



**Προστασία μνημείων και ιστορικών κατασκευών και : Η σημασία της τεκμηρίωσης και της διατήρησης του φέροντος συστήματος**  
**Ε. Βιντζηλαίου, Ομ. Καθηγήτρια ΕΜΠ**



# Η σημασία της τεκμηρίωσης του φέροντος οργανισμού και της συμπεριφοράς του

Κατασκευές με βλάβες και κατασκευές χωρίς βλάβες (ή με ήσσονες βλάβες)

**Αποκατάσταση**  
(επισκευή/ενίσχυση)

**Ενίσχυση έναντι μελλοντικών δράσεων**

Ο φέρων οργανισμός και οι αδυναμίες του μας αποκαλύπτονται εξ αιτίας των βλαβών/μερικών καταρρεύσεων.

Αυτά που παρατηρούμε χρειάζονται κατάλληλη αξιολόγηση.

Καλούμαστε να τον διερευνήσουμε, ώστε να επιλέξουμε τις κατάλληλες επεμβάσεις

Το παράδειγμα του τρόπου δομήσεως της τοιχοποιίας:

Η τοιχοποιία διαμορφώνει τον κατακόρυφο φέροντα οργανισμό.

Πρόσφορο παράδειγμα (τα προβλήματα που σχετίζονται με τον τρόπο δομήσεως είναι εύγλωττα).



Σεισμός Ανδραβίδας, 2008



L'Aquila, zona rossa, 2009





L'Aquila, zona rossa, 2009



Christchurch, 2011



Amatrice



Illica

Σεισμός Rieti, 2016





Σάμος 2020

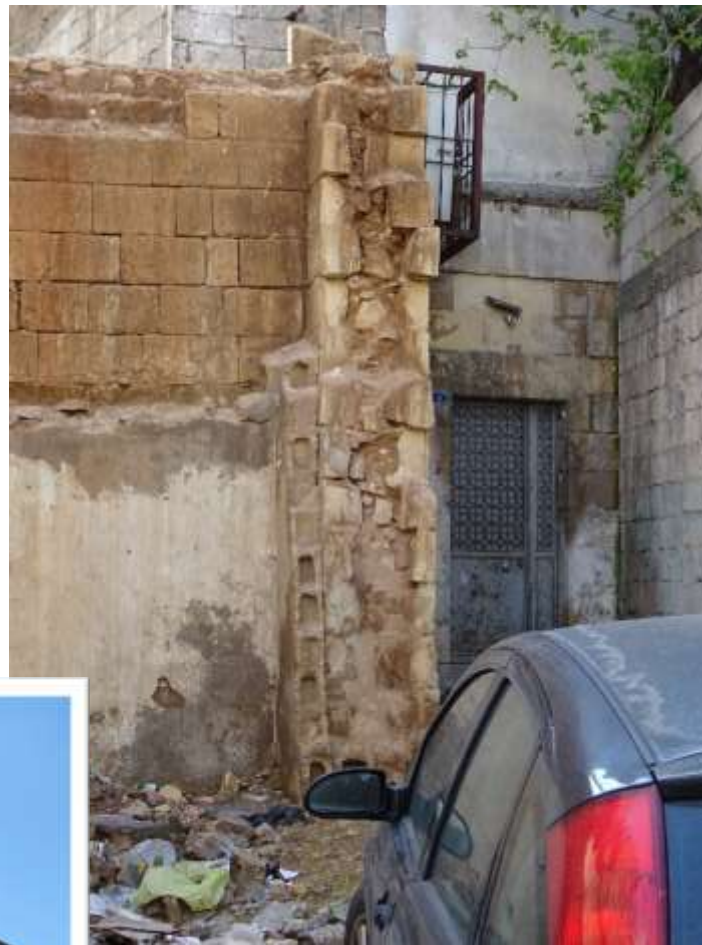




Αρκαλοχώρι, 2021  
Φωτογραφίες από την αποστολή του ΕΤΑΜ



Gaziantep



Antakya



Τουρκία 2023



Εκτός από τα κτήρια που μας αποκαλύπτουν το εσωτερικό των τοίχων, ...





Φωτογραφίες από την αποστολή  
του ETAM στο Αρκαλοχώρι



...υπάρχουν και όλα αυτά, για τα οποία πρέπει να αποκτήσουμε στοιχεία...

Πώς θα αποκτήσουμε τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε;

Αν πρόκειται για ένα απλό κτήριο, μπορούμε να αφαιρέσουμε λίγους λίθους (μέσα-έξω), να φωτογραφίσουμε το εσωτερικό, να κάνουμε κατάλληλα σκαριφήματα, να πάρουμε δείγματα κονιάματος και από το εσωτερικό της τοιχοποιίας και, αμέσως μετά, να την αποκαταστήσουμε.

Αν το κτήριο για το οποίο ενδιαφερόμαστε ανήκει σε έναν συμπαγή οικισμό, μπορούμε να αποκτήσουμε πληροφορίες και από άλλα κτήρια τα οποία, ενδεχομένως, έχουν βλάβες ή σημάδια τοπικών καταρρεύσεων από εγκατάλειψη, κ.λπ.

Προκειμένου περί μνημείου (οπότε ισχύουν περιορισμοί ως προς το είδος και την έκταση των διερευνήσεων), εφαρμόζουμε μη καταστρεπτικές τεχνικές (π.χ. γεωραντάρ, ενδοσκοπήσεις, κ.λπ.)

(Κατά τις προβλέψεις του Κεφαλαίου 3 του ΚΑΔΕΤ)



Χαμηλότερη ζώνη τοιχοποιίας



Πάχος ~800mm

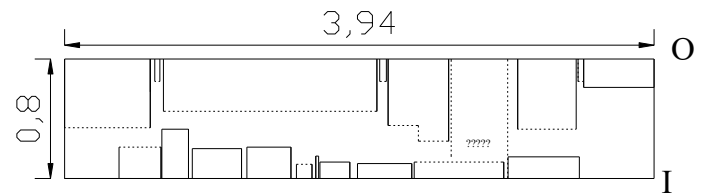
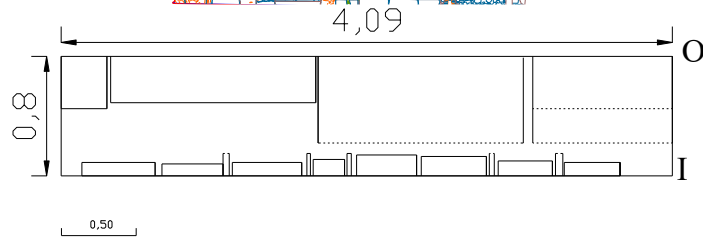
Ανώτερη ζώνη τοιχοποιίας

ΚΑΘΟΛΙΚΟ  
Ι.Μ.ΔΑΦΝΙΟΥ,  
11<sup>ος</sup> αιώνας

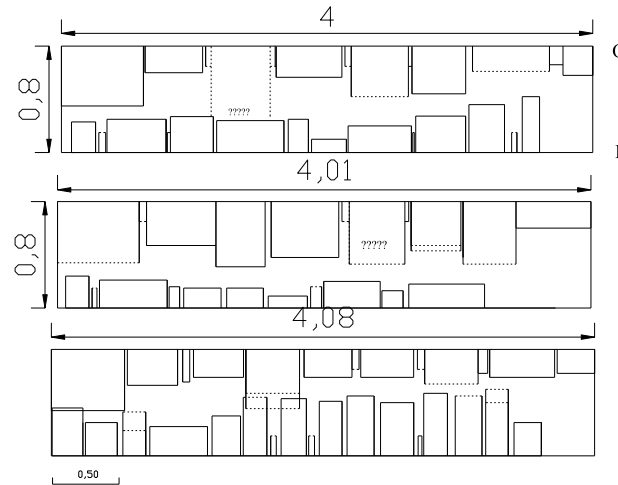
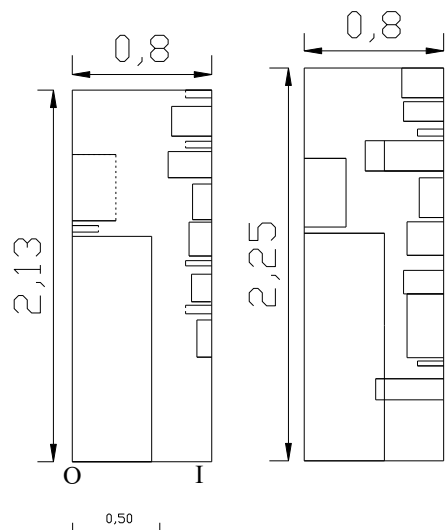




