

ΕΠΙΣΚΕΥΗ-ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ- ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Κ. ΣΠΥΡΑΚΟΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Διευθυντής Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας



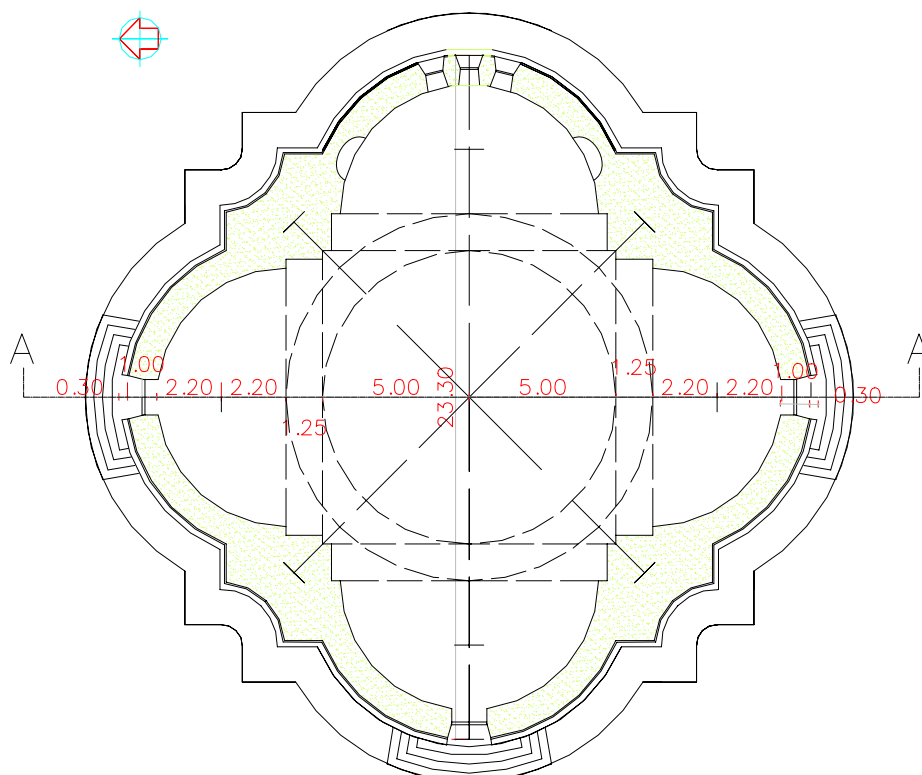
Φωτογραφία 1: Εξωτερική άποψη ιερού ναού

Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε η αποτίμηση της στατικής επάρκειας του φέροντος οργανισμού του Ιερού Ναού Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης, στη Γλυφάδα, καθώς και η ενίσχυσή του για την ανάληψη φορτίων, όπως ορίζονται από τους ισχύοντες κανονισμούς, με απόλυτη διατήρηση της μορφής και των διαστάσεων των στοιχείων του φέροντος οργανισμού. Με την παρούσα εφαρμογή αναδεικνύεται η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών εντοπισμού των βλαβών στο φέροντα οργανισμό κατασκευών, καθώς και ενίσχυσής τους.

