



Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήσης Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Ενότητα 12: Μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης για την αποτίμηση της σεισμικής
επάρκειας κατασκευών: Παραδείγματα έρευνας και εφαρμογής

Αναστάσιος Σέξτος
Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



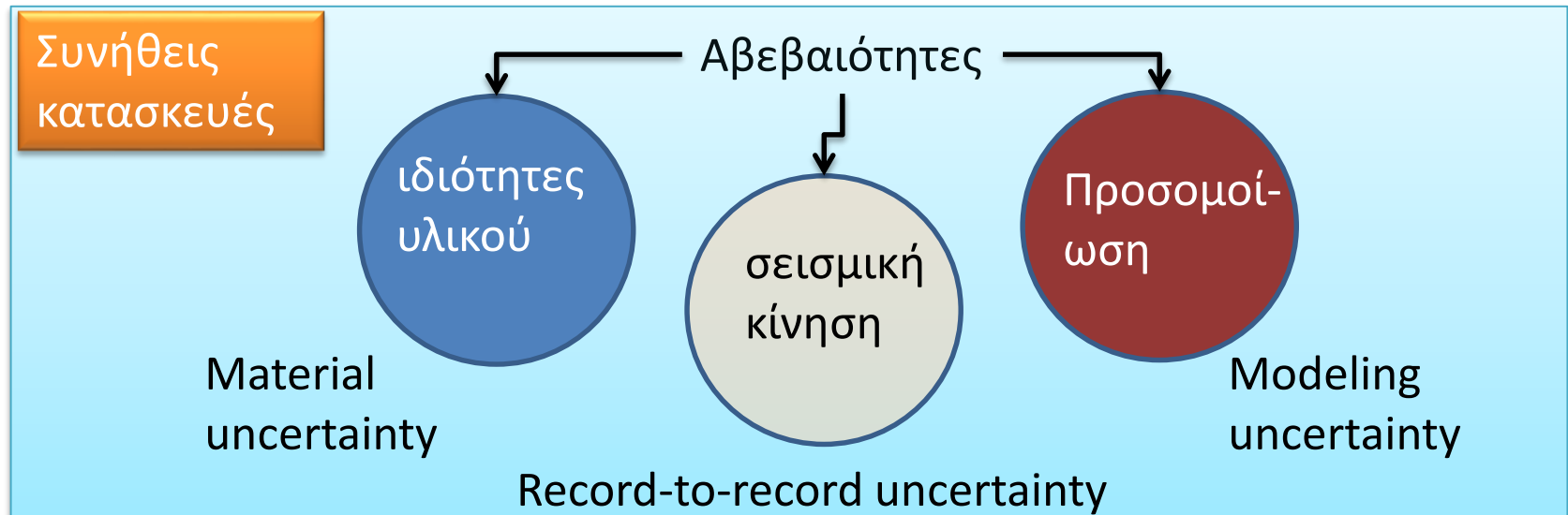
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σκοποί ενότητας

- Αβεβαιότητες στην αριθμητική ανάλυση ιστορικών κατασκευών και μνημείων



Σκοποί ενότητας

- Αβεβαιότητες στην αριθμητική ανάλυση ιστορικών κατασκευών και μνημείων

Μνημεία

- χωρική κατανομή της μάζας του δομήματος
- πολύπλοκη γεωμετρία του φορέα
- μη συμβατικές φορτιστικές καταστάσεις
- σύνθετες συνθήκες θεμελίωσης
- ανομοιομορφία στο χώρο των μηχανικών ιδιοτήτων
- ζητήματα μονόπλευρης ή μερικής επαφής
- Παθολογία & σεισμική ιστορία του μνημείου
- πολυφασικότητα του φορέα εξαιτίας ασυνεχούς στο χρόνο δόμησης





Υπότιτλος

I. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου

ΠΤΕΡΥΓΑ IV

ΠΤΕΡΥΓΑ III

A

B

Γ

ΠΤΕΡΥΓΑ II

ΠΤΕΡΥΓΑ I



Γ. Πενέλης, Γρ. Πενέλης, Α. Τσώνος, Α. Σέξτος



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου



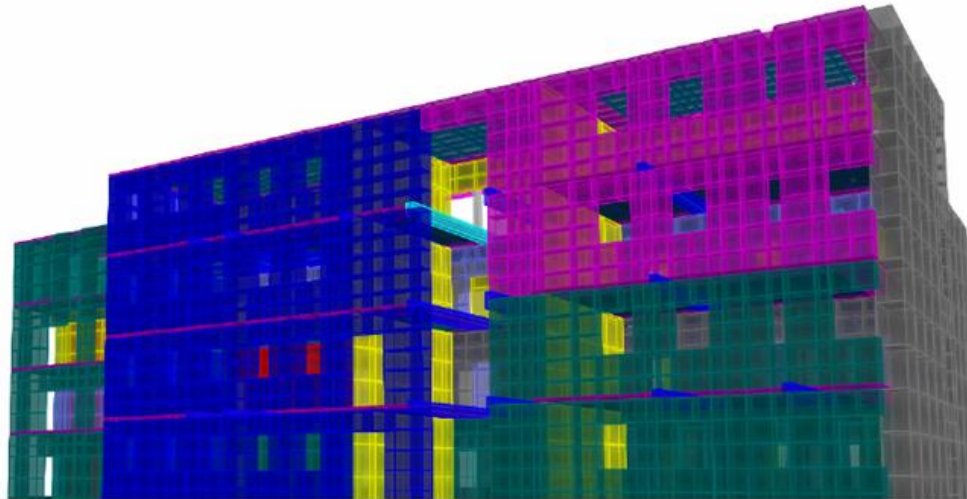
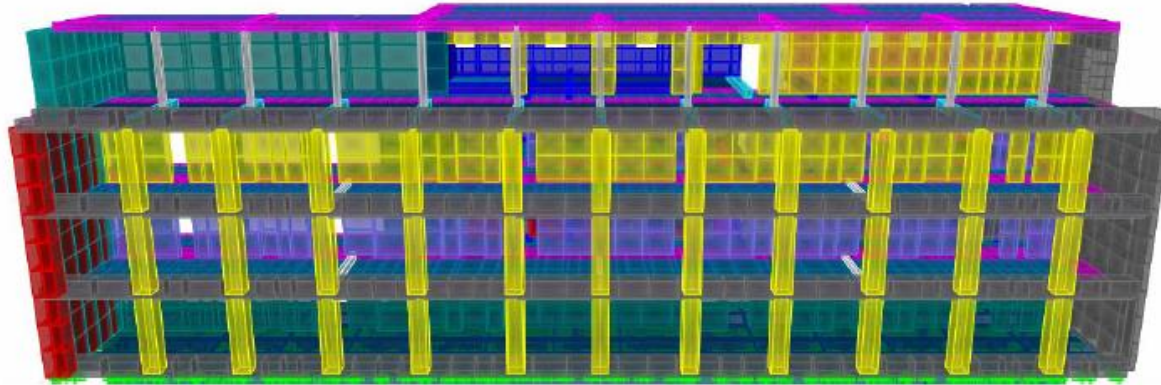
Τεχνικές προγραμματισμού και χρήσης λογισμικού στις κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου



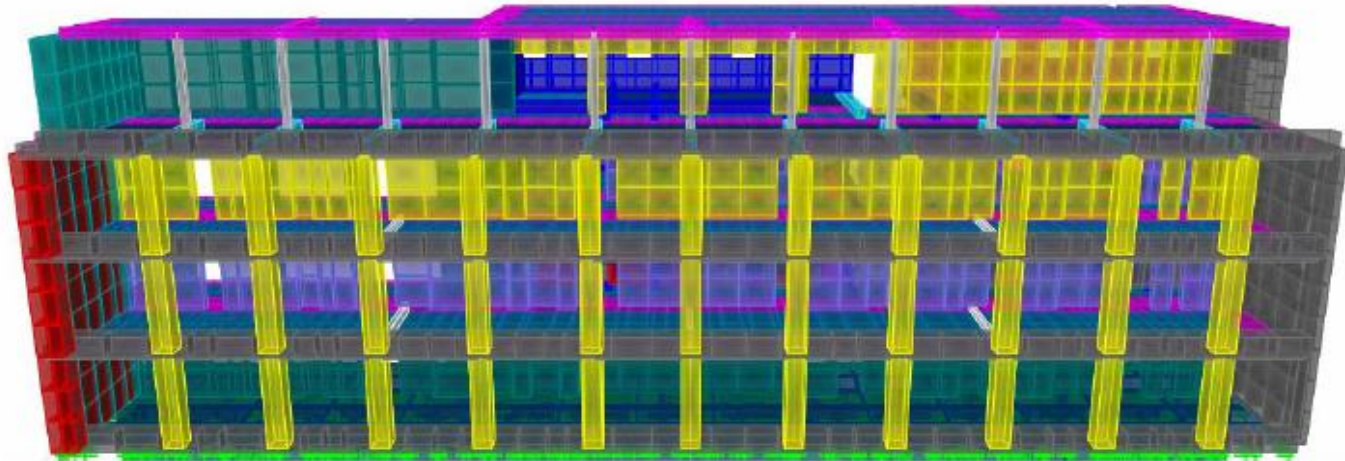
Τεχνικές προγραμματισμού και χρήσης λογισμικού στις κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

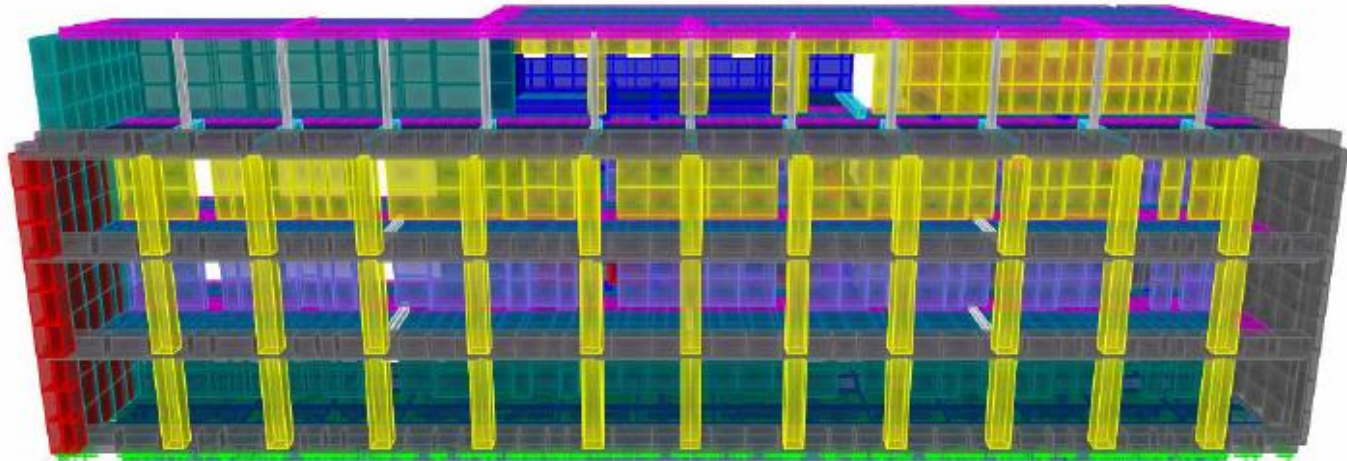
Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου



- λογισμικό προσομοίωσης με γραμμικά (δοκοί & υποστυλώματα) και επιφανειακά (τοιχώματα & φέροντες τοίχοι) στοιχεία
- εργαλεία μετεπεξεργασίας αποτελεσμάτων (τάσεις & παραμορφώσεις) Ο/Σ και λιθοδομή και ελέγχων σε κάμψη και διάτμηση εντός και εκτός επιπέδου

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου

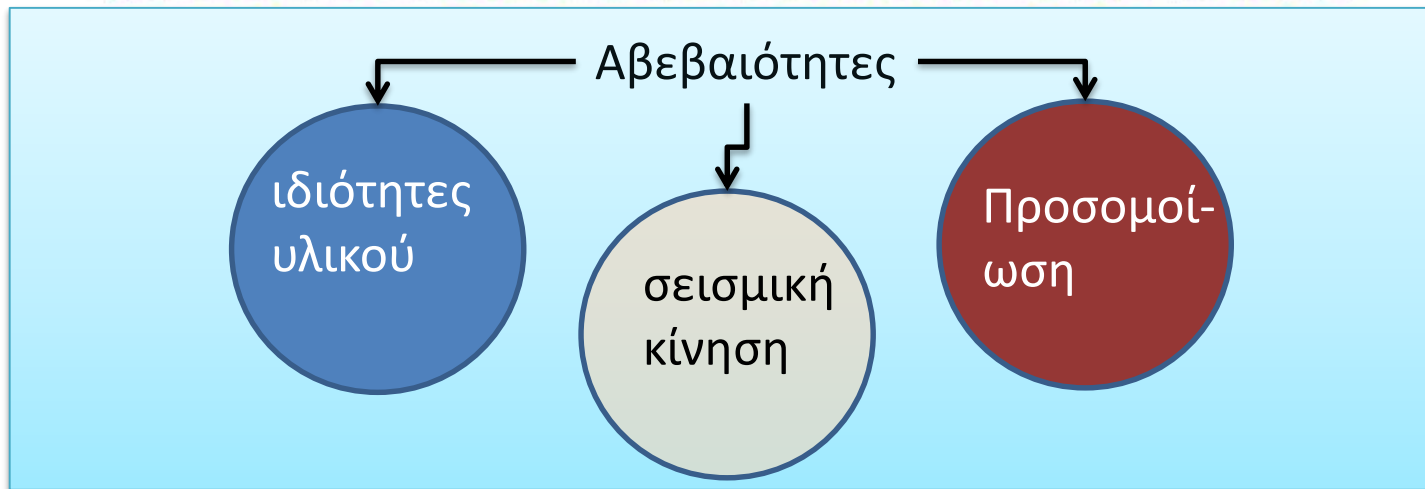
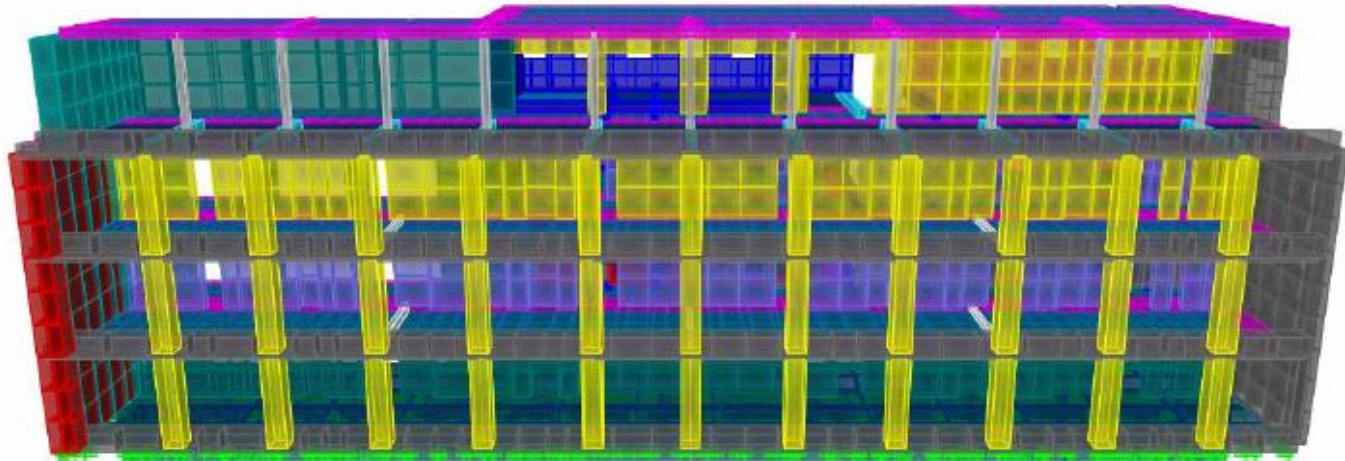


- αποτίμηση υφισταμένου και επιλογή επιδιωκόμενης νέας στάθμης επιτελεστικότητας
- ανασχεδιασμός & ενίσχυση του φορέα -> επικαιροποίηση προσομοιώματος (δυσκαμψίες) -> νέα δυναμικά χαρακτηριστικά & ένταση -> νέες αντοχές διατομών - επανέλεγχος



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Νοσοκομείο Γ. Παπανικολάου



Τεχνικές προγραμματισμού και χρήσης λογισμικού στις κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

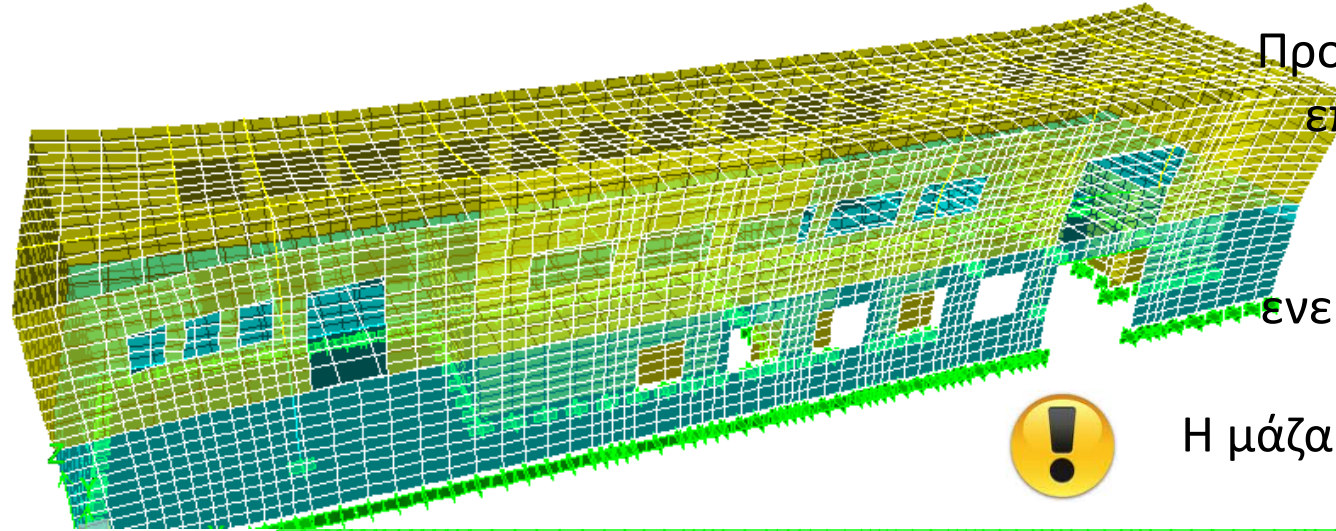


Τεχνικές προγραμματισμού και χρήσης λογισμικού στις κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

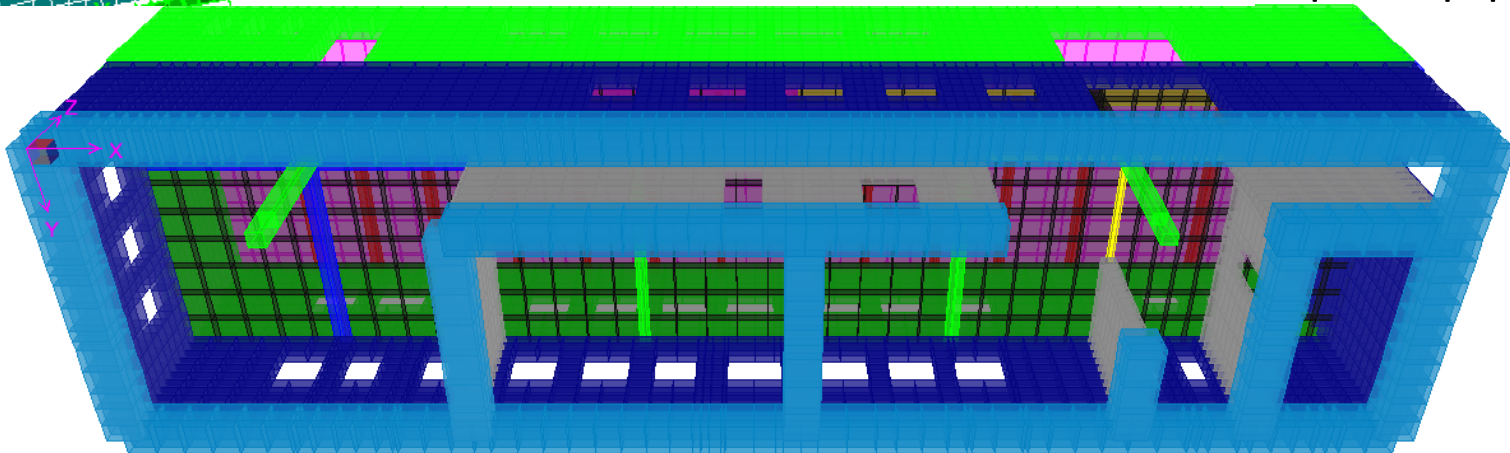
3-D View Mode 1 Period 0.0781 seconds



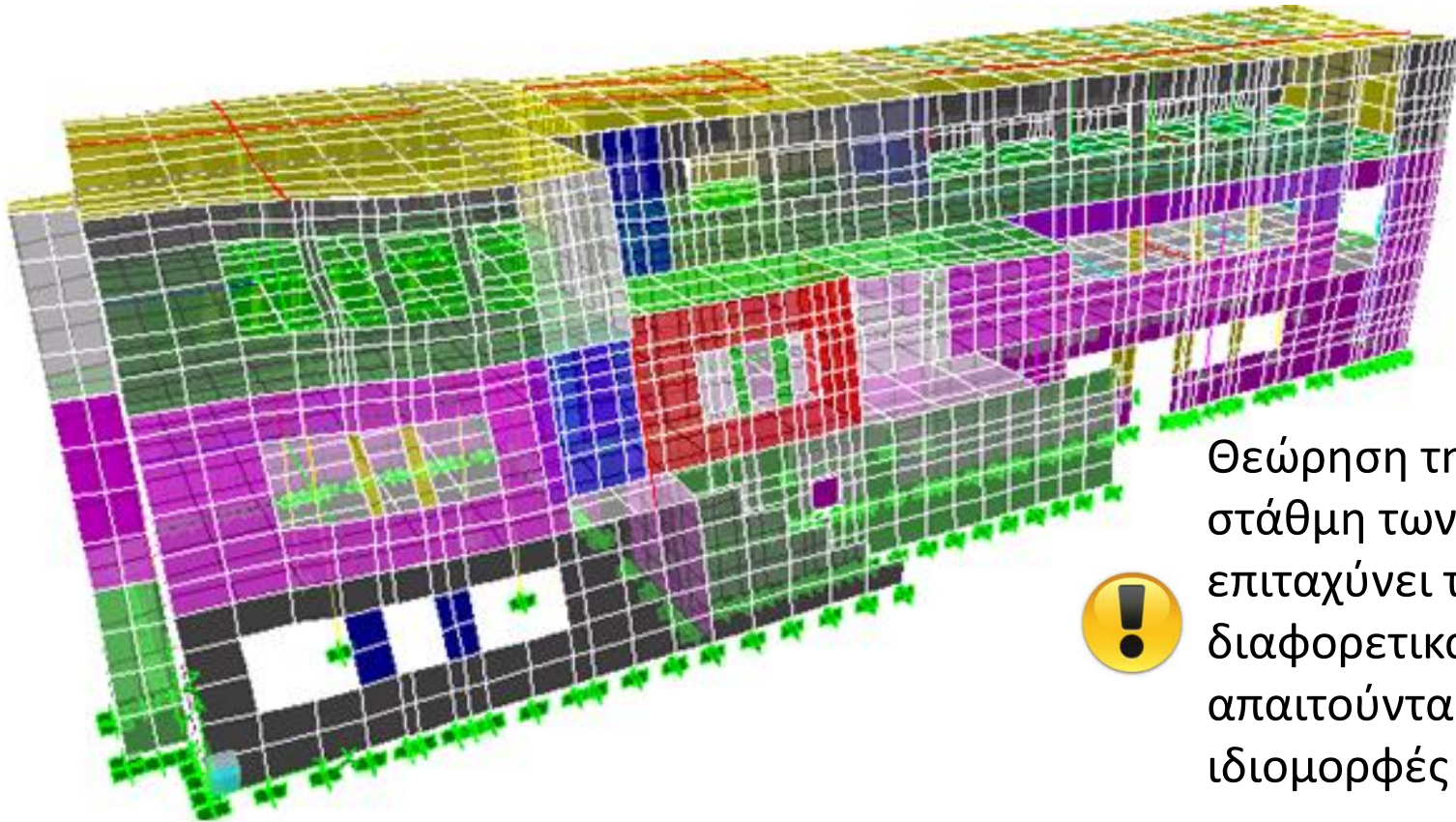
Προσομοίωση Πτέρυγας Α με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία (1^η ιδιομορφή, $T=0.08\text{sec}$, ενεργοποίηση 77% της μάζας κατά $y-y$)



Η μάζα δεν είναι συγκεντρωμένη στη στάθμη των ορόφων



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης



Θεώρηση της μάζας στην στάθμη των ορόφων επιταχύνει την ανάλυση διαφορετικά απαιτούνται >150 ιδιομορφές



Προσομοίωση Πτέρυγας Β με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία (1^η ιδιομορφή, $T=0.18\text{sec}$, ενεργοποίηση 59% της μάζας κατά $\gamma\text{-}\gamma$ και 69% περί τον R_x)



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Διακρίνονται τρεις διαφορετικές μορφές τοιχοποιίας, οι οποίες όμως μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν σε μια ενιαία κατηγορία με κοινά μηχανικά χαρακτηριστικά:

- Χαρακτηριστική αντοχή σε σύνθλιψη: $f_{mk} = 5.0\text{MPa}$
- Χαρακτηριστική αντοχή σε διάτμηση: $f_{mvk} = 0.20 + 0.40\sigma_d \leq 1.47\text{MPa}$
- Συντελεστής ασφαλείας τοιχοποιίας: $\gamma_m = 2.50$
- Μέτρο ελαστικότητας: $E = 5\text{GPa}$
- Μέτρο διατμήσεως: $G = 2\text{GPa}$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης



Η τρέχουσα κατάσταση των υλικών δεν υπεισέρχεται στην ανάλυση αφορά όμως τις αντοχές
Απαιτείται λεπτομερής τεκμηρίωση και παθολογία

Πλήρης οξείδωση κύριων οπλισμών πλάκας οροφής ορόφου πτέρυγας Α



Οξείδωση οπλισμών στην πλάκα οροφής ισογείου της πτέρυγας Α

7 9 2007

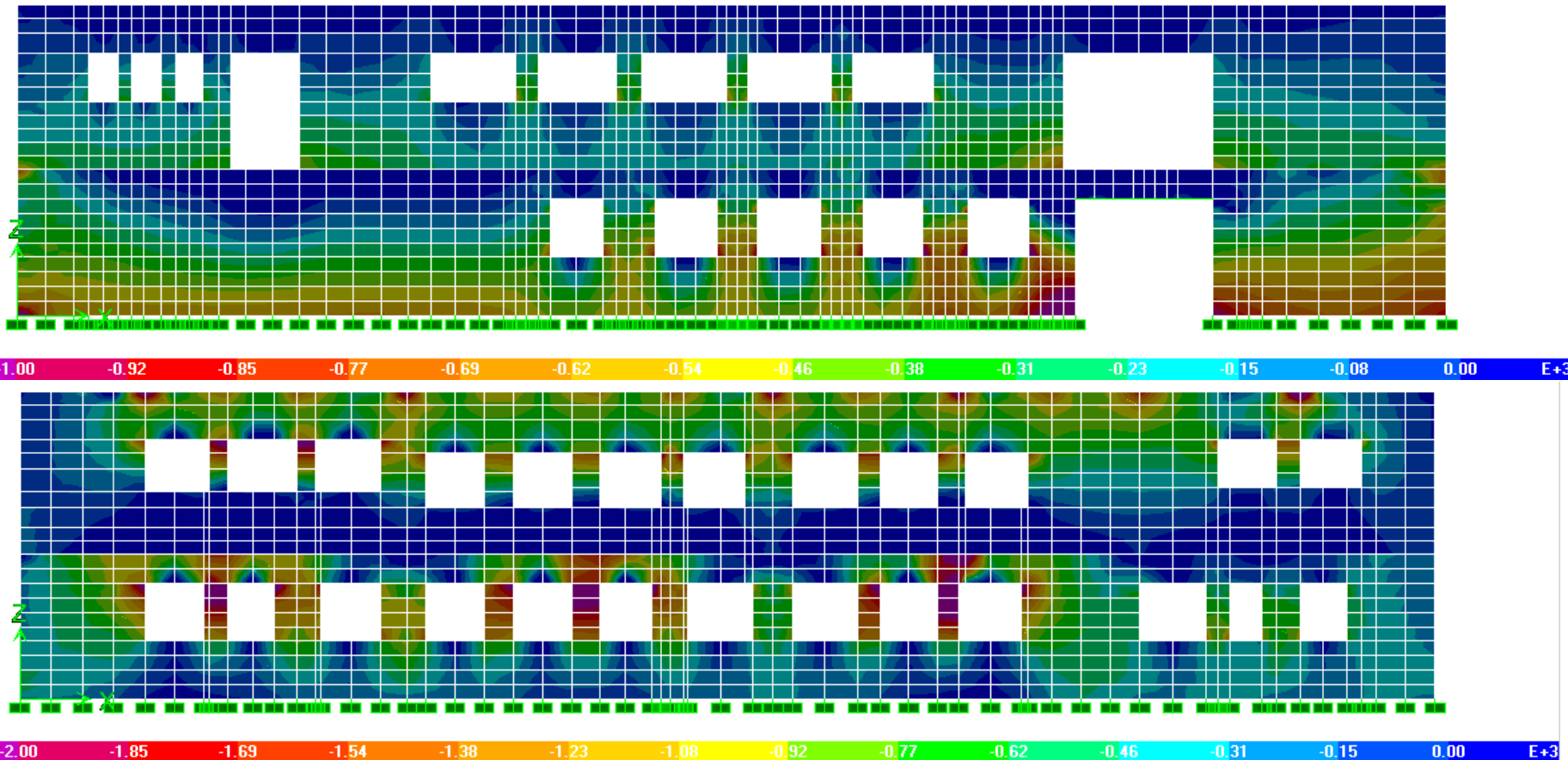


Έντονη οξείδωση σε τοίχο ισογείου της πτέρυγας Α



Αποφλοίωση σκυροδέματος υποστρώματος λόγω οξείδωσης των οπλισμών του

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και σεισμικής ενίσχυσης



Κατακόρυφες (θλιπτικές) τάσεις εξωτερικής τοιχοποιίας δυτικής (άνω) και ανατολικής (κάτω) όψης ενισχυμένης Πτέρυγας Α



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

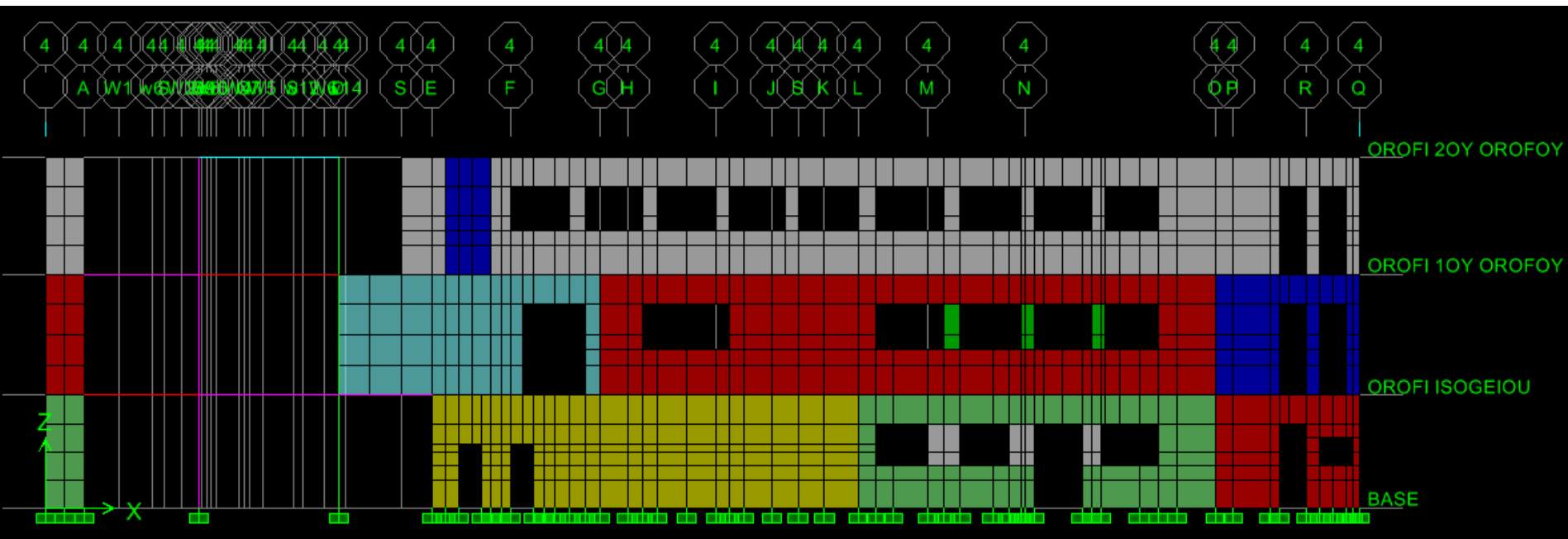
- Υπό σεισμική φόρτιση, η απόκριση των τριώροφων πτερύγων Β και Γ είναι ανεπαρκής. Ειδικότερα, εξαιτίας της ύπαρξης πολλών ανοιγμάτων στους περιμετρικούς τοίχους αστοχεί η πλειονότητα των πεσσών μικρής διατομής σε κάμψη και κυρίως σε διάτμηση. Η κατάσταση είναι ακόμη πιο σοβαρή στο 2^ο όροφο, όπου και το επιβαλλόμενο αξονικό φορτίο είναι σχετικά μικρό με αποτέλεσμα να αστοχούν και αρκετοί μεγαλύτερου μήκους πεσσοί.
- Η επάρκεια των πτερύγων Β και Γ έναντι σεισμικής καταπόνησης μπορεί να εξασφαλισθεί μόνον με την εφαρμογή μέτρων ενίσχυσης γενικού χαρακτήρα.



