1876** από τον **J.J. Daniels** και παρακάμφθηκε το **1964**. Με συνολικό μήκος **69 μέτρων** και πλάτος **5 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,5 μέτρα**.



Γέφυρα West Union



Η **Γέφυρα Dellville** διασχίζει το **ποτάμι Shermans Creek**, στον άξονα του **Dellville Road (PA 2002)**, της **Perry County**, στην **Pennsylvania**, κατασκευάστηκε το **1889**. Συνολικό μήκος **53,34 μέτρων**. Παρατηρείστε το διπλό Τόξο για που χρησιμοποιήθηκε ώστε να αυξηθεί η Αντοχή της.



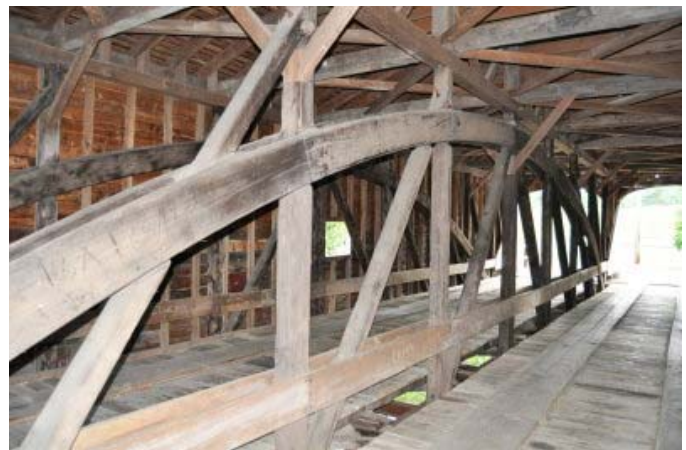
**Γέφυρα Dellville**

Η **Γέφυρα Forksville** διασχίζει το **ποταμό Loyalsock Creek**, στο **Forksville**, στον άξονα του **PA 4012**, της **Sullivan County**, στην **Pennsylvania**. Κατασκευάστηκε το **1850** από τον **Samuel Sadler Rogers** και αποκαταστάθηκε το **2004**. Με **συνολικό μήκος 46,5 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **45 μέτρα** και πλάτος **11 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **2 μέτρα**.



**Γέφυρα Forksville**

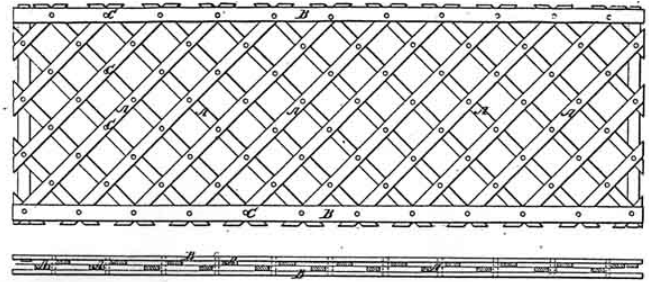
Η **Γέφυρα Roberts** διασχίζει το **ποταμό Seven Mile Creek**, στο **Eaton**, της **Preble County**, στο **Ohio**. Κατασκευάστηκε το **1829** από τον **Orlistus Roberts**, υπέστη ζημιές από εμπρησμό το **1986**, μεταφέρθηκε και αποκαταστάθηκε το **1991**. Έχει συνολικό μήκος **24 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **24**. Είναι μια περίπτωση γέφυρας διπλού καταστρώματος, με τρία Τόξα, όπως και η **Γέφυρα Ramp Creek** που διασχίζει το **ποταμό North Fork Salt Creek**, στο **Brown County State Park**, στο **Nashville**.



**Γέφυρα τύπου Burr διάταξης double deck**

### 3.3.5. Δικτύωμα τύπου Town's Lattice

Το Δικτύωμα **Town** χρησιμοποιεί μεγάλο αριθμό μικρών Μελών, πυκνά διατεταγμένων, σχηματίζοντας ένα πλέγμα. Γι'αυτό είναι γνωστό και ως **Town's Lattice** (πλεχτό) Δικτύωμα. Επιτύγχανε ανοίγματα των **15-67 μέτρων**.



Δικτύωμα Town's Lattice

Ο **Ithiel Town** (1784 –1844) ήταν ένας από την γενιά των πρώτων επαγγελματιών Αμερικανών Αρχιτεκτόνων. Στο πρώτο μισό του **19<sup>ου</sup>** αιώνα, συνείσφερε σημαντικά στην ανάπτυξη της Αμερικανικής Αρχιτεκτονικής και το έργο του στην Αρχιτεκτονική της Ένωσης και τους αναβιωμένους Ελληνικό και Γοτθικό Ρυθμό, επηρέασε πολλούς Αρχιτέκτονες και αντιγράφηκε ευρέως. Κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το **1820**, το πλεχτό Δικτύωμα **Town**. Το Δικτυωτό πλέγμα κατασκευάζεται από σανίδες είναι εύκολο να κατασκευαστεί, εάν και κουραστικό. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες, ο **Town** χορηγούε άδεια για τη χρήση του σχεδίου του, χρεώνοντας ενά δολάριο ανά πόδι, δύο δολάρια ανά πόδι για εκείνους που βρέθηκαν να το κατασκευάζουν άνευ αδείας.

Ο αρχικός σκοπός του, ήταν η δημιουργία ενός Δικτυώματος που θα επέτρεπε την κατασκευή Γεφυρών ικανοποιητικών ανοιγμάτων, χρησιμοποιώντας σανίδες και μη ειδικευμένους εργάτες, έναντι των συνηθέστερων βαριών Ξύλινων διατομών και εξειδικευμένων μαραγκών που χρειαζόνταν τα Δικτυώματα τύπου Burr. Μετέπειτα Γέφυρες αυτού του τύπου κατασκευάζονταν χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό ελαφρών Σιδηρών ή Χαλύβδινων Μελών. Το κάθε Στοιχείο δουλευόταν με μεγαλύτερη ευκολία από τους εργάτες της κατασκευής (εξαλείφοντας την ανάγκη ικανών τεχνιτών υψηλού κόστους), αλλά η Γέφυρα χρειαζόταν πολύ περισσότερη στήριξη κατά την κατασκευή της, σε σχέση με άλλα Δικτυώματα. Ένα απλό πλεχτό Δικτύωμα, μετατρέπει τα ασκούμενα φορτία σε ώση, καθώς η Γέφυρα τείνει να μεταβάλλει το μήκος της, όταν υπό Φόρτιση. Αυτό αντιμετωπιζόταν καρφώνοντας τα Μέλη του πλεχτού στο άνω και κάτω Πέλμα, τα οποία έχουν στιβαρότερες διατομές, χωρίς αυτό να σημαίνει την κατασκευή τους αποκλειστικά από Δοκάρια αλλά και μικρότερα Στοιχεία.

Οι οδηγίες για την κατασκευή ήταν πραγματικά απλές, βασισμένες στην Αναλογία των Μελών παρά σε Στατικούς υπολογισμούς. Το ύψος του Δικτυώματος, μετρώντας την απόσταση των Κεντροβαρικών Αξόνων του άνω και κάτω Πέλματος, πρέπει να είναι το **1/8-1/6** του ανοίγματος και τα διαγώνια Μέλη να τοποθετηθούν σε γωνίες **45°**. Στην κατασκευή ενός πλεχτού Δικτυώματος το πρώτο βήμα ήταν η εκλογή του ύψους και μετά υπολογίζονταν ο αριθμός των διακένων μεταξύ των Κόμβων των Πελμάτων. Αυτό γινόταν διπλασιάζοντας το μήκος και διαιρώντας το με το ύψος. Ο πλησιέστερος ακέραιος ήταν πόσα διάκενα έπρεπε να υπάρχουν. Διαιρώντας την απόσταση μεταξύ των ακραίων Κόμβων των Πελμάτων, με τον αριθμό διακένων, προκύπτουν τα σημεία όπου θα κατασκευαστούν οι υπόλοιποι Κόμβοι. Τα πέλματα πρέπει να έχουν τετραπλάσιο πάχος των σανίδων που χρησιμοποιούνται στο πλεχτό, δύο σε κάθε άκρη του Δικτυώματος. Στα άκρα, σανίδες παρεμβάλλονται κατακόρυφα ανάμεσα στα Πέλματα, λειτουργώντας σαν κατακόρυφα Μέλη. Τα διαγώνια Μέλη βιδώνονται στα Πέλματα, και μεταξύ τους όπου διασταυρώνονται. Καλό είναι να χρησιμοποιούνται κι καρφιά. Το κάτω Πέσμα να βιδώνεται ανα δύο πόδια ανάμεσα στους Κόμβους, καθώς τελεί σε Εφελκυσμό. Για το θλιβόμενο άνω Πέσμα, αρκούν οι κοχλίες στους Κόμβους και μια βίδα σε κάθε πλευρά των ακραίων Κόμβου. Η καταπόνηση των Κόμβων κοντά στα άκρα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των Κόμβων κοντά στο κέντρο.

Οι πρώτοι τρεις Κόμβοι να έχουν αριθμό και διατομή κοχλίων όπως περιγράφεται σε σχετικό πίνακα για Δικτυώματα **Lattice** από πεύκο ή κρανιά. Οι επόμενοι τρεις μπορούν να έχουν μικρότερες διατομές κοχλίων και ου'το καθ'εξής, μέχρι τις ελάχιστες διατομής, στους Κόμβους της μέσης. Όταν το Δικτύωμα υπερβαίνει μήκη **12,2 μέτρων**, κοντές σανίδες να καρφώνονται στα ακραία διαγώνια Μέλη για να αυξήσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος. Η Φέρουσα Ικανότητα του Δικτυώματος **Town** εξαρτάται από την ισχύ των Κόμβων του.

Η **Γέφυρα του Horton Mill** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Town's Lattice** διάταξης **through**, που διασχίζει το **ποταμό Black Warrior**, στο **Horton Mill Road**, της **Blount County**, στην **Alabama**, κατασκευάστηκε το **1934**. Έχει συνολικό μήκος **63,4 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **24,41 μέτρα** και πλάτος **3,41 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **2,6 μέτρα**.



**Γέφυρα του Horton Mill**



**Γέφυρα του Ashuelot**

Η **Γέφυρα του Ashuelot** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Town's Lattice** διάταξης **through**, που διασχίζει το **ποταμό Ashuelot**, στο **Winchester**, της **Cheshire County**, στο **New Hampshire**, κατασκευάστηκε το **1864**. Έχει συνολικό μήκος **52,91 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **25,69 μέτρα** και πλάτος **3,6 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **2,96 μέτρα**.

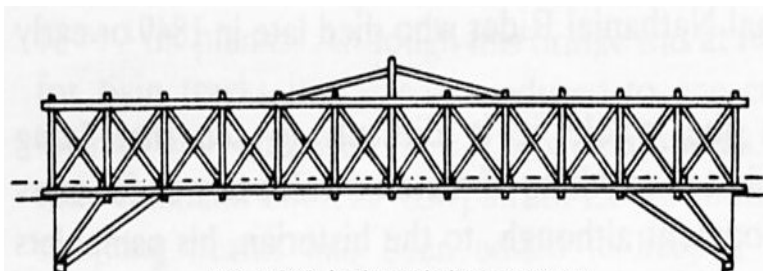
Η **Γέφυρα του Poplar Creek** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Town's Lattice** διάταξης **through**, που διασχίζει το **ποτάμι Poplar Creek**, στο **Oak Ridge**, της **Roane County**, στο **Tennessee**. Βρίσκεται πάνω στον άξονα της πρώην νότιας Σιδηροδρομικής Γραμμής στο σύμπλεγμα του **Oak Ridge**. Από τις λίγες Μεταλλικές Δικτυωτές Γέφυρες τύπου **Town's Lattice**, ακόμα είναι σε λειτουργία.



**Γέφυρα του Poplar Creek**

### 3.3.6. Δικτύωμα τύπου Long “X”

Το Δικτύωμα τύπου **Long “X”** μοιάζει με το Δικτύωμα **Howe**, με την διαφορά ότι τα κατακόρυφα Μέλη είναι ξύλινα και όχι μεταλλικά. Επέτρεπε την κατασκευή ανοιγμάτων από **9**, μέχρι και **30 μέτρα** και χρησιμοποιήθηκε από πολλούς κατασκευαστές.



Δικτύωμα τύπου Long ‘X’

Ο **Stephen H. Long** (1784-1864) ήταν ένας από τους τοπογράφους μηχανικούς του αμερικάνικου στρατού που στάλησαν για να εξερευνήσουν και να χαρτογραφήσουν τις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς επεκτείνονταν δυτικά. Μηχανικός, εξερευνητής και αξιωματικός του Στρατού, ανέπτυξε και καπ**οια** σχέδια ατμομηχανών. Οδήγησε μια επιστημονική εξερευνητική ομάδα μέσα από την γεωγραφική περιοχή **Great Plains**, την οποία χαρακτήρισε, “Η μεγάλη έρημος της Αμερικής”. Το **Longs Peak** στο **Colorado** ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του. Εργαζόμενος για την **Baltimore&Ohio Railroad**, ανέπτυξε το Δικτύωμα “X” το **1830**, το οποίο με περαιτέρω βελτιώσεις κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας



Εσωτερικό Σκεπαστής Γέφυρας τύπου Long

το **1835** και το **1837**. Το ξύλινο αυτό Δικτύωμα ήταν γνωστό επίσης ως Δικτύωμα τύπου **Long** και αναφέρεται ως ο πρώτος Αμερικανός που **χρησιμοποίησε μαθηματικούς υπολογισμούς στο σχεδιασμό δικτυωμάτων**.

Για να αποδείξει την αντοχή του Δικτυώματος του, πέρασε **80** κοπάδια αγελάδων από την Γέφυρα **Jackson**, στο **Baltimore City**, και πήρε τις μαρτυρίες των **William F. Small**, **Robert Cary Long** και **Robert Mills**, των σχεδιαστών του **Washington Monument** στη **Baltimore** (και αργότερα το **Washington Monument** στη **Washington D.C.**)

Η **Γέφυρα Dalton** είναι μια Σκεπαστή Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Long**, που διασχίζει το **ποταμό Warner**, στο **Town of Warner**, της **Merrimack County**, στο **New Hampshire**, κατασκευάστηκε το **1853**. Έχει συνολικό μήκος **23,2 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **21,92 μέτρα** και πλάτος **3,9 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **3,29 μέτρα**.



**Γέφυρα Dalton**



**Γέφυρα Blenheim**

Η **Γέφυρα Blenheim** είναι μια Σκεπαστή Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Long**, που διασχίζει το **ποταμό Schoharie Creek**, στο **River Road**, της **Schoharie County**, στη **New York**, κατασκευάστηκε το **1855** από τον **Nicholas Powers**. Έχει συνολικό μήκος **71 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **64 μέτρα** και πλάτος **7,9 μέτρων**.

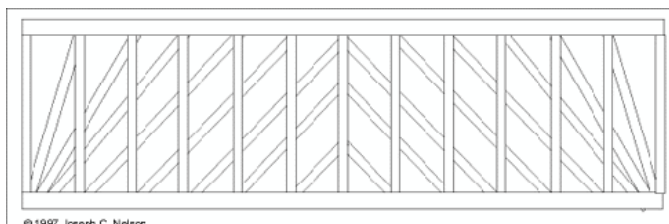
Η **Γέφυρα Eldean** είναι μια Σκεπαστή Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Long**, που διασχίζει το **ποταμό Miami**, στον άξονα του **Farver Road**, στην **Μιάμι County**, στο **Ohio**, κατασκευάστηκε το **1860**. Έχει συνολικό μήκος **68,92 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **36,27 μέτρα** και πλάτος **5,3 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **3,7 μέτρα**.



**Γέφυρα Eldean**

### 3.3.7. Δικτύωμα τύπου Haupt

Ο **Herman Haupt** (1817-1905), Αμερικανός Πολιτικός Μηχανικός και Στρατηγός του στρατού της Ένωσης στον Αμερικανικό Εμφύλιο, σχεδίασε και κατοχύρωσε τη διαμόρφωση του Δικτυώματος του, το **1839** με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Εργάστηκε σε τμήματα Διαχείρισης Εφαρμογών Μηχανικής για διάφορες σιδηροδρομικές κατασκευαστικές εταιρείες συμπεριλαμβανομένης της **Pennsylvania Railroad (1848)** και διετέλεσε επιθεωρητής των στρατιωτικών σιδηροδρόμων για το στρατό της Ένωσης κατά τη διάρκεια του εμφυλίου πολέμου. Το Δικτύωμα **Haupt** συγκεντρώνει μεγάλο μέρος των θλιπτικών δυνάμεων μέσω των ακραίων φατνωμάτων και τις μεταφέρει στις Στηρίξεις.



Δικτύωμα τύπου Haupt

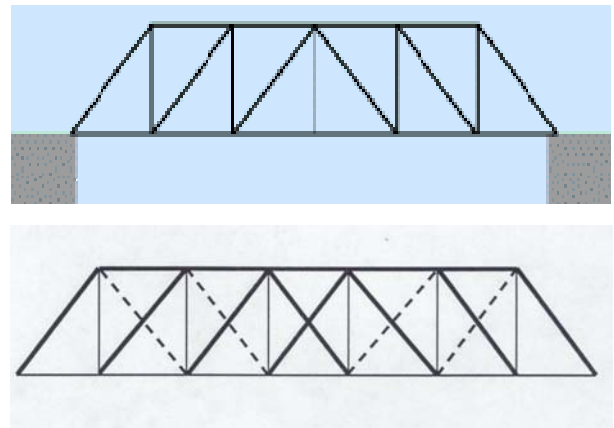
Η Γέφυρα **Bunker Hill** πάνω από το ποτάμι **Lyle Creek**, βρίσκεται στο **Conner Park**, της **Catawba County**, της **North Carolina**. Είναι μια Ξύλινη Σκεπαστή Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Haupt**, κατασκευασμένη το **1895**. Έχει ένα άνοιγμα, μήκους **26 μέτρων**. Χρησιμοποιείται ως Πεζογέφυρα πλέον.



