ΚΠΕ Μακρινίτσας συντονιστικός φορέας του Εθνικού Θεματικού Δικτύου «Τα Πετρογέφυρα της Ελλάδας».
Επιμορφωτικό σεμινάριο Β΄ επιπέδου 29 & 30/03/2013
για εκπαιδευτικούς των οποίων τα σχολεία συμμετέχουν στο
Εθνικό Θεματικό Δίκτυο «Τα Πετρογέφυρα της Ελλάδας»,
καθώς και στη συντονιστική επιτροπή του δικτύου

Τίτλος Σεμιναρίου:
«Τα Πετρογέφυρα στο πέρασμα του χρόνου:
περιβαλλοντικές αναζητήσεις στο παρελθόν, παρόν και μέλλον»

Τίτλος εισήγησης

Η σημασία του τόξου ως επινόηση στις κατασκευές και η χρησιμότητα της μελέτης των πετρογέφυρων στη σύγχρονη γεφυροποιία

Ηλίας Γιαννίρης
τ. επίκουρος καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμ. Αρχιτεκτόνων

Η σημασία του τόξου ως επινόηση στις κατασκευές

Το τόξο ως κατασκευαστική επινόηση και η χτισμένη κολώνα [όχι μονόλιθος] δημιουργήθηκαν από τους αρχαίους **Μεσοποτάμιους**, οι οποίοι ήσαν επίσης γνώστες της χρήσης των θόλων (όχι τρούλων).

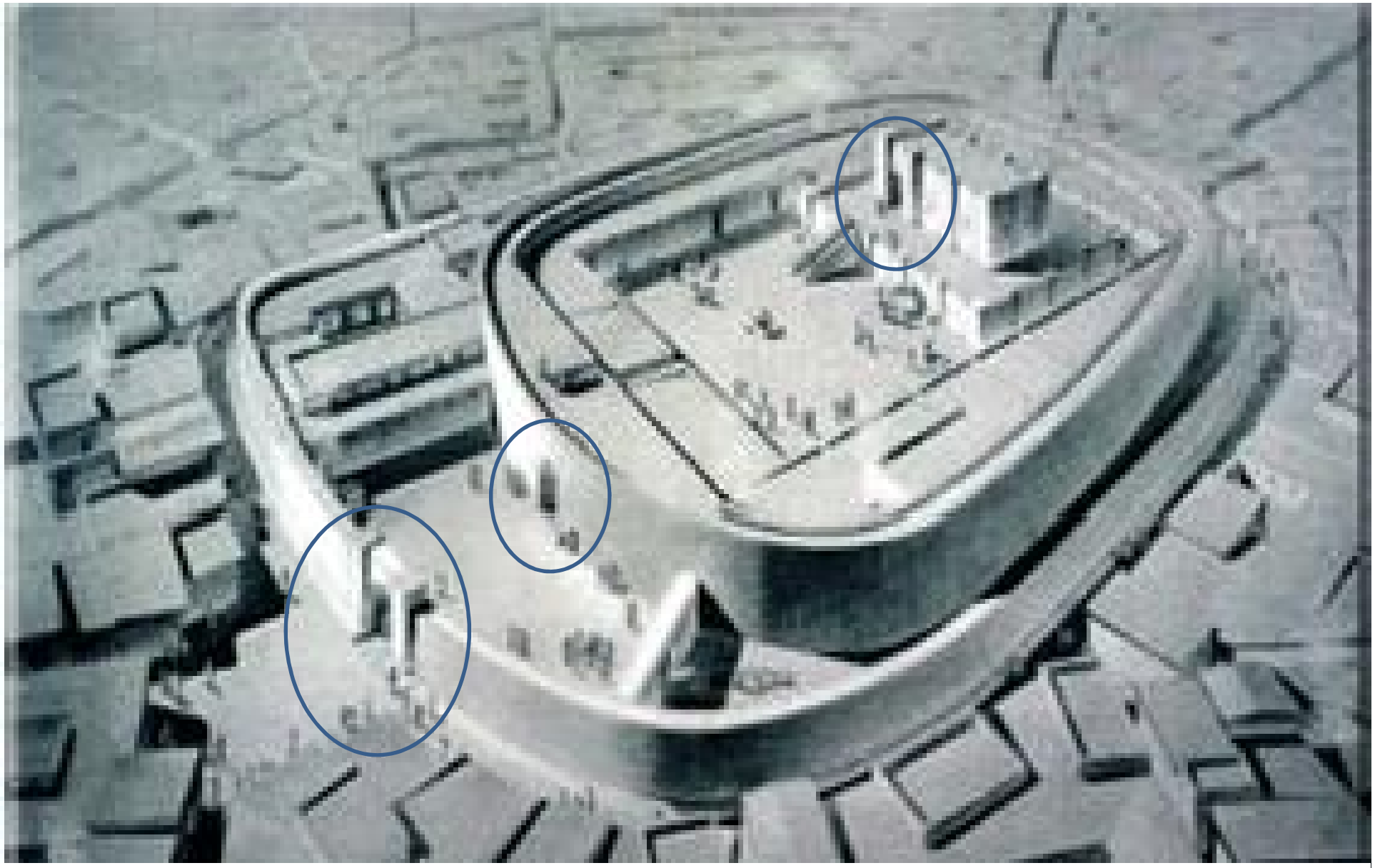
Ήταν επιδέξιοι τεχνίτες χρησιμοποιώντας τούβλα φτιαγμένα από λάσπη. Η λάσπη ήταν υλικό εν **αφθονία** που έδινε το δομικό στοιχείο «τούβλο». Η τουβλοποιία ήταν μια κύρια κατασκευαστική δραστηριότητα, ειδικά στο νότο, όπου το ξύλο **σπάνιζε** και η πέτρα ήταν **ανύπαρκτη**.

Πηγή: "Ancient Mesopotamia:Architecture". The Oriental Institute of the University of Chicago. http://oi.uchicago.edu/OI/MUS/ED/TRC/MESO/architecture.html. Retrieved 16 May 2012.

Ένα γενικό συμπέρασμα για την τεχνολογία:

Στις αυξανόμενες ανάγκες ενός πολιτισμού η τεχνολογία εξελίσσεται για να ικανοποιήσει αυτές τις ανάγκες.

Οι τεχνίτες κάθε εποχής αξιοποιούν τα «τοπικά» υλικά και επινοούν εφαρμογές.



Μεσοποταμία: Αναπαράσταση του Ναού Oval at Khafajah στο Ιράκ, περί το 2700 π.Χ.

Σχέδιο του 1934 του Hamilton D. Darby. **Pencil and charcoal on paper 1934**

Πηγή: "Ancient Mesopotamia:Architecture". The Oriental Institute of the University of Chicago. http://oi.uchicago.edu/OI/MUS/ED/TRC/MESO/architecture.html. Retrieved 16 May 2012.

Με το πέρασμα του χρόνου οι βροχοπτώσεις και οι μετατοπίσεις της άμμου κατέστρεψαν την αρχιτεκτονική κληρονομιά της νότιας Μεσοποταμίας.

Μόνο συσσωρευμένες μάζες λάσπης παραμένουν ως μαρτυρίες των μεγάλων πόλεων που κάποτε υπήρχαν στις ερήμους του νότιου Ιράκ.