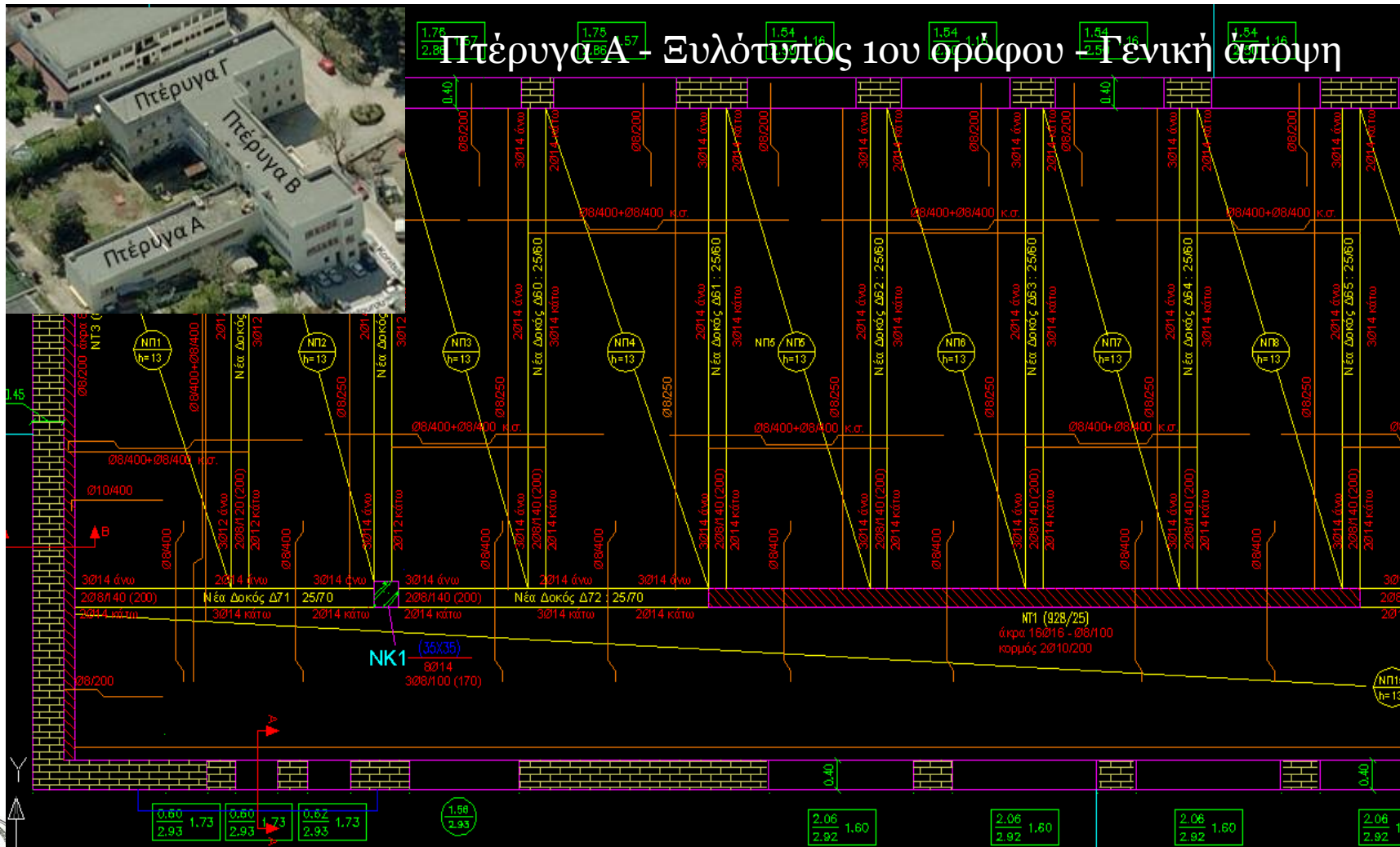
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης



Η ανάλυση αποτυπώνει ανεπάρκειες σε τοπικό επίπεδο όμως η επέμβαση είναι γενικού χαρακτήρα

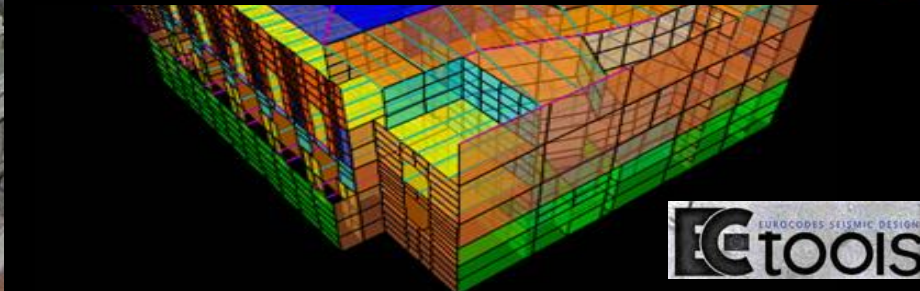
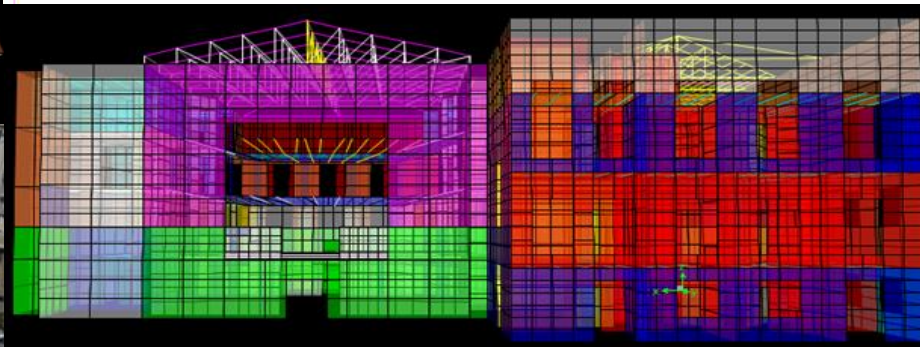
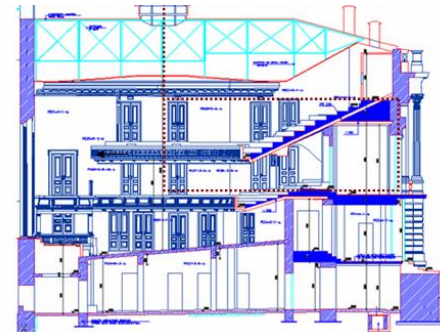
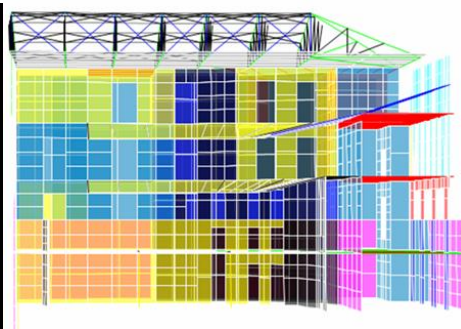
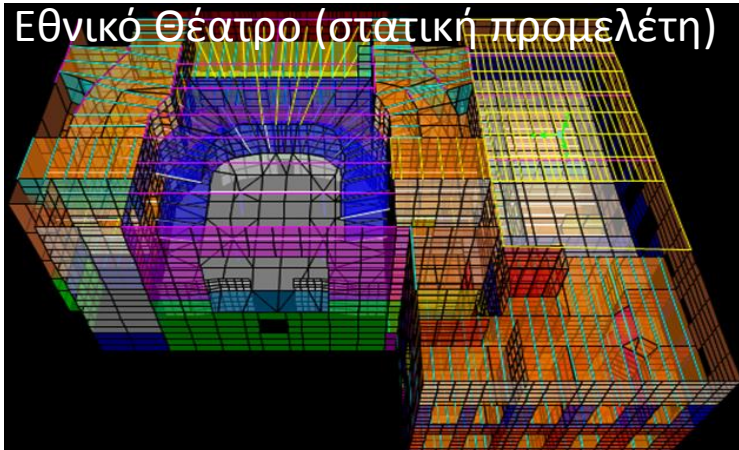


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο (στατική προμελέτη)



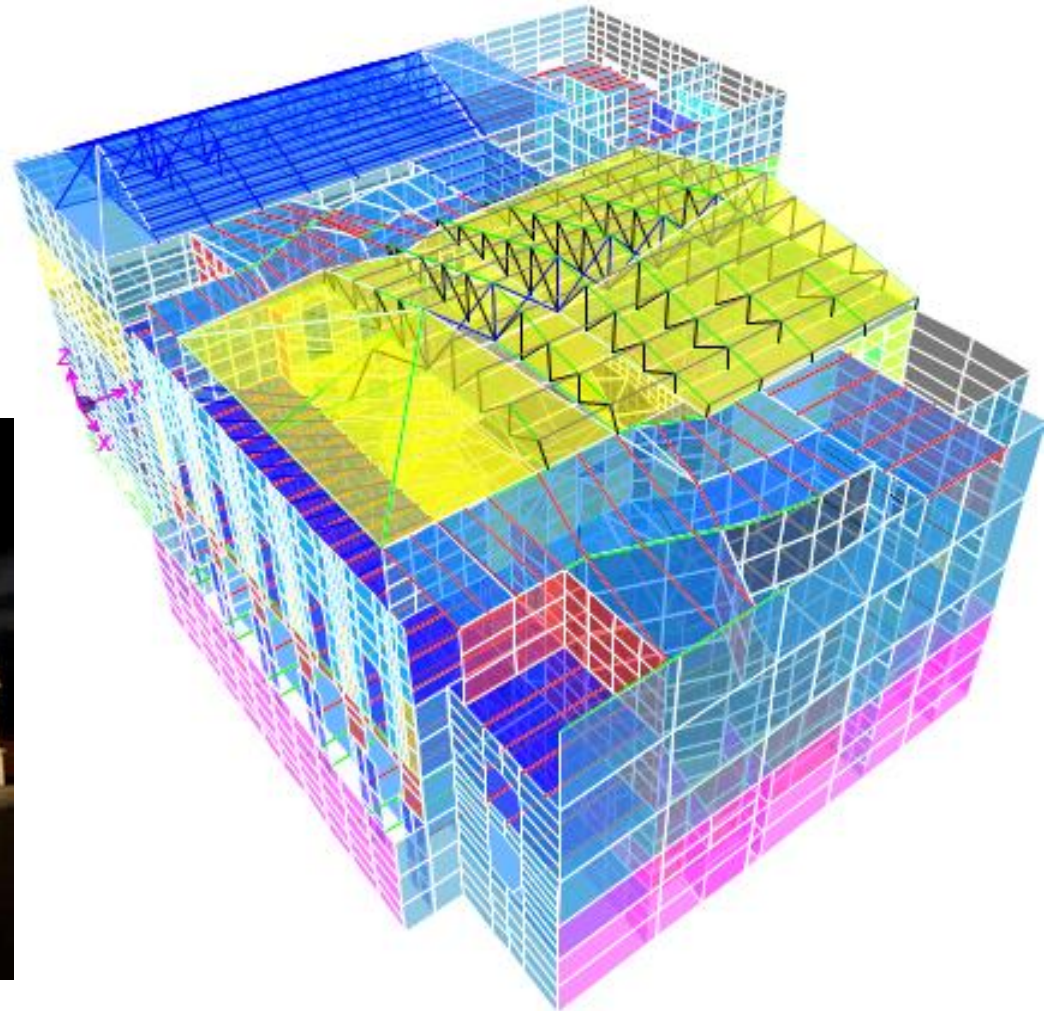
Γ. Πενέλης, Γρ. Πενέλης, Α. Σέξτος

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο



- πολύπλοκη γεωμετρία
- ταυτοποίηση βλαβών από προγενέστερους σεισμούς (Αθήνας 1999)

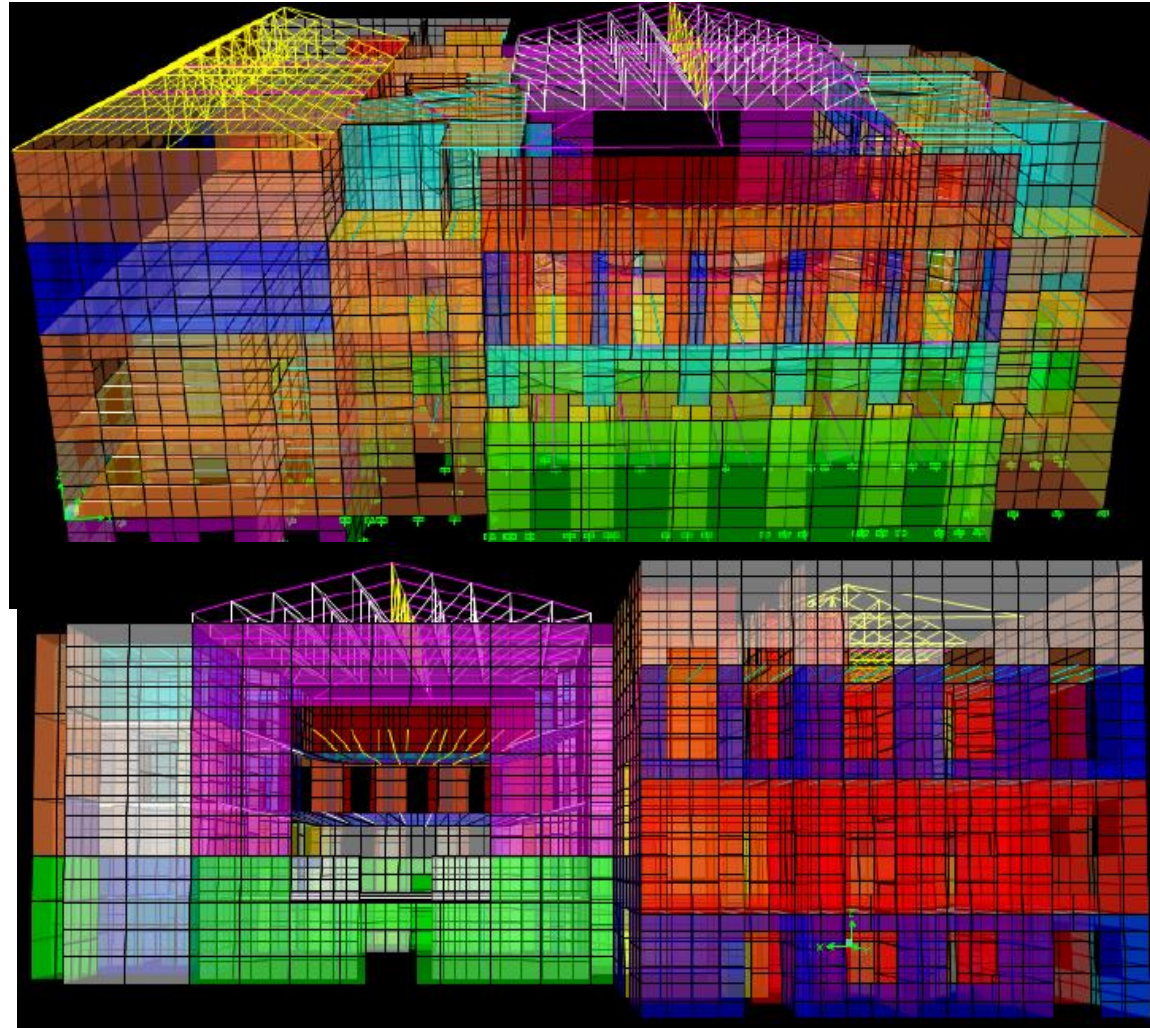


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο

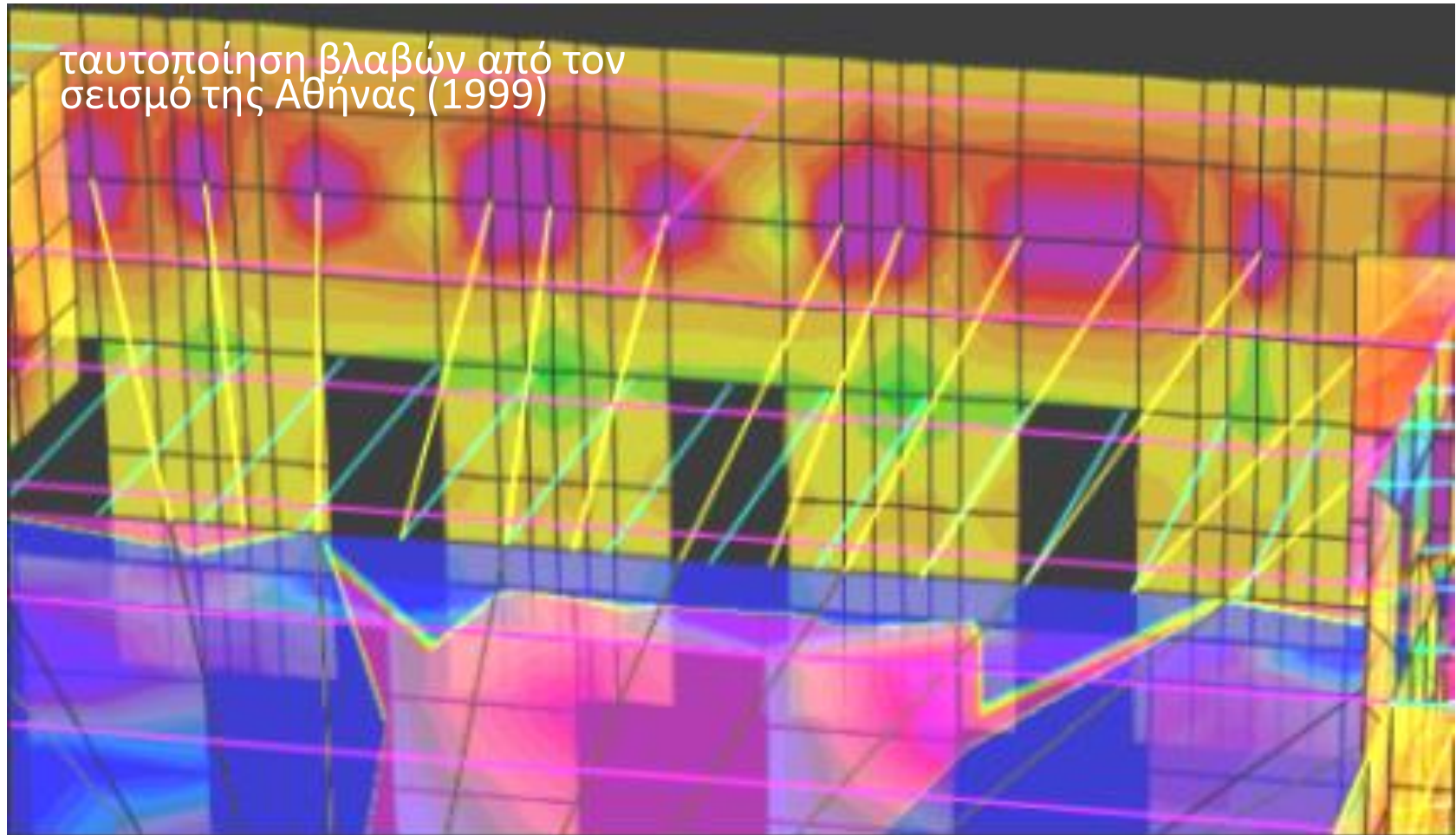


- πολύπλοκη γεωμετρία (προσομοίωση όχι με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια αλλά με την μέγιστη απαραίτητη – απαιτείται παραμετρικός έλεγχος)
- διαφορετικά υλικά (λιθοδομή, Ο/Σ, δομικός χάλυβας, ξύλο)



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

ΑΛΕΥΡΟΜΥΛΟΣ ΒΑΛΤΣΑΝΗ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ
2008-2009

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:
ΠΑΛΥΒΟΥ ΚΛΑΙΡΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΣΤΕΦΑΝΙΔΟΥ ΑΙΜΙΛΙΑ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΣΕΣΤΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ
ΤΟΚΜΑΚΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΤΗΣ



ΟΜΑΔΑ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ: ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ
ΚΑΛΥΒΑ ΕΛΕΝΗ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ: ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΡΙΤΣΟΥΛΗ ΚΑΤΕΡΙΝΑ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ: ΚΑΤΣΑΒΕΛΗ ΕΛΙΣΑΒΕΤ
ΤΣΙΤΛΑΚΙΔΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ: ΧΑΤΖΗΚΑΛΛΙΑ ΘΕΟΔΩΡΑ



Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



Εικ. 2.23: Φωτογραφία της νοτιοανατολικής όψης.

Επιπρόσθετα, η ύπαρξη διαφόρων οικοδομικών καταλοίπων σε επιμέρους χώρους περιμετρικά αλλά και εσωτερικά του κτιρίου καθιστά πολύ δύσκολο- έως αδύνατο το στήσιμο στάσεων με την αποτύπωση σημείων λεπτομερειών.

Τέλος, η ύπαρξη καρμένων ξύλινων δοκών και υποστηλωμάτων, καθιστούσε δύσκολη τη χρήση reflectorless για την αποτύπωση απρόσιτων σημείων καθ'ότι δεν αντανακλώνταν η δέσμη laser, ενώ παράλληλα αποτελούσαν εμπόδιο στην ορατότητα.



Εικ. 2.24: Φωτογραφία του κάτω μέρους της νοτιοδυτικής όψης.



Εικ. 2.25: Φωτογραφία του εσωτερικού του κτιρίου.

23.5.2017

Βορειοδυτική όψη (standard error ~ 0.011)



Εικ. 2.26: Αρχικές φωτογραφίες της βορειοδυτικής όψης.



Εικ. 2.27: Ανηγμένες εικόνες της βορειοδυτικής όψης μέσω του λογισμικού IRAS C.



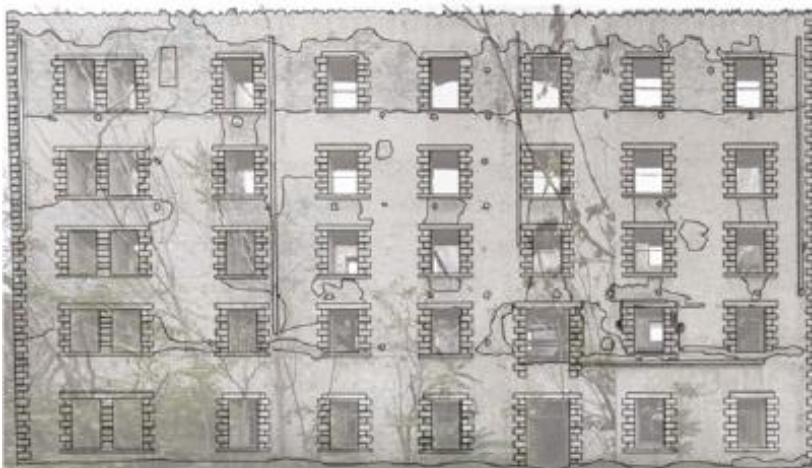
Εικ. 2.28: Φωτομωσαϊκό βορειοδυτικής όψης με IRAS C.

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



Σχεδ. 3.3:
ΒΔ όψη



Σχεδ. 3.4:
ΝΑ όψη



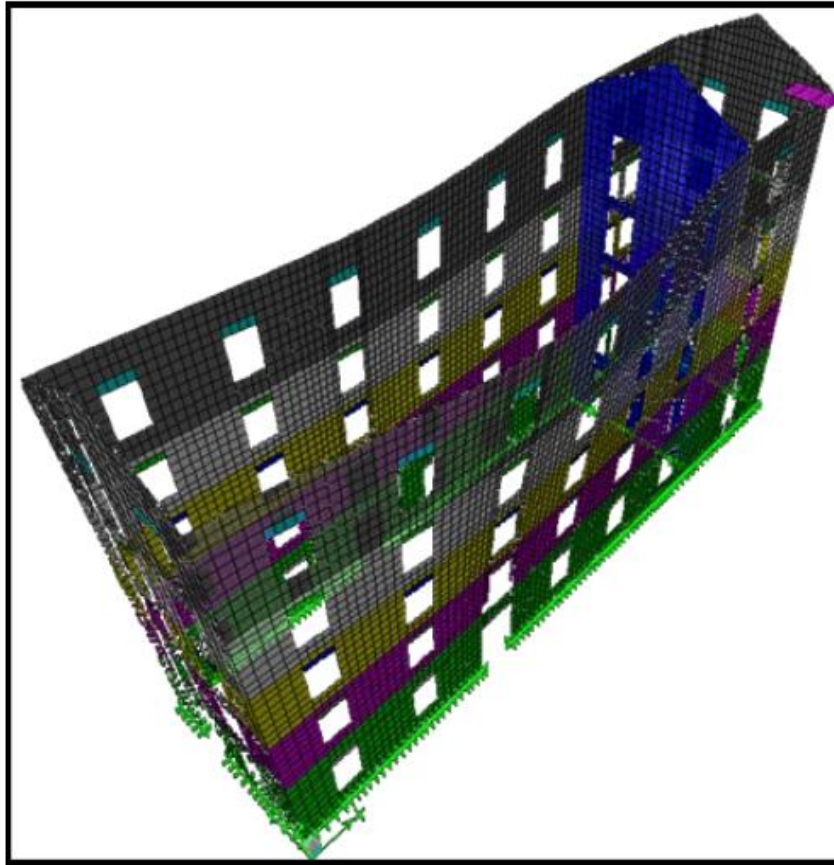
Σχεδ. 3.5: ΒΑ όψη (πρόσψη κτιρίου επί της οδού Γιαννιστών)



Εικ. 3.4: ΝΔ όψη (φωτογραμμοσκόπιο ανηγμένων φωτογραφιών)

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

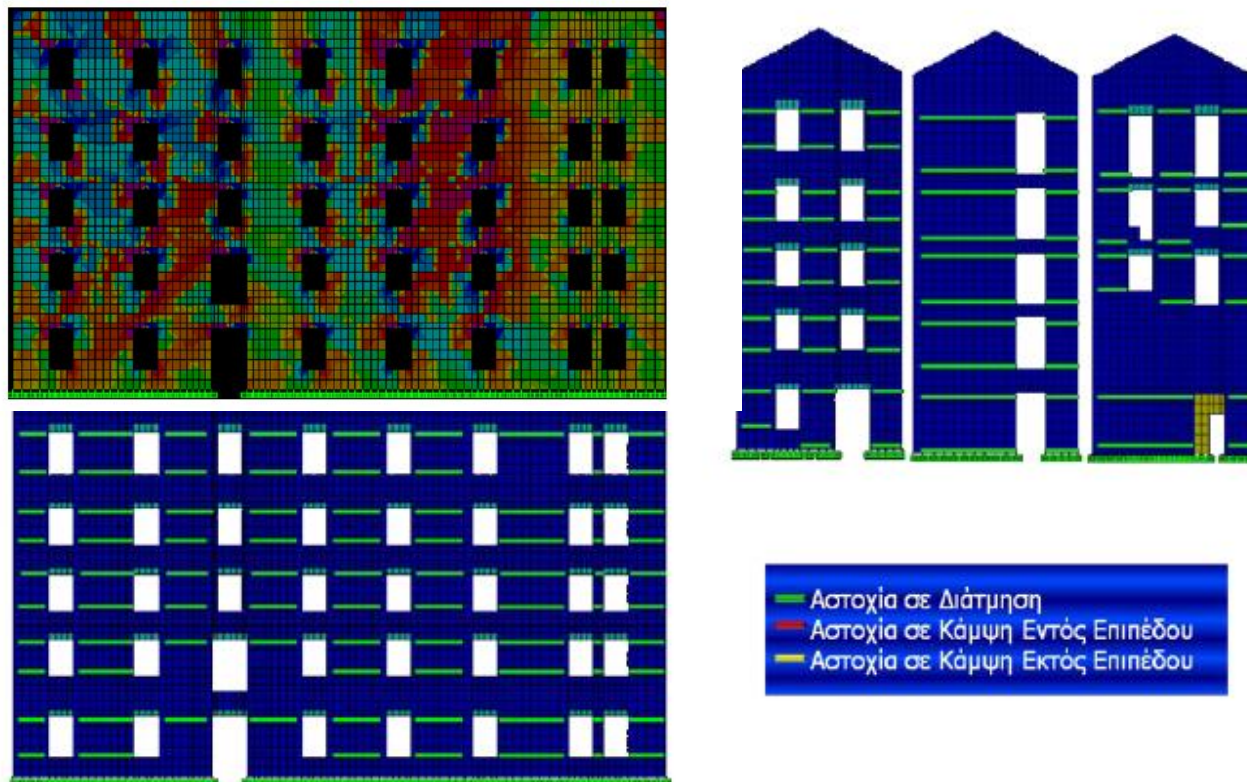


Στη 2η ιδομορφή προκύπτει $U_y=27\%$ και $T=0,96 \text{ sec}$

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ S12 (G+0,3Q+EX+0,3EY+0,3EZ)



Σχ. 4.16: Αστοχία σε διάτμηση

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΦΟΡΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΤΥΧΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Διατομή Σύντεταγμένες Ενέργειες Βοήθεια

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ: **ΕΥΝΕΤΗ**

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΟΡΥΦΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)
ΣΚ1	0.285	1.17
ΣΚ2	0.285	-1.17
ΣΚ3	0.355	-1.17
ΣΚ4	0.355	1.17

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΟΡΥΦΩΝ:

ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΟΡΥΦΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

ΣΗΜΕΙΟ	X (m)	Y (m)
T1	-0.285	1.17
T2	-0.285	-1.17
T3	0.285	-1.17
T4	0.285	1.17

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΚΟΡΥΦΩΝ:

ΧΑΛΥΒΑΣ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΡΑΒΔΟΝ ΧΑΛΥΒΑ

ΡΑΒΔΟΣ	X (m)	Y (m)	Ø (mm)
14	0.32	-1.1	6
15	0.32	1	6
16	0.32	1.15	6

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΡΑΒΔΩΝ:

ΦΟΡΤΙΑ

ΑΞΟΝΙΚΟ N: **-170.44** kN

ΡΟΠΗ My: **-53.83** kNm

ΡΟΠΗ Mx: **-2.34** kNm

ΑΞΟΝΙΚΟ ΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ

ΑΞΟΝΙΚΟ ΟΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΑΞΟΝΩΝ

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Χαρακτ. Αντοχή σε Σύνθλιψη (MPa): **20**

Συντελεστής Ασφαλείας: **1.5**

ΧΑΛΥΒΑΣ

Χαρακτ. Αντοχή σε Σύνθλιψη (MPa): **400**

Συντελεστής Ασφαλείας: **1.15**

ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Χαρακτ. Αντοχή σε Σύνθλιψη (MPa): **45**

Συντελεστής Ασφαλείας: **2.50**

ΣΗΜΑΝΣΗ ΘΕΤΙΚΗΣ ΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

The screenshot displays the 'FORMA ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ' (FORMA RESULTS) window of a structural analysis software. The window is divided into several sections:

- ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΦΟΡΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΤΥΧΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ** (CENTRAL CHECK FORM FOR COMPOSITE SECTION IN AXIAL BENDING)
- ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ** (GEOMETRIC CHARACTERISTICS): Includes 'ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ' (SECTION TYPE) set to 'ΕΥΣΤΗΤΗ' (RIGID) and 'ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ' (CONCRETE) properties.
- ΦΟΡΤΙΑ** (LOADS): Shows 'ΑΞΟΝΙΚΟ Ν' (AXIAL N) as -170.44 kN and 'ΡΟΠΗ My' (MOMENT My).
- ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ** (MATERIAL PROPERTIES): Shows 'ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ' (CONCRETE) with 'Χαρακτ. Αντοχή σε Σύνθλιψη (MPa)' (Characteristic Compressive Strength) of 20 and 'Συντελεστής Ασφαλείας' (Safety Factor) of 1.5.
- ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ** (RESULTS TABLES):
 - ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ** (SAFETY INDEX): 30.631
 - ΤΑΣΕΙΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ** (CONCRETE STRESS-STRAIN):

ΣΗΜΕΙΟ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΤΑΣΗ (MPa)
ΕΚ1	0.00047	0
ΕΚ2	0.00015	0
ΕΚ3	0.0006	0
ΕΚ4	0.00092	0
 - ΤΑΣΕΙΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ** (MUR STRESS-STRAIN):

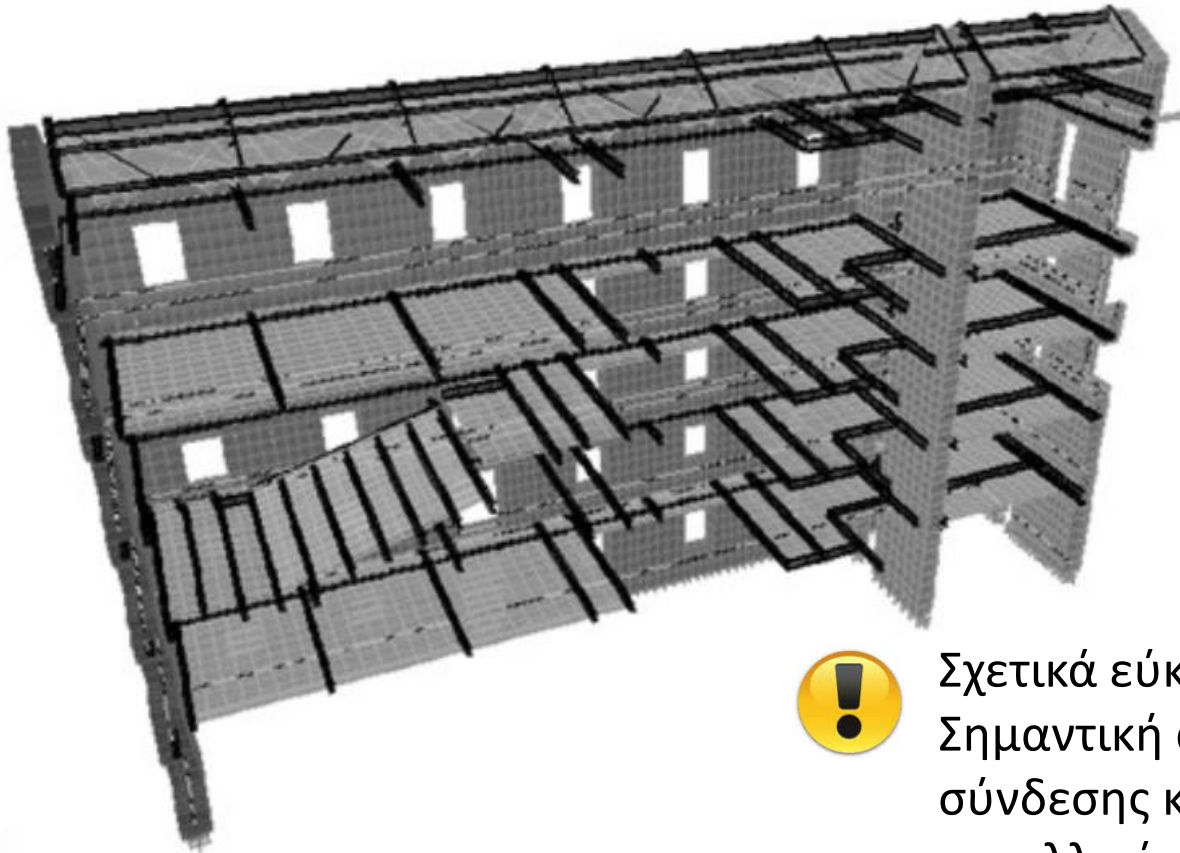
ΣΗΜΕΙΟ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΤΑΣΗ (MPa)
T1	-0.00118	1.53
T2	-0.0036	-1.53
T3	0.00015	0
T4	0.00047	0
 - ΤΑΣΕΙΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΝ** (REINFORCEMENT STRESS-STRAIN):

ΣΗΜΕΙΟ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΤΑΣΗ (MPa)
1	0.0004	30.52
2	0.00042	34.68
3	0.00044	38.83
4	0.00046	32.98
5	0.00049	37.13
6	0.00051	41.28
7	0.00053	45.43
- ΚΑΤΟΨΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ** (SECTION VIEW): A diagram of the rectangular section with dimensions 16 cm width and 16 cm height. The neutral axis is located at 9.1 cm from the bottom. The diagram shows the concrete core and the reinforcement layout.

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

Πτέρυγα Α - Ξυλότυπος 1ου ορόφου - Γενική άποψη

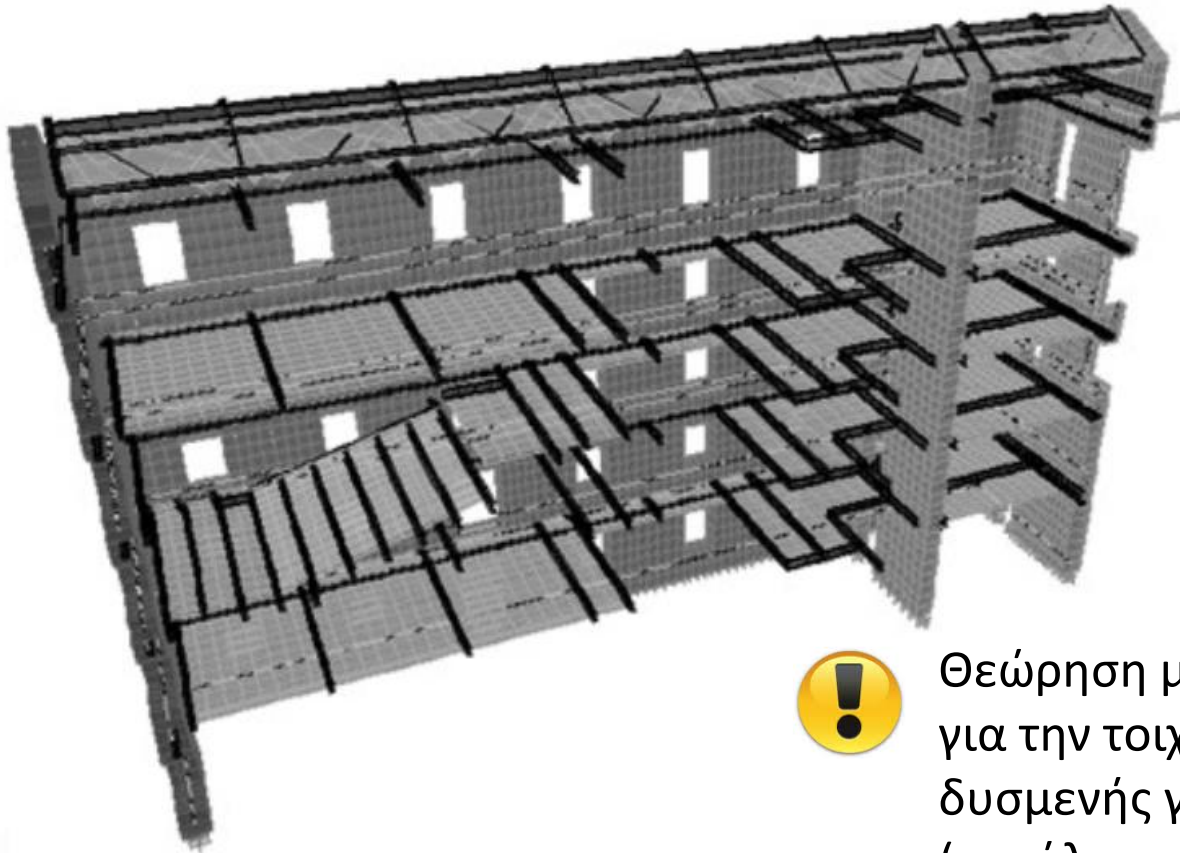


Σχετικά εύκολο προσομοίωμα
Σημαντική αβεβαιότητα συνθηκών
σύνδεσης κελύφους με εσωτερικό
μεταλλικό σκελετό

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

Πτέρυγα Α - Ξυλότυπος 1ου ορόφου - Γενική άποψη

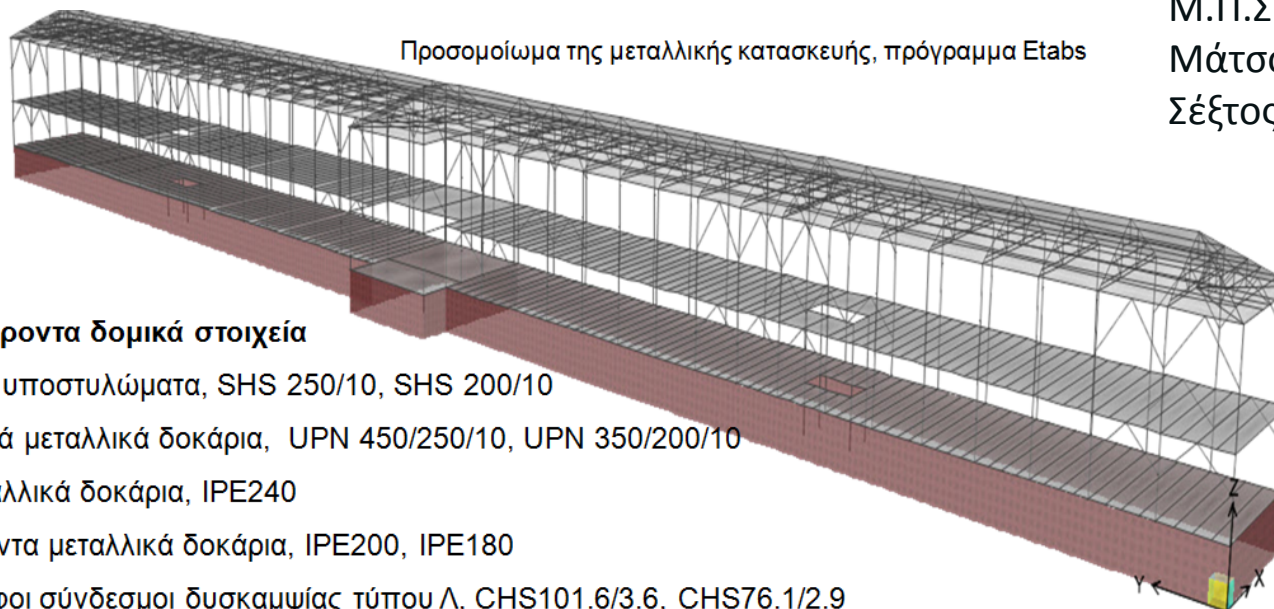


Θεώρηση μονολιθικής σύνδεσης = ευμενής για την τοιχοποιία (διαφράγματα), δυσμενής για τον μεταλλικό φορέα (μεγάλες οριζόντιες δυνάμεις)

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Στρατόπεδο Παύλου Μελά

Εργαστήριο Διατμ/κού
Μ.Π.Σ. Ο. Φελεκίδου, Β.
Μάτσου (επιβλέποντες Α.
Σέξτος, Μ. Νομικός)



Μεταλλικά φέροντα δομικά στοιχεία

- Μεταλλικά υποστυλώματα, SHS 250/10, SHS 200/10
- Περιμετρικά μεταλλικά δοκάρια, UPN 450/250/10, UPN 350/200/10
- Κύρια μεταλλικά δοκάρια, IPE240
- Δευτερεύοντα μεταλλικά δοκάρια, IPE200, IPE180
- Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας τύπου Λ, CHS101.6/3.6, CHS76.1/2.9

Για τον δομικό Χάλυβα Fe360, ορίστηκαν

ειδικό βάρος : $\gamma_s = 76.82 \text{ kN} / \text{m}^3$

όριο διαρροής : $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

εφελκυστική αντοχή : $f_u = 360 \text{ MPa}$

μέτρο ελαστικότητας : $E_s = 210000 \text{ MPa}$

Φέροντα δομικά στοιχεία Ο/Σ

- Τοίχιο Ο/Σ, πλάτους 25cm & ύψους ~1.70m
- Πλάκες Ο/Σ, πάχους 15cm

Για το Ο/Σ, ορίστηκαν

ειδικό βάρος : $\gamma_s = 25.0 \text{ kN} / \text{m}^3$

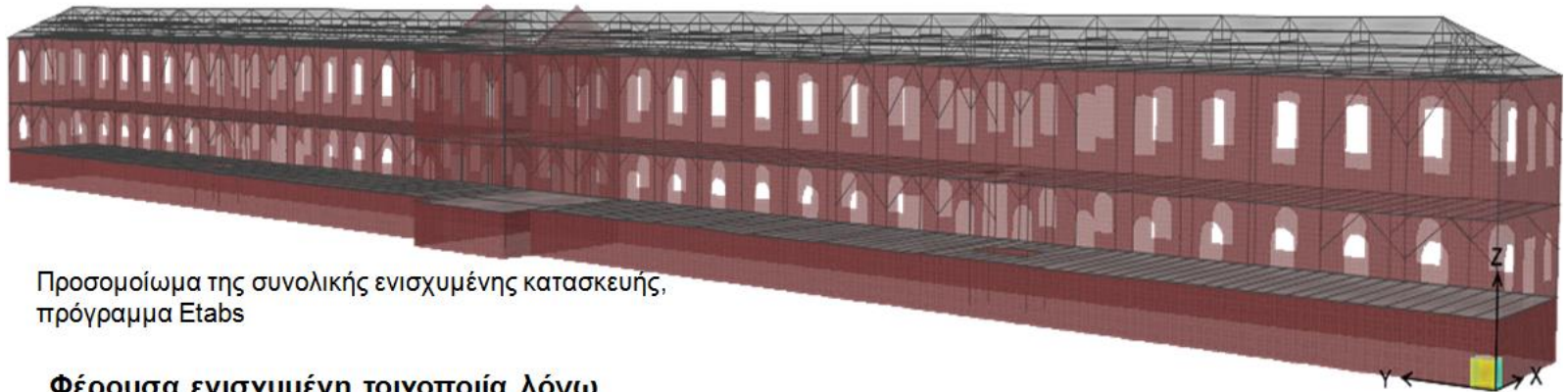
χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή : $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

μέτρο ελαστικότητας : $E_c = 29000 \text{ MPa}$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Στρατόπεδο Παύλου Μελά



Προσομοίωμα της συνολικής ενισχυμένης κατασκευής, πρόγραμμα Etabs

Φέρουσα ενισχυμένη τοιχοποιία λόγω

$$\text{Αύξηση θλιπτικής αντοχής (ΟΑΣΠ)} : f_{wc} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \zeta \cdot f_{wc,o}$$

$$\text{Όπου, } \frac{1}{\gamma_{Rd}} = 0.80$$

$f_{wc,o}$, η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν το αρμολόγημα

ζ , εμπειρικός συντελεστής που ισούται με $\zeta = 1 + w \cdot \frac{\text{όγκος νέου κονιάματος}}{\text{συνολικό όγκο κονιάματος}}$

όπου, $w=4 \div 8$ για λιθοδομή

Για τη λιθοδομή μετά την ενίσχυση, ορίστηκαν

ειδικό βάρος : $\gamma_k = 25.0 \text{ kN} / \text{m}^3$

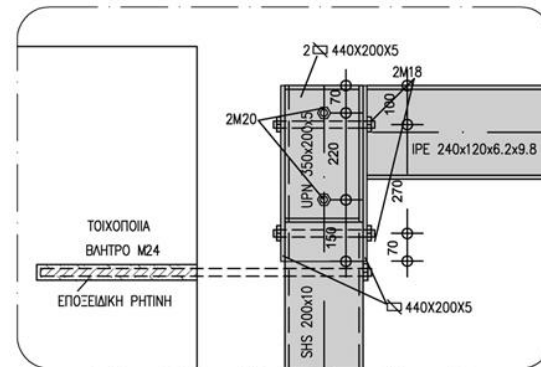
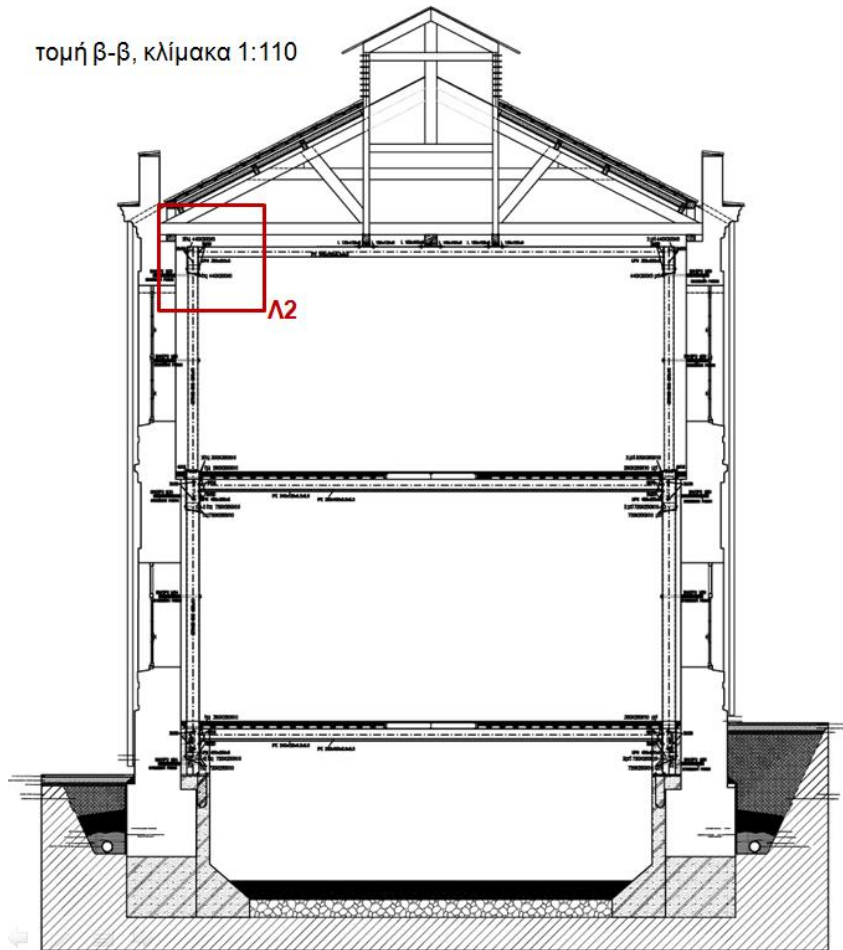
χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή : $f_k = 5 \text{ MPa}$

μέτρο ελαστικότητας : $E = 1000 \cdot f_k^2 \Rightarrow E = 1000 \cdot 5 = 5000 \text{ MPa}$

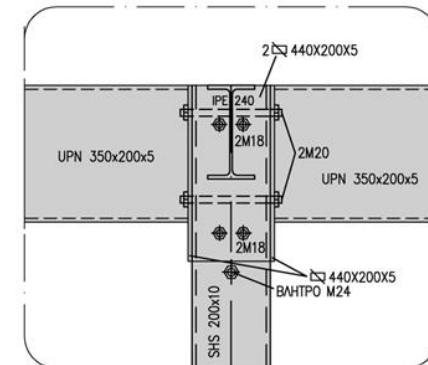
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Στρατόπεδο Παύλου Μελά

τομή β-β, κλίμακα 1:110



Λ2-0ψη 1, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:15



Λ2-0ψη 2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:15



Συνθήκες μερικής επαφής



Υπότιτλος

II. Ανελαστική ανάλυση για την διακρίβωση των μηχανισμών αστοχίας ή της διαθέσιμης πλαστιμότητας

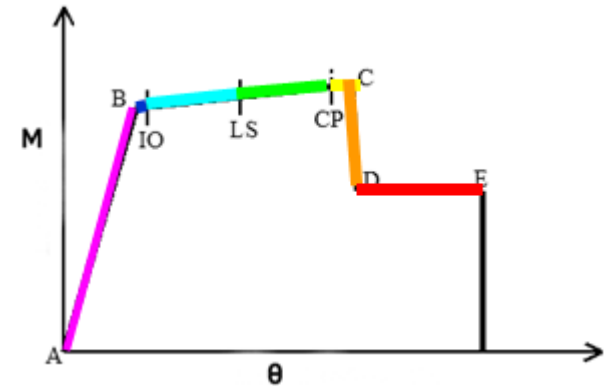
Μη γραμμική στατική μέθοδος (pushover)

1. δημιουργείται ένα προσομοίωμα του κτιρίου όπου σε κάθε δομικό στοιχείο λαμβάνεται υπόψη ανελαστικός νόμος φορτίου – παραμόρφωσης (βάσει ιδιοτήτων υλικού, γεωμετρία και οπλισμό διατομής)

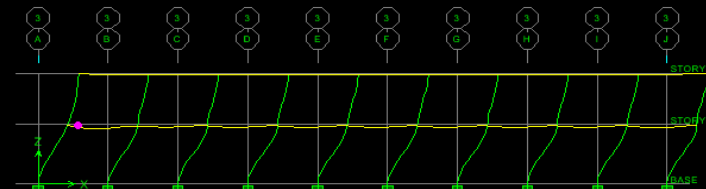
2. το προσομοίωμα φορτίζεται μονότονα με σταθερό προφίλ οριζόντιων φορτίων σύμφωνα με τη δεσπόζουσα κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων τα οποία αυξάνουν σταδιακά.

3. οι διατομές διαρρέουν σταδιακά, δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις και οι εσωτερικές δυνάμεις ανακατανέμονται στον φορέα.

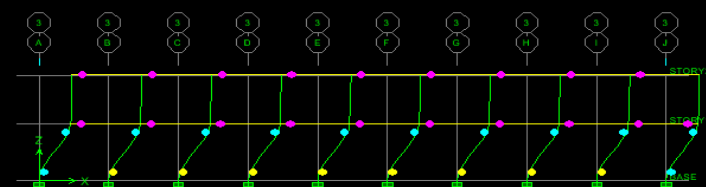
4. η διαδικασία τερματίζεται όταν δημιουργηθεί μηχανισμός ορόφου και ο φορέας καταρρεύσει



Εμφάνιση πρώτης πλαστικής άρθρωσης

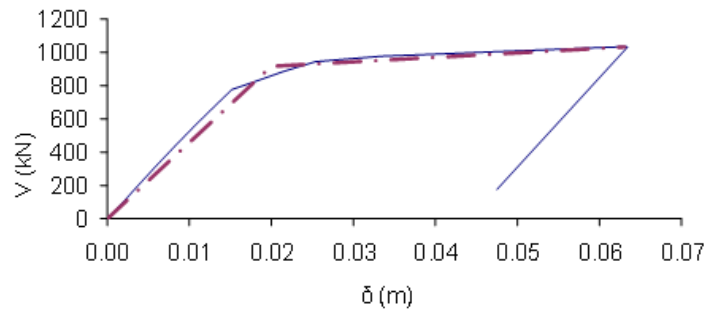


Ανάπτυξη μηχανισμού (κατάρρευση)



Μη γραμμική στατική μέθοδος (pushover)

5. εξάγεται η σχέση **τέμνουσας βάσης και μετακίνησης σημείου ελέγχου** (τυπικά στην κορυφή του κτιρίου)

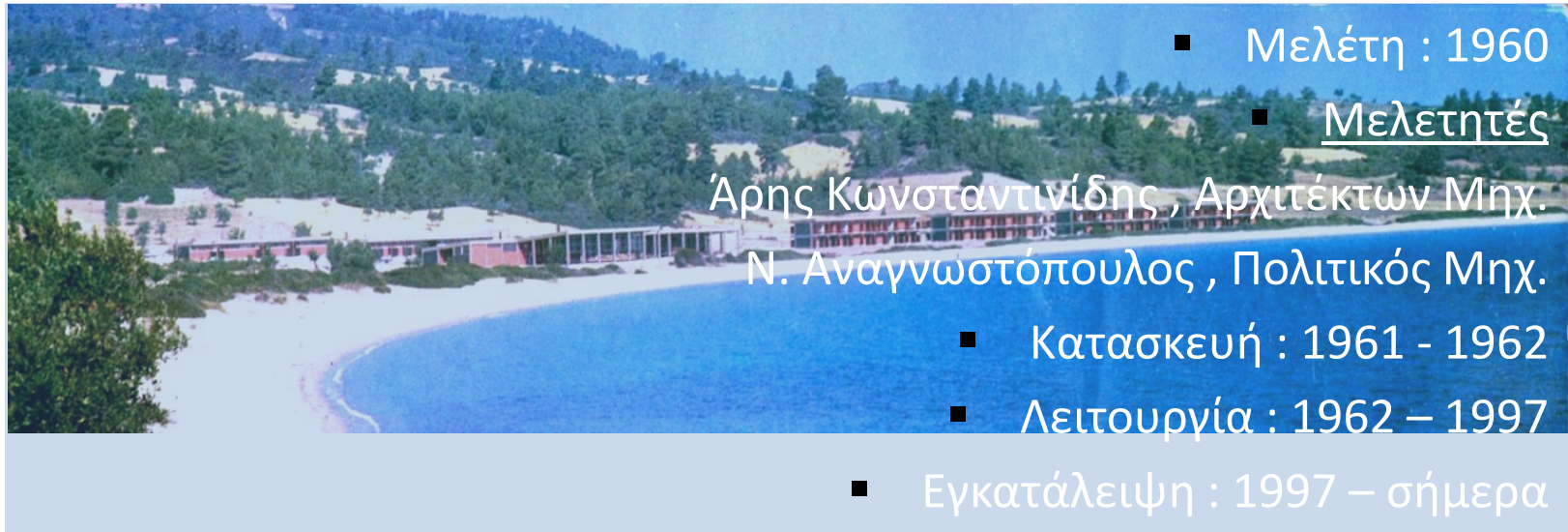


καμπύλη αντίστασης (ή ικανότητας)



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία

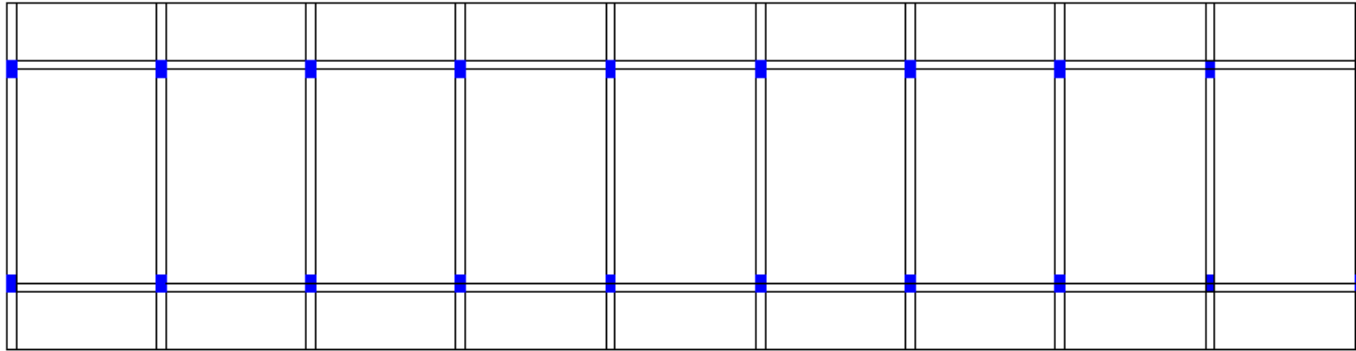


Διπλ. Εργασία Α. Πετράκης, Α. Βούλγαρη, Ο. Κατοπώδη (επιβλέποντες Χ. Ιγνατάκης, Α. Σέξτος)



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία



- Τυπικός κάρναβος : 4.0x6.0m
- Κοινή διατομή και διεύθυνση : 25x50cm
- Κοινός διαμήκης οπλισμός ανά κτίριο και όροφο : 6Φ(14,16,18,20)
- Κοινός εγκάρσιος οπλισμός ανά κτίριο και όροφο : Φ6/200

Διπλ. Εργασία Α. Πετράκης, Α. Βούλγαρη, Ο. Κατοπώδη (επιβλέποντες Χ. Ιγνατάκης, Α. Σέξτος)



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία

Οι βλάβες οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στο φαύλο κύκλο «ενανθράκωσης σκυρ/τος – οξείδωση οπλισμών», ο οποίος επιταχύνθηκε εξαιτίας της συνύπαρξης των ακολούθων αρνητικών παραγόντων:

1. Άμεση γειτνίαση με τη θάλασσα
2. Μικρό πάχος επικάλυψης οπλισμών
3. Αυξημένο πορώδες σκυρ/τος (ποτάμια αδρανή)
4. Απουσία επιχρίσματος
5. Εγκατάλειψη – απουσία συντήρησης
6. Ηλικία (>40 ετών)

Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία



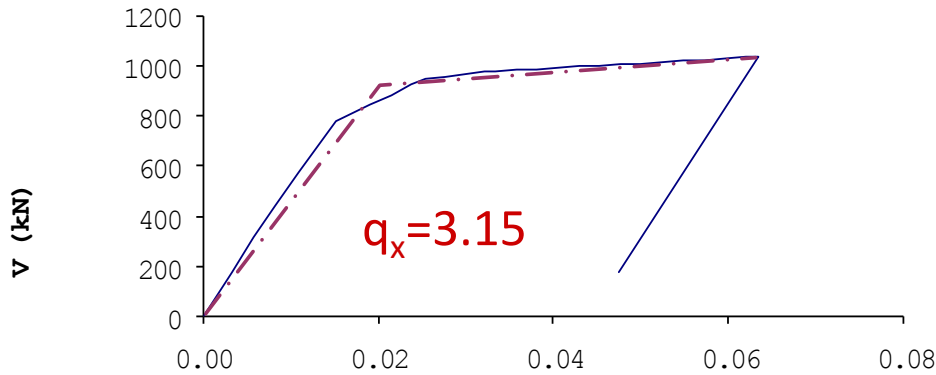
Απλός φορέας
Λεπτομερής
τεκμηρίωση
αντοχών υλικών
και διατομών



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

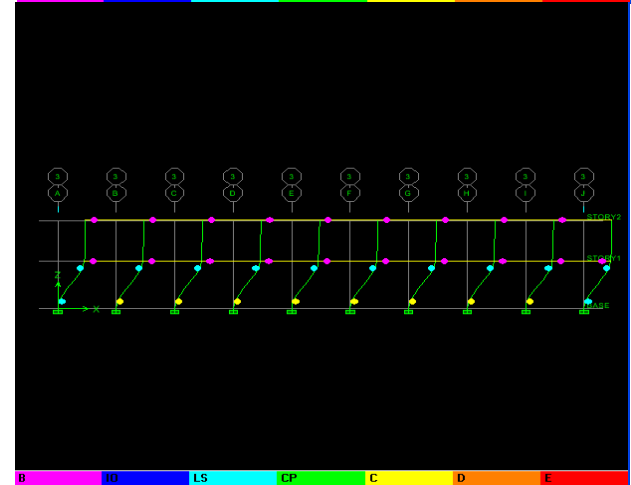
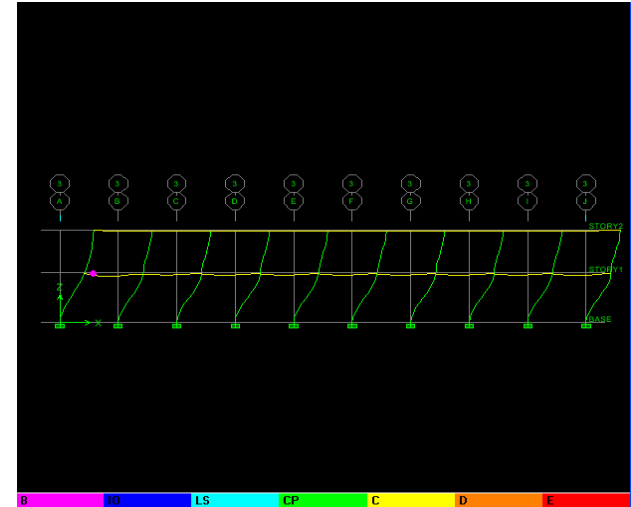
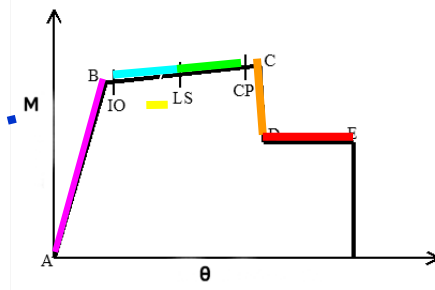
Ξενοδοχείο Ξενία

Κτίρια κοιτώνων



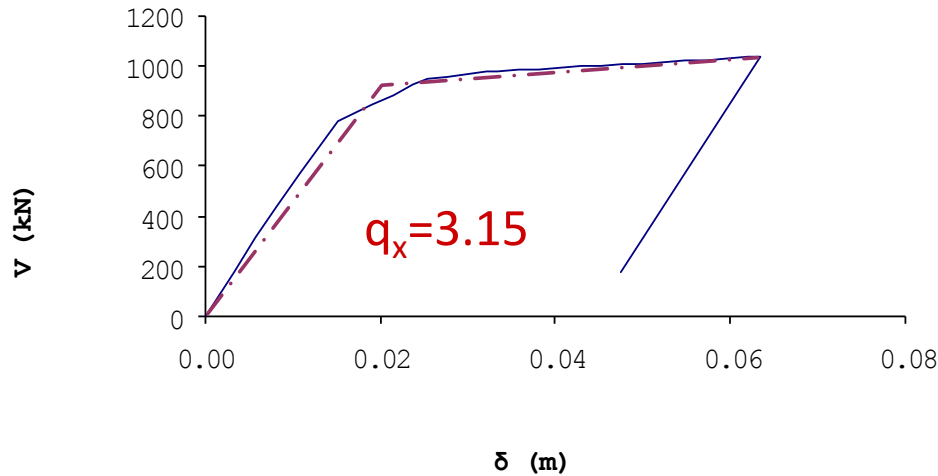
δ (m)

Με τα διαθέσιμα εργαλεία η προκύπτουσα πλαστιμότητα είναι συχνά μεγαλύτερη λόγω υπεραντοχών
Αγνοείται όμως η διατμητική αστοχία!

