



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η θηραϊκή γη ως δομικό υλικό: Δομικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι αποτίμησης και ενίσχυσης

ΤΟΥ

ΞΕΝΑΚΗ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η θηραϊκή γη ως δομικό υλικό: Δομικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι αποτίμησης και ενίσχυσης

ΤΟΥ

ΞΕΝΑΚΗ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

Copyright © Βασίλειος Ξενάκης, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Vasileios Xenakis, 2024
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Βασίλειος Ξενάκης (2024)

Η θηραϊκή γη ως δομικό υλικό: Δομικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι αποτίμησης και ενίσχυσης
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Vasileios Xenakis (2024)

The theran earth as a building material: Structural characteristics and methods of assessment and
strengthening
Laboratory for Earthquake Engineering, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μιχάλη Φραγκιαδάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή και τις καίριες παρατηρήσεις του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ τον Τεχνικό Οίκο Λογισμικού για την ευγενική παραχώρηση του πακέτου λογισμικού ΡΑΦ. Επίσης οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε εκείνη που στάθηκε πλάι μου στα ξενύχτια που απαιτήθηκαν. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου.

...a man's reach should exceed his grasp...

(Robert Browning – Andrea del Sarto)



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η θηραϊκή γη ως δομικό υλικό: Δομικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι αποτίμησης και ενίσχυσης

Βασίλειος Ξενάκης

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Μιχαήλ Φραγκιαδάκης
Μάρτιος 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Η θηραϊκή γη ως δομικό υλικό: Δομικά χαρακτηριστικά και μέθοδοι αποτίμησης και ενίσχυσης», εκπονήθηκε στα πλαίσια προπτυχιακού επιπέδου σπουδών με σκοπό να αποτελέσει ένα συνοπτικό οδηγό για των απαιτούμενων βημάτων για το στατικό τους επανέλεγχο των συνηθέστερων παραδοσιακών κτηρίων που συναντώνται στη Θήρα.

Πρώτος στόχος είναι η εξοικείωση του μηχανικού με την τυπολογία των εν λόγω κτηρίων έτσι αναζητήθηκαν και παρουσιάζονται οι βασικότεροι τύποι παραδοσιακών κτηρίων του νησιού. Επίσης παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής με έμφαση στη θηραϊκή γη οι ιδιότητες της οποίας έδωσαν τη δυνατότητα κατασκευής αυτών των ιδιαίτερων κτηρίων.

Σημαντικό ρόλο στην τεκμηρίωση του φέροντος οργανισμού διαδραματίζουν οι διερευνητικές εργασίες καθώς είναι το πρωταρχικό βήμα για το στατικό του επανέλεγχο. Με το πέρας αυτών ο μελετητής μηχανικός είναι σε θέση να γνωρίζει όσα χρειάζεται για να προχωρήσει στην αποτίμηση του φέροντος οργανισμού με όποια από τις μεθόδους αποτίμησης θεωρήσει ότι αρμόζει περισσότερο στην περίπτωση.

Εφόσον η αποτίμηση αναδείξει ανεπάρκειες στο φέροντα οργανισμό είναι απαραίτητη η εφαρμογή ενισχύσεων, έτσι, στην παρούσα παρουσιάζονται οι συνηθέστερες μέθοδοι ενίσχυσης οι οποίες είναι ταυτόχρονα και κατάλληλες για το νησί της Θήρας.

Εν είδει παραδείγματος έγινε στατικός επανέλεγχος κτηρίου από λιθοδομή στο Μεγαλοχώρι Θήρας με χρήση δύο εμπορικών ελληνικών λογισμικών. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου για το στατικό επανέλεγχο του φέροντος οργανισμού, ενώ στη δεύτερη η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Τέλος, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και προτάθηκαν ενισχύσεις για την άρση των ανεπαρειών που εντοπίστηκαν.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
LABORATORY FOR EARTHQUAKE ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

The theran earth as a building material: Structural characteristics and methods of assessment and strengthening

Vasileios Xenakis

Supervisor: Associate Professor Michalis Fragiadakis
March 2024

ABSTRACT

The diploma thesis called "The theran earth as a building material: Structural characteristics and methods of assessment and strengthening" is carried out for the completion of the undergraduate studies and its objective is to become a brief manual for the structural analysis of existing traditional building of Santorini.

The first goal is to familiarize the structural engineer to these buildings' typology, so, the most common types of these buildings were researched and are presented. Also, the construction materials are presented emphasizing to the theran earth and its properties that made possible the construction of so special buildings.

Investigation works are one of the most important steps to analysis of the bearing structure, by the end of those works the engineer will have everything that would need for the analysis. Moreover, the engineer will be able to choose the most suitable method of analysis for every case.

If the analysis show that the bearing structure is not able to withstand the provided loads, some strengthenings are in order, so, in the present thesis the most common and at the same time suitable for Santorini methods of strengthenings are presented.

For the sake of an example in this case a traditional building in Megalochori of Santorini was structurally analyzed using two professional Greek software packages. In the first analysis the method of the frame was used while in the second the Finite Elements Method was used. Finally, the results of those two methods were compared and there was a proposal of strengthening the bearing structure.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2	ΘΗΡΑΪΚΗ ΓΗ	2
1.3	ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΤΡΟΠΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΗ ΘΗΡΑ	2
1.3.1	ΥΠΟΣΚΑΦΑ.....	3
1.3.2	ΚΑΝΑΒΕΣ.....	3
1.3.3	ΑΡΧΟΝΤΙΚΑ	4
1.3.4	ΣΤΑΥΡΟΘΟΛΙΑ.....	4
1.3.5	ΗΜΙΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΘΟΛΟΙ	5
1.3.6	ΣΚΑΦΩΤΟΙ ΘΟΛΟΙ	5
1.3.7	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	6
1.4	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	6
1.4.1	ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΑ	7
1.4.2	ΑΣΒΕΣΤΟΘΗΡΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	7
1.4.3	ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ - ΚΙΣΣΙΡΗΣ.....	7
1.4.4	ΞΥΛΕΙΑ.....	7
2	ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	9
2.1	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	9
2.2	“ΣΤΑΤΙΚΗ” ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	10
2.3	ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	12
2.4	ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	13
2.5	ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	15
2.6	ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ - ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ	16
2.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	16
3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ	17
3.1	Μέθοδος ισοδυναμίου πλαισίου (ΜΙΠ).....	17
3.2	Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method)	20
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	23
4.1	ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ & ΑΡΜΟΛΟΓΗΜΑ.....	23
4.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	24
4.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΟΣ	25
4.4	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ.....	26
4.5	ΣΥΡΡΑΦΗ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΟΙΧΩΝ	26
4.6	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (ΙΟΠ /FRP).....	27

4.7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (ΙΑΜ/TRM).....	27
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	29
5.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ	30
5.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ	31
5.3	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	34
5.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	35
5.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	36
5.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	37
5.6.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΦΟΡΕΑ	37
5.6.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΩΣ ΙΣΟΓΕΙΟ	41
5.7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	44
5.8	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	55
5.9	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ	56
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νησί της Θήρας παρουσιάζει έναν ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής οροφών σε κτήρια από λιθοδομή του 19ου αιώνα έως και τις αρχές του 20^{ου}. Κατά εκείνη την περίοδο η συνήθης μεθοδολογία επιστέγασης των κτηρίων από λιθοδομή είναι η χρήση δοκών (μεταλλικών ή ξύλινων) και σανιδώματος ή ξύλινων στεγών αναλόγως με την αρχιτεκτονική κάθε περιοχής. Στη Θήρα η ακολουθούμενη μεθοδολογία ήταν η κατασκευή θόλων ή σταυροθολίων από λιθοδομή ή σκαφοειδών θόλων. Επίσης χαρακτηριστικό των τοιχοποιιών της Θήρας είναι η υψηλή αντοχή των λιθωμάτων αλλά και των κονιαμάτων τους. Καθώς πρόκειται για ηφαιστιογενή πετρώματα είναι αναμενόμενο οι αντοχές των λιθωμάτων να είναι αυξημένες, αντίστοιχα υψηλά είναι τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων καθώς χρησιμοποιείται ως κονία η θηραϊκή γη. Ακόμη είναι σύνηθες οι τοίχοι των ανώτερων ορόφων να “φυτεύονται” επί των θολωτών οροφών των υποκείμενων. Τέλος, μία ακόμα ιδιαιτερότητα τους είναι ότι εξαιτίας του μειωμένου πορώδους του κονιάματος είναι σε πολλές περιπτώσεις αδύνατη η ενίσχυση της τοιχοποιίας με χρήση ενεμάτων.

1.1 ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει στόχο να αποτελέσει ένα συνοπτικό οδηγό των απαιτούμενων βημάτων για το στατικό επανέλεγχο των συνηθέστερων παραδοσιακών κτηρίων που συναντώνται στη Θήρα. Καθεμία από τις απαιτούμενες εργασίες έχουν προσαρμοστεί ώστε να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις που παρουσιάζουν τα κτήρια του νησιού. Για το λόγο αυτόν έχουν συγκεντρωθεί βιβλιογραφικές αναφορές, μαρτυρίες κατοίκων του νησιού καθώς και ευρήματα από την επαγγελματική εμπειρία του συγγραφέως σε διερευνητικές εργασίες, μελέτες αποτίμησης και ενίσχυσης κτηρίων στη Θήρα. Επιλέχθηκαν και παρουσιάζονται οι πλέον απαραίτητες αλλά και εφαρμόσιμες διερευνητικές εργασίες, μέθοδοι αποτίμησης και μέθοδοι ενισχύσεων σύμφωνα με τη γνώμη του συγγραφέως ώστε να αποτελέσουν μία πρώτη επαφή του πολιτικού μηχανικού με τα εν λόγω κτήρια. Σε καμία περίπτωση η παρούσα εργασία δεν υποκαθιστά τους σχετικούς κανονισμούς ή τις απαιτήσεις των κρατικών υπηρεσιών.

1.2 ΘΗΡΑΪΚΗ ΓΗ

Η θηραϊκή γη ή άσπα ή ποτζουλάνα ή τέφρα έχει διαδραματίσει των πλέον καθοριστικό ρόλο στις κατασκευές από λιθοδομή του νησιού. Είναι μία ηφαιστειογενής πυριτικής σύστασης φυσική ποζολάνη με υδραυλικές ιδιότητες συγκρίσιμες με το σύγχρονο τσιμέντο. Υπάρχει σε αφθονία στο νησί και χρησιμοποιείται ως φυσική κονία σε συνδυασμό με ασβέστη και νερό για την παρασκευή κονιαμάτων με μικρό πορώδες και αυξημένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Η ονομασία ποζολάνη προέρχεται από την περιοχή Pozzuoli (Ποτσουόλι) που είναι πόλη στη επαρχία της Νάπολης χτισμένη στο κέντρο ηφαιστειακής καλντέρας οπότε διαθέτει παρόμοιο έδαφος με εκείνο της Θήρας. Οι Ρωμαίοι κάτοικοι της πόλης ανακάλυψαν τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους και το χρησιμοποίησαν στα κονιάματά τους. Τα κονιάματα στη Θήρα παράγονταν από την ανάμιξη θηραϊκής γης, ασβέστη, νερού και ως αδρανές υλικό συνήθως χρησιμοποιούνταν άμμος θαλάσσης ή κοινό χώμα. Εξαιτίας των ιδιοτήτων της θηραϊκής γης τα κονιάματα διατηρούν ακόμα και σήμερα (100-150 έτη αργότερα) θλιπτική αντοχή από 2 έως 10 MPa.

Σύμφωνα με το ASTM 618, ως ποζολάνη ορίζεται το «πυριτικό ή αργιλικό υλικό, το οποίο δεν παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες, αλλά σε πολύ λεπτή κοκκομετρία και εάν αναμειχθεί με υδράσβεστο, παρουσία υγρασίας, αντιδρά με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε συνθήκη θερμοκρασία σχηματίζοντας υδραυλικές ενώσεις». Κάποια βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα υλικό για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ποζολάνη είναι: i) να έχει υψηλό ποσοστό πυριτίου και αργιλίου, ii) να είναι άμορφο δηλαδή να μην έχει μία σταθερή κρυσταλλική δομή και iii) να έχει μεγάλη ειδική επιφάνεια. Στην περίπτωση της θηραϊκής γης, ως ποζολανικό κλάσμα θεωρείται η λεπτή πούδρα των κάτω των 70 τουλάχιστον μm.

Η αντίδραση της ποζολάνης με τον ασβέστη ονομάζεται και υδραυλική ή ποζολανική και έχει ως αποτέλεσμα των σχηματισμό φάσεων που προσδίδουν αυξημένη ανθεκτικότητα στα τελικά κονιάματα· οι υδραυλικές αυτές φάσεις μελετώνται με ειδικά μικροσκόπια και μπορεί να είναι περιοχές άμορφης αλληλεπίδρασης ή βελονοειδείς σχηματισμοί. Ο σχηματισμός υδραυλικών φάσεων, των λεγόμενων ένυδρων ασβεστο-πυριτικών ενώσεων (στην χημεία των δομικών υλικών αναφέρονται με την συντομογραφία C-S-H) δημιουργεί ένα ινώδες πλέγμα στο εσωτερικό του κονιάματος που αυξάνει την σκληρότητα και την αντοχή.

Η υδραυλικότητα συμπυκνώνεται σε δύο ιδιότητες για τα τελικά δομικά υλικά:

- σκληραίνουν μέσω χημικής αντίδρασης με το νερό, γεγονός που καθορίζει και την απαίτηση να συντηρούνται σε συνθήκες υγρασίας κατά και μετά την εφαρμογή τους.
- είναι ανθεκτικά στην επίδραση του νερού και βελτιώνουν τις ιδιότητες του με την επαφή τους σε αυτό.

Τη δεκαετία του '70, σταδιακά απαγορεύεται η εξόρυξη και εμπορία της θηραϊκής γης, με σειρά σχετικών διαταγμάτων, συμπαράσυνοντας και την τοπική χρήση της. Η εξόρυξη ηφαιστειακών γαιών για τη δόμηση και την παραγωγή τσιμέντου συνεχίζεται σε άλλες περιοχές της Ελλάδας, έως και σήμερα. Με γνώμονα την έντονη κατασκευαστική δραστηριότητα στην περιοχή, ειδικότερα στη Θήρα, και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οικοδομικών πρακτικών, προτείνεται η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός πλαισίου χρήσης της θηραϊκής γης, όπως και άλλων οικοδομικών υλικών που προκύπτουν από αυτή (ελαφρόπετρα, πέτρα, άμμος) μέσω εκσκαφών στα νησιά της Θήρας και της Θηρασίας [1].

1.3 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΤΡΟΠΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΗ ΘΗΡΑ

Τα παραδοσιακά κτήρια της Θήρας χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες αναλόγως με τον τρόπο κατασκευής τους και τη χρήση τους, τα αρχοντικά, τις κάρναβες και τα υπόσκαφα. Οι τεχνικές που ακολουθούνται ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει κάθε χώρος ποικίλουν. Οι συνθηέστερες είναι τα σταυροθόλια, οι ημικυλινδρικοί θόλοι και οι σκαφωτοί θόλοι.

1.3.1 ΥΠΟΣΚΑΦΑ

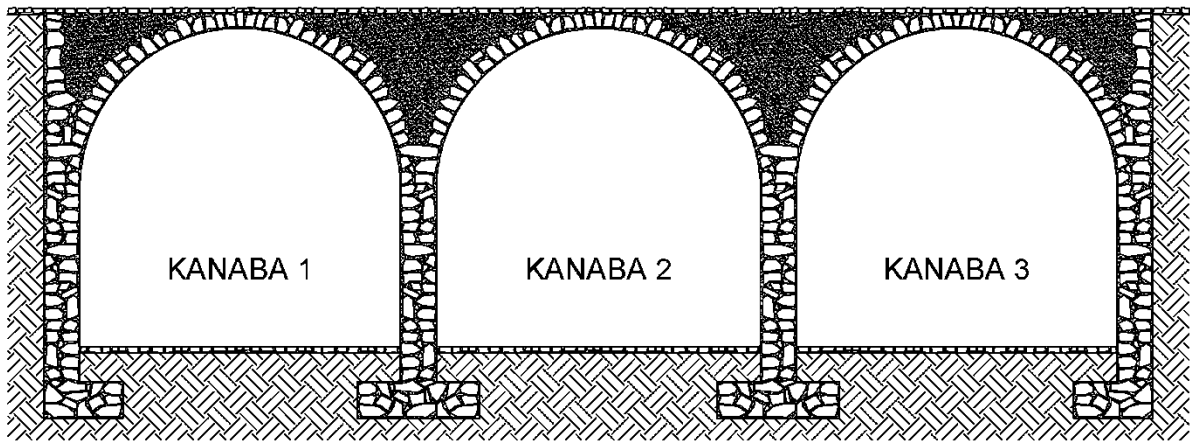
Τα υπόσκαφα (σηπιές) λαξεύονταν σε αποθέσεις θηραϊκής γης είτε σε ως θόλος με ημικυλινδρικό σχήμα είτε με κατακόρυφες παρειές και θόλο. Η στατική τους λειτουργία είναι ανάλογη με αυτής των σηράγγων ενώ δε διέθεταν θεμελίωση, στην πρόσοψή τους χτίζονταν τοίχος με πόρτα και παράθυρα που αποτελούσαν και τη μόνη πηγή φωτισμού και αερισμού του υπόσκαφου. Το πλάτος του υπόσκαφου τυπικά είναι 4~5m και το βάθος 9~10m, μετά την ολοκλήρωση της λάξευσης εφαρμόζεται επίχρισμα από θηραϊκή γη για την ενίσχυση των παρειών του υπόσκαφου. Χρησιμοποιούνταν συνήθως ως κατοικίες από τις λαϊκές οικογένειες του νησιού, πολλές φορές όμως είχαν χρήση αποθήκης. Σήμερα αναλόγως με την τοποθεσία που βρίσκονται έχουν μετατραπεί σε πολυτελή ενοικιαζόμενα δωμάτια, καταστήματα κλπ.



Εικόνα 1-1: Εσωτερική άποψη υπόσκαφου κτίσματος (Πηγή: *Εγχειρίδιο για τις θηραϊκές τεχνικές δόμησης*).

1.3.2 ΚΑΝΑΒΕΣ

Οι κανάβες είναι υπόγειες αποθήκες που χτίζονταν εξ ολοκλήρου από λιθοδομή, ήταν επιχωμένες στις τρεις από τις τέσσερις πλευρές τους και χρησιμοποιούνταν ως χώροι αποθήκευσης βαρελιών οίνου. Κατασκευάζονταν τα οριζόντια στοιχεία του φέροντος οργανισμού αποτελούνταν από θόλους ή σταυροθόλια ενώ συνήθως υπήρχαν περισσότερες από μία κανάβες η μία δίπλα στην άλλη που επικοινωνούσαν μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι μία μεγαλύτερη αποθήκη. Πολλές φορές πάνω από τις κανάβες κατασκευάζονταν υπέργεια κτήρια κατοικίας ή καταστήματα.



Εικόνα 1-2: Ενδεικτική τομή κανάβων.

1.3.3 ΑΡΧΟΝΤΙΚΑ

Τα αρχοντικά είναι κτήρια κατοικίας που κατασκευάζονταν εύπορες οικογένειες του νησιού καθώς έχουν μεγάλη επιφάνεια, μεγάλα δωμάτια και εσωτερικό λουτρό. Διαθέτουν υπόγειες κανάβες με χρήση αποθήκης και στέρνα (δεξαμενή συλλογής όμβριων υδάτων), το ισόγειο είναι κατασκευασμένο από τοίχους αργολιθοδομής ενώ στις γωνίες τοποθετούνται λαξευτοί λίθοι ενώ η οροφή τους κατασκευάζεται από σκαφοειδείς θόλους. Αναλόγως με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις της ανώτερης στάθμης σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν τοίχοι που εδράζονται επί των θόλων της κατώτερης στάθμης.



Εικόνα 1-3: Πρόσοψη αρχοντικού Αργυρού.

1.3.4 ΣΤΑΥΡΟΘΟΛΙΑ

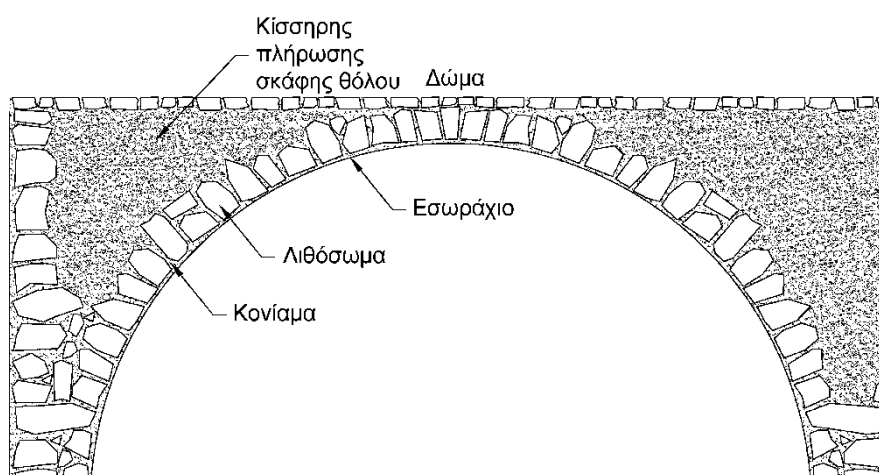
Τα σταυροθόλια κατασκευάζονται σε χώρους όπου υπάρχει απαίτηση για μεγάλα και πολλαπλά ανοίγματα είτε για φωτισμό και αερισμό είτε για επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων χώρων. Πρόκειται για την κατασκευή δύο κάθετων μεταξύ τους τόξων που τυπικά εδράζονται σε πεσσούς οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους επίσης με τόξο [2].



Εικόνα 1-4: Ενδεικτική μορφή σταυροθολίων.