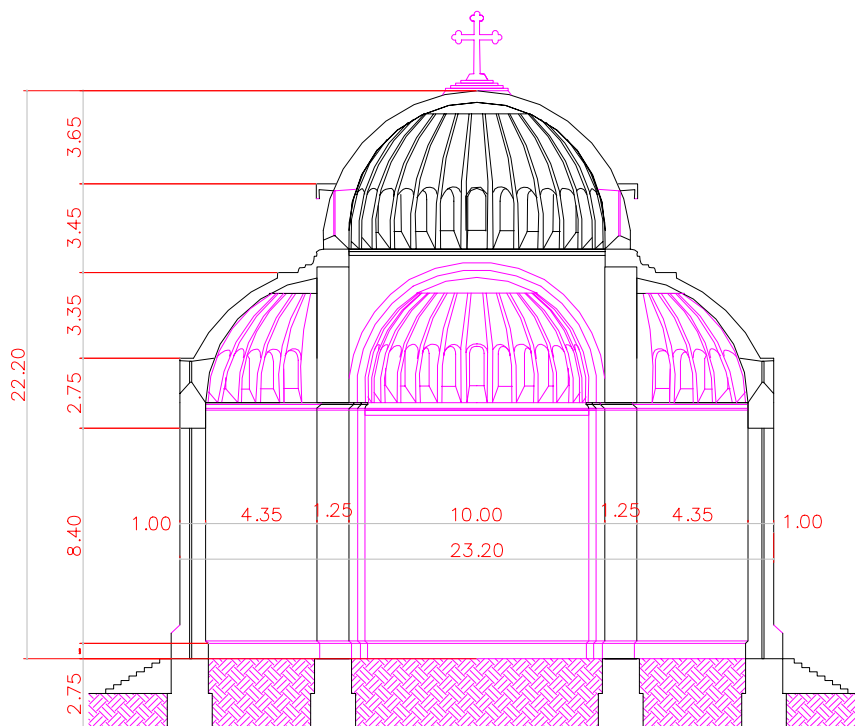
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ

Ο Ιερός Ναός Αγίων Κωνσταντίνου και Ελένης βρίσκεται στην κεντρική πλατεία του Δήμου Γλυφάδας (Φωτ.1). Η μελέτη για την κατασκευή του εκπονήθηκε τον Αύγουστο του 1934 από τον αρχιτέκτονα μηχανικό Γ. Δραγαζίκη. Ο ιερός ναός ξεχωρίζει για τον αρχιτεκτονικό του σχεδιασμό, που μαζί με τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου συνθέτουν ένα σύνολο υψηλής αισθητικής αξίας.

Πρόκειται για ένα ναό σταυροειδή, συμμετρικό και στις δύο διευθύνσεις, με τρούλο. Αποτελείται από τέσσερα περιμετρικά ημιθόλια και τρούλο που δεσπόζει στο κέντρο του ιερού ναού. Η περίμετρος του ναού αποτελείται από τρίστρωτη φέρουσα τοιχοποιία, ενώ τα τέσσερα περιμετρικά ημιθόλια, ο κεντρικός τρούλος, καθώς και τα τέσσερα τόξα στήριξης είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η κάτοψη και μία τομή του ναού παρουσιάζονται στα Σχέδια 1 και 2.



Σχέδιο 1. Κάτοψη Ιερού Ναού



Σχέδιο 2. Τομή Α-Α Ιερού Ναού

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Σε μεγάλη επιφάνεια, τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του ιερού ναού, εμφανίζονται απολεπίσεις του σκυροδέματος (Φωτ. 2 και 3).



Φωτογραφία 2



Φωτογραφία 3

Στο εξωτερικό του ναού η απολέπιση είναι ελαφρά, καθώς εμφανίζεται κυρίως ως απομάκρυνση λεπτών επιφανειακών στρώσεων σκυροδέματος. Αντίθετα, στο εσωτερικό η φθορά στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι ιδιαίτερα έντονη. Τα σοβαρότερα προβλήματα απολέπισης εντοπίστηκαν στον κεντρικό τρούλο και στις ραβδώσεις του. Σε αυτά τα στοιχεία παρατηρήθηκαν και αστοχίες εκρηκτικής απολέπισης που είναι δυνατόν να εξελιχθούν και να οδηγήσουν σε σοβαρότερες βλάβες, τόσο του σκυροδέματος όσο και του οπλισμού. Επισημαίνεται ότι η εκρηκτική απολέπιση είναι η βλάβη με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στον ιερό ναό.

Σε μεγάλη έκταση εμφανίζονται αποφλοιώσεις του σκυροδέματος, δηλαδή απόσπαση επιφανειακών τεμαχίων σκυροδέματος, σε βάθος ίσο περίπου με την επικάλυψη του οπλισμού. Αυτή η μορφή βλάβης, ιδιαίτερα έντονη στο εσωτερικό του κεντρικού τρούλου του ιερού ναού (φωτ. 4, 5, 6), καθώς και σε ορισμένα σημεία στο εξωτερικό του (φωτ. 7, 8), αποτελεί τη δεύτερη σε συχνότητα εμφάνισης βλάβη.



