

Παραδοσιακή γεφυροποιία σε Ελλάδα - Ευρώπη

Επεμβάσεις ενίσχυσης - αποκατάστασης - ανάπλασης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

(Integrated master)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: « Παραδοσιακή γεφυροποιία σε Ελλάδα- Ευρώπη
επεμβάσεις ενίσχυσης - αποκατάστασης –ανάπλασης»

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ Πουρνάρα Αναστασία ΤΟΥ Φωτίου(Α.Μ. 20147)

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑΣ

ΛΕΚΤΟΡΑΣ (ΜΟΝΙΜΗ) κ. ΓΕΩΡΓΙΑΔΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΠΑΤΡΑ 30 ΙΟΥΝΙΟΥ 2026

Εγκρίθηκε από την τριμελή Εξεταστική Επιτροπή

Α) ΠΑΠΑΛΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Β) ΓΕΩΡΓΙΑΔΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΛΕΚΤΟΡΑΣ (ΜΟΝΙΜΗ)

Γ) Δρ.ΚΑΤΣΙΜΠΙΝΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ Ακαδημαϊκής Εμπειρίας

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η υπογράφων/ούσα ...Πενταρά Αντασία... του ...Φελίου
με αριθμό μητρώου ...25197... φοιτητής/τρια του Τμήματος ...ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ... της Σχολής
...ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ... του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ημερομηνία
30/6/2026

Ο/Η Δηλών/ούσα
Πενταρά
Αντασία
Αντ

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κ. ΓΕΩΡΓΙΑΔΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξή της, καθώς και στην οικογένειά μου για τη διαρκή συμπαράσταση και ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αναλύει την εξέλιξη και τη σημασία της παραδοσιακής γεφυροποιίας στην Ελλάδα και την Ευρώπη. Οι πέτρινες γέφυρες, αποτελούν σπουδαία στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς και της συλλογικής μνήμης, υπήρξαν καθοριστικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των μεταφορών, του εμπορίου και της επικοινωνίας, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην οικονομική και κοινωνική εξέλιξη των τοπικών κοινοτήτων. Η κατασκευή τους αντανάκλα την εξέλιξη της γεφυροποιίας, τη βαθιά γνώση της συμπεριφοράς της λιθοδομής και την ικανότητα των παραδοσιακών μαστόρων να προσαρμόζουν τις κατασκευές στις γεωμορφολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής. Αποτυπώνεται η ιστορική πορεία της γεφυροποιίας, από τις πρώτες απλές κατασκευές έως την δημιουργία του τόξου από τους Ρωμαίους και τις μεταγενέστερες μεσαιωνικές και αναγεννησιακές μορφές. Διερευνώνται τα βασικά μορφολογικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των παραδοσιακών γεφυριών καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μακροχρόνια συμπεριφορά και ανθεκτικότητά τους.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς και των βλαβών που εμφανίζονται στις παραδοσιακές πέτρινες γέφυρες. Εξετάζονται οι συνηθέστερες μορφές βλαβών, όπως οι ρηγματώσεις των τόξων και των βάθρων, οι μετακινήσεις και οι αποδιοργανώσεις των λιθοσωμάτων, οι αποσαθρώσεις και η έκπλυση των κονιαμάτων των αρμών, οι παραμορφώσεις και οι καθιζήσεις των θεμελίων, καθώς και οι τοπικές ή γενικευμένες καταρρεύσεις τμημάτων της κατασκευής. Διερευνώνται οι αιτίες που συντελούν στην εμφάνιση των φθορών όπως οι σεισμικές δράσεις, τα πλημμυρικά φαινόμενα, οι περιβαλλοντικές επιδράσεις και οι ανθρώπινες επεμβάσεις.

Εξετάζονται οι σύγχρονες τεχνικές δομικής ενίσχυσης που εφαρμόζονται σε ιστορικές κατασκευές από λιθοδομή, όπως οι ενέσεις συμβατών κονιαμάτων για την πλήρωση κενών και ρωγμών, η τοποθέτηση ανοξείδωτων συνδέσμων και αγκυριών, η χρήση συστημάτων περίσφιγξης, καθώς και οι καινοτόμες μέθοδοι ενίσχυσης με σύνθετα υλικά ή άλλα συμβατά μέσα, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Παρουσιάζονται επίσης οι σύγχρονες μέθοδοι διάγνωσης και αξιολόγησης της δομικής τους κατάστασης, καθώς και οι βασικές αρχές συντήρησης, αποκατάστασης και δομικής ενίσχυσης, με στόχο τη διατήρηση της αυθεντικότητας και της ιστορικής τους αξίας και τη μακροχρόνια προστασία τους ως μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Abstract

This study examines the evolution and significance of traditional bridge construction in Greece and Europe. Stone bridges constitute important elements of cultural heritage and collective memory and have played a decisive role in the development of transportation, trade, and communication, contributing substantially to the economic and social development of local communities. Their construction reflects the evolution of bridge engineering, a profound understanding of the behaviour of stone masonry, and the ability of traditional master builders to adapt their structures to the geomorphological and environmental conditions of each region.

The historical development of bridge construction is outlined, from the earliest simple structures to the introduction of the arch by the Romans and its subsequent evolution during the Medieval and Renaissance periods. The fundamental morphological and constructional characteristics of traditional stone bridges, as well as the factors affecting their long-term behaviour and durability, are also investigated.

Particular emphasis is placed on the investigation of deterioration mechanisms and damage affecting traditional stone bridges. The most common forms of damage are examined, including cracking of arches and piers, displacement and disintegration of masonry units, deterioration and leaching of mortar joints, deformations and foundation settlements, as well as local or extensive collapses of structural components. The causes of deterioration, such as seismic actions, flooding phenomena, environmental effects, and human interventions, are also investigated.

Furthermore, modern structural strengthening techniques applied to historic masonry structures are examined, including grout injections using compatible mortars for filling voids and cracks, the installation of stainless-steel ties and anchors, confinement systems, and innovative strengthening methods employing composite materials or other compatible techniques when necessary.

Finally, contemporary methods for the diagnosis and assessment of the structural condition of stone bridges are presented, together with the fundamental principles of maintenance, restoration, and structural strengthening, aiming to preserve their authenticity and historical value and to ensure their long-term protection as monuments of cultural heritage.

Λέξεις-κλειδιά

Διπλωματική εργασία πέτρινο γεφύρι: λιθοδομή, βλάβες, διάγνωση, συντήρηση, αποκατάσταση, δομική ενίσχυση, πολιτιστική κληρονομιά.

Keywords: Final project Stone Arch Bridge: Stone masonry ,Damage Assessment, Diagnosis, Maintenance, Restoration, and Structural Strengthening cultural Heritage Preservation.

Περιεχόμενα

Παραδοσιακή γεφυροποιία σε Ελλάδα - Ευρώπη	1
Επεμβάσεις ενίσχυσης - αποκατάστασης - ανάπλασης	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
Εισαγωγή	7
1. Ιστορική εξέλιξη της γεφυροποιίας	8
1.1 Αρχαία ελληνική γεφυροποιία.....	8
1.2 Ρωμαϊκή γεφυροποιία	10
1.3 Η Εγνατία Οδός και οι γέφυρές της.....	29
1.4 Μεσαιωνική και αναγεννησιακή Ευρώπη.....	35
2. Η παραδοσιακή πέτρινη γέφυρα στον ελληνικό χώρο	40
2.1 Κοινωνική και οικονομική σημασία	40
2.2 Οι μαστορες και τα μπουλούκια	40
2.3 Επιλογή θέσης και θεμελίωση	41
2.4 Το τόξο και η μεταφορά των δυνάμεων.....	42
2.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	43
3. Υλικά και τεχνικές κατασκευής.....	45
3.1 Πέτρα και λιθοδομή	45
3.2 Κονιάματα	45
3.3 Ξύλο και βοηθητικές κατασκευές	46
4. Φθορές και βλάβες των παραδοσιακών γεφυριών.....	47
4.1 Αίτια φθοράς	47
4.2 Συνήθεις μορφές βλάβης	47
4.3 Διάγνωση και τεκμηρίωση.....	48
5. Αρχές αποκατάστασης και ενίσχυσης	49
5.1 Σεβασμός στην αυθεντικότητα.....	49
5.2 Συμβατότητα υλικών	49
5.3 Αναστρεψιμότητα και ελάχιστη επέμβαση.....	49
6. Τεχνικές επισκευής, αποκατάστασης και ενίσχυσης.....	51
6.1 Καθαρισμός και απομάκρυνση βλάστησης.....	51
6.2 Αρμολόγημα και βαθύ αρμολόγημα	51
6.3 Ενέματα και ομογενοποίηση μάζας.....	51
6.4 Συρραφή ρωγμών.....	52
6.5 Τοπική ανακατασκευή.....	52

6.6 Ενίσχυση θεμελίωσης	52
6.7 Υλικά επεμβάσεων	55
6.8 Έλεγχοι & Παρακολούθηση	57
6.9 Νομοθετικό & Κανονιστικό πλαίσιο.....	58
6.10 Ανάπλαση.....	60
7. Ανάπλαση και ανάδειξη γεφυριών.....	67
7.1 Η γέφυρα ως πολιτιστικό τοπόσημο	67
7.2 Ήπια τουριστική αξιοποίηση	67
7.3 Διαχείριση και συντήρηση	67
8. Παράδειγμα: Η Γέφυρα της Πλάκας	68
Συμπεράσματα.....	71

Εισαγωγή

Οι γέφυρες αποτελούν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά τεχνικά έργα της ανθρώπινης ιστορίας.

Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, ο άνθρωπος προσπάθησε να ξεπεράσει φυσικά εμπόδια, όπως ποτάμια, χαράδρες και ρέματα, ώστε να εξασφαλίσει την επικοινωνία ανάμεσα σε οικισμούς, αγορές και περιοχές παραγωγής.

Ιδιαίτερα οι παραδοσιακές πέτρινες γέφυρες δεν είναι απλώς κατασκευές μετακίνησης. Είναι έργα που συνδέονται με την ιστορία, την τεχνική γνώση, το φυσικό τοπίο και τη συλλογική μνήμη των κοινοτήτων.

Στην Ελλάδα και στην Ευρώπη η γεφυροποιία ακολούθησε μια μακρά πορεία εξέλιξης. Οι πρώτες μορφές γεφύρωσης βασίστηκαν σε απλές λύσεις, όπως οι πλακοδοκοί και οι εκφορικές κατασκευές.

Στη συνέχεια, η χρήση του τόξου από τους Ρωμαίους έφερε μεγάλη τεχνική πρόοδο, γιατί επέτρεψε τη δημιουργία μεγαλύτερων και πιο ανθεκτικών ανοιγμάτων.

Κατά τον Μεσαίωνα και την Αναγέννηση η ρωμαϊκή παράδοση συνεχίστηκε, προσαρμόστηκε και εμπλουτίστηκε με νέες μορφές, όπως η οξυκόρυφη καμάρα και οι γέφυρες με εμπορικές ή αμυντικές χρήσεις.

Η παρούσα εργασία εξετάζει την παραδοσιακή γεφυροποιία στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Αρχικά παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη των γεφυρών και τα βασικά μορφολογικά και κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά.

Στη συνέχεια αναλύονται οι συνηθέστερες φθορές και βλάβες που εμφανίζουν οι παλιές γέφυρες, καθώς και οι μέθοδοι διάγνωσης.

Τέλος, παρουσιάζονται βασικές επεμβάσεις ενίσχυσης, αποκατάστασης και ανάπλασης, με στόχο τη διατήρηση των γεφυριών ως τεχνικών έργων αλλά και ως πολιτιστικών μνημείων.

1. Ιστορική εξέλιξη της γεφυροποιίας

1.1 Αρχαία ελληνική γεφυροποιία

Η τεχνολογία των αρχαίων ελληνικών γεφυρών στηρίχθηκε κυρίως σε δύο βασικές λύσεις: τις *εκφορικές κατασκευές* και τις *πλακοδοκούς*.

Στην *εκφορική* δόμηση, οι λίθοι τοποθετούνται σε οριζόντιες στρώσεις με προοδευτική προεξοχή προς το άνοιγμα.

Η μεταφορά των φορτίων πραγματοποιείται προς τα άκρα μέσω της γεωμετρίας της διάταξης, χωρίς την ανάπτυξη πραγματικής τοξωτής δράσης.

Το σύστημα αυτό παρουσιάζει περιορισμένη αποδοτικότητα για μεγάλα ανοίγματα, καθώς η έλλειψη καμπύλης προσαρμοσμένης στη γραμμή ώθησης οδηγεί σε αυξημένες ροπές και αστάθεια.

Αντίθετα, οι *πλακοδοκοί* φορείς λειτουργούν ως δοκοί επί στηριγμάτων.

Στην περίπτωση αυτή αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στην κάτω ίνα της διατομής, γεγονός που περιορίζει σημαντικά το μέγιστο άνοιγμα λόγω της χαμηλής εφελκυστικής αντοχής της πέτρας.

Για τον λόγο αυτό, οι κατασκευές αυτές απαιτούν συχνά ενδιάμεσα στηρίγματα.

Η γεφυροποιία της περιόδου χαρακτηρίζεται από περιορισμένες δυνατότητες ως προς το άνοιγμα, αλλά παρουσιάζει υψηλό επίπεδο ακρίβειας στη λιθοδομή και στη συναρμογή των στοιχείων.

Οι γέφυρες αυτής της περιόδου είχαν συνήθως μικρά ανοίγματα, επειδή η χρήση του πραγματικού τόξου δεν είχε ακόμη εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό.

Η σταθερότητα βασιζόταν κυρίως στο ίδιο βάρος των λίθων, στη σωστή τοποθέτησή τους και στη συνοχή της λιθοδομής.

Ως προς τα υλικά, στην αρχική φάση χρησιμοποιούνται το ξύλο, ο πηλός και οι φυσικοί λίθοι.

Το ξύλο αξιοποιείται τόσο στην ανωδομή όσο και στη θεμελίωση, με χρήση ανθεκτικών ειδών όπως έλατο, κυπαρίσσι και δρυς. Οι ξύλινοι πάσσαλοι συχνά υφίστανται επιφανειακή καύση για αύξηση της αντοχής τους στην υγρασία.

Σταδιακά, επικρατεί η χρήση λαξευμένων λίθων, όπως πωρόλιθος και ασβεστόλιθος, ενώ αναπτύσσονται και τεχνικές σύνδεσης με κονιάματα.

Η βελτίωση της λιθοδομής οδηγεί σε μεγαλύτερη ακρίβεια συναρμογής και αυξημένη σταθερότητα.

Χαρακτηριστική κατηγορία είναι οι μυκηναϊκές γέφυρες στην περιοχή των Μυκηνών και της Αργολίδας, οι οποίες ήταν μεγαλιθικές κατασκευές με πολυγωνική τοιχοδομία και στενά ανοίγματα.

Η ευστάθειά τους βασίζεται στο μεγάλο βάρος των λίθων και στη συμμετρική διάταξη, ενώ μικρότεροι λίθοι χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών.

Οι κατασκευές αυτές αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα εμπειρικής κατανόησης της στατικής λειτουργίας.

Οι τεχνίτες γνώριζαν πώς να επιλέγουν τη θέση, πώς να χρησιμοποιούν το τοπικό υλικό και πώς να διαμορφώνουν την κατασκευή ώστε να αντέχει στις φορτίσεις και στη ροή του νερού.

Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, η χρήση του τόξου εξελίχθηκε σημαντικά.

Οι Ρωμαίοι μηχανικοί κατάφεραν να κατασκευάζουν λεπτότερα τόξα σε συνδυασμό με ισχυρά βάθρα, αξιοποιώντας καλύτερα τη λειτουργία των θλιπτικών δυνάμεων.

Οι αρμοί μεταξύ των λίθων ήταν ιδιαίτερα ακριβείς, συχνά χωρίς εκτεταμένη χρήση κονιάματος.

Οι ρωμαϊκές γέφυρες διακρίνονται για τη λειτουργικότητα, τη συμμετρία και τη μεγάλη αντοχή τους στον χρόνο, αποτελώντας χαρακτηριστικά παραδείγματα εξέλιξης της αρχαίας τεχνολογίας και επηρεάζοντας σημαντικά τη μεταγενέστερη γεφυροποιία.

1.2 Ρωμαϊκή γεφυροποιία

Η μεγάλη τεχνική πρόοδος στη γεφυροποιία εμφανίζεται κατά τη ρωμαϊκή περίοδο.

Η ρωμαϊκή γεφυροποιία αποτελεί τομή στην εξέλιξη των γεφυρικών κατασκευών, καθώς εισάγει συστηματικά τη χρήση του τόξου και οργανώνει τη διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής σε σαφή στάδια.

Σε αντίθεση με τις προγενέστερες εμπειρικές λύσεις, οι Ρωμαίοι εφαρμόζουν μια πιο ολοκληρωμένη τεχνική προσέγγιση, που συνδυάζει γεωμετρία, υλικά και κατασκευαστική μεθοδολογία.

Κεντρικό στοιχείο των ρωμαϊκών γεφυρών είναι το ημικυκλικό τόξο.

Η λειτουργία του βασίζεται στη μεταφορά των φορτίων μέσω θλιπτικών τάσεων, γεγονός που επιτρέπει τη γεφύρωση μεγαλύτερων ανοιγμάτων σε σχέση με τις εκφορικές ή δοκοειδείς κατασκευές.

Η τοξωτή μορφή επιτρέπει την ανακατανομή των φορτίων σε θλιπτικές δυνάμεις κατά μήκος της καμπύλης, μειώνοντας σημαντικά την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων.

Η στατική λειτουργία του τόξου εξαρτάται από τη θέση της γραμμής ώθησης, η οποία πρέπει να παραμένει εντός της διατομής.

Σε διαφορετική περίπτωση, εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις και ενεργοποιούνται μηχανισμοί αστοχίας μέσω σχηματισμού αρθρώσεων.

Η στατική λειτουργία του τόξου εξαρτάται από τη θέση της γραμμής ώθησης, η οποία πρέπει να παραμένει εντός της διατομής.

Σε διαφορετική περίπτωση, εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις και ενεργοποιούνται μηχανισμοί αστοχίας μέσω σχηματισμού αρθρώσεων.

Η τοξωτή γέφυρα αποτελεί τον βασικό τύπο φορέα που χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή γεφυροποιία, κυρίως λόγω της συμβατότητάς της με τις μηχανικές ιδιότητες της λιθοδομής.

Η πέτρα παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη, αλλά πολύ περιορισμένη σε εφελκυσμό.