Πηγή: "Ancient Mesopotamia:Architecture". The Oriental Institute of the University of Chicago. http://oi.uchicago.edu/OI/MUS/ED/TRC/MESO/architecture.html. Retrieved 16 May 2012.

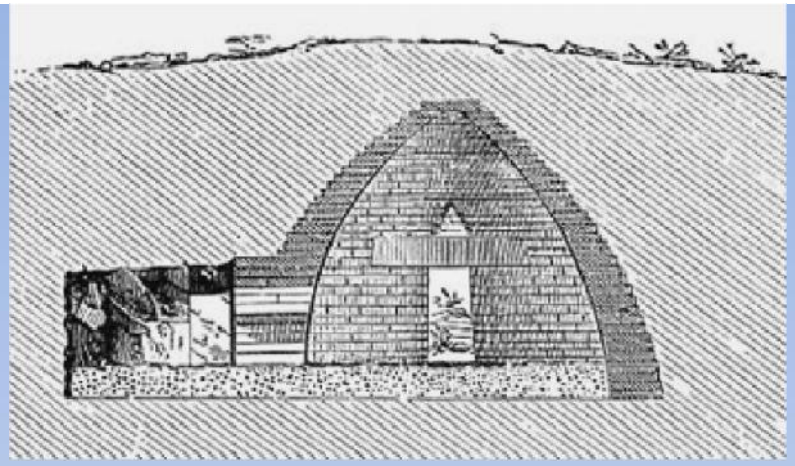
Ένα γενικό συμπέρασμα για την αρχαιολογική γνώση:

Η γνώση για τους προηγούμενους πολιτισμούς απαιτεί σημαντικές επιστημονικές εξειδικεύσεις αλλά και διαδικασίες διάχυσης της ιστορικής γνώσης.

Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν πέτρινες τοξωτές κατασκευές, ήξεραν τις αρχές λειτουργίας τους, αλλά δεν τις εφάρμοζαν για μνημεία και ναούς, γιατί θεωρούσαν ότι δεν ήταν κατάλληλες. Η πεποίθησή τους ήταν ότι η ζωή είναι προσωρινή και ότι η πραγματική ζωή είναι μετά θάνατο. Επομένως, χρειάζονταν ισχυρές μεγαλιθικές κατασκευές και όχι τα ευάλωτα και αρθρωτά τόξα. Γιαυτό επέλεγαν την γραμμική και γεωμετρική αρχιτεκτονική οργάνωση.

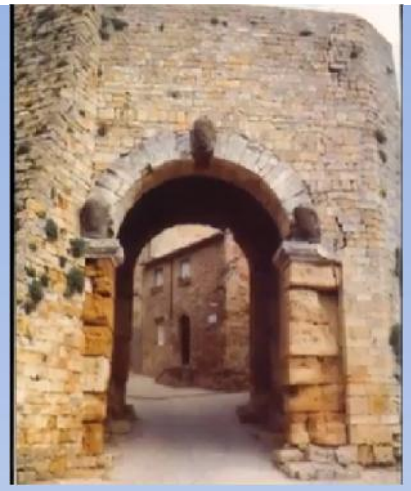
Ένα γενικό συμπέρασμα για την κυρίαρχη ιδεολογία:
Η κυρίαρχη ιδεολογία παίζει μεγάλο ρόλο στην κατεύθυνση που ακολουθεί η τεχνολογία.
Πολλά μεγάλα έργα αποσκοπούν και στην ιδεολογική κυριαρχία των κοινωνικών σχηματισμών.
Παραδείγματα: Οι πυραμίδες, ο Παρθενώνας, το Κολοσσαίο, η Αγία Σοφία, οι μεγάλοι καθεδρικοί ναοί, ο πύργος του Άιφελ, το στάδιο Μαρακανά, οι ουρανοξύστες και οι δίδυμοι Πύργοι, τα μεγάλα έργα του Άμπου-Ντάμπι.
Η κατεύθυνση που ακολουθεί η τεχνολογία είναι το μεγάλο ζητούμενο για τους κοινωνικούς σχηματισμούς.

Οι Έλληνες επίσης χρησιμοποιούσαν το τόξο μόνο για πρακτικές κατασκευές, ήδη από τη Μυκηναϊκή περίοδο. Οι Μυκηναίοι κατασκεύαζαν θόλους με το εκφορικό σύστημα. Και αυτοί, όπως και οι Αιγύπτιοι, θεωρούσαν ότι οι τοξωτές κατασκευές ήταν ακατάλληλες για μνημειακές κατασκευές. Πολλές από τις αρχές που ανέπτυξαν οι αρχαίοι έλληνες αξιοποιήθηκαν αργότερα από τους Ρωμαίους.



Γέφυρα της Καζάρμας, που βρίσκεται κοντά στο χωριό Αρκαδικό στην Αργολίδα. Θεωρείται η αρχαιότερη διατηρημένη τοξωτή γέφυρα (εκφορικό τόξο) της Ευρώπης και η αρχαιότερη γέφυρα που παραμένει μέχρι σήμερα σε χρήση. Έχει μήκος 22 μέτρα, πλάτος 5,5 μέτρα και ύψος 4 μέτρα. Το πλάτος του δρόμου που περνάει από πάνω είναι 2,5 μέτρα και το άνοιγμα του τόξου είναι 1 μέτρο. Πιθανότατα είναι η παλαιότερη γνωστή γέφυρα με τόξο, η οποία χτίστηκε περίπου το **1300 πΧ**. Γενικότερα, γύρω από την ακρόπολη των Μυκηνών, την πεδιάδα της Ναυπλίας και το Θριάσιο πεδίο, υπάρχουν λείψανα από περίπου 20 γέφυρες.

Οι Ετρούσκοι ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν το τόξο σε κάθε είδους κατασκευή. Το καλύτερο παράδειγμα είναι η Porta Augusta, όπου το τόξο συνδυάζεται με τις ελληνικές αρχιτεκτονικές ιδέες.



Οι Ρωμαίοι δανείστηκαν αυτό το συνδυασμό, αλλά η επινόησή του ανήκει αποκλειστικά στους Ετρούσκους. Οι τοξωτές κατασκευές συστηματικά άρχισαν με τους Ρωμαίους, εφαρμόζοντας την τεχνική σε μια μεγάλη ποικιλία κατασκευών.

Η χριστιανική εποχή και αργότερα η ισλαμική υιοθέτησαν αυτή την αντίληψη αρχιτεκτονικής οργάνωσης και την εξέλιξαν ακόμη περισσότερο.

Πηγή: http://theriverlands.tripod.com/Writings/Arch/arch.html

Στην **Κίνα** η αρχαιότερη πέτρινη τοξωτή κατασκευή βρέθηκε στην πύλη ενός τάφου (Luoyang tomb, πρώιμη Δυανστεία Zhou) περί το **250 π.Χ**.