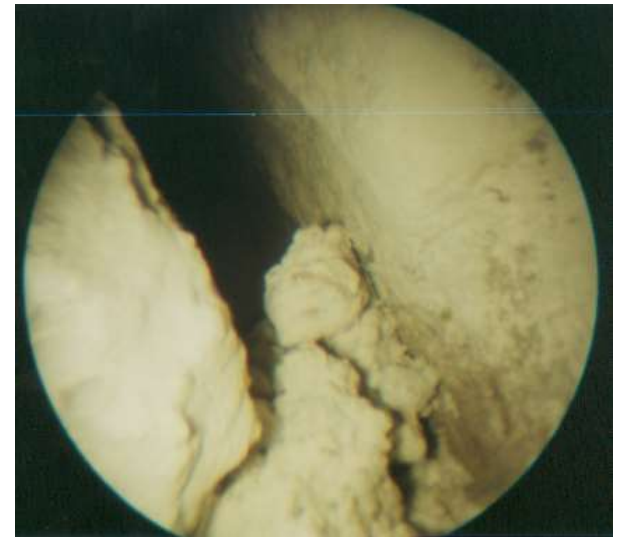
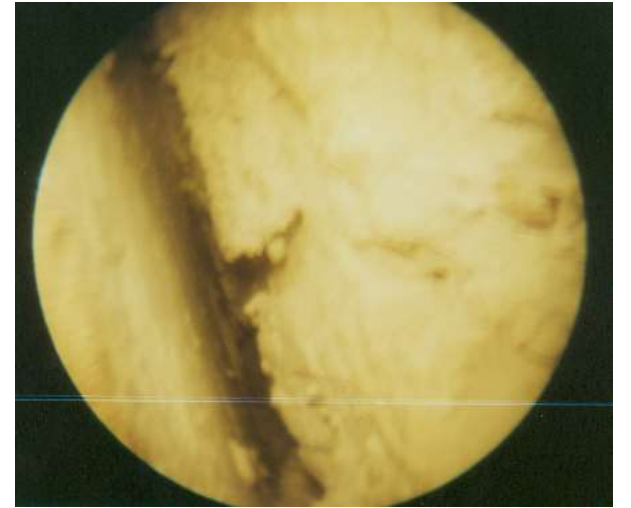
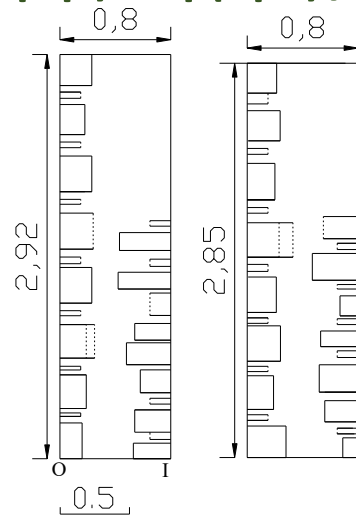
Ενδιάμεση περιοχή πάχους  
0,24m/0,32m



Κατώτερη ζώνη (οριζ./κατακ.)



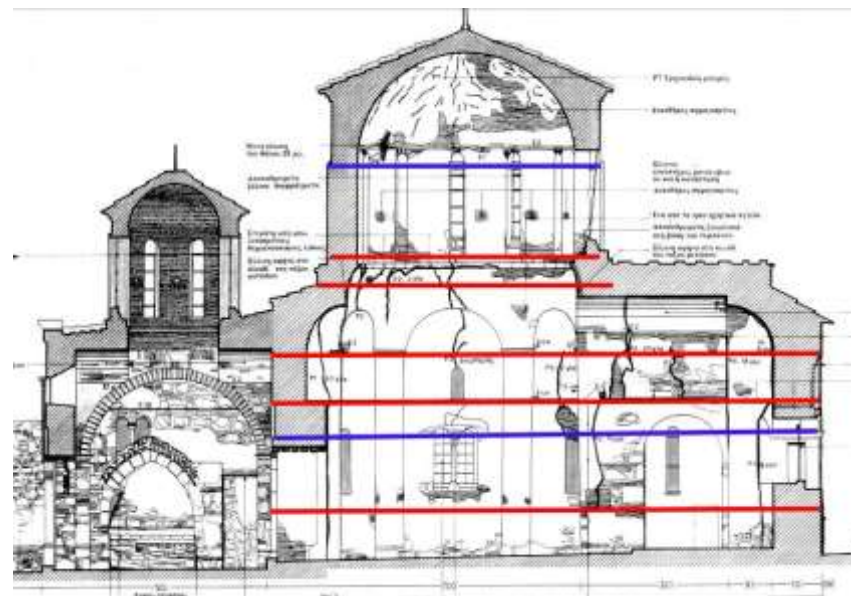
Ανώτερη ζώνη (οριζ./κατακ.)



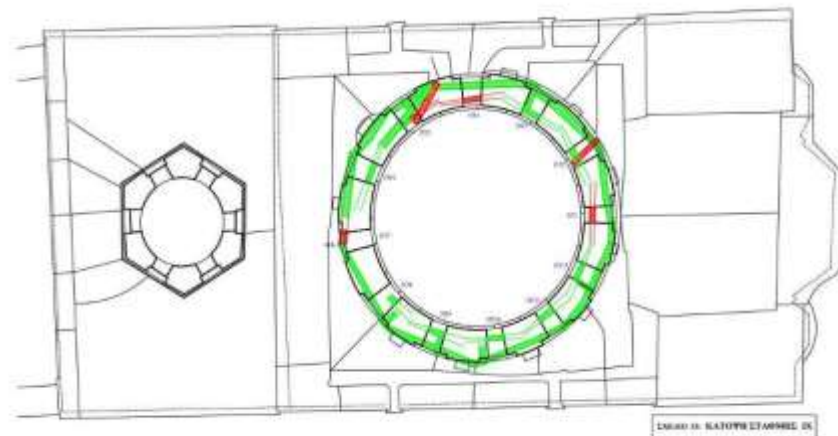
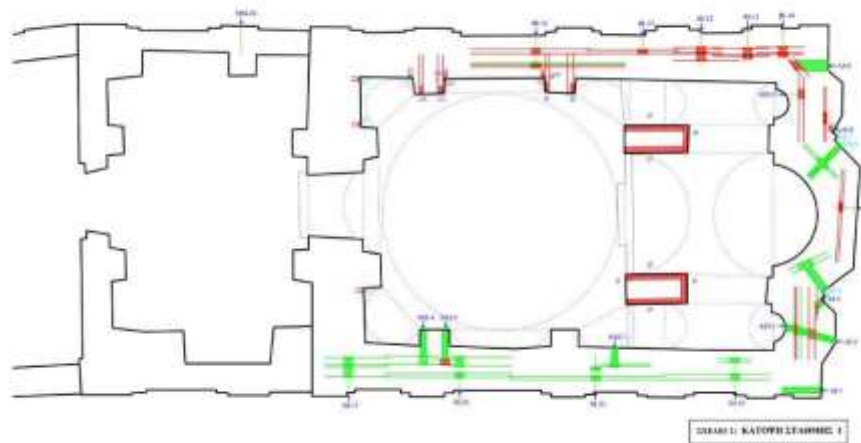
Μηχανικά χαρακτηριστικά αυτών των  
τοιχοποιιών;;;