Ως αποτέλεσμα, η μορφή του τόξου επιτρέπει την αξιοποίηση του υλικού σε καθεστώς σχεδόν αποκλειστικά θλιπτικών τάσεων.

Η λειτουργία του τόξου βασίζεται στην *εκτροπή των κατακόρυφων φορτίων προς τα ακρόβαθρα* μέσω μιας καμπύλης πορείας των δυνάμεων.

Η καμπύλη αυτή προσεγγίζεται από τη λεγόμενη *γραμμή ώθησης*, η οποία εκφράζει τη γεωμετρική θέση της συνισταμένης των εσωτερικών δυνάμεων στο εσωτερικό της διατομής.

Για να διατηρηθεί η ευστάθεια του φορέα, η γραμμή ώθησης πρέπει να παραμένει εντός του πάχους του τόξου. Όταν αυτή μετατοπίζεται εκτός της διατομής, δημιουργούνται *εφελκυστικές τάσεις*, οδηγώντας σε ρηγματώσεις ή ακόμη και σε μηχανισμό κατάρρευσης μέσω σχηματισμού *πλαστικών αρθρώσεων*.

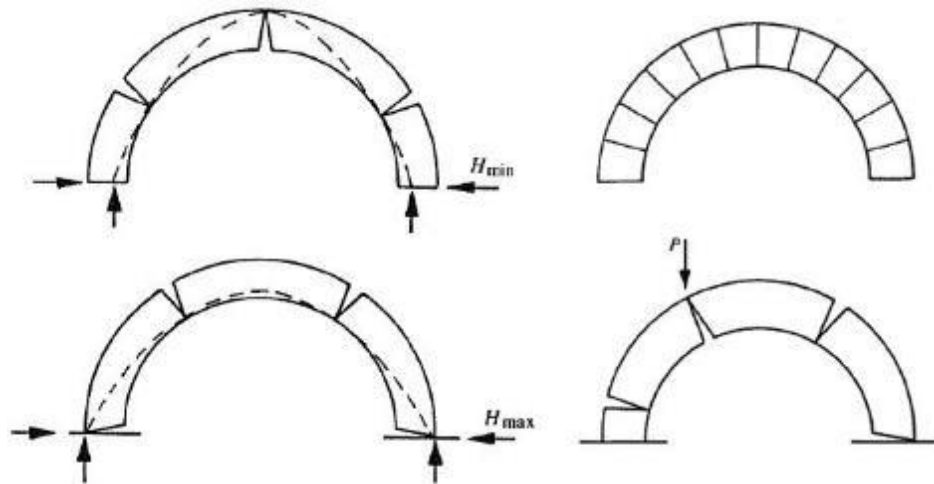
Η κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων στο τόξο περιγράφεται μέσω της γραμμής ώθησης, η οποία εκφράζει τη θέση της *συνισταμένης των θλιπτικών δυνάμεων* στο εσωτερικό της διατομής.

Για την περίπτωση *ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου*, η γραμμή αυτή προσεγγίζει παραβολική μορφή, ενώ σε περίπτωση κατανομής φορτίου που προκύπτει αποκλειστικά από το ίδιο βάρος του φορέα, προσεγγίζει την καμπύλη της αλυσοειδούς.

Η σημασία της γραμμής ώθησης έγκειται στο γεγονός ότι η *ευστάθεια του τόξου* εξασφαλίζεται μόνο όταν αυτή παραμένει εντός του πάχους της διατομής.

Σε διαφορετική περίπτωση, εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις και ενεργοποιούνται μηχανισμοί αστοχίας. Η στατική λειτουργία των τοξωτών γεφυρών μπορεί να κατανοηθεί μέσω της γραμμής ώθησης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

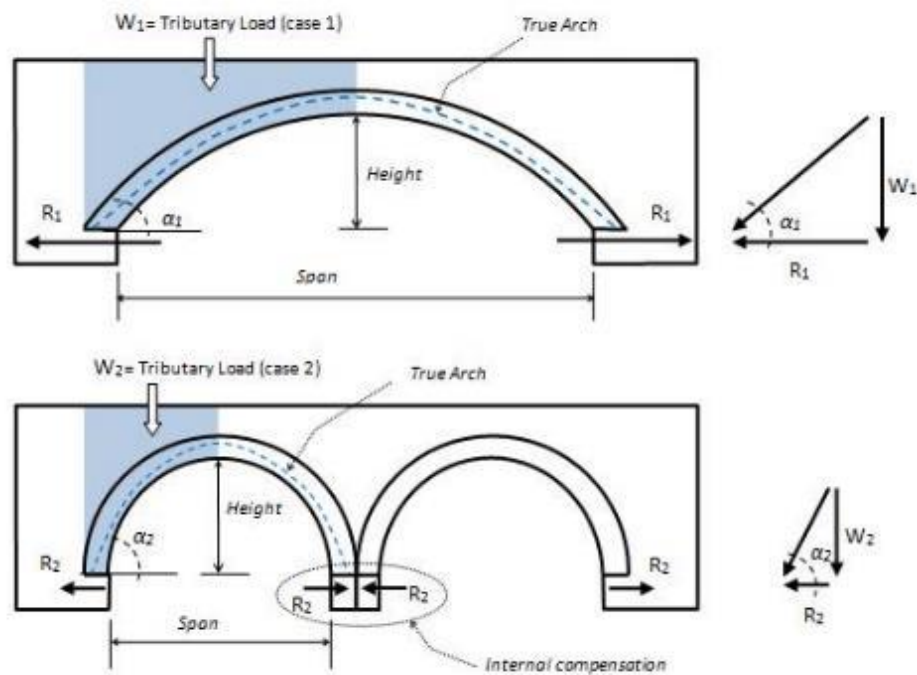
Η θέση της καθορίζει άμεσα την ευστάθεια του φορέα



Εικόνα 1 η ευστάθεια του τόξου

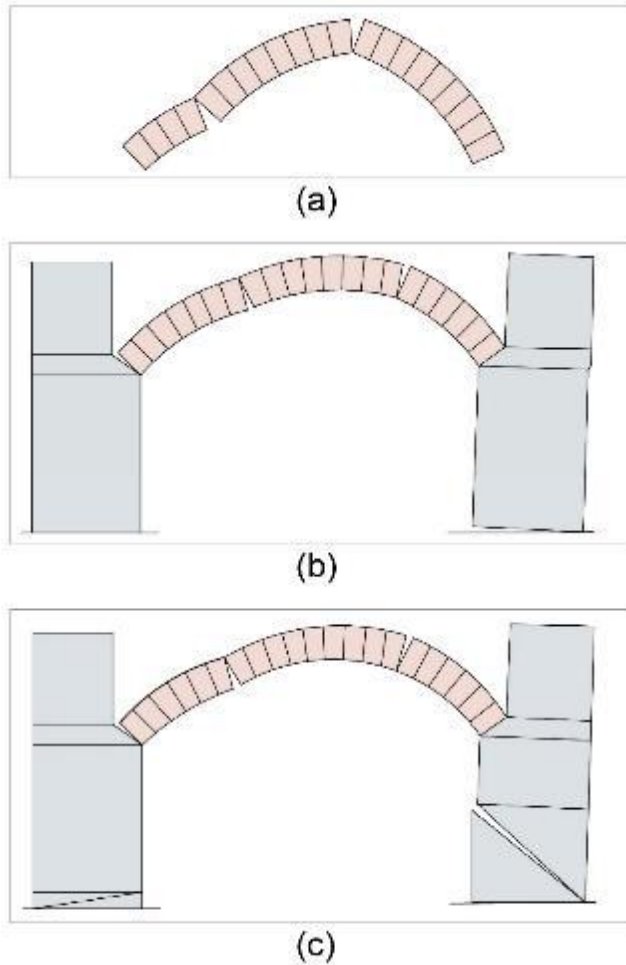
H_{min} Ελάχιστη Οριζόντια Ωθηση και Τάση Ανοίγματος του Τόξου H_{max} Μέγιστη Οριζόντια Ωθηση και Τάση Καθίζησης του Τόξου

Σχηματισμός Αρθρώσεων και Μηχανισμός Κατάρρευσης του Τόξου



Εικόνα 2 Σύγκριση Δυνάμεων Ωθησης σε Διαφορετικούς Τύπους Τόξων υπό Φόρτιση

Στατική Συμπεριφορά Τόξου Μεγάλου Ανοίγματος (Single Arch), γωνία μικρή οδηγεί σε μεγαλύτερη οριζόντια δύναμη αντίδρασης $R1$ ωθηση που ασκείται στα στηρίγματα είναι σημαντική και πρέπει να αντιμετωπιστεί με ισχυρά αντερείσματα (τοιχούς). Συνεχόμενα Τόξα: Στενότερη Γεωμετρία και Συνεργατική Στατική Συμπεριφορά. Μεγαλύτερη Γωνία και Εξουδετέρωση Οριζόντιων Δυνάμεων $R1, R2$ στο Σημείο Ένωσης των Τόξων Κατακόρυφη Μεταφορά Φορτίου και Δυνατότητα Λεπτότερων Υποστυλωμάτων Επίδραση Γεωμετρίας Τόξου στην Οριζόντια Ωθηση και Εξισορρόπηση μέσω Συνεχόμενων Τόξων



Εικόνα 3 Επίδραση Εδαφικών Καθιζήσεων και Οριζόντιων Μετακινήσεων στην Ευστάθεια Ιστορικών Κατασκευών

(a) Σχηματισμός Τεσσάρων Αρθρώσεων (hinges), και Μετατροπή της Αψίδας σε Μηχανισμό Κατάρρευσης (b) Στροφή Βάθρου Buttress Rotation) και Αύξηση Ανοίγματος (κλειδί) της Καμάρας μέσω Αστάθειας Στηρίξεων (c) Ολίσθηση ή Διατμητική Αστοχία Βάθρου Υπέρβαση Διατμητικής Αντοχής και Αστάθεια Θεμελίων ως Αιτία Ολικής Κατάρρευσης της Καμάρας

Η.

Στην ιδανική περίπτωση ομοιόμορφης κατανομής φορτίου, η μορφή της γραμμής ώθησης προσεγγίζει παραβολική καμπύλη.

Ωστόσο, στην πράξη η ύπαρξη ανομοιόμορφων φορτίων και γεωμετρικών ατελειών οδηγεί σε αποκλίσεις, οι οποίες πρέπει να απορροφηθούν από το πάχος της διατομής.

Η στατική συμπεριφορά του τόξου εξαρτάται επίσης από:

- τον λόγο ανοίγματος προς ύψος
- το πάχος της διατομής
- την ποιότητα και συνοχή της λιθοδομής
- τη δυσκαμψία των βάθρων

Ιδιαίτερη σημασία έχει η αλληλεπίδραση του τόξου με τα ακρόβαθρα.

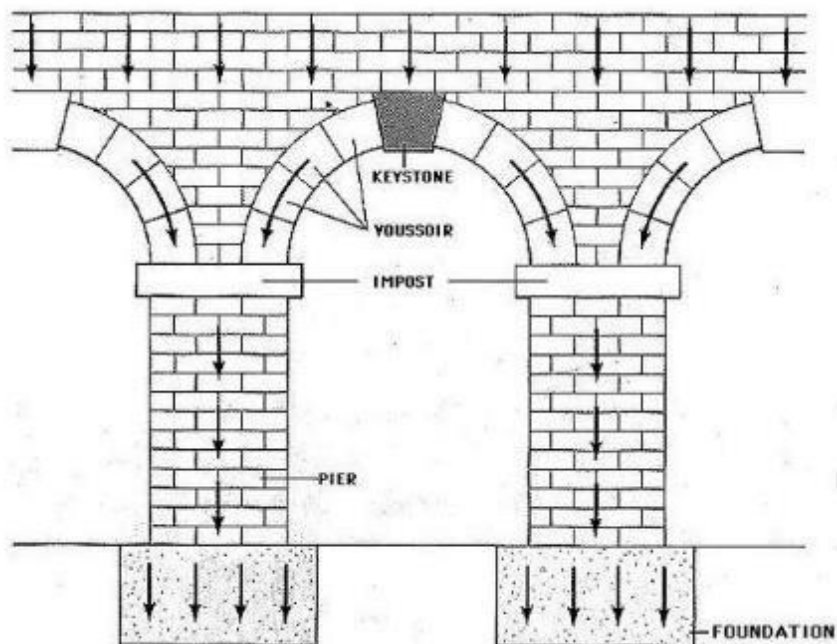
Τα βάθρα δεν λειτουργούν μόνο ως στηρίγματα, αλλά παραλαμβάνουν σημαντικές οριζόντιες ωθήσεις.

Για τον λόγο αυτό απαιτείται επαρκής θεμελίωση και επαρκής μάζα, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση ή ανατροπή.



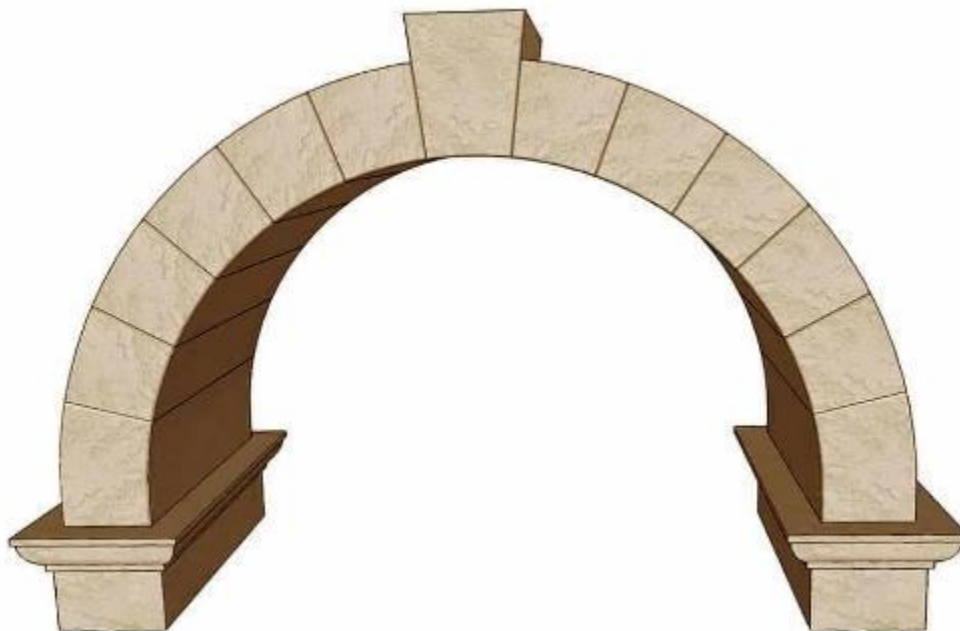
Εικόνα 4 Pont du Gard,

ένα αρχαίο ρωμαϊκό υδραγωγείο στη νότια Γαλλία. 1ο αιώνα μ. Χ Ρωμαϊκό Αριστούργημα Μηχανικής και Παγκόσμιας Κληρονομιάς UNESCO



Εικόνα 5 δομή μιας Ρωμαϊκής αψίδας.

Κλειδί (Keystone): Ο Κεντρικός Λίθος που Σταθεροποιεί την Αψίδα Voussoir (Σφηνοειδείς Λίθοι) Τα Δομικά Στοιχεία της Καμπύλης της Αψίδας Impost (Επίκρανο): Το Στοιχείο Στήριξης της Αψίδας στη Βάση της Κατασκευής Pier (Πεσσός/Πυλώνας): Ο Κατακόρυφος Φορέας που Μεταφέρει τα Φορτία στο Έδαφος Foundation (Θεμέλιο): Η Βάση Κατανομής των Φορτίων της Κατασκευής στο Έδαφος

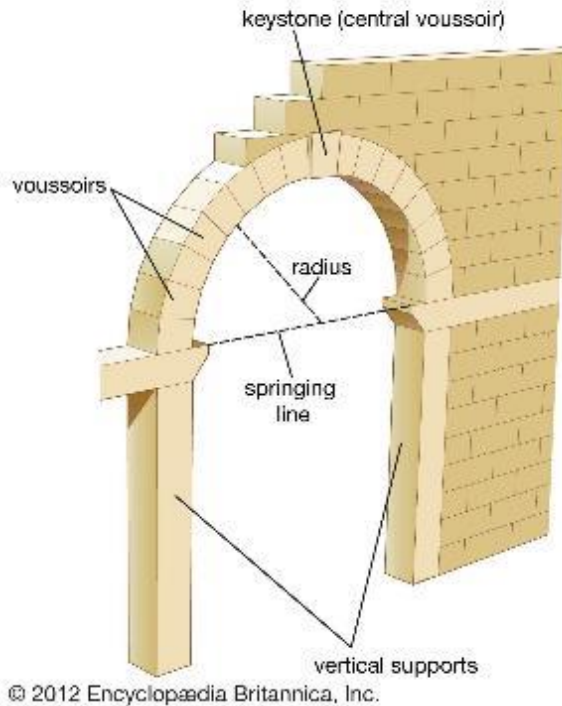


Εικόνα 6 Πέτρινη Αψίδα από Σφηνοειδείς Λίθους

Δομή, Λειτουργία και Αρχιτεκτονική χρήση σε εξωτερικές επενδύσεις ή για τη δημιουργία ανοιγμάτων Το κλειδί της αψίδας ,η διάταξη των λίθων δίνουν σταθερότητα

Οι θολίτες (σφηνοειδείς λίθοι) τοποθετούνται ακτινωτά, ενώ ο κλειδόλιθος εξασφαλίζει τη συνοχή του φορέα.

Parts of a circular arch

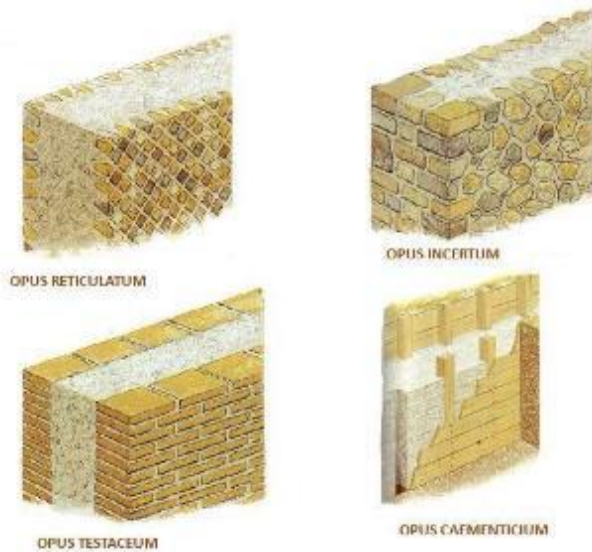


Εικόνα 7μέρη ενός κυκλικού τόξου (καμάρας) Κλειδί (keystone) θολίτες (voussoirs): Ακτίνα (radius) γραμμή γέννησης (springing line) Κάθετα στηρίγματα (vertical supports)

Τύπος τόξου	Χαρακτηριστικό
Ημικυκλικό	Ρωμαϊκό
Οξυκόρυφο	Μικρότερες ωθήσεις
Ελλειπτικό	Ομαλή κατανομή

Η ακρίβεια στην κατεργασία των λίθων είναι καθοριστική, καθώς επηρεάζει άμεσα την κατανομή των τάσεων.

