

# **«ΔΟΜΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ»**



**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΑΚΟΣ**  
**Δρ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ**  
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**  
**ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



Σημαντικά ρήγματα στη περιοχή της νήσου Λήμνου

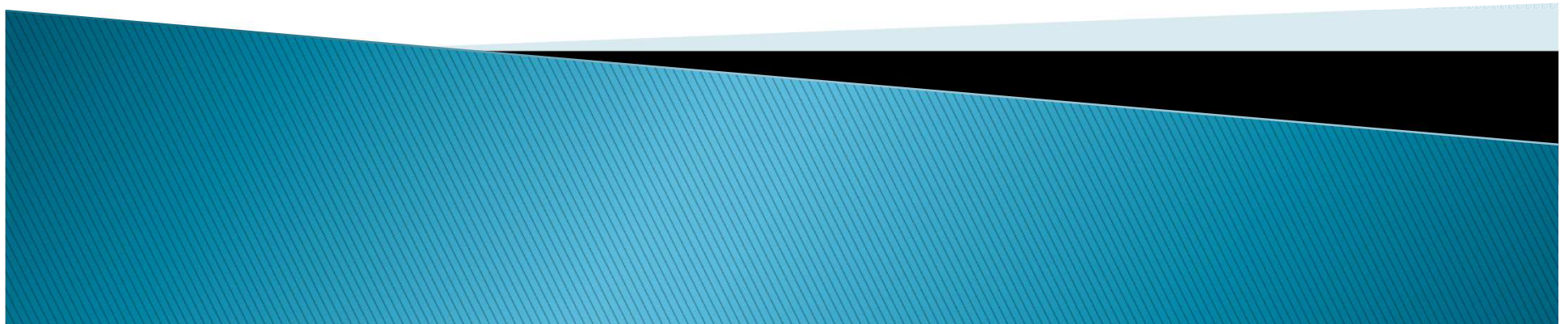




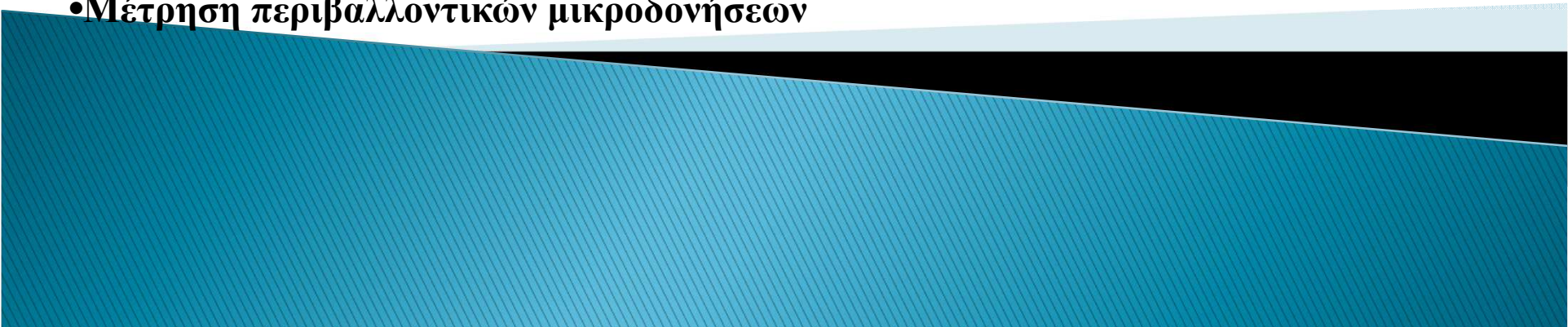
- Ο Ιερός Ναός (Ι.Ν.) του Αγίου Δημητρίου ανακατασκευάστηκε εκ βάθρων την περίοδο 1892-1902
- Είναι ρυθμού τρίκλινης βασιλικής με τρούλο,
- Το μήκος και το πλάτος του Ι.Ν. είναι 25 και 21 μέτρα αντίστοιχα.
- Το ύψος μέχρι τη βάση του τρούλου είναι 12μ και ο τρούλος έχει ύψος 5.65μ.



# **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ**



## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
  - Οπτικός έλεγχος
  - Κρουσιμέτρηση
  - Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
  - Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
  - Ενδοσκόπηση
  - Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
  - Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων
- 



**Η γεωτεχνική μελέτη είχε ως σκοπό:**

➤ την εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων που χρειάζονται για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και των αναμενόμενων πιθανών καθιζήσεων όπως και την εκτίμηση του δείκτη εδάφους, και

➤ την εκτίμηση της κατηγορίας του εδάφους από πλευράς σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8.

Εκτελέστηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση Γ1 βάθους 15.00 m.

Με τη διεξαγωγή της έρευνας διαπιστώθηκε ότι η επίδραση των εδαφικών στρώσεων στον επιφανειακό κραδασμό είναι αμελητέα, και για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φάσμα σχεδιασμού που προτείνεται στον ευρωπαϊκό αντισεισμικό κανονισμό EN1998 για έδαφος κατηγορίας Β.



2013.04.11 10:43



ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟΝ  
ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ (ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΙ)  
ΒΑΘΟΣ: 10.00 - 15.00  
Γ1

10.35

11.40

13.10

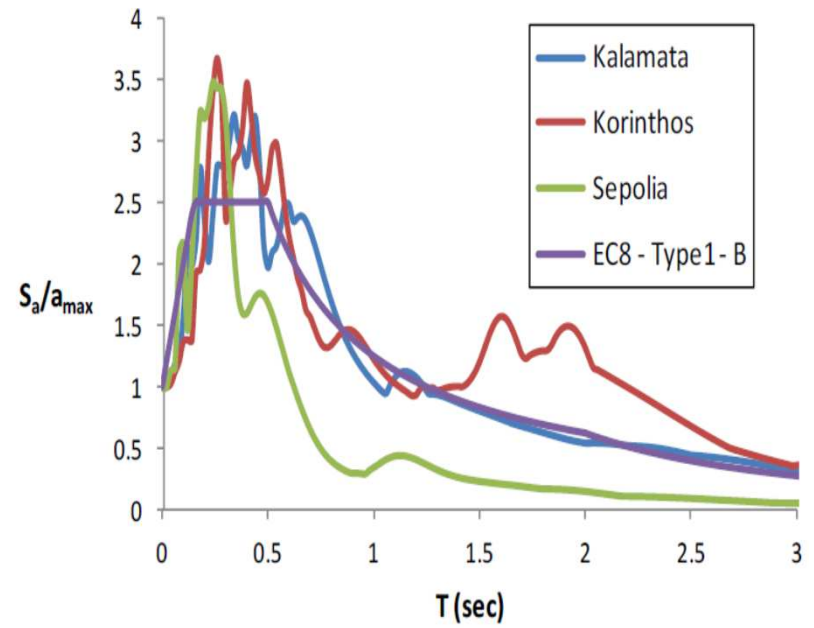
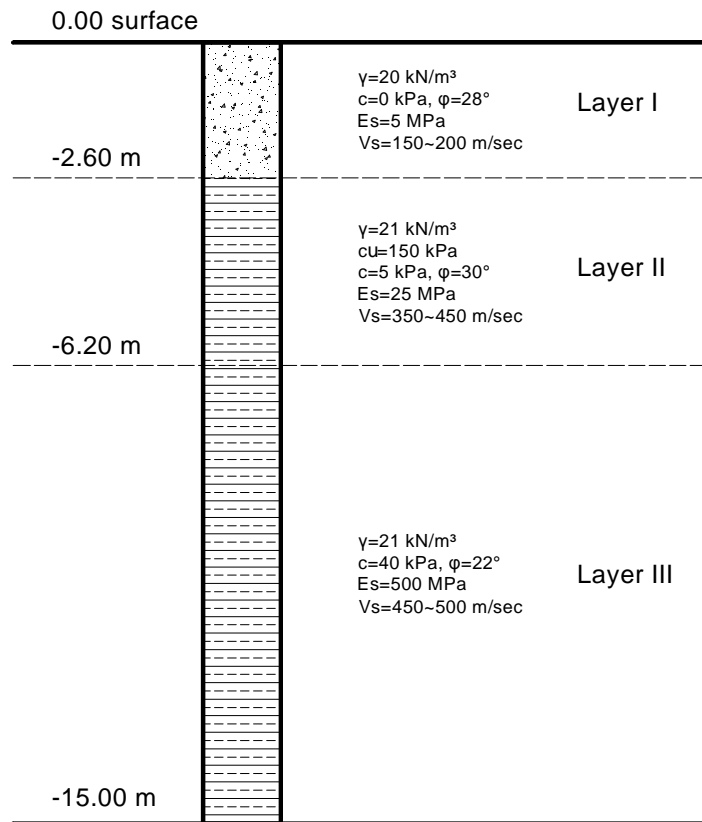
14.10

15.00

2013.04.11 18:28







## Επίδραση εδαφικών συνθηκών



## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

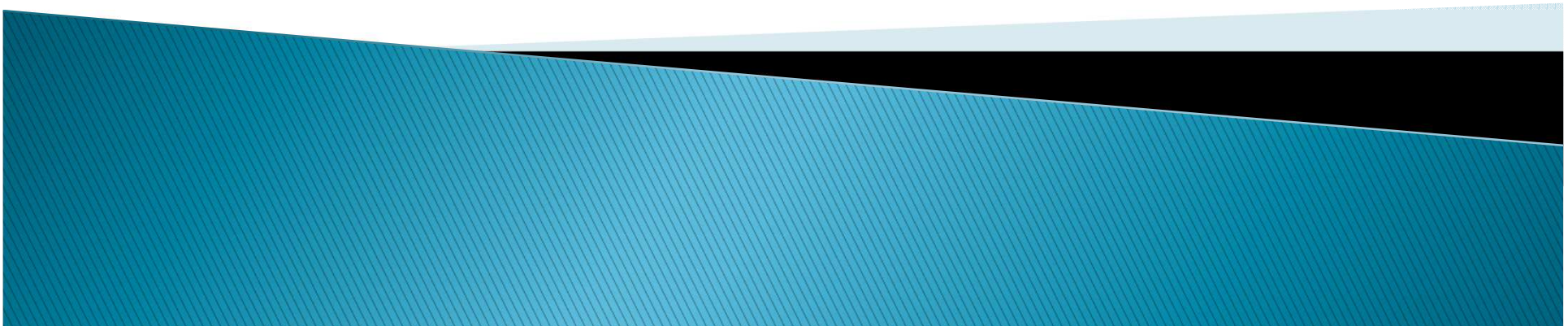
- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- **Οπτικός έλεγχος**
- Κρουσιμέτρηση
- Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
- Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- Ενδοσκόπηση
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

Μία γρήγορη και άμεση εκτίμηση της επιφανειακής κατάστασης της τοιχοποιίας και του σκυροδέματος μπορεί να γίνει οπτικά. Χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών.

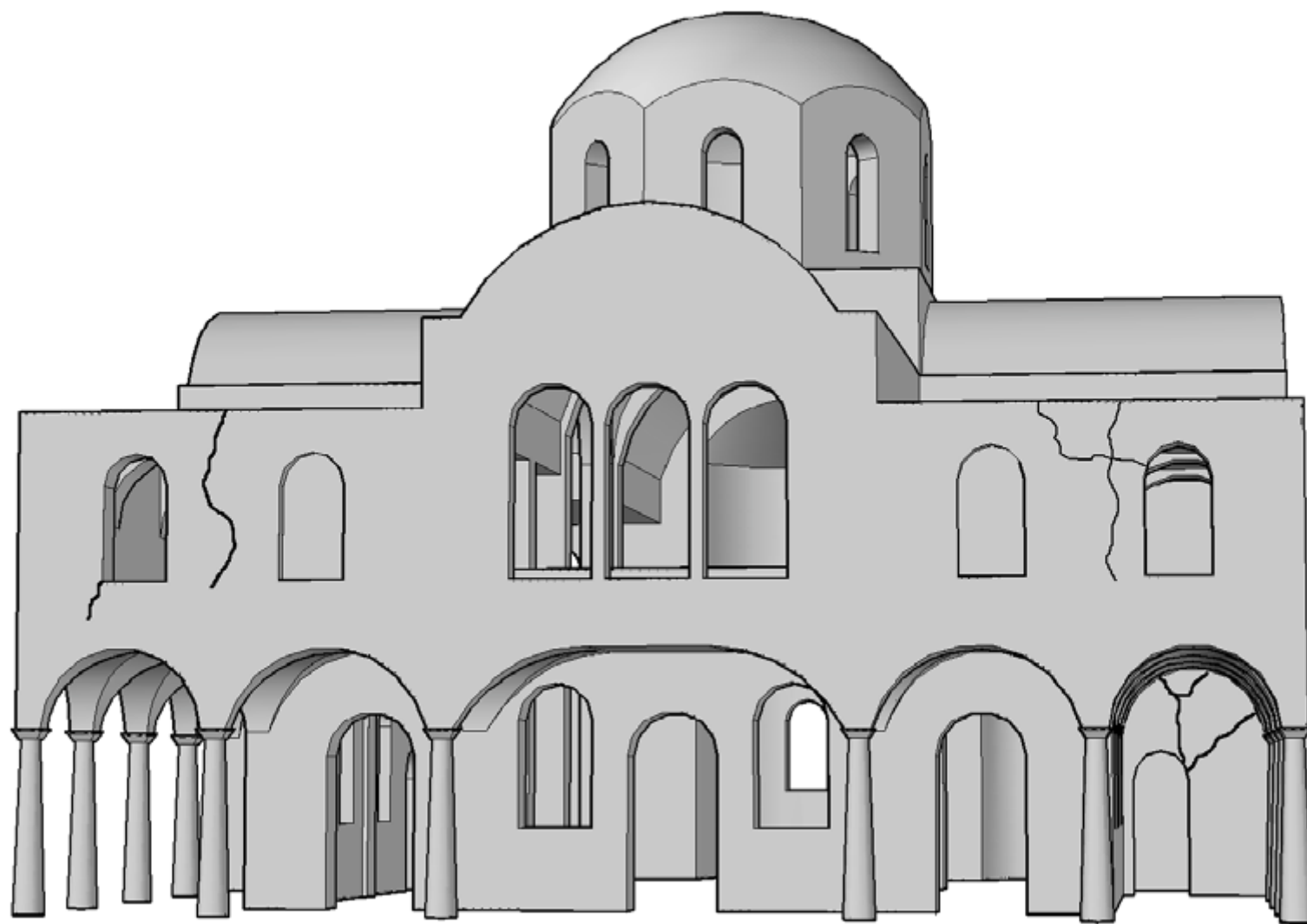


- **Παθολογία**

- Σχεδόν στο σύνολο του I.N. παρατηρούνται ρωγμές στη φέρουσα τοιχοποιία.
- Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής καταγραφή των ρωγμών και αποτυπώθηκαν πάνω σε σκαριφήματα των εσωτερικών και εξωτερικών όψεων.
- Αποτυπώθηκαν οι ρωγμές που κρίθηκαν αξιόλογες επισήμανσης.

