



Σχολή Θετικών Επιστημών
Και Τεχνολογίας

Σεισμική Μηχανική Και
Αντισεισμικές Κατασκευές

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Αποτίμηση - Επισκευή & Ενίσχυση του Παλαιού Βορδοναρείου
της Ι.Μ. Ζωγράφου Αγίου Όρους

Νικόλαος Αραμπέλος

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Κατάκαλος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2021

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Αποτίμηση - Επισκευή & Ενίσχυση του Παλαιού Βορδοναρείου
της Ι.Μ. Ζωγράφου Αγίου Όρους

Νικόλαος Αραμπέλος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωνσταντίνος Κατάκαλος

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

Καθηγητής, Ελληνικό Ανοικτό
Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2021

Ευχαριστίες & Αφιέρωση

Ο συγγραφέας θα ήθελε να ευχαριστήσει θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κατάκαλο και τον συν-επιβλέποντα Καθηγητή κ. Παναγιωτάκο για την συνδρομή τους και την επιστημονική τους συνεισφορά στη σύνταξη του παρόντος. Επιπρόσθετα, θερμές ευχαριστίες εκφράζονται προς τον Καθηγούμενο της Ι.Μ. Ζωγράφου Γέροντα Αμβρόσιο καθώς και προς τον 1^ο Επίτροπο, Πατέρα Γαβριήλ για την ευλογία τους και τη βοήθειά τους στο στάδιο της συλλογής των απαραίτητων πληροφοριών. Τέλος, ο συγγραφέας θα ήθελε να ευχαριστήσει θερμά τον πατέρα του και ιδιαίτερα την σύζυγό του για την αμέριστη συμπαράσταση και συνεισφορά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών του.

Στη μνήμη της μητέρα μου...

Περίληψη

Απώτερος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η συνδρομή στη διατήρηση της πλούσιας Αρχιτεκτονικής κληρονομιάς που περιλαμβάνει τα κύρια και βοηθητικά κτίσματα εντός του Αγίου Όρους. Συγκεκριμένα, το παρόν θέμα αφορά στην αποτίμηση, επισκευή και ενίσχυση παραδοσιακού παλαιού κτιρίου, το οποίο χρησιμοποιείτο ως βορδοναρείο σε προηγούμενη χρήση.

Το εν λόγω κτίριο είναι διώροφο, σχήματος κάτοψης «Γ», επιφάνειας κάτοψης περί τα 700m² και αποτελείται από φέρουσα λιθοδομή, ξύλινα πατώματα και στέγη, και εσωτερική διαχωριστική τοιχοποιία από «τσατμά». Η κατάστασή του κρίνεται ως κακή, καθώς τμήμα της στέγης αλλά και των πατωμάτων έχουν καταρρεύσει και η λειτουργία του έχει διακοπεί.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας είναι η επαναφορά του κτιρίου σε λειτουργική κατάσταση με την άρση οποιασδήποτε επισφάλειας σε στατικά και δυναμικά φορτία χρησιμοποιώντας σύγχρονα κανονιστικά κείμενα. Ως διαδικασία για τον σκοπό αυτόν αναφέρεται η εξής: Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και αποτύπωση του φέροντα οργανισμού και καταγραφή υλικών και τεχνοτροπίας δόμησης, καταγραφή της παθολογίας του κτιρίου, συλλογή και αξιοποίηση υφιστάμενου υλικού και πρόσθετη έρευνα, υπολογιστική προσέγγιση, διαμόρφωση προτάσεων επέμβασης.

Λέξεις – Κλειδιά

Αποτίμηση, Αποκατάσταση, Ενίσχυση, Παραδοσιακό Κτίριο, Λιθοδομή, Πεπερασμένα Στοιχεία

Structural Assessment, Repair and Strengthening Of an Old Traditional Stone Masonry Building (Vordonario) In The Holy Monastery Of Zografos In Mount Athos

Nikolaos Arampelos

Abstract

This thesis aspires to be a contribution to the preservation of the rich Architectural heritage of the main and auxiliary buildings within Mount Athos. Specifically, it concerns the assessment, repair and strengthening of a traditional old building, which was previously used as a stable facility in the holy monastery of Zografos. The building in question is a 700m², two-storey one, with an "L" shape plan view and consists mainly of load-bearing stone masonry, wooden floors and a wooden roof. Internally one can find scarcely placed wattle and daub masonry. Its structural condition is considered to be poor, as part of the roof and flooring has collapsed and its operation has ever since been suspended. The expected results of the dissertation relate to the restoration of the building to operational condition by removing any structural risk in static and dynamic conditions using modern regulatory texts. The procedure that was implemented for this purpose is the following: Firstly, architectural drawings with building details and documentation of all structural elements and relevant materials were meticulously constructed and all the elements that constitute the pathology of the building were designated. As far as the mechanical properties of the materials, various sources were examined and additional research was conducted where deemed necessary. Moreover, for the structural assessment of the building and the formulation of proposals concerning

the repair and strengthening, a computational approach using the finite element analysis method was implemented.

Keywords

Structural Assessment, Repair, Strengthening, Traditional Building, Stone Masonry, Finite Element Analysis

Περιεχόμενα

1. Περιγραφή Κτιρίου.....	1
1.1. Θέση	1
1.2. Ιστορικά Στοιχεία	1
1.3. Μορφή – Αρχιτεκτονική Δομή – Στοιχεία Στατικού Συστήματος	6
2. Γεωλογικές και Σεισμολογικές Συνθήκες Περιοχής Έρευνας	13
2.1. Γεωτεκτονικές & Γεωλογικές Συνθήκες	13
2.2. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία	17
3. Συλλογή Στοιχείων – Πληροφορίες για την Αποτίμηση	20
3.1. Γεωμετρική Αποτύπωση – Επιθεώρηση Λεπτομερειών.....	20
3.2. Υλικά Κατασκευής – Εκτίμηση Μηχανικών Χαρακτηριστικών	21
3.2.1. Αντοχή Δομικών Στοιχείων.....	22
3.3. Καταγραφή Παθολογίας	26
3.3.1. Τμήμα Α.....	26
3.3.2. Τμήμα Β.....	27
3.3.3. Σύνδεση τμήματος Α και Β.....	28
4. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Υφιστάμενης Κατασκευής.....	30
4.1. Κανονιστικά κείμενα	30
4.2. Μεθοδολογία - Επιλογές Παραμέτρων	32
4.2.1. Θεμελιώδεις απαιτήσεις συμπεριφοράς.....	32
4.2.2. Κριτήρια συμμόρφωσης	34
4.3. Μέθοδος και Παράμετροι Προσομοίωσης της Κατασκευής.....	35
4.3.1. Γενικά	35
4.3.2. Παράμετροι Προσομοίωσης	37
4.3.3. Διακριτοποίηση Φορέα.....	39
4.3.4. Συνθήκες Στήριξης.....	39
4.3.5. Απόδοση Μηχανικών Χαρακτηριστικών στα Στοιχεία του Προσομοιώματος.....	39
4.3.6. Στατικά Φορτία Κατασκευής.....	41
4.3.7. Δυναμικά Φορτία Κατασκευής	41
4.3.8. Συνδυασμοί δράσεων	44
4.4. Μέθοδος και Παράμετροι Ανάλυσης	46
4.5. Αποτελέσματα Αποτίμησης	47
5. Προτεινόμενες Επεμβάσεις για την Ενίσχυση του Κτιρίου	55
5.1. Στρατηγική Επεμβάσεων.....	55
5.2. Προτεινόμενες Επεμβάσεις	56
5.2.1. Σύνδεση στη διασταύρωση των ασύνδετων τοιχίων	56
5.2.2. Κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος	56
5.2.3. Επεμβάσεις στα πατώματα.....	57
5.2.4. Επιδιόρθωση ξύλινων διαζωμάτων	58
5.2.5. Κατασκευή διαζώματος κορυφής από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	58
5.2.6. Βαθύ αρμολόγημα	60
5.2.7. Εφαρμογή Ενεμάτων – Ομογενοποίηση.....	61
5.2.8. Στοχευμένη προσθήκη τοιχίων από λιθοδομή	62

5.3. Προσομοίωμα Κατασκευής	63
5.4. Διακριτοποίηση Φορέα.....	65
5.5. Συνθήκες Στήριξης.....	65
5.6. Απόδοση Μηχανικών Χαρακτηριστικών στα Στοιχεία του Προσομοιώματος.....	65
5.7. Στατικά και Δυναμικά Φορτία Κατασκευής.....	65
5.8. Δυναμικά Φορτία Κατασκευής	65
5.9. Συνδυασμοί Φόρτισης	66
5.10. Αποτελέσματα Επίλυσης Ενισχυμένου Κτιρίου	66
5.10.1. Σύνδεση ασύνδετων τοιχίων & κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος & σύνδεση πατόξυλων με λιθοδομή.....	67
5.10.2. Διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της λιθοδομής	78
5.10.3. Εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτων.....	87
5.10.4. Προσθήκη τοιχίων από λιθοδομή.....	96
6. Σύνοψη – Συμπεράσματα	107

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Σχέδιο Barskij (1744) όπου δεν εντοπίζεται το κτίριο του βορδοναρείου	2
Εικόνα 2 Χαλκογραφία (1802) όπου δεν εντοπίζεται το κτίριο του βορδοναρείου	2
Εικόνα 3 Χαλκογραφία (1836) όπου δεν εντοπίζεται το κτίριο του βορδοναρείου	3
Εικόνα 4 Φωτογραφία Sebastianov (1870-1873) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου	3
Εικόνα 5 Λιθογραφία (1875-1891) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου	4
Εικόνα 6 Πίνακας Veniamin μοναχού (1879) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου	4
Εικόνα 7 Εικόνα στην τράπεζα της Ι.Μ. (1879) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου	5
Εικόνα 8 Πίνακας (1896) όπου εντοπίζεται το κτίσμα του βορδοναρείου στην τελική του σημερινή γεωμετρική μορφή.....	5
Εικόνα 9 Γενική κάτοψη του κτιρίου του βορδοναρείου. Με κυανό χρώμα σημειώνεται ο χαρακτηρισμός των τοιχοποιιών με βάση τον προσανατολισμό τους	7
Εικόνα 10 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 1 ^{ου} επιπέδου (ισογείου) του τμήματος Α	8
Εικόνα 11 Σχηματική τομή 1 ^{ου} και 2 ^{ου} επιπέδου του τμήματος Α.....	9
Εικόνα 12 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 2 ^{ου} επιπέδου του τμήματος Α.....	10
Εικόνα 13 Άποψη της δομής της στέγης στο 2 ^ο επίπεδο του τμήματος Α	11
Εικόνα 14 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 1 ^{ου} επιπέδου (ισογείου) του τμήματος Β...12	
Εικόνα 15 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 2 ^{ου} επιπέδου του τμήματος Β.....	12
Εικόνα 16 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm:Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, [Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας] = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983). Με βέλος επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.....	14
Εικόνα 17 Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1. Μεταλλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμόνα, 2. Ενότητα του Βερτίσκου, 3. Ενότητα των Κερδυλλίων, 4. Μάζα της Ροδόπης, 5. Περιοδοπική Ζώνη, 6. Ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμόνα), 7. Δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής. Με βέλος επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.	15
Εικόνα 18 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη, κλίμακας 1:50.000, του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο χάρτη “Χερσόνησος Άθω (Μονή Βατοπεδίου - Άθω)”, όπου απεικονίζεται η θέση του υπό έρευνα κτιρίου του βορδοναρείου.....	17
Εικόνα 19 Γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης της Κεντρικής Μακεδονίας, (TRFS=Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone, A.F=Anthemountas Zone, L-AV.F=Lagina-Ag.Vasilios Fault, P.F.=Pirgos Fault (Πήγμα Γοματίου-Ιερισσού), So.F=Sochos Fault, Str.F.=Stratoni Falut, V.F.=Vourvourou Fault, L.=Langadas Fault, V=Volvi Lake. (τροποποιημένος από Tranos et al. 1999)	19
Εικόνα 20 Δείγματα λίθων και κονιαμάτων από το βορδοναρείο	22
Εικόνα 21 ΒΔ Όψη. Μορφολογική αναπαράσταση.....	26

Εικόνα 22 Άποψη του αρμού στη στάθμη ισογείου και στη συμβολή της ΝΔ λιθοδομής του τμήματος Α και της ΒΔ όμοιας του τμήματος Β	28
Εικόνα 23 Άποψη του αρμού στη στάθμη ισογείου και στη συμβολή της ΒΑ λιθοδομής του τμήματος Α και της ΒΑ όμοιας του τμήματος Β.....	29
Εικόνα 24 Άποψη του προσομοιώματος της υφιστάμενης κατάστασης από τα ανατολικά	36
Εικόνα 25 Άποψη του προσομοιώματος της υφιστάμενης κατάστασης από τα Δυτικά	37
Εικόνα 26 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x	47
Εικόνα 27 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y	48
Εικόνα 28 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	49
Εικόνα 29 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	50
Εικόνα 30 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	51
Εικόνα 31 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας	52
Εικόνα 32 Χάρτης Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	53
Εικόνα 33 Χάρτης Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	54
Εικόνα 34 Ενδεικτική τομή προσομοιώματος για την επισκευή και αποκατάσταση του Β τμήματος.....	57
Εικόνα 35 Τύπος σύνδεσης πατωμάτων και στεγών με τις φέρουσες τοιχοποιίες (Σχέδιο Κ.Α.Δ.Ε.Τ.)	58
Εικόνα 36 Λεπτομέρεια σύνδεσης στέγης και διαζώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2019).....	60
Εικόνα 37 Άποψη του προσομοιώματος της βελτιωμένης κατάστασης από τα ανατολικά	64
Εικόνα 38 Άποψη προσομοιώματος της βελτιωμένης κατάστασης από τα Δυτικά	64
Εικόνα 39 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x	68
Εικόνα 40 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y	68
Εικόνα 41 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	70
Εικόνα 42 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	72
Εικόνα 43 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	74

Εικόνα 44 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας	75
Εικόνα 45 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	76
Εικόνα 46 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	77
Εικόνα 47 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x	79
Εικόνα 48 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y	79
Εικόνα 49 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	81
Εικόνα 50 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MIN-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	82
Εικόνα 51 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	83
Εικόνα 52 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας	84
Εικόνα 53 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	85
Εικόνα 54 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	86
Εικόνα 55 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x	88
Εικόνα 56 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y	88
Εικόνα 57 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	90
Εικόνα 58 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MIN-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	91
Εικόνα 59 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	92
Εικόνα 60 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας	93
Εικόνα 61 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	94
Εικόνα 62 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	95
Εικόνα 63 Προσομοίωμα με πρόσθετη τοιχοποιία από λιθοδομή για την στοχευμένη αύξηση της δυσκαμψίας στο Α τμήμα κατά τη διεύθυνση y	97
Εικόνα 64 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x	99

Εικόνα 65 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y	99
Εικόνα 66 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	101
Εικόνα 67 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	102
Εικόνα 68 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.....	103
Εικόνα 69 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας	104
Εικόνα 70 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας	105
Εικόνα 71 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.	106
Εικόνα 72 Διάγραμμα επιρροής των επεμβάσεων στην δυσκαμψία του φορέα.....	111

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Απόσπασμα μελέτης με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής του καμπαναριού της Ανατολικής πτέρυγας	23
Πίνακας 2 Μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής με βάση τον EN1996-1-1	24
Πίνακας 3 Απόσπασμα μελέτης με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων ξύλων της Ανατολικής πτέρυγας (EQE Bulgaria AD).....	25
Πίνακας 4 Κανονιστικά κείμενα και πεδίο εφαρμογής για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου του βορδοναρείου	31
Πίνακας 5 Απόσπασμα του σχεδίου Κ.Α.Δ.Ε.Τ. με τις κατηγορίες σπουδαιότητας	32
Πίνακας 6 Απόσπασμα του παραρτήματος 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ με τους ελάχιστους ανεκτούς στόχους αποτίμησης με βάση την κατηγορία σπουδαιότητας	33
Πίνακας 7 Απόσπασμα του παραρτήματος 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ με την στάθμη επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού.....	33
Πίνακας 8 Μηχανικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του προσομοιώματος	40
Πίνακας 9 Στατικά φορτία του κτιρίου του βορδοναρείου	41
Πίνακας 10 Απόσπασμα από το ελληνικό εθνικό προσάρτημα με τις προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ για κτίρια	45
Πίνακας 11 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου για την υφιστάμενη κατάσταση	47
Πίνακας 12 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με τη σύνδεση τοιχίων & κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος & τη σύνδεση πατόξυλων με τη λιθοδομή	67
Πίνακας 13 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της λιθοδομής, επιπρόσθετα των επεμβάσεων της προηγούμενης παραγράφου	78
Πίνακας 14 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με την εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτων, επιπρόσθετα των επεμβάσεων των προηγούμενων παραγράφων	87
Πίνακας 15 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με την προσθήκη των νέων στοιχείων δυσκαμψίας, επιπρόσθετα των επεμβάσεων της προηγούμενης παραγράφου	98

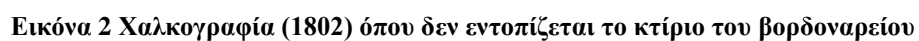
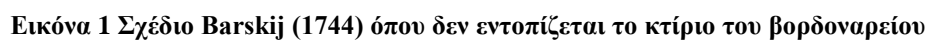
1. Περιγραφή Κτιρίου

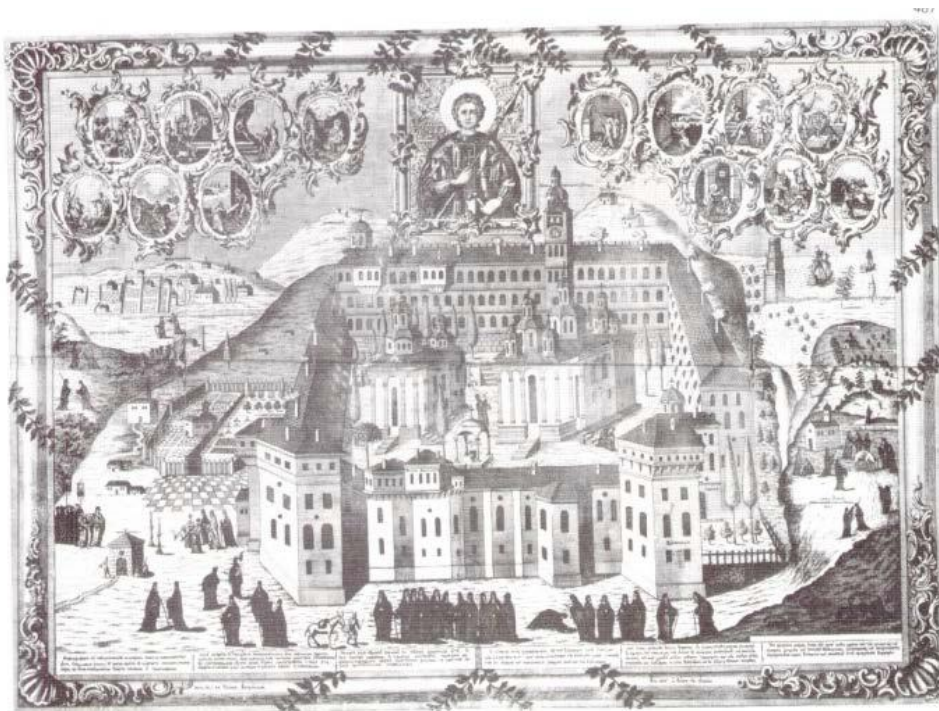
1.1. Θέση

Το κτίριο βρίσκεται εντός της Αθωνικής Χερσονήσου και αποτελεί παράρτημα της Ιεράς Μονής Ζωγράφου Αγίου Όρους. Χωροθετείται περί τα 130m ΒΑ του κυρίως συμπλέγματος της Ιεράς Μονής και περιβάλλεται από λοιπά κτίσματα και δάσος σε απόλυτο υψόμετρο περί τα 160m.

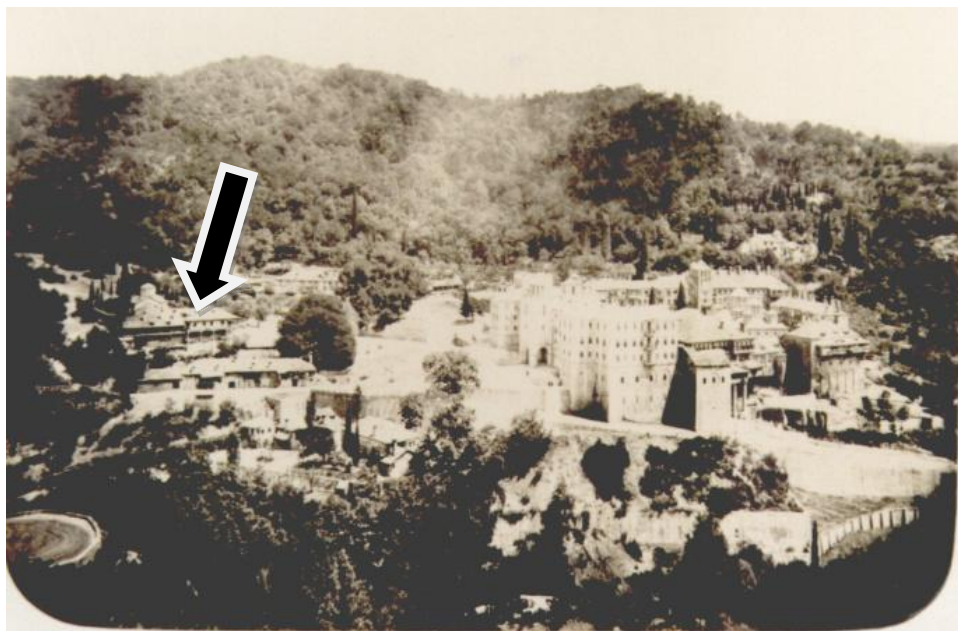
1.2. Ιστορικά Στοιχεία

Το κτίριο ιστορικά εντοπίστηκε ότι έχει κατασκευαστεί περί το 1850 ως βορδοναρείο για τη φιλοξενία των ζώων που χρησιμοποιήθηκαν για κατασκευαστικές εργασίες στη δυτική πτέρυγα της Ι.Μ. Ζωγράφου. Η πληροφορία προέρχεται από τον 1^ο Επίτροπο της Ι.Μ. σε σχετική συζήτηση επί του θέματος. Η αρχική του μορφή διαφέρει από την υφιστάμενη, καθώς στο ιστορικό υλικό έως και το 1879 φαίνεται να αποτελείται από ένα μόνο τμήμα μορφής παραλληλόγραμμου. Με βάση πίνακα του 1896 (Εικόνα 8), φαίνεται ότι η προσθήκη που καθιστά το κτίριο ως σχήματος «Γ», έχει πραγματοποιηθεί μεταγενέστερα, δηλαδή μεταξύ του 1879 και του 1896 και με τρόπο ασύνδετο με το προϋπάρχον τμήμα. Το ανωτέρω επιβεβαιώθηκε με την εκτενή επιτόπου έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο κτίσμα. Η ολοκληρωτική κατάρρευση της στέγης και των πατωμάτων του 2^{ου} τμήματος, εκτιμάται από αεροφωτογραφίες ότι συνέβη πρόσφατα και συγκεκριμένα μετά το 2013. Ως κατασκευή απεικονίζεται τμηματικά σε έργα τέχνης από το 1870 και μετά, (Εικόνες 4-8).

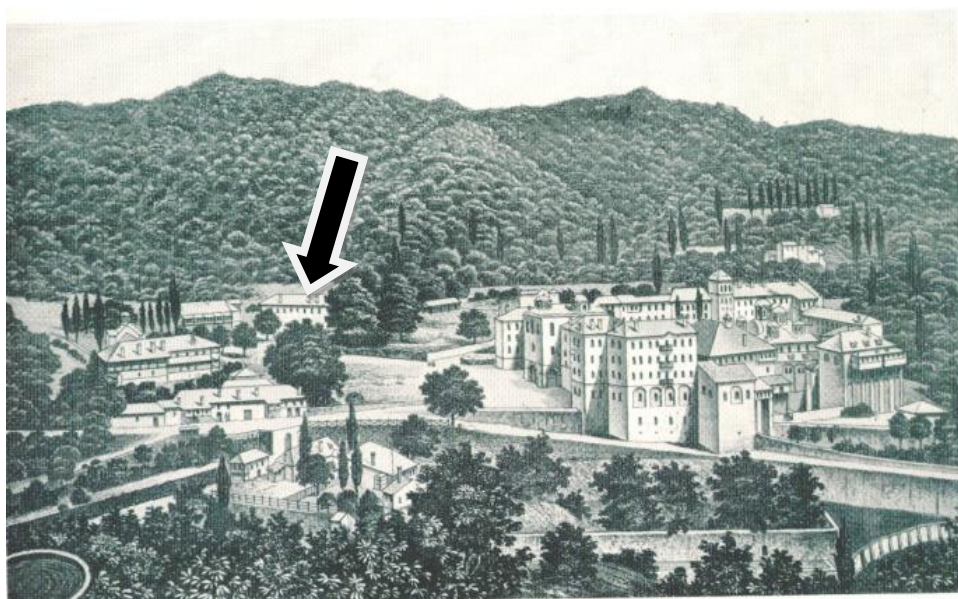




Εικόνα 3 Χαλκογραφία (1836) όπου δεν εντοπίζεται το κτίριο του βορδοναρείου



Εικόνα 4 Φωτογραφία Sebastianov (1870-1873) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου



Εικόνα 5 Λιθογραφία (1875-1891) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου



Εικόνα 6 Πίνακας Veniamin μοναχού (1879) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου



Εικόνα 7 Εικόνα στην τράπεζα της Ι.Μ. (1879) όπου εντοπίζεται κτίσμα στον χώρο του βορδοναρείου



Εικόνα 8 Πίνακας (1896) όπου εντοπίζεται το κτίσμα του βορδοναρείου στην τελική του σημερινή γεωμετρική μορφή

Σε ότι αφορά σε σύγχρονες επεμβάσεις, το παλαιότερο τμήμα έχει υποστεί μερική ανακατασκευή το 2019, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος και ως

εργαστήριο συντήρησης και αναπαλαίωσης παλαιών στοιχείων από ξύλο. Κατά την ανακατασκευή προστέθηκε δάπεδο από οπλισμένο σκυρόδεμα στην στάθμη ισογείου, επισκευάστηκε το πάτωμα του 1^{ου} επιπέδου και η στέγη αποφορτίστηκε από την αρχική της κάλυψη, η οποία πιθανόν αποτελούταν από σχιστόπλακες και επισκευάστηκε με νέα εξωτερική κάλυψη από απλό ασφαλτόπανο. Οι ανωτέρω επεμβάσεις κατέστησαν κατά κάποιο τρόπο λειτουργικό το εν λόγω τμήμα, χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποιο τεκμήριο αντοχής σε στατικά και δυναμικά κανονιστικά φορτία.

Στοιχεία που να προδίδουν έκθεση σε πυρκαγιά, δεν εντοπίστηκαν, αλλά είναι βέβαιο ότι το κτίριο έχει εκτεθεί σε σεισμική δράση, ως φαίνεται στο σχετικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

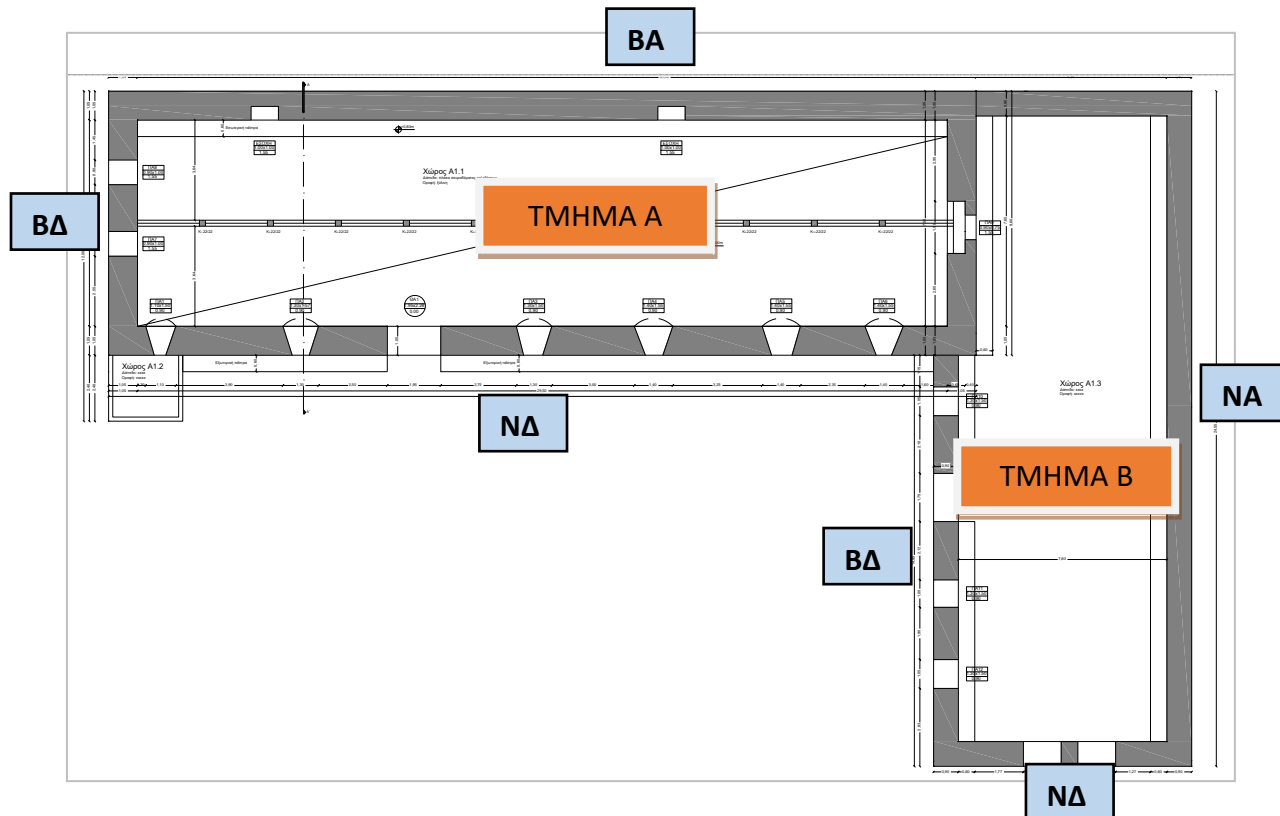
Δυστυχώς δεν εντοπίστηκαν λοιπά ιστορικά στοιχεία από το αρχείο της Ι.Μ. Ωστόσο, πρόκειται πάντα σύμφωνα με την άποψη του 1^{ου} Επιτρόπου, για το μοναδικό υφιστάμενο πλέον κτίριο αυτής της χρήσης σε όλο το Άγιο Όρος, και ως τέτοιο αξίζει και επιβάλλεται να επισκευαστεί και να ενισχυθεί, προκειμένου να καταστεί λειτουργικό ανεξαρτήτως μελλοντικής χρήσης.

1.3. Μορφή – Αρχιτεκτονική Δομή – Στοιχεία Στατικού Συστήματος

1.3.1 Γενικά

Το υπό έρευνα κτίριο αποτελείται από 2 κυρίως επίπεδα (1^ο και 2^ο) και έχει γενική κάτοψη σχήματος Γ με δύο διακριτά τμήματα (Α και Β), (Εικόνα 9). Αποτελείται από φέρουσες τοιχοποιίες σημαντικού πάχους με ημιλαξευτά φυσικά λιθοσώματα ή αργούς λίθους με κονίαμα και ξύλινα διαζώματα. Ως προς τον τρόπο δόμησης, κατά τόπους οι τοιχοποιίες μπορούν να χαρακτηριστούν κανονικές καθ' ύψος, αλλά σε λοιπά τμήματα της κατασκευής εντοπίζεται έλλειψη κανονικότητας, αφού δεν υπάρχει σαφής οριζόντια διάταξη λιθοσωμάτων και βαθμιδωτή διάταξη αρμών (Σπυράκος, 2019). Ως προς την έννοια του πάχους, οι τοιχοποιίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως δίστρωτες ή μικτές. Σε όλες τις τοιχοποιίες εντοπίστηκαν κυρίως οριζόντια αλλά και κάποια ελάχιστα κατακόρυφα ξύλινα διαζώματα. Επιπρόσθετα, σε πολύ περιορισμένα τμήματα της κατασκευής εντοπίστηκαν ελάχιστοι ξυλόπηκτοι τοίχοι (τσατμαδότοιχοι), οι οποίοι οριοθετούν, μικρής επιφάνειας, χώρους δευτερεύουσας χρήσης. Τα πατώματα και η στέγη, όπου εντοπίζονται, αποτελούνται από ξύλινα στοιχεία. Κάτωθι, παρατίθεται

αναλυτικότερη περιγραφή της δομής του κτιρίου του βορδοναρείου ανά τμήμα και ανά επίπεδο.



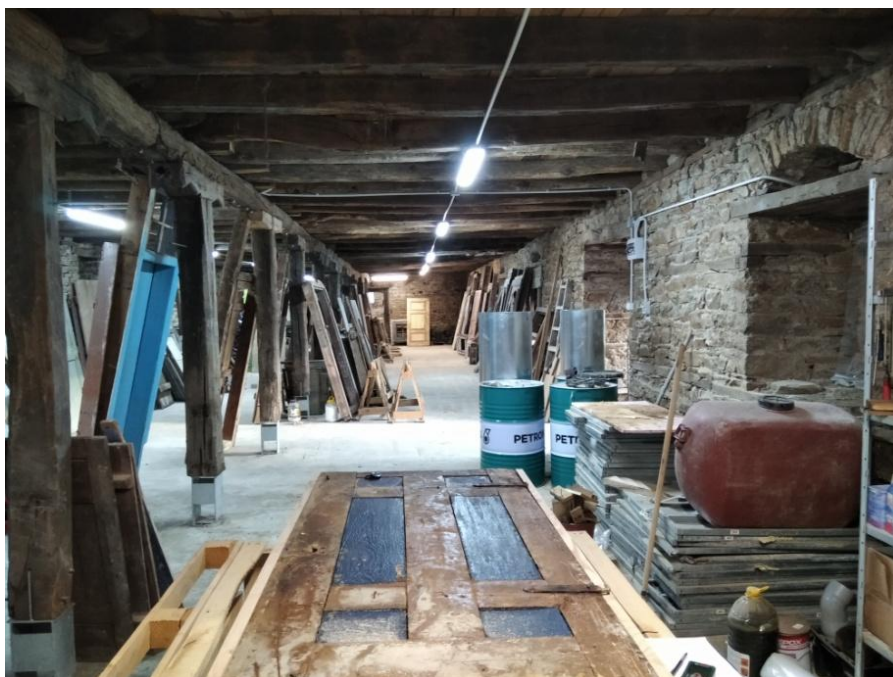
Εικόνα 9 Γενική κάτοψη του κτιρίου του βορδοναρείου. Με κυανό χρώμα σημειώνεται ο χαρακτηρισμός των τοιχοποιιών με βάση τον προσανατολισμό τους

1.3.2 Τμήμα Α

Το τμήμα Α φαίνεται να είναι παλαιότερο και κατασκευασμένο έτσι ώστε να εξυπηρετεί αυτόνομα τη χρήση του. Η είσοδος του εντοπίζεται ότι ήταν αρχικά προς τα ΝΑ και κατόπιν μετά την κατασκευή του τμήματος Β, κτίστηκε με οπτόπλινθους και δημιουργήθηκε ενδεχομένως νέα κύρια είσοδος στην ΝΔ λιθοδομή. Στην ΝΔ πλευρά του τμήματος Α υπάρχει εκτεταμένος εξώστης δομημένος εξολοκλήρου με ξύλινα στοιχεία, ήτοι σανίδωμα επί σειράς πατόξυλων επί δοκών ποταμών και επί υποστυλωμάτων.

Εντός του 1^{ου} επιπέδου του τμήματος Α (Εικόνα 10), υπάρχει ενιαίος χώρος διαστάσεων 29.50m x 7.50m στον οποίο εντοπίζονται «ταϊστρες» από λιθοδομή κατά μήκος του ΒΑ τοίχου. Η τοιχοποιία είναι πάχους περί τα 1.05m και είναι ενισχυμένη με οριζόντια ξύλινα διαζώματα. Η οροφή του 1^{ου} επιπέδου αποτελείται από σανίδωμα επί ξύλινων αμφιέριστων δοκών, οι οποίες εδράζονται αφενός σε κεντρικό κατά μήκος του χώρου «ποταμό» και αφετέρου σε «δοκοθήκες» στις επιμήκεις λιθοδομές. Ο κεντρικός

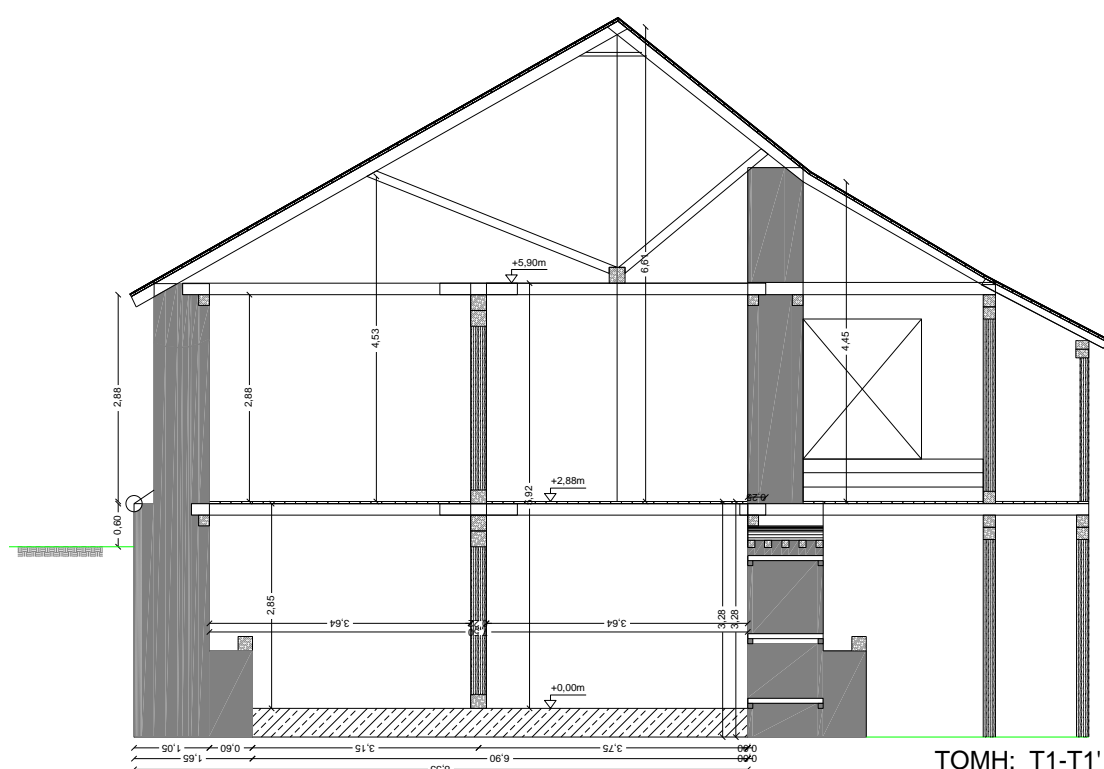
«ποταμός» με τη σειρά του εδράζεται σε έντεκα (11) ξύλινα υποστυλώματα, τα οποία στηρίζονται αρθρωτά στη βάση τους και διαθέτουν «μαξιλάρια» στην κορυφή τους. Το δάπεδο του χώρου αποτελείται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος σύγχρονης κατασκευής και σημαντικού πάχους ίσου με 0.40m. Σε ότι αφορά στα ανοίγματα, ο χώρος του 1^{ου} επιπέδου του τμήματος Α, διαθέτει έξι (6) παράθυρα και μία (1) θύρα στην ΝΔ λιθοδομή και δύο (2) παράθυρα στην ΒΔ όμοια. Στην ΝΑ λιθοδομή εντοπίζεται αποτύπωμα θύρας, η οποία έχει κτιστεί με οπτόπλινθους για λειτουργικούς προφανώς λόγους μετά την κατασκευή του Β τμήματος. Το άνοιγμα των παραθύρων είναι μεταβαλλόμενο από μέσα προς τα έξω.



Εικόνα 10 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 1^{ου} επιπέδου (ισογείου) του τμήματος Α

Εντός του 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Α (Εικόνα 11), υπάρχει ενιαίος χώρος διαστάσεων 29.50m x 7.50m. Η λιθοδομή είναι πάχους περί τα 0.77m και είναι ενισχυμένη με οριζόντια ξύλινα διαζώματα. Το δάπεδο αποτελείται από ξύλινες σανίδες και είναι σε αρκετά καλή κατάσταση. Η οροφή του 2^{ου} επιπέδου (Εικόνα 12) αποτελείται από ασύμμετρη δομή στέγης με μερικώς αιωρούμενα ζευκτά ανά 1.00m, η οποία καλύπτεται εξωτερικά από ασφατόπανο επί πετσώματος με κλίση περί τις 30°, το οποίο εδράζεται απευθείας σε αμείβοντες. Οι αμείβοντες με τη σειρά τους στηρίζονται ενδιάμεσα σε αντηρίδες, οι οποίες καταλήγουν σε διαμήκη ποταμό έκκεντρα τοποθετημένο ως προς τη

γεωμετρία του κτιρίου. Ο εν λόγω ποταμός στηρίζεται επί εγκάρσιων ελκυστήρων, στηριζόμενων στα άκρα τους σε «δοκοθήκες» στις εκατέρωθεν λιθοδομές επί στρωτήρων και ενδιάμεσα σε ποταμό στηριζόμενο στα υποστυλώματα του συγκεκριμένου επιπέδου. Η στέγη εκτείνεται εκτός λιθοδομής προς τα ΝΔ, προκειμένου να στεγάσει τον εξωτερικό ξύλινο εξώστη. Ο κεντρικός «ποταμός» με τη σειρά του εδράζεται σε έντεκα (11) ξύλινα υποστυλώματα, τα οποία στηρίζονται αρθρωτά σε ξύλινη κάτω δοκό «ποταμό» και διαθέτουν «μαξιλάρια» στην κορυφή τους.