1.3.5 ΗΜΙΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΘΟΛΟΙ

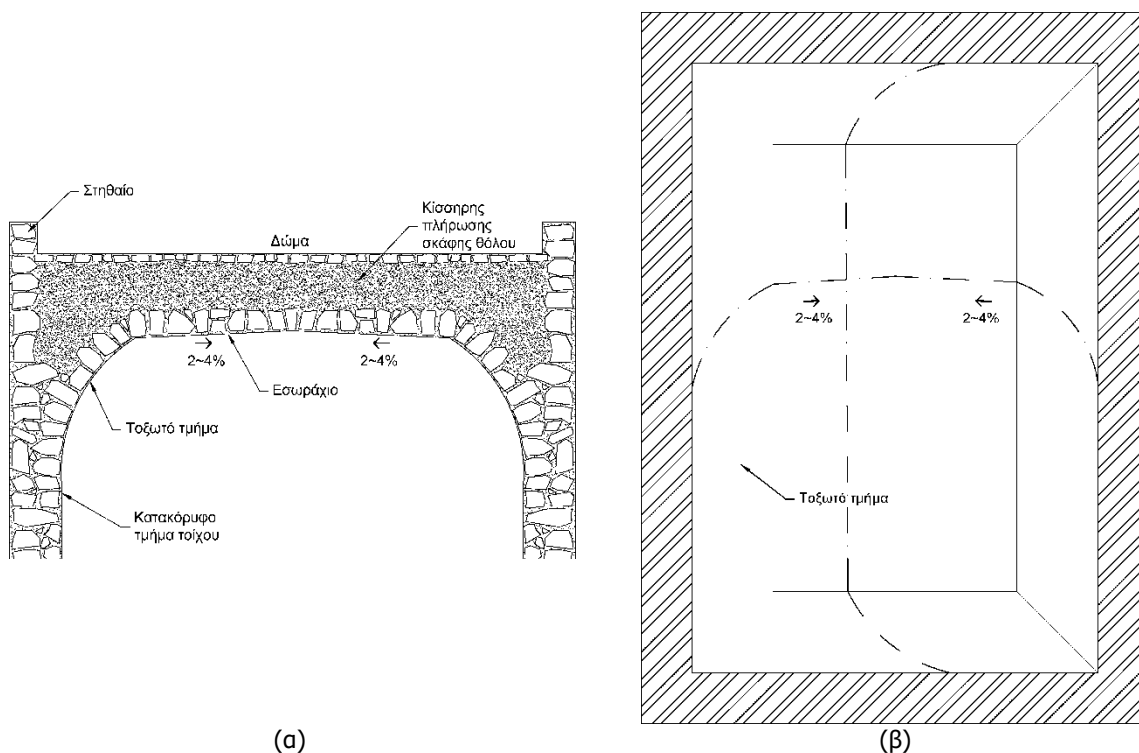
Οι ημικυλινδρικοί θόλοι κατασκευάζονται σε δωμάτια με μικρές απαιτήσεις ανοιγμάτων πχ υπνοδωμάτια και αποθήκες όταν υπερκείμενο δάπεδο είναι βατό επομένως αναμένεται να υπάρχουν αυξημένα μόνιμα και κινητά φορτία. Τυπικά εδράζονται σε επιμήκεις τοίχους και το πάχος τους είναι 25~40cm (Εικόνα 1-5).



Εικόνα 1-5: Ενδεικτική μορφή ημικυλινδρικού θόλου.

1.3.6 ΣΚΑΦΩΤΟΙ ΘΟΛΟΙ

Οι σκαφωτοί θόλοι κατασκευάζονται σε αντίστοιχες θέσεις με τους ημικυλινδρικούς με τη διαφορά ότι τυπικά άνωθεν των σκαφωτών θόλων υπάρχει μη βατό δώμα. Το όνομά τους προέρχεται από το σχήμα τους το οποίο προσομοιάζει σκάφη τοποθετημένη με τη μεγάλη της πλευρά προς τα κάτω, αυτού του τύπου οι θόλοι καθίσταται δυνατό να κατασκευαστούν των μηχανικών ιδιοτήτων της θηραϊκής γης καθώς το οριζόντιο τμήμα τους δε διαθέτει κανενός τύπου οπλισμό. Η κατασκευή τους γινόταν με χρήση καλουπιού ενώ το εσωράχιο διαθέτει αντιβέλος ίσο με το 2~4% του ανοίγματος [3].



Εικόνα 1-6: Σκαφωτός θόλος (α) Τομή (β) Άνοψη.

1.3.7 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Η συνηθέστερη θεμελίωση των τοίχων είναι η δημιουργία λωρίδας από τοιχοποιία πλάτους 0.80~1.00 μεγαλύτερης από το πάχος του εκάστοτε τοίχου. Όσον αφορά τα ανώφλια διαμορφώνονται με αψιδωτή μορφή, τέλος συνηθίζεται επίσης η δημιουργία τόξων κάτω από τις πόρτες και στις ποδιές των παραθύρων για την τοπική ενίσχυση της λιθοδομής.

1.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα υλικά που απαντώνται σε κάθε περιοχή καθόριζαν διαχρονικά τις κατασκευές της καθώς οι κάτοικοι αναζητούσαν τρόπους για την εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων που τους παρέχονταν με τη λιγότερη δυνατή προσπάθεια. Έτσι τόσο στη Θήρα όσο και στη Θηρασιά οι κάτοικοι χρησιμοποίησαν τα ηφαιστειογενή υλικά που βρίσκονται σε αφθονία στα ανώτερα στρώματα του εδαφικού φλοιού τοποθετώντας καθένα στον κατάλληλο ρόλο του με σκοπό την μέγιστη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του. Συνεπώς τα πετρώματα με τη μεγαλύτερη αντοχή θραύστηκαν και έγιναν λιθοσώματα, η θηραϊκή γη συλλέχθηκε κοσκινίστηκε και σε συνδυασμό με υδράσβεστο έγινε συνδετική κονία για τα κονιάματα και επιχρίσματα, ενώ η ελαφρόπετρα πλήρωσε τις σκάφες που δημιουργούνται άνωθεν των θόλων για τη δημιουργία επίπεδου δαπέδου/δώματος. Στις περιπτώσεις που συναντώταν μεγάλες αποθέσεις άσπας διανοίχθηκαν εντός τους υπόσκαφες θολωτές κατασκευές κατοικίες, αποθήκες ακόμα και στέρνες. Τέλος, υπάρχει ακόμη ένα πλεονέκτημα στη χρήση των τοπικών υλικών στην κατασκευή, αυτό είναι το απολύτως αρμονικό αισθητικό αποτέλεσμα καθώς τα όρια μεταξύ ανθρωπογενούς κατασκευής και φυσικού τοπίο γίνονται δυσδιάκριτα.

1.4.1 ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΑ

Τα λιθοσώματα που συναντώνται στις κατασκευές του νησιού χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με το χρώμα τους και την εξωτερική τους όψη. Η μαυρόπετρα η οποία προέρχεται από ανδειτικό μητρικό πέτρωμα έχει εξαιρετικά υψηλή θλιπτική αντοχή και είναι δύσκολη στην κατεργασία της. Η κοκκινόπετρα προέρχεται από αιματίτη και διαχωρίζεται σε συμπαγή και σπογγώδη ανάλογα με τις συνθήκες τήξης του μάγματος. Όπως γίνεται αντιληπτό από την ονομασία της η σπογγώδης κοκκινόπετρα έχει κενά στη μάζα της με αποτέλεσμα να είναι σημαντικά ελαφρύτερη από τη συμπαγή και με πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Για την κατασκευή φερόντων στοιχείων (τοιχών και θόλων) χρησιμοποιούνται τόσο μαυρόπετρα όσο και συμπαγής κοκκινόπετρα συχνά σε συνδυασμό μεταξύ τους ακόμα και στο ίδιο στοιχείο. Η σπογγώδης κοκκινόπετρα χρησιμοποιείται κυρίως για διακοσμητικούς λόγους πέριξ των ανοιγμάτων. Τέλος, στις κατασκευές απαντώνται επίσης ασβεστολιθικά λιθοσώματα.

1.4.2 ΑΣΒΕΣΤΟΘΗΡΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα ασβεστοθηροκονιάματα είναι κονιάματα θηραϊκής γης άσβεστου και άμμου θαλάσσης ή χώματος. Εξαιτίας των ιδιοτήτων της θηραϊκής γης σε συνδυασμό με τη άσβεστο, τα ασβεστοθηροκονιάματα έχουν εξαιρετικά μηχανικά χαρακτηριστικά. Έχουν υψηλή θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, χαμηλό πορώδες και μικρή υδατοπερατότητα. Έτσι, πέρα από τη χρήση τους ως συνδετικό κονίαμα στις λιθοδομές χρησιμοποιούνται και ως επίχρισμα καθώς επιτυγχάνει στεγανοποίηση, η υδατοπερατότητα τους δε είναι τόσο χαμηλή που χρησιμοποιούνταν για τη στεγάνωση δεξαμενών συλλογής όμβριων υδάτων.

1.4.3 ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ - ΚΙΣΣΙΡΗΣ

Η ελαφρόπετρα ή κίσσηρης αποτελούσε ιδανικό υλικό για την πλήρωση της σκάφης στο άνω μέρος των θόλων με σκοπό να δημιουργηθεί επίπεδη επιφάνεια που με την κατάλληλη επίστρωση χρησιμοποιούνταν ως δάπεδο είτε ως δώμα. Το κύριο πλεονέκτημά της είναι το χαμηλό ειδικό βάρος της επιβάλλοντας τη μικρότερη δυνατή καταπόνηση στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής αλλά συμβάλλει επίσης στην ευκολότερη μεταφορά της από το ορυχείο στην κατασκευή. Επίσης τα πτωχά μηχανικά της χαρακτηριστικά την καθιστούν εύκολη στην εξόρυξη και κατεργασία [4].

1.4.4 ΞΥΛΕΙΑ

Η παραγωγή ξυλείας στο νησί ήταν πάντοτε σε μικρή με αποτέλεσμα να απαιτείται εισαγωγή της από τα γύρω νησιά ή την ηπειρωτική Ελλάδα, επομένως ήταν ιδιαίτερος ακριβή και χρησιμοποιούνταν κυρίως στα πλουσιότερα σπίτια του νησιού. Η έλλειψη ντόπιας ξυλείας συνετέλεσε επίσης στην υιοθέτηση του τρόπου κατασκευής με θόλους και σταυροθόλια.

2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι διερευνητικές εργασίες είναι το πρωταρχικό βήμα στην τεκμηρίωση μιας υφιστάμενης κατασκευής, ιδιαιτέρως δε στις κατασκευές από λιθοδομή οι οποίες εξαιτίας της παλαιότητάς τους δεν κατασκευάστηκαν με κάποια στατική μελέτη και δεν υπάρχουν κατασκευαστικά σχέδια στα οποία μπορεί να βασιστεί ο στατικός επανέλεγχος της κατασκευής. Είναι επομένως σημαντικό να ακολουθηθεί ένα πρόγραμμα διερευνητικών εργασιών με σκοπό την σύνταξη των κατασκευαστικών σχεδίων, την τεκμηρίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των επιμέρους υλικών αλλά και του τρόπου δόμησης της κατασκευής. Να συλλεχθούν επομένως όλα εκείνα τα στοιχεία που χρειάζεται ο μηχανικός που θα εκτελέσει τον στατικό επανέλεγχο της κατασκευής. Αναλυτικά οι δοκιμές και το απαιτούμενο πλήθος αυτών για κάθε στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων περιγράφονται στον ΚΑΔΕΤ (Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας) [5]. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί περιγραφή των πλέον απαραίτητων από αυτές για κατασκευές ευρισκόμενες στη Θήρα, εδώ πρέπει να τονιστεί ότι οι εργασίες που περιγράφονται αφορούν σε κτήρια που δεν είναι χαρακτηρισμένα ως διατηρητέα ή μνημεία, για τα κτήρια που είναι χαρακτηρισμένα ως διατηρητέα ή μνημεία είναι απαραίτητη η έγκριση των μεθόδων από την αρμόδια αρχή.

2.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το αρχικό βήμα στη διερεύνηση κάθε κατασκευής είναι η γεωμετρική αποτύπωσή της, ειδικά στην περίπτωση των παραδοσιακών κτηρίων της Θήρας η γεωμετρική αποτύπωση συνιστάται να πραγματοποιείται από πεπειραμένο τοπογράφο μηχανικό. Στην πλειονότητα των παραδοσιακών κτηρίων η κάτοψη του υπογείου διαφέρει από εκείνη των υπερκείμενων ορόφων γεγονός που καθιστά δύσκολη την ακριβή αποτύπωση χωρίς γεωδαιτικό σταθμό (Εικόνα 2-1) και ίδρυση κατάλληλων στάσεων. Επίσης απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποτύπωση των θολωτών τμημάτων αλλά και στον έλεγχο κατακορυφότητας των τοίχων για τον εντοπισμό τυχόν απόκλισης είτε εκ κατασκευής είτε από κάποιο σεισμικό γεγονός. Στόχος της εν λόγω αποτύπωσης είναι να προσδιοριστεί η ακριβής γεωμετρία φερόντων και μη στοιχείων, ο εντοπισμός “φυτευτών” τοίχων και η θέση έδρασης τους στους υποκείμενους θόλους, καθώς επίσης και το μικτό πάχος των δαπέδων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην αποτύπωση και χωροθέτηση της στέρας (δεξαμενή ύδατος) που διαθέτουν οι περισσότερες κατοικίες της Θήρας, ώστε να ληφθεί υπόψη και να ελεγχθεί εάν επηρεάζει τη θεμελίωση των παρακείμενων τοίχων. Τα παραδοτέα της γεωμετρικής αποτύπωσης είναι σχέδια κάτοψης όλων των ορόφων, δύο τομές κάθετες μεταξύ τους, εξωτερικές όψεις και σχέδια λεπτομερειών όπου απαιτείται.

Τα σχέδια θα συνοδεύονται από φωτογραφικό υλικό και επί των σχεδίων κάτοψης θα αποτυπώνεται η θέση λήψης των φωτογραφιών.



Εικόνα 2-1: Γεωμετρική αποτύπωση κτηρίου από λιθοδομή.

2.2 “ΣΤΑΤΙΚΗ” ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Αφού ολοκληρωθεί η γεωμετρική αποτύπωση έχει σειρά η αποτύπωση του φέροντος οργανισμού της κατασκευής. Εξειδικευμένο συνεργείο αποτελούμενο από πολιτικό μηχανικό και εργατοτεχνικό προσωπικό μεταβαίνουν στο κτήριο έχοντας στη διάθεσή τους τα σχέδια της γεωμετρικής αποτύπωσης με σκοπό να συντάξουν τα as-built (ως κατασκευάσθη) σχέδια του φέροντος οργανισμού. Συγκεκριμένα πρέπει να τεκμηριωθεί το υλικό κατασκευής, ο τρόπος δόμησης, το στατικό πάχος κάθε στοιχείου (χωρίς τα επιχρίσματα), το είδος και το βάθος θεμελίωσης καθώς επίσης και τα υλικά πλήρωσης των σκαφών των θόλων.

Με τη χρήση ελαφρών κρουστικών πραγματοποιούνται τοπικές καθαιρέσεις επιχρισμάτων σε περιοχές $0.50\sim 1.00\text{m}^2$ σε πεσσούς, υπέρθυρα και θόλους ώστε να αποκαλυφθούν τα λιθωσώματα και το συνδετικό κονίαμα (Εικόνα 2-2). Κατόπιν μετράται το πάχος του επιχρίσματος, εκτιμάται η αναλογία λιθωσμάτων/ συνδετικού κονιάματος, και γίνεται οπτική αναγνώριση του είδους των λιθωσμάτων βάσει χρώματος και υφής. Σε αφανή σημεία όπως στους επιχωμένους εξωτερικά τοίχους υπογείων και σε θόλους καλυμμένους με υλικό πλήρωσης δεν είναι δυνατή με άμεση μέτρηση του πάχους, θα πρέπει να γίνονται διατρήσεις με τρυπάνι κατάλληλου μήκους ώστε κατά τη διάτρηση να εκτιμάται το πάχος του στοιχείου. Επιπλέον τεκμηρίωση των υλικών και του τρόπου δόμησης μπορεί να προσφέρει η χρήση ενδοσκοπικής κάμερας η οποία μέρα από κατάλληλες οπές εισχωρεί στο εσωτερικό της τοιχοποιίας προσφέροντας στο μηχανικό τη δυνατότητα να δει τον τόπο δόμησης (συμπαγής τοίχος, δίστρωτος, κοίλος κ.ο.κ.) αλλά και το ποσοστό κονιάματος/ υλικού πλήρωσης εσωτερικά (Εικόνα 2-3). Για τη διερεύνηση της θεμελίωσης δημιουργούνται σκάμματα στο δάπεδο της κατώτερης στάθμης (Εικόνα 2-4). τέτοια ώστε να αποκαλυφθεί το θεμέλιο, να μετρηθούν οι διαστάσεις του, το βάθος θεμελίωσης

καθώς και να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδάφους θεμελίωσης (ύπαρξη υγρασίας, ύδατος, ριζικού συστήματος δέντρων κ.α.).



Εικόνα 2-2: Διερεύνηση της μορφής δόμησης της λιθοδομής.



(α)



(β)

Εικόνα 2-3: Χρήση ενδοσκοπικής κάμερας (α) Εξωτερικός χειρισμός (β) Φωτογραφία από ενδοσκοπική κάμερα.



Εικόνα 2-4: Σκάμμα διερεύνησης θεμελίωσης τοίχου.

Αντικείμενο της στατικής αποτύπωσης αποτελεί η διερεύνηση του υλικού κατασκευής των διαχωριστικών τοίχων καθώς και το πάχος και υλικό επικάλυψης δαπέδων και πλήρωσης των σκαφών των θόλων με σκοπό να εκτιμηθούν τα μόνιμα φορτία της κατασκευής και να ληφθούν υπόψη στη στατική ανάλυση. Τα παραδοτέα της στατικής αποτύπωσης είναι σχέδια ίδια με τα σχέδια της γεωμετρικής αποτύπωσης τα οποία όμως έχουν προσαρμοστεί ώστε να αποτυπώνεται σε αυτά το καθαρό πάχος των φερόντων στοιχείων, με κατάλληλη διαγράμμιση ή χρωματισμούς διαχωρίζονται τα φέροντα και μη στοιχεία καθώς και το υλικό κατασκευής τους σε σχετικό υπόμνημα. Συμπεριλαμβάνονται επίσης σχέδια λεπτομερειών όπου αποτυπώνεται ο τρόπος δόμησης των φερόντων στοιχείων, οι εκθέσεις και τα σχέδια θα συνοδεύονται από φωτογραφικό υλικό.

2.3 ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΘΡΑΨΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΛΙΘΟΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

Για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας απαιτείται η γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών που την απαρτίζουν ήτοι λιθοσώματα και συνδετικό κονίαμα. Έτσι, στη φάση των διερευνητικών εργασιών λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά τεμάχια λιθοσωμάτων και κονιαμάτων τα οποία θα διαμορφωθούν σε δοκίμια κατάλληλων διαστάσεων στο εργαστήριο και θα υποβληθούν σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Ο αριθμός των τεμαχίων που θα ληφθούν εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών υλικών και από τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ) που έχει επιλεγεί. Από περιοχές που έχει ήδη καθαιρεθεί το επίχρισμα επιλέγονται αντιπροσωπευτικά λιθοσώματα κατάλληλων διαστάσεων με στόχο να μπορεί να δημιουργηθεί από αυτά κυβικό δοκίμιο ακμής 100mm, στην περίπτωση που δεν εμφανίζονται ικανών διαστάσεων λιθοσώματα δύναται να ληφθούν μικρότερα και να χρησιμοποιηθεί διορθωτικός συντελεστής. Οι θέσεις λήψης λιθοσωμάτων προσφέρονται για τη λήψη τεμαχίων κονιάματος καθώς μετά την αφαίρεση των λιθοσωμάτων μένουν εκτεθειμένα μεγάλα τεμάχια κονιάματος που αποκολλούνται εύκολα από τα εναπομένοντα λιθοσώματα.

Τα λιθοσώματα λαμβάνονται από θέσεις που έχουν τη μικρότερη δυνατή επιρροή στη στατική λειτουργία του φορέα όμως το μέσο επιμήκων τοίχων, πρέπει να αποφεύγεται η λήψη από σημεία συγκέντρωσης τάσεων όπως γωνίες, τόξα και σταυροθόλια και όπου αλλού κρίνει ο μηχανικός ότι υπάρχει κινδυνεύει η ασφάλεια της κατασκευής ή των εργαζομένων. Μετά τη λήψη των δειγμάτων λαμβάνεται το απαραίτητο φωτογραφικό υλικό και η δομή της τοιχοποιίας εξετάζεται εκ του σύνεγγυς από τον μηχανικό που είναι υπεύθυνος για τις διερευνητικές εργασίες, έπειτα πραγματοποιείται αποκατάσταση της λιθοδομής με λιθόσωμα κατάλληλων διαστάσεων και μη συρρικνούμενο τσιμεντοκονίαμα. Τα τεμάχια λιθοσώματος

και κονιάματος μεταφέρονται σε πιστοποιημένο εργαστήριο υλικών όπου διαμορφώνονται σε δοκίμια και υποβάλλονται σε δομική μονοαξονικής θλίψης. Βάσει των αποτελεσμάτων και των υπόλοιπων χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας υπολογίζεται από τον μηχανικό που είναι υπεύθυνος για τις διερευνητικές εργασίες η θλιπτική αντοχή και τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά της.



(α)



(β)

Εικόνα 2-5: Λιθοσώματα (α) Τεμάχια λιθοσωμάτων μετά τη λήψη (β) Διαμορφωμένο δοκίμιο λιθοσώματος στη πριν τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.



(α)

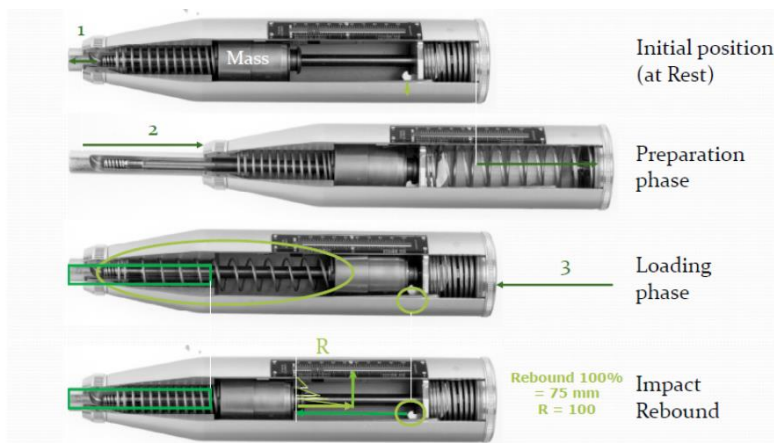


(β)

Εικόνα 2-6: Κονίαμα (α) Τεμάχια κονιάματος μετά τη λήψη (β) Διαμορφωμένο δοκίμιο κονιάματος στη πριν τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.

2.4 ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η κρουσιμέτρηση αποτελεί την πιο διαδεδομένη και απλή μέθοδο αποτίμησης της αντοχής των υφιστάμενων λιθοσωμάτων. Είναι μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έμμεση εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του υλικού μέσω της καταγραφής της επιφανειακής του σκληρότητας, και τον έλεγχο της ομοιομορφίας των λιθοσωμάτων. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που απαντώνται στην κατασκευή λιθοσώματα διαφορετικής προέλευσης.



Εικόνα 2-7: Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κρουσιμέτρου.

Η μέθοδος του κρουσιμέτρου βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας των δομικών στοιχείων που εξετάζονται. Σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι με την εν λόγω μέθοδο μπορεί να εκτιμηθεί η επιφανειακή σκληρότητα μόνο της εξωτερικής επιφάνειας των κατασκευών σε βάθος έως περίπου 30mm. Μια μεταλλική μάζα προσκρούει στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού. Το ύψος αναπήδησης αυτής της μάζας εξαρτάται από την ελαστικότητα του υλικού και τελικά από την αντοχή του.