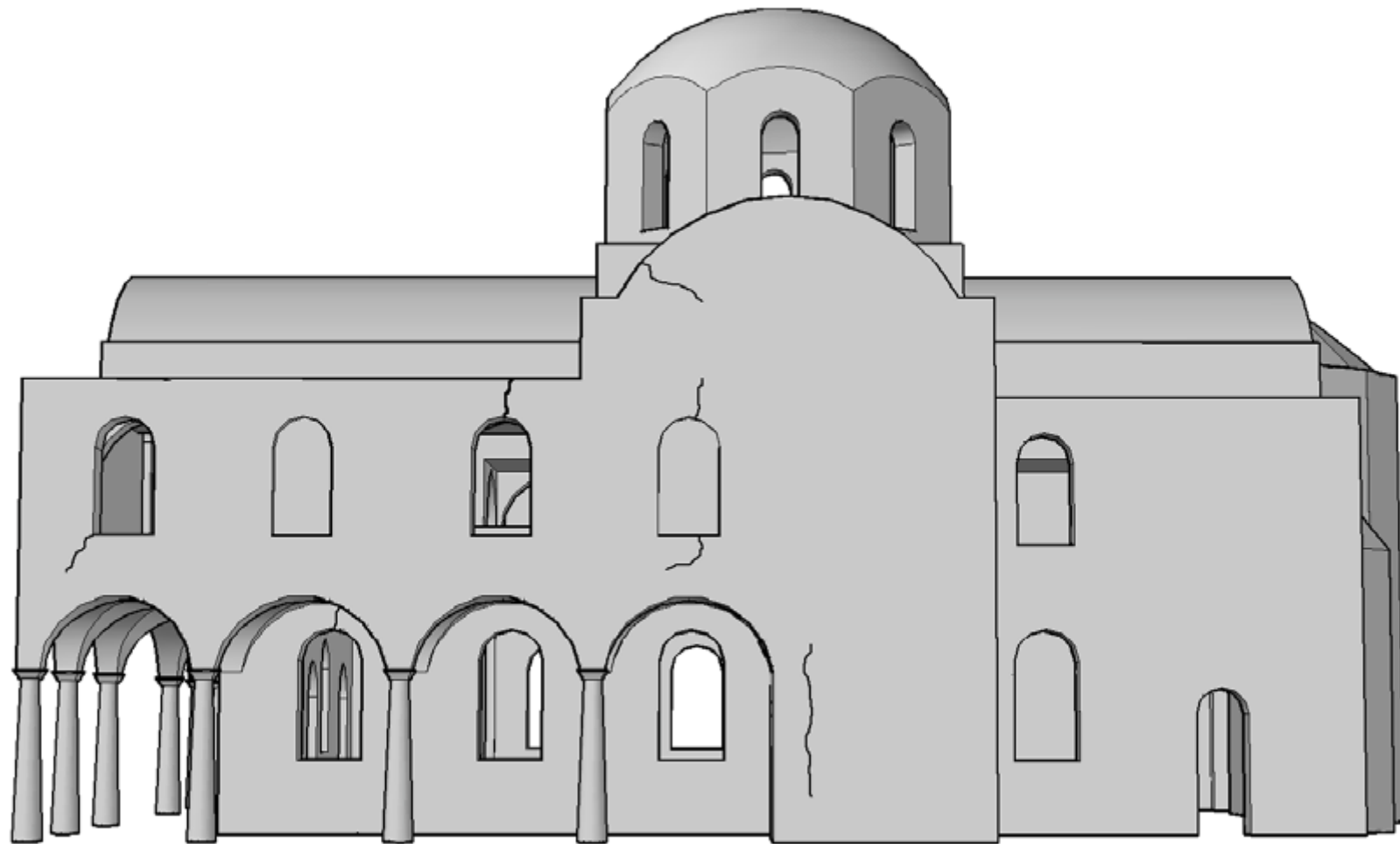


Δυτική όψη (πρόσοψη)

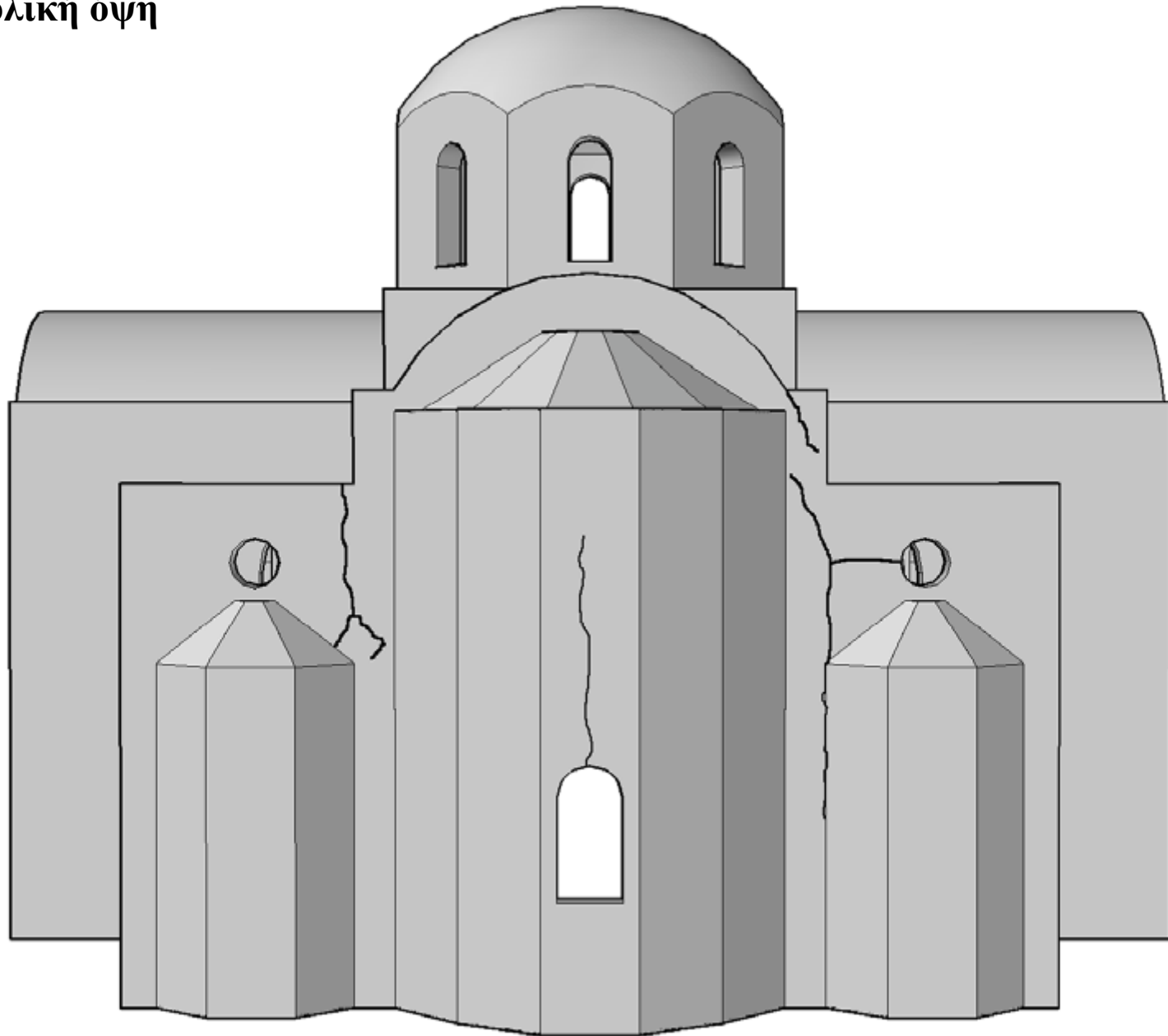




# Νότια όψη

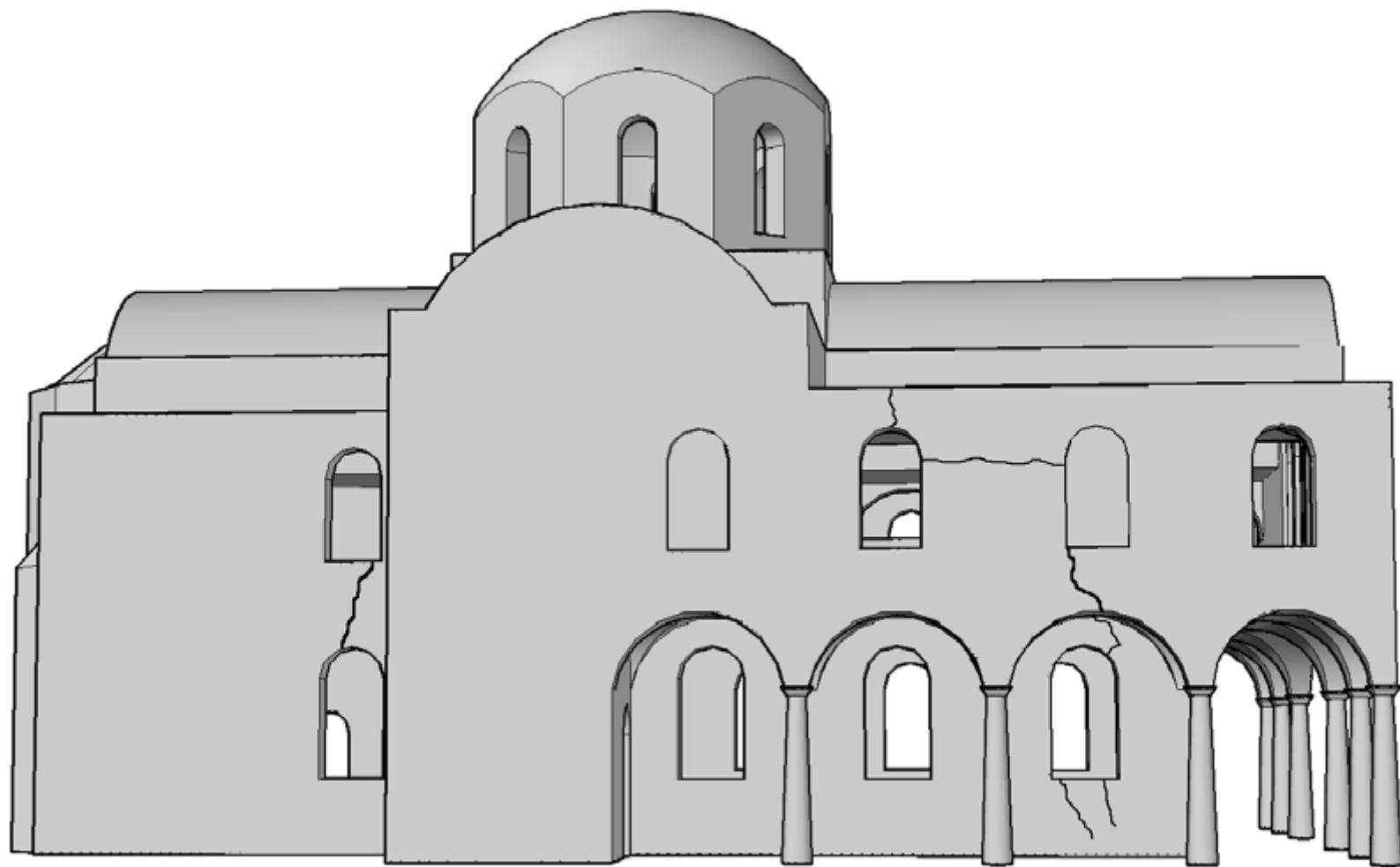


# Ανατολική όψη





# Βόρεια όψη



- **Αποτύπωση αγιογραφημένων περιοχών**

- Οι αγιογραφήσεις στον Ι.Ν. είναι σχετικά περιορισμένες σε έκταση
- Αγιογράφιση υπάρχει και στις περιοχές των ημικυλινδρικών επιφανειών στήριξης του τρούλου.

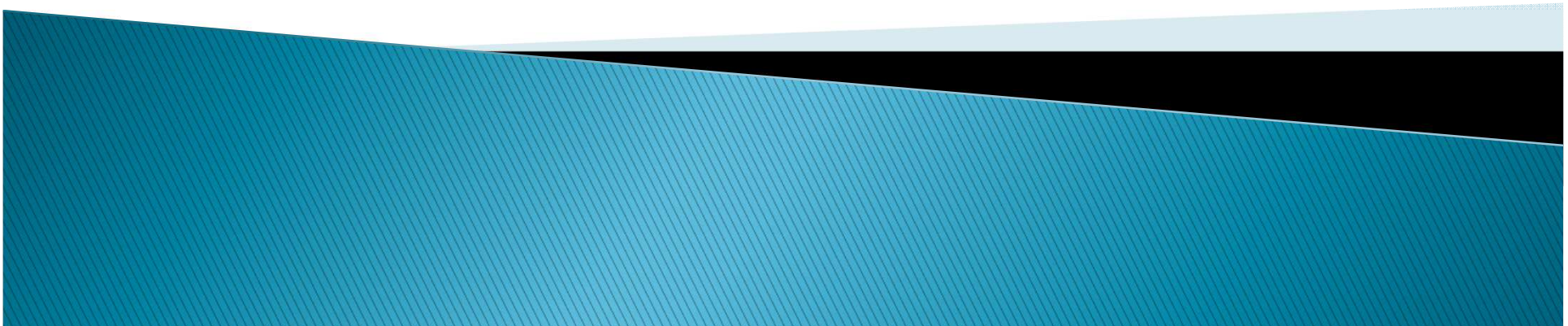
Πρέπει να σημειωθεί ότι η αγιογραφίες του Ι.Ν. είναι σύγχρονες και ζωγραφισμένες πάνω σε καμβά, ο οποίος τοποθετήθηκε έπειτα στην τοιχοποιία.



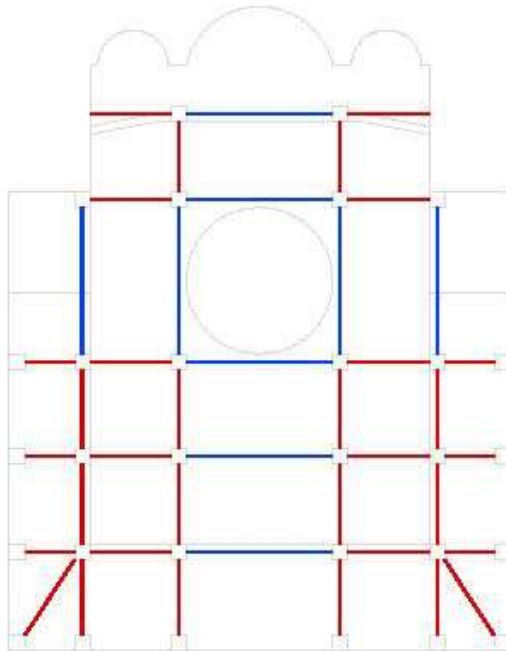


- **Αποτύπωση ελκυστήρων**


- Γενικά, ελκυστήρες έχουν τοποθετηθεί σε όλες τις ασίδες της φέρουσας τοιχοποιίας. εσωτερικά ουσιαστικά οριοθετούνται δύο οριζόντια επίπεδα ελκυστήρων.
- Το πρώτο στο +1,80 από το δάπεδο του γυναικωνίτη, και το άλλο αρκετά ψηλότερα, στο +8,50
- Ως προς το βαθμό οξείδωσης τους, παρατηρήθηκε ότι οι εξωτερικοί ελκυστήρες, εμφανίζουν έντονα σημάδια προχωρημένης οξείδωσης, ενώ οι εσωτερικοί, είναι σε αρκετά καλύτερη κατάσταση.
- Από τον έλεγχο της τοποθέτησης των ελκυστήρων προέκυψε ότι η αγκύρωσή τους είναι ανεπαρκής (μήκος και κονίαμα πάκτωσης).




ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ: 10

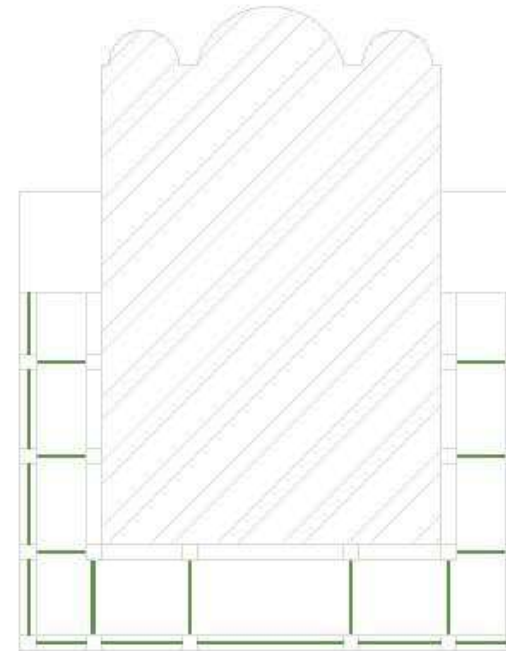


ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΟΨΗΣ  
ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΣΕ ΥΨΟΣ ~+1.80  
ΑΠΟ ΔΑΠΕΔΟ ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗ

 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΣΕ ΥΨΟΣ > +1.80  
ΑΠΟ ΔΑΠΕΔΟ ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗ  
(ΥΨΟΣ ΗΜΙΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΣΤΕΓΩΝ  
ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΡΟΥΛΟΥ)

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ: 11



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΤΟΨΗΣ  
ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ



Εργασίες διερεύνησης μήκους αγκύρωσης ελκυστήρων



## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- Οπτικός έλεγχος
- **Κρουσιμέτρηση**
- Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
- Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- Ενδοσκόπηση
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

Ο συνηθέστερος μη καταστροφικός έλεγχος είναι η κρουσιμέτρηση. Η μέθοδος βασίζεται στο συσχέτισμό της σκληρότητας της επιφάνειας των λιθωμάτων με τη θλιπτική αντοχή τους. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η σκληρότητα της επιφάνειας του εξεταζόμενου υλικού ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου.

## Μέτρηση αντοχής λίθων - Κρουσιμέτρηση

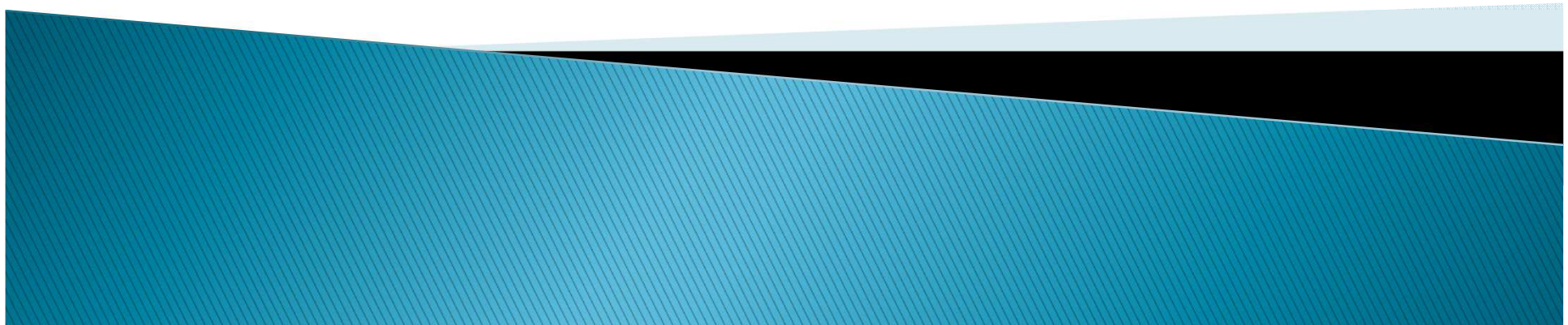


Ο συνηθέστερος μη καταστροφικός έλεγχος.  
Συσχετισμός σκληρότητας της επιφάνειας των λιθοσωμάτων με τη θλιπτική αντοχή τους.



