



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

**Αντισεισμική Προστασία Ιστορικών Κατασκευών:
Σχεδιασμός και Ανασχεδιασμός
με Σύγχρονες Αναλυτικές Μεθοδολογίες**

Κ.Α. Συρμακέζης
Καθηγητής ΕΜΠ
Εργαστήριο Στατικής & Αντισεισμικών Ερευνών
Τομέας Δομοστατικής
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Ιδιαιτερότητες τοιχοποιίας

1. Ανομοιογένεια
2. Ορθοτροπία
3. Μικρή εφελκυστική αντοχή
4. Κατανομή του μάζας σε όλο το ύψος της
5. Μη μονολιθικότητα συνδέσεων
6. Αβεβαιότητες κατά την προσομοίωση

Διαδικασία Αποκατάστασης

□ Βασικές Ενέργειες

1. Συλλογή - Αξιολόγηση Γενικών Στοιχείων
2. Έλεγχος Υπάρχουσας Κατάστασης
3. Πρόταση Αποκατάστασης και Ανασχεδιασμός Επεμβάσεων
4. Κατασκευαστική Υλοποίηση

Διαδικασία Αποκατάστασης

□ Διακλαδική Συνεργασία

Στη διαδικασία αποκατάστασης-αναστήλωσης-αντισεισμικού ελέγχου ιστορικών και παραδοσιακών κατασκευών, είναι απαραίτητη η **ΔΙΑΚΛΑΔΙΚΗ, ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ.**



Πύργος Ορτά-Καπού, Μυτιλήνη

Διαδικασία Αποκατάστασης

□ Η σημασία της Ανάλυσης

Η αξιοπιστία της ανάλυσης εξαρτάται:

- **Περισσότερο** από την αξιοπιστία των χρησιμοποιούμενων προσομοιωμάτων (προσομοιώματα συμπεριφοράς υλικού, δομικής απόκρισης κλπ.)
- **Λιγότερο** από την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης

Πρέπει να αντιμετωπίζεται:

- **Περισσότερο** σαν ένας δείκτης μιας **πιθανής συμπεριφοράς** της κατασκευής, υπό τις επιλεγείσες **ιδανικές συνθήκες**
- **Λιγότερο**, σαν η μοναδική λύση του προβλήματος

Αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση:

- Συστηματικής **σειράς επιλύσεων**, για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς εξωτερικών δράσεων και για ενδεχόμενες τιμές χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας (**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ**)
- Σχεδιασμού με την **περιβάλλουσα** των σχετικών εντατικών μεγεθών

Ανάλυση Κατασκευών από τοιχοποιία

1. Προσομοίωση

(δράσεις, υλικό, δόμημα)

2. Αναλυτικοί Υπολογισμοί

(στατική/δυναμική ανάλυση - ελαστική/ελαστοπλαστική ανάλυση
1-Δ για μεμονωμένα μέλη, 2-Δ για επιφανειακά μέλη,
3-Δ για ολόκληρη την κατασκευή)

3. Επιβεβαίωση Αποτελεσμάτων

(Κριτική επιβεβαίωση των αναλυτικών αποτελεσμάτων
- βαθμονόμηση, πειραματική διασταύρωση)

4. Διαστασιολόγηση

(Μέθοδος επιτρεπόμενων τάσεων, μέθοδος συνολικής αντοχής)

Προσοίωμα και Πραγματική Κατασκευή

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ: ΦΥΣΙΚΗ

Οι ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ αφορούν
την ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Όχι όμως υποχρεωτικά και
τους ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥΣ
ΝΟΜΟΥΣ του ιδεατού
προσομοιώματος

ΙΔΕΑΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ



ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ

Η ΑΝΑΛΥΣΗ γίνεται στο
ΙΔΕΑΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Όχι όμως υποχρεωτικά και
τους ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ
της πραγματικής
κατασκευής

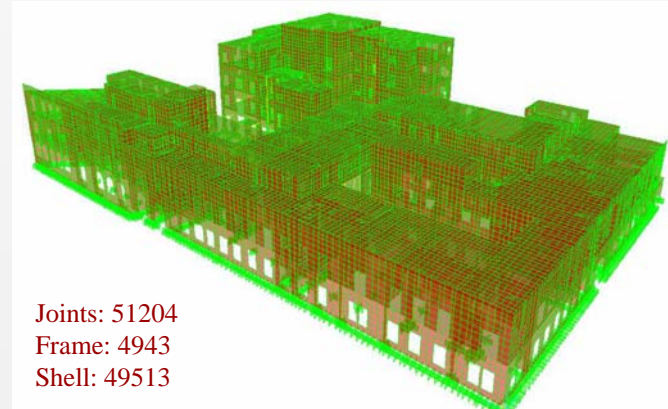
Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων

Παρέχει αποτελέσματα για:

1. Εντατική κατάσταση
2. Παραμορφωσιακή κατάσταση
3. Δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής

Ανάγκη για εξειδικευμένες μεθοδολογίες για:

1. Ανάλυση αστοχιών
2. Χρήση 3-Δ πεπερασμένων στοιχείων
3. Πιθανοτική εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας (διάγραμμα καμπυλών θραυστότητας)
4. Αποτίμηση επεμβάσεων και σύγχρονων μεθόδων ελέγχου



Το κτήριο του Κεντρικού Καταστήματος της Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος

Ανάλυση Αστοχιών - Κριτήριο Αστοχίας

Στόχος

Ποιοτικός και ποσοτικός υπολογισμός της επιφάνειας μιας τοιχοποιίας που αστοχεί υπό σεισμική φόρτιση.

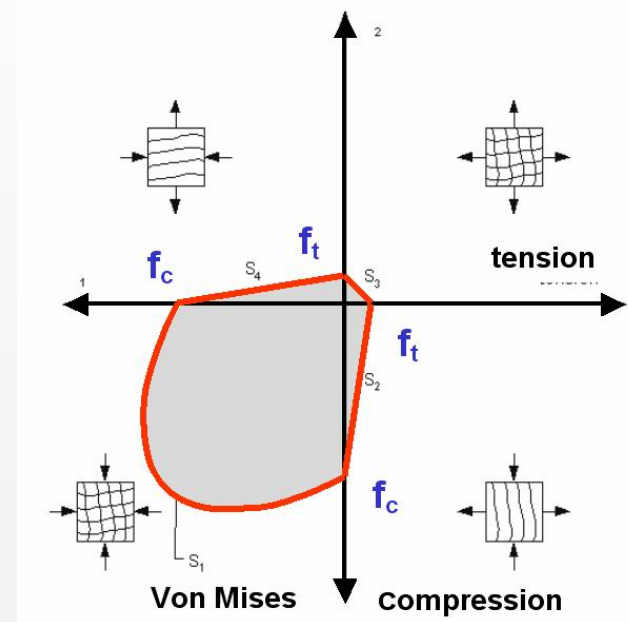
Προτεινόμενη μεθοδολογία:

Επεξεργασία των αποτελεσμάτων της μεθόδου των Π.Σ. για την παραγωγή των αποτελεσμάτων αστοχίας, μέσω του λογισμικού FAILURE.

Παρεχόμενα αποτελέσματα:

- περιοχές που αστοχούν
- τύπος αστοχίας (θλίψη, εφελκυσμός κ.ο.κ.)
- ποσοτικά αποτελέσματα

