

Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Π.Μ.Σ.)

**«Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος
Ανάπτυξη»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΗΠΙΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ
ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ»**

Της Μεταπτυχιακής Φοιτήτριας

Ρούλια Ειρήνης

Επιβλέπων καθηγητής

Γιαρλέλης Χρήστος

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Προοίμιο

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το τελευταίο εξάμηνο της διετούς φοίτησής μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) με τίτλο «Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά.

Το ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις αναστηλώσεις μνημείων και η επιθυμία διεύρυνσης των γνώσεων του αρχιτέκτονα σε πιο βαθιά και καίρια ζητήματα όπως η αντισεισμική θωράκιση κατασκευών (ιστορικού και μη ενδιαφέροντος) αλλά και η ενίσχυσή τους, έβαλε το πρώτο λιθαράκι στην αναζήτηση του θέματος ενασχόλησής μου στην παρούσα εργασία. Χάρη στην ευκαιρία που μου δόθηκε, δηλαδή της παρακολούθησης του μεταπτυχιακού προγράμματος, το ενδιαφέρον έγινε δίψα για γνώση έτσι ώστε το Δεκέμβριο του 2014 με παρότρυνση του καθηγητή μου κ. Χ. Γιαρλέλη ξεκίνησε η διπλωματική εργασία μου για τις ήπιες επεμβάσεις ενισχύσεων κατασκευών, τους ελκυστήρες.

Η έρευνα ξεκίνησε με διάφορες επισκέψεις για την φωτογραφική τεκμηρίωση της μεθόδου των ελκυστήρων σε ιστορικές κατασκευές ανά την Ελλάδα σε διάστημα ενός χρόνου. Επιστέγασμα της πορείας αυτής, ήταν η καθημερινή επίσκεψή μου -επί ένα μήνα, τον Ιούλιο του 2016- στη Διεύθυνση Αναστήλωσης Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων του Υπουργείου Πολιτισμού. Σε αυτό το σημείο οφείλω να ευχαριστήσω τη κυρία Μ. Γιαρλέλη για τη σημαντική βοήθεια και συμπαράστασή της γύρω από τη δυσκολία του θέματος, τη κυρία Β. Μέρμπεϊ για την υπομονή και αμεσότητά της καθώς μου εμπιστεύτηκε την πρόσβαση σε μεγάλο μέρος από το αρχείο της Διεύθυνσης Αναστήλωσης προς επιτόπια μελέτη των εφαρμογών των ελκυστήρων σε μνημεία και τέλος τον προϊστάμενο του Τμήματος Μελετών Βυζαντινών και Μεταβυζαντινών Μνημείων, κ. Π. Μπίρταχα που μοιράστηκε μαζί μου την εμπειρία του από τις αναστηλώσεις.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να δώσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χ. Γιαρλέλη για την άψογη συνεργασία μας, την πολύτιμη καθοδήγηση και στήριξή του και την ευθυκρισία του, τον κ. Κ. Δημάκο, Διευθυντή του Μεταπτυχιακού Προγράμματος για το καθοριστικό ενδιαφέρον που έδειξε ως προς την ανάγκη διεπιστημονικότητας των σημαντικών ζητημάτων που τέθηκαν στα πλαίσια των μαθημάτων του μεταπτυχιακού προγράμματος και τον καθηγητή κ. Κ. Ρεπαπή για τη μεταδοτικότητά του.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα για την υπομονή, τη συμπαράσταση και την ενθάρρυνση που μου ενέπνευσαν στο εγχείρημα αυτό.



Ενίσχυση κτιρίων με ήπιες επεμβάσεις μέσω χρήσης ελκυστήρων

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται μια από τις βασικότερες ήπιες μεθόδους επισκευών και ενισχύσεων ιστορικών κατασκευών, αυτή της χρήσης ελκυστήρων. Με σαφή αναφορά στις αρχές που διέπουν τη συντήρηση και την αποκατάσταση δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς, δίνεται το κανονιστικό πλαίσιο που προωθεί την διεπιστημονική προσέγγιση και αντιμετώπιση αυτού του θέματος με απώτερο στόχο τον προσδιορισμό της σεισμικής τους τρωτότητας. Κριτήρια όπως σεβασμός στο πρωτότυπο, αναστρεψιμότητα προτεινόμενων επεμβάσεων σε περίπτωση μελλοντικής επέμβασης, οικονομικό κόστος επέμβασης και μελλοντικής συντήρησης, χρόνος εκτέλεσης εργασιών και άλλα είναι κάποια από ένα σύνολο παραμέτρων που χρήζουν συζήτησης πριν από το κάθε έργο.

Η εργασία αυτή, μέσα από τη θεωρητική και πρακτική της προσέγγιση, έδειξε ότι οι ελκυστήρες είναι μια μέθοδος που λειτουργεί αρμονικά κατά την εφαρμογή τους στη φέρουσα τοιχοποιία. Μέσα από την ανάλυση της υλοποίησης της μεθόδου σε υπαρκτά παραδείγματα μνημείων, το συμπέρασμα που διεξήχθη ήταν ότι οι ελκυστήρες συμβάλλουν κατά 10-15% στην αύξηση της αντισεισμικής θωράκισης των κατασκευών καθώς λειτουργούν επικουρικά στο τελικό σχήμα επέμβασης. Οι ελκυστήρες ναι μεν δεν προλαμβάνουν τους μηχανισμούς φθοράς που αναπτύσσονται στα ιστορικά σύνολα, αλλά παρατείνουν την διάρκεια ζωής τους.

The use of tie-rods in the seismic rehabilitation of masonry structures

Abstract

The present thesis deals with one basic, mild reconstruction method and also a structural reinforcement method mostly used for monuments, the so called tie rods. Indicating clearly the principles concerning the maintenance and rehabilitation of heritage buildings, the regulatory framework is provided promoting interdisciplinary approach and treatment of the subject, aiming to determine their seismic vulnerability. Here, should be stated that several criteria are under discussion before the implementation of a project like respecting the prototype, reversibility of recommended interventions in case of future intervention, financial cost of interventions and maintenance, construction time costs.

This thesis, through a theoretical and practical approach, proves that tie rods is a method that works harmoniously when applied to bearing masonry. Through the analysis of the implementation method to existing monument examples, the conclusion was tie rods contribute by 10-15% in the improvement of proofing construction against earthquakes, as they operate as subsidiary to the overall intervention. Tie rods do not prevent their deterioration mechanisms developed in the historical totals, but prolong their existence in their lifetime.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων.....	1
Μεθοδολογία.....	3
Θεωρητική Τεκμηρίωση Ελκυστήρων	5
Ιστορικά κτίρια: ανάγκη και τρόποι συντήρησής τους	5
Αιτίες φθορών ιστορικών κτιρίων	13
Μετασεισμικές βλάβες στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής.....	16
Πεδίο εφαρμογής: φέρουσα τοιχοποιία	19
Ελκυστήρες.....	23
Διάταξη ελκυστήρων (θέση).....	26
Παθητικοί ή ελαφρά προεντεταμένοι ελκυστήρες (προένταση ελκυστήρων).30	
Διάταξη ελκυστήρων (διεύθυνση)	32
Υλικά κατασκευής ελκυστήρων	33
Απαιτούμενα εργαλεία για την τεχνική των ελκυστήρων	38
Διαδικασία τοποθέτησης ελκυστήρων.....	39
Εφαρμογή στο κτίριο	40
Ελκυστήρες στέγης.....	41
Ελκυστήρες στη θεμελίωση	43
Πρακτική Τεκμηρίωση Ελκυστήρων.....	44
Παράδειγμα υλοποίησης: καμπαναριό Ιεράς Μονής Οσίου Λουκά Βοιωτίας ...	44
Υπολογισμός αντοχής της τοιχοποιίας με χρήση ελκυστήρων	47
Ελκυστήρες στην τοιχοποιία: προστατεύουν το κτίριο τελικά;;	48
Μειονεκτήματα & Πλεονεκτήματα	49
Μελέτες εφαρμογής ελκυστήρων.....	52
Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού Χωρίς και Με Επεμβάσεις	
Ψυχάρης Ι., Μουζάκης Χ., Παυλοπούλου Ε., Μιλτιάδου Α., Ταφλάμπας Ι.	53
Αποκατάσταση μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων	
Γιαρλέλης Χ., Κρεμέζης Π., Σπανός Χ.	63

Δομική Αποκατάσταση και Στατική Στερέωση Ιστορικού Ιερού Ναού Σπυράκος Κ.	71
Συμπεράσματα	76
Αντί επιλόγου.....	78
Παράρτημα.....	80
Βιβλιογραφία.....	101

Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία το κύριο ερώτημα που τέθηκε προς διερεύνηση ήταν το κατά πόσο η χρήση των ελκυστήρων συμβάλλει στην αντισεισμική προστασία των παραδοσιακών κτιρίων και μνημείων. Σε όλη την έκταση της εργασίας εξετάζεται το θέμα με πεδίο εφαρμογής την τοιχοποιία υπό το πρίσμα της συντήρησης και αποκατάστασης δομημάτων πολιτιστικής κληρονομιάς και πραγματοποιείται η προσπάθεια καθορισμού όλων αυτών των παραμέτρων που θα συνδράμουν στο πέρας της ερευνητικής πορείας.

Για το σχεδιασμό της μεθοδολογίας σε σχέση με τον προβληματισμό και με το υπό εξέταση πεδίο, απαιτούνταν η κατανόηση του θέματος μέσα από την πράξη, η βιβλιογραφική αναζήτηση πηγών και η μελέτη εφαρμογών. Έτσι μετά από ένα μεγάλο αριθμό παραδειγμάτων εφαρμογής ελκυστήρων σε κτίρια που διατηρούν τις μνήμες τους ζωντανές μέχρι σήμερα, προσεγγίστηκε η μέθοδος των ελκυστήρων θεωρητικά και υπολογιστικά.

Αναλυτικότερα, αρχικά επιχειρείται μια συνοπτική θεωρητική προσέγγιση των ιστορικών κτιρίων και των τρόπων συντήρησής τους, για να εξακριβωθεί κορυφωτικά κατά πόσο η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης που προτείνεται εκπληρώνει το στόχο για τον οποίο επιλέχθηκε. Σε επέκταση του προβληματισμού που τίθεται γύρω από την αναγκαιότητα συντήρησης του κάθε κτιρίου, διασαφηνίζονται έννοιες όπως «μνημείο» και «διατηρητέο» και περιγράφονται οι τρόποι επέμβασης για τη διατήρησή τους. Σε επόμενη ενότητα γίνεται αναφορά των κανόνων-γενικών αρχών γύρω από τη συντήρηση των μνημείων που ξεκίνησαν να διατυπώνονται από το 19^ο αιώνα και έπειτα και διερευνάται το κατά πόσο οι αρχές της βιωσιμότητας, της ταυτότητας τόπου και της αναστρεψιμότητας των επεμβάσεων στην κατασκευή συμβάλλουν στις εργασίες που αποσκοπούν στη διάσωση, συντήρηση, αποκατάσταση και προστασία των ιστορικών κτιρίων. Ωστόσο τα γενικά θεωρητικά πλαίσια που διέπουν τα έργα συντήρησης και αποκατάστασης είναι η συμπυκνωμένη εμπειρία που αποκτήθηκε συν τω χρόνο που χρήζει ανανέωσης.

Σε ένα πιο εφαρμόσιμο πλαίσιο γίνεται αναφορά στα κυριότερα αίτια βλαβών σε τοιχοποιίες (ποικίλουν ανάλογα με τη μορφή και την έκταση) με σκοπό να επιλεγθεί η ενδεχομένως καταλληλότερη ενίσχυση για το πάσχον κτίριο. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις σεισμικές δράσεις καθώς είναι οι πιο συνήθεις και σημαντικές αιτίες βλαβών που επιτάσσουν ενισχύσεις. Κατά τη διαδικασία της έρευνας εξετάζεται ως υπόθεση η ήπια επέμβαση στο κτίριο με τη μορφή των ελκυστήρων. Προσδιορίζεται το

πεδίο εφαρμογής που είναι η τοιχοποιία των διατηρητέων κτιρίων και η πολυμορφία της (τοιχοποιίας) ως σύνθεση και διάταξη καθώς επίσης και τα στοιχεία που την απαρτίζουν.

Η έρευνα αναπτύσσεται σπονδυλωτά καθώς επεξηγείται η διάταξη και η θέση των ελκυστήρων, η διαδικασία τοποθέτησης, τα υλικά και τα απαιτούμενα μέσα που χρειάζονται για την τεχνική των ελκυστήρων. Η μέθοδος που περιγράφεται, θωρακίζει αντισεισμικά το κτίριο και αυτό αποδεικνύεται με τη βοήθεια φωτογραφικού υλικού και με αναφορές σε κτίρια όπου έχει εφαρμοστεί η επέμβαση μέσω ελκυστήρων. Το κείμενο διαρθρώνεται με σκοπό να ερευνήσει τη χρήση της μεθόδου των ελκυστήρων και να υπενθυμίσει την σημαντική μεν αλλά επικουρική δε δράση της μεθόδου στο οικοδόμημα. Η προσφορά της μεθόδου στο οικοδόμημα έγκειται στο γεγονός ότι παρατείνει τον κύκλο ζωής του, με ήπιο τρόπο, διατηρώντας το «ζωντανό» κληροδότημα των επόμενων γενεών. (Ως παραδοχή γίνεται αποδεκτό ότι πρόκειται για επισκευή κτιρίων με κόστος επισκευής μικρότερο του 80% της απομένουσας αξίας τους καθώς σε πολλές περιπτώσεις πρόκειται για κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς.)

Καταληκτικά χρησιμοποιούνται προς περαιτέρω ανάλυση τρία παραδείγματα υλοποίησης ελκυστήρων για την αξιολόγηση της μεθόδου συντήρησης πριν και μετά την επέμβαση στα κτίρια. Το κάθε κτίριο παρουσιάζεται και τεκμηριώνεται αρχιτεκτονικά, προσδιορίζονται οι βλάβες του (σε μορφολογία και μέγεθος) και κατατάσσονται σε ενδογενή, εξωγενή αίτια και βλάβες που οφείλονται στο έδαφος. Στη συνέχεια εκτιμάται η απομένουσα φέρουσα ικανότητα του κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μεμονωμένα δομικά στοιχεία και το βαθμό βλαβών και παραθέτονται οι λύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για την επισκευή του. Για την κάθε περίπτωση κτιρίου, η διεξαγωγή συμπερασμάτων πριν και μετά την επέμβαση προωθεί την έρευνα εξασφαλίζοντας πολύτιμα πορίσματα για τη χρήση της μεθόδου που αναλύθηκε.

Συμπερασματικά, η εργασία δεν καταλήγει για την αντισεισμικότητα των κτιρίων ως μοναδική λύση την επιλογή μιας μεθόδου επισκευής, αλλά σε ένα σύνολο μεθόδων για τη βέλτιστη απόκριση του δομήματος έναντι σεισμού και σε ένα συνδυασμό ειδικοτήτων για το κατόρθωμα του στόχου αυτού.

Θεωρητική Τεκμηρίωση Ελκυστήρων

Ιστορικά κτίρια: ανάγκη και τρόποι συντήρησής τους

Σύμφωνα με το νόμο υπ' αρ. 3028 του 2002, η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς της χώρας εντάσσεται σε ένα πλαίσιο κανόνων του διεθνούς δικαίου για την προστασία των πολιτιστικών αγαθών που συνδέονται με την Ελλάδα οπουδήποτε και αν βρίσκονται. Η αυθεντικότητα του μνημείου και οι απαραίτητες εργασίες για την υποστήλωσή του είναι μια από τις κύριες προϋποθέσεις για τη διαφύλαξή του. Οι μελέτες που εκπονούνται σε ένα γενικότερο πλαίσιο προδιαγραφών, δίνουν ελευθερία στους μελετητές να επιλέξουν τους τρόπους με τους οποίους θα εξετάσουν το κάθε δόμημα και να συνεργαστούν μεταξύ τους, καθιστώντας αναγκαία τη διεπιστημονικότητα του κάθε εγχειρήματος.

Για τη διευκόλυνση διεξαγωγής της πιο συνετής απόφασης όσον αφορά την προστασία της κατασκευής, λαμβάνονται υπ' όψιν η αξία της ανθρώπινης ζωής, η αξία της ιστορικής μνήμης, η αισθητική αξία, η χρηστική αξία και η οικονομία. Θέτοντας στάθμες σημαντικότητας για το κάθε οικοδόμημα και ενδεικτικούς βαθμούς βλάβης γίνεται εμβάθυνση με την ελπίδα ότι αποφεύγονται οι δυνατόν αρκετές από τις δυσλειτουργίες που συμβαίνουν συχνά. Αντιμετωπίζοντας το μνημείο ως ενιαίο σύνολο και γνωρίζοντας την ιστορία του, η τεκμηρίωση του δομήματος αποτελεί το υπόβαθρο των σχεδίων για την επέμβαση.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα ιστορικά κτίρια έχουν φέροντα οργανισμό τοιχοποιία, η ποιότητα των επεμβάσεων (αρχιτεκτονική, δομοστατική, αισθητική, κλπ.) σε αυτά διασφαλίζεται από το ισχύον υφιστάμενο πλαίσιο διακηρύξεων αλλά και από τους μηχανισμούς ελέγχου μελετών και εργασιών. Ο Χάρτης της Βενετίας (Venice Charter 1964) παρουσιάζει τις αρχές της αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων βοηθώντας το μελετητή να επιλέξει ανάμεσα σε μια πληθώρα επιλογών υλικών και μεθόδων αποκατάστασης. Ωστόσο η ταχύτητα εξέλιξης της τεχνολογίας, η ποικιλία νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές καθώς και η πολυπλοκότητα των κινδύνων που απειλούν τις κατασκευές, δυσκολεύουν το εγχείρημα αυτό μεν αλλά δίνουν συνεχώς νέα κίνητρα στους μελετητές δε. Η ποιότητα των επεμβάσεων εξαρτάται εκτός από τις γνώσεις, την εμπειρία και την ευαισθησία του κάθε μελετητή και από τα τεχνολογικά και οικονομικά μέσα που είναι διαθέσιμα σε κάθε περίπτωση. Τα δομήματα από φέρουσα τοιχοποιία, απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις σε μια σειρά θεμάτων διότι αναφέρονται σε

βασικές αρχές επεμβάσεων και κανονισμών, στη μηχανική της τοιχοποιίας, σε παραδοσιακές και σύγχρονες τεχνολογίες, σε υλικά επεμβάσεων κλπ.

Η χρήση «παραδοσιακών» υλικών και αναστρέψιμων μεθόδων επέμβασης, στο μέτρο του δυνατού είναι ο κύριος τρόπος για την επίτευξη της ζητούμενης συμβατότητας¹ της κατασκευής. Το τσιμέντο και τα κονιάματα που έχουν ως βάση πολυμερή οργανικά υλικά αποφεύγονται γιατί δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα εξ αιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε διαλυτά άλατα και της ασυμβατότητας αυτών των υλικών με τα αρχικά συστατικά του ιστορικού κτιρίου. Ωστόσο σε κάθε περίπτωση αποκατάστασης είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν οι αιτίες που οδήγησαν στην αλλοίωση των παλαιών υλικών και αν κριθεί απαραίτητο να αξιοποιηθούν αυτά εκ νέου για την επισκευή του κτιρίου αφού πρώτα εκτιμηθούν οι μηχανισμοί φθοράς των κονιαμάτων και των λιθοδομών. Σε διαφορετική περίπτωση είναι συνετό να γίνεται χρήση υλικών ή μιγμάτων υλικών τα οποία είναι συμβατά με τα αρχικά υλικά του κτιρίου αποκατάστασης.

Η παθολογία των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία καθορίζει σε αρκετά από τα κτίρια, τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγονται οι κατάλληλες τεχνικές επέμβασης. Η καταλληλότητα αυτή περιλαμβάνει ένα συνδυασμό επεμβάσεων που έχουν σα σκοπό να επισκευάσουν το κτίριο επαναφέροντας το στην κατάσταση προ βλάβης αλλά και να το ενισχύσουν. Αν πρόκειται για περιορισμένες ή μικρές βλάβες, πολύ συχνά αρκεί η επισκευή. Ωστόσο η εκτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητας και η βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής σε σεισμικές φορτίσεις καθορίζει και το σχήμα των επεμβάσεων που σε ένα πλαίσιο συνεργασίας μεταξύ των συντελεστών του έργου θα επιφέρει και την τελική λύση.

Συνεπώς, η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχήματος επέμβασης που να είναι προσαρμοσμένο στις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε κτιρίου, απαιτεί τον προσδιορισμό των υλικών και των φθορών τους, καθώς και την προσέγγιση των παραμέτρων που τις επηρεάζουν. Οι παράμετροι αυτοί διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια μιας τυπικής διαγνωστικής μελέτης όταν πρόκειται για τον έλεγχο της κατάστασης διατήρησης των υλικών, κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μελέτης στατικής ανάλυσης όταν πρόκειται για τον έλεγχο της κατάστασης διατήρησης του φέροντος οργανισμού αλλά και κατά τη διάρκεια

¹ Είναι απλά αποδεκτό ότι συμβατότητα δεν σημαίνει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται υλικά με τα ίδια χημικά συστατικά, αλλά με παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.

των τυχηματικών δράσεων και των περιβαλλοντικών επιδράσεων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της επικινδυνότητας ενός μνημείου.

Σε αυτό το σημείο, προσδιορίζοντας τις ιδιαιτερότητες του κάθε κτιρίου πρέπει να διασαφηνισθεί το εξής: «Στην έννοια της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς περιλαμβάνονται παραδοσιακά κτίρια, οικιστικά σύνολα, παραδοσιακοί οικισμοί, ιστορικά κέντρα πόλεων και γενικότερα τα στοιχεία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος με ιδιαίτερη ιστορική, πολεοδομική, αρχιτεκτονική, λαογραφική, κοινωνική και αισθητική φυσιογνωμία και αξία.»² Με βάση λοιπόν τις αρχές διατήρησης και συντήρησης που διέπουν ένα κτίριο γίνεται σαφής η αναγκαιότητα να ταξινομηθούν τα στοιχεία του κτιρίου που χρίζουν συντήρησης, οι προσθήκες που έχουν γίνει και κατά πόσο είναι αναστρέψιμες και τα παραδοσιακά υλικά / μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν και κατά πόσο κρίνονται επαρκή. Εδώ είναι επιτακτικό να αναφερθεί η διάκριση μεταξύ «μνημείων», «διατηρητέων» και «παραδοσιακών» κτιρίων με ταυτόχρονη αναφορά στο πλαίσιο που διέπει τις επεμβάσεις σε κάθε περίπτωση.

Στην Ελλάδα τα κτίρια με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι του δομημένου χώρου, σε αρκετές μάλιστα περιοχές είναι και το μόνο είδος υφιστάμενων κτισμάτων. Αρκετά από αυτά τα κτίρια κρίθηκαν ως «μνημεία» λόγω της ανάγκης προστασίας τους που εκφράστηκε μέσω ειδικών καθεστώτων που περιγράφεται σε διεθνείς χάρτες, διακηρύξεις κ.λ.π. Κάποια άλλα χαρακτηρίστηκαν ως «διατηρητέα» και είναι μεμονωμένα κτίρια, τμήματα ή συγκροτήματα κτιρίων ή σε συνδυασμό με στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου αυτών και προστατεύονται από ειδικές διατάξεις λόγω της ιδιαίτερης ιστορικής, καλλιτεχνικής, επιστημονικής, πολεοδομικής, αρχιτεκτονικής, λαογραφικής, κοινωνικής, και αισθητικής σημασίας και φυσιογνωμίας τους. Συχνά οι δύο αυτές κατηγορίες συμπίπτουν καθώς πρόκειται για κτίρια ιδιαίτερης ιστορικής ή αρχιτεκτονικής (τυπικά παραδείγματα-εκπρόσωποι παραδοσιακών δομημάτων) ή καλλιτεχνικής αξίας ή για κτίρια που βρίσκονται σε ειδικά προστατευμένες περιοχές (π.χ. ιστορικά κέντρα πόλεων, περιοχές κοντά σε αρχαιολογικούς χώρους-μνημεία, κ.λ.π.). Τα «παραδοσιακά» κτίρια εκφράζουν την πλειοψηφία των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, άρα και πολλά από τα κτίρια των παραπάνω δύο κατηγοριών εντάσσονται εδώ, και είναι το ευρύτερο σχήμα στο οποίο ανήκουν κτίρια με ιδιαίτερη αρχιτεκτονική τεχνοτροπία, παραδοσιακά υλικά και παραδοσιακές μεθόδους κτισίματος. Ακόμη, ως «παραδοσιακός

² <<http://www.ypeka.gr/?tabid=382>>, τελευταία επίσκεψη 29/1/2017.

οικισμός» ορίζεται το σύνολο αστικών ή αγροτικών κατασκευών, το οποίο λόγω του ιδιαίτερου αρχιτεκτονικού, κοινωνικού, καλλιτεχνικού ή ιστορικού ενδιαφέροντός του είναι άξιο κρατικής προστασίας.

Έτσι πολλά από τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, ως ιστορικές κατασκευές, έχουν δεχθεί στο παρελθόν και ίσως πρόκειται να δεχθούν στο μέλλον διάφορες επεμβάσεις και ως εκ τούτου αποτελούν, εν δυνάμει, πεδίο ανάπτυξης διαφόρων εργασιών. Μετά από τη διατύπωση διάφορων θεωριών από ειδικούς σχετικά με το πλαίσιο, τις μεθόδους και τους στόχους που θα πρέπει να έχει μια επέμβαση, την υπογραφή «χαρτών» από τη διεθνή κοινότητα (ο «Χάρτης της Αθήνας» το 1935, η UNESCO, η ICOMOS & το Συμβούλιο της Ευρώπης υπέγραψαν το 1964 το «Χάρτη της Βενετίας»), διακρίθηκαν οι εξής μέθοδοι επεμβάσεων:

- Επέμβαση (intervention) είναι γενικός όρος που αναφέρεται στις συγκεκριμένες παρακάτω εργασίες.
- Επισκευή (repairing) είναι η επαναφορά του βλαμμένου στοιχείου στην κατάσταση προ βλάβης.
- Ενίσχυση (strengthening) είναι το στάδιο μετά την ενίσχυση που περιλαμβάνει τα μέτρα αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή, δυσκαμψία) δομικού στοιχείου ή κτίσματος μέχρι ενός επιθυμητού ή απαιτητού επιπέδου.
- Ανακατασκευή (reconstruction) είναι η κατασκευή από την αρχή (δηλαδή η αντικατάσταση) ενός παλιού με ένα νέο δομικό στοιχείο ή κτίσμα.
- Αναστήλωση (restoration) είναι η επαναφορά του δομήματος στην αρχική του μορφή.
- Επανάχρηση (rehabilitation) είναι η διαδικασία επαναλειτουργίας ενός κτιρίου.
- Διατήρηση (preservation) είναι η διαφύλαξη της υπάρχουσας κατάστασης του δομήματος με μέτρα που δεν εμποδίζουν τη συνέχιση της φθοράς.
- Συντήρηση (conservation) είναι το σύνολο των περιορισμένων ή ριζικών μέτρων επέμβασης στο κτίριο.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων το σχήμα της επέμβασης είτε πρόκειται για μνημείο, είτε για διατηρητέο, είτε για παραδοσιακό, διαμορφώνεται ως ένα συνδυαστικό πλέγμα διαφόρων μεθόδων επέμβασης, όπως για παράδειγμα επανάχρηση, επισκευή και ενίσχυση ή αναστήλωση και ενίσχυση ή διατήρηση, συντήρηση και επισκευή κ.λ.π. Όλα αυτά έχουν ως στόχο την άρση της παθολογίας και την αναβάθμιση της στατικής και αντισεισμικής φέρουσας ικανότητας του κτιρίου. Ωστόσο τα επιτεύγματα αυτά, για αρκετό χρονικό διάστημα στο παρελθόν υπήρξαν απαγορευτικά για τα κοινά κτίρια για αυτό και εφαρμόζονταν μόνο σε μνημεία. Καθώς η διάδοση της γνώσης, της τεχνογνωσίας και των

μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις κατακτά έδαφος και τα τεχνολογικά επιτεύγματα βοήθησαν στον τομέα αυτό, έχει καταστεί πραγματοποιήσιμη και από οικονομικής άποψης, η εφαρμογή αρκετών απ' αυτών των επιτευγμάτων ακόμα και σε απλά παραδοσιακά δομήματα.

Προεκτάσεις

Η Διεθνής Χάρτα για τη Συντήρηση Μνημείων και Τοποθεσιών (δηλαδή η «Χάρτα της Βενετίας» το 1964), επέκτεινε την έννοια του μνημείου πέρα από τα όρια της στενής σημασίας του, ερμηνεύοντας το ως ενιαίο και αναπόσπαστο σύνολο αρχιτεκτονικού έργου και τοποθεσίας που μαρτυρεί τα αμάχητα τεκμήρια ιστορίας και εξέλιξης. Έτσι η πολιτιστική κληρονομιά, υλική και άυλη, αναγνωρίζεται και ενισχύεται ως αναπόσπαστο κομμάτι της ταυτότητας ενός τόπου. Αυτή η τόσο ισχυρή θέση που εκφράστηκε, παγιώθηκε για τα επόμενα χρόνια μέσα από θεσμικά κείμενα σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο (Διεθνής Σύμβαση για την Προστασία της Παγκόσμιας Κληρονομιάς, Σύμβαση της Γρανάδας για την Προστασία της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς της Ευρώπης κ.λπ.), με αποκορύφωμα τη Συνθήκη του Μάαστριχτ (1992). Η τελευταία, είχε σαφή κατεύθυνση προς τον τομέα του πολιτισμού, επιτρέποντας ουσιαστικά στην ΕΕ να προβεί σε πολιτιστικές ενέργειες για τη διαφύλαξη, τη διάδοση και την ανάπτυξη του πολιτισμού στην Ευρώπη.

9

Με αμείωτο το ενδιαφέρον στην οικονομία και το εμπόριο από την πλευρά της ΕΕ, η διατήρηση των ιστορικών συνόλων ξεκινάει να συνδέεται και με τον όρο city branding³ ενός τόπου. Ο όρος αυτός, αρκετά δημοφιλής τα τελευταία χρόνια σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στο ρόλο του τουρισμού και του πολιτισμού σε σχέση με την εικόνα και τη φήμη ενός τόπου. Μέσα από την αστική σύνθεση (urban design) και τον επικοινωνιακό σχεδιασμό (communication design), γίνεται μια προσπάθεια σύνδεσης του τοπίου με τη χωρική ανάπτυξη, την τοπική ταυτότητα και το τουριστικό προϊόν. Η προστασία και η ανάδειξη της ταυτότητας αυτής καθώς επίσης και η εισροή κεφαλαίου είναι κάποιοι από τους στόχους. Μέσω της χρήσης των νέων τεχνολογιών, καινοτόμων ιδεών, νέων υποδομών και άλλων στρατηγικών, επιχειρείται η «αναγέννηση» πολλών περιοχών χάρη στην ιστορική κληρονομιά του κάθε τόπου.

³ Με τον όρο city branding νοούνται μια σειρά εργαλείων και διαδικασιών για την ανάπτυξη των πόλεων των περιφερειών σε σχέση με την ανάπτυξη της ταυτότητας του τόπου.