- Οι επιφάνειες που ελέγχονται με τη μέθοδο της κρουσιμέτρησης πρέπει να είναι απολύτως λείες.
- Ενδεικτικά από τις κρουσιμετρήσεις προέκυψαν οι αντοχές:

Κρουσιμέτρηση 1	71,50 MPa
Κρουσιμέτρηση 2	45,50 MPa
Κρουσιμέτρηση 3	36,00 MPa
Κρουσιμέτρηση 4	38,50 MPa
Κρουσιμέτρηση 5	31,50 MPa
Κρουσιμέτρηση 6	52,00 MPa





## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- Οπτικός έλεγχος
- Κρουσιμέτρηση
- **Διερεύνηση αντοχής κονιάματος**
- Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- Ενδοσκόπηση
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

Για το χαρακτηρισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υλικών κατασκευής κονιάματος από την Λήμνο, ελήφθησαν δείγματα κονιάματος και στάλθηκαν στο εργαστήριο για ανάλυση.

Οι θέσεις δειγματοληψίας επελέγησαν ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών και της κατάστασης διατήρησης του. Για τον χαρακτηρισμό του κονιάματος μελετήθηκε η σύσταση και η μικροδομή. Τα σημεία στα οποία επικεντρώθηκε η αναλυτική διαδικασία είναι:

- η αποκάλυψη του χαρακτήρα του κονιάματος (αεροπαγές, υδραυλικό, μικτό),
- η σύσταση της συνδετικής κονιάς,
- το είδος και η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών,
- η αναλογία των πρώτων υλών,

Οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για το χαρακτηρισμό των υλικών κατασκευής είναι:

- Οπτική μικροσκοπία
- Μελέτη της κοκκοδιαβάθμισης των αδρανών
- Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

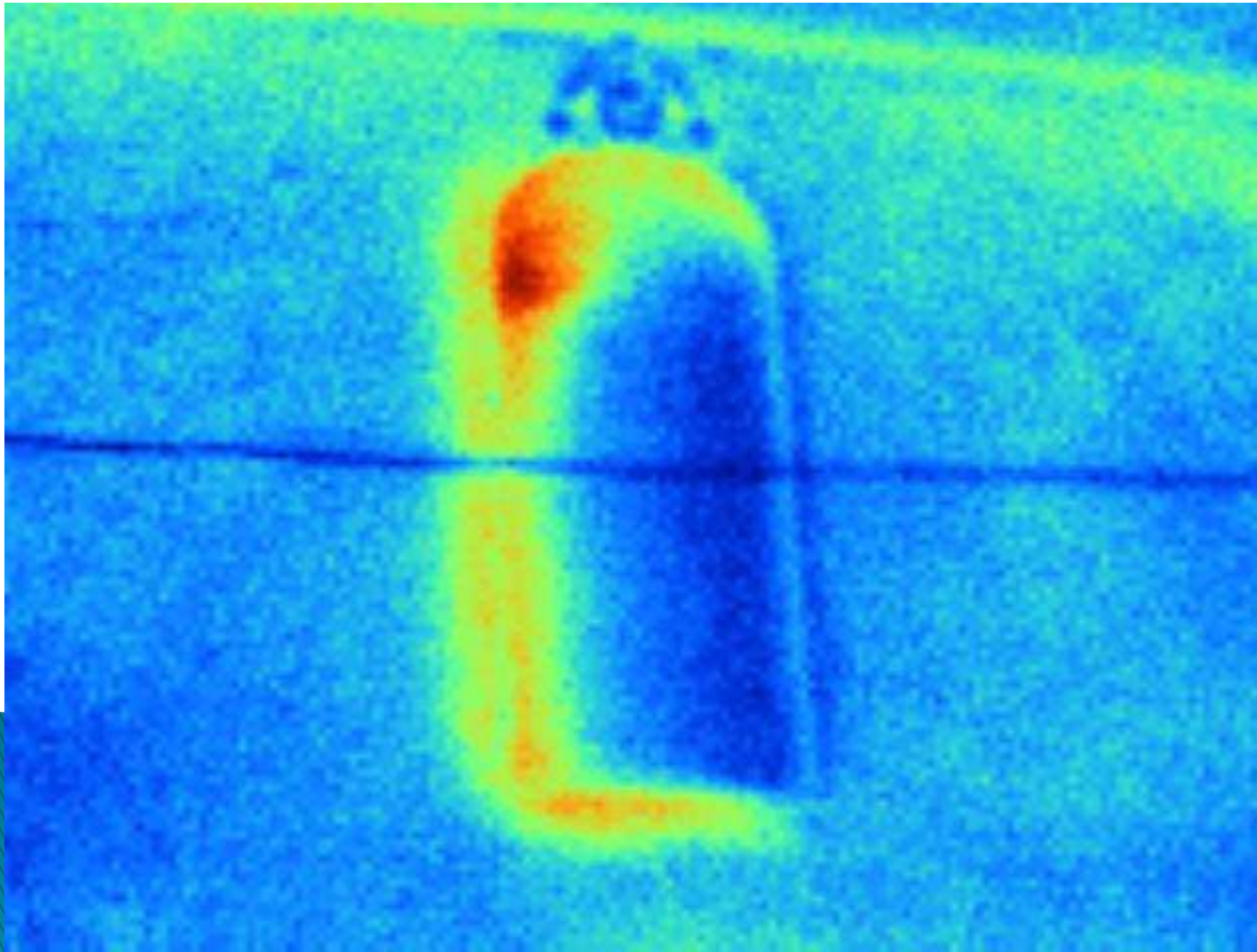
## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- Οπτικός έλεγχος
- Κρουσιμέτρηση
- Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
- **Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία**
- Ενδοσκόπηση
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

Μία πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας τοποθετείται στη μία πλευρά του υπό έλεγχο στοιχείου και η ροή υπέρυθρης ενέργειας καταγράφεται και αναλύεται. Τυχόν κενά ή ασυνέχειες στο σώμα της τοιχοποιίας διαταράσσουν τη ροή της ακτινοβολίας και έτσι μπορούν να εντοπιστούν.



Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους και αλλαγών στα υλικά δόμησης της τοιχοποιίας.



Εμφάνιση υγρασίας σε κλεισμένο παράθυρο

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- Οπτικός έλεγχος
- Κρουσιμέτρηση
- Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
- Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- **Ενδοσκόπηση**
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

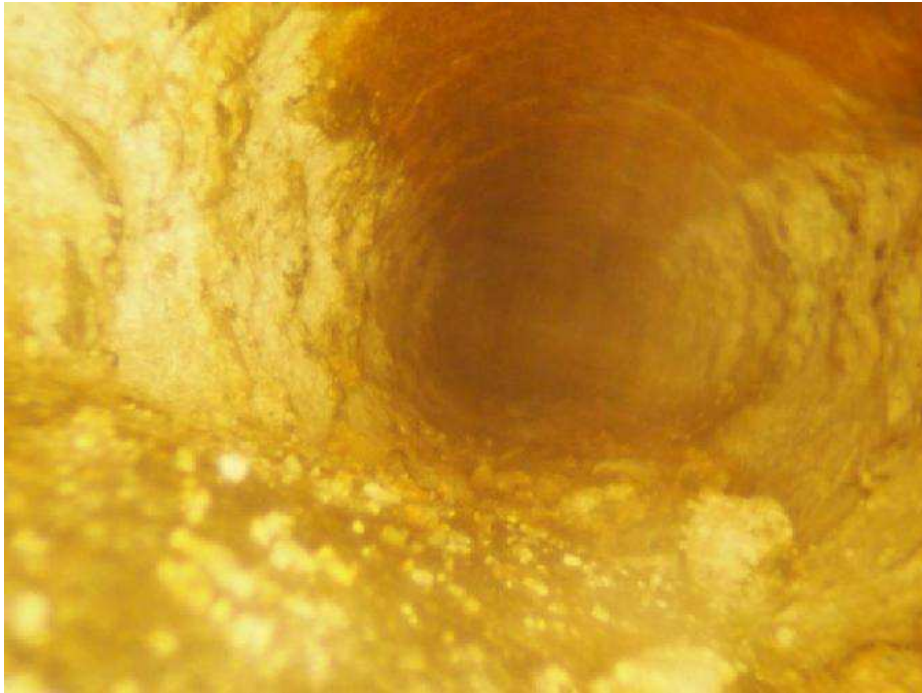
Η αναγνώριση του τρόπου δομήσεως αποτελεί απαραίτητο στάδιο της συνολικής μελέτης αποκατάστασης διατηρητέων κτηρίων και Μνημείων, διότι η μελέτη του τρόπου δόμησης παρέχει τις αναγκαίες πληροφορίες για την αποτίμηση της αντοχής της τοιχοποιίας και αποτελεί μέρος της τεκμηρίωσης της υπάρχουσας κατάστασης του Μνημείου.





Θέση εφαρμογής της ενδοσκόπησης

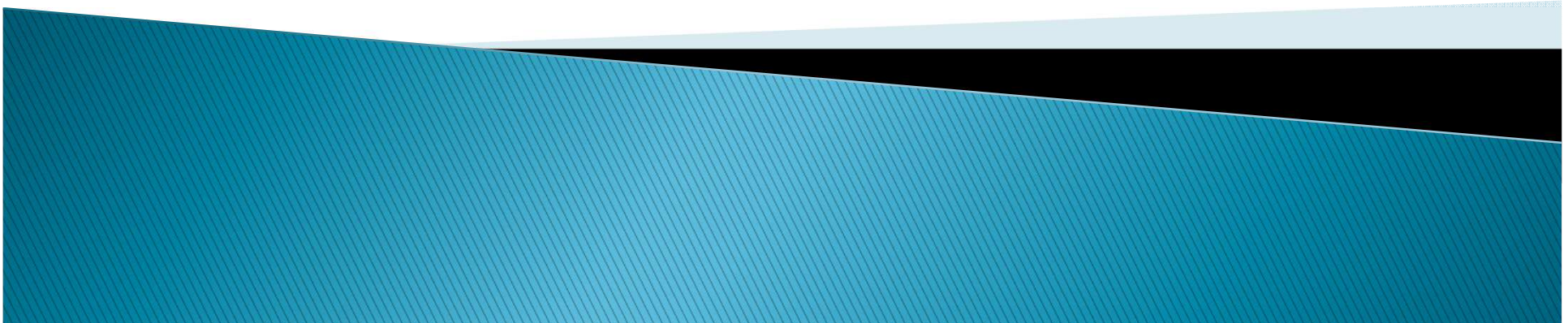





Το εσωτερικό της οπής στην  
θέση ενδοσκόπησης.



Ενδοσκόπιο



## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
  - Οπτικός έλεγχος
  - Κρουσιμέτρηση
  - Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
  - Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
  - Ενδοσκόπηση
  - Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
  - Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων
- 





## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

- Γεωτεχνική έρευνα- μελέτη
- Οπτικός έλεγχος
- Κρουσιμέτρηση
- Διερεύνηση αντοχής κονιάματος
- Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία
- Ενδοσκόπηση
- Μέθοδος απλών & διπλών Γρύλλων
- **Μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων**

Ο συγκεκριμένος έλεγχος πραγματοποιείται με σκοπό τον προσδιορισμό της θεμελιώδους και των ανώτερων ιδιομορφών ενός κτίσματος στη σημερινή του κατάσταση.

**Οι περιβαλλοντικές δονήσεις** (ambient vibrations), είναι μόνιμες, μικρού πλάτους και το σπουδαιότερο, το πεδίο συχνοτήτων του φάσματος διέγερσης έχει μεγάλο εύρος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να διεγερθούν πολλές κανονικές μορφές του κτιρίου των οποίων η ιδιοσυχνότητά τους βρίσκεται στο φάσμα αυτό.

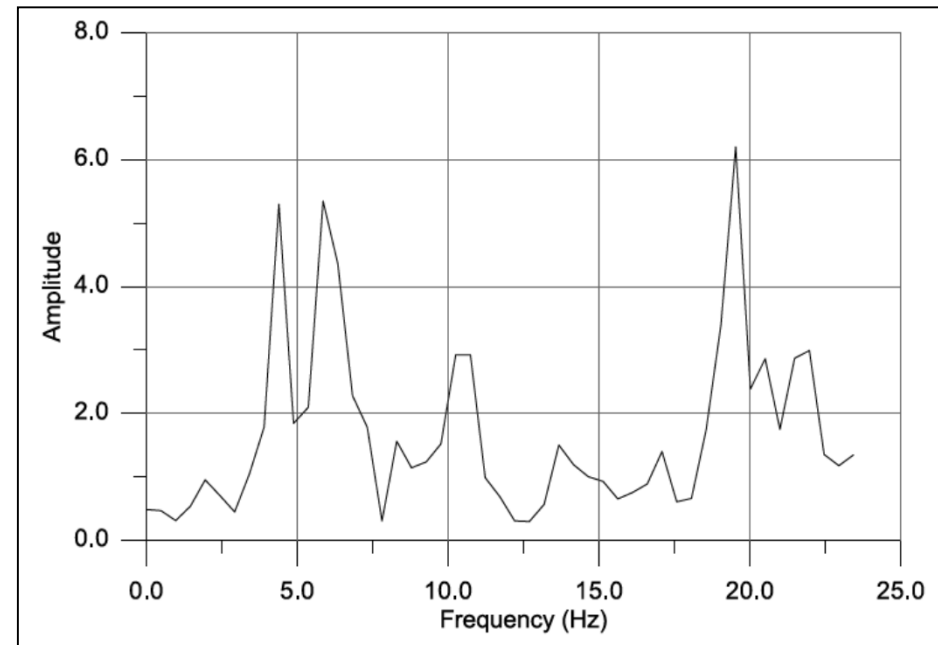
**Η σεισμική συμπεριφορά** ενός κτιρίου εξαρτάται κύρια από:

- τη σεισμική διέγερση,
- τα δυναμικά χαρακτηριστικά του
- τη σχέση που έχουν οι ιδιοπερίοδοί του με την ή τις δεσπόζουσες περιόδους της σεισμικής διέγερσης.

Ο βαθμός βλάβης ενός κτιρίου μπορεί να προσδιοριστεί από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ελεύθερων ταλαντώσεών του. Ασυνέχεια στην καθ' ύψος ταλάντωση οφείλεται σε ασυνέχεια της δυσκαμψίας, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις οφείλεται σε βλάβη στο φέροντα οργανισμό.



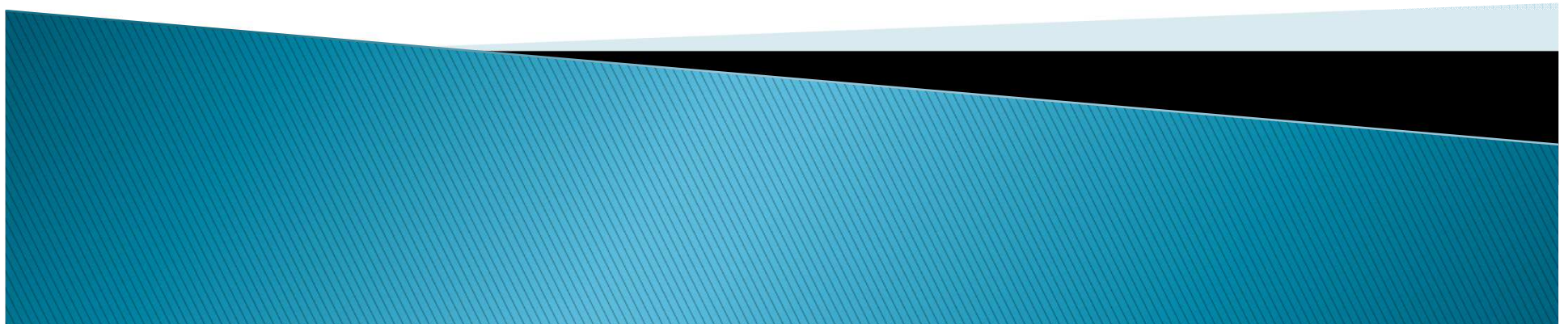
**Πραγματοποιήθηκαν 8  
μετρήσεις σε διάφορες θέσεις  
και διευθύνσεις.**