Για την εκτέλεση της δοκιμής κρουσιμέτρου θα πρέπει να έχει προηγηθεί η σωστή προετοιμασία της επιφάνειας. Θα πρέπει να έχουν αφαιρεθεί όλα τα επιχρίσματα και να έχει λειανθεί κατάλληλα η προς εξέταση επιφάνεια. Δεν θα πρέπει να υπάρχουν κοίλα ή προεξοχές. Σε κάθε θέση ελέγχου θα πρέπει να εκτελούνται τουλάχιστον 10 κρουσιμετρήσεις. Ως τελική τιμή της μέτρησης στην υπόψη θέση λαμβάνεται ο μέσος όρος των κρουσιμετρήσεων αυτής της θέσης. Για να μπορεί να θεωρηθεί η δοκιμή επιτυχημένη θα πρέπει οι μετρήσεις μεταξύ τους να μην έχουν σημαντικές διαφορές. Έτσι αν οι μετρήσεις διαφέρουν μεταξύ τους κατά περισσότερο από 5 μονάδες η δοκιμή θα πρέπει να θεωρηθεί ανακριβής. Η θέση ελέγχου μπορεί να οριστεί σαν μια επιφάνεια της τάξης των 15cm x 15cm. Τα αποτελέσματα των κρουσιμετρήσεων χρήζουν στατιστικής επεξεργασίας και βαθμονόμησης με βάση αποτελεσμάτων δοκιμών άμεσης θλίψης λιθοσωμάτων επί των οποίων προηγήθηκε κρουσιμέτρηση. Χαρακτηριστική φωτογραφία εκτέλεσης της δοκιμής είναι η παρακάτω (Εικόνα 2-8).

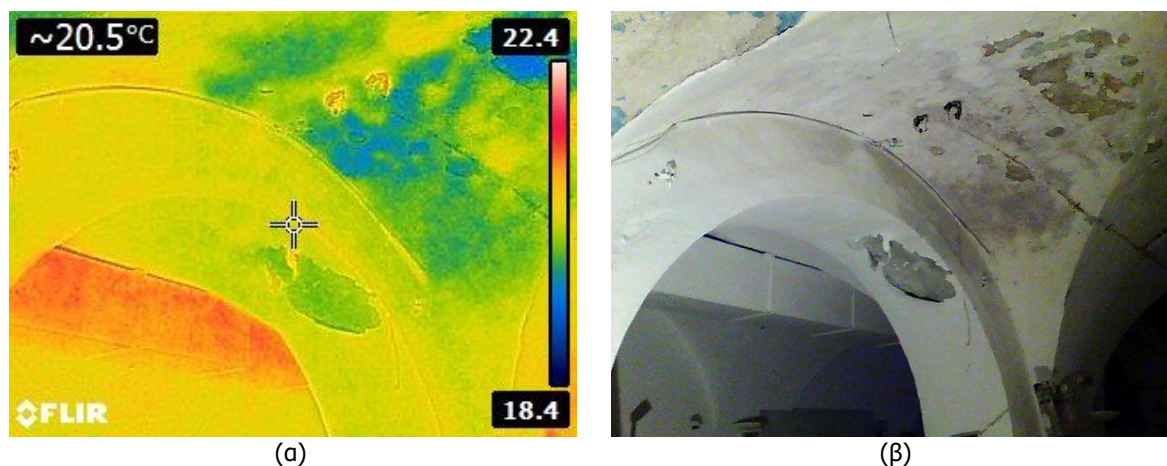


Εικόνα 2-8: Εφαρμογή μεθόδου κρουσιμετρήσεων.

2.5 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Στα παλαιά κτήρια από λιθοδομή συχνά παρουσιάζονται περιοχές με υγρασία καθώς πολλές φορές αναπτύσσονται μικρο-ρηγματώσεις τόσο στο επίχρισμα όσο και στη μόνωση των δωματίων. Για τον εντοπισμό τέτοιων περιοχών γίνεται έλεγχος με χρήση θερμοκάμερας η οποία εντοπίζει περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμοκρασία το οποίο αποτελεί ένδειξη ύπαρξης υγρασίας ή και εισροής ύδατος.

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα, τα οποία έχουν θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν, δηλαδή μεγαλύτερη από -273°C . Η θερμογραφία υπέρυθρου ή υπέρυθρη θερμογραφία, InfraRed (IR) thermography, είναι η μέθοδος που ανιχνεύει τη θερμότητα η οποία εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τη μετατρέπει σε θερμοκρασία και απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας ως «θερμογράφημα». Ο έλεγχος υλικών με θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό εξαρτημάτων που λειτουργούν σε θερμοκρασίες υψηλότερες άλλων εξαρτημάτων, για την ανίχνευση βλάβης σε υλικά ή για τον εντοπισμό ενεργειακών απωλειών σε κτίρια, γραμμές κρουγενικών υγρών ή σωληνώσεων ατμού. Συχνά, η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με άλλες μη καταστροφικές μεθόδους για τον πληρέστερο έλεγχο των υλικών και κατασκευών [6]



Εικόνα 2-9: (α) Θερμοφωτογραφία (β) Φωτογραφία στη θέση λήψης της θερμοφωτογραφίας.

2.6 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ - ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια των διερευνητικών εργασιών είναι απαραίτητη η διεξαγωγή οπτικού ελέγχου από πεπειραμένο πολιτικό μηχανικό καθώς αποτελεί πρωταρχική ένδειξη της υφιστάμενης κατάστασης του φέροντος οργανισμού. Κατά τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται, μετριέται το εύρος τους και αποτυπώνονται σχηματικά οι ρηγματώσεις του φέροντος οργανισμού. Επίσης αποτυπώνονται περιοχές με υγρασία καθώς και περιοχές αποκολλημένου επιχρίσματος. Αναλόγως με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε βλάβης γίνεται εκτίμηση των αιτιών που την προκάλεσαν. Ο οπτικός έλεγχος διεξάγεται από πεπειραμένο πολιτικό μηχανικό και αποτελεί πρωταρχική ένδειξη της υφιστάμενης κατάστασης του φέροντος οργανισμού.

2.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Τα ευρήματα όλων των παραπάνω εργασιών συγκεντρώνονται και αξιολογούνται σε μία ενιαία έκθεση η οποία συνοδεύει το κτήριο και αποτελεί σημείο αναφοράς σε οποιοσδήποτε μελλοντικές εργασίες ή μετατροπές. Η έκθεση διερευνητικών εργασιών αναφέρει τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ), τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τις επιμέρους αντοχές τις τοιχοποιίας σε μέσες και χαρακτηριστικές τιμές. Επίσης περιλαμβάνει εκτενές φωτογραφικό υλικό, αναφορά σε όλες τις μεθόδους και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.

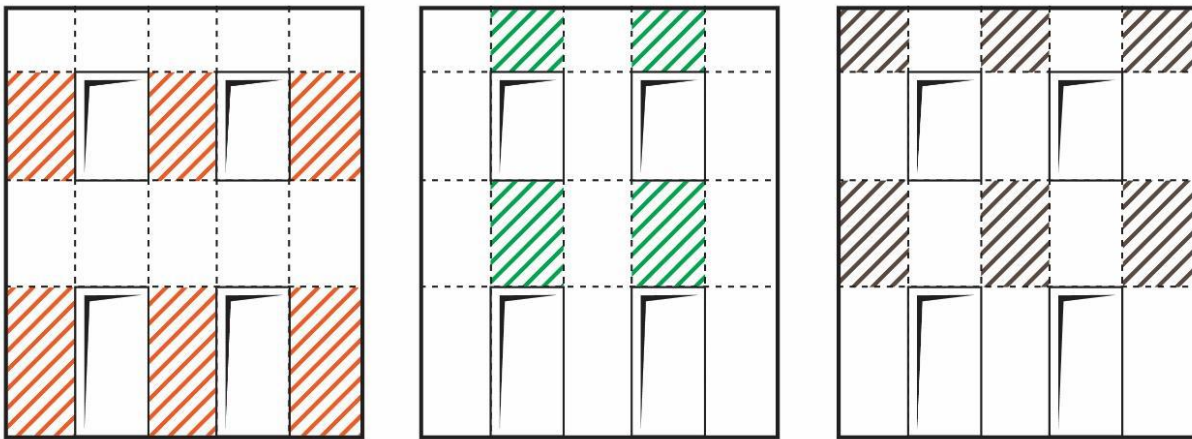
3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Αφού ολοκληρωθούν οι διερευνητικές εργασίες παραδίδονται συγκεντρωτικά στο μελετητή μηχανικό ώστε να προχωρήσει στο στατικό επανέλεγχο του φέροντος οργανισμού. Για το σκοπό αυτό μορφώνεται κατάλληλο προσομοίωμα του φέροντος οργανισμού σε πιστοποιημένο λογισμικό στατικών αναλύσεων, επιβάλλονται τα προβλεπόμενα φορτία και πραγματοποιούνται κανονιστικοί έλεγχοι με σκοπό να αναδειχθούν τυχόν ανεπάρκειες του φέροντος οργανισμού. Εφόσον υπάρχουν ανεπάρκειες, σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται οι ενισχύσεις/ αποκαταστάσεις και ο φορέας επιλύεται ξανά ώστε να πιστοποιηθεί η επάρκεια του ενισχυμένου, πλέον, φορέα.

Για την προσομοίωση των κατασκευών από λιθοδομή έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι στο πέρασμα των ετών, οι προτεινόμενες από τον ΚΑΔΕΤ είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, των μακροστοιχείων, του ισοδύναμου πλαισίου και του συστήματος θλιπτήρων-ελκυστήρων. Αναλυτικά οι μέθοδοι αποτίμησης και οι στόχοι τους τους περιγράφονται στον ΚΑΔΕΤ. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί περιγραφή των δύο πιο διαδεδομένων μεθόδων αποτίμησης κτηρίων από λιθοδομή, η μέθοδος ισοδύναμου πλαισίου και η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων.

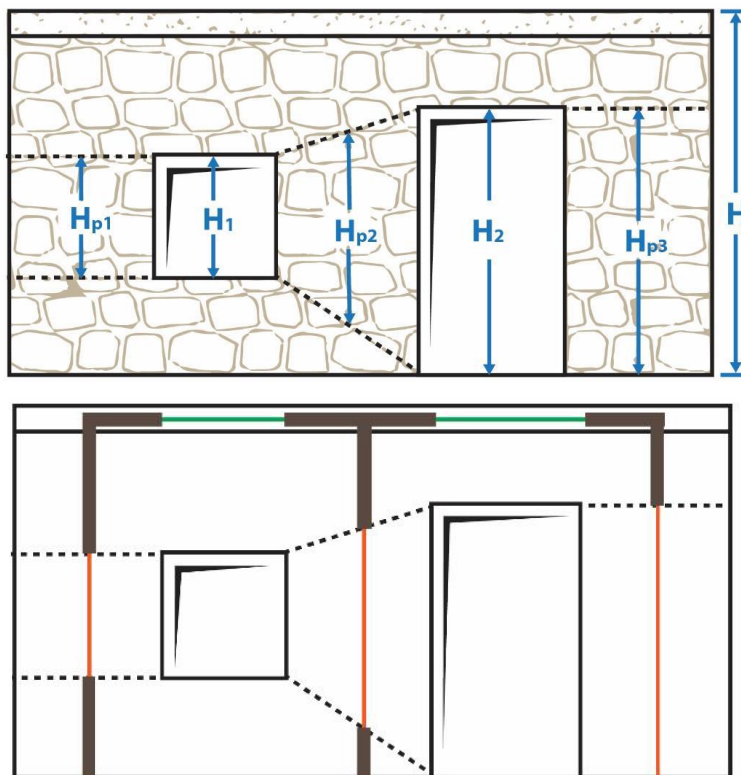
3.1 Μέθοδος ισοδυνάμου πλαισίου (ΜΙΠ)

Στη μέθοδο γίνεται η προσομοίωση της κατασκευής με γραμμικά μέλη υποστρωμάτων και υψίκορμες δοκούς σχηματίζοντας ισοδύναμα πλαίσια στις κύριες διευθύνσεις του σεισμού. Γίνεται η θεώρηση πρισματικών μελών με παραδοχή καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων. Οι κόμβοι πεσσών και υπέρθυρων προσομοιώνονται με άκαμπτα μέλη [7]. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητα του προσομοιώματος που οδηγεί σε χαμηλό υπολογιστικό κόστος καθώς πρόκειται για γραμμικά μέλη που ενώνονται με κόμβους 6 βαθμών ελευθερίας. Όπως είναι επόμενο με τη εν λόγω μέθοδο δεν υπάρχει απαίτηση αυξημένης υπολογιστικής ισχύος και ο χρόνος ανάλυσης του φέροντος οργανισμού είναι μειωμένος. Στην Εικόνα 3-1 παρουσιάζονται τα μέλη που απαρτίζουν το φέροντα οργανισμό, με πορτοκαλί διαγράμμιση φαίνονται οι πεσσοί, με πράσινη τα υπέρθυρα και με μαύρο οι άκαμπτοι μεταξύ τους κόμβοι.

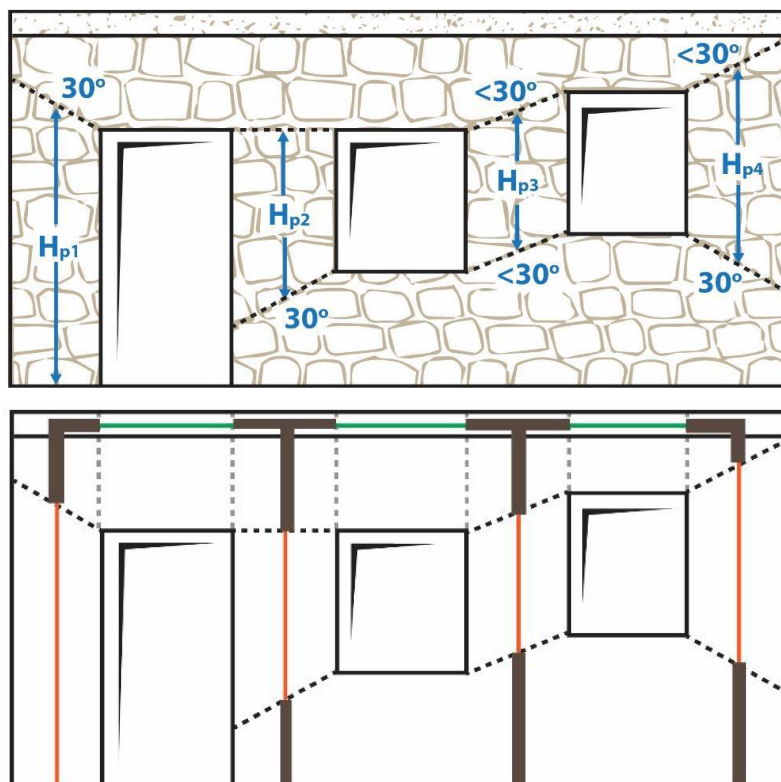


Εικόνα 3-1: Μέλη φορέα στη ΜΠΠ: (α) Πεσσοί (β) Υπέρθυρα (γ) Άκαμπτοι κόμβοι
(Εικόνες από το εγχειρίδιο του λογισμικού ΡΑΦ)

Για την ορθή προσομοίωση του κτηρίου είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του παραμορφώσιμου ύψους των πεσσών, το παραμορφώσιμο ύψος του πεσσού εξαρτάται από τα ανοίγματα με τα οποία γειτνιάζει. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι υπολογισμού του παραμορφώσιμου ύψους του πεσσού, ύψος ορίζεται όπως παρουσιάζεται παρακάτω [8].

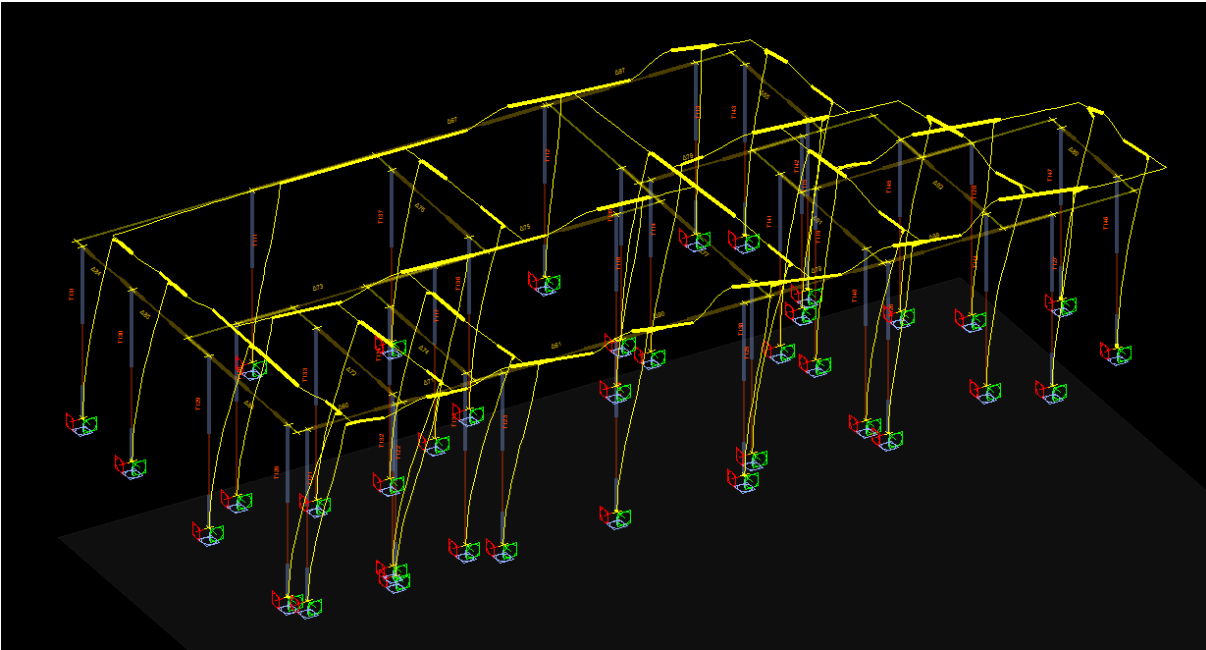


Εικόνα 3-2: Μέθοδος 1, παραμορφώσιμο ύψος όσο το ύψος του ανοίγματος ή το μέσο ύψος διαδοχικών ανοιγμάτων: (άνω) 2d σχέδιο τοίχου (κάτω) Ισοδύναμο μαθηματικό προσομοίωμα
(Εικόνες από το εγχειρίδιο του λογισμικού ΡΑΦ)



Εικόνα 3-3: Μέθοδος των 30°: (άνω) 2d σχέδιο τοίχου (κάτω) Ισοδύναμο μαθηματικό προσομοίωμα (Εικόνες από το εγχειρίδιο του λογισμικού ΡΑΦ)

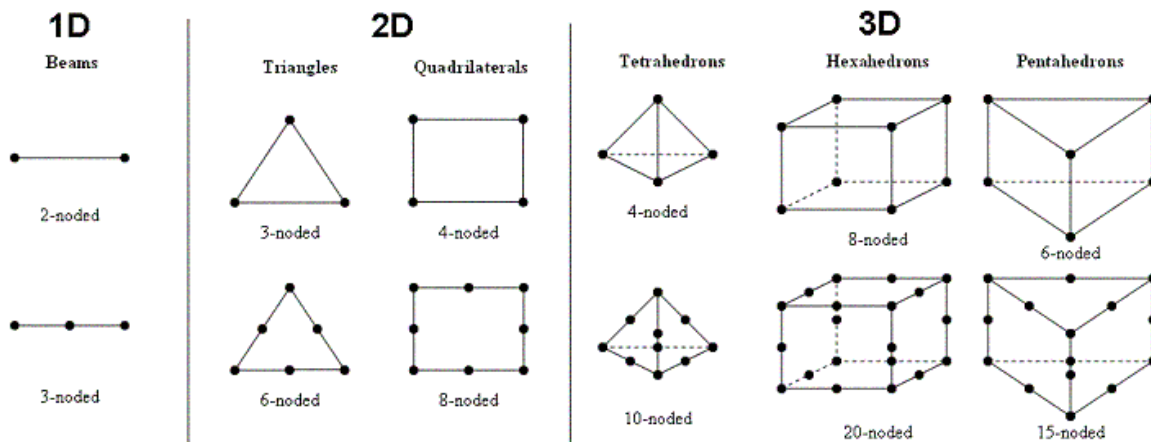
Αφού οριστεί ορθά ο φέρων οργανισμός, πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι επάρκειας των πεσσών και των υπέρθυρων είτε σε όρους δυνάμεων είτε σε όρους παραμορφώσεων όπως αυτοί ορίζονται από τον ΚΑΔΕΤ. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί θεώρηση συγκέντρωσης μαζών στις στάθμες των ορόφων που αποκλίνει σημαντικά από την πραγματικότητα. Στα κτήρια από λιθοδομή το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας προέρχεται από τους τοίχους επομένως η μάζα κατανέμεται καθ' ύψος της κατασκευής. Τέλος, καθίσταται προβληματική η προσομοίωση θολωτών τμημάτων, αψίδων και τρούλων.



Εικόνα 3-4: Παράδειγμα μαθηματικού μοντέλου ισόγειου φορέα από λιθοδομή προσομοιωμένου με τη ΜΙΠ

3.2 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method)

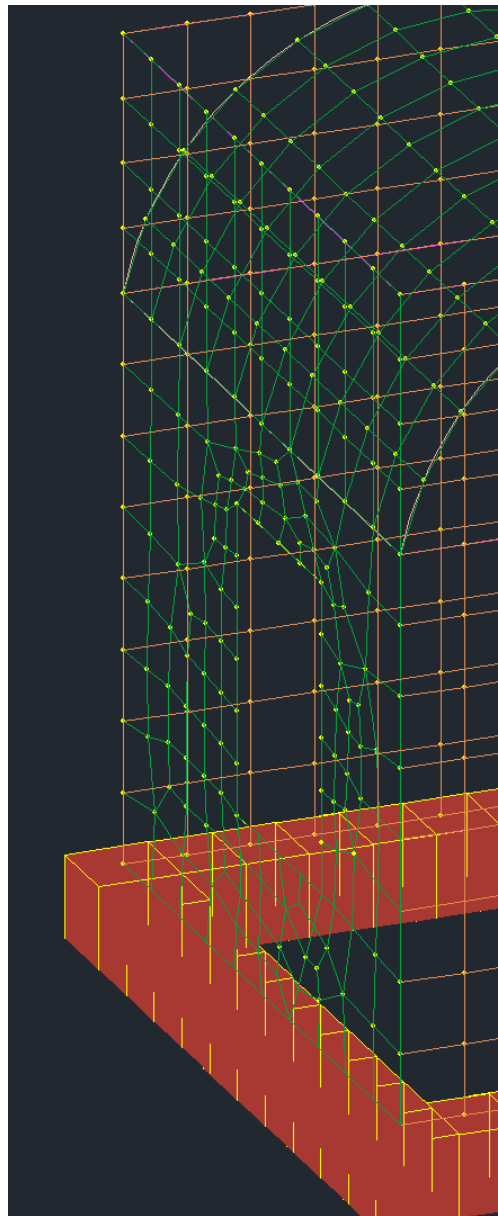
Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί την πλέον αναλυτική μέθοδο αποτίμησης των κτηρίων από λιθοδομή. Η προσομοίωση περιλαμβάνει την συσχέτιση κάθε μέλους (δοκού, τοίχου, θόλου) με αντίστοιχο είδος πεπερασμένου στοιχείου σε ένα ενιαίο δίκτυο. Αρχικά δημιουργείται το μαθηματικό προσομοίωμα με βάση τη γεωμετρία του φέροντος οργανισμού χρησιμοποιώντας γραμμικά, επιφανειακά και τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία (Εικόνα 3-5). Εν συνεχεία βάσει των μεθόδων αριθμητικής ανάλυσης επιλύεται ο φορέας και εξάγονται τα αποτελέσματα σε όρους δύναμης-παραμόρφωσης για τα γραμμικά και τάσης-παραμόρφωσης για τα επιφανειακά και τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία [9].