**ΠΑΝΑΓΙΑ ΚΡΗΝΑ,  
ΧΙΟΣ, 11<sup>ος</sup> αιώνας**



**Ξυλοδεσιές σε πέντε στάθμες. Κακή κατάσταση.  
Αδύνατη η αντικατάστασή τους.**





## ΓΙΑΤΙ ΜΑΣ ΧΡΕΙΑΖΟΝΤΑΙ ΑΥΤΑ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ; ΜΕΡΙΚΟΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ:

1. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας τοιχοποιίας διαφέρουν κατά πολύ από εκείνα μιας συμπαγούς τοιχοποιίας (από την ίδια ποιότητα υλικών και από το ίδιο κονίαμα).
2. Καθώς οι εξωτερικές παρειές δεν συνδέονται μεταξύ τους εγκάρσιως, είναι πολύ πιθανή η αποκόλλησή τους (λόγω γήρανσης, λόγω προηγούμενων δράσεων σεισμού, ...). Αν δεν έχει συμβεί μια τέτοια αποκόλληση, είναι πολύ πιθανόν να συμβεί κατά την διάρκεια ενός νέου σεισμού. Μια τέτοια αποκόλληση, συνήθως, δεν φαίνεται απ' έξω...
3. Αντί να «διαθέτουμε» ένα στοιχείο με πάχος ίσο με το συνολικό πάχος του τοίχου, έχουμε δυο πρακτικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους στοιχεία με πάχος ενδεχομένως σημαντικά μικρότερο από το ήμισυ του συνολικού πάχους, το καθένα. Τα αποτελέσματα, έναντι **εντός** και έναντι **εκτός** επιπέδου δράσεων, φαίνονται στις φωτογραφίες που προηγήθηκαν.
4. Πρόσθετο πρόβλημα, ο διαφορετικός τρόπος δομήσεως των δυο παρειών (συχνά, καλύτερος στην εξωτερική παρειά). Επομένως, διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά (αντοχές και παραμορφώσεις) ΚΑΙ διαφορετικά κατακόρυφα φορτία.
5. Ο σχεδιασμός των υλικών επέμβασης (π.χ. στην περίπτωση εφαρμογής ενεμάτων) προϋποθέτει την γνώση του τρόπου δομήσεως.
6. ...



Στο παρελθόν, πολύ συχνά, αυτή η σημαντική παράμετρος δεν λαμβανόταν υπ' όψη. Οι τοίχοι θεωρούνταν συμπαγείς και, για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, εφαρμόζονταν οι σχέσεις του ΕΚ6.



π.χ. συμπαγής τοιχοποιία (ή με παρειές εγκαρσίως συνδεδεμένες), με αρμούς κονιάματος μικρού πάχους



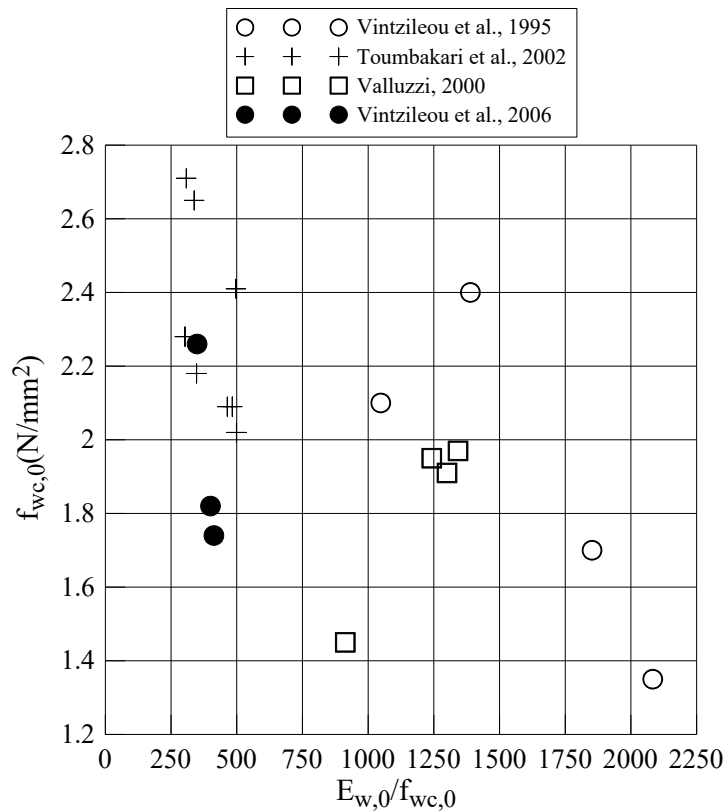
Δίστρωτη ή τρίστρωτη (χωρίς διάτονους λίθους) με μεγάλο ποσοστό κονιάματος

Τώρα πια, ο ΚΑΔΕΤ-μέσω του Κεφαλαίου 3-επιβάλλει τις σχετικές διερευνήσεις και-στο Κεφάλαιο 6-δίνει οδηγίες για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των παλαιών τοιχοποιιών.

*Είναι επαρκή αυτά τα στοιχεία; Πρέπει να ομολογήσουμε ότι απέχουμε ακόμα από το επιθυμητό. Ένας λόγος είναι η πολύ μεγάλη ποικιλία τρόπων δομήσεως, ακόμη και για την ίδια γεωγραφική περιοχή.*

Binda et al., 2001: Ποσοστό κονιάματος μεταξύ 11% και 37% (για μια παρειά).  
da Porto et al. 2003: Σε τρίστρωτες τοιχοποιίες, Λίθοι/κονίαμα/κενά: 55-85%/12-36%/0.4-15%. **Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας μεταξύ 0.60MPa και 2.40MPa.**

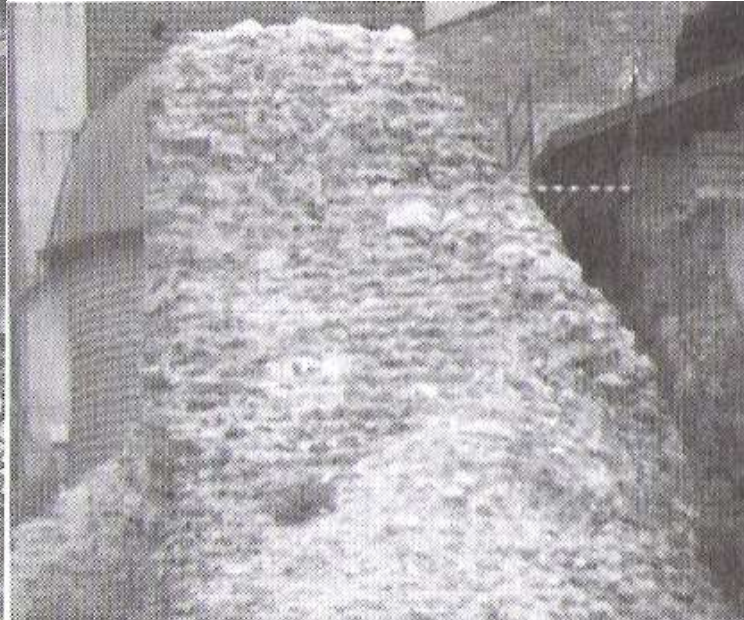
Παρά ταύτα, ο ενημερωμένος Μηχανικός μπορεί να κάνει εύλογες παραδοχές, όταν χρειάζεται.



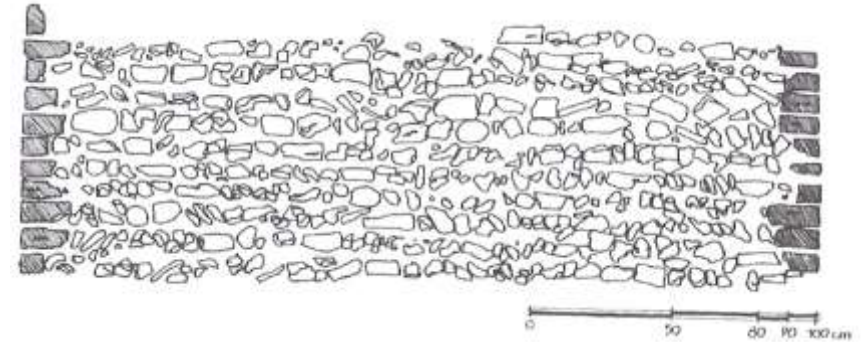
Πέραν του τρόπου δομήσεως της τοιχοποιίας, τον οποίο επιλέξαμε ως παράδειγμα, χρειάζεται πλήρης διερεύνηση του δομικού συστήματος από την στέγη μέχρι την θεμελίωση και το έδαφος θεμελιώσεως. Γεωμετρία στοιχείων στεγών και πατωμάτων, μεταξύ τους συνδέσεις, τρόπος και βάθος έδρασης στα κατακόρυφα στοιχεία, σύνδεση των κατακόρυφων στοιχείων μεταξύ τους, ...

