

Αποκατάσταση μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων

Χρήστος Γιαρλέλης, Παύλος Κρεμέζης, Χρήστος Σπανός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μεθοδολογία στατικής μελέτης για τη δομική αποκατάσταση με ήπιες επεμβάσεις του μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων. Το κτίριο κατασκευάστηκε στις αρχές του 17ου αιώνα και αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα οθωμανικής αρχιτεκτονικής. Λόγω χρόνιας εγκατάλειψης το μνημείο έχει υποστεί σημαντικές βλάβες. Η μελέτη αποκατάστασης του φέροντος οργανισμού βασίζεται τόσο στη λεπτομερή αποτύπωση του φορέα όσο και στον ποιοτικό έλεγχο των υλικών και περιλαμβάνει στατικές και δυναμικές αναλύσεις με τη μέθοδο των επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων. Για τις δυναμικές αναλύσεις λαμβάνονται υπόψη, εκτός από τις απαιτήσεις του αντισεισμικού κανονισμού, και χαρακτηριστικές σεισμικές διεγέρσεις του ελληνικού χώρου. Η στατική μελέτη γίνεται σε δύο φάσεις: Στην πρώτη, αναλύεται η αρχική κατάσταση του μνημείου με στόχο την αιτιολόγηση των βλαβών. Στη δεύτερη, γίνονται διαδοχικές επιλύσεις του ίδιου προσομοιώματος αυξάνοντας το βαθμό επέμβασης με στόχο την εύρεση της βέλτιστης πρότασης (ελάχιστη δυνατή επέμβαση). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τις ευπαθείς περιοχές της κατασκευής και αιτιολογούν με αξιοσημείωτη ακρίβεια τις εμφανιζόμενες τοπικές καταρρεύσεις και ρηγματώσεις. Επιπρόσθετα, οι δυναμικές αναλύσεις με πραγματικούς σεισμούς του ελληνικού χώρου διαφωτίζουν ως προς τη σεισμική συμπεριφορά του μνημείου. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την καταλληλότητα της τελικής πρότασης αποκατάστασης και μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο οδηγό για επεμβάσεις σε παρόμοιου τύπου μνημεία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον για την ορθολογική αντιμετώπιση της αποκατάστασης μνημείων και τον προσδιορισμό της σεισμικής τους τρωτότητας. Μεγάλος αριθμός θεωρητικών εργασιών και μελετών εφαρμογής (εκτενής αναφορά δημοσιεύεται στα [1], [2]) προτείνει μεθοδολογίες κυρίως για σημαντικά μνημεία εκτός Ελλάδας. Αντίθετα στη χώρα μας λίγα σχετικά έχουν γίνει - δεδομένου του μεγάλου πλήθους και της ποικιλίας των μνημείων- προς την κατεύθυνση αυτή. Χαρακτηριστικές εργασίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία, [3], [4], [5] και [6].

Οι διαρκώς μεγαλύτερες δυνατότητες αριθμητικής προσομοίωσης και η αυξανόμενη συνειδητοποίηση του σεισμικού κινδύνου επιβάλλουν την ταχύτερη δημιουργία ενός κανονιστικού πλαισίου που να διέπει την ανάλυση και τις σωστικές επεμβάσεις.

Στην εργασία αυτή, που βασίζεται στη μελέτη της αποκατάστασης του μνημείου Χαμάμ στα Γιάννενα, γίνεται η παρουσίαση μιας μεθοδολογίας που συμβάλλει στην παραπάνω κατεύθυνση.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Πρόκειται για μονώροφο κτίσμα (φωτ. 1α και 1β), διαστάσεων 25.80 X 13.30 (σχήμα 1) το οποίο μελέτησε για πρώτη φορά ο Α. Ξυγγόπουλος, [7], ενώ περιγραφή του βρίσκεται και στη διατριβή της Ε. Κανετάκη, [8]. Κατασκευάστηκε στις αρχές πιθανώς του 17^{ου} αιώνα μετά την εγκατάσταση των Τούρκων στο Κάστρο.



Φωτογραφίες 1α, 1β. Το Χαμάμ Ιωαννίνων πριν και μετά την κατάρρευση του θόλου του ψυχρού χώρου.
Pictures 1a, 1b. The Ottoman Bath before and after the collapse of the dome of the cool chamber.

Το περιμετρικό κέλυφος του μνημείου είναι τοιχοποιία πάχους 1.00 m περίπου, ενώ οι θόλοι αποτελούνται από οπτόπλινθους, πάχους 0.30 m. Δε βρέθηκαν στοιχεία που να υποδηλώνουν την ύπαρξη τενόντων ή ξυλοδεσιών. Το κτίσμα αποτελείται από πέντε χώρους:

α. Ψυχρός χώρος: Πρόκειται για τετράγωνη αίθουσα η οποία καλύπτεται από ημισφαιρικό θόλο κατασκευασμένο από επίπεδους οπτόπλινθους τοποθετημένους ακτινωτά. Ο θόλος εδράζεται σε οκτάγωνο, εξωτερικά εμφανές, που δημιουργείται από οξυκόρυφα τύμπανα και γωνιακά επίσης οξυκόρυφα λοφία.

β. Μεταβατικός χώρος: Πρόκειται για επιμήκη καμαροσκεπή χώρο που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του κτιρίου.

γ. Κεντρικός θερμός χώρος: Έχει σχεδόν τετραγωνική κάτοψη που καλύπτεται από ημισφαιρικό θόλο κατασκευασμένο από επίπεδους οπτόπλινθους, τοποθετημένους ακτινωτά. Ο θόλος εδράζεται σε οκτάγωνο, εξωτερικά εμφανές, που δημιουργείται από οξυκόρυφα τύμπανα και τεταρτοσφαίρια. Ο χώρος έχει τρεις καμαροσκεπείς προεκτάσεις, στα ανατολικά, νότια και δυτικά.

δ. Ατομικά δωμάτια (Χαλβέτ): Πρόκειται για τέσσερα τετράγωνα δωμάτια πλευράς 2.40 m, τοποθετημένα στις γωνίες του θερμού χώρου που καλύπτονται από ημισφαιρικούς θόλους.