Μέσα από τις πολιτικές της ΕΕ και στα πλαίσια της ανάδειξης ενός τόπου από τις ιστορικές μαρτυρίες του και την αρχιτεκτονική κληρονομιά του, σταδιακά ενσωματώνεται και η έννοια της βιωσιμότητας των ιστορικών κατασκευών και της αειφόρου ανάπτυξης των πόλεων. Το πολιτιστικό⁴ περιβάλλον αποτελεί εξάλλου τη βάση της αειφορικής ανάπτυξης μέσα από την αέναη αλληλεξάρτηση του με την κοινωνία, την οικονομία και το φυσικό περιβάλλον. Η αειφόρος διαχείριση σε παγκόσμιο επίπεδο ως ανθρώπινη δραστηριότητα επιζητεί την εξισορρόπηση του πολιτιστικού με το φυσικό περιβάλλον. Καθώς η αειφόρος ανάπτυξη αποσκοπεί στο να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπου, διαφυλάσσοντας παράλληλα το περιβάλλον βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, ο σκοπός αυτός καθίσταται όλο και πιο αναγκαίος γιατί με την εξέλιξη το ανθρωπογενές περιβάλλον διαρκώς μεγεθύνεται ενώ το φυσικό παραμένει ως έχει με τάσεις συρρίκνωσης.

Αναγνωρίζοντας μια αμφίσημη πραγματικότητα, η προστασία και η συντήρηση ενός ιστορικού μνημείου είναι μια διαδικασία που απαιτεί μια ολιστική ματιά σύμφωνα με τα παραπάνω και για αυτό το λόγο καλό θα ήταν να εκτελείται με διάθεση πραγματοποίησης μακροσκοπικής και μικροσκοπικής μελέτης. Κατά συνέπεια, είναι αποδεκτό ότι το κτίριο δεν είναι αποκομμένο από το περιβάλλον του και επιδιώκεται κατά τη συντήρησή του η ομαλή (επαν)ένταξή του σε αυτό. *«Η βασική λειτουργία ενός μνημείου είναι να προάγει την ανθρώπινη μνήμη και να λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος του παρόντος με το παρελθόν. Το μνημείο προκαλεί ερεθίσματα, αν όχι στο σύνολο, τουλάχιστον στην πλειοψηφία των μελών μιας κοινότητας, ή και σε μια ευάριθμη έστω ομάδα ανθρώπων, ανεξαρτήτως προέλευσης και καταγωγής.»*⁵

Λαμβάνοντας ως δεδομένο λοιπόν την αίσθηση του «ανήκειν» σε ένα πολιτισμικό περιβάλλον που αποπνέει το κάθε κτίριο, η έννοια της αναστήλωσης αποβλέπει στην ανάπλαση της αλλοιωμένης οντότητάς του και δικαιώνεται όταν απαντηθούν ερωτήματα όπως: «Για ποιο σκοπό γίνεται η επέμβαση;», «Τι επιδιώκεται με την επέμβαση;», «Σε τι είδους μνημείο γίνεται η επέμβαση;», «Με ποια μέσα και ποιες μεθόδους γίνεται η επέμβαση;», «Σε ποιο βαθμό γίνεται η επέμβαση;»... Η απάντηση των ερωτημάτων

⁴ Το πολιτιστικό περιβάλλον είναι το σύνολο των ανθρώπινων δημιουργημάτων δηλαδή οι αρχαιότητες, τα διατηρητέα κτίρια, οι παραδοσιακοί οικισμοί, τα μνημεία.

⁵ Μητούλα Ρ., «Η προστασία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς», Περιοδικό Αρχαιολογία & Τέχνες, τεύχος 72, σελ.67.

διαφωτίζει και καθορίζει κατά κάποιο τρόπο την στρατηγική επέμβασης που θα ακολουθηθεί από τους αρμόδιους, ωστόσο δεν υπάρχει συνταγή-πανάκεια για τον τρόπο επέμβασης σε ένα ιστορικό κτίριο. Κάθε ένα μνημείο είναι μια ξεχωριστή «απόφαση» για έναν αρχαιολόγο, αρχιτέκτονα, πολιτικό μηχανικό, ιστορικό της τέχνης, χημικό, φυσικό, συντηρητή κ.ά., η οποία καλείται να ωριμάσει μαζί με το μέγεθος των καθηκόντων τους και τη συνεργασία τους.

Τεχνικές επισκευής πριν την επέμβαση

Με προϋπόθεση ότι στο δόμημα που μελετάται έχουν ακολουθηθεί οι απαραίτητες τεχνικές επισκευής (δηλαδή όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επαναφορά του βλαμμένου δομικού στοιχείου στην κατάσταση προ της βλάβης) είναι εύλογο η επέμβαση να περιλαμβάνει και ενίσχυση της κατασκευής (ενώ σε μικρές βλάβες αρκεί συνήθως η επισκευή). Οι πλέον γνωστές τεχνικές επισκευής που κρίνονται απαραίτητες πριν από την ενίσχυση είναι το βαθύ αρμολόγημα, η καθαίρεση και η τοπική ανακατασκευή (για διόγκωση ή κατάρρευση γωνιών τοίχου), οι ενέσεις σε ρωγμές [σε ρωγμές μεγάλου εύρους (>10mm) ή μεγάλου μήκους που εκτείνονται οριζόντια, κατακόρυφα ή διαγώνια στην επιφάνεια του τοίχου γίνεται συρραφή], η συρραφή αποκολλημένων τοίχων και η επισκευή ή κατασκευή των υπερθύρων των ανοιγμάτων.

Εδώ επισημαίνεται ότι η μέθοδος της ενίσχυσης προχωρά πέραν της επισκευής βλαβών και είναι δυνατή και η προληπτική ενίσχυση χωρίς την παρουσία βλαβών. Όσον αφορά το επίπεδο και τα μέτρα ενίσχυσης, αυτά προσδιορίζονται από ειδική μελέτη. Οι πλέον γνωστές τεχνικές ενίσχυσης είναι το οπλισμένο επίχρισμα (αν δεν είναι επιθυμητή η διατήρηση της όψης της λιθοδομής), η εισαγωγή ενέματος στη μάζα της τοιχοποιίας (όχι μόνο για την πλήρωση ενδεχόμενων ρωγμών αλλά και όλων των κενών στο εσωτερικό της), η κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος εσωτερικά ή εξωτερικά (ή αμφίπλευρα) της τοιχοποιίας, η προσθήκη ριζοοπλισμών σε λιθοδομές μεγάλου πάχους, η κατασκευή διαζωμάτων στις στάθμες των ορόφων, η προσθήκη ελκυστήρων και τενόντων, η ενίσχυση εδάφους με την εισαγωγή ενεμάτων υψηλής αντοχής σε συνδυασμό και με την αβαθή ή βαθιά υποθεμελίωση με τη μέθοδο των μικροπασσάλων.

Βαθμός αναστρεψιμότητας

Ένας επιπλέον διαχωρισμός στις επεμβάσεις σε κτίρια είναι οι δύο μεγάλες κατηγορίες που έχουν να κάνουν με το ποσοστό ενσωμάτωσής τους στο κτίριο και την ευκολία με την οποία αφαιρούνται ή δεν αφαιρούνται από αυτό (βαθμός αντιστρεψιμότητας). Ως ήπιες

επεμβάσεις αποκαλούνται εκείνες που δεν ενσωματώνονται σε μεγάλο ποσοστό στον υφιστάμενο φορέα και δεν παρουσιάζουν αντίσταση κατά την αφαίρεσή τους. Στον αντίποδα, ως δραστικές χαρακτηρίζονται οι επεμβάσεις με υψηλό ποσοστό ενσωμάτωσης στον υφιστάμενο φορέα και η αφαίρεση τους είναι δύσκολη έως αδύνατη.

Μέσα στις πλέον γνωστές ήπιες τεχνικές ενίσχυσης όπως προαναφέρθηκαν είναι και η προσθήκη ελκυστήρων και τενόντων. Η χρήση των ελκυστήρων στις κατασκευές είναι μια μέθοδος επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόζεται για να επαναφέρει το στοιχείο που μελετάται στην κατάσταση προ βλάβης και για να αυξήσει την αντοχή του. Επεμβαίνοντας στο κτίριο ακολουθούνται με ευλάβεια τα στάδια της ανάμνησης, της διάγνωσης, της θεραπείας και της πρόγνωσης επιχειρώντας μια όσο το δυνατό πιο αποτελεσματική επέμβαση με σεβασμό στο κτίριο και στο κόστος μελέτης και επισκευής του.

Πιο συγκεκριμένα η ρηγμάτωση ενός φέροντος τοίχου μπορεί να επισκευαστεί και να ενισχυθεί -εκτός των άλλων μεθόδων- με την προσθήκη ελκυστήρων. Η χρήση των ελκυστήρων για την περίσφιξη των τοίχων εντάσσεται στις άμεσες επεμβάσεις συνδυάζοντας την εύκολη πρόσθεση και αφαίρεσή τους όταν τοποθετούνται εξωτερικά. Όταν κρίνεται αναγκαίο να τοποθετηθούν εσωτερικά, αυτό είναι μια διαδικασία που φέρει μόνιμο αποτέλεσμα και απαιτεί τακτικό έλεγχο και σφίξιμο των ελκυστήρων.

Η χρήση τους στη συντήρηση των μνημείων είναι μια από τις μεθόδους που δοκιμάζει ο αναστηλωτής. Στα πλαίσια της συντήρησης των πολιτιστικών αξιών και της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς των επιτευγμάτων των περασμένων αιώνων δοκιμάζονται ήπιες μέθοδοι. Η ηπιότητα αυτή εκφράζεται στο κτίριο ως σεβασμός στο σκοπό αποκατάστασής του, για αυτόν το λόγο και η αποκατάσταση αυτή είναι προστατευτική και αναστρέψιμη σε βέλτιστο βαθμό. Έτσι δε μπορούν οι προσθήκες να γίνουν αποδεκτές αν δεν σέβονται τα μέρη του κτιρίου.

Οι ελκυστήρες θεωρώντας ότι πληρούν την αρχή της αναστρεψιμότητας, καθώς μπορούν να συνυπάρξουν με το αυθεντικό υλικό, επαναφέρουν το μνημείο στην κατάσταση προ των επεμβάσεων διατηρώντας τη δομική αυτοτέλεια των μελών και της στατικής λειτουργίας του κτιρίου. Οι επεμβάσεις με τη χρήση των ελκυστήρων συνοψίζονται σε συγκεκριμένες πρακτικές κατά το σχεδιασμό των δομικών επεμβάσεων στα μνημεία. Γίνονται κυρίως σε τμήματα των μνημείων που έχουν αποσταθεροποιηθεί από αναστηλώσεις του παρελθόντος ή τμήματα που εμφανίζουν προβλήματα στατικής επάρκειας.

Η χρήση των ελκυστήρων και άλλων μεθόδων θα πρέπει να αντιμετωπίζουν τα μνημεία ως ξεχωριστές οντότητες με τη δική τους ιστορία το καθένα. Τα μνημεία πρέπει να

συντηρούνται, να αναστηλώνονται και να συμπληρώνονται όταν υπάρχει ανάγκη με ταυτόχρονη αποφυγή εξαπάτησης μεταξύ αυθεντικού και προσθήκης. Έτσι πριν από κάθε επέμβαση αξιολογούμε το δόμημα εκτιμώντας το ιστορικά, αισθητικά, πρακτικά και περιβαλλοντολογικά βασιζόμενοι πάντα σε συγκεκριμένες προδιαγραφές, κριτήρια και μεθοδολογία. Μετά τη διάγνωση της φθοράς και την αποτίμηση εξετάζουμε τα διαθέσιμα εργαλεία ώστε να εξασφαλισθεί η αειφορία της κατασκευής. Με συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο για την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων συντήρησης πετυχαίνουμε την αντιστρεψιμότητα της επέμβασης στο μέτρο που αυτό είναι δυνατό.

Οι σεισμικές δράσεις είναι μια από τις πιο σύνηθες και σημαντικές αιτίες βλαβών που επιτάσσουν ενισχύσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις προγενέστεροι σεισμοί έχουν προκαλέσει βλάβες στο μνημείο αυξάνοντας τη σεισμική του τρωτότητα υπό τη δράση μελλοντικών σεισμικών φορτίσεων, οι οποίοι μπορεί να εκδηλωθούν επικινδυνότεροι σε συνδυασμό με το έδαφος της περιοχής και των σεισμικών μεγεθών. Έτσι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι επεμβάσεις αυτές παίρνουν μια ήπια μορφή, συμβατή με τον αρχικό στόχο της προστασίας των ιστορικών κατασκευών που θα πρέπει να καλύπτει απαιτήσεις της μακροοικονομίας-οικολογίας, της μικροοικονομίας-μόνωσης και λειτουργίας του δομήματος σε βάθος χρόνου. Ωστόσο πέρα από την προστασία του πολιτιστικού πλούτου, το ενδιαφέρον για την αντισεισμικότητα ενός μνημείου έγκειται και στην νομική υποχρέωση προστασίας της ανθρώπινης ζωής όλων όσων διαμένουν σε αυτό και γύρω από αυτό, καθώς επίσης και όσων εργάζονται σε αυτό.

Χωρίς αμφιβολία, η αποκατάσταση ιστορικών κτιρίων μιας συγκεκριμένης περιοχής δίνει στον αναστηλωτή την ευκαιρία να μελετήσει και να γνωρίσει σε βάθος τις ιδιαιτερότητες της τοπικής αρχιτεκτονικής και έτσι να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει όσο πιο σωστά γίνεται ποικίλα αναστηλωτικά ζητήματα που αναδύονται και σχετίζονται με το χαρακτήρα της αρχιτεκτονικής αυτής. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναστήλωσης, ο μελετητής-αναστηλωτής προσδιορίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαφόρων επεμβάσεων, παρατηρεί τα τυχόν προβλήματα τους μέσα στο χρόνο και προτείνει λύσεις-βελτιώσεις των τεχνικών που χρησιμοποιούνται, διορθώνοντας τις τυχόν αστοχίες τους.

Αιτίες φθορών ιστορικών κτιρίων

Αντιμετωπίζοντας τα ιστορικά κτίρια ως ζωντανές οντότητες που φέρουν παρελθόν, παρόν και μέλλον γίνεται αποδεκτή η λεπτότητα-ακρίβεια με την οποία αντιμετωπίζονται οι βλάβες που παρατηρούνται και εντοπίζονται στην τοιχοποιία τους. Οι βλάβες αυτές

ποικίλλουν σε μορφή και έκταση και ο βαθμός σπουδαιότητάς τους κρίνει την ασφάλεια του ίδιου του κτιρίου και όσων κατοικούν σε αυτό.

Η αναλυτική αποτύπωση των φερόντων στοιχείων, η αναζήτηση των οικοδομικών φάσεων που έχει περάσει ένα κτίριο όσον αφορά τις μετατροπές και τις επεμβάσεις σε αυτό και η συχνή παρακολούθηση της εξέλιξης των βλαβών, αποτελούν τα βασικά στοιχεία για την ορθή περιγραφή του προβλήματος και την τεκμηρίωση της παθολογίας του. Η αναζήτηση και η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τα αίτια των βλαβών αποτελεί βασικό στάδιο για την επιλογή των πιο κατάλληλων επισκευών (και πιθανώς ενισχύσεων) για το κτίριο. Τα αίτια βλαβών σε ιστορικά κτίρια οφείλονται σε παράγοντες που σχετίζονται με την τυπολογία και μορφολογία της κατασκευής, τον τρόπο σύνδεσης των δομικών στοιχείων, την ποιότητα των υλικών και τους εξωτερικούς παράγοντες.

Πιο συγκεκριμένα τα φαινόμενα φθοράς της τοιχοποιίας εκδηλώνονται στα υλικά της (και στη μεταξύ τους συνάφεια) και είναι συνάρτηση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Συνήθως οι ενδογενείς παράγοντες δημιουργούν βλάβες στην τοιχοποιία λόγω των υλικών της (λάθη στη μελέτη ή στην κατασκευή) ενώ οι εξωγενείς παράγοντες οφείλονται σε τυχηματικές δράσεις όπως ο σεισμός, η φωτιά και άλλες περιβαλλοντικές δράσεις. Οι εξωγενείς αιτίες -αν και έχουν μικρή συχνότητα εμφάνισης σε σχέση με τις ενδογενείς αιτίες βλαβών- έχουν έντονη και χρονικά αυξανόμενη εκδήλωση. Επίσης υπάρχουν και βλάβες που οφείλονται στο έδαφος και δεν εντάσσονται στις παραπάνω δύο κατηγορίες.

Τα ενδογενή αίτια βλαβών της τοιχοποιίας οφείλονται κυρίως στην πολυμορφία της. Παράγοντες όπως η κακή ποιότητα υλικών και δόμησης έχουν ως αποτέλεσμα την κακή μορφολογία της κατασκευής. Η μη συμβατότητα των υλικών και η μεταβολή του όγκου της τοιχοποιίας λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, δυσχεραίνουν την αντιμετώπιση των προβλημάτων της τοιχοποιίας, δημιουργώντας ρωγμές⁶ που άλλοτε επηρεάζουν την ευστάθεια του κτιρίου και άλλοτε όχι, ανάλογα με το βαθμό σπουδαιότητας της βλάβης. Τα εξωγενή αίτια βλαβών οφείλονται στις τυχηματικές δράσεις (σεισμοί, πυρκαγιές) καθώς και στις περιβαλλοντικές δράσεις που ποικίλουν ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής και επηρεάζουν βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα την

⁶ Εμφάνιση πιθανών ρωγμών που ταξινομούνται σε: ελαφρές, σοβαρές και βαριές ρηγματώσεις σε πεσσούς, υπέρθυρα και στην περιοχή στήριξης της στέγης.

κατασκευή. Λόγω σεισμών και πυρκαγιάς μειώνεται η αντοχή της τοιχοποιίας και το ενδεχόμενο της κατάρρευσης είναι πιθανό. Οι περιβαλλοντικές δράσεις έχουν ένα ευρύ φάσμα κινδύνων που μπορεί να πλήξουν το πέτρινο κτίριο καθώς περιλαμβάνουν από υγρασία και βιολογικούς⁷ παράγοντες σε τμήματα της κατασκευής μέχρι γυψοποίηση των λίθων, δημιουργία όξινης ανθρακικής κρούστας, κρυστάλλωση αλάτων και αποσάθρωση κονιαμάτων... Αυτοί οι κίνδυνοι έχουν σαν κύριο αίτιο την επίδραση του νερού στη μορφολογία της τοιχοποιίας (διάβρωση λίθων κτλ.) και έχουν σα συνέπεια την αποδιοργάνωση και πιθανή κατάρρευσή της.

Οι βλάβες που προκαλούνται στην τοιχοποιία εκτός των παραπάνω, σε πολλές περιπτώσεις οφείλονται είτε στη σύνθεση του εδάφους που εδράζεται η κατασκευή είτε στον ανθρώπινο παράγοντα που ενεργεί αναποτελεσματικά σε βάρος της φύσης και της κατασκευής. Η αστοχία της θεμελίωσης και η υποσκαφή θεμελίων προκαλούν διαφορικές καθιζήσεις που εκδηλώνονται στο κτίριο μέσω ρηγματώσεων στους πεσσούς και στους τοίχους αντίστοιχα. Τα φυσικά αίτια όπως τα υπόγεια ρέοντα νερά, η συμπύκνωση-συρρίκνωση-διόγκωση του εδάφους, η ύπαρξη βλάστησης και η κίνηση του εδάφους θεμελίωσης, αν δε μπορούν να προβλεφθούν μέσω των γεωτεχνικών μελετών, προκαλούν καθιζήσεις, ρηγματώσεις στην κατασκευή και πιθανότητα κατάρρευσης με αποτέλεσμα κάθε ανθρώπινη προσπάθεια να αποβαίνει άκαρπη μπροστά στην παντοδυναμία της φύσης.

Τα ανακριβή προσομοιώματα, η απουσία ικανοτικού σχεδιασμού και οι ανεπαρκείς κατασκευαστικές διατάξεις είναι επιπρόσθετοι συντελεστές που δυσκολεύουν το μελετητικό κομμάτι σχετικά με τη φέρουσα τοιχοποιία. Όσον αφορά το πρακτικό κομμάτι, οι αρνητικές συνέπειες των παραπάνω φαίνονται είτε στην απουσία ενισχυτικών επεμβάσεων είτε στις αναποτελεσματικές παρεμβάσεις στο κτίριο είτε απλά σε ατυχή φυσικά συμβάντα. Πέρα όμως από τις ανθρώπινες ευθύνες που εγείρονται σε κάθε έργο, είναι αποδεκτές οι δυσκολίες που παρουσιάζει η τοιχοποιία ως υλικό λόγω της πολυμορφίας της και της πολυτυπίας της. Η ιδιαιτερότητά της συγκεντρώνεται στα βασικά συστατικά της και στον τύπο πλέξης (δόμησης) της. Αποτελείται από πλίνθους (φυσικές ή τεχνητές) και κονίαμα που τις συνδέει ή απουσιάζει (ξηρολιθοδομή). Ωστόσο τα πλεονεκτήματα που παρέχει η τοιχοποιία στις κατασκευές όπως η θερμομόνωση και η

⁷ Φθορά από μικροοργανισμούς και από το ριζικό σύστημα των φυτών που έρχεται σε επαφή με το κτίριο.

πυρασφάλεια αλλά και η αντοχή στο χρόνο σε συνδυασμό με το καλαίσθητο αποτέλεσμα δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητα.

Μετασεισμικές βλάβες στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο σεισμός κατατάσσεται στις τυχηματικές δράσεις και ανήκει στα εξωγενή αίτια που προκαλούν βλάβες στην τοιχοποιία. Ο σεισμός βέβαια μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία μιας κατασκευής στην οποία προϋπάρχουν κι άλλα περιβαλλοντικά ή ενδογενή αίτια ωστόσο τίποτα δεν προλαμβάνεται αν δεν παρθούν μέτρα. Το φαινόμενο του σεισμού όσο απρόβλεπτο και να είναι, τόσο ο άνθρωπος με τις ικανότητες και τα μέσα που διαθέτει πλησιάζει στην πρόβλεψή του. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως για τη συντήρηση ενός κτιρίου, η κάθε φθορά αναλύεται σε μακροκλίμακα και σε μικροκλίμακα φτάνοντας όλο και πιο κοντά απαντήσεις και ενισχύσεις για τη καλύτερη δυνατή προφύλαξη της κατασκευής.

Όπως είναι γνωστό, το μεγαλύτερο ποσοστό δομημένου χώρου των αστικών κέντρων καλύπτεται από κτίρια με ζωή πάνω από 80 χρόνια καθώς και έργα μνημειακής σημασίας που έχουν ζωή χιλιετηρίδων. Έτσι ένας ισχυρός σεισμός προσβάλλει μια ποικιλία κατασκευών που η κάθε μια ακολουθεί τις μεθόδους αντισεισμικού σχεδιασμού της εποχής της, εκ των οποίων πολλές βασίζονται σε εμπειρικούς κανόνες, άλλες σε ελλείψεις κανόνες, άλλες χωρίς φροντίδα προσδόσεως πλαστιμότητας κ.ό.κ. Συνεπαγωγικά είναι αναμενόμενο να εμφανιστούν βλάβες σε ένα ευρύ φάσμα κατασκευών, των οποίων οι προδιαγραφές είναι σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με το τρέχον επίπεδο γνώσης και μέσω των επίτευξης των μελετών.

Η εκτίμηση της σεισμικής επάρκειας ενός κτιρίου αποτελεί ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα. Ωστόσο, γνωρίζοντας εκ των προτέρων τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την τρωτότητα των κτιρίων σε σεισμό, δίνει το έναυσμα για να αναζητηθούν και να εφαρμοστούν με μεγαλύτερη επιτυχία οι τρόποι αντισεισμικής θωράκισης των κατασκευών. Σύμφωνα με τον Ο.Α.Σ.Π. οι βασικοί παράγοντες⁸ που επηρεάζουν τη διακινδύνευση των κτιρίων είναι οι εξής: η χρονική περίοδος κατασκευής (ισχύοντας

⁸<http://www.oasp.gr/userfiles/file/%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%A6%CE%95%CE%A1%CE%95%CE%99%CE%91%20%CE%9A%CE%95%CE%9D%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%9C%CE%91%CE%9A%CE%95%CE%94%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%91%CE%A3/PROSEISMICOS_LEKIDIS_PROSTASIA-1.pdf>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

αντισεισμικός κανονισμός), το δομικό σύστημα, η μελέτη που εφαρμόστηκε, τα υλικά κατασκευής και η κατανομή των επιταχύνσεων σε συνδυασμό με το έδαφος στην περιοχή που μελετάται.

Η υψηλή απαίτηση σε ποιότητα υλικών, μελετών, επιβλέψεων και κατασκευών έρχεται δυστυχώς σε αντίφαση με την πραγματικότητα της εποχής. Ωστόσο η δημιουργία μηχανισμών απορροφήσεως - καταναλώσεως σεισμικής ενέργειας σε όλη την έκταση της κατασκευής πρέπει να είναι και ο πρωταρχικός σκοπός για την διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής και έπειτα όλων των άλλων. Από την ενδελεχή τεκμηρίωση κάθε βλάβης και την προσεκτική αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου προκύπτουν πολύτιμα στοιχεία που με σωστή αξιοποίησή τους οδηγούν σε βελτιώσεις των μεθόδων μελέτης και κατασκευής.

Η Ελλάδα φημίζεται για την έντονη σεισμική της δραστηριότητα για αυτόν το λόγο η διενέργεια αυτοψίας είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και την αντικειμενική εκτίμηση αποφεύγοντας όσο γίνεται τα σφάλματα. Η υπέρβαση της αντοχής, οι κακοτεχνίες και ο συνδυασμός αυτών είναι οι συνηθέστερες αιτίες βλαβών. Ακόμα και στην περίπτωση που αντέξει η κατασκευή μετά από σεισμό, η αρχική αντισεισμική της ικανότητα μειώνεται καθώς ο φορέας χάνει την αντοχή του δραματικά. Ο σκοπός της αποκατάστασης του βαθμού αντισεισμικής ασφάλειας του κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω της αναγνώρισης των βλαβών και της επισκευής τους.

Κατά τη διάρκεια της προσεκτικής ανάλυσης κάθε βλάβης με σκοπό την παρατήρηση της συμπεριφοράς της κατασκευής στο σεισμό, προάγονται πολύτιμα συμπεράσματα που βοηθούν στη βελτίωση των μεθόδων μελέτης και κατασκευής. Έτσι, κατά τη μελέτη των μετασεισμικών βλαβών που εμφανίζονται στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής, το ενδιαφέρον εστιάζεται ταυτόχρονα *«στους τυπικούς βαθμούς βλάβης, που αναφέρονται σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία και συνδέονται άμεσα με εναπομένουσες αντοχές και διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας αυτών των βλαμμένων στοιχείων και στον χαρακτήρα των βλαβών, που αναφέρεται στην κατασκευή ως σύνολο και συνδέεται με την ασφάλεια της*

κατασκευής, την λήψη αποφάσεων (επιλογή μέτρων “θεραπείας”) και τον βαθμό επείγοντος λήψεως μέτρων και επεμβάσεων.»⁹

Προς διευκόλυνση του μελετητή οι βλάβες ταξινομούνται σε βλάβες τοπικού χαρακτήρα και γενικού. Οι βλάβες τοπικού χαρακτήρα βρίσκονται σε μεμονωμένα στοιχεία της κατασκευής και διακρίνονται επιμέρους σε βλάβες τοπικού χαρακτήρα ελαφρές, σοβαρές και βαριές ανάλογα με την ένταση του προβλήματος και την αμεσότητα επίλυσής του (δηλαδή πόσο καθοριστικές είναι για τη γενική ευστάθεια του κτιρίου). Ο διαχωρισμός αυτός αφορά δοκούς και πλάκες και όχι τριχοειδείς ρωγμές σε βλαβέντα στοιχεία που «δεν υπερβαίνουν σε κάθε στάθμη το 30% του συνόλου των κατακόρυφων στοιχείων της στάθμης.»¹⁰ Οι βλάβες γενικού χαρακτήρα είναι καθοριστικές για τη γενική ευστάθεια του κτιρίου και υποδεικνύουν τις πιθανές αιτίες πρόκλησής του όπως πρόβλημα στη θεμελίωση, σφάλμα στη σύνθεση και στο σχεδιασμό του φορέα και άλλα.

Τα σημεία σε μια κατασκευή στα οποία η πρόκληση σεισμού δημιουργεί αρνητικές επιπτώσεις είναι τα υποστυλώματα, τα τοιχία, οι δοκοί, οι κόμβοι δοκών-στύλων, οι πλάκες και ο οργανισμός πληρώσεως. Οι βλάβες στα υποστυλώματα και στις δοκούς αριθμούν το 50% σχεδόν των κατασκευών που παρουσίασαν βλάβες στο σκελετό καθώς είχαν υποστεί ζημιές από σεισμό. Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι υψηλού κινδύνου γιατί αλλοιώνουν τη φέρουσα ικανότητα των κατακόρυφων στοιχείων, αντιθέτως οι βλάβες στον οργανισμό πληρώσεως ενώ δε θεωρούνται επικίνδυνες για την ευστάθεια της κατασκευής, είναι πιο συχνές.

Γενικά ένα κτίριο με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία (συγκεκριμένα λιθοδομή) είναι συνήθως μέχρι τρεις ορόφους και αφού αποφασισθεί το σχήμα επισκευής που θα εκτελεσθεί λαμβάνονται όλα τα προαπαιτούμενα μέτρα για τις εργασίες επισκευής. Πέρα από το σημείο στο οποίο βρίσκεται η βλάβη (δηλαδή σε καθοριστικά στοιχεία της κατασκευής ή όχι), οι βλάβες κατηγοριοποιούνται και σε ελαφρές ή σοβαρές. Στις ελαφρές βλάβες εντάσσονται οι ρωγμές ενώ στις σοβαρές βλάβες υπόκεινται περιπτώσεις όπου επέρχεται αποδιοργάνωση της μάζας των τοίχων ή απόκλιση. Η χρήση των ελκυστήρων

⁹ Χασάπης Ε., Χριστάκη Α., «Βλάβες από σεισμό και τρόποι επέμβασης σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα», 6^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών 2000», Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Φεβρουάριος 2000, Τόμος Ι, Εργασία Νο 2, σελ. 1.

¹⁰ Ροβήλος Αθ., «Μετασεισμικός έλεγχος σε κτίρια – Σεισμική παθολογία κτιρίων – Οδηγίες και μέθοδοι επισκευών κτιρίων με βλάβες από σεισμό», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001, σελ. 13.

δεν δύναται να καλύπτει όλο το φάσμα των ζημιών αλλά ως μέθοδος επικεντρώνεται στην αστοχία του φέροντος οργανισμού και του οργανισμού πληρώσεως που (ο τελευταίος) πλήττεται πρώτος από το σεισμό πριν εμφανιστούν οι ζημιές στο φέροντα οργανισμό.

Αφού έχουν εξακριβωθεί οι αιτίες που προκάλεσαν τις αστοχίες σειρά έχει η επισκευή και η αποκατάσταση των βλαβών που επιδιώκουν την αύξηση της ικανότητας του κτιρίου να απορροφήσει τη σεισμική ενέργεια και να την διαμοιράσει στο φέροντα οργανισμό. Δεν πρόκειται για μεμονωμένη αποκατάσταση καθώς κρίνεται απαραίτητο σε πολλές περιπτώσεις ο φέροντας οργανισμός να αντιμετωπισθεί από τους μηχανικούς σαν ένα ενιαίο σύνολο γιατί οι ιδιότητες των στοιχείων του κτιρίου αλληλοεπηρεάζονται. Έτσι το σχέδιο επισκευής φιλοδοξεί στη βέλτιστη κατανομή και απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας από όλα τα στοιχεία του κτιρίου.