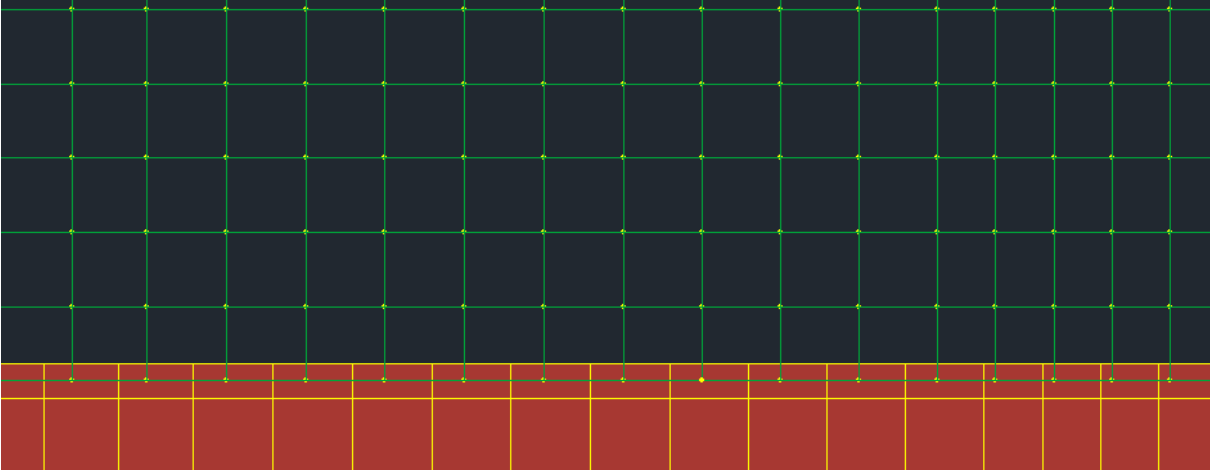
Εικόνα 3-5: Παράδειγμα μαθηματικού μοντέλου ισόγειου φορέα από λιθοδομή προσομοιωμένου με τη ΜΙΠ

Τα γραμμικά (1D) πεπερασμένα στοιχεία είναι μέλη ράβδου με 3 βαθμούς ελευθερίας και δύνανται να παραλάβουν αξονική, διατμητική και καμπτική φόρτιση. Τα επιφανειακά (2D) πεπερασμένα είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται περισσότερο καθώς αποτελούν τη βέλτιστη λύση μεταξύ ακρίβειας αποτελεσμάτων και υπολογιστικής απαίτησης. Τα τρισδιάστατα επιφανειακά στοιχεία χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει η απαίτηση μέγιστης δυνατής ακρίβειας και χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις έργων.

Ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια της μεθόδου είναι η διακριτοποίηση του δικτύου καθώς όσο πυκνότερη είναι η διακριτοποίηση τόσο ακριβέστερα τα αποτελέσματα, κάτι τέτοιο έρχεται με μεγάλο υπολογιστικό κόστος. Πρέπει επομένως να βρίσκεται μια ισορροπία ανάμεσα στο υπολογιστικό κόστος και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, έτσι συνηθίζεται η χρήση αραιής διακριτοποίησης σε περιοχές που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον και πυκνότερης σε γωνίες, ανοίγματα κλπ. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται παραδείγματα πύκνωσης και αραιώσης της διακριτοποίησης [10].



Εικόνα 3-6: Πύκνωση διακριτοποίησης περίξ ανοίγματος σε τοίχο.



Εικόνα 3-7: Αραιή διακριτοποίηση στο μέσο επιμήκους τοίχου.

Τα φορτία που επιβάλλονται στα πεπερασμένα στοιχεία είναι αντίστοιχα με εκείνα των γραμμικών φορέων, δηλαδή μόνιμα, κινητά θερμοκρασιακά κ.α.. Υπάρχει η επιλογή αναλόγως με τη φύση κάθε φορτίου να επιβληθεί στην επιφάνεια του ή συγκεντρωμένο στους κόμβους, είναι φανερό ότι τα 1D πεπερασμένα δε διαφέρουν από τα μέλη των γραμμικών φορέων ούτε ως προς τα φορτία που τους επιβάλλονται.

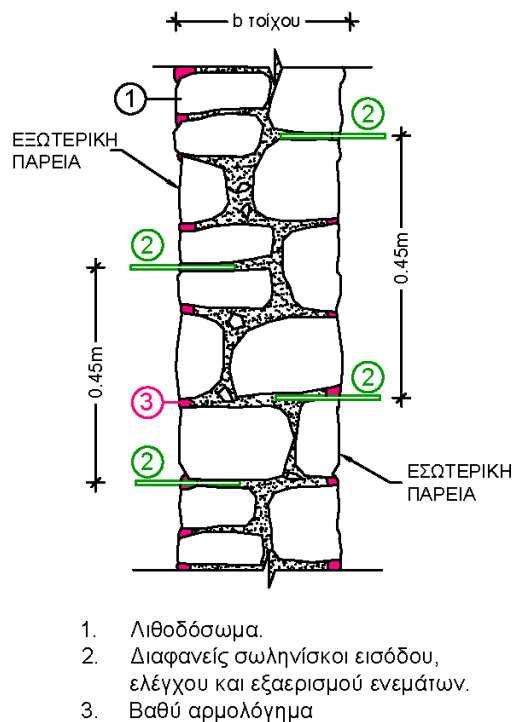
4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Μετά την ολοκλήρωση της στατικής αποτίμησης του φέροντος οργανισμού εντοπίζονται οι περιοχές εκείνες που παρουσιάζουν ανεπάρκειες. Αναλόγως της φύσης και της έκτασης των ανεπαρειών ο μελετητής καλείται να επιλέξει τη βέλτιστη οικονομοτεχνική λύση που θα εφαρμοστεί για την ενίσχυση των στοιχείων και την άρση ανεπαρειών. Ο μελετητής πρόκειται να κρίνει ποιος από τους αμέτρητους συνδυασμούς ενισχύσεων είναι ο καταλληλότερος με γνώμονα την ασφάλεια, την οικονομία, την εφαρμοσιμότητα, τα διαθέσιμα μέσα κάθε περιοχής και -στο μέτρο του δυνατού- την ομοιομορφία με σκοπό τη ελαχιστοποίηση των κατασκευαστικών σφαλμάτων. Αναλυτικά οι μέθοδοι ενίσχυσης και η διαστασιολόγησή τους περιγράφονται στον ΚΑΔΕΤ. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί περιγραφή των μεθόδων ενίσχυσης που είναι συμβατές με τα κτήρια λιθοδομής στη Θήρα και επιπλέον το κόστος εφαρμογής τους βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Αντίστοιχα με τις διερευνητικές εργασίες έτσι και οι μέθοδοι ενίσχυσης που περιγράφονται εφαρμόζονται ελεύθερα σε κτήρια που δεν είναι χαρακτηρισμένα ως διατηρητέα ή μνημεία, για τα κτήρια που είναι χαρακτηρισμένα ως διατηρητέα ή μνημεία είναι απαραίτητη η έγκριση των μεθόδων από την αρμόδια αρχή.

4.1 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ & ΑΡΜΟΛΟΓΗΜΑ

Για τη γενική αποκατάσταση της λιθοδομής, αλλά και για την τοπική αποκατάσταση και ενίσχυση σε θέσεις με πιθανές βλάβες, δύναται να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή ενεμάτων σε επιλεγμένες ή σε όλες τις λιθοδομές του κτηρίου (Εικόνα 4-1). Για την αντικατάσταση του κονιάματος που βρίσκεται στις παρειές των λιθοδομών, πριν την εφαρμογή των ενεμάτων πραγματοποιείται βαθύ αρμολόγημα εσωτερικά και εξωτερικά του τοίχου. Το βαθύ αρμολόγημα αντικαθιστά μέρος του υφιστάμενου γηρασμένου κονιάματος με νέο υψηλής αντοχής, βελτιώνοντας έτσι τα μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής [11]. Επιπλέον θα χρησιμοποιείται ως ένα ισχυρό "φράγμα" που εμποδίζει το ένεμα από το να διαρρέει ανεξέλεγκτα κατά την εφαρμογή της ομογενοποίησης. Το βαθύ αρμολόγημα θα υλοποιείται σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στην ΕΠ.ΕΤΕΠ 14-02-04-00.

Στη Θήρα η διεξαγωγή ενέσεων γίνεται με ένεμα αποτελούμενο από θηραϊκή γη και υδράσβεστο που είναι συμβατά με το κονίαμα των κατασκευών. Πριν την εφαρμογή των ενεμάτων τόσο στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική πλευρά των λιθοδομών σφραγίζονται κατάλληλα όσες ρωγμές εντοπιστούν. Η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά στην ΕΤΕΠ 14-02-04-00. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη φάση των διερευνητικών εργασιών για την εκτίμηση της εφαρμοσιμότητας των ενεμάτων καθώς εξαιτίας του μικρού πορώδους και της υψηλής συνοχής των κονιαμάτων της Θήρας αρκετές φορές καθίσταται αδύνατη η εισπίεση ενεμάτων.

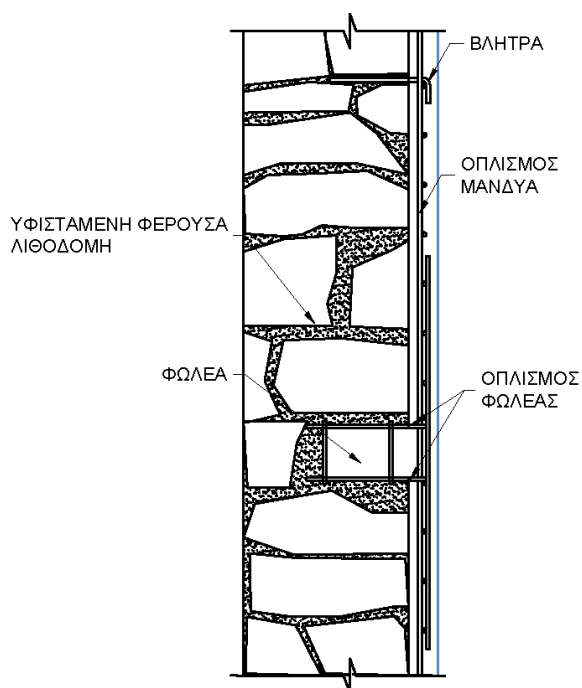


Εικόνα 4-1: Σκαρίφημα εφαρμογής ενεμάτων.

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στα πλαίσια της ενίσχυσης των λιθοδομών δύναται να εφαρμοστεί μανδύας εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε τμήματα των λιθοδομών που παρουσιάζουν ανεπάρκεια. Οι μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος αγκυρώνονται στη λιθοδομή με τη διάνοιξη κατάλληλων φωλεών και την τοποθέτηση κατάλληλων χαλύβδινων κλωβών καθώς και βλήτρων. Η θεμελίωση των μανδύων πραγματοποιείται με τη δημιουργία επιμήκους θεμελίου (χαλινού) από οπλισμένο σκυρόδεμα στη στάθμη θεμελίωσης των ενισχυόμενων τοίχων. Η επιφάνεια της λιθοδομής θα είναι απαλλαγμένη από υπολείμματα επιχρισμάτων, ξένων σωμάτων και σαθρών κονιαμάτων. Στις επιφάνειες που ενισχύονται με μανδύα σκυροδέματος δεν είναι απαραίτητο να προηγηθεί αρμολόγημα, αρκεί η διεύρυνση των αρμών με την αφαίρεση του επιφανειακού κονιάματος ώστε να εισχωρήσει σε αυτούς το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αναλυτικά η μέθοδος περιγράφεται στην ΕΤΕΠ 14-02-03-00.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι αυξάνουν τη δυσκαμψία των στοιχείων στα οποία εφαρμόζονται με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται σε αυτά αυξημένα σεισμικά φορτία ανακουφίζοντας ταυτόχρονα τα υπόλοιπα μέλη του φορέα, έτσι δίνεται στο μελετητή η δυνατότητα να κατευθύνει τη σεισμική ένταση στα επιλεγμένα στοιχεία αποφεύγοντας την εφαρμογή γενικευμένων ενισχύσεων. Επίσης, με την επιλογή πάχους, ποιότητας και ποσοστό οπλισμού του μανδύα επιτυγχάνεται η επιθυμητή αντίσταση υπό οποιαδήποτε ένταση καμπτική, διατμητική ή αξονική. Ακόμη μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα στοιχεία του φορέα γενικευμένα ή τμηματικά. Τέλος, πρόκειται για μία απλή μέθοδο τόσο στην εφαρμογή όσο και στην επίβλεψή της. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί εκτεταμένη καθαίρεση των αρχιτεκτονικών στοιχείων, εκσκαφές για τη δημιουργία θεμελίου, μείωση της ωφέλιμης επιφάνειας του κτηρίου και αύξηση της μάζας της κατασκευής που οδηγεί σε αυξημένη ένταση.

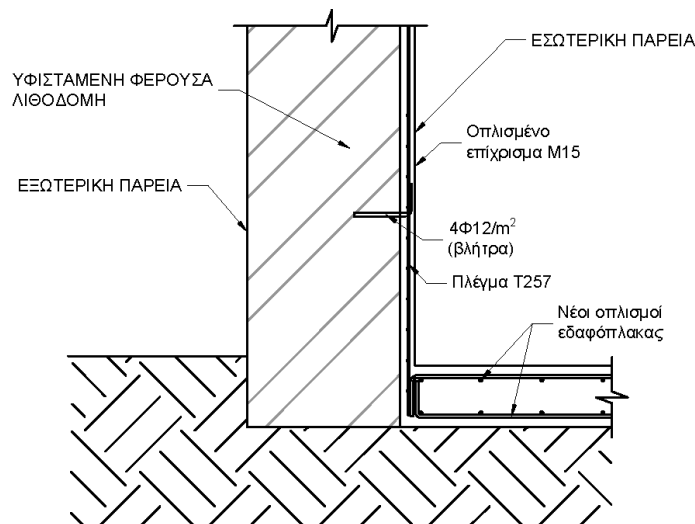


Εικόνα 4-2: Λεπτομέρεια μονόπλευρης εφαρμογής μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΟΣ

Η εφαρμογή οπλισμένου επιχρίσματος για την ενίσχυση στοιχείων από λιθοδομή είναι μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος η οποία παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αντίστοιχη με αυτή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με τη διαφορά ότι στην περίπτωση του οπλισμένου επιχρίσματος χρησιμοποιούνται συνήθως δομικά πλέγματα αντί για ράβδους οπλισμού και δεν κατασκευάζονται διατμητικές φωλέες. Επίσης δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις θεμελίωσης επομένως μπορούν να θεμελιωθούν εντός της εδαφόπλακας εάν υπάρχει ή αν πρόκειται να κατασκευαστεί.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η αύξηση της αντοχής της τοιχοποιίας με ελάχιστη αύξηση στο πάχος της, επομένως δε μεταβάλλεται η αρχική λειτουργία του φορέα και υπάρχει μόνο μικρή αύξηση στο ίδιο βάρος της κατασκευής. Είναι ίσως η οικονομικότερη από της μεθόδους ενίσχυσης αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η εργασίες επιχρισμάτων απαιτούνται σχεδόν από όλες τις υπόλοιπες μεθόδους ενίσχυσης. Είναι εύκολη στην εφαρμογή της καθώς δεν απαιτεί εξειδικευμένο συνεργείο εφόσον δοθούν κατάλληλες οδηγίες από τον επιβλέποντα μηχανικό. Δεν απαιτεί εξειδικευμένα μηχανήματα και εφόσον επιλεγεί εμπορικό έτοιμο κονίαμα με πιστοποιημένη αντοχή εξασφαλίζεται η εφαρμογή των απαιτήσεων της μελέτης. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δε μπορεί να άρει μεγάλες ανεπάρκειες καθώς εκ των πραγμάτων τόσο η αντοχή του επιχρίσματος όσο και το πάχος εφαρμογής είναι περιορισμένο. Ένα δεύτερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα σημαντικής αύξησης των αδρανειακών μεγεθών των ενισχυόμενων τοίχων περιορίζεται το περιθώριο εφαρμογής στοχευμένων ενισχύσεων όπου θα συγκεντρωθεί η σεισμική ένταση οπότε οδηγούμαστε σε γενικευμένη ενίσχυση του φορέα.



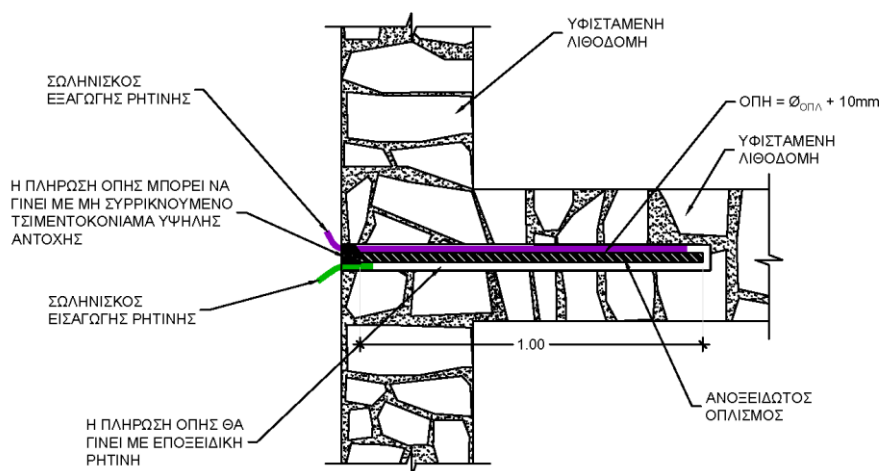
Εικόνα 4-3: Λεπτομέρεια μονόπλευρης εφαρμογής οπλισμένου επιχρίσματος.

4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Τόσο στους θόλους όσο και στα τόξα η προσθήκη μεταλλικών ελκυστήρων στη γενέτειρά τους αποτελεί μία οικονομική και εύκολη μορφή ενίσχυσης τους. Η προσθήκη ελκυστήρα σε τόξο ή θόλο από άοπλη τοιχοποιία μειώνει σημαντικά τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται, επίσης παρέχει πλευρική εξασφάλιση στους τοίχους επί των οποίων στηρίζονται. Η τεχνική εφαρμόζεται είτε με διάτρηση και εισαγωγή της μεταλλικής διατομής εντός της λιθοδομής με χρήση εποξειδικής ρητίνης, είτε με τοπική αφαίρεση λιθοσωμάτων, τοποθέτηση της μεταλλικής διατομής και πάκτωσής της με σκυρόδεμα. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου εντάσσεται το χαμηλό της κόστος, η αναστρεψιμότητα και ότι απαιτεί μόνο τοπική καθαίρεση επιχρισμάτων. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ότι πολλές φορές δεν υπάρχει το κατάλληλο ελεύθερο ύψος κάτω από τη θέση που πρόκειται να τοποθετηθεί ο ελκυστήρας με αποτέλεσμα η μέθοδος να μη μπορεί να εφαρμοστεί.

4.5 ΣΥΡΡΑΦΗ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΟΙΧΩΝ

Όπου απαιτείται βάσει των στατικών αναλύσεων πραγματοποιείται η συρραφή των συμβαλλόμενων τοίχων του κτηρίου για την ένωση τους και την αποφυγή της αποκόλλησής τους κατά τη διάρκεια μελλοντικού σεισμικού γεγονότος. Για τη συρραφή των συμβαλλόμενων τοίχων προτείνεται η χρήση ανοξειδωτων χαλύβδινων ράβδων όπου η εφαρμογή τους και η μεθοδολογία της συρραφής παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήμα. Τα στάδια εφαρμογής των ριζοπλισμών είναι τα ακόλουθα: Διάνοξη οπών με μικρή προς τα κάτω κλίση στις θέσεις που καθορίζονται από τη μελέτη. Η διάμετρος των οπών θα είναι τουλάχιστον 10 mm μεγαλύτερη από τη διάμετρο των οπλισμών έτσι ώστε να μπορεί να εισχωρεί η εποξειδική ρητίνη και να περιβάλει επαρκώς τους οπλισμούς. Η διάνοξη των οπών μπορεί να γίνει με τη χρήση ηλεκτρικών περιστροφικών τρυπανιών με διαμαντοκεφαλή και είσοδο ύδατος για τη ψύξη της κεφαλής και την απομάκρυνση των υλικών διάτρησης. Πριν την τοποθέτηση των οπλισμών οι οπές θα καθαρίζονται πλήρως με νερό υπό πίεση. Τοποθέτηση και προσωρινή στερέωση των ράβδων οπλισμού με κατάλληλη σφράγιση της οπής. Πλήρωση των οπών με κατάλληλη εποξειδική ρητίνη. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η συρραφή των κτηρίων με ριζοπλισμούς πρέπει να γίνει αφού ολοκληρωθούν όλες οι προβλεπόμενες ενέσεις ομογενοποίησης στη μάζα της λιθοδομής ώστε να πληρωθούν τα αρχικά κενά.



Εικόνα 4-4: Λεπτομέρεια εφαρμογής οπλισμένου επιχρίσματος.

4.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (ΙΟΠ / FRP)

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είτε πρόκειται για υφάσματα είτε για ελάσματα έχουν βρει εφαρμογή στις ενισχύσεις στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος λειτουργώντας ως εξωτερικός οπλισμός για την ενίσχυση των μελών έναντι κάμψης και διάτμησης. Όσον αφορά τη λιθοδομή εξαιτίας της ανώμαλης επιφάνειάς της χρησιμοποιούνται κυρίως υφάσματα σύνθετων υλικών από ίνες υάλου (GFRP) ή άνθρακα (CFRP). Εφαρμόζονται για την ενίσχυση επιμήκων τοίχων έναντι διάτμησης και εκτός επιπέδου κάμψης ενώ στους ορθογωνικούς πεσσούς εφαρμόζονται για την ενίσχυση έναντι διάτμησης και την παθητική περισφιγξη προσφέροντας ταυτόχρονα αύξηση της πλαστιμότητάς τους. Πριν την εφαρμογή των ΙΟΠ είναι απαραίτητο να έχουν πραγματοποιηθεί η καθαίρεση των επιχρισμάτων, ο καθαρισμός των λιθοσωμάτων από ξένα υλικά και το βαθύ αρμολόγημα των προς ενίσχυση στοιχείων. Εν συνεχεία είναι απαραίτητη η εξομάλυνση των προεξεχόντων λιθοσωμάτων και η στρογγύλευση των γωνιών ώστε να μην υπάρχει συγκέντρωση τάσεων στο ΙΟΠ. Σε περίπτωση που η ενίσχυση συνδυάζεται με εφαρμογή ενεμάτων θα πρέπει η εφαρμογή των ενεμάτων να προηγηθεί της εφαρμογής των ΙΟΠ.