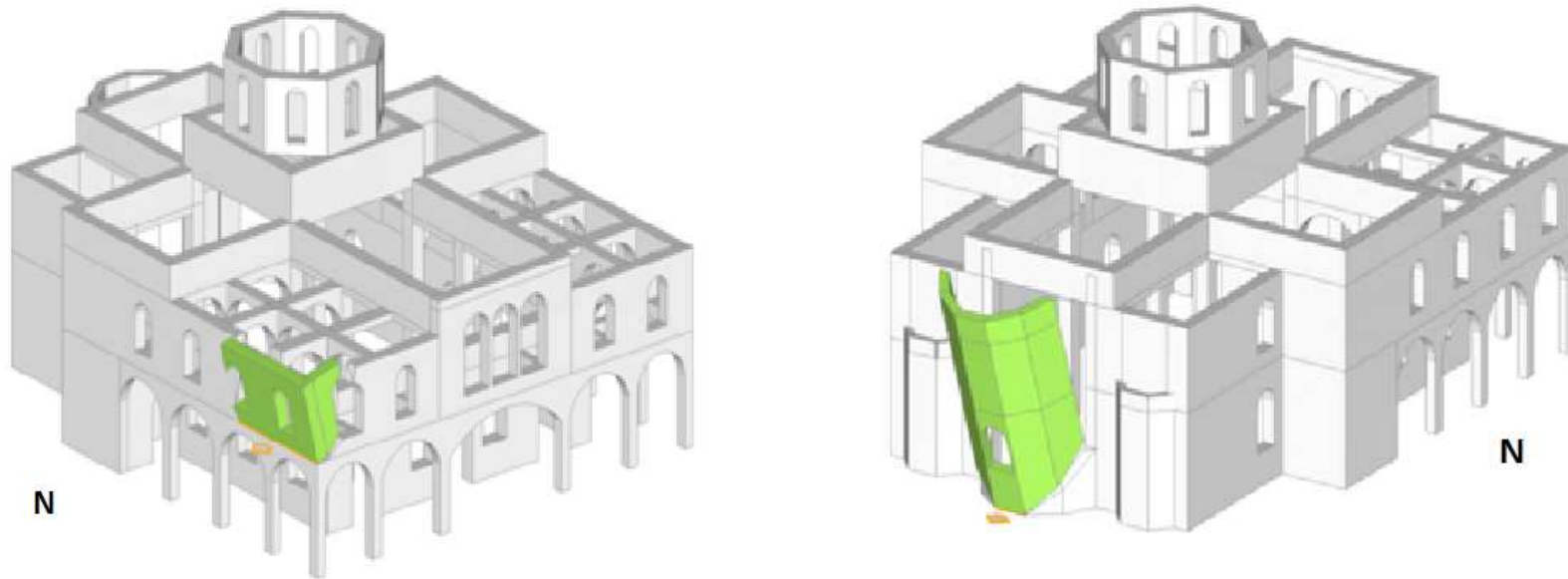
Ενδεικτικές θέσεις τοποθέτησης οργάνων



# **ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ**



# ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΜΕ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ



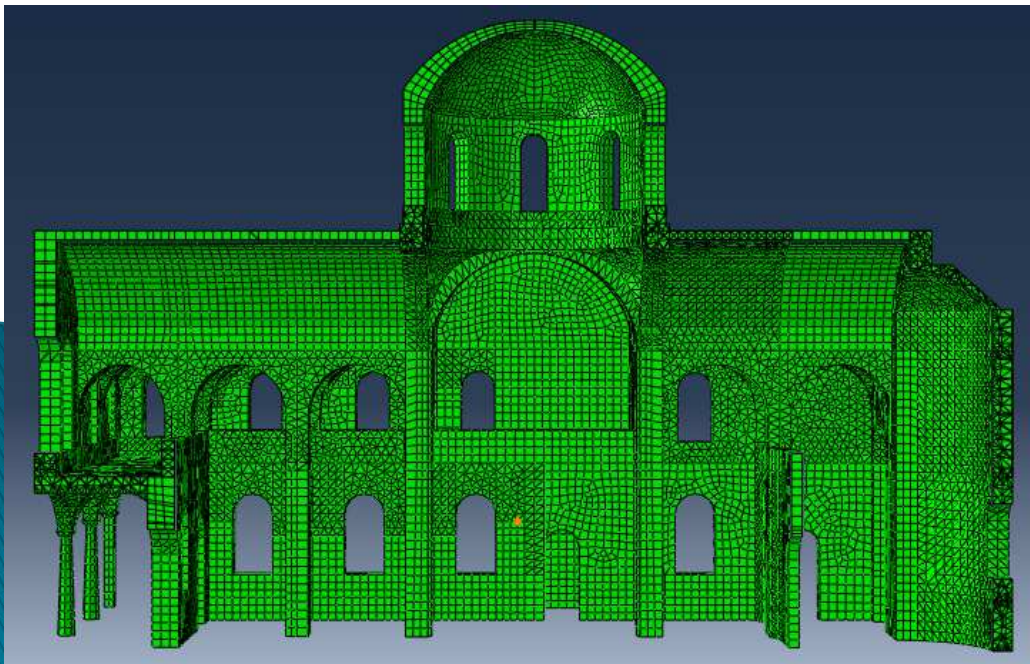
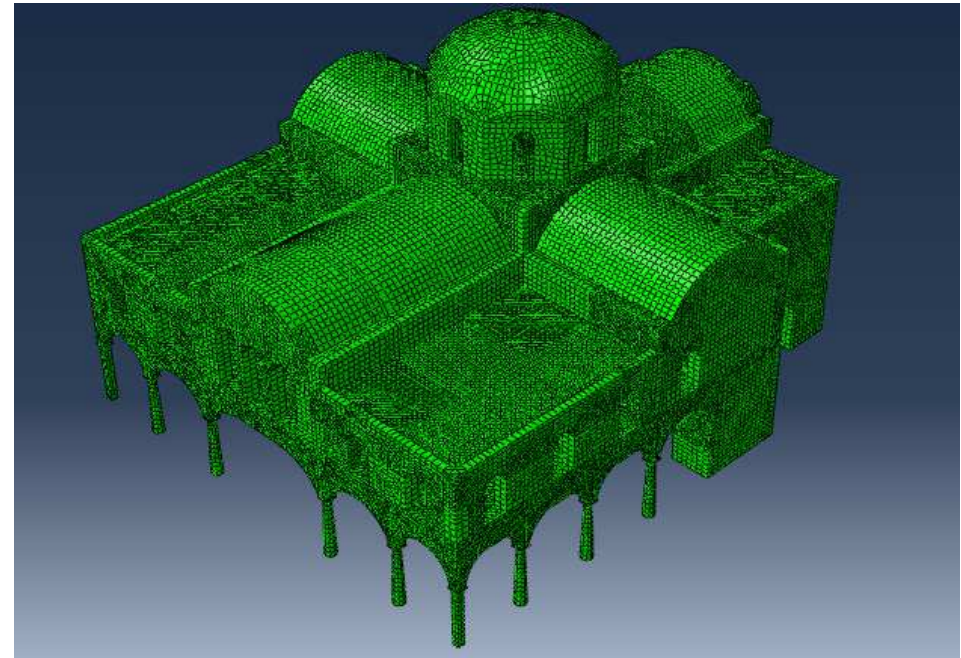
Spyrakos, C.C., Francioso, A., Kiriakopoulos, P.D., & Papoutsellis, S. (2013). Seismic evaluation of the historic church of St. Nicholas in Piraeus before and after interventions. In *Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering COMPDYN 2013* (pp. 3015-3029). Kos, Greece; ECCOMAS.

Η ανάλυση μνημείων και κτιρίων πολιτιστικής σημασίας γίνεται συνήθως με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων η οποία εφαρμόζεται με την ανάπτυξη μοντέλου το οποίο προσομοιώνει την πραγματική κατασκευή με βάση στοιχεία που βασίζονται σε επιτόπου μετρήσεις της γεωμετρίας, των υλικών του φορέα και της τεχνοτροπίας δόμησής του. Με σκοπό τη βέλτιστη προσομοίωση του φορέα και την αξιόπιστη επίλυσή του για στατικά και σεισμικά φορτία με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών πεπερασμένα στοιχεία:

- **Στοιχεία Όγκου (solid elements)**
- **Γραμμικά Στοιχεία (beam elements- frames)**



Χρήση του λογισμικού  
πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS.  
Τοιχοποιία με τετραεδρικά στοιχεία  
όγκου τύπου C3D4 και ελκυστήρες  
με γραμμικά στοιχεία τύπου T3D2.



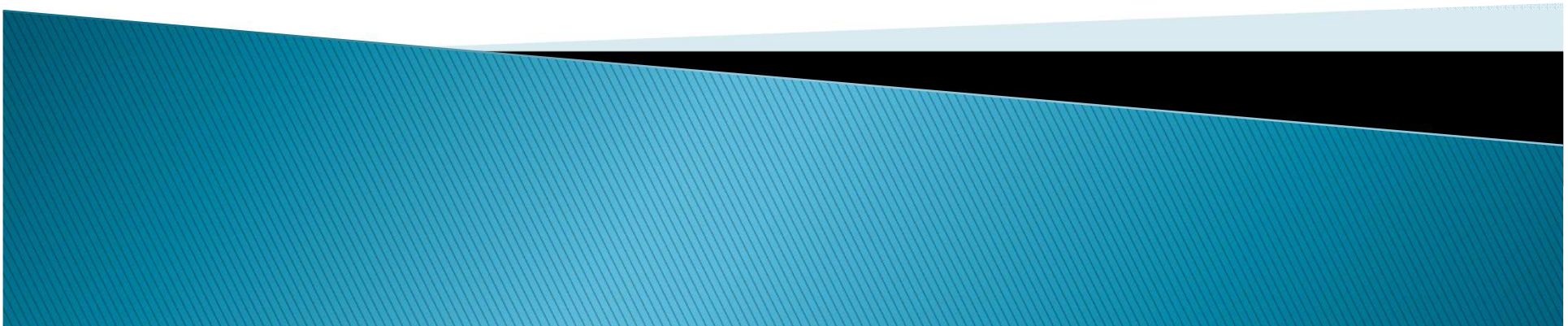
Τρισδιάστατη απεικόνιση του  
προσομιώματος

Κατά μήκος τομή

## ➤ Σεισμικά φορτία

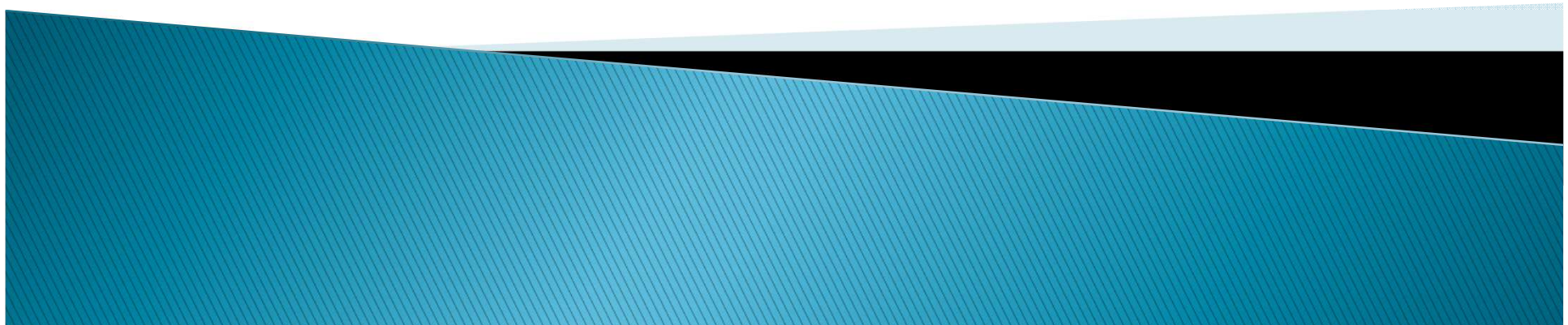
- Τα σεισμικά φορτία υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό. Με δεδομένο ότι η Λήμνος ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ελήφθη  $\alpha=0,24$ .
- Επιπλέον έγιναν αναλύσεις για την εξέταση της επίδρασης των φαινομένων «εγγύς πεδίου».

Spyrakos, C.C., Maniatakis, C.A., & Taflambas, J. (2008). «Evaluation of near source seismic records based on damage potential parameters: Case study: Greece». *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 738-753



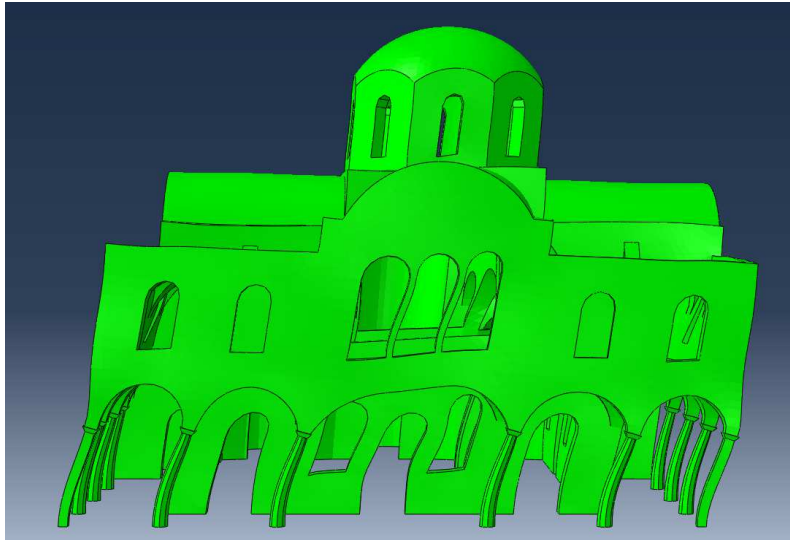


# **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ**

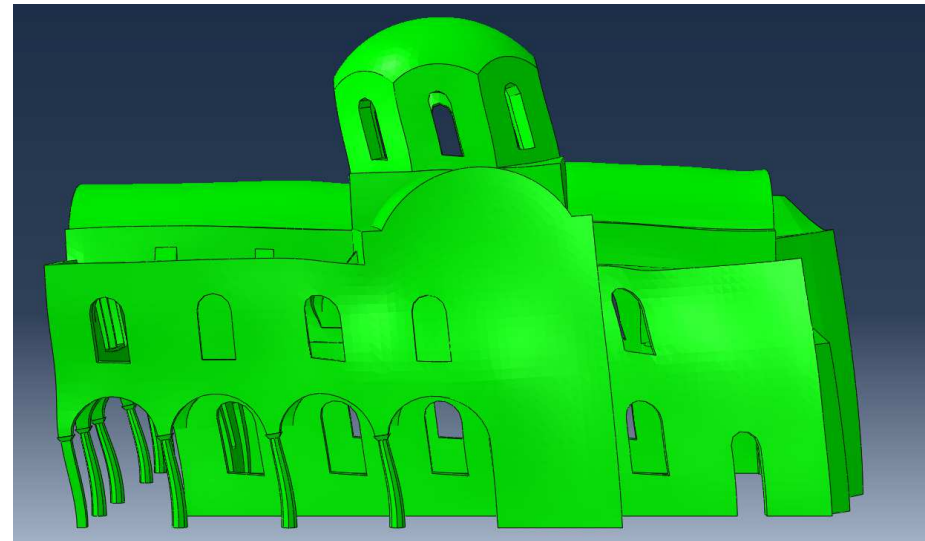




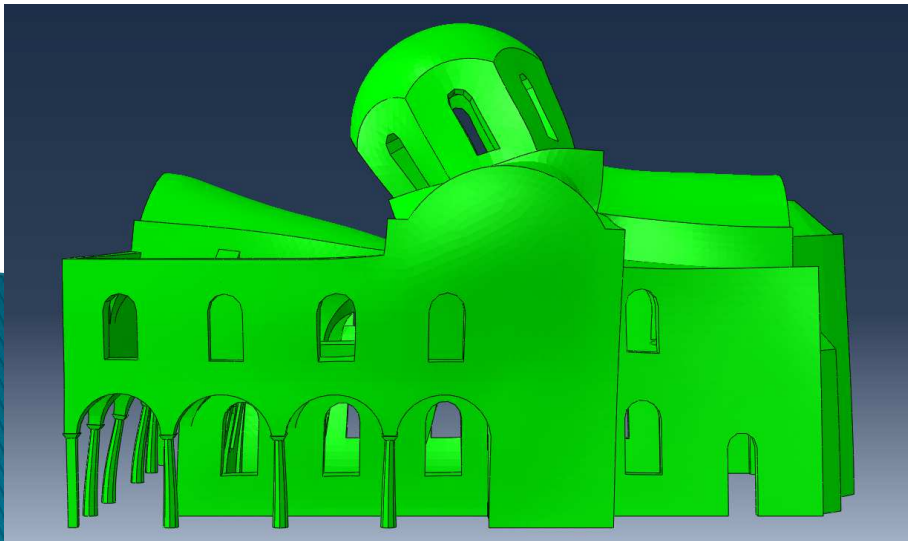
## ➤ Ιδιομορφική ανάλυση



1<sup>η</sup> Ιδιομορφή



2<sup>η</sup> Ιδιομορφή

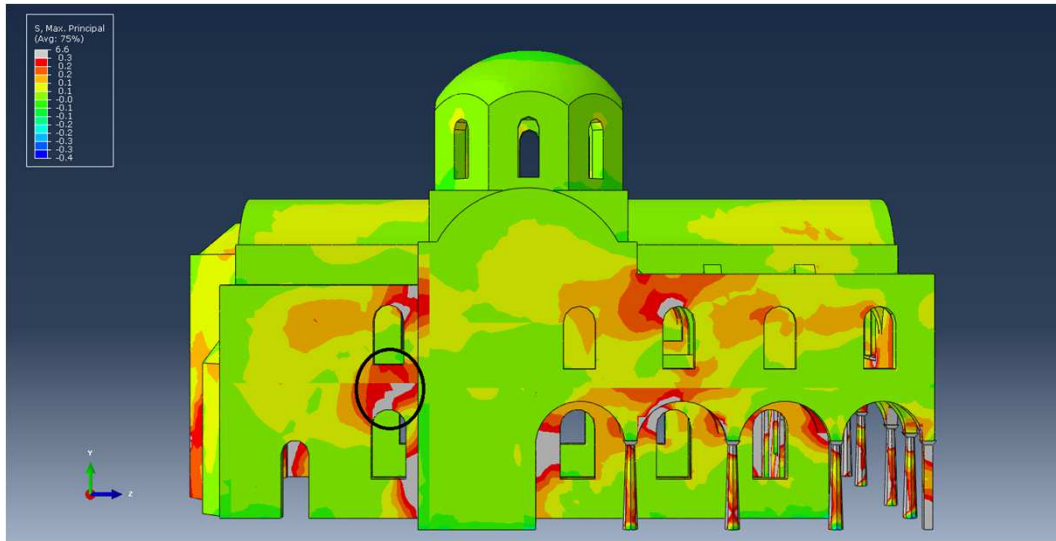


3<sup>η</sup> Ιδιομορφή

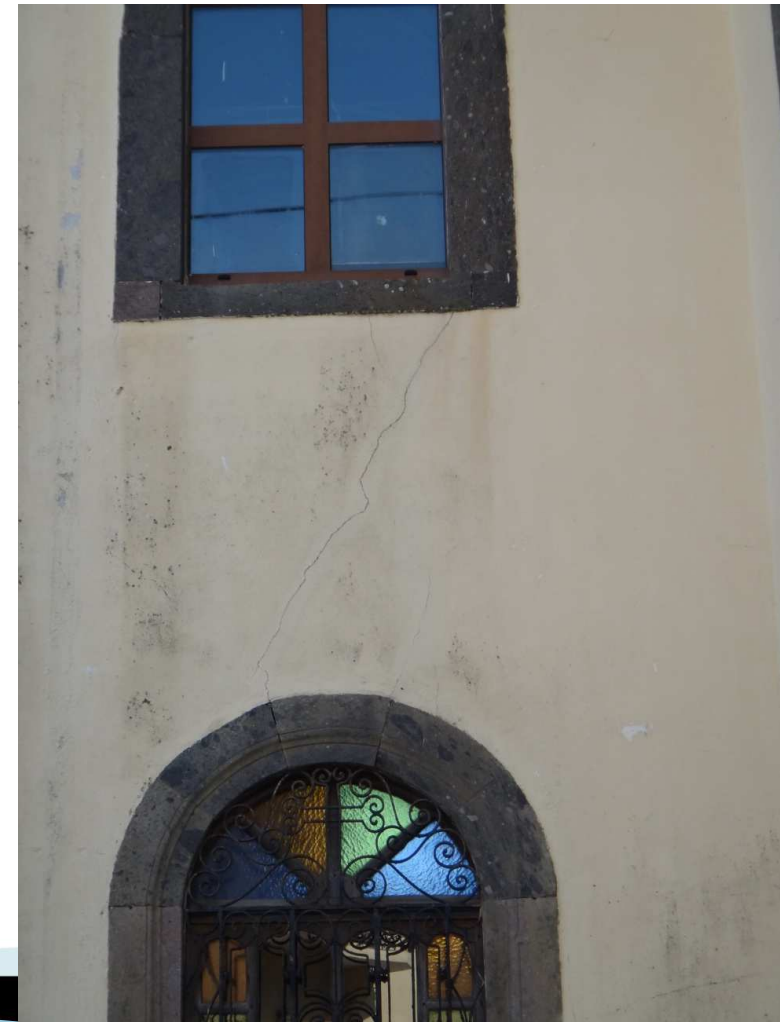
Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητες (Hz)	Ιδιοπερίοδοι (s)
1	5,255 (5,37)	1,20
2	6,152 (5,86)	1,02
3	7,266	0,86