Πεδίο εφαρμογής: φέρουσα τοιχοποιία

Η τοιχοποιία είναι από τους πιο παλαιούς και δύσκολους τρόπους δόμησης που συνδυάζει μια ποικιλία δομών και τύπων. Ωστόσο η χρήση της θέλει μεγάλη προσοχή γιατί κτίρια με βλάβες από σεισμούς όταν εξετάστηκαν φανέρωσαν ότι η κακή ποιότητα των υλικών, του κτισίματος, ο μη σωστός συνολικός σχεδιασμός και άλλοι παράγοντες είχαν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του στατικού σχήματος της κατασκευής.

Στο σύνολό της η τοιχοποιία είναι πολυμορφικό υλικό, οι πλίνθοι και το συνδετικό κονίαμα που την αποτελούν παρουσιάζουν το καθένα τις δικές του ιδιότητες με αποτέλεσμα να δημιουργούν μια απείθαρχη συνοχή. Οι πλίνθοι είναι γνωστοί για την ποικιλία τους σε σχήμα, μέγεθος και κατεργασία. Το κονίαμα είτε μπορεί να απουσιάζει εντελώς είτε υπάρχει σε μεγάλη ποικιλία...

Η τοιχοποιία παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Κάποια από αυτά είναι η ψαθυρότητά της, οι μικρές τιμές της θλιπτικής αντοχής, η μικρή πλαστιμότητα καθώς αυξάνονται οι όροφοι και άλλα. Παρ' όλα αυτά δεν πρέπει να παραλειφθεί η αντοχή της στο χρόνο, στην πυρκαγιά, στις υψηλές θερμοκρασίες και άλλα.

Τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία εμφανίζουν μεγάλη διαφοροποίηση λόγω του φέροντος οργανισμού τους που ποικίλει σε διάφορους τύπους. Η συμπεριφορά των κτιρίων καθορίζεται από τον τύπο των φερουσών τοιχοποιιών (κατακόρυφος φέρων οργανισμός), των πατωμάτων και στεγών (οριζόντιος φέρων οργανισμός) και την ύπαρξη ή μη διαζωμάτων και ελκυστήρων. Αντικείμενο του ενδιαφέροντος είναι ο κατακόρυφος φέροντας οργανισμός και πώς αλληλεπιδράει με την ύπαρξη των ελκυστήρων.

Η χρήση των ελκυστήρων γίνεται αποκλειστικά σε τοιχοποιία, αξιοποιώντας την πέτρα που προσφέρεται από το φυσικό περιβάλλον. Το δομικό σύστημα και η γνώριμη παραδοσιακή αρχιτεκτονική ανέδειξαν το υλικό πέτρα ως ένα από τα βασικότερα συστατικά της κτιριακής κατασκευής. Το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία μιας κατασκευής που δομούνται από πέτρα. Μετά την επικράτηση των οικοδομικών συντεχνιών, το 18^ο αιώνα, το κτίσιμο της πέτρας εμπλουτίζεται με διάφορα συνδετικά κονιάματα για την ενίσχυση της τοιχοποιίας. Τα κονιάματα αυτά ποικίλουν όσον αφορά τη σύνθεση, τις ιδιότητες και τις αντοχές τους. Οι λιθοδομές εξωτερικά σε αντίθεση με το εσωτερικό συνήθως δεν έχουν επίχρισμα ούτε επικάλυψη χρώματος.

Κατά κύριο λόγο τα πέτρινα κτίσματα στα οποία εφαρμόζονται οι ελκυστήρες είναι ορθογώνια σχήματα. Οι διαστάσεις των πέτρινων τοίχων αλλάζουν ανάλογα με τις διαστάσεις του κτίσματος. Το πάχος της τοιχοποιίας εκτίνεται από 0,50μ. ως 1,50μ., ενώ σε κάθε υπερκείμενο όροφο το πάχος μειώνεται κατά 10 περίπου εκατοστά. Οι κατασκευές συνήθως είναι από μονόροφες ως τριώροφες και αυτό εξαρτάται από το ιδιοκτησιακό καθεστώς, τη χρήση, τη θέση, τα υλικά και τον τρόπο κατασκευής τους.

20

Σε ένα κτίριο για τη μείωση της παραμορφωσιμότητάς του οι τομείς επέμβασης είναι τρεις¹¹: στις στάθμες κάθε ορόφου, στην κορυφή του κτιρίου ή στις παρειές των τοίχων του, και στις συνδέσεις των τοίχων μεταξύ τους. Οι ελκυστήρες εντάσσονται στην πρώτη και τρίτη περίπτωση, καθώς συνδέουν τα κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία μεταξύ τους.

Στα οριζόντια φέροντα συστήματα εντάσσεται η θολοδομία. Η διάταξη των θόλων των παραδοσιακών κατασκευών είναι εξ ολοκλήρου από λίθινα μέλη και χρησιμοποιείται ως τεχνική κάλυψη του χώρου με τη βοήθεια των θολωτών κατασκευών (καμάρες). Οι ελκυστήρες πρωταρχικά εμφανίστηκαν σε δομήματα που έχουν καμαρωτά ή θολωτά πατώματα, τόξα, αψίδες και τρούλους (όπως τα Ρωμαϊκά, Βυζαντινά ή Οθωμανικά μνημεία). *«Οι ελκυστήρες τοποθετούνται στη στάθμη γένεσης των καμπύλων φορέων ώστε να αναλάβουν τις οριζόντιες ωθήσεις που αναπτύσσονται υπό τα κατακόρυφα φορτία. Οι ελκυστήρες αυτοί συνδέονται συνήθως στα άκρα τους με ξυλοδεσιές ενσωματωμένες στους*

¹¹ Μιλτιάδου-Fezans Α., ομιλία με θέμα «Επεμβάσεις βελτίωσης της συμπεριφοράς κτιρίων από τοιχοποιία» στην Ημερίδα «Αποτίμηση & Επεμβάσεις σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα & τοιχοποιίες», ΤΕΕ Τμήμα Πελοποννήσου, Τρίπολη 2016, σελ. 64.

εγκάρσιους τοίχους. Είναι φανερό ότι ο ρόλος των διαζωμάτων και των ελκυστήρων είναι να ενισχύσουν την απόκριση των τοιχοποιιών έναντι καταπονήσεων εκτός του επιπέδου τους και να εξασφαλίσουν τη λειτουργία των φερουσών τοιχοποιιών ως ενιαίου συνόλου υπό οριζόντια σεισμική καταπόνηση ή ωθήσεις από τον οριζόντιο φέροντα οργανισμό.»¹²

¹² Πολυχρονίου Κ. Ε., «Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία και προτεινόμενες ενισχύσεις με ανάπτυξη της μεθοδολογίας των καμπύλων ρευστότητας», μεταπτυχιακή εργασία ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός & Ανάλυση Κατασκευών-ΕΜΠ, σελ.12.



*Εικόνα 1_Ενίσχυση θολοδομίας Ιερού Ναού Παναγίας
ρτιδιώτισσας (Κύθηρα)_πηγή: φωτ. Αρχείο Χ. Γιαρλέλ*

22



*Εικόνα 2_Ενίσχυση αψίδων των Τάφων των ακτών Λυκίας (Λυκία, Μ. Ασία)_πηγή
πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη*

Ελκυστήρες

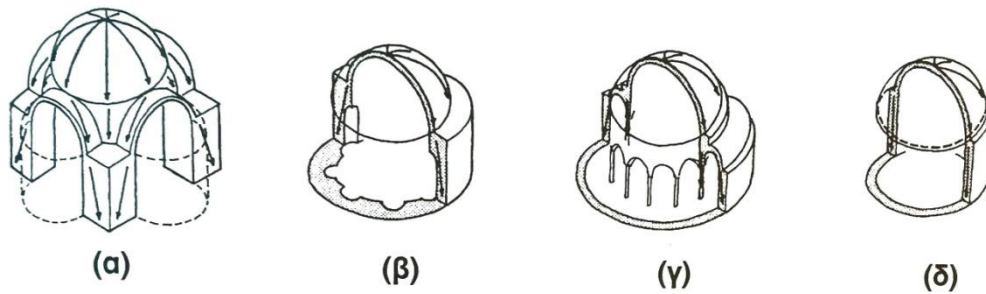
Οι ελκυστήρες μαζί με τα διαζώματα αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία συνδέσεων με τις φέρουσες τοιχοποιίες, συμβάλλουν στην προστασία του κτιρίου από οριζόντια σεισμικά φορτία και ενισχύουν την απόκριση της τοιχοποιίας έναντι των καταπονήσεων. Οι ελκυστήρες είναι ευθύγραμμα στοιχεία που ενσωματώνονται στις στάθμες των ορόφων της κατασκευής με υλικό κατασκευής που ποικίλει ανάλογα με το πότε και κάτω από ποιες συνθήκες εφαρμόστηκαν. Για την εφαρμογή τους το πάχος της τοιχοποιίας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 45 εκ. Χωρίζονται σε παθητικούς και ελαφρά προεντεταμένους ανάλογα αν έχει εφαρμοστεί εκ των προτέρων στα στοιχεία αυτά εφελκυσμός ή όχι. Συναντώνται σε διάφορες θέσεις μέσα στο κτίριο: εσωτερικά και εξωτερικά των τοίχων και σε εμφανή ή αφανή σημεία κάτι που εξαρτάται από το πώς συμφέρει να βελτιωθεί η συμπεριφορά της τοιχοποιίας έναντι οριζοντίων μετακινήσεων.

Ο κύριος ρόλος των ελκυστήρων είναι να αποτρέψουν την αποκόλληση των διασταυρούμενων τοίχων που δημιουργούν κατακόρυφες ακμές σε γωνίες Γ ή Τ, είτε από σεισμική καταπόνηση, είτε από ωθήσεις τόξων, ή στεγών. Οι ελκυστήρες, ορατοί ή μη, ξύλινοι ή μεταλλικοί, συναντώνται σε όλες σχεδόν τις κατασκευές που έχουν καμαρωτά ή θολωτά πατώματα, τόξα, αψίδες και τρούλους όπως τα Ρωμαϊκά, Βυζαντινά ή Οθωμανικά μνημεία. Οι ελκυστήρες τοποθετούνται στη στάθμη γένεσης των καμπύλων φορέων γιατί εκεί μπορούν να αναλάβουν τις οριζόντιες ωθήσεις που αναπτύσσονται από τα κατακόρυφα φορτία.

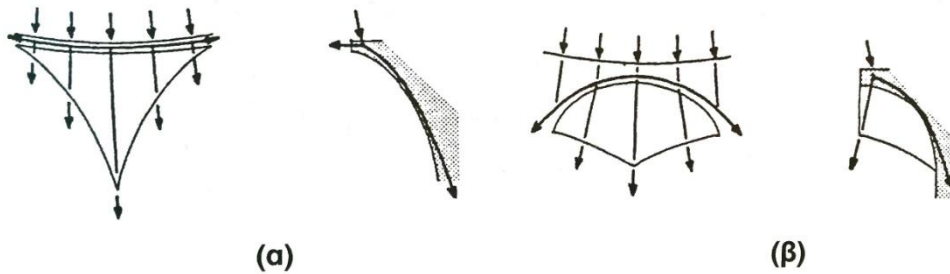
Οι ελκυστήρες είναι μια μέθοδος επέμβασης στο κτίριο που αποσκοπεί στην απόκριση των τοιχοποιιών έναντι καταπονήσεων κυρίως του επιπέδου τους. Με τη βοήθεια των ελκυστήρων επιτυγχάνεται η εξασφάλιση της λειτουργίας των φερουσών τοιχοποιιών ως ενιαίου συνόλου υπό οριζόντια σεισμική καταπόνηση ή ωθήσεις από τον οριζόντιο φέροντα οργανισμό.

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητή η αναγκαιότητα να ορίσουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η τρωτότητα των κτιρίων από τοιχοποιία. Η τυπολογία (δηλαδή η ασυμμετρία σε κάτοψη) ενός κτιρίου, το υλικό της τοιχοποιίας του, το ύψος και η ηλικία του κτιρίου διαχωρίζουν τη συμπεριφορά των κτιρίων αυτών υπό την επίδραση

των σεισμικών δυνάμεων. Έτσι ο βαθμός βλαβών¹³ σε ένα κτίριο αυξάνεται καθώς το κτίριο διαθέτει πάνω από έναν ορόφους, όταν δεν υπάρχουν οριζόντια διαζώματα και όσο πιο έντονος είναι ο σεισμός. Η κατηγοριοποίησή τους αυτή είναι ένα τρόπος να αποτιμηθεί η φέρουσα ικανότητά τους και να προσεγγιστούν πιθανοί τρόποι ενίσχυσής τους.



Εικόνα 3_Μεταφορά δυνάμεων τρούλων αναλόγως των στηρίξεων (α-δ)_πηγή: Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2^η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ.387.



Εικόνα 4_Μεταφορά των δυνάμεων σε σφαιρικά τρίγωνα (α) και ημιχώνια(β)_πηγή: Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2^η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ.387.

Η τοποθέτηση των ελκυστήρων αρχικά συνδυάστηκε με τις αγίδες και τους θόλους και είναι ένα απλό ενισχυτικό μέτρο που εφαρμόζεται από πολύ παλιά. Οι δυνάμεις μιας

¹³ Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ. 320-322.

αψίδας μεταφέρονται στο θόλο, αναπτύσσονται τάσεις λόγω των κατακόρυφων φορτίων και των οριζόντιων ωθήσεων που εξασκούνται στις στηρίξεις και έτσι το βάρος «πέφτει» στην αντοχή των τοιχοσωμάτων. Για το λόγο αυτό, ο ακριβής έλεγχος μιας αψίδας γίνεται πάντα σε συνδυασμό με τα τμήματα (τοιχούς ή πεσσούς) που τη στηρίζουν. Κατά συνέπεια θεωρείται ενιαίο το σύστημα αψίδα-στηρίξεις. Η μετακίνηση των λίθων των αψίδων και των στηρίξεων που μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια σεισμού και οι ρωγμές στο μέτωπο της αψίδας, μπορούν να αποφευχθούν με την τοποθέτηση ελκυστήρων προς τη διεύθυνση του ανοίγματος και στο ύψος της επιφάνειας γένεσης της ρωγμής. Μέσω των ελκυστήρων (και άλλων συνδυαστικών τεχνικών), οι ωθήσεις αποτρέπονται καθώς ο θόλος συγκρατείται και σταθεροποιείται.

Όπως και στις αψίδες έτσι και στους θόλους η εξασφάλιση της δυσκαμψίας των στηρίξεων γίνεται με την προσθήκη ελκυστήρων. Ωστόσο υπάρχουν πολλά είδη τρούλων (από τα αρχαία χρόνια) οι οποίοι είναι ένα είδος στέγασης που συνδυάζει την περιστροφή μιας αψίδας γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της. Ο πιο απλός τρόπος στήριξης ενός τρούλου είναι μια κυκλική βάση η οποία με την πάροδο των χρόνων εξελίχθηκε σε τετραγωνική βάση (που σε κάποιες περιπτώσεις συνδύαζε σφαιρικά τρίγωνα, λοφία¹⁴ κατά τους Βυζαντινούς). Στους τρούλους, το πρόβλημα έγκειται κοντά στις στηρίξεις καθώς εκεί αναπτύσσονται καμπτικές ροπές. Λόγω του κατακόρυφου φορτίου που οφείλεται στο βάρος του τρούλου δημιουργούνται δυνάμεις σε τμήματα και με τη σειρά τους δημιουργούνται ρωγμές. Οι τοίχοι στήριξης του τρούλου απαιτούν ισχυρό φορέα για την παραλαβή των φορτίων με αποτέλεσμα αυτό να «λύνεται» από τους Ρωμαίους και Βυζαντινούς είτε με τη διαπλάτυνση του τρούλου στο χαμηλότερο σημείο του, είτε μέσω των λοφίων, είτε μέσω ισχυρών αψίδων που θα παραλάβουν τις προς τα έξω ωθήσεις στην κορυφή του τρούλου.

Η χρήση των ελκυστήρων γίνεται είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά. Η εξωτερική περίσφιξη γίνεται μέσω μεταλλικών δακτυλίων που συγκρατούν τον τρούλο και είναι πλήρως αποτελεσματική στην περίπτωση που ο τρούλος στηρίζεται σε κυλινδρικό φορέα μέχρι τη θεμελίωση. Εσωτερικά τοποθετούνται ελκυστήρες στους διαμήκεις και

¹⁴ Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ. 379.

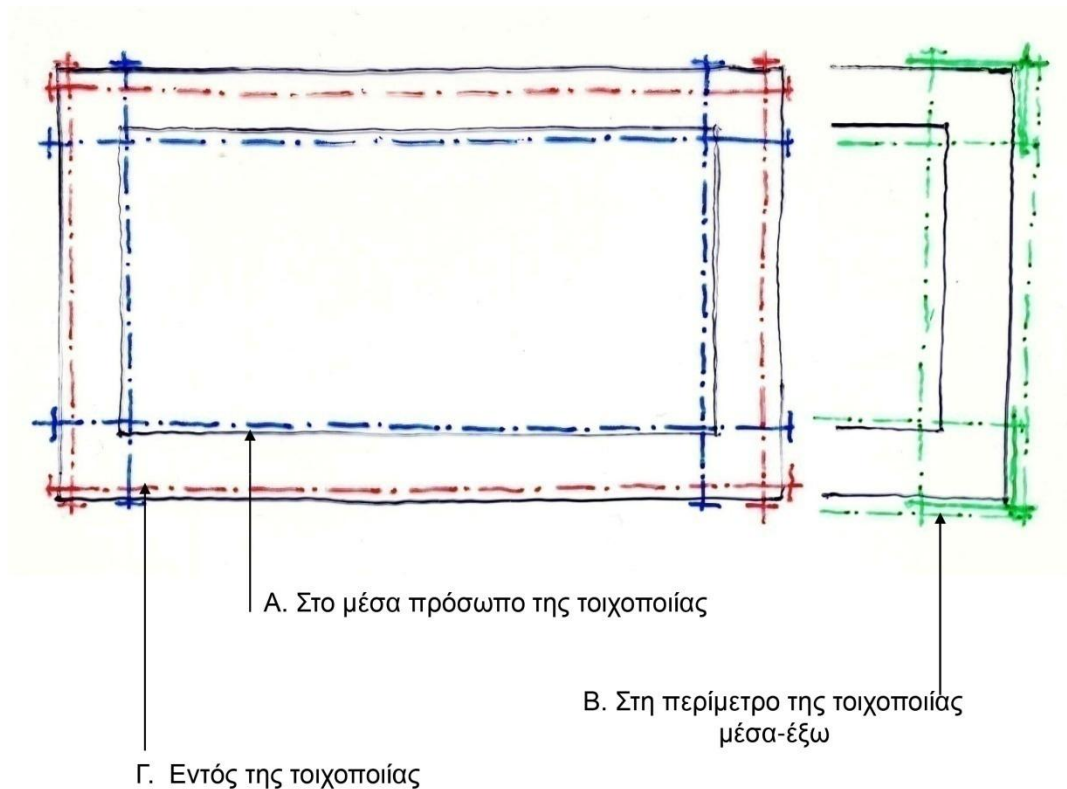
εγκάρσιους τοίχους (που φέρουν τον τρούλο) συνδέοντας τα στατικώς ανεξάρτητα¹⁵ τμήματα μεταξύ τους. Επίσης η ενίσχυση ενός τρούλου επιτυγχάνεται «με αύξηση της δυσκαμψίας των τυμπάνων στήριξης, ώστε να μειώνονται οι μετακινήσεις, καθώς και με εισαγωγή διαγώνιων ελκυστήρων στο εφελκόμενο τμήμα που παραλαμβάνει τις εφελκυστικές δυνάμεις»¹⁶. Παρ' όλα αυτά οι ελκυστήρες ως μέτρο επέμβασης δρουν επικουρικά μαζί με άλλα μέτρα γιατί δεν εξαλείφουν τον κίνδυνο σοβαρών ζημιών σε μελλοντικούς σεισμούς.

Διάταξη ελκυστήρων (θέση)

Η προσαρμογή των ελκυστήρων σε κτίρια ορθογωνικής κάτοψης έχει μεγαλύτερη ποικιλία όσον αφορά τη θέση τους στο κτίριο σε σχέση με τις κατασκευές που φέρουν θόλους, αψίδες και τρούλους. Οι ελκυστήρες σε πολλές περιπτώσεις είναι δύο παράλληλες ράβδοι που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο στις δύο όψεις της τοιχοποιίας που συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσια στοιχεία κατά το πάχος του τοίχου είτε σε διάφορα σημεία είτε στις γωνίες του κτιρίου. Αυτή η κατασκευή στο σύνολό της μοιάζει σαν δικτύωμα σε οριζόντιο επίπεδο στο χώρο που άλλοτε λειτουργεί σαν διάζωμα και άλλοτε σαν ελκυστήρας. Λόγω κτιριακής δομής (ορθογωνική κάτοψη) είτε στοιχηθούν εξωτερικά είτε εσωτερικά, η κύρια συνεισφορά τους στην κατασκευή είναι να αποτρέψουν την αποκόλληση των διασταυρούμενων τοίχων καθ' ύψος των κατακόρυφων ακμών από σεισμική καταπόνηση.

¹⁵ Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού χωρίς και με Επεμβάσεις, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου 2008, άρθρο 1921, σελ. 15.

¹⁶ Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ. 391.



Εικόνα 5 _Δυνατές θέσεις τοποθέτησης ελκυστήρων σε τοιχοποιίες_

πηγή: Κουφόπουλος Π., Ημερίδα με θέμα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΑΜ, Οκτώβριος 2014, σελ.25

Η τοποθέτηση των ελκυστήρων στην εξωτερική παρειά των τοίχων είναι η περιμετρική επιπρόσθετη σύνδεσή τους. Οι ελκυστήρες γίνονται ορατοί όπου εντοπίζεται το βλαμμένο στοιχείο συγκρατώντας το. Εξωτερικά η προσθήκη ελκυστήρων είναι το πιο άμεσο μέτρο για την υποστήριξη των τοίχων των κτιρίων λόγω της εύκολης εγκατάστασής τους. Η τοποθέτησή τους και η μετέπειτα εύκολη αφαίρεσή τους σηματοδοτεί την έναρξη εφαρμογής μόνιμων μέτρων στήριξης του κτιρίου που ενδεχομένως συμπληρώνουν την τελειωτική και ολοκληρωμένη μελέτη των μηχανικών.

Η τοποθέτηση των ελκυστήρων στην εσωτερική παρειά των τοίχων κάνει τα στοιχεία αυτά ορατά από το εσωτερικό της κατασκευής είτε μη ορατά καθώς είναι ενσωματωμένα στο σώμα της τοιχοποιίας. Στην περίπτωση που οι ελκυστήρες είναι ορατοί έχουν τοποθετηθεί για τη συγκράτηση της τοιχοποιίας θόλων, τόξων, αψίδων, τρούλων, όπως

περιγράφηκε παραπάνω αλλά και κάθετων ορθογωνικών τοίχων. Στην περίπτωση των μη ορατών ελκυστήρων, η λειτουργία τους είναι διαζωματική καθώς οι εσωτερικοί ράβδοι (ελκυστήρες) αγκυρώνονται στα άκρα των εξωτερικών όψεων των γωνιών των τοίχων. Αν και «κρυφοί», οι ελκυστήρες αυτοί φανερώνουν τη θέση τους στο κτίριο από τα εμφανή κλειδιά αγκύρωσης στις όψεις του κτιρίου.

Ο ρόλος των (οριζόντιων) αφανών ελκυστήρων δε διαφέρει και πολύ από του εμφανείς. Το πρόβλημα όμως των αφανών (μεταλλικών) ελκυστήρων είναι η προσβολή τους από οξείδωση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η υγρασία των υλικών της τοιχοποιίας (λίθοι, πλίνθοι, ασβεστοκονιάματα) που περιβάλλουν τους «κρυφούς» ελκυστήρες, εισχωρεί στο εσωτερικό της με αποτέλεσμα να τους διαβρώνει. Κατά συνέπεια, χρήζουν αποκατάστασης και οι ελκυστήρες και τα γύρω υλικά που αποσυντίθενται από τη διόγκωση των μεταλλικών ενισχύσεων λόγω οξείδωσης. Η συχνή απουσία επικάλυψης προστασίας των ελκυστήρων έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ιστορικά κτίρια.

Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να αναφερθεί ο ρόλος των κλειδιών αγκύρωσης στο δόμημα. Όπως οι υποδοχές ικριωμάτων σε διάφορες στάθμες έτσι και τα κλειδιά αγκύρωσης μαρτυρούν τις θέσεις των ελκυστήρων ή των εσωτερικών ξυλοδεσιών καθώς αγκυρώνονται στις όψεις του κτιρίου. Τα κλειδιά αγκύρωσης είναι οι μεταλλικές απολήξεις στο «πρόσωπο» της τοιχοποιίας, που ασφαλίζουν κατά κάποιο τρόπο τα εφελκυστικά στοιχεία του κτιρίου λόγω της έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Επίσης χρησιμοποιείται και ο όρος «πύρρος» αγκύρωσης που εκφράζει όλο το σύστημα της αγκύρωσης του εφελκυστικού στοιχείου μαζί με το (κάθετο σε πολλές περιπτώσεις) έλασμα. Σε τοπικές οικοδομικές διαλέκτους που διατηρούν τα αντιδάνειά τους, ο όρος (βεν. *arpese*) «άρπεζα»¹⁷ αναφέρεται στη «δοκό από σίδερο που φθάνει από το ένα άκρο του σπιτιού στο άλλο» και «χρησίμευε για να συγκρατεί τα σπίτια από τους σεισμούς»¹⁸ και ο όρος «σταγκέττα» ή «μπαστούνι» αναφέρεται στο κάθετο εξωτερικό έλασμα. Το έλασμα αυτό άλλοτε είναι κάθετο και άλλοτε έχει σχήμα «S» για να «δένει» μεγαλύτερη επιφάνεια του κτιρίου. Στο παρελθόν τα ελάσματα ήταν σφυρήλατα και χάρη στην τεχνολογική

¹⁷ Μισαηλίδου Α., διδακτορική διατριβή «Ο ναός των Αγίων Αποστόλων στο Πυργί της Χίου», ΑΠΘ Τμήμα Ιστορίας & Αρχαιολογίας Τομέας Βυζαντινής Αρχαιολογίας, σελ.132.

¹⁸ Κοροσίδου-Καρρά Ε., διδακτορική διατριβή «Τα Ρομανικά (Ιταλικά-Γαλλικά) δάνεια στο σύγχρονο ιδίωμα της Ζακύνθου», ΑΠΘ Φιλοσοφική Σχολή Τμήμα Ιταλικής Γλώσσας & Φιλολογίας, σελ.52.

εξέλιξη -όπως θα αναλυθεί και παρακάτω- τα κλειδιά αντικαταστάθηκαν από ανοξείδωτες πλάκες αγκύρωσης που και αυτές με τη σειρά τους ποικίλουν σε διατομές και σχήματα.



Εικόνα 6_Είδη αγκυρώσεων ράβδων ελκυστηρών: (α) πλάκα αγκύρωσης στρογγυλή διατομής, (β) πλάκα αγκύρωσης τετράγωνης διατομής, (γ) πύργος αγκύρωσης / «μπαστούνι» - (ε) κλειδιά αγκύρωσης σχήματος «I», (στ) κλειδιά αγκύρωσης σχήματος «S». πηγή: προσωπικό αρχείο, ίδια επεξεργασία.

Παθητικοί ή ελαφρά προεντεταμένοι ελκυστήρες (προένταση ελκυστήρων)

Σε μια κατασκευή, ορθογωνικής κάτοψης, από τοιχοποιία, η προσθήκη ελκυστήρων είναι ο πιο προσφιλής τρόπος σύνδεσης αποκολλημένων τοίχων και προέντασής τους. Προφανώς δεν πρόκειται για την περίπτωση που η αποκόλληση των τοίχων οφείλεται σε σεισμική δράση η οποία προκάλεσε αποσύνθεση της τοιχοποιίας γιατί τότε αυτός ο τοίχος θα πρέπει να ξανακτιστεί. Πρόκειται λοιπόν για περιπτώσεις όπου και οι δύο τοίχοι της κατασκευής (που σχηματίζουν γωνία) βρίσκονται σε καλή κατάσταση.

Άλλη μια κατηγοριοποίηση των ελκυστήρων είναι αν είναι παθητικοί ή ελαφρά προεντεταμένοι. Σε κάθε περίπτωση η προένταση αφορά μεταλλικά μέλη. Οι μεταλλικοί ελκυστήρες που δεν καταπονούνται σε προένταση από πριν είναι παθητικοί και η λειτουργία τους είναι συμπληρωματική. Οι παθητικοί ελκυστήρες είναι τα στοιχεία τοποθετημένα απλά, με απευθείας εφαρμογή στο κτίριο, χωρίς καμία διεργασία φόρτισης των οπλισμών από πριν. Στο κτιριακό σύστημα για να εξασφαλιστεί η δυνατότητα απελευθέρωσης ενέργειας από το δόμημα κατά την απόκριση στην σεισμική δράση, χωρίς ολική ή μερική κατάρρευση, η ύπαρξη παθητικών ελκυστήρων απορροφά την ενέργεια αυτή μειώνοντας την ένταση στην κατασκευή αφού όμως στην πρώτη γραμμή υπεράσπισης του κτιρίου έχουν βρεθεί τα δοκάρια, οι κολόνες και άλλα μέλη του φέροντος οργανισμού.

«Αν στους ελκυστήρες εφαρμοστεί εκ των προτέρων εφελκυσμός (προένταση) τότε τα στοιχεία αυτά ονομάζονται τένοντες. Οι τένοντες κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα προέντασης (ο δομικός χάλυβας δεν επαρκεί σε αυτές τις περιπτώσεις) και αποτελούν αξιόλογο τρόπο ενίσχυσης βλαμμένων στοιχείων. Ευθύγραμμοι τένοντες χρησιμοποιούνται συνήθως για την περιμετρική περίσφιξη τοιχοποιιών και για την αποκατάσταση λειτουργίας ελκυστήρα σε καμπύλους γραμμικούς ή επιφανειακούς φορείς. Δακτυλιοειδής τένοντες χρησιμοποιούνται για την περίσφιξη του τυμπάνου των τρούλων. Με την βοήθεια της προέντασης η ροή των δυνάμεων μπορεί να διορθωθεί και σε εξαιρετικές περιπτώσεις να αλλάξει την ίδια της την διεύθυνση. Έτσι επιτυγχάνεται βελτίωση της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας έναντι οριζοντίων μετακινήσεων.»¹⁹ Ως επεξήγηση αυτού η διαδικασία της προέντασης φορτίζει με τάσεις τα μεταλλικά στοιχεία

¹⁹ Ηλιόπουλος Δ. & Πασιοπούλου Μ., Πτυχιακή εργασία «Μανιάτικα πυργόσπιτα: Προβλήματα αναστήλωσης και διαχείρισης της επανάχρησής τους», ΤΕΙ Πειραιά-Τμήμα Πολιτικών δομικών έργων, σελ.38.

ώστε μετά την τοποθέτησή τους στο κτίριο και κατά τη διάρκεια του σεισμού οι προεντεταμένοι ελκυστήρες θα μετατραπούν σε παθητικούς και η κτιριακή δομή θα επανέλθει στην αρχική της κατάσταση, δηλαδή στην ισορροπία.