Η διασπορά των τιμών του μέτρου ελαστικότητας είναι εξαιρετικά μεγάλη. Ιδίως στην περίπτωση κατασκευαστικών φάσεων, με διαφορετικά είδη τοιχοποιίας, η υιοθέτηση διαφόρων τιμών  $E$  και οι παραμετρικές διερευνήσεις θα είναι αναπόφευκτες.

Binda et al., 2008



Ένας μεσαιωνικός πύργος κατέρρευσε (1989) στην Παβία, χωρίς καμμία προειδοποίηση.



Μόνον 0,30m (επί συν. πάχους 2,80m) απετελείτο από οπτοπλινθοδομή!

Οι εξωτερικές παρειές και το γέμισμα (Eucentre, Pavia)

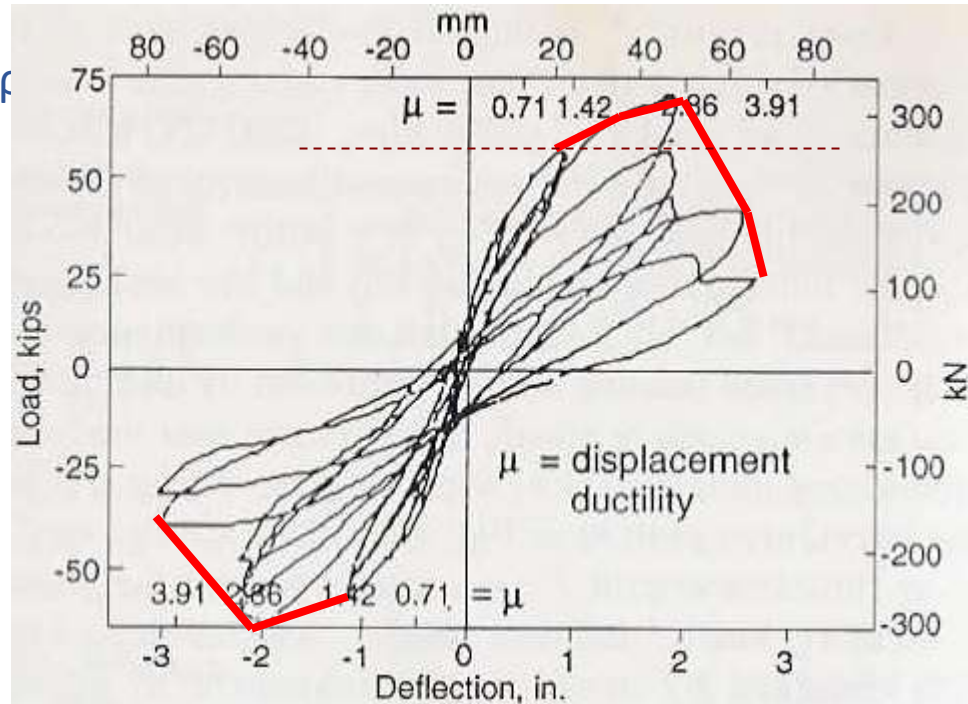


Εκ των υστέρων δοκιμές έδειξαν ότι (α) τα κατακόρυφα φορτία (ι.β.) οδηγούσαν σε τάσεις πολύ κοντινές στην θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας του 1989 και (β) η τοιχοποιία αστοχούσε με ψαθυρό τρόπο, με πρακτικώς μη ορατές ρωγμές μέχρι την θραύση της

ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ; (Πέραν της γήρανσης, των προηγούμενων βλαβών, των ενδεχόμενων προσθηκών/τροποποιήσεων άνευ μελέτης, κ.λπ.)

Τα εγγενή χαρακτηριστικά των τοιχοποιιών (Υλικό ανομοιογενές, ανισότροπο και ψαθυρό).

Ο χαμηλής ποιότητας τρόπος δομήσεως και η (συχνά) χαμηλή ποιότητα των συνιστώντων υλικών



Η ανάγκη για λειτουργία κιβωτίου: Μειώνονται οι παραμορφώσεις στις οποίες υποβάλλεται το κτήριο κατά την διάρκεια ενός σεισμού και, επομένως, μειώνεται ο κίνδυνος αποδιοργάνωσης και τοπικών ή γενικών καταρρεύσεων. Επίσης, η λειτουργία κιβωτίου τείνει να εξασφαλίζει πρακτικώς ίσες μετακινήσεις σε όλα τα κατακόρυφα στοιχεία και, μάλιστα, εντός των ορίων τα οποία είναι ανεκτά από την τοιχοποιία

Η περιορισμένη διαφραγματική λειτουργία πατωμάτων και στεγών και η ανεπαρκής σύνδεσή τους με τα κατακόρυφα στοιχεία.

Η (σπανιότερη) κακή σύνδεση των φερόντων τοίχων μεταξύ τους στην περίμετρο του κτηρίου και η (συχνότερη) κακή σύνδεση εσωτερικών και εξωτερικών φερόντων τοίχων.

Αυτός ο γενικός στόχος μας καθοδηγεί και στην επιλογή των κατάλληλων τεχνικών και σχημάτων επέμβασης.

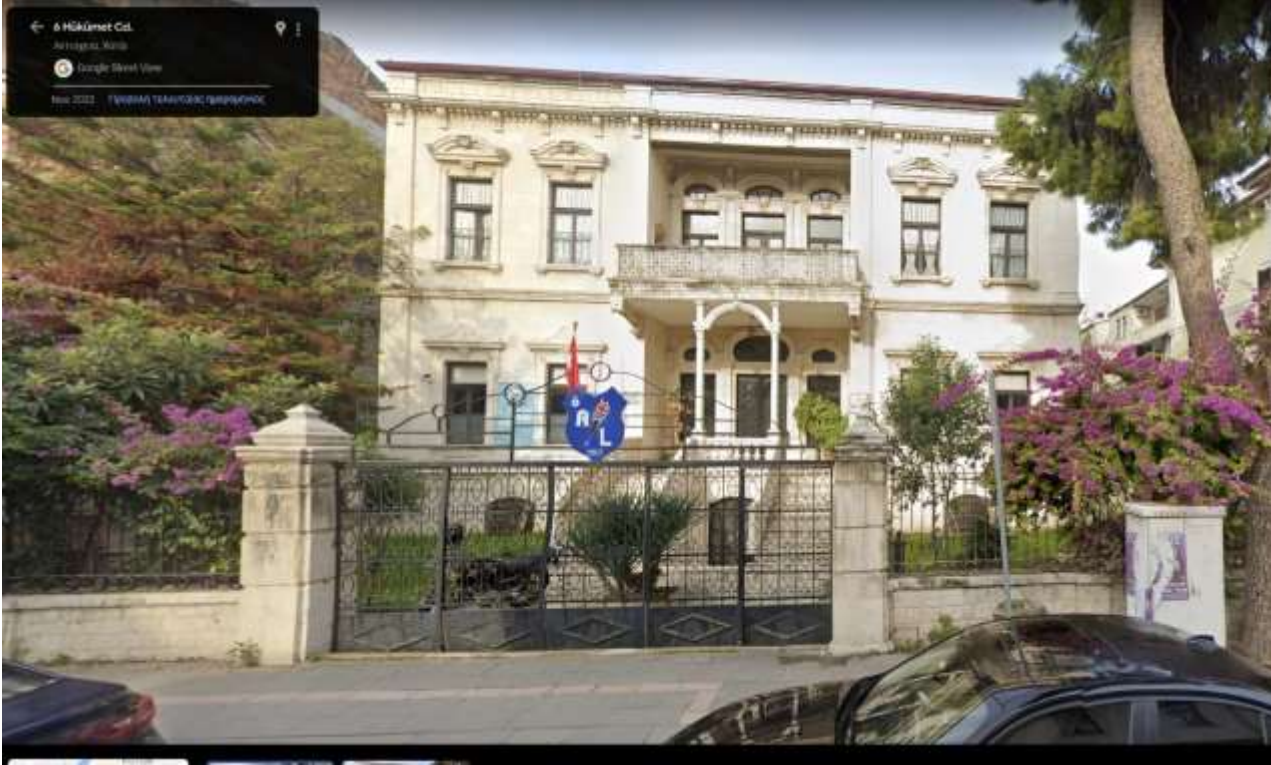
Ενίσχυση διαφραγματικής λειτουργίας πατωμάτων και στέγης