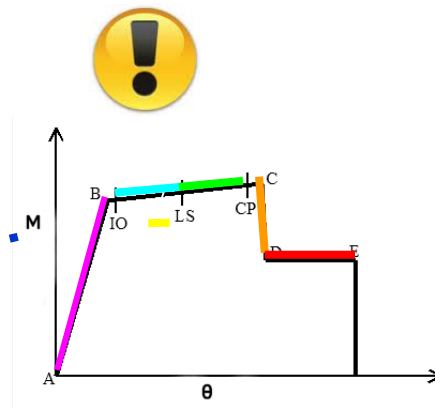


Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία Κτίρια κοιτώνων



Με τα διαθέσιμα εργαλεία η προκύπτουσα πλαστιμότητα είναι συχνά μεγαλύτερη λόγω υπεραντοχών
Αγνοείται όμως η διατμητική αστοχία!



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Πύργος της Ι.Μ. Τιμίου Προδρόμου Σερρών

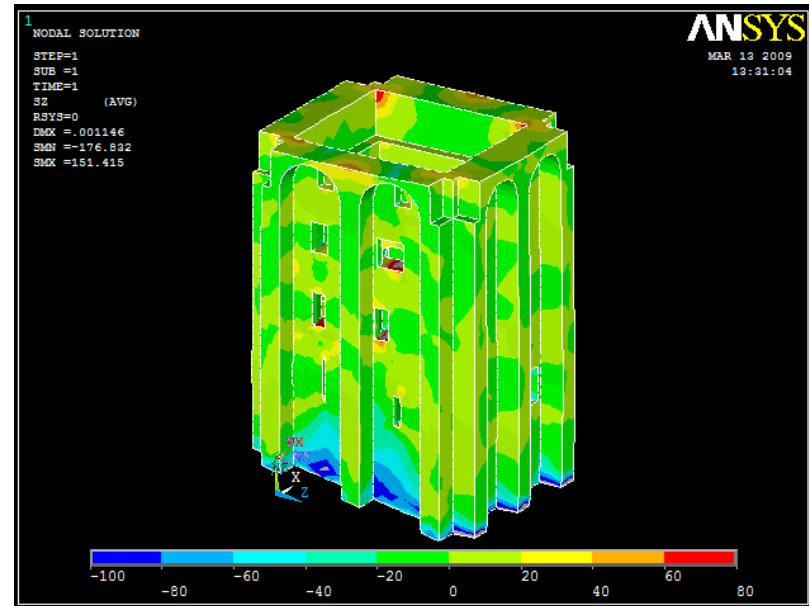
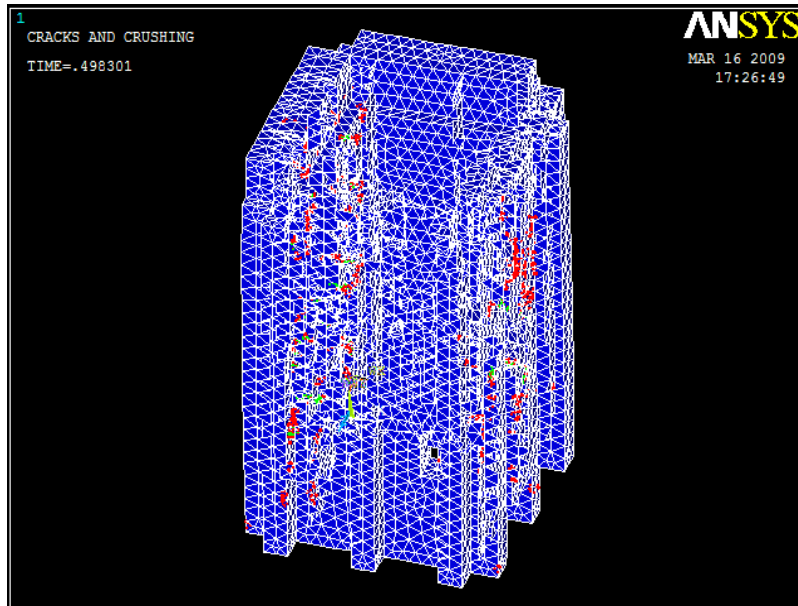


- Τριώροφο, ορθογωνικό κτίριο
- Υλικά κατασκευής : γρανίτες & σκληροί ασβεστόλιθοι
- Εσωτερικές διαστάσεις : 6.0 x 5.0 m
- Συνολικό ύψος : 18.3 m
- Τετράρριχτη στέγη με επικάλυψη σχιστολιθικών πλακών
- Θεμελίωση σε βραχώδες υπόβαθρο



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Πύργος της Ι.Μ. Τιμίου Προδρόμου Σερρών

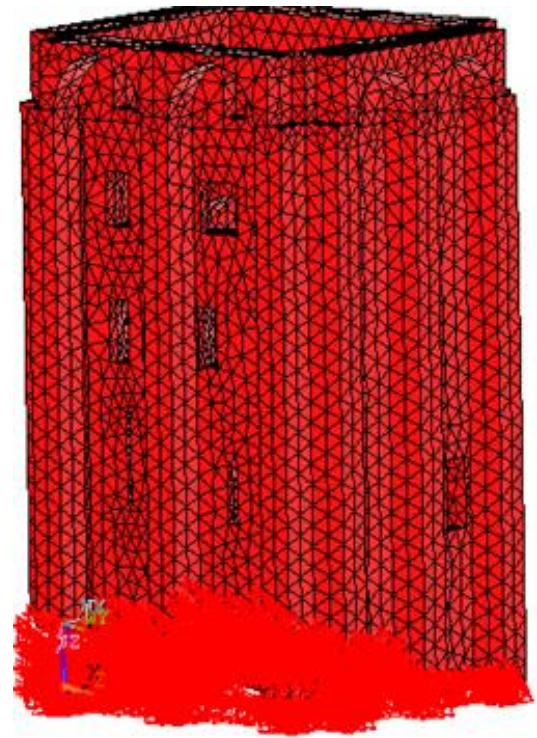
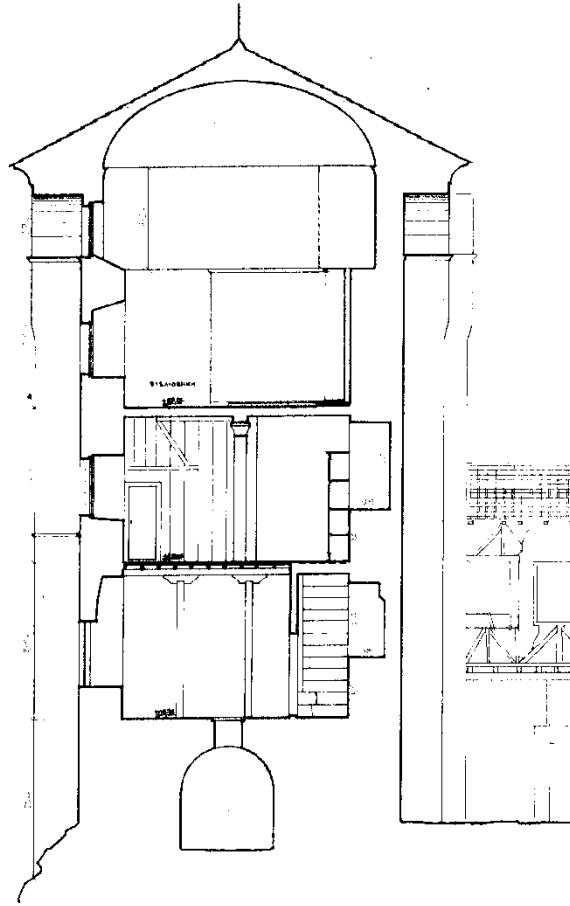


Απαιτείται ανελαστική ανάλυση με τη χρήση τρισδιάστατου προσομοιώματος



Ανελαστική ανάλυση για τη διακρίβωση μηχανισμών αστοχίας

Πύργος της Ι.Μ. Τιμίου Προδρόμου Σερρών





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υπότιτλος

III. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



Κ. Στυλιανίδης, Α. Σέξτος, Κ. Ζάμπας

Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων

1. Το υπό αναστήλωση τόξο συντίθεται από **θολίτες** οι οποίοι εδράζονται **επί ολόσωμων πεσσών**.
2. Από τους δύο στηρίζοντες πεσσούς ο μεν **βόρειος είναι σε καλή σχετικά κατάσταση** και είναι σε θέση να μεταφέρει τα φορτία του τόξου ενώ ο **νότιος παρουσιάζει ρηγματώσεις** οι οποίες καθιστούν τη στήριξη του τόξου επισφαλή.
3. Για το λόγο αυτό η αρχιτεκτονική μελέτη (συντάκτης Γ. Καραδέδος) πρότεινε την **παράκαμψη του νότιου πεσσού** κατά τη μεταφορά των φορτίων, με την τοποθέτηση **ολόσωμου λίθινου γείσου**, το οποίο αποτελεί την τελευταία στρώση του έξω από τον πεσσό τμήματος του τοίχου, από τον οποίο προβάλλει υπό μορφή επικράνου. Με τον τρόπο αυτό τα φορτία του τόξου μεταφέρονται στο γείσο και κατόπιν στον τοίχο.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

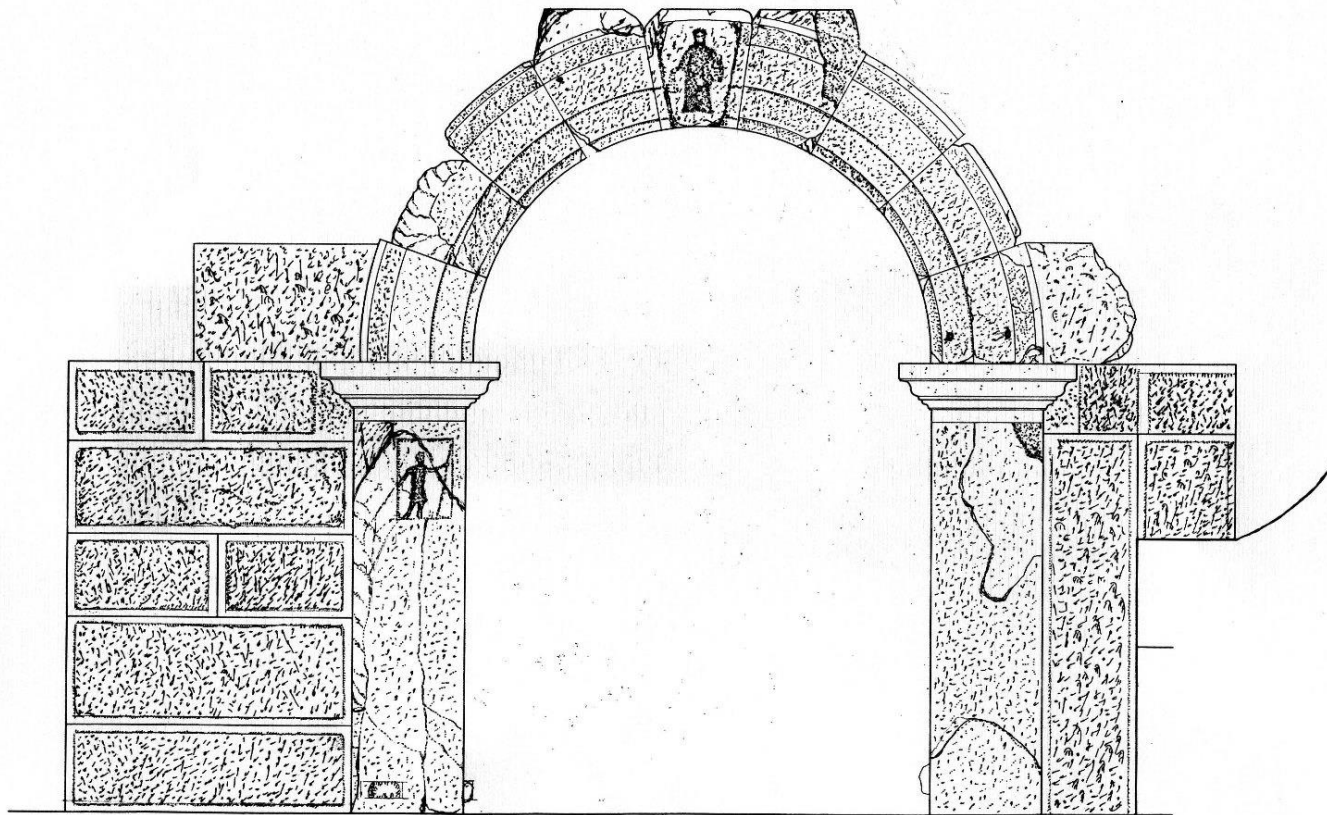
4. Προϋπόθεση της παράκαμψης του νότιου πεσσού αποτελεί η **υλοποίηση κατασκευαστικού αρμού** μικρού εύρους 2 – 3mm στην κεφαλή του πεσσού, κάτω από το γείσο.
5. Η δημιουργούμενη **εκκεντρότητα φόρτισης και η συνακόλουθη τάση για ανύψωση της ακραίας (νότιας)** περιοχής του τοίχου παραλαμβάνονται με κατακόρυφους μεταλλικούς **ελκυστήρες** οι οποίοι διατρύπουν τους ολόσωμους λίθους του τοίχου.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης



0

1

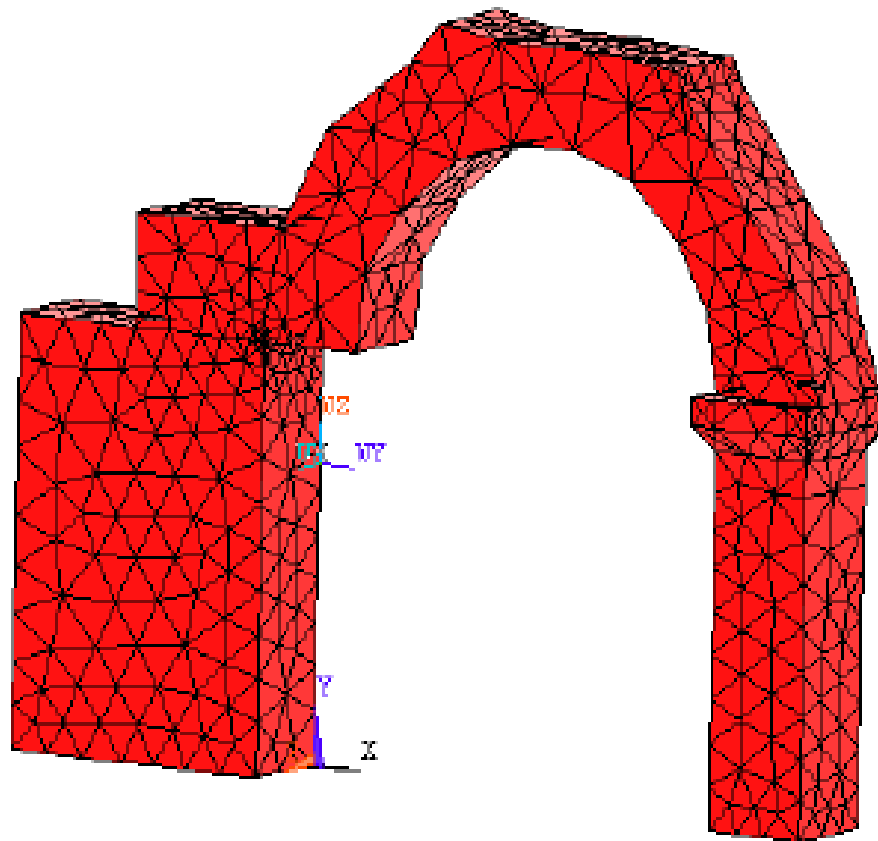


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

ANSYS

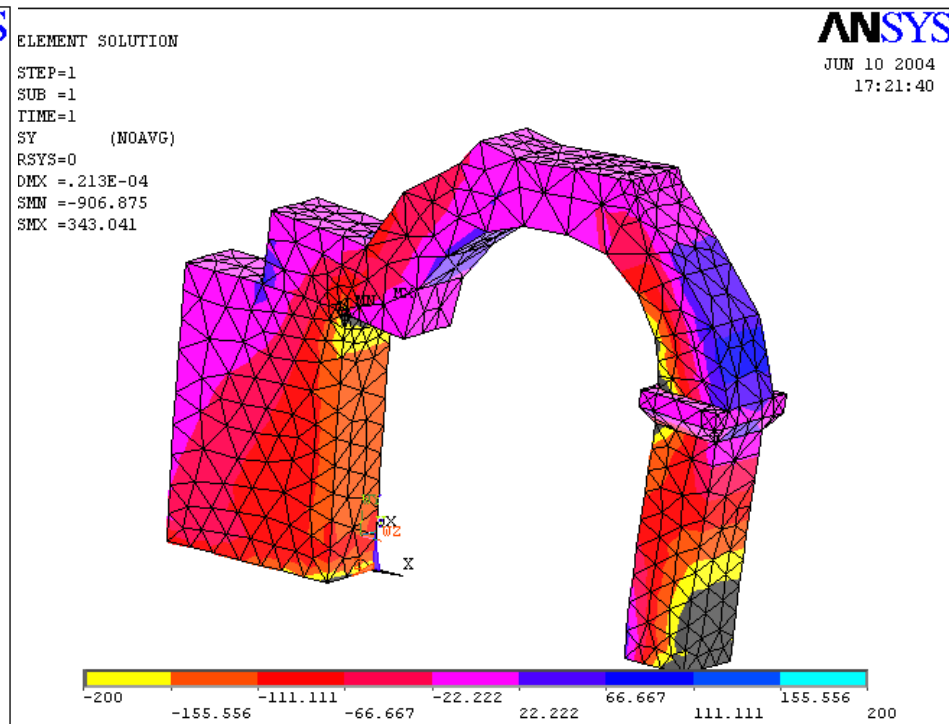
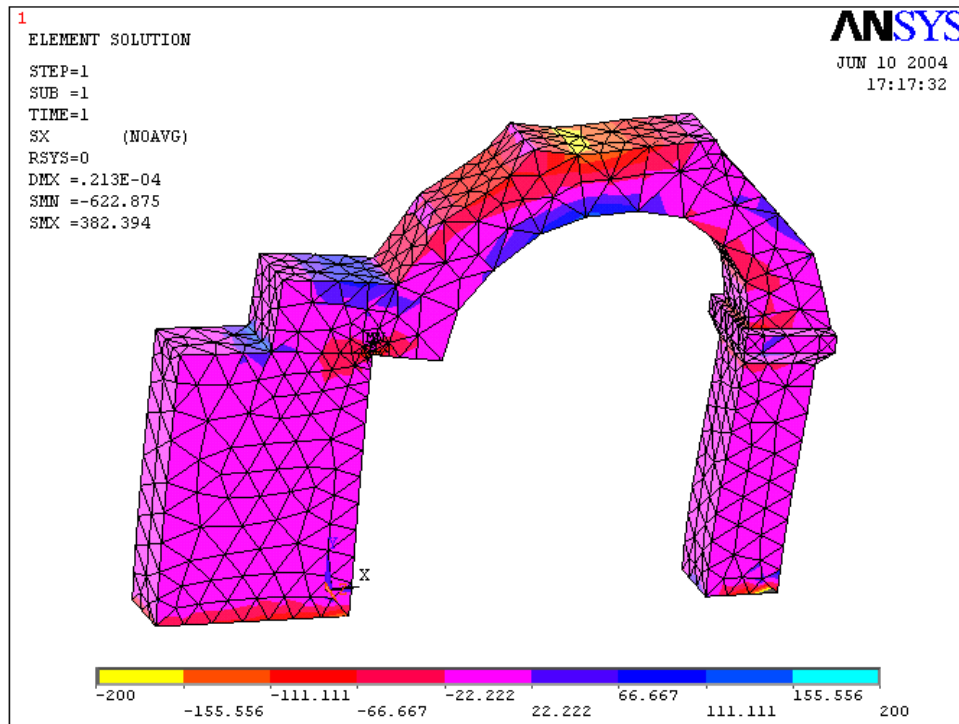
JUN 10 2004

18:39:07



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



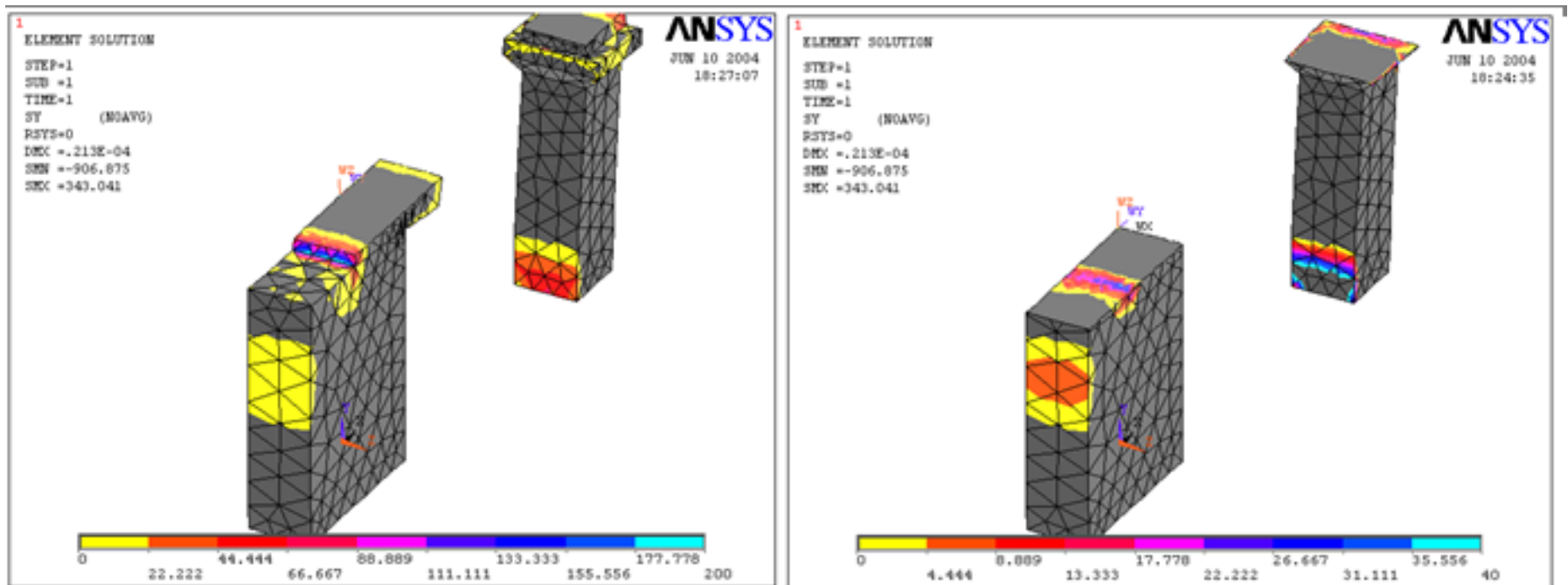
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Οι μέγιστες τιμές της εφελκυστικής τάσης στο τόξο εμφανίζονται στην κάτω ίνα του ανοίγματος και στο εξωράχιο του τόξου υπό γωνία περίπου $30 - 45^{\circ}$ ως προς την οριζόντιο και είναι και πάλι της τάξεως των 0.2MPa . Οι περιοχές αυτές εφελκυσμού είναι αναμενόμενες και προκαλούν ελαφρά ανοίγματα των υφισταμένων αρμών, χωρίς όμως απώλεια ισορροπίας λόγω των ανακατανομών της έντασης. Εφελκυστικές τάσεις της τάξεως περίπου των $0.1\text{MPa} = 1.0\text{kg/cm}^2$ αναπτύσσονται στην άνω ίνα του γείσου – προβόλου, οι οποίες είναι περίπου 30 φορές μικρότερες από την αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



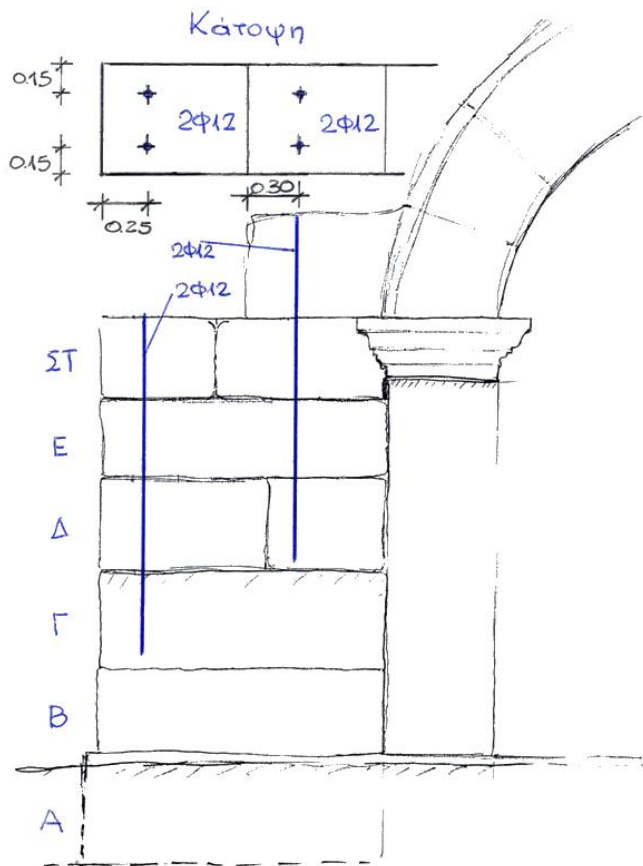
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

- Στην περιοχή γύρω από το άκρο του ολόσωμου λίθου που καταλήγει στο κιονόκρανο αναπτύσσονται τάσεις εφελκυσμού με **μέγιστη τιμή 0.2MPa** οι οποίες μηδενίζονται σε απόσταση περίπου **40cm από το άκρο**. Με την εύλογη παραδοχή τριγωνικής κατανομής προκύπτει δύναμη $0.60 \times 0.40 \times 200 / 2 = 24 \text{KN} = 2.4 \text{t}$.
- Απαιτείται οπλισμός $2.4 / 1.25 = 1.92 \text{cm}^2$, δηλαδή **2Ø12**.
- Οι οπλισμοί αυτοί απαιτούν μήκος **αγκύρωσης** της τάξεως των 60cm μέσω εποξειδικής ρητίνης σε κατάλληλα ανοιγόμενες οπές διαμέτρου λίγο μεγαλύτερης από Ø12.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



Θέσεις μεταλλικών ελκυστήρων, συνολικά 4 Φ 12 ανοξείδωτου χάλυβα, κατηγορίας τουλάχιστον S220



Απλός φορέας, απλή φόρτιση όμως απαιτείται σύνθετη προσομοίωση



Υπότιτλος

IV. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς σπονδυλωτών μνημείων

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων

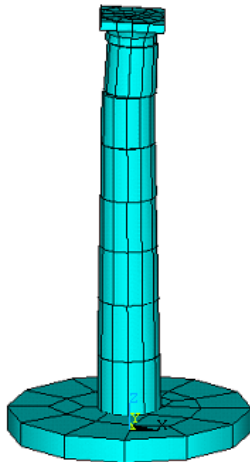


Αργυρίου, Ν., Σέξτος, Α., Πιτιλάκης, Κ. (2006) 'Αριθμητική μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς σφονδυλωτών κατασκευών', 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αναστυλώσεων, ΕΤΕΠΑΜ

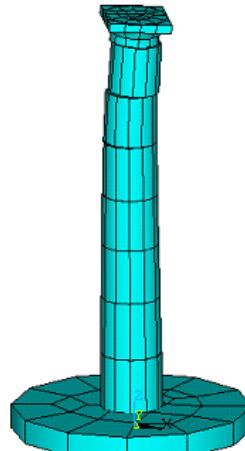


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης

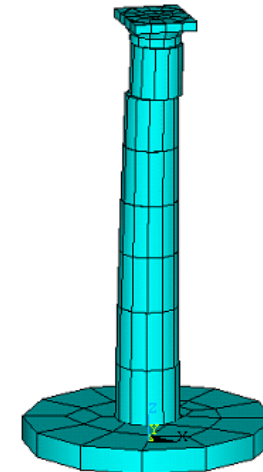
Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



t = 7 sec



t = 8 sec



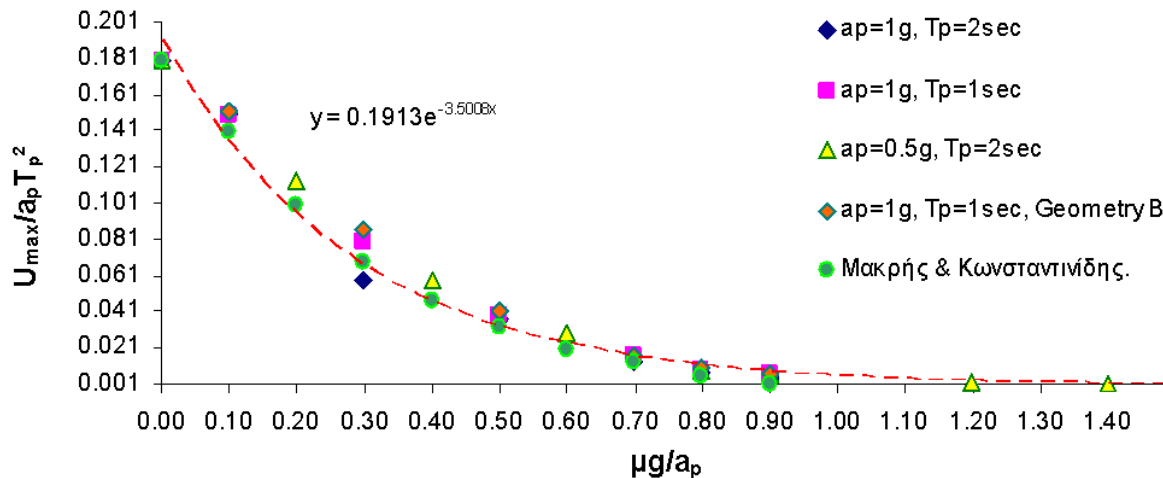
t = 9 sec

- Γεωμετρική μη-γραμμικότητα (μηχανισμοί τριβής) και μη-γραμμικότητα υλικού (θραύση πόλου-εμπολίου)
- Δυναμικά χαρακτηριστικά μεταβλητά στον χρόνο