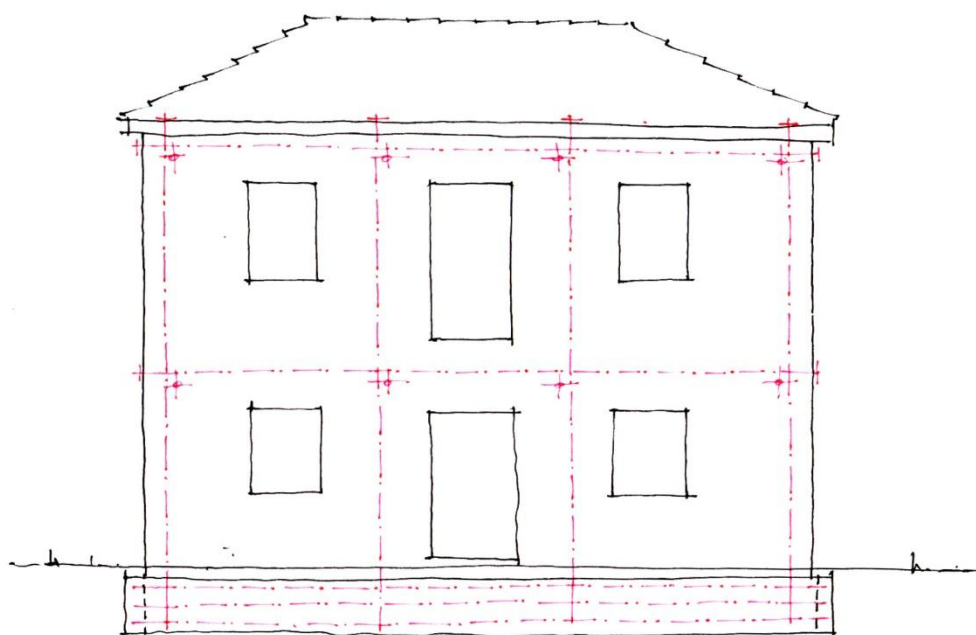
Με τη μέθοδο της προσθήκης ελκυστήρων δηλαδή, προεντεταμένων μελών, χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία, οι ελκυστήρες-τένοντες, που είναι κατασκευασμένοι συνήθως από δομικό χάλυβα, έπειτα καταπονούνται κυρίως εφελκυστικά και στη συνέχεια τοποθετούνται για την προσωρινή επισκευή ή ενίσχυση των φερόντων στοιχείων. Οι τένοντες τοποθετούνται για λόγους προστασίας από τη διάβρωση σε σωλήνες περιβολής ή εντός οπών που έχουν γίνει κατά μήκος και μέσα στον τοίχο ή κατά μήκος αυλακώσεων που έχουν διανοιχθεί *«συμμετρικά και στις δύο παρειές του τοίχου ώστε να επιτυγχάνεται κεντρική εφαρμογή της δύναμης προέντασης»*²⁰. Εσωτερικά, οι οπές πληρούνται με τσιμεντένεμα και εξωτερικά, προαιρετικά, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στις εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων, οι τένοντες αγκυρώνουν με τη βοήθεια δύσκαμπτων μεταλλικών πλακών. Έτσι η δύναμη προέντασης μεταφέρεται στην τοιχοποιία μέσω των μεταλλικών πλακών, που αυτές με τη σειρά τους την κατανέμουν στη μεγάλη επιφάνεια του τοίχου. Οι μεταλλικές πλάκες λέγονται πλάκες αγκύρωσης και πληρούνται προαιρετικά είτε με τσιμεντοκονίαμα είτε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είτε με τμήμα λίθου. Ωστόσο το πρόβλημα έγκειται στην *«αβεβαιότητα για το μέγεθος των χρόνιων απωλειών προέντασης εξαιτίας του ερπυσμού της τοιχοποιίας»*²¹.

²⁰ Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2^η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ. 477.

²¹ Ο.π., σελ. 478.

Διάταξη ελκυστήρων (διεύθυνση)

Η προένταση της τοιχοποιίας μπορεί να γίνει είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα είτε και στις δύο διευθύνσεις. Η οριζόντια προένταση, κατά μήκος των ανωφλίων, είναι πιο εύκολα πραγματοποιήσιμη κατασκευαστικά σε σύγκριση με την κατακόρυφη γιατί οι τένοντες ακυρώνονται στις γωνίες των τοίχων. Η κατακόρυφη προένταση, κατά μήκος των κολόνων, απαιτεί ενίσχυση του θεμελίου με περιμετρική ζώνη από οπλισμένο σκυρόδεμα στην οποία προσδένονται οι κάθετοι τένοντες. Η προένταση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι οριζόντια και σπανίως κατακόρυφη. Με τους ελκυστήρες και τους τένοντες επιτυγχάνεται η βελτίωση της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας έναντι οριζοντίων, συνήθως σεισμικών μετακινήσεων. Η ενίσχυση με προένταση χρησιμοποιείται κατά κόρον σε κατασκευές μνημειακού χαρακτήρα επειδή η επέμβαση είναι φιλική στο μνημείο καθώς είναι αναστρέψιμη και δεν προκαλεί μεγάλες επεμβάσεις στις ορατές επιφάνειές του.



32

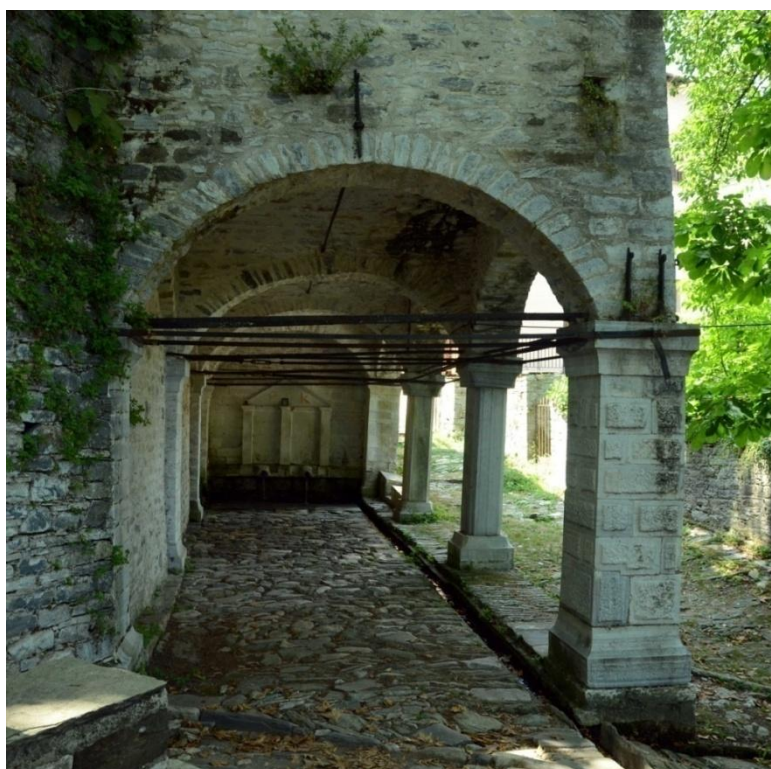
Εικόνα 7_Εισαγωγή πλέγματος κατακόρυφων και οριζόντιων ελκυστήρων και αγκυρίων στο κτίριο

πηγή: Κουφόπουλος Π., Ημερίδα με θέμα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΑΜ, Οκτώβριος 2014, σελ.59.

Υλικά κατασκευής ελκυστήρων

Οι ελκυστήρες κατασκευάζονται από σίδηρο, από μέταλλο και από ξύλο. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το μέταλλο χρησιμοποιείται για ριζοπλισμούς, ελκυστήρες-τένοντες και διαζώματα. Η χρήση σιδηρών ελκυστήρων εισήχθηκε στη βυζαντινή και οθωμανική αρχιτεκτονική όπου ήταν αισθητή η παρουσία σιδήρου και μολυβιού ως δευτερεύοντα δομικά στοιχεία. Έτσι επίδοξοι τεχνίτες χρησιμοποιούσαν το σφυρήλατο σίδηρο στους λίθινους τοίχους για τη δημιουργία των ελκυστήρων και λειωμένο μολύβι για την προστασία τους από την οξείδωση.

Σήμερα προτιμάται κυρίως η χρήση των ανοξειδωτων μετάλλων για να αποφευχθούν διογκώσεις στην τοιχοποιία που μπορεί αυτές με τη σειρά τους να προκαλέσουν ρωγμές. Ωστόσο είναι πιθανή η χαλάρωση των ελκυστήρων-τενότων με την πάροδο του χρόνου λόγω ερπυσμού, γι' αυτό και συνίσταται υποχρεωτικός συστηματικός έλεγχος αλλά και επιλογή μετάλλων με ειδικές προδιαγραφές για το σκοπό αυτό.



Εικόνα 8_Ενίσχυση τόξων, Τσαγκαράδα Πηλίου

πηγή: προσωπικό αρχείο

Μεταλλικοί ελκυστήρες

Με την ανατολή του 19^{ου} αιώνα και τη βιομηχανική επανάσταση στην δόμηση, εκτός από τα ήδη γνωστά παραδοσιακά υλικά που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται αμείωτα (λίθοι, πλίνθοι, κονιάματα κ.ά.), εισάγονται και νέα υλικά με βελτιωμένες δυνατότητες όπως ο βιομηχανοποιημένος χάλυβας με πολλές εφαρμογές, ανάμεσα σε αυτές και στους ελκυστήρες. Οι τεχνικές ενσωμάτωσης χαλύβδινων στοιχείων στην τοιχοποιία υλοποιούνται με τους ελκυστήρες, οι οποίοι ενισχύουν την καμπτική, εκτός επιπέδου, λειτουργία των τοιχοποιιών καθώς μεταβιβάζουν τα οριζόντια φορτία στους εγκάρσιους τοίχους. Οι εσωτερικές και εξωτερικές ράβδοι-ελκυστήρες, όπως έχει ειπωθεί, προσδένονται στα άκρα των όψεων των γωνιών των τοίχων με τη βοήθεια εγκάρσιων μεταλλικών τεμαχίων (πεύροι) ή πλακών αγκύρωσης που είναι από χάλυβα.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας²² είναι το πιο συχνό υλικό ελκυστήρων, έχει υψηλότερη αντοχή σε διάβρωση και υψηλότερη μηχανική αντοχή. Είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου, με προσθήκη χρωμίου (Cr) σε ποσοστό από 16% έως 20% και νικελίου (Ni) σε ποσοστό από 8% ως 10% (το τελευταίο έχει ως συνέπεια το σχηματισμό ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων). Η πιο διαδεδομένη εμπορικά κατηγορία χαλύβων είναι οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες και ειδικότερα οι κατηγορίες AISI 304 (304L) και AISI 316 (316L). *«Η προσθήκη του γράμματος L στον κωδικό αριθμό της ποιότητας, υποδεικνύει τη συγκολλησιμότητα του χάλυβα.»*²³ Ωστόσο η επιλογή της κατάλληλης κατηγορίας για την κατασκευή εξαρτάται από τις απαιτήσεις της κατασκευής, το κόστος και άλλους παράγοντες. Έτσι στην κατηγορία των χαλύβων για την επισκευή βλαβών χρησιμοποιούνται οι ράβδοι χάλυβα, οι μορφοχάλυβες (προφιλ) διατομής διπλού T και U, λεπτά χαλυβοελάσματα και κοχλιοτοί σφικτήρες.

Οι μηχανικές ιδιότητες των μετάλλων των ελκυστήρων είναι απαραίτητες για την οικοδομική χρήση. Αυτές οι ιδιότητες, μαζί με τις θερμικές, ηλεκτρικές και άλλες, μεταβάλλονται όλες μαζί και από αυτές εξαρτάται η ελατότητά (δηλαδή η μορφοποίηση υπό πίεση) και η ολκιμότητά τους. Η ιδιότητα των μεταλλικών υλικών να εμφανίζουν

²² <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me1_2t.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/2/2017.

²³ Γαλανίδου Β., Διπλωματική Εργασία: «Μελέτη της Συμπεριφοράς του Ανοξείδωτου Χάλυβα σε Κονιάματα και Ενέματα βασισμένα στην Άσβεστο», ΑΠΘ-ΔΠΜΣ Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Αρχιτεκτονικών Μνημείων, Νοέμβριος 2014, σελ. 53.

σχετικά μεγάλες παραμορφώσεις πριν τη θραύση τους είναι και το κύριο πλεονέκτημα τους.

Στη μέθοδο των ελκυστήρων, το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικών στοιχείων για την φέρουσα κατασκευή παράγεται με διέλαση. Η διέλαση είναι τεχνική μορφοποίησης μετάλλου ή κράματος το οποίο συμπιέζεται μέσω εμβόλου μέσα από μήτρα (οπή) συγκεκριμένης διαμέτρου ή πάχους. Η πιο παλιά μέθοδος ήταν η σφυρηλάτηση μέσω της οποίας μορφοποιούνταν, συγκολλούνταν και σκληραίνονταν τα μέταλλα. *«Η πρόοδος της κατασκευαστικής τεχνολογίας, η βελτίωση των μεθόδων προστασίας από διάβρωση και πυροπροστασία οδήγησαν στη μόρφωση και χρήση λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως. Το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσεως των λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως είναι η αυξημένη αντοχή με συνέπεια την μείωση του βάρους. Οι λεπτότοιχες διατομές ψυχράς ελάσεως χρησιμοποιούνται πλέον και ως φέροντα δομικά στοιχεία δευτερευούσης σημασίας αλλά και ως καλύψεις.»*²⁴

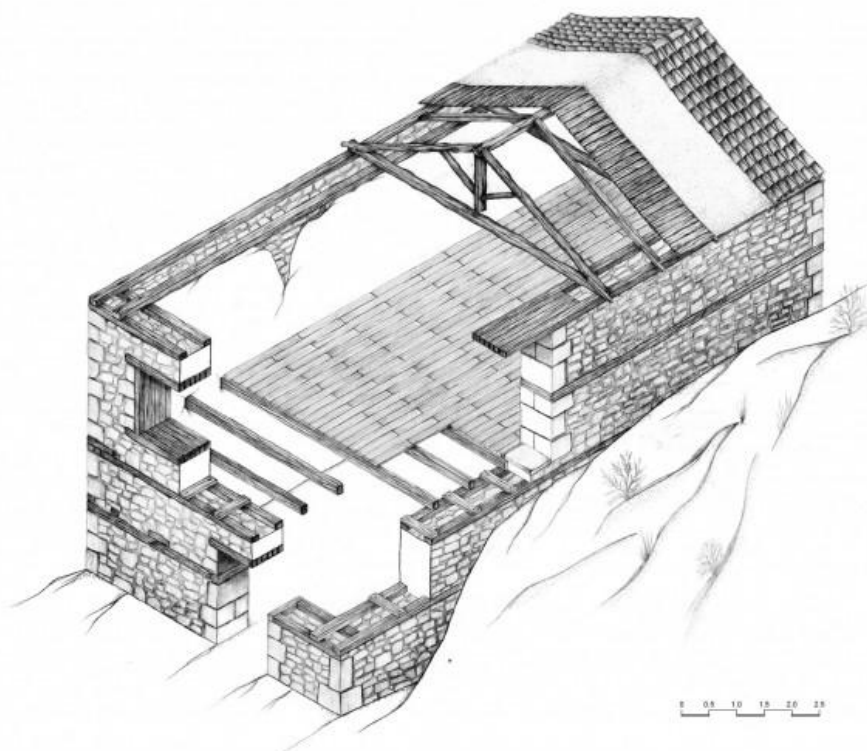
Έτσι ο χάλυβας που χρησιμοποιείται τελευταία είναι πιο σκληρός και ανθεκτικός αλλά ταυτόχρονα πιο εύθραυστος από άλλα μέταλλα και διαβρώνεται πιο σύντομα. Το μειονέκτημα αυτό της οξειδώσής τους έχει σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση των διατομών τους, τη διόγκωσή τους, την αποφλοιώση των γειτονικών (λίθινων και άλλων) υλικών που τους περιβάλλουν και την απώλεια συνάφειας μεταξύ του μετάλλου και του γειτονικού υλικού. Σαν λύση προτείνεται η χρήση ανοξειδωτων μετάλλων προς αποφυγή διογκώσεων και ρωγμών στην τοιχοποιία.

Εναλλακτικά, θεραπεία αυτού του σημαντικού προβλήματος είναι η εμβάπτιση των μεταλλικών στοιχείων πριν την τοποθέτησή τους με ειδικές βαφές –ελαιοβαφές- οι οποίες θα προστατεύσουν το μέταλλο και τα εμμέσως υλικά που το περιβάλλουν. Ακόμη η επιμετάλλωση είναι μια ενθαρρυντική λύση για περισσότερη αντοχή στη διάβρωση ή και για λόγους αισθητικούς. Συχνές τεχνικές επιμετάλλωσης είναι η επινικέλωση, η επιχρωμίωση, η επαργύρωση κ.λπ. με πιο παλιά το γάνωμα, δηλαδή την επικάλυψη με κασσίτερο αλλά τώρα πια χρησιμοποιείται ο γαλβανισμός δηλαδή η επικάλυψη του χάλυβα με ψευδάργυρο, για την αποφυγή της ταχείας διάβρωσης του υποκείμενου χάλυβα.

²⁴ <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me1_2t.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/2/2017.

Ξύλινοι ελκυστήρες

Η εφαρμογή του ξύλινου υλικού για την παραλαβή φορτίσεων στους ελκυστήρες είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται από πολύ παλιά. Εξάλλου οι κατασκευές που διαθέτουν ξύλο, πέτρα και άλλα φυσικά υλικά, απαντώνται κυρίως σε ορεινές, παραδοσιακές και αγροτικές περιοχές όπου αφενός οι κατασκευές σκυροδέματος έχουν μεγάλα κοστολόγια ανέγερσης και αφετέρου οι αισθητικές απαιτήσεις επιβάλλουν τέτοια υλικά.



Εικόνα 9_Αξονομετρικό παραδοσιακού πέτρινου κτιρίου

πηγή: <5a.arch.ntua.gr/project/1192/4199>, τελευταία επίσκεψη 15/1/2017.

Έτσι οι τοιχοποιίες από λιθοδομή, ανεπίχριστες εξωτερικά, φέρουν ξύλινες ενισχύσεις, που αυτή είναι και η πρωταρχική δομή των ελκυστήρων δηλαδή οι ξυλοδεσιές. Στο σώμα της τοιχοποιίας έχουν τοποθετηθεί οριζόντιοι ελκυστήρες από ξύλινα στοιχεία (ξυλοδεσιές), που πετυχαίνουν με βεβαιότητα τη λειτουργία των διασταυρούμενων τοιχοποιιών ως ενιαίου δομικού στοιχείου. Τα ξύλινα αυτά στοιχεία είναι οριζόντια και κάθετα τμήματα που ενώνονται μεταξύ τους θυμίζοντας δικτύωμα μορφής σκάλας. Έτσι οριζόντια στοιχεία κατά μήκος των εξωτερικών και εσωτερικών παρειών του τοίχου –

χωρίς να εξέχουν από αυτόν- ενώνονται μεταξύ τους με μικρότερα ξύλινα στοιχεία που τοποθετούνται κάθετα στα οριζόντια άρα και κάθετα στη διεύθυνση του τοίχου. Με αυτόν τον τρόπο η τοιχοποιία μοιάζει να εγκιβωτίζεται σε αυτά τα σημεία και να σταθεροποιείται εξασφαλίζοντας «την καλύτερη συμπεριφορά της στην κατανομή των φορτίων ή σε ένα πιθανό επερχόμενο σεισμό, καθώς η λιθοδομή συμπεριφέρεται καλύτερα σε θλιπτικές δυνάμεις, ενώ η ξυλοδεσιά ανταποκρίνεται εξίσου καλά στις εφελκυστικές καταπονήσεις. Οι συνδέσεις των ξύλων γίνονται με ήλωση, ενώ τα συνευθειακά κομμάτια ενώνονται με φαλτσογωνιά»²⁵. Για τη συγκεκριμένη κατασκευή (ξυλοδεσιές) δεν υπάρχει τυποποίηση, καθώς διαφέρει σε κάθε περιοχή και σε κάθε κτίσμα ο τρόπος τοποθέτησης των ξύλων κ.ά.

Το ξύλο ως υλικό ελκυστήρων, ξυλοδεσιών και άλλων φέρουσων κατασκευών είναι υλικό με μακρά ιστορία και αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Η φυσικότητά του ως υλικό δικαιολογεί την ανανεώσιμη υπόστασή του καθώς ανακυκλώνεται πλήρως. Παρουσιάζει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του και διαθέτει καλές μονωτικές ιδιότητες. Δυστυχώς προσβάλλεται από μικροοργανισμούς και σαπίζει. Δεν είναι ανθεκτικό σε πυρκαγιά και υγρασία και παρουσιάζει μεταβλητότητα δομής (ρίκνωση και διόγκωση).

Το πιο σύνηθες είδος ξυλείας που χρησιμοποιείται είναι η δρυς και η καστανιά. Σκοπός είναι να διαθέτει το ξύλο «υγρασία ισορροπίας»²⁶ που ορίζεται ως η υγρασία στην οποία ισορροπεί ένα ξύλο όταν μένει εκτεθειμένο σε ένα περιβάλλον για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Παράγοντες που επηρεάζουν την υγρασία ισορροπίας είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η σχετική υγρασία του αέρα. Από αυτή τη φυσική ιδιότητα του ξύλου εξαρτώνται όλες οι μηχανικές ιδιότητές του όπως η παραμορφωσιμότητα, η ανθεκτικότητα στον χρόνο, η δυνατότητα επεξεργασίας, η αντίσταση σε μύκητες και έντομα, κλπ.

Οι ελκυστήρες από ξυλεία είναι ο πιο παλιός τρόπος κατασκευής που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα πολλές φορές συνδυαστικά με το μέταλλο. Έτσι πιθανώς προκύπτει ένας φορέας που διαθέτει και ξύλινο και μεταλλικό ελκυστήρα για μεγαλύτερη συγκράτηση και ενίσχυση. Σήμερα, όταν πρόκειται για τοποθέτηση ξύλινων ελκυστήρων, η ξυλεία χρησιμοποιείται είτε για την αντικατάσταση της υφιστάμενης ξυλείας είτε για να γεφυρώσει αψίδες κ.ά. Η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή έτσι ώστε

²⁵ <<https://5a.arch.ntua.gr/project/982/1526>>, τελευταία επίσκεψη 15/1/2017.

²⁶ <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/xil_1_5t.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/2/2017.

να εξασφαλιστεί η στατική επάρκεια του στοιχείου που συγκρατεί. Η ποιότητα, οι διατομές και ο τύπος του ξύλου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να έχει μελετηθεί καθώς λαμβάνεται ειδική πρόνοια για τη σύνδεσή του με την τοιχοποιία.

Απαιτούμενα εργαλεία για την τεχνική των ελκυστήρων

Πριν το στάδιο τοποθέτησης των ελκυστήρων στην κατασκευή είναι απαραίτητο να γίνει ο έλεγχος των εργαλείων που χρειάζονται για την τεχνική αυτή. Αφού επιλεγθούν οι θέσεις όπου θα προσαρμοστούν οι τένοντες (οι προεντεταμένοι ελκυστήρες) και ελεγχθεί το κατά πόσο οι θέσεις αυτές επαρκούν σε τοπική θλίψη στην τοιχοποιία για να παραλάβουν τις δυνάμεις προέντασης, διανοίγονται μακρόστενες οπές με τη βοήθεια τρυπανιού συμμετρικά και στις δύο παρειές του τοίχου. Το μέγεθος της τρύπας δεν ξεπερνάει σε διάμετρο τα 60-80 mm. Οι μεταλλικές ράβδοι που χρησιμοποιούνται έχουν συνήθως διάμετρο 15, 26, 32, 36 mm και πριν την εφαρμογή τους έχουν υποστεί ελαιοβαφή. Επίσης «είναι από φυσικό σκληρό χάλυβα μέσης αντοχής (π.χ. S 600/900, S 835/1030, S 885/1080)»²⁷ και «έχουν συνεχές σπείρωμα στην επιφάνεια τους, το οποίο αυξάνει την σνάφεια και επιτρέπει την αγκύρωση της ράβδου με περικόχλιο σε οποιοδήποτε σημείο του μήκους της.»²⁸ Τα περικόχλια είναι απαραίτητα καθώς επίσης και τα στοιχεία αγκύρωσης (των τενόντων) κατάλληλα διαμορφωμένα σε πλάκα από σκυρόδεμα ή χάλυβα, τα οποία εδράζονται μόνιμα στο ένα άκρο της τοιχοποιίας. Η δύναμη προέντασης επιβάλλεται είτε με δυναμόκλειδα είτε με μπουλόνια είτε με υδραυλικό γρύλο. Με το πέρας της διαδικασίας οι τένοντες προστατεύονται με τσιμεντένεμα και οι οπές συμπληρώνονται με ελαφρούς μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ο αριθμός των ράβδων που θα χρησιμοποιηθούν και το είδος τους (αν θα είναι δηλαδή τένοντες ή ελκυστήρες), εξαρτάται από το πάχος της τοιχοποιίας και από την καταλληλότητα επάρκειας των σημείων επέμβασης στην τοιχοποιία αντίστοιχα (στην περίπτωση ελκυστήρων μη προεντεταμένων κρίνεται αναγκαία η τοπική ενίσχυση). Κατά συνέπεια, για μικρού πάχους τοιχοποιία χρησιμοποιείται ένας τένοντας, ενώ για μεγάλου πάχους δύο ή και περισσότεροι. Ο αριθμός των τενόντων αυξάνεται για να κατανεμηθεί ομοιόμορφα η δύναμη σε όλο το πλάτος του τοίχου.

²⁷ Νικοδήμου Μ., Πτυχιακή εργασία με θέμα «Αναπαλαίωση διατηρητέων κτιρίων», Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου-Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας, 2016, σελ.71.

²⁸ Ο.π.

Διαδικασία τοποθέτησης ελκυστήρων

Εσωτερικά αφού επιλεγούν οι θέσεις προσαρμογής των ελκυστήρων και ελεγχθεί η καταλληλότητα επάρκειας αυτών των θέσεων της τοιχοποιίας (έλεγχος τοπικής θλίψης) για παραλαβή των δυνάμεων προέντασης, η προσθήκη ελκυστήρων γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία της συρραφής²⁹:

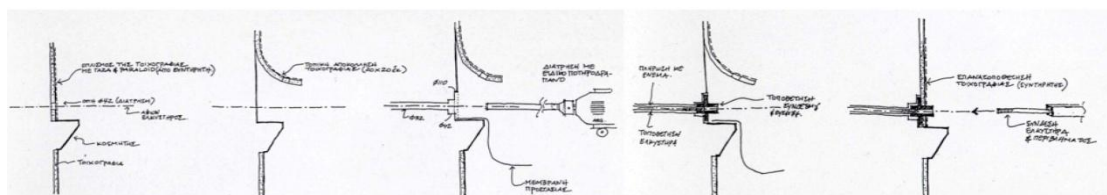
«Τρύπημα του τοίχου με τρυπάνι μέχρι την επόμενη γωνία,

Τοποθέτηση ελκυστήρων που έχουν ήδη υποστεί ελαιοβαφή και τοπικές στερεώσεις τους όπου χρειάζεται,

Σφίξιμο των ελκυστήρων με μπουλόνια και δυναμόκλειδα,

Γέμισμα των κενών της οπής με τσιμεντένεμα»³⁰.

Μετά από αυτή τη διαδικασία απαιτείται τακτικός έλεγχος και σφίξιμο των ελκυστήρων ώστε να αποφευχθεί η χαλάρωσή τους που θα τους καταστήσει και ανενεργούς. Έτσι γίνεται η «προένταση» με τη βοήθεια δυναμόκλειδου, με σκοπό την ανόρθωση των τοίχων και τη σύσφιξη της γωνίας.



Εικόνα 10_ Διαδικασία τοποθέτησης ελκυστήρων_πηγή: Κουφόπουλος Π., Ημερίδα με θέμα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΙΑΜ, Οκτώβριος 2014, σελ.45.

²⁹ Τάσιος Θ.Π., «Η Μηχανική της τοιχοποιίας», ΕΜΠ Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992, σελ. 153.

³⁰ Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2^η έκδοση, Αθήνα 2012, σελ. 457-458.

Εφαρμογή στο κτίριο

Υπάρχει μια σειρά ενεργειών που γίνονται σε ένα κτίριο το οποίο κρίθηκε απαραίτητη η αποκατάσταση και ο επανασχεδιασμός των βλαμμένων λιθοδομών του, μέχρι το σημείο όπου οι ελκυστήρες μπαίνουν σε εφαρμογή. Οι ελκυστήρες χρησιμοποιούνται για την επισκευή-ενίσχυση αποκόλλησης διασταυρούμενων τοίχων ή αποδιοργάνωσης γωνιών τοίχου. Σκοπός είναι η βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής συνδέοντας απέναντι τμήματα της. Οι ελκυστήρες μπορούν ακόμα να εφαρμοστούν για την ενίσχυση της θεμελίωσης. Εναλλακτικοί τρόποι επισκευής-ενίσχυσης κατασκευής είναι η τεχνική της λιθοσυρραφής, της συρραφής με χύτευση στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος και της συρραφής με μεταλλικές λάμες (ή τζινέτια).

Οπότε συνολικά, η πορεία εργασιών για την προσθήκη των ελκυστήρων σε ένα κτίριο, περιγράφεται με την εξής μεθοδολογία:

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ:

Αποκατάσταση βλαβών των λιθοδομών

Εργασίες ενίσχυσης των λιθοδομών

Εργασίες ενίσχυσης θεμελίωσης

Εργασίες ενίσχυσης κατασκευής

40

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ:

Αποτίμηση των ρηγματώσεων σε ένα φέροντα τοίχο (ρηγμάτωση ανωφλιών # ρηγμάτωση πεσσών),

Διαχωρισμός των φέροντων και μη στοιχείων, ώστε οι βλάβες στα μη φέροντα στοιχεία να μην επηρεάζουν τη μέθοδο επισκευής που επιλέχθηκε,

Αποκαθίστανται οι ελαφρές και οι έντονες ρηγματώσεις της λιθοδομής,

Απομακρύνονται οι χαλαροί λίθοι,

Αν η τοιχοποιία είναι παλαιά γίνεται αρμολόγημα, δηλαδή καθαιρούνται τα παλαιά κονιάματα,

Η τοιχοποιία καθαρίζεται είτε με το χέρι είτε μηχανικά με τη χρήση ύδατος ή αέρα υπό πίεση ή με αμμοβολή,

Τοποθετείται το νέο κονίαμα,

Αποκαθίστανται τα βλαμμένα σημεία με υγιείς λίθους με ισχυρό συνδετικό υλικό,

Διαμορφώνονται οι επιφάνειες των αρμών ώστε να μη συκρατούν υγρασία,
Τοποθετούνται λίθινα «κλειδιά» (ή στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος) με ισχυρή τσιμεντοκονία,

Εγκαθίστανται αμφίπλευρα στους τοίχους οι ελκυστήρες ενώ έχουν ήδη προενταθεί με μπουλόνια και δυναμόκλειδα,

Οι ελκυστήρες στερεώνονται και βάφονται με αντισκωριακό και

Τέλος όπου χρειάζεται μπαίνει επίχρισμα (και

Κατασκευάζονται διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου δεν υπάρχουν ή δεν είναι περιμετρικά

Καθώς επίσης ενισχύονται τα θεμέλια της κατασκευής).

Συνολικά, μετά τη βελτίωση της συμπεριφοράς των δομικών μελών από τοιχοποιία, τη μείωση των οριζόντιων ωθήσεων και τη βελτίωση δυσκαμψίας της κατασκευής, το κτίριο αποκαθίσταται. Ωστόσο το πλέον κρίσιμο είναι η συνεργασία ανάμεσα στο παλιό και στο νέο τμήμα και η σύνδεση μεταξύ των οριζοντίων και κατακόρυφων φερόντων στοιχείων.