ε. Χώρος της δεξαμενής και της εστίας: Είναι επιμήκης καμαροσκεπής χώρος στο νότιο άκρο του κτίσματος.

Το δάπεδο των ατομικών δωματίων καθώς και του μεταβατικού και κεντρικού χώρου θερμαινόταν με υπόκαυστα. Ήταν κατασκευασμένο με μαρμαρίνες πλάκες τοποθετημένες πάνω σε κυλινδρικούς πεσσούς. Το δάπεδο αυτό δε σώζεται σήμερα.

Η έδραση του μνημείου έγινε σε θεμελιοδοκούς από λιθοδομή πάχους 1.00 m περίπου, η άνω επιφάνεια των οποίων αποτελεί τη βάση των υποκαύστων σε στάθμη -1.20 m από την επιφάνεια του εδάφους.

3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ

Το μνημείο έχει εγκαταλειφθεί εδώ και πολλά χρόνια και παρουσιάζει εικόνα κτιρίου επικινδύνως ετοιμόρροπου (φωτ. 1β). Οι φθορές - βλάβες έχουν σημειωθεί λόγω της παντελούς έλλειψης συντήρησης και επιδεινώνονται από τις συνεχείς βροχοπτώσεις της περιοχής. Από στατικής άποψης η παθολογία του διακρίνεται σε:

1. Βλάβες γενικού χαρακτήρα που εκδηλώνονται με διαταραχή της συνέχειας και της μορφής του δομικού συστήματος (καταρρεύσεις τμημάτων, εκτενείς ρηγματώσεις).



Φωτογραφίες 2α, 2β. Βλάβες σε θόλους και καμάρες.
Pictures 2a, 2b. Damages at domes and arches.

2. Βλάβες τοπικού χαρακτήρα που εκδηλώνονται με φθορές των υλικών δόμησης (λίθοι, τούβλα, κονιάματα).

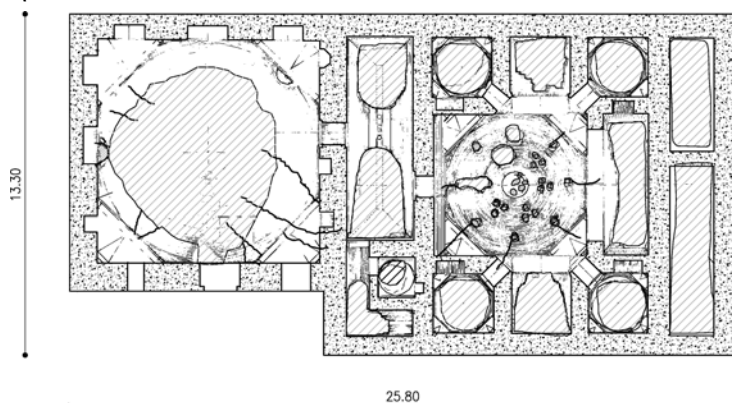
3.1 Βλάβες γενικού χαρακτήρα

A. Καταρρεύσεις των ακόλουθων τμημάτων (σχήμα 1):

- α. Ημισφαιρικός θόλος του ψυχρού χώρου. Η κατάρρευση έγινε μετά το 1999 (φωτ. 1β).
- β. Ημικυλινδρικός θόλος του μεταβατικού χλιαρού χώρου, (σώζεται μόνο ένα μικρό τμήμα).
- γ. Ημισφαιρικός θόλος του μικρού δωματίου στο μεταβατικό χλιαρό χώρο.
- δ. Ημικυλινδρικοί θόλοι του διαδρόμου και μικρού δωματίου που βρίσκεται στο μεταβατικό χλιαρό χώρο.
- ε. Ημισφαιρικοί θόλοι των χώρων ατμών.
- στ. Ημικυλινδρικοί θόλοι των χώρων μεταξύ χώρου ατμών και θερμού χώρου.
- ζ. Ημισφαιρικοί θόλοι του χώρου της δεξαμενής και της εστίας.
- η. Τοπικές καταρρεύσεις περιμετρικά των οπών στον ημισφαιρικό θόλο του θερμού χώρου.

B. Εκτενείς ρηγματώσεις:

- α. Ρηγματώσεις στο απομένον τμήμα του ημισφαιρικού θόλου του ψυχρού χώρου που έχουν δημιουργηθεί από τη μετακίνηση οπτόπλινθων για την επίτευξη ισορροπίας μετά την κατάρρευση.



Σχήμα 1. Άνοψη: διακρίνονται οι ρηγματώσεις και καταρρεύσεις τμημάτων.
Figure 1. Ceiling plan: cracks and collapses are denoted.

- β. Κατακόρυφες ρωγμές οι οποίες ξεκινούν από τη βάση του θόλου του ψυχρού χώρου (οκτάγωνο) και φτάνουν ως το δάπεδο (τετραγωνική βάση). Οι ρωγμές αυτές βρίσκονται κυρίως στις θέσεις που υπάρχουν τεταρτοσφαίρια, (φωτ. 2α).
- γ. Ρωγμή μεγάλου εύρους 3-5 cm στο βόρειο τοίχο του θερμού χώρου, η οποία οφείλεται σε τοπική κατάρρευση του θόλου, ανακατανομή εντάσεως και επιβολή πρόσθετων παραμορφώσεων στην τοιχοποιία.
- δ. Ρωγμές κατακόρυφες στον ημισφαιρικό θόλο του θερμού χώρου, οι οποίες επεκτείνονται στην τοιχοποιία (οκταγωνική βάση). Οι ρωγμές αυτές έχουν δημιουργηθεί από τις τοπικές καταρρεύσεις των οπών του θόλου από τις βροχοπτώσεις.