Γέφυρα **Bunker Hill**, με αυτή τη διάταξη διαγωνίων, μεγάλο μέρος των Δυνάμεων μεταφέρεται στις Στηρίξεις, τα ακραία διαγώνια Μέλη τελούν κυρίως σε Θλίψη

### 3.3.8. Δικτύωμα τύπου Howe

Κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1840 από τον μηχανουργό **William Howe** ως βελτίωση άλλων τύπων Δικτυωμάτων Σκεπαστών Γεφυρών, αυτό το σχέδιο χρησιμοποιήθηκε αρκετά στην κατασκευή Πρώιμων Γεφυρών Σιδηροδρόμων. Εύκολο και φτηνό στην κατασκευή, ιδανικό για μήκη **15-75 μέτρων**, με το επιπλέον πλεονέκτημα ότι μπορούσε να κατασκευαστεί εκτός εργοταξίου και να μεταφέρουν τα Μέλη του οπουδήποτε, όπου και κατόπιν συναρμολογούνταν χωρίς να χρειάζονται ειδικά εργαλεία.



**Δικτύωμα τύπου Howe στην κανονική και στην πολλαπλή έκδοση του, τα διακοπτόμενα Μέλη είναι περριτά**



**Κάτω από την Γέφυρα, τα κατακόρυφα Μεταλλικά Μέλη τρυπούσαν τις Ξύλινες Δοκούς του κάτω Πέματος και βιδώνονταν επάνω τους**

Το Δικτύωμα **Howe** εκ πρώτης όψεως φαίνεται παρόμοιο με ένα **Δικτύωμα Pratt**, τα διαγώνια Μέλη του πλέγματος του όμως, τείνουν προς το κεντρικό φάτνωμα του ανοίγματος, διαμορφώνοντας μορφές σχήματος «A». Τα κατακόρυφα Μέλη υπόκεινται μόνο σε εφελκυσμό ενώ τα διαγώνια Μέλη θλίβονται, σε αντίθεση με ένα Δικτύωμα **Pratt**, στο οποίο οι εντάσεις είναι ακριβώς αντίθετες. Όσο μεγάλωνε το μήκος του ανοίγματος μιας Δικτυωτής Γέφυρας, τόσο έπρεπε να μεγαλώνει και το ύψος της δικτύωσης, ώστε να φέρει τα φορτία. Το Δικτύωμα **Howe**, έλυσε το σημαντικό αυτό πρόβλημα, αφού στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα πολλαπλό Δικτύωμα τύπου **Kingpost**. Το άνοιγμα μπορούσε να επεκταθεί χωρίς να απαιτείται αύξηση του ύψους της δικτύωσης, απλά προσθέτοντας και άλλα διαγώνια και κατακόρυφα Μέλη. Όταν κατασκεύαζαν Σύμμικτα Δικτυώματα Ξυλείας και Σιδήρου, ήθελαν να χρησιμοποιήσουν όσο το δυνατόν λιγότερο Σίδηρο, λόγος για τον οποίο επέλεξαν τον τύπο **Howe** αφού μόνο τα κατακόρυφα Μέλη και το κάτω Πέλωμα έπρεπε να είναι από Σίδηρο.



Η **Γέφυρα του Burfordville** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Howe** διάταξης **through**, που διασχίζει το **ποταμό Whitewater**, στο **Burfordville**, της **Cape Girardeau County**, στο **Missouri**, η κατασκευή ξεκίνησε το **1867** από τον και η Γέφυρα ολοκληρώθηκε το **1908**. Σταμάτησε να χρησιμοποιείται το **1950**. Με συνολικό μήκος **42,67 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **39,5 μέτρα** και πλάτος **3,6 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **3,87 μέτρα**. Το **1984** η Σκεπή της Γέφυρας καταστράφηκε από ισχυρούς ανέμους. Το **1998** ξεκίνησαν επισκευές για την αποκατάσταση της, αφού βρέθηκε ότι καταστρέφεται από το σαρακι. Αντικαταστάθηκε το κάτω Πέλμα και τα σκουριασμένα πλέον, Μεταλλικά Μέλη.



Δικτύωμα και Σκεπή της Γέφυρας Burfordville



Γέφυρα του Elk Creek

Η **Γέφυρα του Elk Creek** είναι μια Δικτυωτή Ξύλινη γέφυρα τύπου **Howe** διάταξης **pony** που διασχίζει το **ποτάμι Elk Creek**, στο **Lolo Pass Road**, της **Hood River County**, στο **Oregon**. Κατασκευάστηκε το **1952**. Ενώ μοιάζει με **Kingpost** είναι Δικτύωμα **Howe** χωρίς οριζόντια Ράβδο στο άνω Πέλμα. Με συνολικό μήκος **24,5 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **13,4 μέτρα** και πλάτος **3,5 μέτρων**.

Η **Γέφυρα South Fork Holston River CSX** διασχίζει το **ποταμό Holston**, στον άξονα του **CSX** (πρώην **Clinchfield**) **Railroad**, στο **Kingsport**, της **Sullivan County**, στο **Tennessee**. Κατασκευάστηκε το **1907** από την **South&Western Railroad Co.**. Είναι μια δύο ανοιγμάτων Γέφυρα, τύπου **Howe**, διάταξης **through**. Με συνολικό μήκος **186 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **36,58 μέτρα** και πλάτος **6,7 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **37,8 μέτρα**.



Γέφυρα South Fork Holston River CSX

### 3.3.9. Δικτύωμα τύπου **Bowstring**

Η Δικτυωτή Τοξωτή Γέφυρα τύπου **Bowstring** ήταν η πιο διαδεδομένη Μεταλλική Γέφυρα στις επαρχίες της **Iowa** προς το τέλος του **1860** και **1870**. Αναπτυγμένο και κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον **Squire Whipple** το **1840**, το Δικτύωμα τύπου **Bowstring** πωλήθηκε εκτενώς σε όλο **Midwest** σε γίγαντες της βιομηχανίας όπως την **King Bridge Company** και την **Wrought Iron Bridge Company**. Ένας μικρός αριθμός Γεφυρών τύπου **Bowstring**, κατασκευάστηκε στην **Iowa** στα τέλη της δεκαετίας του **1880**. Εντούτοις, η κατασκευή ελαττώθηκε σημαντικά προς το τέλος της δεκαετίας.

Ο **Squire Whipple C.E. (1804-1888)** φοίτησε στην ακαδημία **Fairfield**. Αποφοίτησε από το **Union College** μετά από μόνο ένα έτος. Έχει γίνει γνωστός ως πατέρας των Μεταλλικών Γεφυρών στην Αμερική. Τα σχέδια του εφαρμόστηκαν σε πολυάριθμες γέφυρες, όπως η Γέφυρα **Shaw**, «*μια κατασκευή σημαντικής σπουδαιότητας για την ιστορία της Αμερικανικής Εφαρμοσμένης Μηχανικής και της Τεχνολογίας Μεταφορών*». Είχε λάβει πατέντες ευρεσιτεχνίας για την Δικτυωτή Τοξωτή Γέφυρα τύπου **Bowstring** και για ένα μηχανισμό ανέλκυσης σε Ανελκυόμενη Γέφυρα.

Μια Γέφυρα τύπου **Bowstring** είναι μια Τοξωτή Γέφυρα της οποίας οι εξωτερικά κατευθυνόμενες οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται στο Τόξο, ή αλλιώς άνω Πέλμα, αντί να γίνονται θλιπτικές Δυνάμεις στο έδαφος ή στα Βάθρα, εφελκύνουν το κάτω Πέλμα. Η φόρτιση του κατατρόματος εφελκύνει τους Ελκυστήρες, στο Τόξο ασκούνται κατακόρυφες Θλιπτικές Δυνάμεις και τείνει να ανοίξει. Σε μια Γέφυρα τύπου **Bowstring** όμως, το κατάστρωμα χρησιμοποιείται ως Δεσμική Ράβδος, οι Δυνάμεις ασκούνται σε αυτό και εκφράζονται ως Εφελκυσμός του κάτω Πέλματος, όπως η χορδή συγκρατεί το Τόξο που τείνει να ισιώσει. Η έλειψη οριζόντιων Δυνάμεων στις Στηρίξεις επιτρέπει στις Γέφυρες τύπου **Bowstring** να κατασκευάζονται με λιγότερο στιβαρά θεμέλια, κατά συνέπεια μπορούν να τοποθετηθούν επάνω σε ανυψωμένα Βάθρα ή σε περιοχές με ασταθές έδαφος. Επιπλέον, δεδομένου ότι η ακαιρεότητα τους δεν εξαρτάται από τις οριζόντιες Θλιπτικές Δυνάμεις, μπορούν να προκατασκευαστούν εκτός εργοταξίου, και στη συνέχεια να μεταφερθούν στο εργοτάξιο, όπου θα ανεγερθούν στη θέση τους. Μια ιδιαίτερη περίπτωση εφαρμογής αυτών των διαδικασιών ήταν η εγκατάσταση της **Γέφυρας Fremont** στο **Portland**, του **Oregon**.

Η **Γέφυρα του Siuslaw** είναι μια Γέφυρα Γερανών που εκτείνεται πάνω από τον ποταμό **Siuslaw** στην διαδρομή **101**, στο **Florence**, του **Oregon**. Σχεδιάστηκε από τον **Conde McCullough**, χτίστηκε από την **Mercer-Fraser Company of Eureka** και χρηματοδοτήθηκε από την Ομοσπονδιακή Έκτακτη Διοίκηση Δημόσιων Έργων (μετονομάστηκε αργότερα σε Διοίκηση Δημόσιων Έργων). Δόθηκε στην κυκλοφορία το **1936**. Το συνολικό μήκος της είναι **478 μέτρα**. Ο **43 μέτρων**, Γερανός Διπλών Φύλλων, έχει **34 μέτρα** άνοιγμα, για την διέλευση σκαφών ποικίλων μεγεθών. Το τμήμα του Γερανού πλαισιώνεται από δύο Δικτυώματα τύπου **Bowstring 47 μέτρων**. Τέσσερις οβελίσκοι τεχνοτροπίας **Art Deco**, στεγάζουν το μηχανικό εξοπλισμό καθώς επίσης και χώρους διαμονής για το χειριστή της Γέφυρα.



**Γέφυρα του Siuslaw**



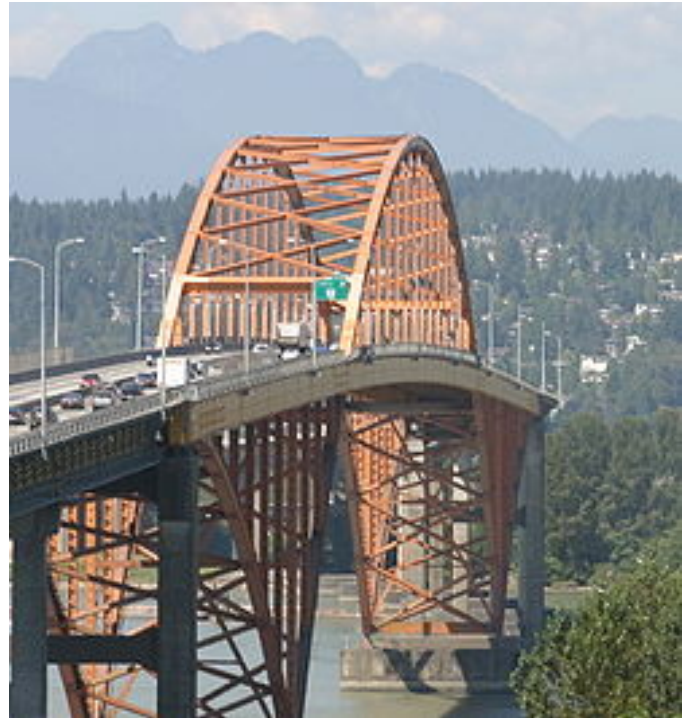
**Γέφυρα του Fremont**

Λόγω της λαϊκής δυσαρέσκειας για την εμφάνιση της γέφυρας **Marquam**, η Επιτροπή Τέχνης του **Portland**, κλήθηκε να συμμετέχει στη διαδικασία σχεδιασμού του **Fremont**. Η βελτίωση της οπτικής ποιότητας, είχε σαν αποτέλεσμα, μια γέφυρα που ήταν σχεδόν έξι φορές ακριβότερες από την εσκεμμένα οικονομική **Γέφυρα Marquam**. Οι σχεδιαστές διαμόρφωσαν τη γέφυρα βάση της **Γέφυρας Port Mann** στο

**Vancouver, British Columbia**. Το **1971**, ενώ ακόμα κατασκευαζόταν, μια ρωγμή βρέθηκε στη Δοκό του δυτικού ανοίγματος, αναγκάζοντας τον επανασχεδιασμό της και επισκευές κόστους **5,5 εκατομμυρίων δολλαρίων**. Το κύριο άνοιγμα της Γέφυρας κατασκευάστηκε στην Καλιφόρνια, κατόπιν συναρμολογήθηκε στο **νησί Swan 2,7 χιλιόμετρα** μακριά. Μετά την ολοκλήρωση μεταφέρθηκε στη θέση του με μια φορτηγίδα. Στις **16 Μαρτίου 1973**, το

Χαλύβδινο Τόξο **6.000 τόννων** ανυψώθηκε **52 μέτρα**, χρησιμοποιώντας **32** υδραυλικούς γρύλλους. Καταγράφηκε στο βιβλίο Γκίννες ως η βαρύτερη ανύψωση που είχε γίνει. Η Γέφυρα δόθηκε στην κυκλοφορία στις **11** Νοεμβρίου **1973** με τελικό κόστος **82 εκατομμυρίων δολλαρίων**, τα περισσότερα από τα οποία χρηματοδοτήθηκαν από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Εθνικών Οδών.

Η Γέφυρα του Port Mann εκτείνεται πάνω από τον ποταμό Fraser που συνδέει το Coquitlam με το Surrey κοντά στο Vancouver, στη British Columbia . Η γέφυρα αποτελείται από τρία ανοίγματα με κατάστρωμα Ορθοτροπικών Δοκών, τρία ανοίγματα προσέγγισης από Πλάκες συναρμοσμένες με Κομβοελάσματα και κατάστρωμα από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα. Το συνολικό μήκος του λιμένα Mann είναι το 2.093 μέτρα συμπεριλαμβανομένων των ανοιγμάτων προσέγγισης. Το κυρίως άνοιγμα έχει μήκος 366 μέτρα συν δύο ανοίγματα 110 μέτρων από κάθε πλευρά. Η

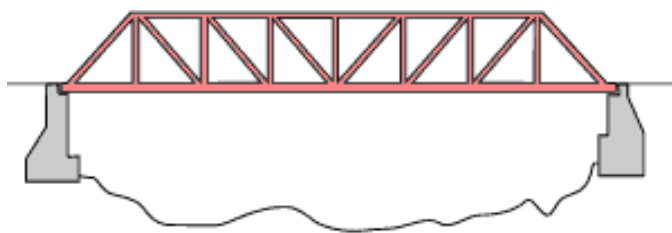


**Γέφυρα του Port Mann**

Γέφυρα είναι η μεγαλύτερη Τοξωτή Γέφυρα στον Καναδά και 13η στην παγκόσμια κατάταξη. Η Γέφυρα του Port Mann λειτούργησε το 1964, με αρχικά τέσσερις παρόδους. Κατά την διάρκεια της κατασκευής, ήταν το ακριβότερο κομμάτι της εθνικής οδού στον Καναδά. Ο πρώτος “πολίτης” που την διέσχισε ήταν ο δημοσιογράφος Marke Raines του CKNW, χωρίς να του είχε επιτραπεί η διέλευση, οπότε, χρειάστηκε να τη διασχίσει με αρκετά μεγάλη ταχύτητα.

### 3.3.10. Δικτύωμα τύπου Pratt

Το Δικτύωμα **Pratt** είναι ένας αρκετά κοινός τύπος, έχει όμως πολλές παραλλαγές. Αρχικά σχεδιασμένο από το **Thomas και Caleb Pratt** το **1844**, το Δικτύωμα **Pratt** έκανε επιτυχώς τη μετάβαση από τα Ξύλινα σχέδια στο Μέταλλο. Τα βασικά χαρακτηριστικά



Δικτύωμα τύπου **Pratt**

γνωρίσματα του είναι τα διαγώνια Μέλη του Δικτυώματος που διαμορφώνουν ένα σχήμα “**V**”, η ακριβώς αντίθετη φορά των διαγωνίων του Δικτυώματος **Howe**. Το κεντρικό τμήμα συνήθως έχει διαγώνια Μέλη τα οποία τέμνουν το ένα το άλλο. Διασταυρούμενα Μέλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενίσχυση, το οποίο καταστά την κατηγοριοποίηση δυσκολότερη.

Από τα δημοφιλέστερα Δικτυώματα, το Δικτύωμα τύπου **Pratt** και οι παραλλαγές του, χάρη σε αυτά κατασκευάστηκαν Γέφυρες μήκους αρκετών εκατοντάδων **μέτρων**. Το άνω πέλμα λειτουργεί σε Θλίψη, ενώ το κάτω σε Εφελκυσμό, και τα δύο συνδέονται με διαγώνια Μέλη. Τα Φορτία ασκούνται στους κόμβους των φατνωμάτων του κάτω πέλματος, και οι αναδράσεις στις στηρίξεις. Τα κατακόρυφα Μέλη, κυρίως δεσμεύουν τα δυο πέλματα από τις κατακόρυφες μετακινήσεις. Τα ακραία κατακόρυφα Μέλη εφελκύνονται, τα υπόλοιπα σχεδιάστηκαν να λειτουργούν σε θλίψη. Τα διαγώνια Μέλη αντιστέκονται στις Διατμητικές Δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των Πελμάτων όταν τα Φορτία τείνουν να βυθίσουν το κεντρικό φάτνωμα. Το κεντρικό φάτνωμα, έχει διαγώνια Μέλη σε κάθε διεύθυνση, αν και μόνο μια ράβδος εφελκύεται τη φορά, με την άλλη να αδρανεί. Ένα Φορτίο που κινείται πάνω στη Γέφυρα δεν θα κατανέμεται ομοιόμορφα, και έτσι, είτε η μια είτε η άλλη διαγώνια ράβδος θα εφελκύνονται. Τέτοιες διατάξεις, τα Αντιανέμια, συνήθως χρησιμοποιούνται σε ένα ή και περισσότερα μεσαία φατνώματα.