Φωτογραφία 4



Φωτογραφία 5



Φωτογραφία 6



Φωτογραφία 7



Φωτογραφία 8

Μια άλλη μορφή βλάβης, που εμφανίζεται ιδιαίτερα στο εσωτερικό του ιερού ναού, είναι η άτακτη ρηγμάτωση του σκυροδέματος, που χαρακτηρίζεται από συγκέντρωση λεπτών επιφανειακών ρωγμών μικρού βάθους στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται ιδιαίτερα έντονες σε περιοχές του δακτυλίου του τρούλου και μπορεί να εξελιχθούν σε εκτεταμένες απολεπίσεις και αποφλοιώσεις του σκυροδέματος. Πέραν όμως της άτακτης ρηγμάτωσης, παρατηρήθηκαν και διαμήκεις ρωγμές κατά μήκος του κεντρικού δακτυλίου έδρασης του κεντρικού τρούλου. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι ρωγμές αυτές είναι ιδιαίτερα έντονες στη βάση του κεντρικού δακτυλίου και εκτείνονται σχεδόν σε όλο το μήκος του. Επίσης, παρατηρήθηκαν εγκάρσιες ρωγμές σε τόξα έδρασης του κεντρικού τρούλου.

Στη μεγαλύτερη εξωτερική επιφάνεια του τρούλου και των ημιθολίων, καθώς και στα μικρά κωδωνοστάσια παρατηρήθηκαν έντονες χρωματικές αλλοιώσεις. Η διείσδυση του νερού στο σκυρόδεμα προέρχεται από τη βροχή, κατά κύριο λόγο όμως οφείλεται στη γειτνίαση του ναού με τη θάλασσα.

Σε σημεία έντονης αποφλοιώσης, απόσπασης τεμαχίου και διαμήκους ρηγμάτωσης του σκυροδέματος παρατηρήθηκε απογύμνωση των οπλισμών. Οι οπλισμοί αυτοί έχουν υποστεί σημαντική οξείδωση, ιδιαίτερα στις δοκούς, με αποτέλεσμα τη σημαντική σε πολλές περιπτώσεις απομείωση της διατομής τους (φωτ. 4, 6, 7, 8).

Η διάβρωση του χάλυβα είναι έντονη και στο εσωτερικό των στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, σε θέσεις όπου δεν αποκαλύπτεται ο οπλισμός. Γίνεται, επίσης, ορατή και από την εμφάνιση κηλίδων σκουριάς στο σκυρόδεμα, ιδίως στις παρειές και στον πυθμένα στοιχείων, όπως οι δοκοί στήριξης των τρούλων (βλ. φωτ. 3).

Τέλος, είναι αναγκαίο να τονιστεί ότι κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης του οπλισμού του ιερού ναού διαπιστώθηκαν κακοτεχνίες, όπως ελλιπής οπλισμός και ασύνδετοι συνδετήρες (φωτ. 11 και 12), διαδικασία κατά την οποία έγινε χρήση μαγνητικής μεθόδου, όπως αναπτύσσεται στο Κεφ. 2 της αναφοράς (1)