Το βασικό πλεονέκτημα των ΙΟΠ είναι η προστιθέμενη πλαστιμότητα στους πεσσούς και στα υπέρθυρα καθώς και η ανθεκτικότητά τους στο χρόνο. Σε αντίθεση με τις μεθόδους που απαιτούν προσθήκη χαλύβδινου οπλισμού τα ΙΟΠ δεν προσβάλλονται από διάβρωση και την υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριόντα που υπάρχει πολλές φορές στις λιθοδομές. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος των υλικών και της εφαρμογής τους καθώς απαιτείται εξειδικευμένο συνεργείο εφαρμογής.

4.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (ΙΑΜ/TRM)

Στις ενισχύσεις κτηρίων από λιθοδομή απαιτείται συνήθως η ενίσχυση μεγάλων επιφανειών, επομένως το κόστος ενίσχυσης με εφαρμογή ΙΟΠ είναι σημαντικό. Δημιουργήθηκε έτσι η ανάγκη αναζήτησης μεθόδου με τα πλεονεκτήματα των ΙΟΠ και μειωμένο κόστος υλικών. Το αυξημένο κόστος των ΙΟΠ προέρχεται κυρίως από το κόστος της μήτρας από εποξειδική ρητίνη. Έτσι δημιουργήθηκαν τα συστήματα ινοπλέγματος σε μήτρα από λεπτόκοκκο τσιμεντοκονίαμα, καθιστώντας τα ευκολότερα στην εφαρμογή και οικονομικότερη επιλογή σε σχέση με τα ΙΟΠ. Το ινόπλεγμα αποτελείται από ίνες άνθρακα σε 2 διευθύνσεις με κάναβο 10x10mm ώστε να εξασφαλίζεται η σύνδεσή του με το τσιμεντοκονίαμα. Η

προετοιμασία για εφαρμογή των IAM είναι αντίστοιχη με εκείνη των ΙΟΠ. Τα πλεονεκτήματα των IAM είναι το χαμηλό κόστος, η ταυτόχρονη ενίσχυση σε 2 διευθύνσεις (με κατάλληλη αλληλοεπικάλυψη των φύλλων) και η ανθεκτικότητά τους στο χρόνο. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί η περιορισμένη δυνατότητα αύξησης των αντοχών βάσει του μέγιστου αριθμού στρώσεων που προβλέπονται από κάθε εμπορικό σύστημα.

5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε ο στατικός επανέλεγχος αρχοντικού κτηρίου κατοικίας που βρίσκεται στο Μεγαλοχώρι Θήρας. Το κτήριο έχει κατασκευαστεί το 1896 και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από στατικής άποψης καθώς σε αυτό υπάρχουν οι περισσότερες από τις τυπολογίες/προκλήσεις που συναντάει κανείς στα παραδοσιακά κτήρια του νησιού. Συγκεκριμένα διαθέτει υπόγειες κρύψες, ημικυλινδρικούς θόλους, σκαφωτούς θόλους και τοίχους οι οποίοι εδράζονται επί των ημικυλινδρικών θόλων του υπογείου. Αποτελεί επομένως ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα για τη μεθοδολογία που ακολουθείται στην αποτίμηση της στατικής επάρκειας ενός παραδοσιακού κτηρίου στη Θήρα. Για την παρούσα εργασία μου παραδόθηκαν κατόψεις τοπογραφικής αποτύπωσης, κατόπιν πραγματοποιήσα αυτοψία στο κτήριο για τη λήψη φωτογραφικού υλικού αλλά και του οπτικού ελέγχου του κτηρίου.



Εικόνα 5-1: Όψη ισογείου υπό μελέτη κτηρίου.

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

Το υπό μελέτη κτήριο ανήκει στην κατηγορία αρχοντικό και βρίσκεται στο Μεγαλοχώρι Θήρας (Εικόνα 5-2). Πρόκειται για ένα κτήριο που διαθέτει από Υπόγειο επιφάνειας 200m² και Ισόγειο 165m². Το Υπόγειο αποτελείται από 6 ξεχωριστά δωμάτια τα οποία έχουν χρήση αποθηκευτικού χώρου το μεγαλύτερο εκ των οποίων χρησιμοποιούνταν για την αποθήκευση βαρελιών κρασιού. Στο ισόγειο υπάρχουν 9 συνολικά δωμάτια: 4 υπνοδωμάτια, 2 Χωλλ, κουζίνα, λουτρό, τραπεζαρία και καθιστικό. Το μεγαλύτερο τμήμα του Υπογείου έχει χρήση αποθήκης αποθήκευσης βαρελιών οίνου ενώ υπάρχει και ένας μικρός ξενώνας με καθιστικό και υπνοδωμάτιο. Τέλος, στο υπόγειο υπάρχει στέρνα για τη συλλογή των όμβριων υδάτων. Όπως παρουσιάζεται στο οικόσημο (Εικόνα 5-3) η κατασκευή του κτηρίου ολοκληρώθηκε το 1896.



Εικόνα 5-2: Γεωγραφικός εντοπισμός κτηρίου.



Εικόνα 5-3: Οικόσημο κτηρίου.

Το υπόγειο περιβάλλεται από έδαφος στις τρεις από τις τέσσερις πλευρές του, κρίνοντας από τη γύρω περιοχή (Εικόνα 5-4) εικάζεται ότι η εκσκαφή για την κατασκευή του υπογείου είχε κατακόρυφες παρειές και δε διατάραξε το περιβάλλον έδαφος. Μόνο τέσσερις από τους τοίχους του υπογείου έχουν συνέχεια προς το ισόγειο, η πλειονότητα των τοίχων του ισογείου είτε εδράζεται επί των υποκείμενων θόλων είτε εδράζεται επί εδάφους. Το σύνολο του φέροντος οργανισμού είναι κατασκευασμένο από αργολιθοδομή, το στατικό σύστημα στο υπόγειο απαρτίζεται από κατακόρυφους τοίχους και τόξα επί των οποίων εδράζονται ημικυλινδρικοί θόλοι και σύστημα θόλου με οριζόντιο τμήμα στο ισόγειο, ενώ τα υπέρθυρα δημιουργούνται με κατασκευή τόξου. Το καθαρό πάχος των τοίχων του υπογείου ποικίλει με το ελάχιστο να είναι 50cm και το μέγιστο 80cm, βάσει της γεωμετρικής αποτύπωσης το πάχος των θόλων εκτιμάται στα 25~30cm. Αντίστοιχα το καθαρό πάχος των τοίχων του ισογείου είναι μεταξύ 40cm και 50cm ενώ το πάχος των θόλων είναι επίσης 25~30cm, σημειώνεται ότι έχει γίνει η παραδοχή ότι το πάχος του επιχρίσματος είναι 4cm.



Εικόνα 5-4: Κατακόρυφες εδαφικές αποθέσεις σε γειτονικό οικόπεδο.

5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΗΣ

Καθώς δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθούν ημι-καταστροφικές ή καταστροφικές μέθοδοι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για το υπό μελέτη κτήριο, για λόγους παραδείγματος θα χρησιμοποιηθούν αποτελέσματα δοκιμών που έχουν πραγματοποιηθεί σε κτήριο στα Φηρά. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα θλίψης δοκιμών κονιάματος (Πίνακας 5-1) και λιθοσωμάτων (Πίνακας 5-2).

Πίνακας 5-1: Αποτελέσματα θραύσης δοκιμών κονιάματος

Σήμανση δοκιμών	Θέση λήψης	Πλάτος x Μήκος (mm)	Φορτίο θραύσης (KN)	Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή (MPa)
K1	Στάθμη υπογείου	46.3 x 50.0	11.30	4.88
K2	Στάθμη υπογείου	37.4 x 43.9	8.20	4.99
K3	Στάθμη ισογείου	31.8 x 37.8	7.50	6.23
K4	Στάθμη ισογείου	30.5 x 33.7	6.60	6.42
			M.O.	5.63

Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα θραύσης δοκιμών λιθοσωμάτων

Σήμανση δοκιμών	Θέση λήψης	Πλάτος x Μήκος x Ύψος (mm)	Φορτίο θραύσης (KN)	Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή (MPa)
Λ1	Στάθμη υπογείου	94.0 x 98.3 x 90.0	685.0	74.13
Λ2	Στάθμη υπογείου	64.5 x 76.0 x 90.0	344.0	70.18
Λ3	Στάθμη ισογείου	73.0 x 80.2 x 90.0	512.0	87.45
Λ4	Στάθμη ισογείου	88.0 x 90.0 x 90.0	563.0	71.09
			M.O.	74.71

Με βάση τις θλιπτικές αντοχές των επιμέρους υλικών (λιθοσώματος και κονιάματος) και κάνοντας χρήση ημ εμπειρικών σχέσεων εκτιμήθηκε η αντοχή της λιθοδομής και τα ελαστικά τους χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της στατικής επάρκειας του κτηρίου. Η ημ εμπειρική σχέση που θα χρησιμοποιηθεί είναι αυτή που βιβλιογραφικά αναφέρεται ως Τάσιος, Χρονόπουλος, 1985. Με βάση αυτή τη σχέση έχουμε τα παρακάτω:

$$f_{wc} = \xi \left(\left(\frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} - \alpha \right) + \beta * f_{mc} \right) \text{ (MPa)} \quad (5-1)$$

Όπου

- α: συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της μορφής του λιθοσώματος (και του τρόπου δόμησης)
- 0 για τούβλα ή κανονικές πέτρες (λαξευτές)
 - 1.5 για πέτρες με μέτρια ακανονικότητα (ημιλαξευτές)
 - 2.5 για πέτρες με μεγάλη ακανονικότητα (αργές)
- β: συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της ποιότητας του κονιάματος (λιθοδομή ή πλινθοδομή)
- 0.5 για λιθοδομές
 - 0.1 για οπτοπλινθοδομές

ξ: συντελεστής που εκφράζει την επιρροή του πάχους των αρμών και του όγκου του κονιάματος

$$\xi = \left[1 - 0.8(\kappa - \kappa_0)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{ή} \quad \xi = \frac{1}{[1 + 3.5(\kappa - \kappa_0)]} \quad (5-2)$$

όπου $k=0.25$ όγκος κονιάματος/όγκος τοιχοποιίας

$k_0 \approx$

0.10 για ημιλαξευτές πέτρες

0.20 για λαξευτές πέτρες

0.30 για αργές πέτρες

0.25 για πλινθοδομές

0.30 για πλινθοδομές με συμπαγή τούβλα

0.20 για πλινθοδομές με διάτρητα τούβλα

Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές κονιάματος και λιθοσωμάτων, η εκτίμηση για τη λιθοδομή είναι:

Θλιπτική αντοχή λιθοδομής

Εκτίμηση δεδομένων: $\alpha=2.5$, $\beta=0.5$

$k \approx 0.25$ και $k_0 \approx 0.30$ τότε

$\xi = 1.295$ ή $\xi = 1.212$ άρα $\xi_{(M.O.)} = 1.253$

Επομένως $f_{wc} = 7.62$ MPa

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιήθηκαν καθώς είναι συντηρητικές, ενδεικτικά αναφέρεται η θλιπτική αντοχή λιθοδομής υπολογισμένη με τη σχέση του Ευρωκώδικα 6 για νέες κατασκευές

$$f_{wc} = k * (f_{bc})^{\alpha} * (f_{mc})^{\beta} = 17.19 \text{ MPa}$$

Μέτρο ελαστικότητας (αρχικό)

$E \approx a * f_{wc} = 1000 * 7.62 = 7620$ MPa, όπου ο συντελεστής $a = 1000$ (μέση αντοχή κονιάματος)

Λόγος Poisson

$$\nu = 0.5 - 0.1 * \sqrt[4]{f_{wc}} = 0.334$$

Μέτρο Διάτμησης

$G = E / ((1 + \nu) * 2) = 2855$ MPa, όπου E : μέτρο ελαστικότητας και ν : λόγος Poisson

5.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραδοχές που λήφθηκαν για το στατικό επανέλεγχο του κτηρίου.

Μόνιμα φορτία

Ίδιο βάρος λιθοδομής	26.00 kN/m ³
Ίδιο βάρος κίσηρης πλήρωσης θόλων	10.00 kN/m ³

Κινητά φορτία

Κινητό φορτίο οροφής Υπογείου	2.00 kN/m ²
Κινητό φορτίο οροφής Ισογείου (μη βατό δώμα)	1.00 kN/m ²

Σεισμικά φορτία (EC-8 - ΚΑΔΕΤ)

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2	$a = 0.24 g$
Συντελεστής σπουδαιότητας Σ2	$\gamma_i = 1.00$
Στάθμη επιτελεστικότητας Γ2 (Βλ. §5.4)	$a_g / a_{g,ref} = 0.60$
Ενιαίος συντελεστής οριζόντιας συμπεριφοράς (Βλ. §5.5)	$q^* = 2.10$
Κατηγορία εδάφους	B
Συντελεστής φασματικής ενίσχυσης	$\beta_0 = 2.50$
Χαρακτηριστικές περίοδοι	$T_B = 0.15s$ $T_C = 0.60s$

Χαρακτηριστικά φέρουσας λιθοδομής (Βλ. § 5.2)

Συντελεστές ασφαλείας

Συντελεστής ασφαλείας αντοχών λιθοδομής	$\gamma_m = 1.35$
Συντελεστής ασφαλείας μόνιμων φορτίων	$\gamma_G = 1.35$
Συντελεστής ασφαλείας κινητών φορτίων	$\gamma_Q = 1.50$

Κανονισμοί

Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας: ΚΑΔΕΤ 2022

Ευρωκώδικας Νο0 Βάσεις σχεδιασμού

Ευρωκώδικας Νο1 Δράσεις επί των κατασκευών

Ευρωκώδικας Νο6 Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία

Ευρωκώδικας Νο8 Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών

5.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ η στάθμη επιτελεστικότητας είναι επιλογή του κυρίου του έργου, με την προϋπόθεση ότι καλύπτονται οι ελάχιστες απαιτήσεις του κανονισμού. Πιο συγκεκριμένα:

Πίνακας 5-3: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού Φέροντος Οργανισμού.

$\alpha_g / \alpha_{g.ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1 ⁺	B1 ⁺	Γ1 ⁺
1.00	A1	B1	Γ1
0.75	A2 ⁺	B2 ⁺	Γ2 ⁺
0.60	A2	B2	Γ2
0.45	A3 ⁺	B3 ⁺	Γ3 ⁺
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4 ⁺	B4 ⁺	Γ4 ⁺
<0.25	A4	B4	Γ4

Οι ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού υφισταμένων κτιρίων που προβλέπονται στην ορίζονται ανάλογα με την κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου ως εξής:

Πίνακας 5-4: Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού υφισταμένων κτιρίων,

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

Ειδικώς, για κάθε υφιστάμενο κτίριο κατηγορίας σπουδαιότητας I και II, είναι αποδεκτή οποιαδήποτε δομητική επέμβαση σεισμικής αναβάθμισης του κτιρίου η οποία **εναλλακτικά**:

- διασφαλίζει τους ελάχιστους ανεκτούς στόχους (Πίνακας 5-3), ή
- διασφαλίζει μέσω υπολογιστικής τεκμηρίωσης ότι βελτιώνεται η φέρουσα ικανότητα του κτιρίου κατά μία τουλάχιστον βασική σεισμική κλάση του (στάθμη επιτελεστικότητας B – «Σημαντικές Βλάβες») ανώτερη, όχι μόνο από αυτήν που ανήκει το κτίριο πριν την επέμβαση αλλά και από την ελάχιστη βασική σεισμική κλάση που παρουσιάζεται στον Πίν. ΠΑ.2.2. Η τεκμηρίωση κατάταξης του κτιρίου στη βασική σεισμική κλάση πρέπει να πραγματοποιείται βάσει πλήρους στατικής και αντισεισμικής μελέτης του κτιρίου και αποκλειστικά μέσω των σχετικών διατάξεων του παρόντος Κανονισμού και υιοθετώντας πριν και μετά την επέμβαση τις ίδιες παραδοχές (όπως για παράδειγμα μεθοδολογία ανάλυσης, στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων, κτλ.).

Πίνακας ΠΑ.2.2. Ελάχιστες βασικές σεισμικές κλάσεις υφισταμένων κτιρίων σπουδαιότητας I και II.

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής

Πίνακας 5-5: Ελάχιστη Βασική Σεισμική Κλάση Κτιρίου

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	Ελάχιστη Βασική Σεισμική Κλάση Κτιρίου
...≤1985	B3
1985<...≤1995	B3*
1995<...	B2*

Για την παρούσα εφαρμογή το κτήριο επιλέχθηκε η στάθμη επιτελεστικότητας Γ2 που είναι ανώτερη από την ελάχιστη βασική σεισμική κλάση κτηρίου (B3), όπως φαίνεται στα επόμενα κεφάλαια ο φέρων οργανισμός δεν ικανοποιεί τη στάθμη και απαιτεί ενίσχυση. Συνεπώς η αποτίμηση και ενίσχυση για τη στάθμη Γ2 αποτελεί βελτίωση σε σχέση με τη βασική σεισμική κλάση κτηρίου, επομένως μπορεί να επιλεγεί από τον κύριο του έργου.

5.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ όταν η ανάλυση γίνεται με χρήση ενιαίου δείκτη συμπεριφοράς για το σύνολο του δομήματος οι προτεινόμενες τιμές αναλόγως με το είδος της τοιχοδομής και εάν παρουσιάζει ή όχι ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία (Πίνακας 5-6). Οι εν λόγω τιμές όμως διαφοροποιούνται αναλόγως με τη στάθμη επιτελεστικότητας που τίθεται ως στόχος, έτσι πολλαπλασιάζονται με τις τιμές q^*/q' όπως δείχνει ο Πίνακας 5-7.

Πίνακας 5-6: Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q' για την στάθμη επιτελεστικότητας B (σημαντικές βλάβες)

ΤΟΙΧΟΔΟΜΕΣ	ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ (ΚΑΙ ΦΘΟΡΕΣ) ΣΕ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΑΟΠΛΕΣ	1,20	1,50
ΔΙΑΖΩΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ ΜΟΝΟΝ	1,50	2,00
ΔΙΑΖΩΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ	2,00	2,50

Πίνακας 5-7: Τιμές του λόγου q^*/q' αναλόγως της στάθμης επιτελεστικότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας		
Περιορισμένες βλάβες (Α)	Σημαντικές βλάβες (Β)	Οιονεί κατάρρευση (Γ)
0,6 πάντως δε $1,0 < q^* < 1,2$	1,0	1,4

Για την παρούσα εφαρμογή έχει επιλεγεί στάθμη επιτελεστικότητας Γ2, ο φέρων οργανισμός αποτελείται από άοπλη τοιχοποιία και δεν παρουσιάζει βλάβες. Επομένως υπολογίζεται ο τροποποιημένος ενιαίος συντελεστής συμπεριφοράς ως $q^* = 1.40 * 1.50 = 2.10$

5.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

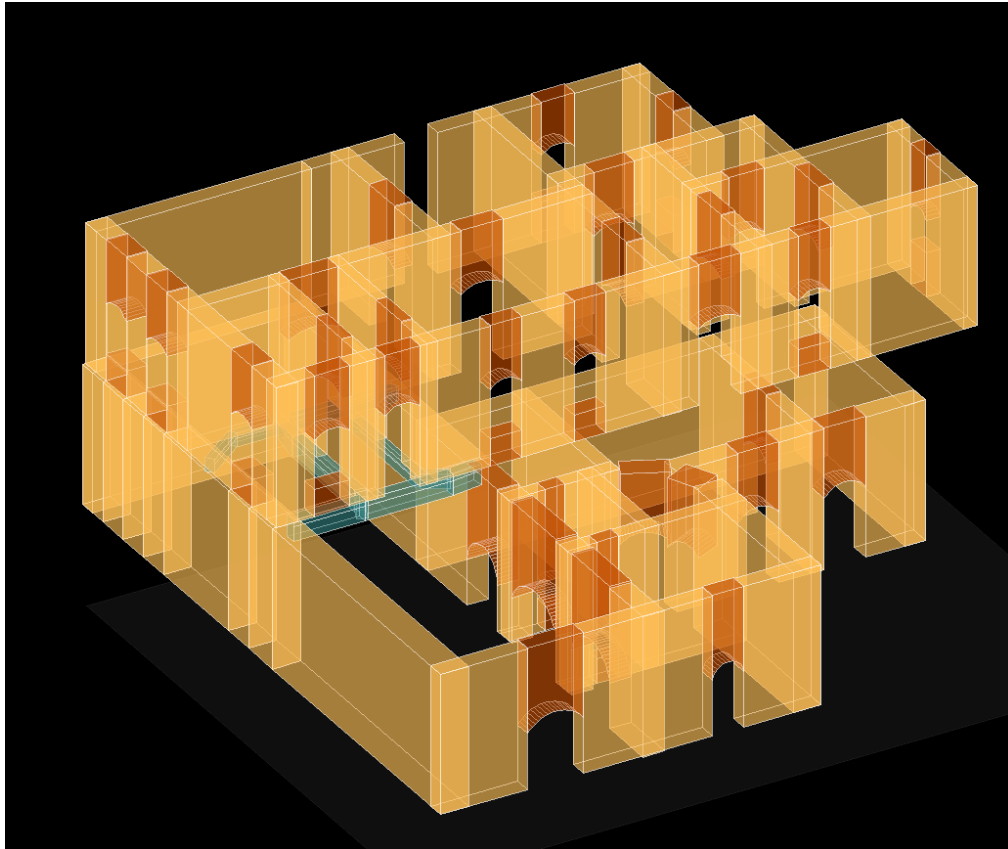
Για τη στατική ανάλυση του κτηρίου με τη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου μορφώθηκε κατάλληλο προσομοίωμα στο λογισμικό ΡΑΦ του Τεχνικού Ομίλου Λογισμικού (ΤΟΛ). Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του λογισμικού:

Στο ΡΑΦ, η προσομοίωση της φέρουσας τοιχοποιίας γίνεται μέσω ραβδόμορφων πλαισιακών στοιχείων, τόσο για την προσομοίωση των τοίχων, όσο και για την προσομοίωση των υπέρθυρων λειτουργούντα ως δοκοί σύζευξης. (βλ. ΕΚ.8.1 § 9.4 εδ.4, εδ.5). Οι πεσσοί ελέγχονται σε ικανότητα παραλαβής αξονικών φορτίων, λαμβάνεται υπόψη η λυγηρότητα τους, οι εκτός επιπέδου εκκεντρότητες λόγω φορτίσεων, γεωμετρίας και κατασκευαστικών ατελειών. Οι πεσσοί ελέγχονται σε κάμψη εντός και εκτός επιπέδου των, βάσει των στατικών και σεισμικών φορτίων του κτηρίου. Τέλος οι πεσσοί ελέγχονται και σε διάτμηση για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης με βάση της ενεργή επιφάνεια επαφής του καμπτόμενου πεσσού ενώ τα υπέρθυρα ελέγχονται σε κάμψη και διάτμηση.