3.2 Βλάβες τοπικού χαρακτήρα

- α. Αποδιοργάνωση σε αρκετές θέσεις, του κονιάματος δομήσεως λόγω ανερχόμενης υγρασίας. Η αποδιοργάνωση αυτή εντοπίζεται κυρίως στους πεσσούς στους οποίους εδράζονται οι εσωτερικοί τοίχοι του μνημείου, (φωτ. 2β), και στους περιμετρικούς τοίχους εσωτερικά.
- β. Αποδιοργάνωση τοιχοποιίας στις στέψεις των τοίχων (φωτ. 2β) και των οκταγωνικών βάσεων των θόλων λόγω κακής απορροής των ομβρίων.
- γ. Ανάπτυξη χαμηλής βλάβστησης τόσο στον ημισφαιρικό θόλο που σώζεται, όσο και στη στέψη των τοίχων (φωτ. 2β).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η μελέτη έγινε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη αναλύθηκε η αρχική κατάσταση του μνημείου με στόχο την αιτιολόγηση των βλαβών. Ως αρχική κατάσταση θεωρήθηκε αυτή του αποκατεστημένου μνημείου μετά τη συμπλήρωση των τμημάτων που κατέρρευσαν.

Στη δεύτερη, αναλύθηκε το μνημείο μετά την ενίσχυσή του με βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας (τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων στις ρωγμές, αρμολογήματα, ενέματα και οπλισμένα επιχρίσματα) και την τοποθέτηση ελκυστήρων. Για την εύρεση του απαιτούμενου αριθμού και θέσης των τελευταίων έγιναν διαδοχικές επιλύσεις του προσομοιώματος με αυξανόμενο βαθμό επεμβάσεων με στόχο την εύρεση της βέλτιστης πρότασης (ελάχιστη δυνατή επέμβαση). Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί η στατική ανάλυση της τελικής πρότασης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αναλύσεις έγιναν με παραδοχή ελαστικής συμπεριφοράς.

5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη βασίστηκε στη λεπτομερή αποτύπωση του φορέα και στον ποιοτικό έλεγχο των υλικών. Τα στοιχεία που προέκυψαν αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

5.1 Ποιότητα υλικών δομήσεως

Όπως προαναφέρθηκε, το περιμετρικό κέλυφος του μνημείου είναι λιθοδομή ενώ οι θόλοι αποτελούνται από οπτόπλινθους. Οι λίθοι είναι ασβεστολιθικής προέλευσης και γενικά μικρού μεγέθους ενώ οι οπτόπλινθοι είναι συμπαγείς με μεγάλη επιφάνεια και μικρό πάχος (3 cm). Ως προς το κονίαμα δομήσεως

διακρίνονται τρεις τύποι: (1) αυτό της δόμησης των θόλων, (2) αυτό της δόμησης της τοιχοποιίας και (3) αυτό των υδραυλικών εγκαταστάσεων.

Με βάση τις ερευνητικές εργασίες που έγιναν προέκυψαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών δομήσεως (λίθοι, οπτόπλινθοι, κονίαμα) και της τοιχοποιίας ως σύνολο (τοιχοποιία από ημιμάξευτους λίθους, τοιχοποιία από λαξευτούς λίθους, τοιχοποιία από οπτόπλινθους).

Ως προς τα υλικά δομήσεως, λίθους και οπτόπλινθους, μετρήθηκαν το φαινόμενο βάρος και η αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη και διάρρηξη και προέκυψαν αντίστοιχα οι τιμές 26.5 KN/m^3 / 81.150 MPa / 6.870 MPa για τους λίθους και 16.8 KN/m^3 / 3.730 MPa / 2.650 MPa για τους οπτόπλινθους. Για τα κονιάματα δόμησης των θόλων και τοιχοποιίας μετρήθηκε η αντοχή σε εφελκυσμό και προέκυψαν οι τιμές 0.219 MPa και 0.110 MPa αντίστοιχα.

Ως προς την τοιχοποιία, μετρήθηκαν το φαινόμενο βάρος, οι ελαστικές σταθερές, η θλιπτική αντοχή και η εφελκυστική αντοχή κάθετα και παράλληλα προς τους αρμούς και τέλος η διατμητική αντοχή σε οριζόντια ολίσθηση και σε διαγώνια ρηγμάτωση. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

5.2 Έδαφος

Η απουσία στοιχείων από γεωτρήσεις δυσχεραίνει την εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους. Γενικά η περιοχή του κάστρου εδράζεται σε συμπαγές έδαφος το οποίο θεωρήθηκε ότι εντάσσεται στην κατηγορία Α του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.).

5.3 Φορτία

Ως προς τα μόνιμα φορτία, το σημαντικότερο είναι το ίδιο βάρος του μνημείου λόγω των μεγάλων διατομών της τοιχοποιίας. Η ακρίβεια της αποτύπωσης (πάχη, αλλαγές διατομής, γεμίσματα) συντελεί στο σωστό καθορισμό του. Επιπρόσθετα λαμβάνεται υπόψιν η πιθανή επικάλυψη της οροφής (0.20 KN/m^2).

Τα κινητά φορτία περιλαμβάνουν τις μεταβλητές δράσεις σεισμού, ανέμου και χιονιού. Για το πρώτο γίνεται λεπτομερής αναφορά στη συνέχεια (ενότητα 7), ενώ η δράση του ανέμου υπερκαλύπτεται από τα σεισμικά φορτία. Τέλος, τα φορτία χιονιού καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 1.

Πίνακας 1. Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας .
Table 1. Mechanical properties of masonry.

Χαρακτηριστικά τοιχοποιίας	Μηχανικές ιδιότητες τοιχοποιίας (MPa)		
	Ημιμάξευτης	Λαξευτής	Οπτοπλινθοδομής
Θλιπτική αντοχή κάθετα / παράλληλα προς αρμούς	5.000/2.500	6.500/2.500	4.150/2.500
Εφελκυστική αντοχή κάθετα / παράλληλα προς αρμούς	0.073/0.146	0.073/0.146	0.146/0.293
Ελαστικές σταθερές $E / G / \nu$	5000/2000/0.25	6500/2600/0.25	6500/2500/0.25

Πίνακας 2. Σημαντικοί σεισμοί που έπληξαν την πόλη των Ιωαννίνων κατά το χρόνο ζωής του μνημείου.
Table 2. Major historic earthquakes at the city of Gianena during the lifespan of the monument.