Όταν μια Δοκός αποτελούμενη από δύο κομμάτια κάμπτεται, το ένα ολισθαίνει πάνω στο άλλο. Αυτό ονομάζεται Διάτμηση και ο λόγος που τοποθετούνται τα Αντιανέμια είναι για να αντισταθούν σε αυτήν την αναπτυσσόμενη Δύναμη. Βέπουμε ότι τα διαγώνια Μέλη του Δικτυώματος **Pratt** έχουν διαταχθεί ώστε να εφελκύνονται, αποτρέποντας μετακινήσεις λόγω Διάτμησης στα Πέλματα. Αν η διεύθυνση τους ήταν η άλλη διαγώνιος, τότε θα θλίβονταν. Σε ομοιόμορφες φορτίσεις, τα εσωτερικά διαγώνια Μέλη τελούν σε

Εφελκυσμό και τα κατακόρυφα θλίβονται. Αν για την κατασκευή των διαγωνίων Μελών χρησιμοποιηθούν Στοιχεία που λειτουργούν μόνο σε Εφελκυσμό, όπως Ράβδοι Εφελκυσμού, τότε είναι πιθανόν (αναλόγως των Φορτίων), να χρειαστούν διασταυρούμενα Μέλη για να πάρουν τις Θλιπτικές Τάσεις, προερχόμενες από τα Συγκεντρωμένα Κινητά Φορτία που διανύουν το κατάστρωμα της Γέφυρας.

Τα Δικτυώματα **Pratt** μπορούσαν να κατασκευαστούν με ξύλινα κατακόρυφα Μέλη και άνω Πέλμα, αλλά κυρίως χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή Μεταλλικών Γεφυρών. Όταν σε ένα τυπικό Δικτύωμα **Pratt** προστίθονταν Μέλη και δημιουργείτο μια νέα υποκατηγορία, έπαιρνε το όνομα της από την κατασκευαστική που την χρησιμοποιούσε συνήθως, αν και όλα αναπτύχθηκαν από μηχανικούς της **Pennsylvania Railroad**, το **1870**.

Η **Γέφυρα Meridian** είναι Δικτύωμα τύπου **Pratt** και διάταξης **through** με σύστημα κάθετης ανέλκυσης που διασχίζει το **ποταμό Missouri** και ενώνει τη **Yankton County**, της **South Dakota**, με τη **Cedar County**, της **Nebraska**. Κατασκευάστηκε το **1924**. Έχει συνολικό μήκος **880 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **76,2 μέτρα** και πλάτος **10,9 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,42 μέτρα**. Σχεδιάζεται να παρακαμφθεί με την κατασκευή της **Γέφυρας Discovery** και να μεταφερθεί κάπου όπου θα χρησιμοποιείται σαν Γέφυρα Πεζών και Ποδηλάτων.



**Γέφυρα Meridian**



**Γέφυρα Gilman**

Η Γέφυρα Gilman είναι Δικτυωτή Γέφυρα τύπου Pratt και διάταξης deck, τριών ανοιγμάτων, που διασχίζει το ποταμό Connecticut και ενώνει τη Coos County, του New Hampshire με την Essex County, του Vermont. Κατασκευάστηκε το 1928 από την Berlin Construction Co.. Έχει συνολικό μήκος 166,4 μέτρων, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος 42,7 μέτρα και πλάτος 6,1 μέτρων.

### 3.3.11. Δικτύωμα τύπου Whipple

Το Δικτύωμα **Whipple** αναπτύχθηκε από τον **Squire Whipple** ως ισχυρότερη εκδοχή του Δικτυώματος **Pratt**. Κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το **1847**, ήταν γνωστό επίσης ως διπλή διατομή **Pratt** επειδή τα διαγώνια εφελκόμενα Μέλη διέσχιζαν δύο φατνώματα, ενώ στο **Pratt** διέσχιζαν ένα. Το **Indiana Historical**

**Bureau** σημειώνει μια Γέφυρα ως ένα τριπλό **Whipple**, ενδεχομένως το μοναδικό, χτισμένο με τη σκέψη ότι εάν δύο είναι καλύτερα από ένα, τότε τρία πρέπει να είναι ακόμα πιο ισχυρά. Το Δικτύωμα **Whipple** συνήθως κατασκευάζονταν έχοντας τραπεζοειδή μορφή, αν



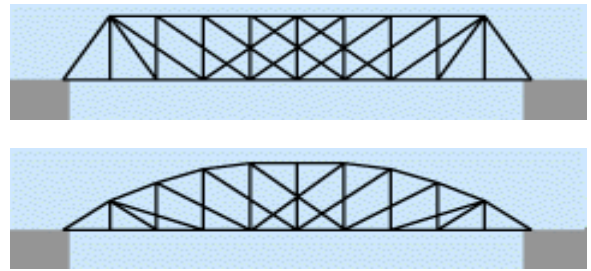
Δικτυωτή Γέφυρα τύπου Whipple

και υπήρξαν και **Whipple** δικτυώματα με μορφή Τόξου. Το Δικτύωμα **Whipple** χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για την κατασκευή σιδηροδρόμων, δεδομένου ότι ήταν ισχυρότερο και πιό άκαμπτο από το **Pratt**. Λιγότερο σύνηθες στη χρήση του στις εθνικές οδούς, αλλά μερικά παραδείγματα από Σφυρήλατο Σίδηρο επιζούν. Χρησιμοποιούνταν όπου το απαιτούμενο άνοιγμα ήταν πολύ μεγάλο, τόση ώστε η κατασκευή ενός **Pratt** Δικτυώματος έπαυε να είναι πρακτική. Η ανάπτυξη παραλλαγών του **Pratt**, συμπεριλαμβανομένων των τύπων της **Pennsylvania** και της **Baltimore**, οδήγησαν στην μειωμένη χρήση του Δικτυώματος **Whipple**.

Η Γέφυρα της Capon Lake κατασκευάστηκε το 1874 κοντά στο Romney. Πρόκειται για μια Δικτυωτή Γέφυρα τύπου Whipple διάταξης through. Το 1938 μετακινήθηκε για να τοποθετηθεί πάνω από το ποταμό Casaron, στη Hampshire County, της West Virginia.



Γέφυρα της Capon Lake



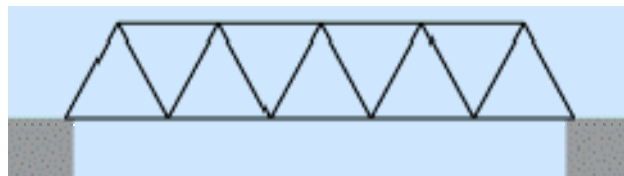
Δικτυώματα Whipple με Τραπεζοειδή και Τοξωτή μορφή

και υπήρξαν και **Whipple** δικτυώματα με μορφή Τόξου. Το Δικτύωμα **Whipple** χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για την κατασκευή σιδηροδρόμων, δεδομένου ότι ήταν ισχυρότερο και πιό άκαμπτο από το **Pratt**. Λιγότερο σύνηθες στη χρήση του στις εθνικές οδούς, αλλά μερικά παραδείγματα από Σφυρήλατο Σίδηρο επιζούν. Χρησιμοποιούνταν όπου το απαιτούμενο άνοιγμα

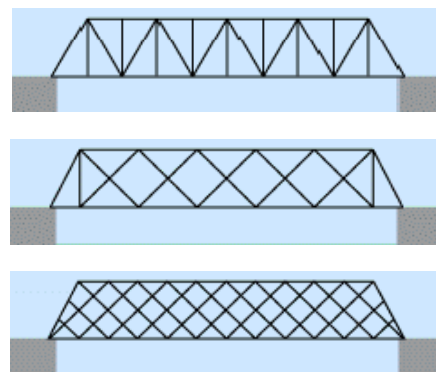
### 3.3.12. Δικτύωμα τύπου Warren

Ένα Δικτύωμα **Warren**, κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον **James Warren** και τον Βρετανό **Willoughby Theobald Monzoni** το **1848**, μπορεί να προσδιοριστεί ως κατασκευασμένο από οριζόντια και διαγώνια Μέλη που σχηματίζουν ισασκελή τρίγωνα, εξασφαλίζοντας ότι κανένα Μέλος δεν κάμπτεται. Οι φορτίσεις των διαγωνίων εναλλάσσονται μεταξύ Θλίψης και Εφελκυσμού όσο πλησιάζουμε το μέσον, και δεν χρησιμοποιούνται κατακόρυφα. Τα διαγώνια Μέλη κοντά στο μέσον, πρέπει να φέρουν και Θλίψη και Εφελκυσμό, αναλόγως των Κινητών Φορτίων που μετακινούνται διασχίζοντας την Γέφυρα. Το Δικτύωμα **Warren** είναι βελτίωση του Δικτυώματος **Neville**, το οποίο λειτουργεί με την ίδια λογική, αλλά δεν κατανέμει τις φορτίσεις το ίδιο αποτελεσματικά, λόγω του ότι χρησιμοποιεί ισοσκελή αντί ισόπλευρα τρίγωνα στη διάταξη των Ράβδων.

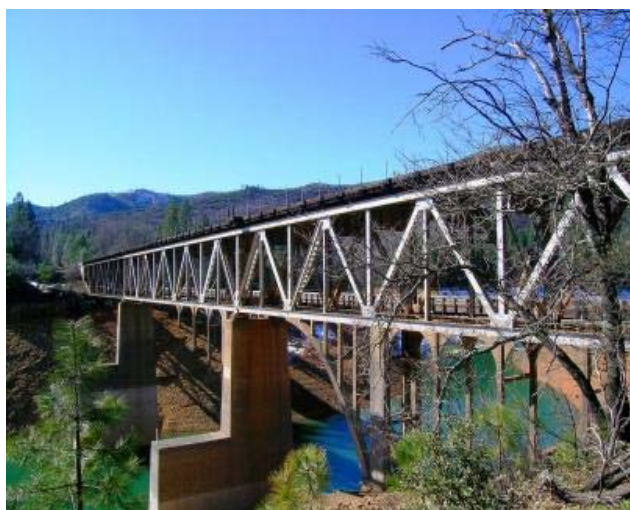
Όπως και στο Δικτύωμα **Pratt**, έτσι και στο **Warren** δημιουργήθηκαν διάφορες παραλλαγές του αρχικού σχεδίου, όπως το διαιρεμένο **Warren**, με τα κατακόρυφα στοιχεία να ανακουφίζουν την κατασκευή, το διπλό **Warren**, όπου δυο Δικτυώματα **Warren** σχηματίζουν ένα πλέγμα, και το τετράεδρο **Warren**, που στην ουσία είναι τέσσερα Δικτυώματα **Warren** το ένα πάνω στο άλλο, όλα μαζί σχηματίζοντας ένα πυκνό πλέγμα κατανομής Τάσεων.



Δικτύωμα τύπου Warren



Warren με ορθοστάτες  
Διπλής διατομής Warren  
τετράεδρο Warren



Γέφυρα Doney Creek

Η Γέφυρα Doney Creek στη Shasta County, της California, κατασκευάστηκε το 1939 από το Γραφείο Αποκατάστασης, κατά την κατασκευή του Φράγματος Shasta. Τρία ανοίγματα τύπου Warren διάταξης deck. Συνολικό μήκος 199,1 μέτρων, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος 58,67 και πλάτος καταστρώματος 4,27 μέτρα.



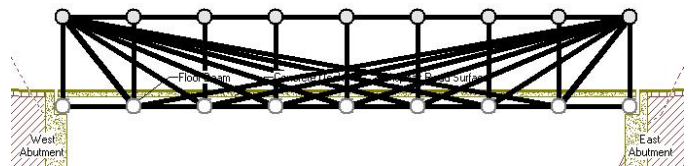
### 3.3.13. Δικτύωμα τύπου Bollman

Το σύμμικτο Δικτύωμα **Bollman**, από Σφυρήλατο Σίδηρο και Χυτοσίδηρο ήταν αρκετά συνηθισμένο στους σιδηροδρόμους της **Baltimore&Ohio**. Εκατό ή και περισσότερα Δικτυώματα κατασκευάστηκαν κατά τα σχέδια του **Wendell Bollman**, εκ των οποίων μια γέφυρα του **1869** στο **Savage**, του **Mairyland**, είναι ίσως ο μόνος άθικτος επιζών. Μερικές από τις κάθετες ράβδους μέσα στα φατνώματα έχουν παραλειφθεί από το σχέδιο για να είναι ευδιάκριτο.

Ο **Wendell Bollman (1814-1884)** ξεκίνησε την καριέρα του σαν μαραγκός στην **Baltimore and Ohio Railroad** το **1828**. Μετά από μικρό χρονικό διάστημα παραιτείται και αρχίζει την κατασκευή σπιτιών. Το **1837** επιστρέφει στην **B&O** ως μαραγκός και σύντομα προήχθη σε επιστάτης. Η **B&O** κατασκεύαζε κυρίως Λίθινες Τοξωτές Γέφυρες εκείνη την εποχή, αλλά στην σιδηροδρομική γραμμή δυτικά του **Harpers Ferry**, της **Virginia**, είχε αρχίσει η κατασκευή Ξύλινων Δικτυωτών Γεφυρών και ο **Bollman** άρχισε να μαθαίνει να τις σχεδιάζει. Το **1848** γίνεται υπεύθυνος στις γέφυρες όλης της γραμμής, και αρχίζει να ερευνά τη κατασκευή Μεταλλικών Γεφυρών, που είχαν μεγαλύτερη διάρκεια από τις Ξύλινες. Το 1849 εγκρίνεται η χρήση μετάλλου για δυο Γέφυρες μικρών ανοιγμάτων. Ο **Bollman** χρησιμοποιούσε μαθηματικά και μοντέλα στον υπολογισμό των Γεφυρών του και το **1852** κατοχύρωσε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το Δικτύωμα του.

Το άνω Πέλμα τελεί σε Θλίψη, όπως και τα κατακόρυφα Μέλη των κόμβων πάνω στις Στηρίξεις. Το κάτω Πέλμα και τα υπόλοιπα κατακόρυφα Μέλη είναι αδρανή, και τα διαγώνια τελούν σε

Εφελκυσμό. Κάθε φατνώμα υποστηρίζεται μεμονωμένα από τα διαγώνια Μέλη που εφελκύνονται. Αυτά μεταβιβάζουν τα φορτία στο άνω Πέλμα στις άκρες του ανοίγματος, όπου αναλύοντας τα, βλέπουμε ότι μεταβιβάζεται θλιπτικό φορτίο στα Μέλη του άνω Πέλματος και στα κατακόρυφα των Στηρίξεων. Τα υπόλοιπα κατακόρυφα Μέλη δεν έχουν στατικό σκοπό, αλλά στηρίζουν το κατάστρωμα και δεσμεύουν το άνω Πέλμα. Αυτά σε περίπτωση διάταξης **through**. Εάν η διάταξη του Δικτυώματος είναι **deck**, τότε τα μεσαία κατακόρυφα Μέλη και το κάτω Πέλμα θλίβονται, ενώ τα ακραία κατακόρυφα Μέλη μπορούν να αφαιρεθούν αφού τώρα είναι αδρανή και το αφόρτιστο άνω Πέλμα να εδραστεί απ' ευθείας στα Βάθρα.



Δικτύωμα τύπου Bollman

Η μόνη Γέφυρα τύπου **Bollman**, σώζεται στο **Savage**, του **Mairyland**, παραδόξως κοντά στο σπίτι του δημιουργού της. Η μήκους **49 μέτρων** και πλάτους **8 μέτρων** Γέφυρα, διασχίζει τον **ποταμό Patuxent**. Κατασκευάστηκε το **1869** για την κύρια γραμμή της **B&O Railroad**. Μεταφέρθηκε στη τωρινή της τοποθεσία το **1887** και λειτούργησε μέχρι το **1947**. Αποκαταστάθηκε το **1968**, και αναρτήθηκε στο Εθνικό Ταμείο Ιστορικών Τοποθεσιών το **1972**.