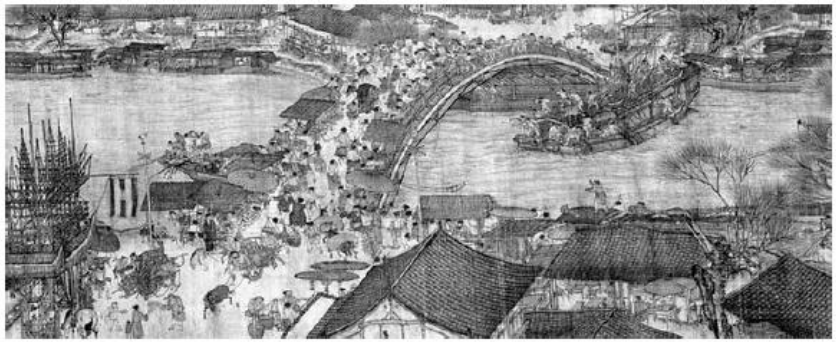
Πέτρινες τοξωτές γέφυρες είναι οι πιο κοινές γέφυρες της Κίνας. Οι πηγές αναφέρουν ότι η πρώτη κατασκευάστηκε το **282 μ.Χ**. [Lurenqiao (Wayfarers' Bridge)] κοντά στο αρχαίο Παλάτι Luoyang.

Πηγή: http://www.chinaodysseytours.com/Chinese-Things/architecture-bridges.html

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι **ξύλινες** τοξωτές γέφυρες της Κίνας.

Η πρώτη **ξύλινη τοξωτή γέφυρα** κατασκευάστηκε από τον Xia Shouqing, στρατιωτικό διοικητή της επαρχίας Qinzhou, Shandong, τα χρόνια 1032-1033.

Αργότερα κατασκευάστηκαν και άλλες τέτοιες γέφυρες με πολλαπλά οφέλη για τους τοπικούς πληθυσμούς, που τα ονόμασαν **γέφυρες-ουράνια τόξα**.



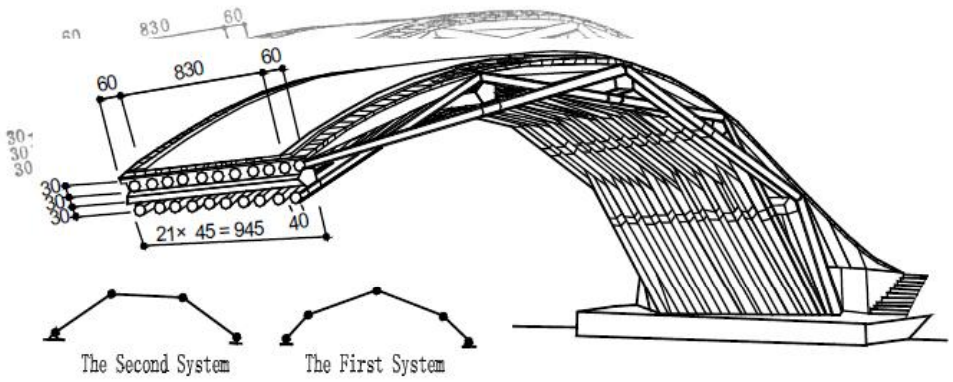


Fig.2: Sketch of the Rainbow Bridge Structure

Η γέφυρα-ουράνιο τόξο είχε μεγαλύτερες δυνατότητες από ότι μια πέτρινη γέφυρα, φτάνοντας σε άνοιγμα έως και 40m.
Οι ξύλινες γέφυρες ήταν πολύ <u>ελαφρύτερες</u>, τα <u>υλικά μεταφέρονταν εύκολα</u>, <u>δεν είχαν πολλές παράπλευρες απαιτήσεις</u> και μπορούσαν να κατασκευαστούν σε <u>ασθενή θεμέλια</u>.
Έτσι, αυτός ο τύπος της γέφυρας-ουράνιο τόξο διαδόθηκε ευρύτατα στην κεντρική Κίνα τον 11ο και 12ο αι.

Μια ξύλινη γέφυρα μπορεί να καεί εύκολα, φθείρεται και είναι δύσκολη στη συντήρηση. Γι αυτό οι περισσότερες ξύλινες τοξωτές γέφυρες της Κίνας χάνονται με το πέρασμα του χρόνου.

Σήμερα πολλές από αυτές είναι διατηρητέες.

Πηγή: *Timber arch bridges in China*, Y. Yang- College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China, B. Chen and J. Gao- College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002 ,China, ARCH'07 – **5th International Conference on Arch Bridges.**

Timber *arch* bridges in *China* - Pine Hill Park

Ο **τρούλος** γνωστός και από τη ρωμαϊκή εποχή (Πάνθεον της ρώμης) αποτελεί το χαρακτηριστικό μορφολογικό στοιχείο της Βυζαντινής αρχιτεκτονικής. Συνδέεται αποκλειστικά με την αρχιτεκτονική των εκκλησιών και είναι αναπόσπαστο κομμάτι του Βυζαντινού ρυθμού.
Ως αρχιτεκτονικό μοτίβο, εμφανίζεται ήδη από τα τέλη του **4ου μ.Χ. αιώνα** και στις αρχές του 5ου,στο ανατολικό κομμάτι της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας.

Το πιο αντιπροσωπευτικό μνημείο βασιλικής με τρούλο αποτελεί ο ναός της του Θεού Σοφίας, στην Κωνσταντινούπολη.

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%82

Ο ναός της Αγίας Σοφίας (Κων/λη)
υπό επισκευή

Τρούλος

Κλειδί τρούλου

Ανακουφιστικό τόξο

Ημιθόλιο

Σφαιρικό τρίγωνο

Ο βυζαντινός ρυθμός φτάνει στο απόγειο τη χρήση του τόξου.

Κατά τον ύστερο Μεσαίωνα και την πρώιμη Αναγέννηση κυκλοφορούσε στην Ευρώπη η ρήση
«***Γέφυρες και καπηλειά ενώνουν τους ανθρώπους, τείχη και θρησκείες τους χωρίζουν***!»

Τα γεφύρια στην ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου (Πίνδος) χτίστηκαν -τουλάχιστον όσα έφτασαν ως τις μέρες μας- στα χρόνια της τουρκοκρατίας. Οργασμός κατασκευής παρατηρήθηκε από τα **μέσα του 18ου μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα**, χρόνια δηλαδή που οι ξενιτεμένοι μπόρεσαν να βοηθήσουν, αλλά και κατόπιν ενθουσιάστηκαν από την ίδρυση στο νότο ελεύθερου κράτους.
[Πηγή: Σπύρος Ι. Μαντάς, **Τεχνική & αισθητική - Η ταυτότητα των γεφυριών,** http://arhiogefirionipirotikon.blogspot.gr/2012/03/blog-post.html]

Σημαντική ιστορική περίοδος είναι αυτή που ακολουθεί τη συνθήκη του **Κιουτσούκ Καϊναρτζή**, μια συνθήκη που επηρέασε δραστικά όχι μόνο το ναυτικό εμπόριο αλλά και όλη την ενδοχώρα της Βαλκανικής χερσονήσου. Οι δρόμοι του εμπορίου είχαν μεγάλη άνθιση.