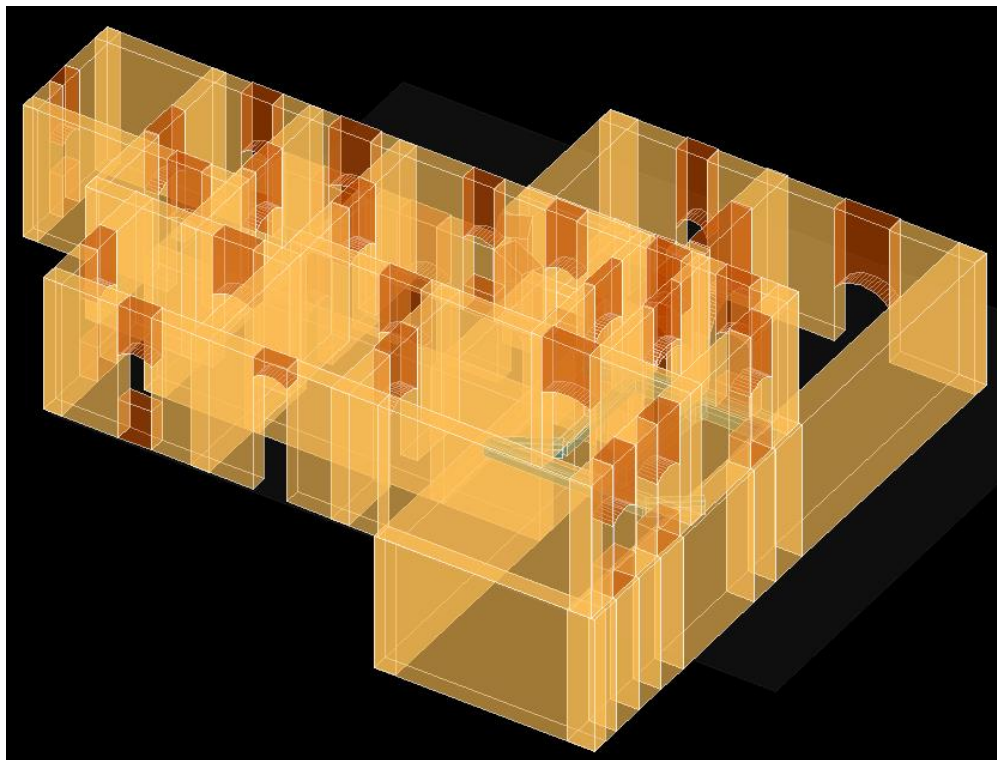
5.6.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΟΥ ΦΟΡΕΑ

Ο οριζόντιος φέρων οργανισμός του κτηρίου προσομοιώθηκε με πλάκες Ο/Σ με κατάλληλη προσαρμογή των φορτίων καθώς στο λογισμικό δεν παρέχεται δυνατότητα εισαγωγής θόλων. Τα υπέρθυρα και οι ποδιές προσομοιώθηκαν με κατάλληλα μέλη από λιθοδομή σύμφωνα με τη γεωμετρία της κατασκευής ενώ χρησιμοποιήθηκαν δοκοί Ο/Σ για την έδραση των τοίχων που εδράζονται επί των υποκείμενων θόλων. Η γεωμετρία του προσομοιώματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-5 και Εικόνα 5-6.

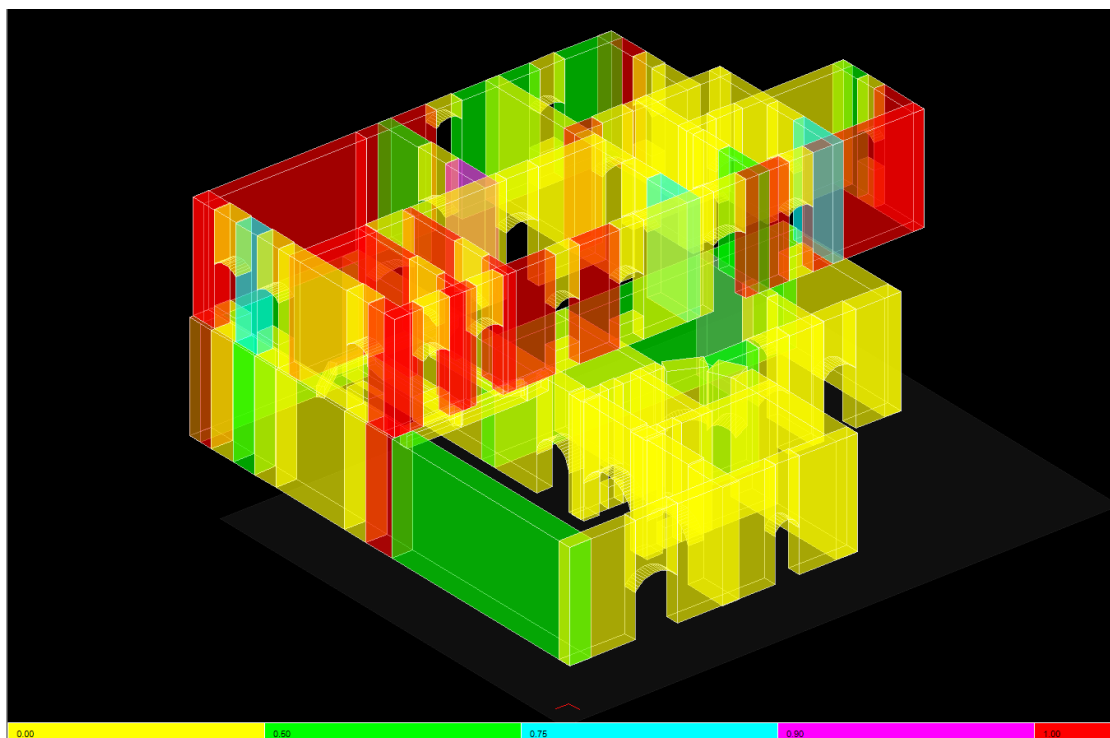
Από το στατικό επανέλεγχο του προσομοιώματος έγινε αντιληπτό ότι σημαντικός αριθμός των πεσσών αστοχούν (Εικόνα 5-7) ενώ των σύνολο των υπέρθυρων επαρκούν. Περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων κατέδειξε ότι οι εν λόγω πεσσοί αστοχούν καθώς εμφανίζουν εφελκυσμό ο οποίος είναι απαράδεκτος για πεσσούς από λιθοδομή (Εικόνα 5-8). Η αιτία της εμφάνισης των εφελκυστικών δυνάμεων εικάζεται ότι προέρχεται από τους "φυτευτούς" τοίχους, για τον έλεγχο της εικασίας απαιτείται η προσομοίωση του ισογείου χωρίς το υπόγειο ώστε να καταδειχτεί η αιτία αστοχίας των πεσσών.



Εικόνα 5-5: Γεωμετρία προσομοιώματος.



Εικόνα 5-6: Γεωμετρία προσομοιώματος.



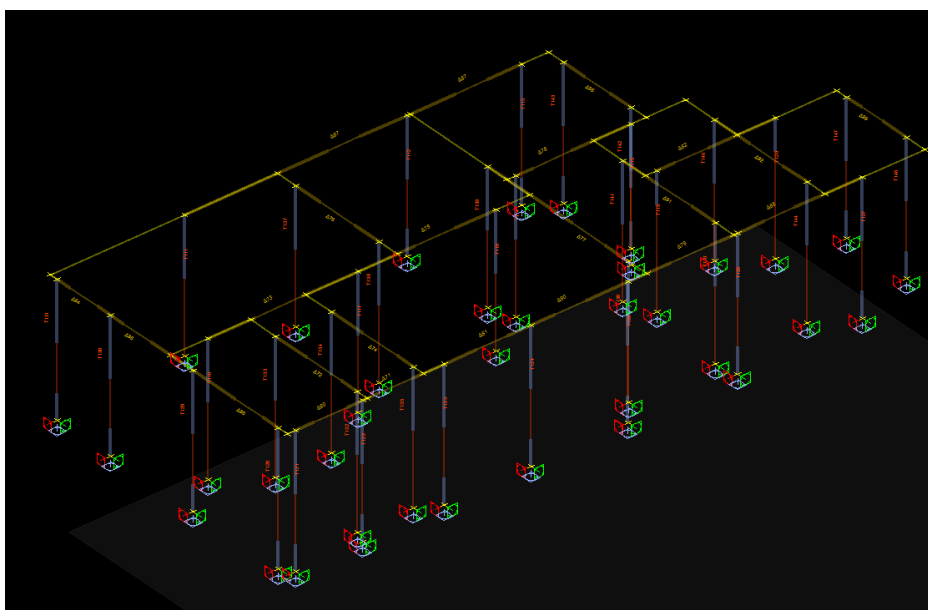
Εικόνα 5-7: Ανεπάρκειες φέροντος οργανισμού.

α/α	Όνομα	Αξονική					Καμψη Εντός Επιπέδου					Καμψη Εκτός Επιπέδου					Διατμηση		
		NEd	NRd	CRn	NEd	MRd2	CRm2	NEd	MRd3	MEd3	MRd3	CRm3	NEd	VEd	VRd	CRv			
																	MRd2	CRm2	NEd
38	T107-Σ2	7.94	1905.00	N.A.	7.94	5.94	0.00	N.A.	7.94	-0.11	0.00	N.A.	-1.76	6.89		N.A.			
39	T116-Σ2	82.65	15621.00	N.A.	82.65	18.31	0.00	N.A.	82.65	-0.00	0.00	N.A.	-1.82	2.45		N.A.			
40	T117-Σ2	-155.14	6731.00	0.02	26.17	44.79	0.00	N.A.	26.17	0.23	0.00	N.A.	-4.49	2.02		N.A.			
41	T72-Σ2	-185.77	7483.00	0.02	-106.90	90.93	155.65	0.58	-109.77	1.04	27.08	0.04	-106.90	62.02	336.90	0.18			
42	T73-Σ2	-142.23	5461.00	0.03	-81.58	49.41	86.52	0.57	-43.30	0.29	10.75	0.03	-81.58	52.79	253.22	0.21			
43	T74-Σ2	22.46	7366.00	N.A.	22.46	-13.31	0.00	N.A.	22.46	-0.30	0.00	N.A.	-2.92	-25.34		N.A.			
44	T75-Σ2	-269.06	8890.00	0.03	-89.18	61.28	154.65	0.40	-154.61	3.26	38.05	0.09	-89.18	50.34	573.49	0.09			
45	T76-Σ2	-155.53	6477.00	0.02	-48.87	26.82	61.89	0.43	-87.39	1.36	21.58	0.06	-48.87	26.68	391.84	0.07			
46	T77-Σ2	-32.90	2667.00	0.01	-14.94	10.21	7.81	1.31	-14.87	0.56	3.70	0.15	-14.87	3.43		N.A.			
47	T78-Σ2	-303.80	9398.00	0.03	-110.30	45.87	201.91	0.23	-222.05	-1.30	54.33	0.02	-110.30	47.58	665.47	0.07			
48	T79-Σ2	-59.66	2794.00	0.02	-5.38	15.51	2.95	5.25	-5.38	1.22	1.34	0.91	-5.38	10.86		N.A.			
49	T80-Σ2	14.26	2540.00	N.A.	14.26	-4.09	0.00	N.A.	14.26	0.06	0.00	N.A.	8.97	-11.35	179.86	0.06			
50	T81-Σ2	-26.49	5080.00	0.01	1.41	21.15	0.00	N.A.	1.41	0.43	0.00	N.A.	-1.96	16.70		N.A.			
51	T82-Σ2	-70.27	3810.00	0.02	-23.11	19.56	17.24	1.13	-23.79	0.96	5.92	0.16	-23.79	24.83		N.A.			
52	T83-Σ2	-185.56	6731.00	0.03	-108.55	59.29	141.74	0.42	-108.29	1.15	26.68	0.04	-104.74	-54.54	476.62	0.11			
53	T84-Σ2	-43.59	4191.00	0.01	-14.81	27.74	12.18	2.28	-14.27	0.48	3.56	0.13	-13.85	28.57		N.A.			
54	T85-Σ2	-133.31	10668.00	0.01	-11.41	29.16	23.94	1.22	-11.41	0.56	2.85	0.20	-68.55	87.08		N.A.			
55	T86-Σ2	7.33	3759.20	N.A.	7.33	-7.80	0.00	N.A.	7.33	-0.02	0.00	N.A.	-21.05	-34.03	9.11	3.74			
56	T87-Σ2	-64.75	2336.80	0.03	-25.64	8.29	14.60	0.57	-13.72	0.09	2.73	0.03	-25.64	14.09	108.68	0.13			
57	T88-Σ2	9.89	3657.60	N.A.	9.89	-9.82	0.00	N.A.	9.89	-0.01	0.00	N.A.	-1.37	-46.47		N.A.			
58	T89-Σ2	-224.11	9753.60	0.02	-87.15	65.56	138.32	0.47	-135.03	16.91	40.00	0.42	-156.48	-24.62	607.41	0.04			
59	T90-Σ2	-76.26	3048.00	0.03	-28.39	11.37	14.07	0.81	-47.87	11.74	14.16	0.83	-28.39	12.97	64.32	0.20			
60	T91-Σ2	-9.09	3048.00	0.00	1.44	14.53	0.00	N.A.	1.44	1.32	0.00	N.A.	-24.61	-17.55	35.83	0.49			
61	T92-Σ2	9.03	1905.00	N.A.	9.03	4.27	0.00	N.A.	9.03	0.10	0.00	N.A.	-0.67	8.66		N.A.			
62	T93-Σ2	5.59	3657.60	N.A.	5.59	16.53	0.00	N.A.	5.59	0.05	0.00	N.A.	-4.06	-9.14		N.A.			
63	T94-Σ2	5.34	3657.60	N.A.	5.34	22.49	0.00	N.A.	5.34	0.13	0.00	N.A.	-0.48	16.07		N.A.			
64	T95-Σ2	-182.90	5486.40	0.03	-75.05	-38.73	100.07	0.39	-126.99	0.58	24.87	0.02	-75.05	-30.98	359.97	0.09			
65	T96-Σ2	-273.50	8432.80	0.03	-94.03	48.53	193.15	0.25	-187.36	0.64	36.72	0.02	-94.03	43.19	597.13	0.07			
66	T97-Σ2	-108.04	4127.50	0.03	-13.35	15.45	10.82	1.43	-12.36	0.29	3.08	0.09	-12.36	21.08		N.A.			
67	T98-Σ2	-89.40	4762.50	0.02	-67.50	37.26	62.47	0.60	-74.20	-1.04	18.29	0.06	-67.50	30.64	208.02	0.15			
68	T99-Σ2	-79.28	4762.50	0.02	-31.37	27.18	29.24	0.93	-50.76	0.78	12.57	0.06	-31.37	29.79	38.45	0.77			

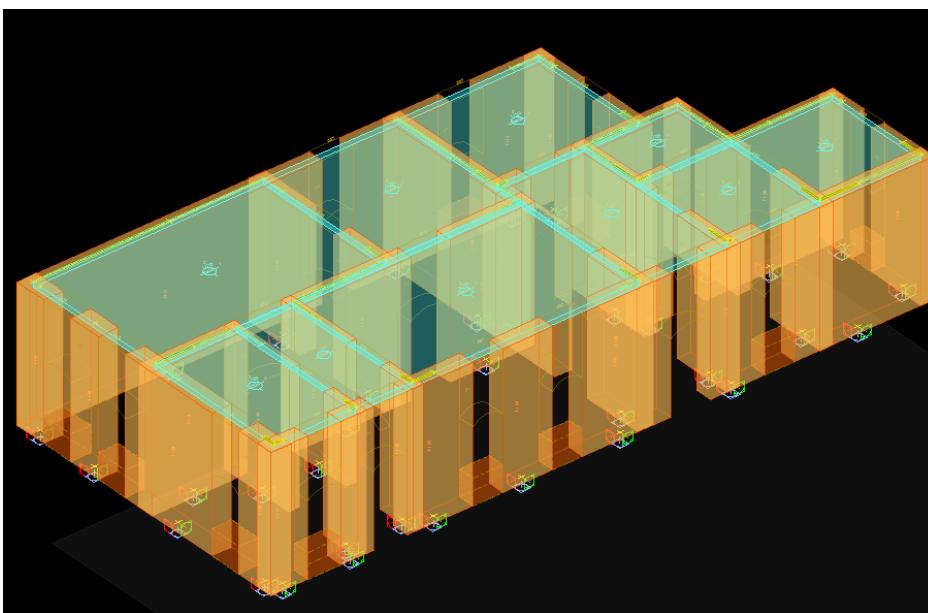
Εικόνα 5-8: Αποτελέσματα ελέγχου επάρκειας αντοχής πεσών.

5.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΩΣ ΙΣΟΓΕΙΟ

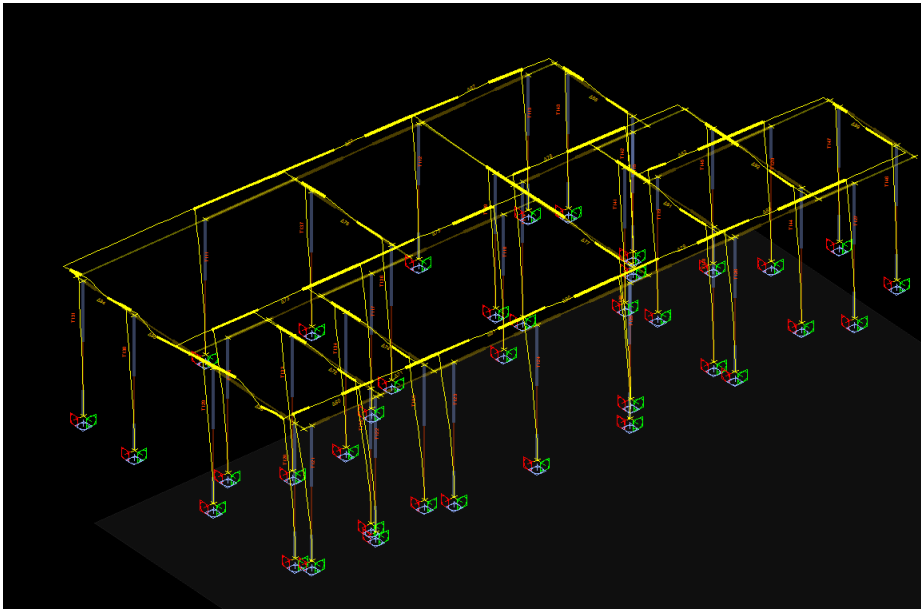
Για την περαιτέρω διερεύνηση των αιτιών της αστοχίας των πεσσών σχεδιάστηκε προσομοίωμα όπου εντάχθηκε μόνο το τμήμα του ισογείου πακτωμένο στο έδαφος (Εικόνα 5-9). Επίσης και στη συγκεκριμένη περίπτωση ο οριζόντιος φέρων οργανισμός προσομοιώθηκε με τη χρήση πλακών Ο/Σ (Εικόνα 5-10) επιβάλλοντας ισοδύναμα φορτία. Η πρώτη ιδιομορφή είναι μεταφορική με ιδιοπερίοδο $T=0.05s$ (Εικόνα 5-11). Η επίλυση του ισογείου κατέδειξε ότι οι πεσσοί και τα υπέρθυρα θα επαρκούσαν για την παραλαβή των φορτίων σε περίπτωση που ο φορέας ήταν ισόγειος και δεν υπήρχαν τοίχοι που να εδράζονται σε υποκείμενες καμάρες (Εικόνα 5-12 & Εικόνα 5-13). Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της ΜΙΠ και τη σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων ο φορέας θα επιλυθεί και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.



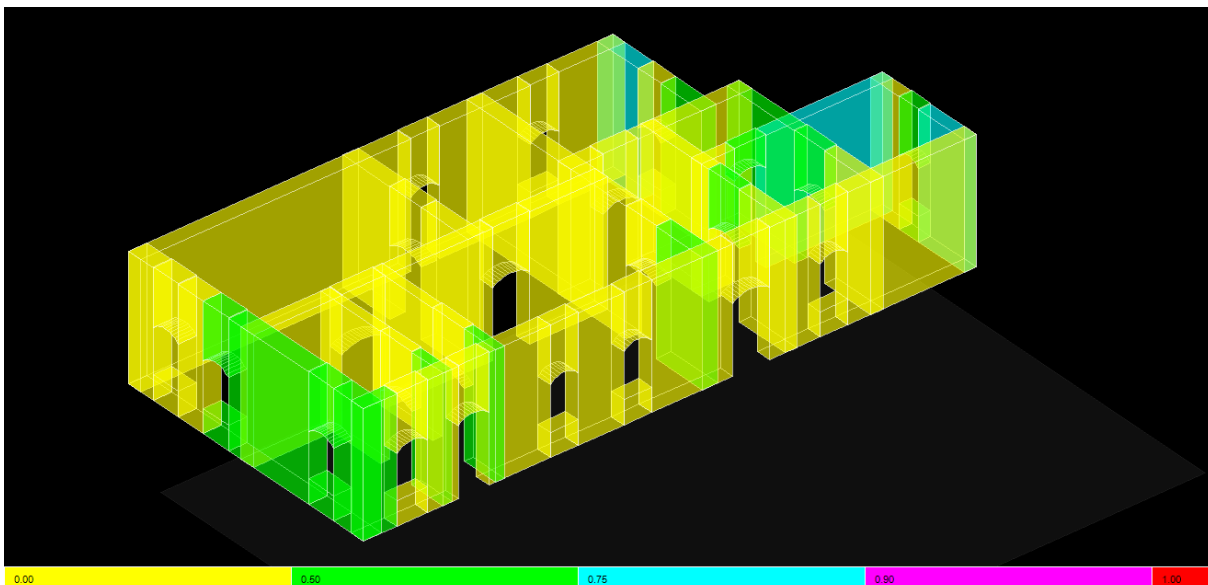
Εικόνα 5-9: Μαθηματικό προσομοίωμα.



Εικόνα 5-10: Γεωμετρία προσομοιώματος.