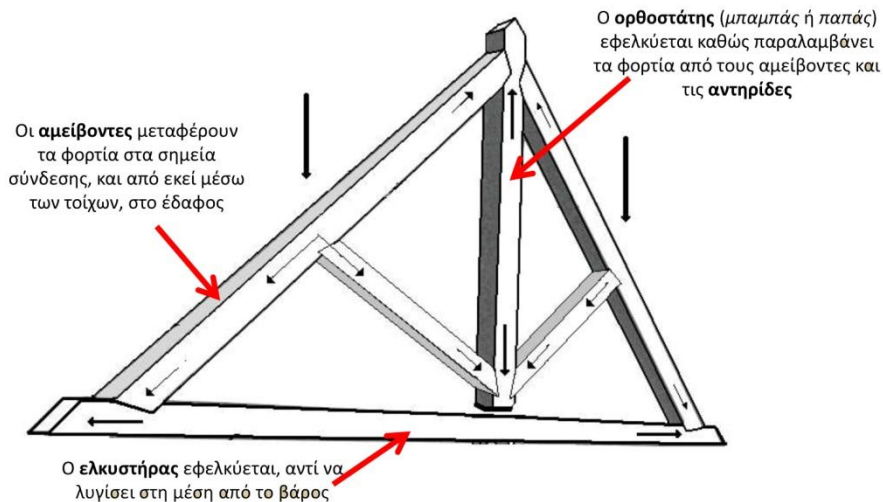
41

Ελκυστήρες στέγης

Το επιστέγασμα πολλών παραδοσιακών κατοικιών πραγματοποιείται μέσω των στεγών από ξύλινα στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους και στηρίζονται σε ζευκτά τα οποία βασίζονται στους ελκυστήρες. Η κατασκευή της στέγης με τη βοήθεια των ελκυστήρων λειτουργεί διαφραγματικά για το κτίριο (όταν δεν πρόκειται για περίπτωση επίμηκους ορθογωνικού κτιρίου και για περίπτωση πλάκας με ανοίγματα), κάτι που έχει καθοριστική σημασία στη λειτουργία του σκελετού.

Πιο συγκεκριμένα, σε μια στέγη οι ελκυστήρες είναι τα οριζόντια ξύλινα στοιχεία που γεφυρώνουν το μικρότερο άνοιγμα και εδράζονται άμεσα στις δύο απέναντι τοιχοποιίες με το πιο μεγάλο μήκος. Πάνω στους ελκυστήρες και στο κέντρο τους πατάνε κατακόρυφα οι ορθοστάτες. Στα σημεία που ορίζουν το πάνω άκρο του ορθοστάτη και τα άκρα των ελκυστήρων εδράζονται κεκλιμένα στοιχεία, οι αμείβοντες. Ενισχυτικά τοποθετούνται αντηρίδες που πατάνε πάνω στον ορθοστάτη και έχουν ως σκοπό να ανακουφίζουν τους αμείβοντες. Όλο αυτό το σύστημα, που ονομάζεται ζευκτό, καρφώνεται επάνω στους στρωτήρες, ξύλινα στοιχεία που τοποθετούνται σε εσοχή στο ανώτερο τμήμα της τοιχοποιίας και βρίσκονται κάτω ακριβώς από τους ελκυστήρες. (Επάνω στους αμειβόντες

καρφώνονται ξύλινες σανίδες, η μία δίπλα στην άλλη που αποτελούν και την βάση πάνω στην οποία θα τοποθετηθούν τα κεραμίδια με συνδετική κονία την λάσπη.)



Εικόνα 11_Εικόνα 11_Μεταφορά δυνάμεων_πηγή:

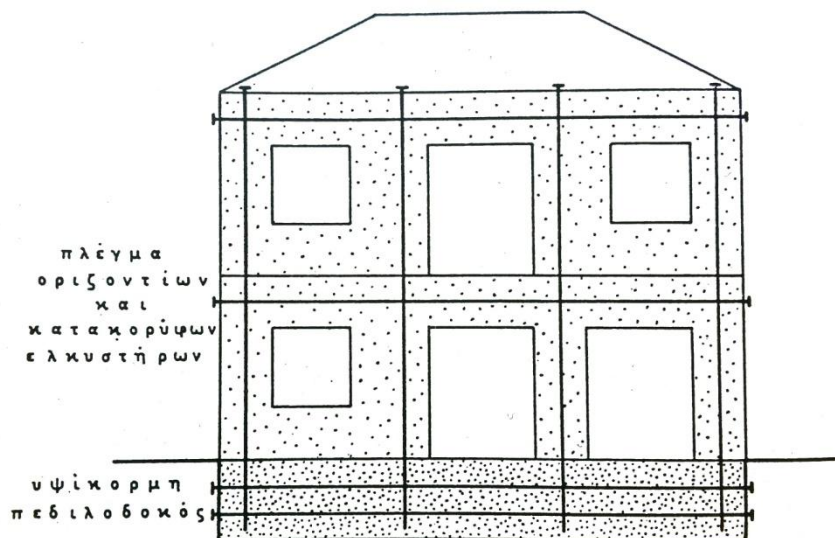
<<https://eclass.teilar.gr/modules/document/file.php/pdf>>, σελ. 20,

τελευταία επίσκεψη 16/1/2017.

Από την εικόνα γίνεται αντιληπτό ότι οι φορτίσεις διαμοιράζονται στα μέλη του συστήματος και καταλήγουν στους ελκυστήρες που φέρουν όλο το βάρος της στέγης. Αν εξαιρεθεί το γεγονός ότι το βάρος της στέγης και η ανεπαρκής δικτύωση των ζευκτών είναι και τα βασικά μειονεκτήματα που εξασθενίζουν τη διαφραγματική λειτουργία της στέγης, τότε το απαραμόρφωτο διάφραγμα που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μεταφέρει σημαντικά κατακόρυφα και οριζόντια φορτία από την ανωδομή στη θεμελίωση. Έτσι όλα τα κινητά και νεκρά φορτία, όπως και τα φορτία σεισμού και ανέμου, παραλαμβάνονται από ξύλινα στοιχεία και μεταβιβάζονται στην τοιχοποιία. Οι ελκυστήρες ως ξύλινοι φορείς μπορούν να παραλαμβάνουν τις καταπονήσεις προς οποιαδήποτε κατεύθυνση υπερέχοντας από πλευράς αντισεισμικής συμπεριφοράς σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εξασφαλίζουν διαφραγματική λειτουργία στη στάθμη οροφής του τελευταίου ορόφου καθώς η απόληξη της τοιχοποιίας κάτω από τη στέγη του κτιρίου συνδέει όλες μαζί τις πλευρές του και συμβάλλει στην αύξηση της δυσκαμψίας του.

Ελκυστήρες στη θεμελίωση

Η θεμελίωση και οι φέρουσες τοιχοποιίες σε περιπτώσεις υπόγειων ή ημιυπόγειων χώρων είναι σχεδόν αποκλειστικά χτισμένες από λιθοδομή (οι πλινθοδομές εμφανίζουν μεγαλύτερη υδατοπερατότητα με αποτέλεσμα η εδαφική υγρασία να προκαλεί αποσάθρωση των πλίνθων). Στα περισσότερα κτίσματα η θεμελίωση είναι συνήθως αβαθής και αποτελείται από συνεχή λιθοδομή διατηρώντας το ίδιο πάχος με την τοιχοποιία του υπερκείμενου ορόφου ή με ελαφρά διαπλάτυνση (η διαπλάτυνση συμβαίνει συνήθως μονόπλευρα προς το εσωτερικό, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης). Στις εργασίες ενίσχυσης εντάσσεται και η ενίσχυση της θεμελίωσης, η οποία γίνεται εκτός από μανδύες (μονόπλευροι ή αμφίπλευροι) και με την τοποθέτηση οριζόντιων ή κάθετων ελκυστήρων. Οι κάθετοι ελκυστήρες ξεκινούν από τη στέψη και καταλήγουν στη θεμελίωση και σε αυτήν την περίπτωση τα θεμέλια υπολογίζονται ως υψίκορμοι πεδילוδοκοί.



Εικόνα 12_ Διάταξη ελκυστήρων

πηγή: Τάσιος Θ.Π., «Η Μηχανική της τοιχοποιίας», ΕΜΠ Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992, σελ. 158.

Πρακτική Τεκμηρίωση Ελκυστήρων

Παράδειγμα υλοποίησης: καμπαναριό Ιεράς Μονής Οσίου Λουκά Βοιωτίας

Στη δυτική πλαγιά του Όρους Ελικών, κοντά στο χωριό Στείρι στη Βοιωτία, βρίσκεται η Ιερά Μονή Οσίου Λουκά. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μνημεία βυζαντινής αρχιτεκτονικής και τέχνης και εντάσσεται στον κατάλογο των μνημείων παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO (λόγω της παλαιότητας του ναού της Παναγίας που εκτιμάται ότι χτίστηκε κατά το 10^ο αιώνα μ.Χ. και κατηγοριοποιείται στον αρχιτεκτονικό τύπο του σύνθετου τετρακιδίου σταυροειδούς εγγεγραμμένου ναού με τρούλο). Το μοναστήρι περικλείεται από περίβολο και περιλαμβάνει διώροφα και τριώροφα συγκροτήματα κελιών, το κωδωνοστάσιο στα νοτιοδυτικά, την Τράπεζα στη νότια πλευρά και τις δύο ενωμένες εκκλησίες [το ναό της Παναγίας και το Καθολικό Οσίου Λουκά (χτίστηκε μετέπειτα τον 11^ο αιώνα μ.Χ. για να στεγάσει τα λείψανα του οσίου και ανήκει στον αρχιτεκτονικό τύπο του σταυροειδούς οκταγωνικού ναού)] στο κέντρο του χώρου. Το μοναστήρι επιβίωσε μετά από αγώνες και κατακτητές, και από το 1940 περίπου ξεκίνησαν οι εργασίες συντήρησης και αναστήλωσής του.

Το κωδωνοστάσιο βρίσκεται στη νοτιοδυτική πύλη, κύρια είσοδο σήμερα, και χρονολογικά ανήκει στη μεταβυζαντινή περίοδο. Διαθέτει τέσσερις ορόφους με τετραγωνική κάτοψη. «Το αρχικό κτίσμα όμως ήταν ένας διώροφος οκταγωνικός ναΐσκος του 11ου αιώνα. Στο ισόγειο υπήρχε δεξαμενή και κρήνη και πιθανόν χρησίμευε ως αγίασμα. [...] Αργότερα, κατά το 16ο αιώνα, ο ναός πήρε τη μορφή πύργου, όπως τον απεικονίζει ο Barskij στο σχέδιο της μονής του 1745. [...] Κατά τις εργασίες προσθήκης δύο ορόφων για τη μετατροπή του πύργου σε κωδωνοστάσιο, το 1863, μαρμάρινα αρχιτεκτονικά μέλη Βυζαντινής περιόδου και ένα επιτύμβιο ανάγλυφο Ρωμαϊκής περιόδου ενσωματώθηκαν στην τοιχοποιία του τελευταίου ορόφου, στη νότια όψη. Στο αρχικό μεγάλο δίλοβο παράθυρο του ναΐσκου τοποθετήθηκε το θύρωμα και τμήμα από το ανάγλυφο υπέρθυρο του κατεδαφισμένου, το 1890, εξωνάρθηκα του καθολικού»³¹.

³¹ < <http://boeotia.ehw.gr/forms/fLemmaBodyExtended.aspx?lemmaID=12862>>, τελευταία επίσκεψη 8/1/2017.

Το καμπαναριό όπως και όλο το μοναστήρι ανήκει στη μεσοβυζαντινή περίοδο (843-1204) και έχει κτιστεί σε φάσεις. Είναι στατικά ανεξάρτητο τμήμα της κατασκευής και οι συνολικές εξωτερικές διαστάσεις του είναι περίπου 11 μέτρα επί 4 μέτρα. Το κυριότερο χαρακτηριστικό της κατασκευής είναι το ύψος του καθώς είναι κωδωνοστάσιο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του μνημείου είναι ότι η επέμβαση σε αυτό κατά το παρελθόν είχε γίνει σε δύο φάσεις για αυτό διαπιστώνεται η ύπαρξη διαφορετικής τοιχοποιίας στον πρώτο όροφο και διαφορετικής τοιχοποιίας στους τελευταίους ορόφους. Η μεικτή τοιχοποιία αποτελείται από τούβλα, πέτρες και μάρμαρα σε εναλλασσόμενες οριζόντιες ζώνες. Οι εξωτερικοί τοίχοι δεν έχουν επίχρισμα ούτε διακοσμούνται ιδιαίτερος. Πιο συγκεκριμένα, η τοιχοποιία του είναι αργολιθοδομή, δηλαδή διαθέτει ακανόνιστες σε μορφή πέτρες που δομούνται με τη χρήση κονιάματος και στις γωνίες έχουν τοποθετηθεί επεξεργασμένοι ακρογωνιαίοι λίθοι, τα λεγόμενα αγκωνάρια. Οι δύο τελευταίοι όροφοι είναι λιθοδομή από ημίξεστους λίθους όπου οι ημιεπεξεργασμένες σε ορθογώνια πέτρες δομούνται με τη χρήση κονιάματος. Υπάρχουν επίσης και κάποια στοιχεία διακόσμησης. Η στέγαση του μνημείου μορφώνεται με τρούλο που είναι επικαλυμμένος με κεραμίδια από σχιστόλιθους γκριζοπράσινους, σκληρούς.

Το μνημείο παρουσίασε σημαντικές βλάβες, οι οποίες πιθανώς να έχουν προέλθει από σεισμούς που το έχουν πλήξει στη μακρόχρονη ζωή του, λόγω της ψαθυρής φύσης της τοιχοποιίας, της αντοχής των λιθοσωμάτων και των κονιαμάτων, της φύσης της κατασκευής, των συνδυασμών δράσεων, των περιβαλλοντικών επιδράσεων(υγραμόνωση) και άλλα. Η σπουδαιότητα του μνημείου σε σύνολο επέταξε την αναγκαιότητα πραγμάτωσης συστηματικής διερεύνησης, ανάλυσης, μελέτης και εφαρμογής της καλύτερης δυνατής μεθόδου συντήρησής του.

Το κτίριο αυτό λόγω των διάφορων φάσεων που πέρασε έχριζε συντήρησης, οπότε η μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν οι ελκυστήρες. Οι ελκυστήρες κατά το ήμισυ της κατασκευής βρίσκονται στην εξωτερική παρειά των τοίχων ενώ προς το επιστέγασμα υπάρχουν και στο εσωτερικό. Για τους εξωτερικούς ελκυστήρες χρειάστηκαν 16 μεταλλικά στοιχεία με διατομή Φ20 που έχουν κατασκευαστεί από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316/316L, με κατάλληλες διαμορφωμένες απολήξεις (σπείρωμα) στα άκρα τους. Δεν υπάρχουν πλάκες συγκράτησης αλλά ειδικά διαμορφωμένες γωνίες πάχους 20mm από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316/316L. Τα περικόχλια (παξιμάδια) που χρησιμοποιήθηκαν είναι από ανοξείδωτο χάλυβα A2/A4 (AISI 304 ή 316). Οι εξωτερικοί αυτοί ελκυστήρες παραμένουν στην αρχική θέση με τη βοήθεια χιαστή μεταλλικών ράβδων στο εσωτερικό της κάθε στάθμης που εφαρμόζονται, όπως φαίνεται και στο

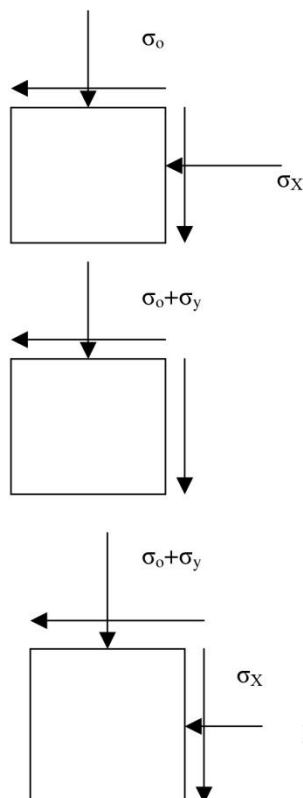
παρακάτω σχήμα. Οι εσωτερικοί ελκυστήρες κάτω από τον τρούλο είναι χρονολογικά παλαιότεροι εξού και το υλικό είναι σφυρήλατος σίδηρος που έχει καμφθεί στα άκρα του, δημιουργώντας εξωτερική αγκύρωση πάνω στα αντίστοιχα λίθινα δομικά στοιχεία.

Γενικά τα οικοδομικά υλικά της ευρύτερης περιόδου στην οποία ανήκει το μνημείο είναι το μάρμαρο, τα τούβλα και τα ισχυρά ασβεστοκονιάματα. Σε ότι αφορά τα μεταλλικά στοιχεία, αυτά παίρνουν μέρος στην κατασκευή κυρίως με τη μορφή εμφανών ελκυστήρων στη γένεση τόξων, τρούλων ή καμάρων. Η αποτελεσματικότητα των ελκυστήρων έγκειται στην ανάληψη οριζόντιων εφελκυστικών τάσεων και την αποτροπή εμφάνισης ρωγμών στις τοξωτές κατασκευές, που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη σεισμική καταπόνηση. Πιθανώς εσωτερικά να υπήρξαν ακόμη παλιές ξυλοδεσιές που να αντικαταστάθηκαν από μεταλλικούς ελκυστήρες καθ' ύψος των τοιχοποιιών. Ωστόσο οι «κρυφοί» μεταλλικοί ελκυστήρες του τελευταίου ορόφου, αποτελούν πιο σύγχρονη μέθοδο επέμβασης και όχι τόσο αυθεντικό δομικό στοιχείο των βυζαντινών ναών. Σε κάθε περίπτωση, τα στοιχεία αυτά λειτουργούν ως διαζώματα μέσα στην τοιχοποιία, βοηθώντας την να λειτουργεί, κατά το δυνατόν, σαν ένα σύνολο και ανακουφίζοντας, κυρίως, τις γωνίες της, μέσω της περιίδεσης.

Η εφαρμογή μεταλλικών ελκυστήρων περιμετρικά του κτιρίου, στους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους του, στα τρία επίπεδα καθ' ύψος αποσκοπεί στην περιίδεση των τοίχων και στη μείωση του κινδύνου δημιουργίας νέων ρωγμών ή διεύρυνσης των υφιστάμενων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προτιμήθηκε το σύστημα των ελκυστήρων (που ενδεχομένως να αντικατέστησαν παλαιές ξυλοδεσιές στο εσωτερικό των τοίχων) σε συνδυασμό με την πλήρωση των κενών με κατάλληλο ένεμα. Με τη μέθοδο αυτή, οι ελκυστήρες αναλαμβάνουν σημαντικές δυνάμεις και πριν την έναρξη των ρηγματώσεων, επειδή το κωδωνοστάσιο είναι στατικά ανεξάρτητη κατασκευή που ταλαντώνεται με διαφορετικό τρόπο.

Υπολογισμός αντοχής της τοιχοποιίας με χρήση ελκυστήρων

Η εφαρμογή συστήματος οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων-ελκυστήρων, συμβάλει κυρίως στην αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής της φέρουσας τοιχοποιίας, καθώς οι ενσωματωμένοι ελκυστήρες που βρίσκονται σε προένταση, είναι ικανοί να παραλάβουν ενδεχόμενες σεισμικές φορτίσεις, μέσω της περίσφιξης που δημιουργούν στο σώμα της υφιστάμενης κατασκευής. Οι ακόλουθοι τύποι προσεγγίζουν επαρκώς τις αυξημένες αντοχές της τοιχοποιίας κατόπιν εφαρμογής ελκυστήρων, για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις καταπόνησης:



$$f_{wv} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} * \frac{2}{3} * f_{wt} * \sqrt{1 + \frac{0,75 * \sigma_o + \sigma_x}{f_{wt}} + \frac{0,75 * \sigma_o * \sigma_x}{f_{wt}^2}}$$

$$f_{wx} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} * \frac{2}{3} * f_{wt} * \sqrt{1 + \frac{0,75 * \sigma_o + \sigma_x}{f_{wt}}}$$

$$f_{wc} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} * \frac{2}{3} * f_{wt} * \sqrt{1 + \frac{0,75 * \sigma_o + \sigma_y + \sigma_x}{f_{wt}} + \frac{(0,75 * \sigma_o + \sigma_y) * \sigma_x}{f_{wt}^2}}$$

47

Εικόνα 13_Υπολογιστικοί τύποι_πηγή: <<https://www.mprakatsias.gr/downloads/special-subjects/sistaseis.pdf>>, σελ. 162, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

Όπου σ_x , σ_y η οριζόντια, κατακόρυφη θλιπτική τάση από την ομοιόμορφη κατανεμημένη προένταση και σ_0 , η υπάρχουσα θλιπτική τάση,
 και f_{wc} = θλιπτική αντοχή, f_{wv} = διατμητική αντοχή, f_{wt} = εφελκυστική αντοχή
 επίσης $\gamma_{rd}=1.25$.

Ελκυστήρες στην τοιχοποιία: προστατεύουν το κτίριο τελικά;;

Η βελτίωση της συμπεριφοράς ενός κτιρίου από τοιχοποιία έναντι σεισμού συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την βελτίωση των συνδέσεων των τοίχων του κτιρίου με το πάτωμα και των τοίχων με τη στέγη. Η τοιχοποιία αν και λειτουργεί πολύ καλά σε θλίψη, έχει μέτρια απόκριση στη διάτμηση που προκαλείται από παραμορφώσεις λόγω πλευρικών δυνάμεων και λόγω έκκεντρης φόρτισης. Οι παραμορφώσεις που επιβάλλονται από θερμοκρασιακή διακύμανση δεν είναι συνήθως επικίνδυνες αλλά μπορεί να γίνουν σημαντικότερες αν αποσθρωθεί η τοιχοποιία. Οι ρωγμές που προκαλούνται από πλευρικές δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο κατάρρευσης. Όσον αφορά την έκκεντρη φόρτιση, αν η φόρτιση σε ένα τοίχο ή μια κολόνα δεν δρα κατά μήκος του κεντρικού επιπέδου, η ένταση θα ποικίλει ανάλογα με το πάχος του τοιχώματος.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να διαπιστωθούν τα αίτια των ρηγματώσεων ειδικότερα όταν το αίτιο είναι ακόμα ενεργό, θα πρέπει να εξαλειφθεί αλλιώς η αποκατάσταση θα έχει σύντομη διάρκεια ζωής. Οι τεχνικές επεμβάσεων που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση των κατασκευών πρέπει να εξαρτώνται από το αν οι ρωγμές είναι ενεργές ή όχι. Αν οι ρωγμές είναι ενεργές, η αιτία πρόκλησής τους θα αντιμετωπιστεί και θα πρέπει να αποκατασταθεί η βλάβη. Αν πρακτικώς είναι ανέφικτη η ενίσχυση της τοιχοποιίας, η αποφυγή των μετέπειτα ρωγμών είναι αδύνατη. Αν οι ρωγμές είναι ανενεργές θα πρέπει να εξεταστούν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, οι σεισμοί και οι πιθανές αλλαγές εδάφους.

Ενίοτε, λόγω της ασυνάφειας των υλικών ενστάσεις δημιουργούνται ακόμα και με τη χρήση μεταλλικών ελκυστήρων στην τοιχοποιία. Από αρκετούς θεωρείται ότι είναι ένας τρόπος που δεν αποκαθιστά τη βλάβη απλά παρατείνει τη ζωή του κτιρίου. Η χρήση των ελκυστήρων στη συντήρηση των κατασκευών, δεν εγγυάται την αποφυγή των ρωγμών για αυτό το λόγο εξάλλου εντάσσεται στις ήπιες μεθόδους συντήρησης μιας τοιχοποιίας. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα θεωρείται ότι το μέτρο ελαστικότητας του μετάλλου, από το οποίο οι περισσότεροι ελκυστήρες είναι κατασκευασμένοι, είναι διαφορετικό από αυτό της τοιχοποιίας. Σύμφωνα με τον Poul Beckmann στο βιβλίο «*Structural Aspects of Building Conservation*»³², ένας τρόπος να αντιμετωπιστούν οι διαφορετικές ελαστικότητες των

³² Beckmann P, «*Structural Aspects of Building Conservation*», Publisher: Mcgraw-Hill International Series in Civil Engineering, p.91.

στοιχείων είναι να ενισχυθεί η τοιχοποιία με υλικό που διαθέτει σημαντική αντοχή σε εφελκυσμό αλλά να διαθέτει επίσης και ελαστικότητα κοντινή σε αυτή της τοιχοποιίας.

Μειονεκτήματα & Πλεονεκτήματα

-Οι ελκυστήρες, ως μέθοδος επέμβασης, δεν επιλύουν ριζικά το πρόβλημα αποκατάστασης καθώς αποτελούν συμπληρωματική μορφή επέμβασης.

-Λόγο ερπυσμού οι περισσότεροι μεταλλικοί ελκυστήρες υπόκεινται σε χαλάρωση με την πάροδο του χρόνου, για αυτόν το λόγο συνίσταται τακτικός έλεγχος.

-Υπάρχουν μεγάλες απώλειες προέντασης στους ελκυστήρες εξ αιτίας της ολίσθησης στις αγκυρώσεις τους με την τοιχοποιία και εξ αιτίας των άμεσων και ερπυστικών παραμορφώσεων της τοιχοποιίας. Για αυτό το λόγο χρειάζεται επιπρόσθετος έλεγχος των τοπικών τάσεων θλίψης στις αγκυρώσεις με σκοπό να αποφευχθεί όσο είναι δυνατό η τοπική αστοχία της τοιχοποιίας (άρα, και της αγκύρωσης των ελκυστήρων).

-Εξ αιτίας του υλικού κατασκευής τους, οι μεταλλικοί ελκυστήρες παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης με τον χρόνο. Για αυτό το λόγο είτε χρησιμοποιούνται ειδικές βαφές που προστατεύουν τους χάλυβες από την σκουριά είτε χρησιμοποιούνται ανοξείδωτα υλικά κατά την εφαρμογή τους. (Ωστόσο όταν στην ατμόσφαιρα διαπιστωθούν σε μεγάλο ποσοστό γλωριόντα βρούνζου, ορειχάλκου ή χαλκού συνίσταται σαν υλικό το τιτάνιο ή κατάλληλα προστατευμένος χάλυβας και όχι η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα).

+Με τη βοήθεια των προεντεταμένων μελών επιτυγχάνεται βελτίωση της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας σε οριζόντιες μετακινήσεις λόγω κυρίως της σεισμικής φόρτισης.

+Οι ελκυστήρες χρησιμοποιούνται ως μέσο επισκευής και ενίσχυσης κυρίως σε κατασκευές-μνημεία επειδή η εφαρμογή τους δεν προκαλεί αλλοιώσεις στις ορατές επιφάνειες των μνημείων.

+Το κατασκευαστικό κόστος των ελκυστήρων είναι μικρό.

+Η μέθοδος των ελκυστήρων είναι εύκολα αναστρέψιμη.

+Η μέθοδος των ελκυστήρων συμβάλλει στη βιώσιμη προστασία στοιχείων της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Τεχνικές Επισκευής και Ενίσχυσης	Αλλοίωση Αρχιτεκτονικών Όψεων			Βαθμός Αναστρεψιμότητας		
	Σημαντικά	Μερικώς (Διακριτές)	Καθόλου	Πλήρως	Μερικώς	Καθόλου
Βαθύ αρμολόγημα		X			X	
Ενέσεις σε ρωγμές			X			X
Συρραφή μεγάλων ρωγμ.		X			X	
Τοπική ανακατασκευή		X			X	
Συρραφή αποκολ. Τοίχων		X			X	
Οπλισμένο επίχρισμα	X				X	
Μανδύες	X					X
Διαζώματα		X			X	
Ομογενοποίηση μάζας			X			X
Ελκυστήρες – Τένοντες		X		X		
Ριζοπλισμοί			X			X
Αβαθής υποθεμελιώσεις			X			X
Βαθείς θεμελιώσεις			X			X
Ενίσχυση εδάφους			X			X

Εικόνα 14_ Συνοπτική ταξινόμηση τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης σύμφωνα με το βαθμό αλλοίωσης των όψεων του κτιρίου και του βαθμού αναστρεψιμότητας.

πηγή: <http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1430/kma_m1430_dimosthenous.pdf>

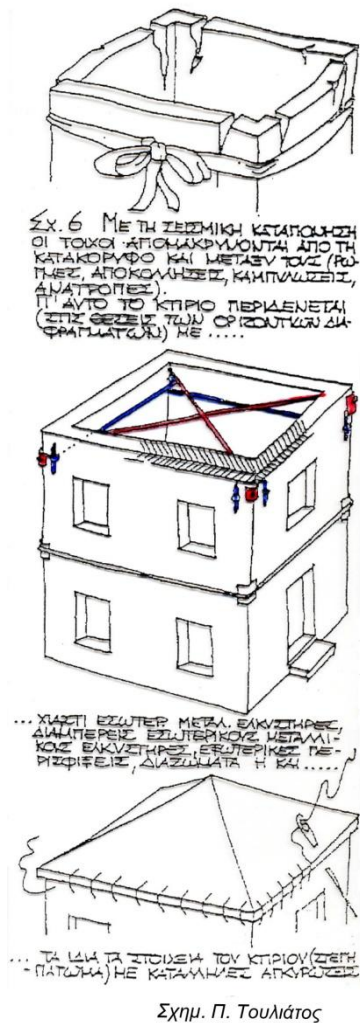
σελ. 19, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

50

Σε γενικές γραμμές οι ελκυστήρες είναι μια μέθοδος που λειτουργεί αρμονικά στο τελικό σχήμα επέμβασης. Αναπόφευκτα αυτό το σχήμα προκύπτει μέσα από αμοιβαίους συμβιβασμούς μεταξύ των μελετητών αλλά και των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν. Η συνεκτίμηση των κριτηρίων που περιλαμβάνει μια μελέτη, μπορεί να καταλάβει καθοριστικό ρόλο στην εξειδίκευση του στόχου της επέμβασης και στην επιλογή των κατάλληλων τεχνικών. Κριτήρια όπως σεβασμός στο πρωτότυπο, αναστρεψιμότητα προτεινόμενων επεμβάσεων σε περίπτωση μελλοντικής επέμβασης, οικονομικό κόστος επέμβασης και μελλοντικής συντήρησης, χρόνος εκτέλεσης εργασιών και άλλα είναι κάποια από ένα σύνολο παραμέτρων που χρίζει συζήτησης πριν από το κάθε έργο καθώς σημεία ρήξης μπορούν να προκύψουν ανά πάσα στιγμή.

Καθώς η εξέλιξη της τεχνολογίας προχωράει με γρήγορους ρυθμούς, θα πρέπει οι έλεγχοι να γίνονται όλο και πιο αυστηρά και τακτικά, πάνω στην εκάστοτε μέθοδο κτιριακής επέμβασης για το αν πληρούν τις απαιτήσεις περί συμβατότητας και ανθεκτικότητας, εξετάζοντας ταυτόχρονα τη διάρκεια των υλικών και των τελικών αποτελεσμάτων από την εφαρμογή τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης. Ωστόσο,

αναμενόμενο είναι το γεγονός ότι μετά από την εφαρμογή σχεδόν κάθε τεχνικής επισκευής ή και ενίσχυσης, μπορεί να προκύψουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο κτίριο όπως για παράδειγμα η συσσώρευση υγρασίας, η μερική καταστροφή πρωτοτύπου και άλλα. Η λήψη πρόσθετων μέτρων ασφαλείας για την αποφυγή δυσάρεστων καταστάσεων, μπορεί να αποτελεί ένα επιπλέον κριτήριο αξιολόγησης για το κατά πόσο το σχήμα επισκευής ή ενίσχυσης που προτάθηκε μπορεί τελικώς να γίνει αποδεκτό προς υλοποίηση.



