

Μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης για την αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας ιστορικών κατασκευών και μνημείων

Αναστάσιος Σέξτος

Επίκουρος Καθηγητής

www.asextos.net

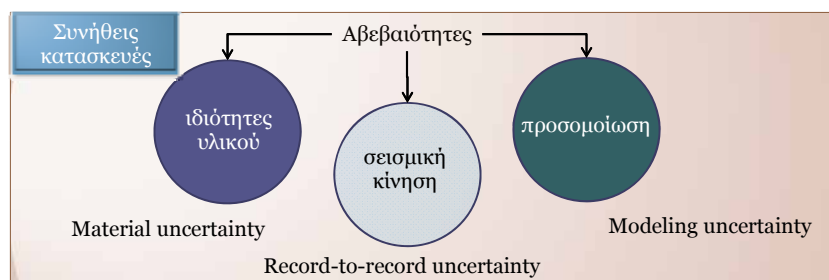


Θεσσαλονίκη,
4 Νοεμβρίου 2011

Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης



Αβεβαιότητες στην αριθμητική ανάλυση ιστορικών κατασκευών και μνημείων



+

- 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

Μνημεία

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

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

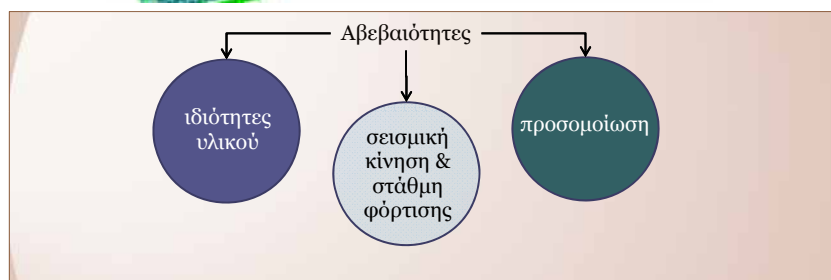
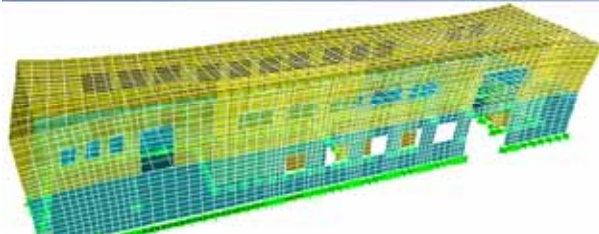


- Κτιριακό συγκρότημα του πρώην Ιδρύματος «Αριστοτέλης» κτισμένο σε οικόπεδο έκτασης 32.500m².
- Συγκροτείται από οκτώ κτίσματα
- Το κυριότερο είναι το κεντρικό κτίριο, που συντίθεται από τρεις πτέρυγες

Γεωργαλά, Ρ., Σέζτος, Α., Ιγνατιάκης, Χ., & Στυλιανίδης, Κ. (2009) «Τεκμηρίωση και αποκατάσταση φέροντος οργανισμού διατηρητέου κεντρικού κτιρίου Ορφανοτροφείου Αριστοτέλης στην Καλαμαριά», 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αναστηλώσεων, Αθήνα.

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

3-D View Model 1 Period 0.0781 seconds

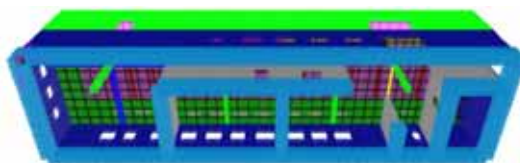
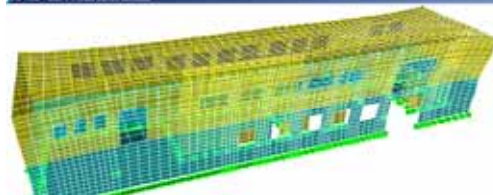


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

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

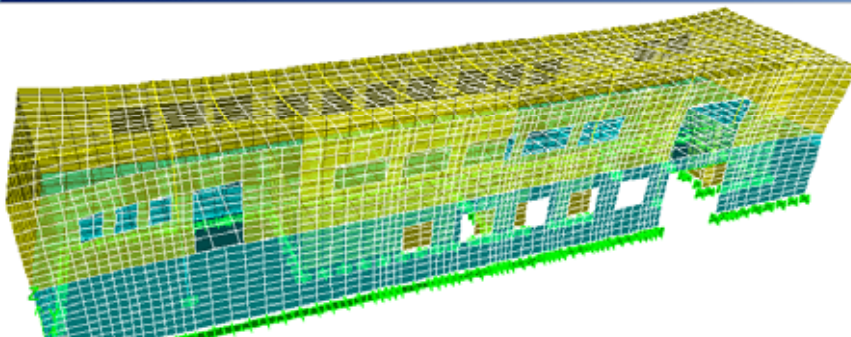
3-D View Model 1 Period 0.0781 seconds



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

3-D View Mode 1 Period 0.0701 seconds

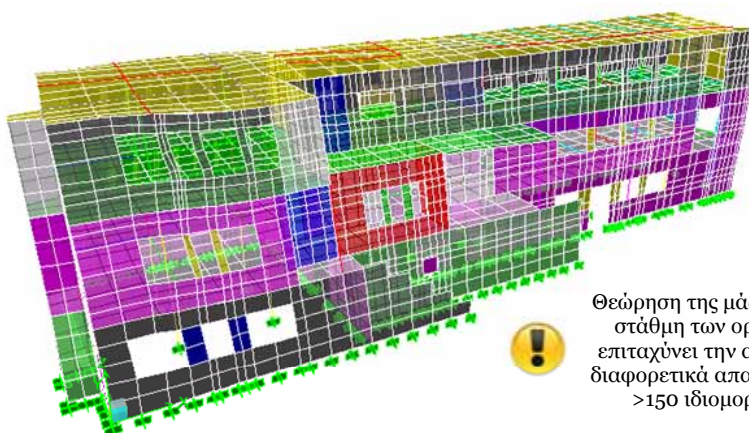


Προσομοίωση Πτέρυγας Α με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία
(1^η ιδιομορφή, $T=0.08\text{sec}$, ενεργοποίηση 77% της μάζας κατά $y-y$)

Η μάζα δεν είναι συγκεντρωμένη στη στάθμη των ορόφων

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»



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 $y-y$ και 69% περί τον R_x)

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»



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

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»



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 ισόγειου της πτέρυγας Α



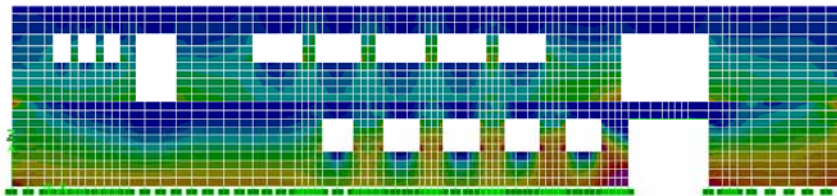
Έντονη οξείδωση σε τοίχο ισόγειου της πτέρυγας Α



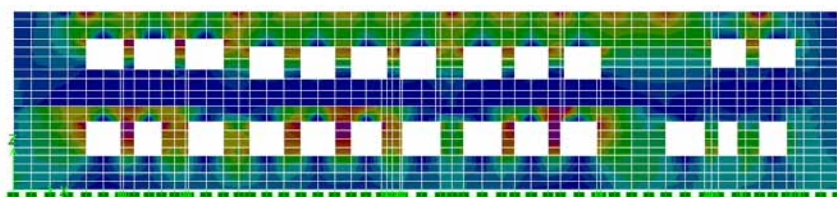
Αποφλοίωση σκυροδέματος υποστυλώματος λόγω οξείδωσης των οπλισμών του

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»



-1.00 -0.92 -0.85 -0.77 -0.65 -0.62 -0.54 -0.46 -0.38 -0.31 -0.23 -0.15 -0.00 0.00



-2.00 -1.95 -1.89 -1.84 -1.78 -1.73 -1.68 -1.62 -1.57 -1.51 -1.46 -1.41 -1.36 -1.31 -1.26 -1.21 -1.16 -1.11 -1.06 -1.01 -0.96 -0.91 -0.86 -0.81 -0.76 -0.71 -0.66 -0.61 -0.56 -0.51 -0.46 -0.41 -0.36 -0.31 -0.26 -0.21 -0.16 -0.11 -0.06 -0.01 0.00

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

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Κτίριο Ορφανοτροφείου «Αριστοτέλης»

- 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.