Παράλληλα, η χρήση του ρωμαϊκού σκυροδέματος επιτρέπει τη δημιουργία συμπαγούς πυρήνα και αυξάνει τη συνολική αντοχή της κατασκευής, ιδιαίτερα σε συνθήκες υγρασίας.



Εικόνα 8 Ρωμαϊκή Τοιχοποιία

Opus Reticulatum: Ρωμαϊκή Τοιχοποιία με Διαμαντόσχημη Διάταξη Λίθων σε Δικτυωτό Μοτίβο

Opus Incertum: Ρωμαϊκή Τοιχοποιία με Ακανόνιστη Διάταξη Λίθων και Πυρήνα Σκυροδέματος

Opus Testaceum: Ρωμαϊκή Τοιχοποιία από Οριζόντιες Σειρές Ψημένων Τούβλων

Opus Caementicium: Ρωμαϊκό Σκυρόδεμα με Ποζολάνη και Τεχνική Ξυλοτύπου

Οι ρωμαϊκές γέφυρες διακρίνονται για τη λειτουργικότητα, τη συμμετρία και την τεχνική τους ακρίβεια.

Τα βάθρα ήταν ισχυρά και συχνά διαμορφώνονταν έτσι ώστε να αντιμετωπίζουν τη δύναμη του νερού. Οι αρμοί των λίθων ήταν πολλές φορές τόσο ακριβείς, ώστε η χρήση κονιάματος ήταν περιορισμένη.

Η ρωμαϊκή γεφυροποιία χαρακτηρίζεται επίσης από την ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών θεμελίωσης.

Η κατασκευή των βάθρων μέσα στην κοίτη του ποταμού απαιτούσε τη δημιουργία προσωρινών υδατοφρακτών, με χρήση ξύλινων πασσάλων και αδιαπέραστων υλικών.

Μετά την απομάκρυνση του νερού, γινόταν εκσκαφή μέχρι την εύρεση σταθερού υποστρώματος, πάνω στο οποίο θεμελιωνόταν η κατασκευή.

Τα βάθρα διαμορφώνονταν με αυξημένο πάχος και συχνά έφεραν αιχμηρές απολήξεις προς την κατεύθυνση της ροής. Οι διαμορφώσεις αυτές λειτουργούσαν υδροδυναμικά, μειώνοντας τις πιέσεις του νερού και περιορίζοντας τα φαινόμενα υποσκαφής.

Παράλληλα, οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν το *opus caementicium*, μια πρώιμη μορφή σκυροδέματος με ασβέστη, άμμο, νερό και ποζολάνη, το οποίο είχε μεγάλη αντοχή ακόμη και σε υγρό περιβάλλον.

Οι γέφυρες αυτές δεν εξυπηρετούσαν μόνο την καθημερινή μετακίνηση.

Ήταν βασικό τμήμα του ρωμαϊκού οδικού δικτύου και συνέβαλαν στη μετακίνηση στρατού, εμπορευμάτων και διοικητικών αξιωματούχων.



Εικόνα 9 Η Γέφυρα του Φαβρίκιου 62πχ

Εικόνα 10 η γέφυρα της Puente de Αλκάνταρα

Παραδείγματα όπως η Γέφυρα του Φαβρίκιου στη Ρώμη, η γέφυρα της Αλκάνταρα στην Ισπανία και οι υδατογέφυρες όπως το *Pont du Gard* δείχνουν το υψηλό επίπεδο της ρωμαϊκής μηχανικής.



Εικόνα 11 Η Πόντε Εμίλιο σήμερα ονομάζεται Πόντε Ρόττο (Ponte Rotto), (2ο π.χ αιώνας)

Από τα γνωστότερα παραδείγματα είναι η *Πόντε Εμίλιο*, γνωστή σήμερα ως *Πόντε Ρόττο*, η οποία θεωρείται η παλαιότερη λίθινη γέφυρα του Τίβερη στη Ρώμη.

Συνέδεε την περιοχή του Φόρουμ Μποάριουμ με το Τραστέβερε και χρονολογείται στον 2ο αιώνα π.Χ.

Άλλη σημαντική γέφυρα είναι η *Μιλβία* Γέφυρα, που κατασκευάστηκε γύρω στο 110 π.Χ. και είχε μεγάλη στρατηγική και οικονομική σημασία.

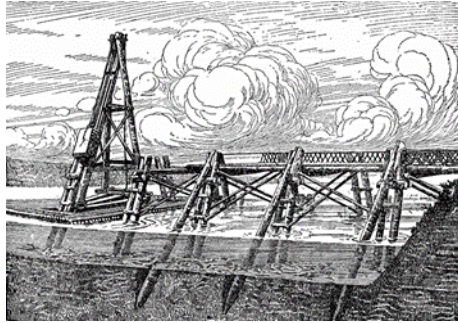
Εκεί έγινε αργότερα, το 312 μ.Χ., η γνωστή μάχη της Μιλβίας Γέφυρας, η οποία συνδέθηκε με την άνοδο του Κωνσταντίνου Α΄.



Εικόνα 12 Η Μιλβία (ή Μουλβία) Γέφυρα

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η Γέφυρα του Φαβρίκιου στη Ρώμη, που κατασκευάστηκε το 62 π.Χ. και διατηρείται σχεδόν στην αρχική της μορφή.

Πρόκειται για δίτοξη γέφυρα με ανοίγματα περίπου 27,40 μέτρων. Η κατασκευή της αποδίδεται στον Λεύκιο Φαβρίκιο, επιμελητή των δρόμων, γεγονός που δείχνει τη σημασία που έδινε η ρωμαϊκή διοίκηση στα δημόσια έργα υποδομής.



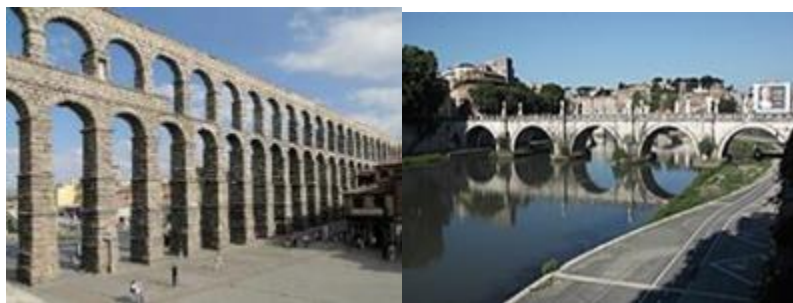
Εικόνα 13 Η γέφυρα του Καίσαρα

Ένα διαφορετικό αλλά εξίσου εντυπωσιακό παράδειγμα ρωμαϊκής τεχνικής είναι η ξύλινη γέφυρα που κατασκεύασε ο Ιούλιος Καίσαρας το 55 π.Χ. πάνω από τον Ρήνο.

Η γέφυρα είχε μήκος περίπου 485 μέτρα και κατασκευάστηκε μέσα σε μόλις δέκα ημέρες. Η ταχύτητα και η σταθερότητα του έργου δείχνουν την οργανωτική ικανότητα των ρωμαϊκών στρατιωτικών μηχανικών. Μετά την ολοκλήρωση της στρατιωτικής επιχείρησης, ο Καίσαρας διέταξε την καταστροφή της, ώστε ο Ρήνος να συνεχίσει να λειτουργεί ως φυσικό όριο.

Εκτός από τις γέφυρες μετακίνησης, οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν και *υδατογέφυρες*, οι οποίες εξυπηρετούσαν την ύδρευση των πόλεων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Pont du Gard στη νότια Γαλλία, ένα από τα πιο γνωστά ρωμαϊκά υδραγωγεία.



Εικόνα 14 Το υδραγωγείο της Σεγόβια

Εικόνα 15 γέφυρα Aelius.

Κατασκευάστηκε τον 1ο αιώνα μ.Χ. και μετέφερε νερό στη ρωμαϊκή πόλη Νέμαυσο, τη σημερινή Νιμ. Αντίστοιχα, το υδραγωγείο της Σεγόβια στην Ισπανία αποτελεί ένα από τα καλύτερα διατηρημένα ρωμαϊκά υδραγωγεία.

Σημαντική είναι και η γέφυρα της Αλκάνταρα στην Ισπανία, που κατασκευάστηκε στις αρχές του 2ου αιώνα μ.Χ., επί Τραϊανού.

Έχει μήκος περίπου 180 μέτρα και αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα ρωμαϊκής τοξωτής γέφυρας μεγάλης κλίμακας. Το 134 μ.Χ. κατασκευάστηκε επίσης η *Γέφυρα του Αιλίου*, γνωστή σήμερα ως Γέφυρα του Αγίου Αγγέλου, από τον αυτοκράτορα Αδριανό.

Η γέφυρα ένωνε το κέντρο της Ρώμης με το μαυσωλείο του Αδριανού, το σημερινό *Καστέλ Σαντ' Άντζελο*.

Στάδια κατασκευής ρωμαϊκής λίθινης γέφυρας

Η κατασκευή μιας ρωμαϊκής γέφυρας ξεκινούσε με την επιλογή της κατάλληλης θέσης. Οι μηχανικοί έπρεπε να λάβουν υπόψη το πλάτος του ποταμού, τη ροή του νερού, τη σταθερότητα του εδάφους και τη σύνδεση της γέφυρας με το οδικό δίκτυο.

Ένα από τα πιο δύσκολα στάδια ήταν η θεμελίωση μέσα στην κοίτη του ποταμού. Για τον σκοπό αυτό δημιουργούνταν προσωρινοί υδατοφράκτες με ξύλινους πασσάλους και πηλό, ώστε να απομονωθεί το σημείο όπου θα χτιζόταν το βάθρο. Στη συνέχεια αντλούνταν το νερό και γινόταν εκσκαφή μέχρι να βρεθεί σταθερό έδαφος.

Αφού ολοκληρωνόταν η θεμελίωση, κατασκευάζονταν τα βάθρα και τα ακριανά στηρίγματα. Τα βάθρα ήταν συνήθως αρκετά ογκώδη, επειδή έπρεπε να αντέχουν τόσο το βάρος της γέφυρας όσο και τις οριζόντιες ωθήσεις των τόξων.

Η μορφή τους σχεδιαζόταν έτσι ώστε να μειώνεται η πίεση του νερού και να περιορίζεται η διάβρωση.

Για την κατασκευή των τόξων χρησιμοποιούνταν ξύλινα ικριώματα, τα λεγόμενα «κέντρα».

Πάνω σε αυτά τοποθετούνταν οι θολίτες, από τα άκρα προς την κορυφή. Όταν τοποθετούνταν ο λίθος-κλειδί, το τόξο μπορούσε πλέον να σταθεί μόνο του.

Τότε αφαιρούνταν το ξύλινο στήριγμα και η κατασκευή λειτουργούσε αυτόνομα.

Το εσωτερικό της γέφυρας γεμιζόταν με υλικά όπως ασβέστη, άμμο, μικρούς λίθους και νερό, ώστε να δημιουργηθεί ένας συμπαγής πυρήνας.

Στο τέλος κατασκευαζόταν το κατάστρωμα, δηλαδή η επιφάνεια διέλευσης, ενώ συχνά πρόσθεταν διακοσμητικά στοιχεία ή επιγραφές με το όνομα του κατασκευαστή και τη χρονολογία ανέγερσης.

Υλικά κατασκευής

Τα βασικά υλικά της ρωμαϊκής γεφυροποιίας ήταν το ξύλο, οι φυσικοί λίθοι, τα κονιάματα και το ρωμαϊκό σκυρόδεμα.

Το ξύλο χρησιμοποιούνταν κυρίως σε προσωρινές κατασκευές, όπως ικριώματα, καλούπια τόξων και πασσάλους θεμελίωσης.

Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν διάφορα είδη ξυλείας, όπως έλατο, δρυ, κυπαρίσσι, πεύκο και κέδρο, ανάλογα με τη χρήση.

Οι φυσικοί λίθοι ήταν το βασικό υλικό των μόνιμων γεφυρών.

Χρησιμοποιούνταν ανθεκτικά πετρώματα, όπως ασβεστόλιθος, τραβερτίνης και γρανίτης. Ο γρανίτης, αν και δύσκολος στην κατεργασία, ήταν ιδιαίτερα ανθεκτικός στην υγρασία και στις καιρικές συνθήκες.

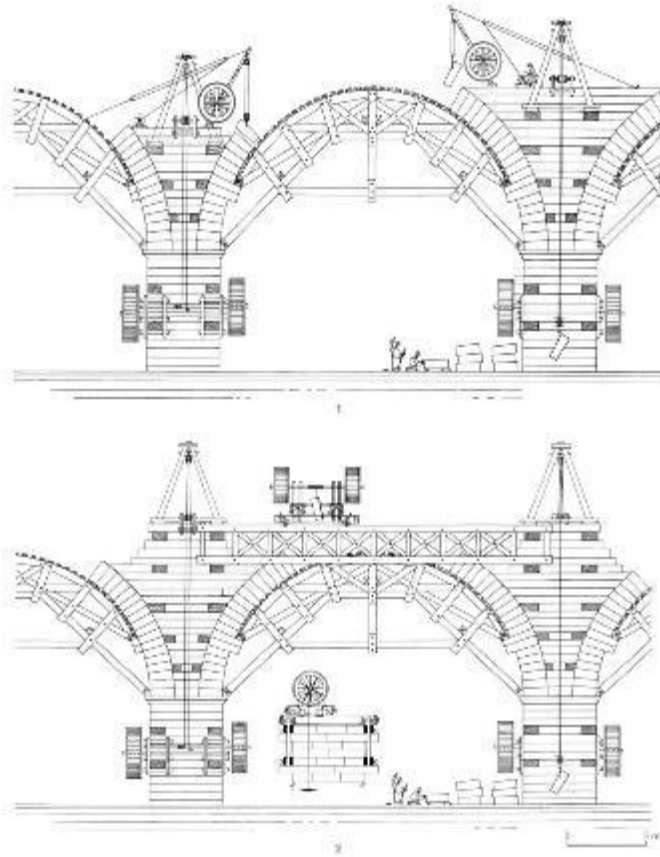
Το σημαντικότερο όμως υλικό ήταν το ρωμαϊκό σκυρόδεμα.

Χάρη στην ποζολάνη, το σκυρόδεμα αυτό αποκτούσε μεγάλη αντοχή και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε υδραυλικά έργα.

Έτσι οι Ρωμαίοι μπόρεσαν να δημιουργήσουν γέφυρες, υδραγωγεία και θολωτές κατασκευές με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής.

Ρόλος του ξυλοτύπου και της κατασκευαστικής διαδικασίας

Η κατασκευή του τόξου δεν είναι απλώς θέμα γεωμετρίας, αλλά και διαδικασίας. Ο ξυλότυπος (καλούπι) αποτελεί το προσωρινό σύστημα στήριξης πάνω στο οποίο τοποθετούνται οι θολίτες μέχρι την ολοκλήρωση της καμάρας.



Εικόνα 16 μεθόδους κατασκευής των ρωμαϊκών τοξωτών γεφυρών

Ξυλότυποι (Scaffolding/Centering) Ξύλινα Ικριώματα Υποστήριξης Τόξων και Ο ρόλος του Κλειδιού (Keystone) στη Σταθεροποίηση της Κατασκευής Γερανοί: Ποδοκίνητοι Τροχοί (Treadwheels): Μηχανισμός Ανύψωσης με Ανθρώπινη Ισχύ Προεξοχές Λίθων (Putlog Holes): Σημεία Στήριξης Σκαλωσιών σε Ρωμαϊκή Τοιχοποιία Ρωμαϊκή Μηχανική: Μεταφορά και Ακρίβεια Τοποθέτησης Τεράστιων Λίθων χωρίς Σύγχρονα Μηχανήματα

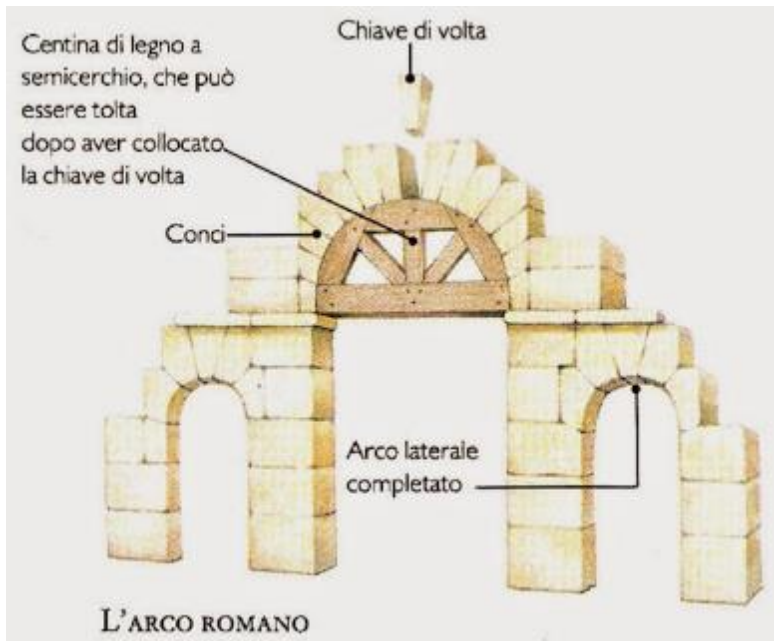
Ρωμαϊκή τοξωτή γέφυρα. Παρατηρείται η ακρίβεια στη λιθοδομή και η χρήση θολιτών.

Η χρήση του τόξου από τους Ρωμαίους επέτρεψε τη γεφύρωση μεγαλύτερων ανοιγμάτων, με αποτελεσματική κατανομή των φορτίων.