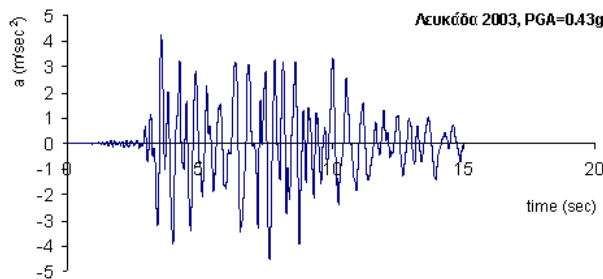


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



αδιάστατα μεγέθη της μέγιστης σχετικής μετακίνησης συναρτήσει της αντίστασης της διεπιφάνειας



$$\frac{U_{\max}}{a_p T_p^2} = 0.1919 e^{(-3.5008 \frac{\mu g}{a_p})}$$





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

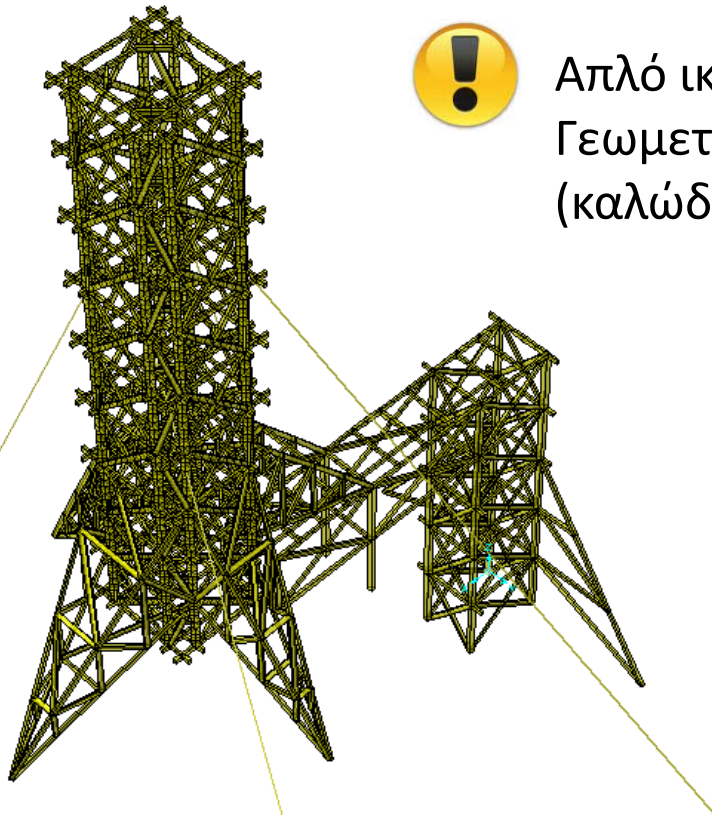
Υπότιτλος

V. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποστύλωσης

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποστύλωσης



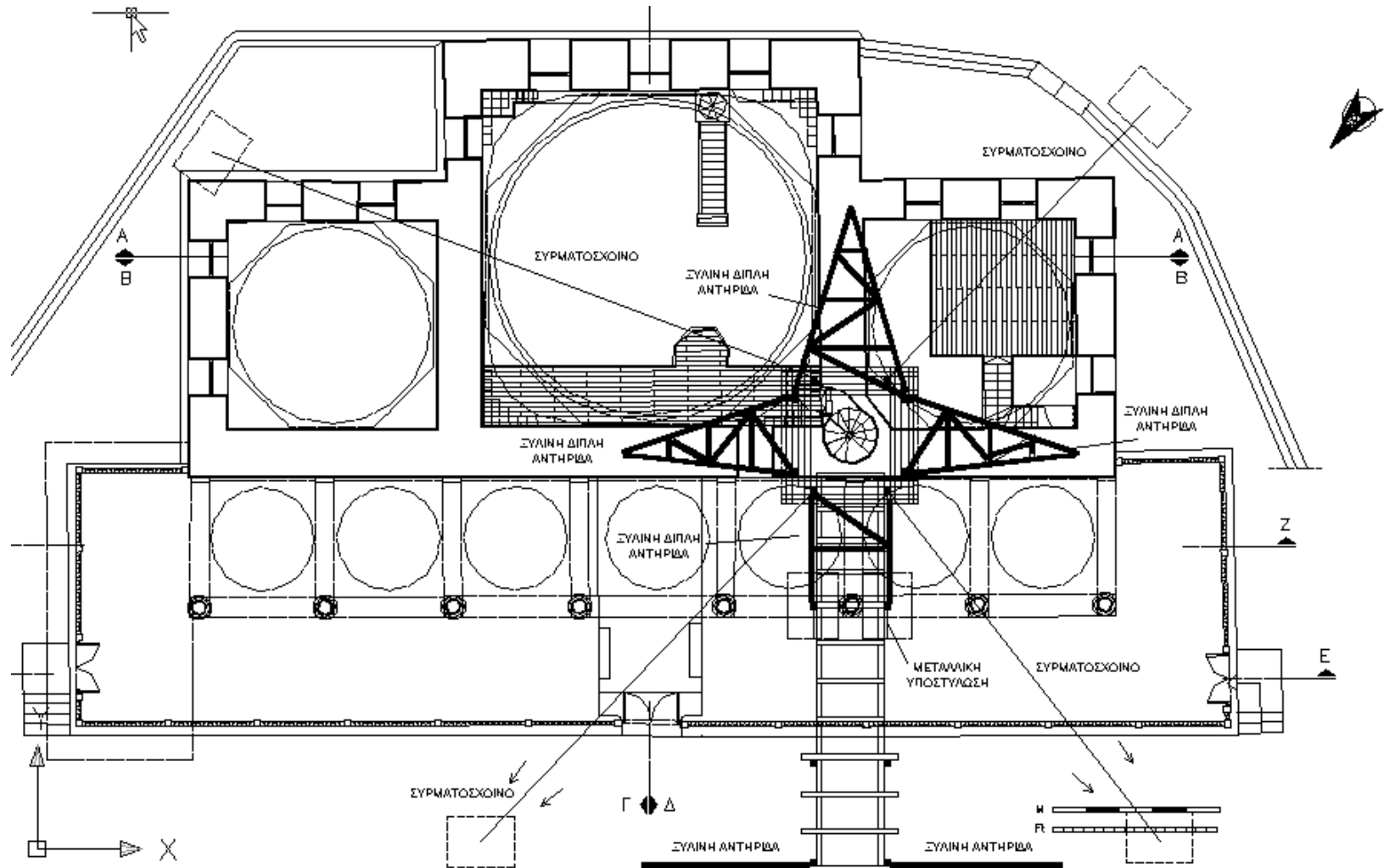
Απλό ικρίωμα
Γεωμετρική μη-γραμμικότητα
(καλώδια)



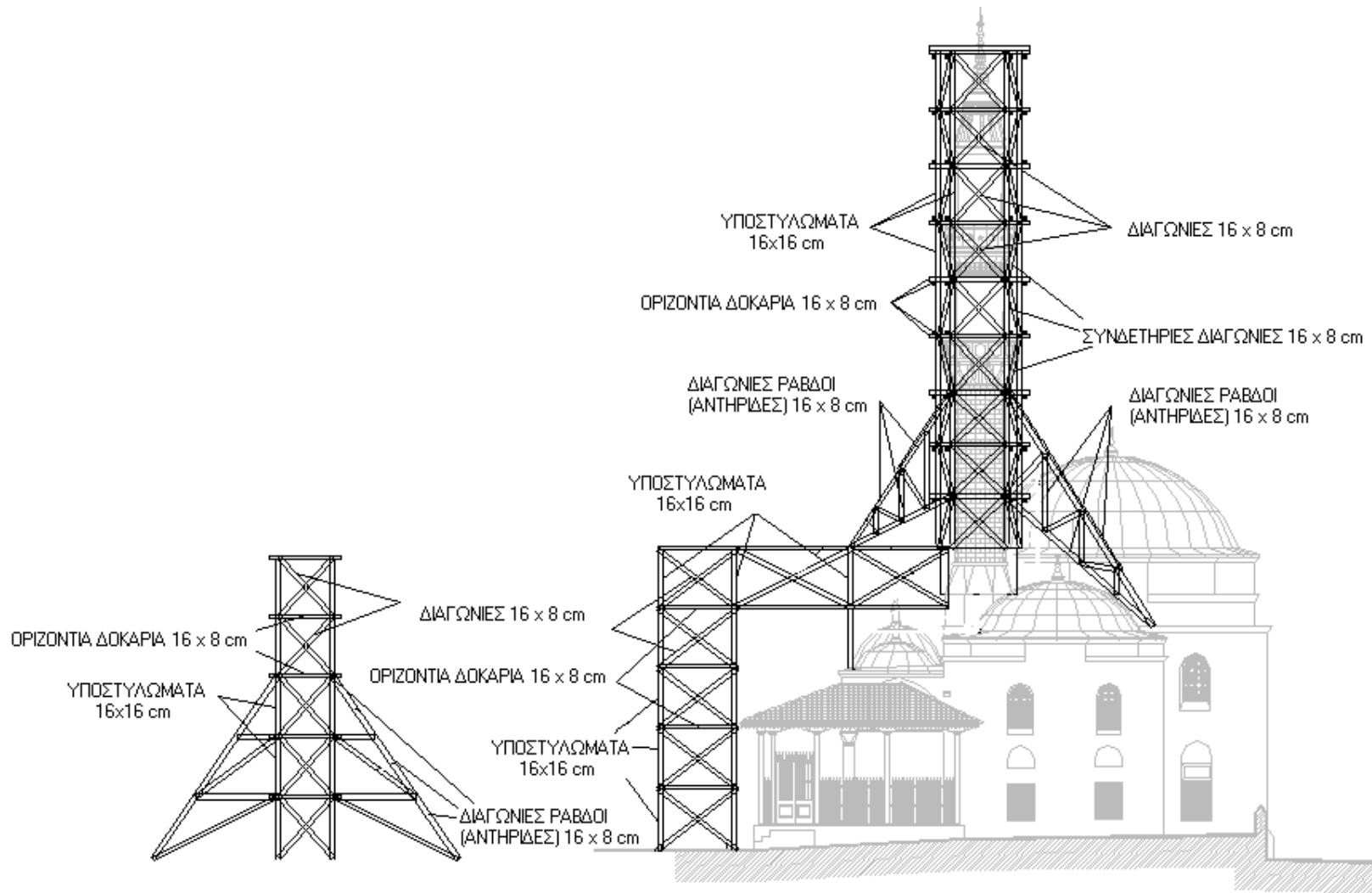
Κ. Πιτιλάκης, Α. Σέξτος, Μ. Καλιουδάκης, Γ. Ντέλας



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποσύλωσης

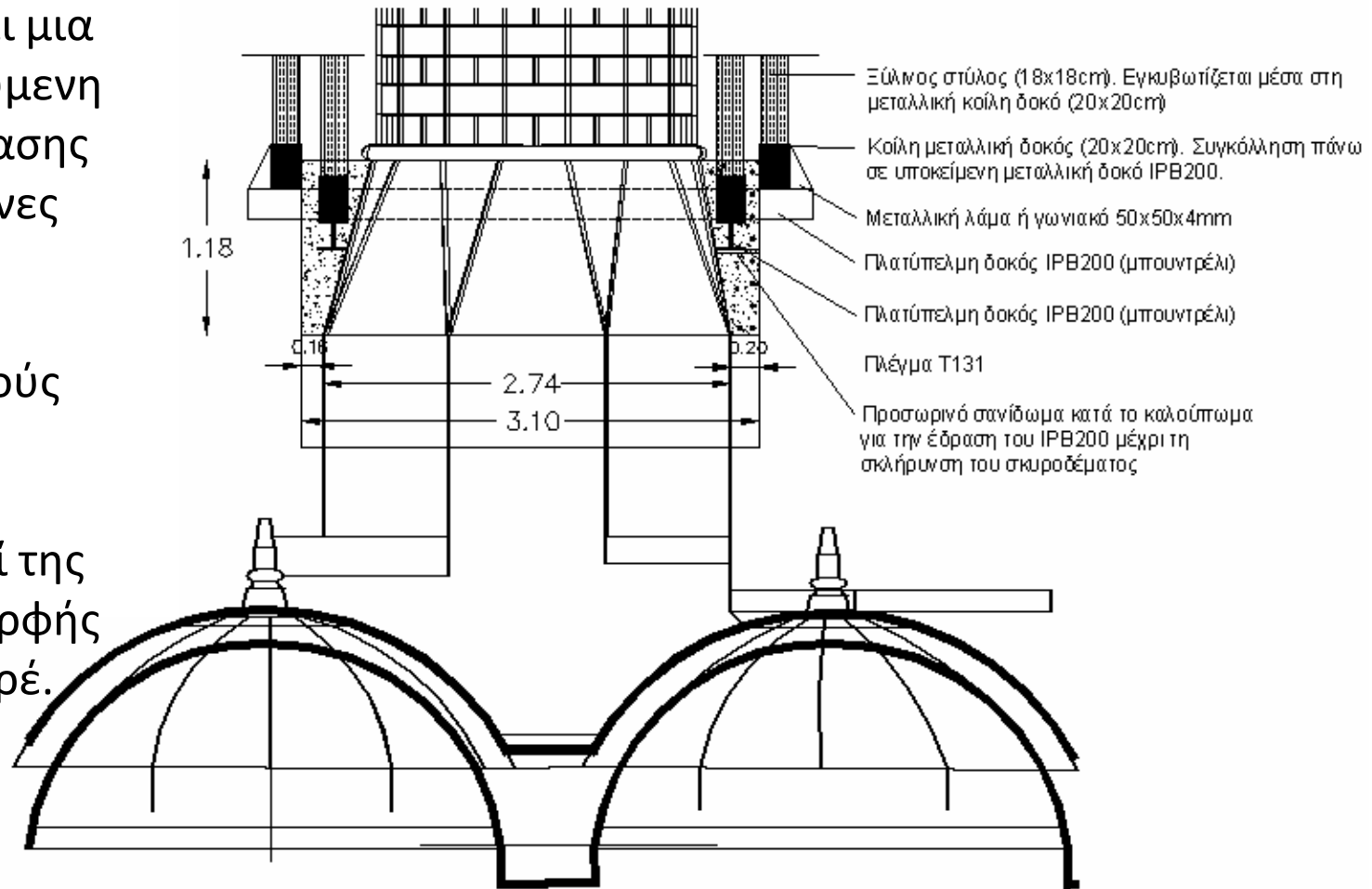


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποσύλωσης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποστύλωσης

Διαμορφώνεται μια αυτοίσορροπούμενη επιφάνεια έδρασης με εγκιβωτισμένες στο σώμα του σκυροδέματος μεταλλικές δοκούς υπό τη μορφή δακτυλίου περίσφιξης περί της πρισματικής μορφής βάσης του μιναρέ.





Υπότιτλος

VI. Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές κατασκευές

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Α. Σέξτος, Κ. Στυλιανίδης, Θ. Χατζηγώγος, Σ. Νοταριάννη, Ν. Σοφιανός, Μ. Σοφιανός



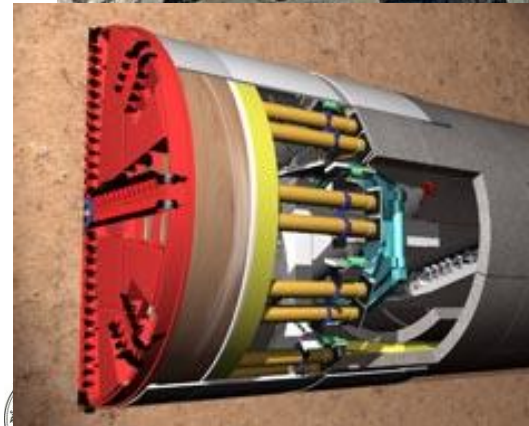
Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



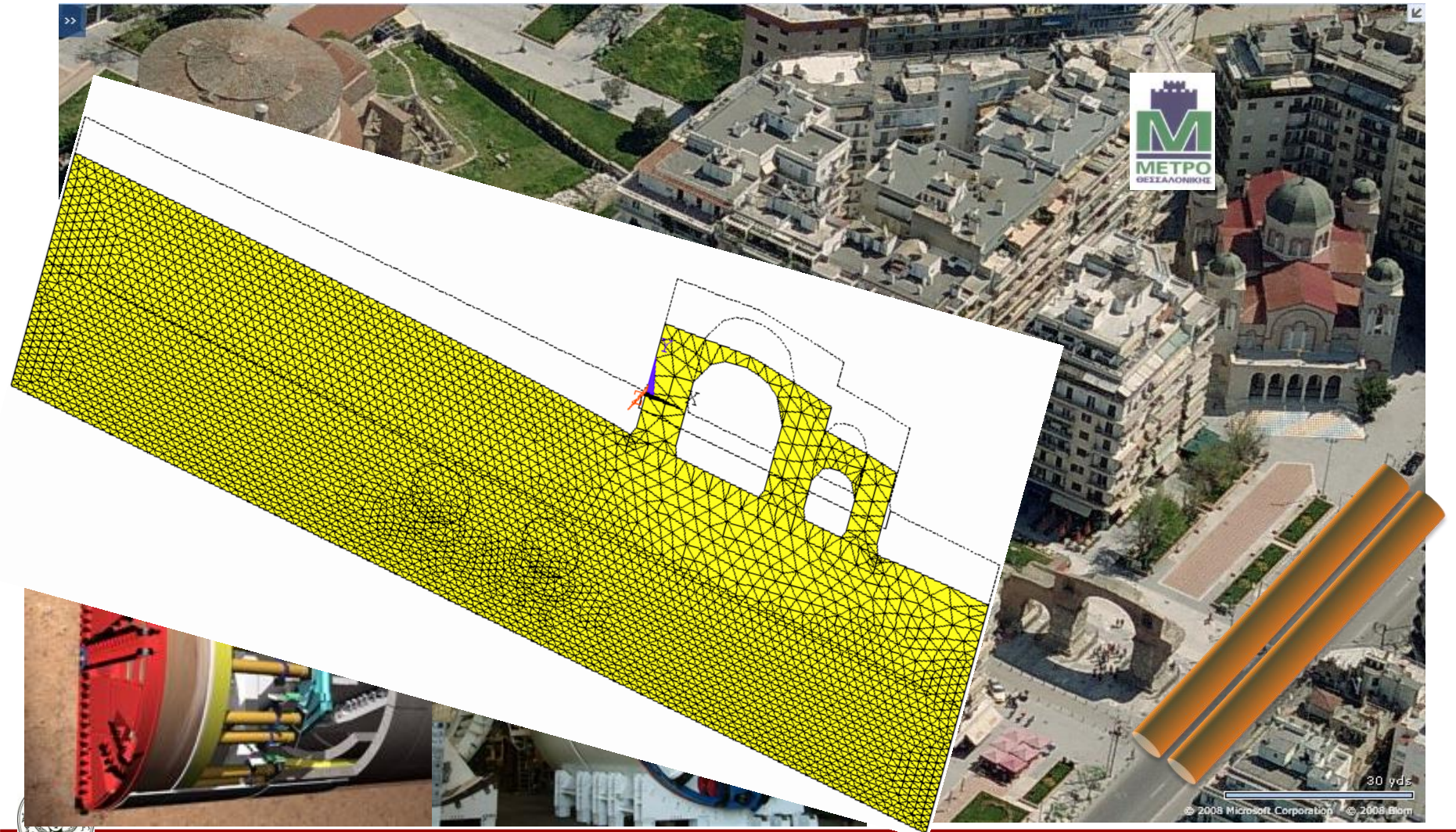
Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



2 ανεξάρτητες σήραγγες, σε βάθος 20m, διαμέτρου 6m και σε αξονική απόσταση 12m.



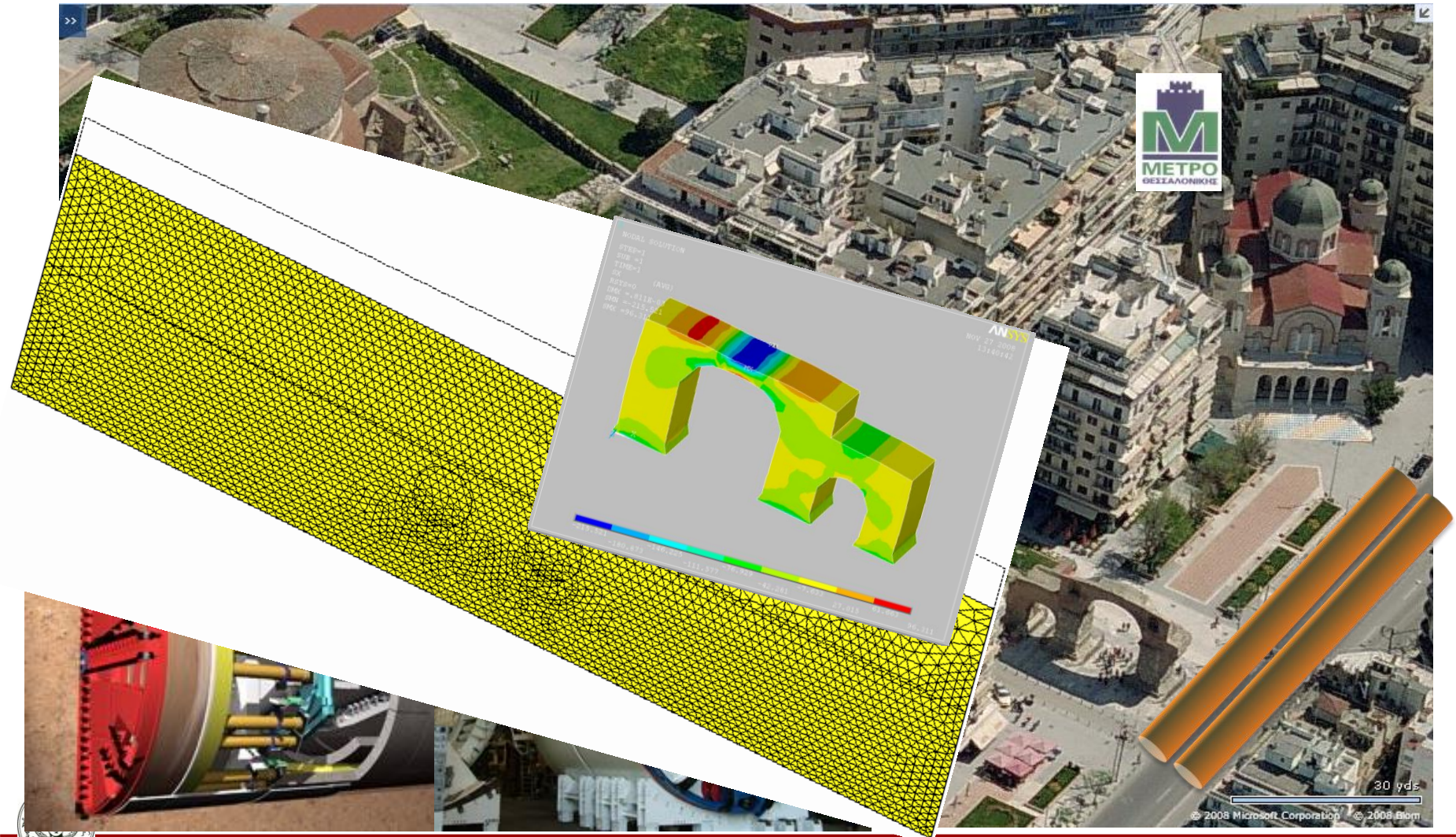
Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



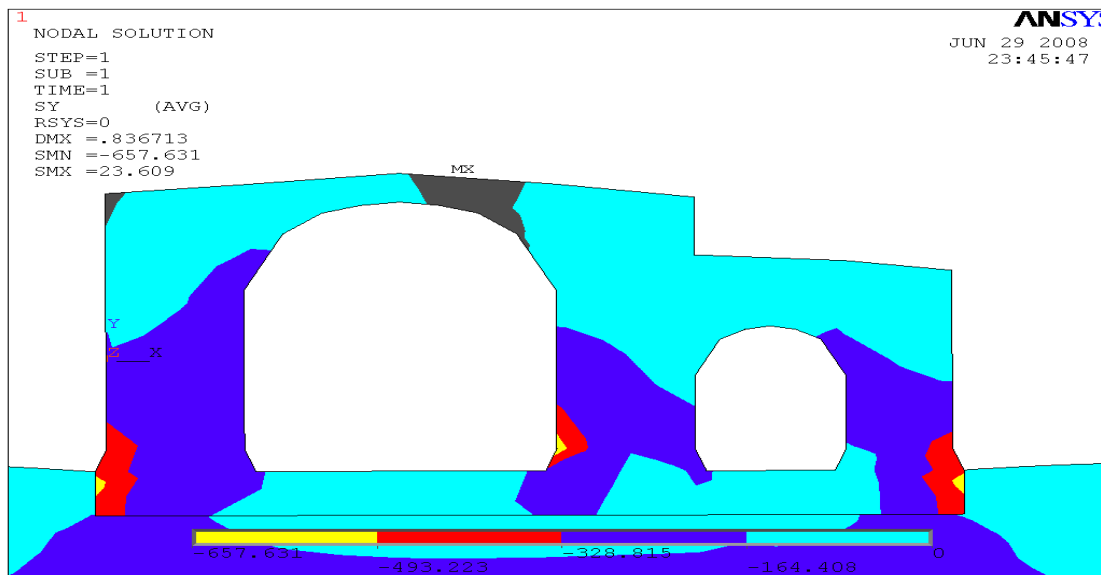
Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

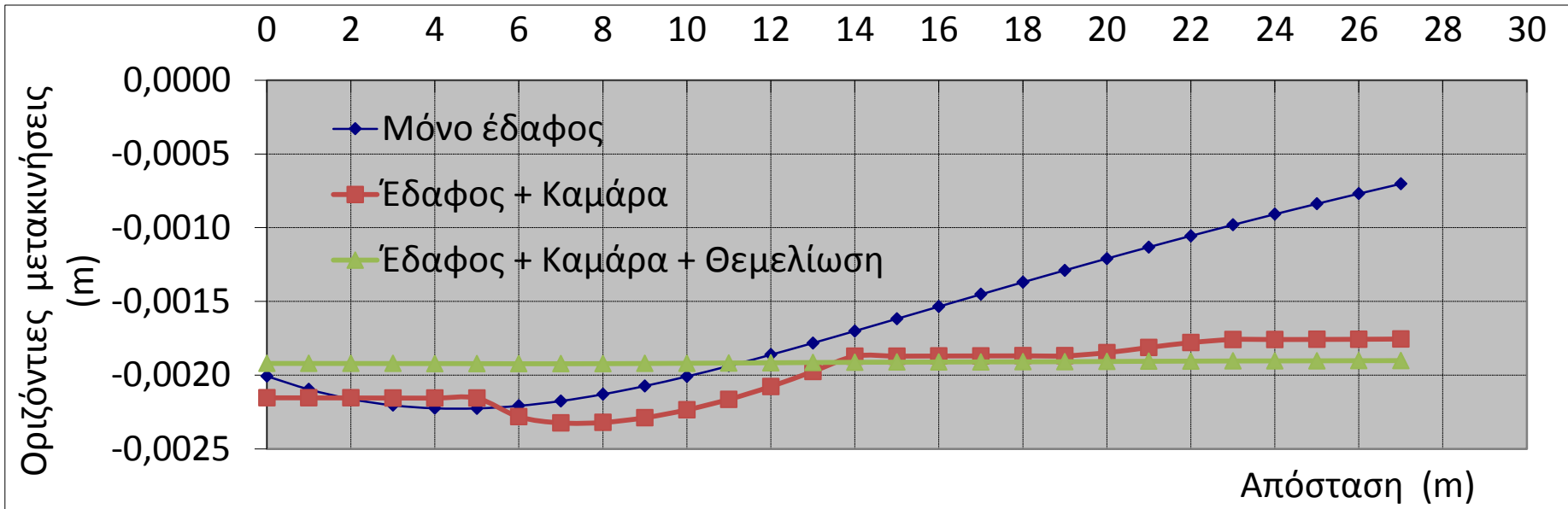
Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας

Ακρίβεια προσομοιώματος εξαρτάται από την καλή γνώση

- εδάφους
- αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης
- τύπου (ευκαμψίας) θεμελίωσης
- μεθόδου διάνοιξης (volume loss)
- επανεπικαροποίηση βάση μετρήσεων



Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας

Πρόβλεψη εφελκυστικών τάσεων στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας

- ❑ Οι τιμές των θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες (εξάντληση επάρκειας 70%).
- ❑ Οι τιμές των τάσεων (εφελκυστικών και θλιπτικών) για τις δύο περιπτώσεις του VL (0,5% και 1,5%) παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξεως του 1 – 4 % , συνεπώς οι συνθήκες επένδυσης στις σήραγγες δεν αναμένεται να έχουν επίπτωση στην Καμάρα.



Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας

ΤΑΣΕΙΣ (KPa)	Με θεμελίωση		Χωρίς θεμελίωση		Με θεμελίωση		Χωρίς θεμελίωση		Με θεμελίωση		Χωρίς θεμελίωση	
	Χωρίς σήραγγες		Χωρίς σήραγγες		$V_L = 0,5 \%$		$V_L = 0,5 \%$		$V_L = 1,5 \%$		$V_L = 1,5 \%$	
	---> $1,00 \cdot E_2$		---> $1,00 \cdot E_2$		---> $0,80 \cdot E_2$		---> $0,80 \cdot E_2$		---> $0,55 \cdot E_2$		---> $0,55 \cdot E_2$	
	max θλίψη	max εφελκυσμ	max θλίψη	max εφελκυσμ	max θλίψη	max εφελκυσμ	max θλίψη	max εφελκυσμ	max θλίψη	max εφελκυσμ	max θλίψη	max εφελκυσμ
σ_{xx} (KPa)	-228,055	171,716	-261,125	151,140	-228,494	176,516	-259,189	161,327	-229,510	185,995	-255,144	182,196
σ_{yy} (KPa)	-653,057	24,887	-652,693	124,385	-654,423	24,464	-653,944	119,951	-657,631	23,609	-656,939	110,913
σ_{xy} (KPa)	-172,524	133,156	-193,487	155,718	-172,308	131,279	-192,539	152,575	-172,264	127,490	-190,636	146,189





Υπότιτλος

VII. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Α. Σέξτος, Κ. Στυλιανίδης

Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

- ❑ να επιβεβαιωθεί η καλή σεισμική συμπεριφορά των Βυζαντινών Τειχών της Θεσσαλονίκης κατά τον σεισμό ($M_s=6.5$) της 20/6/1978.
- ❑ να αποτιμηθεί το επίπεδο της διαθέσιμης ασφάλειας των Τειχών που μελετήθηκαν έναντι μελλοντικών σεισμικών διεγέρσεων.
- ❑ να μελετηθεί η πιθανή επιρροή της χωρικής μεταβλητότητας της σεισμικής κίνησης, που δεν έχει μέχρι σήμερα διερευνηθεί για την περίπτωση Τειχών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

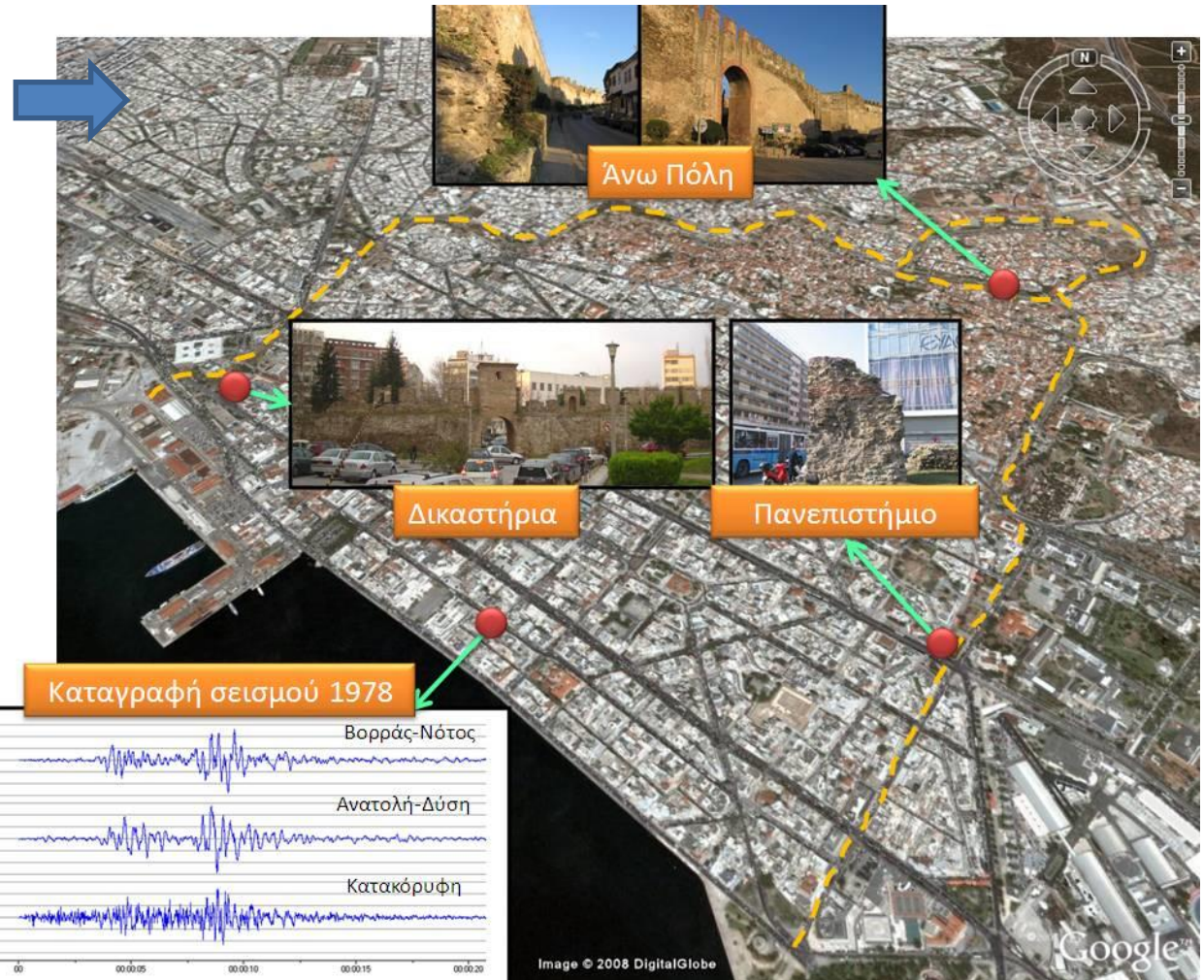
- να συγκριθεί, μέσω ανάδρομης ανάλυσης, το επίπεδο της μέγιστης σεισμικής έντασης (η οποία θα ήταν δυνατό να οδηγήσει τα υπό μελέτη συστήματα σε κατάρρευση αλλά που προφανώς δεν έχει συμβεί μέχρι σήμερα) με τη μέγιστη αναμενόμενη σεισμική δράση (Maximum Credible Earthquake - MCE) όπως αυτή καθορίζεται από τις μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης για τη συγκεκριμένη περιοχή.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέσεις των Τειχών που μελετήθηκαν

15 Σεισμοί μεγέθους > 6.5 κατά τη διάρκεια της ιστορίας της πόλης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

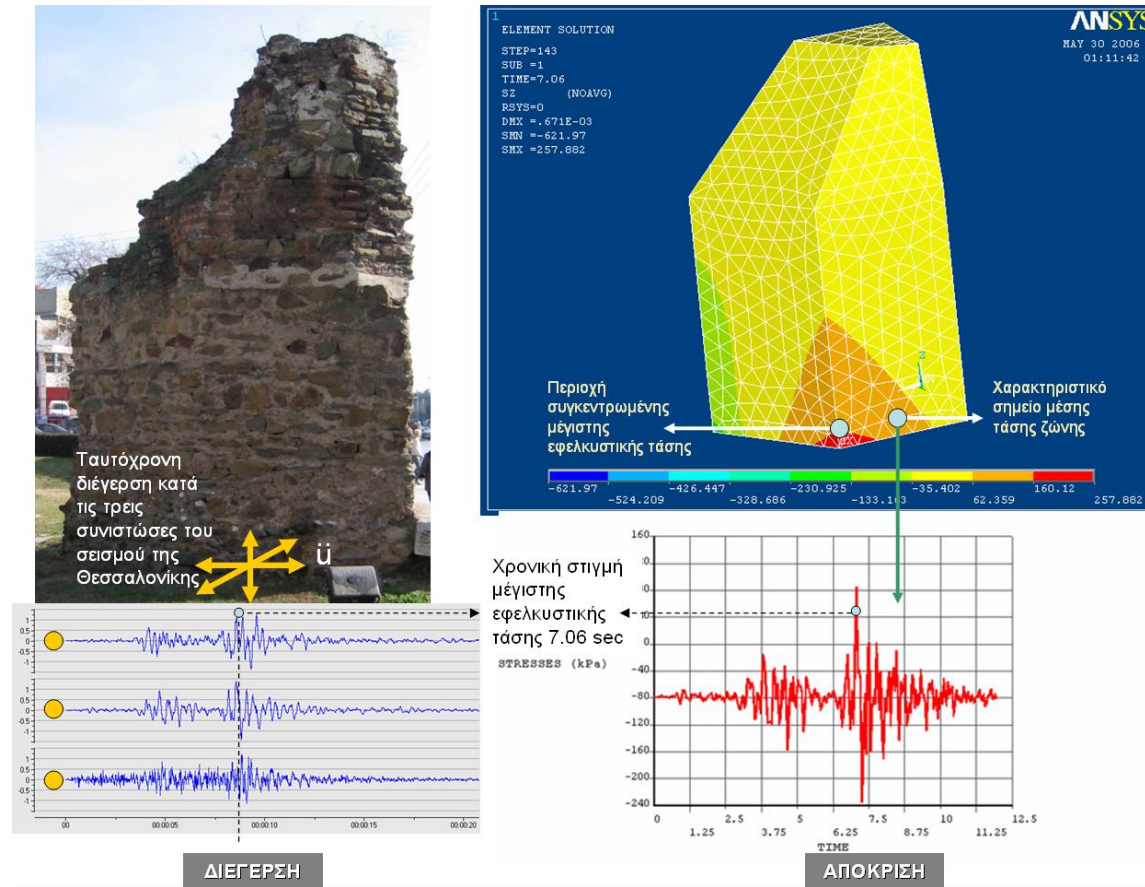
Σεισμική ιστορία της Θεσσαλονίκης

Ημερομηνία	Μέγεθος	Περιοχή	Επικεντρική Απόσταση	Ένταση στη Θεσσαλονίκη
597 μ.Χ.	6.8	Σέρρες	110 km	VIO
620 μ.Χ.	6.6	Θεσσαλονίκη	40 km	
667 μ.Χ.	6.6	Θεσσαλονίκη	20 km	
700 μ.Χ.	6.6	Θεσσαλονίκη	12 km	
1395 μ.Χ.	6.7	Έδεσσα	70 km	VII
1430 μ.Χ.	6.0	Θεσσαλονίκη	30 km	VII
1677 μ.Χ.	6.2	Θεσσαλονίκη	20 km	VII-VIII
22/06/1759	6.5	Θεσσαλονίκη	15 km	IX
05/05/1829	7.3	Δράμα	120 km	V+ ~ VI
05/06/1902	6.6	Θεσσαλονίκη	20 km	VII+
04/04/1904	7.3	N. Βουλγαρία	130 km	VI
08/11/1905	7.5	Χαλκιδική	120 km	VI
08/03/1931	6.7	N. Γιουγκοσλαβία	85 km	VI
26/09/1932	7.0	Χαλκιδική	75 km	VI
20/06/1978	6.5	Θεσσαλονίκη	28 km	VII



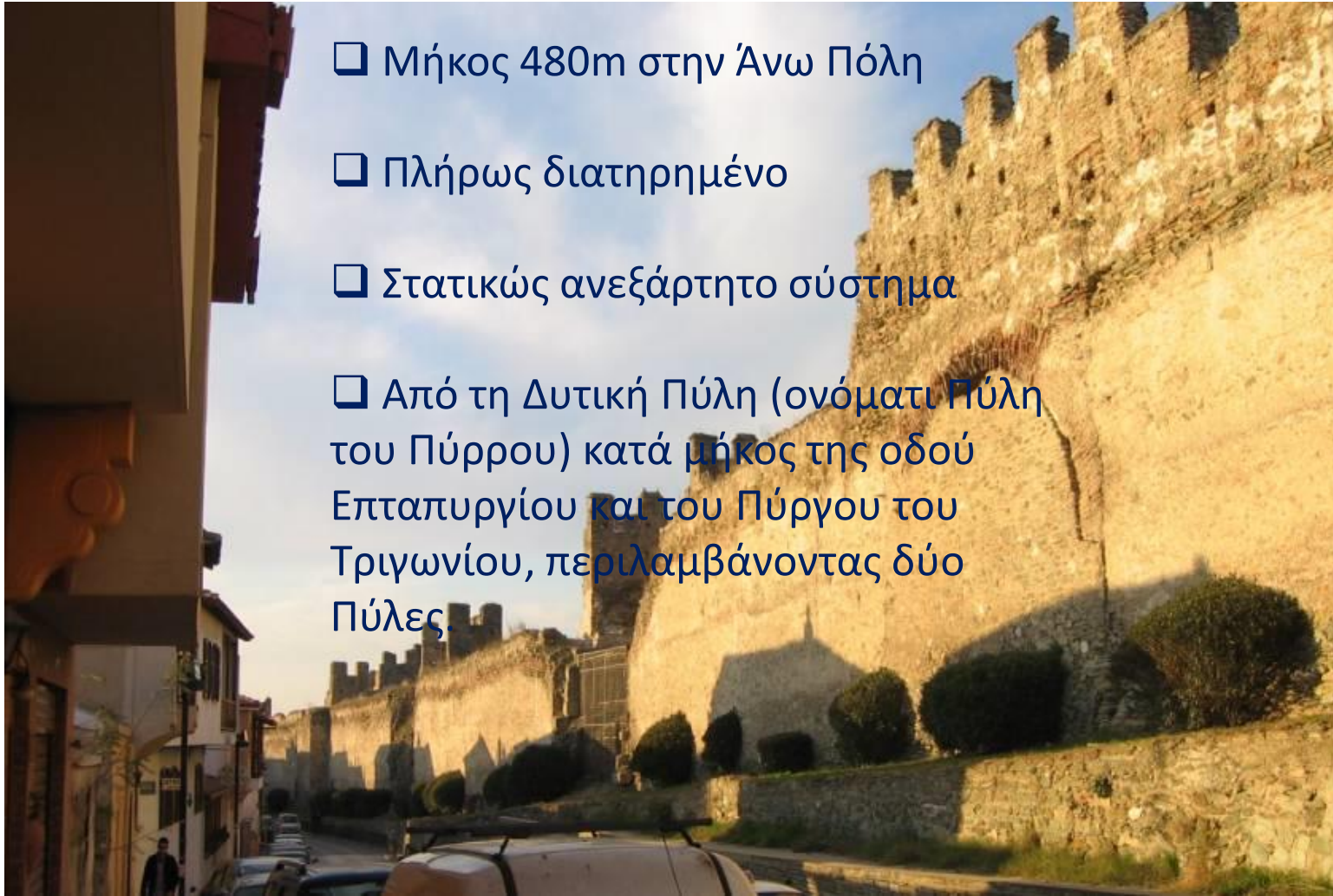
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Μελέτη του απλούστερου δυνατού στατικού φορέα



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

- ❑ Μήκος 480m στην Άνω Πόλη
- ❑ Πλήρως διατηρημένο
- ❑ Στατικώς ανεξάρτητο σύστημα
- ❑ Από τη Δυτική Πύλη (ονόματι Πύλη του Πύρρου) κατά μήκος της οδού Επταπυργίου και του Πύργου του Τριγωνίου, περιλαμβάνοντας δύο Πύλες.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



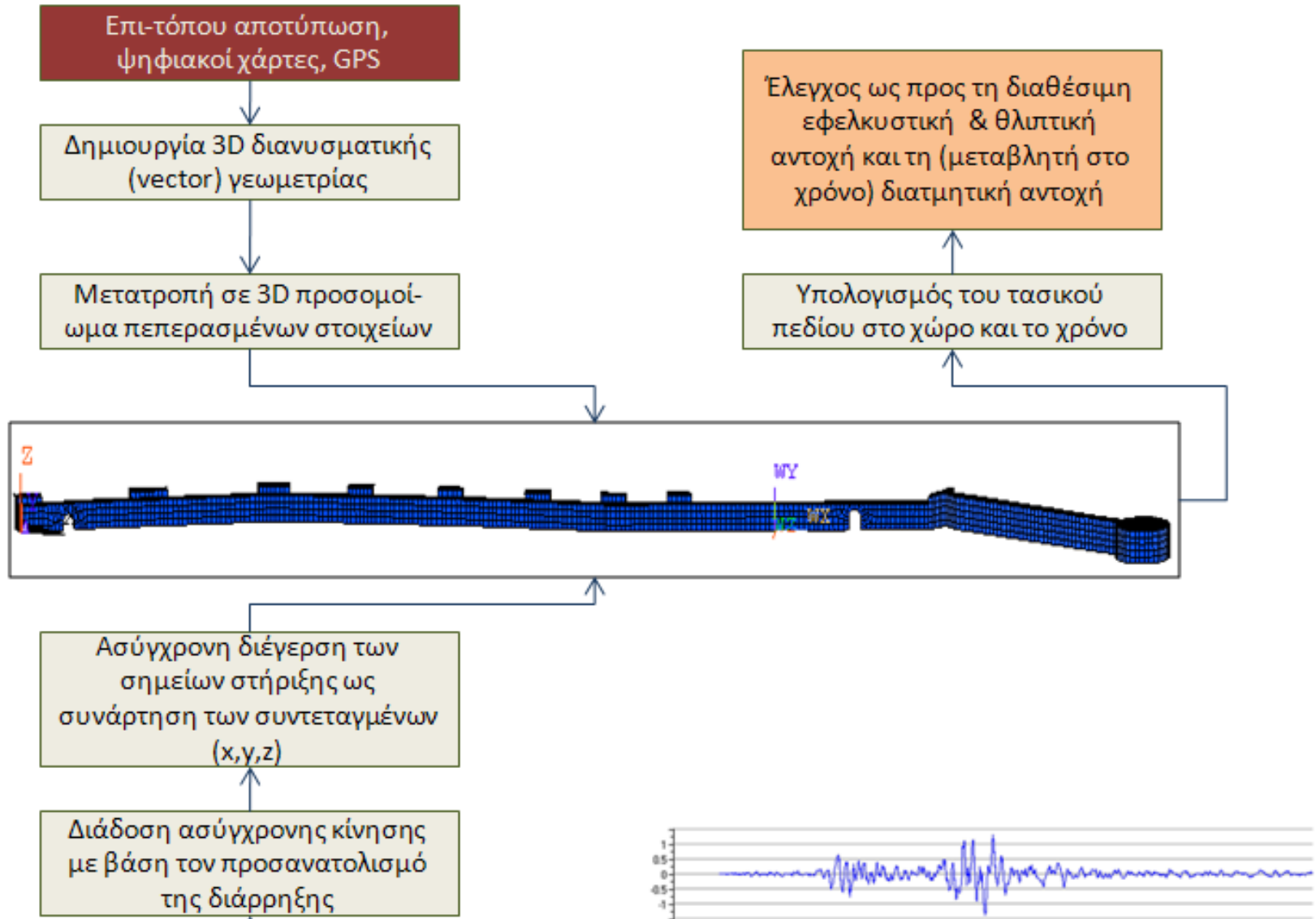
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



☐ Προσομοίωση 3D γεωμετρίας με το πρόγραμμα ANSYS



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

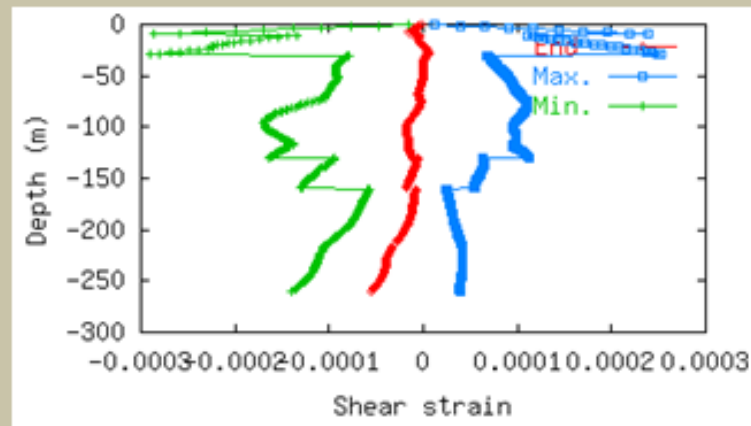


Διάδοση ασύγχρονης κίνησης με βάση τον προσανατολισμό της διάρρηξης

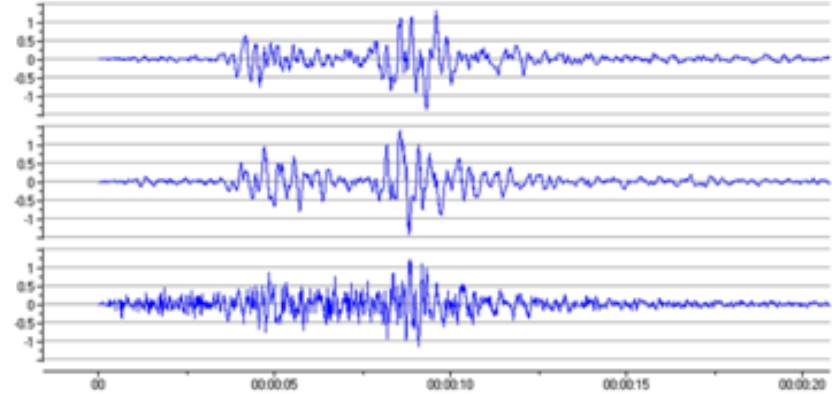
Προσανατολισμός των συνιστωσών της διέγερσης ως προς το σύστημα συντεταγμένων του προσομοιώματος

Σεισμική κίνηση αναφοράς στη βάση της κατασκευής

1D ανάλυση εδαφικής απόκρισης

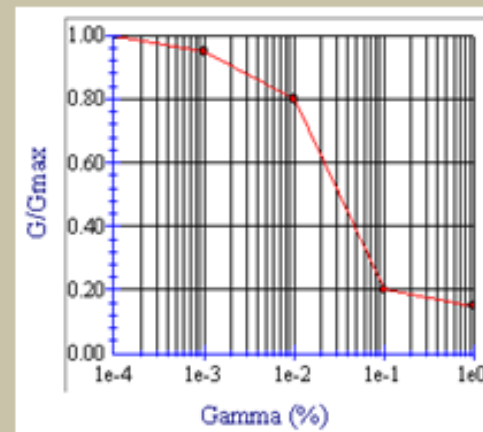


Εύρεση εδαφικού προφίλ στη θέση ενδιαφέροντος



Καταγραφή σεισμού 1978 (θέση ξεν. City)

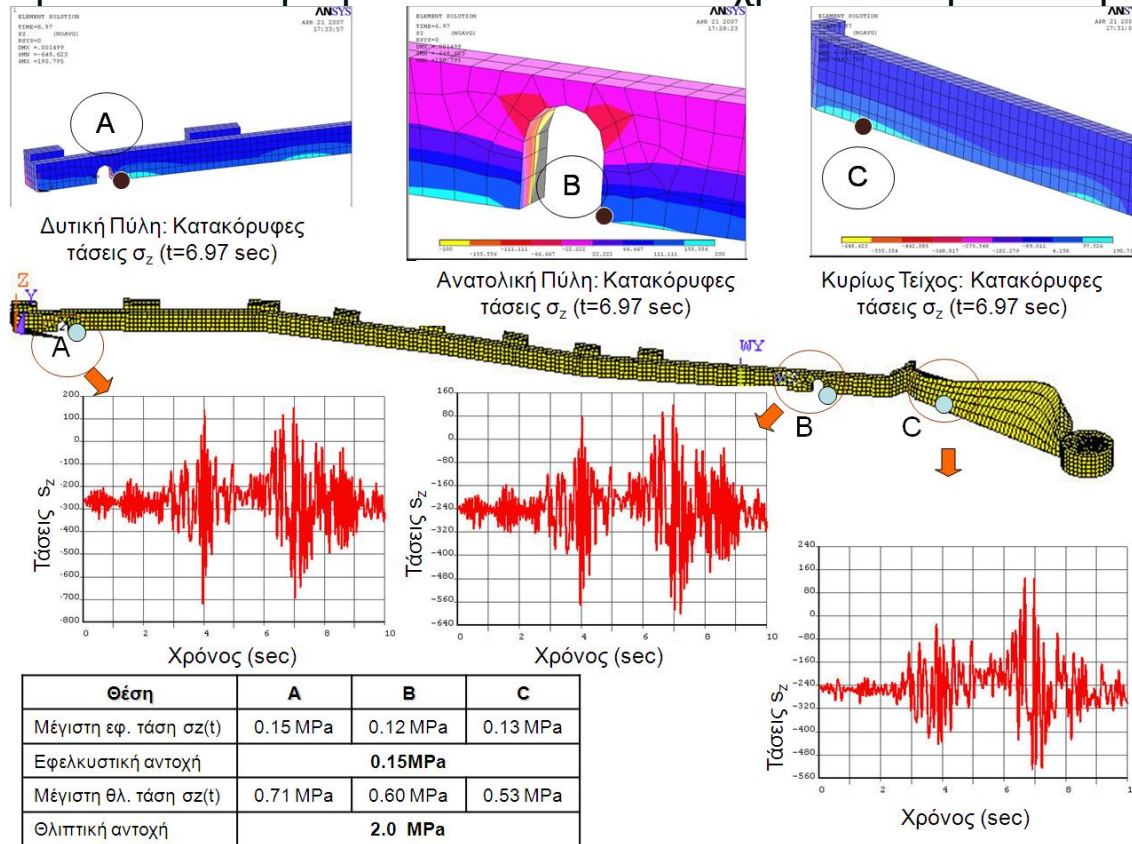
Αποσυνέλιξη σεισμικής κίνησης



Δημιουργία σεισμού αναφοράς στο βραχώδες υπόστρωμα

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Διακύμανση των κατακορύφων τάσεων συν τω χρόνω σε τρια διαφορετικά σημεία

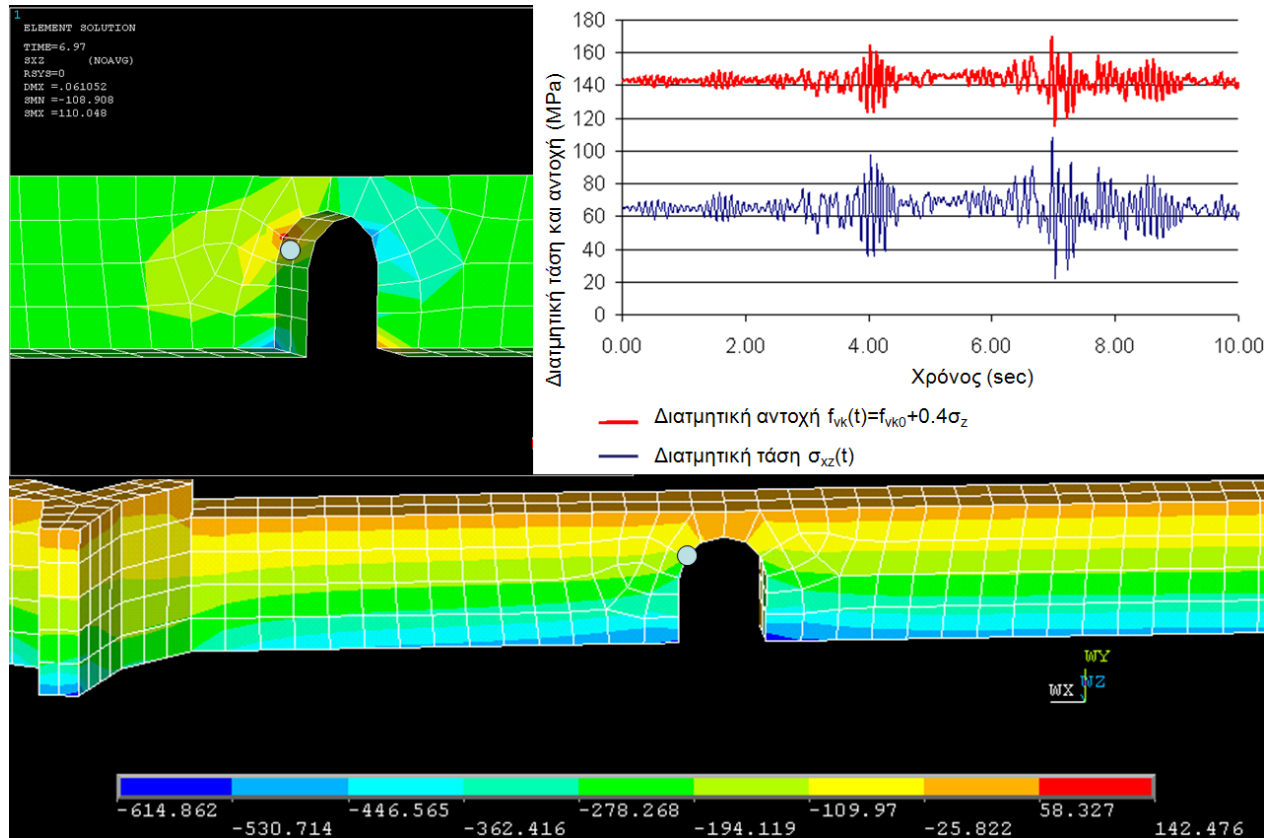


Stylianidis, K. and Sextos, A. (2009) "Back analysis of Thessaloniki Byzantine Land Walls as a means to assess its Seismic History", International Journal of Architectural Heritage, 3(4), 1-23.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Διακύμανση των διατμητικών τάσεων σ_{xz} με το χρόνο



Stylianidis, K. and Sextos, A. (2009) "Back analysis of Thessaloniki Byzantine Land Walls as a means to assess its Seismic History", International Journal of Architectural Heritage, 3(4), 1-23.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Συνεκτίμηση ασύγχρονης κίνησης

- ❑ Θεώρηση αποκλειστικά της διαφοράς φάσης καθώς στην Άνω Πόλη το έδαφος είναι βραχώδες, συνεπώς το φαινόμενο της απώλειας συγχρωτισμού και της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών μπορεί να αγνοηθεί.
- ❑ Φαινόμενη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε βράχο $V_{app}=2000\text{m/sec}$.
- ❑ Διαφορετική διέγερση συν τω χρόνω σε τρεις διευθύνσεις ($U_{i,x}(t)$, $U_{i,y}(t)$, $U_{i,z}(t)$) σε κάθε ένα από τα 5830 σημεία (κόμβους) της έδρασης του προσομοιώματος.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Συνεκτίμηση ασύγχρονης κίνησης

$$U_{i,x}(x_i, y_i, z_i, t) = U_{ref,x}(x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}, t - \frac{x_i}{V_{app}})$$

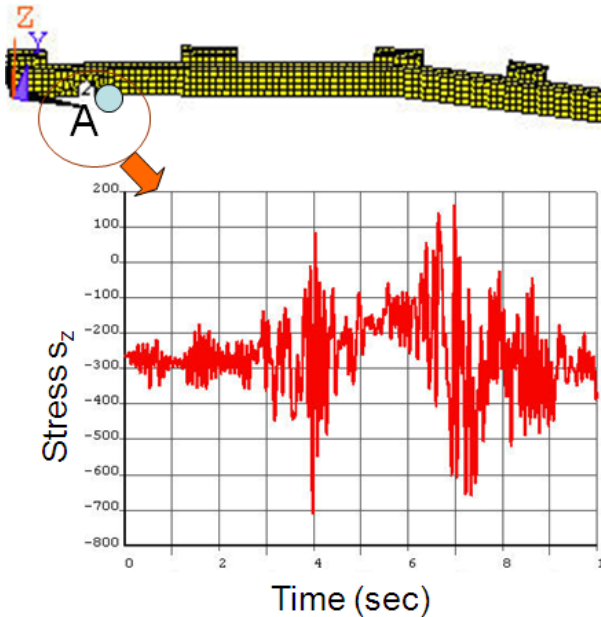
$$U_{i,y}(x_i, y_i, z_i, t) = U_{ref,y}(x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}, t - \frac{x_i}{V_{app}})$$

$$U_{i,z}(x_i, y_i, z_i, t) = U_{ref,z}(x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}, t - \frac{x_i}{V_{app}})$$

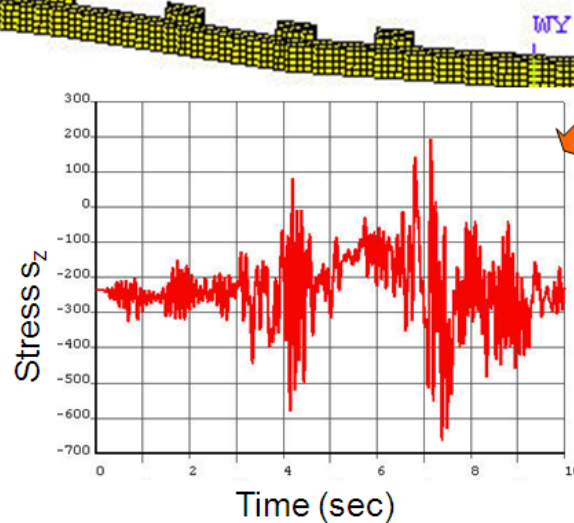


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

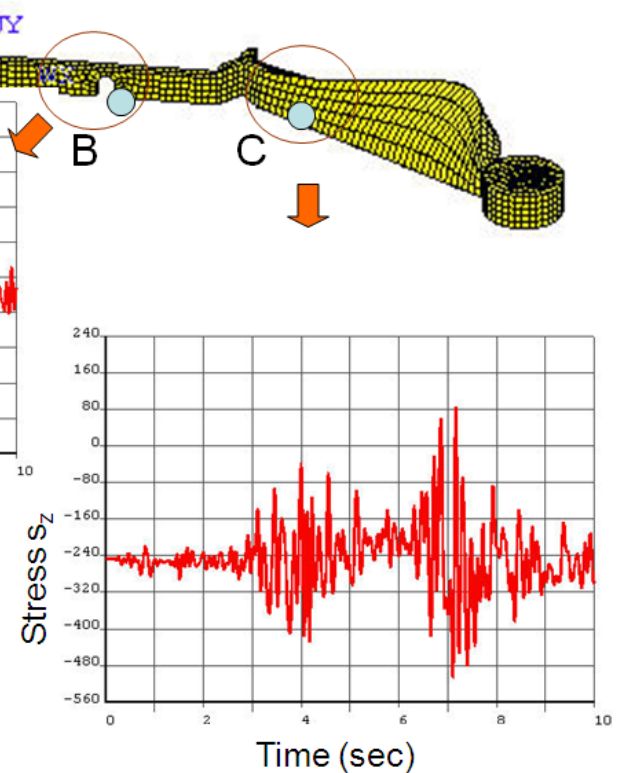
Δυτική Πύλη: Κατακόρυφες τάσεις σ_z (t=6.97 sec)



Ανατολική Πύλη: Κατακόρυφες τάσεις σ_z (t=6.97 sec)



Κυρίως Τείχος: Κατακόρυφες τάσεις σ_z (t=6.97 sec)



Θέση	A	B	C
Μέγιστη εφ. τάση $\sigma_z(t)$	0.16 MPa	0.19 MPa	0.08 MPa
Εφελκυστική αντοχή	0.15 MPa		
Μέγιστη θλ. τάση $\sigma_z(t)$	0.71 MPa	0.66 MPa	0.51 MPa
Θλιπτική αντοχή	2.0 MPa		