Εικόνα 11 Σχηματική τομή 1^{ου} και 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Α

Εντός του 2^{ου} επιπέδου εντοπίζονται τρεις (3) διαμορφωμένοι χώροι με τοιχοποιία από «τσατμά» και ένας εγκάρσιος διάδρομος. Από πλευράς ανοιγμάτων, ο χώρος του 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Α, διαθέτει τέσσερα (4) παράθυρα και τρεις (3) θύρες στην ΝΔ λιθοδομή, ένα (1) παράθυρο στην ΒΔ όμοια, τρία (3) παράθυρα και δύο (2) θύρες στην ΒΑ λιθοδομή και δύο (2) παράθυρα στην ΝΑ λιθοδομή. Το άνοιγμα των περισσότερων παραθύρων είναι μεταβαλλόμενο από μέσα προς τα έξω. Στην ΝΑ λιθοδομή τα παράθυρα έχουν κτιστεί πιθανότατα με οπτόπλινθους και σοβά για λειτουργικούς προφανώς λόγους

μετά την κατασκευή του Β τμήματος. Στο συγκεκριμένο επίπεδο εντοπίζονται δύο (2) τζάκια στην ΝΑ και στην ΝΔ λιθοδομή.



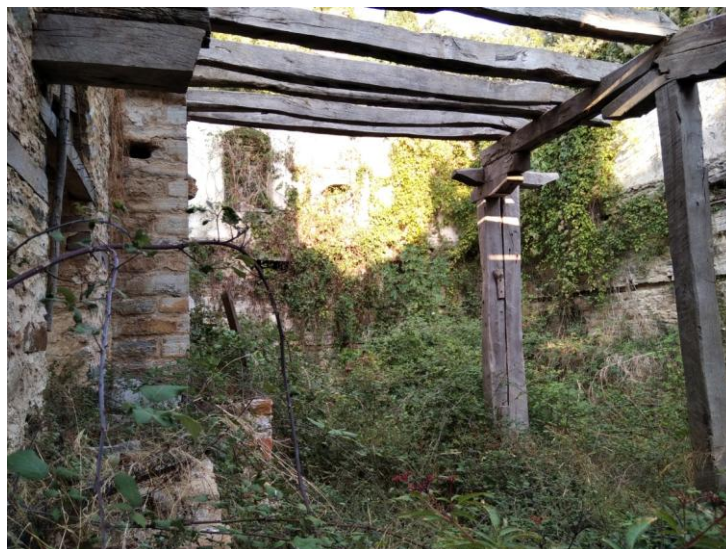
Εικόνα 12 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Α

Εικόνα 13 Άποψη της δομής της στέγης στο 2^ο επίπεδο του τμήματος Α

1.3.3 Τμήμα Β

Στο μεταγενέστερα κατασκευασμένο τμήμα Β, φαίνεται ότι αρχικά υπήρχαν μορφωμένα δύο (2) επίπεδα από τα οποία διασώζονται ελάχιστα κεντρικά υποστυλώματα και κάποια πατόξυλα. Η στέγη εκτιμάται από αεροφωτογραφίες ότι κατέρρευσε ολοκληρωτικά μετά το 2013. Η κάτοψη του Β τμήματος παρουσιάζει εσωτερικές διαστάσεις 22.75m x 7.60m. Το πάχος της λιθοδομής μετρήθηκε ίσο με 0.90m. Εσωτερικά του 1^{ου} επιπέδου (Εικόνα 14), εντοπίζονται «ταΐστρες» από λιθοδομή κατά μήκος των ΝΑ και ΒΔ τοίχων. Τα απομεινάρια των άδειων δοκοθηκών και των λιγιστών ξύλινων στοιχείων μαρτυρούν την πρότερη ύπαρξη πατώματος όμοιου από πλευράς δόμησης με το αντίστοιχο του Α τμήματος. Σχετικά με τα ανοίγματα του 1^{ου} επιπέδου του τμήματος Β, υπάρχουν δύο (2) θύρες στην ΝΔ λιθοδομή, τρία (3) παράθυρα και μία (1) θύρα στη ΒΔ, δύο (2) παράθυρα στην ΒΑ και ένα (1) παράθυρο στην ΝΑ. Αντίστοιχα, στο 2^ο επίπεδο εντοπίζονται τέσσερα (4) παράθυρα στην ΝΔ λιθοδομή, τέσσερα (4) παράθυρα και μία (1) θύρα στη ΒΔ, δύο (2) παράθυρα στην ΒΑ και έξι (6) παράθυρα στην ΝΑ όμοια. Πλήθος των παραθύρων έχουν κτιστεί και σοβαντιστεί. Εντός του 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Β (Εικόνα 15), εντοπίζονται πέντε (5) τζάκια με αντίστοιχες καμινάδες από οπτοπλινθοδομή. Σημειώνεται ότι λόγω της απουσίας κάλυψης σε συνδυασμό με το

εύφορο από τις ακαθαρσίες των ζώων έδαφος, όλο το τμήμα Β έχει κατακλειστεί από πυκνή βλάστηση, δυσχεραίνοντας σημαντικά το έργο της αποτύπωσης.



Εικόνα 14 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 1^{ου} επιπέδου (ισογείου) του τμήματος Β



Εικόνα 15 Άποψη του εσωτερικού χώρου του 2^{ου} επιπέδου του τμήματος Β

2. Γεωλογικές και Σεισμολογικές Συνθήκες Περιοχής Έρευνας

2.1. Γεωτεκτονικές & Γεωλογικές Συνθήκες

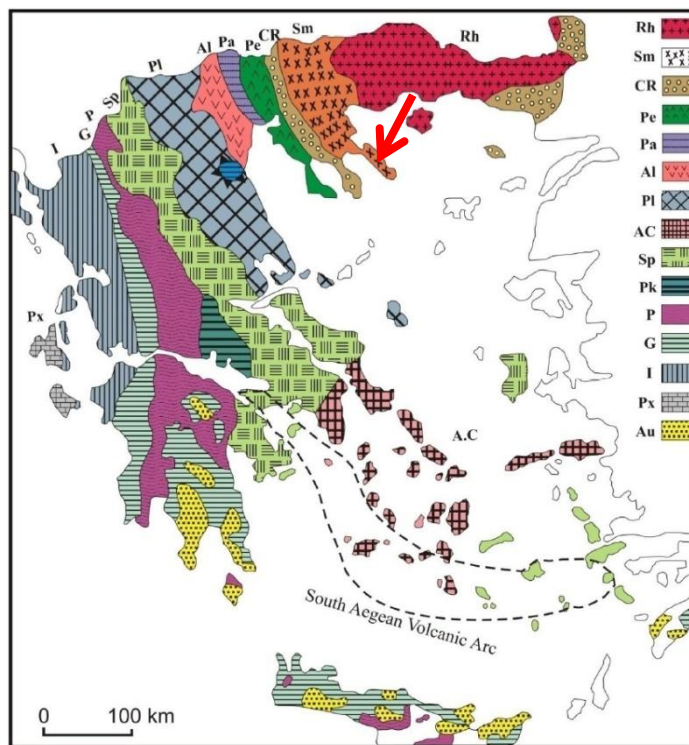
Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το κτίριο που ερευνάται γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα, η οποία εκτείνεται μεταξύ της Μάζας της Ροδόπης και της Περιροδοπικής Ζώνης, (Εικόνα 16). Σύμφωνα με τα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών που έχουν προταθεί, η Σερβομακεδονική θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό, πιθανόν τμήμα της Ευρασίας μαζί με τη μάζα της Ροδόπης. Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται αποκλειστικά από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και έχει υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι την τελική της διαμόρφωση.

Η πρώτη κύρια τεκτονική δράση ήταν προ Άνω Παλαιοζωική και σύμφωνα με απόψεις Γιουγκοσλάβων γεωλόγων πρόκειται για μία προ-Κάμβριο ορογενετική περίοδο κατά την οποία μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής. Η κύρια σχιστότητα των πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής έλαβε χώρα κατά το Ιουρασικό, κατά τη δεύτερη ορογενετική περίοδο. Νεώτερες έρευνες που αφορούν στην τεκτονική και μεταμόρφωση των πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής, διαπιστώνουν ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα υφίστανται μία πλαστική εκτατική τεκτονική, η οποία εξελίσσεται από το Άνω Κρητιδικό μέχρι και το Νέο-Τριτογενές.

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής διαιρείται σε δύο μεγάλες ενότητες πετρωμάτων: την κατώτερη και αρχαιότερη ενότητα των Κερδυλλίων και την ανώτερη (νεώτερη) ενότητα του Βερτίσκου (Εικόνα 17). Σύμφωνα με τους Kockel & Walther 1968, μεταξύ των δύο ενοτήτων υπάρχει συμφωνία και ομαλή μετάβαση από την κατώτερη στην ανώτερη. Όμως ανάμεσα στις δύο σειρές-ενότητες υπάρχει μία σαφής τεκτονική επαφή, η φύση και η σημασία της οποίας δεν έχει ακόμα διευκρινισθεί.

Το υπό έρευνα κτίριο της Ι.Μ. Ζωγράφου του Αγίου όρους εντοπίζεται στην ενότητα Βερτίσκου η οποία κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι τα σύνορα. Γενικά, συνίσταται από μία ακολουθία μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ιδίως ορίζοντες της συμμετέχουν μεταγάββροι - μεταδιαβάσες και ορθο-αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών και βρίσκονται ως

ενδιαστρώσεις και φακοειδή σώματα μέσα στους γνεύσιους. Συχνά παρεμβάλλονται σερπεντινικά σώματα με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα.



Εικόνα 16 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιτροδοπική ζώνη, [Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας] = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983). Με βέλος επισημαίνεται η περιοχή έρευνας

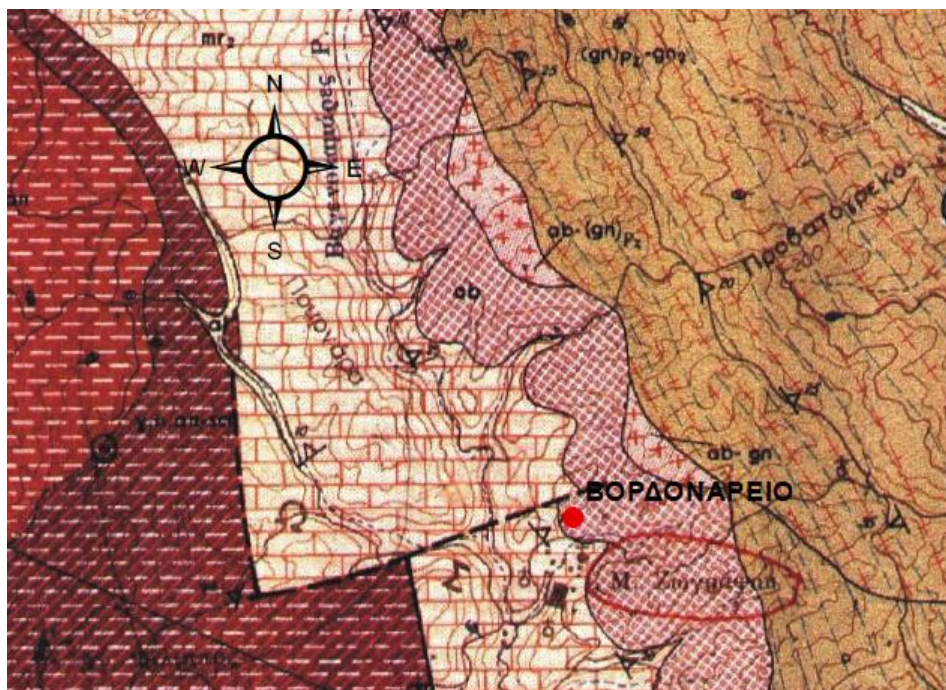


Εικόνα 17 Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1. Μεταλλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμόνα, 2. Ενότητα του Βερτίσκου, 3. Ενότητα των Κερδυλλίων, 4. Μάζα της Ροδόπης, 5. Περιοδοπική Ζώνη, 6. Ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμόνα), 7. Δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής. Με βέλος επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.

Από γεωτεκτονικής άποψης το σχήμα και η μορφολογία της χερσονήσου του Άθω θεωρείται ότι οφείλεται κυρίως στα κανονικά ρήγματα που δραστηριοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων εφελκυστικών γεγονότων D1 και D2, ήτοι από το Άνω Μειόκαινο έως το Παλαιόκαινο και από το Κ. Πλειστόκαινο έως σήμερα αντίστοιχα. Κατά το τεκτονικό γεγονός D1 δραστηριοποιούνται κυρίως ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ως κανονικά, ενώ κάποια από τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης δραστηριοποιούνται ως πλαγιοκανονικά. Το τεκτονικό γεγονός D2 αποτελεί το τελευταίο παραμορφωτικό γεγονός με εφελκυσμό σε διεύθυνση Β-Ν, που οδηγεί στη δραστηριοποίηση κανονικών ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνση καθώς και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων σε άλλες διευθύνσεις με κύρια τη ΒΔ-ΝΑ, (Γεωργιάδης, 2007).

Σύμφωνα με τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο χάρτη “Χερσόνησος Άθω (Μονή Βατοπεδίου - Άθω)” κλίμακας 1:50.000 (Εικόνα 18), η Ι.Μ. Ζωγράφου όπως και το υπό έρευνα κτίριο του βορδοναρείου, εδράζονται εντός του σχηματισμού των

αμφιβολιτών. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αμφιβολιτών και διμαρμαρυγιακών γενεσίων οι οποίοι ανήκουν στην ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής Μάζας. Επιπλέον, δυτικά της Ι.Μ. Ζωγράφου εκτείνεται ο ανώτερος ορίζοντας μαρμάρων της ενότητας των Κερδυλλίων, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλο πάχος από 30 έως 300m.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ



Παρείσακτες κοίτες, φλέβες και αποφύσεις του γρανοδιορίτη τύπου Χιλανδαρίου

ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ



Πλαγιокλαστικός-μικροκλινικός γενεύσιος, εναλασσόμενος με μεταιζήματα του σχηματισμού Βερτίσκου



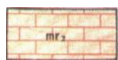
Αμφιβολίτες: σκοτεινοπράσινοι ή μαύροι, σε λεπτά στρώματα με καλή στρώση, λεπτό-έως χονδρόκοκκοι, με μεγάλη σκληρότητα



Αμφιβολίτες εναλασσόμενοι με πλαγιокλαστικούς-μικροκλινικούς γενεύσιους



Σχηματισμός Βερτίσκου, Διμαρμαρυγιακοί γενεύσιοι: σκοτεινότεφροι ή καστανοί, λεπτό-έως μεσόκοκκοι, μονότονοι, με τοπικές μεταβάσεις προς γενεύσιους με οφθαλμοειδή ιστό και οφθαλμογενεύσιους και Βιοτιτικοί γενεύσιοι.



Σχηματισμός Κερδυλλίων: Ανώτερος ορίζοντας μαρμάρων, μάρμαρα γαλαζωπά ή λευκά, χονδρόκοκκα παχυστρωματώδη, με εντρώσεις αμφιβολιτών

Εικόνα 18 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη, κλίμακας 1:50.000, του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο χάρτη “Χερσόνησος Άθω (Μονή Βατοπεδίου - Άθω)”, όπου απεικονίζεται η θέση του υπό έρευνα κτιρίου του βορδοναρείου

2.2. Σεισμοτεκτονικά Στοιχεία

Η χερσόνησος του Άθω εκτείνεται στο βόρειο Αιγαίο, καλύπτοντας μήκος περίπου 50km και πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 8 με 12km. Η σεισμικότητα της περιοχής του Αιγαίου και της λεκάνης της Μεσογείου, είναι μία από τις μεγαλύτερες στη δυτική Ευρασία. Σύμφωνα με ιστορικά, αρχαιολογικά και γεωλογικά στοιχεία είναι εμφανές ότι στη Μεσόγειο, συμπεριλαμβανομένου του Αιγαίου, καταγράφονται μεγάλοι υποθαλάσσιοι ή παράκτιοι σεισμοί, υποδηλώνοντας το υψηλό σεισμικό δυναμικό της περιοχής, οι οποίοι συχνά συνοδεύονται από την εκδήλωση του φαινομένου «τσουνάμι», το οποίο διαδίδεται σε αρκετή απόσταση προς το εσωτερικό της ακτής (Papadopoulos et al, 2014).

Η γεωδυναμική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου χαρακτηρίζεται από δύο ενεργές διαδικασίες, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 19: 1) την υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρασίας και 2) τη μετακίνηση της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα δυτικά, η οποία σχηματίζει στα βόρεια περιθώριά της το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας. Ειδικότερα, η σεισμοτεκτονική κατάσταση της χερσονήσου του Άθω ορίζεται από δύο κύριες γεωτεκτονικές δομές, όπου η πρώτη αφορά στο Βόρειο Αιγαίο και η δεύτερη στο κεντρικό τμήμα της ηπειρωτικής Βόρειας Ελλάδας.

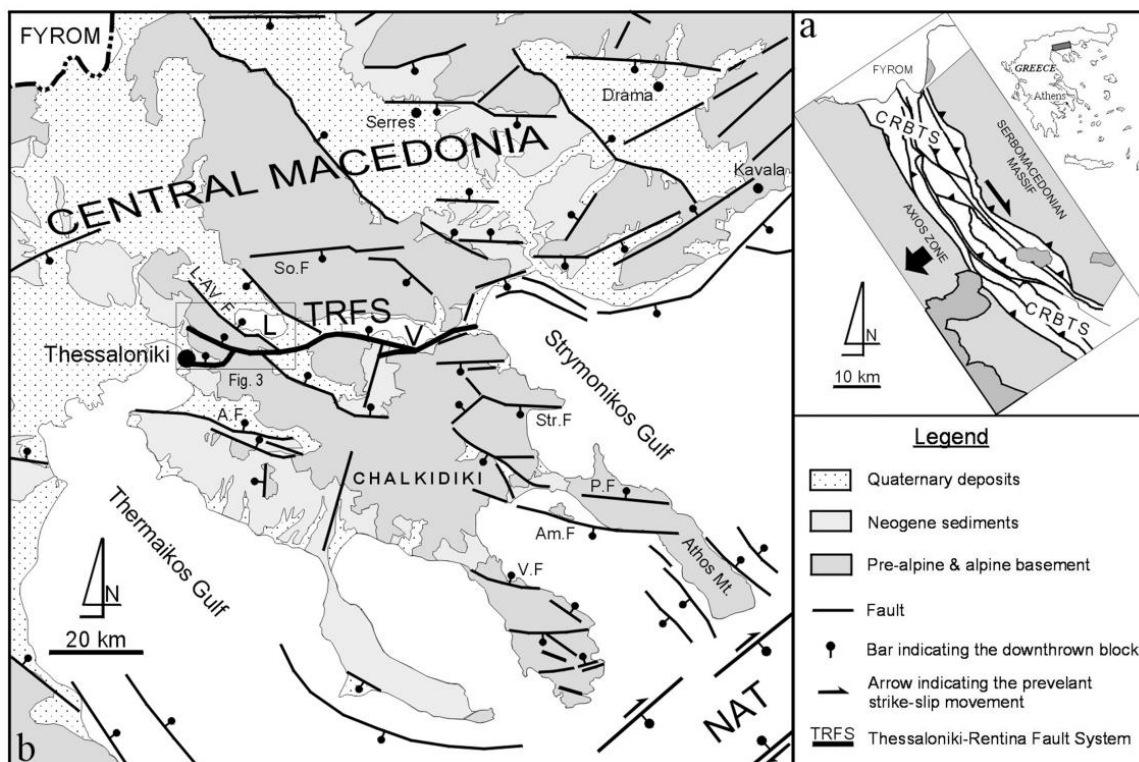
Το Βόρειο Αιγαίο κυριαρχείται από παρακλάδια του ρήγματος της Ανατολίας, τα οποία εκτείνονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά, εντός της εφελκυστικού πεδίου της περιοχής, (Papadopoulos et al, 2002· Kreemer et al, 2004· Karabulut et al, 2006). Κατά μήκος του νότιου άκρου της χερσονήσου του Άθω, βόρεια της τάφρου του Βορείου Αιγαίου και σε απόσταση περίπου 31km από το υπό έρευνα κτίριο της Ι.Μ. Ζωγράφου, εντοπίζεται ενεργό, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, δεξιόστροφο ρήγμα, οριζόντιας μετατόπισης. Το ρήγμα του Άθω όπως ονομάζεται, έχει μήκος 100km και σύμφωνα με τους Roussos and Lyssimachou (1991), Koukouvelas and Aydin (2002), η δεξιόστροφη οριζόντια μετατόπιση κατά μήκος του ρήγματος είναι της τάξης των 5-7km. Το ρήγμα αυτό

αποτελεί την πηγή του σεισμού μεγέθους 7.2 ρίχτερ, ο οποίος εκδηλώθηκε στις 8 Νοεμβρίου 1905 και κόστισε τη ζωή έντεκα ανθρώπων, προκαλώντας τσουνάμι, καταπτώσεις βράχων και εκτεταμένες υλικές ζημιές στο Άγιο όρος. Σύμφωνα με καταγεγραμμένη μαρτυρία του μακαριστού Γέροντα Αβιμέλεχ Μικραγιαννανίτη, υπέστησαν πολλές καταστροφές υποδομές των Μονών του Αγίου όρους, όπως η Μονή των Ιβήρων, η Μεγίστη Λαύρα και η Σκήτη Καυσοκαλυβίων.

Βορειότερα και περίπου στο μέσο της χερσονήσου του Άθω εντοπίζεται το ρήγμα της Αμμουλιανής, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, με έκταση περίπου 60km και σε απόσταση περίπου 3km από το υπό έρευνα κτίριο της Ι.Μ. Ζωγράφου . Σύμφωνα με βυθομετρικούς χάρτες το δυτικό τμήμα του ρήγματος σχηματίζει κατωφέρεια στον πυθμένα της θάλασσας και συνεχίζει νότια της Αμμουλιανής, διασχίζοντας τη Χερσόνησο του Άθω προς τα ανατολικά. Το δυτικό τμήμα του ρήγματος είναι ένα πλάγιο, κανονικό, αριστερόστροφο ρήγμα. Με βάση τους εμπειρικούς υπολογισμούς των Pavlides and Caputo (2004) και λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό μήκος της σεισμικής ζώνης, ο μέγιστος σεισμός που μπορεί να προκληθεί είναι της τάξης περίπου 7.1 ρίχτερ.

Βόρεια της Αμμουλιανής και σχεδόν παράλληλα με το ρήγμα της Αμμουλιανής, εντοπίζεται το ρήγμα Γοματίου – Ιερισσού με μήκος 25km και σε απόσταση περίπου 3km από το υπό έρευνα κτίριο της Ι.Μ. Ζωγράφου. Με βάση τους εμπειρικούς υπολογισμούς των Pavlides and Caputo (2004) και λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό μήκος της σεισμικής ζώνης, ο μέγιστος σεισμός που μπορεί να προκληθεί είναι της τάξης περίπου 6.8 ρίχτερ.

Σε απόσταση περίπου 36km βόρεια από την Ι.Μ. Ζωγράφου εντοπίζεται το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας, το οποίο αποτελεί μία μεγάλη ρηξιγενής γραμμή με μήκος μεγαλύτερο από 25km. Το ρήγμα του Στρατωνίου έχει διεύθυνση Α-Δ και μήκος περίπου 25km εκ των οποίων 15km στην ξηρά. Στα δυτικά φαίνεται να ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ ρήγμα της Βαρβάρας, μήκους 6km. Το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία της Ιερισσού το 1932, με μέγεθος κύριου σεισμού 7.0 ρίχτερ, (Pavlides & Tranos, 1991).



Εικόνα 19 Γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης της Κεντρικής Μακεδονίας, (TRFS=Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone, A.F.=Anthemountas Zone, L-AV.F.=Lagina-Ag.Vasilios Fault, P.F.=Pirgos Fault (Ρήγμα Γοματίου-Ιερισσού), So.F=Sochos Fault, Str.F.=Stratoni Falut, V.F.=Vourvourou Fault, L.=Langadas Fault, V=Volvi Lake. (τροποποιημένος από Tranos et al. 1999)

Σε συνέχεια των ανωτέρω καθίσταται σαφές ότι το υπό μελέτη κτίριο πλαισιώνεται από σύνολο ενεργών σημαντικών ρηγμάτων σε μικρή απόσταση από αυτά και ως εκ τούτου, η ανάγκη για αποτίμηση της σεισμικής του συμπεριφοράς σε έντονες δυναμικές δράσεις είναι επιτακτική.

3. Συλλογή Στοιχείων – Πληροφορίες για την Αποτίμηση

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ήταν αναγκαία η διερεύνηση και η τεκμηρίωση του υφιστάμενου κτίσματος σε επαρκή έκταση και βάθος, ώστε να καταστούν αξιόπιστα τα δεδομένα, στα οποία θα στηριχθεί η διαδικασία αποτίμησης, αποκατάστασης και ενίσχυσης εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο. Σε συνέχεια των ανωτέρω, πραγματοποιήθηκε καταγραφή και τεκμηρίωση του ιστορικού της κατασκευής και της συντήρησής της, πλήρης αποτύπωση του κτιρίου και της κατάστασής του, καταγραφή των τυχόν φθορών και βλαβών, καθώς και των ενδεχόμενων προσθηκών ή αλλοιώσεων, όπως επίσης και βιβλιογραφική έρευνα για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών από μελέτες άλλων αναστηλωτικών έργων στο αρχείο της Ιεράς Μονής.

3.1. Γεωμετρική Αποτύπωση – Επιθεώρηση Λεπτομερειών

Προϋπόθεση για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό αποτελεί η γνώση της γεωμετρίας του κτίσματος, η οποία περιλαμβάνει τόσο τα φέροντα, όσο και τα μη φέροντα στοιχεία. Για το συγκεκριμένο κτίριο δεν υπήρχε κανένα πρωτογενές στοιχείο, όπως σχέδια ή προγενέστερη έρευνα. Συνεπώς, η συνολική γεωμετρία του φορέα, τα μεγέθη των μελών και οι δομικές λεπτομέρειες προσδιορίστηκαν από διεξοδική έρευνα με εκτενή πολυήμερη αποτύπωση του φορέα με μετροταινία, μέτρο laser και αντιπαραβολή με σχέδια τοπογραφίας της περιοχής, τα οποία συμπεριλαμβάνουν το συγκεκριμένο κτίριο.

Προϊόν αυτής της διαδικασίας αποτελούν τα αναλυτικά σχέδια όψεων, κατόψεων, τομών και λεπτομερειών που παρατίθενται ενδεικτικά αλλά όχι περιοριστικά στα διάφορα κεφάλαια του παρόντος. Τα σχετικά σχέδια περιγράφουν την γεωμετρία του φορέα, επιτρέποντας τον προσδιορισμό των δομικών στοιχείων και των διαστάσεών τους, καθώς και του φέροντος οργανισμού που παραλαμβάνει τις κατακόρυφες και τις πλευρικές δράσεις. Συγκεκριμένα, τα εν λόγω σχέδια περιέχουν όλες τις διαστάσεις των φερόντων στοιχείων, καθώς και αναφορά των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένο κάθε δομικό μέλος και οι συνδέσεις του με άλλα κατακόρυφα ή οριζόντια μέλη. Επίσης, περιγράφουν τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ των στοιχείων και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες σε όλες τις θέσεις όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Στα σχέδια αυτά, περιλαμβάνονται και τα δεδομένα που αφορούν στην σύνδεση μεταξύ των στοιχείων των διαφόρων κατασκευαστικών φάσεων. Μετά το πέρας της διαδικασίας της εκτενούς

αποτύπωσης, κατανοήθηκε πλήρως ο τρόπος και τα υλικά με τα οποία έχει κατασκευασθεί το κτίριο.

Σε συνέχεια των ανωτέρω, κρίνεται ότι το επίπεδο γνώσης σε ότι αφορά στη γεωμετρία της κατασκευής αντιστοιχεί σε «πλήρη γνώση» σύμφωνα με τις επιταγές του EN 1998-3. Ομοίως, κρίνεται ότι ως επίπεδο γνώσης σε ότι αφορά στις λεπτομέρειες δύναται να ληφθεί αυτό της «πλήρους γνώσης», λόγω της συνολικής επί τόπου επιθεώρησης του φορέα. Ωστόσο, η αβεβαιότητα της ακεραιότητας συγκεκριμένων αφανών δομικών στοιχείων θα μπορούσε να οδηγήσει σε θεώρηση κατώτερου επιπέδου γνώσης. Σχολιάζεται ότι το συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης οδηγεί σε επιλογές, οι οποίες έχουν να κάνουν τόσο με την τελική εκτίμηση της ικανότητας των δομικών στοιχείων όσο και με την επιτρεπόμενη κανονιστικά μέθοδο ανάλυσης.

3.2. Υλικά Κατασκευής – Εκτίμηση Μηχανικών Χαρακτηριστικών

Η φέρουσα λιθοδομή του υπό έρευνα κτιρίου της Ι.Μ. Ζωγράφου αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικό πέτρωμα. Ο ασβεστόλιθος αποτελεί ένα τυπικό ιζηματογενές πέτρωμα του οποίου κύριο ορυκτό συστατικό είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε πυριτικά, αργιλικά συστατικά διακρίνεται σε υποκατηγορίες (δολομίτης, πορόλιθος, πυριτικός ασβεστόλιθος κ.α.). Τα ασβεστολιθικά πετρώματα παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικές φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες, στις οποίες οφείλεται η ευρεία χρήση τους και εφαρμογή τους στον τομέα της δόμησης.

Το χρώμα του ασβεστολίθου ποικίλει ανάλογα με τις προσμίξεις (οξείδια σιδήρου κ.α.). Στο παρόν κτίριο το χρώμα του κυμαίνεται από γκρι, κοκκινωπό έως κιτρινωπό και το ειδικό βάρος εκτιμάται περίπου στα 2.5gr/cm^3 .

Ο ασβεστόλιθος θεωρείται ένα ψαθυρό πέτρωμα, το οποίο παρουσιάζει ελαστική συμπεριφορά μέχρι το όριο διαρροής, χωρίς να επιδεικνύει σημαντική πλαστική συμπεριφορά μέχρι να επέλθει απότομα η θραύση του. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ασβεστολίθου παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών, το οποίο εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το πέτρωμα, είτε είναι συμπαγές είτε παρουσιάζει μεγάλο πορώδες και έντονη διάβρωση. Συνεπώς, η θλιπτική αντοχή του κυμαίνεται από πολύ χαμηλές τιμές περίπου 11MPa έως υψηλές τιμές περίπου 100MPa . Στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του λιθοσώματος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μηχανικής συμπεριφοράς της λιθοδομής, ελήφθησαν υπόψη στοιχεία από

μελέτες αναστηλωτικών έργων της Ι.Μ. Ζωγράφου που αφορούν σε κτίρια παρόμοιας δόμησης και ηλικίας δεικνύουν χαρακτηριστική αντοχή λιθοσώματος ίση με $f_b \geq 16.00 \text{ Mpa}$ και αντοχή κονιάματος ίση με $f_m = 1.60 \text{ Mpa}$. Οι τιμές αυτές κρίθηκαν ως εύλογες με βάση την επιστημονική γνώση και την μακροσκοπική εξέταση δειγμάτων που ελήφθησαν από σημεία του κτιρίου και στις δύο στάθμες του (Εικόνα 20).



Εικόνα 20 Δείγματα λίθων και κονιαμάτων από το βορδοναρείο

3.2.1. Αντοχή Δομικών Στοιχείων

Σε ότι αφορά στην αντοχή των δομικών στοιχείων, αναζητήθηκαν πληροφορίες από μελέτες αναστηλωτικών έργων σε κτίσματα της Ι.Μ. Ζωγράφου. Ενδεικτικά, παρατίθεται για τη λιθοδομή απόσπασμα της μελέτης του Καθηγητή κου Γεωργίου Πενέλη, της αναστήλωσης του καμπαναριού της Ανατολικής πτέρυγας (κατασκευή περί το 1758) (Πίνακας 1).

Masonry of chiseled limestone and bricks (Masonry 1)	
Compressive strength	$f_k = 3.38 \text{ MPa}$
Tensile strength	$f_{tk} = 0.487 \text{ MPa}$
Shear strength	$f_{vk} = 0.195 + 0.52\sigma_d \leq 1.00 \text{ MPa}$
Bending resistance in plane	$f_{wx} = 0.487 \text{ MPa}$
Bending resistance of the plane	$f_{wx1} = 0.365 \text{ MPa}$ (parallel to bed joints) $f_{wx2} = 0.630 \text{ MPa}$ (perpendicular to bed joints)
Modulus of elasticity	$E = 2040 \text{ MPa}$
Poisson ratio	$\nu = 0.25$
Shear modulus	$G = 800 \text{ MPa}$

Πίνακας 1 Απόσπασμα μελέτης με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής του καμπαναριού της Ανατολικής πτέρυγας

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2) παρατίθενται τα μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής όπως υπολογίστηκαν με βάση τον κανονισμό EN1996-1-1.

	ΑΝΑΦΟΡΑ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΤΙΜΗ	Σ.Ι.
ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΟΣ (ΟΜΑΔΑ 1)	EN1996-1-1	$f_b =$	16.00	Mpa
ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	EN1996-1-1	$f_m =$	1.60	Mpa
ΣΤΑΘΕΡΑ ΠΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	EN1996-1-1 (TABLE 3.3)	$K =$	0.45	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΑΠΟ ΛΑΞΕΥΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	EN1996-1-1 (EQ 3.2)	$f_k = K * f_b^{0.7} * f_m^{0.3} =$	3.61	Mpa
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$f_{ct} = \frac{1}{3} * \sqrt{f_{cm}} =$	0.32	Mpa
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (ΕΛΛΕΙΨΕΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ)	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$\lambda =$	0.70	
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$f_{ct,wp} = \lambda * f_{ct} =$	0.22	Mpa
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΟΣ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$f_{ts} = \frac{1}{10} * f_b =$	1.60	Mpa
ΥΨΟΣ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΟΣ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$t_b =$	120.00	mm
ΠΛΑΤΟΣ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΟΣ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$t_b =$	200.00	mm
ΠΑΧΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$t_m =$	20.00	mm
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ 1	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$\lambda * f_{ct,wp} * (2 * t_b + t_m) + f_{ct,wp} * t_b =$ $1.25 * (2 * t_b + t_m)$	0.31	Mpa
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ 2	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$\lambda * f_{ct,wp} * (t_b + t_m) + f_{ct,wp} * t_b =$ $2 * 1.25 * (t_b + t_m)$	0.64	Mpa
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ 3	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$2 * \lambda * f_{ct,wp} =$	0.44	Mpa
ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΤΕΛΙΚΗ	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$f_{wt,h} =$	0.31	Mpa
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΠΙΑ ΛΑΞΕΥΤΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Μ1-Μ2	EN1996-1-1 (TABLE 3.4)	$f_{vko} =$	0.10	Mpa
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΑΠΟ ΛΑΞΕΥΤΟΥΣ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	EN1996-1-1 (EQ 3.5)	$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 * \sigma =$	0.10+0.4*σ<1.00	Mpa
ΑΝΩ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ 1	EN1996-1-1 3.6.2 (3)	$0.065 * f_b =$	1.04	Mpa
ΑΝΩ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ 2	ΣΜΑ61 ΤΟΜ.2	$f_{vts} =$	1.00	Mpa
ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΠΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΣΤΟΥΣ ΑΡΜΟΥΣ	EN1996-1-1 3.6.3 (1-3)	$f_{xk1} =$	0.05	Mpa
ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΠΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟ ΣΤΟΥΣ ΑΡΜΟΥΣ	EN1996-1-1 3.6.3 (1-3)	$f_{xk2} =$	0.20	Mpa
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	EN1996-1-1 3.7.2 (2)	$E_{eff} =$	1000.00	
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	EN1996-1-1 3.7.2 (2)	$E = K_E * f_k =$	3608.55	Mpa
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		$E_{ρρρρ} = 0.50 * E =$	1804.27	Mpa
ΛΟΓΟΣ POISSON		$\nu =$	0.25	
ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ		$G = 0.40 * E$	721.71	Mpa
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ		$\gamma =$	15.00	kN/m3

Πίνακας 2 Μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής με βάση τον EN1996-1-1

Μετά από κριτική αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων πηγών, ελήφθησαν προς την πλευρά της ασφάλειας, οι τιμές του Πίνακα 2. Σημειώνεται ότι οι τιμές αυτές, απουσία άλλων στοιχείων, αν και χαρακτηριστικές, αντιμετωπίστηκαν ως μέσες για τους σκοπούς της αποτίμησης.

Σχετικά με τα ξύλινα στοιχεία του κτιρίου του βορδοναρείου, οι τιμές των μηχανικών τους χαρακτηριστικών αναζητήθηκαν στη μελέτη αναστήλωσης της Ανατολικής πτέρυγας της Ι.Μ. Ζωγράφου που διεξήχθη από την εταιρία «EQE Bulgaria AD», (Πίνακας 3).

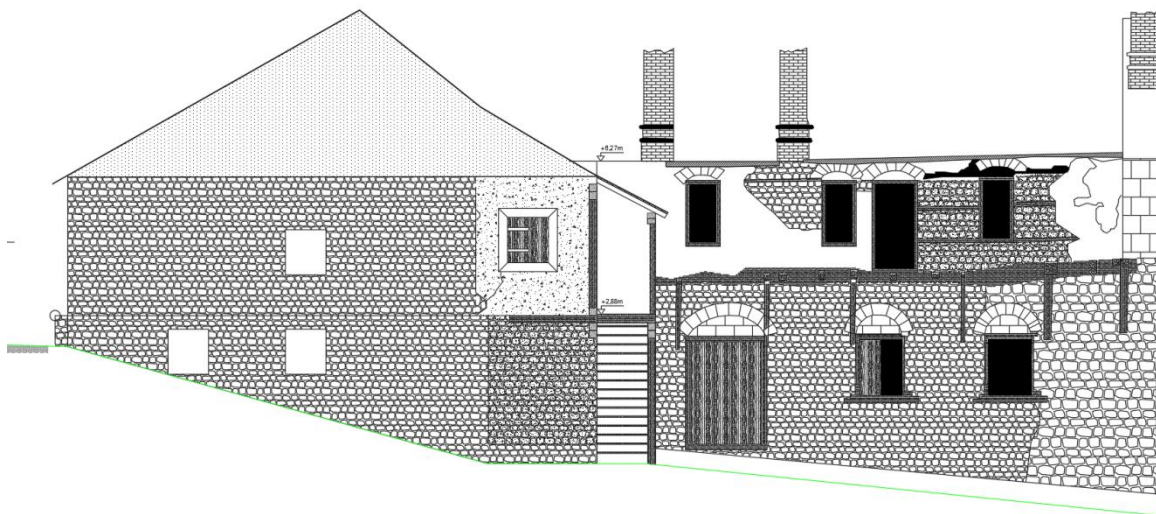
-Bending:	$f_{mk}=8.0$ MPa;
-Tension II:	$f_{mk}=4.8$ MPa;
-Compression II:	$f_{mk}=8.8$ MPa;
-Compression 90:	$f_{mk}=2.4$ MPa;
-MoE, mean:	; $E_{mean}= 11000$ Mpa;

Πίνακας 3 Απόσπασμα μελέτης με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων ξύλων της Ανατολικής πτέρυγας (EQE Bulgaria AD)

Σε συνέχεια των ανωτέρω και σε ότι αφορά στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου, είναι σαφές ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμες άμεσες πληροφορίες, τόσο από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού όσο και από τις αρχικές αναφορές δοκιμών. Ως εκ τούτου, υιοθετούνται τιμές σύμφωνα με την πρακτική και τα υλικά που χρησιμοποιούνταν κατά τον χρόνο της κατασκευής. Συνεπώς, κρίνεται ότι το επίπεδο γνώσης σε ότι αφορά στις αντοχές των υλικών της κατασκευής αντιστοιχεί σε αυτό της «περιορισμένης γνώσης» σύμφωνα με τις επιταγές του EN 1998-3. Σχολιάζεται ότι το συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης οδηγεί σε επιλογές οι οποίες έχουν να κάνουν τόσο με την τελική εκτίμηση της ικανότητας των δομικών στοιχείων όσο και με την επιτρεπόμενη κανονιστικά μέθοδο ανάλυσης.