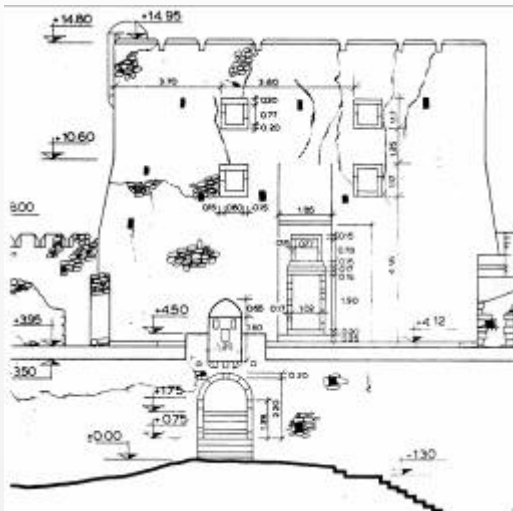
Τροποποιημένο κριτήριο Von Mises



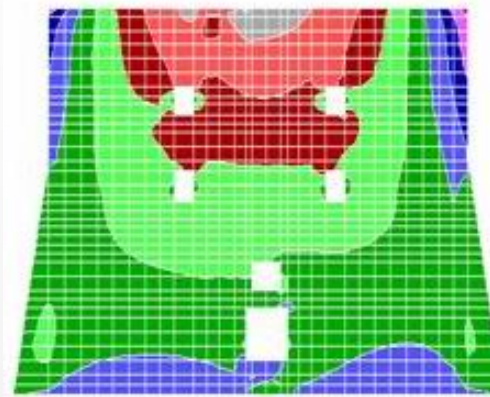
Ανάλυση Αστοχιών

□ Πύργος Καζάρμα, Σητεία

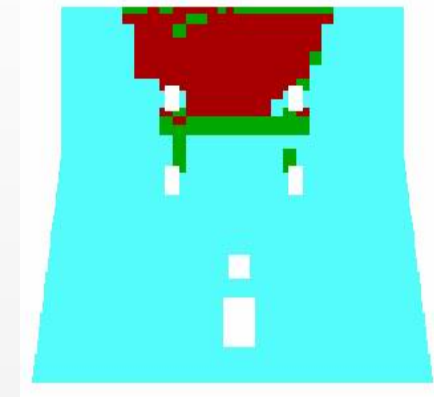
Τεκμηρίωση -
Υπάρχουσα κατάσταση



Εντατική
κατάσταση



Ανάλυση
Αστοχιών



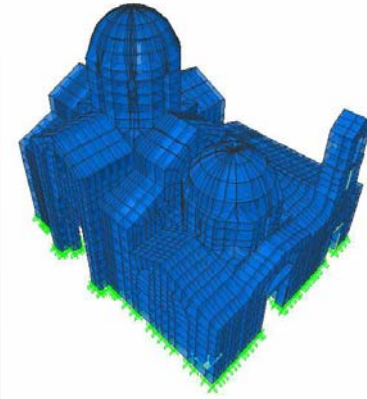
■ αστοχία υπό διαξονικό εφελκυσμό ■ αστοχία υπό διαξονικό εφελκυσμό-θλίψη ■ αστοχία υπό διαξονική θλίψη-εφελκυσμό ■ αστοχία υπό διαξονική θλίψη ■ μη αστοχία