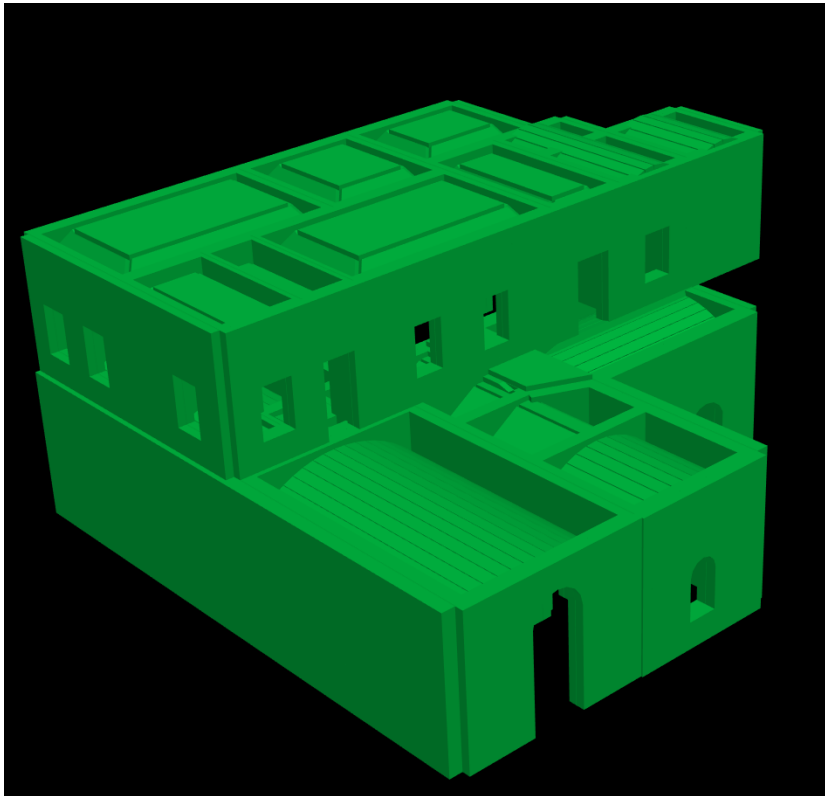
Εικόνα 5-11: 1^η ιδιομορφή (Ιδιοπερίοδος $T=0.05s$).



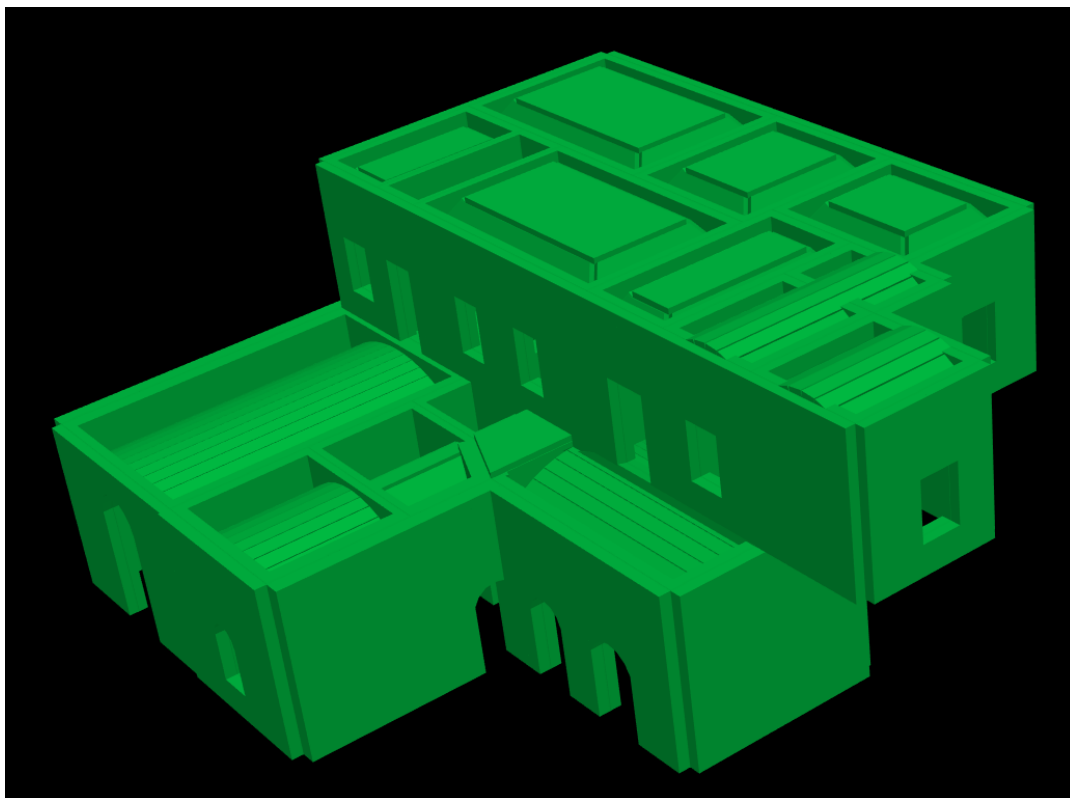
Εικόνα 5-12: Έλεγχος επάρκειας φέροντος οργανισμού.

5.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

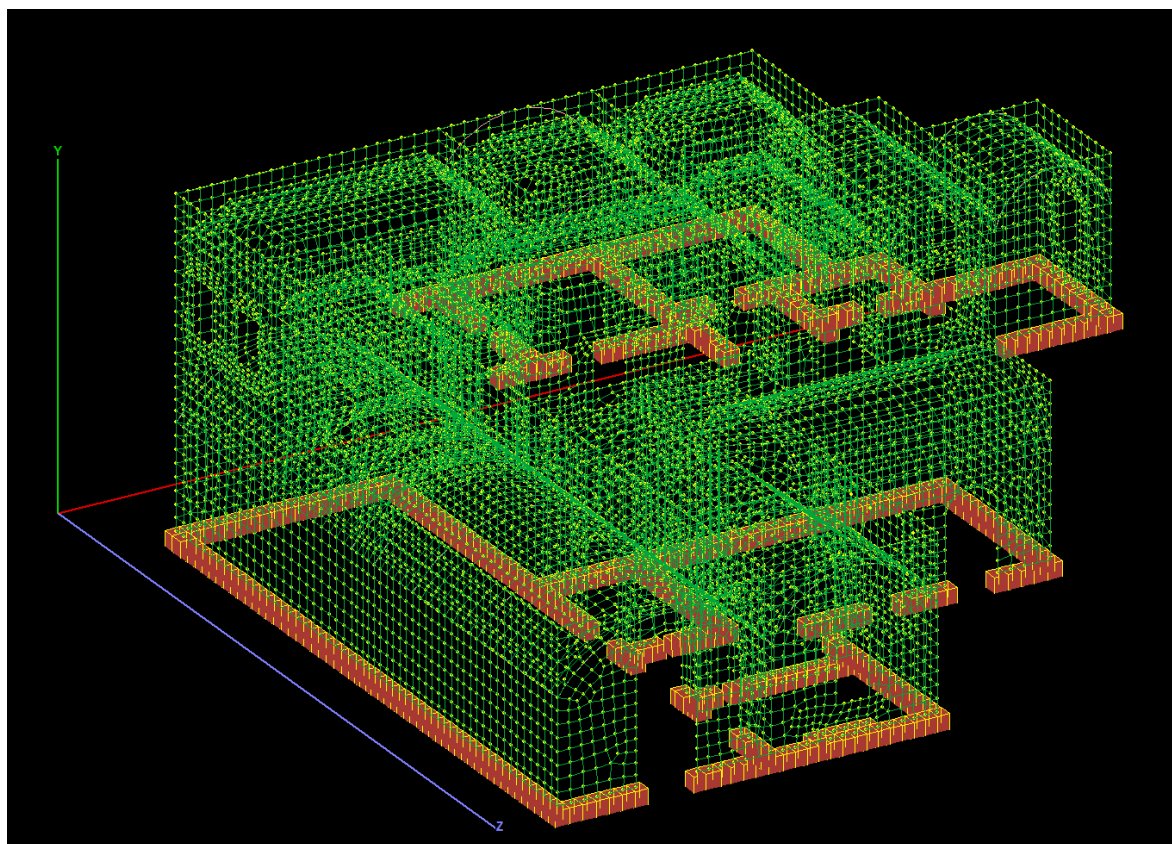
Η ύπαρξη φερόντων τοίχων που εδράζονται σε υποκείμενους θόλους οδήγησε στην ανάγκη επίλυσης του κτηρίου με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων ώστε να ελεγχθούν οι θόλοι που παραλαμβάνουν τους εν λόγω τοίχους. Για την επίλυση του φορέα μορφώθηκε προσομοίωμα στο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων ScadaPro της εταιρείας Ace Hellas. Για την προσομοίωσή του έγινε χρήση δισδιάστατων επιφανειακών στοιχείων πακτωμένα στη θεμελίωση. Το υπόγειο θεωρήθηκε αμετακίνητο και τα σεισμικά φορτία να επιβάλλονται μόνο στο ισόγειο. Η γεωμετρία του προσομοιώματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 5-14 και Εικόνα 5-15, για τη διακριτοποίηση επιλέχθηκε η μέγιστη πλευρά πεπερασμένου στοιχείου τα 30cm.



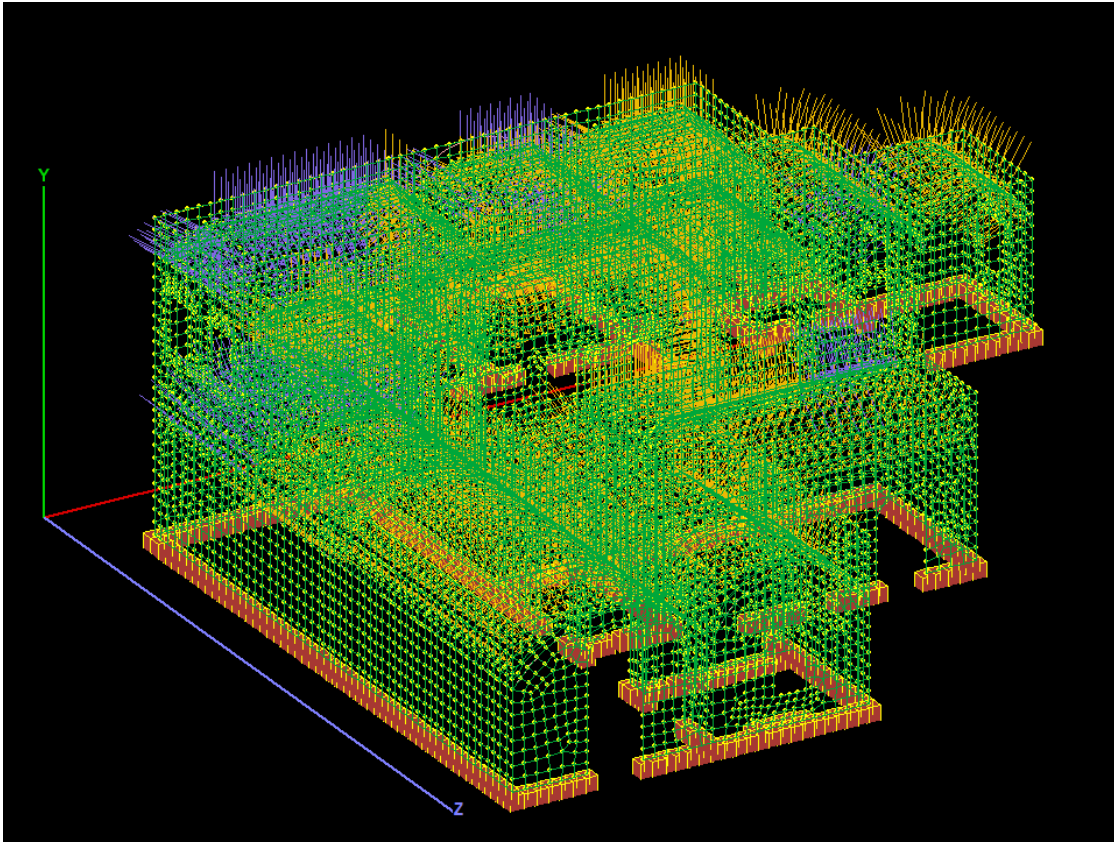
Εικόνα 5-14: Γεωμετρία προσομοιώματος.



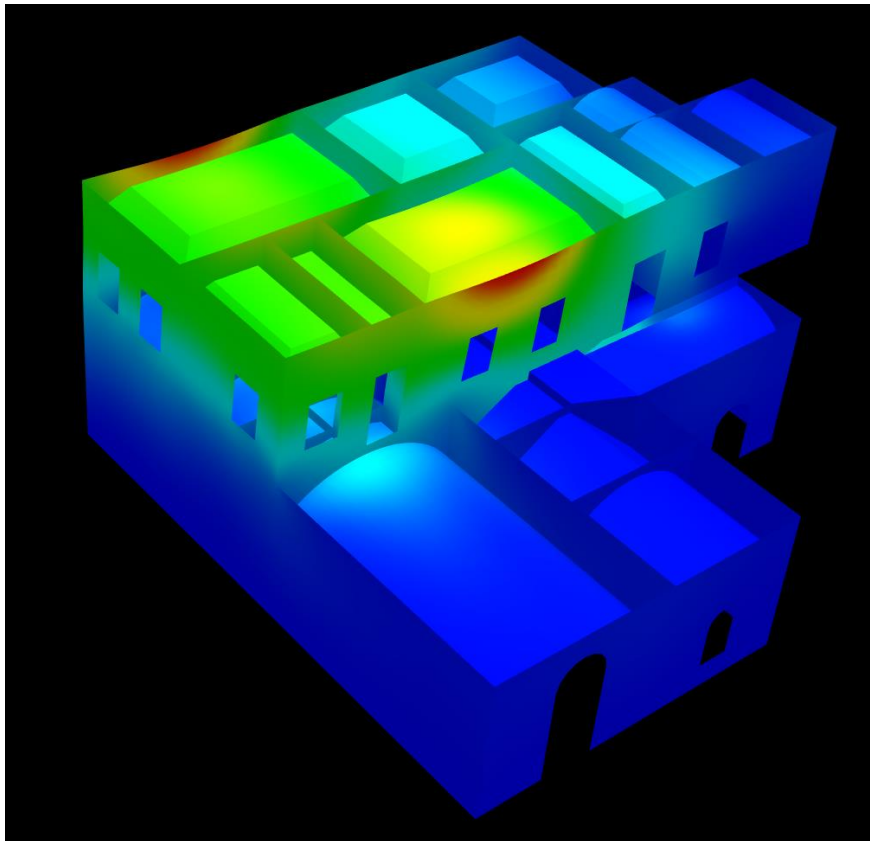
Εικόνα 5-15: Γεωμετρία προσομοιώματος.

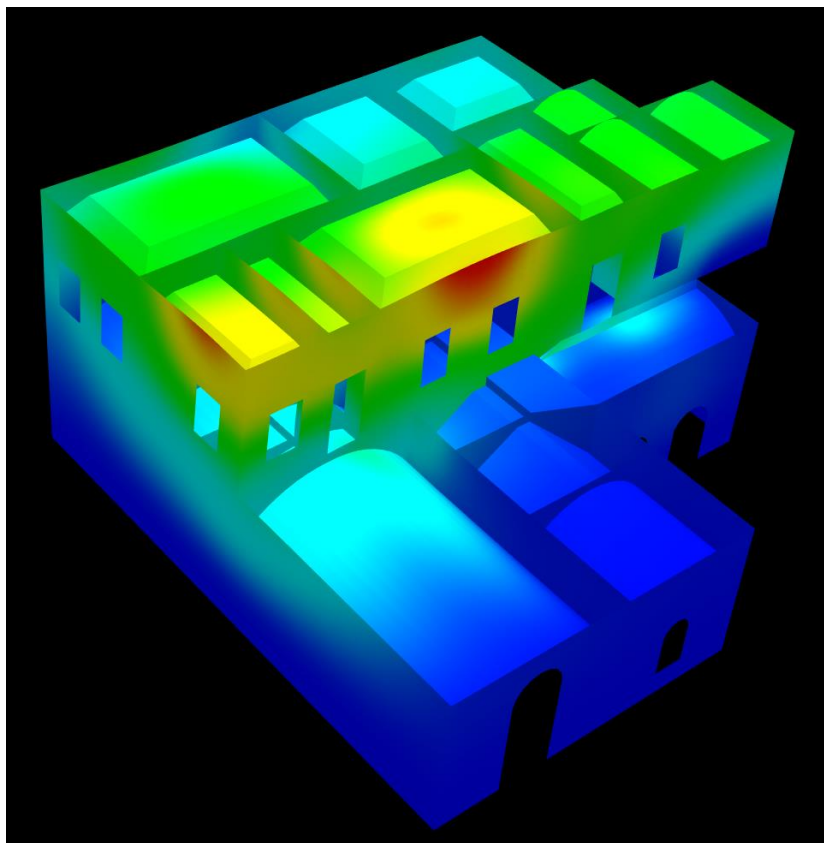


Εικόνα 5-16: Διακριτοποίηση προσομοιώματος και συνθήκες στήριξης.

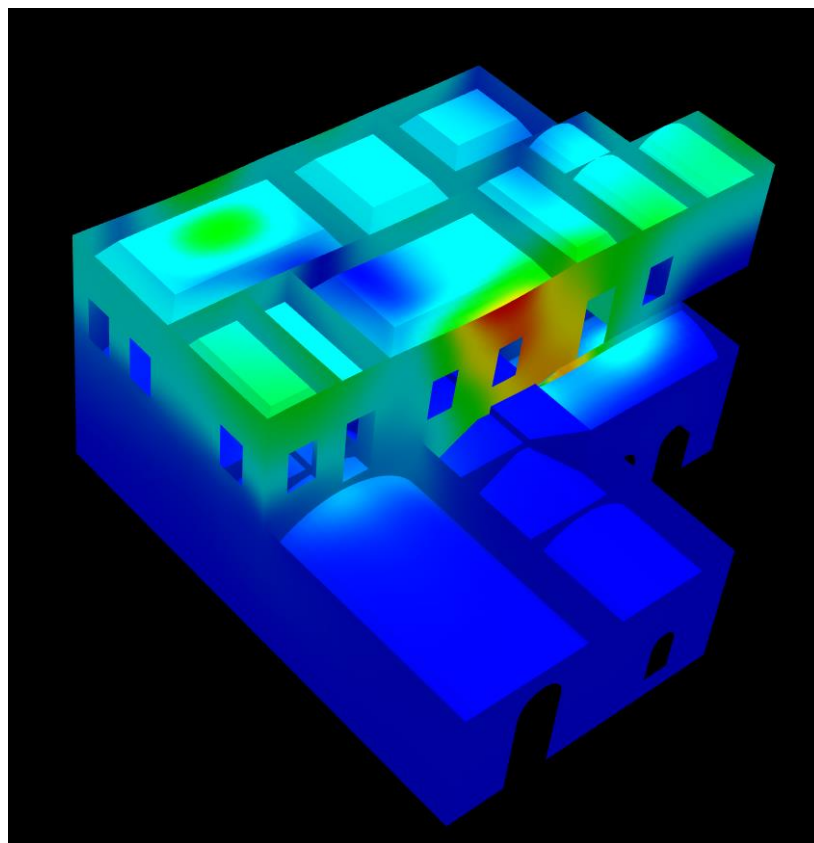


Εικόνα 5-17: Φορτία μελών.

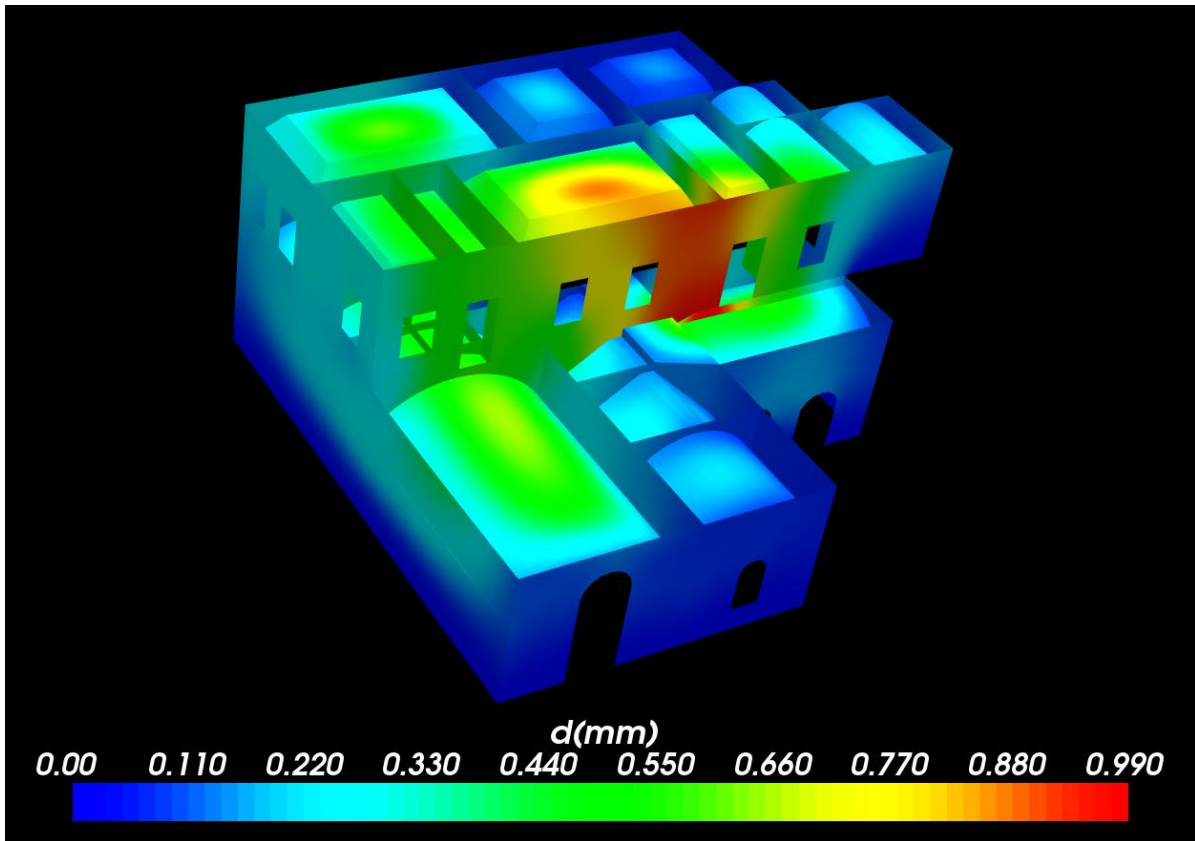
Εικόνα 5-18: 1^η ιδιομορφή ($T = 0.052s$).



