

Αποτίμηση και αποκατάσταση/ενίσχυση του Ι. Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου, Αμπελώνας Λαρίσης

Νικολαΐδης Δ.¹, Ταστάνη Σ.²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δύο σεισμικές δονήσεις μεγέθους $M_w > 6R$ με $PGA \sim 0,1g$ τον Μάρτιο 2021 στο Ν. Λαρίσης έπληξαν πέντε ιστορικούς ναούς φέρουσας τοιχοποιίας του 19ου αι., μεταξύ των οποίων ο Ι. Ναός Κοιμήσεως της Θεοτόκου στον Αμπελώνα, που αποτελεί το ερευνητικό αντικείμενο της εργασίας. Πρόκειται για αρχιτεκτονικό τύπο σταυροειδή, εγγεγραμμένο με τρούλο· περιλαμβάνει τρία κλίτη, με το ευρύτερο κεντρικό να φέρει τον τρούλο και να διαχωρίζεται από τα άλλα με κιονοστοιχίες έξι κιόνων, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και εγκαρσίως με την εξωτερική τοιχοποιία με τόξα. Η προκληθείσα ρηγματώση σημειώθηκε i) στα εσωτερικά εγκάρσια τόξα και πλησίον των θέσεων έδρασης, ii) στο ανώτερο σημείο των τεσσάρων τόξων που φέρουν τον τρούλο και στους υπέρθυρους δίσκους υπό τον τρούλο και iii) στα εξέχοντα τμήματα της κάτοψης με την μορφή κατακόρυφων ρωγμών στους ανώτερους υπέρθυρους δίσκους. Στην εργασία αναλύεται η αρχιτεκτονική του ναού, η χαρτογράφηση της βλάβης, οι απαιτούμενες προσομοιώσεις του φορέα βάσει των θεωρούμενων ιδιοτήτων των υλικών καθώς και οι προτάσεις αποκατάστασης βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας και των περιορισμών που ορίζει η ιστορικότητα του μνημείου.

Λέξεις Κλειδιά: Ιστορική τοιχοποιία, Ανάλυση φορέα, Αποτίμηση, Επεμβάσεις

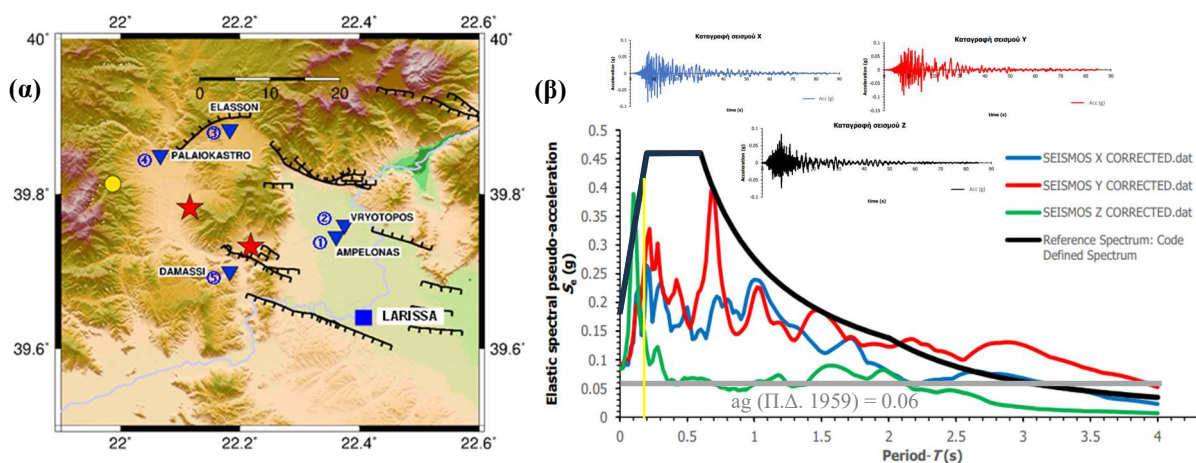
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δύο ισχυρές σεισμικές δονήσεις μεγέθους $M_w > 6R$ και μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους $0,1g$ σημειώθηκαν τον Μάρτιο 2021 στη Ελασσόνα Θεσσαλίας, με τα επίκεντρα να βρίσκονται πλησίον πέντε ιστορικών Ιερών Ναών λιθοκτιστης τοιχοποιίας που κατασκευάστηκαν στα τέλη του 19ου αιώνα. Η Εικόνα 1(α) δείχνει τις θέσεις των Ι.Ν. συγκριτικά με τα σχετικά σεισμικά επίκεντρα [1] (η αρίθμησή τους στην Εικ. 1(α) ισχύει και για τον Πίνακα 1, όπου δίδονται περισσότερες πληροφορίες). Οι προκληθείσες βλάβες στους Ι.Ν. ήταν ρηγματώσεις, οι οποίες σημειώθηκαν σε ευπαθείς περιοχές, ήτοι μεταξύ των ανοιγμάτων, στην βάση του τρούλου ή σε υψίκورμα στοιχεία. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει στοιχεία γεωμετρίας, υλικών δόμησης και σκαριφήματα βλαβών αυτών των κτιρίων. Το συνοπτικό υλικό του Πίνακα 1 συλλέχθηκε βάσει μεθοδολογίας δομικής τεκμηρίωσης και σεισμικής αξιολόγησης τέτοιων κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς από φέρουσα τοιχοποιία [2] ως προς: (α) τις γεωμετρικές λεπτομέρειες (λεπτοί τοίχοι με μεγάλα ανοίγματα, ευρεία κλίτη και τρούλοι που στηρίζονται σε κιονοστοιχίες, παρουσία κωδωνοστασίων που χτίστηκαν επί ή σε επαφή με το κεντρικό κτίριο) και (β) την

¹ Υ.Δ. Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, MSc,DIC Πολιτικός Μηχανικός, dimitriosnikolaidis@yahoo.gr

² Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ. stastani@civil.duth.gr

συνύπαρξη διαφορετικών δομικών υλικών ή και στοιχείων, ήτοι αυθεντικών όπως τοιχοποιία από συμπαγείς οπτόπλινθους/λίθους και ασβεστοκονίαμα, μεταλλικοί ελκυστήρες, ξύλινα δάπεδα και ζευκτά στέγης και επεμβατικών φάσεων όπως αρμολόγηση, πλάκες και πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα προς αντικατάσταση ξύλινων υπερών. Η λεπτομερής δομική αποτύπωση γίνεται με βάση σύγχρονα μέσα (σαρωτής LIDAR, φωτογραμμετρία με επίγειες και εναέριες λήψεις) επιτρέποντας την ακριβή i) αρχιτεκτονική αποτύπωση, ii) χαρτογράφηση της σεισμικής βλάβης και iii) δημιουργία τριδιάστατων προσομοιωμάτων σύνθετης γεωμετρίας. Με τα δεδομένα αυτά πραγματοποιείται ιδιομορφική ανάλυση που αποδίδει τα θεμελιώδη δυναμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και φασματική ανάλυση χρονοϊστορίας (προ και μετά την βλάβη): Για την διενέργεια της μη-γραμμικής ανάλυσης, προηγείται η δυναμική φασματική ανάλυση ώστε να κατανοηθούν οι επιταχύνσεις στις κομβικές αδρανειακές μάζες καθ' ύψος των στοιχείων· ακολούθως, τα φασματικά φορτία μετατρέπονται σε στατικά και ορίζεται η σειρά εφαρμογής τους στην μη-γραμμική ανάλυση. Η βαθμονόμηση των μηχανικών ιδιοτήτων υλικών (από εργαστηριακές δοκιμές ή λαμβάνοντας υπόψη κανονιστικές τιμές), επαληθεύεται από τις διαπιστωμένες βλάβες που ο σεισμός προκάλεσε. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται και αναλύεται στην περίπτωση του Ιερού Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου, στον Αμπελώνα Λάρισας.

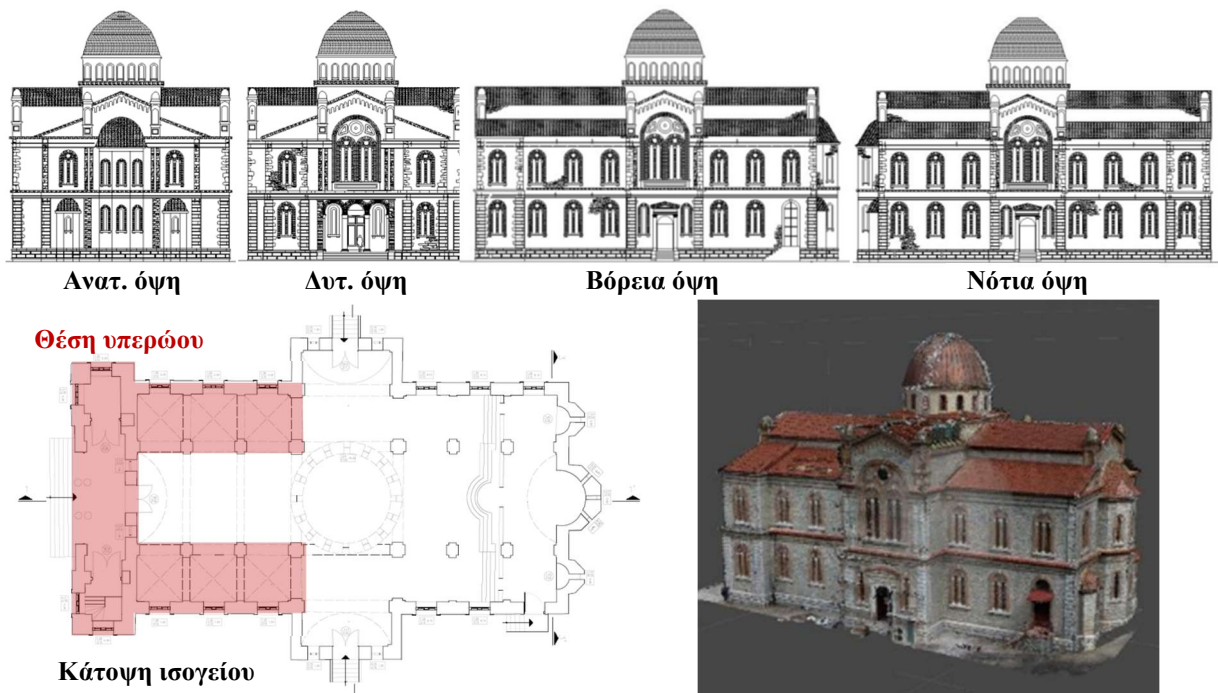


Εικόνα 1. (α) Οι θέσεις των Ι.Ν. (μπλε τρίγωνα) συγκριτικά με τα επίκεντρα (κόκκινα αστέρια) των σεισμικών δονήσεων του Μαρτίου 2021 με $M_w > 6R$ (*Χρ. Παπαϊωάννου, ΙΤΣΑΚ 2021) και (β) EN 1998-1 φάσμα απόκρισης [p_{ga} 0.16g, Κατηγορία εδάφους C για $\xi=5\%$ (μαύρη καμπύλη) και φάσματα χρονοϊστορίας των σχετικών καταγραφών. Με κίτρινο δηλώνεται η ιδιοπερίοδος $T_{13}=0.18$ s του Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου ως συνέπεια ενεργοποίησης του 70% της μάζας. Κατά το Π.Δ. 1959 η εδαφική επιτάχυνση είναι $a_g=0.06$.

2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - Ι.Ν. ΚΟΙΜΗΣΕΩΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ

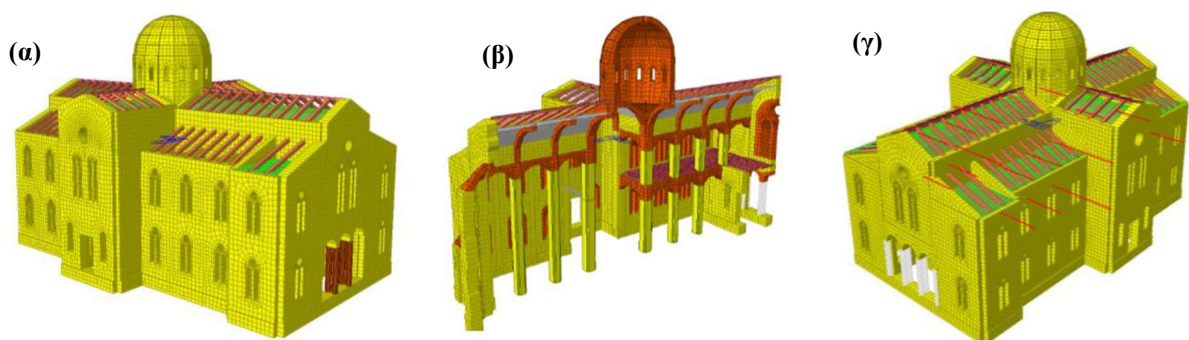
2.1 Δομικά χαρακτηριστικά

Η κατασκευή του Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου (Αμπελώνας Λάρισας) χρονολογείται το διάστημα 1885 - 1906. Πρόκειται για αρχιτεκτονικό τύπο σταυροειδή, εγγεγραμμένο με τρούλο. Περιλαμβάνει τρία κλίτη, με το ευρύτερο κεντρικό να επιστεγάζεται από τον τρούλο και να διαχωρίζεται από τα άλλα με κιονοστοιχίες έξι κίωνων, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και εγκάρσιως με την εξωτερική τοιχοποιία με τόξα. Το εμβαδόν της κάτοψης είναι ~ 550 m² (λόγος εγκάρσιας προς επιμήκη πλευρά $\sim 15/32=0.47$) και το ύψος ~ 23.7 m μέχρι την απόληξη του τρούλου. Ο τρούλος εδράζεται σε τύμπανο που φέρει 16 παράθυρα και έχει εξωτερική διάμετρο 7.5 m και ύψος 4.10 m. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική αποτύπωση του δομήματος.