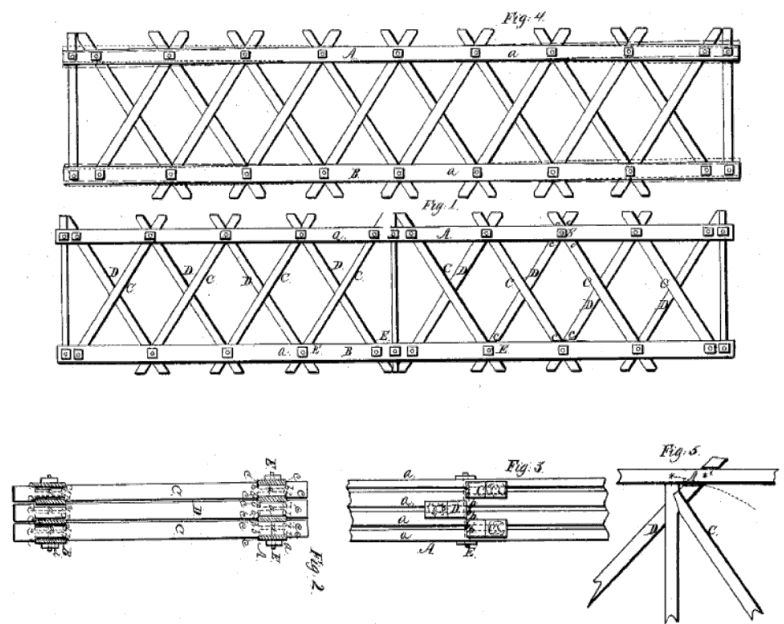


Η μοναδική σωζόμενη Δικτυωτή Γέφυρα τύπου Bollman

### 3.3.14. Δικτύωμα τύπου Brown

Το Δικτύωμα τύπου **Brown** είναι ένα Δικτύωμα κιβώτιο, διάταξης **through** και αποτελείται από διασταυρούμενα διαγώνια Μέλη σε Θλίψη, συνδέοντας το άνω και κάτω Πέλμα. Μπορεί να κατασκευαστεί με κατακόρυφα, ή σχεδόν κατακόρυφα (δεν παρουσιάζονται στο σχέδιο της αίτησης διπλώματος ευρεσιτεχνίας του), Μέλη, τα οποία τελούν μόνο σε Εφελκυσμό, ποτέ σε Θλίψη. Η πλέον σύνηθης εφαρμογή του ήταν στην κατασκευή Ξύλινων Σκεπαστών Γεφυρών, όπου τα Ξύλινα Μέλη του Δικτυώματος, προστατεύονταν από το εξωτερικού περίβλημα, αυξάνοντας την διάρκεια της Γέφυρας. Το πάτωμα και η στέγη είναι επίσης Δικτυώσεις, οριζόντιες με μόνη λειτουργία την αύξηση της Ακαμψίας της κατασκευής. Τα κάτω άκρα των διαγώνιων Μελών, τείνουν να προεξέχουν από το περίβλημα. Το Δικτύωμα τύπου **Brown** μπορεί να κατασκευαστεί με πολύ λίγο μέταλλο, κάνοντας το μια αρκετά οικονομική λύση.

Ο **Josiah Brown Jr.** έλαβε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του Δικτυώματος του, το **1857**. Η έλλειψη κατακόρυφων Μελών στο σχέδιο του Δικτυώματος δεν έγινε για λόγους οικονομίας, αλλά γιατί με αυτό το σχέδιο ήθελε να ξεπεράσει τα προηγούμενα σχέδια Δικτυωμάτων όπου τα Μέλη πλησίαζαν αλλά δεν ακουμπούσαν το ένα το άλλο στο Κόμβο, και αυξήσει την αντοχή της Γέφυρας συναρμολοώντας τα Μέλη μεταξύ τους, αναλύοντας τις κατακόρυφες Δυνάμεις σε μικρότερες διαγώνιες. Για να το επιτύχει αυτό, δέσμευε τα διαγώνια Μέλη στον Κόμβο βλυτρώνοντας τα, σχηματίζοντας Αρθρώσεις, εν αντιθέση με άλλα σχέδια, στα οποία τα διαγώνια Μέλη δεν ακουμπούσαν και δεν παραλάμβαν κατακόρυφα φορτία. Μόνο τρεις Γέφυρες αυτού του τύπου σώζονται σήμερα.



Σχέδιο του Δικτυώματος Brown, από την αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας του

Η **Γέφυρα Fallasburg** είναι ενός ανοίγματος, μήκους **30,48 μέτρων**, διασχίζει το **ποταμό Flat**, οχτώ χιλιόμετρα βόρεια του **Lowell**. Περίπου το **1840** οι πρώτες Ξύλινες Γέφυρες τοποθετήθηκαν πάνω από το ποταμό, αλλά όλες καταστράφηκαν από πλυμμήρες, όταν φούσκωνε το ποτάμι από



Η Γέφυρα Fallasburg



Το Δικτύωμα τύπου Brown στις Γέφυρες Fallasburg και White

τους λιωμένους πάγους. Η κατασκευή της Γέφυρας ανατέθηκε στον κατασκευαστή Γεφυρών **Jared N. Bresee**, το **1871**. Ολοκληρωμένη με κόστος **1.500 δολλαρίων**, στο Δικτύωμα της Γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν άσπρες ξυλείες πεύκων. Έργα συντήρησης έγιναν το **1905** και το **1945**, κατατώντας την **Γέφυρα Fallasburg** στην κυκλοφορία για περισσότερο από **125 έτη**.



Προεξοχές των κάτω άκρων στην Γέφυρα White

Η **Γέφυρα του White**, διασχίζει τον **ποταμό Flat** και βρίσκεται στη **Smyrna**, στην επαρχία

**Ion  
ia,  
TO  
U  
Mi  
chi  
ga  
n.**



Κόμβος Δικτύωματος Γέφυρας White

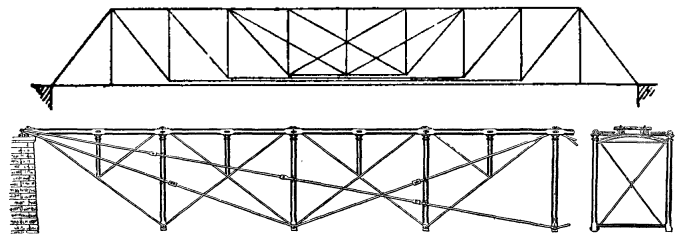
Κατασκευάστηκε το **1867-1869**, από τους **Jared N. Bresee** και **Joseph H. Walker**. Έχει ένα άνοιγμα, μήκους **36,5 μέτρων**, πλάτος καταστρώματος **4 μέτρα** και ύψος δικτύωσης **3,7 μέτρα**.

### 3.3.15. Δικτύωμα τύπου Fink

Αρκετά κοινό στους πρώιμους σιδηροδρόμους, ιδιαίτερα στη **Baltimore** και το **Ohio**, ήταν το Δικτύωμα **Fink**, σχεδιασμένο από τον Γερμανό **Albert Fink** (1827-1897) το 1860, ο οποίος ήταν ο πρώτος Μηχανικός που μελέτησε και ανέπτυξε την οικονομοτεχνική ανάλυση των μεταφορών και δημοσίευσε δύο εργασίες με τίτλο '**The Fink Report on Co.sts of Transportation**'. Ένωσε τις μέχρι τότε αντίπαλες Σιδηροδρομικές Κατασκευαστικές Εταιρίες και διετέλεσε πρόεδρος της Αμερικανικής Κοινωνίας Πολιτικών Μηχανικών.

Το Δικτύωμα αυτό δεν βασίζεται στα σχέδια **Kingpost** ή **Queenpost**. Το άνω Πέλημα είναι από Σίδηρο ή Χάλυβα, έναντι των τότε Ξύλινων Μελών. Πρόκειται για μια απλή και φτηνή διάταξη Δικτυώματος, ιδανική για περιπτώσεις όπου το άνω Πέλημα δεν φέρει το κατάστρωμα. Ουσιαστικά, το Δικτύωμα αποτελείται από δυο αντιπαραβαλόμενες Δικτυωτές Επιτεγίδες, οι οποίες συνδέονται με μια Δεσμική Ράβδο που φέρει τις οριζόντιες φορτίσεις.

Η μοναδική Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Fink** που επιβιώνει μέχρι σήμερα, είναι η **Γέφυρα Zoarville Station**, στο **Camp Tuscazoar**. Το μήκος **29,88 μέτρων** άνοιγμα και πλάτους **5,2 μέτρων**, κατασκευάστηκε από την **Smith, Latrobe and Co.**, Κατασκευαστική εξειδικευμένη σε αυτούς τους τύπους Δικτυώσεως, το **1868**. Αποτελούσε μέρος της Γέφυρας τριών ανοιγμάτων που διασχίζει το **ποταμό Tuscarawas**, στο **Dover**. Το **1904** η Γέφυρα αντικαταστάθηκε και το άνοιγμα αυτό μεταφέρθηκε στο **One Leg Creek**, σήμερα ονομαζόμενο **Conotton Creek**. Πρόσφατα ολοκληρώθηκε η επανασυναρμολόγηση του, ολοκληρώνοντας την αποκατάσταση της Γέφυρας. Παρουσιάζει ιδιαίτερη αισθητική, καθώς το σχέδιο του Δικτυώματος **Fink** είναι αρκετά ασυνήθιστο.



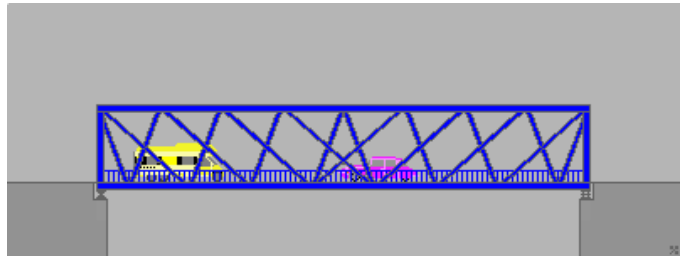
Δικτύωμα τύπου Fink διάταξης through και deck



Γέφυρα Zoarville Station, η τελευταία του είδους της

### 3.3.16. Δικτύωμα τύπου Post

Το Δικτύωμα τύπου **Post** είναι διασταύρωση του Δικτυώματος **Warren** και ενός Δικτυώματος διπλής διατομής **Pratt**. Εφευρέθηκε το **1863** από τον **Simeon S. Post (1807-1872)**, ενίοτε αναφέρεται ως Δικτύωμα πατέντας Post, αν και ποτέ δεν κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.



Δικτύωμα τύπου Post

Η Γέφυρα του **Bell Ford** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Post**, που διασχίζει το ποταμό **East Fork White**, της **Jackson County**, στην **Indiana**. Κατασκευάστηκε το **1885** από τον **Robert Patterson**. Έχει συνολικό μήκος **100 μέτρων** και πλάτος **5,06 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **3,81 μέτρα**. Καταστράφηκε από πλυμμήρες το **1999** και το **2006**.



Γέφυρα του Bell Ford

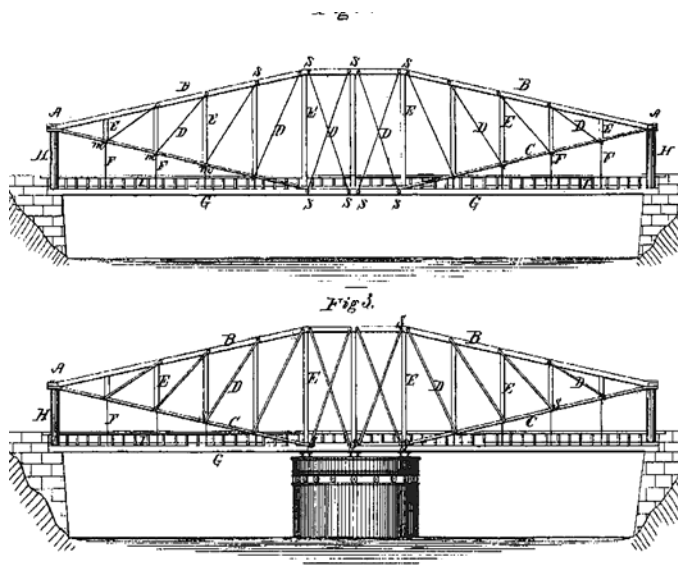


Γέφυρα του Falling Rock Camp

Η Γέφυρα του **Falling Rock Camp** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Post**, που διασχίζει το **Rocky Fork**, στο **Falling Rock Boy Scout Camp**, της **Licking County**, στο **Ohio**. Κατασκευάστηκε το **1872** και μετακινήθηκε το **1927** και το **1931**. Έχει συνολικό μήκος **20 μέτρων**.

### 3.3.17. Δικτύωμα τύπου Lenticular (Φακοειδές Δικτύωμα)

Το Δικτύωμα αυτό αποτελείται από ένα παραβολικό σωληνοειδές άνω Πέλμα σε Θλίψη και κατακόρυφες Ράβδους Εφελκυσμού που το συνδέουν με το κάτω Πέλμα, επίσης παραβολικού σχήματος με τα κοίλα προς τα επάνω. Δεδομένου ότι οι οριζόντιες δυνάμεις Θλίψης και Εφελκυσμού ισορροπούν, αυτές οι οριζόντιες δυνάμεις δεν μεταφέρονται στους Πυλώνες που το υποστηρίζουν ( με τους περισσότερους τύπους αψίδων). Αυτό επιτρέπει την κατασκευή του Δικτυώματος στο έδαφος και έπειτα, την ανύψωση του με γρύλλους, καθώς κατασκευάζονται Ολόσωμοι Πυλώνες που το υποστηρίζουν.



Φακοειδές Δικτύωμα

Ο **Friedrich August von Pauli (1802-1883)** δημόσιευσε τις λεπτομέρειες του σχεδίου Δικτυώματος του το **1865**. Στην Αμερική, κατοχυρώθηκε στον **William Douglas** το **1878**, δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το δικό του φακοειδές Δικτύωμα, και χρησιμοποιήθηκε ευρέως από τις **Corrugated Metal Company** και τη διάδοχο της, την **Berlin Iron Bridge Company**

Πιθανώς το διασημότερο Δικτύωμα **Lenticular**, ονομασμένο λόγω της μορφής του που φέρει ομοιότητες με σχήμα φακού, είναι η **Smithfield Street Bridge**, στο **Pittsburg**. Οι κατοπτρικές Αψίδες της συνδυάζουν τα οφέλη μιας Ανηρτημένης Γέφυρας, με εκείνα μιας Τοξωτής Γέφυρας. Μέρος της αντοχής οφείλεται στην ευκαμψία της κατασκευής. Το άνω και κάτω Πέλμα είναι γυρτά με τέτοιο τρόπο, ώστε το άνω να λειτουργεί σαν Αψίδα και το κάτω σαν καλώδιο Ανάρτησης. Κατακόρυφα και διαγώνια Μέλη είναι απαραίτητα για να χωρίσουν τα πέλματα σε εύχρηστα μήκη και για να μεταφέρουν τα φορτία σε αυτά. Ανακατανέμουν επίσης την ανομοιόμορφη Φόρτιση, η οποία δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με τις λειτουργίες Αψίδας και Καλωδίου. Το κατάστρωμα μπορεί να τοποθετηθεί στο άνω Πέλμα, υποστηριζόμενο από Στύλους, στο κάτω Πέλμα, αναρτώμενο από Καλώδια ή μεταξύ τους, στο μέσον της δικτύωσης. Υπό Καθολική Φόρτιση, τα διαγώνια Μέλη μένουν αφόρτιστα, και τα κατακόρυφα μεταφέρουν την μισή φόρτιση στο άνω Πέλμα, εφελκύνοντας το. Η οριζόντιες καταπονήσεις στα πέλματα είναι

συνεχής, με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγάλες Αξονικές Δυνάμεις στα Μέλη των Πελμάτων κοντά στις Στηρίξεις και να φθίνει το μέτρο των Αξονικών Δυνάμεων όσο προσεγγίζει το, σχεδόν οριζόντιο, μέσον του ανοίγματος. Σε Μερική Φόρτιση, τα διαγώνια Μέλη καταπονούνται, και λόγω σχήματος, η μέγιστη οριζόντια φόρτιση που διανέμεται στα διαγώνια Μέλη έχει σταθερό Μέτρο (μαθηματική ιδιότητα της παραβολής). Άρα η μέγιστη δύναμη που ασκείται στα διαγώνια ενός φατνώματος θα είναι ίση και στα δύο, και η οριζόντια καταπόνηση τους συνεχής.

Τέτοιες Γέφυρες είναι η **Γέφυρα Royal Albert** του **Isambard Kingdom Brunel**, οι **Γέφυρες του Heinrich Gerber**, **Γέφυρα Isar** του **1857** (δυστυχώς κατεδαφίστηκε το **1909**) και η Γέφυρα στο **Mainz** που διασχίζει το **ποταμό Rhine**, χτισμένη το **1862** (καταστράφηκε), με 4 ανοίγματα των **100 μέτρων**.

Αξιόλογη εκπρόσωπος της κατηγορίας της, είναι η **Γέφυρα Smithfield Street** που διασχίζει τον **ποταμό Monongahela**, στο **Pittsburgh**, της **Pennsylvania**. Σχεδιασμένη από τον **Gustav Lindenthal**, κατασκευάστηκε το **1881-1883**. Διαπλατύνθηκε το **1889** με την προσθήκη ενός ακόμα Δικτυώματος στην κατασκευή, διπλασιάζοντας σχεδόν το πλάτος της και ξανά το **1911**. Έχει συνολικό μήκος **306,9 μέτρα**, τα δύο κύρια ανοίγματα έχουν μήκος **109,7 μέτρα**.

Ανεγέρθηκε για να ανικαταστήσει τη Κρεμαστή Γέφυρα Συρματοσχοίνων που είχε κατασκευάσει ο **John A. Roebling**, λόγω του ότι η αυξανόμενη κυκλοφορία κατέστησε τη Γέφυρα ανεπαρκή.

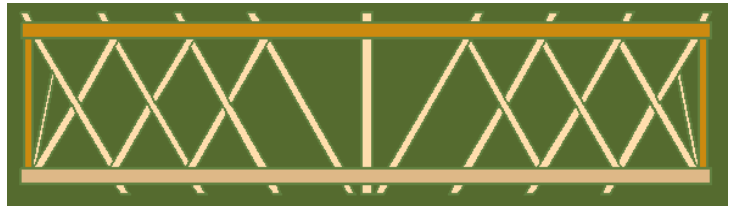


**Γέφυρα Smithfield Street**



### 3.3.18. Δικτύωμα τύπου Partridge

Ο **Reuben L. Partridge** (1823-1900) έλαβε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το σχέδιο Δικτυώματος του, το οποίο φαίνεται να είναι μια παραλλαγή του Δικτυώματος **Smith**. Τέσσερα εκ των πέντε Δικτυωμάτων τύπου **Partridge**



Δικτύωμα τύπου Partridge

κοντά στο σπίτι του, στο **Marysville**, στο **Union State** του **Ohio**, είναι ακόμα σε λειτουργία.

Η **Γέφυρα Culbertson** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Partridge**, που διασχίζει το **ποτάμι Treacle Creek**, στο **Winget Road**, της **Union County**, στο **Ohio**. Κατασκευάστηκε το **1868**. Έχει συνολικό μήκος **28,65 μέτρων** και ύψος δικτύωσης **3,2 μέτρα**. Εξακολουθεί να λειτουργεί έως και σήμερα, ως Γέφυρα μονής διαβάσεως.