3.3. Καταγραφή Παθολογίας

Η κατάσταση των τμημάτων Α και Β είναι πολύ διαφορετική από άποψη παθολογίας και παρατίθεται στις επόμενες παραγράφους. Κάτωθι παρουσιάζεται ενδεικτική μορφολογική αναπαράσταση από τα ΒΔ.



Εικόνα 21 ΒΔ Όψη. Μορφολογική αναπαράσταση

3.3.1. Τμήμα Α

Το τμήμα Α είναι σε καλύτερη κατάσταση από το Β αφού έχει υποστεί μερική ανακατασκευή το 2019, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος και ως εργαστήριο συντήρησης και αναπαλαίωσης παλαιών στοιχείων από ξύλο. Κατά την ανακατασκευή προστέθηκε δάπεδο από οπλισμένο σκυρόδεμα στην στάθμη ισογείου, επισκευάστηκε το πάτωμα του 1^{ου} επιπέδου και η στέγη αποφορτίστηκε από την αρχική της κάλυψη, η οποία πιθανόν αποτελούταν από σχιστόπλακες και επισκευάστηκε με νέα εξωτερική κάλυψη από απλό ασφαλτόπανο.

Η λιθοδομή φαίνεται να είναι σε αρκετά καλή κατάσταση χωρίς εμφανείς ρωγμές και λοιπές αστοχίες. Εντοπίζονται ασβεστοκονιάματα και πηλοκονιάματα, τα οποία προφανώς έχουν συμπληρωθεί τοπικά κατά τις σύγχρονες επισκευαστικές εργασίες, προκειμένου να προσδίδουν ένα ομοιογενές αισθητικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, μακροσκοπικά φαίνεται ότι παρουσιάζουν πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, ισοδύναμα ενδεχομένως με αυτά κονιαμάτων κατηγορίας αντοχής M1 ή κατώτερης. Τα στοιχεία των ξύλινων διαζωμάτων της λιθοδομής, στο ορατό τους τμήμα, φαίνεται να είναι σε καλή κατάσταση. Εγείρεται

αμφιβολία ωστόσο για την ακεραιότητα των αφανών, εντός της λιθοδομής ξύλινων στοιχείων. Εντοπίζονται τμήματα στο 2^ο επίπεδο στα οποία η λιθοδομή είναι εξωτερικά σοβαντισμένη με εμφανή σημάδια φθοράς από υγρασία κατά τόπους.

Σχετικά με τα ξύλινα δομικά στοιχεία της οροφής ισογείου καθώς και τα αντίστοιχα της στέγης, φαίνεται ότι έχουν διατηρηθεί αυτά της αρχικής κατασκευής, με κάποιες προσθήκες σύγχρονων δομικών στοιχείων και ανάταξη των παλαιών προκειμένου να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Ιδιαίτερη μέριμνα φαίνεται ότι έχει δοθεί στις συνδέσεις των κόμβων των ξύλινων στοιχείων και στις στηρίξεις των υποστυλωμάτων με σύγχρονα μεταλλικά στοιχεία. Η ίδια φροντίδα έχει δοθεί και στον εκτεταμένο εξωτερικό εξώστη, ο οποίος ωστόσο είναι φανερό ότι συνεχώς φθείρεται από τις καιρικές συνθήκες.

Σε ότι αφορά στη θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας στη στάθμη οροφής ισογείου και στη στάθμη έδρασης της στέγης του τμήματος Α, αυτή κρίνεται αρχικά ως επισφαλής καθότι δεν κατέστη δυνατό να αξιολογηθεί θετικά η σύνδεση των αντίστοιχων πατόξυλων με τη λιθοδομή ως προς την ικανότητα της.

3.3.2. Τμήμα Β

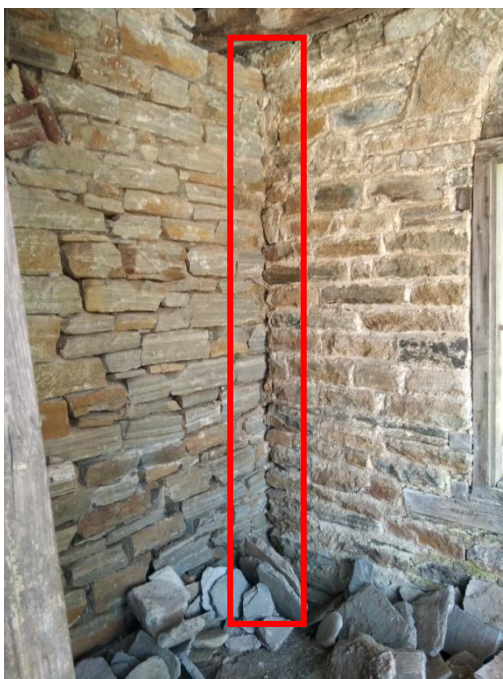
Σε αντίθεση με το τμήμα Α, από το τμήμα Β διασώζεται μόνο το εξωτερικό κέλυφος και κάποια ξύλινα στοιχεία του φορέα της οροφής του 1^{ου} επιπέδου ήτοι περί τα τριάντα πέντε (35) πατόξυλα και έξι (6) υποστυλώματα. Τα ίδια τα στοιχεία από ξύλο είναι ιδιαίτερα φθαρμένα από την έκθεσή τους στις καιρικές συνθήκες και πλήθος αυτών έχουν σπάσει.

Η λιθοδομή φαίνεται να είναι σε αρκετά καλή κατάσταση χωρίς εμφανείς ρωγμές και λοιπές αστοχίες. Τα στοιχεία των ξύλινων διαζωμάτων της λιθοδομής, στο ορατό τους τμήμα απουσιάζουν, δημιουργώντας κενό στη λιθοδομή και είναι βέβαιο ότι και τα αφανή στοιχεία των ξυλοδεσιών έχουν σαπίσει. Στο 2^ο επίπεδο η λιθοδομή αρχικά ήταν εξολοκλήρου σοβαντισμένη. Κατά την αυτοψία διαπιστώθηκαν πολύ εκτεταμένα τμήματα, στα οποία ο σοβάς έχει αποκολληθεί.

Σε ότι αφορά στη θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας στη στάθμη οροφής ισογείου και στη στάθμη έδρασης της στέγης του τμήματος Β, αυτή κρίνεται ως ανύπαρκτη, καθότι απουσιάζουν πλήρως δομικά στοιχεία που να την επιβάλλουν στην κατασκευή.

3.3.3. Σύνδεση τμήματος Α και Β

Ιδιαίτερο στατικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα δύο τμήματα του κτιρίου, το προγενέστερο και το μεταγενέστερο, δεν παρουσιάζουν καμία σύνδεση αφού τα λιθοσώματα στις συμβολές των αντίστοιχων λιθοδομών δεν είναι πλεγμένα και δημιουργείται διαμπερής κατακόρυφος αρμός. Η συγκεκριμένη δομική ιδιαιτερότητα κρίνεται ότι θα λειτουργήσει δυσμενώς ως προς την γενική αντισεισμική συμπεριφορά του κτιρίου και αν και αποτέλεσε συνειδητή επιλογή του κατασκευαστή, εντούτοις ισοδυναμεί με στοιχείο παθολογίας μεγάλης σημασίας.



Εικόνα 22 Άποψη του αρμού στη στάθμη ισογείου και στη συμβολή της ΝΔ λιθοδομής του τμήματος Α και της ΒΔ όμοιας του τμήματος Β



Εικόνα 23 Άποψη του αρμού στη στάθμη ισογείου και στη συμβολή της ΒΑ λιθοδομής του τμήματος
Α και της ΒΑ όμοιας του τμήματος Β

4. Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Υφιστάμενης Κατασκευής

4.1. Κανονιστικά κείμενα

Σχετικά με τα διαθέσιμα κανονιστικά κείμενα, σημειώνεται ότι κατά τη συγγραφή του παρόντος, βρίσκεται σε στάδιο σχεδίου ο ελληνικός Κανονισμός Για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας (Κ.Α.Δ.Ε.Τ.), ο οποίος όμως δεν είναι ακόμα σε ισχύ. Συνεπώς, για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου του βορδοναρείου χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι κανονιστικά κείμενα (Πίνακας 4), στα οποία ενδεικτικά αναφέρεται και το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής για τη σύνταξη της παρούσας εργασίας:

Κανονιστικό κείμενο	Πεδίο εφαρμογής
EN 1998-3 & Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα	<ul style="list-style-type: none"> Ορισμός θεμελιωδών απαιτήσεων/ οριακών καταστάσεων (NC, SD, DL). Ορισμός Κριτηρίων συμμόρφωσης. Ορισμός μεθοδολογίας συλλογής στοιχείων για την κατασκευή. Ορισμός επιπέδου γνώσης με βάση τα αποτελέσματα συλλογής στοιχείων και καθορισμός συντελεστών εμπιστοσύνης και είδους ανάλυσης. Παραπομπή σε EN 1998-1 για τη θεώρηση της σεισμικής δράσης. Στοιχεία προσομοιώματος φορέα. Καθορισμός μεθόδων ανάλυσης και χαρακτηριστικά αυτών. Παραπομπή σε EN 1998-1 για συνδυασμό των συνιστωσών της σεισμικής δράσης. Ορισμός ελέγχων ασφαλείας. Κριτήρια, τύποι και σχεδιασμός επεμβάσεων. Συστάσεις ανάλυσης και ενίσχυσης για κτίρια από τοιχοποιία.
EN 1998-1 & Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα	<ul style="list-style-type: none"> Ορισμός μεθόδων γενικής ανάλυσης. Ορισμός κριτηρίων κανονικότητας.

	<ul style="list-style-type: none"> • Κατηγοριοποίηση για τον προσδιορισμό των εδαφικών συνθηκών. • Ορισμός κατηγοριοποίησης με βάση τη σπουδαιότητα. • Θεώρηση της σεισμικής δράσης. • Συνδυασμός των συνιστωσών της σεισμικής δράσης. • Ορισμός Φάσματος ελαστικής ή μη απόκρισης. • Ορισμός κριτηρίων για την επιλογή συντελεστή συμπεριφοράς. • Διατάξεις που αφορούν στην προσομοίωση. • Συνθήκες εφαρμοσιμότητας και μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης. • Προσέγγιση με βάση τον συντελεστή q. • Ορισμός ελέγχων ασφαλείας.
EN 1996-1-1 & Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα	<ul style="list-style-type: none"> • Ορολογία σχετική με τοιχοποιία. • Παραπομπή σε EN 1991 και EN 1990 για δράσεις και συνδυασμούς αυτών. • Έλεγχοι με χρήση επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. • Αναφορά σε υλικά τοιχοποιίας και κατηγοριοποίηση αυτών. • Μηχανικές ιδιότητες τοιχοποιίας. • Παραμορφωσιακές ιδιότητες τοιχοποιίας. • Φαινόμενα 2^{ης} τάξης. • Ανάλυση δομικών μελών. • Έλεγχος οριακών καταστάσεων αστοχίας. • Κατασκευαστικές λεπτομέρειες.
Κ.Α.Δ.Ε.Τ. (σχέδιο)	<ul style="list-style-type: none"> • Μόνο συμβουλευτικά

Πίνακας 4 Κανονιστικά κείμενα και πεδίο εφαρμογής για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου του βορδοναρείου

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ανασκόπηση σε σύγχρονες επιστημονικές εργασίες και σχετική με το θέμα βιβλιογραφία, προκειμένου να καταστεί η παρούσα εργασία επίκαιρη και επιστημονικά ενημερωμένη (Giovanni, Gentilini & Tommaso, 2015· Kokalanon & Stankovska 2009· Βέρρας, Βιντζηλαίου & Τριανταφύλλου, 2004· Μπελιοβάνης, 2020· Ρουμελιώτη, 2020· Σπατουλας, 2019· Σπυράκος, 2019).

Με βάση τα ανωτέρω έχουν ληφθεί παράμετροι για την αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής, οι οποίες αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

4.2. Μεθοδολογία - Επιλογές Παραμέτρων

4.2.1. Θεμελιώδεις απαιτήσεις συμπεριφοράς

Οι θεμελιώδεις απαιτήσεις αναφέρονται στην κατάσταση των βλαβών στον φορέα, η οποία ορίζεται με τρεις Οριακές Καταστάσεις, ήτοι την οριακή κατάσταση Οιονεί Κατάρρευσης (NC), την οριακή κατάσταση Σημαντικών Βλαβών (SD), και την οριακή κατάσταση Περιορισμού Βλαβών (DL). Για το συγκεκριμένο κτίριο, καθότι η μελλοντική του χρήση θα είναι αυτή του αποθηκευτικού χώρου και ίσως κάποιων εργαστηρίων συντήρησης και λαμβάνοντας υπόψη συμβουλευτικά το σχέδιο του Κ.Α.Δ.Ε.Τ., στο οποίο η χρήση συνδέεται με τη σπουδαιότητα (Πίνακας 5) και την στάθμη επιτελεστικότητας, πραγματοποιούνται οι κάτωθι επιλογές παραμέτρων:

Το κτίριο δύναται να καταταχθεί στην κατηγορία σπουδαιότητας Ι ή ΙΙ ως αποθηκευτικός χώρος ή ως χώρος γραφείων αντίστοιχα. Προς την πλευρά της ασφάλειας και για την εξασφάλιση όσο το δυνατόν καλύτερης αντισεισμικής συμπεριφοράς, επιλέγεται η κατηγορία σπουδαιότητας ΙΙ.

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Κτίρια
I	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, <u>όπως</u> : αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία, κλπ.
II	<u>Συνήθη κτίρια, όπως</u> : κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά - βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία (τα οποία δεν περιλαμβάνουν χώρους συνεδρίων), ξενώνες, οικοτροφεία, χώροι εκθέσεων, χώροι εστίασης και ψυχαγωγίας (ζαχαροπλαστεία, καφενεία, μπόουλινγκ, μπιλιάρδου, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, εστιατόρια, μπαρ, κλπ), τράπεζες, ιατρεία, αγορές, υπεραγορές, εμπορικά κέντρα, καταστήματα, φαρμακεία, κουρέια, κομμωτήρια, ινστιτούτα γυμναστικής, βιβλιοθήκες, εργοστάσια, συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, εργαστήρια ερευνών, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, κέντρα μηχανογράφησης, αποθήκες, κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, ανεμογεννήτριες, γραφεία δημοσίων υπηρεσιών και τοπικής αυτοδιοίκησης που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία ΙV, κλπ.
III	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημόσιων συναθροίσεων και γενικά κτίρια στα οποία <u>ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου, όπως</u> : αθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων, κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, εκπαιδευτικά κτίρια, αθουσες διδασκαλίας, φροντιστήρια, νηπιαγωγεία, χώροι συναυλιών, αθουσες δικαστηρίων, ναοί, χώροι αθλητικών συγκεντρώσεων, θέατρα, κινηματογράφοι, κέντρα διασκέδασης, αθουσες αναμονής επιβατών, ψυχιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφκομεία, βρεφικοί σταθμοί, παιδικοί σταθμοί, παιδότοποι, αναμορφωτήρια, φυλακές, εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού και αποβλήτων, κλπ.
IV	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, <u>είναι ζωτικής σημασίας, όπως</u> : κτίρια τηλεπικοινωνιών, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πυροσβεστικοί και αστυνομικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών από σεισμό. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας, <u>όπως</u> : μουσεία, αποθήκες μουσείων, κλπ.

Πίνακας 5 Απόσπασμα του σχεδίου Κ.Α.Δ.Ε.Τ. με τις κατηγορίες σπουδαιότητας

Με βάση το παράρτημα 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ. (Πίνακας 6), ο ελάχιστος ανεκτός στόχος αποτίμησης ή ανασχεδιασμού με βάση αυτήν την κατηγορία σπουδαιότητας είναι ο Γ1.

Κατηγορία Σπουδαιότητας	Στόχοι
I	Γ2
II	Γ1
III	B1
IV	B1 και A2 (Ικανοποίηση και των δύο στόχων)

Σε κάθε περίπτωση να θεωρηθεί ότι ισχύει $A1 > A2$, $B1 > B2$, $\Gamma1 > \Gamma2$, $A1 > B1 > \Gamma1$ και $A2 > B2 > \Gamma2$

Πίνακας 6 Απόσπασμα του παραρτήματος 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ με τους ελάχιστους ανεκτούς στόχους αποτίμησης με βάση την κατηγορία σπουδαιότητας

Σημειώνεται ότι με βάση το παράρτημα 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ., για τον στόχο αποτίμησης ή ανασχεδιασμού Γ1 (Πίνακας 7), αναμένεται πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης ίση με 10% εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών (περίοδος επαναφοράς ίση με 475έτη).

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	Περιορισμένες βλάβες	Σημαντικές βλάβες	Οιονεί κατάρρευση
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Πίνακας 7 Απόσπασμα του παραρτήματος 2.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ με την στάθμη επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού

Αντίστοιχα, στον EN1998-3 παρατηρείται ότι για την οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών SD, αναμένεται πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης ίση με 10% εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών.

Σε συνέχεια των ανωτέρω, και καθότι το ισχύον κανονιστικό κείμενο είναι ο EN1998-3, επιλέγεται τελικώς για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ο έλεγχος σε οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών SD, κατά τον οποίο: «ο φορέας έχει υποστεί σημαντικές βλάβες, διαθέτει ορισμένη εναπομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία, και τα κατακόρυφα στοιχεία είναι σε θέση να αντέξουν τα κατακόρυφα φορτία. Τα μη-φέροντα στοιχεία έχουν υποστεί βλάβες, αν και τα διαχωριστικά και οι τοιχοπληρώσεις δεν παρουσιάζουν εκτός επιπέδου αστοχίες. Υπάρχουν μέτριες μόνιμες σχετικές

παραμορφώσεις ορόφων. Ο φορέας μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.». Σημειώνεται ότι αν και κανονιστικά οι έλεγχοι που απαιτείται να πραγματοποιηθούν για την επιλεγθείσα οριακή κατάσταση είναι σε όρους μετακινήσεων, εντούτοις στην παρούσα εργασία, για καθαρά εποπτικούς λόγους και για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του κτιρίου, εξετάζονται επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες.

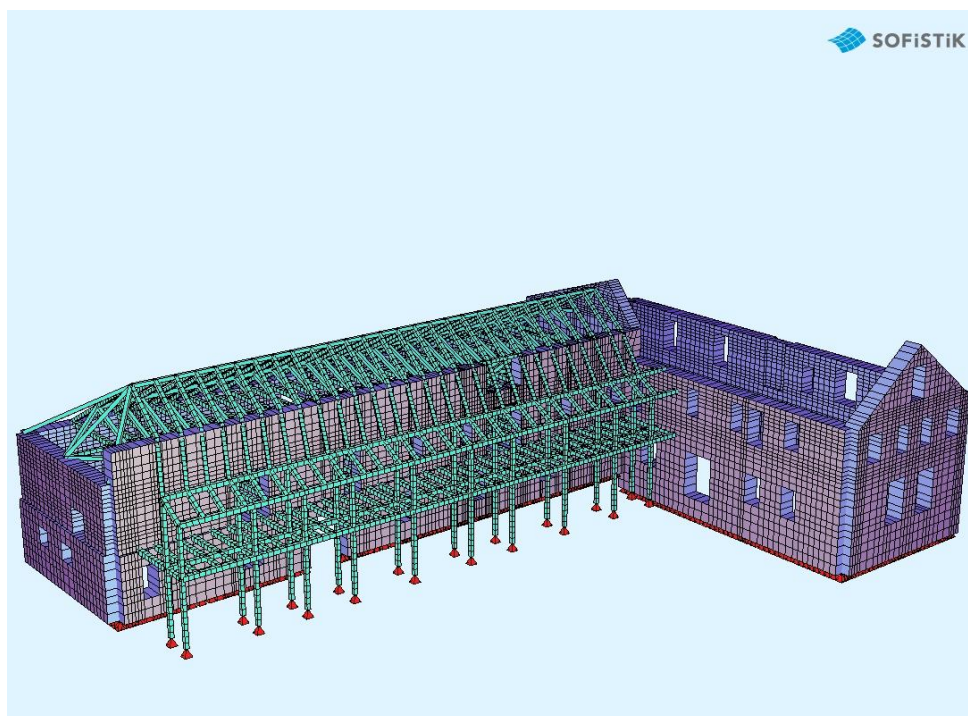
4.2.2. Κριτήρια συμμόρφωσης

Γενικά, η συμμόρφωση με τις ως άνω θεμελιώδεις απαιτήσεις συμπεριφοράς επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση της σεισμικής δράσης, της μεθόδου ανάλυσης και των διαδικασιών ελέγχου και διαμόρφωσης λεπτομερειών που περιέχονται στον EN 1998-3, ως κατάλληλων για τα διαφορετικά δομικά υλικά που περιέχονται μέσα στο πεδίο εφαρμογής του στο οποίο συμπεριλαμβάνεται η τοιχοποιία. Ως επιλογή για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό του συγκεκριμένου κτιρίου και στα πλαίσια του ισχύοντος κανονισμού χρησιμοποιείται μια «προσέγγιση με βάση τον συντελεστή q », όπου γίνεται χρήση μιας σεισμικής δράσης μειωμένης κατά αυτόν τον συντελεστή. Στην εν λόγω προσέγγιση, το φάσμα σχεδιασμού για την γραμμική ανάλυση προκύπτει από το EN 1998-1, 3.2.2.5. Στους ελέγχους ασφαλείας ελέγχεται ότι σε όλα τα δομικά στοιχεία οι απαιτήσεις, οι οποίες οφείλονται στη μειωμένη σεισμική δράση δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες ικανότητες σε όρους αντοχών που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υπαρχόντων υλικών, όπως αυτές προκύπτουν από επί τόπου ελέγχους και από συμπληρωματικές πηγές πληροφοριών, διαιρεμένες κατάλληλα με τους συντελεστές εμπιστοσύνης όπως αυτοί ορίζονται κανονιστικά, και οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη το επίπεδο της αποκτηθείσας γνώσης. Ονομαστικές ιδιότητες προβλέπεται να χρησιμοποιούνται για νέα ή για πρόσθετα υλικά. Στην προσέγγιση του συντελεστή q , οι απαιτήσεις βασίζονται στην μειωμένη σεισμική δράση και οι ικανότητες εκτιμώνται για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού.

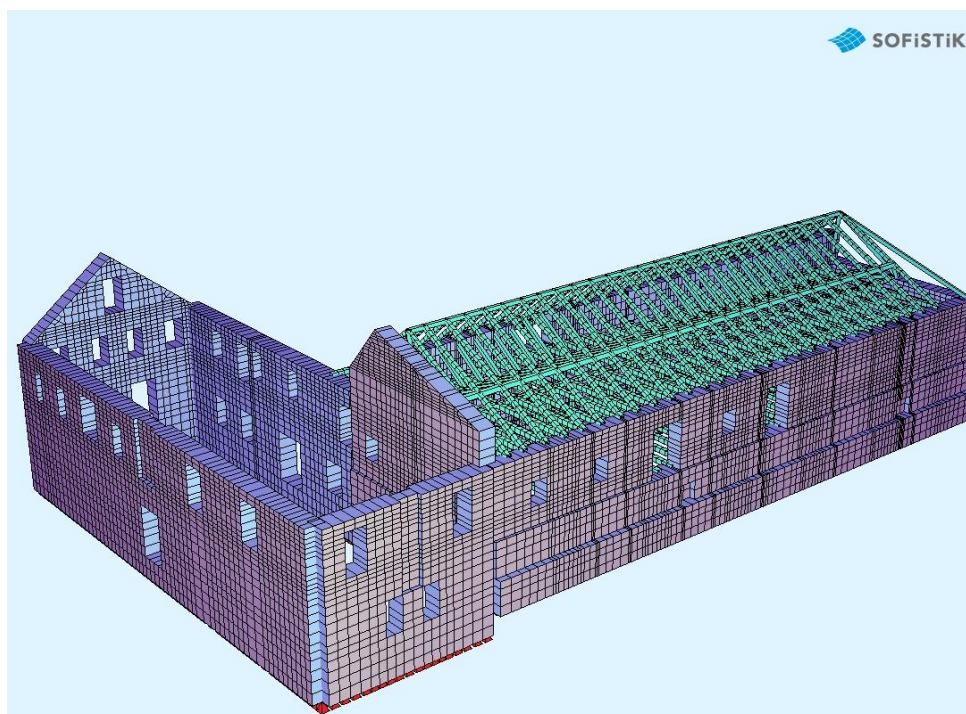
4.3. Μέθοδος και Παράμετροι Προσομοίωσης της Κατασκευής

4.3.1. Γενικά

Για την προσομοίωση του κτιρίου επιλέχθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία αποτελεί και την γενικότερη σε εφαρμογή μέθοδο προσομοίωσης και προσφέρει δυνητικά πολύ υψηλή ακρίβεια αποτελεσμάτων (Ghiassi & Milani, 2019). Με βάση την πολυπλοκότητα του φορέα αλλά και τα επιθυμητά εξαγόμενα αποτελέσματα για την παρούσα εργασία, ήτοι συνολική εικόνα τάσεων υφιστάμενου και βελτιωμένου φορέα, κρίθηκε ότι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων προσφέρεται έναντι της μεθόδου του ισοδύναμου πλαισίου και της μεθόδου των μακροστοιχείων. Με στόχο την κατασκευή του πλέον ρεαλιστικού προσομοιώματος, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην λεπτομερή αποτύπωση της γεωμετρίας και των λεπτομερειών του κτιρίου, στην εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων υλικών καθώς και στις συνθήκες θεμελίωσης των φερόντων δομικών στοιχείων. Κάτωθι παρατίθενται εικόνες (Εικόνες 24-25) του προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων της υφιστάμενης κατάστασης. Σημειώνεται ότι στα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία έχει αποδοθεί η ιδιότητα του πάχους, η οποία απεικονίζεται για λόγους εποπτείας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και επίλυση του φορέα σε στατικές και δυναμικές συνθήκες είναι το SOFISTIK 2020.



Εικόνα 24 Άποψη του προσομοιώματος της υφιστάμενης κατάστασης από τα ανατολικά



Εικόνα 25 Άποψη του προσομοιώματος της υφιστάμενης κατάστασης από τα Δυτικά

4.3.2. Παράμετροι Προσομοίωσης

Σε συνέχεια των ανωτέρω, για το συγκεκριμένο κτίριο αναφέρονται τα κάτωθι:

- Για την προσομοίωση της τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκαν τετράκομβρα επιφανειακά στοιχεία κελύφους.
- Τα ανοίγματα τα οποία παρουσιάζουν μεταβλητή διατομή από το εσωτερικό προς τα έξω μοντελοποιήθηκαν με κενό στον κάναβο των πεπερασμένων στοιχείων, με πλάτος τον μέσο όρο του πλάτους της μεταβλητής διατομής. Η επιλογή αυτή κρίθηκε ως αντιπροσωπευτική για την υφιστάμενη κατάσταση και δεν αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική αλλοίωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Τα τόξα των ανοιγμάτων, όπου αυτά υπήρχαν, αγνοήθηκαν εσκεμμένα στην ανάλυση προς την πλευρά της ασφάλειας και προς σημαντική μείωση του αριθμού των στοιχείων του προσομοιώματος και κατά συνέπεια του υπολογιστικού φόρτου. Παρόλα αυτά, σε συγκεκριμένα σημεία της κατασκευής προσομοιώθηκαν τόξα προκειμένου να αποκαλυφθεί ποιοτικά και ποσοτικά η συνεισφορά τους στην συμπεριφορά του μοντέλου τοπικά. Τέλος, παραλήφθηκαν οι ξύλινοι ελκυστήρες των τόξων προς την πλευρά της ασφάλειας.

- Όπου εντοπίστηκαν ίχνη ανοιγμάτων, τα οποία είχαν χτιστεί σε μεταγενέστερη φάση, προτιμήθηκε η μοντελοποίησή τους ως υπαρκτά ανοίγματα, προκειμένου να προληφθεί το ενδεχόμενο κακοτεχνίας και ανεπαρκούς πλήρωσης με υλικό, το οποίο θα δύναται να μεταβιβάσει αποτελεσματικά τάσεις στην λοιπή κατασκευή.
- Για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών, οι οποίες υπόκεινται αυστηρά σε αξονική ένταση χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά στοιχεία δοκού τύπου «Truss».
- Για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών, οι οποίες υπόκεινται μεταξύ άλλων και σε κάμψη χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά στοιχεία δοκού τύπου «Beam».
- Οι στηρίξεις των δοκών των πατόξυλων στις αντίστοιχες δοκοθήκες ελήφθησαν ως προβληματικές και ανίκανες να παραλάβουν αξονικά φορτία ή ροπή.
- Το σανίδωμα των πατωμάτων προσομοιώθηκε με απλές επιφανειες φόρτισης που καταμερίζουν τα επιφανειακά φορτία σε υποκείμενες δοκούς και η συνεισφορά τους στη δυσκαμψία του φορέα επιλέχθηκε να αγνοηθεί.
- Στη συμβολή των ασύνδετων τοιχοποιιών, επιλέχθηκε η δημιουργία αρμού τύπου κενού με απουσία στοιχείων. Για την ακριβέστερη προσομοίωση, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ελατήρια με νόμο υλικού που να προσδίδει διαφορετική συμπεριφορά σε θλίψη και εφελκυσμό, προκειμένου να προσομοιωθεί η περίπτωση εμβολισμού της μίας τοιχοποιίας από την συμβάλλουσα σε αυτή. Ωστόσο αυτή η επιλογή προϋποθέτει την εκτέλεση μη γραμμικής ανάλυσης, την οποία δεν επιτρέπει κανονιστικά το συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης. Εξάλλου με πρόδρομες αναλύσεις και λόγω της γεωμετρίας του φορέα, κατέστη φανερό ότι οι εν λόγω τοιχοποιίες παραμορφώνονται για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης, κατά κύριο λόγο εκτός επιπέδου και η επιλογή της προσομοίωσης με απλό κενό είναι απολύτως επαρκής.
- Τα ξύλινα διαζώματα ενίσχυσης του φορέα επιλέχθηκε αρχικά να αγνοηθούν καθότι η κατάστασή του δεν είναι απολύτως γνωστή για το τμήμα Α και διαπιστώνεται πλήρης απουσία λόγω σήψης τους στο τμήμα Β. Σε περίπτωση μοντελοποίησής τους, η χρήση στοιχείων δοκού με ελαστική ή ανελαστική συμπεριφορά είναι ενδεδειγμένη.
- Στις περιοχές όπου εντοπίστηκαν τζάκια, κρίθηκε ως ορθή πρακτική η μείωση του πάχους των επιφανειακών στοιχείων κελύφους στο ήμισυ.

- Καθότι δεν εντοπίστηκαν ρηγματώσεις, καθιζήσεις ή λοιπές παραμορφώσεις στον φορέα, δεν εισήχθησαν στο μοντέλο τέτοιου είδους χαρακτηριστικά.

Όπως είναι αναμενόμενο, ο ως άνω τρόπος προσομοίωσης του φορέα, επιτρέπει με μεγάλη επιτυχία και ακρίβεια την εξαγωγή αποτελεσμάτων τάσεων και παραμορφώσεων για όλες τις φορτιστικές καταστάσεις του φορέα επιτρέποντας την αποτελεσματική αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του. Ωστόσο, σημειώνεται, ότι σε περίπτωση κανονιστικού ελέγχου σε επίπεδο δυνάμεων, είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση των τάσεων προκειμένου να προκύψουν κατάλληλα εντατικά μεγέθη στις διατομές των στοιχείων.

4.3.3. Διακριτοποίηση Φορέα

Σε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων η διακριτοποίηση αποτελεί μία συνάρτηση της επιθυμητής ακρίβειας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης καθώς και του ανεκτού υπολογιστικού κόστους. Στην παρούσα προσομοίωση ο κάναβος σχεδιάστηκε εξολοκλήρου με το χέρι χωρίς τη χρήση της αυτόματης διαδικασίας που προσφέρει το λογισμικό. Επιλέχθηκε ως μέγιστο μέγεθος στοιχείου ή πλευράς αυτού τα 0.30m με την απαιτούμενη πύκνωση προκειμένου να καταστεί ο κάναβος απολύτως ορθοκανονικός. Ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε ώστε όλοι οι κόμβοι στις γωνίες του κτιρίου να είναι κοινοί για τα συμβάλλοντα στοιχεία κελύφους και όλες οι συμβολές των δοκών να πραγματοποιούνται σε υφιστάμενους κόμβους επιφανειακών στοιχείων. Σε κανένα σημείο του μοντέλου δεν παρατηρούνται απαγορευτικά μικρές οξείες γωνίες επιφανειακών στοιχείων και ο λόγος πλευρών περιορίζονται κατά κύριο λόγο σε μικρότερο του 1:3.

4.3.4. Συνθήκες Στήριξης

Για την προσομοίωση της στήριξης της τοιχοποιίας στο έδαφος και λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία της περιοχής (εκτεταμένο αμφιβολιτικό υπόβαθρο), τη θέση του κτιρίου και την απουσία ορατών διαφορικών καθιζήσεων, επιλέχθηκε ως καταλληλότερη στήριξη αυτή της άρθρωσης, η οποία προσομοιώνει με επιτυχία την έδραση σε βράχο.

4.3.5. Απόδοση Μηχανικών Χαρακτηριστικών στα Στοιχεία του Προσομοιώματος

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του προσομοιώματος παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα, (Πίνακας 8).

Μηχανικά Χαρακτηριστικά	Λιθοδομή (ρηγμ.)	Ξύλα	Πλινθοδομή (ρηγμ.)
E (MPa)	1804	11000	300
G (N/mm ²)	722	690	120
γ (KN/m ³)	15	4,2	15

Πίνακας 8 Μηχανικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του προσομοιώματος

Σημειώνεται, ότι σχετικά με τις τιμές αντοχής της λιθοδομής ελήφθησαν οι χαρακτηριστικές τιμές που υπολογίστηκαν στο σχετικό κεφάλαιο χωρίς τη χρήση συντελεστή εμπιστοσύνης ή συντελεστή ασφαλείας υλικού όπως επιβάλλει ο κανονισμός. Θεωρείται ότι οι λαμβανόμενες τιμές είναι πολύ συντηρητικές και η περεταίρω μείωσή τους θα οδηγούσε σε ιδιαίτερα μη ρεαλιστική εικόνα του φορέα (π.χ. αστοχία υπό απλή στατική φόρτιση).

4.3.6. Στατικά Φορτία Κατασκευής

Κατά τις επιταγές του EN1991-1-1 και του αντίστοιχου Εθνικού προσαρτήματος και λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική χρήση του κτιρίου, θεωρείται ως αντιπροσωπευτική κατηγορία φόρτισης των εσωτερικών πατωμάτων η Β (χώροι γραφείων) και η Ε1 (αποθηκευτικοί χώροι). Για τους εξώστες ως αντιπροσωπευτική κατηγορία θεωρείται η Α. Για τη στέγη, η οποία δεν είναι βατή ως αντιπροσωπευτική κατηγορία λαμβάνεται η Η. Για το φορτίο χιονιού ελήφθη μία αντιπροσωπευτική τιμή για τη συγκεκριμένη περιοχή του έργου χωρίς αναλυτικό υπολογισμό.

Συνεπώς το σύνολο της φορτιστικής κατάστασης σε ότι αφορά στα στατικά φορτία της κατασκευής συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Περίπτωση Φόρτισης	Συμβολισμός	Θέση	Κατηγορία Φορτιζόμενης επιφάνειας	Φορτίο	Μονάδα Μέτρησης
LC1	G	Σύνολο Φορέα	-	Ίδιο Βάρος	-
LC2	G1	Στέγη και πατώματα	-	$0.8 \times 0.03 + 0.01 = 0.25$	kN/m ²
LC3	Q1	Πατώματα χώρων αποθήκευσης	E	7.50*	kN/m ²
LC4	Q2	Εξώστες	A	5.00	kN/m ²
LC5	Q3	Μη βατή Στέγη	H	0.5	kN/m ²
LC6	S	Στέγη	-	0.80	kN/m ²

*Θεωρείται υπερβολική τιμή για το είδος του υλικού των πατωμάτων (ξύλο). Ωστόσο ελήφθη προς την πλευρά της ασφάλειας.

Πίνακας 9 Στατικά φορτία του κτιρίου του βορδοναρείου

4.3.7. Δυναμικά Φορτία Κατασκευής

Κατά τις επιταγές του EN1998-3 και του αντίστοιχου Εθνικού προσαρτήματος, εφαρμόζονται οι διατάξεις του EN1998-1 σε ότι αφορά στη σεισμική δράση και στον συνδυασμό των σεισμικών φορτίων. Συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης για την προσέγγιση με βάση τον συντελεστή

q, το φάσμα σχεδιασμού για γραμμική ανάλυση προκύπτει από το EN1998-1 λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες και τη μελλοντική χρήση του κτιρίου. Συνεπώς, προκύπτουν οι κάτωθι παράμετροι ως επιλογές για την ανάλυση:

- Γενικές Επιλογές

Σεισμική ζώνη:	Z2
$\frac{\alpha_{gR}}{g} =$	0.24
Τύπος Φάσματος:	1
Είδος φάσματος:	Σχεδιασμού
Κατηγορία εδάφους θεμελίωσης:	A
$\beta =$	0.20
Κατηγορία Σπουδαιότητας:	II
Συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_1 =$	1.00
Ιξώδης απόσβεση $\xi =$	5%
Διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης $\eta =$	1.00
Μέθοδος συνδυασμού των αποτελεσμάτων των συνιστωσών της σεισμικής δράσης:	Newmark (Chopra, 2007)
Κανόνας συνδυασμού ιδιομορφών:	Πλήρους τετραγωνικού συνδυασμού (CQC) (Chopra, 2007)

- Διευθύνσεις X,Y (οριζόντιες δράσεις)

Συντελεστής εδάφους S=	1.00
$T_{B(s)} =$	0.15
$T_{C(s)} =$	0.40
$T_{D(s)} =$	2.50
$\beta =$	0.20
Συντελεστής συμπεριφοράς q=	1.50

- Διεύθυνση Z (κατακόρυφη δράση)

$\frac{\alpha_{VR}}{a_g} =$	0.90
Συντελεστής εδάφους S=	1.00
$T_{B(s)} =$	0.05
$T_{C(s)} =$	0.15
$T_{D(s)} =$	1.00
Συντελεστής συμπεριφοράς q=	1.50

4.3.8. Συνδυασμοί δράσεων

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επιλεγείσας μεθόδου ανάλυσης, είναι απαραίτητο να οριστούν οι συνδυασμοί φόρτισης σε στατικές και δυναμικές συνθήκες, οι οποίοι αφορούν στην περιβάλλουσα των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών που δύναται να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας. Κατά την ανάλυση προέκυψαν συνδυασμοί φόρτισης αστοχίας σε στατικές και δυναμικές συνθήκες κατά το κανονιστικό κείμενο του EN1990 ως κάτωθι:

Συνδυασμοί αστοχίας σε στατικές συνθήκες (EN 1990 – εξίσωση 6.10):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (1)$$

ή εναλλακτικά για τις οριακές καταστάσεις STR και GEO με την λιγότερο ευμενής εκ των κάτωθι (EN 1990 – εξισώσεις 6.10a και 6.10b):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (2)$$

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (3)$$

Συνδυασμός αστογίας σε δυναμικές συνθήκες:

$$E_{dAE} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \gamma_l \cdot A_{Ed} \oplus \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (4)$$

Οι τιμές των συντελεστών συνδυασμού μεταβλητών δράσεων δίνονται από το ελληνικό εθνικό προσάρτημα για κτίρια ως:

Δράσεις	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Πίνακας 10 Απόσπασμα από το ελληνικό εθνικό προσάρτημα με τις προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ για κτίρια

4.4. Μέθοδος και Παράμετροι Ανάλυσης

Για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων του φορέα του κτιρίου του βορδοναρείου για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του καθώς και για τον σχεδιασμό επισκευών και ενισχύσεων, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης, η οποία είναι γνωστή και ως μέθοδος της ελαστικής δυναμικής ανάλυσης ή ως δυναμική φασματική μέθοδος (Chopra, 2007· Bruckermann, 2008). Η επιλογή της εν λόγω μεθόδου υποδεικνύεται από το επίπεδο γνώσης που προέκυψε κατά την συλλογή στοιχείων σχετιζόμενων με τη γεωμετρία, τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών. Όπως περιγράφεται στο σχετικό κεφάλαιο, τα επίπεδα γνώσης τα οποία δύναται να θεωρηθούν είναι αυτά της «πλήρους γνώσης» για τη γεωμετρία της «πλήρους γνώσης», με επιφύλαξη για τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και της περιορισμένης γνώσης για τα υλικά της κατασκευής. Συνεπώς, ως ενδεδειγμένες επιβαλλόμενες μέθοδοι ορίζονται από τον EN1998-3 η γραμμική μέθοδος ανάλυσης της οριζόντιας φόρτισης και η γραμμική μέθοδος της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης, η οποία και τελικώς επιλέγεται. Σε ότι αφορά στις λοιπές προϋποθέσεις εφαρμογής της επιλεχθείσας γραμμικής φασματικής μεθόδου, κρίνεται ότι αυτές γενικά πληρούνται καθότι:

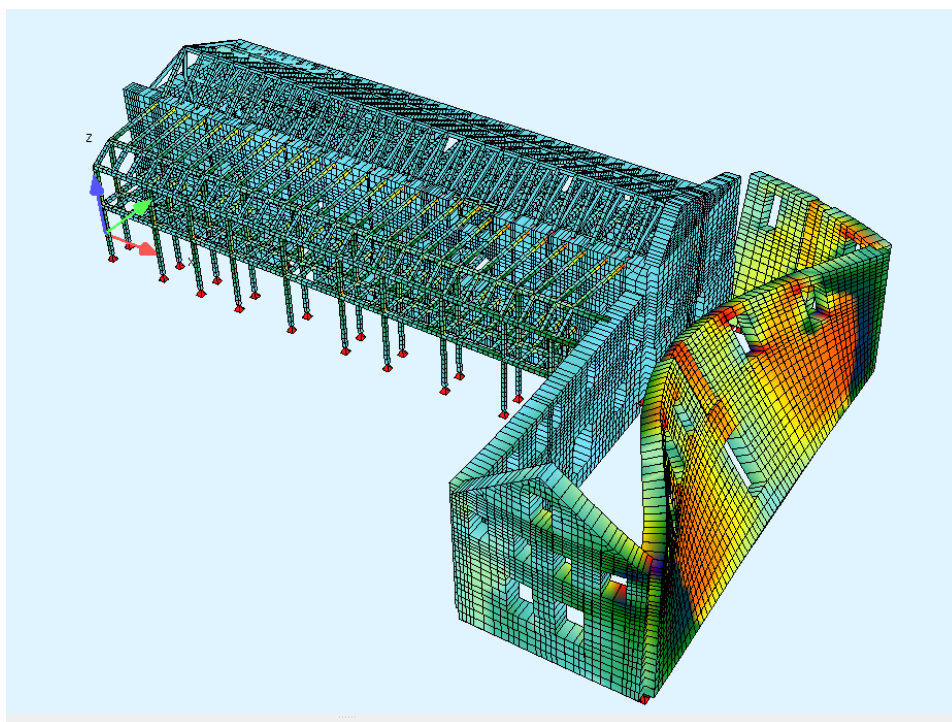
- Οι πλευρικοί φέροντες τοίχοι είναι γενικά διατεταγμένοι και προς τις δύο οριζόντιες κατευθύνσεις.
- Τα τοιχώματα παρουσιάζουν γενικά συνέχεια στο ύψος.
- Τα δάπεδα διαθέτουν αρκετή δυσκαμψία εντός του επιπέδου τους και είναι συνδεδεμένα επαρκώς στα τοιχώματα της περιμέτρου έτσι ώστε να μπορεί να υποθεθεί ότι μπορούν να καταναείμουν τις αδρανειακές δυνάμεις στα κατακόρυφα στοιχεία με διαφραγματική λειτουργία. Σημειώνεται ότι η εν λόγω προϋπόθεση θα ισχύει κυρίως για το κτίριο μετά την επισκευή και ενίσχυσή του.
- Δάπεδα που βρίσκονται στις αντίθετες πλευρές ενός κοινού τοίχου βρίσκονται στο ίδιο ύψος.
- Τα στοιχεία διαδοκίδωσης, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στο προσομοίωμα είναι κατασκευασμένα από μπλοκ που εμπλέκονται ικανοποιητικά με εκείνα των προσκείμενων τοιχωμάτων.