Οι δρόμοι αυτοί του εμπορίου έγιναν σε ορεινές και όχι σε πεδινές περιοχές. Οι λόγοι ήταν δύο:

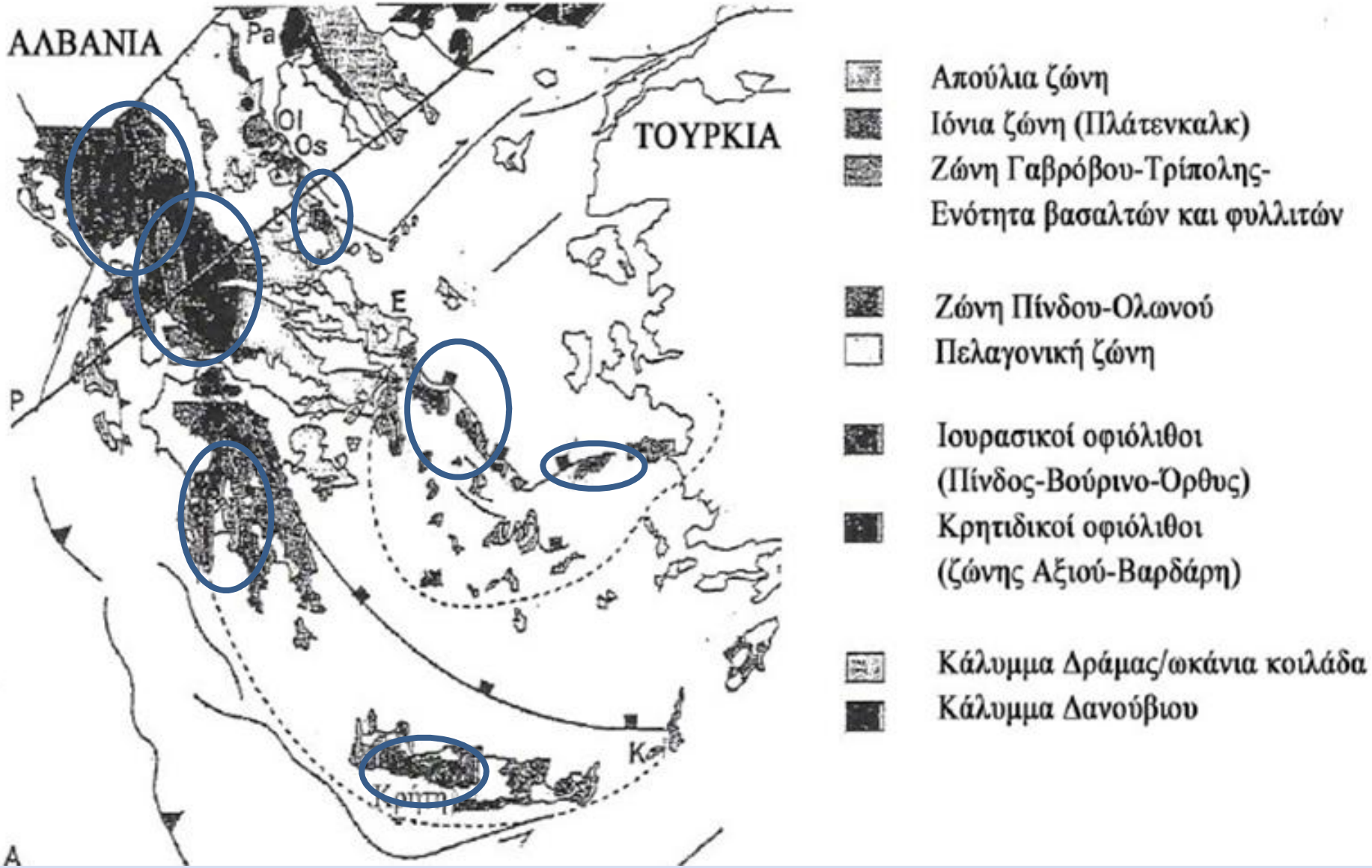
1. Τα ορεινά χωριά, που ήταν κυρίως ελληνικά, ήταν έξω από τον άμεσο τουρκικό έλεγχο.
2. 2. Η επικοινωνία μεταξύ τους και με τη Βαλκανική ενδοχώρα μπορούσε να υλοποιηθεί ευκολότερα με μικρότερα γεφύρια. Αυτός είναι ο λόγος που οι δρόμοι του εμπορίου κατά την τουρκοκρατία δεν συμπίπτουν (ευτυχώς) με τους σημερινούς δρόμους της παράκτιας ανάπτυξης. Έτσι πολλά πετρογέφυρα δεν καταστράφηκαν.

Πολλά χωριά βρέθηκαν σε κομβικές θέσεις εμπορίου και άνθισαν (π.χ. Ανδρίτσαινα).
Άλλα απέκτησαν σημαντικές παραγωγικές εξειδικεύσεις. Η Μακρυνίτσα επεξεργασία δερμάτων, η Πορταριά νηματουργία και σχέσεις με την Αλεξάνδρεια, τα Αμπελάκια βαφή νημάτων.

Προς μια τυπολογία των πέτρινων γεφυριών της Ελλάδας

Ο σχιστόλιθος

Σαν υλικό για την κατασκευή του τόξου προτιμούνταν οι πλάκες από σχιστόλιθο. Αυτές διαμορφώνονταν έτσι που να έχουν τραπεζοειδές σχήμα και χτίζονταν η μία δίπλα στην άλλη, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται ένα ισόπαχο τόξο. Στις περιπτώσεις που η περιοχή δεν είχε κατάλληλες πλάκες, τότε πελέκαγαν πέτρες εξ ολοκλήρου με το σφυρί και το καλέμι.



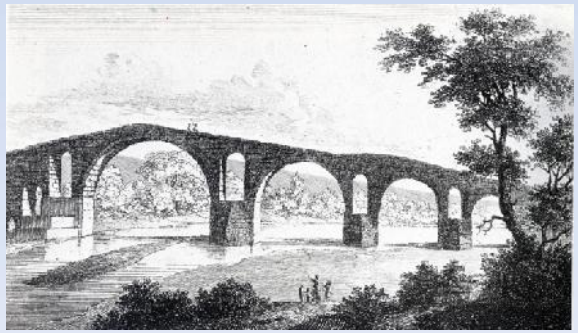
Γεωλογική ζώνη Πίνδου, όπου απαντάται ο σχιστόλιθος: Ήπειρος, Ευρυτανία, Πήλιο, Πελοπόννησος, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Κρήτη κλπ. Γι αυτό μορφολογικά οι περιοχές αυτές μοιάζουν μεταξύ τους. Το ίδιο και τα πετροφέγυρά τους.