**Η παλαιότερη συχνή επιλογή της αντικατάστασης των πατωμάτων και της στέγης από πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος έχει αποδειχθεί καταστροφική ή ανεπαρκής ή αχρείαστη, αν και κατ' αρχήν αποδεκτή από απόψεως Μηχανικής.**

*Γιατί καταστροφική ή ανεπαρκής; Η πίστη στο οπλισμένο σκυρόδεμα, σε συνδυασμό με την ελλιπή γνώση της τοιχοποιίας και της συμπεριφοράς της, οδηγούσε στην τοποθέτηση δύσκαμπτων εντός του επιπέδου τους (και μεγάλης μάζας) στοιχείων πάνω σε μη-ενισχυμένους τοίχους και χωρίς σύνδεση με αυτούς.*

*Γιατί αχρείαστη; Γιατί μπορούμε να επιτύχουμε καλή διαφραγματική λειτουργία με άλλους τρόπους (π.χ. με δεύτερο δάπεδο, με χρήση διαγώνιων μεταλλικών ελκυστήρων, κ.λπ.).*

Από τους πρόσφατους σεισμούς στην Τουρκία. Κτήρια στην Αντιόχεια, πριν και μετά από τον σεισμό.



Αριστερά, φωτογραφία των κτηρίων από το street view, Google maps. Δεξιά, φωτογραφία της σημερινής κατάστασης των κτηρίων



Η Προτεσταντική εκκλησία









Από σεισμούς στην Ιταλία



## Στο Αρκαλοχώρι;



Φωτογραφίες από την αποστολή του ETAM



Φωτογραφίες από την αποστολή του ETAM

# Η Γέφυρα της Πλάκας (Ποταμός Άραχθος), 1866



Απόπειρα ανατίναξης από  
τον υποχωρούντα  
Γερμανικό στρατό (1944)





1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2015



19<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020  
(αφαψίδωση)



Μετά από την ολοκλήρωση της αναστήλωσης  
Europa Nostra Award, 2021

## ΓΙΑΤΙ ΚΑΤΕΡΡΕΥΣΕ Η ΓΕΦΥΡΑ;

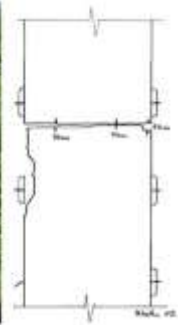
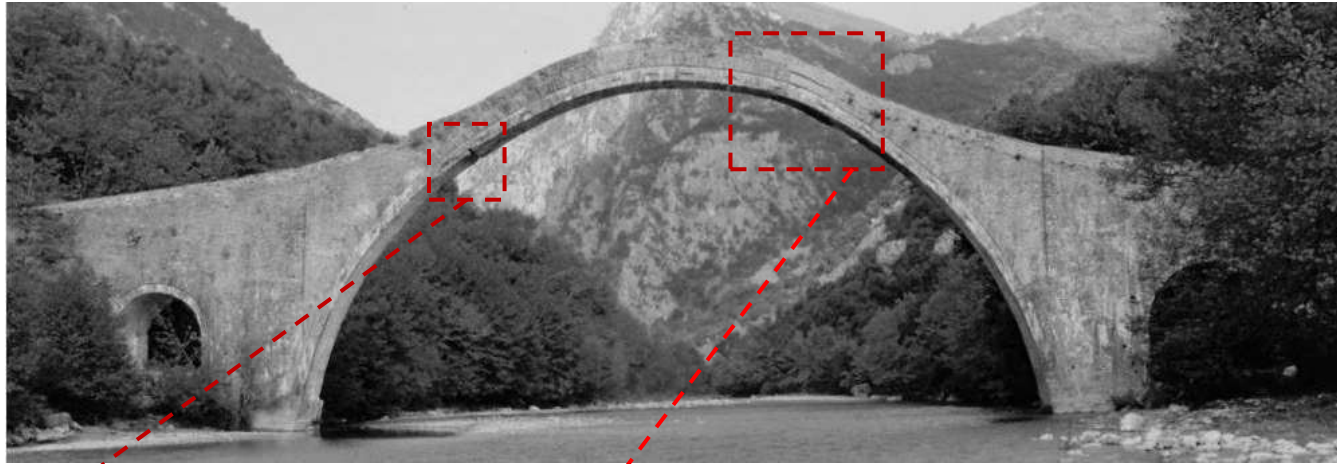


← Πλημμύρα

Τα υδραυλικά στοιχεία ΔΕΝ επιβεβαιώνουν ότι η πλημμύρα της 1<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου 2015 ήταν ένα ακραίο φαινόμενο. Αντιστοιχεί σε πλημμυρικό φαινόμενο με περίοδο επαναφοράς 50 έτη. **Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι η «υγιής» γέφυρα δεν κινδύνευε από ένα τέτοιο φαινόμενο.**

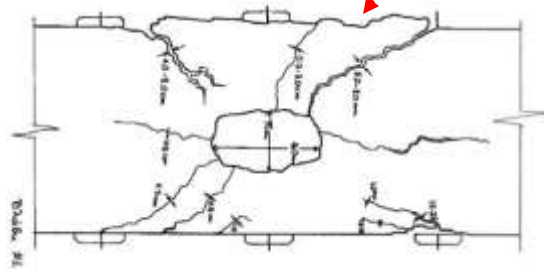
# Ήδη το 1995... (Διπλωματική Εργασία Δ.Μπακάλη)

Κεντρικό τόξο



Βλάβη στο εσωράχιο

11,5cm κατάντη, 5,0cm ανάντη. Τοπικές αποκολλήσεις λίθων



Θέση έκρηξης-Εσωράχιο

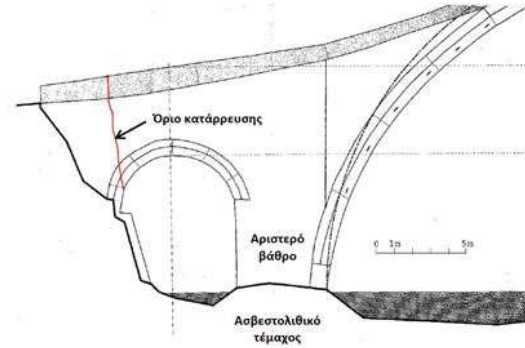
Ρωγμές ανοίγματος από 0,5mm έως 8,0mm γύρω από το σκυρόδεμα (διαστάσεων ~0,90x1,60m).

Μεγαλύτερο άνοιγμα στα ανάντη.