4.5. Αποτελέσματα Αποτίμησης

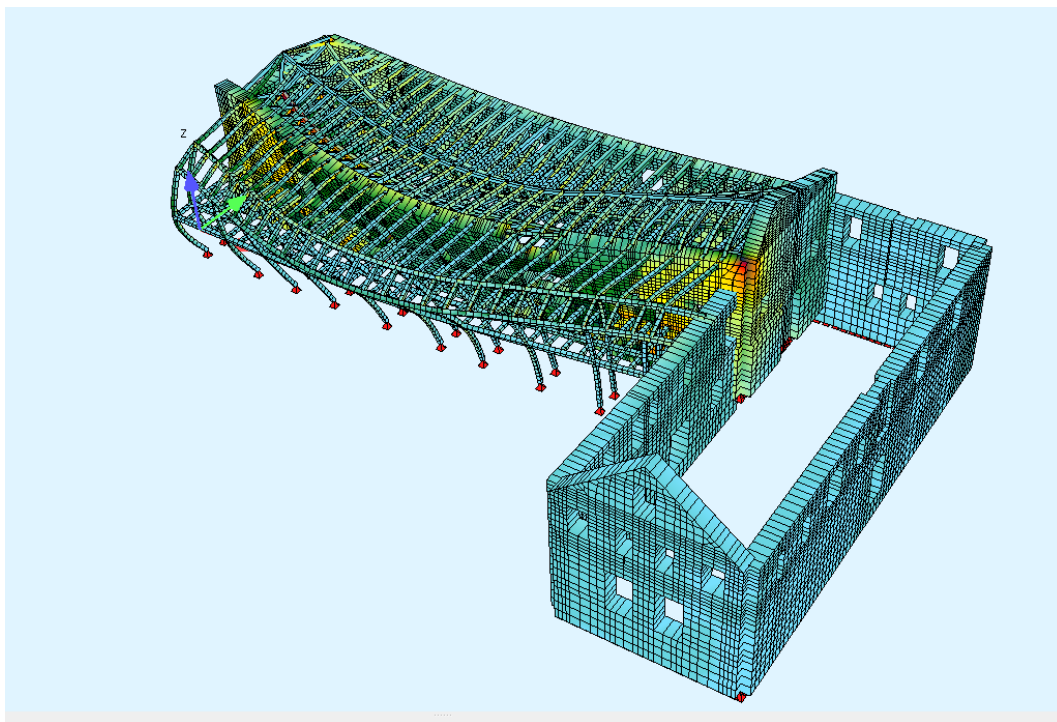
Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για την επίλυση της υφιστάμενης κατάστασης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11):

Αριθμός ιδιομορφών K	Ιδιοπερίοδος K ης ιδιομορφής T_K	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά x	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά χ	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά y	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά y
#	s	s	%	s	%
$K = 500$	0.0174	0.485	84.12	0.432	89.03
Κριτήριο EC8-1 (4.14a) $K \geq 3\sqrt{2} \geq 4.24$ - ok					
Κριτήριο EC8-1 (4.14b) $T_k \leq 0.20$ - ok					

Πίνακας 11 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου για την υφιστάμενη κατάσταση



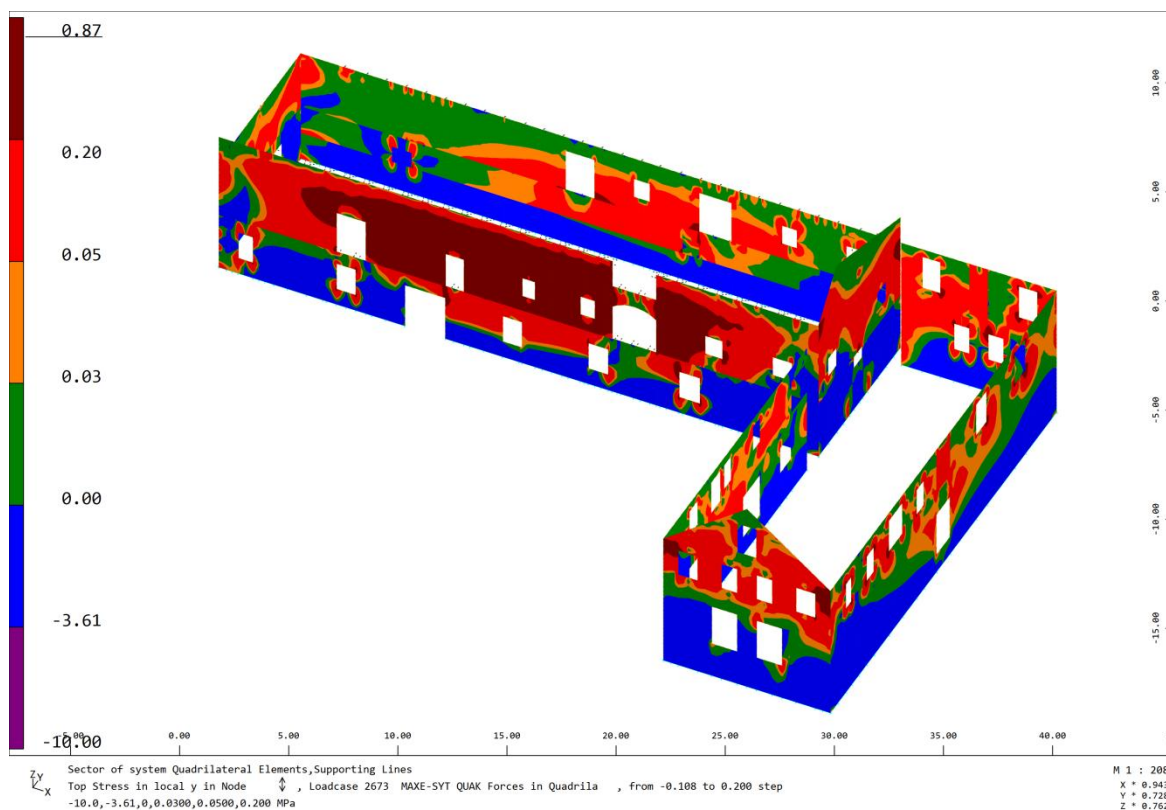
Εικόνα 26 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x



Εικόνα 27 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y

Είναι φανερό ότι το κτίριο παρουσιάζει σημαντική ευαισθησία σε κίνηση εκτός επιπέδου, η οποία οφείλεται στην απουσία οποιασδήποτε μορφής διαφράγματος – σύνδεσης στις επιμήκεις τοιχοποιίες του Β τμήματος, καθώς και στην απουσία σύνδεσης τοιχοποιών με τις αντίστοιχες διασταυρούμενες. Επιπλέον, είναι φανερές οι αρνητικές επιπτώσεις της θεώρησης της ελλιπούς σύνδεσης των πατόξυλων με τις λιθοδομές του Α τμήματος.

Ακολουθούν επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες για τις δύο πλευρές των τοιχοποιών του κτιρίου. Είναι έκδηλη η υπέρβαση της κάθε είδους αντοχής ως αυτή προκύπτει από τις θεωρήσεις οριακών τιμών του σχετικού κεφαλαίου.



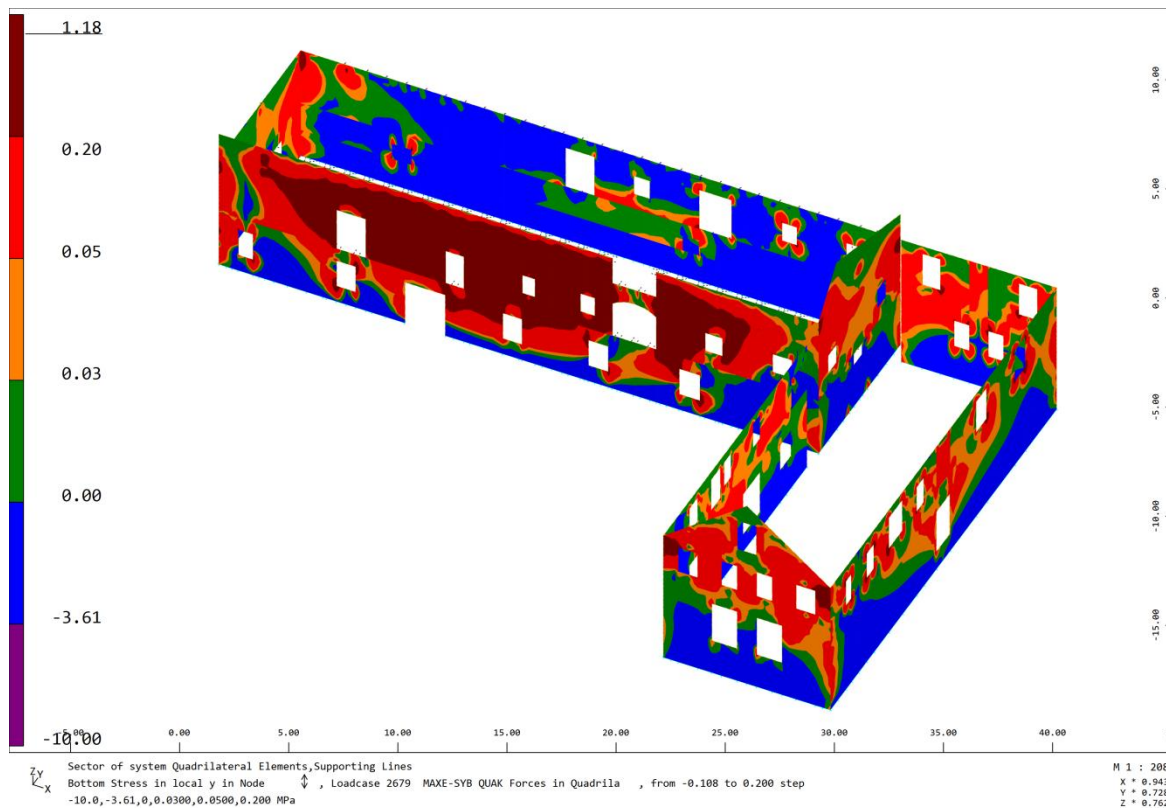
Εικόνα 28 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Υπέρβαση αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό στο 2^ο κυρίως επίπεδο. Επαρκής αντοχή σε θλίψη σε όλο τον φορέα.



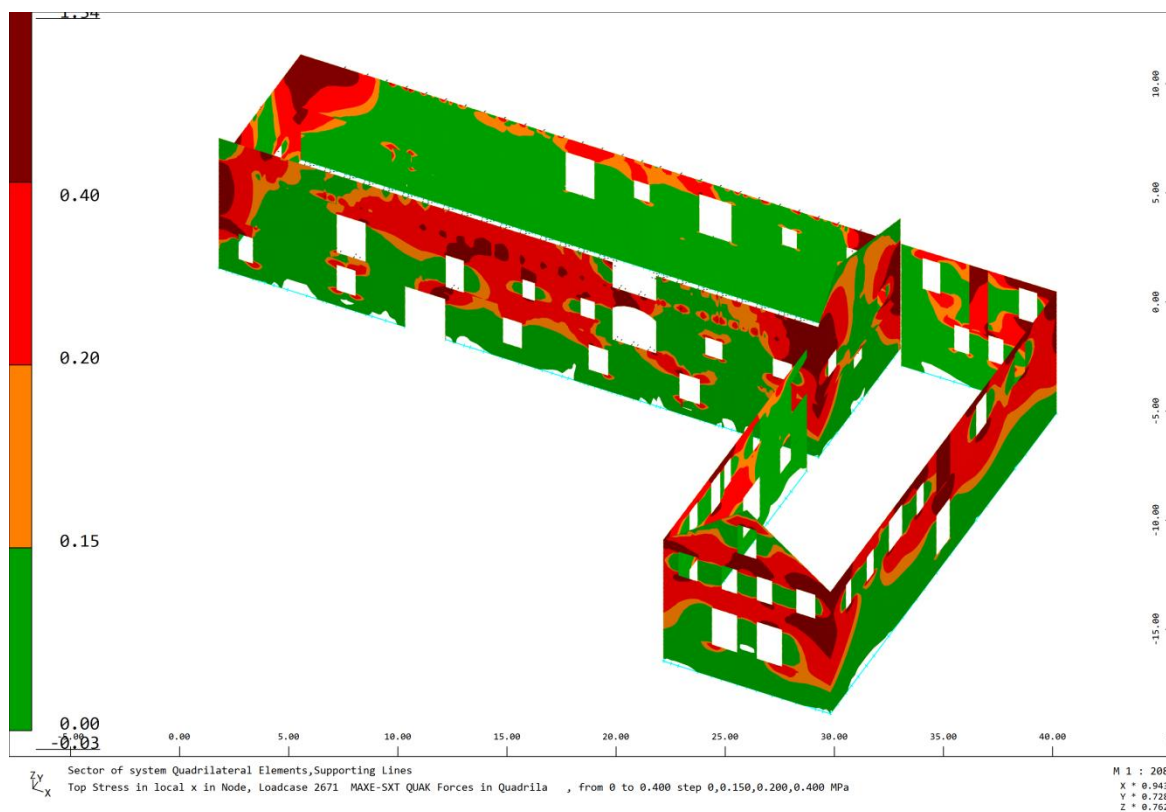
Εικόνα 29 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Υπέρβαση αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό στο 2^ο κυρίως επίπεδο. Επαρκής αντοχή σε θλίψη σε όλο τον φορέα.



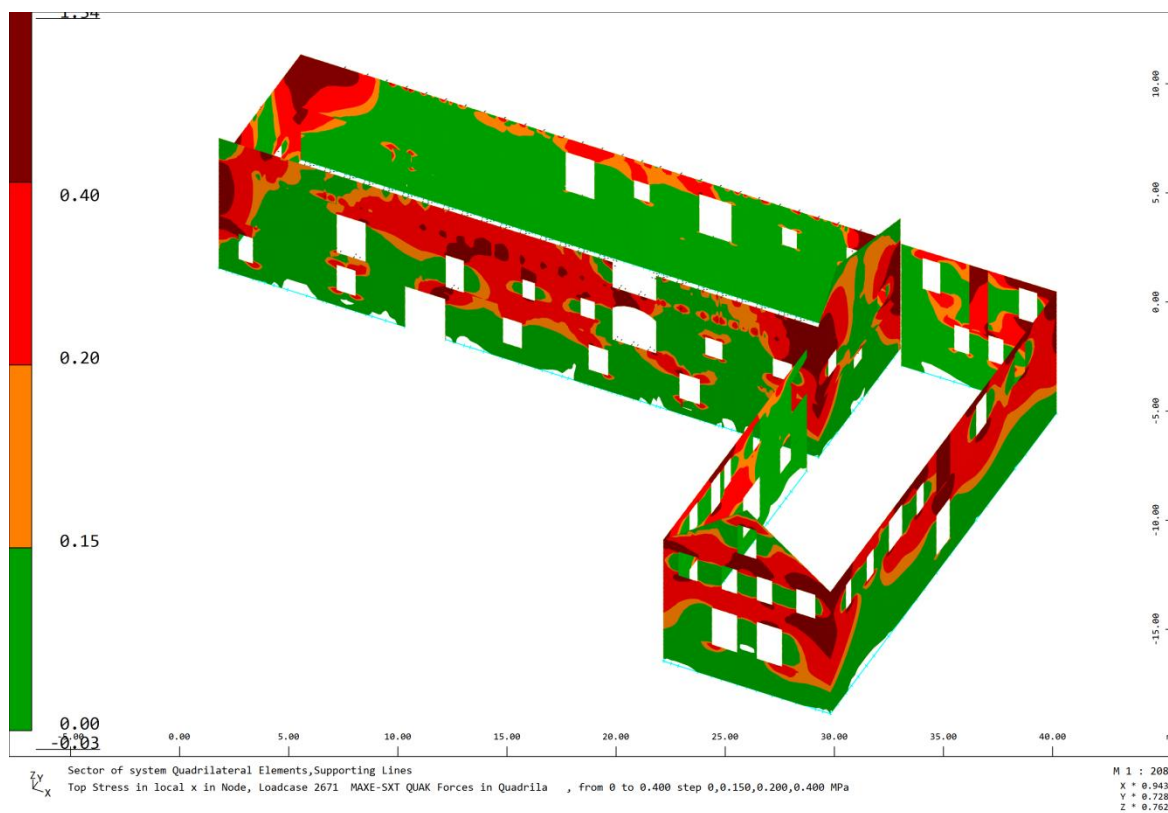
Εικόνα 30 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Διάσπαρτη υπέρβαση αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό.



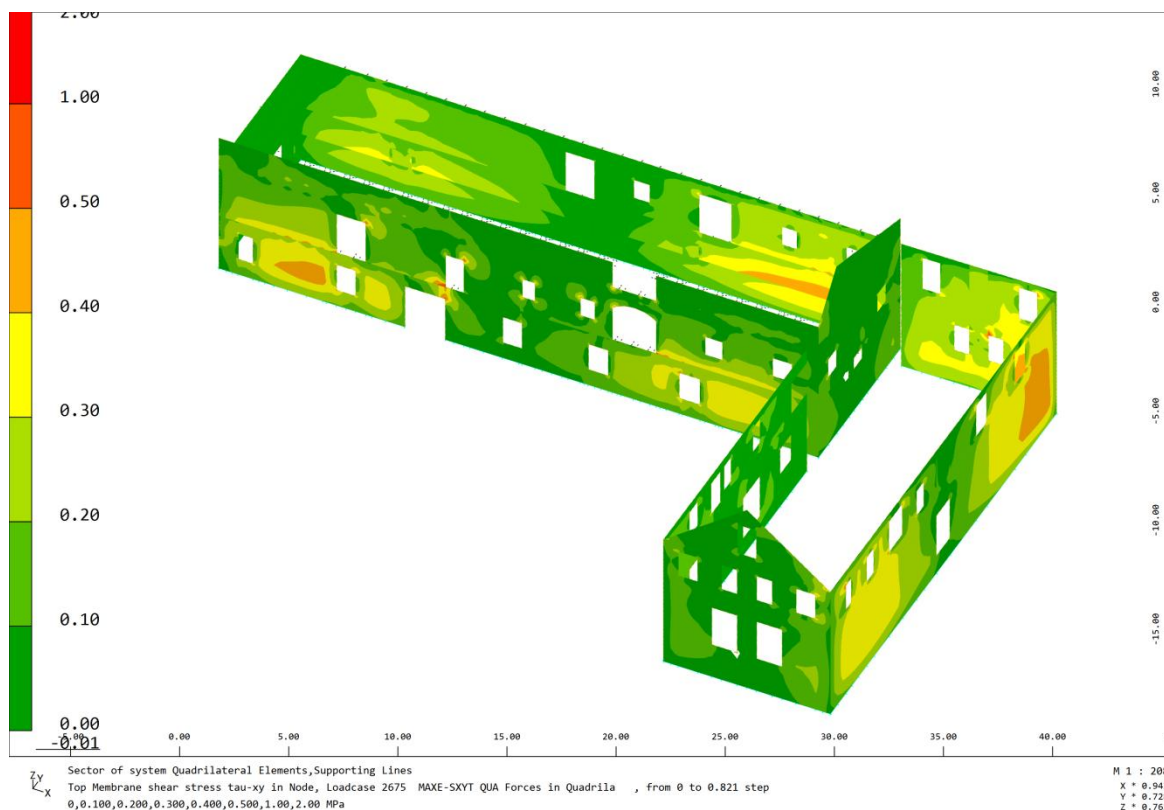
Εικόνα 31 Χάρτης Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλοντα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Διάσπαρτη υπέρβαση αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό.



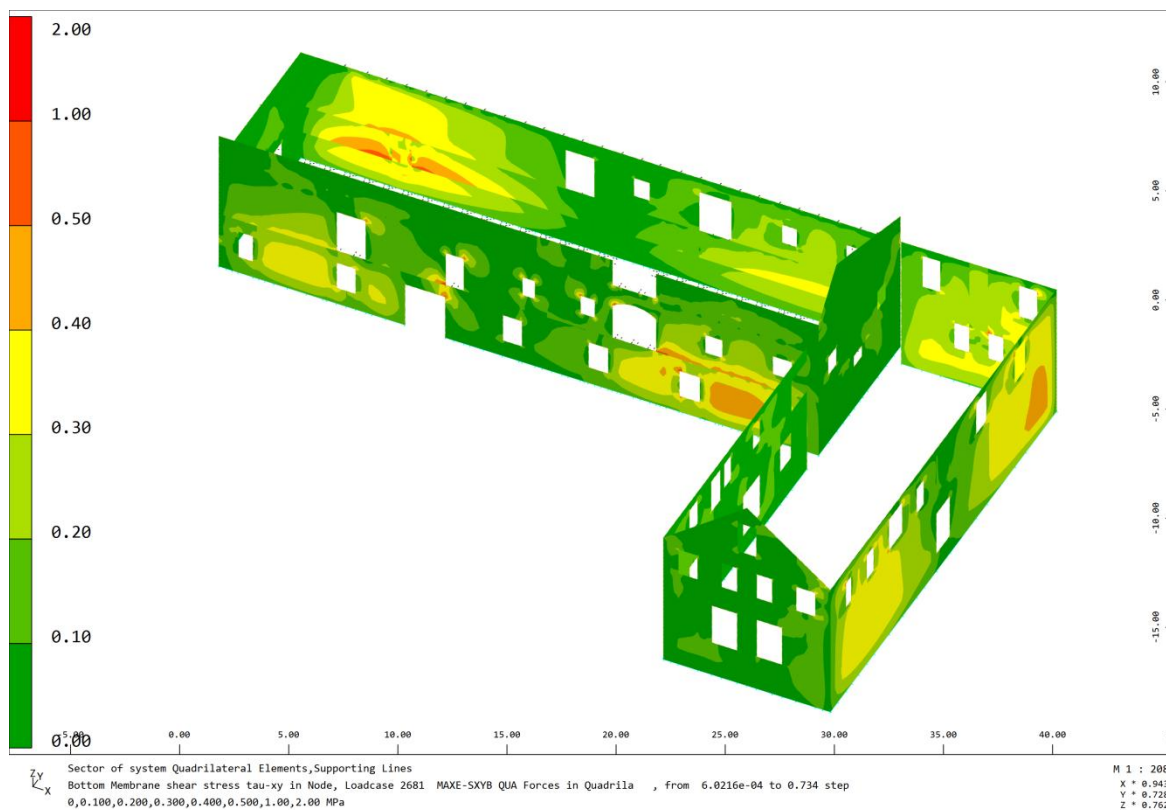
Εικόνα 32 Χάρτης Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Οι διατμητικές τάσεις σε όλα τα σημεία του φορέα δεν υπερβαίνουν το όριο του 1.00Mpa.



Εικόνα 33 Χάρτης Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00 \text{ MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων:

Οι διατμητικές τάσεις σε όλα τα σημεία του φορέα δεν υπερβαίνουν το όριο του 1.00MPa.

5. Προτεινόμενες Επεμβάσεις για την Ενίσχυση του Κτιρίου

5.1. Στρατηγική Επεμβάσεων

Προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου, γενικά δύναται να υιοθετηθούν διαφορετικές στρατηγικές επεμβάσεων όπως, η αλλαγή χρήσης για την αποφόρτιση του κτιρίου σε στατικές και δυναμικές συνθήκες, η μείωση του αριθμού των ορόφων, η καθαίρεση ή και η ανακατασκευή προβληματικών δομικών στοιχείων, η μονολιθική μεταφορά του κτιρίου, η αύξηση της φέρουσας ικανότητας των δομικών στοιχείων, η αύξηση της δυσκαμψίας, η βελτίωση της συμπεριφοράς κατά τη μετελαστική παραμόρφωση των φερόντων στοιχείων και η διόρθωση εάν είναι εφικτό τυχόν ανεπαρκειών και μη κανονικοτήτων. Για το συγκεκριμένο κτίριο και με βάση τα πορίσματα της εξέτασης της παθολογίας και των αναλύσεων σε στατικές και δυναμικές συνθήκες της υφιστάμενης κατάστασης, διαμορφώνεται μια δέσμη παρεμβάσεων, η οποία κατά σειρά προτεραιότητας έχει ως κάτωθι:

- Αποκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ των κύριων διασταυρούμενων τοιχίων, η απουσία της οποίας παρατηρήθηκε κατά την αυτοψία και οφείλεται στις διαφορετικές φάσεις κατασκευής του κτιρίου. Η συγκεκριμένη επέμβαση αναμένεται να βελτιώσει την συνολική αντισεισμική συμπεριφορά.
- Επαναφορά της συνολικής δομής του κτιρίου σε λειτουργική κατάσταση με την κατασκευή εκ νέου των στοιχείων που έχουν καταρρεύσει και συνεπώς απουσιάζουν, ήτοι των πατωμάτων και της στέγης του Β τμήματος.
- Αποκατάσταση ή βελτίωση της σύνδεσης μεταξύ κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων για την αποφυγή ανάπτυξης κινηματικών μηχανισμών κατάρρευσης.
- Βελτίωση της ποιότητας και της αντοχής της τοιχοποιίας από λιθοδομή με σκοπό την συμπεριφορά της ως ενός ομογενοποιημένου συνόλου με αυξημένες τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών.
- Στοχευμένη μεταβολή της δυσκαμψίας του κτιρίου με προσθήκη κατάλληλα διατεταγμένων δομικών στοιχείων με επαρκή αντοχή και δυσκαμψία.

5.2. Προτεινόμενες Επεμβάσεις

5.2.1. Σύνδεση στη διασταύρωση των ασύνδετων τοιχίων

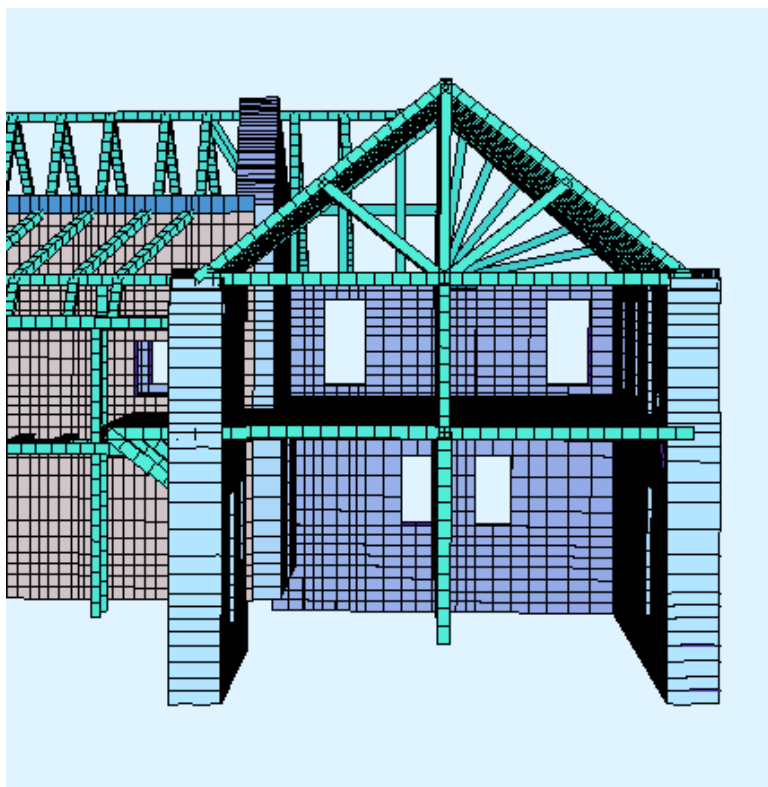
Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας της παθολογίας, αλλά και των αναλύσεων υφιστάμενης κατάστασης σε στατικές και δυναμικές συνθήκες, προκύπτει η ανάγκη για τη σύνδεση των ασύνδετων τοιχοποιιών μεταξύ του Α και Β τμήματος. Η εν λόγω επέμβαση αναμένεται ότι θα συμβάλει στην αποφυγή τοπικών μηχανισμών αστοχίας, καθώς και στην ευνοϊκότερη μεταφορά των φορτίων στον φορέα.

Εκ των προτεινόμενων στην βιβλιογραφία μεθόδων σύνδεσης των ασύνδετων τοιχίων, επιλέγεται και προτείνεται αυτή της εφαρμογής μεταλλικών στοιχείων. Καθότι δεν εντοπίζεται ξεκάθαρη δομή αρμών στα συμβάλλοντα τοιχία, ενδείκνυται η χρήση πλήθους ράβδων μικρής διατομής με σπείρωμα.

5.2.2. Κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος

Στο πλαίσιο της επισκευής του κτιρίου και της προσθήκης των στοιχείων που θα το καταστήσουν λειτουργικό, απαιτείται η ανακατασκευή των πατωμάτων και της στέγης του Β τμήματος, (Εικόνα 34). Ως υλικό κατασκευής προτείνεται το ξύλο, με τρόπο δόμησης όμοιο της αρχικής κατάστασης με κάποιες βελτιώσεις και περιορισμένη χρήση σύγχρονων υλικών. Αναλυτικά προβλέπεται η κατασκευή πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος για το δάπεδο ισογείου. Η επέμβαση αυτή κρίνεται ότι θα συμβάλει στην ασφαλή μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων στο έδαφος και θα δημιουργήσει ένα ανθεκτικό δάπεδο για την αποθήκευση σημαντικού βάρους αντικειμένων ή εξοπλισμού. Επί του δαπέδου και σε δομή παράλληλη με τους επιμήκεις τοίχους από λιθοδομή προβλέπεται η ανέγερση ξύλινων υποστυλωμάτων ικανής διατομής στηριγμένων αρθρωτά επί της πλάκας σκυροδέματος, τα οποία θα διαθέτουν «μαξιλάρια» στην κορυφή τους. Επί των «μαξιλαριών» θα τρέξει «ποταμός» επί του οποίου θα στηριχθούν εγκάρσια πατόξυλα. Η τελική επιφάνεια της οροφής ισογείου θα διαμορφωθεί με ξύλινες σανίδες. Σε ότι αφορά στο δεύτερο επίπεδο, προβλέπεται ακριβώς η ίδια δομή με το ισόγειο με τη διαφορά ότι τα υποστυλώματα θα εδράζονται σε δεύτερο κατά μήκος «ποταμό» παράλληλο με αυτόν του ισογείου. Στην κορυφή τους θα υπάρχουν «μαξιλάρια» τα οποία θα στηρίζουν άνω κεντρικά τοποθετημένο «ποταμό» επί του οποίου θα τοποθετηθούν οι ελκυστήρες της ξύλινης στέγης. Οι αμείβοντες με τη σειρά τους θα στηρίζονται ενδιάμεσα σε αντηρίδες οι οποίες θα καταλήγουν στον εν λόγω ποταμό. Η επικάλυψη της στέγης σε πρώτη φάση

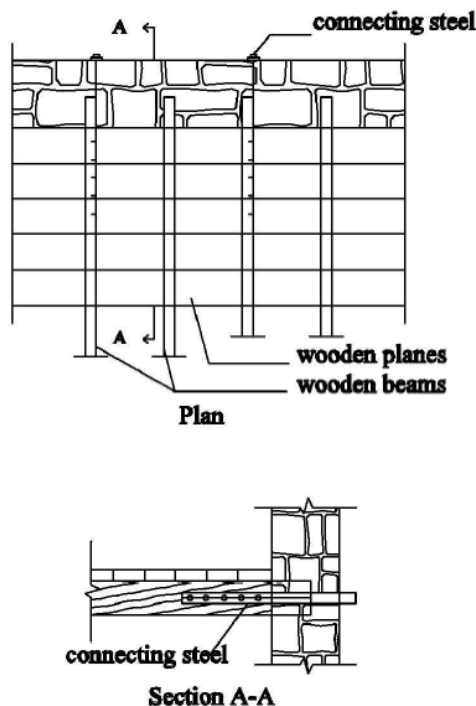
δύναται να κατασκευαστεί με απλό ασφαλτόπανο επί του σανιδώματος. Η χρήση βαρύτερων υλικών όπως κεραμίδια γαλλικού τύπου ή σχιστόπλακες δύναται να εξεταστεί μελλοντικά αλλά κρίνεται ότι θα επιβαρύνει σημαντικά την εντατική κατάσταση του κτιρίου σε στατικές και δυναμικές συνθήκες. Τέλος, κατά την επισκευή του Β τμήματος, προβλέπεται και η αποκατάσταση του μικρού πλάτους εξώστη επί της ΒΔ τοιχοποιίας.



Εικόνα 34 Ενδεικτική τομή προσομιώματος για την επισκευή και αποκατάσταση του Β τμήματος

5.2.3. Επεμβάσεις στα πατώματα

Σε ότι αφορά σε επεμβάσεις στο υφιστάμενο ξύλινο δάπεδο, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αβεβαιότητα σύνδεσης των πατόξυλων με τη λιθοδομή, προτείνεται η κατάλληλη σύνδεση ικανού αριθμού πατόξυλων με κατάλληλους μεταλλικούς συνδέσμους με τους τοίχους στους οποίους εδράζονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35 Τύπος σύνδεσης πατωμάτων και στεγών με τις φέρουσες τοιχοποιίες (Σχέδιο Κ.Α.Δ.Ε.Τ.)

Η ίδια τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί και στο προς κατασκευή δάπεδο στο τμήμα Β, στο οποίο εντοπίζονται εκτεταμένες βλάβες στις ξυλοδεσιές που συνορεύουν με τις κενές δοκοθήκες.

Λοιπές επεμβάσεις αύξησης της εντός επιπέδου δυσκαμψίας, δεν κρίνονται αρχικά απαραίτητες.

5.2.4. Επιδιόρθωση ξύλινων διαζωμάτων

Προβλέπεται η επισκευή με αντικατάσταση όλων των προβληματικών ορατών στοιχείων των ξύλινων διαζωμάτων καθώς και η τοποθέτηση νέων στοιχείων στις θέσεις όπου αυτά απουσιάζουν παντελώς.

5.2.5. Κατασκευή διαζώματος κορυφής από οπλισμένο σκυρόδεμα

Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων της υφιστάμενης κατάστασης, είναι φανερό ότι οι τοιχοποιίες από λιθοδομή του κτιρίου παρουσιάζουν σημαντικό έλλειμμα αντοχής σε εκτός επιπέδου παραμόρφωση, είτε παράλληλα στον οριζόντιο αρμό, είτε κάθετα σε αυτόν. Μια αποτελεσματική μέθοδος επέμβασης, η οποία προτείνεται καθότι κρίνεται ως εφικτή τεχνικά για το εν λόγω κτίριο και την υφιστάμενή του κατάσταση, λόγω της απουσίας μεγάλου μέρους της κάλυψής του, είναι η κατασκευή διαζώματος από

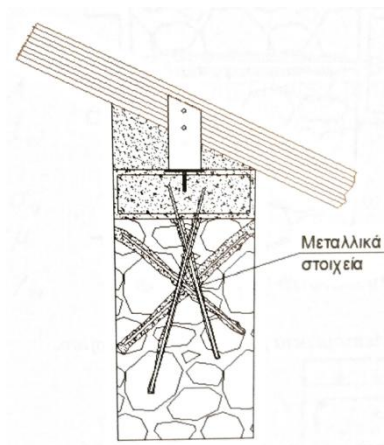
οπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της κατασκευής. Η εν λόγω επέμβαση, κρίνεται απολύτως εφικτή για το τμήμα Β, ενώ στο τμήμα Α θα απαιτηθεί η τμηματική αφαίρεση και ανακατασκευή της στέγης. Η κατασκευή διαζώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα, αναμένεται να επιφέρει:

- Βελτίωση της σύνδεσης μεταξύ των τοίχων (ειδικά στις συμβολές των ασύνδετων τοίχων μεταξύ του Α και Β τμήματος).
- Βελτίωση της σύνδεσης μεταξύ των τοίχων και της στέγης.
- Αποφυγή των τοπικών μηχανισμών αστοχίας, οι οποίοι εντοπίστηκαν από τις αναλύσεις της υφιστάμενης κατάστασης.
- Εντός και εκτός επιπέδου αύξηση της αντίστασης των τοίχων.
- Καλύτερη κατανομή των σεισμικών δυνάμεων μεταξύ των φερόντων στοιχείων της κατασκευής.

Λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο μήκος των τοίχων στα δύο επιμέρους τμήματα του κτιρίου, κρίνεται απαραίτητη η εγκάρσια σύνδεση του διαζώματος κορυφής με στοιχεία τα οποία να δρουν ως ελκυστήρες με σκοπό την αύξηση της δυσκαμψίας του διαφράγματος στην εν λόγω στάθμη. Τον ρόλο αυτόν δυνητικά θα μπορούσαν να τον εκπληρώσουν οι ελκυστήρες της στέγης εφόσον συνδεθούν κατάλληλα με το διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ιδιαίτερα λόγω της πυκνής τους διάταξης.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι το ύψος του διαζώματος θα μπορούσε να είναι κατ' ελάχιστον της τάξης του 25% του πάχους της τοιχοποιίας, ήτοι περί τα $0.20m - 0.25m$.

Τονίζεται η ανάγκη για επαρκή σύνδεση του διαζώματος κορυφής από οπλισμένο σκυρόδεμα με την λιθοδομή (Εικόνα 36), προκειμένου να αποφευχθεί αστοχία στον ενδιάμεσο αρμό.



Εικόνα 36 Λεπτομέρεια σύνδεσης στέγης και διαζώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2019)

5.2.6. Βαθύ αρμολόγημα

Η επέμβαση με βαθύ αρμολόγημα χαρακτηρίζεται ως συνήθης επέμβαση χαμηλού σχετικά κόστους. Η αύξηση της αντοχής της τοιχοποιίας είναι ανάλογη του ποσοστού αντικατάστασης του υφιστάμενου κονιάματος με αντίστοιχο νέων βελτιωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών. Η διαδικασία εφαρμογής της εν λόγω επέμβασης είναι γενικά η ακόλουθη:

1. Καθαίρεση υφιστάμενων επιχρισμάτων.
2. Καθαίρεση του κονιάματος των αρμών σε ικανό βάθος.
3. Διαβροχή της τοιχοποιίας με χαμηλή πίεση έως το σημείο κορεσμού χωρίς παρακράτηση νερού.
4. Εφαρμογή του νέου κονιάματος εντός των αρμών σε στρώσεις.
5. Διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας των αρμών.

Το κονίαμα του αρμολογήματος, λόγω του χαρακτήρα του κτιρίου προτείνεται να αποτελείται από μίγμα υδραυλικής άσβεστου και λευκού τσιμέντου ειδικών προδιαγραφών.