Η ακρίβεια του ξυλοτύπου καθορίζει:

- τη μορφή του τόξου
- τη σωστή κατανομή των φορτίων
- τη στατική συμπεριφορά μετά την απομάκρυνσή του

Οι θολίτες τοποθετούνται συμμετρικά από τις δύο πλευρές προς το κέντρο, ώστε να αποφεύγονται ανισορροπίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η τοποθέτηση του κλειδολίθου αποτελεί το κρίσιμο στάδιο, καθώς ενεργοποιεί τη λειτουργία του τόξου και επιτρέπει την αφαίρεση του ξυλοτύπου.

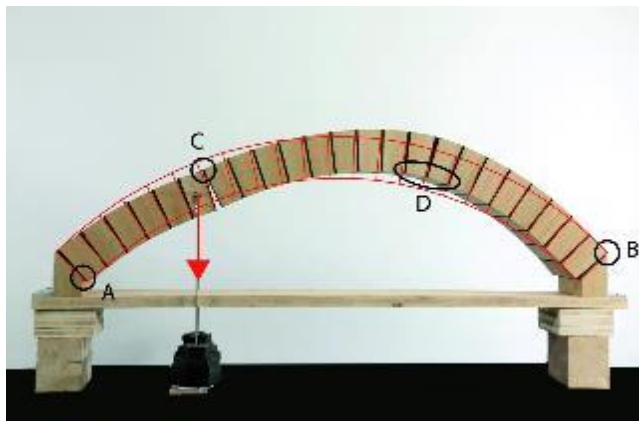


Εικόνα 17 δομή και τρόπο κατασκευής ενός ρωμαϊκού τόξου (L'arco romano).

Chiave di volta (Κλειδί) Conci (Θολίτες): Centina di legno (Ξυλότυπος) Προσωρινή Ημικυκλική Υποστήριξη κατά την Κατασκευή της Αψίδας Arco laterale completato (Ολοκληρωμένο πλευρικό τόξο Διαδικασία Ανέγερσης Τόξου πάνω σε Ξύλινο Σκελετό από τις Δύο Πλευρές προς επάνω ταυτόχρονα και Μεταφορά Φορτίου στους Πεσσούς και Αφαίρεση του Ξυλοτύπου μετά την Τοποθέτηση του Κλειδιού

Αν η διαδικασία δεν πραγματοποιηθεί σωστά, μπορεί να προκύψουν:

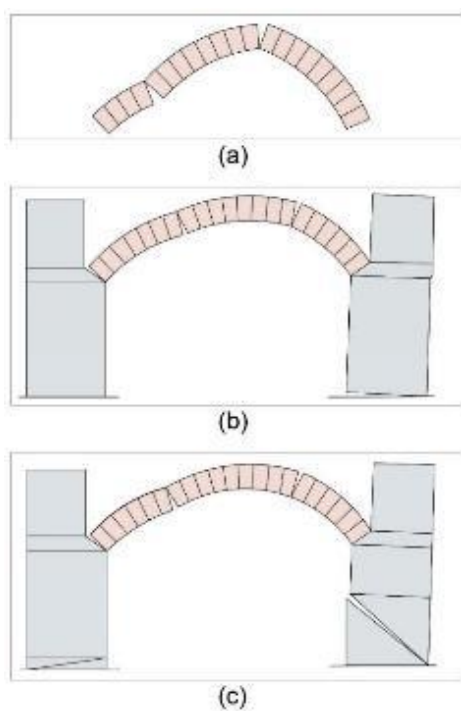
- ανομοιόμορφες καθιζήσεις
- τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων
- πρόωρη αστοχία



Εικόνα 18 Στατική Ευστάθεια Λιθόκτιστης Καμάρας υπό Συγκεντρωμένο Φορτίο: Μοντελοποίηση και Ανάλυση Συμπεριφοράς

Η Γραμμή Πίεσης ως Κριτήριο Ευστάθειας στη Λιθόκτιστη Καμάρα πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων της διατομής των λίθων Σχηματισμός Τεσσάρων Αρθρώσεων και Μηχανισμός Κατάρρευσης Λιθόκτιστης Καμάρας.

A, B, στις βάσεις στήριξης C, D δημιουργούνται λόγω του πρόσθετου βάρους. (Αρθρώσεις κρίσιμα σημεία όπου η γραμμή πίεσης εφάπτεται στα όρια του τόξου (εσωρράχιο ή εξωρράχιο)



Εικόνα 19 Επεξήγηση της θεωρίας Heyman για την Κατάρρευση Λιθόκτιστων Αψίδων μέσω Σχηματισμού Αρθρώσεων

- a) Μηχανισμός Τεσσάρων Αρθρώσεων σε Λιθόκτιστη Καμάρα και Συνθήκες Αστοχίας
- b) Αστοχία Λιθόκτιστης Καμάρας λόγω Μετατόπισης ή Περιστροφής των Βάθρων
- c) Συνδυασμένη Αστοχία Λιθόκτιστης Καμάρας λόγω Πλάγιας Ώθησης και Διαφορικής Καθίζησης

Ρωμαϊκές γέφυρες στον ελληνικό χώρο

Στην Ελλάδα σώζονται αρκετά παραδείγματα ρωμαϊκής γεφυροποιίας.



Εικόνα 20 Το Ρωμαϊκό Γεφύρι της Αρέθα στην Πάτρα

Ένα από τα σημαντικότερα είναι το ρωμαϊκό γεφύρι της Πάτρας στην περιοχή της Αρέθας. Χρονολογείται στον 2ο–3ο αιώνα μ.Χ. και θεωρείται μία από τις καλύτερα σωζόμενες δίτοξες ρωμαϊκές γέφυρες στην Ελλάδα. Κατασκευάστηκε πάνω στον ποταμό Καλλίναο και αποτελούσε τμήμα του δρόμου που συνέδεε την Πάτρα με το Αίγιο. Το κατάστρωμα διατηρεί ακόμη ίχνη από τροχοφόρα οχήματα, γεγονός που δείχνει τη συνεχή χρήση της γέφυρας.



Εικόνα 21 Γέφυρα Κλειδιού δίπλα στον Λουδία

Άλλες ρωμαϊκές γέφυρες συναντώνται στην Ελευσίνα, στο Ξηροκάμπι, στον Κρυοναύλακο, στον Σιδηροδρομικό Σταθμό Αγγελοκάστρου και στο Κλειδί κοντά στον ποταμό Λουδία. Η γέφυρα του Κλειδιού, γνωστή και ως «Γεφύρι του Αλεξάνδρου» ή «Καμάρα», ήταν πολύτοξη λίθινη γέφυρα και αποτελούσε μέρος σημαντικού οδικού άξονα που συνέδεε την Πύδνα και τη Μεθώνη με την Πέλλα και τη Θεσσαλονίκη. Από τη γέφυρα σώζεται σήμερα ένα τμήμα, το οποίο δείχνει την ποιότητα της ρωμαϊκής λιθοτεχνίας.

Υδατογέφυρες και μεγάλα υδραυλικά έργα

Οι Ρωμαίοι δεν περιορίστηκαν μόνο στις γέφυρες μετακίνησης. Ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό και τις υδατογέφυρες, οι οποίες αποτελούσαν τμήματα μεγάλων υδραγωγείων. Σκοπός τους ήταν η μεταφορά νερού σε πόλεις, λουτρά, κρήνες και δημόσια κτίρια.



Εικόνα 22 Το Υδραγωγείο της Κωνσταντινούπολης

Εκτός από το *Pont du Gard* και το υδραγωγείο της Σεγόβια, σημαντικό έργο αποτελεί και το υδραγωγείο της Κωνσταντινούπολης, το οποίο επεκτάθηκε ιδιαίτερα κατά την εποχή του Ιουστινιανού. Το σύστημα αυτό είχε τεράστιο μήκος και περιλάμβανε θολωτά κανάλια, μεγάλες υδατογέφυρες και σήραγγες. Η κατασκευή του δείχνει τη συνέχεια της ρωμαϊκής τεχνικής παράδοσης και στη βυζαντινή περίοδο.

Η ρωμαϊκή γεφυροποιία δεν ήταν απλώς μια τεχνική δραστηριότητα, αλλά βασικό στοιχείο της οργάνωσης της αυτοκρατορίας. Οι γέφυρες εξυπηρετούσαν τη μετακίνηση στρατού, εμπορευμάτων και ανθρώπων, ενώ ταυτόχρονα συνέβαλλαν στη διοικητική και οικονομική ενότητα του ρωμαϊκού κόσμου.

Η χρήση του ημικυκλικού τόξου, η ακριβής λιθοδομή, η σωστή θεμελίωση και η αξιοποίηση ανθεκτικών υλικών, όπως το ρωμαϊκό σκυρόδεμα, έδωσαν στις κατασκευές αυτές εξαιρετική αντοχή.



Εικόνα 23 Pont du Gard (Γέφυρα του Γκαρ), στη νότια Γαλλία.

Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς από την UNESCO Ρωμαϊκό Υδραγωγείο του 1ου Αιώνα μ.Χ. για τη Μεταφορά Νερού σε Απόσταση Άνω των 50 Χιλιομέτρων προς την Πόλη της Νιμ

Πολλά από τα έργα αυτά σώζονται ακόμη, αποδεικνύοντας το υψηλό επίπεδο γνώσης και εμπειρίας των Ρωμαίων μηχανικών.

Συνολικά, οι ρωμαϊκές γέφυρες αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα συνδυασμού *πρακτικότητας, τεχνικής ακρίβειας και μνημειακότητας.*

Η επίδρασή τους υπήρξε καθοριστική για τη μεσαιωνική και τη νεότερη γεφυροποιία.

1.3 Η Εγνατία Οδός και οι γέφυρές της

Η Αρχαία Εγνατία Οδός ήταν ένας από τους σημαντικότερους δρόμους του αρχαίου κόσμου. Κατασκευάστηκε από τους Ρωμαίους τον 2ο αιώνα π.Χ. και συνέδεε τα παράλια της Αδριατικής με τη Μακεδονία, τη Θράκη και τελικά το Βυζάντιο. Η σημασία της ήταν στρατηγική, εμπορική και διοικητική, αφού ένωνε τη Δύση με την Ανατολή.

Οι γέφυρες της Εγνατίας ήταν απαραίτητες για τη συνέχεια της διαδρομής. Ο δρόμος περνούσε από ποτάμια, ρέματα, χαράδρες και δύσβατες περιοχές. Γι' αυτό οι Ρωμαίοι έπρεπε να προσαρμόζουν κάθε γέφυρα στις τοπικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τη μορφή της κοίτης, τη ροή του νερού και τη σταθερότητα του εδάφους.

Οι γέφυρες της Εγνατίας Οδού χαρακτηρίζονται κυρίως από:

- μικρά έως μεσαία ανοίγματα
- χρήση ημικυκλικών τόξων
- πολλαπλά διαδοχικά ανοίγματα (πολύτοξες γέφυρες)



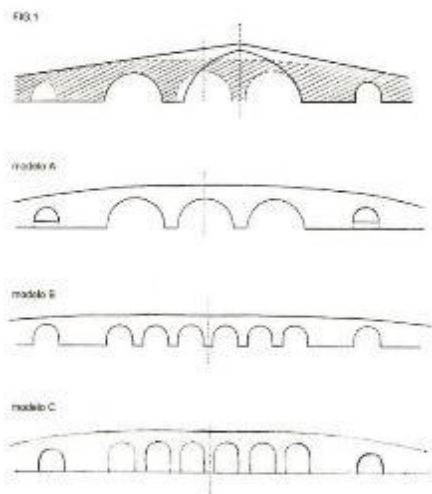
Εικόνα 24 Η Γέφυρα του Μέσι (Mesi Bridge)

Ιστορικό Οθωμανικό Πέτρινο Γεφύρι κοντά στη Σκόδρα της Αλβανίας (ενοσκητη 1770) από τον Kara Mahmud Bushati, τον τοπικό Οθωμανό πασά. Μήκος 108 μέτρων που αποτελείται από 13 ασύμμετρα πέτρινα τόξα.



Εικόνα 25 Ρωμαϊκή Γέφυρα της Vila Formosa

Ρωμαϊκή Γέφυρα με Έξι Τόξα: Σύνδεση της Olisipo (Λισαβόνα) με την Augusta Emerita (Μέριδα) του 1ου ή στις αρχές του 2ου αιώνα μ.Χ. και αποτελεί μία από τις καλύτερα διατηρημένες ρωμαϊκές γέφυρες στην Ιβηρική Χερσόνησο.



Εικόνα 26 Δομικά Διαγράμματα Ιστορικών Γεφυρών: Ανάλυση Μετατροπών από τον Μεσαίωνα έως την Αναγέννηση για τη Βελτίωση της Διέλευσης

Αρχιτεκτονικά Μοντέλα Ανακατασκευής της Ρωμαϊκής Γέφυρας της Κόρδοβα (Puente Romano de Córdoba): Σύγκριση Αρχικής και Μεταγενέστερων Μορφών FIG. 1ο ξυκόρυφη» ή κεκλιμένη μορφή της γέφυρας Modelo A, B & C θεωρητικές Προσεγγίσεις και Ιστορικές Φάσεις στην Επιπέδωση του Καταστρώματος Γέφυρας Modelo A: Επιπέδωση Καταστρώματος μέσω Ομαλής Καμπύλης με Περιορισμένο Αριθμό Τόξων Modelo B: Ομοιόμορφη Αψιδωτή Διάταξη με Σχεδόν Επίπεδο Κατάστρωμα Modelo C: Συμμετρική Αρχιτεκτονική Διάταξη με Ποικίλο Μέγεθος και Αριθμό Τόξων

Πολύτοξη γέφυρα με μικρά ανοίγματα, χαρακτηριστική της ρωμαϊκής πρακτικής. Η χρήση πολλαπλών μικρών τόξων αντί ενός μεγάλου ανοίγματος μειώνει τις οριζόντιες ωθήσεις και βελτιώνει τη συνολική ευστάθεια της κατασκευής.

Η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία. Αντί να αυξηθεί το άνοιγμα —που θα οδηγούσε σε μεγαλύτερες καταπονήσεις— επιλέγεται η διαίρεση του φορτίου σε περισσότερα σημεία στήριξης.



Εικόνα 27 υδατογέφυρα ποντ ντε γκαρ-γέφυρα της Κόρδοβα

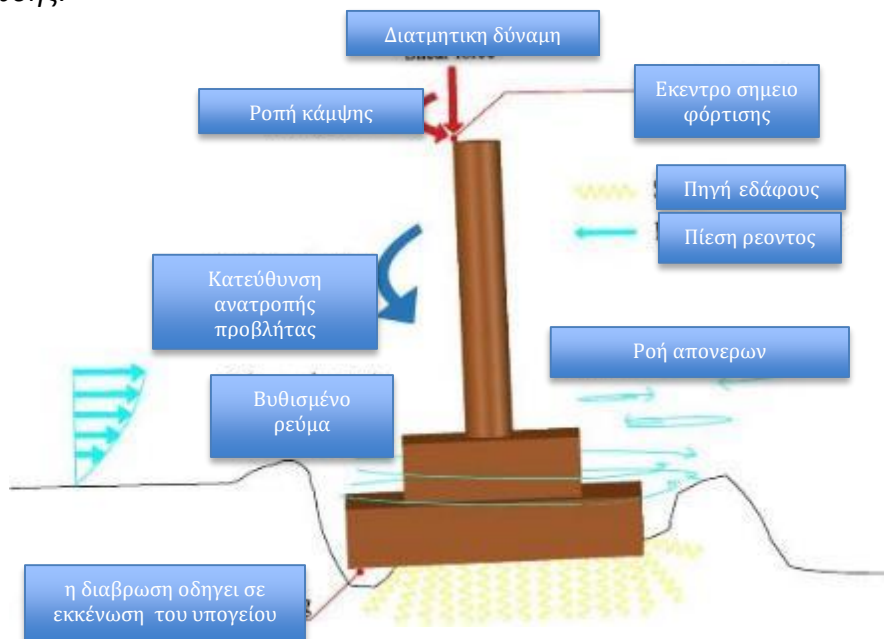
Τα βάθρα των γεφυρών της Εγνατίας Οδού δέχονται σημαντικές δράσεις από τη ροή του νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους πλημμυρών.



Εικόνα 28 Γέφυρας του Τιβέριου (Ponte di Tiberio)

μιας ιστορικής ρωμαϊκής γέφυρας στο Ρίμινι της Ιταλίας από τις καλύτερα διατηρημένες ρωμαϊκές γέφυρες στον κόσμο Δομικά Χαρακτηριστικά της Ρωμαϊκής Γέφυρας: Πέτρα στιβαρούς πυλώνες Πέντε Τόξα και Υδραυλικά Προστατευτικά Πρόβολα (Cutwaters) για την αντιμετώπιση της ορμής του ποταμού Marecchia.

Η υποσκαφή αποτελεί έναν από τους βασικότερους μηχανισμούς αστοχίας. Για τον λόγο αυτό, η γεωμετρία των βάθρων και η θεμελίωση σχεδιάζονται με στόχο τη μείωση της διάβρωσης.



Εικόνα 29 μελέτη προσομοίωσης τεχνολογίας μετατροπής οριακών συνθηκών για θεμελίωση ρηχής γέφυρας

Κατά τη βυζαντινή και την οθωμανική περίοδο πολλά από αυτά τα περάσματα συνέχισαν να χρησιμοποιούνται.

Αρκετές γέφυρες επισκευάστηκαν ή ανακατασκευάστηκαν πάνω σε παλαιότερα βάθρα.

Αυτό δείχνει ότι οι θέσεις των γεφυριών δεν ήταν τυχαίες, αλλά είχαν σταθερή γεωγραφική και στρατηγική αξία.

Ο Πευτιγγεριανός Πίνακας



Εικόνα 30 Tabula Peutingeriana, έναν αρχαίο ρωμαϊκό οδικό χάρτη που απεικονίζει το οδικό δίκτυο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας

Ο Πευτιγγεριανός Πίνακας, γνωστός και ως *Tabula Peutingeriana*, είναι ένα μεσαιωνικό αντίγραφο ρωμαϊκού οδικού χάρτη.

Ο αρχικός χάρτης θεωρείται ότι ανάγεται στον 4ο ή 5ο αιώνα μ.Χ. και παρουσιάζει σημαντικές πόλεις, δρόμους και σταθμούς της Ρωμαϊκής και αργότερα Βυζαντινής Αυτοκρατορίας.

Στον χάρτη αποτυπώνονται περιοχές της Ευρώπης, της Βόρειας Αφρικής, της Μέσης Ανατολής και της Ινδίας.

Πήρε το όνομά του από τον Γερμανό ουμανιστή Konrad Peutinger, ο οποίος υπήρξε κάτοχος του χειρογράφου τον 16ο αιώνα.