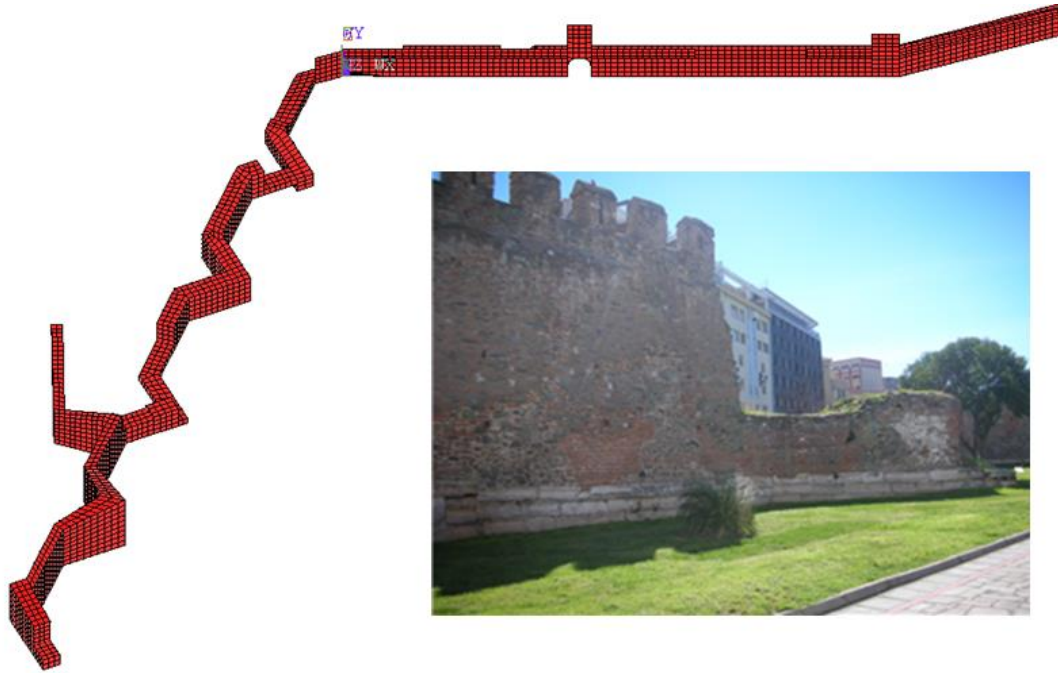
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια



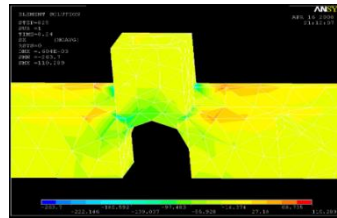
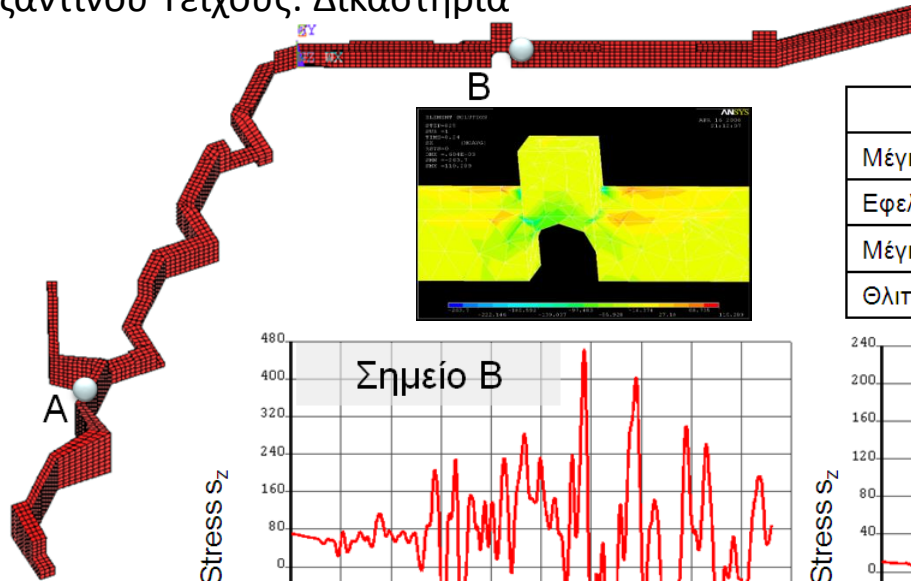
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια

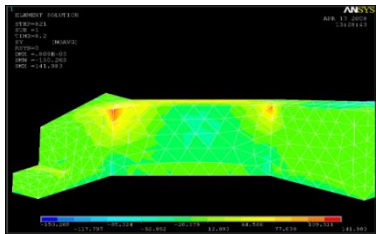
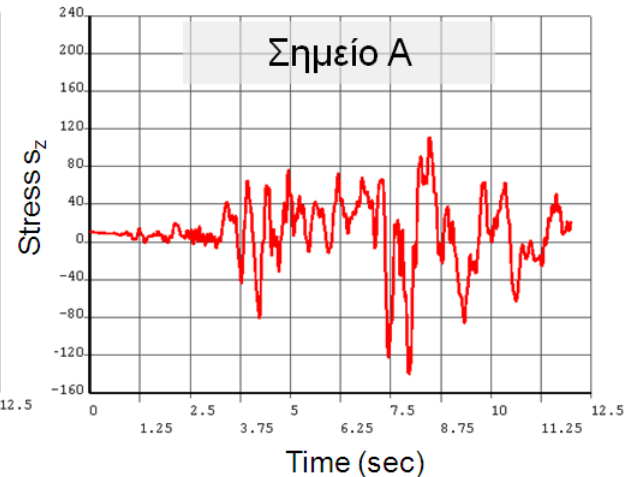
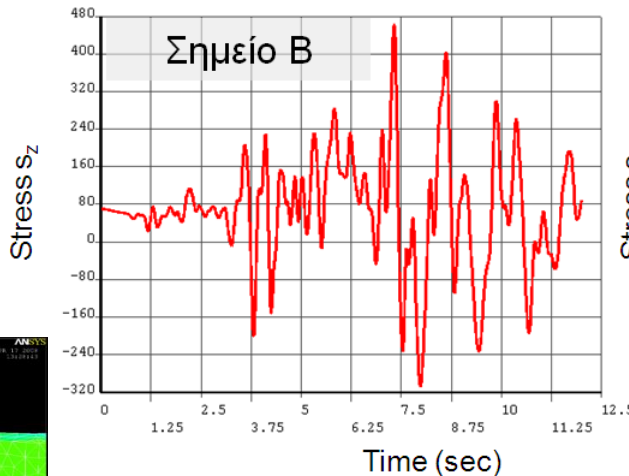


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια

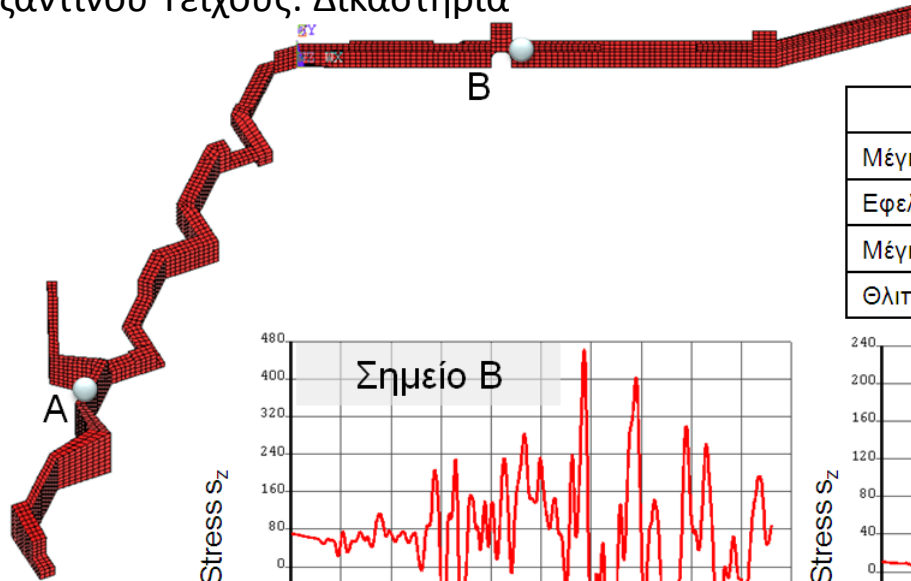


Θέση	A	B
Μέγιστη εφ. τάση $\sigma_z(t)$	0.08 MPa	0.47MPa
Εφελκυστική αντοχή	0.15MPa	
Μέγιστη θλ. τάση $\sigma_z(t)$	0.06 MPa	0.32 MPa
Θλιπτική αντοχή	2.0 MPa	

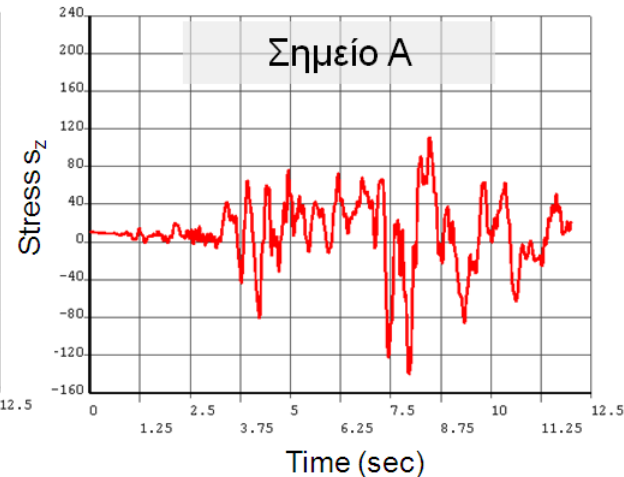
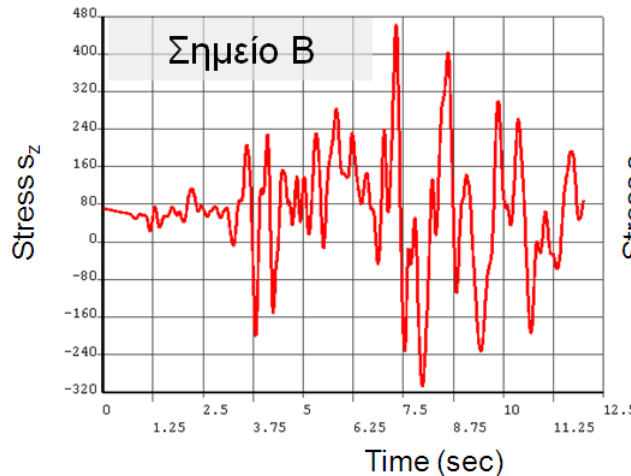


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια



Θέση	A	B
Μέγιστη εφ. τάση $\sigma_z(t)$	0.08 MPa	0.47MPa
Εφελκυστική αντοχή	0.15MPa	
Μέγιστη θλ. τάση $\sigma_z(t)$	0.06 MPa	0.32 MPa
Θλιπτική αντοχή	2.0 MPa	



Γενικά η επιρροή της ασύγχρονης κίνησης είναι μικρή (εξαιτίας του μικρού μήκους των 150m και εν γένει ευνοϊκή, με εξαίρεση ορισμένες θέσεις όπως η B όπου τοπικά παρατηρούνται σημεία σημαντικής αύξησης της έντασης . Σημαντικός ο ρόλος της γωνίας πρόσπτωσης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Συμπεράσματα:

- ❑ Επιβεβαιώνεται και στα τρία τμήματα που μελετήθηκαν, η μη ανάπτυξη βλαβών κατά το σεισμό του 1978 ενώ αριθμητικώς προκύπτει πως το Τείχος θα μπορούσε να αντέξει (υπό την προϋπόθεση του αυτού συχνοτικού περιεχομένου της σεισμικής κίνησης) έως και διπλάσια σεισμική φόρτιση χωρίς να εμφανίσει σημαντικές βλάβες.
- ❑ Κάνοντας την αντίστροφη σκέψη και δεδομένης της απουσίας σημαντικών βλαβών στο σώμα του μνημείου, προκύπτει ότι καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, ή τουλάχιστον κατά τη χρονική περίοδο κατά την οποία έχει τη σημερινή του μορφή, λογικά δεν θα πρέπει να έχει επιπονηθεί με σεισμική φόρτιση μεγαλύτερη της διπλάσιας του σεισμού του 1978 (δοθέντος του ιδίου συχνοτικού περιεχομένου)
- ❑ Παράλληλα, προκύπτει πως σε περιπτώσεις Τειχών μεγάλου μήκους ή συμπλέγματος Τειχών μικρότερου μήκους αλλά συνθετότερης γεωμετρίας η επιρροή του ασύγχρονου χαρακτήρα της σεισμικής κίνησης δε μπορεί να θεωρηθεί ως εκ προοιμίου αμελητέα ούτε ευνοϊκή.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



Stylianidis, C., Sextos, A. and K. Stylianidis (2009) "Seismic response of the 35m high masonry chimney of the allatini complex", Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN)



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

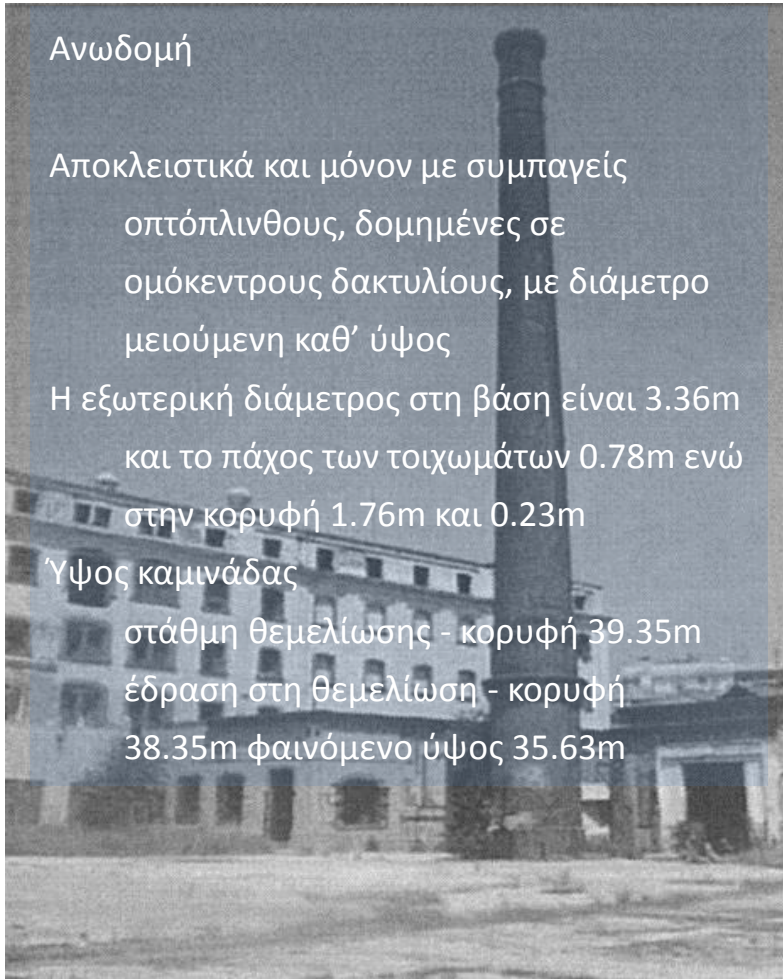
Ανωδομή

Αποκλειστικά και μόνον με συμπαγείς οπτόπλινθους, δομημένες σε ομόκεντρους δακτυλίους, με διάμετρο μειούμενη καθ' ύψος

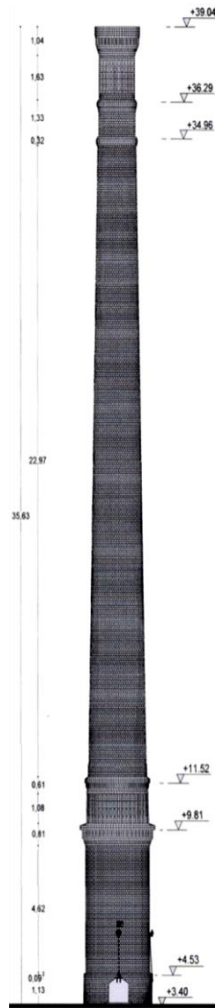
Η εξωτερική διάμετρος στη βάση είναι 3.36m και το πάχος των τοιχωμάτων 0.78m ενώ στην κορυφή 1.76m και 0.23m

Ύψος καμινάδας

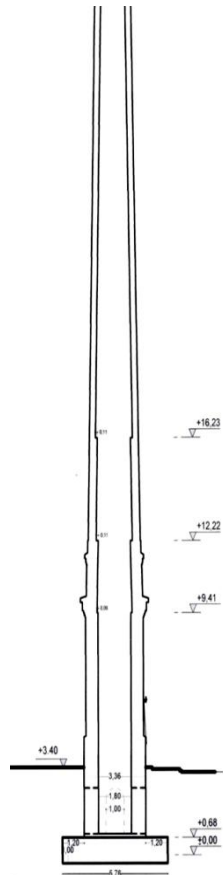
στάθμη θεμελίωσης - κορυφή 39.35m
έδραση στη θεμελίωση - κορυφή 38.35m φαινόμενο ύψος 35.63m



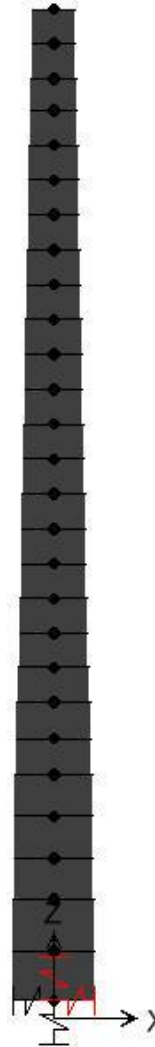
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



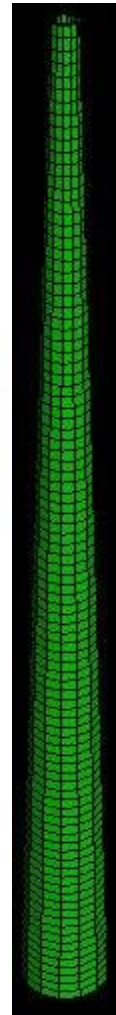
Απλό προσομοίωμα δεν απαιτείται κατ' ανάγκη τρισδιάστατη προσομοίωση



SAP2000



ABAQUS

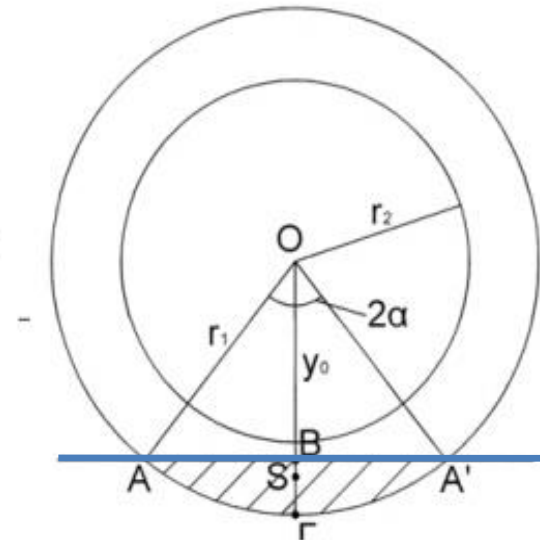
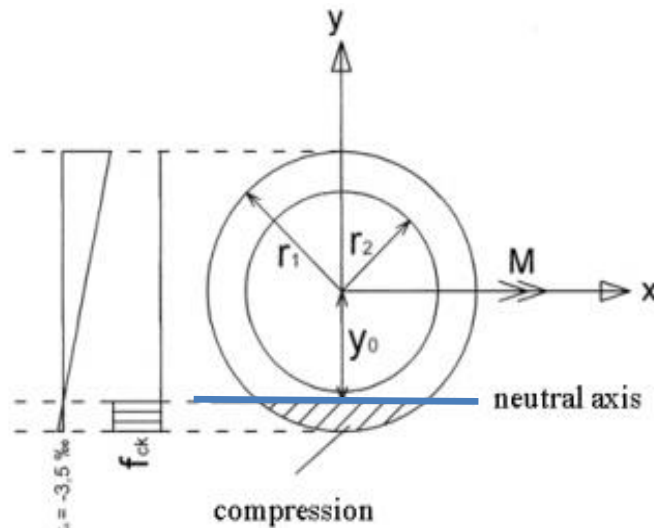
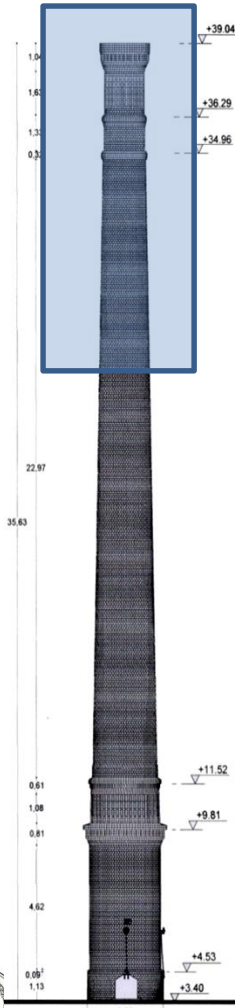


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Η καμπτική αντοχή της διατομής υπό μεταβλητό αξονικό φορτίο υπολογίζεται αναλυτικά, σε τρεις ζώνες διαφορετικού επιπέδου θλίψης:

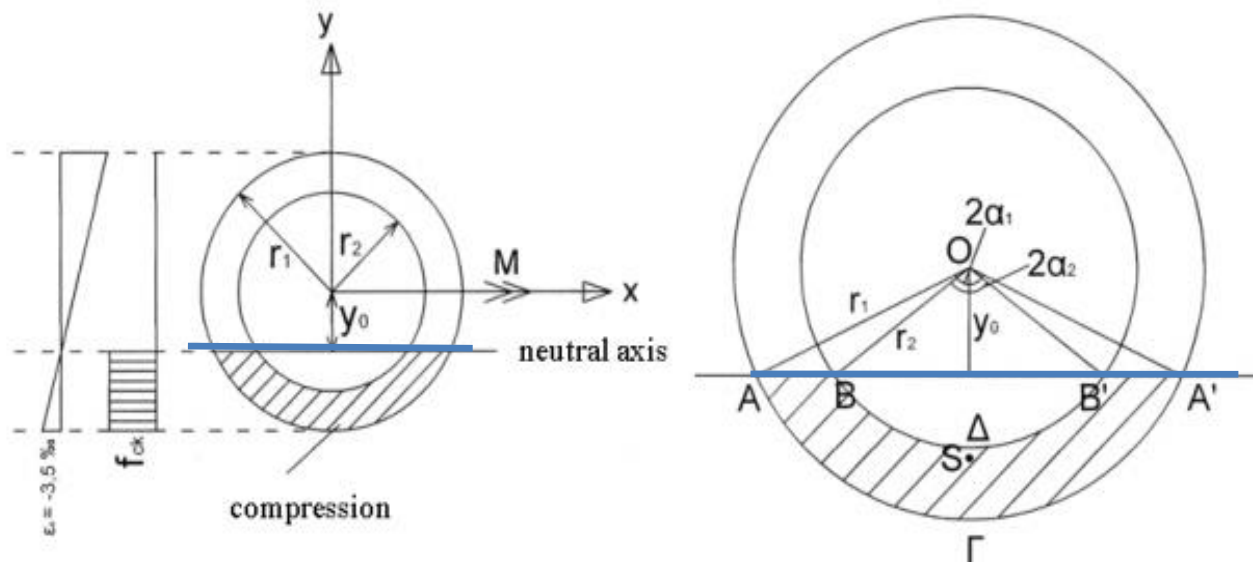
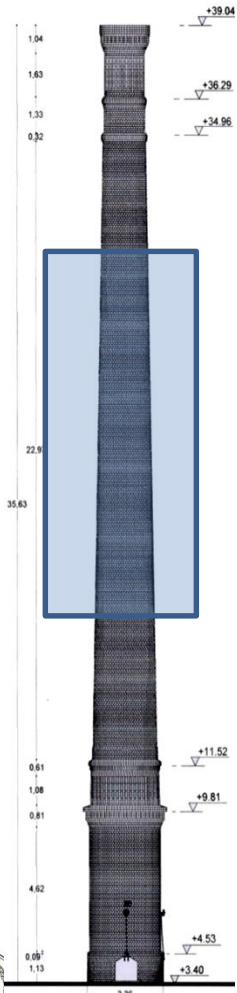
Περιοχή Ι (ασθενής θλίψη): ο ουδέτερος άξονας τέμνει το συμπεγές μέρος της διατομής



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Η καμπτική αντοχή της διατομής υπό μεταβλητό αξονικό φορτίο υπολογίζεται αναλυτικά, σε τρεις ζώνες διαφορετικού επιπέδου θλίψης:

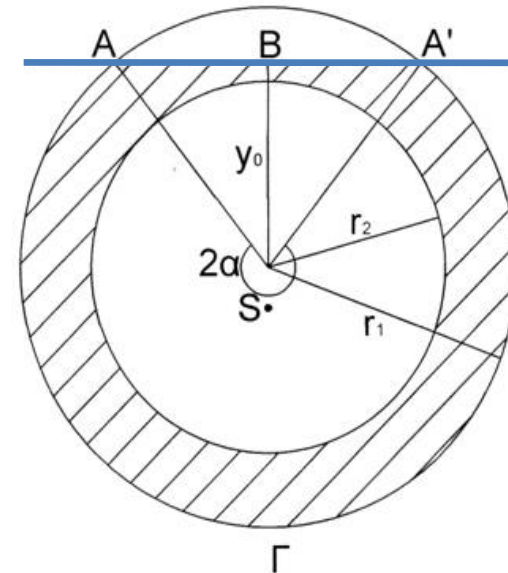
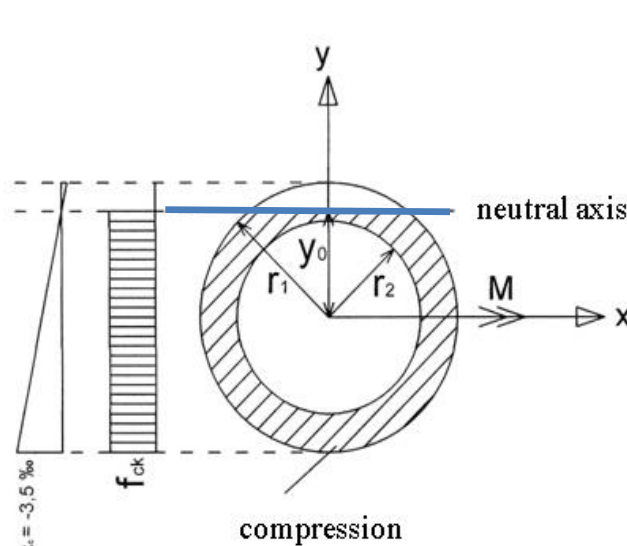
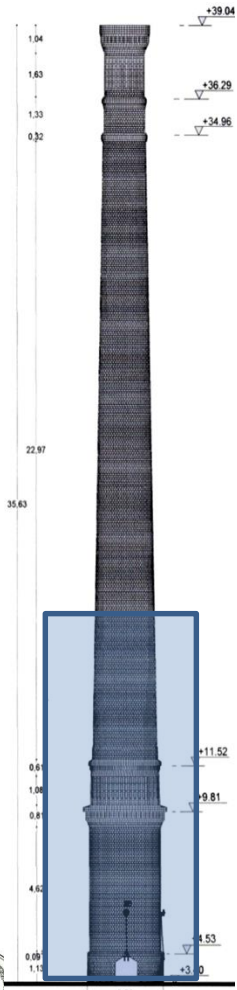
Περιοχή II (μέτρια θλίψη): ο ουδέτερος άξονας τέμνει την κοίλη διατομή



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

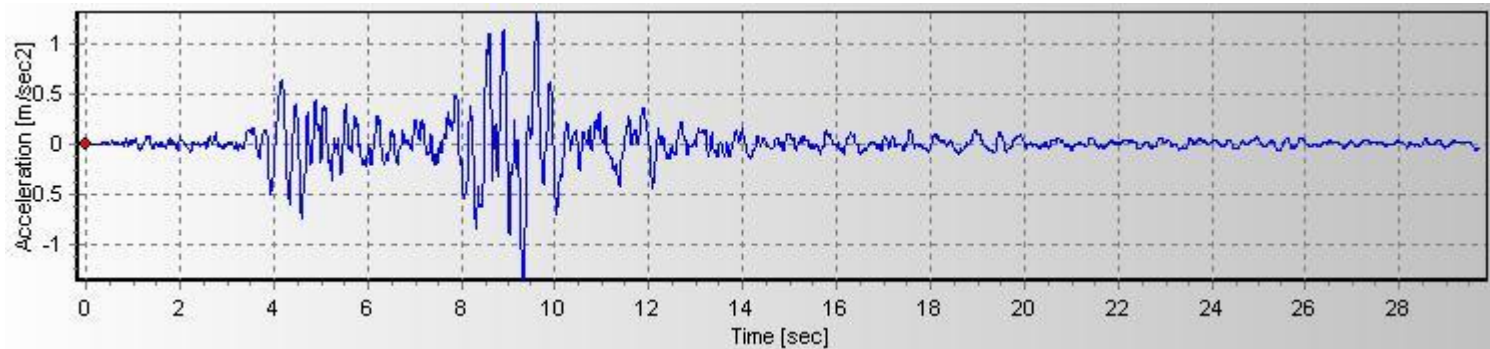
Η καμπτική αντοχή της διατομής υπό μεταβλητό αξονικό φορτίο υπολογίζεται αναλυτικά, σε τρεις ζώνες διαφορετικού επιπέδου θλίψης:

Περιοχή III (ισχυρή θλίψη): το μέρος της διατομής που τελεί υπό εφελκυσμό είναι περιορισμένο



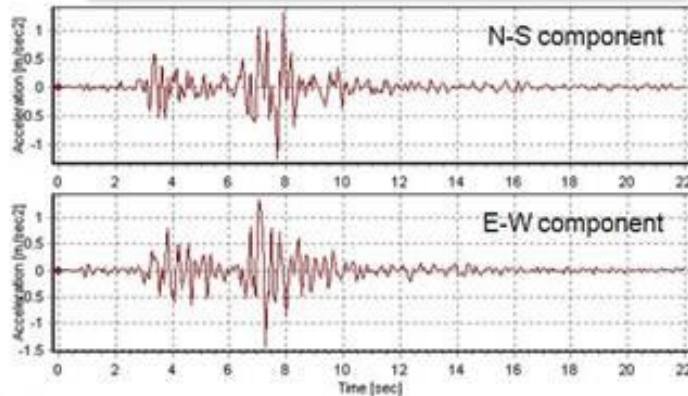
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

- Σημείο αναφοράς ο **σεισμός της Θεσσαλονίκης** (20 Ιουνίου 1978, λίμνη Βόλβη)
- Καταγραφή στο **ξενοδοχείο City** στο κέντρο της πόλης.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

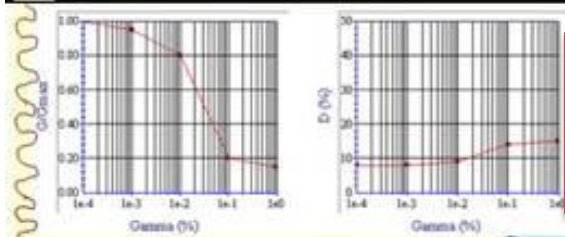
Καταγραφή σεισμού 1978



- Διαδικασία εκτίμησης σεισμικής κίνησης στη θέση Αλλατίνη με βάση τις πραγματικές καταγραφές