Εικόνα 15_Περίδεση με εφελκόμενα στοιχεία

πηγή: Κουφόπουλος Π., Ημερίδα με θέμα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΑΜ, Οκτώβριος 2014, σελ. 16.

Μελέτες εφαρμογής ελκυστήρων

Στις σελίδες που ακολουθούν παρατίθενται και αναλύονται τρία παραδείγματα εφαρμογής ήπιων μεθόδων επέμβασης ανάμεσα σε αυτές και ελκυστήρες. Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα εξής στάδια αποτίμησης υφιστάμενης κατάστασης (όπως παρουσιάστηκαν στην ομιλία "Προηγμένες τεχνολογίες επεμβάσεων και αποκαταστάσεων μνημείων" του καθηγητή Κ. Σπυράκου στο αμφιθέατρο της Πολυτεχνειούπολης Χανίων την 1/12/2015):

Αποτίμηση της σεισμικότητας – Φαινόμενα Κοντινού Πεδίου (σεισμική επικινδυνότητα, παρουσία ενεργών ρηγμάτων)

Γεωτεχνική έρευνα - Επίδραση εδαφικής στρωματογραφίας (αποτίμηση της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής, αξιολόγηση των επιπτώσεων των γεωτεχνικών παραμέτρων)

Αποτύπωση - Τεκμηρίωση (γεωμετρική και τοπογραφική αποτύπωση, αποτύπωση βλαβών)

Τεκμηρίωση της υπάρχουσας δομικής κατάστασης (π.χ. θερμογράφιση, ενδοσκόπηση)

Μέτρηση των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων (επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές, π.χ. κρουσιμέτρηση, δοκιμή απλών και διπλών γρύλλων, θραύση λίθων)

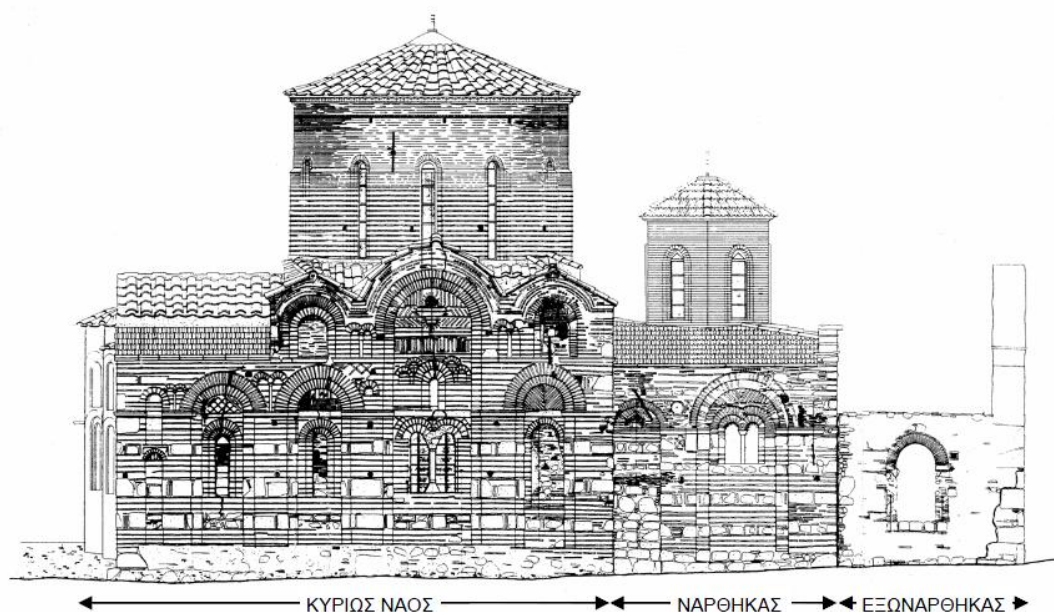
Εκτίμηση δυναμικών χαρακτηριστικών (π.χ. μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων, ενόργανη παρακολούθηση)

Η ανάλυση των ιστορικών κτιρίων διεκπεραιώνεται συνήθως με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου το οποίο προσομοιώνει την πραγματική κατασκευή με ρεαλιστικά στοιχεία βασισμένα σε επιτόπου μετρήσεις της γεωμετρίας, των υλικών του φορέα και της τεχνοτροπίας δόμησής του. Με σκοπό τη βέλτιστη προσομοίωση του φορέα και την αξιόπιστη επίλυσή του για στατικά και σεισμικά φορτία χρησιμοποιείται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων με δύο είδη πεπερασμένων στοιχείων: τα στοιχεία όγκου (solid elements) και τα γραμμικά στοιχεία (beam elements- frames).

Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού Χωρίς και Με
Επεμβάσεις_ Ψυχάρης Ι., Μουζάκης Χ., Παυλοπούλου Ε., Μιλτιάδου Α., Ταφλάμπας

I.

Η πρώτη μελέτη και οι εικόνες της που αναλύονται στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας (ΕΜΠ – Εργ. Εδαφομηχανικής, ΤΕΕ – ΕΤΑΜ, 5-7 Νοεμβρίου, 2008)³³ στην Αθήνα.



53

Εικόνα 16_ Βόρεια όψη του ναού (σχέδιο των Σ. Βογιατζή και Μ. Πασπάτη, Υπουργείο Πολιτισμού).

Περιγραφή μνημείου

Ο Ιερός Ναός της Παναγίας της Κρήνας εκπροσωπεί ένα από τα σημαντικότερα βυζαντινά μνημεία της Χίου. Αρχιτεκτονικά κατατάσσεται στους βυζαντινούς ναούς οκταγωνικού τύπου και έχει κτιστεί γύρω στο 11^ο-12^ο αιώνα. Οι συνολικές εξωτερικές διαστάσεις του ναού είναι 21.10 μέτρα επί 8.10 μέτρα. Το μνημείο αποτελείται από τρία τμήματα: τον Κυρίως Ναό, το Νάρθηκα και τον Εξωνάρθηκα. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές και μελέτη του μνημείου ο κυρίως ναός χτίστηκε πρώτα, έπειτα ο νάρθηκας και

³³ <http://library.tee.gr/digital/m2368/m2368_contents.htm>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

πολύ αργότερα προστέθηκε ο εξωνάρθηκας -γύρω στο 1747- ο οποίος δε φέρει στέγαση πια. Τα τρία τμήματα θεωρούνται στατικούς ανεξάρτητα και περιγράφονται παρακάτω.

Περιγραφή φέροντος οργανισμού/δομικών στοιχείων κτιρίου

Ο κυρίως ναός διαθέτει έναν υπεμεγέθη τρούλο του οποίου το βάρος διαταράσσεται στο σώμα των τοιχοποιιών του. Ο νάρθηκας αποτελεί ένα ανεξάρτητο τμήμα που στεγάζεται με τρεις ημικυλινδρικούς θόλους, εκ των οποίων ο μεσαίος είναι πιο μικρός τρούλος σε σχέση με αυτόν του κυρίως ναού. Τα φορτία των θόλων του νάρθηκα φέρονται από δύο διαμήκη λεπτά τόξα που απλώς ακουμπούν στις παραστάδες του κυρίως ναού, χωρίς να υπάρχει καμία περαιτέρω σύνδεση των δύο τμημάτων του ναού. Χαρακτηριστικό του ναού στο σύνολό του εκτός από τους θόλους, είναι η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου ξύλινων ενισχύσεων στις τοιχοποιίες του σε ορισμένες θέσεις-στάθμες.

Διερεύνηση χαρακτηριστικών στατικού φορέα

Με κατάλληλες διερευνήσεις που δεν περιγράφονται στην παρούσα μελέτη, εντοπίστηκαν συνεχή συστήματα οριζόντιων ξυλοδεσιών στο πάχος της τοιχοποιίας σε πέντε βασικές στάθμες. Με ειδικές μεθόδους ελέγχου του έργου διαπιστώθηκε ότι οι ξυλοδεσιές είτε είχαν αποσαρθωθεί είτε είχαν χάσει την αρχική τους ενισχυτική λειτουργία. Ακόμη διαπιστώθηκε η κακή ποιότητα του εσωτερικού των τοιχοποιιών.

Σύμφωνα με τη γεωτεχνική μελέτη που έγινε (Εδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, ΥΠΠΟ/ΔΑΒΜΜ, 1998), *«το έδαφος θεωρήθηκε αβαρές, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία στάσιμων κυμάτων κατά την εφαρμογή των σεισμικών διεγέρσεων και πρακτικά λειτουργούσε μόνο ως ελαστική θεμελίωση για την κατασκευή. [...] Με βάση τα διατιθέμενα στοιχεία για τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, εκτιμήθηκαν τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας λαμβάνοντας υπόψη και τυπικές τιμές από τη βιβλιογραφία.»*³⁴ Ακόμη διεξήχθη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας για την περιοχή.

Παθολογία

Σύμφωνα με έρευνα και βιβλιογραφική αναφορά, στο μεγάλο σεισμό του 1398, ο ναός και κυρίως ο κεντρικός τρούλος υπέστησαν σημαντικές βλάβες. Ο σεισμός του 1881, που έπληξε τη Χίο και τα γειτονικά παράλια της Μ. Ασίας, αποδείχτηκε καταστροφικός και για

³⁴ Ψυχάρης Ι., Μουζάκης Χ., Παυλοπούλου Ε., Μιλτιάδου Α., Ταφλάμπας Ι, «Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού Χωρίς και Με Επεμβάσεις», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας (ΕΜΠ – Εργ. Εδαφομηχανικής), ΤΕΕ – ΕΤΑΜ, 5-7 Νοεμβρίου 2008, σελ.5.

το μνημείο καθώς προκάλεσε μεγάλες ζημιές και καταρρεύσεις στα εξής σημεία του ναού: στον ημισφαιρικό θόλο του τρούλου του κυρίως ναού και στην τοιχοποιία του ιερού που φέρει και τα φορτία του τρούλου, στο σύνολο της θολοδομίας (ημικυλινδρικοί θόλοι, τόξα και τρούλος) της στέψης και των τοίχων του νάρθηκα.

Επεμβάσεις που ήδη έχουν γίνει στο παρελθόν

Το 1884 το μνημείο έχει ήδη ανοικοδομηθεί σε δύο φάσεις, πρώτα το ημισφαιρικό κέλυφος του τρούλου του κυρίως ναού και σε επόμενη φάση ανοικοδομήθηκε ο δυτικός τοίχος και η θολοδομία του νάρθηκα. Στα πλαίσια των επεμβάσεων, τοποθετήθηκαν μεταλλικοί ελκυστήρες, τόσο στον κυρίως ναό, όσο και στον νάρθηκα. Η παρέμβαση κρίθηκε ελλιπής καθώς διαπιστώθηκε ότι εξακολουθούν να υπάρχουν σοβαρές ρωγμές στην τοιχοποιία και τη θολοδομία του ναού. Έτσι κρίθηκε αναγκαία η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης με τη βοήθεια μεθόδων ανάλυσης.

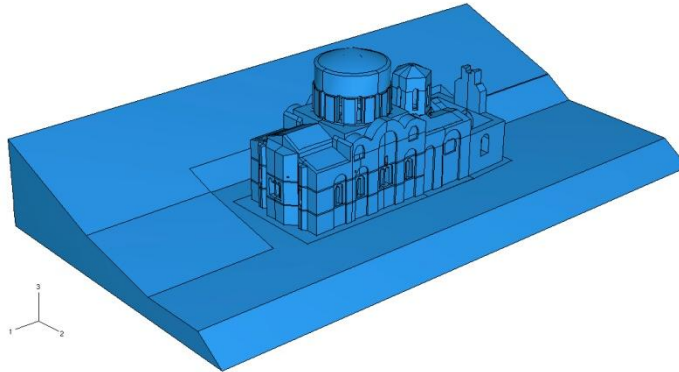
Παρατηρήσεις

Η δυσκολία που συναντάται στο εγχείρημα της μελέτης της σεισμικής συμπεριφοράς της ιστορικής κατασκευής οφείλεται στην πολύπλοκη γεωμετρία της, στις διαφορετικές οικοδομικές φάσεις κατά τις οποίες έχει κατασκευαστεί τμηματικά το μνημείο και στις σημαντικές βλάβες που έχει υποστεί. Ωστόσο λόγω μεγάλης σπουδαιότητας του μνημείου, θεωρήθηκε επιτακτικό να γίνει διεξοδική διερεύνηση των δυναμικών χαρακτηριστικών και της σεισμικής συμπεριφοράς του μνημείου με χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων. Αναγκαία κρίθηκε και η ακριβής προσομοίωση της γεωμετρίας του ναού που θα συμπεριλάμβανε τις ξυλοδεσιές και το έδαφος θεμελίωσης.

Προσομοίωμα ανάλυσης

«Για την προσομοίωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατα, τετραεδρικά πεπερασμένα στοιχεία, εκτός από τα γραμμικά στοιχεία που θεωρήθηκαν για τους ξύλινους και μεταλλικούς ελκυστήρες. [...] Τα τρία τμήματα του ναού θεωρήθηκαν στατικά ανεξάρτητα, εκτός από τη μερική σύνδεση του κυρίως ναού και του νάρθηκα που αναφέρθηκε παραπάνω. Δεν θεωρήθηκαν όμως κρουστικά φαινόμενα μεταξύ των δύο τμημάτων. [...] Η μέγιστη διάσταση των στοιχείων της ανωδομής ήταν 0.30 m και των στοιχείων της θεμελίωσης 1.50 m. Συνολικά, το μοντέλο υπολογισμού αποτελούνταν από 190.597 στοιχεία και 44.282 κόμβους και διέθετε 132.348 βαθμούς ελευθερίας. [...] Όλα τα υλικά θεωρήθηκαν ελαστικά με ιδιότητες που καθορίστηκαν από τον τρόπο και το υλικό κατασκευής στα διάφορα τμήματα του μνημείου. Για τις ιδιότητες της τοιχοποιίας

θεωρήθηκε ομογενοποίηση. [...]Οι θέσεις, στις οποίες αρχικά υπήρχαν ξυλοδεσιές λήφθηκαν υπόψη ως ζώνες με μειωμένες μηχανικές ιδιότητες.»³⁵



Εικόνα 17_Γενική άποψη του προσομοιώματος του ναού.

Α' φάση: Ανάλυση κατασκευής χωρίς επεμβάσεις

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ABAQUS. Κατά τη διάρκεια την πρώτης μελέτης δομητικής αποκατάστασης του μνημείου δημιουργήθηκε η τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος και πραγματοποιήθηκε σειρά ελαστικών αναλύσεων για τη διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής.

Η μέθοδος ανάλυσης που ακολουθήθηκε ήταν η ισοδύναμη στατική και παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την κατασκευή χωρίς επισκευές και ενισχύσεις.

>Έγιναν ελαστικές επιλύσεις χρονοϊστορίας με το πρόγραμμα ABAQUS, στις οποίες εφαρμόστηκαν και οι τρεις συνιστώσες πέντε πραγματικών καταγραφών.

>Οι αναμενόμενες εδαφικές επιταχύνσεις, για περίοδο επανάληψης 500 και 1000 χρόνια δίνονται στην παρακάτω εικόνα για το βραχύδες υπόβαθρο και την επιφάνεια του εδάφους με θεώρηση αλλουβιακών αποθέσεων.

³⁵ Ο.π., σελ.5-6.

Περίοδος επανάληψης	Βραχώδης υπόβαθρο	Επιφάνεια εδάφους (αλλούβια)
500 έτη	3.90	2.60
1000 έτη	5.60	3.70

Εικόνα 18_Εκτιμώμενες τιμές μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, pga , (m/sec^2) στην περιοχή του ναού.

>Οι σεισμικές διεγέρσεις επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας για περίοδο επανάληψης 500 ετών για δύο λόγους. Πρώτο λόγος ήταν γιατί από τα σεισμολογικά δεδομένα της περιοχής φάνηκε ότι η συχνότητα των μεγάλων σεισμών ικανών να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στο μνημείο ήταν κάθε 500 χρόνια περίπου (οι δύο πιο πρόσφατοι πολύ ισχυροί σεισμοί έγιναν το 1389 και το 1881) και δεύτερος λόγος ήταν τα δεδομένα των αναλύσεων και της ιστορικής παθολογίας που απέδειξαν ότι στην κατασκευή θα συμβούν τοπικές καταρρεύσεις σε μεγαλύτερους σεισμούς ακόμη και εάν μερικώς ενισχυθεί. Έτσι η μελετητική ομάδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ανάλυση για ισχυρότερες διεγέρσεις δεν θα είχε πρακτικό νόημα.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την κατασκευή χωρίς επισκευές και ενισχύσεις συμπυκνώνονται παρακάτω:

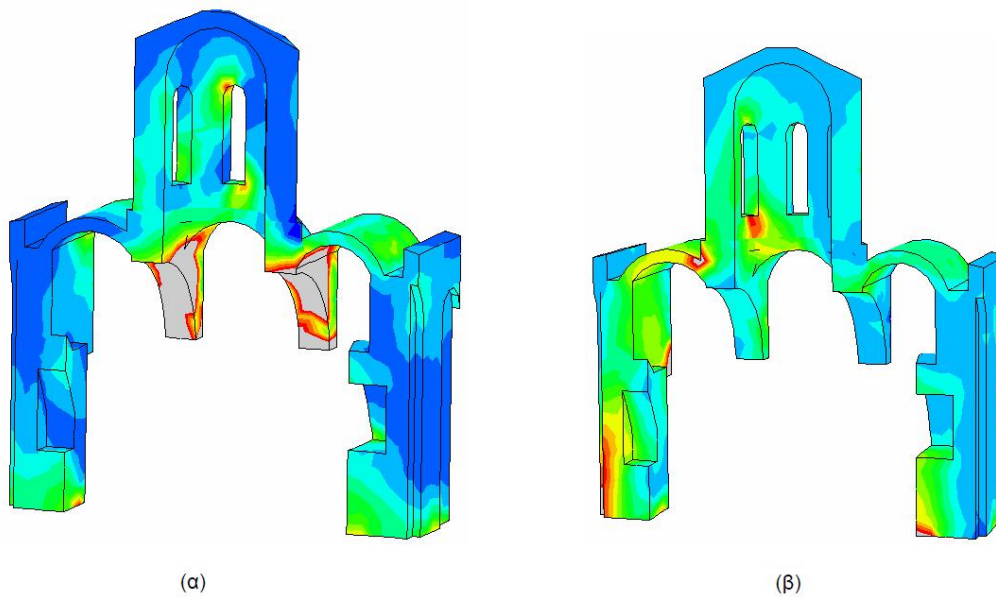
- >Επιβεβαιώθηκαν οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών
- >Επιβεβαιώθηκε το πάχος του εδάφους που επηρεάζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά
- >Υπολογίστηκαν οι 4 πρώτες ιδιοπερίοδοι (=οι ιδιοπερίοδοι που υπολογίστηκαν για το προσομοίωμα αντιστοιχούν στην κατασκευή χωρίς ρηγματώσεις και γι' αυτό είναι αναμενόμενο να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της πραγματικής κατασκευής) και συγκρίθηκαν με μετρήσεις μικροδονήσεων που έγιναν στο ναό.

Σκοπός της πρώτης ανάλυσης ήταν να προβλεφθεί με ρεαλιστικά δεδομένα η δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής και να ερμηνευθεί η παθολογία που εμφανίζει σήμερα το κτίριο λόγω των παλαιότερων σεισμών που συνέβησαν σε αυτό.

Ερμηνευτικά μέσω των σχημάτων η μελετητική ομάδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο κύριος όγκος των βλαβών οφείλεται στον καταστροφικό σεισμό του 1881. Για τον τρούλο του κυρίως ναού, του οποίου κατέρρευσε ο θόλος, προέκυψε ότι οι εφελκυστικές τάσεις ήταν μεγαλύτερες από την αντοχή της τοιχοποιίας με αποτέλεσμα να ρηγματωθεί η τοιχοποιία στήριξης του τυμπάνου γιατί αδυνατεί να παραλάβει τις οριζόντιες αδρανειακές

δυνάμεις του θόλου. Για το νάρθηκα, στα σημεία κατάρρευσης των θόλων της οροφής, του τρούλου, των ανώτερων τμημάτων του βόρειου, του νότιου και του δυτικού τοίχου, προέκυψε από την ανάλυση ότι η κατάρρευση ξεκίνησε από τα δύο διαμήκη τόξα που φέρουν τη θολοδομία του τμήματος αυτού λόγω των μεγάλων εφελκυστικών τάσεων που αναπτύχθηκαν σε αυτά.

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι κύριες εφελκυστικές τάσεις στα διαμήκη τόξα στήριξης της οροφής του νάρθηκα για το σεισμό Northridge-Roscoe για: (α) χωρίς τη σύνδεση του κυρίως ναού με το νάρθηκα και για (β) τη σύνδεση του κυρίως ναού με το νάρθηκα. Από αυτό γίνεται αντιληπτό ότι η κατάρρευση ξεκίνησε από τα τόξα του νάρθηκα και επεκτάθηκε στον τρούλο και τους θόλους, οι οποίοι παρέσυραν με τη σειρά τους την υπόλοιπη τοιχοποιία.



Εικόνα 19_Κύριες εφελκυστικές τάσεις στα διαμήκη τόξα στήριξης της οροφής του νάρθηκα.

Β' φάση: Ανάλυση κατασκευής με επεμβάσεις

Στη συνέχεια με τη δεύτερη ανάλυση διαπιστώθηκε η αναγκαιότητα σύνδεσης του νάρθηκα με τον κυρίως ναό για να αποφευχθεί μια εκ νέου κατάρρευση της θολοδομίας του νάρθηκα σε πιθανό μελλοντικό σεισμό. Η ομάδα οδηγήθηκε σε αυτό το συμπέρασμα γιατί λόγω των ισχυρών σεισμών (που είναι και η κύρια αιτία βλαβών) αναπτύσσονται στην τοιχοποιία και στην θολοδομία μεγάλες εφελκυστικές τάσεις, που δεν μπορούν να παραληφθούν από το σώμα του ναού ακόμη και εάν επιδιορθωθούν οι υφιστάμενες βλάβες, οπότε αναζητούνται νέες επεμβάσεις ώστε να διαφυλαχθεί όσο είναι αυτό εφικτό η αρχιτεκτονική του ναού.

Οι παρατηρήσεις που διαπιστώθηκαν εξ αρχής, δηλαδή τα ενδογενή προβλήματα που εμποδίζουν την κατασκευή να παραλάβει μεγάλα σεισμικά φορτία, η διάταξη της κατασκευής, το «δυσανάλογο» μέγεθος του τρούλου και η μη σύνδεση του κυρίως ναού με το νάρθηκα επιβεβαιώθηκαν και έγιναν διεργασίες διερεύνησης των παλαιότερων επεμβάσεων στερέωσης της κατασκευής. Αναζητήθηκαν νέες επεμβάσεις με σκοπό αφενός την παραλαβή των φορτίων του τρούλου από την τοιχοποιία και αφετέρου τη στήριξη του νάρθηκα μέσω του κυρίως ναού. Οι επεμβάσεις που προτάθηκαν ήταν οι εξής:

1_Εφαρμογή ενεμάτων στην τοιχοποιία.

Τα αρμολογήματα και τα ενέματα στην τοιχοποιία αποσπούν στην πλήρωση των κενών που υπάρχουν στη δόμηση. Το αρμολόγημα και η ομογενοποίηση με κονιάματα με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο συμβάλλουν στην αποκατάσταση της συνέχειας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων και στη βελτίωση των μηχανικών της ιδιοτήτων της τοιχοποιίας.

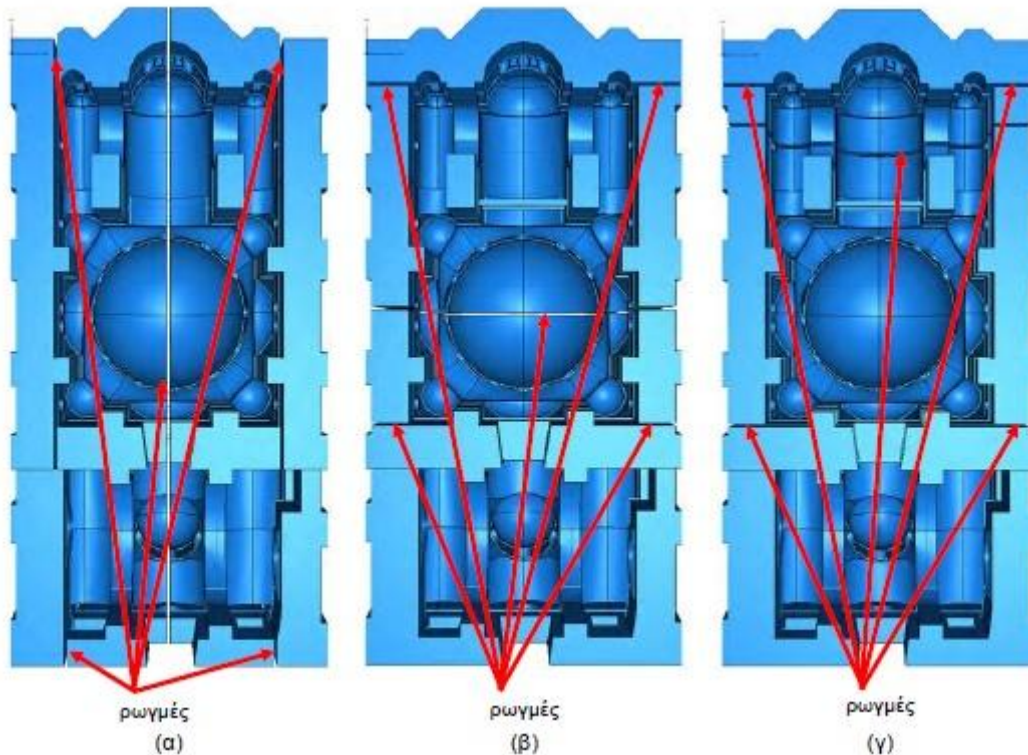
2_Περίσφιξη τοίχων με οριζόντιους ελκυστήρες και υποκατάσταση ρόλου ξυλοδεσιών.

Η τοποθέτηση μεταλλικών ελκυστήρων στους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους του μνημείου αποσκοπεί στην περίδεση των τοίχων και τη μείωση του κινδύνου δημιουργίας νέων ρωγμών ή έστω να μη διευρυνθούν οι ήδη υπάρχουσες. Η μέθοδος των ελκυστήρων ήταν και η λύση στο πρόβλημα κατάρρευσης του νάρθηκα. Το σύστημα ελκυστήρων, μέσα και έξω από το ναό, τοποθετήθηκε στις θέσεις των παλαιών ξυλοδεσιών, υποκαθιστώντας το ρόλο τους σε συνδυασμό με την πλήρωση των κενών με κατάλληλο ένεμα. Το όφελος της επέμβασης αυτής είναι διπλό καθώς οι διαμήκεις ελκυστήρες στο εσωτερικό του Β και Ν τοίχου συνδέουν το νάρθηκα με τον κύριο ναό (που μέχρι πριν ήταν στατικά ανεξάρτητα τμήματα της κατασκευής). Η δεύτερη ανάλυση έδειξε ότι η σύνδεση αυτή μειώνει δραστικά τις τάσεις που αναπτύσσονται στα διαμήκη τόξα υποστήριξης της στέψης του νάρθηκα, απ' όπου εκτιμάται ότι ξεκίνησε η κατάρρευση της θολοδομίας και του τρούλου που συνέβη στο σεισμό του 1881.

«Για τον υπολογισμό των δυνάμεων που αναπτύσσονται στους ελκυστήρες κατά τη διάρκεια των πέντε σεισμικών διεγέρσεων θεωρήθηκε ότι έχουν συμβεί στην κατασκευή διαμπερείς ρωγμές και ρωγμές στα άκρα των εξωτερικών τοίχων (οι ρωγμές αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν εντοπισθεί και στην ίδια την κατασκευή). Οι ρωγμές αυτές εισήχθησαν εξ αρχής στο προσομοίωμα υπολογισμού των επεμβάσεων, ώστε να ενεργοποιηθούν οι ελκυστήρες. Εξετάστηκαν διάφορα σενάρια που περιλάμβαναν είτε διαμήκεις ρωγμές (για τον υπολογισμό των δυνάμεων των εγκάρσιων ελκυστήρων) είτε εγκάρσιες ρωγμές (για τον υπολογισμό των δυνάμεων των διαμήκων ελκυστήρων) [...]. Με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίστηκε η αδυναμία της ελαστικής ανάλυσης να προβλέψει την εντατική κατάσταση μετά τη ρηγματώση. Τα σενάρια ρωγμών που εξετάστηκαν αντιστοιχούν σε ακραίες περιπτώσεις ρηγματώσεων (Εικόνα 20) και επομένως, τα αποτελέσματα θεωρούνται ως άνω όριο των δυνάμεων που μπορούν να αναπτυχθούν στους ελκυστήρες. Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη που προέκυψε στη δυσμενέστερη περίπτωση ήταν 155 kN για τους διαμήκεις ελκυστήρες και 122 kN για τους εγκάρσιους. Εάν οι ελκυστήρες είχαν εφαρμοστεί στην αρχική κατασκευή, χωρίς τις θεωρητικές ρωγμές, οι αντίστοιχες δυνάμεις θα ήταν 122 kN και 20 kN. Η διαφορά είναι πολύ μεγάλη για τους εγκάρσιους ελκυστήρες, αλλά όχι τόσο μεγάλη για τους διαμήκεις, γεγονός που επιβεβαιώνει και την αναγκαιότητα τοποθέτησής τους. Η μεγάλη διαφορά δυνάμεων στους εγκάρσιους ελκυστήρες οφείλεται στο γεγονός ότι, στην αρχική κατασκευή χωρίς τις ρωγμές, αυτοί οι ελκυστήρες πρακτικά δεν ενεργοποιούνται, αφού τα σεισμικά φορτία παραλαμβάνονται κυρίως από την τοιχοποιία. Αντίθετα, στην περίπτωση των διαμήκων ελκυστήρων, αυτοί αναλαμβάνουν σημαντικές δυνάμεις και πριν την έναρξη των ρηγματώσεων, επειδή ο κυρίως ναός και ο νάρθηκας είναι στατικά ανεξάρτητες κατασκευές που ταλαντώνονται με διαφορετικό τρόπο.»³⁶

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται σε άνοψη τα δυσμενή σενάρια ρωγμών που εξετάστηκαν στο ναό για τις (α) διαμήκεις ρωγμές για τον υπολογισμό των δυνάμεων των εγκάρσιων ελκυστήρων, για τις (β) και (γ) εγκάρσιες ρωγμές και για τον υπολογισμό των δυνάμεων των διαμήκων ελκυστήρων.

³⁶ Ο.π., σελ.12-13.



Εικόνα 20_ Άνοιξη που δείχνει δυσμενή σενάρια ρωγμών που θεωρήθηκαν στο ναό.

3_Μεταλλικά πλαίσια στα παράθυρα των τρούλων.

Για να μειωθεί ο κίνδυνος κατάρρευσης του τρούλου, όπως συνέβη στο σεισμό του 1881, αντικαταστάθηκαν τα ξύλινα με μεταλλικά πλαίσια με σκοπό την αποφυγή μεγάλων εφελκυστικών τάσεων. Η τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων στα παράθυρα του τυμπάνου αποσκοπεί στη δυσκαμψία του τρούλου και μειώνει δραστικά αυτές τις τάσεις. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι ο κίνδυνος κατάρρευσης του τρούλου εξακολουθεί να υφίσταται, λόγω της προβληματικής του στήριξης στη βάση του τυμπάνου.

4_Πρόταση υποστήριξης του τρούλου.