Η σημασία του είναι μεγάλη, γιατί μας βοηθά να κατανοήσουμε πώς αντιλαμβάνονταν οι Ρωμαίοι το οδικό τους δίκτυο και τις αποστάσεις μεταξύ των πόλεων.

Οι γέφυρες της Εγνατίας

Οι γέφυρες της Αρχαίας Εγνατίας ήταν απαραίτητες για τη λειτουργία του δρόμου. Η Εγνατία περνούσε από ποτάμια, ρέματα, χαράδρες και δύσβατες περιοχές, επομένως η κατασκευή γεφυρών ήταν αναγκαία για τη συνέχεια της διαδρομής.

Αν και η οδός είχε συνολικό μήκος περίπου 750 ρωμαϊκά μίλια μέχρι το Βυζάντιο, λίγες γέφυρες έχουν σωθεί ή ταυτιστεί με βεβαιότητα ως τμήμα της. Οι περισσότερες ήταν σχετικά

στενές, με πλάτος περίπου 3–4 μέτρα, ώστε να εξυπηρετούν τη διέλευση πεζών, ζώων, αμαξών και στρατιωτικών σωμάτων.

Η κατασκευή τους ακολουθούσε τις βασικές ρωμαϊκές τεχνικές. Χρησιμοποιούνταν αργολιθοδομή με κονίαμα ή χυτός πυρήνας με εξωτερική επένδυση από κατεργασμένους λίθους. Οι Ρωμαίοι προσαρμόζαν κάθε γέφυρα στις τοπικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τη μορφή του εδάφους και τη ροή των νερών.



Εικόνα 31 γέφυρα Katiu

Παραδείγματα γεφυρών που συνδέονται με την πορεία της Εγνατίας συναντώνται στην περιοχή της σημερινής Αλβανίας, όπως στο Peqin, στο Qukes Skënderbej και στην περιοχή του Ελμπασάν. Σημαντικός ήταν και ο ρόλος του ποταμού Αώου, ο οποίος στο αλβανικό τμήμα ονομάζεται Vjosa.

Η αρχαία διαδρομή ακολουθούσε σε αρκετά σημεία την κοιλάδα του ποταμού, επειδή αποτελούσε φυσικό πέρασμα ανάμεσα στην Ανατολή και τη Δύση.

Η γέφυρα Katiu, στον ποταμό Αώο, αν και είναι μεταγενέστερη οθωμανική κατασκευή του 18ου αιώνα, δείχνει τη συνεχή σημασία αυτών των περασμάτων μέσα στους αιώνες.

Ακόμη και όταν οι αρχαίες γέφυρες δεν σώζονται, η χρήση των ίδιων διαδρομών αποδεικνύει τη διαχρονική αξία της χάραξης.

1.4 Μεσαιωνική και αναγεννησιακή Ευρώπη



Εικόνα 32 Γέφυρα Νομεντάνο, η Ponte Scaligero Βερόνα

ενσωμάτωσαν οχυρωμένα χαρακτηριστικά, καθιστώντας τες στρατηγικά σημαντικά σημεία ελέγχου και άμυνας



Εικόνα 33 Cloak Bridge(Pláštový most)

είναι μια ιστορική γέφυρα που διασχίζει τον ποταμό Vltava στη μαγευτική πόλη Český Krumlov της Τσεχικής Δημοκρατίας

Κατά τον Μεσαίωνα, η γεφυροποιία συνέχισε σε μεγάλο βαθμό τη ρωμαϊκή παράδοση, αλλά απέκτησε και νέα χαρακτηριστικά. Μια σημαντική εξέλιξη ήταν η χρήση της οξυκόρυφης καμάρας, η οποία μείωνε τις οριζόντιες πιέσεις στα βάθρα και επέτρεπε μεγαλύτερα ανοίγματα. Παράλληλα, πολλές μεσαιωνικές γέφυρες είχαν και άλλες λειτουργίες: χρησιμοποιούνταν ως σημεία ελέγχου, ως χώροι είσπραξης διοδίων, ως οχυρώσεις ή ακόμη και ως εμπορικοί δρόμοι με καταστήματα.



Εικόνα 34 Ponte Vecchio , Η γέφυρα του Rialto – Βενετία

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η *Ponte Vecchio* στη Φλωρεντία, η οποία δεν λειτουργούσε μόνο ως πέρασμα πάνω από τον Άρνο, αλλά και ως χώρος εμπορικής δραστηριότητας.



Εικόνα 35 Γέφυρα του Καρόλου στην Πράγα

Αντίστοιχα, η *Γέφυρα του Καρόλου* στην Πράγα συνδύασε τη συγκοινωνιακή χρήση με έντονο μνημειακό και συμβολικό χαρακτήρα.

Κατά την Αναγέννηση η εμπειρική γνώση των προηγούμενων αιώνων άρχισε να συνδυάζεται με πιο συστηματική μελέτη, γεωμετρία και υπολογισμό.

Οι γέφυρες απέκτησαν πιο καθαρές αναλογίες, λεπτότερα βάθρα και μεγαλύτερη αισθητική φροντίδα.

Η μετάβαση αυτή οδήγησε σταδιακά στη νεότερη γεφυροποιία, όπου το σίδηρο, ο χυτοσίδηρος, ο χάλυβας και αργότερα το οπλισμένο σκυρόδεμα άλλαξαν ριζικά τις δυνατότητες κατασκευής.

Από την πέτρα στο σίδηρο και το σκυρόδεμα

Μέχρι και τον 17ο αιώνα, οι περισσότερες γέφυρες βασίζονταν στη ρωμαϊκή τεχνική παράδοση, με κύριο στοιχείο το τόξο και βασικό υλικό την πέτρα.

Από τον 18ο αιώνα και μετά, η γεφυροποιία αρχίζει να αλλάζει. Η Βιομηχανική Επανάσταση φέρνει νέα υλικά, όπως ο χυτοσίδηρος, ο σίδηρος, το ατσάλι και αργότερα το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η Iron Bridge κοντά στο Coalbrookdale, που κατασκευάστηκε στα τέλη του 18ου αιώνα, θεωρείται η πρώτη γέφυρα από χυτοσίδηρο και αποτελεί σύμβολο της Βιομηχανικής Επανάστασης.

Παρόλο που ήταν μεταλλική, η σύνδεση των στοιχείων της ακολούθησε τεχνικές που προέρχονταν από την ξυλοδομική παράδοση, δείχνοντας τη μεταβατική φύση της εποχής.



Εικόνα 36 Η κατασκευή της πρώτης γέφυρας πραγματοποιήθηκε το 1875 από τον Joseph Monier

Το 1875 ο Joseph Monier εφάρμοσε το οπλισμένο σκυρόδεμα στην κατασκευή γέφυρας, ανοίγοντας τον δρόμο για μια νέα περίοδο στη γεφυροποιία. Το σκυρόδεμα και ο σίδηρος επέτρεψαν τη δημιουργία μεγαλύτερων ανοιγμάτων, λεπτότερων φορέων και πιο οικονομικών κατασκευών.



Εικόνα 37 Γέφυρα Μάναρη διατηρητέο μνημείο του οραματισμού του Χαρίλαου Τρικούπη που πίστευε πολύ στον σιδηρόδρομο

Στην Ελλάδα, χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεταβατικής περιόδου είναι η σιδηροδρομική γέφυρα του Μάναρη στην Αρκαδία.

Κατασκευάστηκε μεταξύ 1890 και 1896, στο πλαίσιο της ανάπτυξης του σιδηροδρομικού δικτύου την εποχή του Χαρίλαου Τρικούπη.

Είναι οκτάτοξη πέτρινη γέφυρα, μήκους περίπου 116 μέτρων, και ξεχωρίζει για την καμπύλη χάραξή της και την εξαιρετική ποιότητα της λιθοδομής της.

Στις αρχές του 20ού αιώνα, η τεχνική του προεντεταμένου σκυροδέματος έφερε νέα επανάσταση.



Εικόνα 38 γέφυρα Ironbridge (σιδηρά γέφυρα) κοντά στο Coalbrookdale

Η γέφυρα Plougastel, ή Albert-Louppe Bridge, στη Γαλλία, έργο του Eugène Freyssinet, αποτέλεσε ένα από τα πρώτα σημαντικά παραδείγματα εφαρμογής αυτής της τεχνικής στη γεφυροποιία.



Εικόνα 39 Η γέφυρα Plougastel,

Το προεντεταμένο σκυρόδεμα επέτρεψε την κατασκευή μεγαλύτερων και λεπτότερων φορέων.

Παράλληλα, η ξύλινη γεφυροποιία δεν εξαφανίστηκε.



Εικόνα 40 Γέφυρα Chengyang στο Γκουιλίν

Η γέφυρα *Chengyang* στην Κίνα, που κατασκευάστηκε το 1916, αποτελεί εντυπωσιακό παράδειγμα παραδοσιακής ξύλινης τεχνικής.

Είναι στεγασμένη γέφυρα, κατασκευασμένη χωρίς μεταλλικά καρφιά, με ξύλινες ενώσεις που δείχνουν την ευρηματικότητα της τοπικής τεχνικής παράδοσης.

Η εξέλιξη της γεφυροποιίας δείχνει μια συνεχή πορεία από την εμπειρική γνώση προς την επιστημονική μηχανική.

Οι Ρωμαίοι έθεσαν τις βάσεις με το ημικυκλικό τόξο και τη στιβαρή λιθοδομή. Ο Μεσαίωνας πρόσθεσε την οξυκόρυφη καμάρα και τη χρήση της γέφυρας ως πολυλειτουργικού χώρου.

Το Βυζάντιο και η οθωμανική περίοδος διατήρησαν και προσαρμόσαν παλαιότερες τεχνικές, ενώ η Αναγέννηση οδήγησε σε πιο συστηματική μελέτη της μορφής και της στατικής συμπεριφοράς.

Περίοδος	Τεχνολογία	Χαρακτηριστικό
Αρχαία	Δοκοί	Μικρά ανοίγματα
Ρωμαϊκή	Τόξο	Μεγάλη αντοχή
Μεσαίωνας	Οξυκόρυφα	Μείωση ωθήσεων
Σύγχρονη	Σκυρόδεμα	Μεγάλα ανοίγματα

2. Η παραδοσιακή πέτρινη γέφυρα στον ελληνικό χώρο

2.1 Κοινωνική και οικονομική σημασία

Τα πέτρινα γεφύρια στον ελληνικό χώρο, ιδιαίτερα στην Ήπειρο, τη Θεσσαλία, τη Μακεδονία και την Πελοπόννησο, είχαν μεγάλη σημασία για την καθημερινή ζωή. Δεν ήταν απλώς τεχνικά έργα. Ήταν περάσματα ανθρώπων, ζώων, εμπορευμάτων και ειδήσεων. Σε μια εποχή όπου οι μετακινήσεις ήταν δύσκολες, ένα γεφύρι μπορούσε να ενώσει χωριά, να ανοίξει εμπορικούς δρόμους και να διευκολύνει την πρόσβαση σε αγορές, καλλιεργήσιμες εκτάσεις, μοναστήρια και διοικητικά κέντρα.



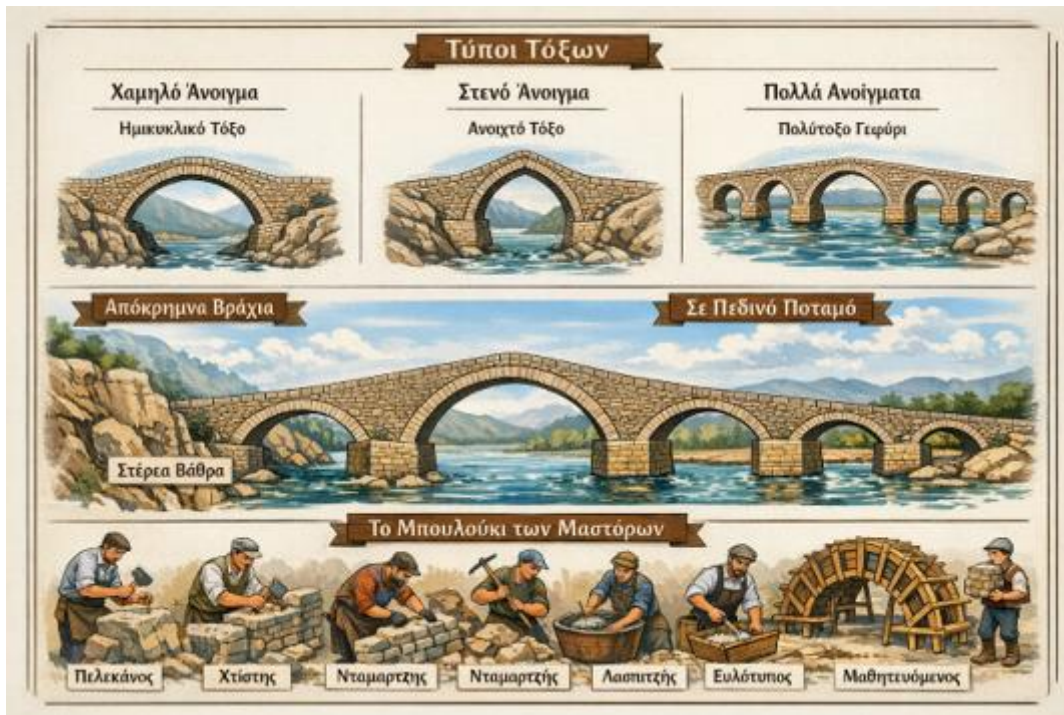
Εικόνα 41 γεφύρι της Καρύταινας

Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας, οι *πραματευτάδες*, οι *γυρολόγοι* και οι *αγωγιάτες* περνούσαν από τέτοια γεφύρια μεταφέροντας υφάσματα, εργαλεία, τρόφιμα, καπνό, δέρματα και άλλα προϊόντα. Μαζί με τα εμπορεύματα μετέφεραν και ειδήσεις, πληροφορίες και νέες ιδέες. Έτσι, το γεφύρι λειτουργούσε ως *κόμβος επικοινωνίας* και όχι μόνο ως κατασκευή.

Πολλά γεφύρια κατασκευάστηκαν με *χρηματοδότηση εμπόρων, μοναστηριών, τοπικών αρχόντων ή ολόκληρων κοινοτήτων*. Η κατασκευή τους θεωρούνταν πράξη προσφοράς, επειδή εξυπηρετούσε το κοινό συμφέρον. Για αυτό αρκετά γεφύρια φέρουν επιγραφές με το όνομα του *χορηγού* ή τη χρονολογία κατασκευής.

2.2 Οι μάστορες και τα μπουλούκια

Η κατασκευή των πέτρινων γεφυριών απαιτούσε μεγάλη εμπειρία. Οι τεχνίτες οργανώνονταν σε ομάδες, τα *γνωστά μπουλούκια*, που μετακινούνταν από τόπο σε τόπο αναλαμβάνοντας έργα.



Στην κορυφή της ομάδας βρισκόταν ο πρωτομάστορας, ο οποίος είχε την ευθύνη για την επιλογή της θέσης, τη χάραξη, τη μορφή του τόξου και την οργάνωση της εργασίας.

Οι μάστορες δεν διέθεταν πάντα θεωρητική εκπαίδευση με τη σημερινή έννοια, είχαν όμως βαθιά εμπειρική γνώση.

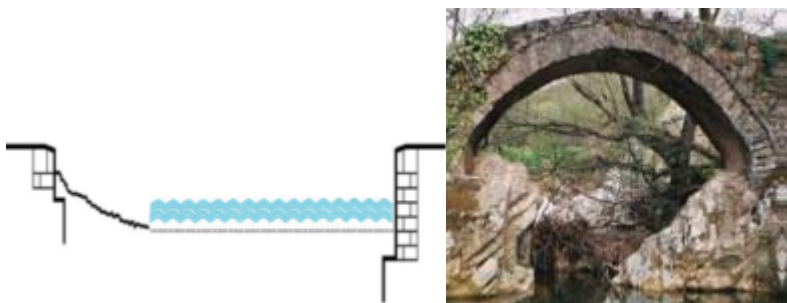
Παρατηρούσαν το έδαφος, τη ροή του νερού, τη συμπεριφορά της πέτρας και τον τρόπο με τον οποίο οι δυνάμεις μεταφέρονται μέσα από το τόξο προς τα βάθρα.

Η επιτυχία ενός γεφυριού εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από αυτή την εμπειρία.

2.3 Επιλογή θέσης και θεμελίωση

Η επιλογή της θέσης ήταν από τα πιο κρίσιμα στάδια. Οι μάστορες αναζητούσαν συνήθως ένα στενό σημείο του ποταμού, όπου οι όχθες ήταν βραχώδεις και σταθερές.

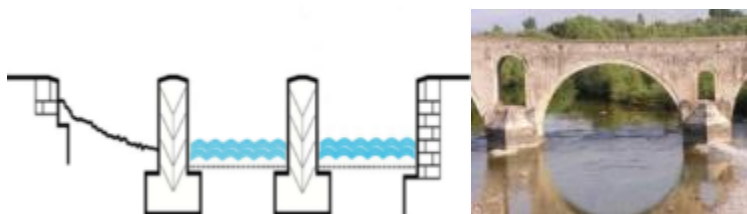
Η βραχώδης θεμελίωση ήταν απαραίτητη, γιατί τα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα έπρεπε να μεταφέρουν με ασφάλεια τα φορτία της γέφυρας στο έδαφος.



Εικόνα 42 Διαμόρφωση Όχθης και Κατασκευή Ακρόβαθρων σε Γέφυρες

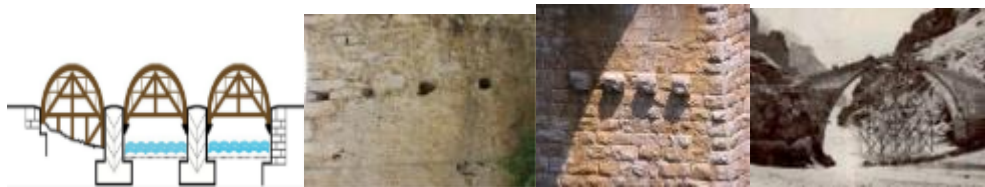
Εικόνα 43 μονότοξο πέτρινο γεφύρι, Γεφυράκι στο Ποταμάκι, στην Πάλαιρο της Αιτωλοακαρνανίας

Πριν ξεκινήσει το χτίσιμο, η όχθη διαμορφωνόταν με *λάξευση* του βράχου. Δημιουργούνταν έτσι *βαθμίδες* ή *εσοχές* όπου θα πατούσαν τα *ακρόβαθρα*.