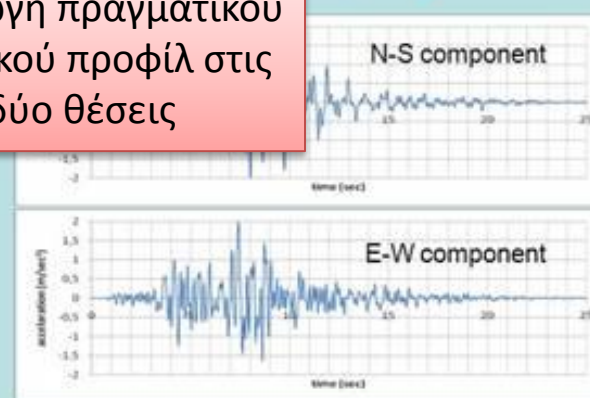


Ξενοδοχείο City Θεσ/νίκη 1978



Εδαφική απόκριση

Εισαγωγή πραγματικού εδαφικού προφίλ στις δύο θέσεις



bedrock



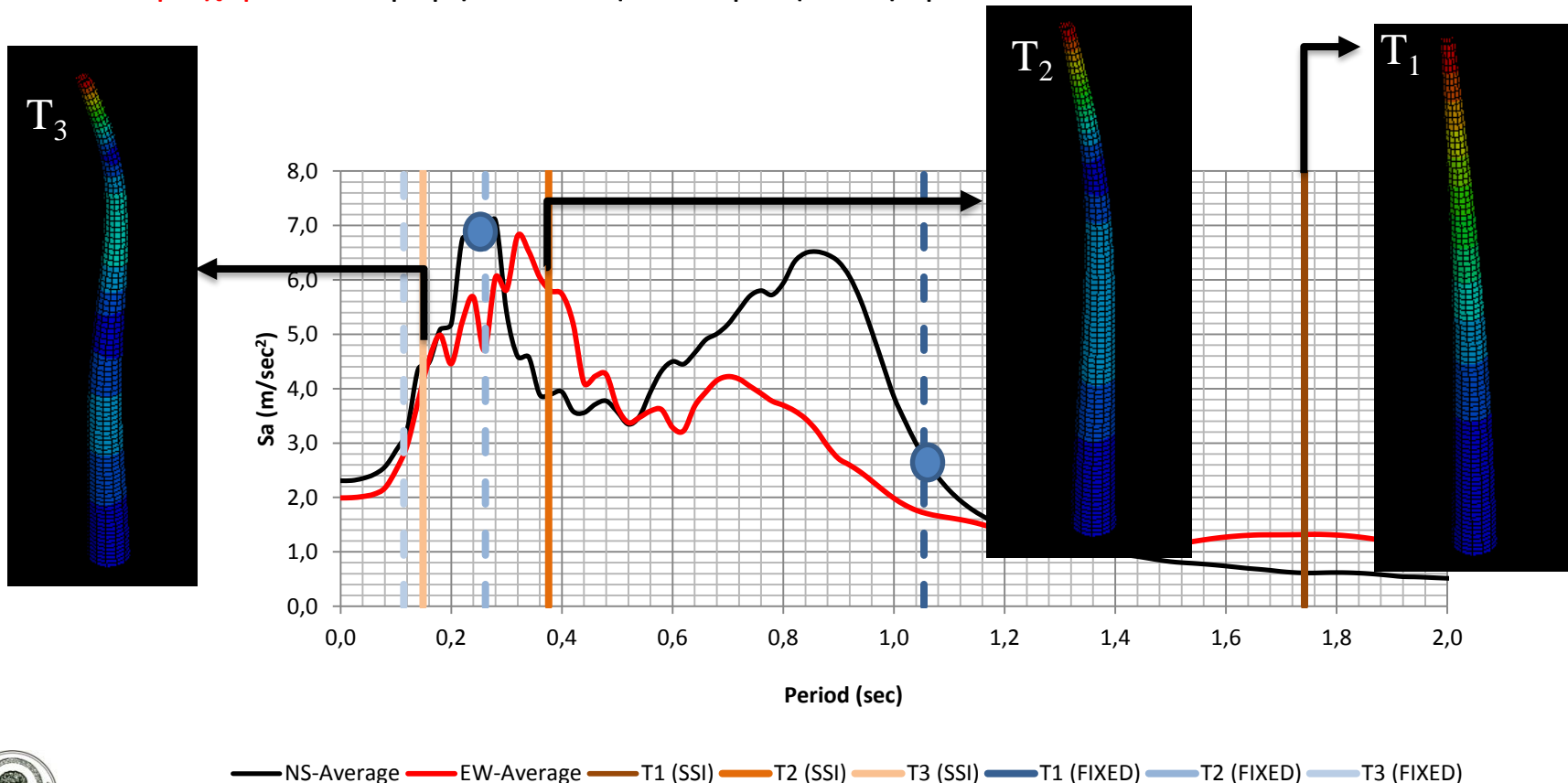
CyberQuake 2.0
Created by Hormoz MODARESSI

Αποσυνέλιξη στο βραχώδες υπόστρωμα

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



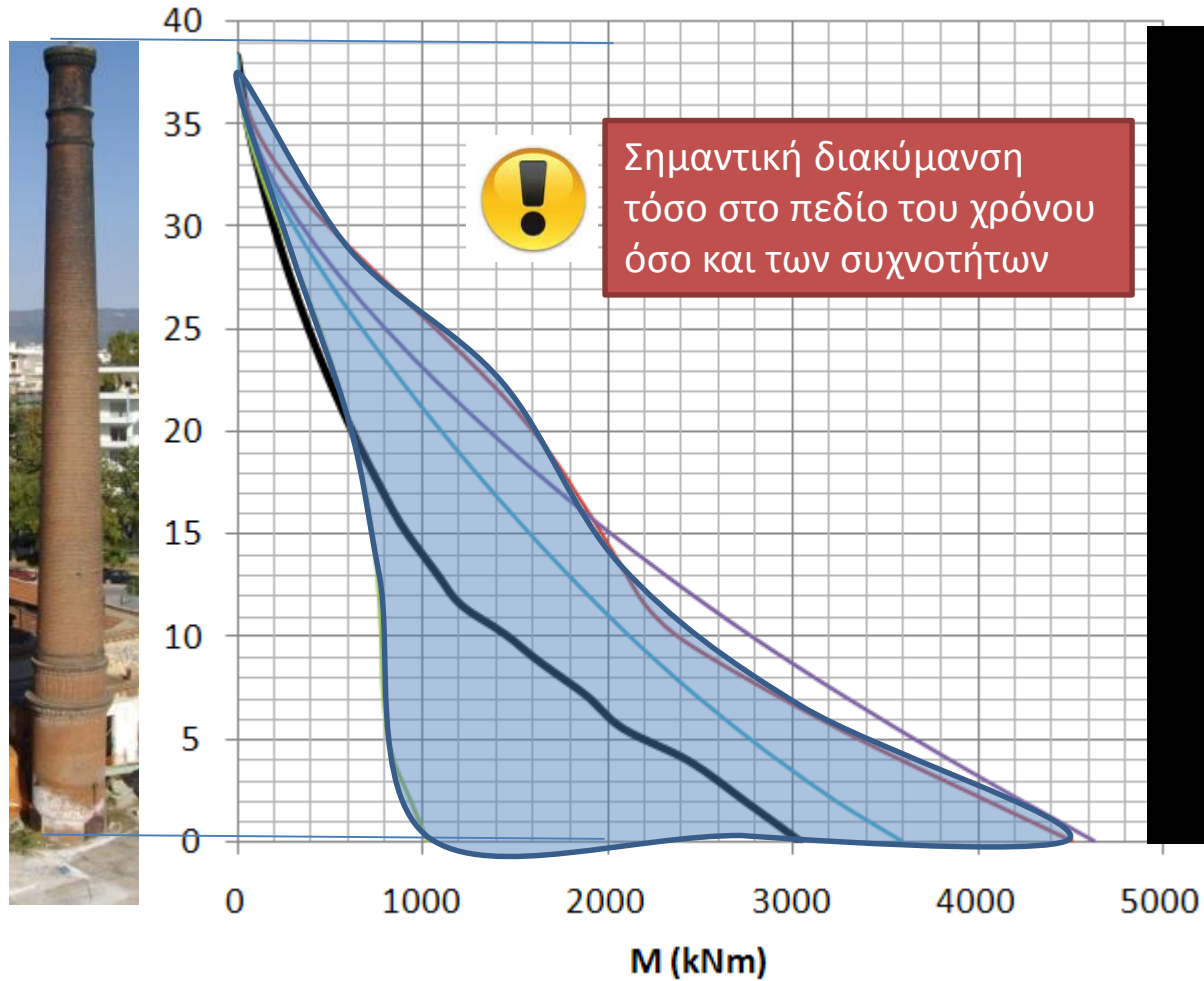
Σε τέτοιους φορείς, οι αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων, επιφέρουν **σοβαρές διαφοροποιήσεις στις ιδιοπεριόδους**, οι οποίες, σε συνδυασμό με το **φασματικό περιεχόμενο**, διαμορφώνουν την απόκριση του φορέα.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Περιβάλλουσα ροπών κάμψης για διαφορετικά σενάρια σεισμικής διέγερσης (δυναμική ανάλυση για τον σεισμό του 1978 και φασματική ανάλυση κατά ΕΑΚ2000)

Καμπτική αντοχή 5.2 MPa



—STRENGTH M=5.2 MPa —MAX '78 —MIN '78 —MAX EAK —MIN EAK



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Συμπεράσματα

- δεν φαίνεται να είναι δυνατό να υπάρξει ενιαία αντιμετώπιση αριθμητικής προσομοίωσης της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς των μνημειακών κατασκευών
- οι παραδοχές της ανάλυσης είναι μείζονος σημασίας για την διασφάλιση της αξιοπιστίας της επέμβασης και ο μελετητής δεν πρέπει να επαφίεται στις «δυνατότητες του προγράμματος»

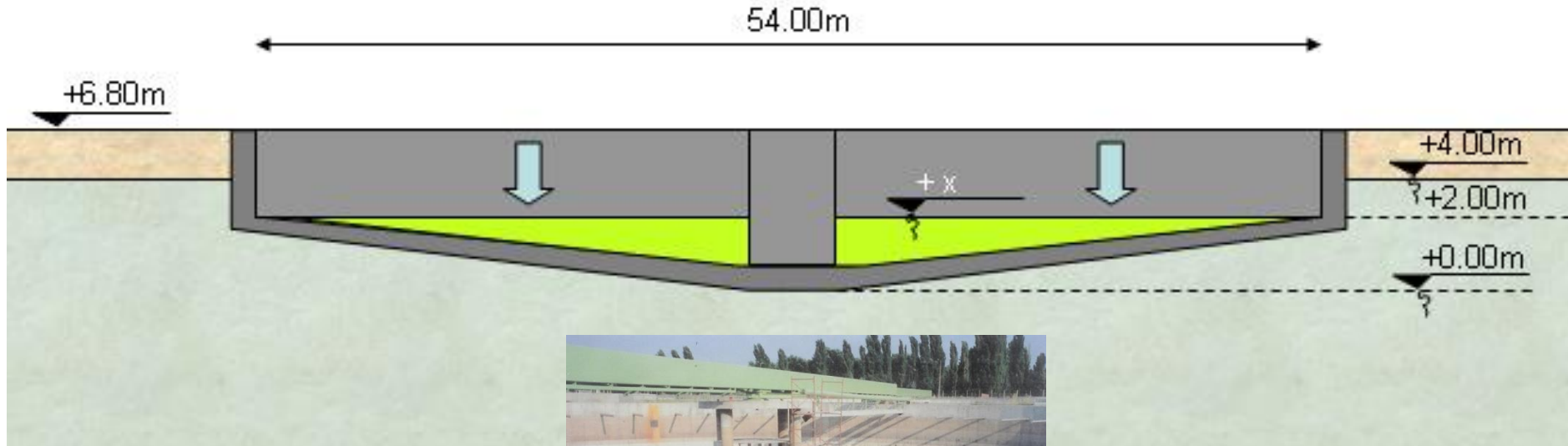
Απαιτείται:

- (α) θεωρητικό υπόβαθρο σε ότι αφορά τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών
- (β) λεπτομερής τεκμηρίωση του φορέα
- (γ) σημαντική εμπειρία από προγενέστερες καταστάσεις ώστε να συμπληρώνεται η εικόνα εκεί όπου δεν υπάρχουν στοιχεία ή πρόσβαση
- (δ) άριστη γνώση των υπολογιστικών εργαλείων
- (ε) πνεύμα αμφισβήτησης των αποτελεσμάτων της αριθμητικής ανάλυσης και επιβεβαίωση με αναλυτικούς υπολογισμούς όπου είναι δυνατόν
- (στ) παραμετρική προσέγγιση του προβλήματος



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



Penelis, G., Penelis, Gr. and Sextos, A. (2005) 'Evaluation of the observed damage and rehabilitation study of two underground R/C biological treatment tanks', 1st Greece – Japan Workshop: Seismic Design, Observation and Retrofit of Foundations.

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

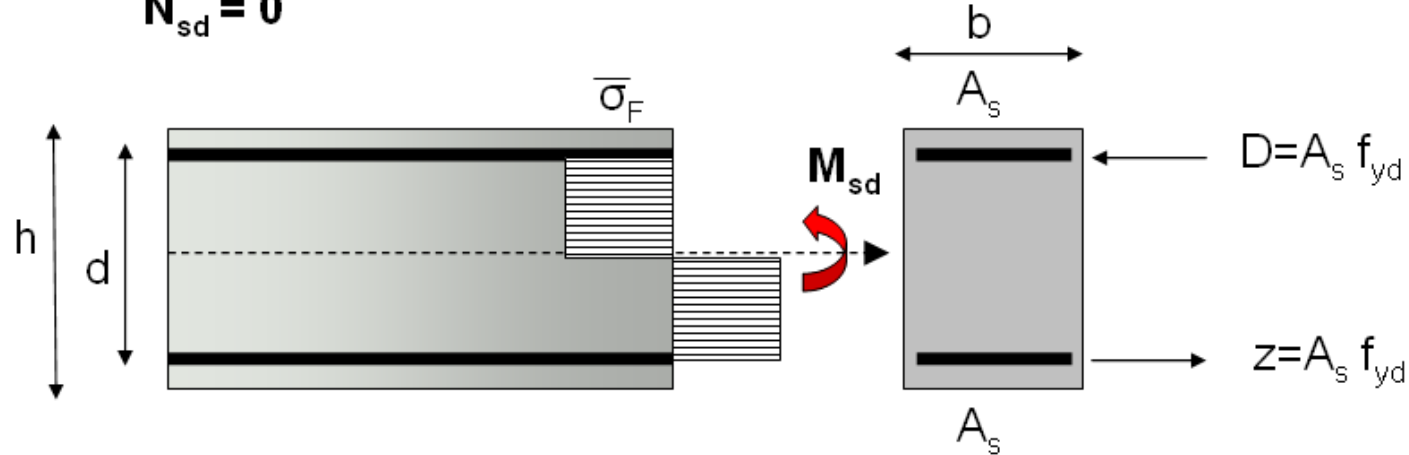
Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης

$$N_{sd} = 0$$



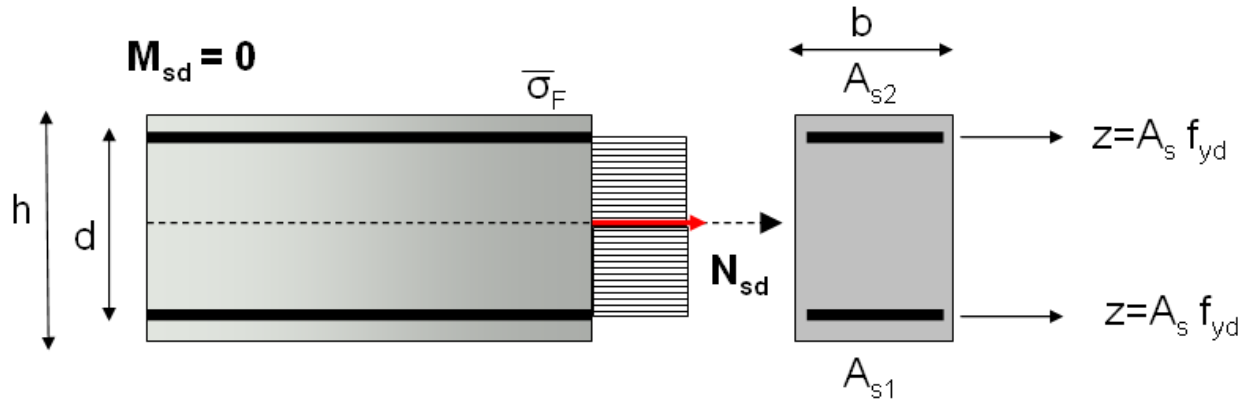
$$M = \bar{\sigma}_F \frac{d}{2} \frac{d}{2} = \bar{\sigma}_F \frac{d^2}{4}$$

$$M = A_s f_{yd} d$$

$$\bar{\sigma}_F = \frac{4A_s f_{yd}}{d} = 2 \cdot \frac{2A_s f_{yd}}{d}$$

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



$$z_{\text{συν}} = 2A_s f_{yd}$$

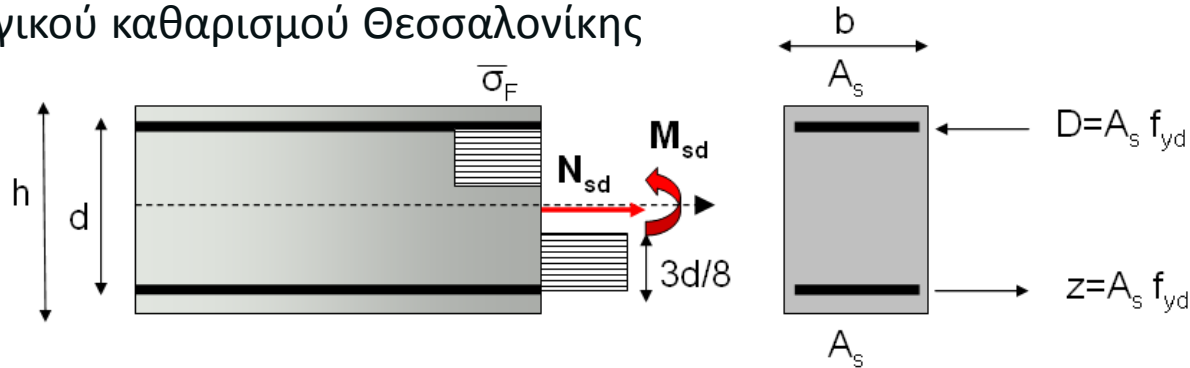
$$z_{\text{συν}} = \bar{\sigma}_F d$$

$$\bar{\sigma}_F = \frac{2A_s f_{yd}}{d} = 1 \cdot \frac{2A_s f_{yd}}{d}$$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



$$N = \bar{\sigma}_F \frac{d}{4}$$

$$M = \frac{3}{8} d \cdot \bar{\sigma}_F \left(\frac{d}{4} + \frac{3}{8} d \right) = \frac{3}{8} d^2 \bar{\sigma}_F \left(\frac{2}{8} + \frac{3}{8} \right) = \frac{3}{8} d^2 \bar{\sigma}_F \frac{5}{8}$$

$$Z + D = \bar{\sigma}_F \frac{d}{4} = f_{yd} A_A - \sigma_e A_s$$

$$M = f_{yd} A_s \frac{d}{2} + \sigma_e A_s \frac{d}{2}$$

$$e = M/N = 60/64d$$

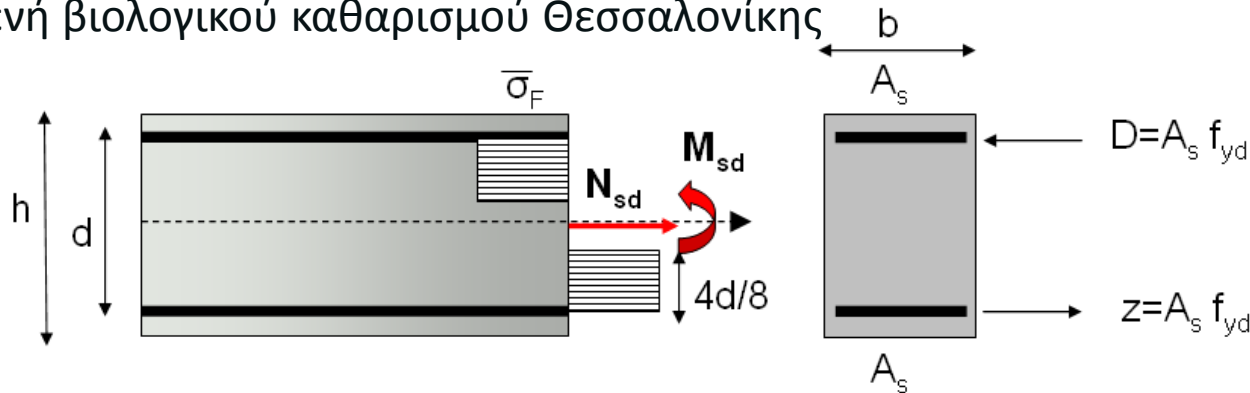
$$e/d = 60/64$$

$$\bar{\sigma}_F = \frac{64}{46} \cdot \frac{2A_s f_{yd}}{d}$$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



$$N = \bar{\sigma}_F \frac{4d}{8}$$

$$M = \frac{2}{8} d \cdot \bar{\sigma}_F \left(\frac{6}{8} d \right) = \frac{12}{64} d^2 \bar{\sigma}_F$$

$$M = f_{yd} A_s \frac{d}{2} + \sigma_e A_s \frac{d}{2}$$

$$e = M/N = \frac{24}{64} d$$

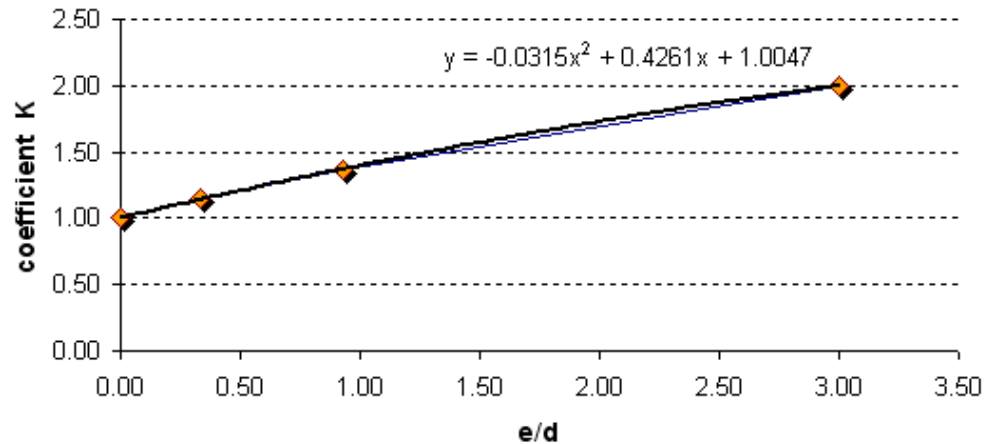
$$e/d = 24/64$$

$$\bar{\sigma}_F = \frac{64}{56} \cdot \frac{2A_s f_{yd}}{d}$$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης

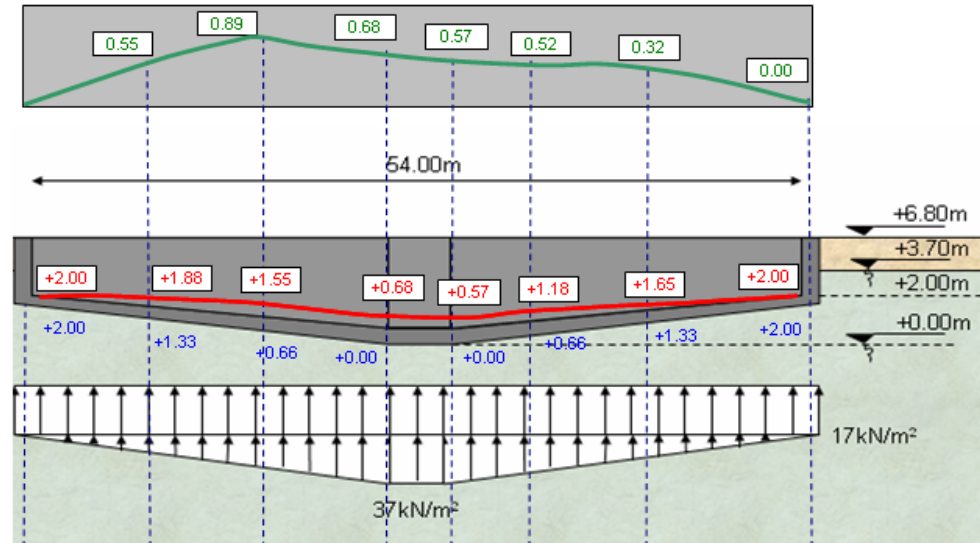


$$\sigma_F = \frac{2 f_{yd} A_s}{d} \cdot 1.70$$



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης

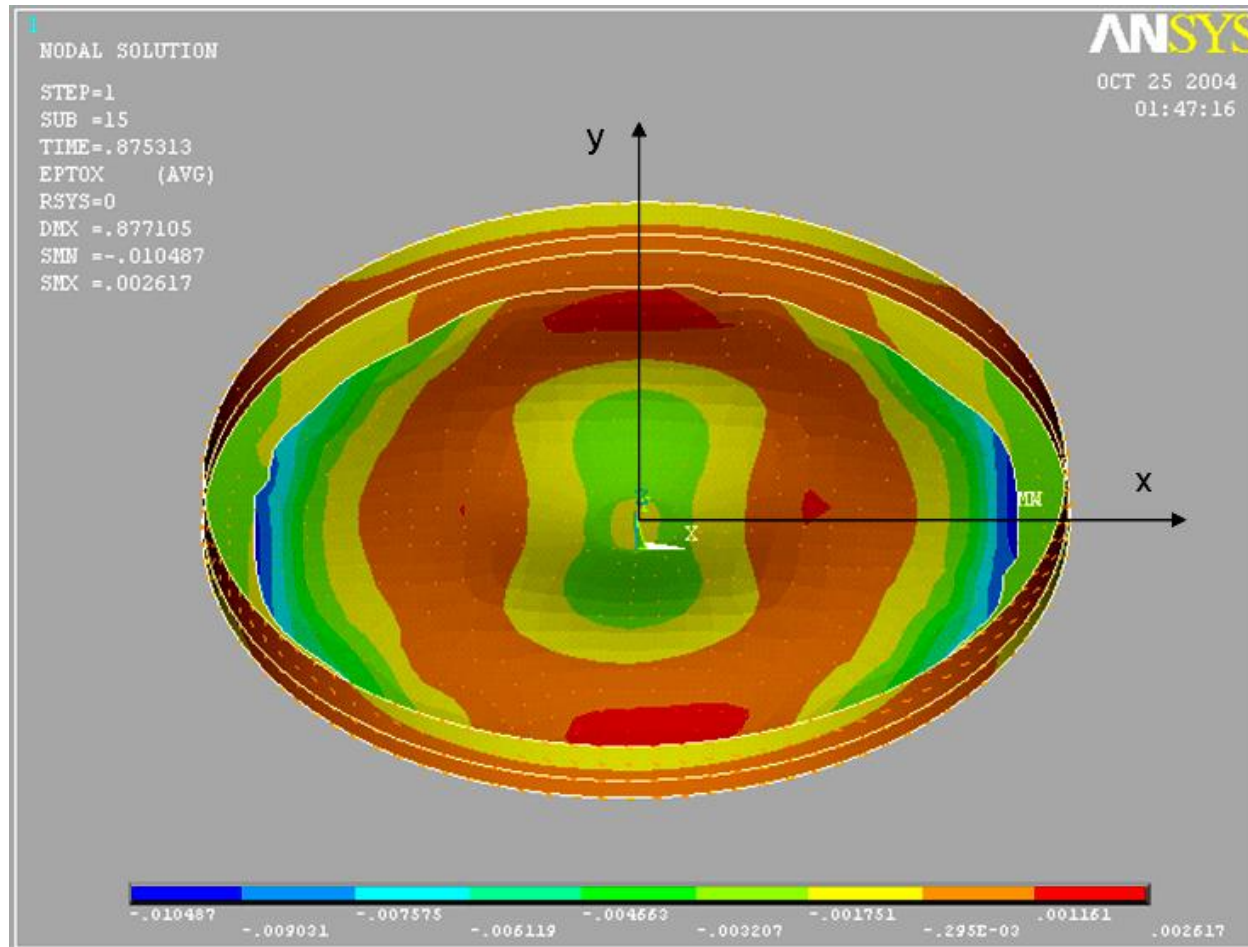


Initial Coordinates of the undeformed shape (z)	2.00	1.33	0.66	0.00	0.00	0.66	1.33	2.00
Measured Uplift δ	0.00	0.55	0.89	0.68	0.57	0.52	0.32	0.00
Deformed Structure Level $U_z = z + \delta$	2.00	1.88	1.55	0.68	0.57	1.18	1.65	2.00
ΔH of actual uplift = 3.70 - z - δ	1.70	1.82	2.15	3.02	3.13	2.52	2.05	1.70
Uplift (kPa) = $\Delta H * 10$	17.00	18.21	21.47	30.19	31.27	25.22	20.54	17.00
Calculated $\Delta H'$ (uplift on the undeformed tank) = 3.70 - z	1.70	2.37	3.04	3.70	3.70	3.04	2.37	1.70
Calculated uplift load on the undeformed tank (kPa) = $\Delta H' * 10$	17.00	23.70	30.40	37.00	37.00	30.40	23.70	17.00
% of the calculated load of the inelastic analysis corresponding to the observed and measured bottom deflection	100%	77%	71%	82%	85%	83%	87%	100%
Average Load (%)	85%							



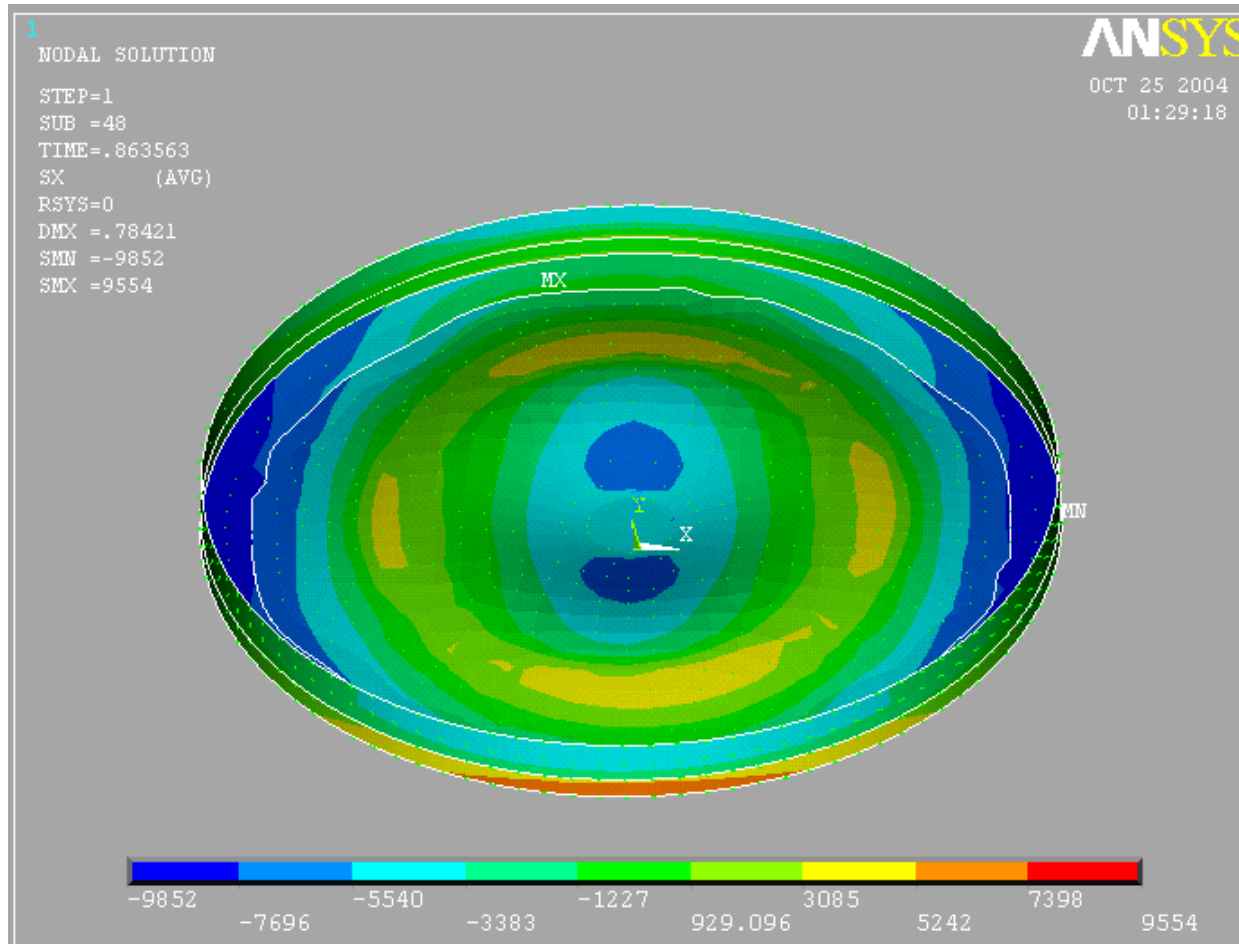
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Αναστάσιος Σέξτος
«Τεχνικές Προγραμματισμού και Χρήση Λογισμικού Η/Υ στις Κατασκευές.
Μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης για την αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας
κατασκευών: Παραδείγματα έρευνας και εφαρμογής». Έκδοση: 1.0.
Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS322/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

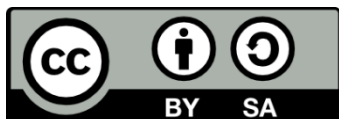
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Ολυμπία Τασκάρη
Θεσσαλονίκη, Μάιος 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