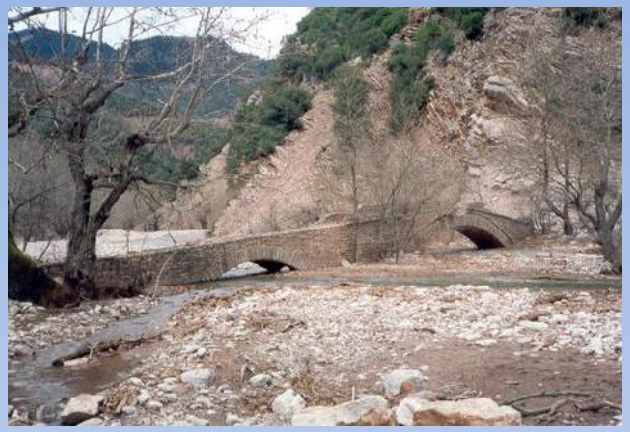
Πηγή: Αλίκη Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Καθ. ΕΜΠ, **Γενική Γεωλογία**, ΕΜΠ, Αθήνα 2008. http://www.scribd.com/doc/46334771/Biblio-Tektonikis-1

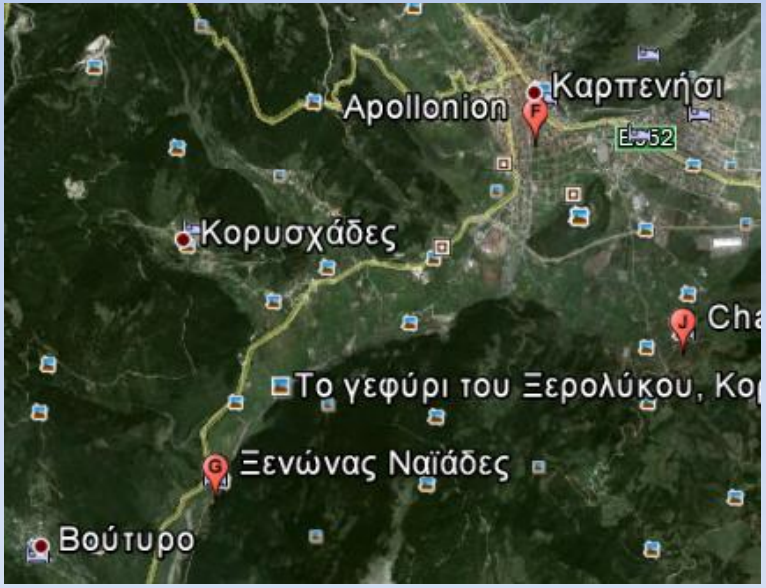
Οι περιοχές που επιλέγονταν για τη θεμελίωση των γεφυριών, ήταν τα **στενότερα περάσματα** των ποταμών. Όσο βρισκόμαστε προς τα ορεινά και στα ημιορεινά, τόσο συχνότερα είναι τα στενά περάσματα.

- **Στενό άνοιγμα του τόξου** → Στα ημιορεινά ή ορεινά. Τα γεφύρια είναι σφηνωμένα ανάμεσα σ' απόκρημνα βράχια . Τα γεφύρια βρίσκονται σε σημεία που υπάρχουν δύο αντικριστοί βράχοι (μητρικό πέτρωμα) ως το καταλληλότερο και στερεότερο θεμέλιο. (παραδείγματα: Βωβούσα, Μακρυνίτσα, όλα τα γεφύρια της Ευρυτανίας πλην του Ξερολύκου στον Καρπενησιώτη και το γεφύρι στις Νεράτες του Γαβρενίτη)

- **Μεγάλο άνοιγμα του τόξου** → Στα πεδινά, όταν η δύναμη της ροής είναι μεγάλη (Γεφύρι της Πλάκας, γεφύρι της Πύλης Τρικάλων)
- **Πολλά ανοίγματα** → Θεμελίωση και μέσα στον ποταμό → Στα πεδινά, όταν η δύναμη της ροής είναι περισσότερο ομαλή (Γεφύρι της Άρτας, του Ξερολύκου στον Καρπενησιώτη και το γεφύρι στις Νεράτες του Γαβρενίτη).







Το γεφύρι στις Νεράτες του Γαβρενίτη Το γεφύρι του Ξερολύκου στον Καρπενησιώτη

Τα δυο πολύτοξα γεφύρια της Ευρυτανίας.

Το σχήμα που θα έπαιρνε το γεφύρι ήταν δουλειά του πρωτομάστορα και εξαρτιόταν από την μορφολογία του εδάφους, καθώς και από την απόσταση που είχαν οι όχθες μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι **ένα γεφύρι δεν μπορούσε να μοιάζει με κάποιο άλλο γεφύρι**, καθένα ήταν έργο μοναδικό και ανεπανάληπτο, τη στιγμή που το σχήμα του καθοριζόταν από παράγοντες που προέκυπταν κάθε φορά.

Αν θέλουμε να κατατάξουμε τα γεφύρια σε κατηγορίες ανάλογα με το **κατάστρωμα** τους, θα διαπιστώναμε ότι, σε γενικές γραμμές, αυτές είναι τρία:

1. τα γεφύρια είναι μικρά κι έχουν **οριζόντια ράχη**
2. μεγάλων διαστάσεων γεφύρια με την **κυρτή ράχη**, όταν οι δύο προσβάσεις προς το γεφύρι ήταν χαμηλά, δηλαδή τα μονοπάτια περνούσαν λίγο πάνω από το επίπεδο του νερού και το άνοιγμα που έτρεπε να γεφυρωθεί ήταν μεγάλο.
3. Τα γεφύρια **«κάμπια»**, όταν τα ανοίγματα ήταν πολλά και ψηλά.

Σχήμα τόξου

- Τόξα απολύτως ημικυκλικά, όπως στο γεφύρι των Βραγγιανών,

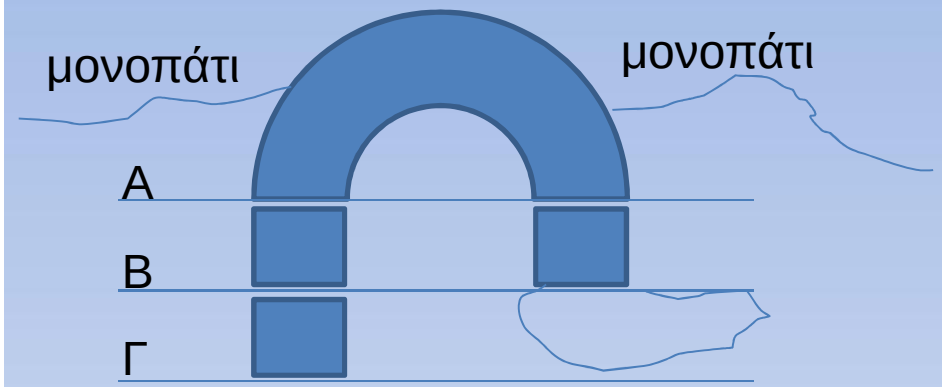
Το γεφύρι αυτό είναι χτισμένο πάνω στον Αγραφιώτη, στην περιοχή Δέντρο

- Τόξα ελλειπτικά, στα γεφύρια του Καλόγερου και του Άι Γιώργη,

- Τόξα οξυκόρυφα, όπως στο γεφύρι της Τατάρνας

- Τόξο λίγων μόνο μοιρών, όπως το γεφύρι της Ρωσκάς.