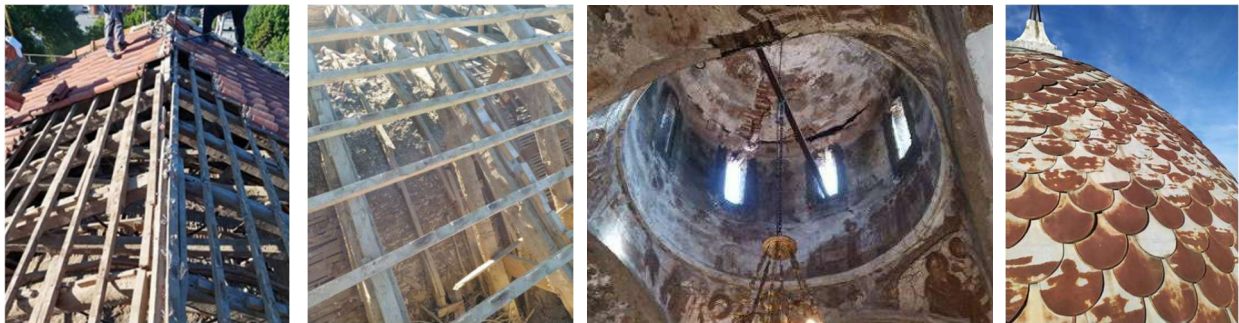
Εικόνα 2. Όψεις, κάτοψη και φωτογραμμετρικό προσομοίωμα του Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου.

Η δομή του κτιρίου ενσωματώνει όλα τα παραδοσιακά δομικά υλικά και την τέχνη των βυζαντινών χρόνων: λαξευτή πέτρα σε συνδυασμό με συμπαγείς οπτόπλινθους συνδεδεμένα με ασβεστοκονίαμα χρησιμοποιήθηκαν για την εξωτερική, τρίστρωτη τοιχοποιία πάχους ~0.8 m. Οι κίονες, από συμπαγείς οπτόπλινθους, έχουν ελεύθερο ύψος μέχρι τις γενέσεις των τόξων 9 m, εκτός από τη περιοχή του υπερώου που το ύψος διαμοιράζεται σε 4 m και 3.7 m, είναι «τετραγωνικής/σταυροειδούς» διατομής εμβαδού 0.66 m², το οποίο αυξάνει σε 0.87 m² για τους τέσσερις κεντρικούς που φέρουν τον θόλο. Επιπλέον διαπιστώθηκε η παρουσία εγκάρσιων χαλύβδινων συνδέσμων (R80x9) για τη σύνδεση των διαμήκων τοιχοποιιών στη στέγη (Εικ. 3 και στον Πίνακα 1 η περίπτωση #1). Το φωτογραφικό υλικό της φάσης αποκατάστασης της στέγης το 2021 (Εικ. 4) αναδεικνύει ότι: υπό τα ζευκτά, υφίσταται μπαγδατί προκειμένου να εξυπηρετηθεί η θολοδομία, ο τρούλος είναι κατασκευασμένος από συμπαγείς οπτόπλινθους και επικαλύπτεται εξωτερικά με «λέπια» ψευδαργύρου.



Εικόνα 3. Το λεπτομερές προσομοίωμα στο λογισμικό MIDAS Gen: α) περιμετρική τοιχοποιία λιθοδομής και ξύλινα ζευκτά στέγης, β) διάκριση στοιχείων τοιχοποιίας: με κίτρινο η λιθοδομή και με κεραμιδί η πλινθοδομή και γ) εγκάρσιοι μεταλλικοί σύνδεσμοι – ελκυστήρες συνδέουν τους διαμήκεις τοίχους στην στέγη.

Ο Ι.Ν. υπέστη βλάβες το 1995 κατά τον σεισμό της Κοζάνης ($M_w=6,6$ R) με ρηγματώσεις τόξων και τρούλου. Τα μέτρα αποκατάστασης περιέλαβαν ενέματα, εξωτερική αρμολόγηση με κονίαμα υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο και τυχαία εμπηγμένες χαλύβδινες ράβδους διαμέτρου 6 mm στο σώμα της τοιχοποιίας (ρίζο-οπλισμοί, από επιτόπου ελέγχους με διασκοπήσεις γεωραντάρ) Οι σεισμοί του Μαρτίου 2021 προκάλεσαν εκ νέου βλάβες, πολλές από τις οποίες εντοπίζονται στις επισκευασμένες περιοχές. Ειδικότερα, βάσει του Πίνακα 1 (περίπτωση #1) η προκληθείσα ρηγματώση σημειώθηκε i) στα εσωτερικά εγκάρσια τόξα και πλησίον των θέσεων έδρασης, ii) στο ανώτερο σημείο των τεσσάρων τόξων που φέρουν τον τρούλο και στους υπέρθυρους δίσκους υπό τον τρούλο και iii) στα εξέχοντα τμήματα της κάτοψης με την μορφή κατακόρυφων ρωγμών στους ανώτερους υπέρθυρους δίσκους.