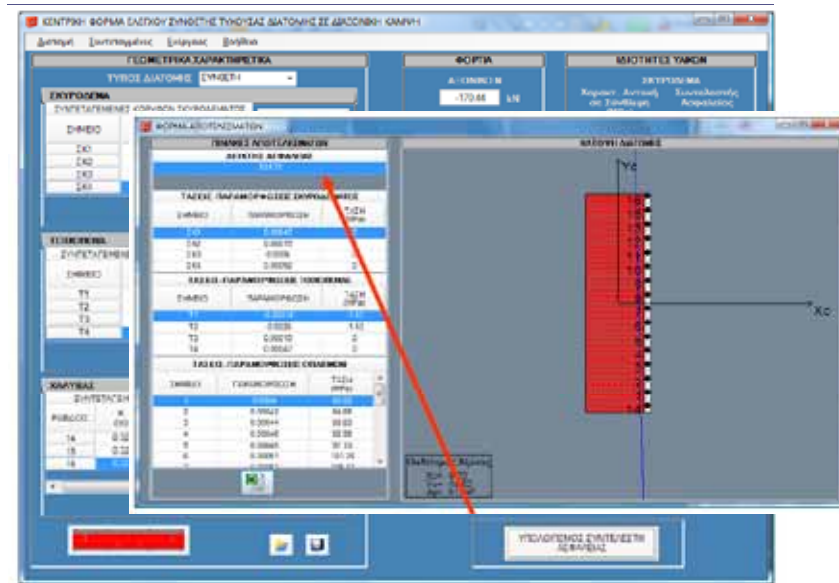


Η ανάλυση αποτυπώνει ανεπάρκειες σε τοπικό επίπεδο όμως η επέμβαση είναι γενικού χαρακτήρα



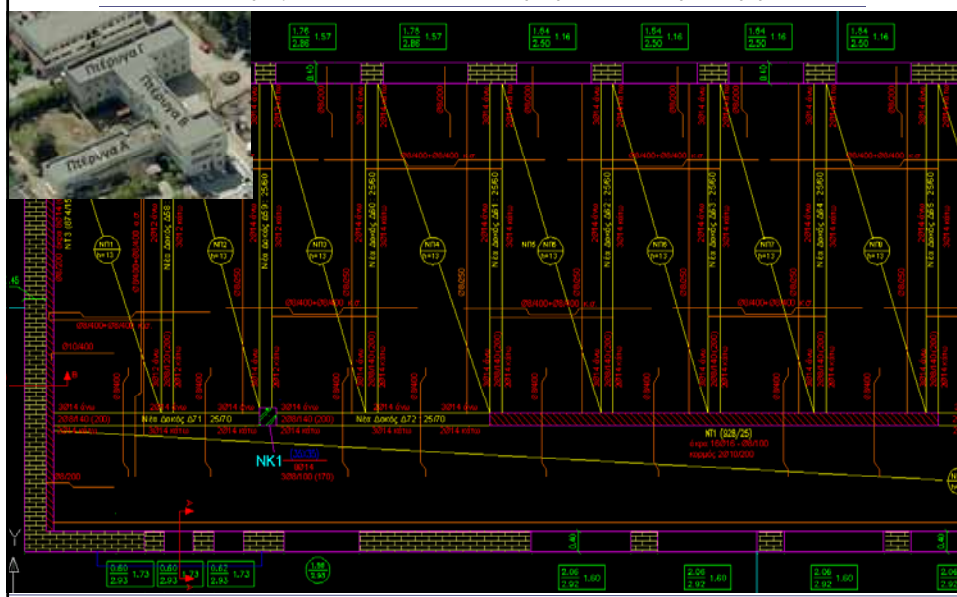
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Έλεγχος ενισχυμένων διατομών σε διαξονική κάμψη



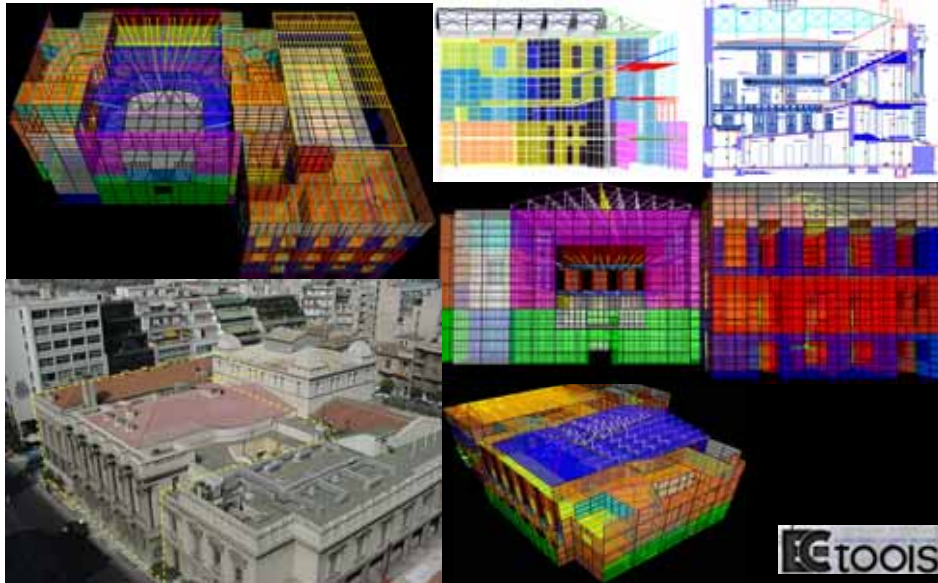
A. Σέξτος, Κ. Στυλιανίδης, Φ. Γουϊδής: MACSAN (MASONry and Concrete Section ANalyzer)

Πτέρυγα Α - Ξυλότυπος 1ου ορόφου - Γενική άποψη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο (στατική προμελέτη)

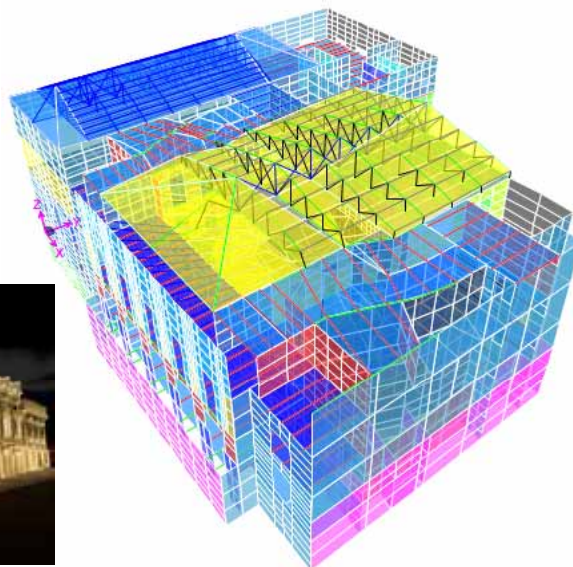


Γ. Πενέλης, Γρ. Πενέλης, Α. Σέξτος

Εθνικό Θέατρο



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

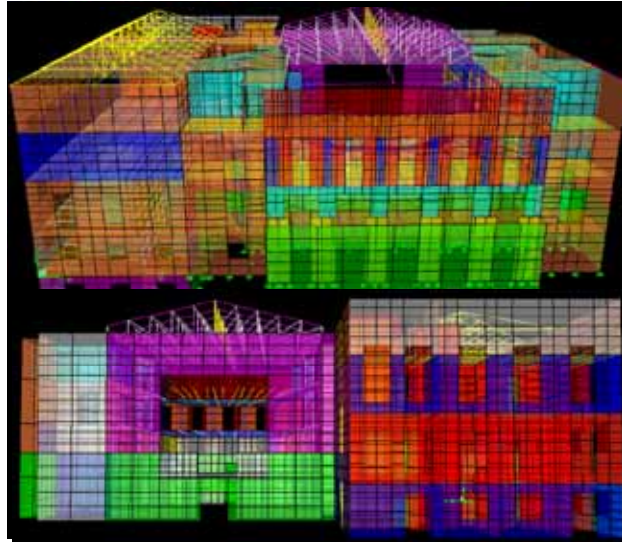


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο



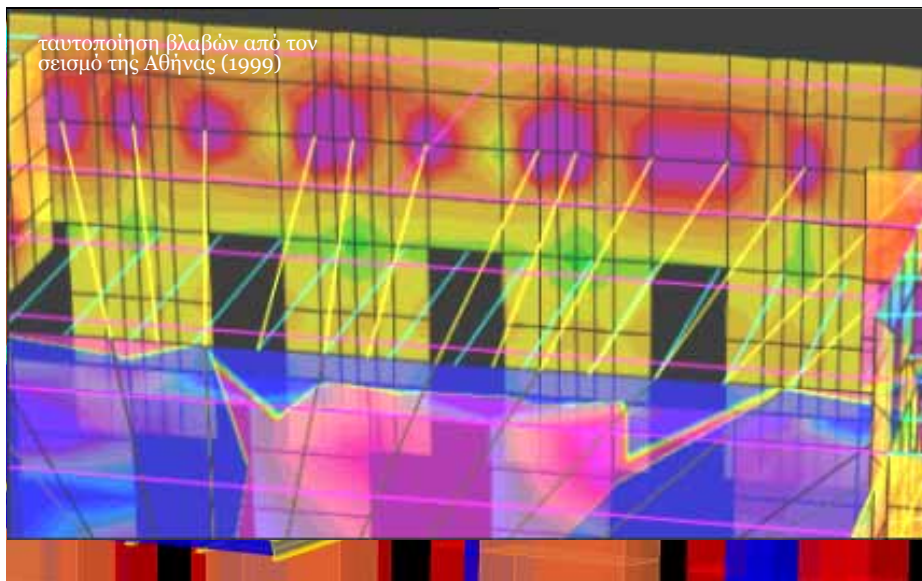
- πολύπλοκη γεωμετρία (προσομοίωση όχι με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια αλλά με την μέγιστη απαραίτητη – απαιτείται παραμετρικός έλεγχος)
- διαφορετικά υλικά (λιθοδομή, Ο/Σ, δομικός χάλυβας, ξύλο)



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Εθνικό Θέατρο

ταυτοποίηση βλαβών από τον σεισμό της Αθήνας (1999)



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

ΑΛΕΥΡΟΜΥΛΟΣ ΒΑΛΤΣΑΝΗ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΤΑΣΙΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΔΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ
2008-2009

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:
ΠΑΥΛΟΣ ΚΑΛΙΓΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΤΕΦΑΝΙΔΟΥ ΑΙΜΙΛΙΑ, ΕΠΙΚΟΙΝΩ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΣΕΣΤΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ, ΔΕΚΤΟΡΑΣ
ΤΣΕΜΑΣΙΑΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ



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

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



Εκ. 2.25: Φωτογραφία της κατασκευαστικής όψης.