Ύψος τόξου

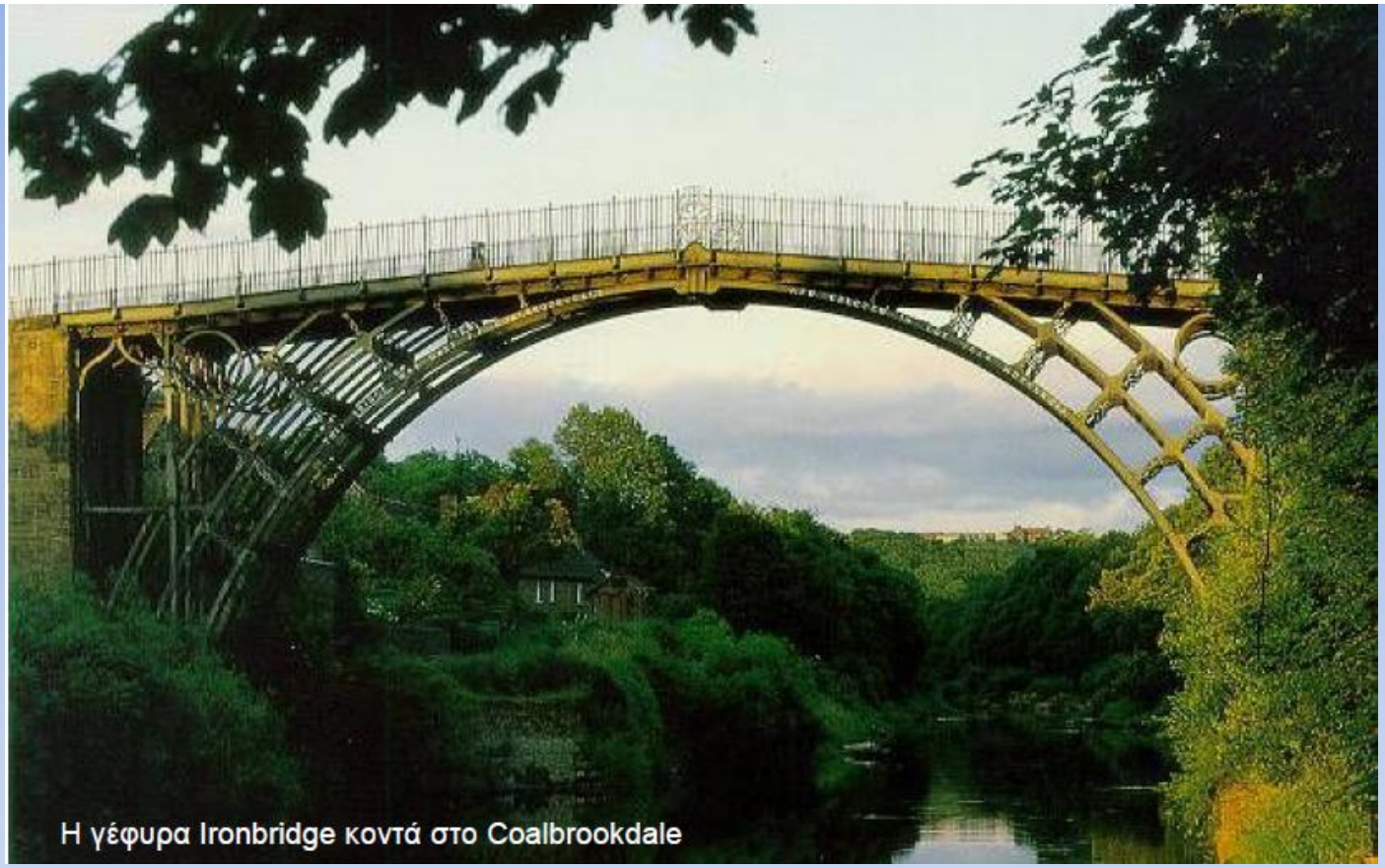


Α. Τόξο στα θεμέλια

Β. Τόξο με ίδια πόδια

Γ. Τόξο με άνισα πόδια

Η χρησιμότητα της μελέτης των πετρογέφυρων στη σύγχρονη γεφυροποιία



Η γέφυρα Ironbridge (σιδηρά γέφυρα) κοντά στο Coalbrookdale, είναι **η πρώτη γέφυρα από χυτοσίδηρο**, σύμβολο της Βιομηχανικής Επανάστασης. Για την σύνδεση των χυτών στοιχείων εφαρμόσθηκαν τόρμοι, εντορμίες και θηλυκώματα, **κατά το πρότυπο των ξυλίνων κατασκευών**, ενώ τα μέλη των τόξων συνδέθηκαν στην κορυφή τους με μπουλόνια.

Σχεδιάσθηκε από τον Thomas Farnolls Pritchard και κατασκευάσθηκε από τον Abraham Darby III κατά το διάστημα 1779-1781.

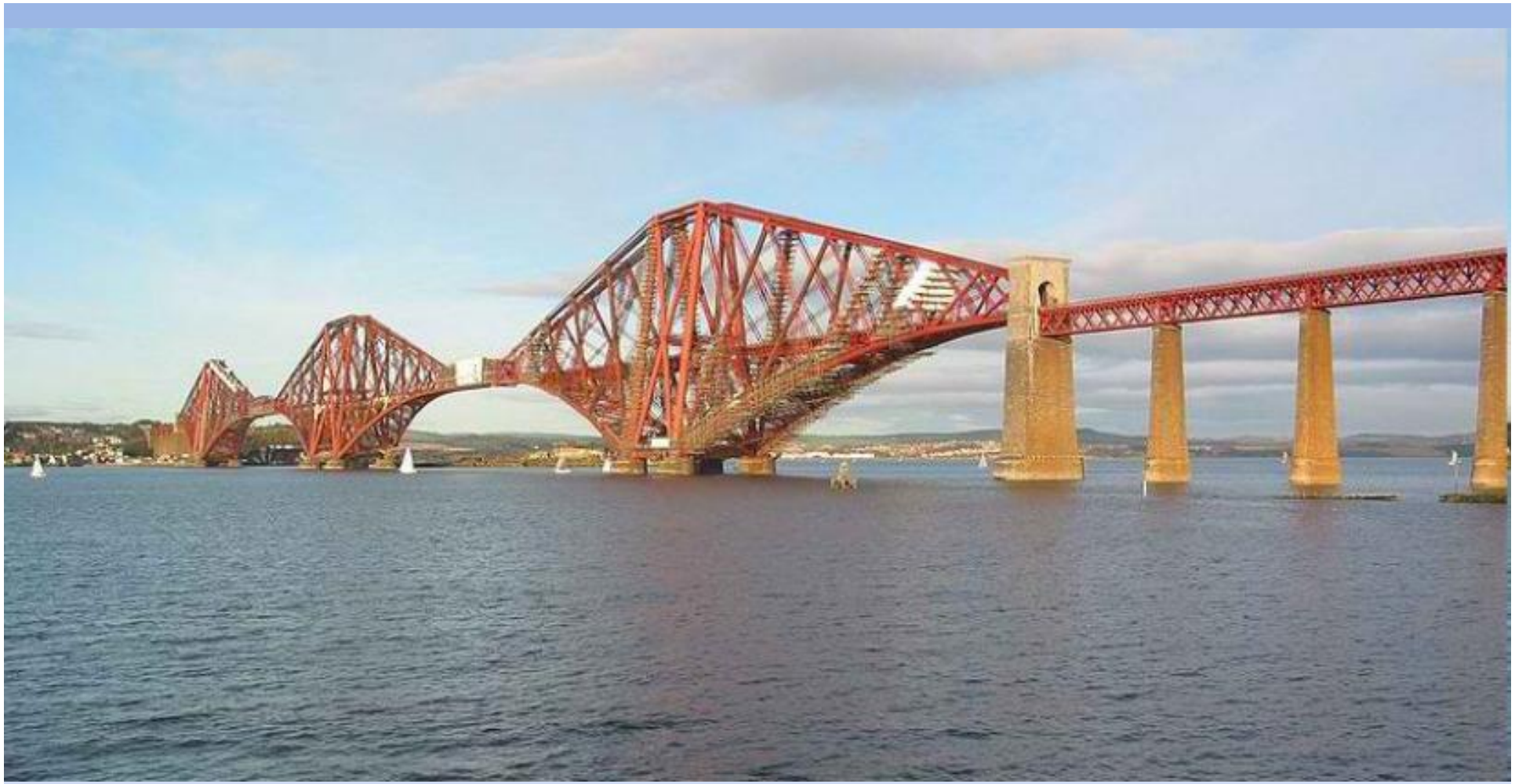
Η πηγή των διαφανειών 24-31 είναι: Επιμέλεια: Παν. Αναγνωστόπουλος, Π-Μ **Ιστορικοί σταθμοί στην γεφυροποιία, 134 π.Χ.-2004 μ.Χ.** http://www.e-archimedes.gr/articleindex/item/3718-