Στις παρενθέσεις φαίνεται η σύγκριση με τα αποτελέσματα της μέτρησης των περιβαλλοντικών μικροδονήσεων

## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού

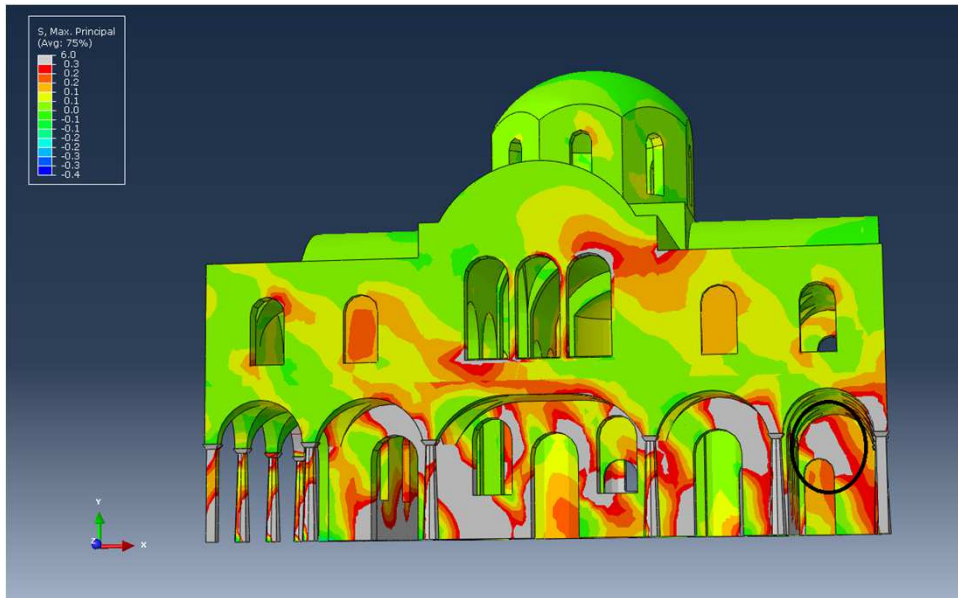


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. για σεισμικό συνδυασμό  $-E_y+0.3E_x$  και ρωγή στο συγκεκριμένο σημείο.





## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού

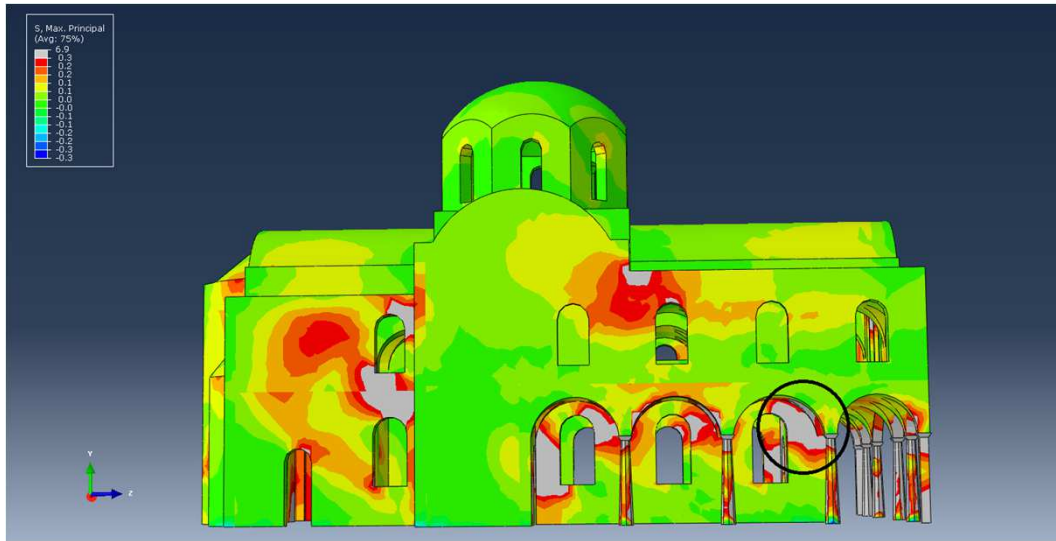


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν.  
για σεισμικό συνδυασμό  $-E_x+0.3E_y$  και  
ρωγή στο συγκεκριμένο σημείο.

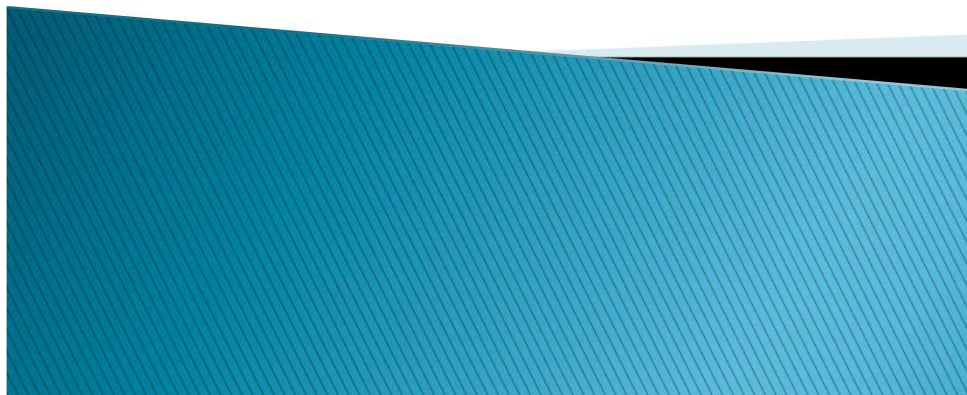




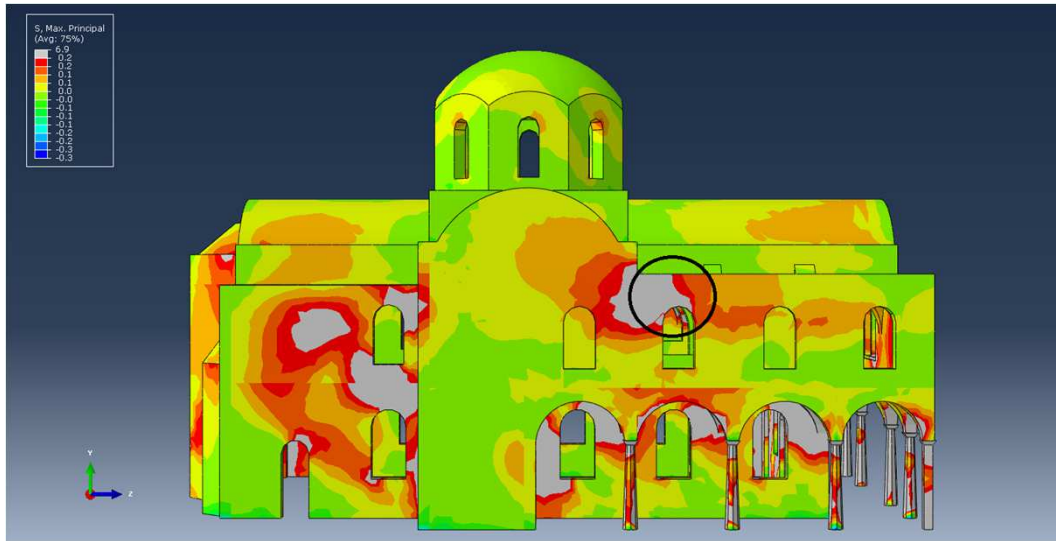
## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού



Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. για σεισμικό συνδυασμό -Ey-0.3Ex και ρωγή στο συγκεκριμένο σημείο.



## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού



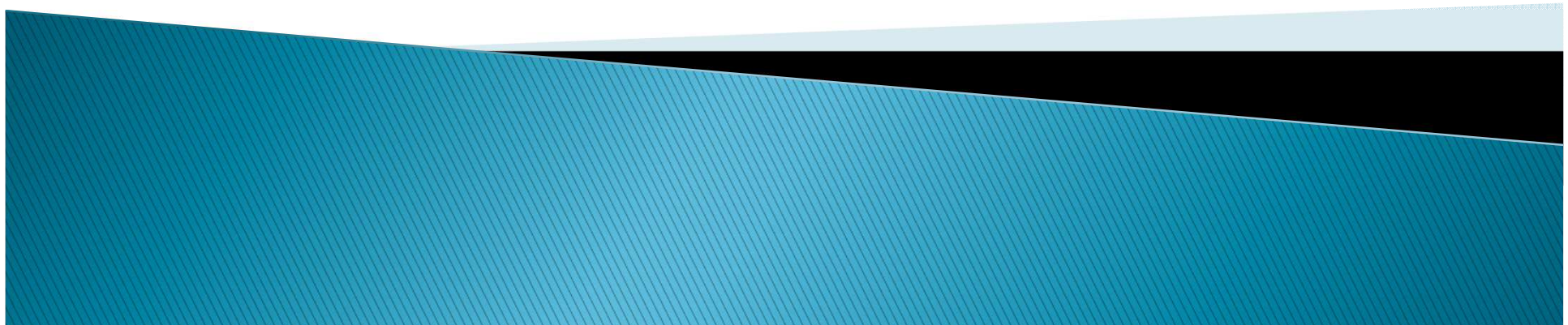
Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. για σεισμικό συνδυασμό -E<sub>y</sub>-0.3E<sub>x</sub> και ρωγή στο συγκεκριμένο σημείο.





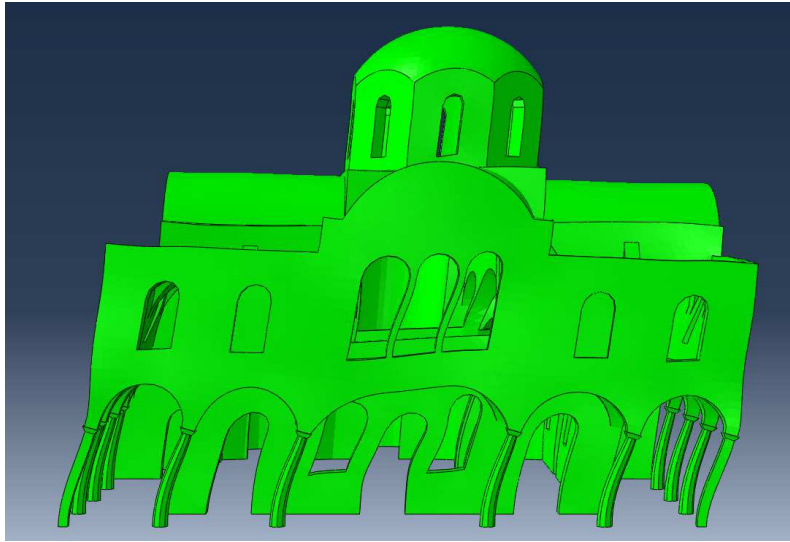
# **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ**

**(Ομογενοποίηση τοιχοποιίας, αρμολόγημα & ελκυστήρες)**

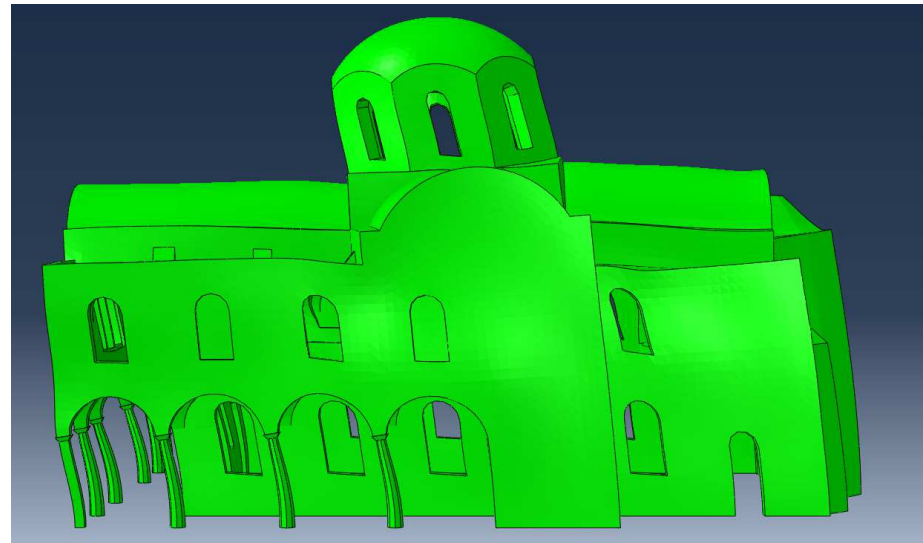




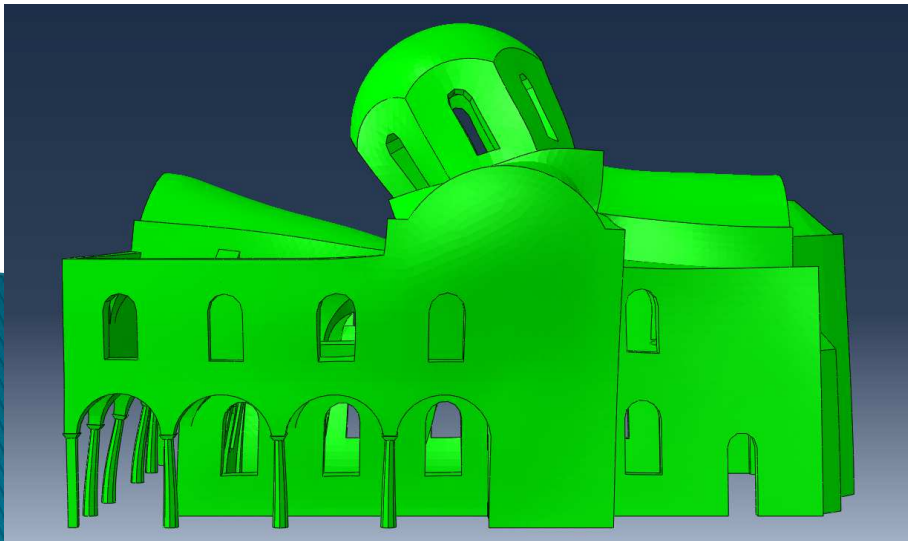
## ➤ Ιδιομορφική ανάλυση



1<sup>η</sup> Ιδιομορφή



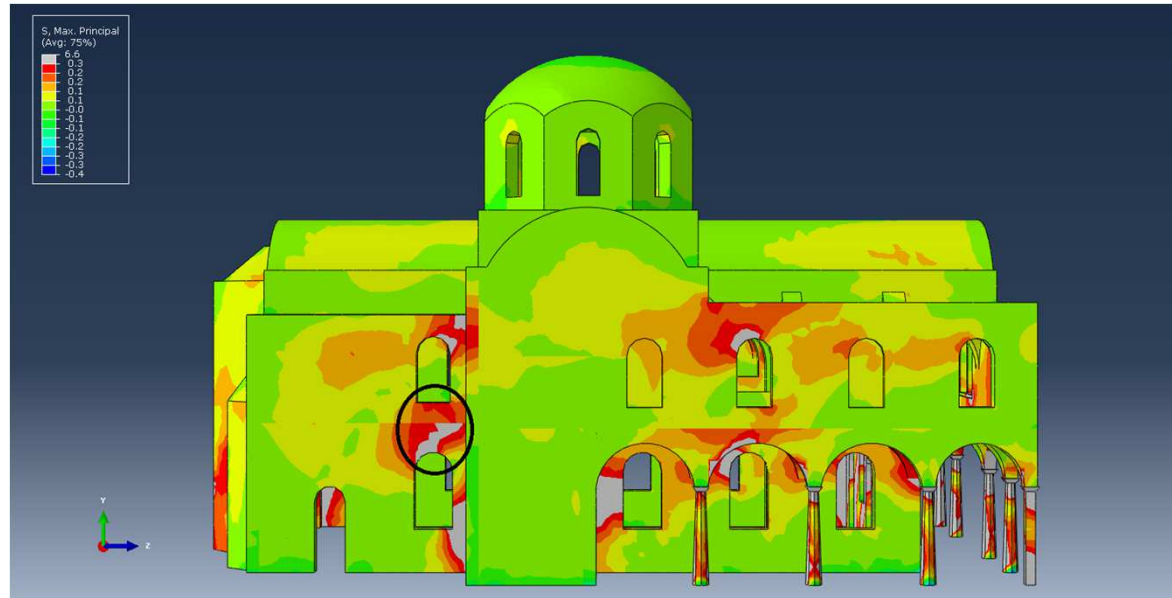
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή



3<sup>η</sup> Ιδιομορφή

Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητες (Hz)	Ιδιοπερίοδοι (s)
1	5,392	1,16
2	6,372	0,98
3	7,674	0,82

## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού

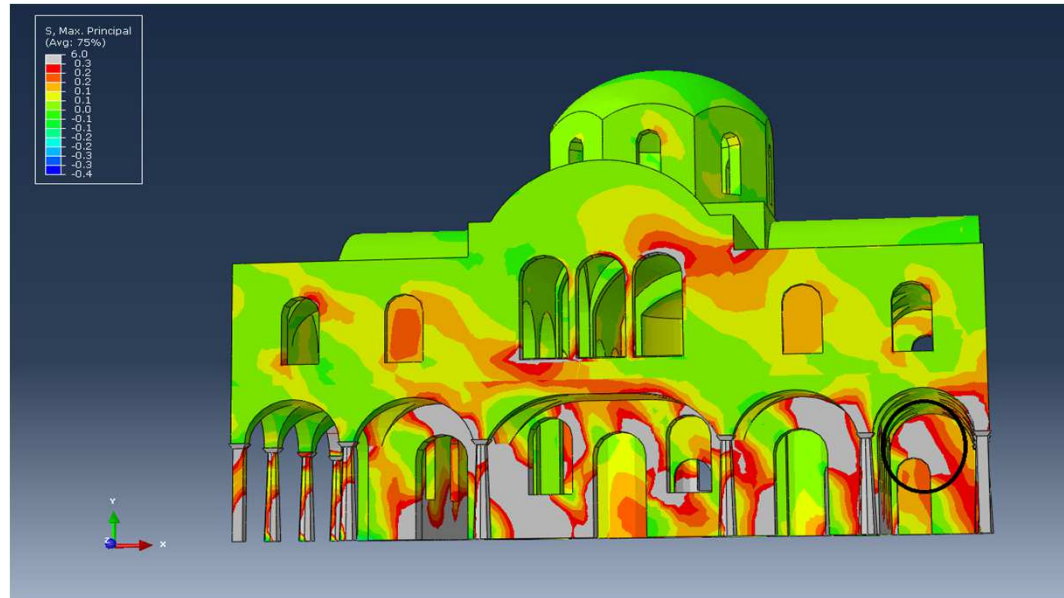


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. πριν τις ενισχύσεις

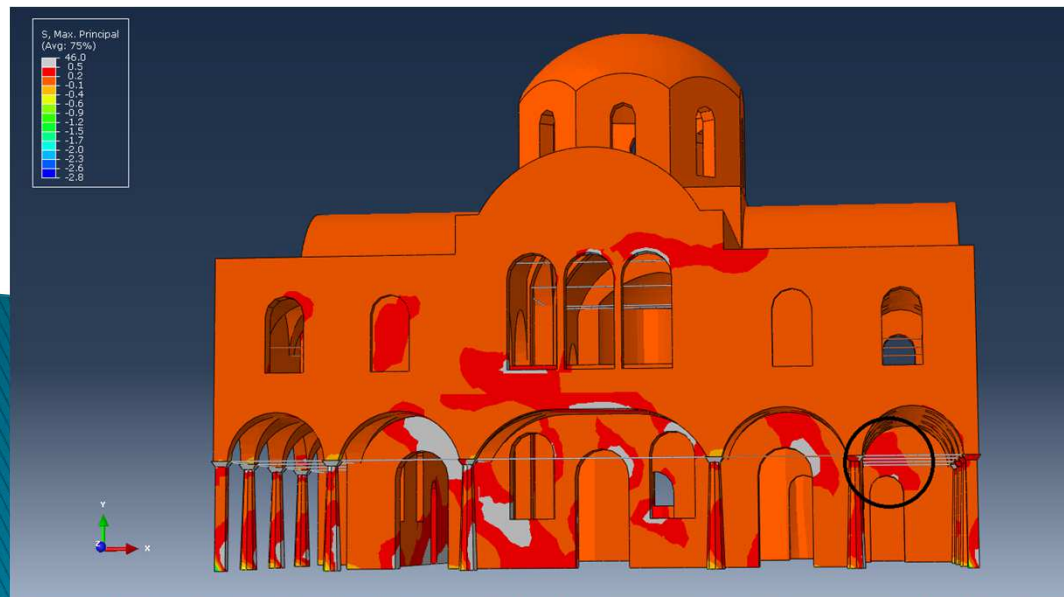


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. μετά τις ενισχύσεις

## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού



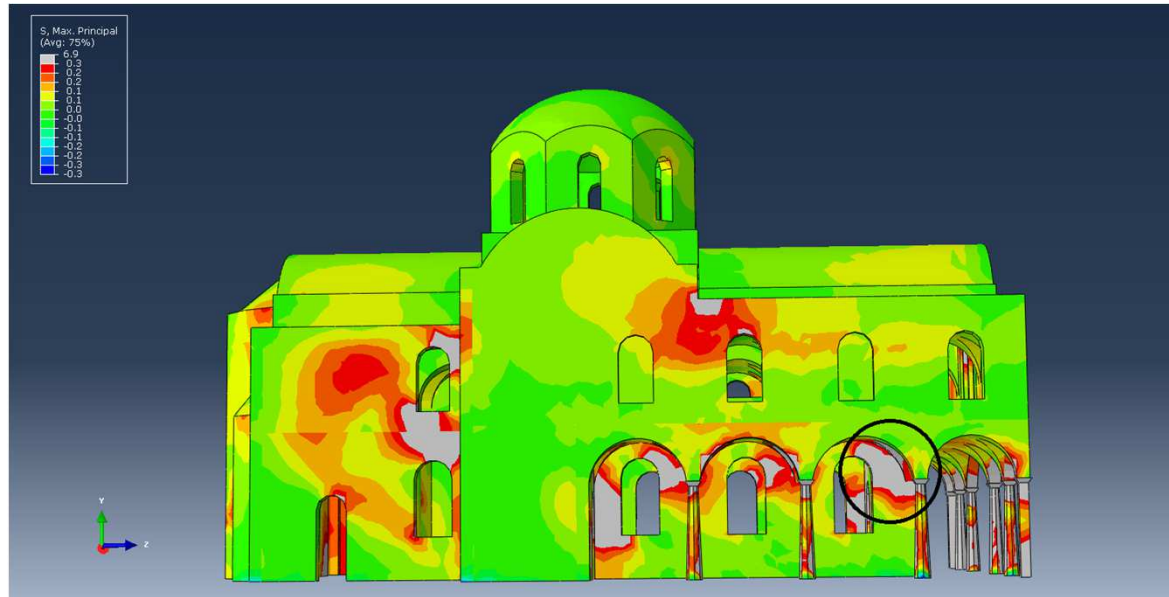
Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον I.N. πριν τις ενισχύσεις



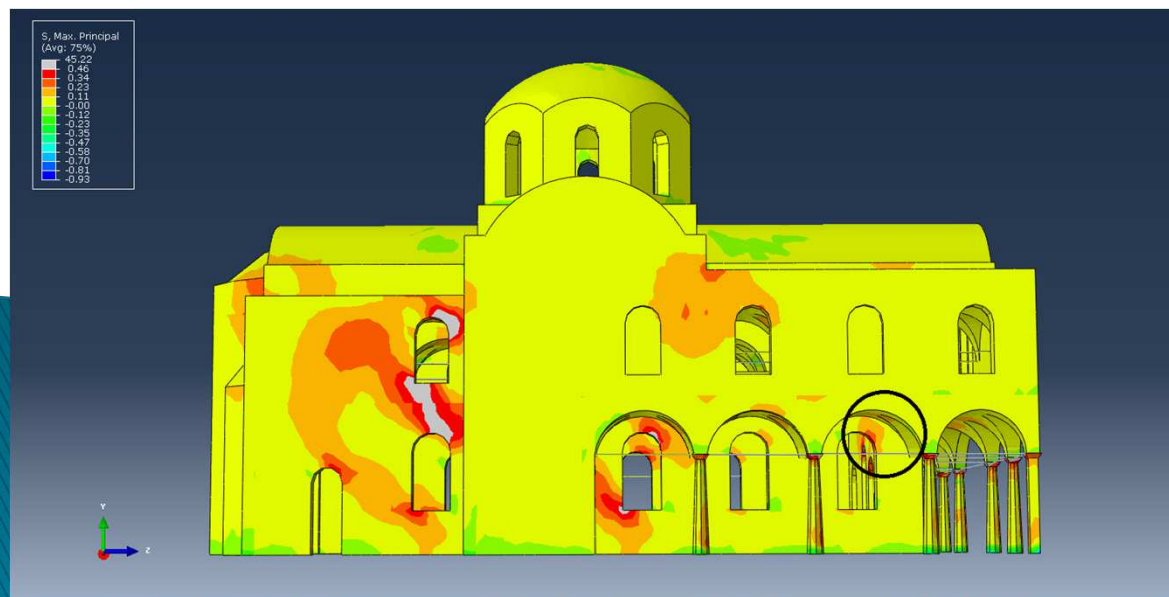
Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον I.N. μετά τις ενισχύσεις



## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού

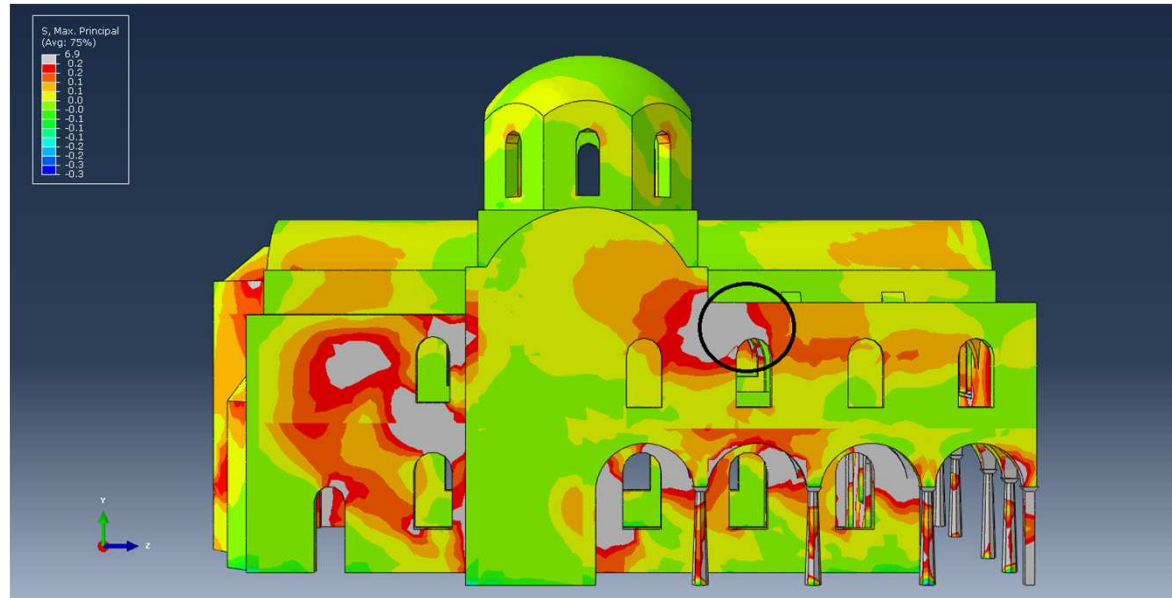


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. πριν τις ενισχύσεις

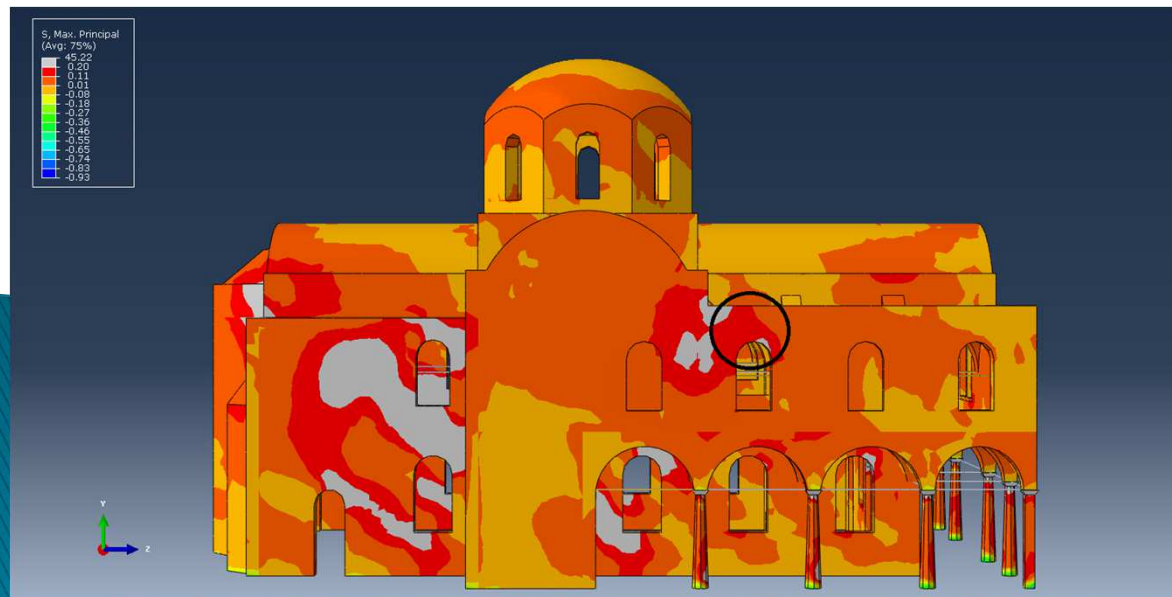


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. μετά τις ενισχύσεις

## ➤ Αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού

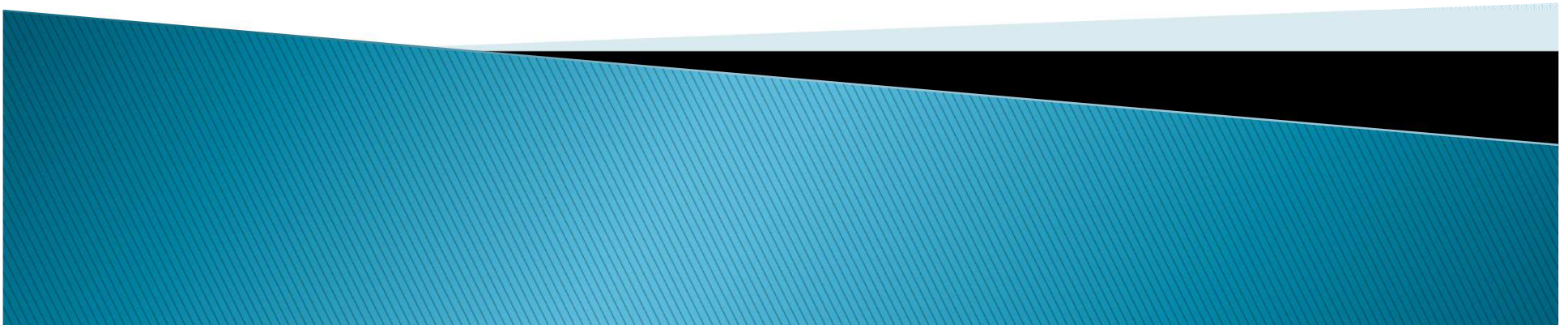


Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. πριν τις ενισχύσεις



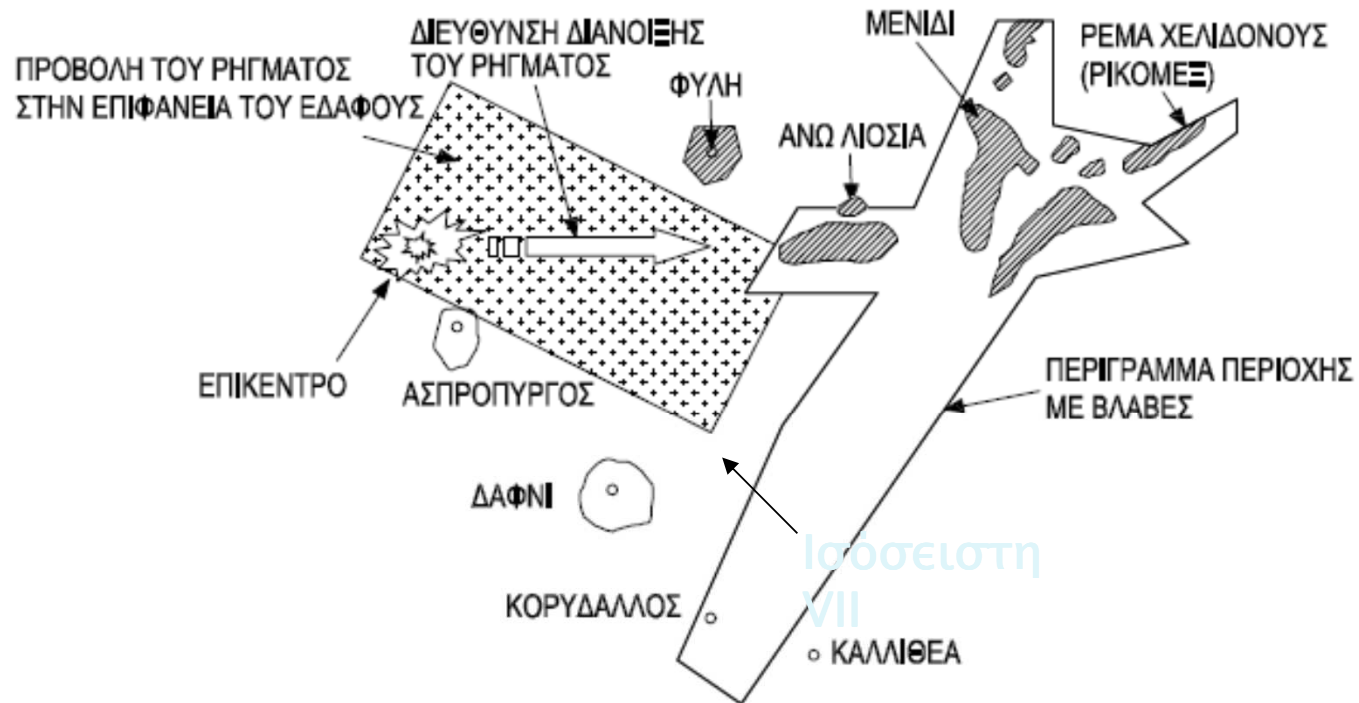
Εφελκυστικές κύριες τάσεις στον Ι.Ν. μετά τις ενισχύσεις