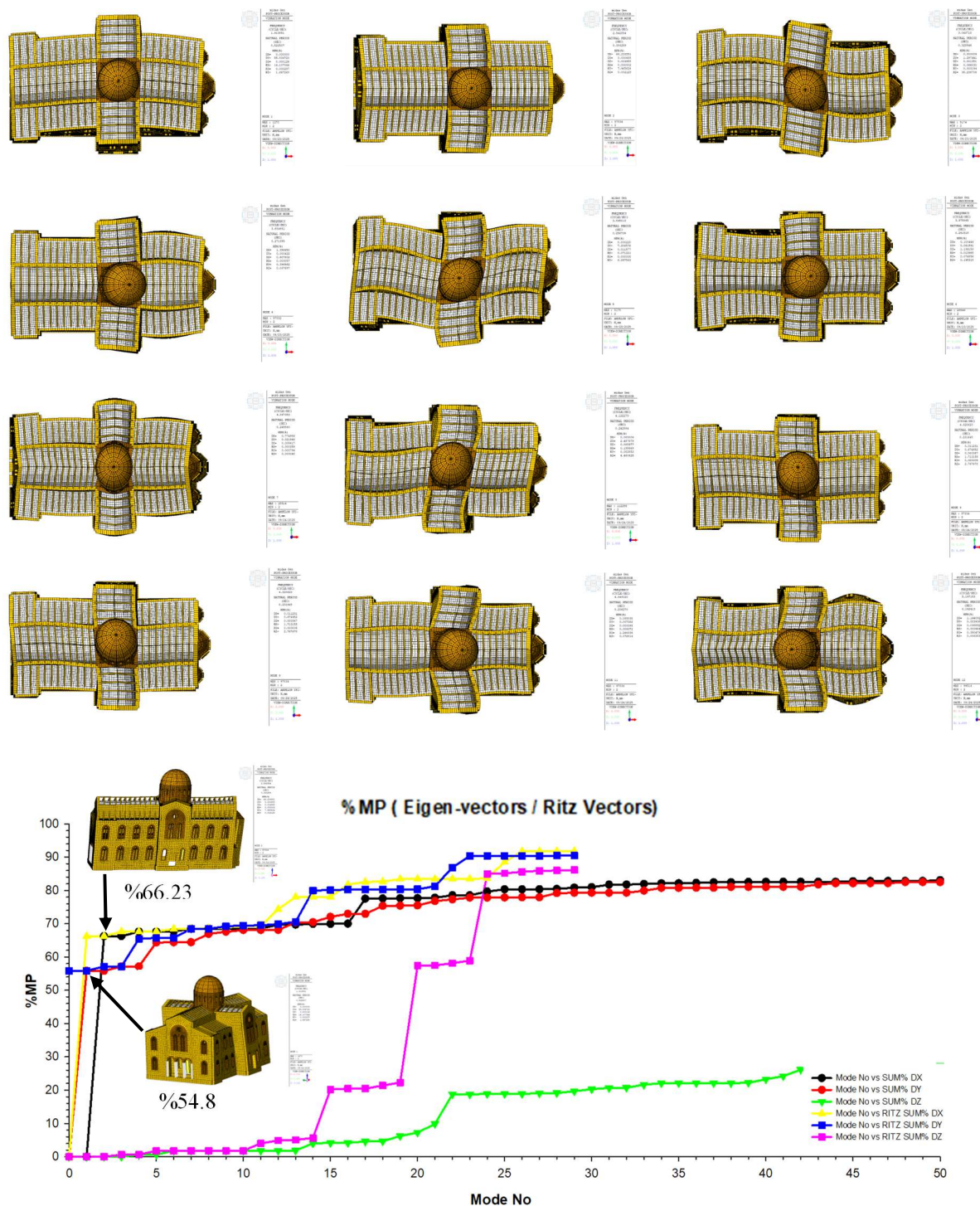


Εικόνα 4. Η επισκευή της στέγης αποκάλυψε ιστορικές πρακτικές δόμησης: ξύλινοι πήγεις (μπαγδατί) καρφωμένοι επί καμπύλων δοκών διαμορφώνουν τους θόλους, τρούλος από συμπαγείς πλίνθους επικαλυμμένος με «αλέπια» ψευδαργύρου.

2.2 Αποτίμηση του φορέα

Η λεπτομερής χαρτογράφηση της βλάβης συνδυαστικά με την αποτύπωση της αρχιτεκτονικής του ναού έγιναν με επίγεια και εναέρια μέσα εφαρμόζοντας φωτογραμμετρία (Agisoft [3]) ώστε συνακόλουθα να παραχθεί το 3D προσομοίωμα προς περαιτέρω σεισμική ανάλυση (Εικ. 2, 3). Για τις ακόλουθες αναλύσεις του φορέα υιοθετήθηκαν οι σταθερές: για την τοιχοποιία, κοινό μέτρο Ελαστικότητα για λιθοδομή και πλινθοδομή ίσο με $E_m=1800$ MPa και συντελεστής μείωσης της δυσκαμψίας 50%, ειδικό βάρος $\gamma_{\text{ΛΙΘΟΔΟΜΗ}}=2100$ Kgr/m³, $\gamma_{\text{ΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ}}=1800$ Kgr/m³, για τους μεταλλικούς ελκυστήρες $E_{\text{tie}}=210000$ MPa και $\gamma_{\text{tie}}=7800$ Kgr/m³, για τα ξύλινα δομικά στοιχεία ζευκτών $E_{\text{wood}}=8000$ MPa και $\gamma_{\text{wood}}=365$ Kgr/m³ [7, 8]. Για την προσομοίωση του φορέα (λογισμικό MIDAS Gen, [4]), ορίστηκαν πεπερασμένα στοιχεία 2D τύπου Shell με ιδιότητες (i) λιθοδομής για τη φέρουσα τοιχοποιία, (ii) με ιδιότητες πλινθοδομής για τα τόξα και τον τρούλο. Οι κίονες, με ιδιότητες λιθοδομής, προσομοιώθηκαν με στοιχεία beam και οι μεταλλικοί ελκυστήρες με στοιχεία “tension only”. Για λιθοδομή/πλινθοδομή χρησιμοποιήθηκε το προσομοίωμα ομογενοποιημένης τοιχοποιίας ([5], προσομοίωμα STRUMAS στο MIDAS Gen). Η στήριξη του φορέα θεωρήθηκε πάκτωση.

Η ιδιομορφική ανάλυση (300 ιδιομορφών, και δευτερευόντως με διανύσματα Ritz για την μείωση των αριθμού των ιδιομορφών σε 50) έδειξε ότι για ενεργοποίηση μάζας κατά ~70% η ιδιοπερίοδος της 13^{ης} ιδιομορφής είναι $T_{13}=0.1841$ s (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Ιδιομορφική ανάλυση Ι.Ν. Κοιμήσεων Θεοτόκου

Η σεισμική ανάλυση του φορέα έγινε με εφαρμογή (i) του οριζόντιου ελαστικού φάσματος EN 1998-1 [6] για Σεισμική Ζώνη Ι ($a_g=0.16$), Σπουδαιότητα ΙΙΙ ($\gamma=1.2$), κατηγορία εδάφους C (Εικ. 1β) και (ii) των φασμάτων που προέκυψαν από τις χρονοϊστορίες επιτάχυνσης του κύριου σεισμού της 3ης Μαρτίου 2021 (Εικ. 1β), μετά από την επεξεργασία «Bias filtering» στο λογισμικό MIDAS Gen. Σημειώνεται ότι ο Σταθμός Λάρισας (χρησιμοποιούμενες χρονοϊστορίες) απέχει από το επίκεντρο του σεισμού κατά 25 km με συνέπεια την εξασθένηση της εδαφικής επιτάχυνσης στις καταγραφές. Η διενέργεια της μη-γραμμικής ανάλυσης του φορέα