Γέφυρα Culbertson

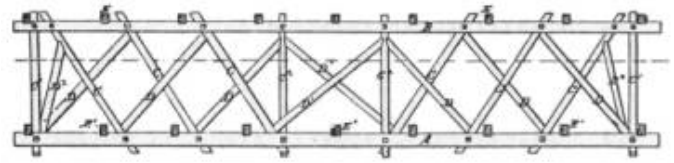


Γέφυρα του Spain Creek

Η **Γέφυρα του Spain Creek**, είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Partridge through**, που διασχίζει το **ποτάμι Spain Creek**, στο **Cratty Rd. (CR163)**, της **Union County**, στο **Ohio**. Κατασκευάστηκε το **1870** από τον **Reuben L. Partridge**. Έχει μήκος **19,51 μέτρων**.

### 3.3.19. Δικτύωμα τύπου Smith

Ο **Robert W. Smith** από το **Tipp City**, του **Ohio** έλαβε διπλώματα ευρεσιτεχνίας το **1867** και το **1869** για τα σχέδιά του. Το **1867** για το σχέδιο Δικτυώματος του και το **1869** για μια μέθοδο Πυλαιάς Σύσφιξης που ανέπτυξε.



Δικτύωμα τύπου Smith

Τρεις παραλλαγές του Δικτυώματος **Smith** σώζονται ακόμα στο **Ohio**.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, στο Δικτύωμα **Smith** από τους ακραίους Κόμβους του κάτω Πέλματος, έχουν τοποθετηθεί διαγώνια με μεγάλη κλίση, ώστε να συναντούν τα πρώτα διαγώνια Μέλη της δικτύωσης στο άνω Πέλιμα. Τα διαγώνια σχηματίζουν μορφές “**W**” και στο κέντρικό φάτνωμα διασταυρώνονται. Μερικές φορές τα Δικτυώματα αυτού του τύπου καλούνται και “διπλής διατομής **Warren**”. Για μικρά ανοίγματα χρησιμοποιούνταν αυτή η διάταξη Μελών, κατασκευαστικά, δύο Ξύλινες Δοκοί, ανάμεσα στις οποίες τοποθετούνταν ένα διασταυρούμενο Μέλος. Για μεγαλύτερα ανοίγματα, περισσότερες Δοκοί σχημάτιζαν στρώσεις δικτύωσης.

Η **Γέφυρα Wheeling** είναι ένα Δικτύωμα τύπου **Smith**, που διασχίζει το **ποταμό Patoka**, στο **Moore's Bridge Road**, της **Gibson County**, στην **Indiana**. Κατασκευάστηκε το **1877** από τον **William T. Washer**. Έχει συνολικό μήκος **51,5 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **45,72 μέτρα** και πλάτος **4,79 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,27 μέτρα**.



Γέφυρα Wheeling

### 3.3.20. Δικτύωμα τύπου Parker (Camelback)

Ο Μηχανολόγος Μηχανικός **Charles H. Parker** τροποποίησε τον τύπο **Pratt**, και το **1870** δημιούργησε ένα παραβολοειδές Δικτύωμα **Camelback**, του οποίου το άνω Πέλμα αποτελείται πάντα από πέντε ανοίγματα μεταβαλλόμενης κλίσης, και δεν είναι παράλληλο του κάτω Πέλματος καθ'όλο το μήκος της κατασκευής. Αυτό δημιουργεί μια ελαφρύτερη κατασκευή χωρίς απώλεια της φέρουσας ικανότητας της. Το Ίδιον Βάρος ελλατώνεται στα άκρα και αυξάνεται η αντοχή στο κεντικό τμήμα. Αυτή η παραλλαγή όμως παρουσιάζει κατασκευαστικές δυσχέρειες, αφού τα μήκη των Μελών μεταβάλλονται από το ένα φάτνωμα στο επόμενο.

Η **Γέφυρα του Caney Fork** διασχίζει το **ποταμό Caney Fork**, στον άξονα του **TN 26 (US 70)**, στη **De Kalb County**, στο **Tennessee**. Κατασκευάστηκε το **1948**. Είναι μια Δικτυωτή Γέφυρα πέντε ανοιγμάτων, τύπου **Parker Camelback**, διάταξης **through**. Με συνολικό μήκος **419 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **92,66 μέτρα** και πλάτος **7,29 μέτρων**, ύψος οροφής από το πάτωμα **5,03 μέτρα**.



Γέφυρα του Caney Fork

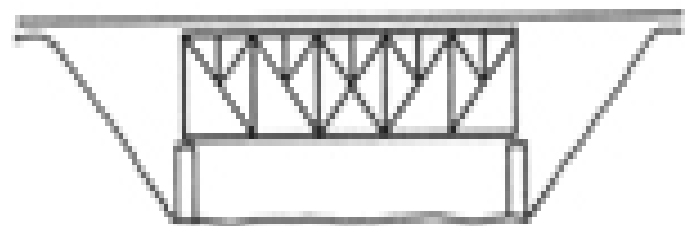
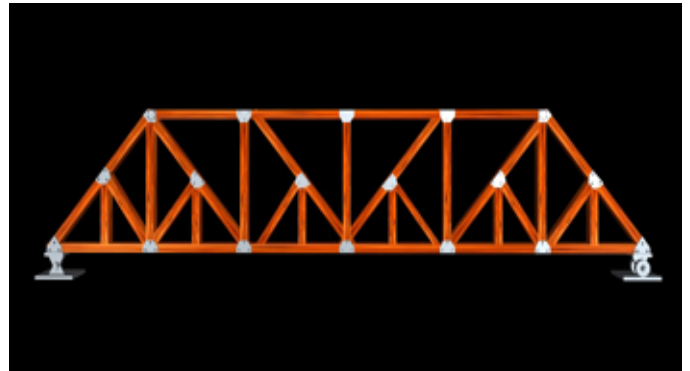


Γέφυρα Arkadelphia

Η **Γέφυρα Arkadelphia** πάνω από το **ποταμό Ouachita**, την διασχίζουν οι άξονες των **AR 7, AR 8 και AR 51**, στη **Clark County**, του **Arkansas**. Κατασκευάστηκε το **1933** πάνω από τον ποταμό **Caddo** από τις **Virginia Bridge&Iron Co.** και **Luten Bridge Co.**. Μετακινήθηκε στην τωρινή της τοποθεσία το **1960**. Είναι μια Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Pratt Camelback**, εννέα φάτνωμάτων, διάταξης **through**. Με συνολικό μήκος **153,3 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **61,57 μέτρα** και πλάτος **7,29 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,85 μέτρα**.

### 3.3.21. Δικτύωμα τυπου Baltimore

Το Δικτύωμα τύπου **Baltimore** είναι μια παραλλαγή του βασικού σχεδίου του Δικτυώματος **Pratt**. Οι Μηχανικοί της **Pennsylvania Railroad** το δημιούργησαν τη δεκαετία του **1870**, προσθέτοντας διαγώνια βοηθητικά Μέλη στο κάτω μέρος του αρχικού σχεδίου, Παρόμοιο με το Δικτύωμα **Pennsylvania**, το άνω Πέλμα όμως δεν είναι κεκλιμένο, αντιθέτως, όπως στον τύπο **Pratt** το άνω και κάτω Πέλμα είναι παράλληλα. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως στη κατασκευή Σιδηροδρομικών Γεφυρών, αλλά υπάρχουν και Οδογέφυρες κατασκευασμένες με τον τύπο **Baltimore**.



**Δικτυωτή Γέφυρα τυπου Baltimore**  
στο άνω σχ. σε διάταξη through  
στο κάτω σχ. σε διάταξη deck

Όσο τα Ανοίγματα των Δικτυωμάτων μικραίνουν, τείνουν να αυξάνονται οι δευτερεύουσες καταπονήσεις. Λαμβάνοντας αυτό υπ' όψη, τα μεγάλα σε μήκος φαντώματα του Δικτυώματος τύπου **Baltimore** υπερτερούν άλλων. Οι τάσεις που αναπτύσσονται στα θλιβόμενα Μέλη όμως τείνουν να τα λυγίσουν και να μετατοπιστούν οι Κόμβοι. Προκειμένου να αποθρευθεί αυτό, στο κάτω μέρος του Δικτυώματος προστέθηκαν Μέλη, τα οποία βοηθούν τη κατασκευή. Η Θλιπτική Δύναμη που ασκείται στον Κόμβο αναλύεται και έτσι μειώνεται η Τάση των Ράβδων, επιτρέποντας στο Δικτύωμα να φέρει μεγαλύτερα φορτία, με ασφάλεια.



**Κόμβος βοηθητικών διαγώνιων Μελών**  
**Δικτυώματος Baltimore**

Η **Γέφυρα Free-Black** διασχίζει τον **ποταμό Androscoggin**, στο **Brunswick** στη **Cumberland County**, στη πολιτεία **Maine**, έχει μήκος **96,5 μέτρα**, πλάτος **4 μέτρων** και το μήκος του μεγαλύτερου της ανοίγματος είναι **70 μέτρα**. Αυτή η Γέφυρα διάταξης through, κατασκευάστηκε το **1909** για να αντικαταστήσει μια Γέφυρα Σιδηροδρόμων διπλού καταστρώματος του **1880**. Κάτω απο το κατάστρωμα, έχει αναρτηθεί, από βλυτρωμένες ράβδους Εφελκυσμού, ένα δεύτερο κατάστρωμα Οδογέφυρας. Είναι ένα άρτιο παράδειγμα της εξέλιξης των Γεφυρών τυπου **Baltimore** σε στιβαρές κατασκευές, ικανές να φέρουν τους όλο και βαρύτερους συρμούς.



**Γέφυρα Free-Black**



**Το κάτω κατάστρωμα Οδογέφυρας της, Γέφυρα Free-Black, ανητημένο σε βλυτρωμένες Ράβδους Εφελκυσμού**



Η **Γέφυρα Armourdale Rock Island**, που διασχίζει τον **ποταμό Kansas** και είχε τον κωδικό **Railroad Bridge No. 4**, είναι μια περίπτωση Γέφυρας που συνδυάζει διαφορετικά Δικτυώματα στα ανοίγματα της. Έχει τρία ανοίγματα, εκ των οποίων τα δύο κύρια είναι **Baltimore Camelback** ενώ το ανατολικό άνοιγμα είναι ένα τυπικό Δικτύωμα **Baltimore** διάταξης **through**. Κατασκευάστηκε το **1905** και έπεσε σε αχρησία το **1972**, με την κατασκευή της **Kemper Arena**.



**Γέφυρα Armourdale Rock Island**



**Γέφυρα του Fort Madison**

Η **Γέφυρα του Fort Madison** διασχίζει τον **ποταμό Missisipi**, ακολουθώντας τον Σιδηρόδρομο **IA 2/IL 9/BNSF**, στο **Fort Madison**. Πρόκειται για μια Περιστροφική Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Baltimore** διάταξης **through**, με μήκος μεγαλύτερου ανοιγματος **161 μέτρα**, συνολικό μήκος **1.091 μέτρων** και πλάτος καταστρώματος **6,5 μέτρα**. Κατασκευάστηκε το **1927** από τις **American Bridge Co.** και **Union Bridge & Construction Co.** και ήταν η μεγαλύτερη Ηλεκτροκινούμενη Περιστροφική Γέφυρα της εποχής της, που διασχίζει το **Missisipi**.

### 3.3.22. Δικτύωμα τύπου Pennsylvania (Petit)

Το Δικτύωμα τύπου **Pennsylvania**, εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1870, σαν παραλλαγή του Δικτυώματος **Pratt**, ανεπτυγμένο από την **Baltimore&Ohio Railroad**. Όπως το



Δικτύωμα τύπου Pennsylvania

**Baltimore** σχέδιο, χαρακτηρίζεται από την χρήση δευτερεύουσων Βάκτρων και Μελών για τη διανομή των φορτίσεων και για να ανακουφιστούν τα κύρια Μέλη. Η **Camelback** μορφή του φέρει ομοιότητες στο Δικτύωμα **Parker**, εκμεταλλεζόμενο τα επιπλέον οφέλη.

Αυτός ο τύπος Δικτυώματος χρησιμοποιήθηκε στις Σιδηροδρομικές Γέφυρες κυρίως, στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα.

Η **Γέφυρα του Beaver** διασχίζει το ποταμό **Ohio**, την διασχίζει ο άξονας της **CSX Transportation**, στη **Beaver County**, της **Pennsylvania**. Κατασκευάστηκε το 1910 προς αντικατάσταση μιας παλαιότερης Γέφυρας του 1890, από μια σύμπαραξη των **Albert Lucius, Dravo Contracting Co.** και **McClintic-Marshall Co.** Είναι μια Δικτυωτή Γέφυρα Πρόβολος τύπου **Pennsylvania Petit**, διάταξης **through**. Συνολικό μήκος 542 μέτρων, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος 234,7 μέτρα.



Γέφυρα του Beaver



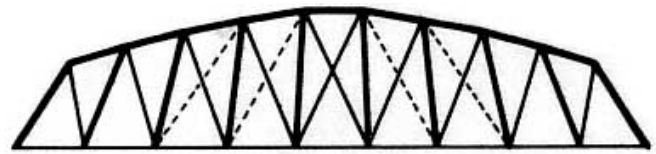
Γέφυρα Big Four

Η **Γέφυρα Big Four** διασχίζει το ποταμό **Ohio**, στο **Louisville** ενώνει τη **Jefferson County**, του **Kentucky**, με τη **Clark County**, της **Indiana**. Σιδηροδρομική Γέφυρα κατασκευάστηκε από τις τέσσερις μεγάλες Σιδηροδρομικές Εταιρείες, τις **Cleveland, Cincinnati, Chicago** και **St. Louis Railroad**, το 1895. Έχει ένα άνοιγμα τύπου **Parker through 8** φατνωμάτων, δύο ανοίγματα τύπου **Parker through 10** φατνωμάτων και τρία ανοίγματα τύπου

**Pennsylvania through, 16** φατνωμάτων και μήκους 166,7 μέτρα το καθένα.

### 3.3.23. Δικτύωμα τύπου Pegram

Το Δικτύωμα **Pegram** είναι μια διασταύρωση των Δικτυωμάτων τύπου **Warren** και **Parker**, στο οποίο όλα τα Μέλη του άνω Πέλματος έχουν ίσο μήκος, και τα Μέλη του κάτω Πέλματος έχουν μεγαλύτερα μήκη από τα αντίστοιχα τους στο άνω Πέλιμα. Λόγω της διαφοράς των μηκών, τα φαντώματα του Δικτυώματος δεν έχουν ορθογώνιο σχήμα. Τα Μέλη που κανονικά είναι κατακόρυφα, στο **Pegram** κυμαίνονται σε γωνίες  $60-75^{\circ}$ , από σχεδόν κατακόρυφα, στο μεσαίο φάντωμα, έως διαγώνια, στα ακραία φαντώματα (ενσχύοντας το Δικτύωμα όπως στο Δικτύωμα **Warren**).



Δικτύωμα τύπου Pegram

Ο **George H. Pegram (1855-1937)**, κατοχύρωσε το σχέδιο του Δικτυώματος του με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το **1885**. Τα μεταβαλλόμενα μήκη των διαγώνιων Μελών και τα σταθερά ανοίγματα των Πελάτων, επέτρεπαν την ανακύκλωση Μελών άλλων Γεφυρών και αναδιάταξη τους σε Δικτυώματα **Pegram**, εξοικονομώντας υλικά και χρήματα. Οχτώ Δικτυωτές Γέφυρες τύπου **Pegram** σώζονται σήμερα, οι επτά στο **Idaho**.



Φωτογραφία από την κατασκευή της Γέφυρας του  
Arkansas River

Η **Γέφυρα του Arkansas River**, ήταν μια Σιδηροδρομική Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Pegram** που διέσχισε τον **ποταμό Arkansas**. Κατασκευάστηκε το **1891** από την **Union Bridge Co.** και κατεδαφίστηκε το **1970**, για να περάσει το **Kerr-McClellan Arkansas River Navigation Project**. Είχε μήκος **733,7 μέτρα**.

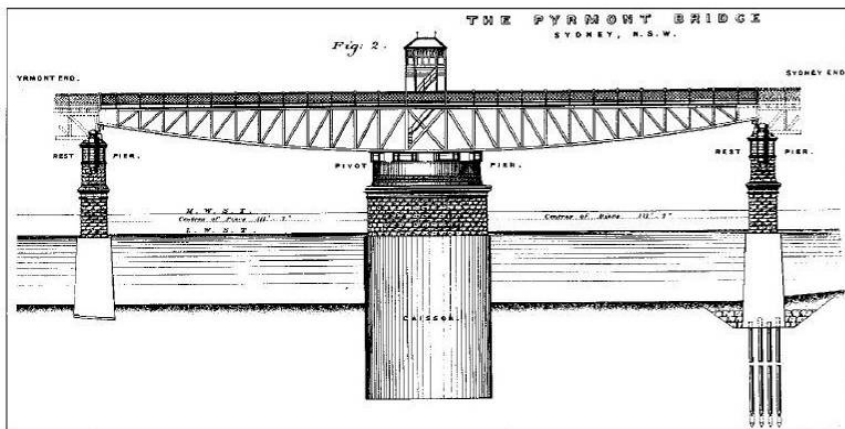


### 3.3.24. Δικτύωμα τύπου Allan

Το Δικτύωμα τύπου **Allan** έχει δανειστεί πολλά στοιχεία του σχεδιασμού από το Δικτύωμα **Howe**. Οι Γέφυρες τύπου **Allan** προξένησαν το εθνικό ενδιαφέρον της Αυστραλίας, λόγω των καινοτόμων σχεδίων τους.