Η συγκεκριμένη μέθοδος ενίσχυσης, κατά τις οδηγίες του ΚΑ.Δ.Ε.Τ. και τη γενική πρακτική, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι εξασφαλίζει αύξηση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας. Ωστόσο, για ελέγχους σε εκτός επιπέδου κάμψη, δύναται να χρησιμοποιηθεί η εφελκυστική αντοχή του νέου κονιάματος αρμολογήματος.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι για βαθύ αρμολόγημα βάθους 10cm σε τοιχοποιία μέσου πάχους 80, προκύπτει:

$$f_{co} = 3.61 \text{ Mpa}$$

$$k = 1.50 \text{ (ελλείψει στοιχείων)}$$

$$t_{m,new} = 10 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

$$t_w = 80 \text{ cm}$$

$$f_{cs} = f_{co} * \left(1 + k * \frac{V_{new}}{V_{tot}}\right) = f_{co} * \left(1 + k * \frac{t_{m,new}}{t_w}\right) = 3.61 * \left(1 + 1.5 * \frac{20}{80}\right) = 4.96 \text{ Mpa}$$

Συνεπώς, η εν λόγω επέμβαση κρίνεται ότι δύναται να εξασφαλίσει αντοχή έναντι τοπικής θλιπτικής αστοχίας αυξημένη κατά περίπου 37%.

Σε ότι αφορά στην εφελκυστική αντοχή του κονιάματος για τους ελέγχους εκτός επιπέδου, κρίνεται ότι με βάση τον πίνακα του εθνικού προσαρτήματος του EN 1996-1, αντιπροσωπευτικές τιμές για αστοχία παράλληλη και κάθετη στον οριζόντιο αρμό αντίστοιχα είναι οι κάτωθι:

$$f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa} > 0.05 \text{ Mpa αρχικής κατάστασης}$$

$$f_{xk2} = 0.40 \text{ Mpa} > 0.20 \text{ Mpa αρχικής κατάστασης}$$

5.2.7. Εφαρμογή Ενεμάτων – Ομογενοποίηση

Η τεχνική της ομογενοποίησης με ενέματα επιτυγχάνεται με εισπίεση ενεμάτων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών της χαρακτηριστικών σε ότι αφορά στην αντοχή και στη δυσκαμψία. Η ομογενοποίηση δεν τροποποιεί την μορφολογία και την αισθητική της κατασκευής επιτρέποντας την εφαρμογή της σε μνημεία και διατηρητέα κτίρια. Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου είναι περιληπτικά η κάτωθι:

1. Καθαρισμός του τοίχου.
2. Αρμολόγημα και σφράγιση των ρωγμών.
3. Καθορισμός βέλτιστης απόστασης οπών εισπίεσης ενέματος.
4. Διάνοιξη των οπών με περιστροφικών και όχι κρουστικών τρυπανιών.
5. Τοποθέτηση των σωλήνων πλήρωσης.
6. Πλύσιμο και διαβροχή του τοίχου έως το σημείο κορεσμού.
7. Ενεμάτωση.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων πρέπει να είναι συμβατά με τα αντίστοιχα της υφιστάμενης τοιχοποιίας και να διαθέτουν επαρκή ικανότητα διεύθυνσης. Η πίεση εφαρμογής πρέπει να συνδυάζεται με τον χρόνο που απαιτείται για την επιτυχία της διαδικασίας. Οι χημικές ιδιότητες πρέπει να διατηρούνται σταθερές στο χρόνο και απαιτείται ισχυρή συνοχή μεταξύ του ενέματος και των στοιχείων της τοιχοποιίας.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η νέα θλιπτική αντοχή μίας δίστρωτης τοιχοποιίας μετά από ενεμάτωση σύμφωνα με το σχέδιο του Κ.Α.Δ.Ε.Τ. δίνεται ως κάτωθι:

$$\begin{aligned}f_{wco} &= 3.61 \text{ Mpa} \\ \gamma_o &= 25 \frac{kN}{m^3} \approx \gamma_{gr} \\ \text{Έστω ότι } \frac{V_{gr}}{V_o} &= 3.5\% = 0.035 \\ f_{wcs} &= f_{wco} * \left[1 + 0.013 * \left(100 * \frac{G_{gr}}{G_o} \right)^3 \right] = f_{wco} * \left[1 + 0.013 * \left(100 * \frac{V_{gr}}{V_o} \right)^3 \right] \\ &= 3.61 * [1 + 0.013 * (100 * 0.035)^3] = 5.62 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Συνεπώς, η εν λόγω επέμβαση κρίνεται ότι εξασφαλίζει ενδεικτικά αύξηση της θλιπτικής αντοχής της τάξης του 55%.

Στις λοιπές αντοχές δίστρωτης τοιχοποιίας, συντηρητικά το σχέδιο του Κ.Α.Δ.Ε.Τ. προτείνει την θεώρηση:

- Της εφελκυστικής αντοχής της μη ενισχυμένης τοιχοποιίας.
- Της διατμητικής αντοχής της μη ενισχυμένης τοιχοποιίας.

5.2.8. Στοχευμένη προσθήκη τοιχίων από λιθοδομή

Η επιλογή της εν λόγω επέμβασης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί εύκολη, καθότι δυνητικά επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τόσο τη μορφολογία του κτιρίου όσο και τη λειτουργικότητά του. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η προσφυγή σε τέτοιου είδους λύσεις είναι επιβεβλημένη προκειμένου να αυξηθεί η δυσκαμψία σε πολύ εύκαμπτα σημεία του κτιρίου, μειώνοντας τις μέγιστες παραμορφώσεις. Τα επιπρόσθετα στοιχεία δυσκαμψίας, μπορεί να αποτελούνται από λιθοδομή ή οπλισμένο σκυρόδεμα, ή μεταλλική κατασκευή και η χωροθέτησή τους είναι ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την τελική αντισεισμική συμπεριφορά του κτιρίου. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται για

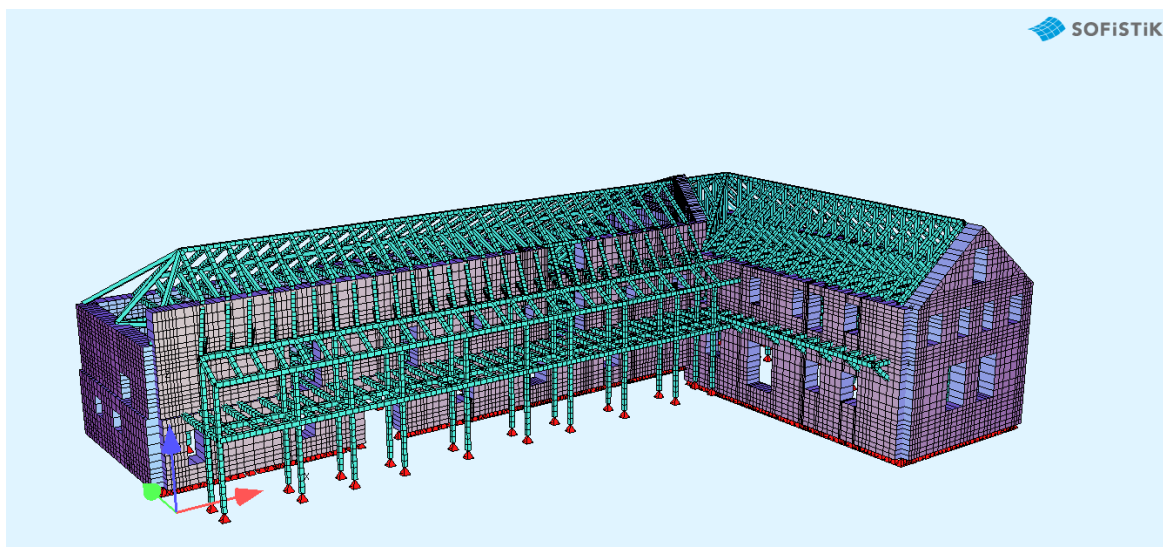
τον επαρκή τρόπο έδρασης και τον ορθό τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα δομικά στοιχεία της κατασκευής.

5.3. Προσομοίωμα Κατασκευής

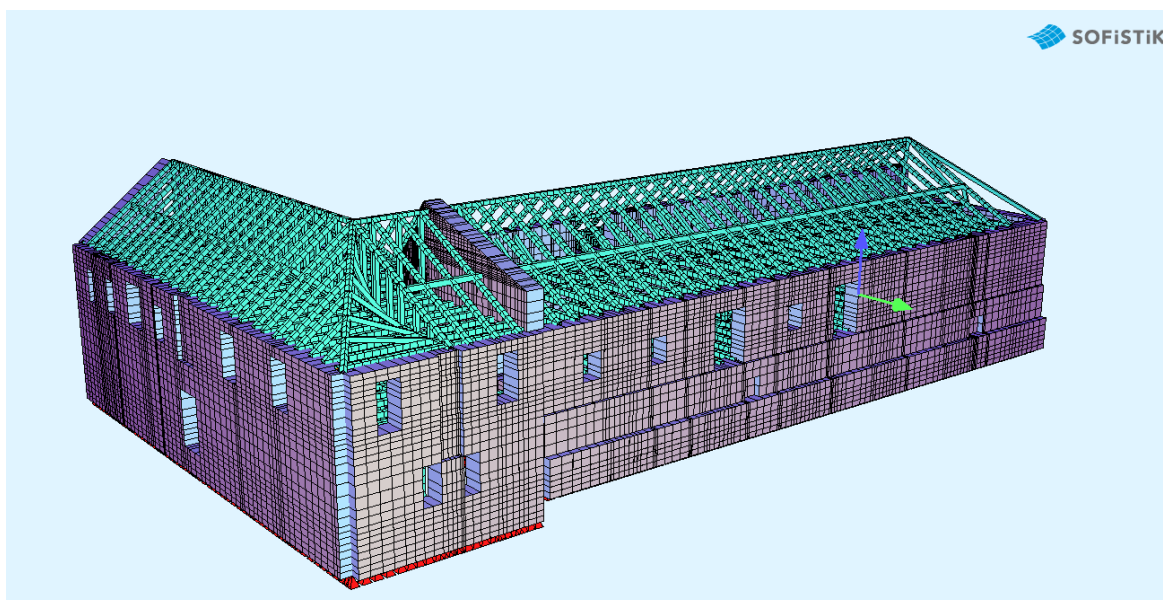
Σε συνέχεια των ανωτέρω, για το ενισχυμένο κτίριο αναφέρεται ότι:

- Για την προσομοίωση της τοιχοποιίας διατηρούνται τα τετράκομβα επιφανειακά στοιχεία κελύφους.
- Για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών, οι οποίες υπόκεινται αυστηρά σε αξονική ένταση διατηρούνται τα γραμμικά στοιχεία δοκού τύπου «Truss».
- Για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών, οι οποίες υπόκεινται μεταξύ άλλων και σε κάμψη διατηρούνται τα γραμμικά στοιχεία δοκού τύπου «Beam».
- Οι στηρίξεις των δοκών των πατόξυλων στις αντίστοιχες δοκοθήκες, οι οποίες αρχικά ελήφθησαν ως προβληματικές και ανίκανες να παραλάβουν αξονικά φορτία ή ροπή, στην επίλυση του ενισχυμένου κτιρίου θεωρείται ότι συνδέονται επαρκώς με την τοιχοποιία.
- Το σανίδωμα των πατωμάτων προσομοιώνεται με απλές επιφάνειες φόρτισης που καταμερίζουν τα επιφανειακά φορτία σε υποκείμενες δοκούς και η συνεισφορά τους στη δυσκαμψία του φορέα επιλέχθηκε να αγνοηθεί προς την πλευρά της ασφάλειας.
- Στη συμβολή των ασύνδετων αρχικά τοιχοποιιών, όπου είχε επιλεγθεί η δημιουργία αρμού τύπου κενού με απουσία στοιχείων, στο ενισχυμένο κτίριο, θεωρείται ότι έχει αποκατασταθεί η σύνδεση και ο αρμός παραλείπεται.
- Στις περιοχές όπου εντοπίστηκαν τζάκια, παρά το γεγονός ότι αυτά θα επισκευαστούν ή θα καταργηθούν συμπληρώνοντας την τοιχοποιία, διατηρήθηκε ως προς την πλευρά της ασφάλειας η πρακτική της μείωσης του πάχους των επιφανειακών στοιχείων κελύφους στο ήμισυ.

Ο ως άνω τρόπος προσομοίωσης του φορέα, καθότι συμβατός με τον αντίστοιχο όμοιο της αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης, επιτρέπει με μεγάλη επιτυχία την εποπτική σύγκριση της πρότερης με την ενισχυμένη κατάσταση του κτιρίου που θα επέλθει μετά από την εφαρμογή της στρατηγικής των επεμβάσεων.



Εικόνα 37 Άποψη του προσομοιώματος της βελτιωμένης κατάστασης από τα ανατολικά



Εικόνα 38 Άποψη προσομοιώματος της βελτιωμένης κατάστασης από τα Δυτικά

5.4. Διακριτοποίηση Φορέα

Σε σχέση με τη διακριτοποίηση του φορέα του ενισχυμένου κτιρίου ισχύει η ορθή πρακτική που εφαρμόστηκε και για την υφιστάμενη κατάσταση και περιγράφεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

5.5. Συνθήκες Στήριξης

Καθότι η στρατηγική επέμβασης δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του εδάφους θεμελίωσης ή τροποποίηση της θεμελίωσης του κτιρίου, για την προσομοίωση της στήριξης της τοιχοποιίας στο έδαφος, διατηρείται η αρχική θεώρηση της στήριξης της τοιχοποιίας με άρθρωση.

5.6. Απόδοση Μηχανικών Χαρακτηριστικών στα Στοιχεία του Προσομοιώματος

Σε όλες τις αναλύσεις εκτός από αυτές που αφορούν στην εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ομογενοποίησης, χρησιμοποιήθηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της ανάλυσης της αποτίμησης. Για τα νέα υλικά όπως το σκυρόδεμα και ο δομικός χάλυβας, χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές από τη βιβλιογραφία. Στις αναλύσεις που αφορούν σε εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ομογενοποίησης, τροποποιήθηκε κατάλληλα το μέτρο ελαστικότητας και το μέτρο διάτμησης και ορίστηκαν νέες κλίμακες αντοχών.

5.7. Στατικά και Δυναμικά Φορτία Κατασκευής

Ως στατικά φορτία του ενισχυμένου κτιρίου εφαρμόζονται αυτά που περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο, που αφορά στην υφιστάμενη κατάσταση, αφού κρίνεται ότι είναι πλήρως αντιπροσωπευτικά και προς την πλευρά της ασφάλειας για τη μελλοντική χρήση του κτιρίου.

5.8. Δυναμικά Φορτία Κατασκευής

Σε ότι αφορά στα δυναμικά φορτία του ενισχυμένου κτιρίου σημειώνεται ότι μετά την εφαρμογή της στρατηγικής των επεμβάσεων δεν επέρχονται αλλαγές που να αφορούν στη χρήση, στη σπουδαιότητα, στη θέση, στις συνθήκες έδρασης και στη γενική μορφολογία

και κανονικότητα. Επιπρόσθετα, δεν προβλέπεται να εφαρμοστούν μέτρα σεισμικής μόνωσης ή αύξησης της απόσβεσης. Συνεπώς, εφαρμόζονται αυτά που περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο που αφορά στην υφιστάμενη κατάσταση.

5.9. Συνδυασμοί Φόρτισης

Χρησιμοποιήθηκαν οι κανονιστικοί συνδυασμοί φόρτισης αστοχίας σε στατικές και δυναμικές συνθήκες κατά το κανονιστικό κείμενο του EN1990 ως περιγράφονται αναλυτικά ανωτέρω.

5.10. Αποτελέσματα Επίλυσης Ενισχυμένου Κτιρίου

Προκειμένου να καταστεί εποπτική η συμβολή έκαστης επέμβασης ή δέσμης επεμβάσεων στη βελτίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου, παρατίθενται διαδοχικές επιλύσεις που αφορούν σε διάφορες δέσμες επεμβάσεων. Τονίζεται, ότι η σειρά των επεμβάσεων ως παρουσιάζονται κάτωθι δεν αντιστοιχούν κατά ανάγκη στην αλληλουχία με την οποία θα εφαρμοστούν στο κτίριο κατά την αποκατάσταση και την ενίσχυσή του.

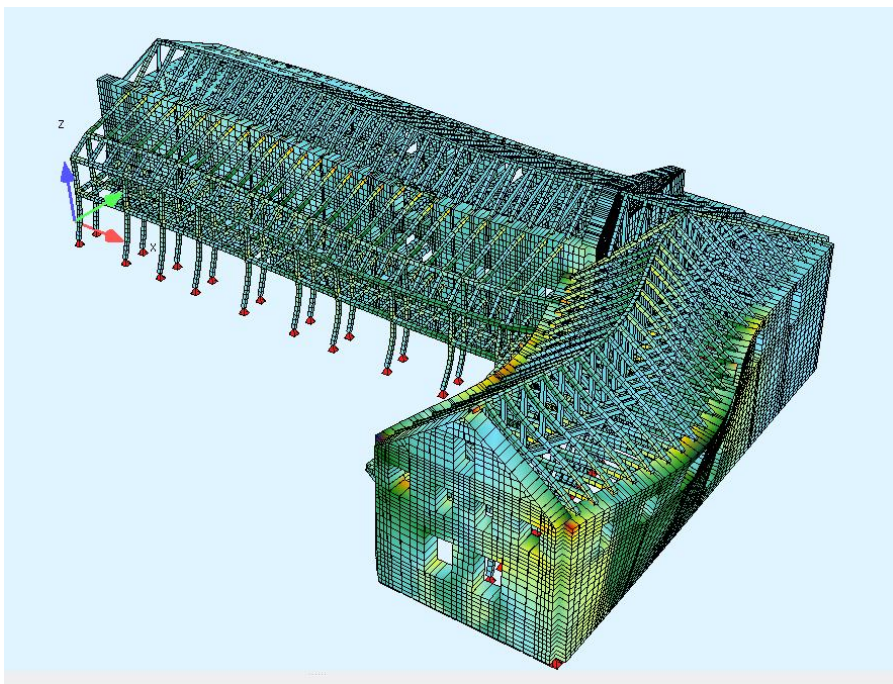
5.10.1. Σύνδεση ασύνδετων τοιχίων & κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος & σύνδεση πατόξυλων με λιθοδομή

Κάτωθι παρατίθενται αποτελέσματα επίλυσης που αφορούν στις απολύτως απαραίτητες ενέργειες, προκειμένου να αρθούν οι εμφανείς κατασκευαστικές ατέλειες και να καταστεί το κτίριο πλήρως λειτουργικό για τη νέα του χρήση.

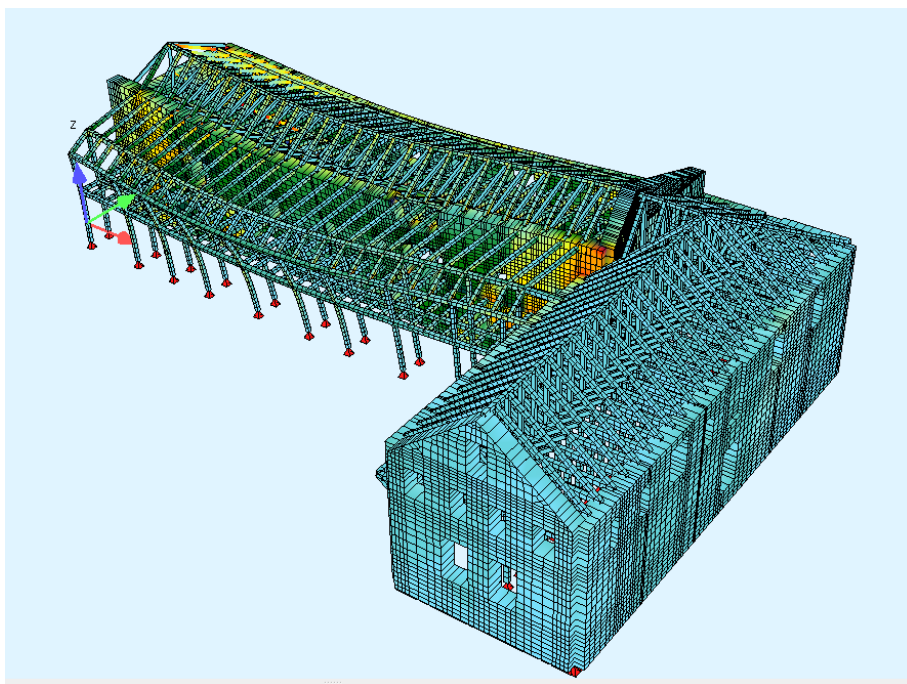
Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για την εφαρμογή της εν λόγω δέσμης επεμβάσεων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός ιδιομορφών K	Ιδιοπερίοδος K ης ιδιομορφής T_K	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά x	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά χ	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά y	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά y
#	s	s	%	s	%
$K = 200$	0.0237	0.223	78.62<90	0.405	83.73<90
Κριτήριο EC8-1 (4.14a) $K \geq 3\sqrt{2} \geq 4.24$ - ok					
Κριτήριο EC8-1 (4.14b) $T_k \leq 0.20$ - ok					

Πίνακας 12 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με τη σύνδεση τοιχίων & κατασκευή πατωμάτων και στέγης Β τμήματος & τη σύνδεση πατόξυλων με τη λιθοδομή



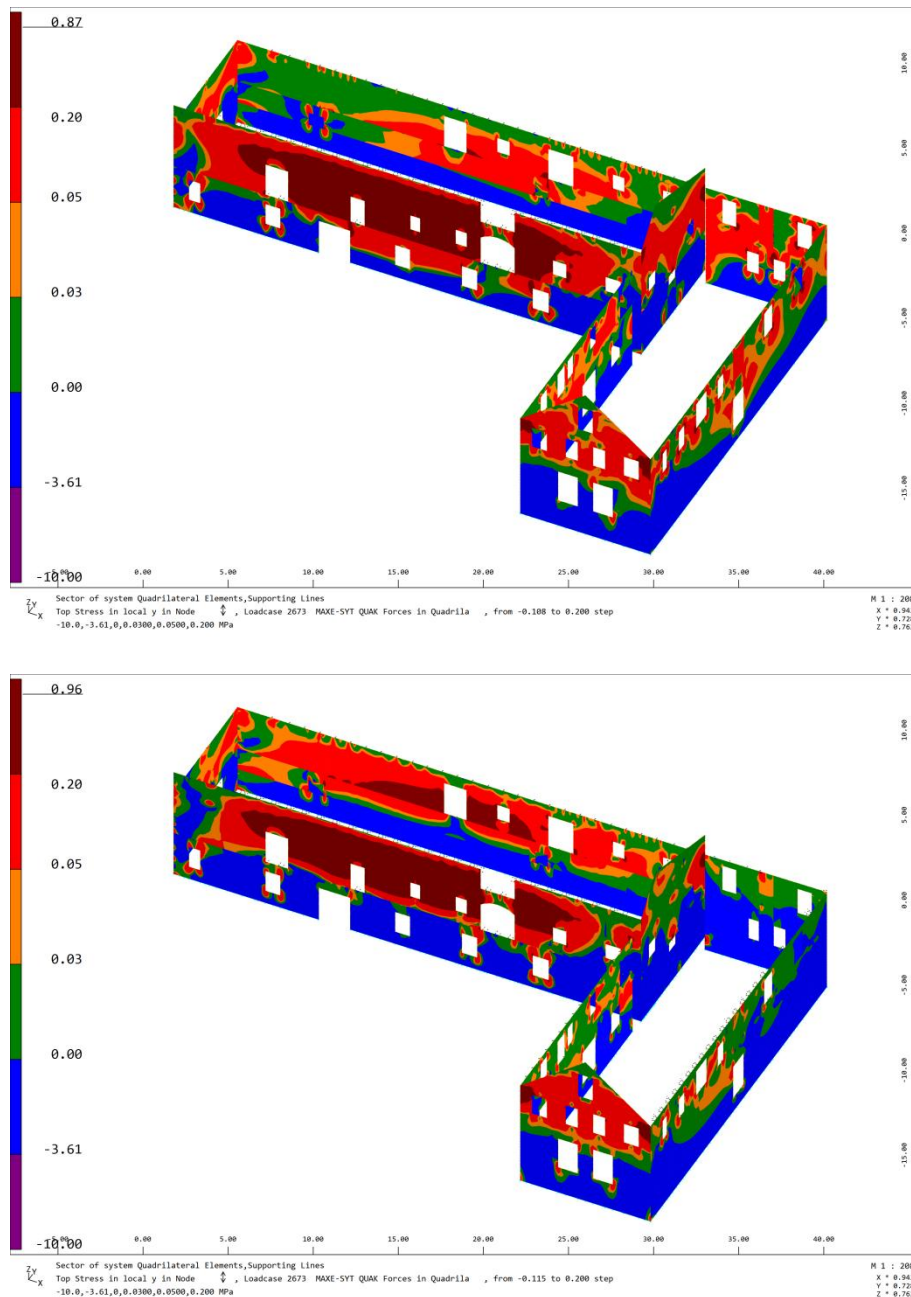
Εικόνα 39 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x



Εικόνα 40 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y

Είναι φανερό ότι το κτίριο απέκτησε μεγαλύτερη δυσκαμψία και προς τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις αφού παρουσιάζει μικρότερες αντίστοιχες θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους σε σχέση με τα αποτελέσματα της αποτίμησης. Ειδικά κατά τη διεύθυνση x, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος έχει μειωθεί στο ήμισυ αφού πλέον έχουν συμπληρωθεί όλα τα τμήματα της κατασκευής που απουσίαζαν και οι τοιχοποιίες συνδέονται επαρκώς μεταξύ τους.

Ακολουθούν επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες για τις δύο πλευρές των τοιχοποιιών του κτιρίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εποπτική αξιολόγηση της συμβολής της συγκεκριμένης δέσμης επεμβάσεων στη συμπεριφορά του κτιρίου, παρατίθενται προς σύγκριση τόσο οι χάρτες τάσεων της αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης (άνω εικόνα) όσο και οι αντίστοιχοι νέοι όμοιοι μετά την εφαρμογή των συγκεκριμένων επεμβάσεων (κάτω εικόνα).



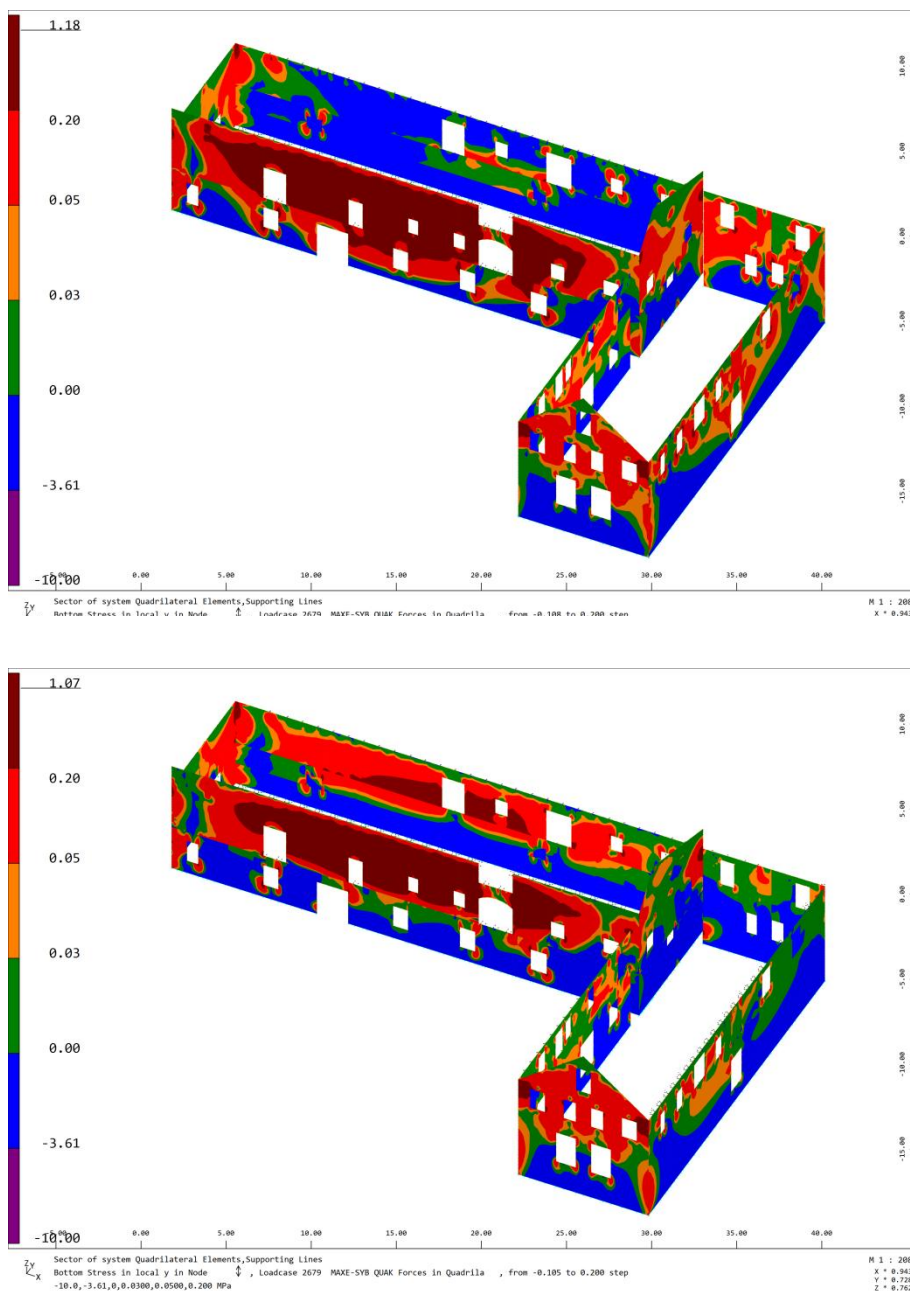
Εικόνα 41 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό στο τμήμα Β. Επιδείνωση της εικόνας της ΒΑ

λιθοδομής του τμήματος Α μετά την αποκατάσταση της συνεργασίας της με την απέναντι
ΝΔ όμοια.



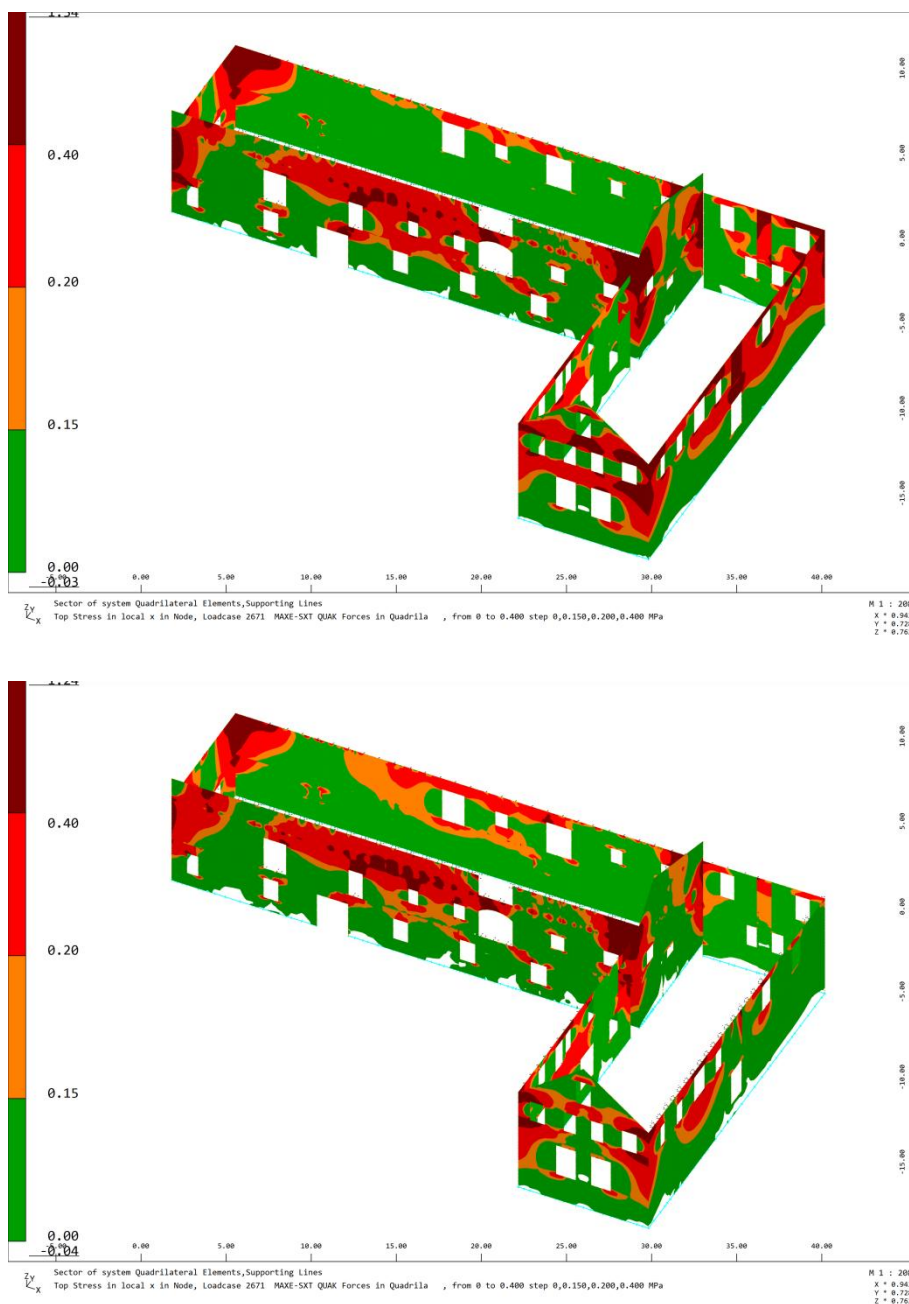
Εικόνα 42 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05Mpa$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61Mpa$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό στο τμήμα Β. Επιδείνωση της εικόνας της ΒΑ

λιθοδομής του τμήματος Α μετά την αποκατάσταση της συνεργασίας της με την απέναντι
ΝΔ όμοια.

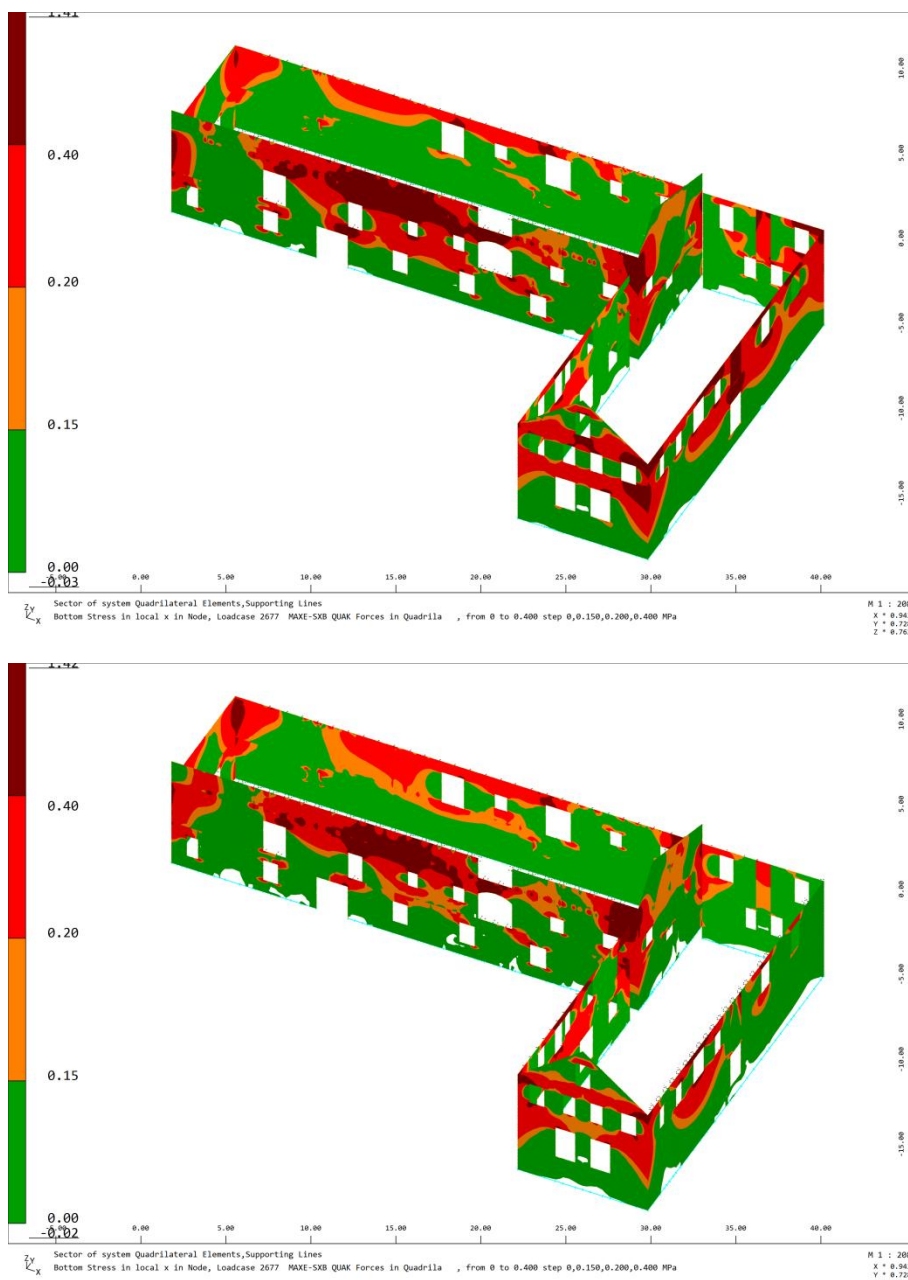


Εικόνα 43 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς σε εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό σε όλο τον φορέα.

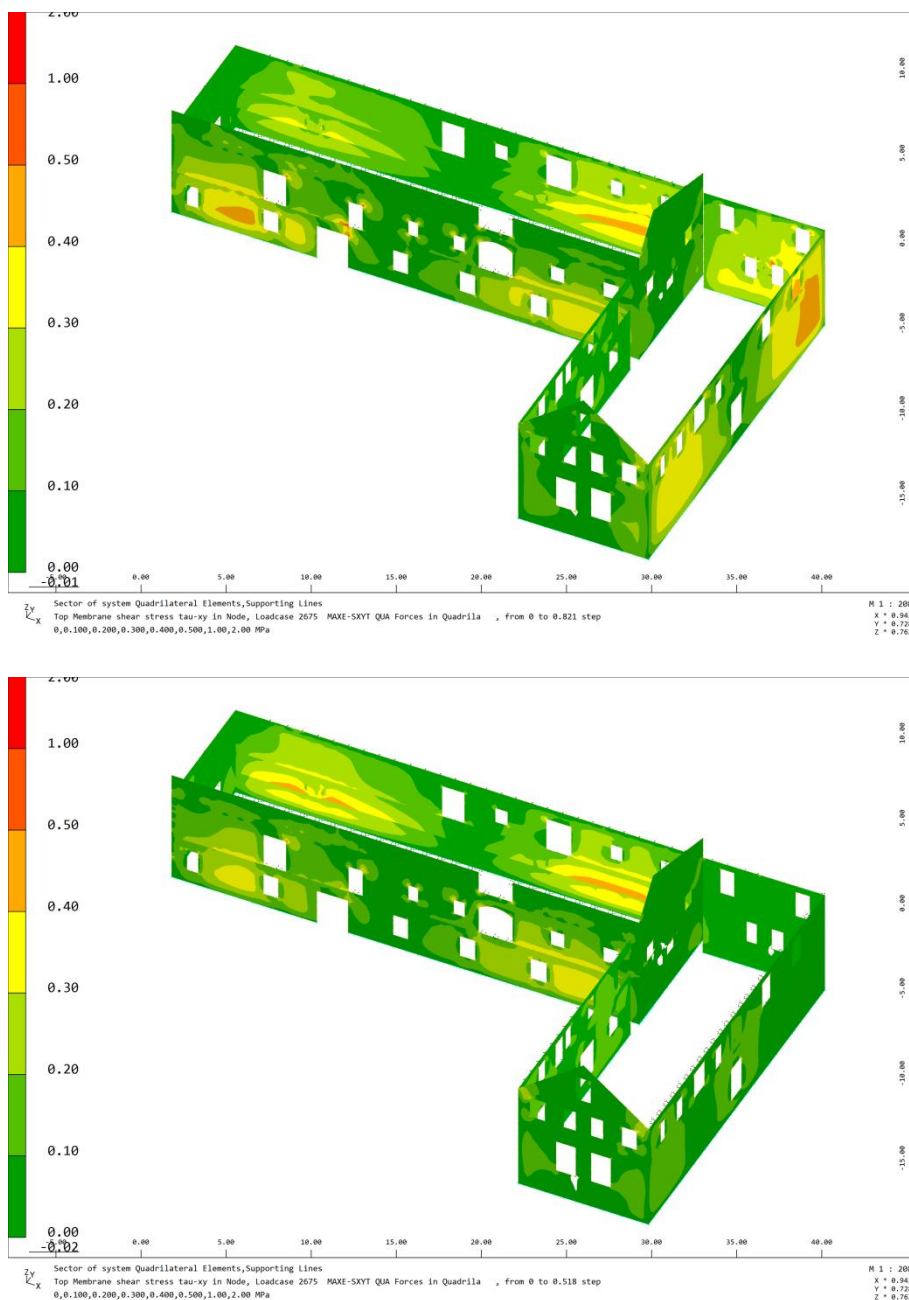


Εικόνα 44 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20 \text{ MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς σε εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό κυρίως στο τμήμα Β στην ΝΑ λιθοδομή.