Εικόνα 44 Καταπόνηση Μεσοβάθρων από Ροή Υδάτων και Προστασία με Υδραυλικούς Πρόβολους στα Παραδοσιακά Γεφύρια (γεφυρι Αρτας)

Σε ποτάμια με συνεχή ροή, οι εργασίες γίνονταν συνήθως το καλοκαίρι, όταν η στάθμη του νερού ήταν χαμηλή.



Εικόνα 45 Στήριξη Ευλότυπου στις Γενέσεις των Τόξων μέσω Εσοχών και Προεξοχών στα Βάθρα Γέφυρα της Κόνιτσα ποταμό Αώο

Σε πιο δύσκολες περιπτώσεις γινόταν προσωρινή *εκτροπή* του νερού, ώστε να κατασκευαστούν τα βάθρα μέσα στην κοίτη.

2.4 Το τόξο και η μεταφορά των δυνάμεων

Το τόξο είναι το βασικότερο στοιχείο της πέτρινης γέφυρας. Η λειτουργία του βασίζεται κυρίως στη *θλίψη*.

Οι *θολίτες* πιέζουν ο ένας τον άλλον και οι δυνάμεις μεταφέρονται από την κορυφή προς τις βάσεις του τόξου και από εκεί στα βάθρα. Για να είναι ασφαλές το τόξο, η γραμμή

των πιέσεων πρέπει να παραμένει μέσα στο πάχος του. Αν οι ωθήσεις ξεφύγουν από αυτό το όριο, μπορεί να εμφανιστούν ρωγμές ή αστοχία.



Εικόνα 46 Θολίτες και Τρόπος Δόμησης του Τόξου με Συμμετρική Τοποθέτηση από τις Δύο Πλευρές γεφυρι Κόκκορη

Οι θολίτες τοποθετούνταν ταυτόχρονα από τις δύο πλευρές πάνω σε ξύλινο καλούπι, τον ξυλότυπο.

Στο ανώτερο σημείο τοποθετούνταν το κλειδί, ο τελευταίος και πιο σημαντικός λίθος. Με την τοποθέτησή του το τόξο ολοκληρωνόταν και μπορούσε να σταθεί μόνο του.

Η αφαίρεση του ξυλότυπου, το λεγόμενο ξεκαλούπωμα, ήταν κρίσιμη στιγμή, γιατί τότε φαινόταν αν η κατασκευή είχε σωστή γεωμετρία και ισορροπία.

2.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Τα παραδοσιακά πέτρινα γεφύρια έχουν χαρακτηριστική μορφή, που προκύπτει από τη σχέση κατασκευής και τοπίου.

Μπορεί να είναι μονότοξα, δίτοξα ή πολύτοξα, ανάλογα με το πλάτος της κοίτης και τις τοπικές συνθήκες.

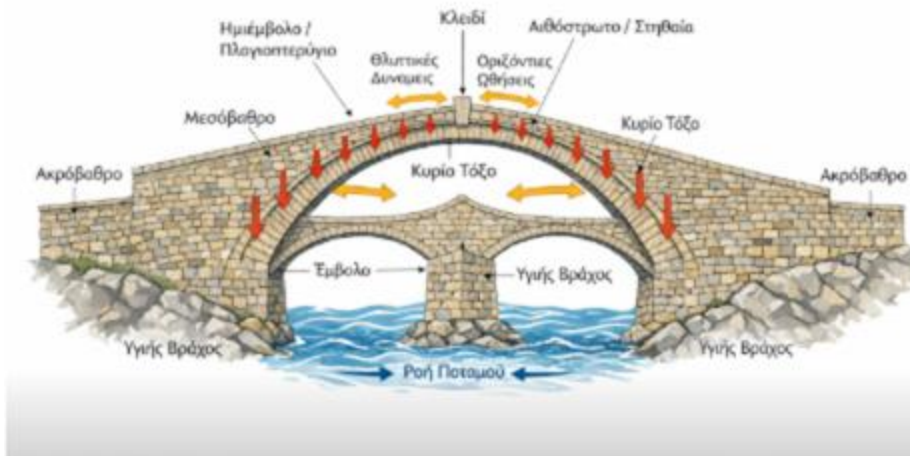


Εικόνα 47 Γεφύρι Πορτίτσας (Ν. Γρεβενών), Σαρακήνα Τρικάλων



Εικόνα 48 Τρίτοξο Γεφύρι Λαλακιάς (γέφυρα Αγ. Γεωργίου) Σύρος, Γεφύρι Κεραμιδιού Φαρκαδόνας (Ν. Τρικάλων)

Στα μεγάλα γεφύρια συναντώνται συχνά *ανακουφιστικά τόξα*, δηλαδή μικρότερα ανοίγματα που μειώνουν το βάρος της τοιχοποιίας και επιτρέπουν στο νερό να περνά σε περιόδους πλημμύρας.



Στα βάθρα κατασκευάζονταν συχνά *πρόβολοι*, κυρίως *τριγωνικοί*, που έσπαζαν τη δύναμη του νερού και προστάτευαν τη θεμελίωση από τη διάβρωση.

Το κατάστρωμα ήταν συνήθως λιθόστρωτο και στις άκρες τοποθετούνταν *αρκάδες* ή χαμηλά σπηθαία για την προστασία των περαστικών.

Σε ορισμένα ψηλά γεφύρια υπήρχε ακόμη και μικρή καμπάνα που προειδοποιούσε για δυνατό άνεμο.

3. Υλικά και τεχνικές κατασκευής

3.1 Πέτρα και λιθοδομή

Το βασικό υλικό των παραδοσιακών γεφυριών ήταν η πέτρα. Συνήθως χρησιμοποιούνταν τοπικά πετρώματα, όπως ασβεστόλιθος, πωρόλιθος, σχιστόλιθος ή γρανίτης, ανάλογα με τη γεωλογία της περιοχής.

Η χρήση τοπικών υλικών μείωνε το κόστος μεταφοράς και βοηθούσε την ένταξη του γεφυριού στο φυσικό περιβάλλον.

Οι πέτρες του τόξου έπρεπε να είναι καλά λαξευμένες, γιατί από την ακρίβεια της εφαρμογής τους εξαρτιόταν η στατική λειτουργία της καμάρας.



Εικόνα 49 Άρπιζα ή τζινέτι

Άρπιζα (Αρπάγια): Σιδερένια Συνδετικά Στοιχεία Ενίσχυσης της Λιθοόκτιστης Καμάρας

Βυζαντινό Γεφύρι "Κιονπρί" στην Έδεσσα.

Στα τύμπανα και στα εσωτερικά γεμίσματα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πιο ακανόνιστες πέτρες, όμως οι εξωτερικές όψεις διαμορφώνονταν πιο προσεκτικά για λόγους αντοχής και αισθητικής.

3.2 Κονιάματα

Τα κονιάματα είχαν σημαντικό ρόλο στη συνοχή της λιθοδομής.

Παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν ασβεστοκονιάματα, τα οποία παρασκευάζονταν με ασβέστη, άμμο και νερό.

Σε ορισμένες περιπτώσεις προστίθενταν κεραμάλευρο ή άλλα υλικά, ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του μίγματος. Η ποιότητα του κονιάματος επηρέαζε την αντοχή, την υδατοπερατότητα και τη διάρκεια ζωής του γεφυριού.

Στην αποκατάσταση παλιών γεφυριών είναι πολύ σημαντικό το νέο κονίαμα να είναι συμβατό με το παλιό.

Ένα πολύ ισχυρό τσιμεντοκονίαμα, για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, επειδή δεν συνεργάζεται σωστά με την παλιά λιθοδομή και μπορεί να παγιδεύσει υγρασία.

Για αυτό πριν από κάθε επέμβαση χρειάζεται *ανάλυση των ιστορικών κονιαμάτων*.

3.3 Ξύλο και βοηθητικές κατασκευές

Το ξύλο χρησιμοποιούνταν κυρίως για προσωρινές κατασκευές, όπως *ικριώματα, καλούπια και ξυλότυπους*.

Ο ξυλότυπος έδινε το σχήμα του τόξου και κρατούσε τους θολίτες μέχρι να τοποθετηθεί το κλειδί.

Η κατασκευή του απαιτούσε ακρίβεια, επειδή οποιοδήποτε λάθος στη γεωμετρία μπορούσε να μεταφερθεί στο ίδιο το τόξο.

Σε ορισμένες περιπτώσεις ξύλινα στοιχεία χρησιμοποιούνταν και στη θεμελίωση, κυρίως με μορφή πασσάλων.

Το ξύλο ήταν πιο ευάλωτο στον χρόνο, όμως σε υγρό περιβάλλον και χωρίς επαφή με τον αέρα μπορούσε να διατηρηθεί για μεγάλο διάστημα.

4. Φθορές και βλάβες των παραδοσιακών γεφυριών

4.1 Αίτια φθοράς

Τα παραδοσιακά γεφύρια είναι εκτεθειμένα σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ροή του νερού, οι πλημμύρες, η διάβρωση της κοίτης, οι μετακινήσεις του εδάφους, οι σεισμοί, ο παγετός και η βλάστηση μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές φθορές. Επιπλέον, οι ανθρώπινες επεμβάσεις, η εγκατάλειψη, η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων ή οι πρόχειρες επισκευές με ακατάλληλα υλικά επιταχύνουν τη φθορά.

Τα αίτια μπορούν να διακριθούν σε ενδογενή και εξωγενή.

Ενδογενή είναι όσα σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή, όπως κακή ποιότητα λίθων, ασθενές κονίαμα, ανεπαρκής θεμελίωση ή λανθασμένη γεωμετρία.

Εξωγενή είναι όσα προέρχονται από το περιβάλλον και τη χρήση, όπως σεισμοί, πλημμύρες, υγρασία, παγετός, ρίζες φυτών και μηχανικές καταπονήσεις.

Μηχανισμός	Αίτιο	Συνέπεια
Υποσκαφή	Ροή νερού	Καθίζηση βάθρων
Ρηγματώσεις	Μετατόπιση φορτίων	Απώλεια συνοχής
Διάβρωση	Υγρασία	Αποσάθρωση υλικού
Αστοχία τόξου	Έξοδος γραμμής ώθησης	Κατάρρευση

4.2 Συνήθεις μορφές βλάβης

Οι πιο συνηθισμένες βλάβες είναι οι ρωγμές στο τόξο, οι αποκολλήσεις λίθων, η απώλεια κονιάματος από τους αρμούς, η παραμόρφωση των τυμπάνων, η αποσάθρωση των λίθων, η διάβρωση στη θεμελίωση και η ανάπτυξη βλάστησης μέσα στη λιθοδομή.

Ιδιαίτερα επικίνδυνη είναι η *υποσκαφή των βάθρων* από το νερό, επειδή μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια στήριξης και τελικά σε κατάρρευση.

Η εμφάνιση ρωγμών δεν σημαίνει πάντα άμεση αστοχία, αλλά χρειάζεται προσεκτική αξιολόγηση.

Η θέση, το πλάτος και η εξέλιξή τους δείχνουν αν πρόκειται για επιφανειακή φθορά ή για σοβαρό στατικό πρόβλημα.

Για παράδειγμα, ρωγμές κοντά στις γενέσεις του τόξου ή στο κλειδί μπορεί να δείχνουν μεταβολή της γραμμής πιέσεων και ανάγκη άμεσης επέμβασης.

4.3 Διάγνωση και τεκμηρίωση

Πριν από οποιαδήποτε επέμβαση απαιτείται *τεκμηρίωση*.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει ιστορική έρευνα, αποτύπωση της γεωμετρίας, φωτογραφική καταγραφή, καταγραφή των υλικών, χαρτογράφηση των βλαβών και έλεγχο της θεμελίωσης. Σήμερα χρησιμοποιούνται και ψηφιακά μέσα, όπως τρισδιάστατη σάρωση, φωτογραμμετρία και συστήματα παρακολούθησης μετακινήσεων.

Για τον έλεγχο της δομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν μη καταστρεπτικές μέθοδοι, όπως *γεωραντάρ, υπέρηχοι, θερμογραφίας, ενδοσκοπήση και κρουσιμετρήσεις*.

Σε ειδικές περιπτώσεις λαμβάνονται μικρά δείγματα κονιάματος ή λίθου για εργαστηριακή *ανάλυση*.

Η διάγνωση πρέπει να προηγείται της λύσης, γιατί διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος να εφαρμοστούν επεμβάσεις που δεν αντιμετωπίζουν την πραγματική αιτία του προβλήματος.

Μέθοδος	Πλεονέκτημα
Οπτικός έλεγχος	Γρήγορος
Φωτογραμμετρία	Ακριβής
Γεωραντάρ	Εσωτερικός έλεγχος
Υπέρηχοι	Ανίχνευση κενών

5. Αρχές αποκατάστασης και ενίσχυσης

5.1 Σεβασμός στην αυθεντικότητα

Η αποκατάσταση ενός παραδοσιακού γεφυριού δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται όπως μια συνηθισμένη τεχνική επισκευή.

Το γεφύρι είναι *μνημείο*, επομένως χρειάζεται σεβασμός στην ιστορική του μορφή, στα υλικά και στην τεχνική των παλιών μαστόρων.

Βασική αρχή είναι να διατηρείται όσο γίνεται περισσότερο το *αυθεντικό υλικό* και να αποφεύγονται επεμβάσεις που αλλοιώνουν τον χαρακτήρα του.

Η επέμβαση πρέπει να είναι αναγκαία, τεκμηριωμένη και όσο το δυνατόν πιο ήπια. Δεν είναι σωστό να αντικαθίσταται ένα μεγάλο μέρος της κατασκευής χωρίς λόγο, ούτε να καλύπτεται η παλιά λιθοδομή με σύγχρονα υλικά που αλλοιώνουν την εικόνα και τη συμπεριφορά της.

5.2 Συμβατότητα υλικών

Τα υλικά αποκατάστασης πρέπει να είναι *συμβατά* με τα αρχικά. Αυτό αφορά τη μηχανική αντοχή, την ελαστικότητα, την υδατοπερατότητα, τη χημική σύσταση και την αισθητική εμφάνιση.

Για παράδειγμα, ένα κονίαμα πολύ σκληρό σε σχέση με την παλιά πέτρα μπορεί να προκαλέσει συγκέντρωση τάσεων και νέες φθορές.

Η επιλογή νέων λίθων πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε να ταιριάζουν με τους παλιούς ως προς το είδος, το χρώμα, την υφή και την αντοχή.

Η αποκατάσταση δεν σημαίνει να γίνει το γεφύρι «καινούργιο», αλλά να σταθεροποιηθεί και να συνεχίσει να υπάρχει με σεβασμό στην ηλικία και την ιστορία του.

5.3 Αναστρεψιμότητα και ελάχιστη επέμβαση

Όπου είναι δυνατό, οι επεμβάσεις πρέπει να είναι *αναστρέψιμες*, δηλαδή να μπορούν να αφαιρεθούν στο μέλλον χωρίς να καταστραφεί το μνημείο. Παράλληλα εφαρμόζεται η *αρχή της ελάχιστης επέμβασης*: γίνεται μόνο ό,τι είναι απαραίτητο για τη στατική ασφάλεια, τη διατήρηση και τη χρήση του γεφυριού.

Αυτές οι αρχές είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε ιστορικά γεφύρια, επειδή κάθε επέμβαση αφήνει ίχνος. Ένα έργο αποκατάστασης πρέπει να ισορροπεί ανάμεσα στην ασφάλεια, την αυθεντικότητα και τη δυνατότητα χρήσης.

6. Τεχνικές επισκευής, αποκατάστασης και ενίσχυσης

6.1 Καθαρισμός και απομάκρυνση βλάστησης

Μια πρώτη βασική επέμβαση είναι ο καθαρισμός της κατασκευής. Η βλάστηση που αναπτύσσεται στους αρμούς μπορεί να προκαλέσει αποσάθρωση, επειδή οι ρίζες ανοίγουν τα κενά και συγκρατούν υγρασία.

Η απομάκρυνση πρέπει να γίνεται προσεκτικά, ώστε να μη διαταραχθεί η λιθοδομή. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται και *καθαρισμός της κοίτης* από φερτά υλικά, όταν αυτά αλλάζουν τη ροή του νερού και αυξάνουν την πίεση στα βάθρα.

6.2 Αρμολόγημα και βαθύ αρμολόγημα

Το αρμολόγημα εφαρμόζεται όταν οι αρμοί έχουν χάσει το κονιάμά τους ή παρουσιάζουν έντονη φθορά.

Αρχικά αφαιρούνται τα σαθρά υλικά και καθαρίζονται οι αρμοί. Έπειτα τοποθετείται νέο συμβατό κονίαμα, συνήθως ασβεστοκονίαμα, με τρόπο που να προστατεύει τη λιθοδομή και να επιτρέπει τη σωστή διαπνοή.

Σε περιπτώσεις βαθύτερης αποδιοργάνωσης εφαρμόζεται βαθύ αρμολόγημα.

Η επέμβαση αυτή δεν περιορίζεται στην επιφάνεια, αλλά γεμίζει βαθύτερα κενά της τοιχοποιίας. Χρειάζεται όμως προσοχή, γιατί η υπερβολική πίεση ή ένα ακατάλληλο υλικό μπορεί να προκαλέσει νέες βλάβες.

6.3 Ενέματα και ομογενοποίηση μάζας

Οι *ενέσεις κονιαμάτων* χρησιμοποιούνται για την πλήρωση εσωτερικών κενών και τη βελτίωση της συνοχής της λιθοδομής.

Το *ένεμα* πρέπει να έχει κατάλληλη *ρευστότητα, μικρή συρρίκνωση και συμβατότητα με τα παλιά υλικά*.

Συνήθως προτιμώνται ενέματα με βάση τον ασβέστη ή άλλα συμβατά υδραυλικά συνδετικά.

Η εφαρμογή γίνεται από χαμηλά προς τα ψηλά, ώστε να γεμίζουν σταδιακά τα κενά. Πριν από την επέμβαση χρειάζεται διερεύνηση της εσωτερικής κατάστασης της τοιχοποιίας,

γιατί σε μια πολύ διαταραγμένη κατασκευή οι ενέσεις μπορεί να μην είναι αρκετές ή να χρειαστούν σε συνδυασμό με άλλες ενισχύσεις.

6.4 Συρραφή ρωγμών

Η *συρραφή ρωγμών* εφαρμόζεται όταν υπάρχουν έντονες ρηγματώσεις που διακόπτουν τη συνέχεια της λιθοδομής.