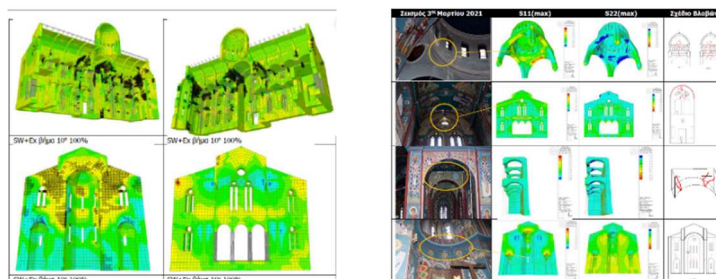
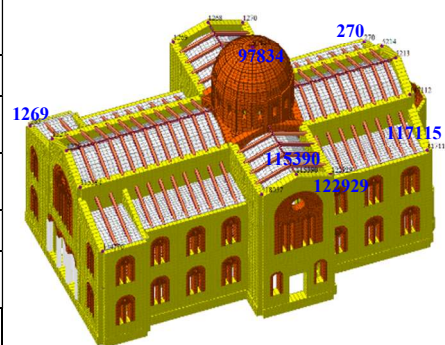
έγινε με τα ανωτέρα φάσματα, για τον συνδυασμό φόρτισης (i) $G+0.6Q+E$, όπου G τα μόνιμα φορτία (για την στέγη ορίσθηκε σε 2kN/m^2), Q κινητά φορτία (για την στέγη 0.5kN/m^2 , για το υπερώο 5kN/m^2) και E το σεισμικό φορτίο και (ii) $G+E$, καθώς ο ναός τη στιγμή του σεισμικού γεγονότος δεν ήταν σε λειτουργία. Ζητούμενο από τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη της ανάλυσης (ειδικώς βάσει των φασμάτων του σεισμού Μαρτίου 2021) είναι, συγκρινόμενα αυτά με τις σχετικές οριακές τιμές αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης (κατά ΚΑΔΕΤ 2023 [7] π.χ. η θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας προκύπτει $f_{wc}=1.8\text{ MPa}$, η εφελκυστική αντοχή $f_{wt}=0.05\text{ MPa}$ και η διατμητική συνοχή $f_{vm0}=0.03\text{ MPa}$, η οποία προσανξάνει με το γινόμενο του συντελεστή τριβής επί την θλιπτική τάση, για εκτός επιπέδου κάμψη η στροφή διαρροής είναι 2% , για εντός επιπέδου κάμψη/διάτμηση η στροφή διαρροής είναι 1.5% , αυτά τα μεγέθη στροφής συνδέονται με την Στάθμη Επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες») να εντοπισθούν θέσεις υπέρβασης που ενδεχομένως να ταυτίζονται με τις πραγματικές θέσεις βλάβης (Πίνακας 1).

2.2.1 Αποτελέσματα αποτίμησης του φορέα

Από τις προκύπτουσες μετακινήσεις από τις αναλύσεις χρονοϊστορίας σε θέσεις της στέγης ύψους $h \approx 16\text{ m}$ (Πιν. 2), κανένα μέγεθος στροφής DX/h ή DY/h δεν υπερβαίνει τα όρια διαρροής 2% για εκτός επιπέδου και 1.5% για εντός επιπέδου που ορίζει ο ΚΑΔΕΤ 2023. Η διερεύνηση θα πρέπει να γίνει σε δεδομένους κόμβους καθ' ύψος (π.χ. αρχή και λήξη υπέρθυρου δίσκου) όπου προκλήθηκαν ρηγματώσεις. Η κατακόρυφη βύθιση του τρούλου κατά 9 mm (η τοιχοποιία του τρούλου θεωρήθηκε δυσμενώς άοπλη) οδήγησε στην ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στις περιμετρικές τοιχοποιίες (ενδεχόμενες ρηγματώσεις) ως συνέπεια της απουσίας οριζόντιων ελκυστήρων που συνήθως αγκυρώνονται στις γενέσεις του τόξου (Εικ. 6). Ο έλεγχος του φορέα σύμφωνα με τις διατάξεις του ΦΕΚ σεισμοπλήκτων έδειξε επάρκεια της κατασκευής (Εικ. 1δ, κατά τον Αντισεισμικό Κανονισμό 1959, δεδομένου ότι πρόκειται για προγενέστερη αυτού κατασκευή: η κατανομή των σεισμικών φορτίων είναι ορθογωνική, το ελαστικό φάσμα έχει σταθερή τιμή στο εύρος περιόδων $0-4\text{ s}$ με τιμή $a_g=0.04 \times 1.75 = 0.07g$).

Πίνακας 2. Μέγιστες μετακινήσεις/στροφές κόμβων στέγης από τις αναλύσεις χρονοϊστορίας

	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)	RX (rad)	RY (rad)	RZ (rad)
Node	97834	122929	115390	1269	117115	117115
Max (mm)	4.778	11.350	1.256	0.00045	0.00034	0.00069
Time (s)	7.6	14.88	14.88	15.23	15.23	11.15
Node	270	122929	115390	1269	270	270
Min (mm)	-4.016	-11.280	-1.257	-0.0005	-0.0004	-0.0006
Time (s)	11.16	15.23	15.23	14.88	11.15	14.88