Χρονολογία/ Πλειόσειστη περιοχή	Μέγεθος (M)	Ένταση (MM)	Περιγραφή Βλαβών
1740 Γιάννενα	6.2	VIII (Γιάννενα)	Σοβαρές βλάβες σε όλα τα κτίρια της πόλης
1743 Κέρκυρα	7.0	VIII (Γιάννενα)	Σοβαρές βλάβες σε όλα τα κτίρια της πόλης
1813 Γιάννενα	6.2	IX (Εκκλησοχώρι)	Λιγοστές βλάβες στην πόλη, καταρρεύσεις σε γειτονικά χωριά
1823 Σαγιάδα	6.4	IX (Σαγιάδα)	Καταρρεύσεις κτιρίων στον άξονα Γιάννενα-Σαγιάδα
1858 Γιάννενα	6.0	VIII (Γιάννενα)	Σοβαρές βλάβες σε πολλά κτίρια της πόλης
1867 Γιάννενα	6.2	VIII (Γιάννενα)	Σοβαρές βλάβες σε πολλά κτίρια της πόλης
1898 Γιάννενα	6.3	VIII (Γιάννενα)	Καταρρεύσεις κτιρίων στην πόλη

6. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή παρουσιάζει αξιόλογη σεισμική επικινδυνότητα όπως τεκμηριώνεται στο σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, (Παπαζάχος [9], Σπυρόπουλος, [10]). Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι κυριότεροι ιστορικοί σεισμοί που έπληξαν την πόλη των Ιωαννίνων. Οι σεισμοί αυτοί είναι σημαντικοί και σε μέγεθος (πάνω από 6 βαθμούς της κλίμακας Richter) και σε ένταση (περίπου VIII, Modified Mercalli).

Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. η περιοχή του μνημείου ανήκει στην Ζώνη Ι ($\alpha=0.16$), ενώ λόγω της σημασίας του έχει συντελεστή σπουδαιότητας 1.3. Δεδομένης αυτής της σημασίας κρίθηκε σκόπιμος ο έλεγχος με επιλεγμένες καταγραφές από ισχυρούς ελληνικούς σεισμούς (πίνακας 3). Πρόκειται για καταγραφές σε σκληρό έδαφος, ώστε να υπάρχει σχετική αντιστοιχία με το εδαφικό προφίλ της περιοχής του μνημείου και σε θέσεις πολύ κοντά στο επίκεντρο, όπως συνέβη με τους περισσότερους από τους ιστορικούς σεισμούς που έπληξαν την πόλη των Ιωαννίνων.

7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

7.1 Γενικά

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ETABS 8. Το μνημείο προσομοιώθηκε με χωρικό φορέα με διαίρεση των τοιχοποιιών σε επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Το προσομοίωμα περιλαμβάνει 6800 κόμβους και 8400 τετραπλευρικά και τριγωνικά στοιχεία με ιδιότητες κελύφους. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός στοιχείων κρίθηκε απαραίτητος λόγω της πολυπλοκότητας της δομής του μνημείου και του αριθμού των θόλων.

Το προσομοίωμα δεσμεύτηκε έναντι κατακόρυφων και οριζοντίων μετακινήσεων στη στάθμη της έδρασής του μνημείου (-1.20 m από τη στάθμη εδάφους).

Πίνακας 3. Στοιχεία από καταγραφές σε σκληρό έδαφος ισχυρών ελληνικών σεισμών.
Table 3. Peak ground motions of major Greek earthquakes recorded on stiff soil.

Σεισμός/ Ημερομηνία	Θέση καταγραφής	Μέγεθος (M _s)	Απόσταση από επίκεντρο (km)	Απόσταση από ρήγμα (km)	Εδαφικό υπόβαθρο	Προσανα τολισμός οργάνου	PGA (g)
Καλαμάτα 13/09/1986	Καλαμάτα (Κτίριο ΟΤΕ)	5.8	10	5	Σκληρό έδαφος	L N265 T N355	0.22 0.30
Αίγιο 15/06/1995	Αίγιο (Κτίριο ΟΤΕ)	6.2	18	4	Σκληρό έδαφος	L N-S T E-W	0.54 0.49
Αθήνα 07/09/1999	Αθήνα (Σύνταγμα)	5.9	17	13	Σκληρό έδαφος	L N10 T N100	0.15 0.23

7.2 Δυναμική συμπεριφορά

Από τις δυναμικές αναλύσεις προκύπτει ότι η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του μνημείου είναι περίπου 0.05s και έτσι υπό σεισμική διέγερση λειτουργεί ουσιαστικά ως άκαμπτο σώμα. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, κρίθηκε σκόπιμο τα δυναμικά φορτία να εφαρμοστούν ψευδοστατικά με την επιβολή οριζόντιων φορτίων όπως προκύπτουν από τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση πολλαπλασιασμένη με τη φασματική προσαύξηση που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο όπως προκύπτει από τα φάσματα του σχήματος 2.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς του μνημείου, q , λαμβάνεται ίσος με 1.00 .

7.3 Δράσεις σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς

Για τις απαιτήσεις της ανάλυσης με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς (Ευρωκώδικας 6 για σχεδιασμό κτιρίων από τοιχοποιία, και ΕΑΚ 2000) λαμβάνονται υπόψιν οι παρακάτω συνδυασμοί φορτίσεων:

1. Βασικός συνδυασμός (Κατακόρυφα Φορτία).

$$S_d = 1.35 \times S_G + 1.50 \times S_Q \quad (7.1)$$

2. Σεισμικοί συνδυασμοί:
 Σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση X (4 συνδυασμοί).

$$S_d = S_G + 0.3 \times S_Q \pm S_X \pm 0.30 \times S_Y \quad (7.2)$$

- Σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση Y (4 συνδυασμοί).