Μπορεί να γίνει με αντικατάσταση λίθων, με τοποθέτηση *λίθινων ή μεταλλικών συνδέσμων*, ή με ειδικές *ράβδους που ενώνουν τα δύο τμήματα της ρωγμής*.

Σκοπός είναι να αποκατασταθεί η συνεργασία της τοιχοποιίας.

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τη θέση και το άνοιγμα της ρωγμής.

Σε ιστορικά γεφύρια πρέπει να αποφεύγονται λύσεις που φαίνονται έντονα ή αλλοιώνουν την όψη, εκτός αν είναι απολύτως αναγκαίες για λόγους ασφάλειας.

6.5 Τοπική ανακατασκευή

Όταν κάποια τμήματα έχουν καταρρεύσει ή είναι τελείως σαθρά, μπορεί να χρειαστεί τοπική καθαίρεση και ανακατασκευή.

Η ανακατασκευή πρέπει να γίνεται με *πέτρα παρόμοια με την αρχική και με παραδοσιακό τρόπο δόμησης*.

Οι νέες προσθήκες καλό είναι να είναι *αναγνωρίσιμες* σε προσεκτική παρατήρηση, χωρίς όμως να διαταράσσουν τη συνολική εικόνα του μνημείου.

Σε σοβαρές περιπτώσεις, όπως η απώλεια τμήματος του τόξου, η ανακατασκευή απαιτεί ειδική μελέτη, νέο ξυλότυπο και σταδιακή επανατοποθέτηση θολιτών.

Η γεωμετρία πρέπει να αποδοθεί με ακρίβεια, γιατί το τόξο λειτουργεί σωστά μόνο όταν η μορφή του είναι στατικά κατάλληλη.

6.6 Ενίσχυση θεμελίωσης

Η θεμελίωση είναι από τα πιο κρίσιμα σημεία μιας γέφυρας.

Αν υπάρχει υποσκαφή ή καθίζηση, πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα.

Οι επεμβάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν προστασία της κοίτης με *λιθορριπές, κατασκευή αναβαθμών, ενίσχυση βάθρων, μικροπασσάλους ή ριζοπασσάλους*, ανάλογα με το πρόβλημα.

Η επέμβαση στη θεμελίωση πρέπει να σχεδιάζεται με μεγάλη προσοχή, επειδή επηρεάζει ολόκληρη την κατασκευή.

Δεν αρκεί να ενισχυθεί το βάθρο αν η ροή του νερού συνεχίζει να προκαλεί διάβρωση. Χρειάζεται συνδυασμένη αντιμετώπιση της γέφυρας και του υδραυλικού περιβάλλοντος.

Μεθοδολογία επέμβασης

Η επέμβαση οργανώνεται σε διακριτά στάδια:

1. Αποτύπωση – Τεκμηρίωση

- γεωμετρία, ρωγμές, καθιζήσεις

2. Διάγνωση μηχανισμού βλάβης

- θεμελίωση / τόξο / αρμοί

3. Επιλογή τεχνικής λύσης

- ενέματα, αναδόμηση, θεμελίωση

4. Δοκιμαστική εφαρμογή (pilot)

- έλεγχος συμπεριφοράς υλικών

5. Κύρια επέμβαση

6. Παρακολούθηση μετά την επέμβαση

Η διαδικασία ακολουθεί λογική από την παρατήρηση στη διάγνωση και από εκεί στην επέμβαση, αποφεύγοντας αυθαίρετες λύσεις. Η χρήση CHECKLIST βοηθάει τον Μηχανικό:

ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

- Έχει αποτυπωθεί πλήρως η γεωμετρία;
- Έχει εντοπιστεί ο μηχανισμός βλάβης;
- Έχουν ελεγχθεί τα υλικά;

ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

- Τα υλικά είναι συμβατά;
- Η εφαρμογή γίνεται ομοιόμορφα;
- Τηρείται η αρχική γεωμετρία;

ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

- Υπάρχουν νέες ρωγμές;
- Υπάρχουν μετακινήσεις;
- Έχει επηρεαστεί η απορροή νερού;

Παράμετρος	Επίδραση
Λόγος ανοίγματος/ύψους	Καθορίζει τη μορφή τάσεων
Πάχος τόξου	Αυξάνει ευστάθεια
Ποιότητα λιθοδομής	Επηρεάζει αντοχή
Δυσκαμψία θάδρων	Μειώνει μετακινήσεις

Πρόβλημα	Λύση
Ρωγμές	Συρραφή
Κενά	Ενέματα
Διάβρωση	Καθαρισμός
Υποσκαφή	Ενίσχυση θεμελίωσης

6.7 Υλικά επεμβάσεων

Η επιλογή υλικών στις επεμβάσεις αποτελεί κρίσιμο ζήτημα, καθώς η ασυμβατότητα μπορεί να δημιουργήσει νέες βλάβες.

Κύρια υλικά

- **Φυσικοί λίθοι:** συμβατοί με την υπάρχουσα λιθοδομή (ίδιος τύπος/πυκνότητα)
- **Ασβεστοκονιάματα:** προτιμώνται λόγω συμβατότητας και διαπνοής
- **Ποζολανικά κονιάματα:** για αυξημένη αντοχή σε υγρό περιβάλλον
- **Αδρανή:** διαβάθμιση αντίστοιχη των αρχικών

Αποφυγή

- ισχυρά τσιμεντοκονιάματα (υψηλό μέτρο ελαστικότητας E θα οδηγήσει σε ρηγματώσεις)
- υλικά χαμηλής διαπερατότητας (παγίδευση υγρασίας)

Η συμβατότητα αφορά όχι μόνο αντοχή, αλλά και **παραμορφωσιμότητα και διαπνοή**.

Υλικό	Αντοχή σε θλίψη	Αντοχή σε εφελκυσμό	Συμπεριφορά
Πέτρα	Υψηλή	Πολύ χαμηλή	Ψαθυρή
Κονίαμα	Μέτρια	Χαμηλή	Συμβατό
Σκυρόδεμα	Υψηλή	Μέτρια	Ανθεκτικό

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύγχρονα υλικά, όπως μεταλλικές ράβδοι, ανοξείδωτοι σύνδεσμοι ή ινοπλισμένα πολυμερή.

Τα υλικά αυτά μπορούν να αυξήσουν την αντοχή, όμως στα ιστορικά μνημεία πρέπει να χρησιμοποιούνται με φειδώ.

Η βασική δυσκολία είναι η συμβατότητα με την παλιά λιθοδομή και η διατήρηση της αυθεντικής μορφής.

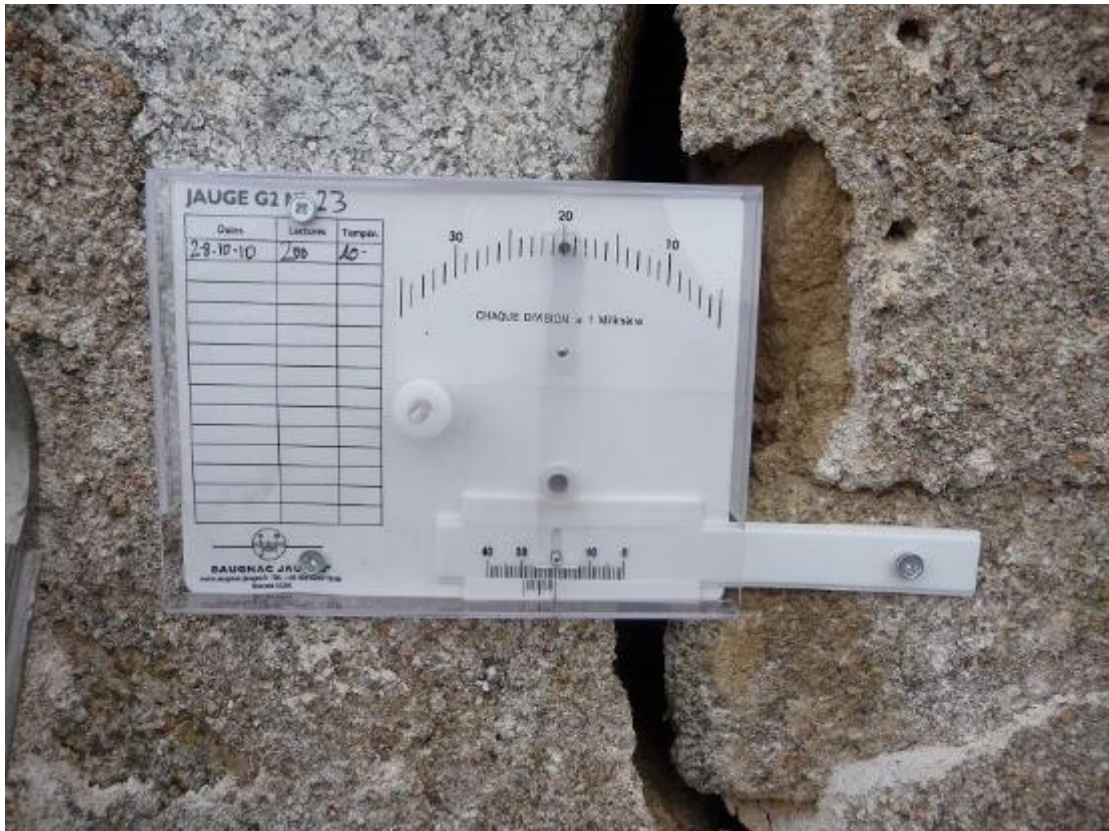
Τα ινοπλισμένα πολυμερή, όπως τα ανθρακονήματα, έχουν μικρό βάρος και μεγάλη αντοχή, αλλά δεν ταιριάζουν πάντα με τη φιλοσοφία της παραδοσιακής αποκατάστασης. Γι' αυτό πρέπει να επιλέγονται μόνο όταν υπάρχει σοβαρός λόγος και όταν δεν αλλοιώνουν την εικόνα και τη λειτουργία του γεφυριού.

Μέθοδος	Σκοπός	Πλεονεκτήματα
Αρμολόγημα	Συνοχή αρμών	Απλό, συμβατό
Ενέματα	Πλήρωση κενών	Αυξάνει αντοχή
Συρραφή	Σταθεροποίηση ρωγμών	Άμεση ενίσχυση
Θεμελίωση	Σταθερότητα βάθρων	Μακροχρόνια λύση

6.8 Έλεγχοι & Παρακολούθηση

Η παρακολούθηση μετά την αποκατάσταση είναι απαραίτητη:

- τοποθέτηση μαρτύρων ρωγμών
- γεωδαιτικός έλεγχος μετακινήσεων
- περιοδική επιθεώρηση



Εικόνα 50 ρωγμογράφος (ή fissuromètre),

Παρακολούθηση ρωγμών και ελέγχων σε λιθόκτιστες κατασκευές.

6.9 Νομοθετικό & Κανονιστικό πλαίσιο

Οι επεμβάσεις σε ιστορικές γέφυρες δεν αντιμετωπίζονται ως κοινά τεχνικά έργα, αλλά διέπονται από συγκεκριμένο θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Διεθνείς αρχές

- ICOMOS – θέτει τις βασικές αρχές προστασίας μνημείων
- Venice Charter – καθορίζει:
 - σεβασμό αυθεντικότητας
 - ελάχιστη επέμβαση
 - αναστρεψιμότητα

Ευρωπαϊκό πλαίσιο

- οδηγίες προστασίας πολιτιστικής κληρονομιάς
- πρότυπα για αποκατάσταση ιστορικών κατασκευών

Ελλάδα

- Νόμος 3028/2002
- αρμόδιος φορέας: Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού

Στην πράξη:

- απαιτείται έγκριση μελέτης
- απαγορεύονται αλλοιώσεις μορφής
- επιβάλλεται χρήση συμβατών υλικών

Οι επεμβάσεις αντιμετωπίζονται ως **παρεμβάσεις σε μνημεία**, όχι ως απλά τεχνικά έργα.

Σε αντίθεση με σύγχρονες γέφυρες, όπου εφαρμόζονται κανονισμοί φόρτισης (π.χ. Ευρωκώδικες), στις ιστορικές κατασκευές η προσέγγιση είναι διαφορετική.

Βασικές απαιτήσεις

- διατήρηση γεωμετρίας
- αποφυγή νέων φορτίσεων
- περιορισμός κυκλοφορίας όπου απαιτείται
- έλεγχος υδρολογικών δράσεων

Στατική προσέγγιση

- έλεγχος θέσης γραμμής ώθησης
- εκτίμηση φέρουσας ικανότητας
- αξιολόγηση μηχανισμών αστοχίας

Δεν γίνεται “επανυπολογισμός” με σύγχρονους κανονισμούς, γίνεται **εκτίμηση συμπεριφοράς και επάρκειας**.

Στάδιο	Περιγραφή
Αποτύπωση	Καταγραφή γεωμετρίας
Διάγνωση	Εντοπισμός βλαβών
Σχεδιασμός	Επιλογή λύσης
Εφαρμογή	Εκτέλεση έργου
Παρακολούθηση	Έλεγχος συμπεριφοράς

6.10 Ανάπλαση

Η ανάπλαση αφορά την **ένταξη της γέφυρας στο σύγχρονο περιβάλλον**, χωρίς να αλλοιώνεται ο χαρακτήρας της.



Εικόνα 51 Γέφυρα της Σβόλιανης (ή Γεφύρι της Αγίας Σωτήρας), βρίσκεται στην περιοχή του Βοΐου, στο νομό Κοζάνης

Στόχοι ανάπλασης

- ανάδειξη μνημείου
- βελτίωση προσβασιμότητας
- προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις
- ένταξη σε πολιτιστικές διαδρομές

Παρεμβάσεις

Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου

- μονοπάτια
- φωτισμός χαμηλής έντασης
- απομάκρυνση αυθαίρετων στοιχείων

Διαχείριση κυκλοφορίας

- περιορισμός βαρέων οχημάτων
- πεζοδρόμηση

Υδραυλικές παρεμβάσεις

- καθαρισμός κοίτης
- έλεγχος ροής



Εικόνα 52 Το πέτρινο μεσαιωνικό γεφύρι της φωτογραφίας βρίσκεται στον Κήπο της Νίνφα (Giardino di Ninfa) στην Ιταλία.



*Εικόνα 53 γέφυρα του Ευρώτα (γνωστή και ως γέφυρα της Σκάλας) στη Λακωνία
γέφυρα έχει μια στενή διάβαση για πεζούς, περιτριγυρισμένη από μεταλλικό δικτυωτό πλέγμα*



Εικόνα 54 Ανάπλαση ιστορικής γέφυρας και ένταξη στο περιβάλλον. Μητροπολιτικό Πάρκο «Αντώνης Τρίτσης» στο Ίλιον Αττικής

Η ανάπλαση δεν περιορίζεται στην κατασκευή, αλλά αφορά τη συνολική ένταξη του έργου στο τοπίο .

Η αποκατάσταση και ανάπλαση ιστορικών γεφυρών απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση:

- πολιτικός μηχανικός (στατική επάρκεια)
- αρχιτέκτονας (μορφή και αισθητική)
- αρχαιολόγος (ιστορική τεκμηρίωση)

Η επιλογή υλικών δεν γίνεται με βάση τη μέγιστη αντοχή, αλλά τη **συμβατότητα** με το υπάρχον σύστημα.

Απαιτήσεις λίθων

- ίδιος ή ισοδύναμος λιθολογικός τύπος (ασβεστόλιθος/πωρόλιθος κ.λπ.)
- παρόμοια **πυκνότητα και απορρόφηση**
- επαρκής **αντοχή σε θλίψη** (χωρίς υπερβολές που δημιουργούν ασυμβατότητες)
- ανθεκτικότητα σε κύκλους υγρασίας–ξηράνσεως/παγετού

Απαιτήσεις κονιαμάτων

- βάση ασβέστη (NHL ή αερόσβεστος) με ποζολανικά πρόσθετα όπου χρειάζεται
- **χαμηλότερη αντοχή** από τον λίθο (κανόνας: το κονίαμα “θυσιάζεται”)
- επαρκής **διαπνοή** (αποφυγή παγίδευσης υγρασίας)
- συμβατό **E (μέτρο ελαστικότητας)** με τη λιθοδομή

Αδρανή & νερό

- κατάλληλη κοκκομετρική καμπύλη (για πλήρωση πόρων)
- καθαρά αδρανή, χωρίς άλατα/οργανικά
- ελεγχόμενο νερό ανάμιξης (λόγος Ν/Σ για εργασιμότητα χωρίς υπερβολική συρρίκνωση)

Οι έλεγχοι ποιότητας των υλικών:

Έλεγχοι λίθων

- δοκιμή θλιπτικής αντοχής (EN 1926 ή ισοδύναμα)
- απορρόφηση/πορώδες (EN 13755)
- ανθεκτικότητα σε παγετό (όπου απαιτείται)

Έλεγχοι κονιαμάτων

- αντοχή σε θλίψη/κάμψη (EN 1015)
- διαπνοή/υδατοπερατότητα
- συρρίκνωση
- συμβατότητα με υπάρχον κονίαμα (δοκιμαστικά δείγματα)

Έλεγχοι ενέσεων

- ρεολογία (χρόνος ροής)
- διεισδυτικότητα (δοκιμές σε δοκίμια)
- ποσοστό πλήρωσης αρμών (με ελέγχους κατανάλωσης)

Κατά την εφαρμογή γίνονται και επιτόπιοι έλεγχοι:

- έλεγχος **καθαρισμού αρμών** πριν την έγχυση
- έλεγχος **πίεσης ένεσης** (αποφυγή αποδιοργάνωσης λιθοδομής)
- ομοιόμορφη πλήρωση (χωρίς “τυφλά” κενά)
- έλεγχος σωστής **έδρασης και σφήνωσης** θολιτών σε αναδομήσεις
- τήρηση γεωμετρίας τόξου (έλεγχος με καλούπια/μετρήσεις)

Πριν τη γενικευμένη εφαρμογή:

- εκτελείται **πυλοτική ζώνη**
- ελέγχεται συμπεριφορά υλικών/τεχνικής
- προσαρμόζονται αναλογίες/μέθοδος

Ακολουθεί η παρακολούθηση της κατασκευής :

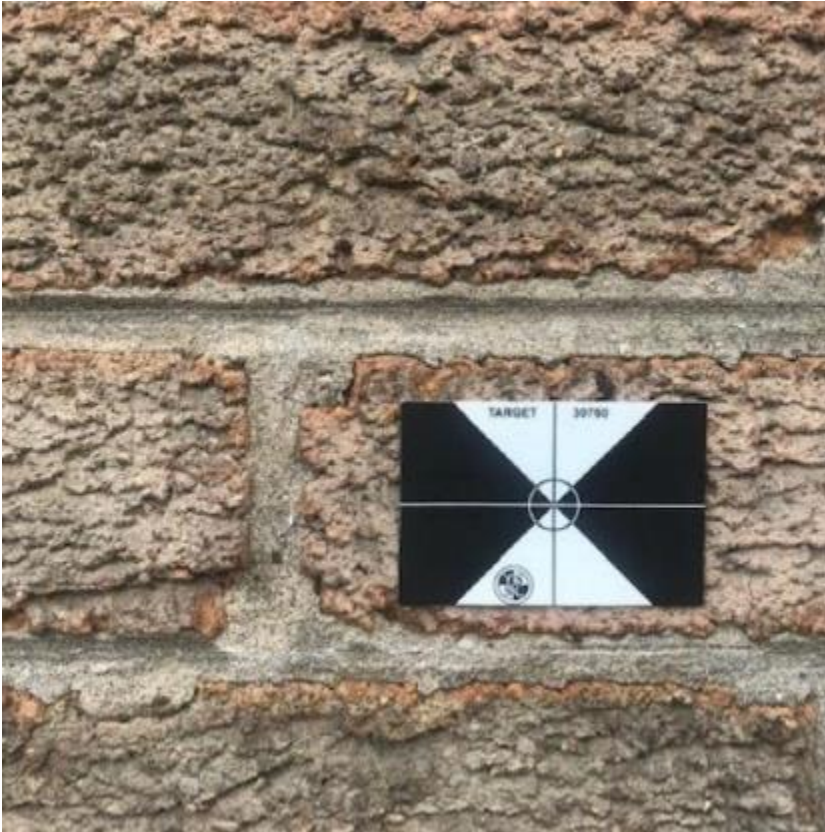


Εικόνα 55 γεωδαιτικός σταθμός (total station) που χρησιμοποιείται σε εργοτάξια για ακριβείς μετρήσει



Εικόνα 56 πλαστικό μηχανικό μετρητή ρωγμών (crack meter)

εγκατεστημένο σε έναν τοίχο από τούβλα για την παρακολούθηση της κίνησης.