Ανάλυση Αστοχιών

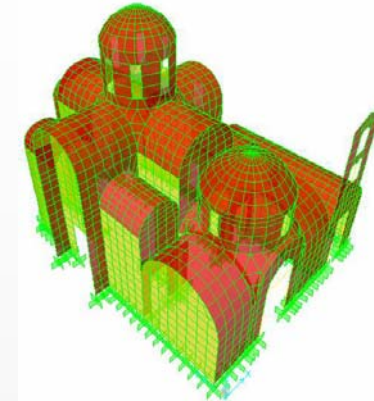
□ Ναός της Ιεράς Μονής Καισαριανής



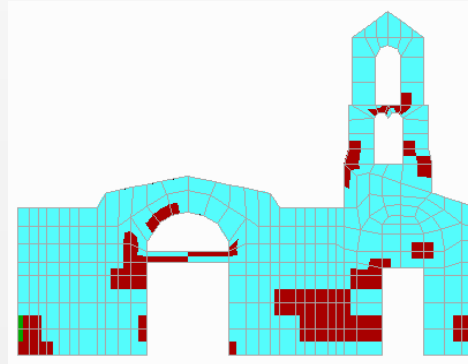
3-Δ χωρικά στοιχεία



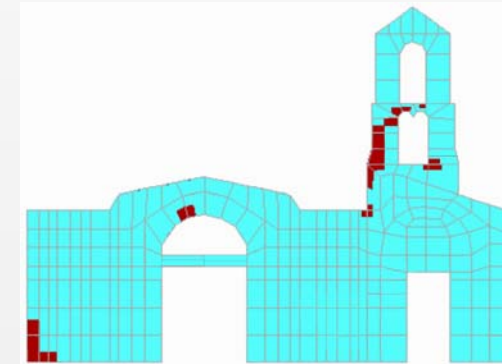
2-Δ επιφανειακά στοιχεία



Σεισμική απόκριση για $A=0.16g$



αστοχίες χωρικών στοιχείων



αστοχίες επιφανειακών στοιχείων

■ αστοχία υπό διαξονικό εφελκυσμό

■ αστοχία υπό διαξονικό εφελκυσμό-θλίψη

■ αστοχία υπό διαξονική θλίψη-εφελκυσμό

■ αστοχία υπό διαξονική θλίψη

■ μη αστοχία

Σεισμική τρωτότητα

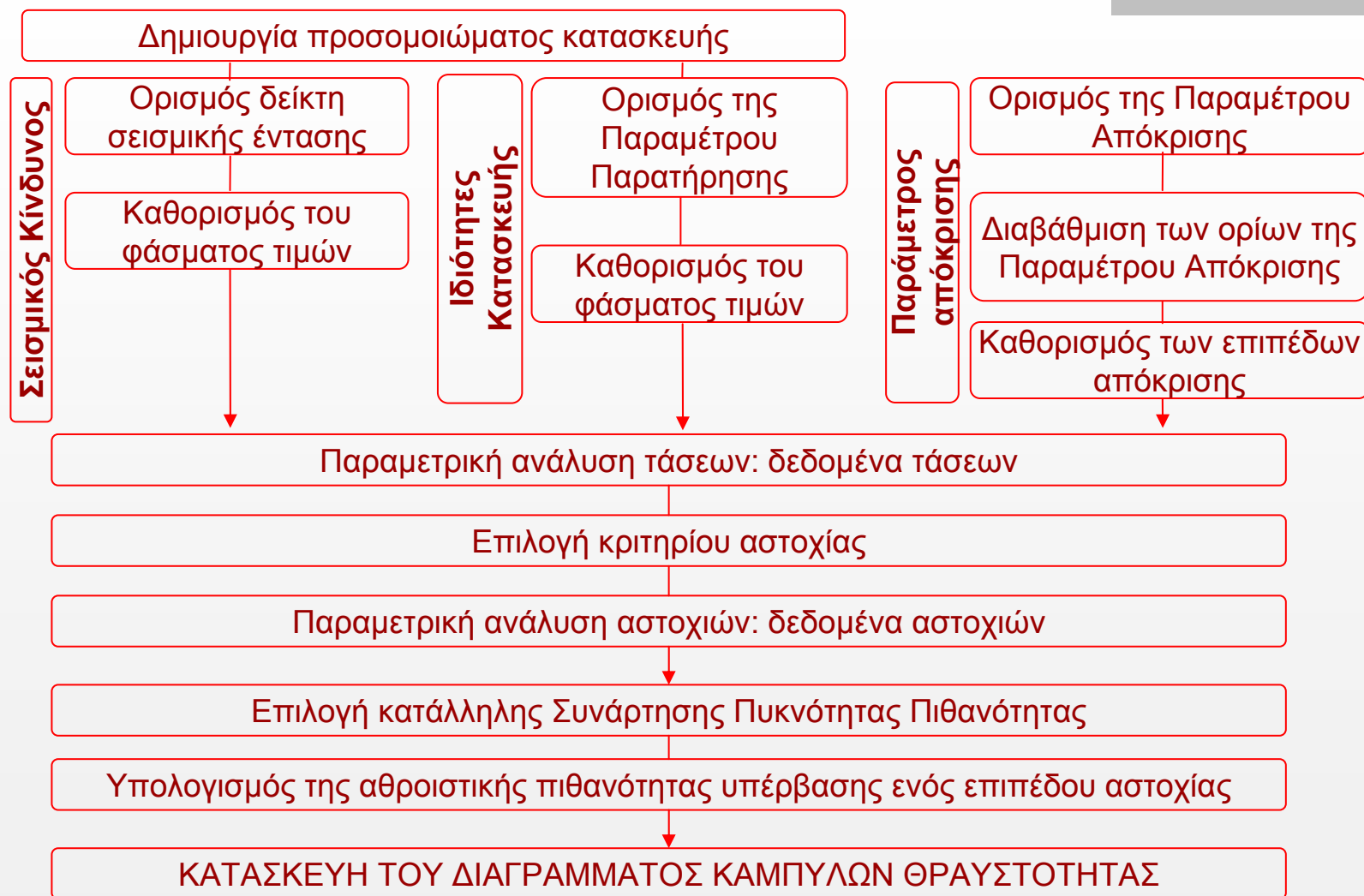
Εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας

Εκφράζει τη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής που υπόκειται σε σεισμικό γεγονός άγνωστων χαρακτηριστικών, σε συνδυασμό την αβεβαιότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της κατασκευής.

Υπερτερεί της ντετερμινιστικής ανάλυσης γιατί συνεκτιμά:

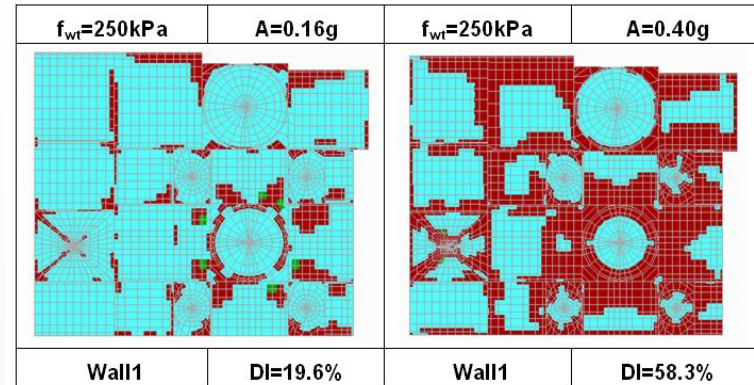
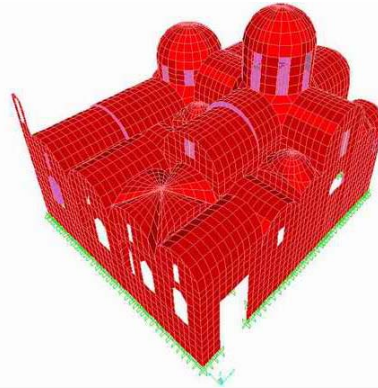
- Την τυχαία φύση της σεισμικής δράσης
- Τον τυχαίο χαρακτήρα ιδιοτήτων της κατασκευής που επηρεάζουν την σεισμική της απόκριση