$$S_d = S_G + 0.3 \times S_Q \pm S_X \pm 0.30 \times S_Y \quad (7.3)$$

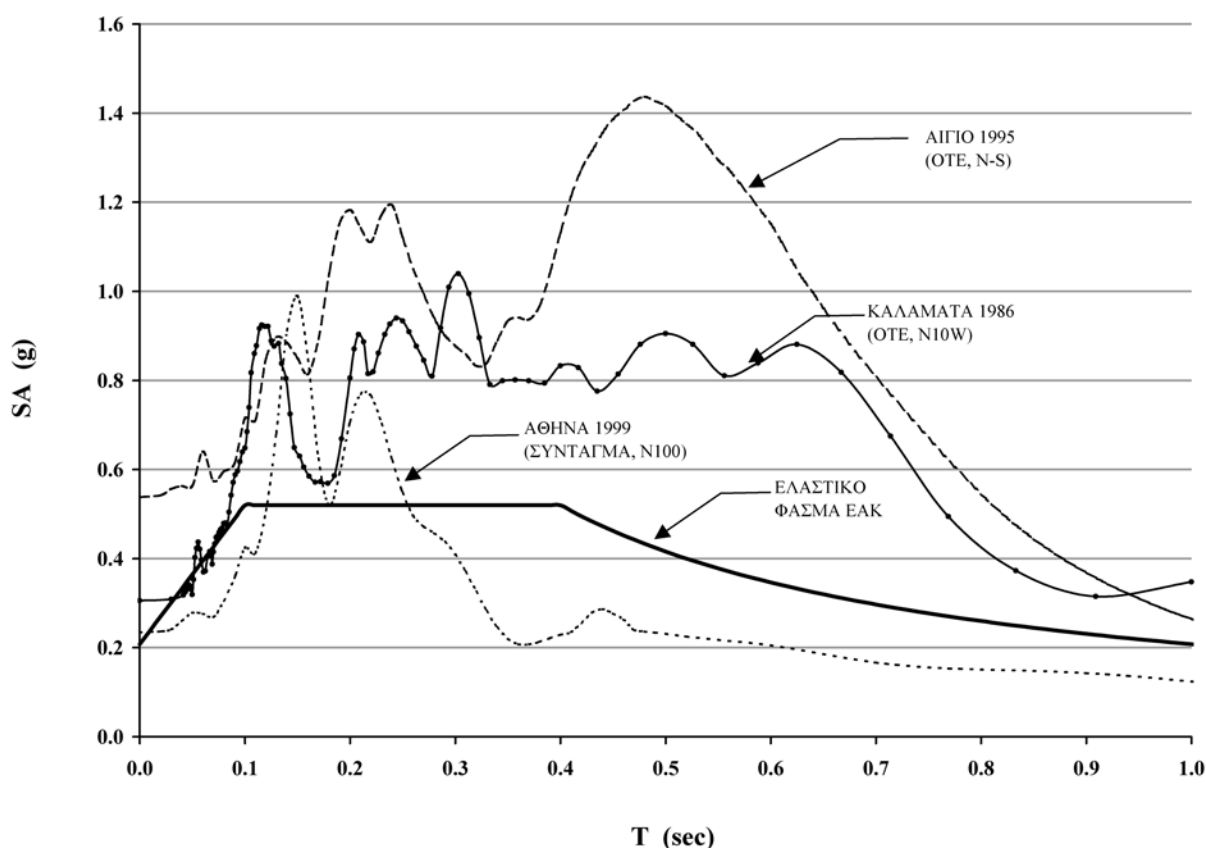
Όπου S_G : δράσεις από μόνιμα φορτία.

S_Q : δράσεις από κινητά φορτία (χιόνι).

S_X, S_Y : σεισμικές δράσεις κατά τις διευθύνσεις X και Y αντίστοιχα.

7.4 Δράσεις από χαρακτηριστικές σεισμικές διεγέρσεις

Για την περαιτέρω διερεύνηση της συμπεριφοράς του μνημείου υπό χαρακτηριστικές διεγέρσεις του ελληνικού χώρου που θα μπορούσαν να πλήξουν την πόλη των Ιωαννίνων (πίνακας 2), θεωρήθηκε η ταυτό-



Σχήμα 2. Ελαστικά φάσματα απόκρισης ($\zeta=5\%$).
Figure 2. Acceleration response spectra ($\zeta=5\%$).

χρονη δράση και των δύο συνιστωσών X και Y του σεισμού με εναλλαγή του προσήμου και της διεύθυνσης της δράσης. Αναλυτικότερα οι αναλύσεις αυτές έγιναν με τους συνδυασμούς:

$$S_d = S_G + 0.3 \times S_Q \pm S_X \pm S_Y \quad (7.4)$$

Όπου S_G , S_Q , S_X , S_Y είναι οι δράσεις της παραγράφου 7.3.

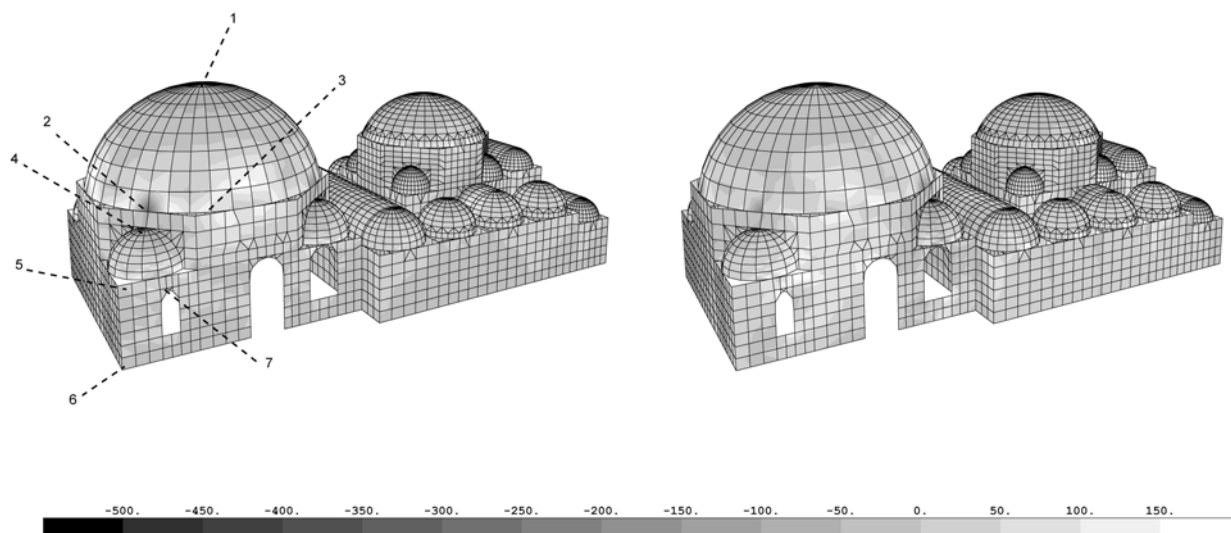
Στο σχήμα 2, παρουσιάζονται οι φασματικές επιταχύνσεις της ισχυρότερης διεύθυνσης της κάθε διέγερσης (Ambraseys et al., [11]).