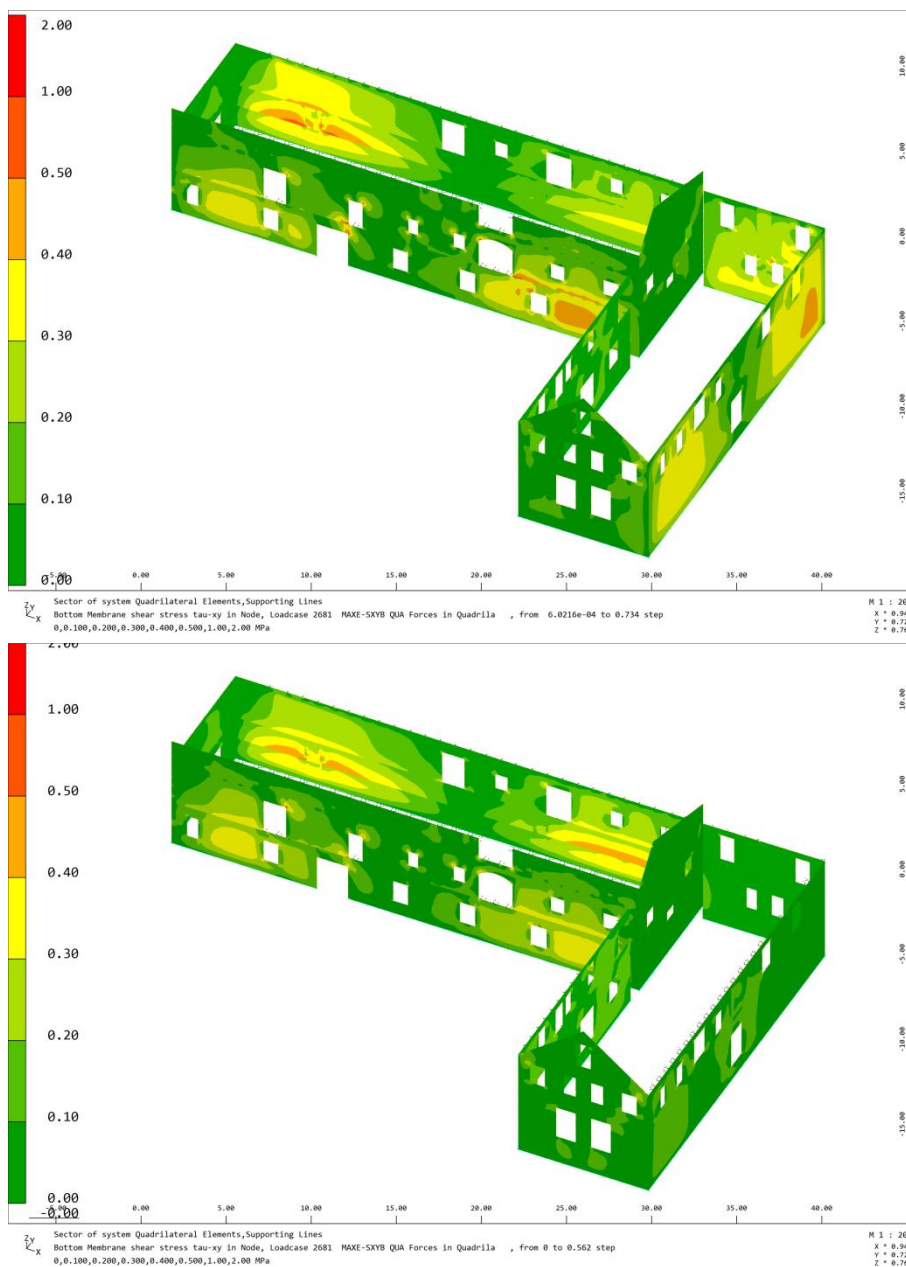


Εικόνα 45 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς σε διάτμηση ιδίως στο τμήμα Β.



Εικόνα 46 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατημητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς σε διάτμηση ιδίως στο τμήμα Β.

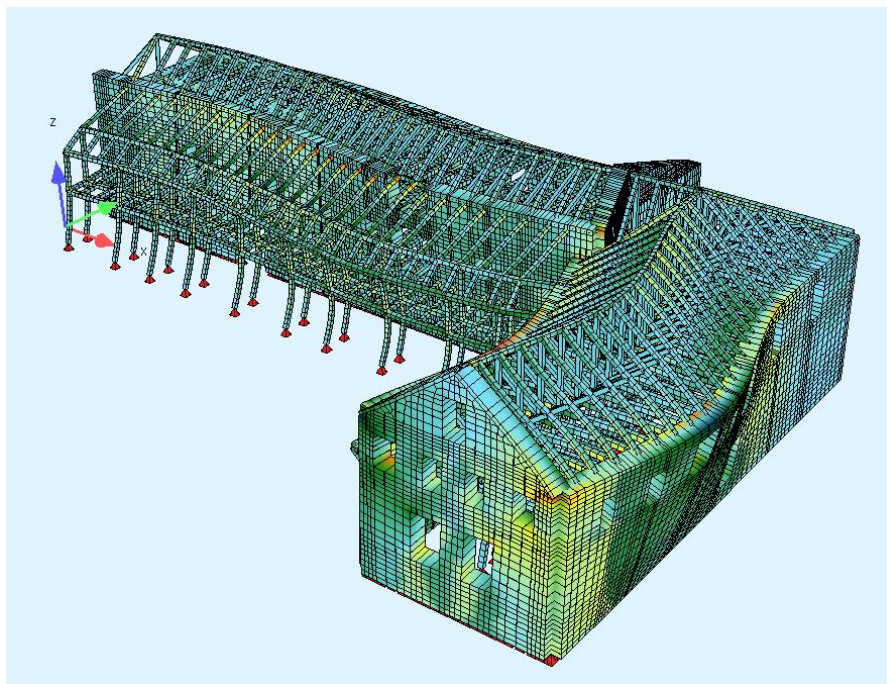
5.10.2. Διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της λιθοδομής

Κάτωθι παρατίθενται αποτελέσματα επίλυσης που αφορούν στην επιπρόσθετη των ανωτέρω επεμβάσεων κατασκευή ενιαίου διαζώματος πάχους 0.30m από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής C25/30 στην κορυφή των τοιχοποιιών, όπου αυτό είναι δυνατό λόγω της ανισοσταθμίας μεταξύ κάποιων εξ αυτών.

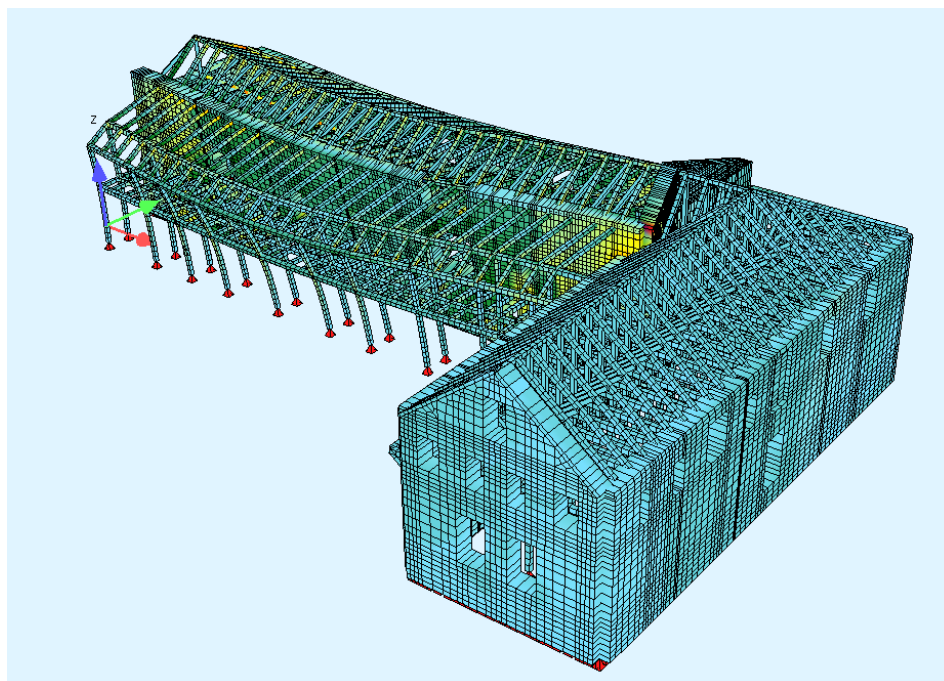
Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για την εφαρμογή της εν λόγω δέσμης επεμβάσεων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός ιδιομορφών K	Ιδιοπερίοδος K ης ιδιομορφής T_K	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά x	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά χ	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά y	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά y
#	s	s	%	s	%
$K = 200$	0.023	0.199	78.93	0.392	83.86
Κριτήριο EC8-1 (4.14a) $K \geq 3\sqrt{2} \geq 4.24$ - ok					
Κριτήριο EC8-1 (4.14b) $T_k \leq 0.20$ - ok					

Πίνακας 13 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της λιθοδομής, επιπρόσθετα των επεμβάσεων της προηγούμενης παραγράφου



Εικόνα 47 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x

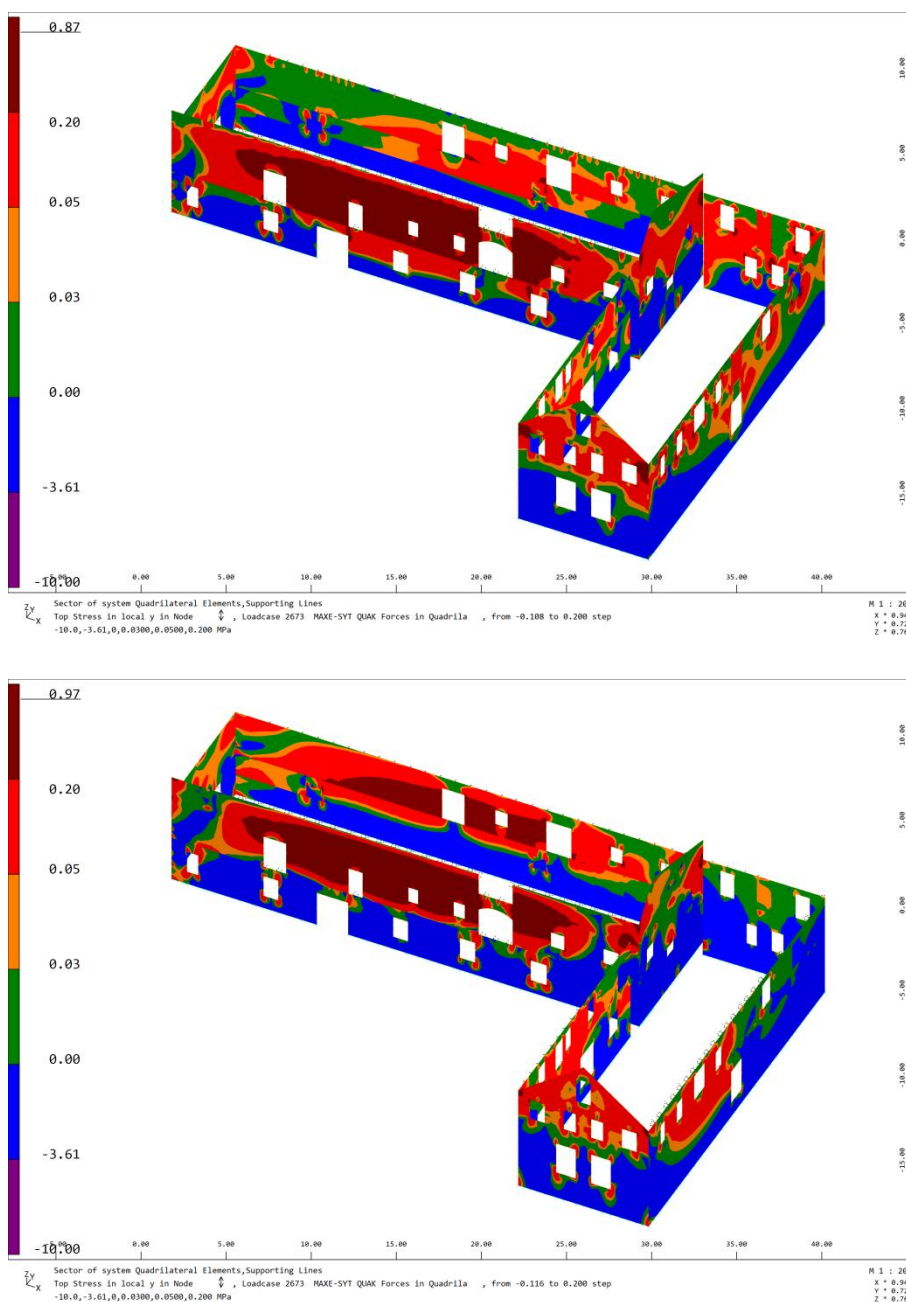


Εικόνα 48 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y

Η συνεισφορά του διαζώματος κορυφής, φαίνεται ότι είναι σχετικά μικρή σε ότι αφορά στην συνολική δυσκαμψία του κτιρίου και προς τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις.

Ενδεχομένως, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εφαρμογή του σε ισόσταθμη συνεχόμενη διάταξη είναι αδύνατη χωρίς την σημαντική τροποποίηση της μορφής του κτιρίου.

Ακολουθούν επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες για τις δύο πλευρές των τοιχοποιιών του κτιρίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εποπτική αξιολόγηση της συμβολής της συγκεκριμένης δέσμης επεμβάσεων στη συμπεριφορά του κτιρίου, παρατίθενται προς σύγκριση τόσο οι χάρτες τάσεων της αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης (άνω εικόνα) όσο και οι αντίστοιχοι νέοι όμοιοι μετά την εφαρμογή των συγκεκριμένων επεμβάσεων (κάτω εικόνα).

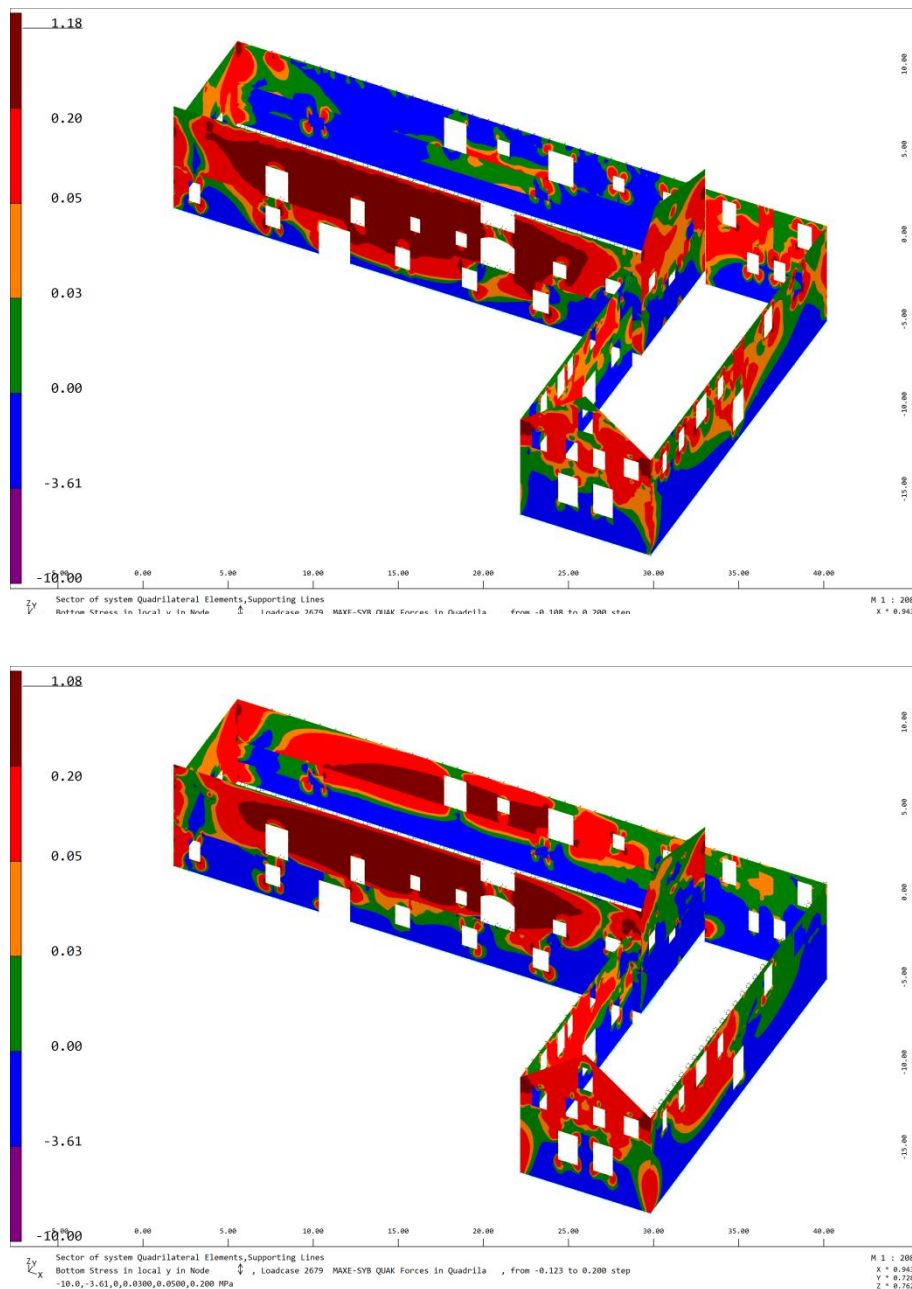


Εικόνα 49 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.

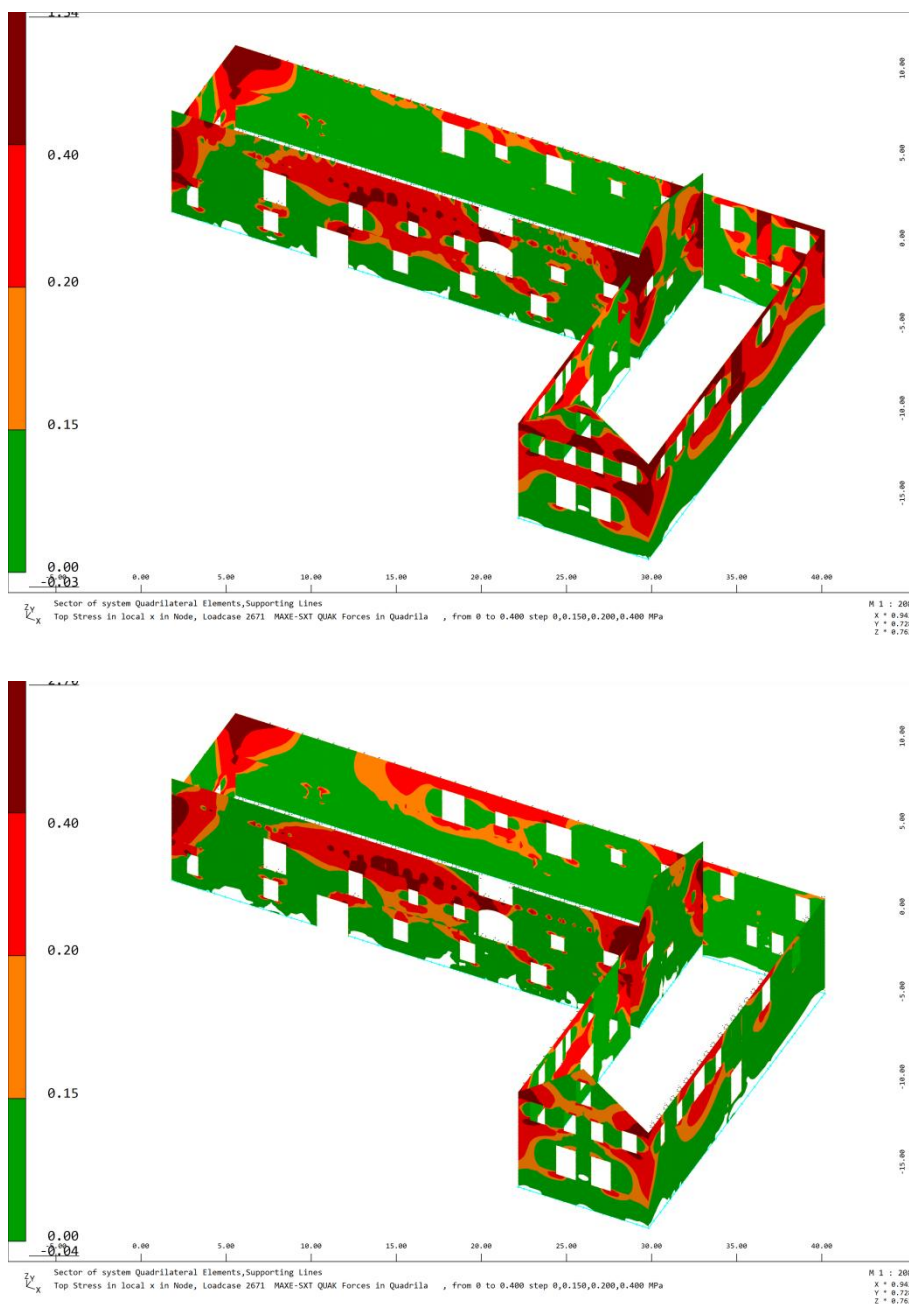


Εικόνα 50 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MIN-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.05\text{Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 3.61\text{Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.

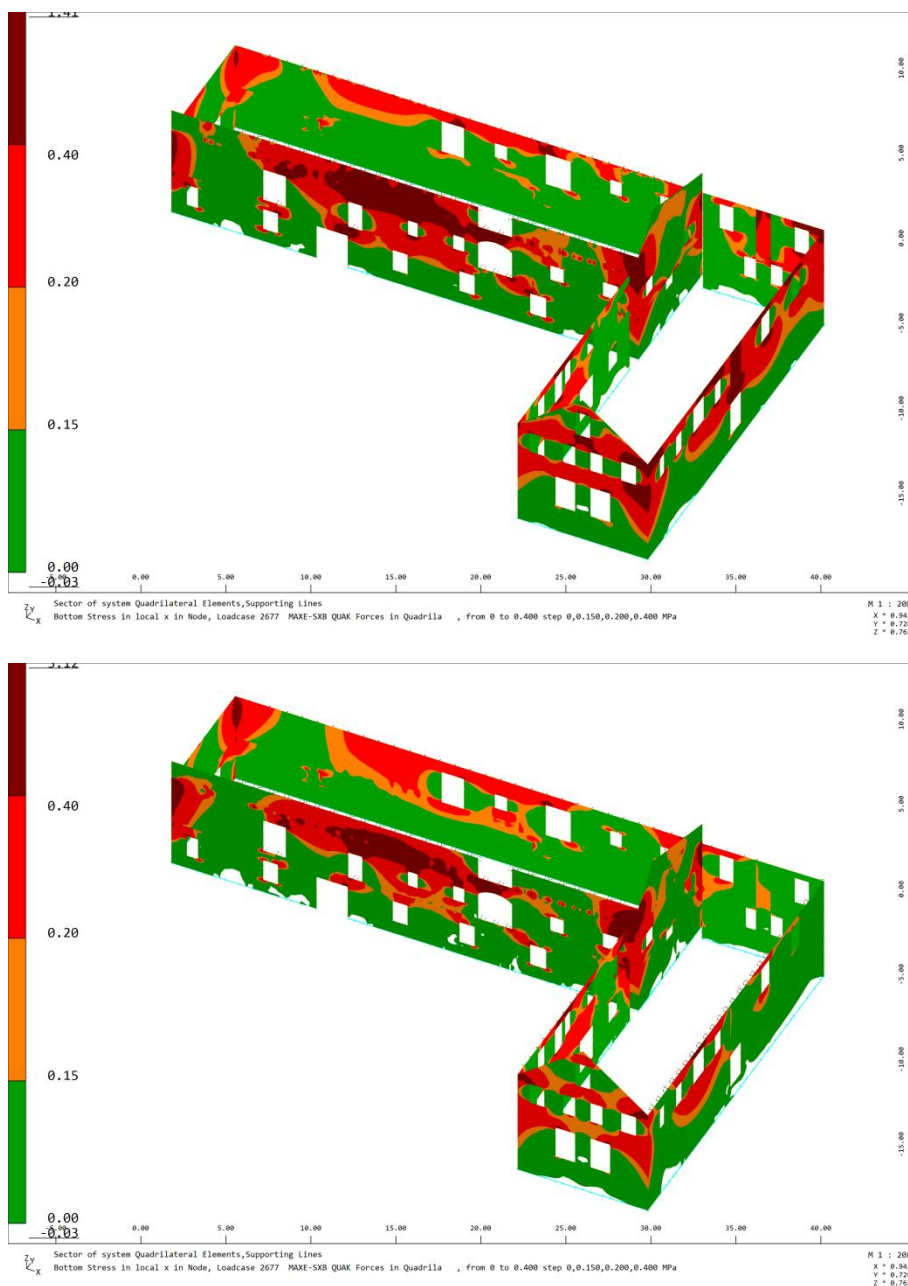


Εικόνα 51 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.

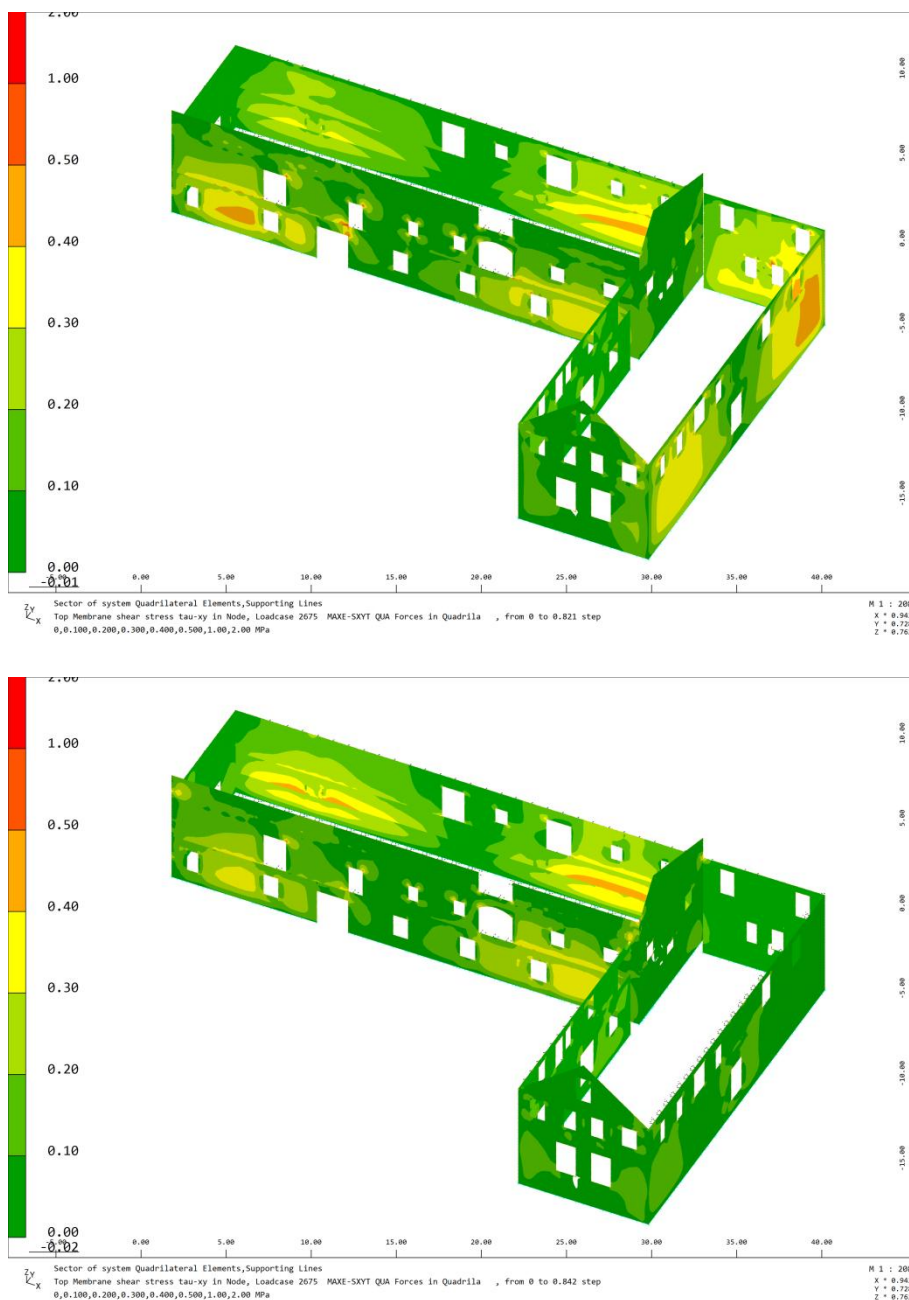


Εικόνα 52 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.20 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.

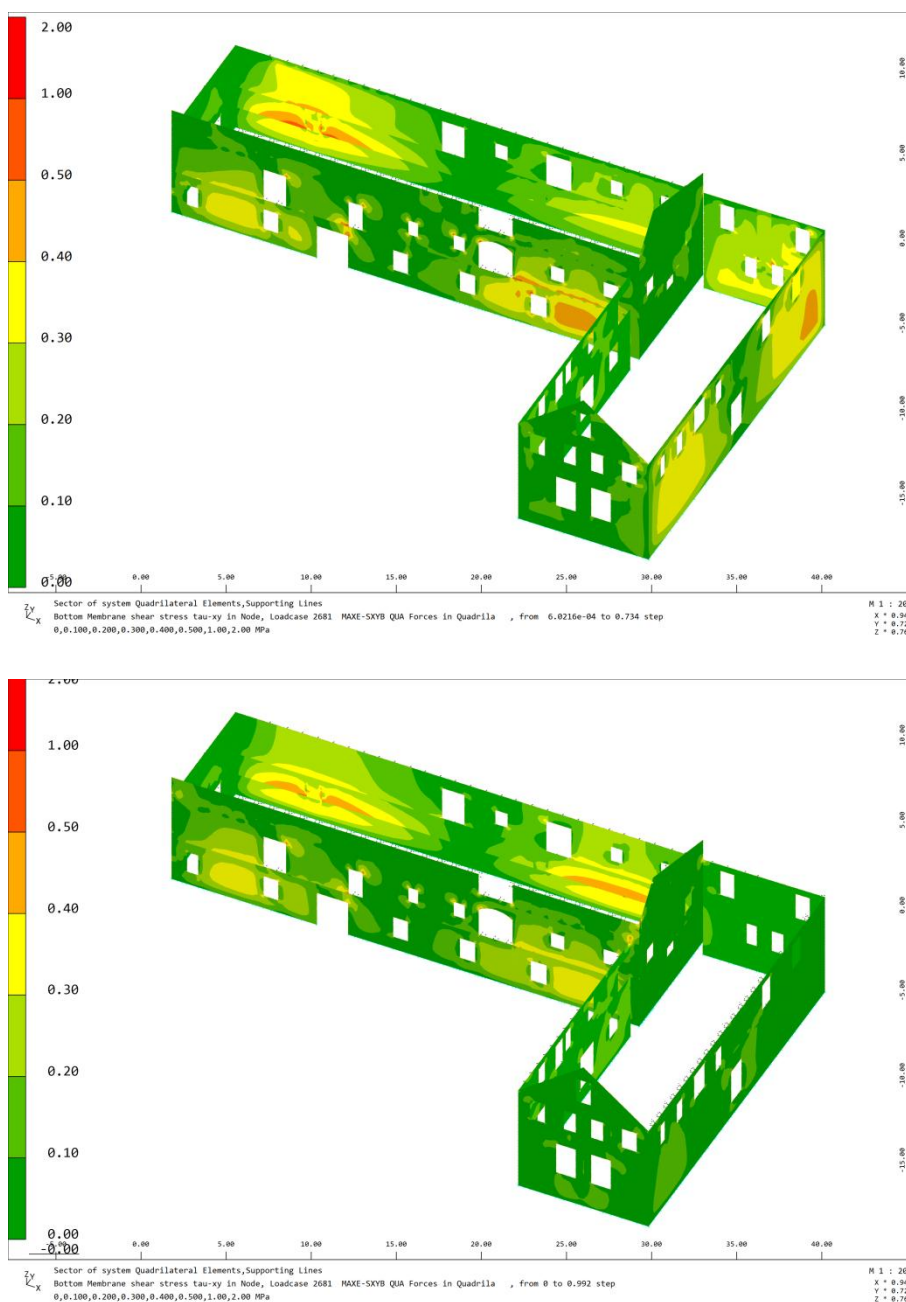


Εικόνα 53 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.



Εικόνα 54 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατηρητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00 \text{ MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με την αντίστοιχη της προηγούμενης δέσμης επεμβάσεων.

5.10.3. Εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτων

Κάτωθι παρατίθενται αποτελέσματα επίλυσης που αφορούν στην επιπρόσθετη των ανωτέρω επεμβάσεων, εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτων για την ομογενοποίηση των τοιχοποιιών του κτιρίου. Σε ότι αφορά στην τροποποίηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των λιθοδομών λόγω της εφαρμογής της συγκεκριμένης δέσμης επεμβάσεων, ισχύουν τα κάτωθι:

$$E_{\rho\eta\gamma\mu}^{NEO} = \frac{1000 * 4.96}{2} = 2480 \text{ Mpa}$$

$$G^{NEO} = 0.40 * 2480 = 992 \text{ Mpa}$$

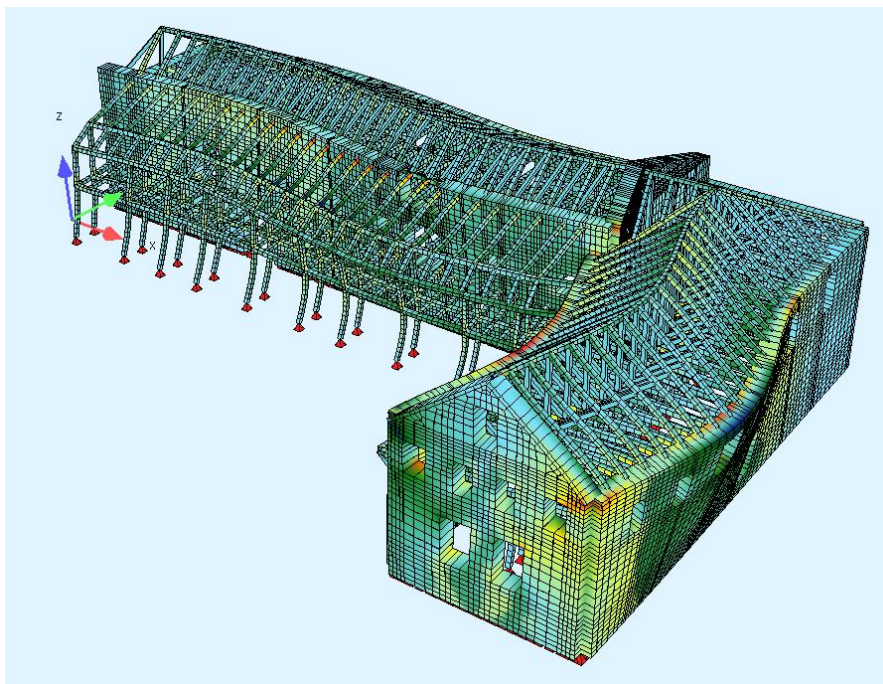
$$f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa} > 0.05 \text{ Mpa (αρχικής κατάστασης)}$$

$$f_{xk2} = 0.40 \text{ Mpa} > 0.20 \text{ Mpa (αρχικής κατράστασης)}$$

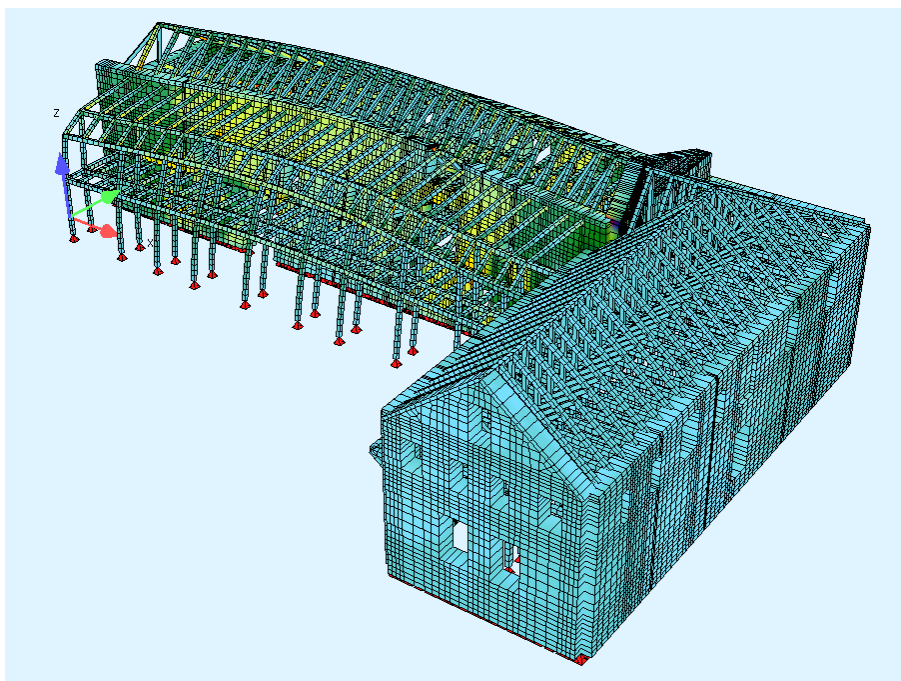
Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για την εφαρμογή της εν λόγω δέσμης επεμβάσεων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός ιδιομορφών K	Ιδιοπερίοδος K ης ιδιομορφής T_K	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά x	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά χ	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά y	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά y
#	s	s	%	s	%
$K = 200$	0.0226	0.187	78.04<90	0.357	83.18<90
Κριτήριο EC8-1 (4.14a) $K \geq 3\sqrt{2} \geq 4.24$ - ok					
Κριτήριο EC8-1 (4.14b) $T_k \leq 0.20$ - ok					

Πίνακας 14 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με την εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτων, επιπρόσθετα των επεμβάσεων των προηγούμενων παραγράφων



Εικόνα 55 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x



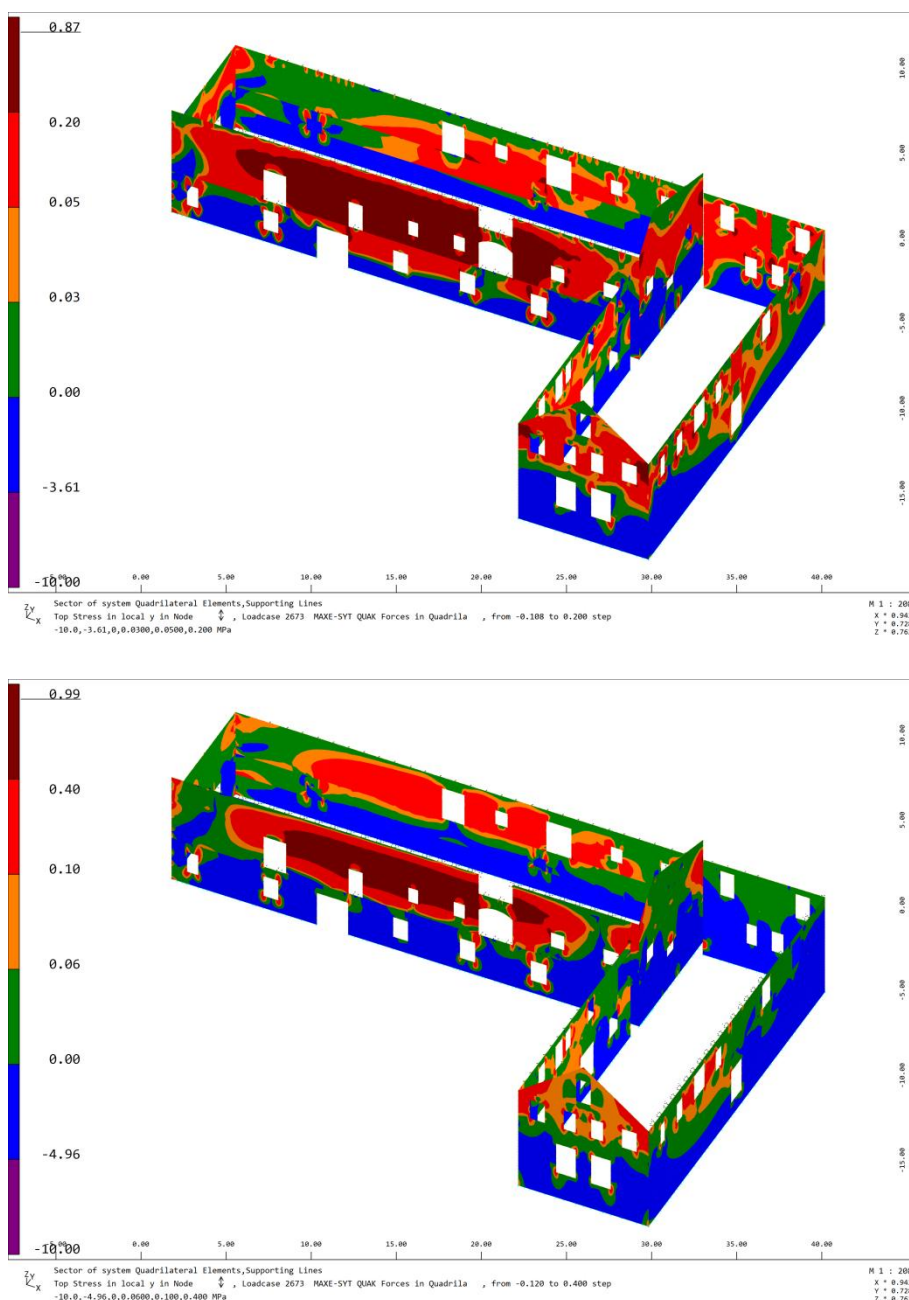
Εικόνα 56 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y

Είναι φανερό ότι το κτίριο απέκτησε μεγαλύτερη δυσκαμψία και προς τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις αφού παρουσιάζει μικρότερες αντίστοιχες θεμελιώδεις

ιδιοπεριόδους σε σχέση με τα αποτελέσματα όλων των προηγούμενων αναλύσεων. Προφανώς η εν λόγω πρόσθετη δυσκαμψία αποδίδεται στα βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών αρμολόγησης και ενεμάτωσης σε σχέση με τα κονιάματα της μη ομογενοποιημένης υφιστάμενης τοιχοποιίας.

Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις, ακολουθούν επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες για τις δύο πλευρές των τοιχοποιιών του κτιρίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εποπτική αξιολόγηση της συμβολής της συγκεκριμένης δέσμης επεμβάσεων στη συμπεριφορά του κτιρίου, παρατίθενται προς σύγκριση τόσο οι χάρτες τάσεων της αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης (άνω εικόνα) όσο και οι αντίστοιχοι νέοι όμοιοι μετά την εφαρμογή των συγκεκριμένων επεμβάσεων (κάτω εικόνα).

Για τις νέες επιλύσεις, οι κλίμακες των χαρτών που αφορούν σε αναπτυσσόμενες τάσεις έχουν προσαρμοστεί με βάση τις νέες αντοχές της τοιχοποιίας.

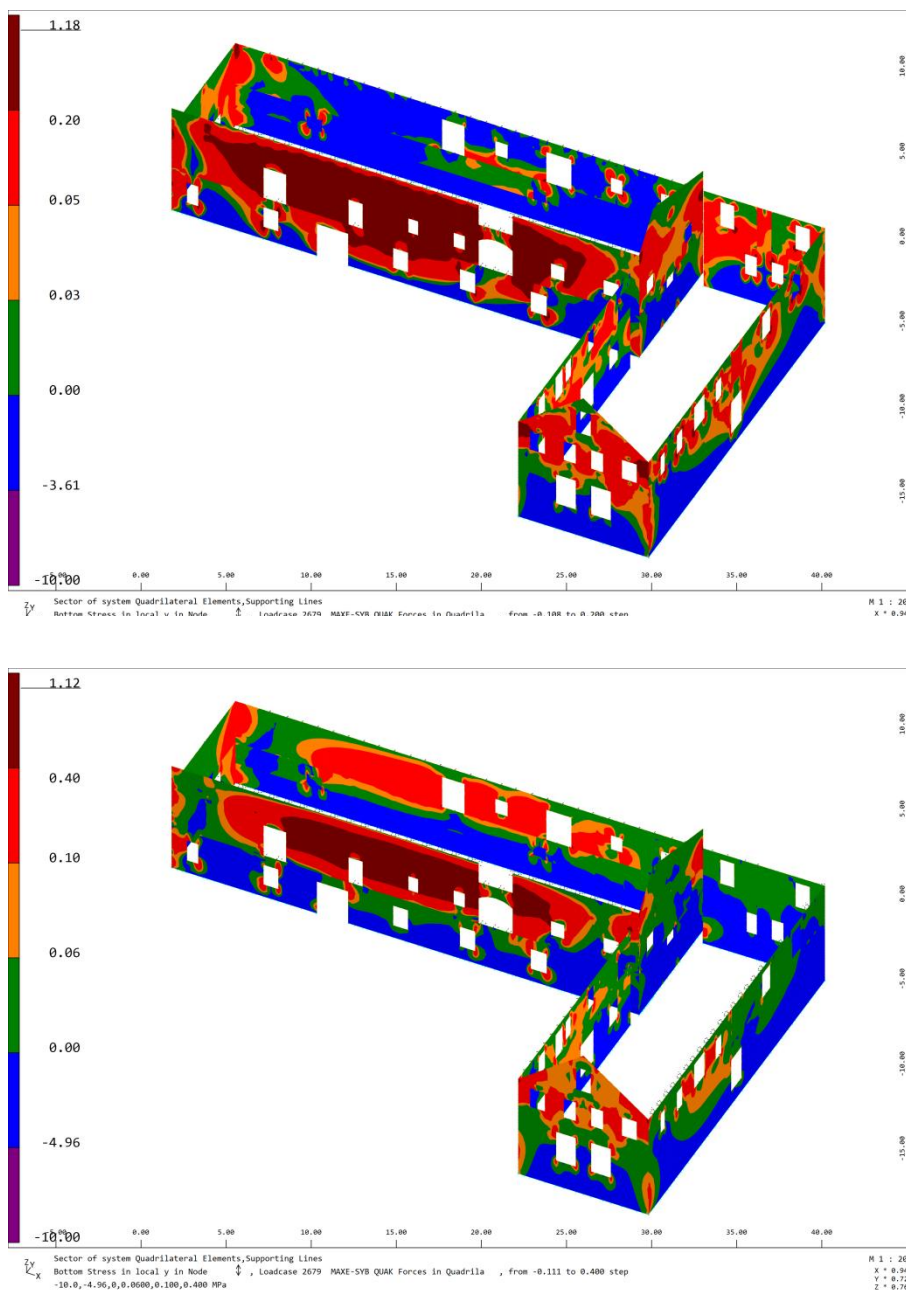


Εικόνα 57 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 4.96 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της εικόνας κυρίως στο Β τμήμα. Οι τοιχοποιίες του τμήματος Α συνεχίζουν να παρουσιάζουν σημαντικό έλλειμμα αντοχής.

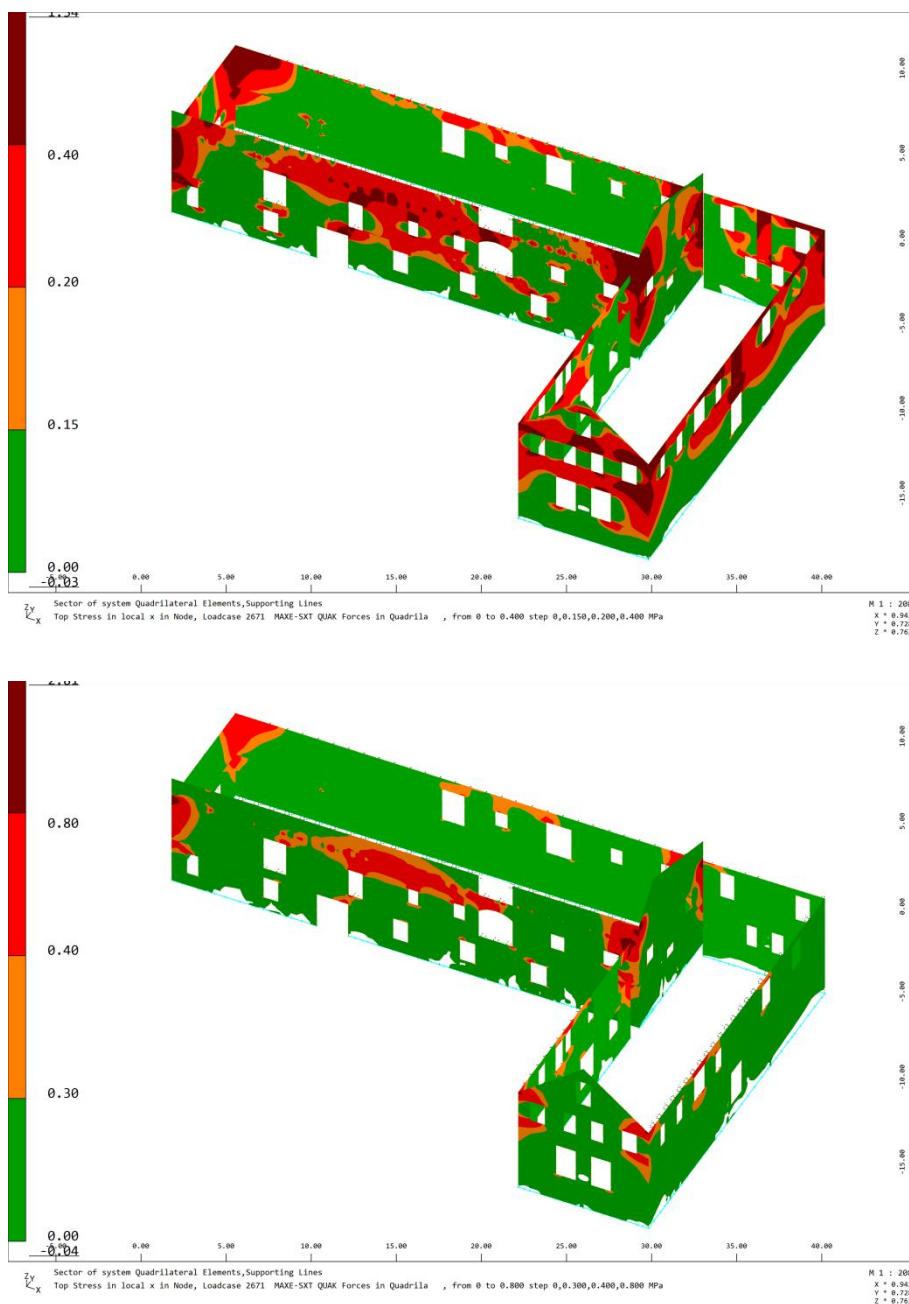


Εικόνα 58 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MIN-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 4.96 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Σημαντική βελτίωση της εικόνας κυρίως στο Β τμήμα. Οι τοιχοποιίες του τμήματος Α συνεχίζουν να παρουσιάζουν σημαντικό έλλειμμα αντοχής.

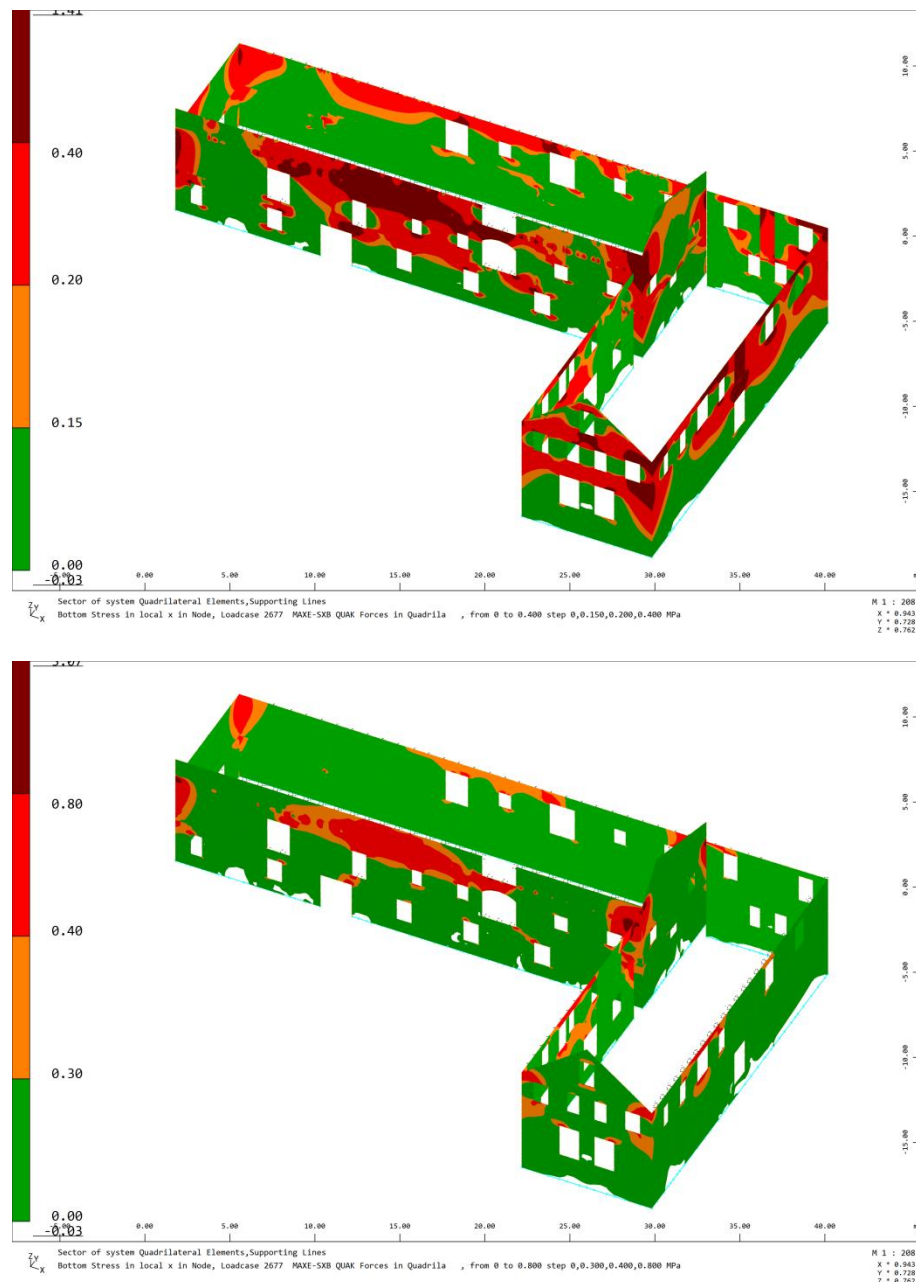


Εικόνα 59 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.40 \text{ MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Πολύ σημαντική βελτίωση της εικόνας σε όλο το φορέα.

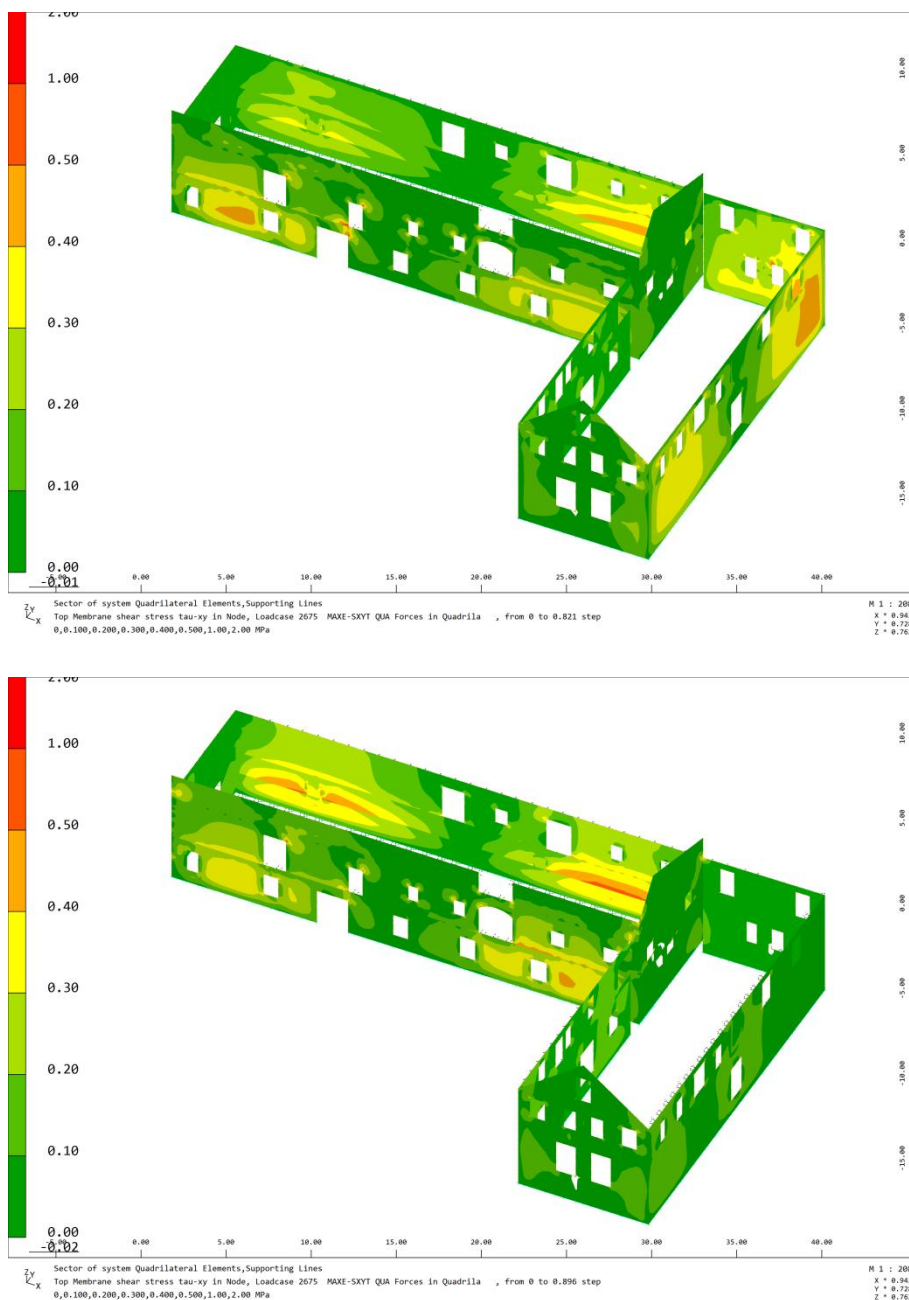


Εικόνα 60 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.40 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Πολύ σημαντική βελτίωση της εικόνας σε όλο το φορέα.

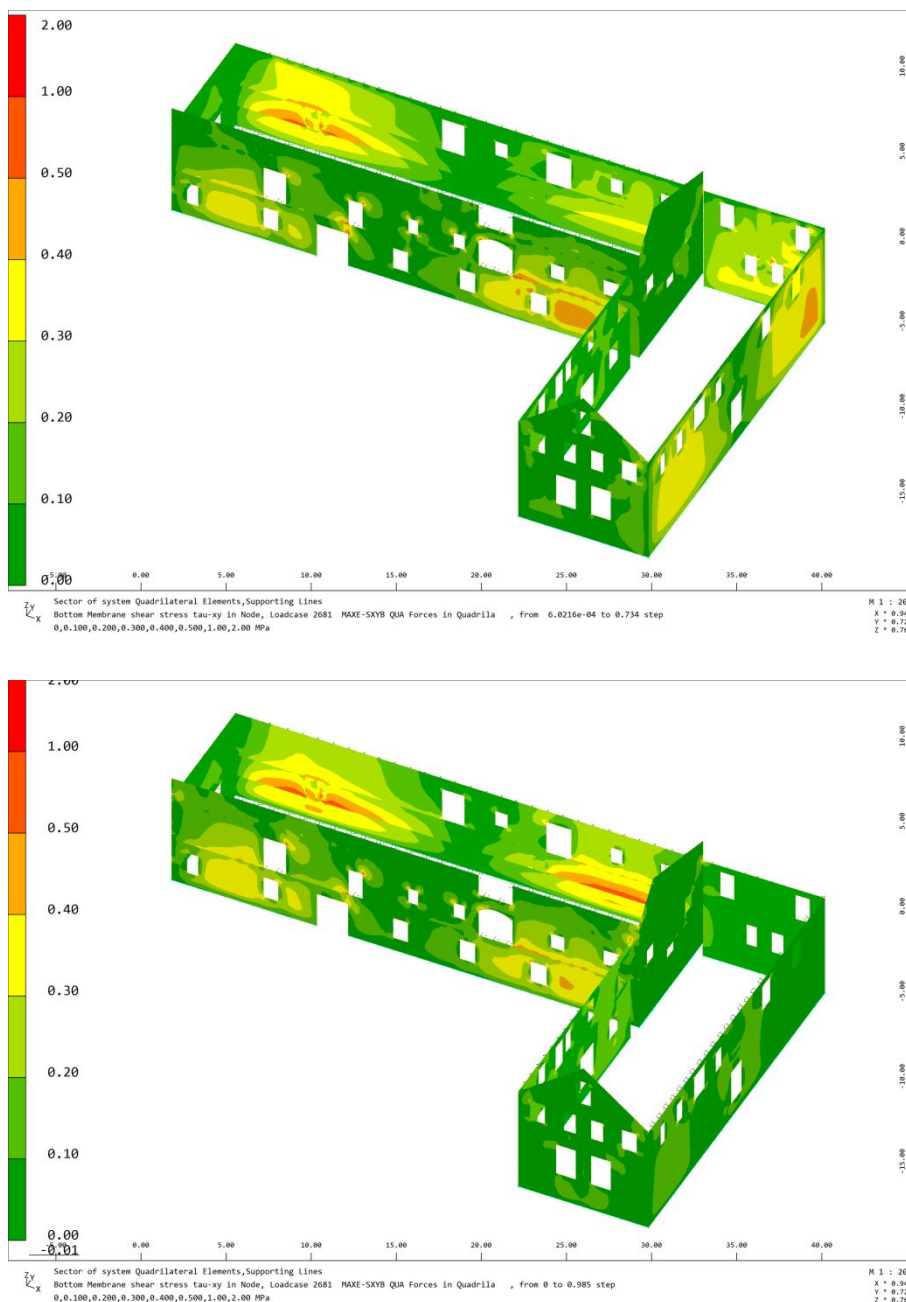


Εικόνα 61 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με αυτή των προηγούμενων επεμβάσεων. Οφείλεται στην ελάχιστη αυξημένη δυσκαμψία του φορέα.



Εικόνα 62 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

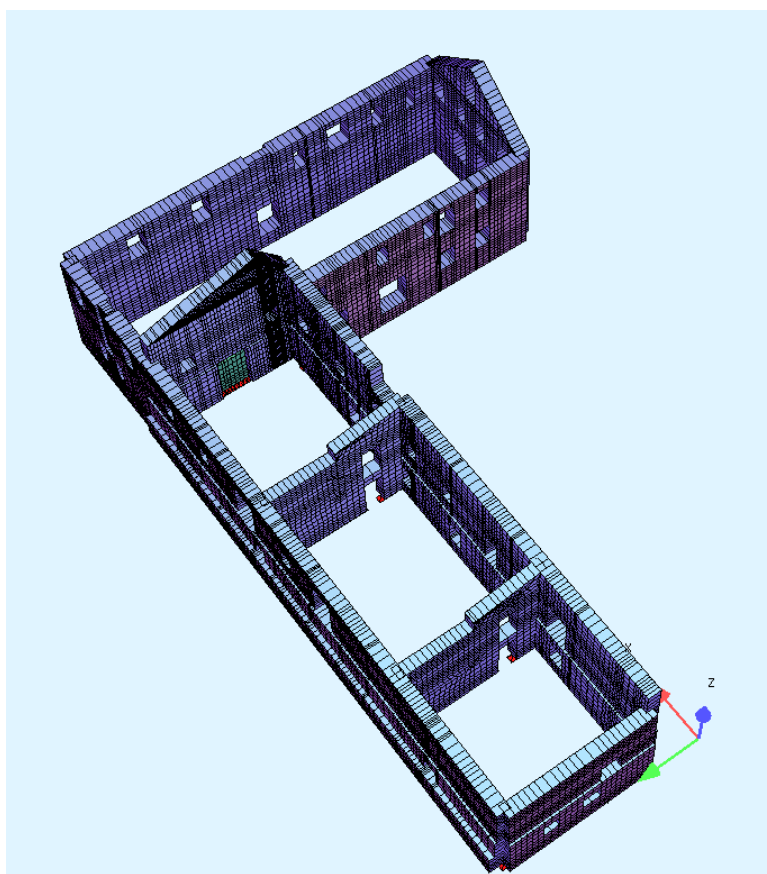
- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Ελάχιστη μεταβολή της εικόνας σε σχέση με αυτή των προηγούμενων επεμβάσεων. Οφείλεται στην ελάχιστα αυξημένη δυσκαμψία του φορέα.

5.10.4. Προσθήκη τοιχίων από λιθοδομή

Σε συνέχεια των ανωτέρω, είναι φανερό ότι η εφαρμογή των απολύτως απαραίτητων και συνηθισμένων γενικών επεμβάσεων, ενώ βελτιώνει σημαντικά την συμπεριφορά του κτιρίου σε ένταση προερχόμενη από στατικές και δυναμικές φορτίσεις, εντούτοις δεν φαίνεται να είναι ολοκληρωτικά αποτελεσματική. Εντοπίζονται περιοχές στο κτίριο και κυρίως στο τμήμα Α, όπου το μεγάλο αδιάκοπτο μήκος των ΝΔ και ΒΑ τοιχοποιιών, η σημαντική ανισοσταθμία μεταξύ των κορυφών τους, η δυσανάλογα μεγάλη επιφάνεια της στέγης καθώς και η ιδιάζουσα δομή του φορέα της, επιφέρουν σημαντικές εκτός επιπέδου παραμορφώσεις και κατά συνέπεια σημαντικές τάσεις. Το ανωτέρω γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό τόσο από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης (σημαντική ιδιοπερίοδος κατά y , η οποία ελάχιστα ελαττώθηκε με την εφαρμογή των λοιπών επεμβάσεων), όσο και από τα αποτελέσματα των χαρτών των τάσεων.

Ως τελική λύση για την ενίσχυση του φορέα, επιλέχθηκε η κατασκευή δύο πρόσθετων τοιχοποιιών από λιθοδομή πάχους 0.70m, εγκάρσια του τμήματος Α, έτσι ώστε να χωριστεί αυτό σε τρία ίσα τμήματα. Στις νέες τοιχοποιίες προβλέφθηκαν τα απαραίτητα ανοίγματα και η κορυφή τους έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την ανισοσταθμία των διασταυρούμενων υφιστάμενων τοιχοποιιών.



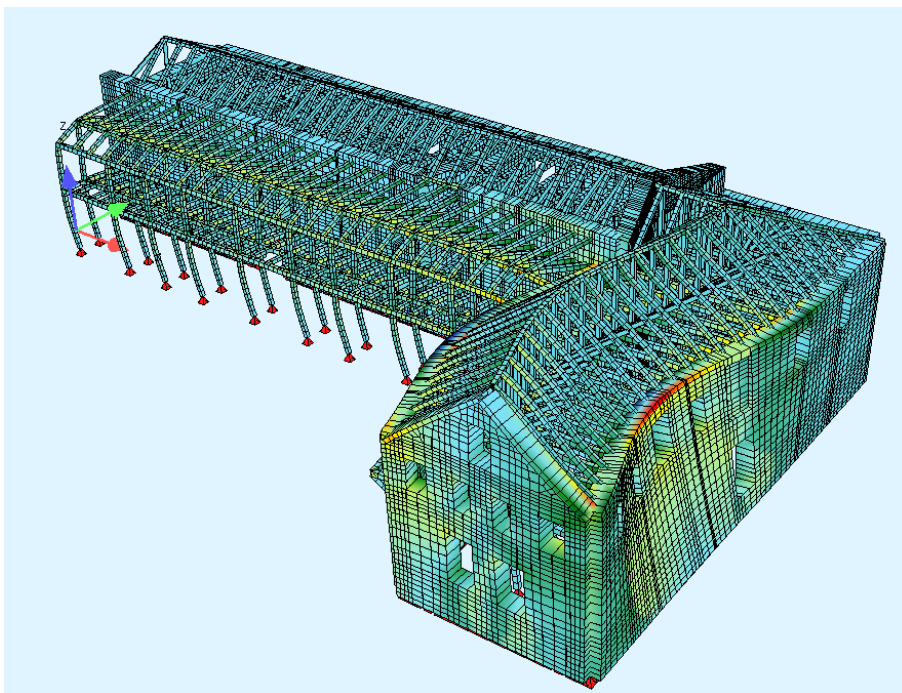
Εικόνα 63 Προσομοίωμα με πρόσθετες τοιχοποιίες από λιθοδομή για την στοχευμένη αύξηση της δυσκαμψίας στο Α τμήμα κατά τη διεύθυνση y

Κάτωθι παρατίθενται αποτελέσματα επίλυσης που αφορούν στην επιπρόσθετη των ανωτέρω επεμβάσεων, εφαρμογή των δύο τοιχοποιιών από λιθοδομή ως πρόσθετων μέτρων δυσκαμψίας.

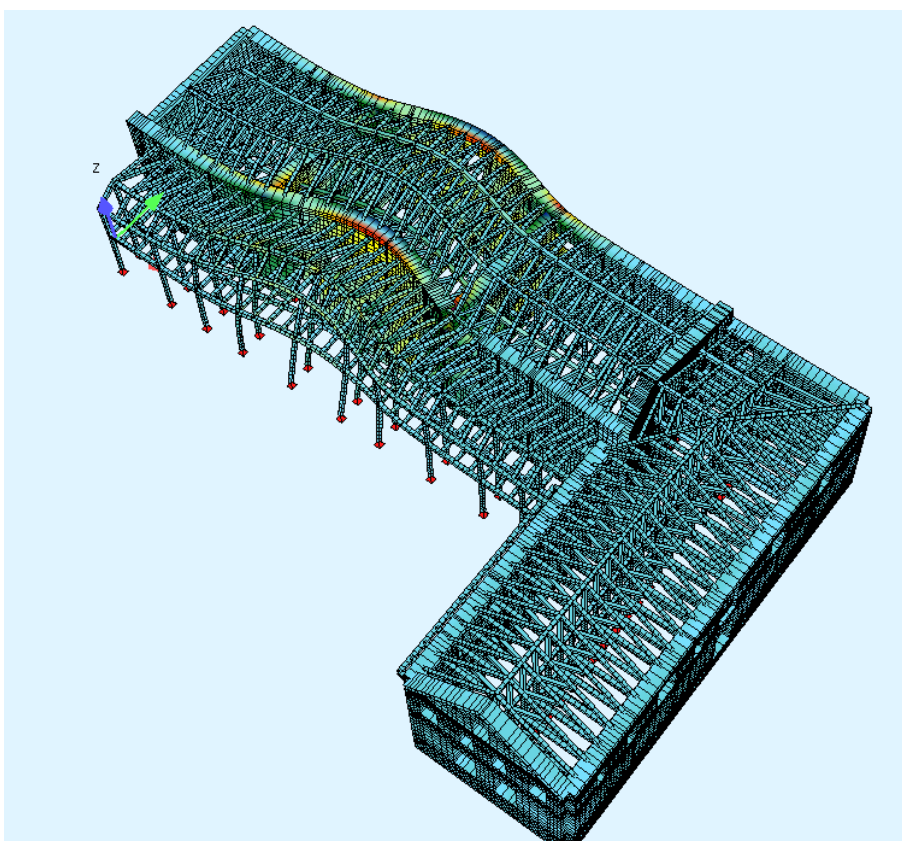
Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός ιδιομορφών K	Ιδιοπερίοδος Κης ιδιομορφής T_K	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά x	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά χ	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κατά y	Ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά y
#	s	s	%	s	%
$K = 200$	0.0228	0.186	78.82<90	0.127	82.84<90
Κριτήριο EC8-1 (4.14a) $K \geq 3\sqrt{2} \geq 4.24$ - ok					
Κριτήριο EC8-1 (4.14b) $T_k \leq 0.20$ - ok					

Πίνακας 15 Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης του κτιρίου του βορδοναρείου με την προσθήκη των νέων στοιχείων δυσκαμψίας, επιπρόσθετα των επεμβάσεων της προηγούμενης παραγράφου



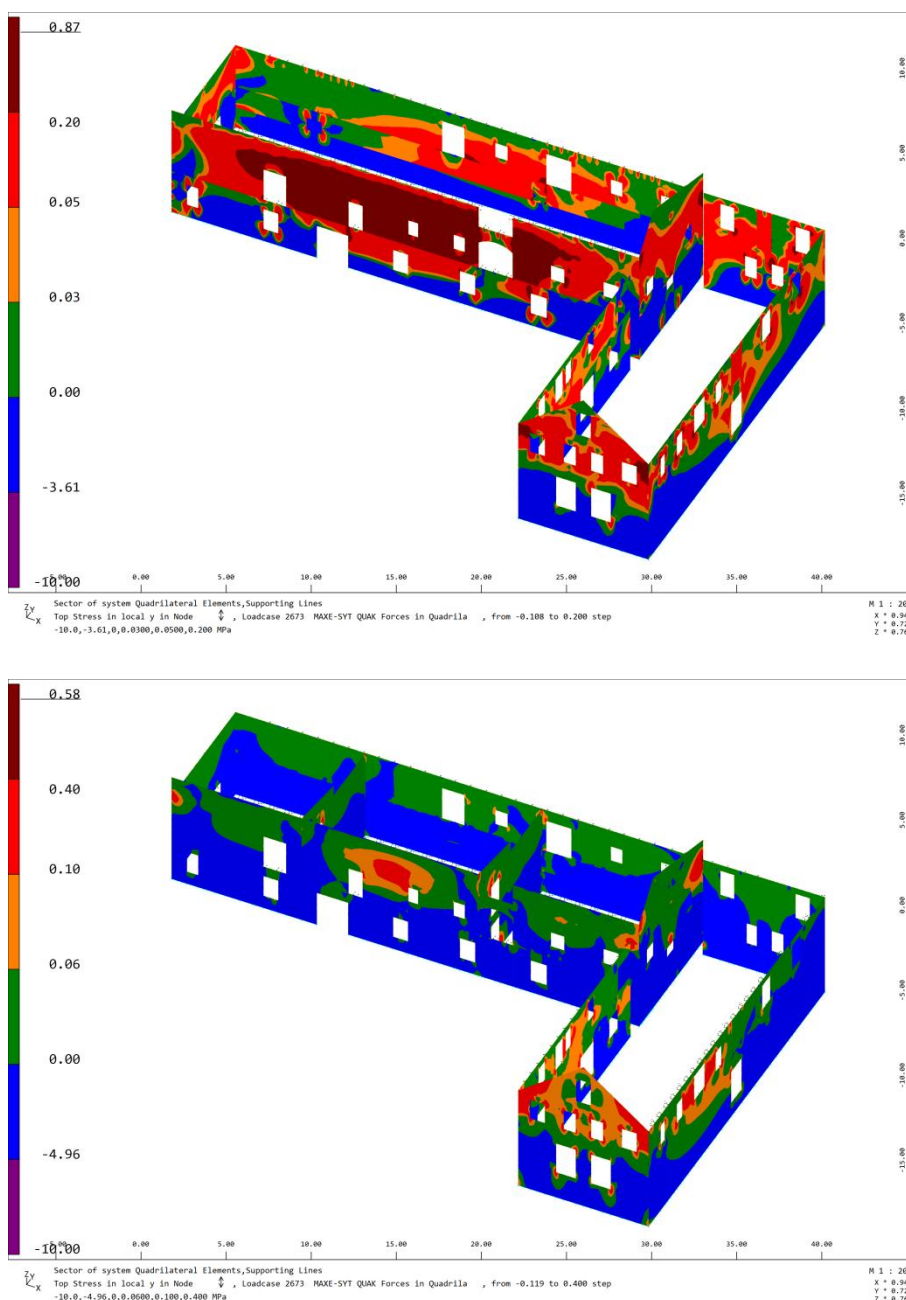
Εικόνα 64 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά x



Εικόνα 65 Θεμελιώδης ιδιομορφή κατά y

Είναι φανερό ότι το κτίριο απέκτησε πλέον σημαντική δυσκαμψία και προς τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις, αφού παρουσιάζει τις μικρότερες αντίστοιχες θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους σε σχέση με τα αποτελέσματα όλων των προηγούμενων αναλύσεων. Ειδικά για το τμήμα Α, η κατασκευή πρόσθετων στοιχείων δυσκαμψίας, εξασφαλίζει μείωση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου κατά y κατά 65%.

Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις, ακολουθούν επιλεγμένα αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα χαρτών αναπτυσσόμενων τάσεων, τα οποία προκύπτουν από την έκαστη περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες για τις δύο πλευρές των τοιχοποιιών του κτιρίου. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εποπτική αξιολόγηση της συμβολής της συγκεκριμένης δέσμης επεμβάσεων στη συμπεριφορά του κτιρίου, παρατίθενται προς σύγκριση τόσο οι χάρτες τάσεων της αποτίμησης της υφιστάμενης κατάστασης (άνω εικόνα) όσο και οι αντίστοιχοι νέοι όμοιοι μετά την εφαρμογή των συγκεκριμένων επεμβάσεων (κάτω εικόνα).