Εμφανίζεται η ύψιξη δοκάρων αναδοχικών κατεύθυνσεων σε σκυρόδεμα, ούτως και σκυρόδεμα που φέρει καρφιά από αγκυροβόλτες αλυσίδα το έργο στερείται από αποτελεσματική στερέωση.

Τέλος, η ύψιξη καμάρων φέρει δοκάρια και υστερήσεις, κατεστραμμένα δοκάρια τα οποία μεταφέρονται για την αποτίμηση της αντοχής των καμάρων και αντιστοιχούνται η έδραση ή η, στα παράλληλα αποτίμησης κλάδο στην αρτιότητα.



Εκ. 2.26: Φωτογραφία του κάτω μέρους της κατασκευαστικής όψης.



Εκ. 2.28: Φωτογραφία του εσωτερικού του κτηρίου.

2.2.5 Γενικά στοιχεία

Βασιστική όψη (standard view - 0.011)



Εκ. 2.28: Αρχαία φωτογραφία της βασιστικής όψης.



Εκ. 2.27: Αντικείμενο ανάγλυφο της βασιστικής όψης μέτρου 1:1000.



Εκ. 2.29: Φωτογραφία βασιστικής όψης με 3D C.

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



Εκ. 2.25: Φωτογραφία της υποδομοστικής όψης.

Επιπρόσθετα, η ύψιστη διαίρεση αναδεικνύει κατεστραμμένα στοιχεία, οι οποίοι αποτελούν σημαντικό μέρος της ιστορίας του μνημείου, καθώς και της ιστορίας της πόλης.

Τέλος, η ύψιστη διαίρεση είναι σημαντική και ιστορικά, καθώς αποτελεί το κέντρο της πόλης, η οποία αποτελεί σημαντικό μέρος της ιστορίας της πόλης.



Εκ. 2.26: Φωτογραφία του κέντρου της υποδομοστικής όψης.



Εκ. 2.28: Φωτογραφία του κέντρου της υποδομοστικής όψης.

2.2.5 Γενική αναγωγή

Βασισμένη στην (standalone) όψη - 0.011



Εκ. 2.28: Αerial, φωτογραφία της βασισμένης όψης.



Εκ. 2.27: Αναγωγή κέντρου της βασισμένης όψης, μέγεθος του λογισμικού (B42 C).



Εκ. 2.29: Φωτογραφία βασισμένης όψης με B42 C.

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



Σελ. 9.3: Εξ όψης



Σελ. 9.4: Εν όψη



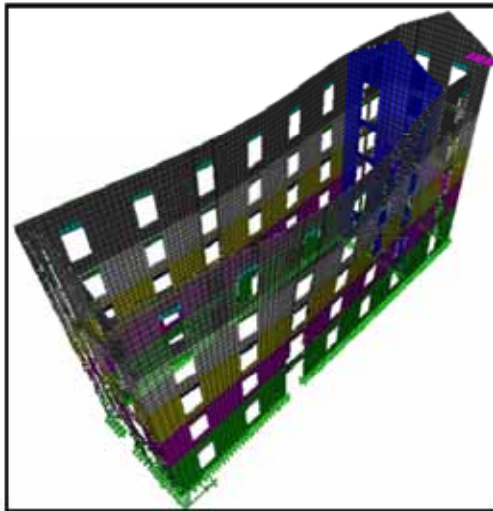
Σελ. 9.5: Εξ όψης (πρόσφατη κτίση επί της οδού Γεωργίου)



Εκ. 9.6: Εξ όψης (φωτογραφία από την οδό Γεωργίου)

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

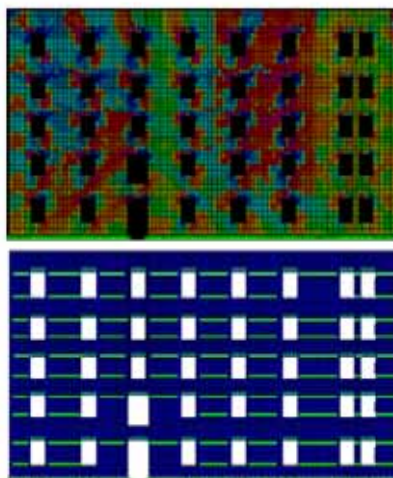


Στη 2η ιδομορφή προκύπτει $U_y=27\%$ και $T=0,96 \text{ sec}$

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ S12 (G+0.3Q+EX+0.3EY+0.3EZ)

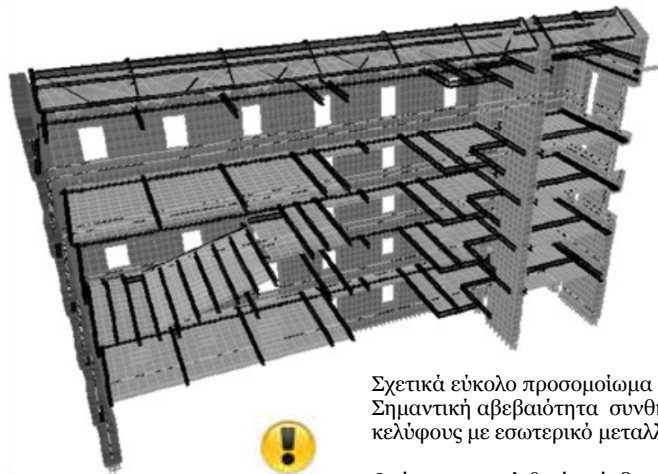


— Αστοχία σε Διάτμηση
— Αστοχία σε Κάμψη Εντός Επιπέδου
— Αστοχία σε Κάμψη Εκτός Επιπέδου

Σχ. 4.16: Αστοχία σε διάτμηση

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Αλευρόμυλος «Βαλτσάνη»



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

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»

Προσομοίωμα της μεταλλικής κατασκευής, πρόγραμμα Etabs



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 : $f_{sd} = 235 \text{ MPa}$

εφελκυστική αντοχή : $f_{ts} = 360 \text{ MPa}$

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

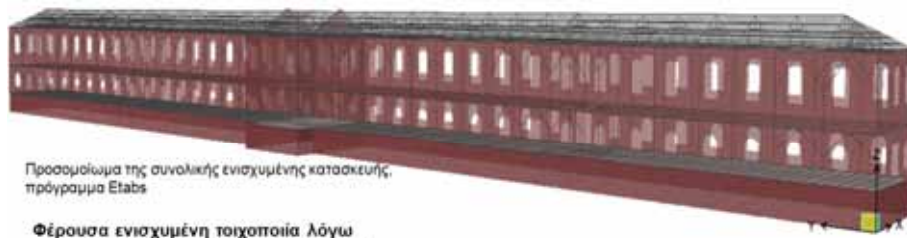
ειδικό βάρος : $\gamma_s = 25.0 \text{ kN} / \text{m}^3$

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

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

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

Στρατόπεδο «Παύλου Μελά»



Προσμοίωμα της συνολικής ενισχυμένης κατασκευής, πρόγραμμα Etabs

Φέρουσα ενισχυμένη τοιχοποιία λόγω

Αύξηση θλιπτικής αντοχής (ΟΑΣΠ) : $f_{m,ε} = \frac{1}{\gamma_m} \cdot \zeta \cdot f_{m,ε}$

Όπου, $\frac{1}{\gamma_m} = 0.80$

$f_{m,ε}$, 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 : $\gamma_s = 25.0 \text{ kN} / \text{m}^3$

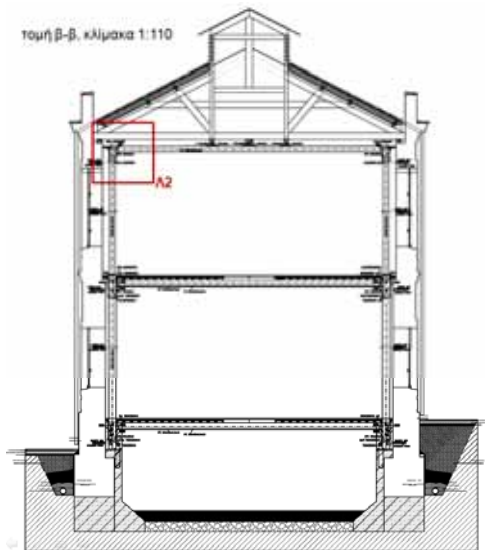
χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή : $f_k = 5 \text{ MPa}$

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

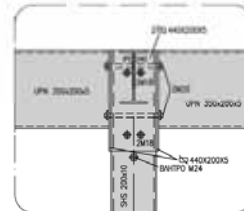
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

Στρατόπεδο «Παύλου Μελά»

τομή β-β, κλίμακα 1:110



Α2 - ΟΛΗ 1, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:15



Α2 - ΟΛΗ 2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:15



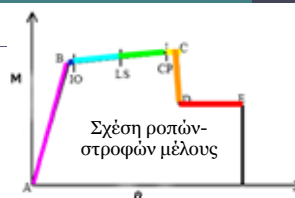
Συνθήκες μερικής επαφής

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης στατικής επάρκειας και προσεισμικής ενίσχυσης

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.