7.5 Έλεγχος κρίσιμων διατομών

Με βάση τα εντατικά μεγέθη από τους συνδυασμούς δράσεων που αναφέρθηκαν γίνεται ο έλεγχος των κρίσιμων περιοχών του μνημείου μέσω των ορθών τάσεων, παράλληλα και κάθετα προς τους αρμούς, S_{11} και S_{22} , και των διατμητικών S_{12} , S_{23} , S_{13} . Για την καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης χρησιμοποιούνται επίσης οι κύριες τάσεις $S_{\max}$ και $S_{\min}$. Σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο προκύπτουν δύο τιμές για κάθε τάση: μια για την εσωτερική και μία για την εξωτερική επιφάνεια του στοιχείου.

8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

Η πρώτη φάση των υπολογισμών περιλαμβάνει αναλύσεις της αρχικής κατάστασης του μνημείου δηλαδή αυτής του αποκατεστημένου μνημείου μετά τη συμπλήρωση των τμημάτων που κατέρρευσαν.



Σχήμα 3α, 3β. Αρχική κατάσταση: μέγιστες κύριες τάσεις, (KPa), από βασικό και σεισμικό συνδυασμό.
Figure 3a, 3b. Original structure: max principal stresses, (KPa), from gravity and seismic load combination.

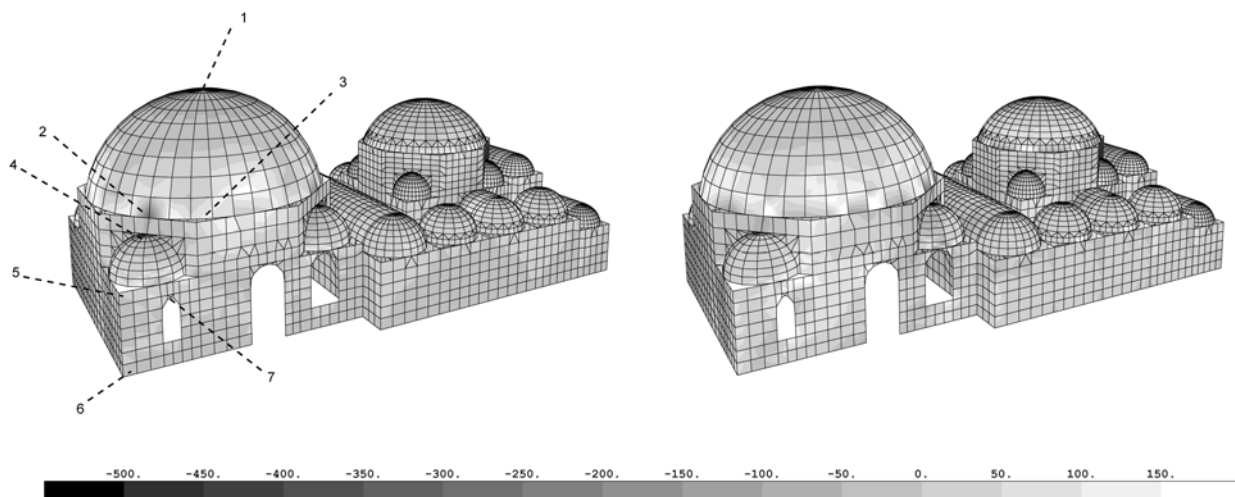
Η ανάλυση έγινε σύμφωνα με τις δράσεις που προβλέπονται από τους ισχύοντες κανονισμούς, με τους συνδυασμούς φορτίσεων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 7. Από τον έλεγχο των τάσεων προκύπτει ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι θλιπτικές τάσεις είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο με τις εφελκυστικές τάσεις που εντοπίζονται κυρίως στις στέψεις των μεγάλων θόλων του θερμού και του ψυχρού χώρου του μνημείου. Στα σχήματα 3α και 3β παρουσιάζονται με τη μορφή ισοτασικών επιφανειών οι κύριες τάσεις S_{max} από τις οποίες προκύπτουν οι θέσεις των εφελκυστικών τάσεων. Στο σχήμα 3α, παρουσιάζονται οι τάσεις από το βασικό συνδυασμό, σχ. (7.1), ενώ στο σχήμα 3β, αυτές από το συνδυασμό με σεισμική δράση, σχ. (7.2). Τέλος στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι ορθές τάσεις, S_{11} και S_{22} , παράλληλα και κάθετα προς τους αρμούς αντίστοιχα, σε χαρακτηριστικές θέσεις του κτιρίου (οι θέσεις αυτές, 1-7, επισημαίνονται στα σχήματα 3 και 4).

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τις ευπαθείς περιοχές της κατασκευής και αιτιολογούν με αξιοσημείωτη προσέγγιση τις εμφανιζόμενες καταρρεύσεις και ρηγματώσεις όπως μπορεί να συναχθεί από τη σύγκριση των σχημάτων 3α και 3β με την απεικόνιση της παθολογίας στην άνοψη του μνημείου (σχήμα 1). Αυτό αποδεικνύει και την αξιοπιστία του χρησιμοποιούμενου προσομοιώματος.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι είναι αναγκαία η ενίσχυση του μνημείου με βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας και τοποθέτηση ελκυστήρων στις ευπαθείς περιοχές.

9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

Η δεύτερη φάση των υπολογισμών περιλαμβάνει αναλύσεις της συμπεριφοράς του μνημείου μετά την ενίσχυσή του με βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας (τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων στις ρωγμές, αρμολογήματα, ενέματα και οπλισμένα επιχρίσματα) και την τοποθέτηση ελκυστήρων.