# **ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟ «ΕΓΓΥΣ ΠΕΔΙΟΥ»**





# Σεισμός Αθηνών 1999



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ (1999)

# ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

Αντισεισμικός 1959



Ευρωκώδικας 8



Για φάσμα «εγγύς πεδίου με  $R=1$



# ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

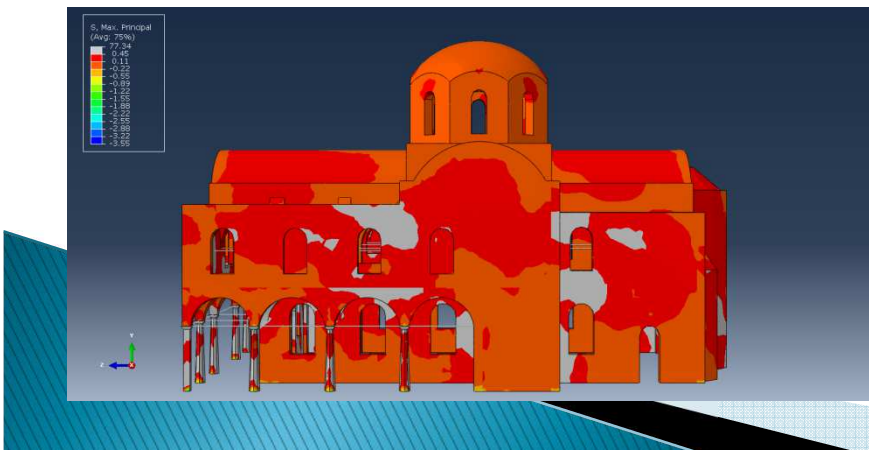
Αντισεισμικός 1959



Ευρωκώδικας 8

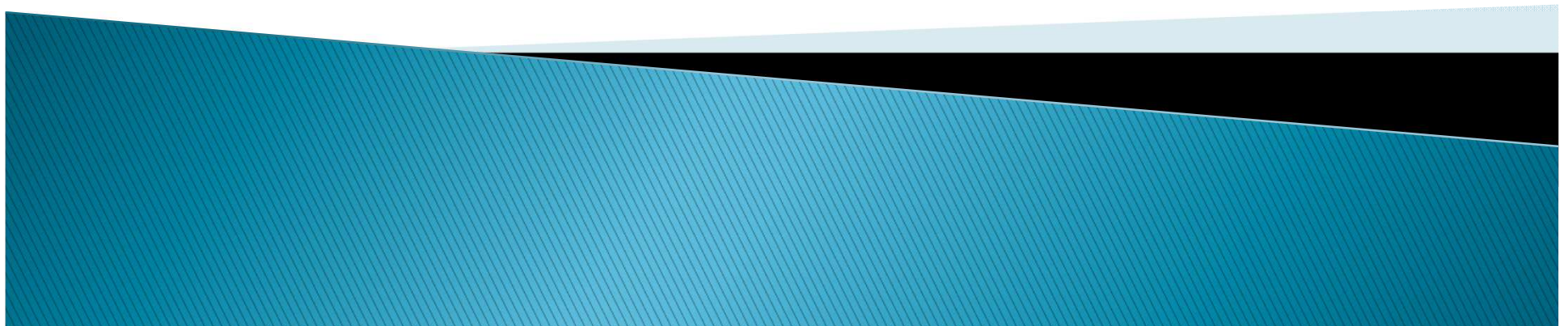


Για φάσμα «εγγύς πεδίου με  $R=1$





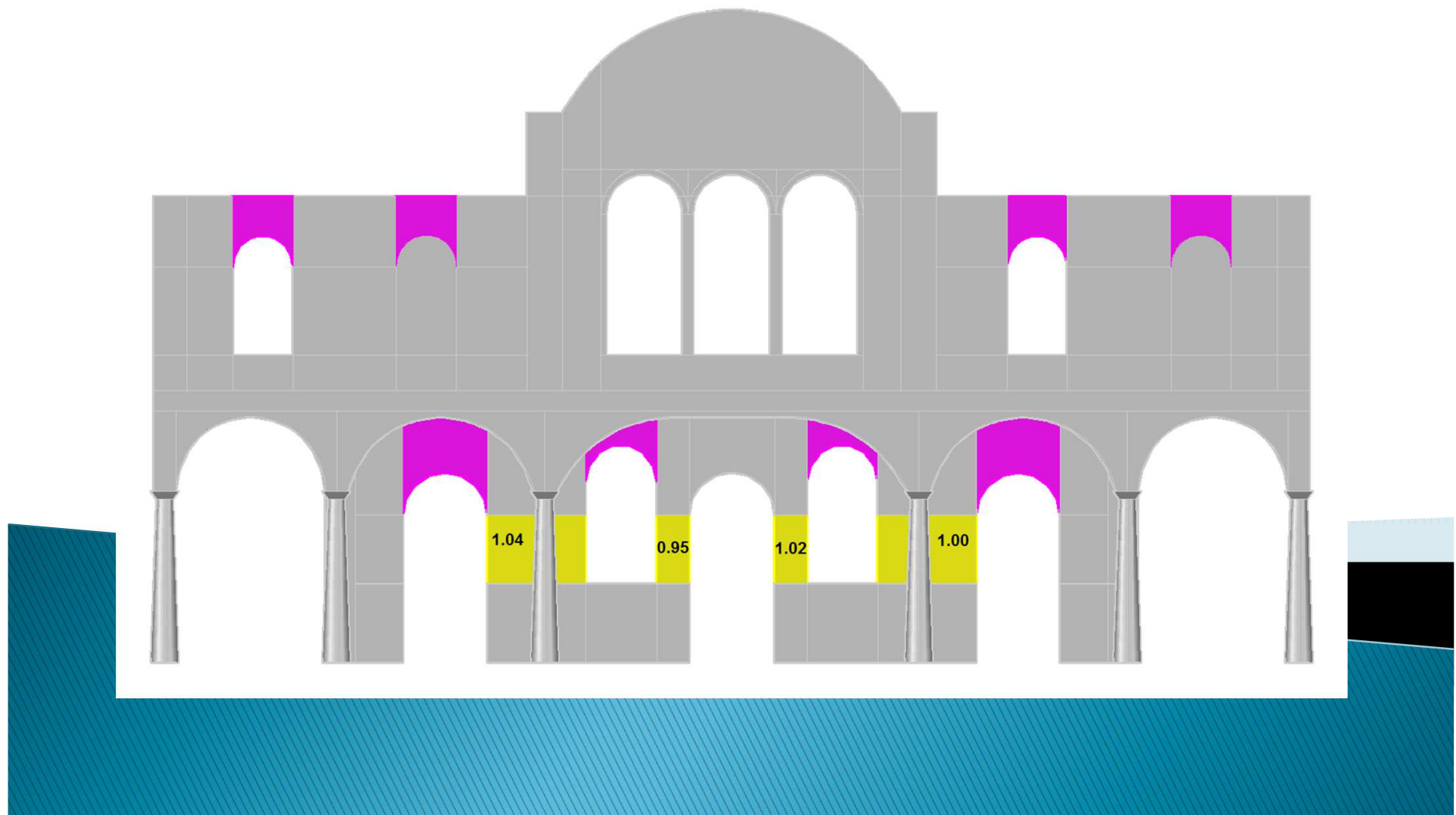
# **ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΕΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ**



## ➤ Πρόσοψη

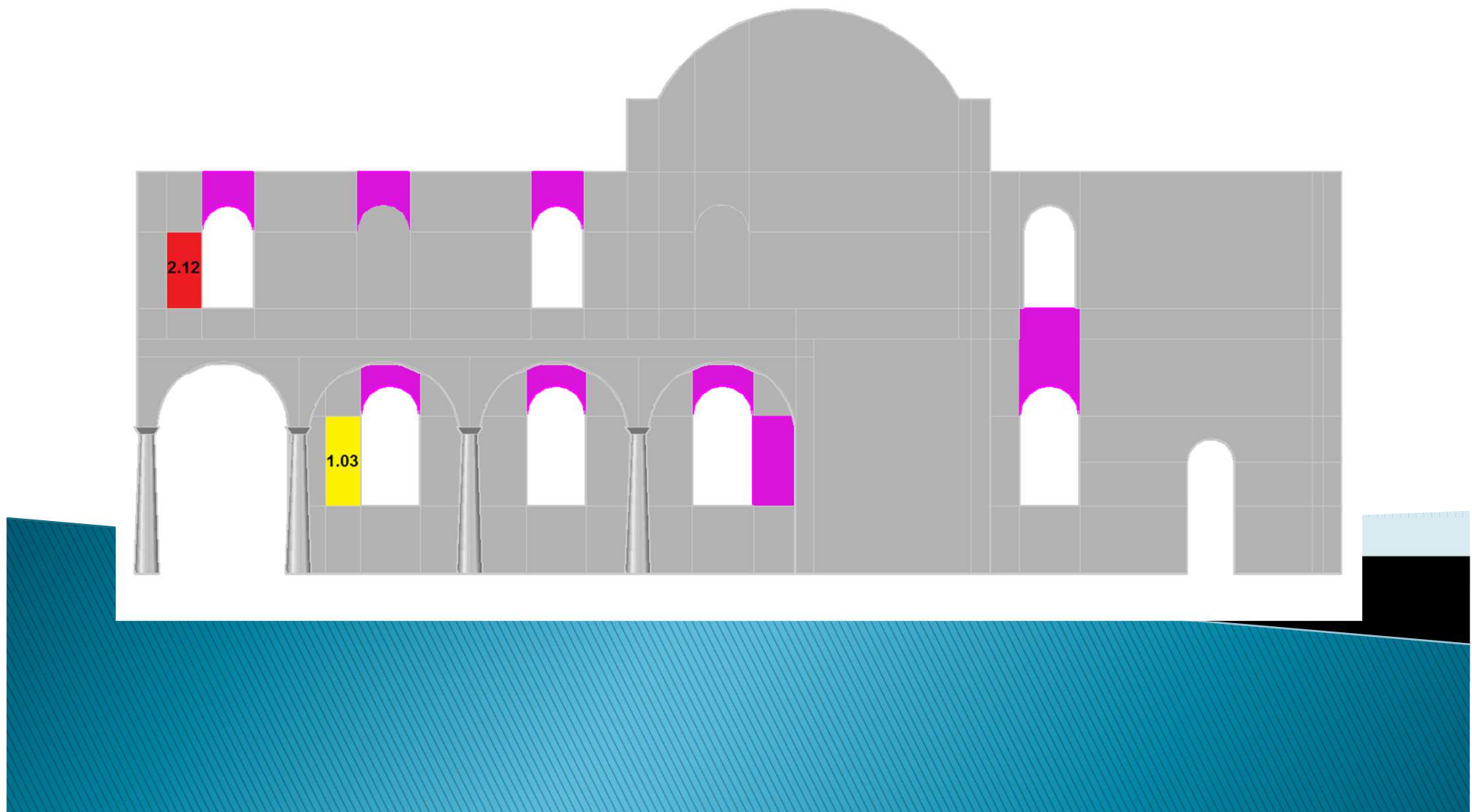
Έλεγχος σε διάτμηση εντός επιπέδου

	Αστοχία σε εφελκυσμό
	$0,90 \leq \alpha \leq 1,1$
	$\alpha > 1,1$



➤ **Νότια και Βόρεια όψη**  
**Έλεγχος σε κάμψη εντός επιπέδου**

	Αστοχία σε εφελκυσμό
	$0,90 \leq \alpha \leq 1,1$
	$\alpha > 1,1$





## ➤ Πρόταση επεμβάσεων- ενισχύσεων

Για την επίτευξη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες Β1» προτάθηκαν οι ακόλουθες παρεμβάσεις:

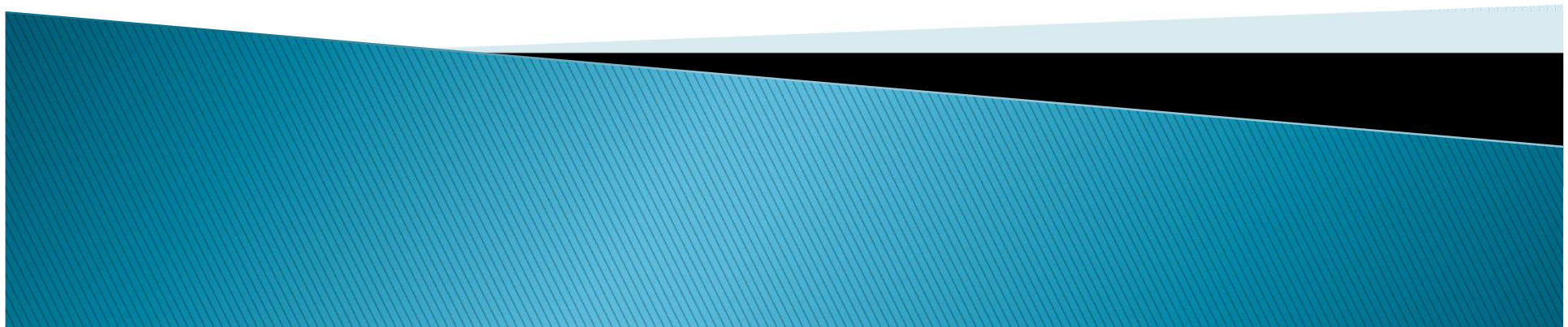
**α) Αντικατάσταση όλων των ελκυστήρων.**

**β) Ομογενοποίηση** της τρίστρωτης τοιχοποιίας από αργολιθοδομή. Επισημαίνεται ότι η ομογενοποίηση θα πραγματοποιηθεί από τις εξωτερικές παρειές των τοίχων της πρώτης στάθμης του I.N.

**γ) Τοποθέτηση μεταλλικών ράβδων ή σύνθετων υλικών** σε επιλεγμένα σημεία του φέροντος οργανισμού.

Ικανοποιείται η Αρχή της Αναστρεψιμότητας.

Η εφαρμογή των μεταλλικών στοιχείων και των σύνθετων υλικών είναι αφανής



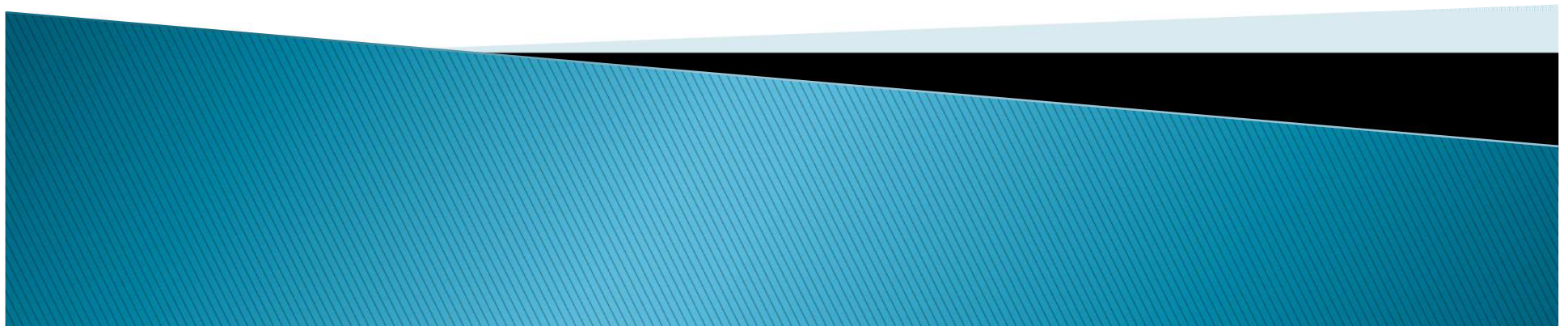
➤ **Πρόταση επεμβάσεων- ενισχύσεων (συνέχεια)**

δ) **Αντικατάσταση** των μεταλλικών ελασμάτων σε σταυροθόλια τα οποία βρίσκονται περί την είσοδο του Ι.Ν. καθώς και στην οροφή του γυναικωνίτη. Τα μεταλλικά ελάσματα έχουν οξειδωθεί και σε μεγάλο βαθμό αποκολληθεί. Προτείνεται να αντικατασταθούν με λωρίδες ινοπλισμένου πολυμερούς σε ανόργανη μήτρα.