Φωτογραφία 11

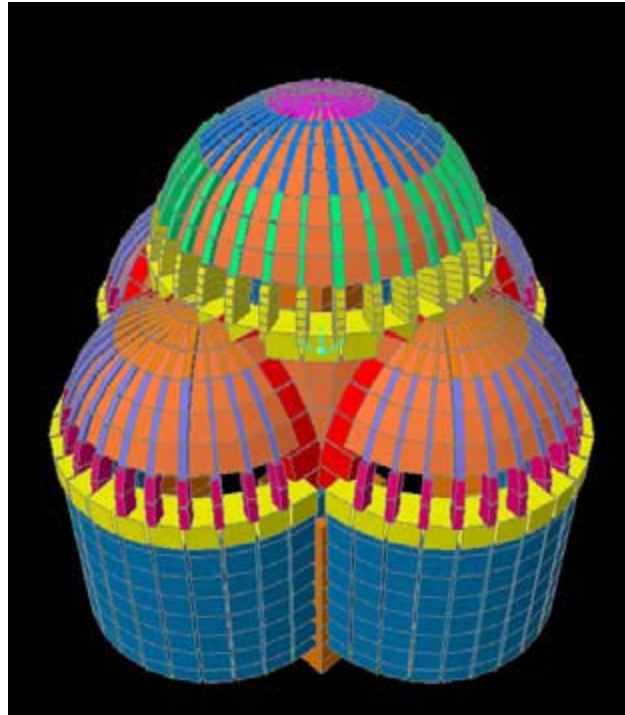


Φωτογραφία 12

Έλεγχος της αντοχής του σκυροδέματος έγινε με πυρηνοληψία. Από τις μετρήσεις που έγιναν με τη χρήση γεωραντάρ στη φέρουσα τοιχοποιία του ιερού ναού, διαπιστώθηκε η απουσία κενών στην τοιχοποιία, καθώς και μέχρι ποιού ύψους εντός της τοιχοποιίας υπήρχε υγρασία. Παράλληλα, έγιναν αποκαλύψεις οπλισμών για να διαπιστωθούν οι διαστάσεις και η απόσταση των συνδετήρων. Για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, στην οποία σημειωτέον δεν διαπιστώθηκαν βλάβες, έγινε χρήση διατάξεων του Ευρωκώδικα.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

Η ανάλυση έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, όπως αναπτύσσεται στη βιβλιογραφία, όπως (Αναφορές 2,3). Υπολογίστηκαν τάσεις και μετακινήσεις για συνδυασμούς φορτίσεων με σεισμική δράση κατά ΕΑΚ 2000 και τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959.



Σχέδιο 3

Στοιχεία δοκού χρησιμοποιήθηκαν για τις νευρώσεις, το δακτύλιο έδρασης του κεντρικού τρούλου, το δακτύλιο έδρασης των περιμετρικών ημιθολίων, τα τόξα στήριξης και τις κολώνες. Στοιχεία κελύφους χρησιμοποιήθηκαν για τη φέρουσα τοιχοποιία και τα κελύφη των τρούλων και των ημιθολίων (Σχεδ. 3).

Η επίλυση έγινε για συνδυασμούς με σεισμικά φορτία που προσδιορίζονται από τον Ε.Α.Κ.2000 και τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959, αντίστοιχα. Τα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από τον Ε.Α.Κ.2000, τόσο για στοιχεία δοκού όσο και στοιχεία κελύφους είναι σημαντικά δυσμενέστερα από τα αντίστοιχα του αντισεισμικού κανονισμού του 1959. Σε ποσοστιαία μεταβολή τα εντατικά μεγέθη που προέκυψαν από τον Ε.Α.Κ.2000 ήταν περίπου 35% δυσμενέστερα κατά μέσο όρο.

Προκειμένου να εξακριβωθεί η ανάγκη ενισχύσεων του φέροντος οργανισμού, ελέγχθηκε η επάρκεια του ιερού ναού έναντι στατικών και σεισμικών φορτίων, ώστε ο φορέας να ανταποκρίνεται στο σύνολό του στις απαιτήσεις των ισχυόντων κανονισμών. Για τα στοιχεία του φορέα, όπου διαπιστώνεται ανεπάρκεια προτάθηκε επισκευή και ενίσχυση με χρήση ρητινοκονιαμάτων και σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή με σκοπό την αύξηση της αντοχής τους, αφού προηγουμένως έγιναν κατάλληλη καθαίρεση σκυροδέματος και προετοιμασία, τόσο στην εσωτερική όσο και εξωτερική επιφάνεια του

τρούλου και των ημιθολίων.