Γέφυρα Pyrmont



Σχέδιο της Γέφυρας Pyrmont, ολοκληρωμένη το 1902

Η Γέφυρα **Hampden**, στο **Wagga Wagga**, στη **New South Wales**, στην Αυστραλία, ήταν η πρώτη Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Allan**, και αρχικά θα κατασκευαζόταν από Χάλυβα, αλλά τελικά χρησιμοποιήθηκε Ξύλο, για να μειωθεί το κόστος. Ο **Allan** χρησιμοποίησε ξυλεία Αυστραλιανού Ευκαλύπτου, λόγω της Αντοχής του.



Γέφυρα του Hamden

Εμπνευσμένο από τον Αυστραλό Μηχανικό **Percy Allan** (1861–1930), σχεδιαστή της Γέφυρας **Pyrmont**, πάνω από το **Cockle Bay**, στο **Darling Harbour** (μέρος του **Port Jackson**), στο **Sydney**, της Αυστραλίας, μιας από της μεγαλύτερες Περιστροφικές Γέφυρες στον κόσμο και από τις πρώτες Κινητές Γέφυρες Ηλεκτρισμού. Η κατασκευή της ξεκίνησε το **1899**, και δώθηκε στην κυκλοφορία το **1902**. Η Γέφυρα αναγνωρίστηκε στην Αυστραλία ως εθνικό ορόσημο της Μηχανικής.

Μια παρόμοια Γέφυρα, σχεδιασμένη επίσης από τον **Percy Allan**, είναι η **Γέφυρα Victoria**, στο **Prince Street Picton**, της **New South Wales**. Επίσης κατασκευασμένη από Ξύλο Ευκάλυπτου, χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, ως Πεζογέφυρα.



**Γέφυρα Victoria**



**Γέφυρα του Tharwa**

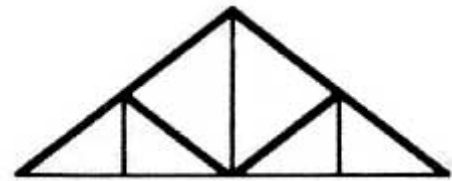
Μια άλλη σημαντική Γέφυρα τύπου **Allan**, είναι η **Γέφυρα του Tharwa**. Έχει μήκος **181,5 μέτρων** και η κορυφή της είναι **12 μέτρα** πάνω από την επιφάνεια του **ποταμού Murrumbidgee**. Κατασκευάστηκε για να διευκολύνει τις μετακινήσεις μεταξύ της **Canberra** και του χωριού **Tharwa**, σε ένα σημείο που παραδοσιακά χρησιμοποιούσαν οι Αβοριγίνες για το

πέρασμα του ποταμού. Σχεδιάστηκε το **1894** από τον **Percy Allan** για λογαριασμό της **NSW Public Works** και δώθηκε στην κυκλοφορία το **1895**. Είναι η παλαιότερα σωζόμενη Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Allan**, και επίσης, η μοναδική τεσσάρων ανοιγμάτων του είδους της στην Αυστραλία. Το **1945** τα Ξύλινα ανοίγματα αντικαταστάθηκαν από Χαλύβδινες Δοκούς και κατάστρωμα από Σκυρόδεμα. Το **1965** απαγορεύτηκε η διάβαση της από οχήματα άνω των **25 τόννων** και το **1977** μειώθηκε το επιτρεπτό όριο σε οχήματα των **5 τόννων**. Έχει καταχωρηθεί στο Ταμείο Εθνικής Κληρονομιάς της Αυστραλίας από το **1983**.

### 3.3.25. Δικτύωμα τύπου Waddell

Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα του τριγωνικού **Kingpost** Δικτυώματος, Ο **John Alexander Low Waddell (1854-1938)**, Αμερικανός Πολιτικός Μηχανικός με περισσότερες από **1.000** κατασκευές ανα τον κόσμο στην σταδιοδρομία του, το **1893** σχεδίασε και κατασκεύασε τέσσερις γέφυρες χρησιμοποιώντας σχέδια του για τον **Kansas City&Pittsburgh Railroad** σιδηρόδρομο. Το σχέδιό του αποτελείτο από ένα τριγωνικό πλαίσιο σχήματος “**A**” με υποδιαιρεμένα φατνώματα. Η αρχική πρόθεσή του, ήταν να κατασκευάσει το σχέδιο του με διάταξη **through**, γιατί η διάταξη **pony** ήταν δυσκολότερο να αντισταθεί στις Δυνάμεις ασκούμενες από υπερβολικά βάρη που διασχίζουν τη Γέφυρα. Εντούτοις, μετά από το **1900** μερικές παραλλαγές των τύπων **Waddell** με διάταξη **pony** έκαναν την εμφάνισή τους στις ΗΠΑ, κυρίως σε Οδογέφυρες. Σήμερα, μόνο δύο Δικτυώματα **Waddell** through και μερικά διάταξης **pony** σώζονται, στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούνται για λόγους αναψυχής.

Η **Δικτυωτή Γέφυρα Waddell “A”**, διέσχισε το **ποτάμι** Linn Branch Creek, στην Clinton County κοντά στο Trimble, αλλά μεταφέρθηκε στο Parkville του Kansas City, της Platte County, στο Missouri. Κατασκευάστηκε το 1898 για τις Quincy, Omaha και Kansas City Railway. Εγκαταλείφθηκε το 1939, το 1953 επαναχρησιμοποιήθηκε ως Γέφυρα κυκλοφορίας οχημάτων. Το 1980 αποσυναρμολογήθηκε για την κατασκευή του Smithville Reservoir και το 1987 μεταφέρθηκε και επανασυναρμολογήθηκε στην σημερινή του τοποθεσία.



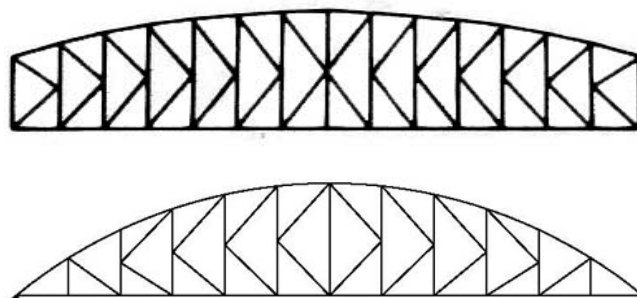
Δικτύωμα τύπου Waddell



Δικτυωτή Γέφυρα Waddell ‘A’

### 3.3.26. Δικτύωμα τύπου “Κ”

Το Δικτύωμα τύπου “Κ”, ονομάστηκε έτσι λόγω της μορφής του, φαίνεται σχεδιαστικά άρτιο. Συγκριτικά με άλλα Δικτυώματα, έχει μικρότερα Θλιβόμενα Μέλη, αν και ίσως να προστίθεται επιπλέον βάρος στην κατασκευή από τον μεγάλο αριθμό Μελών. Υπάρχει σε αρκετές παραλλαγές, ανεστραμένο, σε μορφή **Camelback**, διάφορες διατάξεις κ.ο.κ.



Δικτύωμα τύπου ‘Κ’ μορφών Camelback  
άνω απεικονίζεται στην κανονική διάταξη  
κάτω στην ανεστραμένη

Στην ανεστραμένη εκδοχή του, σε μια απλοποιημένη παραδοχή όπου ασκείται κατακόρυφη Δύναμη στον μεσαίο Κόμβο του άνω Πέλματος, το άνω Πέλιμα και τα άνω διαγώνια Μέλη και τα ακραία διαγώνια τελούν σε Θλίψη, ενώ το κάτω πέλιμα και τα κάτω διαγώνια Μέλη τελούν σε Εφελκυσμό. Το μεσαίο κατακόρυφο Μέλος θλίβεται, ενώ στα υπόλοιπα κατακόρυφα τα άνω εφελκύνονται και τα κάτω θλίβονται, πλην των ακραίων κάτω κατακόρυφων τα οποία είναι αδρανή.

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί η κατανομή Τάσεων στα Μέλη και ιδιαίτερα η εναλλαγή θλιπτικών και εφελκυστικών φορτίσεων των κατακόρυφων Μελών στην ανεστραμένη μορφή του. Η δυσκολία της κατασκευής του επαφύεται στην κατασκευή μιας ένωσης αρκετά ισχυρής ώστε να αντέξει τις εναλλασσόμενες αυτές φορτίσεις και στην περιπλοκότητα του σχεδιασμού του.

Η **Γέφυρα Belle Vernon** διασχίζει το **ποταμό Monongahela**, στον άξονα του **Wheeling & Lake Erie Railway** ενώνοντας το **Belle Vernon** με το **Speers**, κατασκευάστηκε μάλλον **1951**. Πρόκειται για Δικτυωτή Γέφυρα τύπου ‘Κ’ διάταξης **deck**, με συνολικό μήκος **611,6 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **137,2 μέτρα** και πλάτος **16,22 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **5,69 μέτρα**.



Γέφυρα Belle Vernon

Η **Γέφυρα Verdigris River** διασχίζει το **ποταμό Verdigris River**, στον άξονα του **OK 51**, στη **Wagoner County**, της **Oklahoma**. Κατασκευάστηκε το **1955** και αυξήθηκε το ύψος της το **1970** ώστε να περνάει κάτω της το **McClellan-Kerr Arkansas River Navigation System**. Πρόκειται για Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **“Κ”** διάταξης **through** με πλευρικά ανοίγματα Δικτυωμάτων **Pratt** διάταξης **pony**, με συνολικό μήκος **240 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **64 μέτρα** και πλάτος **8,5 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,84 μέτρα**.



**Γέφυρα του Verdigris River**

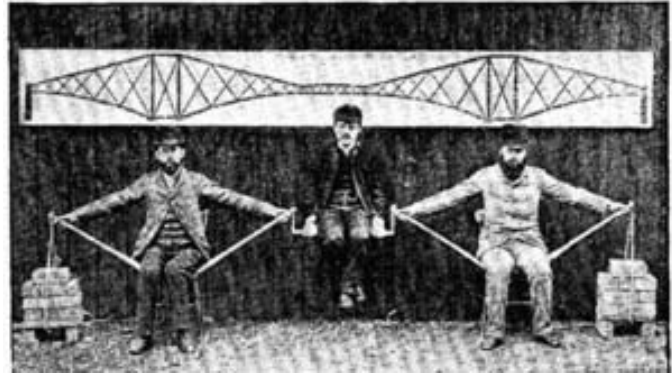


**Γέφυρα Red River US 71**

Η **Γέφυρα Red River US 71**, διασχίζει το **ποταμό Red River**, στον άξονα του **US 71** στο **Fort Buhlow**, στη **Rapides Parish**, της **Louisiana**, κατασκευάστηκε το **1936**. Πρόκειται για Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **“Κ”** διάταξης **through**, με συνολικό μήκος **583,5 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **152,4 μέτρα** και πλάτος **7,1 μέτρων**, ύψος δικτύωσης **4,18 μέτρα**.

### 3.3.27. Δικτύωμα τύπου Cantilever

Οι Μηχανικοί του 19<sup>ου</sup> αιώνα κατάλαβαν ότι μια Γέφυρα Συστήματος Συνεχών Ανοιγμάτων, θα διένεμε τα φορτία μεταξύ τους. Αυτό σήμαινε χαμηλότερες φορτίσεις στο Δικτύωμα και άρα, την κατασκευή μεγαλύτερων ανοιγμάτων. Η χρήση Άρθρωσης στο σύστημα, παρουσίαζε τα πλεονεκτήματα ενός Στατικά Ορισμένου Συστήματος, και επέτρεπε την κατασκευή Γέφυρας ικανής να διαχειριστεί τις διαφορικές καθιζήσεις των θεμελίων. Ο **Heinrich Gerber** ήταν ένας από τους μηχανικούς που έλαβε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια Αρθρωτή Δοκό το **1866**, και αναγνωρίζεται ως πρώτος που κατασκεύασε μια. Η Γέφυρα του **Hassfurt** πέρα από τον κύριο ποταμό στη Γερμανία με ένα κύριο άνοιγμα της τάξης των **38 μέτρων**, ολοκληρώθηκε το **1867** και ήταν η πρώτη σύγχρονη Γέφυρα Πρόβολος.

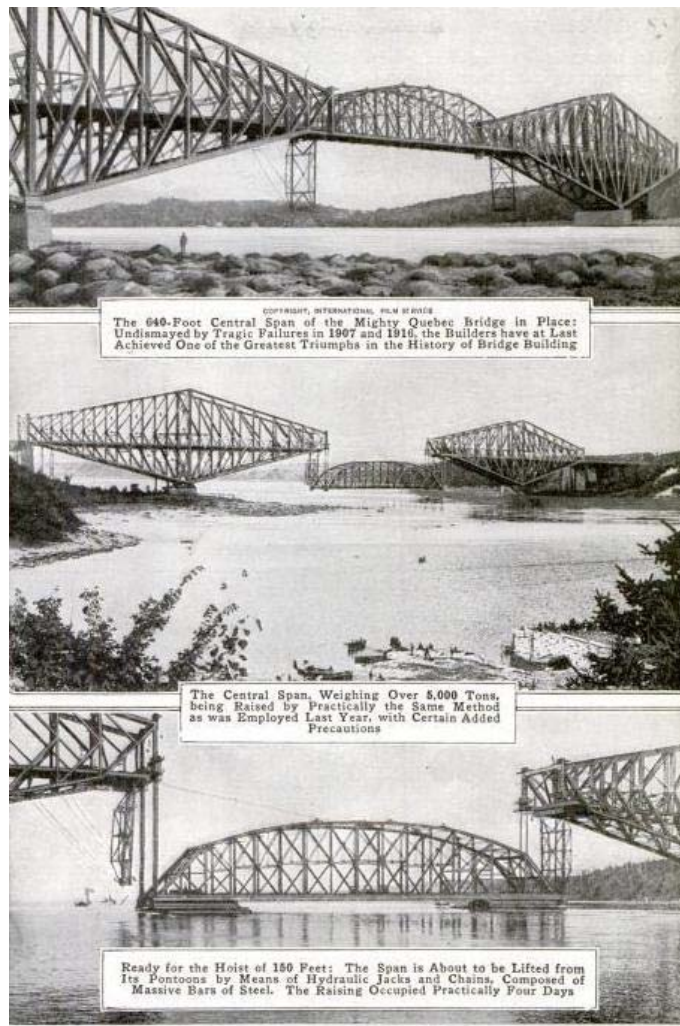


**Η αρχή που εφαρμόζεται στις  
Γέφυρες Προβόλους**

Ο όρος Πρόβολος χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να υποδείξει μια Δοκό που προέβαλε από την στήριξη της και στηρίζεται μόνο στο ένα άκρο, είτε με πάκτωση, είτε με την προβολή του άλλου άκρου σε ικανοποιητική απόσταση, ώστε να “αγκυρώσει” κατα μια έννοια. Κατά την εφαρμογή του όρου στα Δικτυώματα είναι συνήθες να ερμηνευθεί ως συμπερίληψη και του προβάλλοντας σκέλους και του ισορροπώντας σκέλους αφού και τα δύο τμήματα σχηματίζουν ένα εννιαίο Δικτύωμα.

Μια απλή κατασκευή Πρόβολος, διαμορφώνεται από άκρα προβόλων, εκτεινόμενα από τις αντίθετες πλευρές του εμποδίου που διασχίζεται, και συναντώνται στο κέντρο. Σε μια κοινή παραλλαγή, τον Πρόβολο Ανηρτημένου Μεσαίου Ανοιγματος, τα δύο άκρα δεν συναντιούνται στο κέντρο αντ' αυτού, υποστηρίζουν ένα κεντρικό Δικτυωτό Άνοιγμα που στηρίζεται στις άκρες των ανοιγμάτων Πρόβολων. Αυτό το τμήμα μπορεί να κατασκευαστεί εκτός εργοταξίου και να ανυψωθεί στη θέση του, όπως στη **Γέφυρα του Quebec**, τη μεγαλύτερη Γέφυρα Πρόβολο στο κόσμο, ή να κατασκευαστεί επιτόπου με τη χρήση ειδικών υποστηρίξεων.

Ένας συνηθισμένος τρόπος κατασκευής Χαλύβδινου Δικτυώματος και Προεντεμένων Ανοιγμάτων Πρόβολων, είναι να αντισταθμιστεί κάθε σκέλος πρόβολου με την προβολή ενός άλλου σκέλους στην αντίθετη κατεύθυνση, ισορροπώντας τα. Όταν συνδεθούν με ένα στέρεο θεμέλιο, τα αντισταθμίζοντα άκρα καλούνται Βραχίονες Αγκύρωσης. Κατά συνέπεια, σε μια γέφυρα που στηρίζεται σε δύο βάθρα, υπάρχουν τέσσερα Άκρα Πρόβολοι, δύο που εκτείνονται προς το εμπόδιο, και δύο Βραχίονες Αγκύρωσης που τα ισορροπούν. Λόγω της Ροπής που αναπτύσσεται στις στηρίξεις, το εποικοδόμημα της Γέφυρας συχνά αποκτά τη μορφή πύργων επάνω από τα Βάθρα της κατασκευής. Το άνω Πέλμα μιας τέτοια κατασκευής τελεί σε Εφελκυσμό, ο οποίος παραλαμβάνεται από τα Άκρα Αγκύρωσης και μεταφέρεται στις Ακραιές Στηρίξεις, ενώ οι Θλιπτικές Καταπονήσεις στο κάτω Πέλμα μεταφέρονται στα θεμέλια των Κεντρικών Πυλώνων. Πολλές Δικτυωτές Γέφυρες τύπου Πρόβολου, χρησιμοποιούν Αρθρώσεις, κάνοντας τις Στατικά Ορισμένες και τα Μέλη φέρουν μόνο ένα είδος φόρτισης. Μερικές, εκτείνουν Άκρα Πρόβολου από τις δυο άκρες και τις συναρμολογούν με Άρθρωση, κάνοντας τις Δικτύωμα Άρθρωσης **Gerber**. Τέτοιες κατασκευές άνευ υποστήρικτες είναι εικτές μόνο όπου υπάρχει Συμπαγής Βράχος για υποστήριξη, λόγω των δυνάμεων που κατεβαίνουν στα θεμέλια από το εφελκυόμενο άνω Πέλμα κατά την κατασκευή, περιορίζοντας αυτή τη μέθοδο στη γεφύρωση στενών φαραγγιών.