Μετά την παραδοχή του ενδεχομένου κατάρρευσης του τρούλου του κυρίως ναού, προτάθηκε η λύση της συγκράτησής του από μεταλλικούς δακτυλίους σε συνδυασμό με τα μεταλλικά πλαίσια των παραθύρων με σκοπό τη μεταφορά του βάρους του απ' ευθείας στην τοιχοποιία, σε περίπτωση απώλειας της στήριξής του στα ημιχώνια.

Συμπεράσματα

Μέσα από την παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης του σημαντικού μνημείου της Χίου. Η διαδικασία περιλάμβανε τεκμηρίωση, διερεύνηση χαρακτηριστικών στατικού φορέα, μοντελοποίηση και ανάλυση φορέα με

χρήση προσομοιώματος. Ο ναός είχε ενδογενή προβλήματα εκ φύσεως καθώς ο τρόπος που είχε κατασκευαστεί δυσκόλευε την επιβίωση του με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτος σε σεισμικές καταπονήσεις. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι οι επεμβάσεις που προτάθηκαν ως λύση, βελτιώνουν τη σεισμική του συμπεριφορά μεν, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μηδενίζουν τον κίνδυνο σοβαρών ζημιών σε μελλοντικούς σεισμούς δε. Το ενδεχόμενο μερικών καταρρεύσεων είναι αρκετά ρεαλιστικό. Συγκεκριμένα, ο μεγάλος τρούλος του κυρίως ναού κρίθηκε επικίνδυνος λόγω της προβληματικής στήριξής του και των εκτεταμένων ρηγματώσεων που υπάρχουν στα ημιχώνια. Τα μέτρα υλοποίησης που προτάθηκαν ως ήπιες επεμβάσεις στο μνημείο λειτουργούν καλύτερα στο σύνολό τους και αποσκοπούν στη συντήρηση και στην επέκταση της μακροβιότητάς του.

Αποκατάσταση μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων_Γιαρλέλης Χ., Κρεμέζης Π., Σπανός Χ.

Η δεύτερη σε σειρά μελέτη με τις εικόνες της που αναλύεται στην εργασία, παρουσιάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος του 2ου Εθνικού Συνεδρίου με θέμα τις «Ήπιες Επεμβάσεις για την προστασία των Ιστορικών Κατασκευών»³⁷ το 2004, υπό την αιγίδα του ΤΕΕ Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας.



Εικόνα 21_ Το Χαμάμ Ιωαννίνων πριν και μετά την κατάρρευση του θόλου του ψυχρού χώρου

63

Περιγραφή μνημείου και φέροντος οργανισμού

Στο Κάστρο των Ιωαννίνων, στο νοτιοανατολικό άκρο της πόλης, έχουν ενσωματωθεί τρία σημαντικά μνημεία της οθωμανικής περιόδου. Ανάμεσά τους το μνημείο Χαμάμ είναι ένα από τα πρωιμότερα σωζόμενα οθωμανικά μνημεία στα Ιωάννινα και χρονολογείται στις αρχές του 17^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με αναφορές³⁸ αντικατέστησε το εντοπισμένο βορειότερα βυζαντινό λουτρό και έχει υποστεί πολλές μεταγενέστερες επεμβάσεις. Το Χαμάμ είναι μονώροφο κτίσμα, διαστάσεων 25.80 μέτρα επί 13.30 μέτρα, και αποτελείται από πέντε τμήματα:

«α. Ψυχρός χώρος: Πρόκειται για τετράγωνη αίθουσα η οποία καλύπτεται από ημισφαιρικό θόλο κατασκευασμένο από επίπεδους οπτόπλινθους τοποθετημένους ακτινωτά.

³⁷ <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2004-2006/20%20ETHNIKO%20SYNEDRIO/Tab5192967>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

³⁸ <http://odysseus.culture.gr/h/3/gh352.jsp?obj_id=7642>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

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 2.40m, 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.»³⁹

Περιγραφή φέροντος οργανισμού - Επιστημάνσεις

Συνολικά η τοιχοποιία του μνημείου έχει πάχος 1.00μ. περίπου, ενώ η θολοδομία αποτελείται από οπτόπλινθους, πάχους 0.30μ. Από τη μελέτη αποκατάστασης δε βρέθηκαν στοιχεία που να φανερώνουν την ύπαρξη ξυλοδεσιών. Το μνημείο εδράζονταν σε θεμελιοδοκούς από λιθοδομή πάχους 1.00μ. περίπου, των οποίων η άνω επιφάνεια αποτελεί τη βάση των υποκαύστων που βρίσκεται σε στάθμη -1.20μ. από την επιφάνεια του εδάφους.

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να προσδιοριστεί το σύστημα υπόκαυστων, που αποτελούσε το δάπεδο των ατομικών δωματίων, του μεταβατικού και κεντρικού χώρου. Είναι ρωμαϊκό κατάλοιπο και λειτουργούσε ως σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης για τις εγκαταστάσεις, σύμφωνα με το οποίο ζεστός αέρας και καπνός κυκλοφορούσαν σε υπόγειο χώρο κάτω από το πάτωμα/δάπεδο των χώρων. Το σύστημα αυτό ήταν κατασκευασμένο από μαρμάρινες πλάκες τοποθετημένες πάνω σε κυλινδρικούς πεσσούς και δε σώζεται σήμερα.

Διερεύνηση χαρακτηριστικών στατικού φορέα

³⁹ Γιαρλέλης Χ., Κρεμέζης Π., Σπανός Χ., «Αποκατάσταση μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων», 2^ο Εθνικό Συνεδρίο με θέμα τις «Ηπιες Επεμβάσεις για την προστασία των Ιστορικών Κατασκευών», ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, 2004, σελ.2.

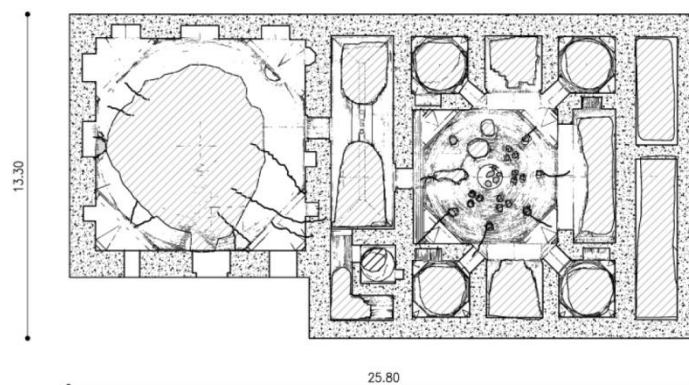
Με κατάλληλες μεθόδους επιτόπιου ελέγχου του έργου, έγινε λεπτομερή αποτύπωση του φορέα και ο ποιοτικός έλεγχος των υλικών. Έτσι προέκυψαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λίθων, του κονιάματος και της τοιχοποιίας ως σύνολο. «Ως προς την τοιχοποιία, μετρήθηκαν το φαινόμενο βάρος, οι ελαστικές σταθερές, 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»⁴⁰.

Δυστυχώς δεν υπήρχαν στοιχεία από γεωτρήσεις, πράγμα που δυσκόλεψε την εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους. Γενικά η περιοχή του κάστρου των Ιωαννίνων βρίσκεται σε συμπαγές έδαφος το οποίο θεωρήθηκε ότι εντάσσεται στην κατηγορία Α του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.). Ως προς τα μόνιμα φορτία, λήφθηκε υπ' όψη το ίδιο βάρος του μνημείου λόγω των μεγάλων διατομών της τοιχοποιίας και η πιθανή επικάλυψη της οροφής (0.20KN/m^2). Ως προς τα κινητά φορτία, λήφθηκαν υπ' όψη οι μεταβλητές δράσεις σεισμού, ανέμου και χιονιού.

Παθολογία

Το μνημείο Χαμάμ είναι σε ετοιμόρροπη κατάσταση καθώς έχει εγκαταλειφθεί εδώ και πολλά χρόνια. Η έλλειψη συντήρησής του και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής των Ιωαννίνων (συνεχείς βροχοπτώσεις) επιδεινώνουν την κατάστασή του. Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν κατά την τεκμηρίωση της υπάρχουσας δομικής κατάστασης ταξινομούνται σε βλάβες γενικού και τοπικού χαρακτήρα.

65



Εικόνα 22_Άνοψη: διακρίνονται οι ρηγματώσεις και καταρρεύσεις τμημάτων.

⁴⁰ Ο.π., σελ. 5.

Οι βλάβες γενικού χαρακτήρα εντοπίζονται σχεδόν στο σύνολο της θολοδομίας του μνημείου και εκδηλώνονται ως καταρρεύσεις τμημάτων και εκτενείς ρηγματώσεις. Οι βλάβες τοπικού χαρακτήρα αποδιοργανώνουν το κονίαμα των τοίχων δομήσεως και την τοιχοποιία στις στέψεις των τοίχων και των οκταγωνικών βάσεων των θόλων. Τα κύρια αίτια των φθορών, πέρα από τους καταστροφικούς σεισμούς που έπληξαν το μνημείο, είναι η ύπαρξη υγρασίας, η κακή απορροή των όμβριων υδάτων και η ανάπτυξη χαμηλής βλάστησης κατά τόπους. Οι βλάβες γενικού χαρακτήρα οφείλονται στις σεισμικές δράσεις και είναι καθοριστικές για τη γενική ευστάθεια του κτιρίου, ενώ οι βλάβες τοπικού χαρακτήρα οφείλονται σε περιβαλλοντικές συνθήκες και εκδηλώνονται με φθορές των υλικών δόμησης.

Επεμβάσεις που ήδη έχουν γίνει στο παρελθόν

Στις δεκαετίες του '60 και '70 άρχισε να λειτουργεί ως μουσείο το τζαμί του Ασλάν πασά στα Ιωάννινα. Από το γεγονός αυτό γίνεται αντιληπτό το ότι η έννοια της αποκατάστασης μνημείων και του προσδιορισμού της σεισμικής τους τρωτότητας, συγκεντρώνει το επιστημονικό ενδιαφέρον και όχι, μόνο τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, στο παρελθόν, το μνημείο Χαμάμ δεν είχε υπαχθεί σε επισκευή με αποτέλεσμα την ύπαρξη τμημάτων που κατέρρευσαν.

Παρατηρήσεις

Λόγω σημαδιών εγκατάλειψης, εξωγενών περιβαλλοντικών παραγόντων και κινδύνου κατάρρευσης, το μνημείο Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων κρίθηκε ότι χρήζει στατικής μελέτης για τη δομική αποκατάστασή του με ήπιες επεμβάσεις. Για το λόγο αυτό το μνημείο προσομοιώθηκε με χωρικό φορέα με διαίρεση των τοιχοποιιών σε επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.

Προσομοίωμα ανάλυσης

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ETABS. *«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 έδρασης του μνημείου (-1.20 m από τη στάθμη εδάφους).»⁴¹*

⁴¹ Ο.π., σελ. 6.

«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»⁴².

Η μέθοδος ανάλυσης έγινε με τους ισχύοντες κανονισμούς (Ευρωκώδικας 6 για σχεδιασμό κτιρίων από τοιχοποιία, και ΕΑΚ 2000) και ελήφθησαν υπόψη συνδυασμοί φορτίσεων. Επίσης έγινε περεταίρω διερεύνηση της συμπεριφοράς του μνημείου υπό χαρακτηριστικές διεγέρσεις του ελληνικού χώρου που θα μπορούσαν να πλήξουν την πόλη των Ιωαννίνων. Με βάση τα εντατικά μεγέθη από τους συνδυασμούς δράσεων πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των κρίσιμων περιοχών του μνημείου μέσω των ορθών τάσεων, παράλληλα και κάθετα προς τους αρμούς. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι οι αναλύσεις έγιναν με παραδοχή ελαστικής συμπεριφοράς.

Α' φάση: Ανάλυση κατασκευής χωρίς επεμβάσεις

Κατά τη διάρκεια την πρώτης μελέτης δομητικής αποκατάστασης του μνημείου δημιουργήθηκε η τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος και πραγματοποιήθηκε σειρά ελαστικών αναλύσεων για τη διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής. Η μέθοδος ανάλυσης που ακολουθήθηκε ήταν η ισοδύναμη στατική και παρουσιάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την κατασκευή χωρίς επισκευές και ενισχύσεις.

Από τον έλεγχο των τάσεων προκύπτει ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι θλιπτικές τάσεις είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες, ενώ διαφέρουν οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται κυρίως στις στέψεις των μεγάλων θόλων του θερμού και του ψυχρού χώρου του μνημείου.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φανερώνουν τις ευπαθείς περιοχές της κατασκευής αποδεικνύοντας τα σημεία κατάρρευσης του μνημείου. Η πρώτη ανάλυση αποσκοπεί στην παρατήρηση και αιτιολόγηση των βλαβών μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Από τα αποτελέσματα έγινε κατανοητή η αναγκαιότητα ενίσχυσης του μνημείου για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας του με τη χρήση ελκυστήρων στις ευπαθείς περιοχές.

Β' φάση: Ανάλυση κατασκευής με επεμβάσεις

⁴² Ο.π., σελ. 7.

Στη δεύτερη φάση των υπολογισμών, έγιναν οι αναλύσεις της συμπεριφοράς του μνημείου μετά την ομογενοποίηση της τοιχοποιίας (τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων στις ρωγμές, αρμολογήματα, ενέματα και οπλισμένα επιχρίσματα) και την τοποθέτηση ελκυστήρων.

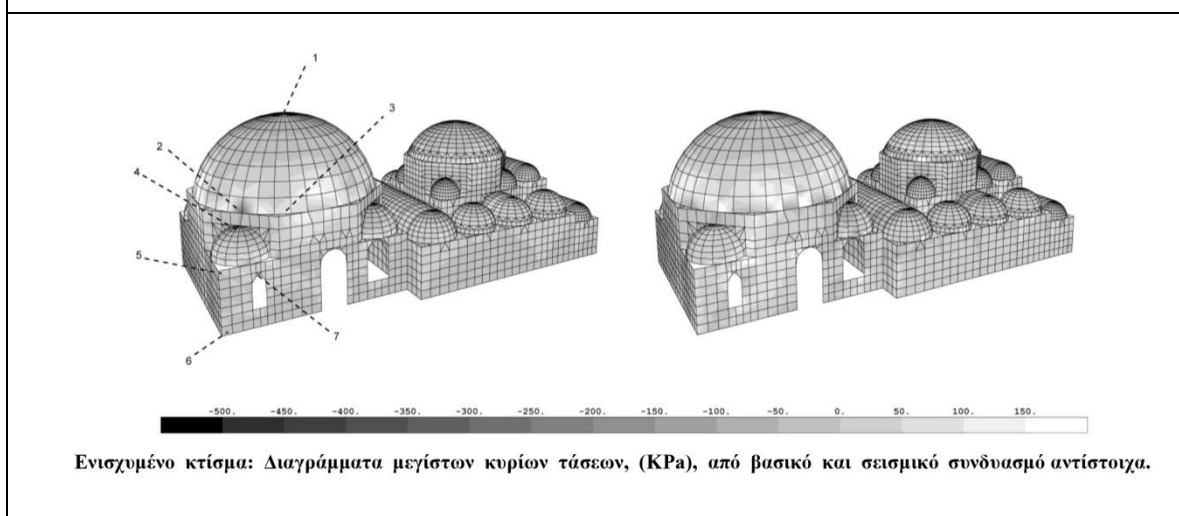
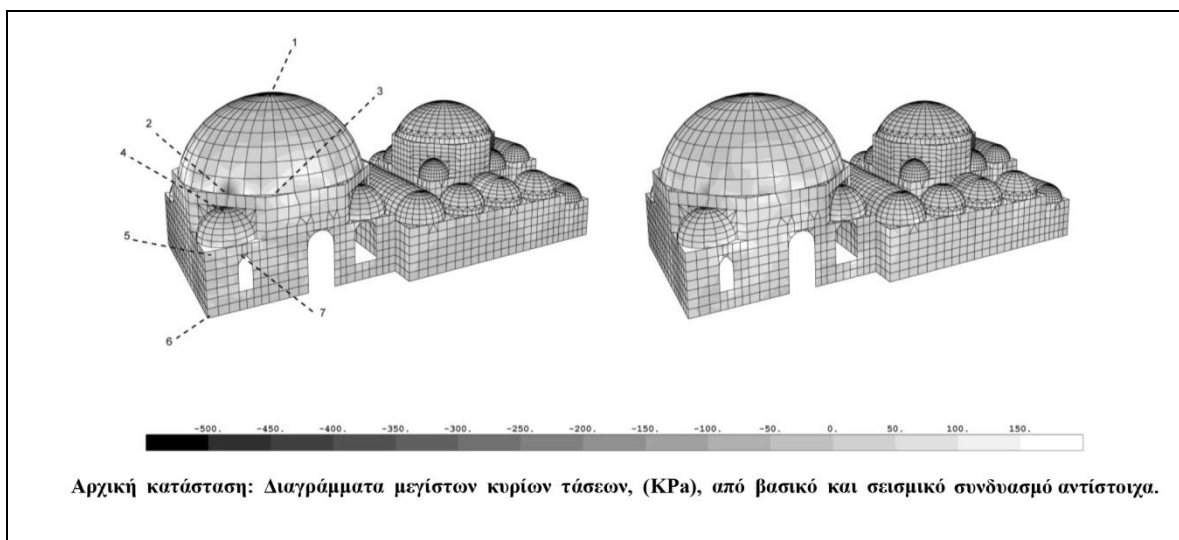
Οι ελκυστήρες -από δίδυμα συρματόσχοινα προστατευμένα σε σωλήνες πολυπροπυλενίου ο καθένας- τοποθετήθηκαν εξωτερικά, στη στέψη των τοιχοποιιών και στη βάση των μεγάλων θόλων και αγκυρώθηκαν στην τοιχοποιία μέσω μεταλλικών ανοξείδωτων πλακών.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση, έδειξαν ότι μετά την τοποθέτηση των ελκυστήρων, οι εφελκυστικές τάσεις ενώ μειώθηκαν κατά 10% περίπου, εξακολούθησαν να εκδηλώνονται στις ίδιες θέσεις, κυρίως στις στέψεις των μεγάλων θόλων του θερμού και του ψυχρού χώρου του μνημείου.

Από τη σύγκριση των γραφημάτων της ανάλυσης πριν και μετά τις επεμβάσεις προκύπτει ότι οι ελκυστήρες αναλαμβάνουν σημαντικό μέρος των εφελκυστικών τάσεων. Για την εύρεση του απαιτούμενου αριθμού και θέσης των ελκυστήρων, έγιναν διαδοχικές επιλύσεις του προσομοιώματος με αυξανόμενο βαθμό επεμβάσεων που αποσκοπούσε στο να προσεγγίσει τη βέλτιστη πρόταση με την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στο μνημείο.

68

Η εικόνα 23 αποτελούμενη από τρία σκέλη, επιβεβαιώνει τα παραπάνω. Η πρώτη φωτογραφία παρουσιάζει με τη μορφή ισοτασικών επιφανειών τις κύριες τάσεις S_{max} από τις οποίες προκύπτουν οι θέσεις των εφελκυστικών τάσεων για την Α' φάση και η δεύτερη φωτογραφία παρουσιάζει με τη μορφή ισοτασικών επιφανειών τις κύριες τάσεις S_{max} από την ανάλυση μετά την τοποθέτηση ελκυστήρων για τη Β' φάση. Ο πίνακας τέλος απεικονίζει τις ορθές τάσεις παράλληλα, (S11), και κάθετα, (S22), προς τους αρμούς από την ανάλυση με σεισμικό συνδυασμό, με το ελαστικό φάσμα ΕΑΚ.



69

ΘΕΣΗ	ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ				ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΝΗΜΕΙΟ			
	S11 (KPa)		S22 (KPa)		S11 (KPa)		S22 (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

Εικόνα 23_Αναλύσεις Α' και Β' φάσης και πίνακας ορθών τάσεων από την ανάλυση με σεισμικό συνδυασμό, με το ελαστικό φάσμα ΕΑΚ.

Συμπεράσματα

Μέσα από την παραπάνω αναφορά στην έρευνα του μνημείου, πραγματοποιήθηκε η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης ενός από σημαντικά ιστορικά μνημεία το Κάστρου των Ιωαννίνων. Η διαδικασία περιλάμβανε τεκμηρίωση, διερεύνηση χαρακτηριστικών στατικού φορέα, μοντελοποίηση και ανάλυση φορέα με χρήση προσομοιώματος. Το μνημείο Χαμάμ λόγω χρόνιας εγκατάλειψης και έκθεσής του στις περιβαλλοντικές μεταβολές ήταν ευάλωτο σε σεισμικές καταπονήσεις. Οι επεμβάσεις που προτάθηκαν για την καλυτέρευση της σεισμικής του συμπεριφοράς ήταν οι εξής:

- 1_ τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων στις ρωγμές
- 2_ αρμολογήματα
- 3_ ενέματα και οπλισμένα επιχρίσματα
- 4_ και τοποθέτηση ελκυστήρων.

Οι στατικές αναλύσεις μετά τις επεμβάσεις επιβεβαίωσαν την αναγκαιότητα της συντήρησης και ενίσχυσης του μνημείου και κατέταξαν το μνημείο ως προς τη συμπεριφορά του μνημείου σε πραγματικούς σεισμούς του ελληνικού χώρου σύμφωνα με τη σεισμικότητα της περιοχής που βρίσκεται. Τα μέτρα υλοποίησης που προτάθηκαν ως ήπιες επεμβάσεις λειτουργούν αρτιότερα στο σύνολό τους και αποσκοπούν στη συντήρηση και στην επέκταση της μακροβιότητάς του.

Δομική Αποκατάσταση και Στατική Στερέωση Ιστορικού Ιερού Ναού_Σπυράκος

Κ.

Η τρίτη κατά σειρά μελέτη με τις εικόνες της που αναλύονται στην εργασία, παρουσιάστηκε στα πλαίσια του 21^{ου} Φοιτητικού Συνεδρίου του Τμήματος Πολ.Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών με τίτλο «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015». Η διάλεξη του προσκεκλημένου ομιλητή έγινε με τη χρήση Microsoft PowerPoint οπότε τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή αντλήθηκαν αποκλειστικά από αυτό το στοιχείο του οποίου η πηγή βρίσκεται στο διαδίκτυο⁴³.



Εικόνα 24_ Άποψη Ιερού Ναού Αγίου Δημητρίου στη Λήμο.

71

Περιγραφή μνημείου

Ο Ιερός Ναός του Αγίου Δημητρίου στη Λήμο ανακατασκευάστηκε εξ αρχής την περίοδο 1892-1902. Είναι ρυθμού τρίκλινης βασιλικής με τρούλο και οι διαστάσεις του είναι 25.00 μέτρα μήκος και 21.00 μέτρα πλάτος. Το ύψος μέχρι τη βάση του τρούλου είναι 12 μέτρα και ο τρούλος έχει ύψος 5.65 μέτρα.

Διερεύνηση χαρακτηριστικών στατικού φορέα

Για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του στατικού φορέα του ναού εφαρμόστηκε μια σειρά μεθόδων επιτόπιου ελέγχου στο έργο.

Με τη βοήθεια της γεωτεχνικής μελέτης διεξάγονται συμπεράσματα για τις εδαφικές παραμέτρους που χρειάζονται για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και των αναμενόμενων πιθανών καθιζήσεων, και την εκτίμηση της κατηγορίας του εδάφους από πλευράς σεισμικής επικινδυνότητας. Έτσι διαπιστώθηκε ότι η επίδραση των εδαφικών

⁴³ <http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=803>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

στρώσεων στον επιφανειακό κραδασμό είναι αμελητέα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φάσμα σχεδιασμού που προτείνεται στον ευρωπαϊκό αντισεισμικό κανονισμό EN1998 για έδαφος κατηγορίας B.

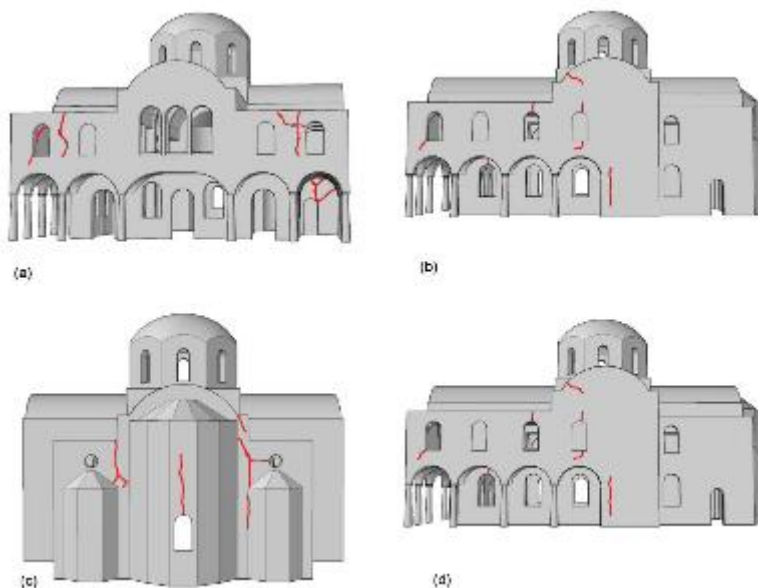
Ο οπτικός έλεγχος που πραγματοποιείται πάντα για μια γρήγορη και άμεση εκτίμηση της επιφανειακής κατάστασης της τοιχοποιίας και του σκυροδέματος δίνει αρκετά στοιχεία για την ύπαρξη ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών.

Αποτυπώθηκαν σε αυτό το στάδιο οι αγιογραφημένες περιοχές του ναού καθώς επίσης και η θέση των ελκυστήρων που υπήρχαν.

Ακολούθησαν οι εξής μη καταστροφικοί έλεγχοι: κρουσιμέτρηση, έλεγχος αντοχής κονιάματος, θερμογράφιση με υπέρυθρη ακτινοβολία, ενδοσκόπηση, μέθοδος απλών & διπλών γρύλλων και μέτρηση περιβαλλοντικών μικροδονήσεων, για την καλύτερη και πιο ακριβή τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης του ναού, των υλικών κατασκευής του και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων γύρω από την ιστορική παθολογία του.

Παθολογία

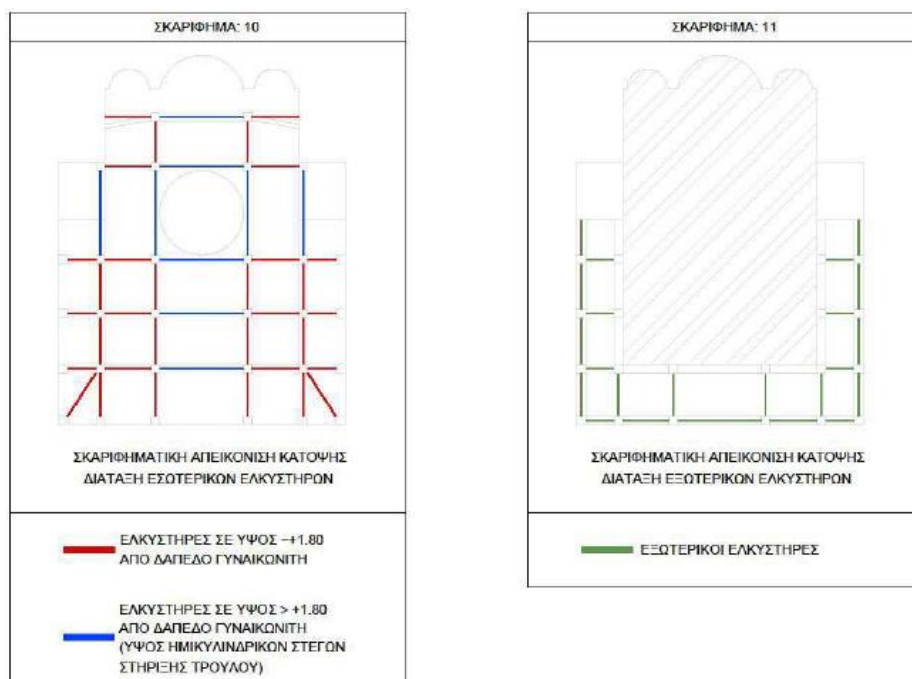
Σχεδόν στο σύνολο του ναού παρατηρήθηκαν ρωγμές στη φέρουσα τοιχοποιία. Αφού προηγήθηκε λεπτομερής καταγραφή των ρωγμών εσωτερικά και εξωτερικά του ναού με τη βοήθεια σκαριφημάτων, εντοπίστηκαν και αποτυπώθηκαν οι ρωγμές που κρίθηκαν αξιόλογες επισήμανσης. Από τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων και των καταγραφών των ρωγμών προσδιορίζεται ο βαθμός βλάβης του κτιρίου.



Εικόνα 25_Κύριο δίκτυο ρωγμών στο ναό.

Επεμβάσεις που ήδη έχουν γίνει στο παρελθόν

Στο κτίριο έχουν τοποθετηθεί ελκυστήρες εσωτερικά και εξωτερικά, σε όλα τα τόξα της φέρουσας τοιχοποιίας. Στο εσωτερικό του ναού οριοθετούνται δύο οριζόντια επίπεδα ελκυστήρων: το πρώτο στο +1,80μ. από το δάπεδο του γυναικωνίτη και το δεύτερο στο +8,50μ. από το δάπεδο του γυναικωνίτη.



73

Εικόνα 26_Αποτύπωση ελκυστήρων.

Παρατηρήσεις

Οι εσωτερικοί ελκυστήρες βρίσκονται σε αρκετά καλή κατάσταση ενώ οι εξωτερικοί εμφανίζουν έντονα σημάδια προχωρημένης οξείδωσης λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών. Από τον έλεγχο που διενεργήθηκε, προέκυψε ότι η αγκύρωσή τους είναι ανεπαρκής σε μήκος και σε κονίαμα πάκτωσης.

Προσομοίωμα ανάλυσης

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ABAQUS. Έγινε η τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος: τοιχοποιία με τετραεδρικά στοιχεία όγκου τύπου C3D4 και ελκυστήρες με γραμμικά στοιχεία τύπου T3D2. «Τα σεισμικά φορτία υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό. Με δεδομένο ότι η Λήμνος ανήκει στη ζώνη σεισμικής

επικινδυνότητας II ελήφθη $\alpha=0,24$. Επιπλέον έγιναν αναλύσεις για την εξέταση της επίδρασης των φαινομένων “εγγύς πεδίου”». ⁴⁴

Α' φάση: Ανάλυση κατασκευής χωρίς επεμβάσεις

Κατά τη διάρκεια την πρώτης μελέτης δομητικής αποκατάστασης του μνημείου δημιουργήθηκε η τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος και πραγματοποιήθηκε σειρά ελαστικών αναλύσεων για τη διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής. Η μέθοδος ανάλυσης που ακολουθήθηκε φέρει τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την κατασκευή χωρίς επισκευές και ενισχύσεις.

Έγινε ιδιομορφική ανάλυση και αναλύσεις σεισμικού σχεδιασμού όπου φάνηκαν οι εφελκυστικές κύριες τάσεις στο ναό για σεισμικούς συνδυασμούς και έγινε ταυτόχρονη παρατήρηση ρωγμών σε συγκεκριμένα σημεία. Η διαδικασία αυτή επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της Α' φάσης με την πραγματικότητα.

Β' φάση: Ανάλυση κατασκευής με επεμβάσεις

Κατά τη δεύτερη φάση των υπολογισμών έγιναν αναλύσεις της συμπεριφοράς του μνημείου μετά την ενίσχυσή του με βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας (ομογενοποίηση της τοιχοποιίας, αρμολογήματα) και την τοποθέτηση ελκυστήρων. Από τη σύγκριση των γραφημάτων της ανάλυσης πριν και μετά τις επεμβάσεις προκύπτει ότι οι ελκυστήρες αναλαμβάνουν σημαντικό μέρος των εφελκυστικών τάσεων.