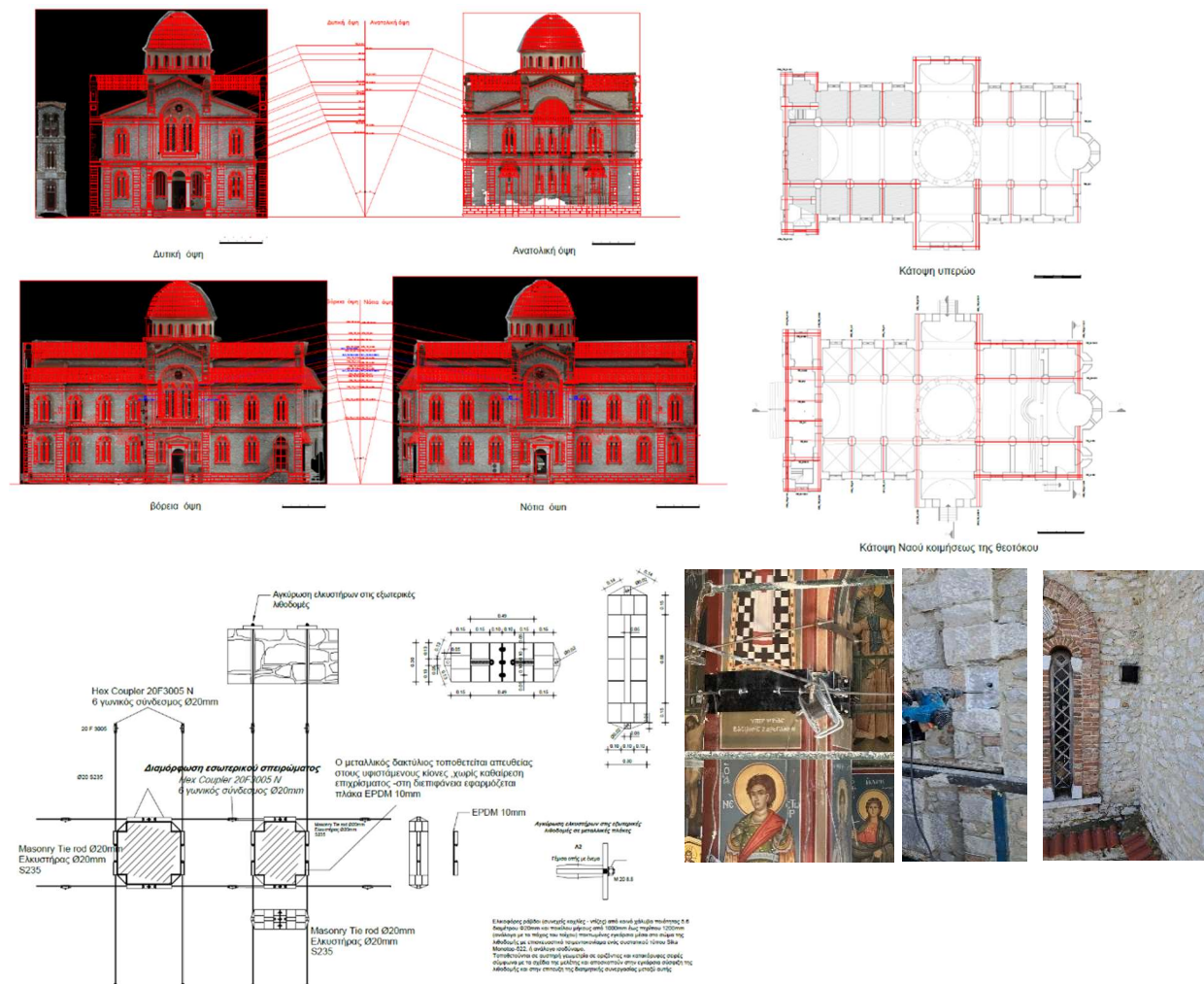


Εικόνα 6. Εντατική κατάσταση φορέα: ταυτοποίηση θέσης υπέρβασης εφ. αντοχής και παρουσίας ρωγμής.

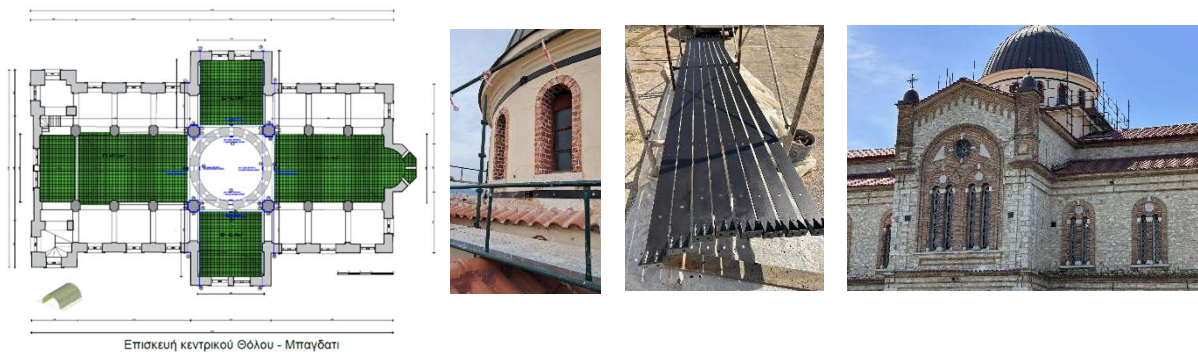
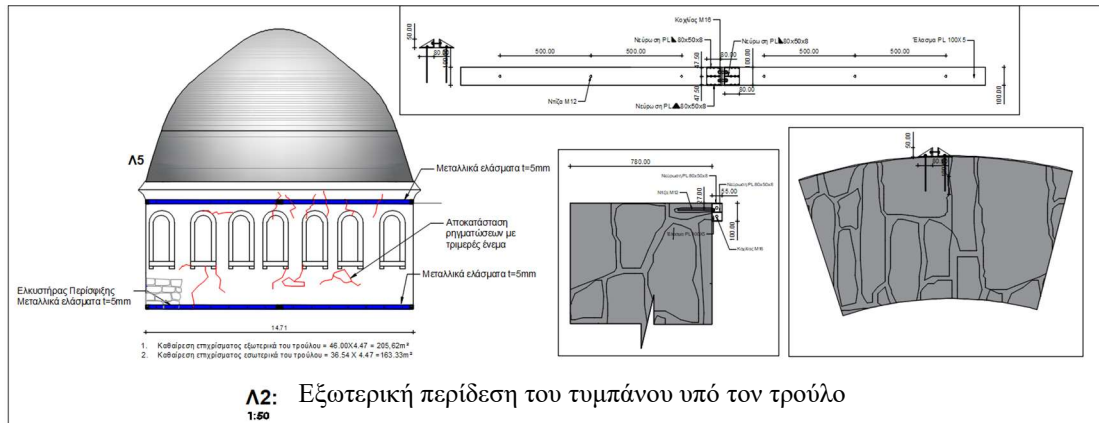
2.3 Μέτρα αποκατάστασης του φορέα – Επεμβάσεις

Για την αποκατάσταση των βλαβών και την ενίσχυση του σεισμόπληκτου Ιερού Ναού εφαρμόστηκαν οι παρακάτω μέθοδοι (Εικ. 7 και 8):

- Ομογενοποίηση λιθοδομής τρούλου με τριμερές ένεμα βάσης υδρασβέστου.
- Τοποθέτηση μεταλλικών ελκυστήρων.
- Αρμολόγημα λιθοδομής.
- Εξωτερική περίσφιξη βάσης τρούλου με μεταλλικά ελάσματα.
- Ενίσχυση Μπαγδατί θόλων με ενισχυμένο επίχρισμα (SikaMur-200 M15), κονίαμα δομητικής αποκατάστασης (Sika Monotop-722), πλέγμα δύο διευθύνσεων ινών υάλου (SikaWrap-350G Grid βάρους 350 gr/m²) για εγκιβωτισμό εντός μήτρας συστήματος IAM-TRM και αγκύρια ινών άνθρακα για την αγκύρωση του συστήματος IAM-TRM (SikaWrap FX50c).



Εικόνα 7. Θέσεις μεταλλικών ελκυστήρων στα κλίτη (με κόκκινο) και λεπτομέρειες εφαρμογής της ενίσχυσης.



Εικόνα 8. Ενίσχυση της βάσης τρούλου με περιδέσεις με μεταλλικά ελάσματα και κολάρα στους κίονες στήριξης.