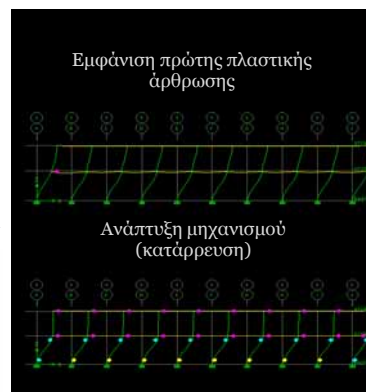
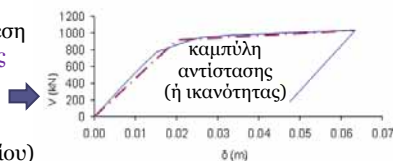
3. οι διατομές **διαρρέουν σταδιακά**, δημιουργούνται **πλαστικές αρθρώσεις** και οι εσωτερικές δυνάμεις ανακατανέμονται στον φορέα.



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



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



Ανελαστική ανάλυση για την διακρίβωση των μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία



- Μελέτη : 1960

- Μελετητές

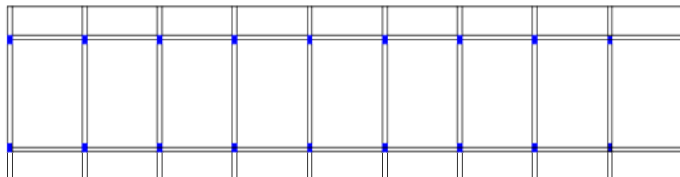
- Αρης Κωνσταντινίδης, Αρχιτέκτον Μηχ.

- Ν. Αναγνωστόπουλος, Πολιτικός Μηχ.

- Κατασκευή : 1961 - 1962

- Λειτουργία : 1962 – 1997

- Εγκατάλειψη : 1997 – σήμερα



- Τυπικός κάναβος : 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)

Ξενοδοχείο Ξενία

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

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



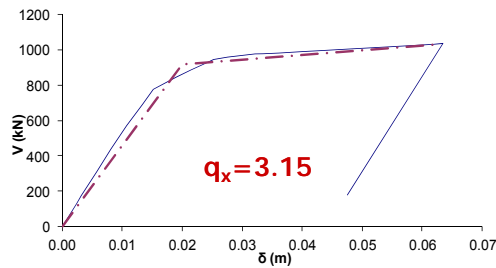
Απλός φορέας
Λεπτομερής
τεκμηρίωση
αντοχών υλικών
και διατομών



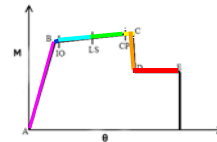
Ανελαστική ανάλυση για την διακρίβωση των μηχανισμών αστοχίας

Ξενοδοχείο Ξενία

Κτίρια κοιτώνων



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



Ανελαστική ανάλυση για την διακρίβωση των μηχανισμών αστοχίας

Πύργος της Ι.Μ. Τιμίου Προδρόμου Σερρών

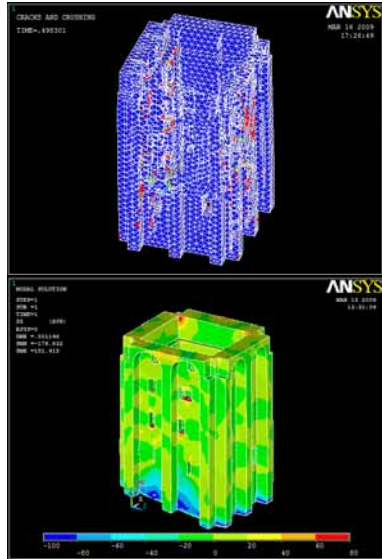


- Τριώροφο, ορθογωνικό κτίριο
- Υλικά κατασκευής : γρανίτες & σκληροί ασβεστόλιθοι
- Εσωτερικές διαστάσεις : 6.0 x 5.0 m
- Συνολικό ύψος : 18.3 m
- Τετράρριχη στέγη με επικάλυψη σχιστολιθικών πλακών
- Θεμελίωση σε βραχώδες υπόβαθρο

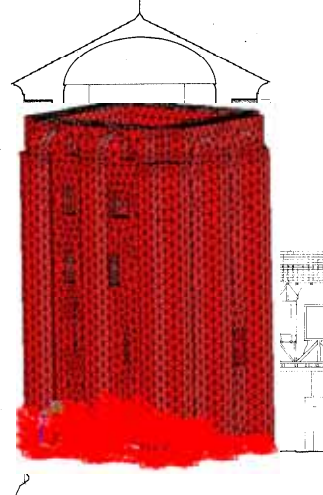


Διπλ. Εργασία Α. Σάνδρου (επιβλέποντες Χ. Ιγνατάκης, Α. Σέξτος)

Πύργος της Ι.Μ. Τιμίου Προδρόμου Σερρών



Απαιτείται ανελαστική ανάλυση με τη χρήση τρισδιάστατου προσομοιώματος



Ανελαστική ανάλυση για την διακρίβωση των μηχανισμών αστοχίας

III. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



Κ. Στυλιανίδης, Α. Σέξτος, Κ. Ζάμπας

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.
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.

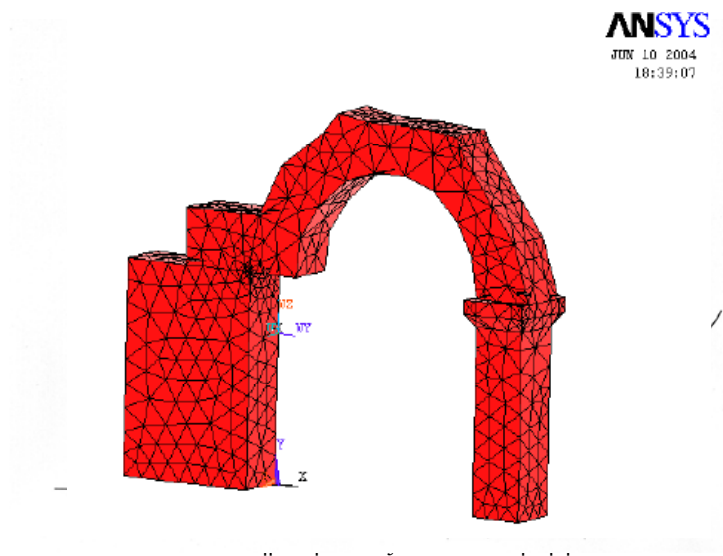
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



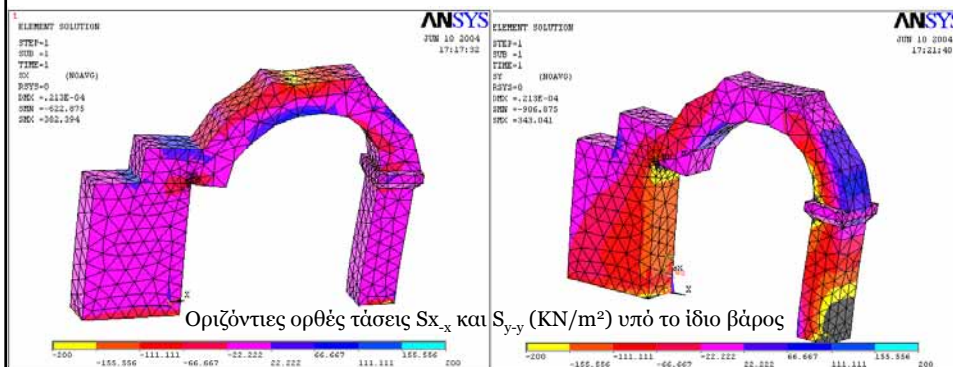
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

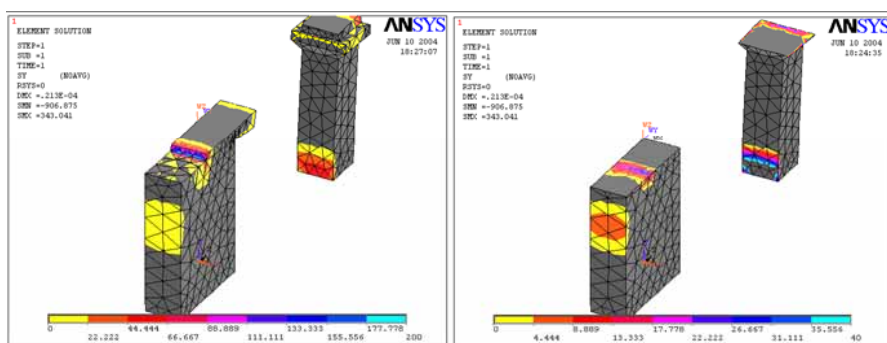
Στατική αναστήλωση του τόξου της δυτικής παρόδου του αρχαίου θεάτρου Φιλίππων