Συμπεράσματα

Με το πέρας των αναλύσεων από το συγγραφέα της έρευνας αυτής, προτάθηκαν οι ακόλουθες επεμβάσεις:

«α) Αντικατάσταση όλων των ελκυστήρων.

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

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

δ) Αντικατάσταση των μεταλλικών ελασμάτων σε σταυροθόλια τα οποία βρίσκονται περί την είσοδο του Ι.Ν. καθώς και στην οροφή του γυναικωνίτη. Τα μεταλλικά ελάσματα έχουν

⁴⁴ Ο.π. σελ.39.

οξειδωθεί και σε μεγάλο βαθμό αποκολληθεί. Προτείνεται να αντικατασταθούν με λωρίδες ινοπλισμένου πολυμερούς σε ανόργανη μήτρα.

ε) Προσωρινή αφαίρεση των κεραμιδιών στους θόλους και ενίσχυση της πάνω παρειάς τους με λωρίδες 2 στρώσεων FRP πλάτους 0,5m ανά μέτρο και επανατοποθέτηση των κεραμιδιών.»⁴⁵

Στις πρώτες τρεις προτεινόμενες μεθόδους ικανοποιείται η αρχή της αναστρεψιμότητας και στις επόμενες δύο η εφαρμογή τους είναι αφανής χωρίς να αλλοιώνει έτσι την αρχιτεκτονική μορφή του ναού. Σε κάθε περίπτωση οι μέθοδοι συντήρησης και ενίσχυσης που προτάθηκαν αποσκοπούν στην επέκταση της μακροβιότητας του ναού.

⁴⁵ Ο.π., σελ. 59-60.

Συμπεράσματα

Η ηπιότητα μεταχείρισης μιας κατασκευής είναι και το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης των ελκυστήρων όμως πολλοί ισχυρίζονται ότι δε «σώζεται» κατά αυτόν τον τρόπο η κατασκευή. Η επέμβαση αυτή ενώ βελτιώνει τη σεισμική απόκριση, δεν μπορεί να αποκλείσει τη δημιουργία μελλοντικών βλαβών σε κρίσιμες για την ευστάθεια της κατασκευής περιοχές. Έτσι οι ελκυστήρες, οι ξυλοδεσιές, οι περισφίξεις και άλλα, συνδυάζονται συνήθως και με άλλα μέτρα επέμβασης όπως ενέματα κλπ, με στόχο τη μείωση των παραμορφώσεων σε περίπτωση μεγάλης σεισμικής δόνησης.

Όπως γίνεται αντιληπτό η σφαιρικότητα για την προσέγγιση της συντήρησης μιας κατασκευής εκφράζεται όχι μόνο στη μελέτη του συστήματός της αλλά και στους τρόπους που θα συμπεριλάβει για την εκτέλεσή της. Στη συντήρηση μιας κατασκευής παίζει ρόλο η ένταση και η έκταση των επεμβάσεων ως συνάρτηση πολλών παραμέτρων, όπως η σεισμικότητα της περιοχής, οι δυνατότητες του δομικού συστήματος, η κατάσταση του ίδιου του κτιρίου, οι χρήσεις τις οποίες θα στεγάσει το κτίριο, η εξυπηρέτηση των αναγκών του κατοίκου, κλπ. Η προσέγγιση και η πραγματοποίηση της όμως ποικίλει. Μια εναλλακτική θα ήταν η αντίστροφη προσέγγιση του θέματος: ο μελετητής θέτει τα κριτήρια για την επιλογή των επεμβάσεων. Ορίζει το είδος (σε συνδυασμό με την έκταση) των «αποδεκτών» επεμβάσεων, ελέγχει τη στάθμη ασφαλείας που μπορεί να επιτευχθεί με «αποδεκτά σχήματα» επεμβάσεων.

Αναπαλαιώνοντας τα παραδοσιακά ή ιστορικά κτίρια, οδηγείται κανείς στο συμπέρασμα ότι το τελικό σχήμα επέμβασης εμπεριέχει πολλαπλούς στόχους. Οι πληροφορίες που πολλαπλασιάζονται, η τεχνογνωσία και ο συνδυασμός τεχνικών είναι αποτέλεσμα αρκετών παραμέτρων που έχουν να κάνουν με το ίδιο το κτίριο και εξωγενείς παράγοντες. Ο πλουραλισμός της κοινωνίας και η ανάγκη για εξέλιξη έδωσε τα εφόδια στους μελετητές για να κατανοήσουν ότι η αναστήλωση και η ανακατασκευή δεν έχει «ενός χρείαν» αλλά πολλών και ποικίλων. Όλα αυτά αξιοποιούνται όταν ερμηνευτούν σωστά με γνώμονα το κοινωνικό συμφέρον και την προοπτική διατηρήσεως για τις επόμενες γενεές. Ένα μνημείο είναι πάνω από όλα ένα ιστορικό τεκμήριο που δε φέρει μόνο την τέχνη και την τεχνολογία της εποχής του αλλά μαρτυρεί την τύχη του με το πέρασμα των αιώνων.

Κατά τον Aldo Rossi το κάθε κτίριο είναι ένας αστικός συντελεστής⁴⁶ που συνδέεται με την πόλη και το αστικό της σύνολο, υλικό και άυλο. Ο όρος του αστικού συντελεστή που αναφέρεται πρώτη φορά από το συγγραφέα, παίρνει την αξία του έργου τέχνης και είναι τμήμα του αστικού συνόλου ως ανθρώπινο χειροτέχνημα, με μικρό μέγεθος και δικιά του αρχιτεκτονική μορφή στο χώρο. Εξετάζοντας την ατομικότητα του αστικού συντελεστή ο συγγραφέας (A. Rossi) ενδιαφέρεται για το πώς εξελίχτηκε στο χώρο και στο χρόνο, την αρχιτεκτονική του, τη μορφή του και τη μνήμη με την οποία είναι φορτισμένος. Η πόλη απαρτίζεται από αστικούς συντελεστές οι οποίοι χρησιμεύουν σαν εργαλεία χτίζοντας τη δομή της.

Ως αστικός συντελεστής λοιπόν, το κάθε μνημείο φέρει το δικό του λόγο ύπαρξης στην αδιάσπαστη αλυσίδα του πολιτισμού. Είναι ο πιο αντικειμενικός μάρτυρας ιστορικών μνημών και για αυτό το λόγο δικαιούται σεβασμό όσον αφορά τη διαδικασία προσέγγισής του για την επιλογή των πιο αμερόληπτων κριτηρίων επέμβασης σε αυτό.

Τελικά, αναζητώντας πάντοτε την ισορροπία, το ίδιο το μνημείο θέτει τα όρια και τη μέθοδο καθώς δεν ταιριάζουν όλα τα υλικά μεταξύ τους ούτε κάθε επέμβαση που είναι εφικτή εξασφαλίζει πάντα τη βελτίωση της ευστάθειας και της αντισεισμικής συμπεριφοράς του, τη βελτίωση της εικόνας και άλλες απαιτήσεις. «Στο Ερέχθειο λ.χ. έγινε φανερό ότι μια ξύλινη στέγη της τουρκοκρατίας είχε προσκολληθεί στην νότια πλευρά του, όταν τα *blocks* του τοίχου, που είχε καταρρεύσει, ξαναπήραν τις αρχικές τους θέσεις.»⁴⁷ Υπό το πρίσμα αυτών, η ανάγκη συντήρησης του μνημείου ως πολιτιστικό αγαθό και η βελτίωση της χρήσης του ως έκθεμα κάνουν την πρόθεση αποκατάστασης –αν μη τι άλλο– ηθική γιατί γίνεται προσιτή στην κοινωνία η ομορφιά και η ιστορικότητά του.

⁴⁶ Rossi A., *Η Αρχιτεκτονική της Πόλης*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1991.

⁴⁷ Ομιλία Μπούρα Χ., Βιβλιοθήκη της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας αρ. 154, Πρακτικά της δεύτερης συνεδρίας των Εταίρων, 27 Ιανουαρίου 1996, Οι ελληνικές αναστηλώσεις, Αθήναι 1996, σελ. 27.

Αντί επιλόγου

Από όλα όσα εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, παρουσιάστηκε η πρακτική της ήπιας επέμβασης μέσω ελκυστήρων σε τοιχοποιία, η μέθοδος περιγράφηκε με τη βοήθεια φωτογραφιών καθώς και οι επιπρόσθετες εργασίες επεμβάσεων. Με τη βοήθεια παραδειγμάτων έγινε κατανοητή η μέθοδος των ελκυστήρων ως ένα μέτρο συντήρησης αρκετά παλιό και αποδοτικό μέχρι και σήμερα. Με την τοπική παράδοση, όπως αυτή διαμορφώθηκε από τις ξενόφερτες επιδράσεις ανά τους αιώνες, συνδέονται κυρίως κατασκευαστικά στοιχεία όπως η χρήση γωνιόλιθων, η χρήση των μεταλλικών κλειδιών αγκύρωσης των ελκυστήρων και ξυλοδεσιών, η επεξεργασία των λίθων και η ίδια η κατασκευαστική των τοίχων των ναών. Η βυζαντινή παράδοση εμπλουτίστηκε από τις νέες τεχνικές, που εισήγαγαν οι κατακτητές και κυρίως σχετίζονταν με την τεχνογνωσία σε κατασκευαστικά ζητήματα, τα οποία άλλοτε εφαρμόστηκαν με κάποιες αλλαγές και άλλοτε ενσωματώθηκαν πλήρως στον ελλαδικό χώρο. Φυσικά στις κατασκευές συνέβαλλε και η χρήση νέων υλικών και μεθόδων που διατηρήθηκαν μέχρι σήμερα.

Η λήψη αποφάσεων σχετικά με τις επεμβάσεις συντήρησης, λοιπόν, θα πρέπει να βασίζεται στη μελέτη συγκεκριμένων προδιαγραφών που συμπληρώνουν τα κριτήρια και τη μεθοδολογία ώστε να εξασφαλιστεί η αειφορία της κατασκευής. Τα διατηρητέα κτίρια στο σύνολό τους έχουν εξ αρχής οικολογικό σχεδιασμό καθώς προέρχονται από φυσικούς πόρους, δεν περιλαμβάνουν σύνθετα υλικά, έχουν διάρκεια ζωής, έχουν χαμηλές εισροές ενέργειας και τα χρησιμοποιούμενα υλικά που ενδεχομένως να χρειάζονται αλλαγή μπορούν να βρεθούν άμεσα και κοντά στον τόπο κατασκευής, μειώνοντας την ενσωματωμένη ενέργεια για τη μεταφορά.

Τα διατηρητέα κτίρια χρίζουν συντήρησης και επισκευής γιατί εκτός των άλλων, διαθέτουν αρκετά στοιχεία βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής που με μια σωστή διαχείριση και επέμβαση μπορούν να αναβαθμιστούν προσφέροντας μόνο οφέλη στους χρήστες τους. Με διεξοδική μελέτη επιλέγεται η κατάλληλη λύση καθώς θα πρέπει να αποφεύγεται η βίαιη ανατροπή των ισορροπιών υγρασίας, να εναρμονίζεται η λύση με τις ιδιαιτερότητες της κατασκευής και των ιδιαίτερων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών της. Ωστόσο η επισκευή διατηρητέων κτιρίων και κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία έχει το μεγαλύτερο κόστος (σε σχέση με κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα και μεικτές κατασκευές) για όλα σχεδόν τα είδη επισκευής φερόντων δομικών στοιχείων. Για αυτόν το λόγο κρίνεται κρίσιμη απαίτηση να μειωθούν τα κόστη αποκατάστασης και να αξιοποιηθούν υλικά και τεχνικές που να είναι συμβατές με την κατασκευή με μια πιο «οικολογική» ματιά.

Σε κάθε περίπτωση ο συνδυασμός των μεθόδων που ακολουθείται πρέπει να αξιολογηθεί υπό το πρίσμα τεχνοοικονομικών, περιβαλλοντικών και αισθητικών παραγόντων λόγω του ότι κάθε τεχνική έχει κόστος το οποίο καθορίζεται από το πεδίο και τη δυσκολία εφαρμογής της, από το κόστος των υλικών και από το κόστος εργασίας και του εξοπλισμού που απαιτείται. Εν προκειμένω η προσθήκη ελκυστήρων και τενόντων καθώς και άλλες γνωστές τεχνικές ενίσχυσης όπως οι ενέσεις σε ρωγμές, η κατασκευή μανδύα, η προσθήκη ριζοπλισμών, η ενίσχυση εδάφους και η αβαθή ή βαθιά υποθεμελίωση είναι τεχνικές που απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό που έχει ως αποτέλεσμα και το ανάλογο υψηλό κόστος. Επίσης δεν πρέπει να παραλειφθεί ότι στην προσπάθεια να γίνει η βέλτιστη επέμβαση στο φέροντα οργανισμό, πρέπει να συνυπολογιστούν και συνοδευτικές εργασίες σε στοιχεία του μη φέροντος οργανισμού...

Η εφαρμογή της οικονομικο-περιβαλλοντικής προσέγγισης που εν τέλει προτείνεται είναι δύσκολη πλην όμως αναγκαία στην επιλογή της επωφελούς μεθόδου αποκατάστασης. Το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα είναι μεγάλο στον ελλαδικό χώρο και απαιτεί την ανάλογη προσοχή. Η επικοινωνία, η υποστήριξη, η ενημέρωση, η τεχνογνωσία και η χρηματοδότηση είναι οι βασικότερες ανάγκες για την ιδιαιτερότητα αυτών των κατασκευών.

Παράρτημα

Στο παράρτημα που ακολουθεί κατηγοριοποιείται ένα μεγάλο μέρος του φωτογραφικού υλικού που έχει συγκεντρωθεί στο διάστημα εκπόνησης της παρούσας εργασίας, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου των ελκυστήρων.

ΚΤΙΡΙΟ	ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ		ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
	ΞΥΛΙΝΟΙ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	ΣΦΥΡΗΛΑΤΟΙ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	
Μονή Οσίου Λουκά	✓	✓		✓	✓	Χρήση ελκυστήρων για ενισχύσεις ανοιγμάτων και αποτροπή αποκόλλησης διασταυρούμενων τοίχων.
Μονή Δαφνίου		✓	✓	✓	✓	Υπό ανακατασκευή-αναστήλωση οικοδομικού συγκροτήματος Μονής. Χρήση ελκυστήρων για ενισχύσεις ανοιγμάτων.
Ιερά Μονή Παναγίας Ιλαριώτισσας (Ποταμός, Κύθηρα)		✓		✓		Ενίσχυση θολοδομίας με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.
Μεσαιωνικός Πύργος (Πολιτικά, Ευβοία)		✓		✓		Ενίσχυση-περίδεση με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.
Ναός της Μεταμόρφωσης του Σωτήρος (Νιόκαστρο,	✓	✓		✓		Ενίσχυση με εισαγωγή ράβδων-

Πύλος)						ελκυστήρων.
Κοίμηση Θεοτόκου Χρυσοσπηλαιωτίσσης (Αθήνα)		✓		✓		Ενίσχυση με εισαγωγή ράβδων- ελκυστήρων.
Παναγία η Μυρτιδιώτισσα (Κύθηρα)		✓	✓	✓	✓	Ενίσχυση θολοδομίας με εισαγωγή ράβδων- ελκυστήρων.
Ρουστέμ Πασά Καραβάν Σεράι (Αδριανούπολη, Τουρκία)			✓		✓	Ενίσχυση αψίδων προστώου.
Τάφοι των ακτών Λυκίας (Λυκία, Μ. Ασία)		✓			✓	Ενίσχυση αψίδων.
Πέτρινη στοά- διάταξη γεφύρωσης παρόδιας οδού (Marche en Famenne, Βέλγιο)			✓	✓		Ενίσχυση αψίδας.
Ιερός Ναός Αγ. Παρασκευής (Τσαγκαράδα, Πηλίο)			✓	✓		Ενίσχυση με εισαγωγή ράβδων- ελκυστήρων.
Λιθόκτιστη σκεπαστή βρύση στον Ιερό Ναό Αγ. Παρασκευής (Τσαγκαράδα, Πηλίο)			✓		✓	Ενίσχυση τόξων με εισαγωγή ράβδων- ελκυστήρων.

Ιερός Ναός Αγ. Αποστόλων (Λεοντάρι, Αρκαδία)	✓	✓		✓	✓	Ενίσχυση θολοδομίας με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.
Ιερός Ναός Αγ. Γεωργίου (Άνω Σύρος, Σύρος)			✓	✓		Ενίσχυση αψίδων και τόξων με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων
Ιερός Ναός Παναγιάς Παντάνασσας (Μοναστηράκι, Αθήνα)		✓		✓	✓	Ενίσχυση-περίδεση κελυφοειδούς κατασκευής (χωρίς διαφραγματική λειτουργία) με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.
Φετιχιέ Τζαμί (Μοναστηράκι, Αθήνα)	✓	✓		✓	✓	Ενίσχυση με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.
Τζαμί Τζισταράκη (Μοναστηράκι, Αθήνα)			✓	✓	✓	Ενίσχυση με εισαγωγή ράβδων-ελκυστήρων.

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Μονή Οσίου Λουκά



Φωτ. 1_Εξωτερική περίδεση καμπαναριού_πηγή: προσωπικό αρχείο





Φωτ. 2_Λεπτομέρεια_πηγή: προσωπικό αρχείο



Φωτ. 3_Εσωτερική ενίσχυση_πηγή: προσωπικό αρχείο



Φωτ. 4_Περίδεση τρούλου_πηγή: προσωπικό αρχείο

ΚΤΙΡΙΟ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ
Μονή Δαφνίου	 <p data-bbox="913 858 1626 887">Φωτ. 5_Ενίσχυση εσωτερικού κελιών Μονής_πηγή: προσωπικό αρχείο</p>
	 <p data-bbox="954 1326 1585 1355">Φωτ. 6_Περίσφιξη φέροντος μέλους_πηγή: προσωπικό αρχείο</p>

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ιερά Μονή Παναγίας
Ιλαριώτισσας
(Ποταμός, Κύθηρα)

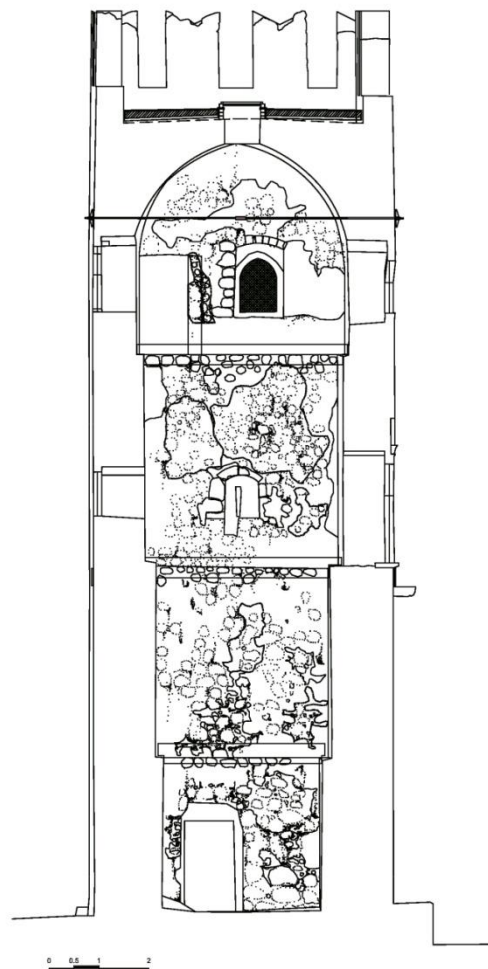


Φωτ. 7_Ενίσχυση εσωτερικού_πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Μεσαιωνικός Πύργος
(Πολιτικά, Ευβοία)



Φωτ. 8_Ενίσχυση εσωτερικού

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ναός της
Μεταμόρφωσης του
Σωτήρος (Νιόκαστρο,
Πύλος)



Φωτ. 9_Ενίσχυση εσωτερικού

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Κοίμηση Θεοτόκου
Χρυσοσπηλαιωτίσης
(Αθήνα)



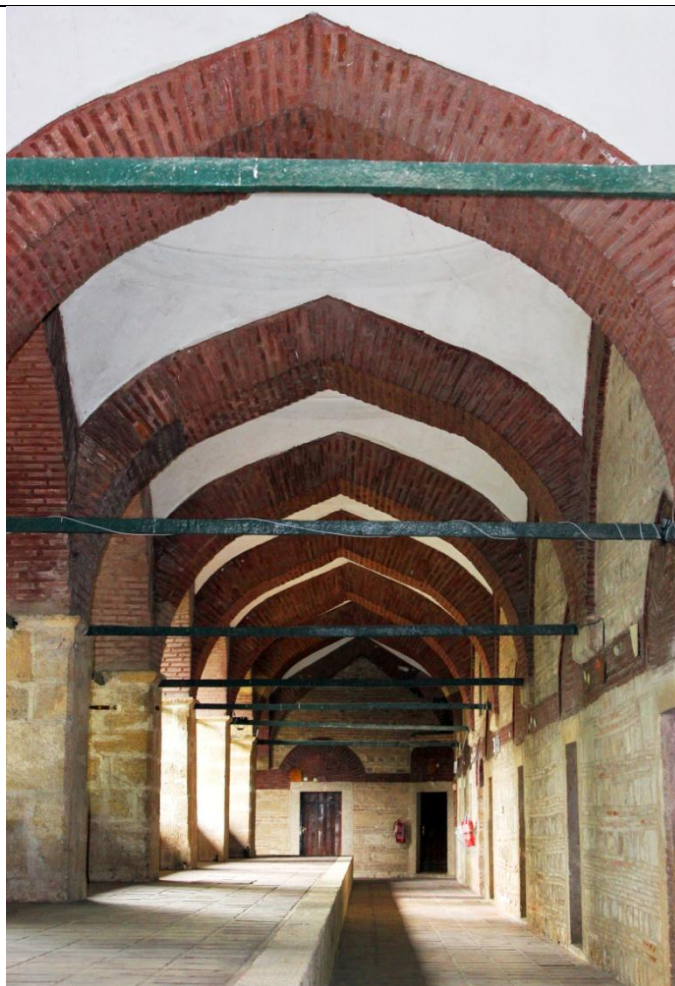
Φωτ. 10_Πλάκες αγκύρωσης ελκυστήρων_πηγή: προσωπικό αρχείο

ΚΤΙΡΙΟ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	
Παναγία η Μυρτιδιώτισσα (Κύθηρα)		 <p data-bbox="949 756 1585 788">Φωτ. 11_Ενίσχυση θολοδομίας_πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη</p>
		 <p data-bbox="918 1351 1621 1383">Φωτ. 12_Περίσφιξη φέροντος μέλους_πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη</p>


ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ρουστέμ Πασά
Καραβάν Σεράι
(Αδριανούπολη,
Τουρκία)



Φωτ. 13_Ενίσχυση αψίδων_πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη

ΚΤΙΡΙΟ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ
Τάφοι των ακτών Λυκίας (Λυκία, Μ. Ασία)	 <p data-bbox="969 1230 1563 1257">Φωτ. 14_Ενίσχυση αψίδων_πηγή: φωτ. αρχείο Χ. Γιαρλέλη</p>

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Πέτρινη στοά-διάταξη
γεφύρωσης παρόδιας
οδού (Marche en
Famenne, Βέλγιο)



Φωτ. 15_Ενίσχυση αψίδας_πηγή: προσωπικό αρχείο

ΚΤΙΡΙΟ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	
<p>Ιερός Ναός Αγ. Παρασκευής (Τσαγκαράδα, Πηλίο)</p>		 <p>Φωτ. 16_ Πύργοι αγκύρωσης_πηγή: προσωπικό αρχείο</p>
<p>Λιθόκτιστη σκεπαστή βρύση στον Ιερό Ναό Αγ. Παρασκευής (Τσαγκαράδα, Πηλίο)</p>		 <p>Φωτ. 17_ Δίκτυο ενίσχυσης_πηγή: προσωπικό αρχείο</p>

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ιερός Ναός Αγ.
Αποστόλων
(Λεοντάρι, Αρκαδία)



Φωτ. 18_Ενίσχυση τόξων

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ιερός Ναός Αγ.
Γεωργίου (Άνω Σύρος,
Σύρος)



Φωτ. 19_Ενίσχυση αψίδας_πηγή: προσωπικό αρχείο

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Ιερός Ναός Παναγίας
Παντάνασσας
(Μοναστηράκι,
Αθήνα)



Φωτ. 20_Περίσφιξη κτιρίου_πηγή: Κουφόπουλος Π., Ημερίδα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΑΜ, Οκτώβριος 2014, σελ. 17.

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Φετιχιέ Τζαμί
(Μοναστηράκι,
Αθήνα)



Φωτ. 21_Σύστημα ενίσχυσης_πηγή: προσωπικό αρχείο



Φωτ. 22_Λεπτομέρεια_πηγή: προσωπικό αρχείο

ΚΤΙΡΙΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Τζαμί Τζισταράκη
(Μοναστηράκι,
Αθήνα)



Φωτ. 23_Σύστημα ενίσχυσης_πηγή: προσωπικό αρχείο

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- Καραντώνη Φ., «Κατασκευές από τοιχοποιία Σχεδιασμός και Επισκευές», εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2η έκδοση, Αθήνα 2012.
- Μπούρας Χ., «Οι ελληνικές αναστηλώσεις» Απόσπασμα Ομιλίας από τα «Πρακτικά της δεύτερης συνεδρίας των Εταίρων», εκδόσεις Βιβλιοθήκη της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας αρ. 154, 27 Ιανουαρίου 1996, Αθήνα 1996.
- Ροβήλος Αθ., «Μετασεισμικός έλεγχος σε κτίρια – Σεισμική παθολογία κτιρίων – Οδηγίες και μέθοδοι επισκευών κτιρίων με βλάβες από σεισμό», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001.
- Σπυράκος Κ., Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά φορτία, εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα 2004.
- Τάσσιος Θ.Π., «Η Μηχανική της τοιχοποιίας», ΕΜΠ Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
- Rossi A., *Η Αρχιτεκτονική της Πόλης*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1991.
- Beckmann P, «*Structural Aspects of Building Conservation*», Publisher: Mcgraw-Hill International Series in Civil Engineering.

Επιστημονικά Συνέδρια

- Κουφόπουλος Π., Ημερίδα με θέμα «Εμφανείς και Αφανείς Ενισχύσεις των Μνημείων», ΕΤΕΠΑΜ, Οκτώβριος 2014.
- Μιλτιάδου-Fezans A., ομιλία με θέμα «Επεμβάσεις βελτίωσης της συμπεριφοράς κτιρίων από τοιχοποιία» στην Ημερίδα «Αποτίμηση & Επεμβάσεις σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα & τοιχοποιίες», ΤΕΕ Τμήμα Πελοποννήσου, Τρίπολη 2016.
- Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού χωρίς και με Επεμβάσεις, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου 2008, άρθρο 192.

- Ψυχάρης Ι., Μουζάκης Χ., Παυλοπούλου Ε., Μιλτιάδου Α., Ταφλάμπας Ι, «Ανάλυση της Σεισμικής Απόκρισης Βυζαντινού Ναού Χωρίς και Με Επεμβάσεις», 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας (ΕΜΠ – Εργ. Εδαφομηχανικής), ΤΕΕ – ΕΤΑΜ, 5-7 Νοεμβρίου 2008.
- Γιαρλέλης Χ., Κρεμέζης Π., Σπανός Χ., «Αποκατάσταση μνημείου Χαμάμ στο Κάστρο Ιωαννίνων», 2^ο Εθνικό Συνεδρίο με θέμα τις «Ήπιες Επεμβάσεις για την προστασία των Ιστορικών Κατασκευών», ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, 2004.

Περιοδικά

- Μητούλα Ρ., «Η προστασία της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς», Περιοδικό Αρχαιολογία & Τέχνες, τεύχος 72.

Φοιτητικά Συνέδρια

- Σπυράκος Κ., καθηγητής ΕΜΠ, ομιλία με θέμα «Δομική Αποκατάσταση και Στατική Στερέωση Ιστορικού Ιερού Ναού», 21^ο Φοιτητικό Συνέδριο του Τμήματος Πολ. Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών με τίτλο «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015», Πάτρα.
- Χασάπης Ε., Χριστάκη Α., «Βλάβες από σεισμό και τρόποι επέμβασης σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα», 6^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών 2000», Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Φεβρουάριος 2000, Τόμος Ι, Εργασία Νο 2.

Διπλωματικές Εργασίες

- Γαλανίδου Β., Διπλωματική Εργασία: «Μελέτη της Συμπεριφοράς του Ανοξείδωτου Χάλυβα σε Κονιάματα και Ενέματα βασισμένα στην Άσβεστο», ΑΠΘ-ΔΠΜΣ Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Αρχιτεκτονικών Μνημείων, Νοέμβριος 2014.
- Ηλιόπουλος Δ. & Πασιοπούλου Μ., Πτυχιακή εργασία «Μανιάτικα πυργόσπιτα: Προβλήματα αναστήλωσης και διαχείρισης της επανάχρησής τους», ΤΕΙ Πειραιά-Τμήμα Πολιτικών δομικών έργων.

- Μισαηλίδου Α., διδακτορική διατριβή «Ο ναός των Αγίων Αποστόλων στο Πυργί της Χίου», ΑΠΘ Τμήμα Ιστορίας & Αρχαιολογίας Τομέας Βυζαντινής Αρχαιολογίας.
- Νικοδήμου Μ., Πτυχιακή εργασία με θέμα «Αναπαλαίωση διατηρητέων κτιρίων», Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου-Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας, 2016.
- Πολυχρονίου Κ. Ε., «Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία και προτεινόμενες ενισχύσεις με ανάπτυξη της μεθοδολογίας των καμπύλων ρευστότητας», μεταπτυχιακή εργασία ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός & Ανάλυση Κατασκευών-ΕΜΠ.

Διαδίκτυο

- <<http://boeotia.ehw.gr/forms/fLemmaBodyExtended.aspx?lemmaID=12862>>, τελευταία επίσκεψη 8/1/2017.
- <<https://5a.arch.ntua.gr/project/1192/4199>>, τελευταία επίσκεψη 15/1/2017.
- <<https://5a.arch.ntua.gr/project/982/1526>>, τελευταία επίσκεψη 15/1/2017.
- <<https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/FURN119/4%CE%BF%20%CE%9E%CF%8D%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B5%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%AD%CE%B3%CE%B5%CF%82.pdf>>, σελ. 20, τελευταία επίσκεψη 16/1/2017.
- <<http://www.ypeka.gr/?tabid=382>>, τελευταία επίσκεψη 29/1/2017.
- <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/xil_1_5t.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/2/2017.
- <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me1_2t.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/2/2017.
- <http://www.oasp.gr/userfiles/file/%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%A6%CE%95%CE%A1%CE%95%CE%99%CE%91%20%CE%9A%CE%95%CE%9D%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%CE%9C%CE%91%CE%9A%CE%95%CE%94%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%91%CE%A3/PROSEISMIKOS_LEKIDIS_PROSTASIA-1.pdf>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.

- <<https://www.mpakatsias.gr/downloads/special-subjects/sistaseis.pdf>>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.
- <http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1430/kma_m1430_dimosthenous.pdf>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.
- <http://library.tee.gr/digital/m2368/m2368_contents.htm>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.
- <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2004-2006/2ο%20ΕΘΝΙΚΟ%20ΣΥΝΕΔΡΙΟ/Tab5192967>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.
- <http://odysseus.culture.gr/h/3/gh352.jsp?obj_id=7642>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.
- <http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=803>, τελευταία επίσκεψη 28/3/2017.