ε) Προσωρινή **αφαίρεση** των κεραμιδιών στους θόλους και ενίσχυση της πάνω παρειάς τους με λωρίδες 2 στρώσεων FRP πλάτους 0,5 m ανά μέτρο και **επανατοποθέτηση** των κεραμιδιών.



**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΠΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ  
ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Η ΜΕ  
ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ**





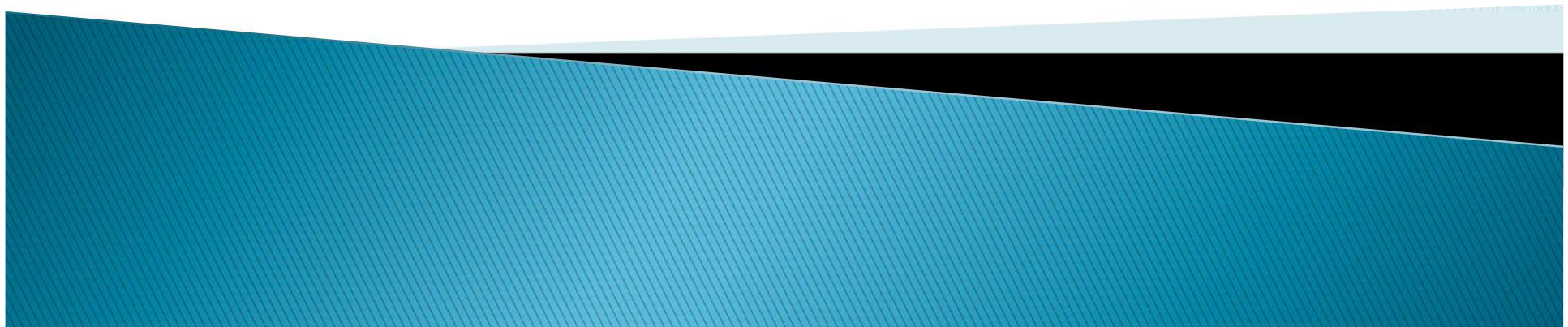
## ➤ Μεταλλικά στοιχεία



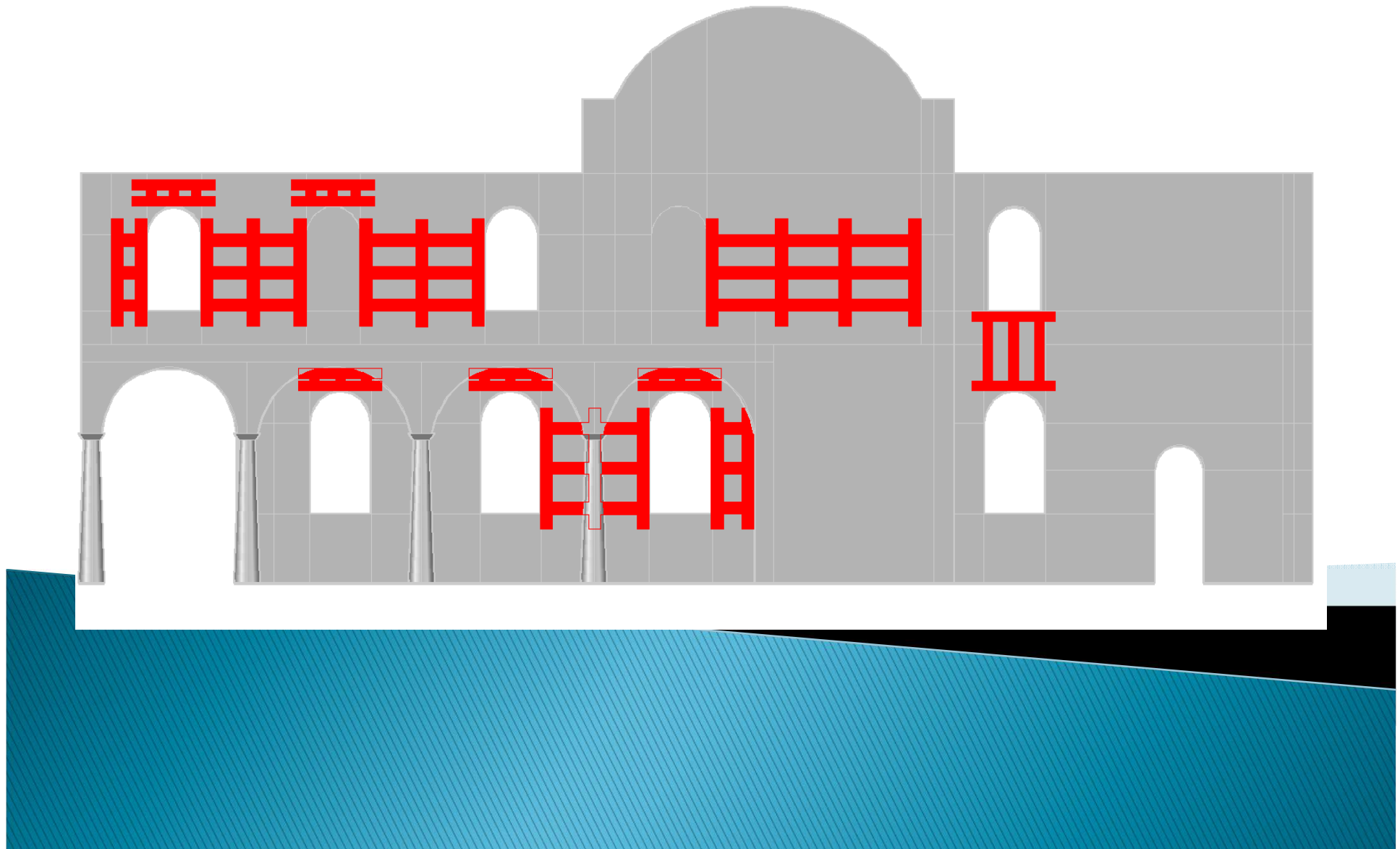
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι **ενισχύσεις** που προέκυψαν έπειτα από τους αντίστοιχους υπολογισμούς ούτως ώστε να αποφευχθούν οι προαναφερόμενοι τύποι αστοχίας. Οι επεμβάσεις της ανατολικής όψης όπως φαίνονται στην αντίστοιχη εικόνα αποσκοπούν στην επισκευή των τοπικών αστοχιών και πραγματοποιούνται μόνο στην εξωτερική επιφάνεια.

Τα **μεταλλικά στοιχεία** είναι «ειδικού τύπου» ανοξείδωτα στοιχεία.

Η κάθε στρώση **ινοπλισμένων πολυμερών (σύνθετων υλικών)** αποτελείται από μία λωρίδα υλικού πλάτους 500 mm και πάχους 0.17 mm.

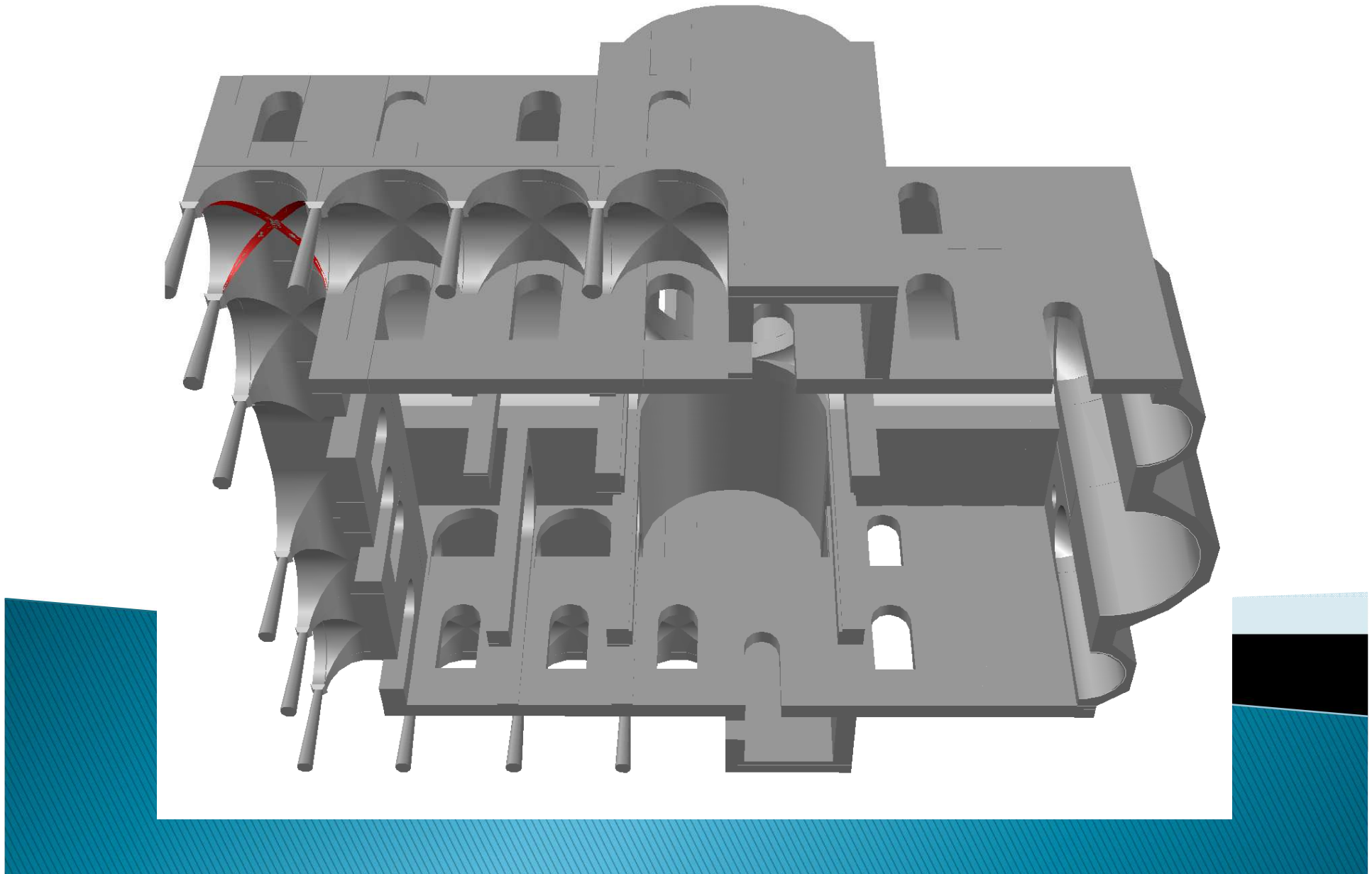


**Ενισχύσεις με μεταλλικά στοιχεία ή FRP στη Νότια και Βόρεια όψη του Ι.Ν.**

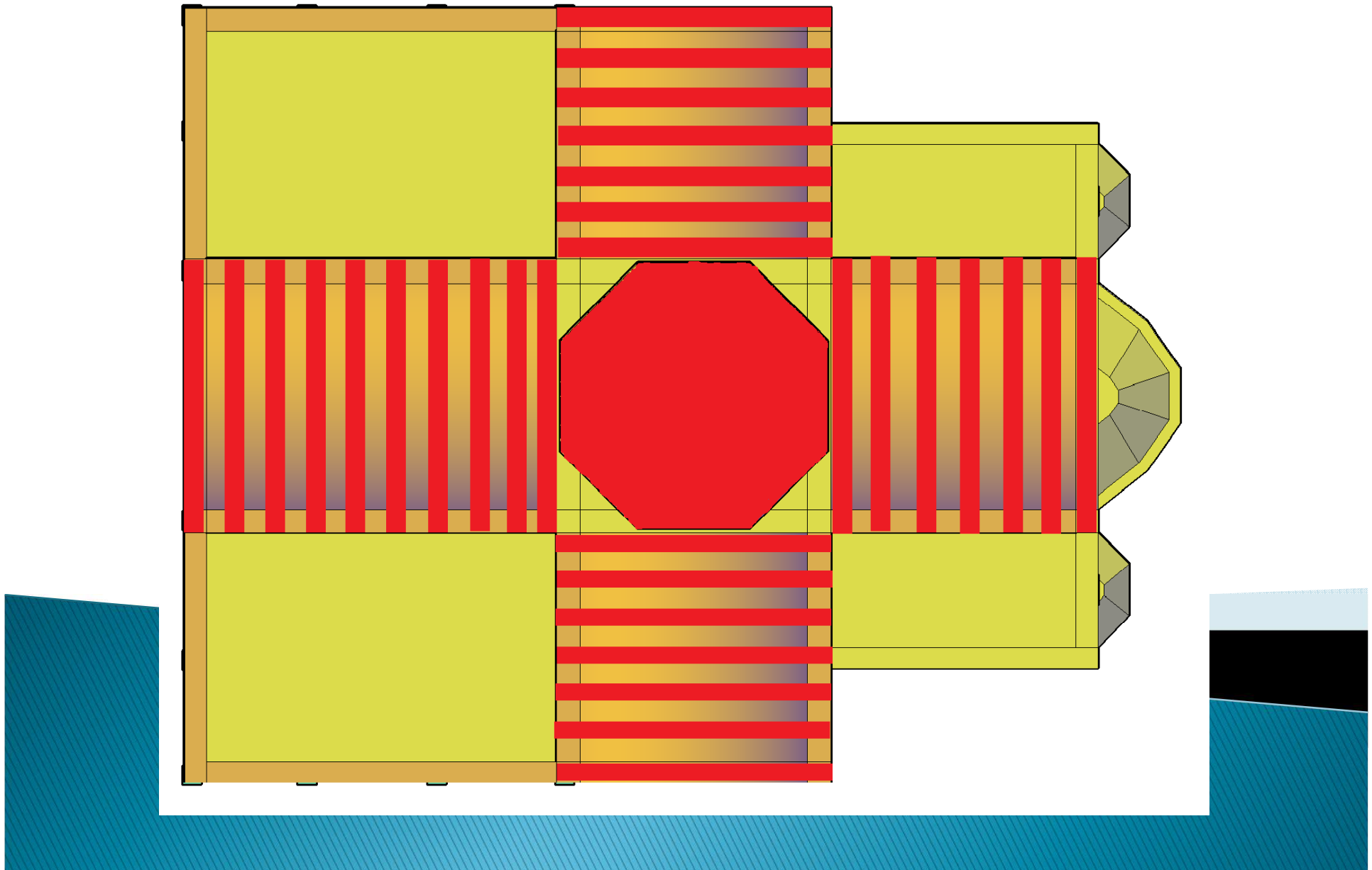




**Ενισχύσεις με FRP σε τυπικό σταυροθόλιο του Ι.Ν.**



# Ενισχύσεις με FRP οροφή του Ι.Ν.



## ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΑ ΚΤΗΡΙΑ-ΜΝΗΜΕΙΑ

Τα διατηρητέα κτήρια-μνημεία είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι ανήκουν σε κατηγορία σπουδαιότητας III ή IV για τη διατήρησή τους σε βάθος χρόνου, ακόμα και για σεισμικές δράσεις που χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη περίοδο επαναφοράς, ωστόσο, αυτό θα οδηγούσε σε μεγάλες σεισμικές απαιτήσεις. Στην περίπτωση που οι αναγκαίες επεμβάσεις προέκυπταν **πολύ παρεμβατικές**, σύμφωνα με τις αρχές επεμβάσεων σε μνημεία, εφαρμόζονται λιγότερο παρεμβατικές επεμβάσεις.





## ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΑ ΚΤΗΡΙΑ-ΜΝΗΜΕΙΑ (Συνέχεια)

Περισσότερο παρεμβατικές επεμβάσεις μπορούν με αυτό τον τρόπο να αναβληθούν χρονικά. Τότε θα είναι ενδεχομένως δυνατόν να χρησιμοποιηθούν νέες γνώσεις και τεχνολογίες, όσον αφορά στην ακριβέστερη γνώση της σεισμικής επικινδυνότητας, στη δυνατότητα να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη αξιοπιστία η τρωτότητα του διατηρητέου κτηρίου-μνημείου και στη διαθεσιμότητα **λιγότερο παρεμβατικών τεχνικών επέμβασης.**

Επισημαίνεται ότι παραμένουν **πολλές προκλήσεις:**  
**(Μνημειακή Σπουδαιότητα – Ασφάλεια-Επισκεψιμότητα)**

**Έλλειψη Κανονιστικού Πλαισίου)** προς αντιμετώπιση, όπως τεκμηριώνεται στη βιβλιογραφία.



**«ΔΟΜΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΩΣΗ  
ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ»**

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ  
ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ**

<http://lee.civil.ntua.gr/dimosiefseis.html>

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΑΚΟΣ  
Δρ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ  
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