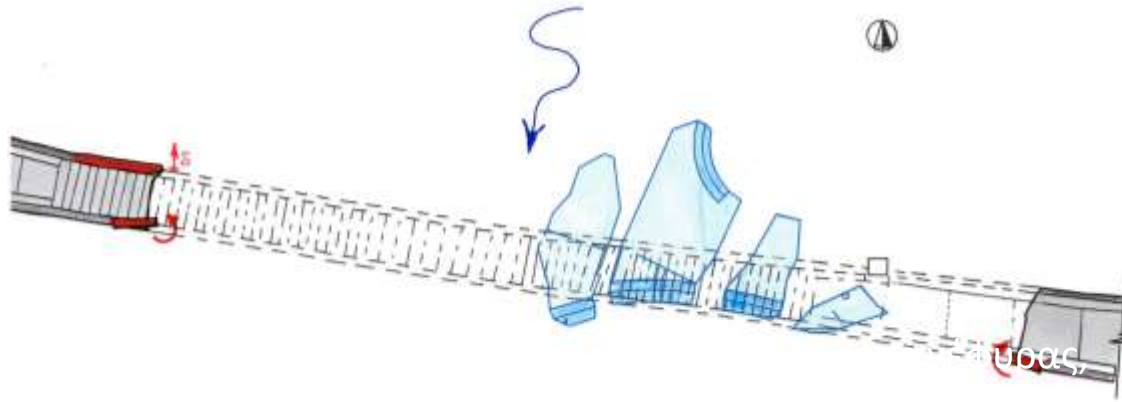


## ΥΠΟΣΚΑΦΗ ΤΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΒΑΘΡΟΥ



Σχέδιο της μελέτης επισκευής (2005) και υποσκαφή θεμελίου (Αρχείο ΕΜΠ)

## Παραμόρφωση στηθαίων



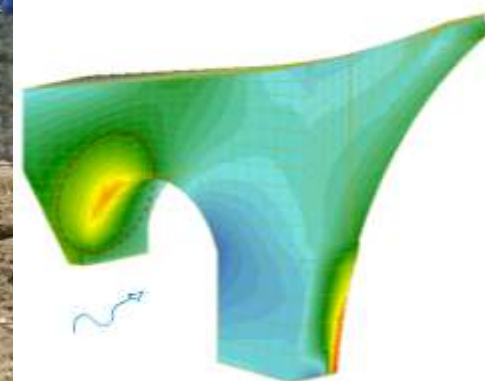
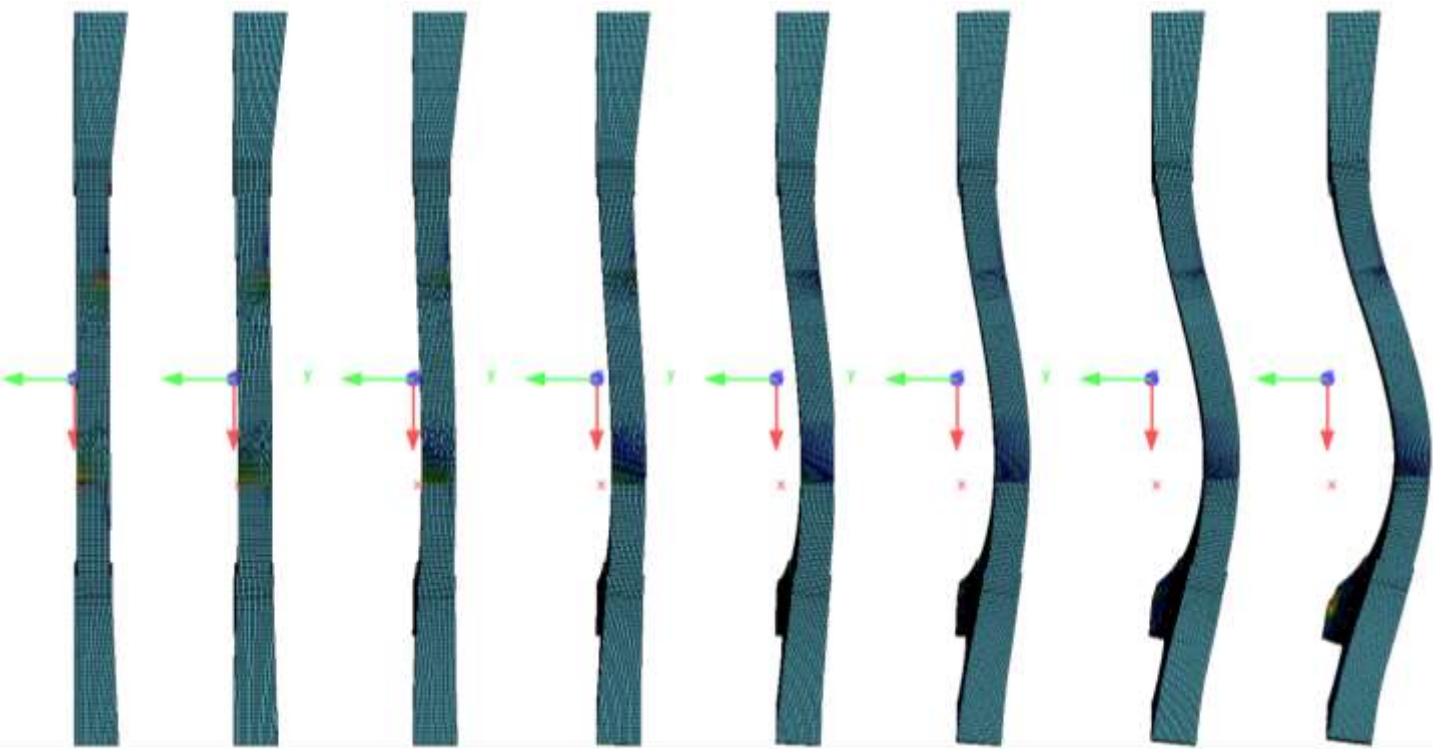
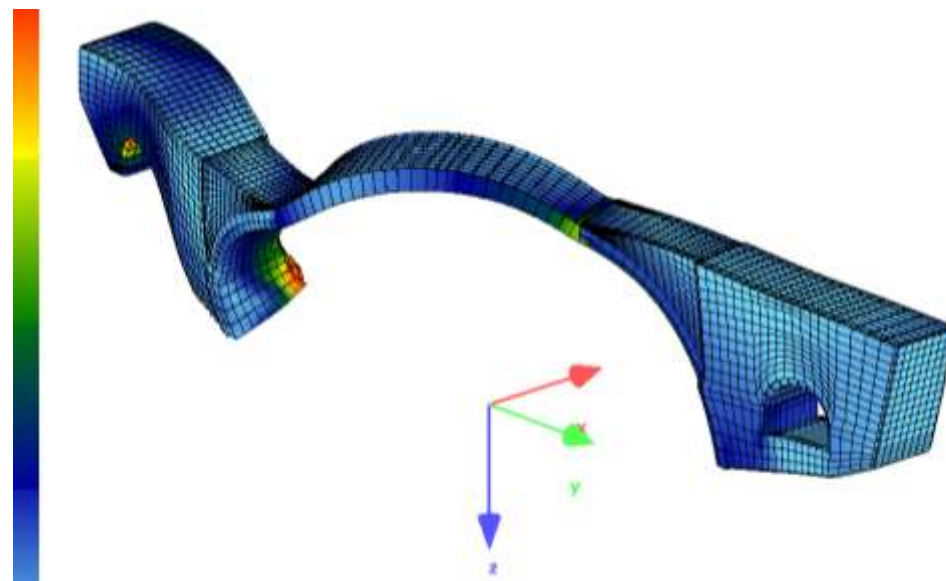
Επί πλέον, τα τμήματα των βάθρων κατέπεσαν προς τα ανάντη.