Σχήμα 4α, 4β. Ενισχυμένο μνημείο: μέγιστες κύριες τάσεις, (KPa), από βασικό και σεισμικό συνδυασμό.
Figure 4a, 4b. Reinforced structure: max principal stresses, (KPa), from gravity and seismic load combination.

Οι ελκυστήρες τοποθετούνται εξωτερικά, στη στέψη των τοιχοποιιών και στη βάση των μεγάλων θόλων. Αποτελούνται από δίδυμα συρματόσχοινα προστατευμένα σε σωλήνες πολυπροπυλενίου. Οι αγκυρώσεις τους γίνονται με μεταλλικές ανοξείδωτες πλάκες.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης στους αντίστοιχους, με την προηγούμενη ανάλυση, συνδυασμούς φορτίσεων δείχνουν ότι μετά την τοποθέτηση των ελκυστήρων οι εφελκυστικές τάσεις μειώνονται κατά 10% περίπου αλλά εξακολουθούν να εκδηλώνονται στις ίδιες θέσεις, κυρίως στις στέψεις των μεγάλων θόλων του θερμού και του ψυχρού χώρου του μνημείου.

Στα σχήματα 4α και 4β, παρουσιάζονται με τη μορφή ισοτασικών επιφανειών οι κύριες τάσεις S_{max} από την ανάλυση μετά την τοποθέτηση ελκυστήρων. Στο πρώτο, σχήμα 4α, παρουσιάζονται οι τάσεις από το βασικό συνδυασμό, σχ. (7.1), ενώ στο δεύτερο, σχήμα 4β, αυτές από το συνδυασμό με σεισμική δράση, σχ. (7.2). Πρόκειται για τους ίδιους συνδυασμούς από τους οποίους προέκυψαν τα σχήματα 3α και 3β. Τέλος στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι ορθές τάσεις, S_{11} και S_{22} , παράλληλα και κάθετα προς τους αρμούς αντίστοιχα, σε χαρακτηριστικές θέσεις του κτιρίου (οι θέσεις αυτές, 1-7, επισημαίνονται στα σχήματα 3 και 4).

Η σύγκριση των γραφημάτων της ανάλυσης πριν και μετά τις επεμβάσεις δείχνει ότι οι ελκυστήρες αναλαμβάνουν σημαντικό μέρος των εφελκυστικών τάσεων. Εξάλλου από τον πίνακα 4 φαίνεται χαρακτηριστικά η βελτίωση της εντατικής κατάστασης στις κρίσιμες θέσεις 2, 3 και 4.

Επιπρόσθετα έγιναν αναλύσεις με χαρακτηριστικές διεγέρσεις του Ελληνικού χώρου που περιγράφηκαν στην παράγραφο 8. Οι διεγέρσεις αυτές δίνουν σημαντικά μεγαλύτερες οριζόντιες φορτίσεις στο μνημείο από αυτές του Ε.Α.Κ., έτσι οι συνδυασμοί που περιλαμβάνουν σεισμική δράση, σχ. (7.4), είναι κρίσιμότεροι από το βασικό συνδυασμό, σχ. (7.1).

Οι αναλύσεις με τις καταγραφές από τους σεισμούς της Αθήνας (1999) και της Καλαμάτας (1986) δείχνουν μικρή τοπική υπέρβαση των εφελκυστικών τάσεων. Δε συμβαίνει το ίδιο με τον ιδιαίτερα ισχυρό σεισμό του Αιγίου (1995). Στην περίπτωση αυτή η παραδοχή ελαστικής συμπεριφοράς είναι ανεπαρκής για να προβλέψει τις επιπτώσεις.

Πίνακας 4. Ορθές τάσεις παράλληλα, (S_{11}), και κάθετα, (S_{22}), προς τους αρμούς από την ανάλυση με σεισμικό συνδυασμό, με το ελαστικό φάσμα ΕΑΚ.

Table 4. Normal stresses (S_{11} , S_{22}) from the analysis under seismic loading using the greek code elastic response spectrum.

ΘΕΣΗ	ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ				ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΝΗΜΕΙΟ			
	S_{11} (KPa)		S_{22} (KPa)		S_{11} (KPa)		S_{22} (KPa)	
	έσω	έξω	έσω	έξω	έσω	έξω	έσω	έξω
1	-30.0	-60.6	-29.3	-60.3	-25.9	-56.0	-29.2	-60.2
2	52.1	-310.3	-82.1	-393.0	-119.0	-217.1	-45.1	-308.2
3	-89.2	65.9	18.4	-18.4	-99.1	-17.3	10.1	-23.4
4	61.1	-133.2	62.2	-97.9	48.2	-129.9	55.9	-82.7
5	-45.4	-50.7	-30.8	-5.0	-20.3	-116.0	-24.8	-7.9
6	71.0	149.1	88.1	60.2	75.1	151.2	95.3	63.8
7	6.1	11.2	47.9	29.1	8.1	12.8	53.1	36.3

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αποκατάσταση του μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων.

Η ανάλυση της αρχικής κατάστασης του μνημείου αιτιολογεί τις βλάβες που παρουσιάστηκαν. Η παραδοχή ελαστικής συμπεριφοράς δίνει αξιόπιστα στοιχεία, γεγονός που αποδεικνύεται από την ταύτιση των θέσεων και του μεγέθους των ρωγμών με την αποτύπωση της παθολογίας. Ταυτόχρονα τεκμηριώνεται η ανάγκη για σωστικές επεμβάσεις (συμπλήρωση των τμημάτων που κατέρρευσαν, τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων στις ρωγμές, αρμολογήματα, ενέματα και οπλισμένα επιχρίσματα) αλλά και για περαιτέρω ενίσχυσή του με ελκυστήρες. Οι στατικές αναλύσεις μετά τις επεμβάσεις αφενός μεν επαληθεύουν την ορθότητά των επεμβάσεων αυτών αφετέρου δε, δια φωτίζουν ως προς τη συμπεριφορά του μνημείου σε πραγματικούς σεισμούς του ελληνικού χώρου σύμφωνα με τη σεισμικότητα της περιοχής που βρίσκεται.