Η **κρεμαστη γέφυρα στα στενά Menai (Ουαλικά: *Pont Grog y Borth)*** Συνδέει το νησί Anglesey με την ενδοχώρα της Ουαλίας είναι μια **από τις πρώτες κρεμαστές γέφυρες στον κόσμο**.
Κλασικά λιθόδμητα ημικυκλικά τόξα οδηγούν στο κεντρικό άνοιγμα μήκους 176 m, το οποίο αναρτάται από αλυσωτά καλώδια.
Σχεδιάσθηκε από τον Thomas Telford και αποπερατώθηκε το 1826.

Eads Bridge, St. Louis, ΗΠΑ

Κατά την ολοκλήρωσή της το 1874, ήταν **η μεγαλύτερη τοξωτή γέφυρα στον κόσμο**, με συνολικό μήκος 1.964 m.
Τα χαλύβδινα τόξα με νευρώσεις και η χρήση του χάλυβα ως βασικού υλικού θεωρήθηκαν τολμηρά για την εποχή: ήταν η **πρώτη φορά που χρησιμοποιείτο ο χάλυβας** σε ένα μεγάλο έργο γεφυροποιίας.
Για την θεμελίωση των μεσοβάθρων και των ακροβάθρων απαιτήθηκε η **χρήση κλειστών καταδυομένων κιβωτίων** με εξωτερική παροχή αέρα, τα οποία είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί στην Γαλλία.
Η κατασκευή των θεμελιώσεων άρχισε το 1867. Ευμεγέθη καταδυόμενα κιβώτια, κατασκευασμένα από χαλυβδόφυλλα, ρυμουλκύθηκαν και ποντίσθηκαν στις θέσεις των βάθρων. Ο θάλαμος εργασίας ήταν συμπιεσμένος και η προσπέλαση γινόταν μέσω αεροβαλβίδων (airlocks). Για την αφαίρεση του μαλακού εδαφικού υλικού του πυθμένα χρησιμοποιήθηκαν **αντλίες άμμου που είχαν πρόσφατα αναπτυχθεί**. Παράλληλα **στην στέψη του κιβωτίου κατασκευαζόταν λιθοδομή, η οποία προκαλούσε την περαιτέρω βύθιση του κιβωτίου**.
Πολλοί από τους εργαζόμενους υπέφεραν από την από την **''ασθένεια των δυτών''** και υπήρξαν αρκετές απώλειες. Το πρόβλημα αντιμετωπίσθηκε με την εφαρμογή τεχνικών βραδείας αποσυμπίεσης και την βελτίωση των συνθηκών εργασίας.

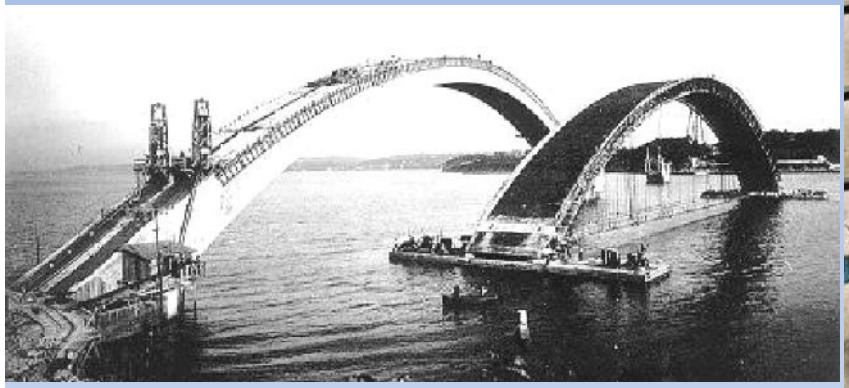
Η Eads Bridge από την πλευρά του St. Louis (σήμερα)



Η σιδηροδρομική γέφυρα του Forth στην Σκωτία (1890)

Από τους πύργους ξεκινούν δικτυωτοί πρόβολοι, μήκους **207** m, οι οποίοι κατασκευάσθηκαν <u>συμμετρικά</u> για την εξασφάλιση ευστάθειας κατά την ανέγερση. Οι φορείς της γέφυρας είναι <u>ισοστατικοί</u>, πράγμα που διευκόλυνε σημαντικά τους υπολογισμούς.