Οι μέγιστες εφελκυστικές τάσεις στον κεντρικό τρούλο, όπως αναμενόταν, εμφανίζονται περιμετρικά σε σημεία με γωνία μεγαλύτερη από $51,0^\circ$. Στο προσομοίωμα του ιερού ναού με πεπερασμένα στοιχεία, οι κύριες τάσεις έχουν διαφορετική μορφή από τη θεωρητικά αναμενόμενη. Αυτό συμβαίνει γιατί ο κεντρικός τρούλος του ιερού ναού δεν είναι πακτωμένος στη βάση του, αλλά στηρίζεται πάνω στον κεντρικό δακτύλιο και στα τόξα έδρασης, τα διάφορα σημεία των οποίων παρουσιάζουν διαφορετικές μετακινήσεις. Οι μέγιστες καμπτικές ροπές και οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις για τον τρούλο και τα περιμετρικά ημιθόλια εμφανίζονται στη βάση των νευρώσεων. Καθ' ύψος ελαττώνονται σημαντικά και σχεδόν μηδενίζονται στην κορυφή του τρούλου.

Στα τόξα έδρασης του κεντρικού τρούλου οι μέγιστες καμπτικές ροπές και οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις εμφανίζονται στη βάση τους. Στο δακτύλιο έδρασης του τρούλου, οι μέγιστες καμπτικές ροπές εμφανίζονται κοντά στην έδραση του δακτυλίου επάνω στα τόξα και οι ελάχιστες στα σημεία επαφής του δακτυλίου με τα σφαιρικά τρίγωνα. Επίσης, οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις εμφανίζονται συμμετρικά, περιμετρικά του δακτυλίου. Στο ύψος του μέσου των σφαιρικών τριγώνων, οι τέμνουσες δυνάμεις στο δακτύλιο σχεδόν μηδενίζονται.



Φωτογραφία 13

Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων και με δεδομένο τον περιορισμό της διατήρησης των γεωμετρικών διαστάσεων όλων των στοιχείων του φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα, προτάθηκαν επεμβάσεις με χρήση ρητινοκονιαμάτων και σύνθετων υλικών. Συγκεκριμένα, με χρήση ελασμάτων από ίνες άνθρακα ενισχύθηκαν: i) Η εσωτερική και η εξωτερική παρειά των νευρώσεων του κεντρικού τρούλου. (φωτ. 13), ii) η εσωτερική και η εξωτερική παρειά των νευρώσεων των περιμετρικών ημιθολίων, iii) η κάτω παρειά των τόξων στήριξης του κεντρικού τρούλου, iv) η εσωτερική και η εξωτερική παρειά του δακτυλίου στη βάση του τρούλου και v) η εσωτερική επιφάνεια του κελύφους του κεντρικού τρούλου στο ύψος των παραθύρων.

Επιπλέον των παραπάνω επισκευών και ενισχύσεων, με τις οποίες αναβαθμίστηκε η φέρουσα ικανότητα του φορέα, έγιναν και εκτεταμένες εργασίες υγρομόνωσης στον τρούλο και στην τοιχοποιία. Δευτερευόντως αναφέρεται ότι ενισχύθηκε με ανθρακοελάσματα και μέρος του δαπέδου του ναού, το οποίο αποτελεί την οροφή του υπογείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Κ. Σπυράκος**, *Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία*, Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα, 2004.
2. **C. Spyrakos**, *Finite Element Modeling in Engineering Practice*, Algor Publication Division, Pittsburgh, USA, 1995.
3. **Σπυράκος Κ., Τουλιάτος Π., Πατσιλίδας Δ., Πελέκης Γ., Χαμπέσης Α. και Μανιατάκης Χ.Α.**, [Ανάλυση Κτιρίου από Φέρουσα Τοιχοποιία για Σεισμό Εγγύς-Πεδίου και Προτάσεις Επεμβάσεων](#), Τεχνικά Χρονικά (Επιστημονική Έκδοση Τ.Ε.Ε. τεύχος 3), (2005).