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 0.1MPa = 1.0kg/cm² 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



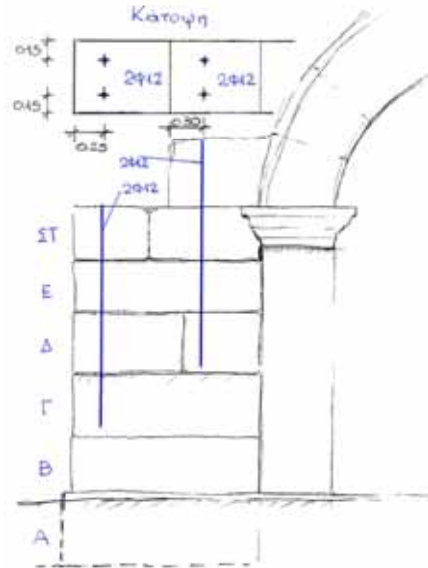
Στην περιοχή γύρω από το άκρο του ολόσωμου λίθου που καταλήγει στο κιονόκρανο αναπτύσσονται τάσεις εφελκυσμού με **μέγιστη τιμή 0.2MPa** οι οποίες μηδενίζονται σε απόσταση περίπου **40cm από το άκρο**. Με την εύλογη παραδοχή τριγωνικής κατανομής προκύπτει δύναμη $0.60 \times 0.40 \times 200 / 2 = 24 \text{KN} = 2.4 \text{t}$.

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 4φ12 ανοξείδωτου χάλυβα, κατηγορίας τουλάχιστον S220

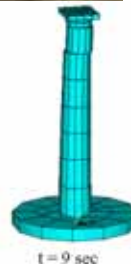
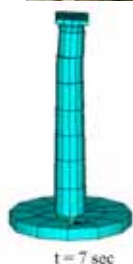


Απλός φορέας, απλή φόρτιση όμως απαιτείται σύνθετη προσομοίωση

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αναστήλωσης

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

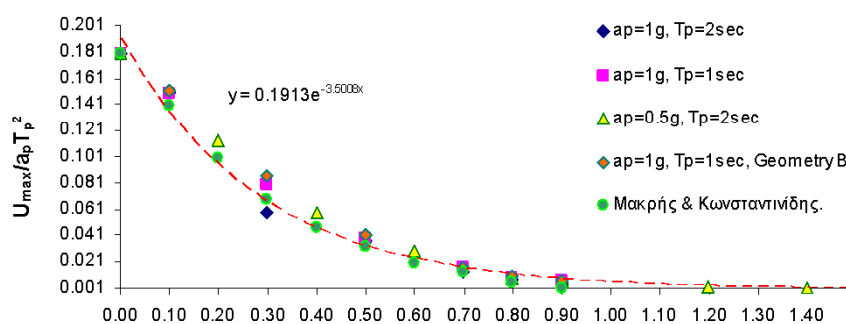
Ακρόπολη Λίνδου, Ρόδος



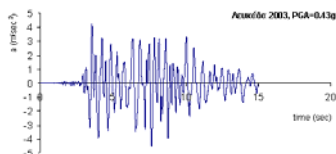
- Γεωμετρική μη-γραμμικότητα (μηχανισμοί τριβής) και μη-γραμμικότητα υλικού (θραύση πόλου-εμπολίου)
- Δυναμικά χαρακτηριστικά μεταβλητά στον χρόνο

Αργυρίου, Ν., Σέξτος, Α., Πιτλάκης, Κ. (2006) 'Αριθμητική μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς σπονδυλωτών κατασκευών', 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αναστυλώσεων, ΕΤΕΠ/ΑΜ

Ακρόπολη Λίνδου, Ρόδος



αδιάστατα μεγέθη της μέγιστης σχετικής μετακίνησης συναρτήσει της αντίστασης της διεπιφάνειας



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

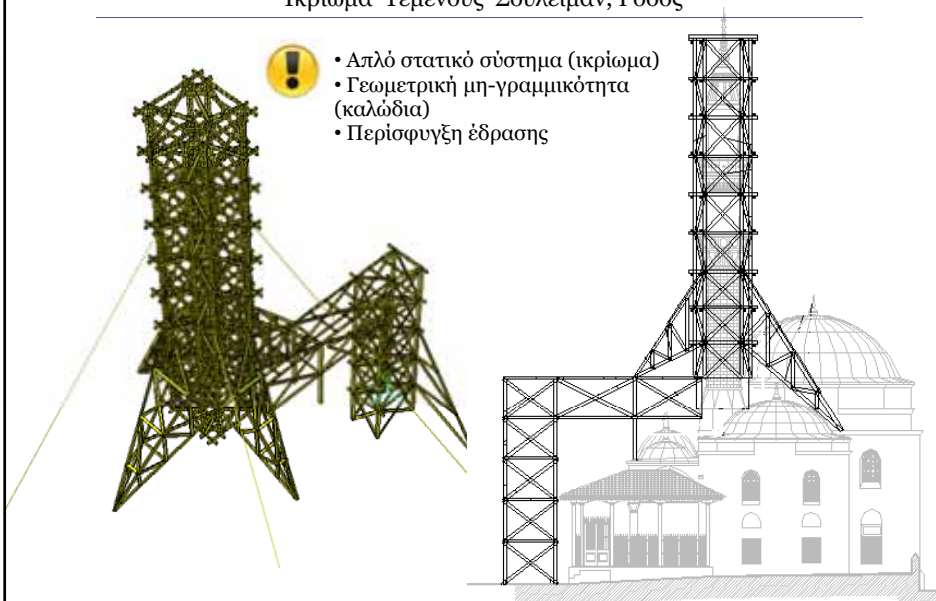
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς σπονδυλωτών μνημείων

IV. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο υποστήλωσης

Ικρίωμα Τεμένους Σουλεϊμάν, Ρόδος



- Απλό στατικό σύστημα (ικρίωμα)
- Γεωμετρική μη-γραμμικότητα (καλώδια)
- Περίσφυγξη έδρασης



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

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Σοφιανός, Ν., Σοφιανός, Μ., Σέξτος, Α., Στυλιανίδης, Κ., & Χατζηγώγος, Θ. (2009) «Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό Θεσσαλονίκης στον φέροντα οργανισμό της Αψίδας του Γαλερίου («Καμάρας»)». 3ο Εθνικό Συνέδριο: Ήπιες επεμβάσεις για την προστασία ιστορικών κατασκευών. Νέες τάσεις σχεδιασμού. Θεσσαλονίκη.

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



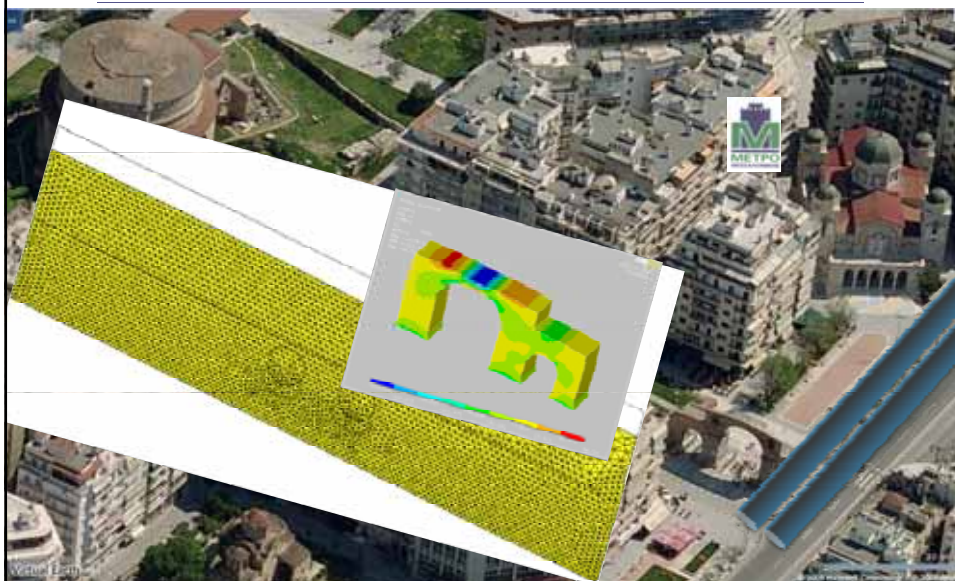
Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές

Επίπτωση της διάνοιξης του Μετρό στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



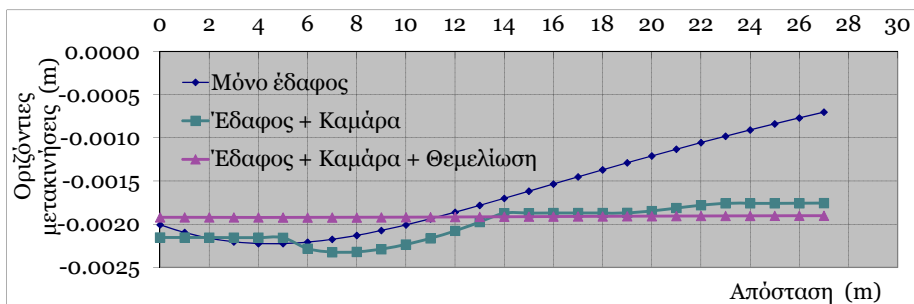
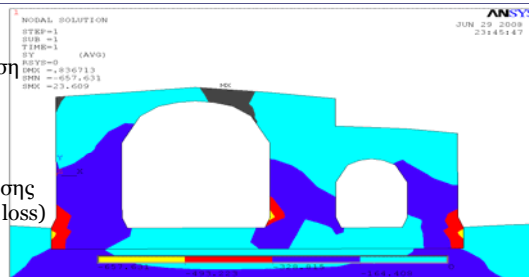
Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές

Πρόβλεψη βυθίσεων στον φέροντα οργανισμό της Καμάρας



Ακρίβεια προσομοιώματος εξαρτάται από την καλή γνώση

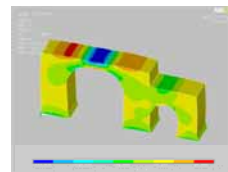
- εδάφους
- αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης
- τύπου (ευκαμψίας) θεμελίωσης
- μεθόδου διάνοιξης (volume loss)
- επανεπικαροποίηση βάση μετρήσεων



Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές

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.