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για περιπτώσεις ειδικών κτιρίων, όπως οι λιθόκτιστοι Ναοί, απαιτούνται σειρές αναλύσεων και προσομοιώσεων για την τεκμηρίωση των υφιστάμενων βλαβών στα δομικά στοιχεία τους. Η μέθοδος της απώλειας της φέρουσας ικανότητας, που εφαρμόζει το ΦΕΚ σεισμοπλήκτων, δεν μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς σε περιπτώσεις τέτοιων ειδικών κτιρίων, κυρίως λόγω πολυπλοκότητας της σύνθεσης του δομικού σκελετού. Η εφαρμογή του ΦΕΚ σεισμοπλήκτων περιορίζεται σε απλές κατασκευές Φ.Τ με ορθογωνικές διατάξεις τοιχοποιιών και μικρά ύψη. Απαιτείται σειρά αναλύσεων και δοκιμών για την τελική επιλογή του μέτρου ελαστικότητας των υλικών, καθώς τιμές στα πλαίσια τους εύρους 300 - 1000 f_{cw} , ενδεχομένως να οδηγήσουν σε λάθος εκτιμήσεις, καθώς η δυσκαμψία του φορέα επηρεάζει σημαντικά την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο των κτηρίων αυτών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η συνολική μελέτη αποτίμησης και επισκευής/ενίσχυσης του Ιερού Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου στον Αμπελώνα Λάρισας που υπέστη ρηγματώσεις στην τοιχοποιία, στις στηρίξεις των τόξων και στο τύμπανο υπό τον τρούλο από τον σεισμό του 2021. Για την υλοποίηση της μελέτης απαιτήθηκε ακριβής γεωμετρική αποτύπωση του φορέα, αναγνώριση των υλικών δόμησης και των μηχανικών ιδιοτήτων τους, χαρτογράφηση της προκληθείσας βλάβης και αναλύσεις (φασματικές και χρονοϊστορίας) ώστε να διαπιστωθεί η εντατική και παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα. Τα δε μέτρα επισκευής (ενέματα και αρμολόγημα) και ενίσχυσης (ελκυστήρες και περιδέσεις), κατόπιν επανελέγχου, διασφαλίζουν την σεισμική επάρκεια του δομήματος.

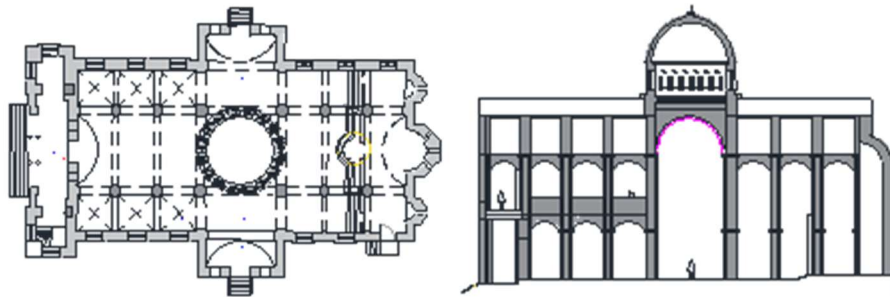
ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ITSAK – DUTH (2021): Thessaly Earthquakes M6.3, 03/03/2021 and M6.1, 04/03/2021 – Preliminary Report. Research Unit ITSAK, EPPO and DUTH. Thessaloniki. pp.63. doi: 10.5281/zenodo.4641200

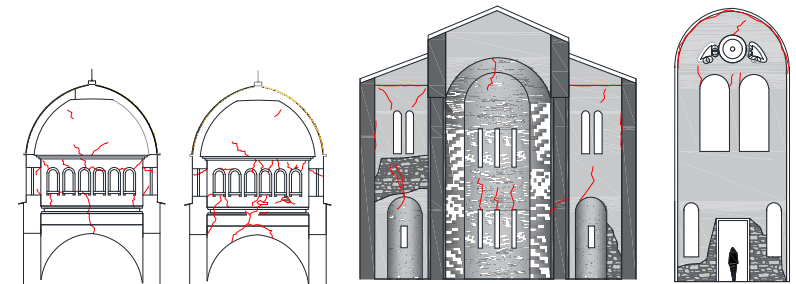
2. Nikolaidis D., Tastani S., Pantazopoulou S. (2022). “Arch stone bridges: procedures for evaluation of structural integrity”, Int. Journal of Architectural Heritage, <https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2042624>
3. AGISOFT software: www.agisoft.com
4. MIDAS software: <https://www.midasoft.com/>
5. Pande, G. N, J. X, Liang, J. Middleton. 1989. Equivalent elastic moduli for brick masonry. Comput Geotech 8:243–265. [https://doi.org/10.1016/0266-352X\(89\)00010-1](https://doi.org/10.1016/0266-352X(89)00010-1)
6. EN 1998-1 (2004), Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
7. ΚΑΔΕΤ (2023). Κανονισμός για την Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, oasp.gr (ΦΕΚ 2493, τΒ’/18-4-2023).
8. EN 1998 - 3 Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance-Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2005.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά στοιχεία γεωμετρίας, υλικών και βλαβών πέντε Ι.Ν. Θεσσαλίας που επλήγησαν κατά τους σεισμούς Μαρτίου 2021

1^η στήλη - Όνομα Ι.Ν, θέση, έτος κατασκευής, εμβαδόν κάτοψης Α, διαστάσεις αρχικού κτίσματος (L_y/L_x), ολικό ύψος Η, πάχος τοιχοποιίας t_w , υλικό τοιχοποιίας, υλικό στέγης, παρουσία ελκυστήρων. Κάτοψη και διαμήκης τομή (διαμήκης άξονας: δύση – ανατολή). 2^η στήλη – Σκαριφήματα βλαβών



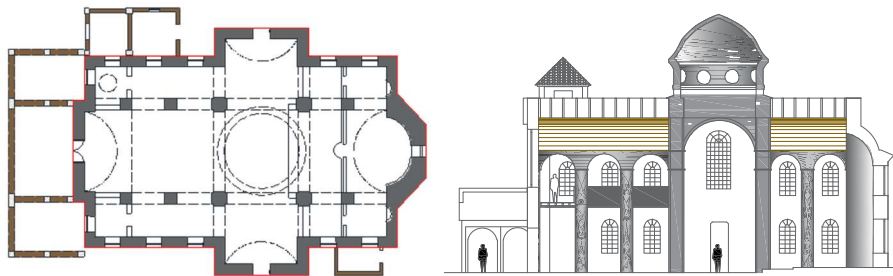
1. Κοιμήσεων της Θεοτόκου, Αμπελώνας (1885), $A=550 \text{ m}^2$, $L_y/L_x \approx 15/32=0.47$, $H=23.65 \text{ m}$, $t_w=65\text{-}85 \text{ cm}$, Λίθοι-συμπαγείς πλίνθοι, - ξύλινα ζευκτά, εγκάρσιοι χαλύβδινοι ελκυστήρες.