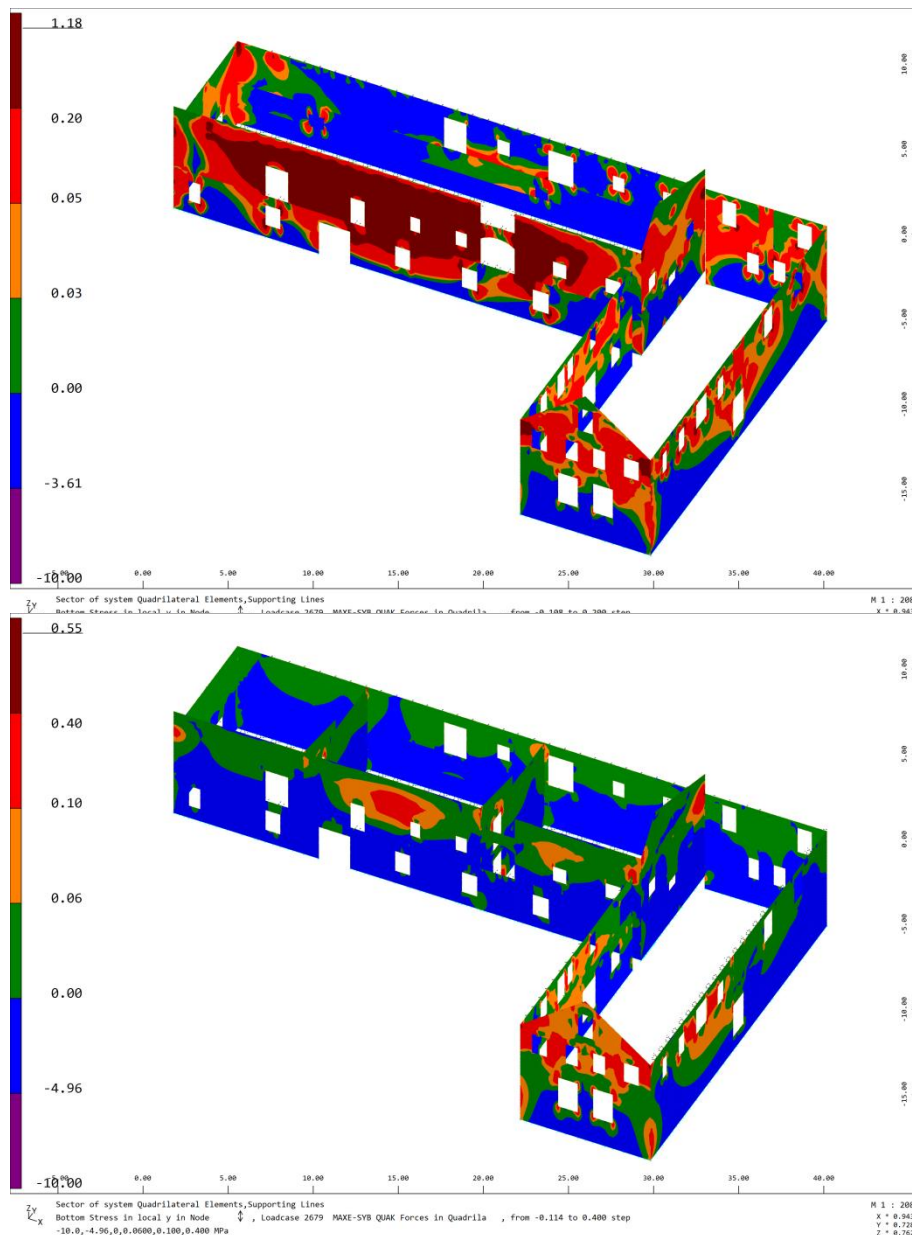


Εικόνα 66 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYT- Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 4.96 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση με επαρκή αντοχή σε όλο σχεδόν τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

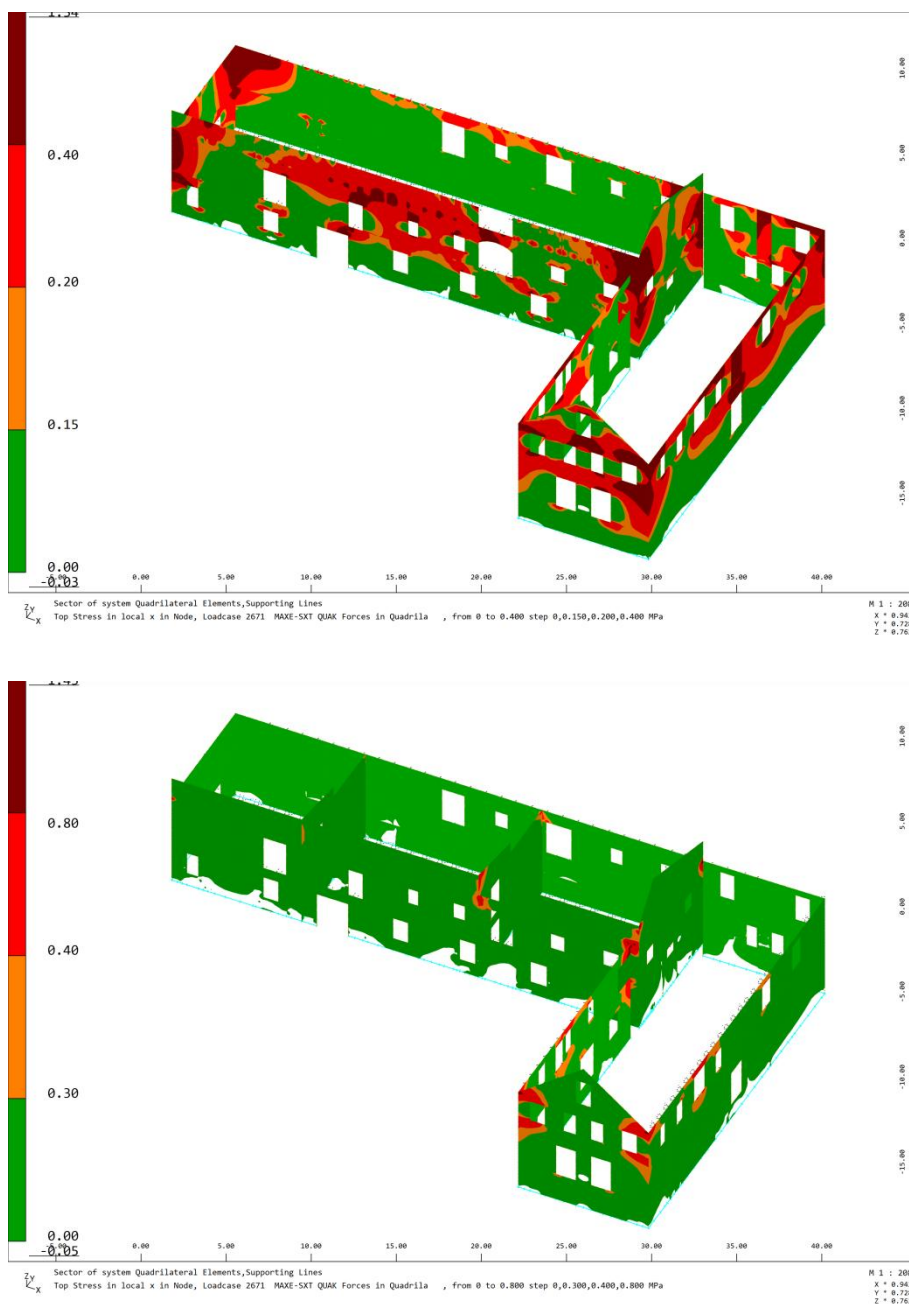


Εικόνα 67 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Κατακόρυφη Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk1} = 0.10 \text{ Mpa}$
- Θλίψη – Μπλε προς μωβ χρώμα – $f_k = 4.96 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση με επαρκή αντοχή σε όλο σχεδόν τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

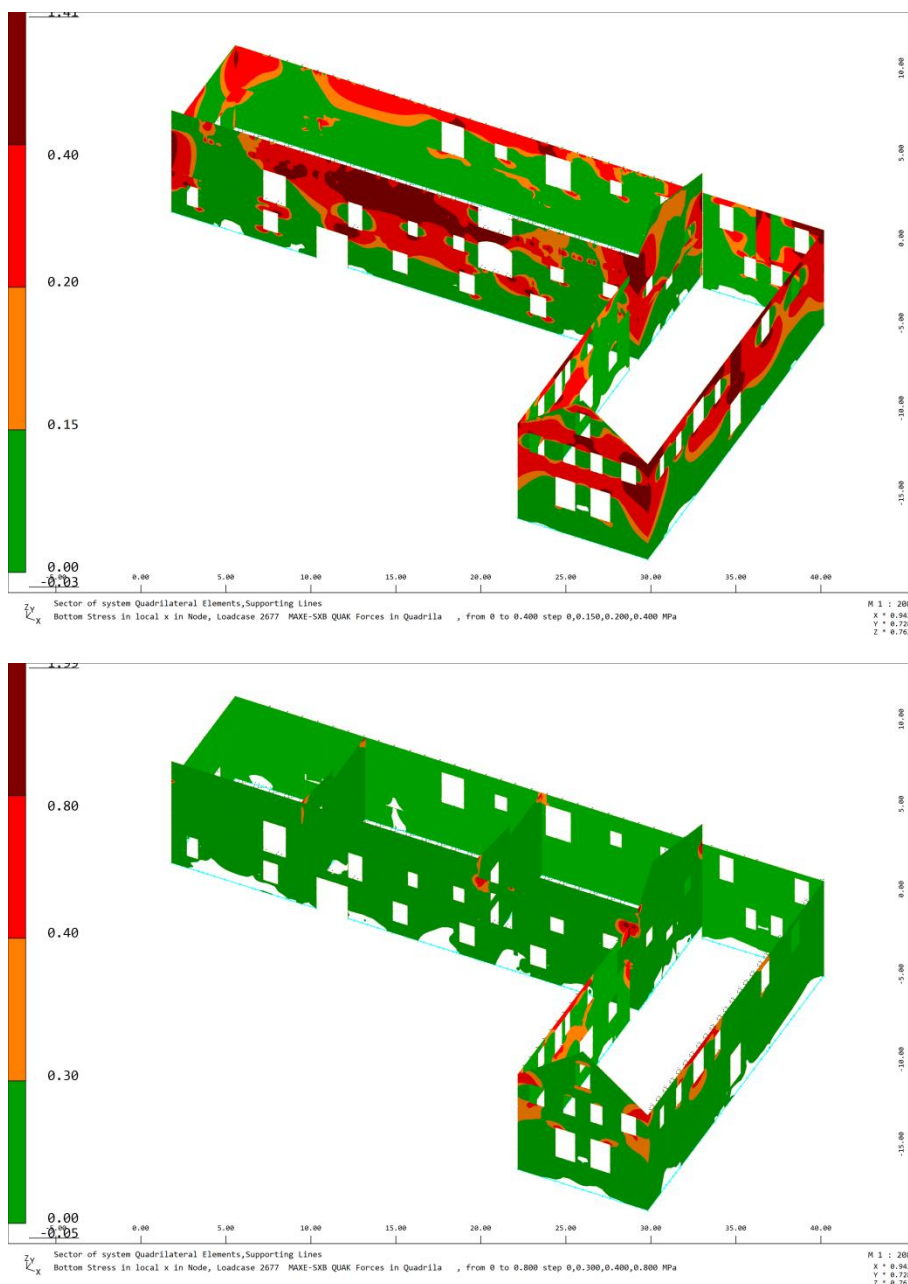


Εικόνα 68 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.40 \text{ MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση με επαρκή αντοχή σε όλο τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

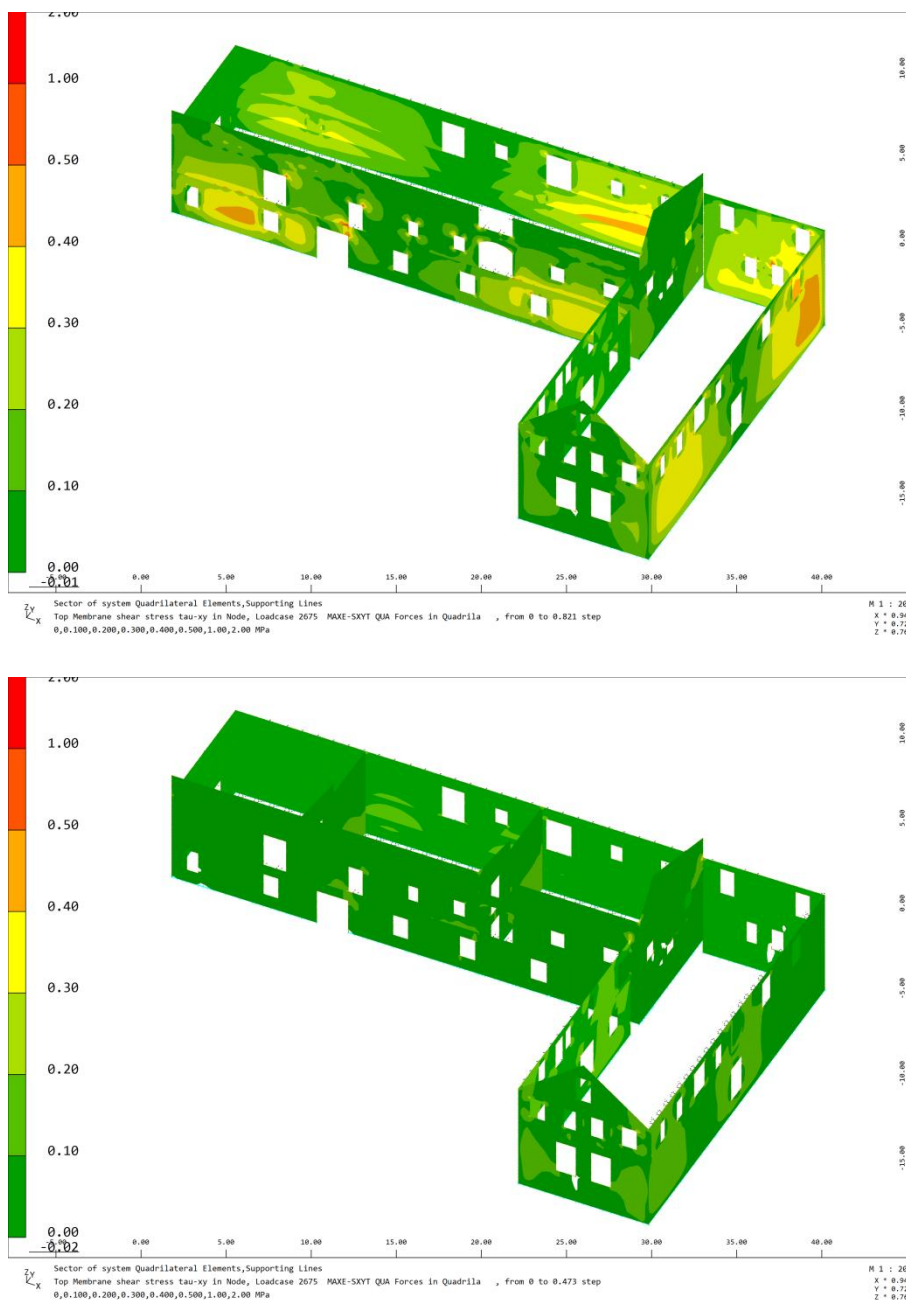


Εικόνα 69 Χάρτες Αναπτυσσόμενων Τάσεων στην Οριζόντια Διεύθυνση – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Εφελκυσμός – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{xk2} = 0.40 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση με επαρκή αντοχή σε όλο τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

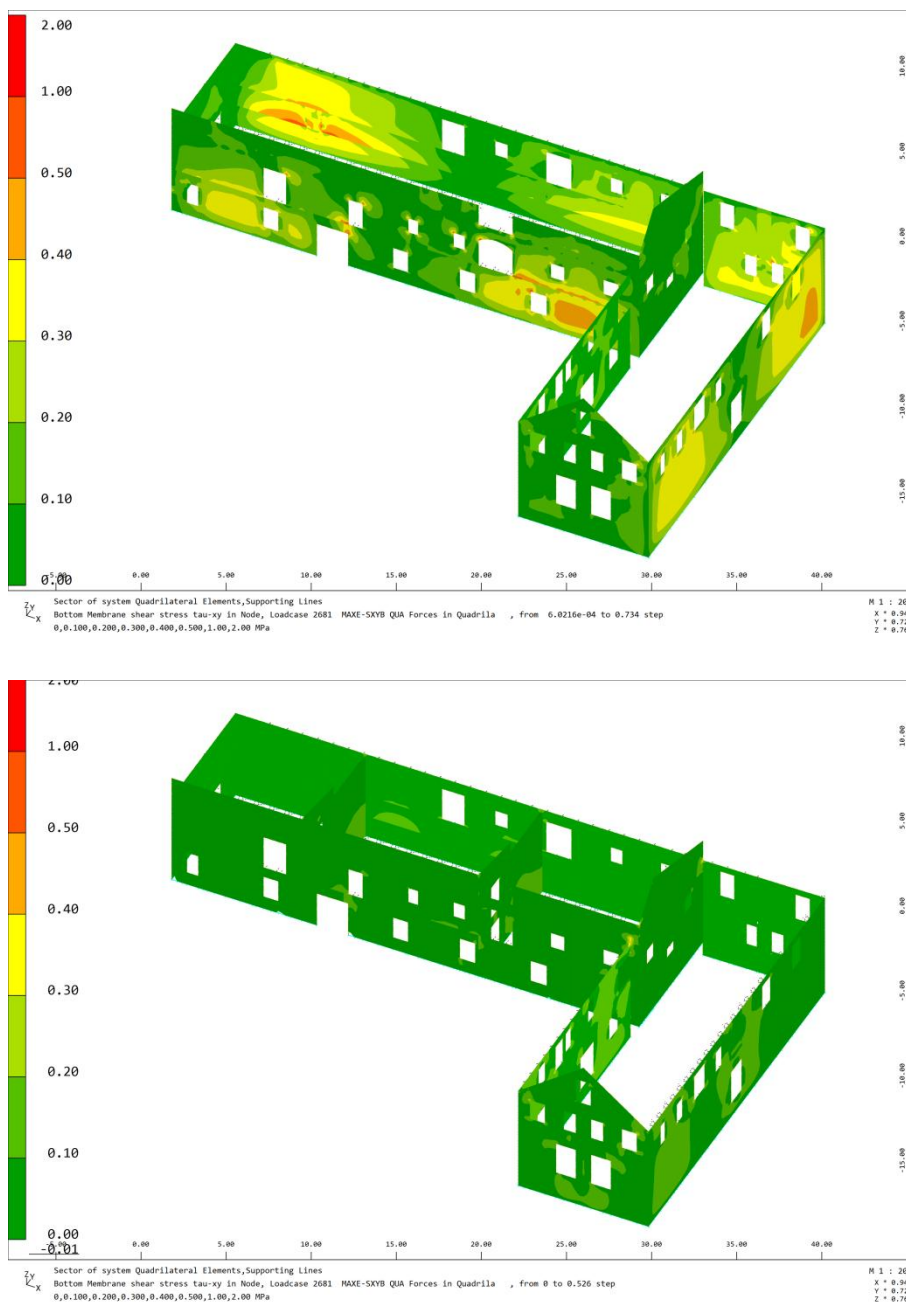


Εικόνα 70 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYT– Εσωτερική πλευρά τοιχοποιίας

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00\text{MPa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση σε όλο τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.



Εικόνα 71 Χάρτες Αναπτυσσόμενων διατμητικών Τάσεων – Περιβάλλουσα συνδυασμών αστοχίας σε δυναμικές συνθήκες MAX-SXYB– Εξωτερική πλευρά τοιχοποιίας.

Επεξήγηση κλίμακας:

- Διάτμηση – Πράσινο προς κόκκινο χρώμα – $f_{vk} = 0.10 + 0.4\sigma < 1.00 \text{ Mpa}$

Σχολιασμός αποτελεσμάτων: Εμφανής βελτίωση σε όλο τον φορέα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

6. Σύνοψη – Συμπεράσματα

Απώτερος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η συνδρομή στη διατήρηση της πλούσιας Αρχιτεκτονικής κληρονομιάς που περιλαμβάνει τα κύρια και βοηθητικά κτίσματα εντός του Αγίου Όρους. Συγκεκριμένα, το παρόν θέμα αφορά στην αποτίμηση, επισκευή και ενίσχυση παραδοσιακού παλαιού κτιρίου, το οποίο χρησιμοποιείτο ως βορδοναρείο σε προηγούμενη χρήση. Το κτίριο βρίσκεται εντός της Αθωνικής Χερσονήσου και αποτελεί παράρτημα της Ιεράς Μονής Ζωγράφου Αγίου Όρους. Χωροθετείται περί τα 130m ΒΑ του κυρίως συμπλέγματος της Ιεράς Μονής και περιβάλλεται από λοιπά κτίσματα και δάσος σε απόλυτο υψόμετρο περί τα 160m. Το κτίριο ιστορικά εντοπίστηκε ότι έχει κατασκευαστεί περί το 1850 ως βορδοναρείο για τη φιλοξενία των ζώων που χρησιμοποιήθηκαν για κατασκευαστικές εργασίες στη δυτική πτέρυγα της Ι.Μ. Ζωγράφου. Η αρχική του μορφή διαφέρει από την υφιστάμενη, καθώς στο ιστορικό υλικό έως και το 1879 φαίνεται να αποτελείται από ένα μόνο τμήμα μορφής παραλληλόγραμμου. Με βάση πίνακα του 1896, φαίνεται ότι η προσθήκη που καθιστά το κτίριο ως σχήματος «Γ», έχει πραγματοποιηθεί μεταγενέστερα, δηλαδή μεταξύ του 1879 και του 1896 και με τρόπο ασύνδετο με το προϋπάρχον τμήμα. Σε ότι αφορά σε σύγχρονες επεμβάσεις, το παλαιότερο τμήμα έχει υποστεί μερική ανακατασκευή το 2019, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος και ως εργαστήριο συντήρησης και αναπαλαίωσης παλαιών στοιχείων από ξύλο. Το υπό έρευνα κτίριο διαθέτει δύο κυρίως επίπεδα. Αποτελείται από φέρουσες τοιχοποιίες σημαντικού πάχους με ημιλαξευτά φυσικά λιθοσώματα ή αργούς λίθους με κονίαμα και ξύλινα διαζώματα. Από γεωλογικής άποψης, το κτίριο εντοπίζεται στην ενότητα Βερτίσκου και σύμφωνα με τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., εδράζεται εντός σχηματισμού αμφιβολιτών.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ήταν αναγκαία η διερεύνηση και η τεκμηρίωση του υφιστάμενου κτίσματος σε επαρκή έκταση και βάθος, ώστε να καταστούν αξιόπιστα τα δεδομένα, στα οποία θα στηριχθεί η διαδικασία αποτίμησης, αποκατάστασης και ενίσχυσης εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο. Σε συνέχεια των ανωτέρω, πραγματοποιήθηκε καταγραφή και τεκμηρίωση του ιστορικού της κατασκευής και της συντήρησής του, πλήρης αποτύπωση του κτιρίου και της κατάστασής του, καταγραφή των τυχόν φθορών και βλαβών, καθώς και των ενδεχόμενων προσθηκών

ή αλλοιώσεων. Μετά το πέρας της διαδικασίας της εκτενούς αποτύπωσης, κατανοήθηκε πλήρως ο τρόπος και τα υλικά με τα οποία έχει κατασκευασθεί το κτίριο.

Σε ότι αφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής, αναζητήθηκαν πληροφορίες από λοιπές μελέτες αναστηλωτικών έργων σε κτίσματα της Ι.Μ. Ζωγράφου, ελήφθησαν υπόψη βιβλιογραφικές αναφορές και αξιολογήθηκαν ληφθέντα δείγματα μακροσκοπικά. Τελικώς, κρίθηκε ότι το επίπεδο γνώσης σε ότι αφορά στις αντοχές των υλικών της κατασκευής αντιστοιχεί σε αυτό της «περιορισμένης γνώσης» σύμφωνα με τις επιταγές του EN 1998-3. Σχολιάζεται ότι το συγκεκριμένο επίπεδο γνώσης οδηγεί σε επιλογές οι οποίες έχουν να κάνουν τόσο με την τελική εκτίμηση της ικανότητας των δομικών στοιχείων όσο και με την επιτρεπόμενη κανονιστικά μέθοδο ανάλυσης.

Σχετικά με τα διαθέσιμα κανονιστικά κείμενα, σημειώνεται ότι κατά τη συγγραφή του παρόντος, ο ελληνικός Κανονισμός Για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας (Κ.Α.Δ.Ε.Τ.) βρίσκεται σε στάδιο σχεδίου, και συνεπώς προτιμήθηκε κατά κύριο λόγο η προσφυγή σε κανονιστικά κείμενα, τα οποία είναι σε ισχύ όπως οι σχετικοί Ευρωκώδικες.

Σε ότι αφορά στη μεθοδολογία ανάλυσης, ως επιλογή για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό του συγκεκριμένου κτιρίου, χρησιμοποιείται μια «προσέγγιση με βάση τον συντελεστή q », όπου γίνεται χρήση μιας μειωμένης σεισμικής δράσης. Στην εν λόγω προσέγγιση, το φάσμα σχεδιασμού για την γραμμική ανάλυση προκύπτει από το EN 1998-1. Επιπρόσθετα, κατά το κανονιστικό κείμενο του EN1998-3, επιλέγεται για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ο έλεγχος σε οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών SD, κατά τον οποίο: «ο φορέας έχει υποστεί σημαντικές βλάβες, διαθέτει ορισμένη εναπομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία, και τα κατακόρυφα στοιχεία είναι σε θέση να αντέξουν τα κατακόρυφα φορτία. Τα μη-φέροντα στοιχεία έχουν υποστεί βλάβες, αν και τα διαχωριστικά και οι τοιχοπληρώσεις δεν παρουσιάζουν εκτός επιπέδου αστοχίες. Υπάρχουν μέτριες μόνιμες σχετικές παραμορφώσεις ορόφων. Ο φορέας μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.».

Για την προσομοίωση του κτιρίου επιλέχθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία αποτελεί και την γενικότερη σε εφαρμογή μέθοδο προσομοίωσης και προσφέρει δυνητικά πολύ υψηλή ακρίβεια αποτελεσμάτων. Με στόχο την κατασκευή του πλέον ρεαλιστικού προσομοιώματος, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην λεπτομερή αποτύπωση της γεωμετρίας και των λεπτομερειών του κτιρίου, στην εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων υλικών καθώς και στις συνθήκες θεμελίωσης των φερόντων δομικών στοιχείων. Στην παρούσα προσομοίωση ο κάναβος σχεδιάστηκε εξολοκλήρου με το χέρι χωρίς τη χρήση της αυτόματης διαδικασίας που προσφέρει το λογισμικό.

Κατά τις επιταγές του EN1991-1-1 και του αντίστοιχου Εθνικού προσαρτήματος και λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική χρήση του κτιρίου, θεωρήθηκαν κατάλληλες αντιπροσωπευτικές κατηγορίες φόρτισης για την εφαρμογή στατικών φορτίων σε όλους τους χώρους.

Αντίστοιχα κατά τις επιταγές του EN1998-3 και του αντίστοιχου Εθνικού προσαρτήματος, εφαρμόζονται οι διατάξεις του EN1998-1 σε ότι αφορά στη σεισμική δράση και στον συνδυασμό των σεισμικών φορτίων. Συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης για την προσέγγιση με βάση τον συντελεστή q , το φάσμα σχεδιασμού για γραμμική ανάλυση προκύπτει από EN1998-1 λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες και τη μελλοντική χρήση του κτιρίου.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επιλεγείσας μεθόδου ανάλυσης, είναι απαραίτητο να οριστούν συνδυασμοί φόρτισης σε στατικές και δυναμικές συνθήκες, οι οποίοι αφορούν στην περιβάλλουσα των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών που δύναται να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας. Συνεπώς, κατά την ανάλυση προέκυψαν συνδυασμοί φόρτισης αστοχίας σε στατικές και δυναμικές συνθήκες κατά το κανονιστικό κείμενο του EN1990.

Για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων του φορέα του κτιρίου του βορδοναρείου για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του καθώς και για τον σχεδιασμό επισκευών και ενισχύσεων, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης. Η επιλογή της εν λόγω μεθόδου υποδεικνύεται από το επίπεδο γνώσης που προέκυψε κατά την συλλογή στοιχείων

σχετιζόμενων με τη γεωμετρία, τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών.

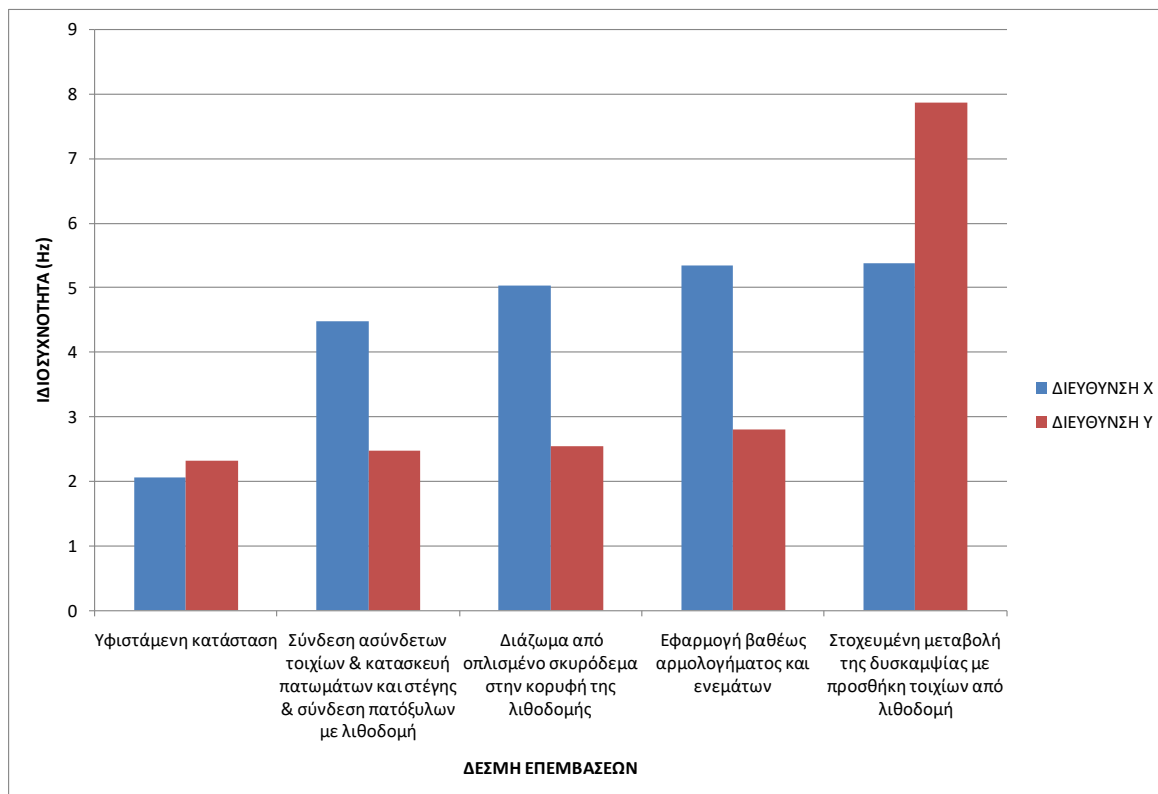
Κατά το στάδιο της αποτίμησης κατέστη φανερό ότι το κτίριο παρουσιάζει στις τοιχοποιίες του σημαντική ευαισθησία σε κίνηση εκτός επιπέδου, η οποία οφείλεται στην απουσία οποιασδήποτε μορφής διαφράγματος – σύνδεσης στις επιμήκεις τοιχοποιίες του νεότερου τμήματος, καθώς και στην απουσία σύνδεσης τοιχοποιιών με τις αντίστοιχες διασταυρούμενες. Επιπλέον, είναι φανερές οι αρνητικές επιπτώσεις της θεώρησης της ελλιπούς σύνδεσης των πατόξυλων με τις λιθοδομές στο παλαιότερο τμήμα. Τα ανωτέρω οδηγούν σε υπέρβαση κάθε είδους αντοχής σε πλήθος περιοχών των τοιχοποιιών.

Στη συνέχεια και προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου, εξετάστηκαν σε αλληλουχία στρατηγικές επεμβάσεων όπως:

- Η αποκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ των κύριων διασταυρούμενων τοιχίων, η απουσία της οποίας παρατηρήθηκε κατά την αυτοψία και οφείλεται στις διαφορετικές φάσεις κατασκευής του κτιρίου.
- Η επαναφορά της συνολικής δομής του κτιρίου σε λειτουργική κατάσταση με την κατασκευή εκ νέου των στοιχείων που έχουν καταρρεύσει και συνεπώς απουσιάζουν.
- Η αποκατάσταση ή βελτίωση της σύνδεσης μεταξύ κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων για την αποφυγή ανάπτυξης κινηματικών μηχανισμών κατάρρευσης.
- Η βελτίωση της ποιότητας και της αντοχής της τοιχοποιίας από λιθοδομή με σκοπό την συμπεριφορά της ως ενός ομογενοποιημένου συνόλου με αυξημένες τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών.
- Η στοχευμένη μεταβολή της δυσκαμψίας του κτιρίου με προσθήκη κατάλληλα διατεταγμένων δομικών στοιχείων με επαρκή αντοχή και δυσκαμψία.

Προκειμένου να καταστεί εποπτική η συμβολή έκαστης επέμβασης ή δέσμης επεμβάσεων στη βελτίωση της συμπεριφοράς του κτιρίου, εκτελέστηκαν διαφορετικές επιλύσεις σε αλληλουχία. Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων προκύπτει ότι το κτίριο διαδοχικά μετατρέπεται σε περισσότερο δύσκαμπτο και προς τις δύο κύριες διευθύνσεις με την εφαρμογή έκαστης δέσμης επεμβάσεων. Σημειώνεται ότι η κάθε μία δέσμη επεμβάσεων

συμβάλει με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό ποσοστό στην τελική αναπτυσσόμενη δυσκαμψία ως κάτωθι:



Εικόνα 72 Διάγραμμα επιρροής των επεμβάσεων στην δυσκαμψία του φορέα

Σχετικά με την μείωση της εξάντλησης της αντοχής των τοιχοποιιών:

- Η σύνδεση ασύνδετων τοιχίων, η κατασκευή των πατωμάτων και της στέγης του Β τμήματος και η αποκατάσταση της σύνδεσης πατόξυλων με την αντίστοιχη λιθοδομή, επιφέρει σημαντική βελτίωση της εικόνας σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό στο τμήμα Β. Ωστόσο, παρατηρείται επιδείνωση της εικόνας της ΒΑ λιθοδομής του τμήματος Α μετά την αποκατάσταση της συνεργασίας της με την απέναντι ΝΔ όμοια. Παρόμοια είναι και η εικόνα αλλά σε μικρότερο βαθμό για την εξάντληση της αντοχής σε εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό. Σχετικά με την αντοχή σε διάτμηση, το τμήμα Β είναι αυτό που φαίνεται να ωφελείται σε πολύ σημαντικό βαθμό.
- Η κατασκευή διαζώματος στην κορυφή των τοιχοποιιών, φαίνεται ότι συνεισφέρει ελάχιστα στην βελτίωση της εικόνας της επάρκειας του κτιρίου από άποψη αντοχής. Ενδεχομένως, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εφαρμογή του σε

ισόσταθμη συνεχόμενη διάταξη είναι αδύνατη χωρίς την σημαντική τροποποίηση της μορφής του κτιρίου.

- Η εφαρμογή βαθέως αρμολογήματος και ενεμάτωσης για την ομογενοποίηση των τοιχοποιιών του κτιρίου, επιφέρει σημαντική βελτίωση της εικόνας κυρίως στο Β τμήμα σε εκτός επιπέδου κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό. Ωστόσο, οι τοιχοποιίες του τμήματος Α συνεχίζουν να παρουσιάζουν σημαντικό έλλειμμα αντοχής. Αντίθετα, το σύνολο του κτιρίου φαίνεται αν ωφελείται σε ότι αφορά στην εκτός επιπέδου κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό.

Σε συνέχεια των ανωτέρω, είναι φανερό ότι η εφαρμογή των απολύτως απαραίτητων και συνηθισμένων γενικών επεμβάσεων, ενώ βελτιώνει σημαντικά την συμπεριφορά του κτιρίου σε ένταση προερχόμενη από στατικές και δυναμικές φορτίσεις, εντούτοις δεν φαίνεται να είναι ολοκληρωτικά αποτελεσματική. Εντοπίζονται περιοχές στο κτίριο και κυρίως στο τμήμα Α, όπου το μεγάλο αδιάκοπτο μήκος των ΝΔ και ΒΑ τοιχοποιιών, η σημαντική ανισοσταθμία μεταξύ των κορυφών τους, η δυσανάλογα μεγάλη επιφάνεια της στέγης καθώς και η ιδιάζουσα δομή του φορέα της, επιφέρουν σημαντικές εκτός επιπέδου παραμορφώσεις και κατά συνέπεια σημαντικές τάσεις που υπερβαίνουν την αντοχή της τοιχοποιίας.

- Συνεπώς, ως τελική λύση για την ενίσχυση του φορέα με τη συνεπικουρία όλων των προηγούμενων μέτρων, επιλέχθηκε η κατασκευή δύο πρόσθετων τοιχοποιιών από λιθοδομή για την στοχευμένη μεταβολή της δυσκαμψίας προκειμένου να μειωθεί η αναπτυσσόμενη παραμόρφωση και ένταση σε συγκεκριμένα τμήματα της κατασκευής. Η εν λόγω επέμβαση βελτιώνει δραματικά το σύνολο της εικόνας του κτιρίου και εξασφαλίζει επαρκή αντοχή έναντι όλων των αναπτυσσόμενων δράσεων.

Βιβλιογραφία

Bruckermann, O. (2008). *Seismic analysis with SOFISTIK*. Retrieved January, 2021, from <https://cupdf.com/document/seismic-analysis-with-sofistik.htm>.

Chopra, A. (2007). *Δυναμική των Κατασκευών*. (3^η Ελληνική Επανέκδοση) - Αθήνα: Εκδόσεις Γκιούρδας.

Ghiassi, B. & Milani, G. (2019). *Numerical Modeling of Masonry and Historical Structures: From Theory to Application*. Cambridge: Woodhead Publishing. ISBN 9780081024393.

Giovanni, C., Gentilini, C. & Tommaso, A. (2015). Mechanics of Masonry Structures Strengthened with Composite Materials : *Selected, Peer Reviewed Papers from the 4th International Seminar on Mechanics of Masonry Structures Strengthened with Composite Materials (MuRiCo4 2014), 9-11 September 2014*. Ravenna, Italy.

Karabulut, H., Roumelioti, Z., Benetatos, C., Multu, A. K., O'zalaybey, S., Aktar, M., et al. (2006). A source study of the 6 July 2003 (Mw 5.7) earthquake sequence in the Gulf of Saros (Northern Aegean Sea): Seismological evidence for the western continuation of the Ganos fault. *Tectonophysics*, 412(3–4), 195–216. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.09.009>.

Kokalanov, G., Stankovska, M. (2009). Numerical analysis of byzantine church models. *ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 22–24 June 2009. Rhodes, Greece.

Koukouvelas, I. K., & Aydin, A. (2002). Fault structure and related basins of the North Aegean Sea and its surroundings. *Tectonics*, 21(5), 1046. <https://doi.org/10.1029/2001TC901037>.

Kreemer, C., Chamot-Rooke, N., & Le Pichon, X. (2004). Constraints on the evolution and vertical coherency of deformation in the Northern Aegean from a comparison of geodetic, geologic and seismologic data. *Earth and Planetary Science Letters*, 225(3–4), 329–346. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.06.018>.

Papadopoulos, G. A., Ganas, A., & Plessa, A. (2002). The Skyros earthquake (Mw 6.5) of 26 July 2001 and precursory seismicity patterns in the North Aegean Sea. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 1141–1145.

Papadopoulos, G. A., Gra`cia, E., Urgeles, R., et al. (2014). Historical and pre-historical tsunamis in the Mediterranean and its connected seas: Geological signatures, generation mechanisms and coastal impacts. *Marine Geology*, 5, 44. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.04.014>.

Pavlidis S., Tranos M. (1991). Structural characteristics of two strong earthquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios Efstratios (1968). *J. Struct. Geol.*, 13, 2, 205-214

Pavlidis S., Caputo R. (2004). Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region. *Tectonophysics*, 380, 159-188.

Roussos, N., & Lyssimachou, T. (1991). Structure of the Central North Aegean Trough: an active strike-slip deformation zone. *Basin Research*, 3, 39–48.

Βέρρας, Δ., Βιντζηλαίου, Ε. & Τριανταφύλλου, Α. (2004). *Αποτίμηση Σεισμικών Βλαβών, Επισκευές και Ενισχύσεις Παραδοσιακών και Μνημειακών Κτιρίων*, Τόμος Β, Πάτρα: Εκδόσεις ΕΑΠ.

Κανονισμός για αποτίμηση και δομητικές επεμβάσεις τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ) – Σχέδιο 1, Μάρτιος 2019. Ανακτήθηκε από https://www.oasp.gr/userfiles/1_%CE%9A%CE%91%CE%94%CE%95%CE%A4_%CE%9C%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%99%CE%9F%CE%A3_2019.pdf

Κανονιστικά κείμενα Ευρωκώδικα 6, 7 και 8, καθώς και ΕΑΚ2000.

Μπελιοβάνης Π., (2020). *Έλεγχος σεισμικής επάρκειας υφιστάμενου διώροφου κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία*. Μεταπτυχιακή εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Ρουμελιώτη, Α. (2020). *Αποτίμηση Σεισμικής Συμπεριφοράς και πρόταση ενίσχυσης Ιερού Ναού Αγίου Νικολάου Σωτηριανικών Μεσσηνίας*. Μεταπτυχιακή εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

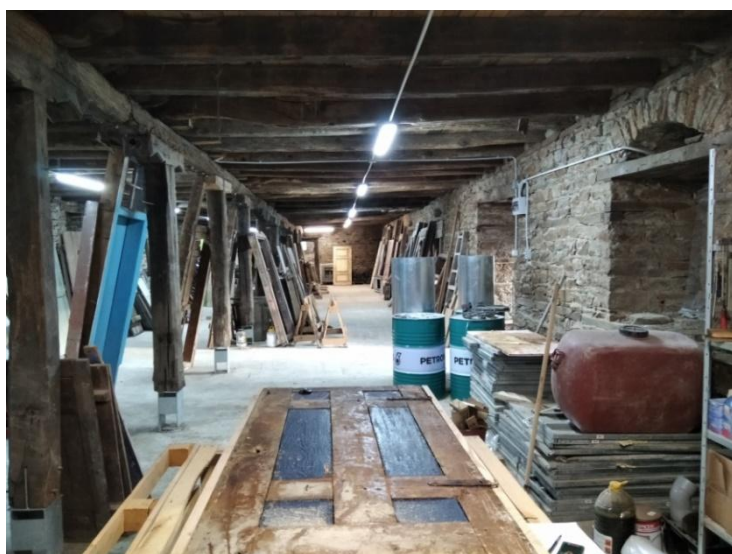
Σπάτουλας, Κ. (2019). *Αποτίμηση και ενίσχυση παραδοσιακού κτιρίου από τοιχοποιία στην Κέρκυρα*. Μεταπτυχιακή εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Σπυράκος, Κ. (2019). *Κατασκευές από Τοιχοποιία. Αποτίμηση & Επεμβάσεις για Σεισμικά Φορτία*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ ΙΚΕ.

Παράρτημα Α: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Φωτογραφία 1. Τμήμα Α – Εξωτερική ΝΔ όψη (από αριστερά προς τα δεξιά)



Φωτογραφία 2. Τμήμα Α – Εσωτερικός χώρος – Στάθμη 1^{ου} επιπέδου - ισογείου



Φωτογραφία 3. Αριστερά: Τμήμα Α – ΝΔ εξώστης – Στάθμη 2^{ου} επιπέδου. Δεξιά: Τμήμα Α – Εσωτερικός χώρος - Στάθμη 2^{ου} επιπέδου



Φωτογραφία 4. Τμήμα Α – λιθοδομή με ξύλινα διαζώματα και θύρα αριστερά και τοξωτό άνοιγμα στην ΝΔ πρόσοψη δεξιά



Φωτογραφία 5. Τμήμα Α – απόψεις του ξύλινου φορέα της στέγης



Φωτογραφία 6. Τμήμα Α - Άποψη αντιπροσωπευτικού παραθύρου του 1^{ου} επιπέδου εκ των έσω



Φωτογραφία 7. Τμήμα Α – Εξωτερική ΒΑ όψη



Φωτογραφία 8. Τμήμα Α – Εξωτερική ΒΔ όψη



Φωτογραφία 9. Συμβολή λιθοδομών Τμήματος Α και Τμήματος Β στο 1^ο επίπεδο



Φωτογραφία 10. Τμήμα Β – Αριστερά: Εξωτερική ΒΔ όψη. Δεξιά: Εξωτερική ΝΔ όψη



Φωτογραφία 11. Τμήμα Β – Απόψεις του εσωτερικού χώρου στη στάθμη του 1^{ου} επιπέδου



Φωτογραφία 12. Τμήμα Β – Απόψεις του εσωτερικού χώρου στη στάθμη του 2^{ου} επιπέδου



Φωτογραφία 13. Τμήμα Β – Τοιχοποιία - Στάθμη δαπέδου 2^{ου} επιπέδου – Οπτική προς ΝΔ



Φωτογραφία 14. Συμβολή λιθοδομών Τμήματος Α και Τμήματος Β στο 1^ο επίπεδο



Φωτογραφία 15. Τμήμα Β – Εξωτερική ΒΔ όψη – Ξύλινος εξώστης 2^{ου} επιπέδου

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.