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 εφέλκυσμ	max θλίψη	max εφέλκυσμ	max θλίψη	max εφέλκυσμ	max θλίψη	max εφέλκυσμ	max θλίψη	max εφέλκυσμ	max θλίψη	max εφέλκυσμ
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

Αριθμητική ανάλυση για την εκτίμηση των επιπτώσεων εκσκαφών σε υπερκείμενες μνημειακές

VI. Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας



Α. Σέξτος, Κ. Στυλιανίδης,

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

❑ 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.



Θέσεις Βυζαντινών Τειχών υπό μελέτη

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

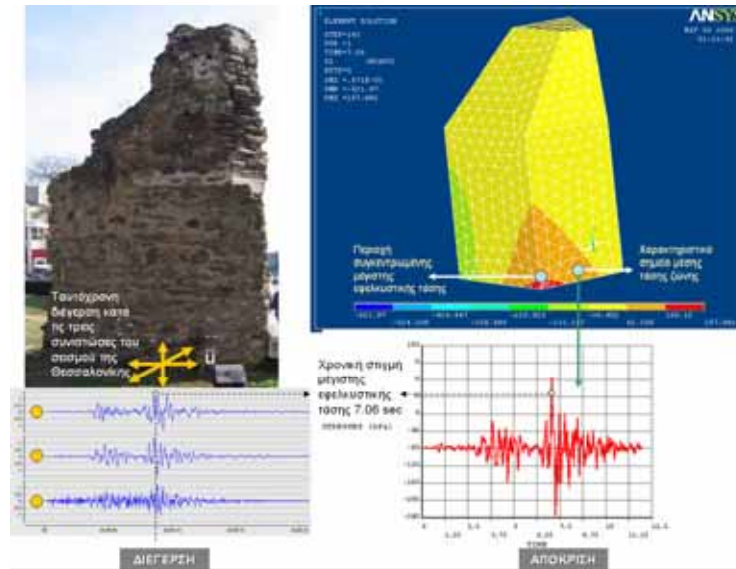
Σεισμική ιστορία της Θεσσαλονίκης

Ιστορικοί σεισμοί που προξένησαν βλάβες στην πόλη της Θεσσαλονίκης από το 380μ.Χ. έως σήμερα (Λεβεντάκης, Γ.-Α., 2003)

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

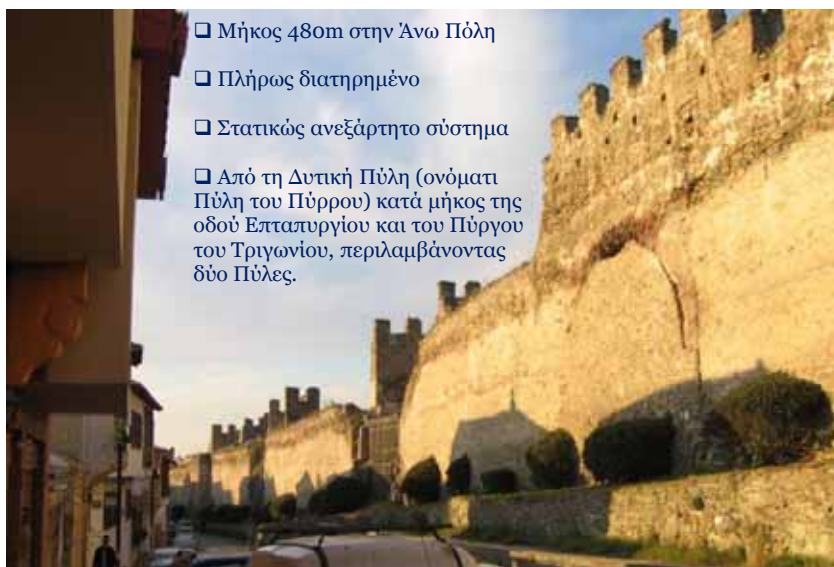
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Μελέτη του απλούστερου δυνατού στατικού φορέα



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη

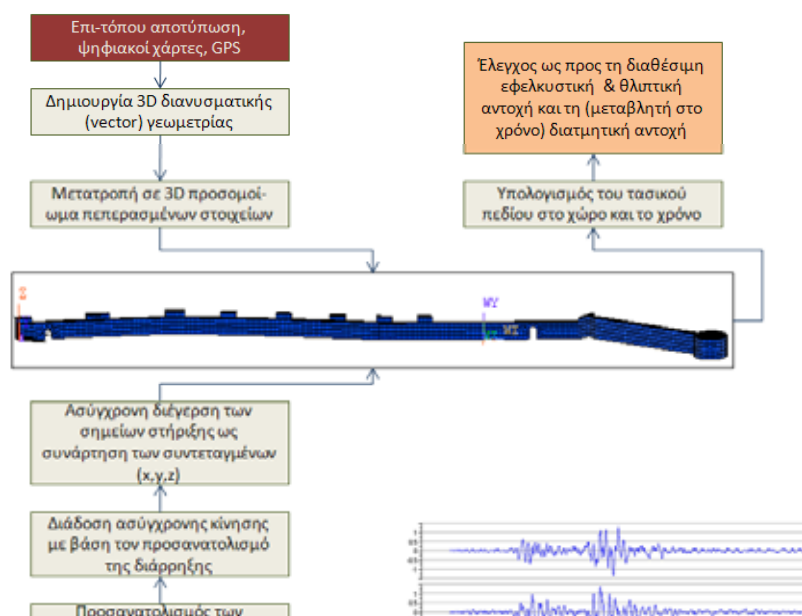


□ Προσομοίωση 3D γεωμετρίας με το πρόγραμμα ANSYS



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Άνω Πόλη



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)

Τάσεις σ_x vs Χρόνος (sec) for points A, B, and C.

Θέση	A	B	C
Μέγιστη εφ. τάση σ_{xz}	0.15 MPa	0.12 MPa	0.13 MPa
Εφελκυστική αντοχή		0.15 MPa	
Μέγιστη θλ. τάση σ_{xz}	0.71 MPa	0.60 MPa	0.53 MPa
Θλιπτική αντοχή		2.0 MPa	

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.

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.

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.

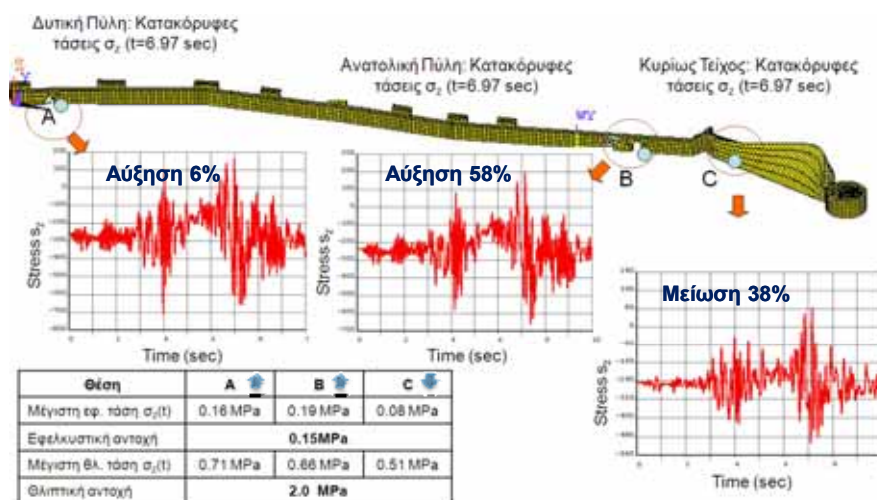
$$U_{i,x}(x_i, y_i, z_i, t) = U_{ref,x}(x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}, t - \frac{x_i}{V_{app}})$$

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

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

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.