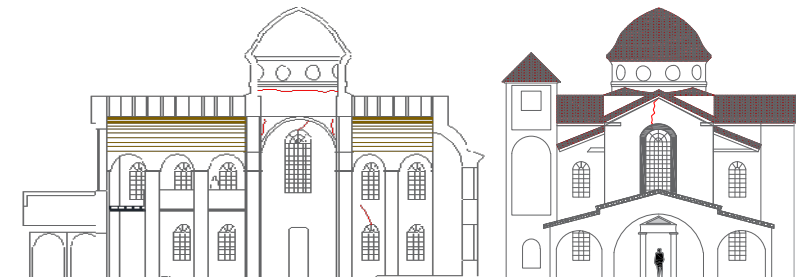
Ρηγμάτωση στην βάση του Θόλου και μεταξύ ανοιγμάτων

Δυτική πλευρά

βόρεια/νότια κεντρικά



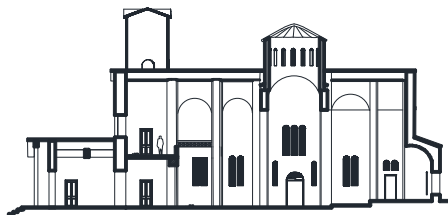
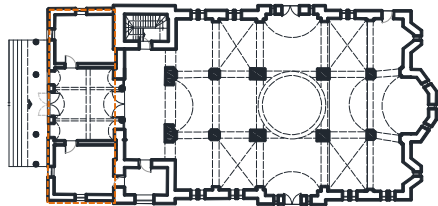
2. Κωνσταντίνου και Ελένης, Βρύτοπος Αμπελώνας, (1914), $A=242 \text{ m}^2$ (325 m^2 μετά από προσθήκη), $L_y/L_x=11.4/20.9=0.54$, $H=14.70 \text{ m}$, $t_w=65 \text{ cm}$, λιθοδομή, ξύλινα ξευκτά, εγκάρσιοι χαλύβδινοι σύνδεσμοι



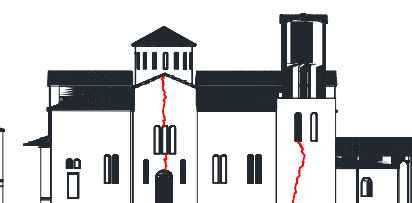
Νότια πλευρά

Οριζόντια ρηγμάτωση στην βάση του θόλου και κατακόρυφες ρωγμές στους υπέρθυρους δίσκους.

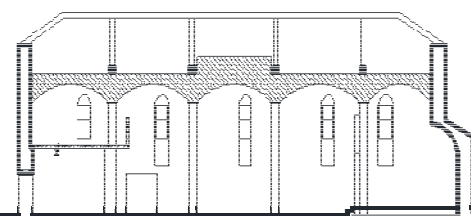
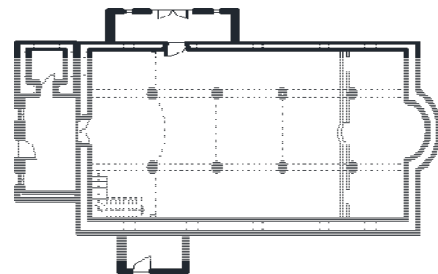
Δυτική πλευρά



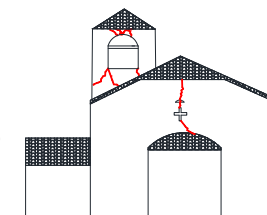
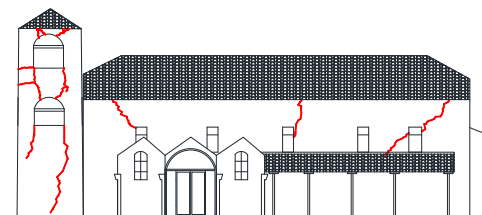
3. Άγιος Δημήτριος, Ελασσόνα (1920), $A=397 \text{ m}^2$ (480 m^2 μετά από προσθήκη), $L_y/L_x=16.2/26.3=0.61$, $H=17.9 \text{ m}$, $t_w=70 \text{ cm}$, λιθοδομή, υπερώο με δάπεδο από Ο.Σ., ξύλινα ζευκτά, απουσία ελκυστήρων



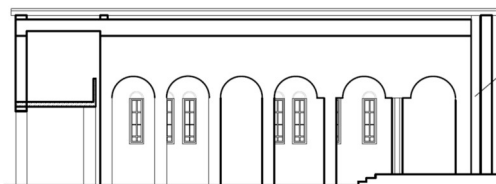
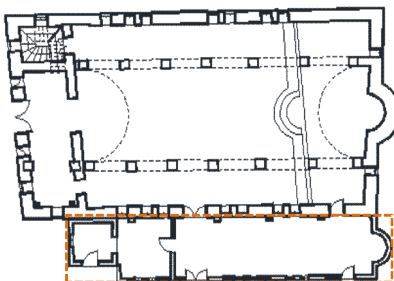
Νότια πλευρά
Βόρεια πλευρά
Κατακόρυφη ρηγμάτωση (εκτός επιπέδου αστοχία)



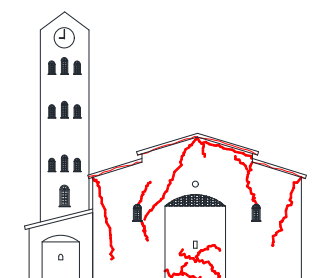
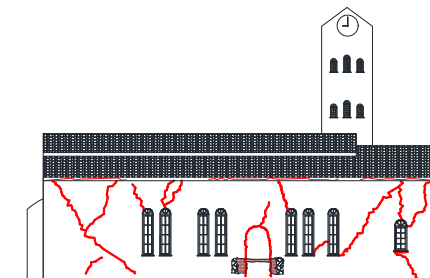
4. Άγιος Νικόλαος, Παλαιόκαστρο (1888), $A=165 \text{ m}^2$ (216 m^2 μετά από προσθήκη) $L_y/L_x=8.9/19.4=0.46$, $H=7.60 \text{ m}$, $t_w=60 \text{ cm}$, λιθοδομή, ξύλινα ζευκτά, απουσία ελκυστήρων



Νότια πλευρά
(όμοια ρηγμάτωση στην βόρεια πλευρά)
Ανατολική πλευρά
(όμοια ρηγμάτωση στην δυτική πλευρά)



5. Άγιος Γεώργιος, Δαμάσι (1950), $A=246 \text{ m}^2$ (308 m^2 μετά από προσθήκη) $L_y/L_x=11.9/22=0.54$, $H=8.50 \text{ m}$, $t_w=65-70 \text{ cm}$, λιθοδομή με περιμετρική γρεπίδα Ο.Σ. στην στέψη, οροφή Ο.Σ., ξύλινα ζευκτά, απουσία ελκυστήρων



Βόρεια πλευρά
Ανατολική πλευρά
Διαγώνια (διατμητική) ρηγμάτωση