**Ανέλκυση του Αναρτώμενου Μεσαίου  
Ανοιγματος της Γέφυρας του Quebec**

Η **Γέφυρα Commodore Barry** εκτείνεται στον **ποταμό Delaware**, από το **Chester**, της **Pennsylvania** στο **Bridgeport**, στην **Logan Township**, του **New Jersey**. Ονομάστηκε από τον ήρωα του Αμερικανικού Εμφυλίου **John Barry**. Η κατασκευή της γέφυρας άρχισε το **1969**, και δόθηκε στην κυκλοφορία το **1974**. Έχει συνολικό μήκος **4.240 μέτρων**, και ένα κεντρικό άνοιγμα **501 μέτρων**,



**Γέφυρα Commodore Barry**

κατατάσσοντας την, τη τέταρτη μακρύτερη Γέφυρα **Cantilever** στον κόσμο, και τη μακρύτερη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έχει πέντε παρόδους, και ανάλογα με τον όγκο κυκλοφορίας καθορίζονται οι λωρίδες κυκλοφορίας.

Επίσης σημαντική Γέφυρα Πρόβολος μεγάλου ανοίγματος είναι η **Γέφυρα του Forth**, στο **Firth** της Σκωτίας, η δεύτερη μεγαλύτερη του κόσμου.

Η **Γέφυρα Minato** είναι μια Δικτυωτή Γέφυρα Πρόβολος διπλού καταστρώματος στην **Osaka**, της Ιαπωνίας. Δόθηκε στην κυκλοφορία το **1974**, και έχοντας συνολικό μήκος **983 μέτρων**, με ένα κεντρικό άνοιγμα **510 μέτρων** και δύο ακραία **235 μέτρων**, είναι η τρίτη μεγαλύτερη Γέφυρα Πρόβολος. Επιλέχθηκε αυτός ο τύπος Γέφυρας, λόγω του σαθρού εδάφους. Οι



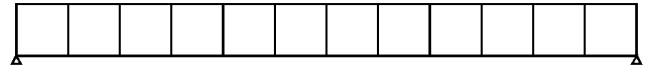
**Γέφυρα Minato**

στρώσεις Άργιλου περιόρισαν τις επιλογές των Μηχανικών και επιλέχθηκε αυτός ο τύπος, με Χάλυβα Υψηλής Αντοχής, ώστε να κατασκευαστεί μια Γέφυρα μικρού βάρους.



### 3.3.28. Δικτύωμα τύπου **Vierendeel**

Το Δικτύωμα **Vierendeel** αναπτύχθηκε το **1896** από τον Βέλγο Μηχανικό **Arthur Vierendeel (1853-1940)**. Η πρώτη τέτοια



Δικτύωμα τύπου **Vierendeel**

Γέφυρα κατασκευάστηκε στο **Avelgem** του Βελγίου το **1902**. Στο Δικτύωμα **Vierendeel** στους Κόμβους δεν υπάρχουν Αρθρώσεις, οι ενώσεις του είναι Πακτώσεις, κάνοντας το στην ουσία σειρά Μεταλλικών Πλαισίων. Αυτό επιτρέπει την κατασκευή του χωρίς διαγώνια Μέλη, αφού τα Πλαίσια αναλαμβάνουν τις Διατμητικές Τάσεις, όμως, τα Μέλη υπόκεινται σε Καμπικές καταπονήσεις. Λόγω του κόστους κατασκευής και της δυσκολίας υπολογισμού του (πριν την ανάπτυξη προγραμμάτων Στατικής Επίλυσης από ηλεκτρονικούς υπολογιστές), δεν συναντώνταν συχνά εκτός Βελγίου, όπου σώζονται και Σκυροδετούμενα Δικτυώματα αυτού του τύπου.

Χρησιμοποιείται ωστόσο στις κτηριακές κατασκευές, λόγω της ικανότητας του να αντιμετωπίζει Διατμητικές Τάσεις, μειώνοντας ή και καταστρώντας περριπή την χρήση Τοιχίων, σε συνδυασμό με το σχήμα του, που διευκολύνει την διαμόρφωση εσωτερικών χώρων, σε αντίθεση με τα συνήθη τριγωνοειδή Δικτυώματα που παρουσιάζουν εμπόδια στην σχεδίαση παραθύρων και πορτών. Χαρακτηριστικά για την Φέρουσα Ικανότητα και την συμπεριφορά του σε Διάτμηση, μέρη των περιμετρικών τοιχωμάτων δεν κατεδαφίστηκαν στην καταστροφή των Δίδυμων Πύργων του **World Trade Center**, εξαιτίας του σχεδιασμού τους με Δικτύωμα Πλαισίων **Vierendeel**.

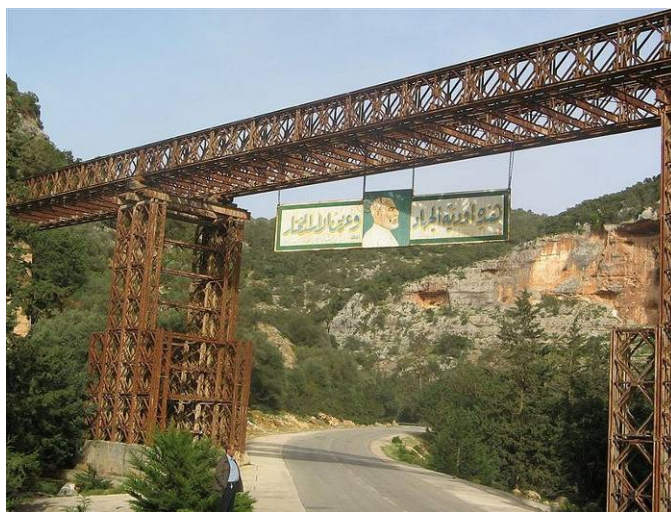
Η **Γέφυρα στην Kenilworth Avenue** πάνω από το **Verdugo Wash**, βρίσκεται στο **Glendale**, του **Los Angeles County**, της **California**. Είναι μια Μεταλλική Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Vierendeel**, διάταξης **pony**, κατασκευασμένη το **1936** από το **U.S. Army Corps of Engineers**. Έχει συνολικό μήκος **30,21 μέτρων**, μήκος μεγαλύτερου ανοίγματος **29 μέτρα** και πλάτος καταστρώματος **12,31 μέτρα**.



Γέφυρα στην **Kenilworth Avenue**

### 3.3.29. Δικτύωμα τυπου Bailey

Η Δικτυωτή Γέφυρα τύπου **Bailey** είναι ένα εξέχον δείγμα Στρατιωτικής Μηχανικής. Πρόκειται για ένα φορητό, προκατασκευασμένο τύπο Γέφυρας, ικανής ανοιγμάτων της τάξης των **60 μέτρων**. Δεν χρειάζονται εξειδικευμένα εργαλεία για την συναρμολόγηση της και τα Στοιχεία της είναι αρκετά μικρά ώστε να μπορούν να μεταφερθούν με φορητά. Ωστόσο η ίδια η Γέφυρα μπορεί να φέρει το βάρος αρμάτων μάχης.



Γέφυρα Wadi el Kuf, Λιβυή

Ο **Donald Coleman Bailey (1901-1985)**, μετέπειτα του απονεμήθηκε ο τίτλος του ιππότη, ήταν δημόσιος υπάλληλος στο Βρετανικό Γραφείο Πολέμου. Στον ελεύθερο του χρόνο κατασκεύαζε μοντέλα Γεφυρών. Όταν παρουσίασε ένα τέτοιο μοντέλο στους ανωτέρους του, αναγνώρισαν τις προοπτικές μιας τέτοιας Γέφυρας. Ένα προτότυπο κατασκευάστηκε στο **M.E.X.E. (Military Engineering Experimental Establishment)**, στο **Christchurch**, του **Dorset**. Το προτότυπο χρησιμοποιήθηκε για την γεφύρωση του **Mother Schiller's Channel**, το οποίο διασχίζει το **Stanpit Marsh**, ένα έλος στη συμβολή του ποταμού **Avon**, στο **Hampshire** και του ποταμού **Stour**, στο **Dorset**. Η Γέφυρα αυτή ακόμη βρίσκεται σε λειτουργία. Αφού η Γέφυρα δοκιμάστηκε και αναπτύχθηκε, εγκρίθηκε η χρήση από το Βασιλικό Σώμα Μηχανικού και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην Ιταλία το **1943**. Ένας αριθμός Δικτυωτών Γεφυρών τύπου **Bailey** ήταν έτοιμος μέχρι το **1944**, οπότε και η παραγωγή τους αυξήθηκε, για να χρησιμοποιηθούν στην Απόβαση στη Νορμανδία. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, επίσης ενέκριναν τη χρήση τους και άρχισαν την ταχεία κατασκευή τους.

Η Γέφυρα αποτελείται από τρία μέρη. Η επιφάνεια ταξιδιού αποτελείται από πρέκια των **5,8 μέτρων** κατα μήκος της, με διαδοκίδες **3 μέτρων**, σχηματίζοντας τετράγωνα φατνώματα. Η Φέρουσα Ικανότητα της Γέφυρας προέρχεται από τα πλαϊνά φατνώματα, επίσης τετράγωνα **3 μέτρων** με Αντιανέμια. Αυτά, τοποθετούνται κατακόρυφα στις διαδοκίδες, στις οποίες δένονται με σφιγκτήρες. Ζωστήρες προσαρμόζονται πάνω στο ολοκληρωμένο πλαίσιο και τέλος, σανίδες στρώνονται πάνω στους ζωστήρες,

παρέχοντας το οδόστρωμα. Κατά την διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, οι Ξύλινες σανίδες αντικαταστάθηκαν από Μεταλλικές, που αντέχαν την φθορά από τις ερπύστριες των αρμάτων.

Με αυτή τη μεθοδο, κατασκευάζονταν ορθογώνια κομμάτια γέφυρας, μήκους **3 μέτρων** και πλάτους **4 μέτρων**. Μόλις ένα κομμάτι ολοκληρωνόταν, σπρωχνόταν πάνω σε ροδέλα στη κεφαλή της Γέφυρας και συνδεόταν με το προηγούμενο, περνώντας βλύτρα σε ειδικά διαμορφωμένες οπές στις γωνίες των φατνωμάτων. Μέχρι και τρεις σειρές διαδοκίδων και πρέκια μπορούν βιδωθούν μαζί, ώστε να αυξηθεί η Φέρουσα ικανότητα της Γέφυρας. Εναλλακτικά, τα φατνώματα στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο. Εκτός από την κατα μήκος κατασκευή τους, Γέφυρες αυτού του τύπου κατασκευάζονταν στη μία άκρη, και σπρώχνονταν μέχρι την άλλη άκρη, κυλώντας πάνω σε ροδέλες, οι οποίες μετά αφαιρούνταν με τη χρήση γρύλων.

Μέχρι το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, η **5<sup>η</sup>** Στρατιά Η.Π.Α. και η **8<sup>η</sup>** Στρατιά της Βρετανίας, είχαν κατασκευάσει πάνω από **3.000** Γέφυρες **Bailey**, μόνο στη Ιταλία και τη Σικελία, συνολικά **90 χιλιόμετρα** Γέφυρας, με μέσο όρο ανοιγμάτων τα **30 μέτρα**. Η Γέφυρα **Bailey** που κατασκευάστηκε για να αντικαταστήσει την κατεστραμμένη Γέφυρα



Γέφυρα Bailey στον ποταμό Sangro

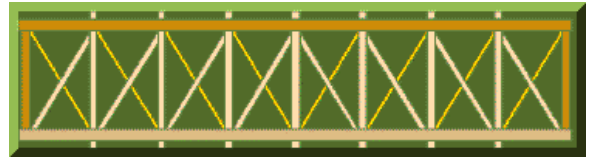
στον **ποταμό Sangro**, στην Ιταλία, έχει μήκος **343 μέτρων**. Μια στον ποταμό **Chindwin**, στη **Burma**, είχε μήκος **351 μέτρων**. Η **Γέφυρα Bnot Ya'akov Bridge**, είναι Γέφυρα **Bailey** που διασχίζει τον **ποταμό Jordan**, στο βόρειο Ισραήλ. Η Γέφυρα **Westbound** του **I-10 Twin Spans**, έχει προκατασκευασμένα Στοιχεία **Bailey**.



Γέφυρα Bnot Ya'akov

### 3.3.30. Μείζονες τύποι Δικτυωμάτων

Ο **Horace Childs**, ξάδερφος του **Stephen Long**, σχεδίασε το **1846** ένα πολλαπλό **Kingpost** Δικτύωμα με την προσθήκη διαγώνιων Σιδερένιων Μελών. Το Δικτύωμα **Childs** χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά από τον γεφυροποιό **Everett Sherman**, απο το **Ohio**, μετά το **1883**.



Δικτύωμα τύπου Childs



Η Δικτυωτή Γέφυρα τύπου Wichert,  
Homestead High Level Bridge

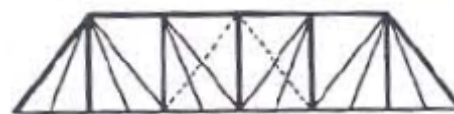
Πριν από τη χρήση των υπολογιστών, η αλληλεπίδραση των δυνάμεων, σε γέφυρες με πολλά ανοίγματα, ήταν δύσκολο να υπολογιστεί. Μια λύση στο πρόβλημα αναπτύχθηκε από τον **E.M.Wichert** από το **Pittsburg**, το **1930**. Τοποθετώντας ένα ανοικτό, αρθρωτό, τετράεδρο πάνω από τις ενδιάμεσες στηρίξεις, κάθε άνοιγμα μπορεί να υπολογιστεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Το πρώτο Δικτύωμα **Wichert** ήταν η **Γέφυρα Homestead High Level** πάνω από τον **ποταμό Monongahela** το **1937**.

Το Δικτύωμα **Paddleford** απαντάται μόνον στο **New England**. Αναπτύχθηκε από τον **Peter Paddleford**, ο οποίος κατασκεύαζε Δικτυωτές Γέφυρες τύπου **Long**. Το **1846**, επανασχεδίασε το Δικτύωμα του αντικαταστάοντας τις αντιστηρίξεις με άκαμπτα Μέλη, ματίζοντας τα στο εσωτερικό των Κατακόρυφων Μελών, κοντά στο άνω και κάτω Πέλμα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μια ασυνήθιστα δυνατή και άκαμπτη κατασκευή.



Η Γέφυρα Swiftwater, Δικτυωτή  
Σκεπαστή τύπου Paddleford, στο Bath

Το 1870, ο **Charles Kellogg** παρουσίασε ένα Ξύλινο Δικτύωμα, μια παραλλαγή του Δικτυώματος **Pratt**, με στόχο να διορθώσει την αδυναμία των τύπων **Pratt** και **Howe** να φέρουν Εφελκυστικές Δυνάμεις στο κάτω Πέλμα. Στο σχέδιο του, υποδιαιρεμένα διαγώνια Μέλη αρχίζουν από το άνω Πέλμα και κατέληγαν, το ένα, σε κατακόρυφο Μέλος σχηματίζοντας γωνία  $45^\circ$ , και το άλλο, στο μέσον του φατνώματος υπό γωνία  $60^\circ$ . Κατα τον **Kellogg**, το σχέδιο ήταν καλύτερο του **Howe**. Οι άλλοι Μηχανικοί δεν συμμερίζονταν την άποψη του και το θεώρησαν ακατάλληλο για Γέφυρες. Ο **J.A.L. Waddel** το χαρακτήρισε "τερατούργημα". Παρ'όλα αυτά, ο **Kellogg** και κάποιοι άλλοι κατασκεύασαν μερικές τέτοιες Γέφυρες, κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα των ΗΠΑ. Με την έναρξη της χρήσης Χάλυβα στη Γεφυροποιία, το σχέδιο του ξεχάστηκε εντελώς.



Δικτύωμα τύπου Kellogg

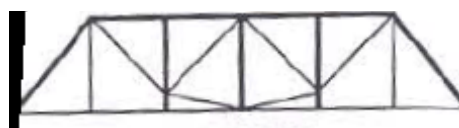
Ο **William Stearns** κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα τύπο Δικτυώματος που φαίνεται να είναι συνδυασμός των τύπων **Kellogg**, **Howe**, και **Pratt**.



Δικτύωμα τύπου Stearns

Στο σχέδιο του, υποδιαιρεμένα διαγώνια Μέλη αρχίζουν από το άνω Πέλμα και κατέληγαν, το ένα, σε κατακόρυφο Μέλος σχηματίζοντας γωνία  $45^\circ$ , και το άλλο, στο μέσον του φατνώματος υπό γωνία  $60^\circ$ , όπως και στο **Kellogg**, αλλά στο κεντρικό φατνώμα, τα μέλη διασταυρώνονται όπως και στα ακραία, σχηματίζοντας ένα "X" πάνω σε "V". Κατάφερε να πείσει κάποιους κατασκευαστές Γεφυρών για την οικονομικότητα του Δικτυώματος του, αλλά, παρ'όλο που σε όλη του την καριέρα εργαζόταν για την **Berlin Iron Bridge Company** στη **Massachusetts**, δεν είναι ξεκάθαρο αν η εταιρεία χρησιμοποίησε ποτέ το Δικτύωμα του. Άλλες εταιρείες χρησιμοποίησαν το σχέδιο του, όπως η **Winamac Bridge Co.** της **Indiana**, η οποία κατασκεύασε μια Γέφυρα τύπου **Stearns** στο **Big Monon Ditch**, του **Pulaski** στην **Indiana**, το 1905.