Συνεκτίμηση ασύγχρονης κίνησης



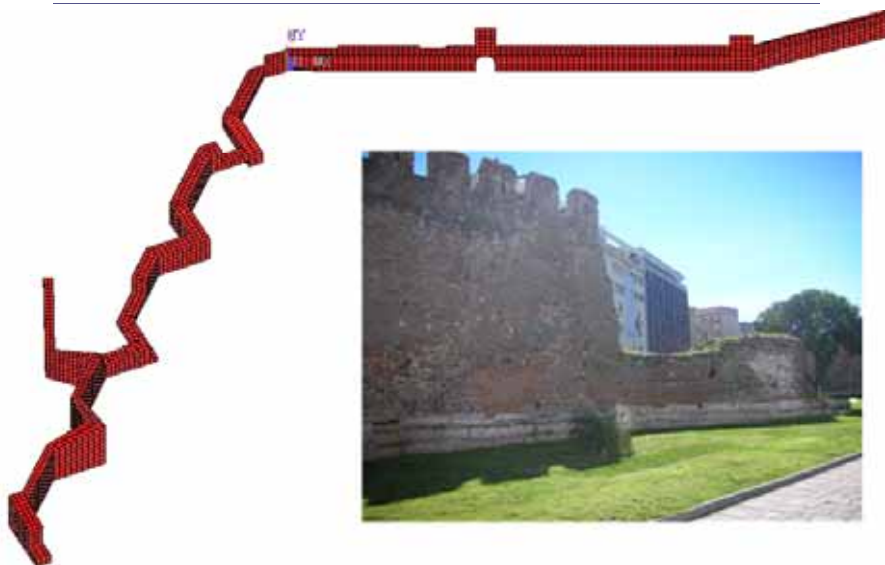
Stylianidis, K. and Sextos, A. (2009) "Back analysis of Thessaloniki Byzantine Land Walls as a means to assess its Seismic History", *International Journal of Architectural Heritage*, 3(4), 1-23.

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια



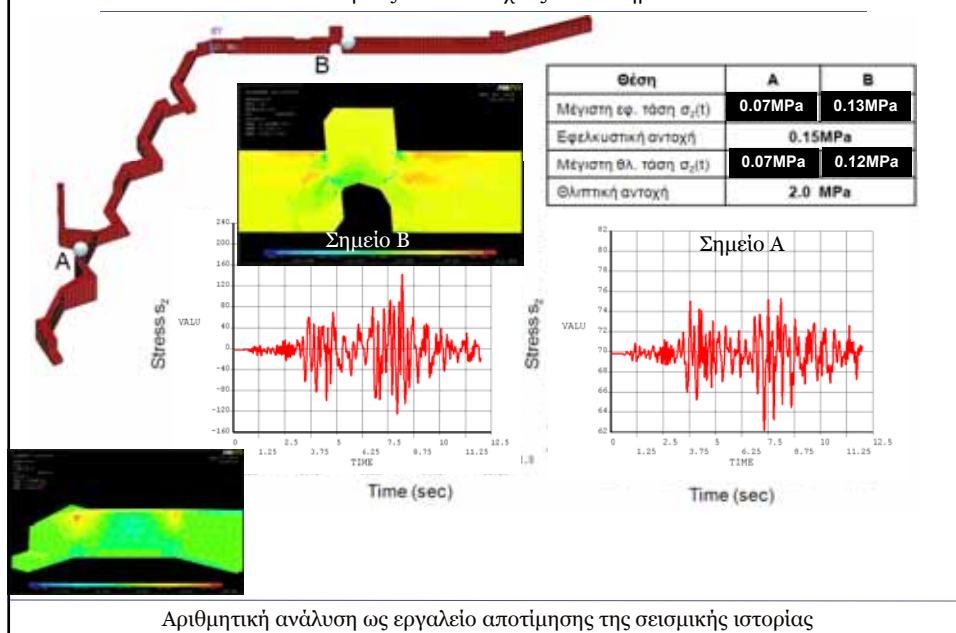
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια

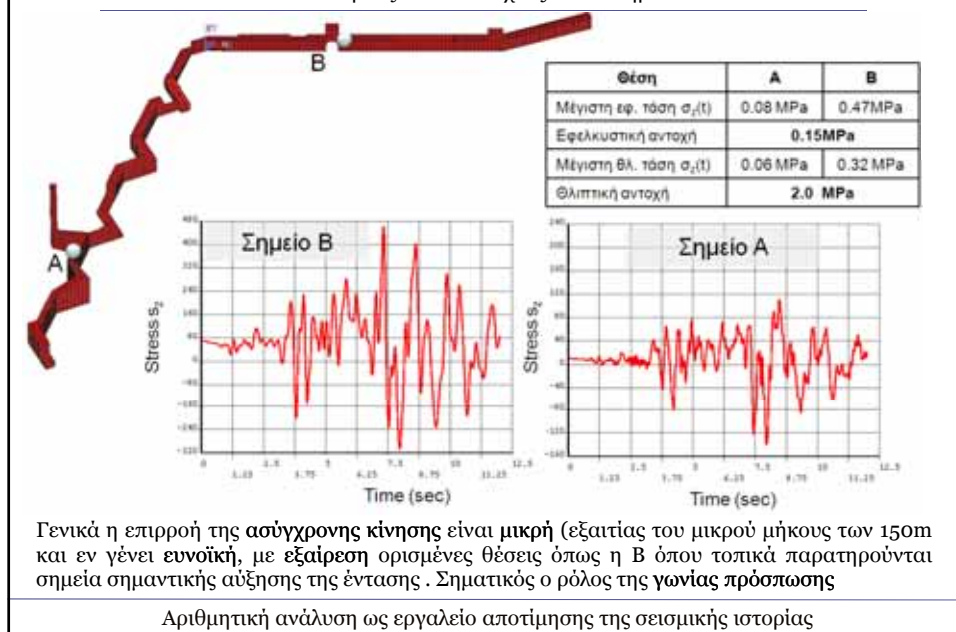


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια



Θέση Βυζαντινού Τείχους: Δικαστήρια





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 ίδιου 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)*

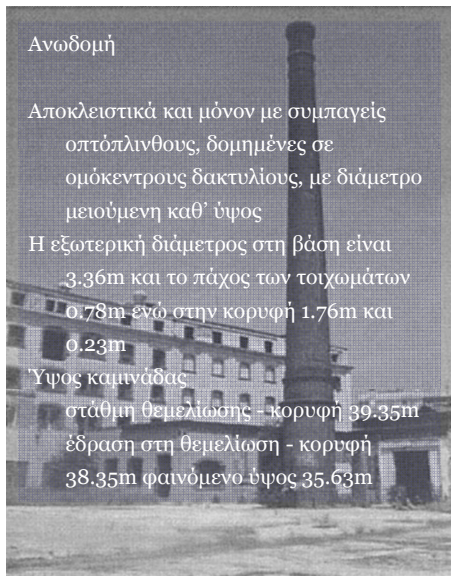
Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

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

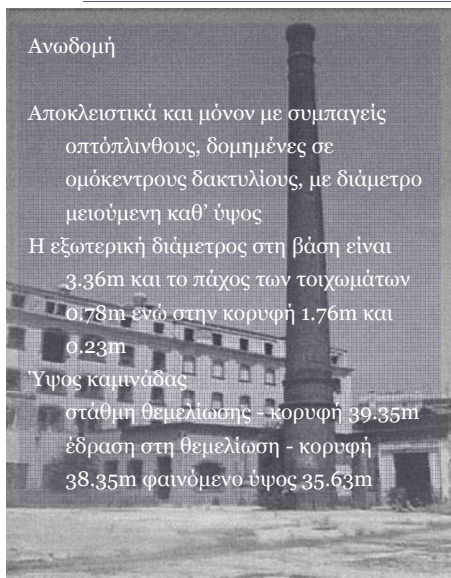
Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

Ανωδομή

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

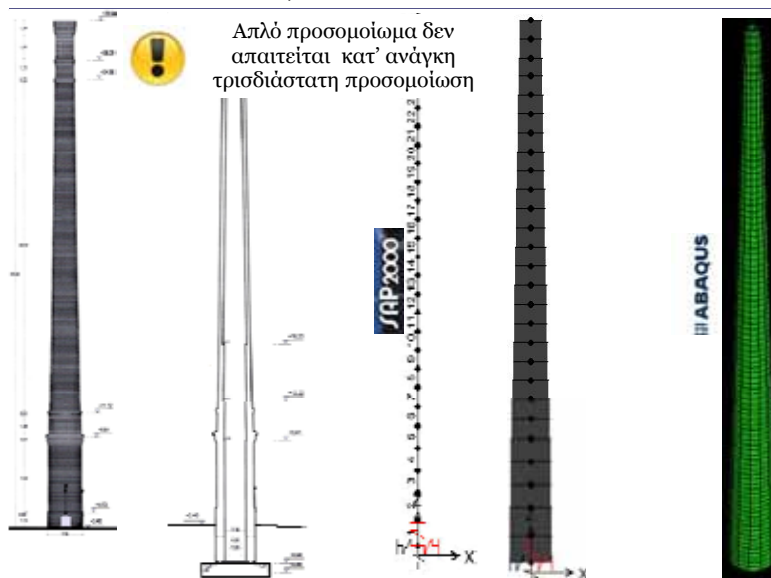
Η εξωτερική διάμετρος στη βάση είναι 3.36m και το πάχος των τοιχωμάτων 0.78m ενώ στην κορυφή 1.76m και 0.23m