Όργανα παρακολούθησης ρωγμών και μετακινήσεων.

Μέθοδοι

- μάρτυρες ρωγμών (*crack gauges*)
- γεωδαιτική παρακολούθηση (σταθμοί/στόχοι)
- περιοδικές επιθεωρήσεις μετά από πλημμύρες

Ελεγχόνται:

- άνοιγμα/κλείσιμο ρωγμών
- μετακινήσεις βάθρων/καταστρώματος
- μεταβολές απορροής/υποσκαφής

Οι έλεγχοι λοιπόν είναι:

ΠΡΙΝ

- Τεκμηρίωση γεωμετρίας/βλαβών ολοκληρωμένη
- Επιλογή συμβατών υλικών τεκμηριωμένη
- Πιλοτική εφαρμογή εγκεκριμένη

ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ

- Καθαρισμός αρμών επαρκής
- Πίεση ένεσης εντός ορίων
- Ομοιομορφία πλήρωσης/αρμών
- Διατήρηση γεωμετρίας τόξου

ΜΕΤΑ

- Καταγραφή αρχικής κατάστασης μετά την επέμβαση
- Τοποθέτηση οργάνων παρακολούθησης
- Πρόγραμμα περιοδικών ελέγχων

ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

- Έλεγχος υδρολογίας πριν/μετά (παροχές αιχμής, ροή)
- Διαχείριση εργοταξίου χωρίς επιβάρυνση της κοίτης
- Προστασία μνημείου (μηχανήματα, δονήσεις, πρόσβαση)
- Τεκμηρίωση (φωτογραφικά/σχεδιαστικά) κάθε φάσης

7. Ανάπλαση και ανάδειξη γεφυριών

7.1 Η γέφυρα ως πολιτιστικό τοπόσημο

Η αποκατάσταση δεν τελειώνει στη στατική ενίσχυση.

Ένα παραδοσιακό γεφύρι χρειάζεται και ανάδειξη, ώστε να γίνει ξανά μέρος της ζωής του τόπου.

Η ανάδειξη μπορεί να περιλαμβάνει καθαρισμό του περιβάλλοντος χώρου, δημιουργία ασφαλών διαδρομών πρόσβασης, ενημερωτικές πινακίδες, φωτισμό χαμηλής έντασης και σύνδεση με *τοπικές πεζοπορικές ή πολιτιστικές διαδρομές*.

Η γέφυρα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως *τοπόσημο*.

Δεν έχει αξία μόνο ως πέτρινη κατασκευή, αλλά και ως σημείο μνήμης. Συνδέεται με ιστορίες, διαδρομές, επαγγέλματα, εμπορικές σχέσεις και τοπικές παραδόσεις.

7.2 Ήπια τουριστική αξιοποίηση

Η ανάπλαση μπορεί να συμβάλει στην ήπια τουριστική ανάπτυξη μιας περιοχής, αρκεί να γίνεται με μέτρο.

Τα γεφύρια μπορούν να ενταχθούν σε διαδρομές πολιτιστικού τουρισμού, πεζοπορίας, γεωτουρισμού ή φυσιολατρικών δραστηριοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύεται όχι μόνο το μνημείο αλλά και το ευρύτερο τοπίο.

Ωστόσο, η τουριστική χρήση δεν πρέπει να οδηγεί σε υπερβολική παρέμβαση. Χρειάζεται προστασία από ανεξέλεγκτη κυκλοφορία, βαριά φορτία, πρόχειρες κατασκευές και εμπορική εκμετάλλευση που αλλοιώνει τον χαρακτήρα του τόπου.

Η σωστή ανάπλαση πρέπει να συνδυάζει πρόσβαση, ασφάλεια και σεβασμό.

7.3 Διαχείριση και συντήρηση

Ένα συχνό πρόβλημα είναι ότι τα γεφύρια αποκαθίστανται μία φορά και μετά εγκαταλείπονται ξανά.

Η διατήρηση όμως απαιτεί πρόγραμμα συντήρησης.

Χρειάζεται περιοδικός έλεγχος μετά από έντονες βροχοπτώσεις ή σεισμούς, καθαρισμός της βλάστησης, παρακολούθηση ρωγμών και έλεγχος της κοίτης.

Η τοπική κοινωνία μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο.

Όταν οι κάτοικοι γνωρίζουν την αξία ενός γεφυριού, είναι πιο πιθανό να το προστατεύσουν.

Η ενημέρωση, η εκπαίδευση και η συμμετοχή της κοινότητας είναι μέρος της αποκατάστασης, γιατί κρατούν το μνημείο ζωντανό.

8. Παράδειγμα: Η Γέφυρα της Πλάκας

Η Γέφυρα της Πλάκας στον Άραχθο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα ελληνικής πετρογέφυρας.

Χτίστηκε τον 19ο αιώνα και για πολλά χρόνια υπήρξε βασικό πέρασμα ανάμεσα στις περιοχές των Τζουμέρκων και της Ηπείρου.

Ήταν μονότοξη γέφυρα μεγάλου ανοίγματος και εντυπωσιακής μορφής, ενταγμένη σε ένα ιδιαίτερο φυσικό τοπίο.

Η κατάρρευσή της το 2015, ύστερα από έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, έδειξε πόσο ευάλωτα μπορεί να είναι ακόμη και τα πιο εμβληματικά μνημεία όταν συνδυάζονται υδραυλικές πιέσεις, φθορές και προβλήματα θεμελίωσης.



Η αποκατάστασή της αποτέλεσε σημαντικό παράδειγμα συνεργασίας επιστημόνων, τεχνιτών, φορέων και τοπικής κοινωνίας.

Η περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα διδακτική, γιατί έθεσε το ερώτημα της αποκατάστασης και όχι της απλής ανακατασκευής.



Στόχος δεν ήταν να φτιαχτεί ένα νέο γεφύρι που απλώς να μοιάζει με το παλιό, αλλά να επανέλθει το μνημείο με σεβασμό στην αρχική του μορφή, στην τεχνική του και στα υλικά του.



Η χρήση παραδοσιακών μεθόδων, η τεκμηρίωση των σωζόμενων τμημάτων και η επιστημονική παρακολούθηση αποτέλεσαν βασικά στοιχεία της διαδικασίας.

Η Γέφυρα της Πλάκας δείχνει ότι η αποκατάσταση ενός παραδοσιακού γεφυριού δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα.

Είναι και ζήτημα πολιτισμού, μνήμης και ευθύνης απέναντι στο παρελθόν. Παράλληλα, αποδεικνύει ότι τα παλιά γεφύρια μπορούν να διασωθούν όταν υπάρχει σωστή μελέτη, συνεργασία και σεβασμός στην παραδοσιακή τεχνική.

Συμπεράσματα

Η παραδοσιακή γεφυροποιία στην Ελλάδα και στην Ευρώπη αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο της τεχνικής και πολιτιστικής ιστορίας.

Από τις *αρχαίες εκφορικές* κατασκευές και τις ρωμαϊκές τοξωτές γέφυρες μέχρι τα μεσαιωνικά, βυζαντινά, οθωμανικά και νεότερα πέτρινα γεφύρια, φαίνεται μια συνεχής προσπάθεια του ανθρώπου να συνδέσει τόπους και κοινωνίες.

Τα πέτρινα γεφύρια ξεχωρίζουν επειδή συνδυάζουν *τεχνική λογική, αισθητική απλότητα και ένταξη στο φυσικό τοπίο*.

Η μορφή τους δεν είναι τυχαία, αλλά προκύπτει από τη λειτουργία του τόξου, τη συμπεριφορά της πέτρας, τη ροή του νερού και την εμπειρία των μαστόρων. Γι' αυτό πολλά από αυτά τα έργα άντεξαν για αιώνες.

Τύπος γέφυρας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εκφορική	Απλή κατασκευή	Μικρά ανοίγματα
Δοκός	Εύκολη υλοποίηση	Εφελκυσμός
Τοξωτή	Υψηλή αντοχή	Οριζόντιες ωθήσεις

Σήμερα, η προστασία τους είναι αναγκαία. Οι φθορές από τον χρόνο, το νερό, τους σεισμούς, τη βλάστηση και τις ανθρώπινες επεμβάσεις απειλούν πολλά παραδοσιακά γεφύρια.

Η αποκατάσταση πρέπει να βασίζεται σε *τεκμηρίωση, διάγνωση, συμβατά υλικά και ήπιες επεμβάσεις*. Η ενίσχυση είναι απαραίτητη όταν υπάρχει κίνδυνος, αλλά δεν πρέπει να αλλοιώνει τον χαρακτήρα του μνημείου.

Τέλος, η ανάπλαση και η ανάδειξη των γεφυριών μπορεί να δώσει νέα ζωή σε αυτά τα έργα.

Μέσα από πολιτιστικές διαδρομές, ενημέρωση και συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας, τα γεφύρια μπορούν να παραμείνουν ζωντανά στοιχεία του τόπου.

Δεν είναι μόνο μνημεία μιας παλιάς τεχνικής· είναι σύμβολα επικοινωνίας, συνεργασίας και συνέχειας ανάμεσα στο παρελθόν και το παρόν.

Βιβλιογραφία

- Heyman, J. (1995). The Stone Skeleton
- ICOMOS (1964). Venice Charter
- Νόμος 3028/2002

Εικόνα 1 η ευστάθεια του τόξου.....	12
Εικόνα 2 Σύγκριση Δυνάμεων Ώθησης σε Διαφορετικούς Τύπους Τόξων υπό Φόρτιση .12	
Εικόνα 3 Επίδραση Εδαφικών Καθιζήσεων και Οριζόντιων Μετακινήσεων στην Ευστάθεια Ιστορικών Κατασκευών	13
Εικόνα 4 Pont du Gard,	14
Εικόνα 5 δομή μιας Ρωμαϊκής αψίδας.....	15
Εικόνα 6 Πέτρινη Αψίδα από Σφηνοειδείς Λίθους	15
Εικόνα 7 μέρη ενός κυκλικού τόξου (καμάρας) Κλειδί (keystone) Θολίτες (voussoirs): Ακτίνα (radius) γραμμή γέννησης (springing line) Κάθετα στηρίγματα (vertical supports)	16
Εικόνα 8 Ρωμαϊκή Τοιχοποιία	17
Εικόνα 9 Η Γέφυρα του Φαβρίκιου 62πχ.....	18
Εικόνα 10 η γέφυρα της Puente de Αλκάνταρα.....	18
Εικόνα 11 Η Πόντε Εμίλιο σήμερα ονομάζεται Πόντε Ρόττο (Ponte Rotto),(2ο π.χ αιώνας)	18
Εικόνα 12 Η Μιλβία (ή Μουλβία) Γέφυρα	19
Εικόνα 13 Η γέφυρα του Καίσαρα.....	20
Εικόνα 14 Το υδραγωγείο της Σεγόβια.....	20
Εικόνα 15 γέφυρα Aelius.....	20
Εικόνα 16 μεθόδους κατασκευής των ρωμαϊκών τοξωτών γεφυρών.....	24
Εικόνα 17 δομή και τρόπο κατασκευής ενός ρωμαϊκού τόξου (L'arco romano).....	25
Εικόνα 18 Στατική Ευστάθεια Λιθόκτιστης Καμάρας υπό Συγκεντρωμένο Φορτίο: Μοντελοποίηση και Ανάλυση Συμπεριφοράς	25
Εικόνα 19 Επεξήγηση της Θεωρίας Heyman για την Κατάρρευση Λιθόκτιστων Αψίδων μέσω Σχηματισμού Αρθρώσεων	26
Εικόνα 20 Το Ρωμαϊκό Γεφύρι της Αρέθα στην Πάτρα.....	27
Εικόνα 21 Γέφυρα Κλειδιού δίπλα στον Λουδία	27
Εικόνα 22 Το Υδραγωγείο της Κωνσταντινούπολης.....	28
Εικόνα 23 Pont du Gard (Γέφυρα του Γκαρ), στη νότια Γαλλία.	29
Εικόνα 24 Η Γέφυρα του Μέσι (Mesi Bridge).....	30
Εικόνα 25 Ρωμαϊκή Γέφυρα της Vila Formosa.....	30
Εικόνα 26 Δομικά Διαγράμματα Ιστορικών Γεφυρών: Ανάλυση Μετατροπών από τον Μεσαίωνα έως την Αναγέννηση για τη Βελτίωση της Διέλευσης	31
Εικόνα 27 υδατογέφυρα ποντ ντε γκαρ-γέφυρα της Κόρδοβας	31
Εικόνα 28 Γέφυρας του Τιβέριου (Ponte di Tiberio)	32

Εικόνα 29 μελέτη προσομοίωσης τεχνολογίας μετατροπής οριακών συνθηκών για θεμελίωση ρηχής γέφυρας.....	32
Εικόνα 30 Tabula Peutingeriana, έναν αρχαίο ρωμαϊκό οδικό χάρτη που απεικονίζει το οδικό δίκτυο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας.....	33
Εικόνα 31 γέφυρα Katiu.....	34
Εικόνα 32 Γέφυρα Νομεντάνο, η Ponte Scaligero Βερόνα	35
Εικόνα 33 Cloak Bridge(Πλάστ'ονύ most).....	35
Εικόνα 34 Ponte Vecchio , Η γέφυρα του Rialto – Βενετία.....	36
Εικόνα 35 Γέφυρα του Καρόλου στην Πράγα	36
Εικόνα 36 Η κατασκευή της πρώτης γέφυρας πραγματοποιήθηκε το 1875 από τον Joseph Monier	37
Εικόνα 37 Γέφυρα Μάναρη διατηρητέο μνημείο του οραματισμού του Χαρίλαου Τρικούπη που πίστευε πολύ στον σιδηρόδρομο.....	37
Εικόνα 38 γέφυρα Ironbridge (σιδηρά γέφυρα) κοντά στο Coalbrookdale	38
Εικόνα 39 Η γέφυρα Plougastel,	38
Εικόνα 40 Γέφυρα Chengyang στο Γκουλίν.....	39
Εικόνα 41 γεφύρι της Καρύταινας.....	40
Εικόνα 42 Διαμόρφωση Όχθης και Κατασκευή Ακρόβαθρων σε Γέφυρες	42
Εικόνα 43 μονότοξο πέτρινο γεφύρι, Γεφυράκι στο Ποταμάκι, στην Πάλαιρο της Αιτωλοακαρνανίας.....	42
Εικόνα 44 Καταπόνηση Μεσοβάθρων από Ροή Υδάτων και Προστασία με Υδραυλικούς Πρόβολους στα Παραδοσιακά Γεφύρια(γεφυρι Αρτας)	42
Εικόνα 45 Τήριξη Ξυλότυπου στις Γενέσεις των Τόξων μέσω Εσοχών και Προεξοχών στα Βάθρα Γέφυρα της Κόνιτσα ποταμό Αώο.....	42
Εικόνα 46 Θολίτες και Τρόπος Δόμησης του Τόξου με Συμμετρική Τοποθέτηση από τις Δύο Πλευρές γεφυρι Κόκκορη	43
Εικόνα 47 Γεφύρι Πορτίτσας (Ν. Γρεβενών), Σαρακήνα Τρικάλων	43
Εικόνα 48 Τρίτοξο Γεφύρι Λαλακιάς (γέφυρα Αγ. Γεωργίου) Σύρος ,Γεφύρι Κεραμιδιού Φαρκαδόνας (Ν. Τρικάλων	44
Εικόνα 49 Άρπιζα ή τζινέτι.....	45
Εικόνα 50 ρωγμογράφος (ή fissuromètre),.....	57
Εικόνα 51 Γέφυρα της Σβόλιανης (ή Γεφύρι της Αγίας Σωτήρας), βρίσκεται στην περιοχή του Βοΐου, στο νομό Κοζάνης	60
Εικόνα 52 Το πέτρινο μεσαιωνικό γεφύρι της φωτογραφίας βρίσκεται στον Κήπο της Νίνφα (Giardino di Ninfa) στην Ιταλία.	61
Εικόνα 53 γέφυρα του Ευρώτα (γνωστή και ως γέφυρα της Σκάλας) στη Λακωνία	61
Εικόνα 54 Ανάπλαση ιστορικής γέφυρας και ένταξη στο περιβάλλον. Μητροπολιτικό Πάρκο «Αντώνης Τρίτσης» στο Ίλιον Αττικής	62
Εικόνα 55 γεωδαιτικός σταθμός (total station) που χρησιμοποιείται σε εργοτάξια για ακριβείς μετρήσει.....	64
Εικόνα 56 πλαστικό μηχανικό μετρητή ρωγμών (crack meter)	64