1995

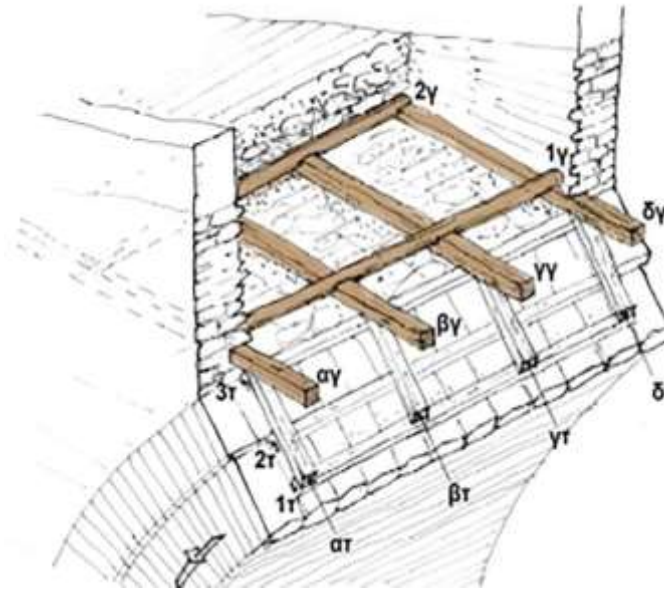
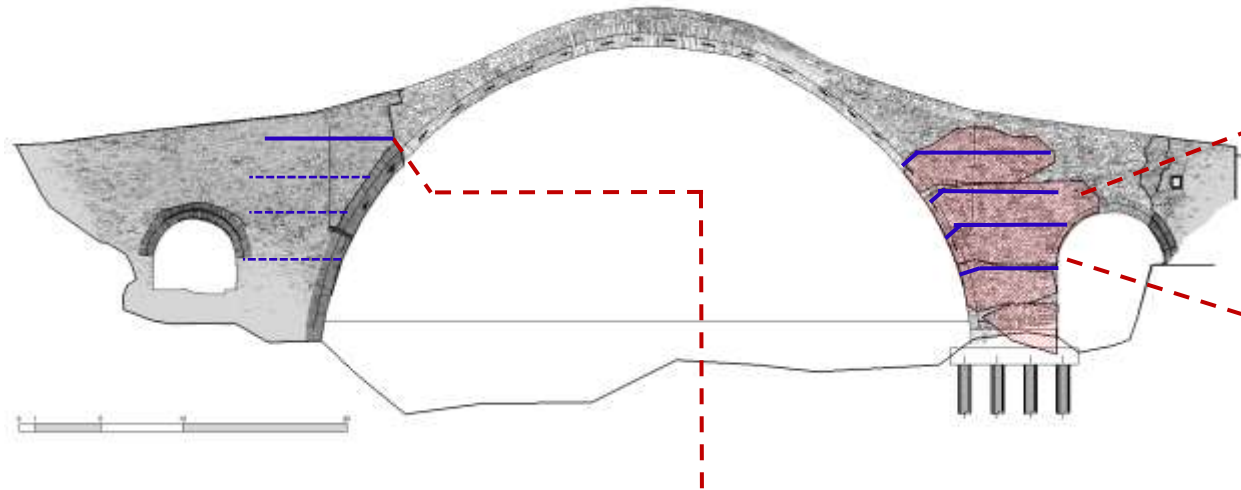


2015;



Γιαννέλος, Πλαϊνης

# Σύνδεσμοι - Ξύλα



Σκίτσο: Ειρήνη Εφεσίου

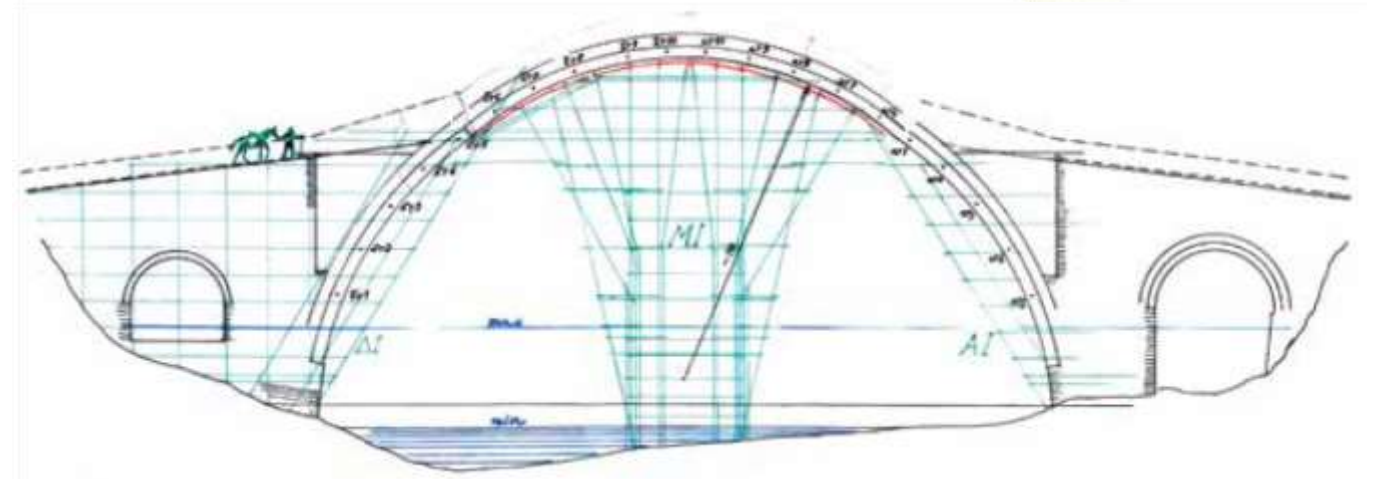
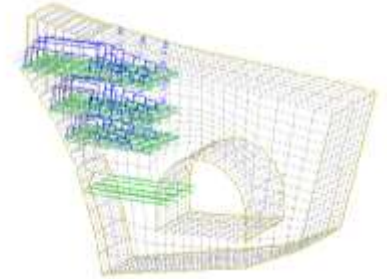
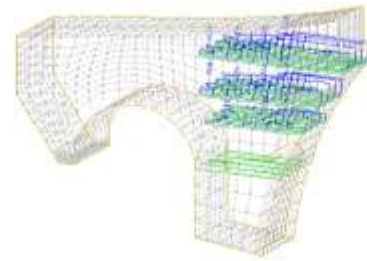