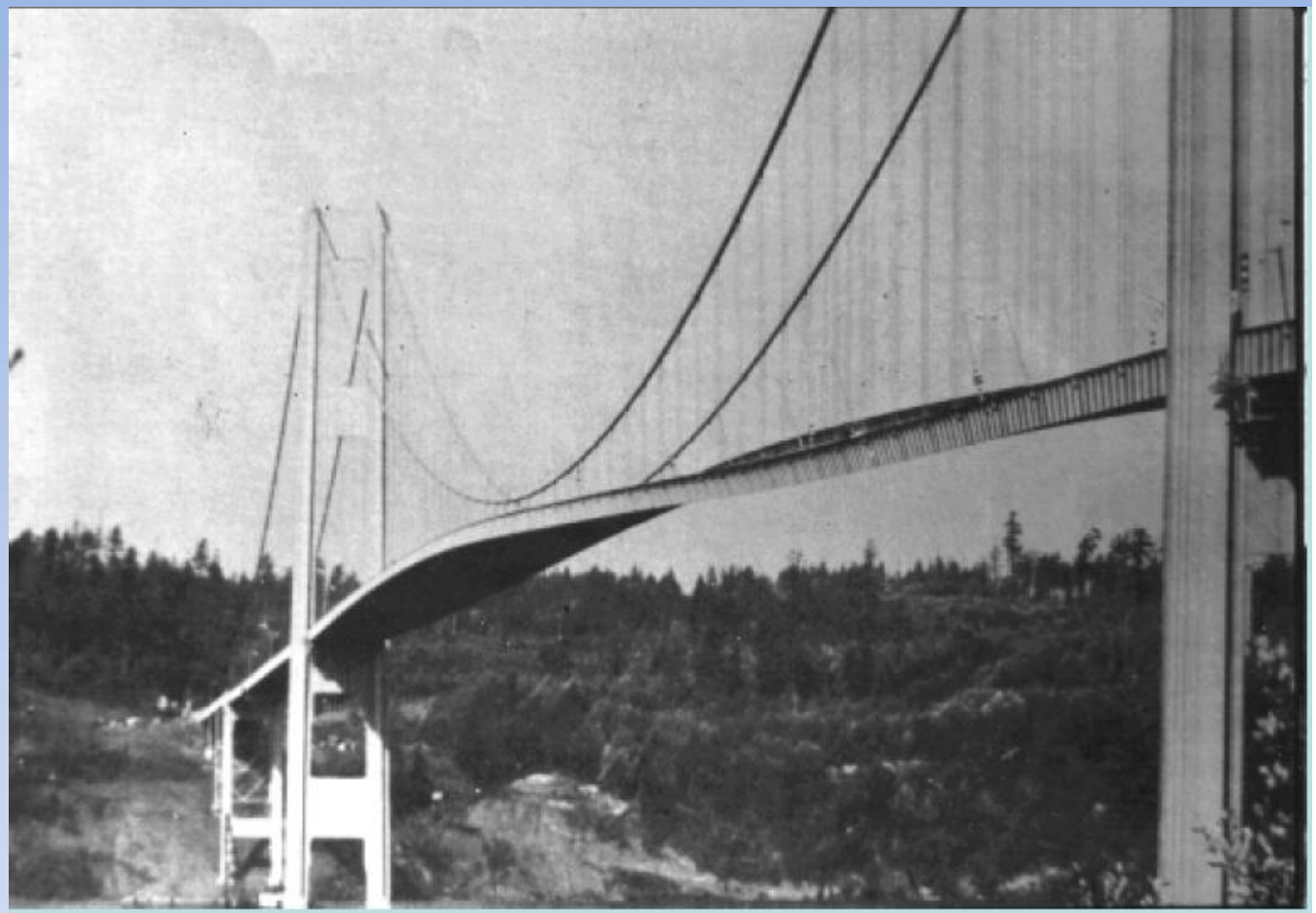
Αξιοσημείωτος είναι ο αριθμός των ατυχημάτων που συνέβησαν κατά την κατασκευή της (98 θανατηφόρα, 270 τραυματισμοί).



Η γέφυρα **Plougastel, ή Albert-Louppe Bridge**
Διέρχεται από τον ποταμό Elorn κοντά στην Βρέστη της Βρετάνης στην Γαλλία.
Η κατασκευή της άρχισε το 1926 και ολοκληρώθηκε στις 9 Οκτωβρίου 1930. Το συνολικό της μήκος ανέρχεται σε **888** m. Το κατάστρωμά της εδράζεται επί τοξωτών φορέων. Τα τρία κεντρικά τόξα είναι ανοίγματος **188 m**. Η γέφυρα μελετήθηκε από τον Eugene Freyssinet, τον πρωτοπόρο του **προεντεταμένου σκυροδέματος** και ήταν η **πρώτη φορά** που εφαρμόσθηκε η τεχνική αυτή στην γεφυροποιία.

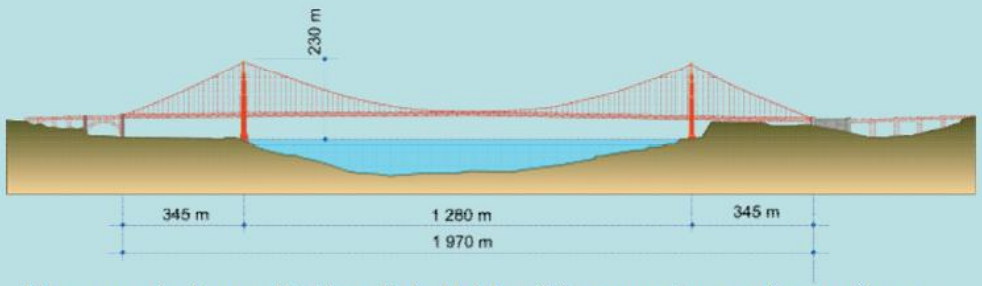
Η κατάρρευση της γέφυρας στα στενα Tacoma

Η γέφυρα Tacoma Narrows, στην πολιτεία Washington, με κεντρικό άνοιγμα **843 m**, επί του πορθμού Sound, παραδόθηκε στην κυκλοφορία την **1η Ιουλίου 1940**.
Το κατάστρωμα σχεδιάσθηκε με ύψος μόλις **2,4 m**, για λόγους οικονομίας, με αποτέλεσμα να είναι μεν ελαφρό, αλλά και πολύ λυγηρό.



Η γέφυρα στα στενά Ταχόμα της Πολιτείας Washington, λίγο πριν την κατάρρευσή της το 1940

Μετά την ολοκλήρωσή της, διαπιστώθηκε ότι η γέφυρα ήταν ευπαθής ακόμη και σε ασθενείς ανέμους, οι οποίοι δημιουργούσαν εγκάρσιες ταλαντώσεις αλλά και κυματισμούς κατά μήκος του καταστρώματος. Στις **7 Νοεμβρίου 1940** η γέφυρα τέθηκε σε συντονισμό από τον άνεμο (φαινόμενο αεροελαστικής ταλάντωσης, aeroelastic fluttering) και μετά μερικές ώρες κατέρρευσε.



Η κρεμαστή γέφυρα **Golden Gate Bridge** διέρχεται πάνω από το ομώνυμο στενό που συνδέει τον Κόλπο του Αγ. Φραγκίσκου με τον Ειρηνικό

Σήμερα, η τεχνολογία κάνει θαύματα τη γεφυροποιία.

Η Κίνα σήμερα κατασκευάζει πολλές από τις μεγαλύτερες γέφυρες του κόσμου.

Η κρεμαστή γέφυρα **Golden Gate Bridge** διέρχεται πάνω από το ομώνυμο στενό που συνδέει τον Κόλπο του Αγ. Φραγκίσκου με τον Ειρηνικό

Η σημερινή εποχή, τα νέα μεγέθη, τα νέα υλικά έχουν φτάσει τη γεφυροποιία στο σημείο, σε πολλές περιπτώσεις να έχει αντιστραφεί το τόξο.

Η μελέτη των πετρογέφυρων συμβάλει στη σύγχρονη γεφυροποιία γιατί μας διδάσκει:

- Στατική
- τα όρια των υλικών
- τα όρια των σχεδιαστικών λύσεων
- τις δομικές λεπτομέρειες που επιλέχτηκαν για την προσαρμογή του κάθε γεφυριού στο περιβάλλον του.
- τη σχέση μεταξύ ενός έργου και του ιστορικού πλαισίου που το γέννησε
- αισθητική

Τελειώνοντας, θέλω να επισημάνω ακόμη μια φορά την ανάγκη δημιουργίας τριτοβάθμιας καθετοποιημένης σχολής πέτρινων κατασκευών και πετράδων (για γεφύρια, διατηρητέα κτήρια, παραδοσιακούς οικισμούς, νέες πέτρινες κατασκευές σε ιστορικά αρχιτεκτονικά σύνολα κ. α.).

Ευχαριστώ για την προσοχή σας