Ο **John Greiner** (1859-1942) Μηχανικός Γεφυρών της **B&O**, κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα τύπο Δικτυώματος Κρέμασης, το Δικτύωμα **Greiner**. Διαγώνια Μέλη ξεκινούν από τους ακραίους Κόμβους του άνω



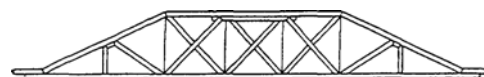
Δικτύωμα τύπου Greiner

Πέλματος και σχηματίζουν ένα ανεστραμένο Τόξο. Διαγώνια Μέλη από τον κεντρικό Κόμβο του άνω Πέλματος, εφελκύνονται καθώς υποστηρίζουν το Τόξο. Σκοπός του ήταν να κατασκευάσει Δικτυώματα χρησιμοποιώντας παλιές σιδηροτροχιές και ανακυκλωμένα

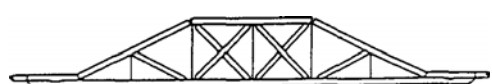
Μέλη Δικτυωμάτων, ενώ ταυτόχρονα θα κατασκεύαζε μια Γέφυρα ικανή να φέρει μεγάλες εφελκυστικές Τάσεις στο κάτω Πέλμα. Χρησιμοποίησε διάφορους συνδυασμούς των τύπων **Howe** και **Bowstring** ώστε να βρεί το κατάλληλο σχέδιο. Το σχέδιο του, τελικά, δεν έγινε αποδεκτό από τους υπόλοιπους Μηχανικούς οι οποίοι δεν το έκριναν κατάλληλο για **Γεφυροποιία**.

Ο **Edwin Thacher (1840-1920)**, κατοχύρωσε και δημοσίευσε στο περιοδικό της **American Society of Civil Engineers**, το σχέδιο του, το **1883**. Χρησιμοποιώντας τους τύπους **Howe**, **Pratt** και **Fink**, σχεδίασε ένα Δικτύωμα σχήματος “**W**”, όπως στον τύπο **Warren**, με τη διαφορά ότι το κεντρικό φάτνωμα υποστηρίζεται από δύο κύρια διαγώνια Μέλη, παίρνοντας σχήμα ‘**A**’, συνήθως σε γωνίες **60°**. Ο **Thacher** πειραματίστηκε με το δημιούργημα του κατασκευάζοντας την πρώτη Δικτυωτή Γέφυρα **Thacher** το **1881**, πάνω από το ποταμό **Wasipinicon**, στην **Iowa**, με άνοιγμα **60 μέτρων**.

Υπάρχουν και κάποιοι ακόμη τύποι Δικτυωμάτων, που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την κατασκευή Ξύλινων Δικτυωτών Γεφυρών στην Αυστραλία. Το Δικτύωμα **Old Public Works Department**, κατασκευαζόταν από το **1860** έως το **1886**. Βρεττανοί Μηχανικοί εργαζόμενοι στην **New South Wales** τα σχεδίασαν και τα κατασκεύασαν χρησιμοποιώντας Βρετανική τεχνοτροπία στην κατασκευή.



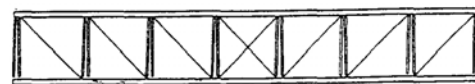
**Δικτύωμα τύπου Old Public Works Department**



**Δικτυώματα τύπου McDonald**

Τα Δικτυώματα τύπου **McDonald** χρησιμοποιήθηκαν από το **1886** μέχρι το 1893, εξακολουθώντας η χρήση Βρετανικής τεχνοτροπίας.

Από το **1899** μέχρι το **1905**, κυριαρχούσε το Δικτύωμα τύπου **DeBurgh**. Κατασκευαζόταν με τεχνική βλύτρωσης, παρόμοια με το **Pratt**. Σε μερικές περιπτώσεις, το κάτω Πέλμα κατασκευαζόταν από Σίδηρο αντί Ξύλου.



**Δικτύωμα τύπου DeBurgh**



**Δικτύωμα τύπου Dare**

Το Δικτύωμα **Dare** ήταν παρόμοιο του πιο διαδεδομένου τύπου **Allan**, με κύρια διαφορά το Χαλύβδινο κάτω Πέλμα. Κατασκευαζόταν μεταξύ του **1905** και **1936**.

#### 4. Συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση Δικτύωματος στις κατασκευές

Το Δικτύωμα είναι μια απλή κατασκευή, αποτελούμενη από Ράβδους που ενώνονται μεταξύ τους με Αρθρώσεις. Τα σημεία ενώσεως λέγονται Κόμβοι και έχουν ελευθερία περιστροφής, το οποίο διευκολύνει τους υπολογισμούς καθώς η Ροπή στους Κόμβους είναι μηδενική και έχουμε μια λιγότερη Εσωτερική Αντίδραση για να υπολογίσουμε. Το Δικτύωμα ήταν η προφανής απάντηση στην αναζήτηση μιας Γέφυρας στην οποία όλες οι Δυνάμεις μπορούσαν να υπολογιστούν βάση των αρχών της Στατικής, ώστε να μην αλλοιώνονται από κατασκευαστικά λάθη, θερμοκρασιακές μεταβολές και καθιζήσεις στις Εδράσεις. Στις Δικτυωτές Γέφυρες, αυτό σήμαινε άνοιγμα υποστηριζόμενο στα άκρα, με μέλη βλυτρωμένα μαζί, ώστε να έχουν, έστω και μικρή, ελευθερία περιστροφής στους κόμβους. Ο αριθμός των Μελών που ενώνονταν σε κάθε Κόμβο έπρεπε να είναι αρκετά μικρός, ώστε να μπορούν να υπολογιστούν ξεχωριστά οι Φορτίσεις των Ράβδων.

Αφού υπολογιστούν οι Εξωτερικές Αντιδράσεις με την εφαρμογή των Εξισώσεων Ισορροπίας, προσδιορίζονται οι Φορτίσεις των Ράβδων με την **Μέθοδο Κόμβων** ή χρησιμοποιώντας **Τομές Ritter**. Οι **Τομές Ritter** μας επιτρέπουν να βρούμε την Φόρτιση μεμονωμένων Ράβδους ταχύτερα από την Μέθοδο των Κόμβων, η οποία είναι δύσχρηστη εάν υπάρχουν πολλά άγνωστα μεγέθη. Τα Μέλη υπόκεινται μόνο σε Αξονικές Φορτίσεις, Θλίπτικά ή Εφελκυστικά Φορτία, και όχι σε Κάμπτικές Καταπονήσεις. Όλα τα μέλη είναι ευθύγραμμα ώστε να Φέρουν τις Αξονικές Δυνάμεις ικανοποιητικά. Εύκολο στον υπολογισμό του, στις απλές μορφές τουλάχιστον, το Δικτύωμα μπορούσε να καθοριστεί στατικά πολύ εύκολα και να υπολογιστούν οι Διατομές των Μελών βάση των Φορτίων. Τα διαγώνια μέλη εξυπηρετούν στο να αναλύονται οι Δυνάμεις, και να ανακουφίζονται τα Μέλη, αν και μέσα σε ένα Δικτύωμα υπάρχουν ανενεργά Μέλη με μηδενικές Τάσεις. Αυτό το σύστημα εκμεταλλεύεται πλήρως τις αντοχές των Στοιχείων του, και αφού οι Αξονικές Δυνάμεις αντιμετωπίζονται με μικρότερες διατομές σε σχέση με τις Κάμπτικές, αυτό επιτρέπει στα Δικτυώματα να κατασκευάζονται οικονομικότερα και με λιγότερα υλικά από τις Λιθόκτιστες κατασκευές, οι οποίες ήταν ογκώδεις και μεγάλο μέρος της Φέρουσας Ικανότητας τους δεν αξιοποιούνταν.

Τα Δικτυώματα είναι ευέλικτες, σκελετοειδής κατασκευές, στις οποίες μπορεί να αποφασιστεί αν το κατάστρωμα της Γέφυρας θα υποστηρίζεται, αναρτάται ή ακόμα και διέρχεται μέσα από το Δικτύωμα. Το Δικτύωμα **Bailey** είναι ένα παράδειγμα που παρέχει εκπληκτική ευελιξία, αφού μπορεί να ανεγερθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα με

οποιαδήποτε διάταξη, καθιστώντας το μια εξαιρετική λύση για κατασκευή Γεφυρών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του Δικτυώματος ήταν η ευκολία κατασκευής. Τα μέλη είναι μικρά και εύκολα στη μεταφορά τους στο εργοτάξιο, ακόμη και αν το Δικτύωμα κατασκευάζεται κάπου όπου δεν μπορούν να μεταφερθούν μεγάλα Στοιχεία ή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν γερανοί ή μεγάλα μηχανήματα, λόγω σαθρού εδάφους. Ακόμα μπορούν να προκατασκευαστούν αλλού, όπως το **Lenticular** και **Bowstring**, και να μεταφερθούν στο εργοτάξιο. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Δικτυώματος έναντι των Λιθόδητων Γεφυρών οι οποίες κατασκευάζονταν από βαριά και ογκώδη Στοιχεία που απαιτούν μεγάλα μηχανήματα για την ανέγερση τους. Ακόμα και στη σημερινή εποχή, είναι ευκολότερο να μεταφερθούν οι ράβδοι στο εργοτάξιο και να συναρμολογούνται εκεί, παρά να ριχθεί το Σκυρόδεμα με συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς, αφού οι καθυστερήσεις στην Έγχυση μπρούν να επιρρεάσουν την ποιότητα του και κατ'επέκταση της κατασκευής. Συνεπώς, στα Δικτυώματα γνωρίζουμε ακριβώς τι υλικά χρησιμοποιούμε και η ποιότητα τους δεν επιρρεάζεται εύκολα από εξωτερικούς παράγοντες.

Τα Δικτυώματα χρησιμοποιούνται και σαν δευτερεύοντα Στοιχεία μιας Γέφυρας, όπου εξυπηρετούν σαν Δοκοί Ενίσχυσης, αλλά και σαν κύρια Στοιχεία, φέροντας όλη την κατασκευή. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και σε κτηριακές κατασκευές, όπως το εύχρηστο Πλαισιωτό **Vierendeel**, που, υποκαθιστώντας διαγώνιες Δοκούς και Τοιχία, επιτρέπει την ανεμπόδιση διαμόρφωση εσωτερικών χώρων, αναλαμβάνοντας τις Διατμητικές Καταπονήσεις και ενισχύοντας την Αντοχή της κατασκευής.

Οι Δικτυωτές κατασκευές, αν και το Ειδικό Βάρος των υλικών τους είναι μεγαλύτερο απ'ότι των υλικών των Ολόσωμων Γεφυρών, τόσο λόγω των ιδιοτήτων των υλικών, όσο και της λειτουργίας της κατασκευής, απαιτούν μικρότερες διατομές, επιτρέποντας την κατασκευή ελαφρών Γεφυρών, οικονομικότερων σε υλικά, χρόνο και χρήματα, οι οποίες επίσης είναι φιλικότερες στο περιβάλλον, αφού εκτός του ότι απαιτούν λιγότερες πρώτες ύλες, μπορούν τα μέλη να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Λόγω της συνδεσμολογίας τους και λειτουργίας τους, η συντήρηση και επισκευή είναι αρκετά ευκολότερη και μπορούν ακόμα και να αντικατασταθούν Μέλη, αν και αυτό είναι ακραία περίπτωση. Η ευκολία της διαμόρφωσης του Δικτυώματος, δίνει την ευχέρεια



---

στον σχεδιαστή να προσεγγίσει την κατασκευή και από εικαστική πλευρά με έμφαση στην αισθητική της κατασκευής, χωρίς να αυξάνει σημαντικά το κόστος της κατασκευής.

Μειονέκτημα των Δικτυωμάτων είναι η ευπάθεια τους σε Φορτία Ανέμου και ότι πρέπει να λειφθεί και αυτό υπόψη στο σχεδιασμό, θέτοντας καινούργιους περιορισμούς και απαιτώντας την αντίστοιχη αντιμετώπιση. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει ο παράγοντας ανθρώπινων σφαλμάτων, καθώς το μεγάλο πλεονέκτημα των Δικτυωμάτων, η μεγάλη ακρίβεια υπολογισμών, απαιτεί και μεγάλη ακρίβεια στην κατασκευή. Ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί μόνο από ικανό τεχνικό προσωπικό, με εμπειρία σε συγκολλήσεις Κομβοελασμάτων Δικτυωμάτων. Τέτοιοι τεχνίτες όμως δεν είναι πάντα διαθέσιμοι και πρέπει να επιβλέπονται και να κατασκευάζονται πολύ προσεχτικά, καθώς ένα σφάλμα στην κατασκευή Δικτυώματος μπορεί να έχει πολύ μεγαλύτερες συνέπειες απ'ότι σε μια Ολόσωμη Κατασκευή.

Γενικά, συμφέρει η επιλογή Δικτυώματος για Γέφυρες άνω των **70 μέτρων** και κάτω των **3.000 μέτρων**, καθώς για μικρότερες συμφέρει να χρησιμοποιηθούν προκατασκευασμένα προεντεταμένα Πλακοδόκαρα, και για μεγαλύτερες, το Δικτύωμα γίνεται αντιοικονομική λύση λόγω της εκτεταμένης υποστήριξης που χρειάζεται και είναι πιο οικονομική λύση, και λειτουργικά καλύτερη, η κατασκευή Καλωδιωτής Γέφυρας.



---

## Βιβλιογραφία

- [http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Eiichi\\_Watanabe.pdf](http://www.cbca-ibs.com.br/nsite/site/downloads/Eiichi_Watanabe.pdf)  
<http://www.anselm.edu/homepage/dbanach/h-carnegie-steel.htm>  
<http://mysite.du.edu/~jcalvert/tech/machines/bridges.htm>  
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/607336/truss-bridge>  
[http://en.wikisource.org/wiki/1911\\_Encyclop%C3%A6dia\\_Britannica/Bridges/Stresses\\_3](http://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Bridges/Stresses_3)  
<http://my.net-link.net/~michaelf/fallsbrg.htm>  
[http://www.galenfrysinger.com/michigan\\_covered\\_bridge\\_22\\_41\\_02.htm](http://www.galenfrysinger.com/michigan_covered_bridge_22_41_02.htm)  
<http://www.historycooperative.org/journals/sia/30.1/boothby.html>  
<http://en.structurae.de/index.cfm>  
<http://openlibrary.org/ia/historybridgeen00tyrrgoog>  
<http://chestofbooks.com/architecture/Construction-Superintendence/43-Cantilever-Trusses.html>  
<http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?ID=s0001419>  
<http://img.groundspeak.com/waymarking/fdc488c7-b4ca-478c-bf98->  
<http://www.ul.ie/~gaughran/Gildea/page5.htm>  
<http://www.past-inc.org/historic-bridges/image-howetruss.html>  
<http://www.mrdbridges.com/engineering.php>  
<http://www.garrettsbridges.com/design/trussdesign>  
<http://www.achestofbooks.com/architecture/Construction-Superintendence/12-The-Lattice-Truss.html>  
<http://www.coveredbridgesite.com/ny/truss.html>  
<http://www.mdcoveredbridges.com/jackson.html>  
<http://www.historicbridges.org/info/intro/unusualtruss.pdf>  
<http://okbridges.wkinsler.com/technology/truss.html>  
<http://mysite.du.edu/~jcalvert/tech/machines/bridges.htm>  
[http://attila.sdsu.edu/~tubongba/the\\_bridge.html](http://attila.sdsu.edu/~tubongba/the_bridge.html)  
<http://pghbridges.com/basics.htm>  
<http://www.uvm.edu/coveredbridges/papers/reckard.html>  
[http://www2.dot.state.oh.us/se/coveredbridges/truss\\_types.htm](http://www2.dot.state.oh.us/se/coveredbridges/truss_types.htm)  
<http://www.chuckeryohio.com/bridgebuilder.html>  
<http://www.accessgenealogy.com/scripts/data/database.cgi?file=Data&report=SingleArticle&ArticleID=0024065>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_modern\\_steel\\_industry](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_modern_steel_industry)  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Steel>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Wendel\\_Bollman](http://en.wikipedia.org/wiki/Wendel_Bollman)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Donald\\_Bailey](http://en.wikipedia.org/wiki/Donald_Bailey)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Squire\\_Whipple](http://en.wikipedia.org/wiki/Squire_Whipple)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Tied\\_arch\\_bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Tied_arch_bridge)

---

[http://en.wikipedia.org/wiki/Fremont\\_Bridge\\_\(Portland\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Fremont_Bridge_(Portland))  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Port\\_Mann\\_Bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Port_Mann_Bridge)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Brown\\_truss](http://en.wikipedia.org/wiki/Brown_truss)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Smithfield\\_Street\\_Bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Smithfield_Street_Bridge)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Burr\\_Arch\\_Truss](http://en.wikipedia.org/wiki/Burr_Arch_Truss)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Cantilever\\_bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Cantilever_bridge)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Minato\\_Bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Minato_Bridge)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Fink](http://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Fink)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Ithiel\\_Town](http://en.wikipedia.org/wiki/Ithiel_Town)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Stephen\\_Harriman\\_Long](http://en.wikipedia.org/wiki/Stephen_Harriman_Long)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Alexander\\_Low\\_Waddell](http://en.wikipedia.org/wiki/John_Alexander_Low_Waddell)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Herman\\_Haupt](http://en.wikipedia.org/wiki/Herman_Haupt)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Vierendeel\\_bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Vierendeel_bridge)  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Arthur\\_Vierendeel](http://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_Vierendeel)  
<http://www.iowadot.gov/historicbridges/construction.asp>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/bailey-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/baltimore-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/bollman-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/brown-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/burr-arch-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/childs-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/cantilevered-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/fink-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/haupt-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/howe-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/k-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/kingpost-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/lattice-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/lenticular-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/long-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/miller-borcherding-pony-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/multiple-kingpost-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/paddleford-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/parker-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/partridge-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/pegram-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/pennsylvania-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/post-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/pratt-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/queenpost-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/smith-truss/>  
<http://bridgehunter.com/category/tag/thacher-truss/>

---

<http://bridgehunter.com/category/tag/vierendeel-truss/>

<http://bridgehunter.com/category/tag/waddell-a-truss/>

<http://bridgehunter.com/category/tag/warren-truss/>

<http://bridgehunter.com/category/tag/whipple-truss/>