Οι αναλύσεις αυτές αποτελούν βήμα προς βήμα αντιμετώπιση της συμπεριφοράς του μνημείου. Συνολικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε μπορεί να αποτελέσει οδηγό για επεμβάσεις σε άλλα παρόμοιου τύπου μνημεία.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον κ. Χ. Κωστίκα, το Δρ. Σ. Αναγνωστόπουλο, το Δρ. Γ. Μυλωνάκη, τη Δρ. Α. Στεφανίδου, τη Δρ. Ε. Κανετάκη και την κ. Μ. Γιαρλέλη για τη συμβολή τους με στοιχεία και παρατηρήσεις καθώς και τον κ. Α. Κωστάκη για τη σχεδίαση του τρισδιάστατου προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Επίσης ευχαριστούν το συντάκτη και το σύμβουλο της αρχιτεκτονικής μελέτης κ. Γ. Παπαγεωργίου και Δρ. Γ. Κανετάκη αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μπέσκος Δ.Ε., **Χρήση πεπερασμένων και συνοριακών στοιχείων στην ανάλυση μνημείων και ειδικών κτιρίων**, Δελτίο ΣΠΜΕ, Αθήνα, 1993, Αρ. 216 σελ. 31-43 & 1994 Αρ. 217, σελ. 15-32.
- [2] Karabalis D.L. and Beskos, D.E., **Numerical methods in earthquake engineering, in Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures**, Beskos, D.E. and Anagnostopoulos, S.A. (eds), pp. 1–102, Computational Mechanics Publications, Southampton 1997.
- [3] Αλεξάνδρου Κ., Καράμπαλης Δ., **Αντισεισμική μελέτη και ήπιες επεμβάσεις σε Βυζαντινό Μνημείο του 11ου αιώνα**, Πρακτικά 1ου Εθν. Συνεδρίου, Ήπιες Παρεμβάσεις και Προστασία Ιστορικών Κατασκευών, ΥΠΠΟ 4η Εφορεία Νεωτέρων Μνημείων, Θεσσαλονίκη 2000.
- [4] Πενέλης Γ., Ιγνατάκης Χ. και Σταυρακάκης Μ., **Ροτόντα Θεσσαλονίκης: υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας υπό κατακόρυφα και σεισμικά φορτία με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων**, 1^ο Ελληνικό Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, ΤΕΕ, Αθήνα 1992.
- [5] Penelis G.G., **Techniques & materials for structural restoration**, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No 2089, Pergamon, Elsevier Science Ltd., 1996.
- [6] Stylianides K. and Ignatakis C., **The importance of phase by phase limit analysis of a monument: Strengthening of St Panteleimon Church in Thessaloniki**, Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings, C.A. Brebbia ed., Computational Mechanics Publications, Southampton pp. 989.
- [7] Ξυγγόπουλος Α., **Μεσαιωνικά μνημεία Ιωαννίνων**, Ηπειρωτικά Χρονικά Τομ. 1, σελ. 302-303, 1926.
- [8] Κανετάκη Ε., **Τα δημόσια λουτρά επί τουρκοκρατίας στον ελλαδικό χώρο**, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, Μάρτιος 2003.
- [9] Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., **Οι σεισμοί της Ελλάδας**, Εκδόσεις Ζήτη, 2^η εκδ. Θεσσαλονίκη, 2003.
- [10] Σπυρόπουλος Π. **Χρονικό των σεισμών της Ελλάδος**, Εκδόσεις Δωδώνη, Αθήνα-Ιωάννινα, 1997.
- [11] Ambraseys N., Smit P., Berardi R., Rinaldis D., Cotton F., Berge-Thierry C., **Dissemination of European Strong-Motion Data**, CD-ROM collection, Council of European Communities, Environment and Climate Programme, ENV4-CT97-0397, Bruxelles, Belgium, 2000.
- [12] Beckman P., **Structural aspects of building conservation**, Mc Graw-Hill, 1995.

Χρήστος Γιαρλέλης

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, OMETE A.E.& Συνεργάτες, Ασκληπιού 64, Αθήνα 114 71,
Τηλ. 210-3633669, Fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr).

Παύλος Κρεμέζης

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, OMETE A.E.& Συνεργάτες, Ασκληπιού 64, Αθήνα 114 71,
Τηλ. 210-3633669, Fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr).

Χρήστος Σπανός

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, OMETE A.E.& Συνεργάτες, Ασκληπιού 64, Αθήνα 114 71,
Τηλ. 210-3633669, Fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr).

Restoration of an Ottoman Bath monument in the city of Ioannina, Greece

C. Giarlelis, P. Kremezis, C. Spanos

SUMMARY

This study presents an analysis method applied to the restoration study of an Ottoman Bath monument in the city of Ioannina, Greece, using mild intervention techniques. The building, dating back to the beginning of the 17th century, is a typical example of Ottoman architecture. Years of neglect have resulted in serious structural damage.

The restoration study, based both on a thorough investigation of the structural system and the material properties, includes static and dynamic analyses using finite elements. The dynamic analysis takes into account not only the national provisions for earthquake design but also selected actual greek earthquake records.

The study consists of two stages. In the first, the monument at its original state was analysed, in order to evaluate the damages. In the second a number of analyses have been performed, gradually increasing the degree of intervention, to determine the best proposal (minimum intervention).

The results point out the structure's vulnerable areas and give an accurate account of the actual partial collapses and cracks. Moreover, the dynamic analysis using selected records of major Greek earthquakes sheds light to the behaviour of a complex monument structure to seismic loads. All the above establish the accuracy of the final proposal.

Overall, the method used could function as a blueprint for interventions in similar monuments.

Christos Giarlelis

Consulting Engineer, OMETE SA, Asklipiou 64, Athens 11471, Greece

tel. 210-3633669, fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr)

Pavlos Kremezis

Consulting Engineer, OMETE SA, Asklipiou 64, Athens 11471, Greece

tel. 210-3633669, fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr)

Christos Spanos

Consulting Engineer, OMETE SA, Asklipiou 64, Athens 11471, Greece

tel. 210-3633669, fax: 210-3633619, e- mail info@omete.gr, [http:// www.omete.gr](http://www.omete.gr)