Γέφυρα Πετρωτού



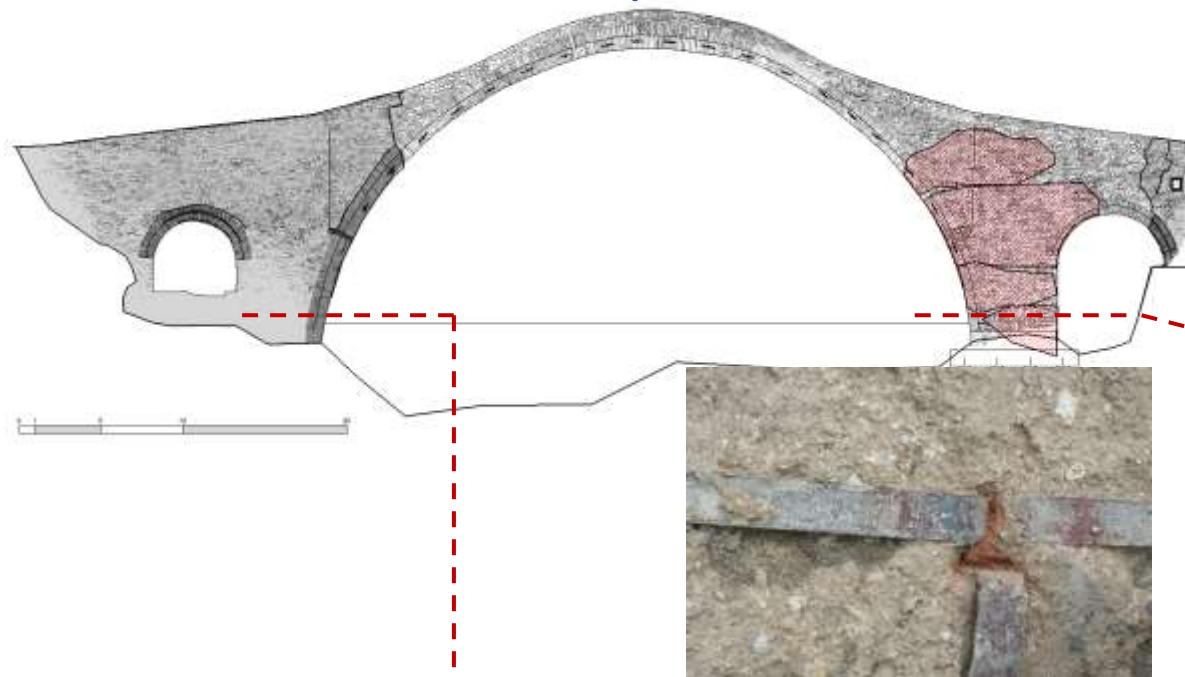
Γέφυρα Βρατσίστα

Οι ξύλινες εσχάρες εφελκύνονται κατά την φάση της κατασκευής



Σκαρίφημα Μ.Κορρές

# Μεταλλικοί Σύνδεσμοι



Οπλισμός διατμήσεως;  
Σιδηρά ελάσματα  
εισηγμένα (το 1866!) από  
την Αγγλία



# Γέφυρα Κόνιτσας (ποταμός Αώος)

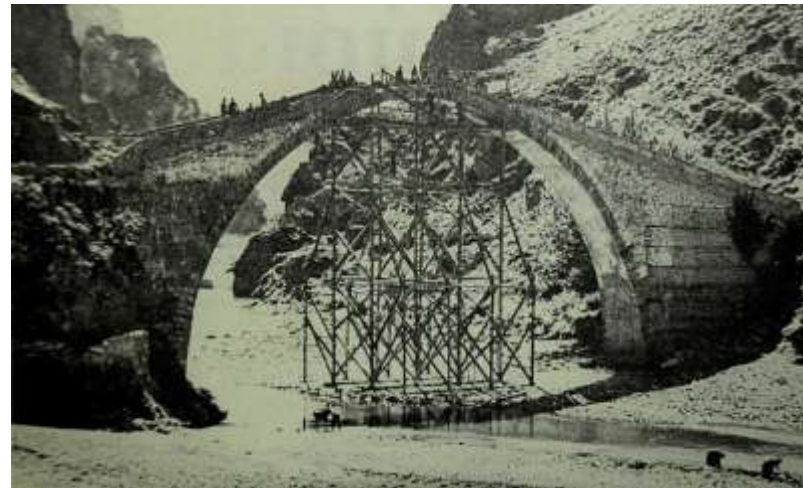


Φωτογραφία από τα ανάντη

Απόπειρα ανατίναξης από τον υποχωρούντα Οθωμανικό στρατό.  
Επισκευή την ίδια χρονιά (1913) από τον Γαλλικό στρατό



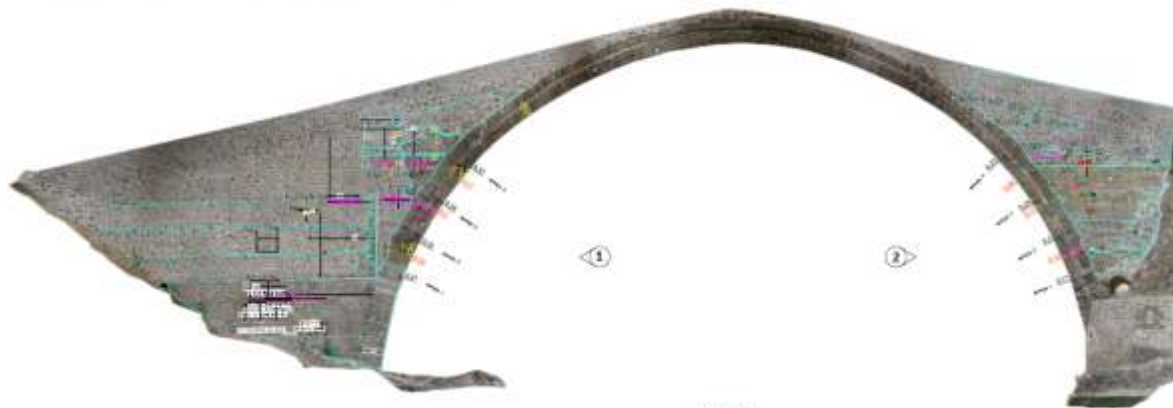
Rhomaides-Zeitz



Fred Boissonnas (Μ.Φωτογραφίας, Θεσ/νίκη)

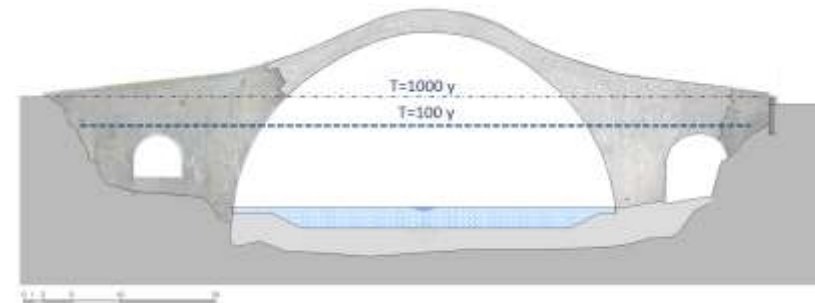
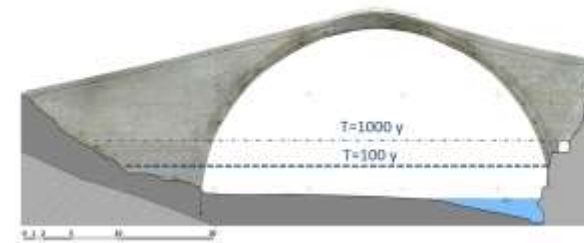
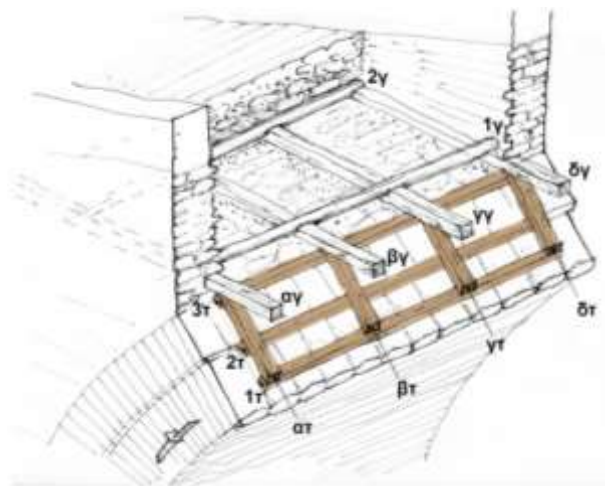


Διπλό τόξο



Άνοιγμα τόξου ίσο με 36,9m

Τοξωτή γέφυρα Κόνιτσας



Εντοπίστηκαν και τα δυο συστήματα ξύλινων ενισχύσεων. Άρπιζες, επίσης.





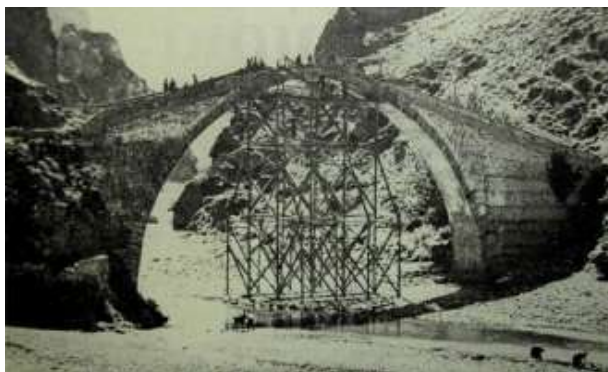
Εκτεταμένη  
διάβρωση  
οπλισμού,  
αποδιοργάνωση  
σκυροδέματος

Καλή ποιότητα  
σκυροδέματος,  
περιορισμένη  
ενανθράκωση



*Δεν διατίθενται στοιχεία τα οποία να  
επιτρέπουν την χρονολόγηση της κατασκευής  
του μανδύα Ω.Σ. στο εσωράχιο*





Η διερεύνηση απέδειξε ότι ο μανδύας αποτελεί μέρος της επισκευής της γέφυρας το 1913.



Γιατί κατασκευάστηκε αυτός ο μανδύας, αφού δεν συμμετέχει στην λειτουργία του τόξου έναντι κατακόρυφων φορτίων; (Η επισκευή πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες πολέμου-χωρίς υποστήλωση του τόξου)

Χρειάζεται, άραγε, επίλογος;