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

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



Απλό προσομοίωμα δεν απαιτείται κατ' ανάγκη τρισδιάστατη προσομοίωση

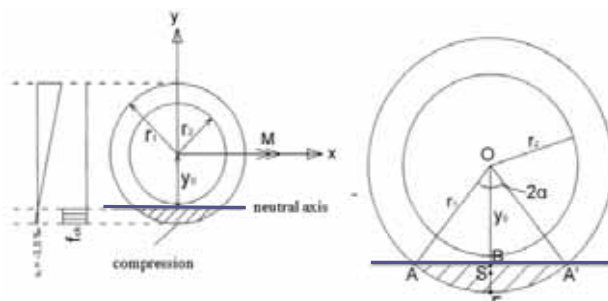
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



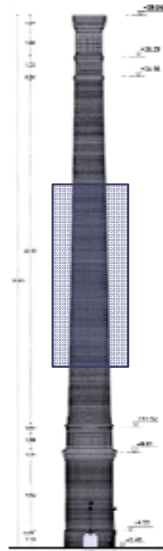
Η καμπτική αντοχή της διατομής υπό μεταβλητό αξονικό φορτίο υπολογίζεται αναλυτικά, σε τρεις ζώνες διαφορετικού επιπέδου θλίψης:

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



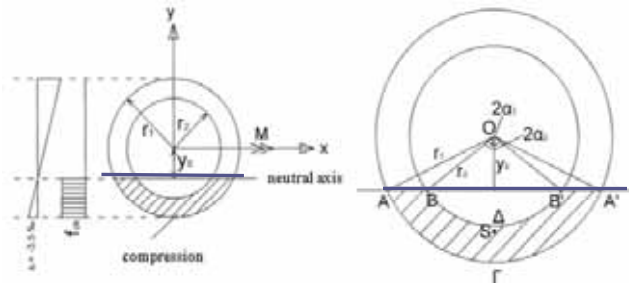
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



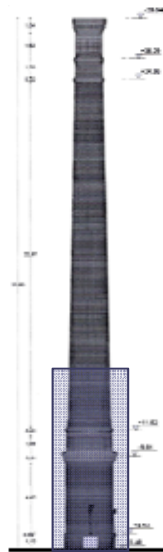
Η καμπτική αντοχή της διατομής υπό μεταβλητό αξονικό φορτίο υπολογίζεται αναλυτικά, σε τρεις ζώνες διαφορετικού επιπέδου θλίψης:

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



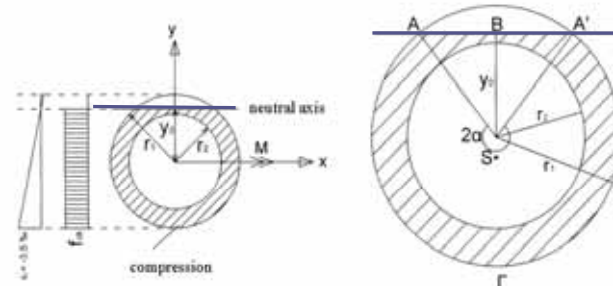
Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



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

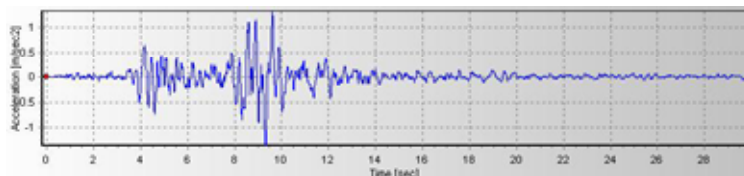
Περιοχή III (ισχυρή θλίψη): το μέρος της διατομής που τελεί υπό εφελκυσμό είναι περιορισμένο



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

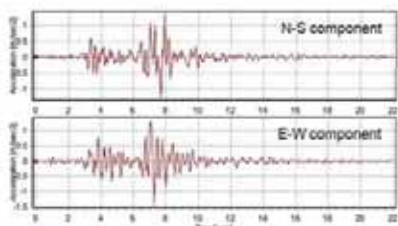
- Σημείο αναφοράς ο **σεισμός της Θεσσαλονίκης** (20 Ιουνίου 1978, λίμνη Βόλβη)
- Καταγραφή στο **ξενοδοχείο City** στο κέντρο της πόλης.



Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

Καταγραφή σεισμού 1978

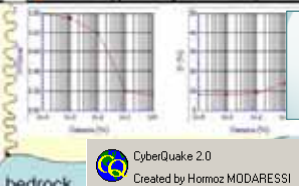


- Διαδικασία εκτίμησης σεισμικής κίνησης στη θέση Αλλατίνη με βάση τις πραγματικές καταγραφές



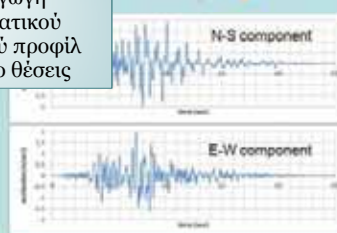
Εδαφική απόκριση

Ξενοδοχείο City Θεσ/νίκη 1978



Εισαγωγή
πραγματικού
εδαφικού προφίλ
στις δύο θέσεις

outcrop



Αποσυνέλιξη στο βραχώδες
υπόστρωμα

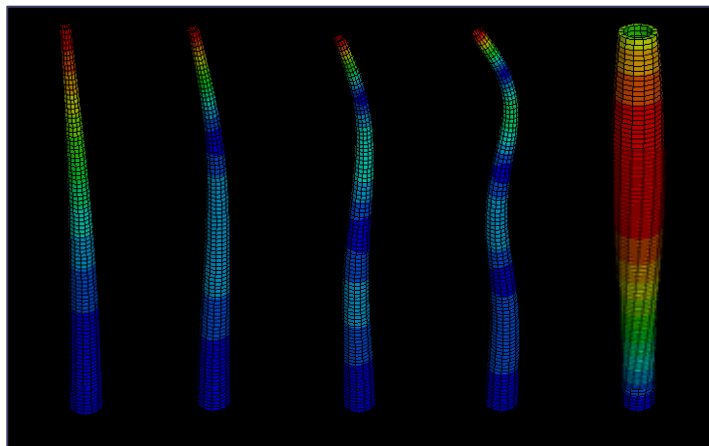
Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

- 2D & 3D σε καλή συμφωνία



Επιρροή εδαφικής ενδοσιμότητας:

- Αυξάνει την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο από 1.05 σε 1.72sec
- αλλάζει το συντελεστή συμμετοχής από 90.6% σε 40.3%



ABAQUS

SAP2000

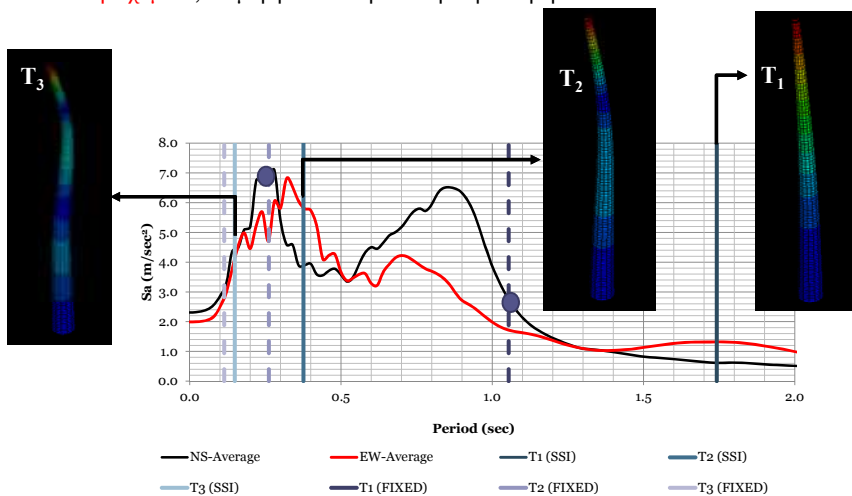
T_1 (sec)	T_2 (sec)	T_3 (sec)	T_4 (sec)	T_5 (sec)
0.977	0.297	0.137	0.078	0.066
1.054	0.262	0.114	0.063	N/A

Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»



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.

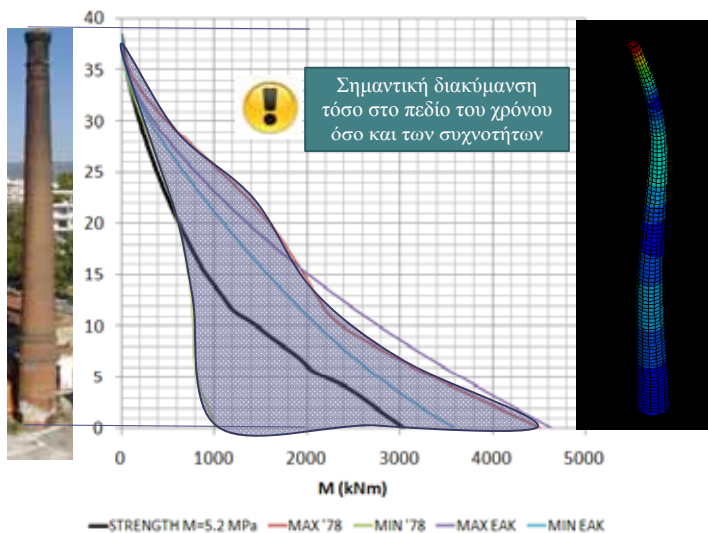


Αριθμητική ανάλυση ως εργαλείο αποτίμησης της σεισμικής ιστορίας

Καμινάδα Μύλου «Αλλατίνι»

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



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) λεπτομερή 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