Καμπύλες θραυστότητας

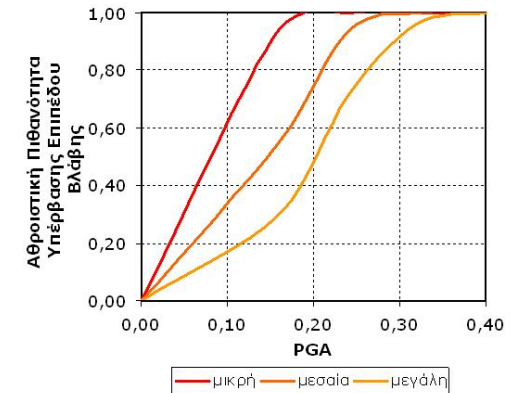
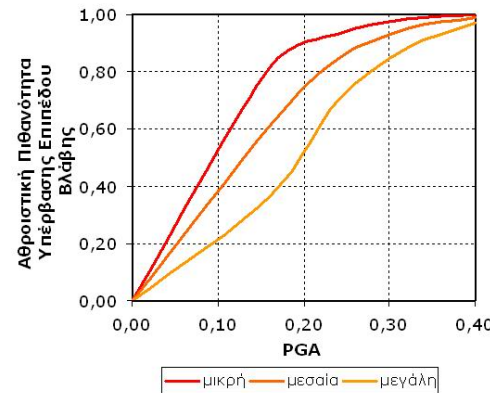


Καμπύλες θραυστότητας

□ Ιερός Ναός της Καπνικαρέας



| | Καμία βλάβη | Μικρή βλάβη | Μεσαία βλάβη | Μεγάλη βλάβη |
|------------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| επίπεδα βλάβης διαβάθμισης τύπου α | 0-5% | 5-15% | 15-25% | >25% |
| επίπεδα βλάβης διαβάθμισης τύπου β | 0-10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| επίπεδα βλάβης διαβάθμισης τύπου γ | 0-15% | 15-35% | 35-45% | >45% |



Διαγράμματα καμπυλών θραυστότητας για κανονική (αριστερά) και λογαριθμική(δεξιά) κατανομή

Συστήματα παθητικού ελέγχου

Στόχος:

Απορρόφηση σεισμικής ενέργειας από τα συστήματα παθητικού ελέγχου για την βελτίωση της σεισμικής απόκρισης των ιστορικών κατασκευών από τοιχοποιία.

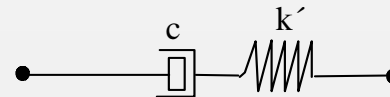
Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών μεθόδων προστασίας:

- Αντιστρεψιμότητα
- Συμβατότητα (υλικών και δομικής συμπεριφοράς)
- Ελαχιστοποίηση επεμβάσεων
- Ανθεκτικότητα

Προσομοίωση:

Μοντέλο Maxwell για ιξωδοελαστικά συστήματα:

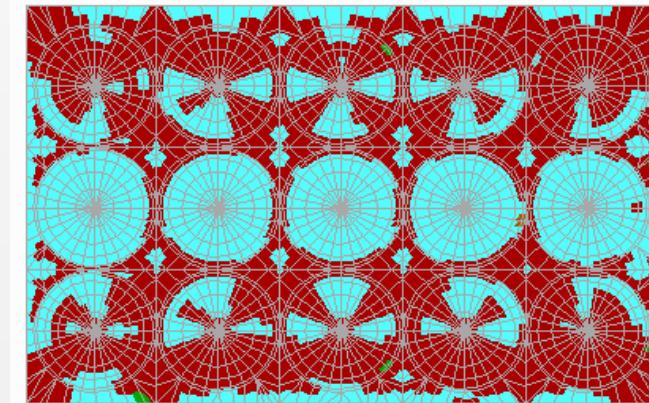
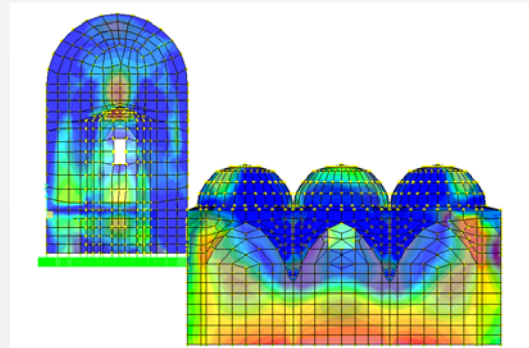
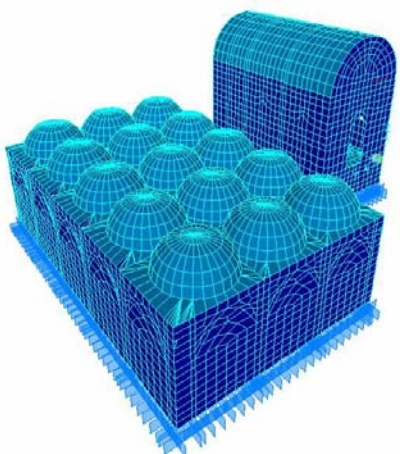
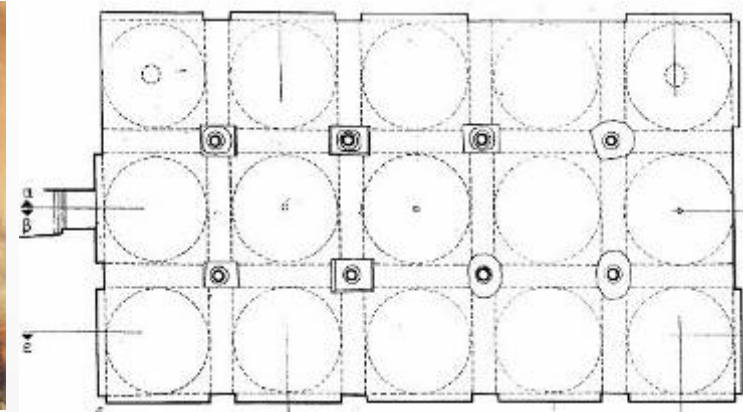
Μη-γραμμική εξίσωση κίνησης: $f = c \cdot \dot{u}_c^{cexp}$



Συστήματα παθητικού ελέγχου

□ Νέα Μονή Χίου

⇒ Εκκλησία Αγίου Παντελεήμονα και Κινστέρνα της Νέα Μονής Χίου



➔ Παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ενός κοινού τοίχου σύζευξης της Εκκλησίας του Αγίου Παντελεήμονα με την Κινστέρνα

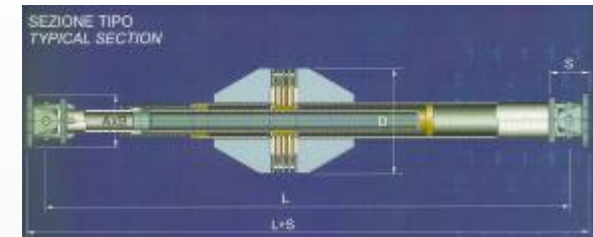
Συστήματα παθητικού ελέγχου

□ Νέα Μονή Χίου

Πρόταση προστασίας έναντι σεισμού

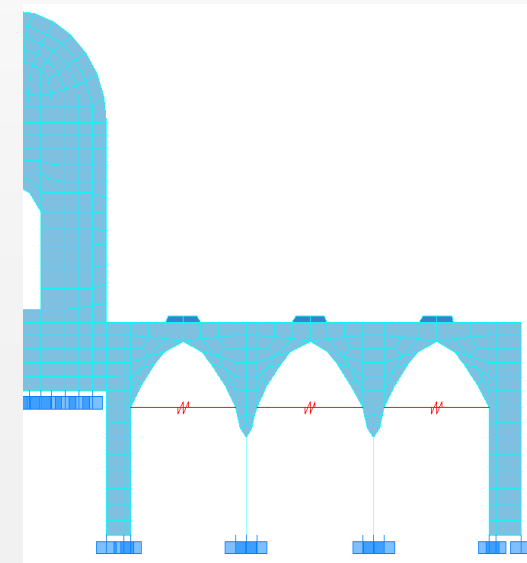
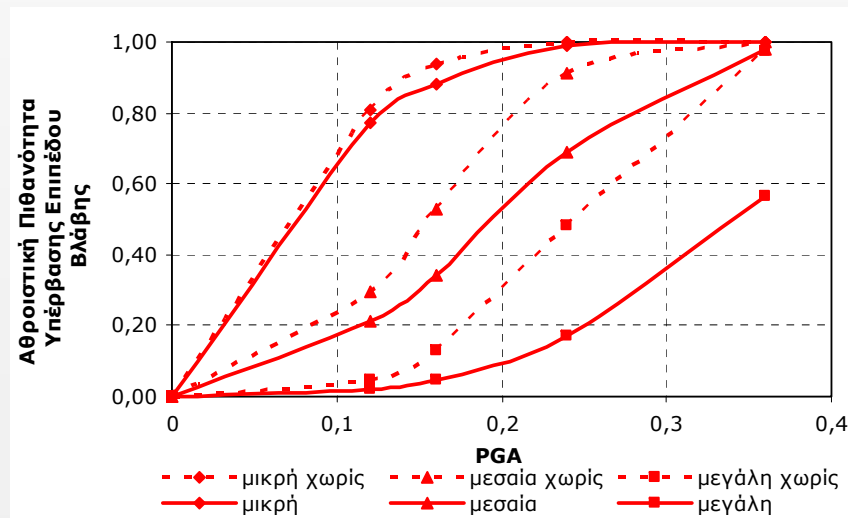
Τοποθέτηση αποσβεστήρων:

1. Οριζόντια κάτω από τη στέγη της Εκκλησίας
2. Κατά μήκος των τόξων της Κινστέρας



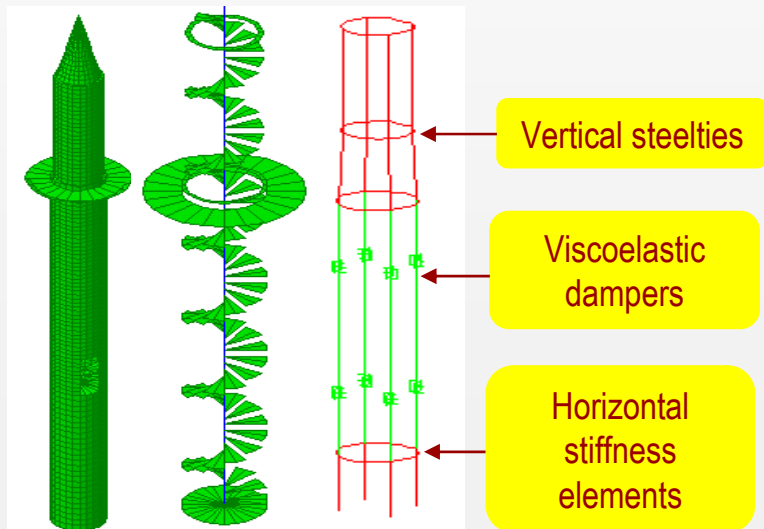
Τυπική διατομή DECS συσκευής ελέγχου

Αποτίμηση μέτρων προστασίας



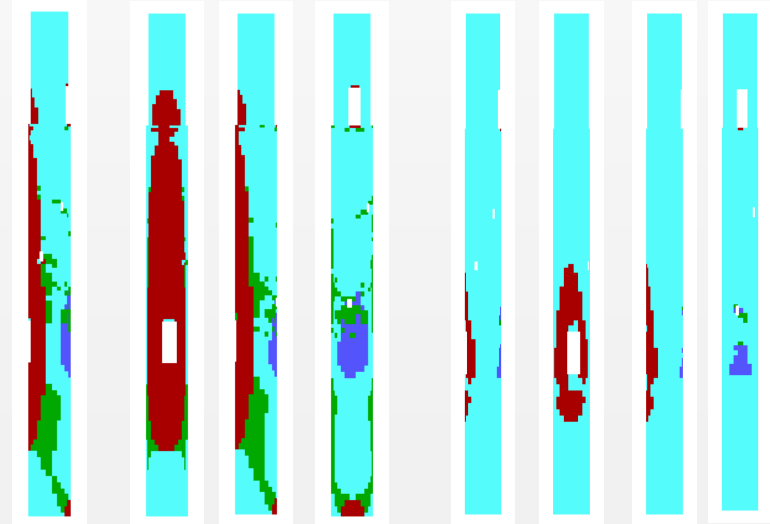
Συστήματα παθητικού ελέγχου

□ Μιναρές στο τζαμί Κεπήρ της Λάρνακας Κύπρου



Without dampers

With dampers



αστοχίες επιφανειακών στοιχείων

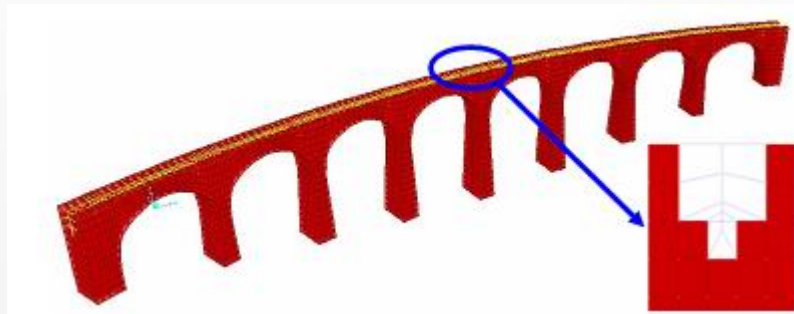
Συστήματα παθητικού ελέγχου

□ Γέφυρα Μάναρι

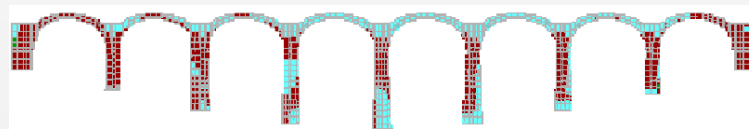
⇒ Λίθινη τοξωτή γέφυρα στο Μάναρι της Πελοποννήσου



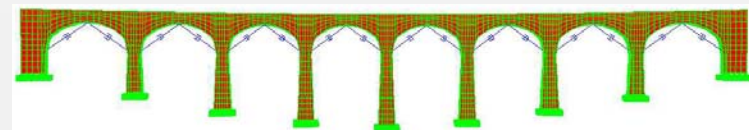
γέφυρα ανοίγματος 116,00m και ύψους 20,00m



Προσομοίωμα από χωρικά ΠΣ "solid"

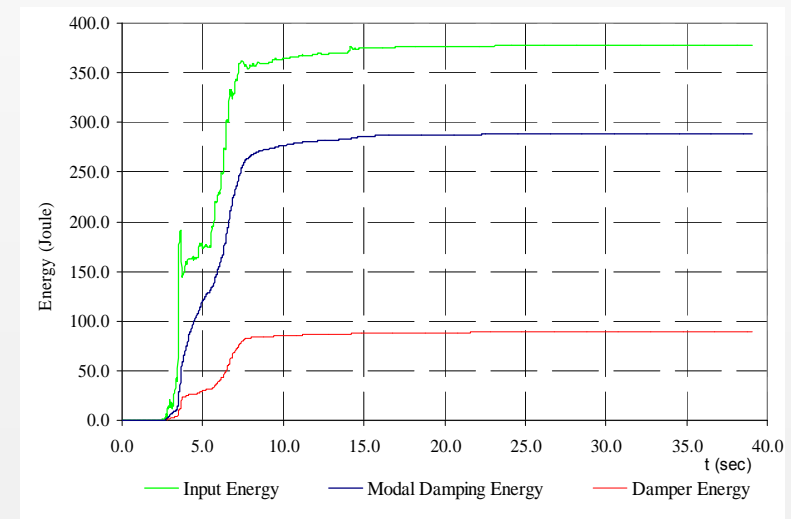
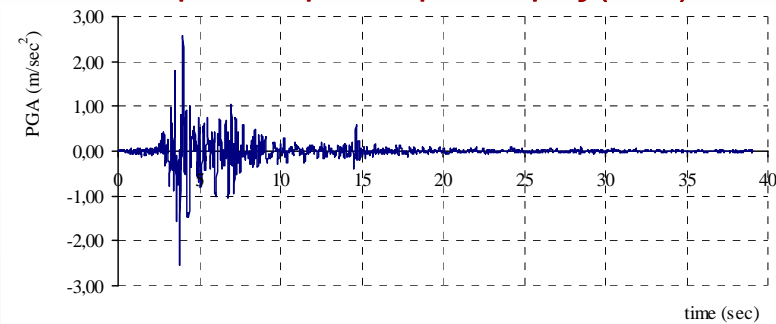


αστοχίες χωρικών στοιχείων



Κατακόρυφη τοποθέτηση αποσβεστήρων

Χρονοϊστορία σεισμού Αθήνας (1999)



Συμπεράσματα

- Οι ιστορικές κατασκευές από τοιχοποιία παρουσιάζουν πολλές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις σύγχρονες κατασκευές, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυσή τους.
- Νέες μεθοδολογίες για την ανάλυση αστοχιών της τοιχοποιίας είναι απαραίτητες ως εργαλείο εκτίμησης της υπάρχουσας κατάστασης των ιστορικών κατασκευών και της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων επεμβάσεων σεισμικής προστασίας.
- Κατά την ανάλυση ιστορικών κατασκευών η πιθανοτική προσέγγιση της σεισμικής απόκρισής τους, είναι απαραίτητη. Η προτεινόμενη μέθοδος (διάγραμμα καμπυλών θραυστότητας) παρέχει ένα χρήσιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων σχετικά με την προστασία τους.