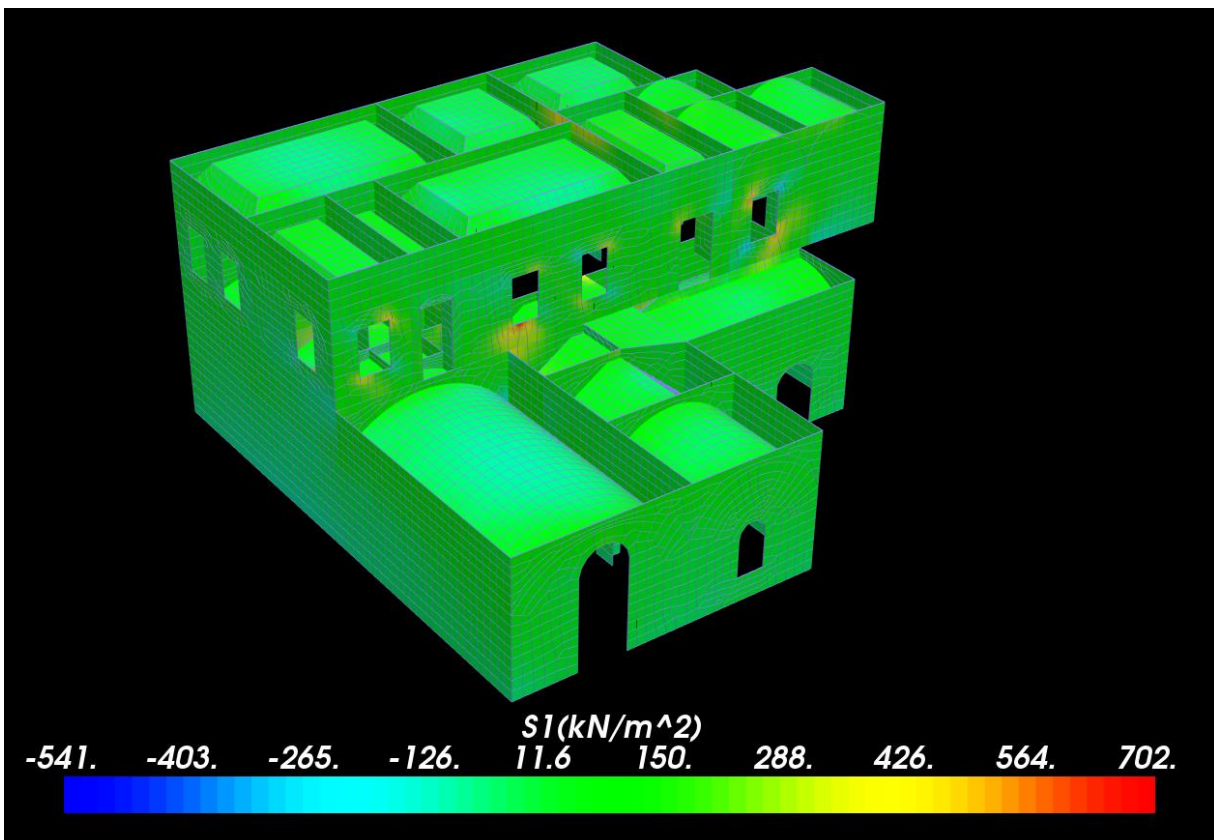
Εικόνα 5-19: 1^η ιδιομορφή ($T = 0.046s$).



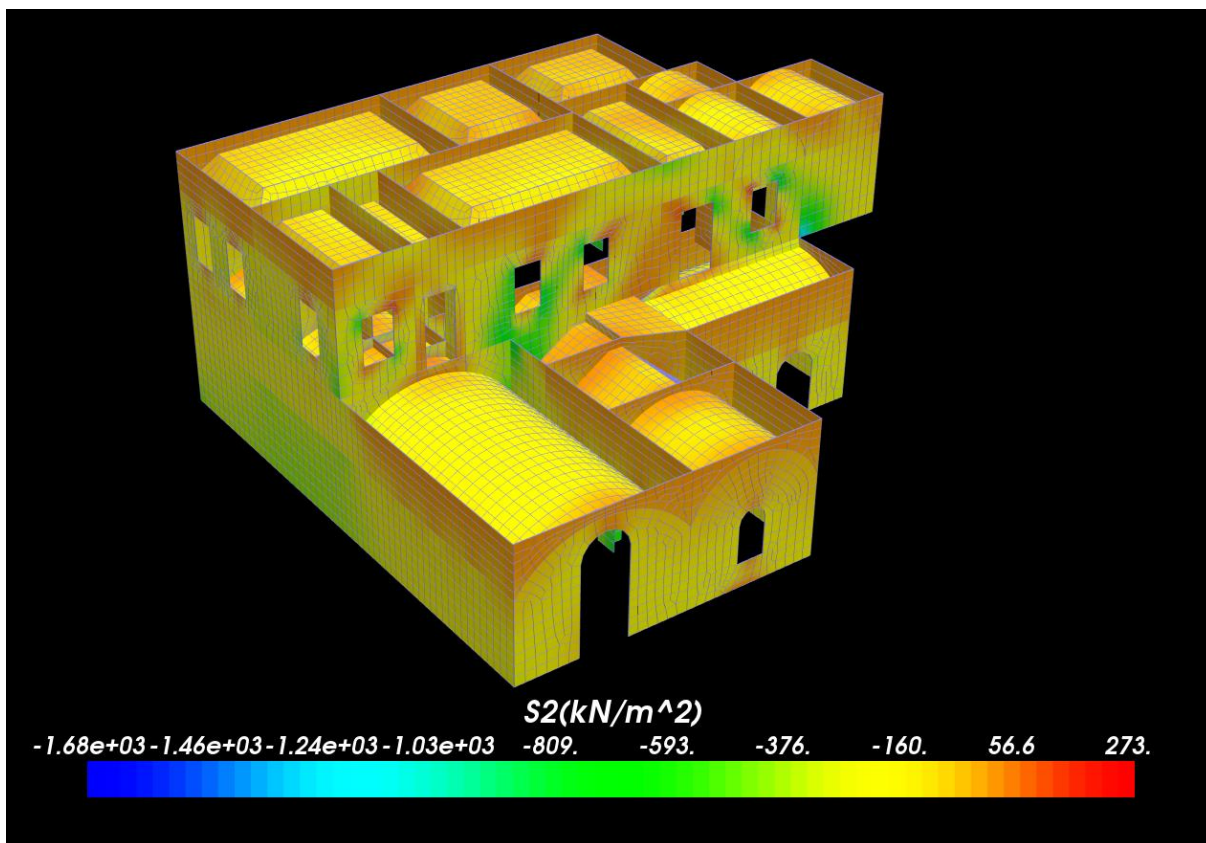
Εικόνα 5-20: 1^η ιδιομορφή ($T = 0.039s$).



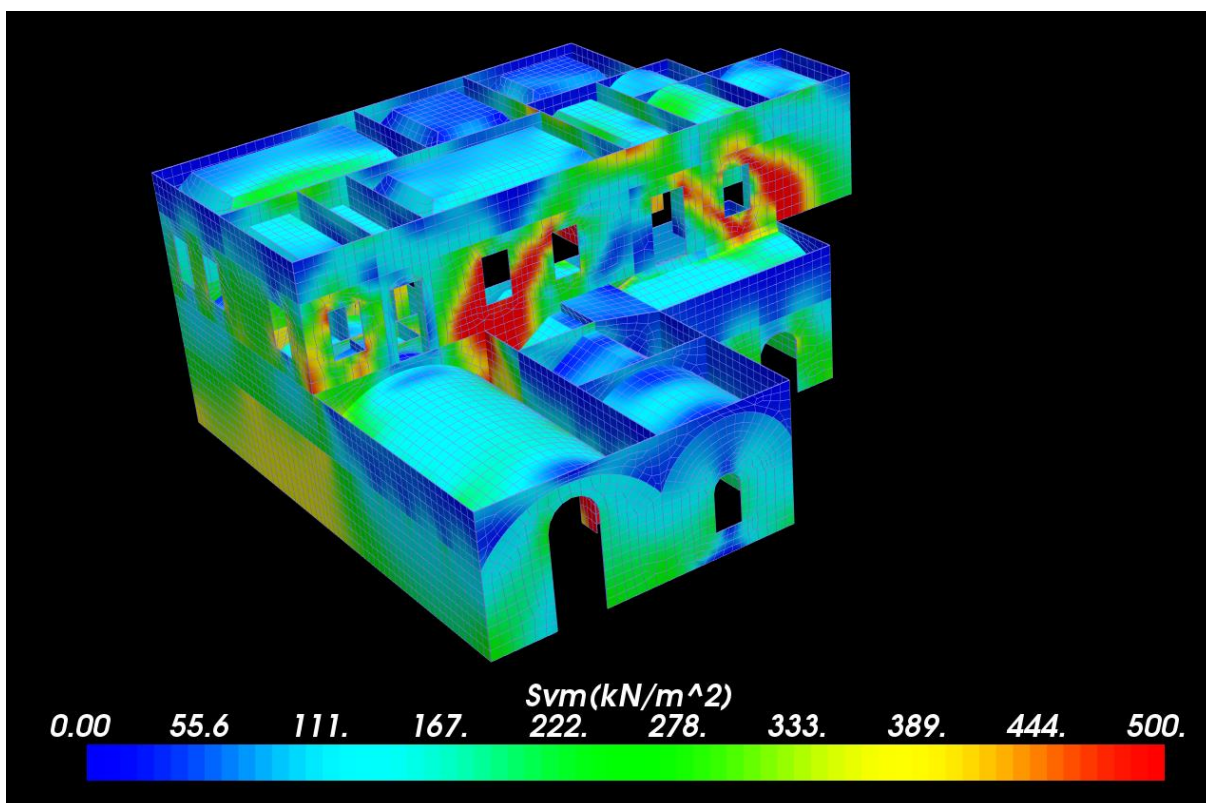
Εικόνα 5-21: Παραμορφωμένος φορέας συνδ. 1.35G + 1.50Q.



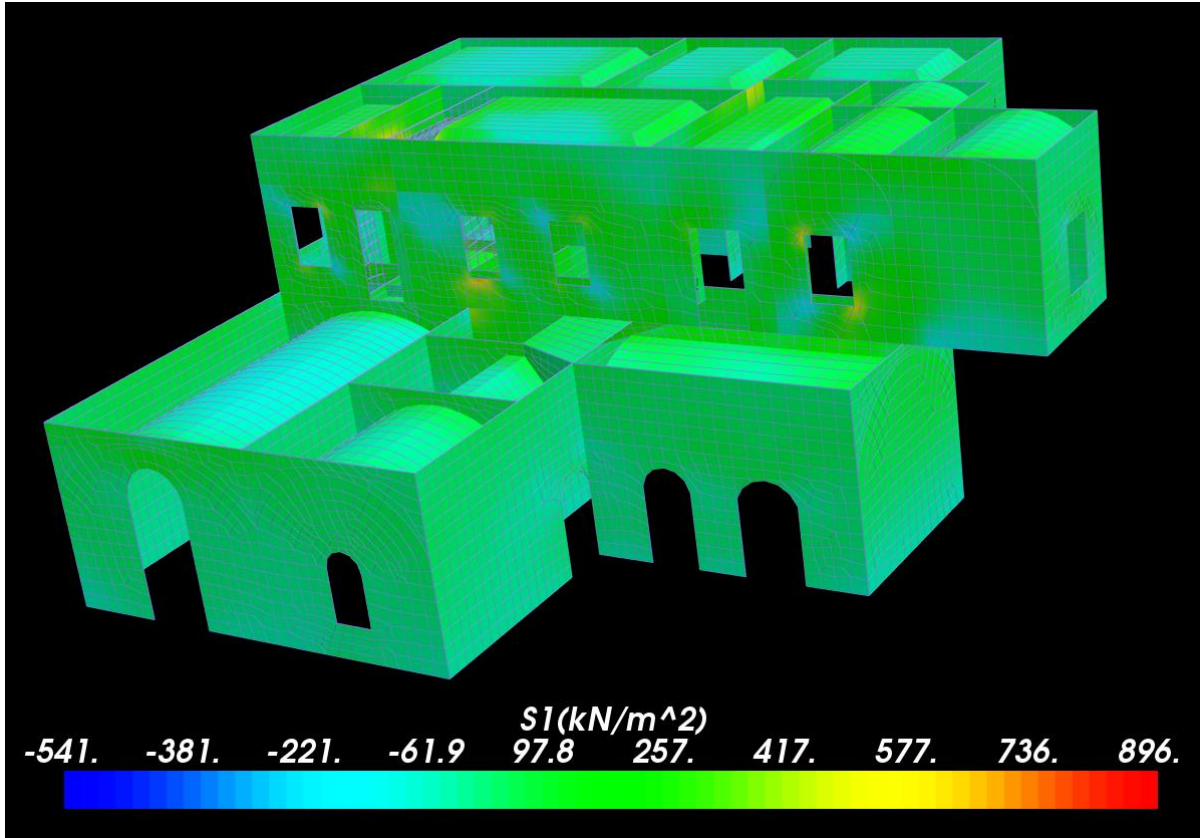
Εικόνα 5-22: Κύριες ορθές τάσεις $s1$ από το συνδυασμό 1.35G + 1.50Q.



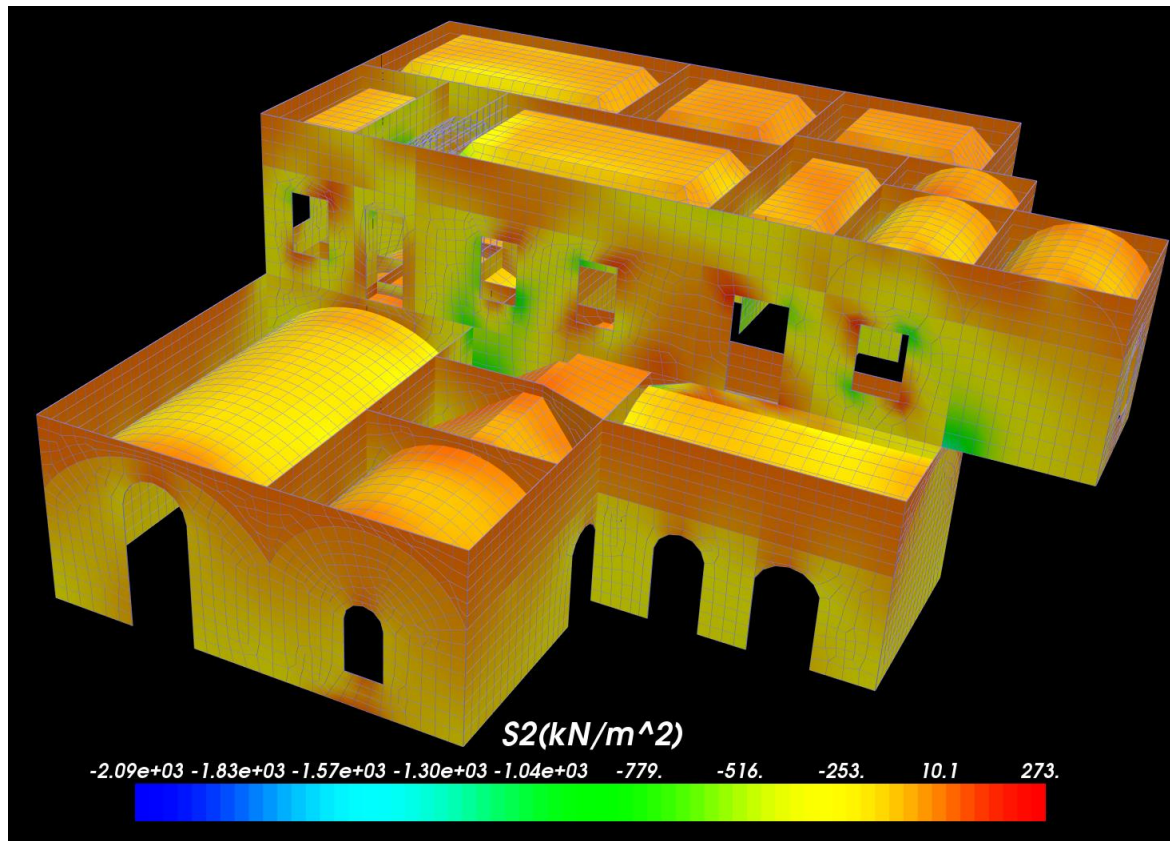
Εικόνα 5-23: Κύριες ορθές τάσεις σ_2 από το συνδυασμό 1.35G + 1.50Q.



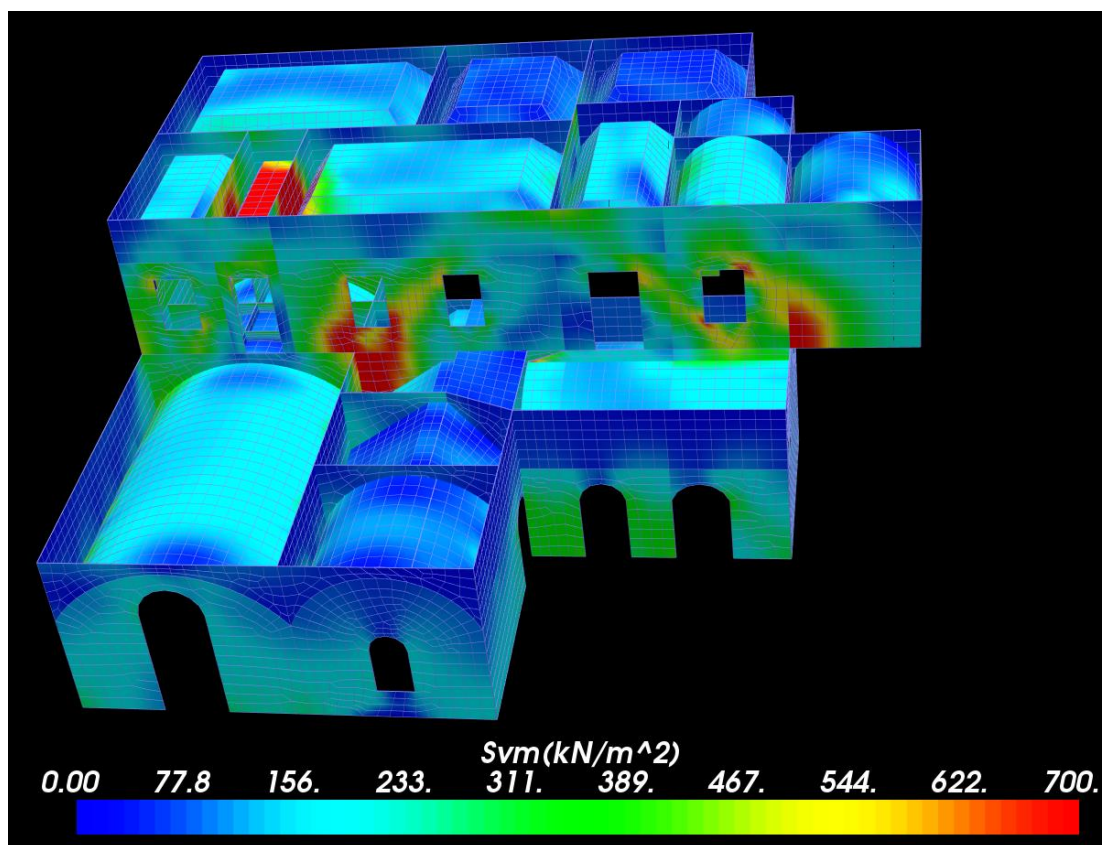
Εικόνα 5-24: Διατμητικές τάσεις $\sigma_{1,2}$ από το συνδυασμό 1.35G + 1.50Q.



Εικόνα 5-25: Κύριες ορθές τάσεις s_1 από την περιβάλλουσα των συνδυασμών.

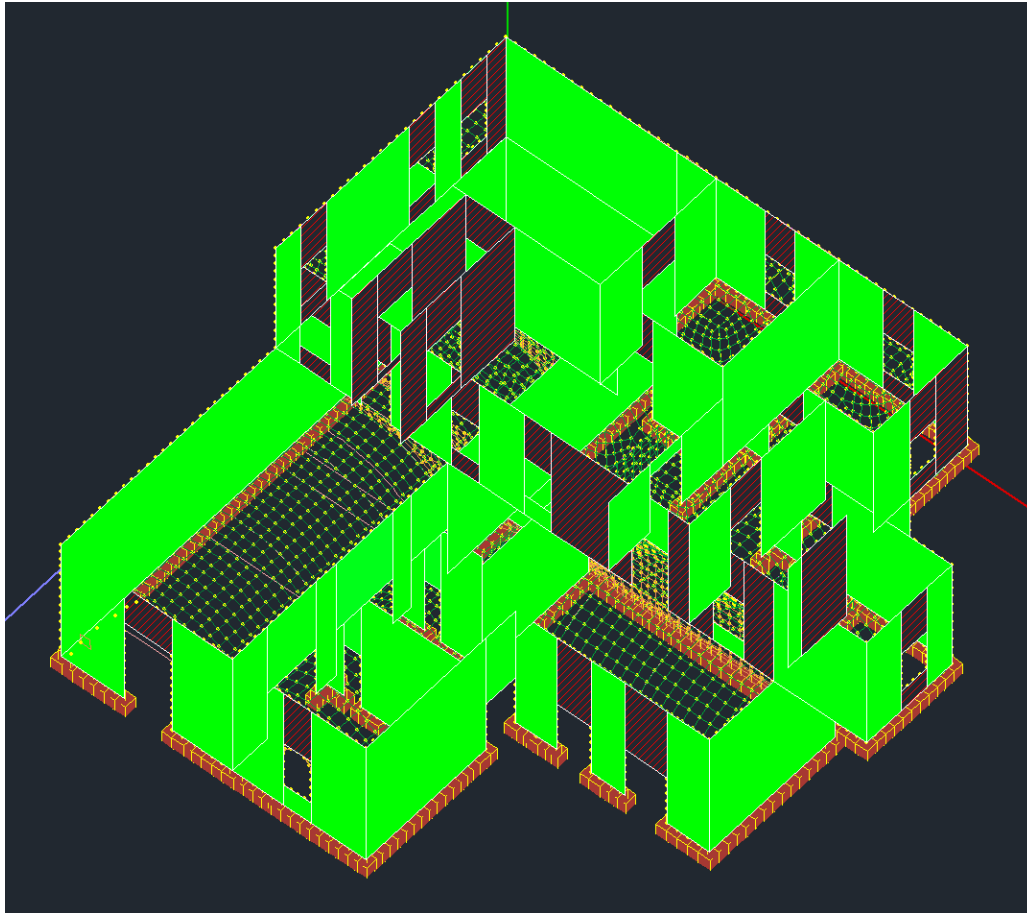


Εικόνα 5-26: Κύριες ορθές τάσεις s_2 από την περιβάλλουσα των συνδυασμών.



Εικόνα 5-27: Διατμητικές τάσεις $\sigma_{1,2}$ την περιβάλλουσα των συνδυασμών.

Οι πεσσοί και τα υπέρθυρα ελέγχθηκαν έναντι κάμψης (εντός και εκτός επιπέδου) και διάτμησης σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ σε όρους παραμορφώσεων. Οι ανεπάρκειες που εντοπίστηκαν οφείλονται σε εφελκυσμό του εκάστοτε μέλους, τόσο των πεσσών όσο και των υπέρθυρων. Τα μέλη με ανεπάρκεια παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-28, ο έλεγχος σταμάτησε με την εμφάνιση του εφελκυσμού συνεπώς δεν έγιναν έλεγχοι έναντι διάτμησης και κάμψης στα αντίστοιχα μέλη. Τα μέλη τα οποία εμφανίζονται με πράσινο χρώμα επαρκούν έναντι των προβλεπόμενων ελέγχων.



Εικόνα 5-28: Αποτελέσματα ελέγχων βάσει ΚΑΔΕΤ, οι πεσσοί και υπέρθυρα που αστοχούν παρουσιάζονται με κόκκινη διαγράμμιση.

Για τον έλεγχο των θόλων έγινε χρήση του κριτηρίου αστοχίας Karantoni et al. (1993), σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού:

Το συγκεκριμένο κριτήριο βασίζεται στο κριτήριο που προτάθηκε από τον Ottosen (1977) για σκυρόδεμα. Για τον μετασχηματισμό του κριτηρίου ώστε να αφορά σε τοιχοποιία αξιοποιήθηκαν πειραματικά δεδομένα κάνοντας βαθμονόμηση ορισμένων παραμέτρων. Δυστυχώς τα πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονταν σε οπτοπλινθοδομές, αποτελώντας έναν σημαντικό λόγο επίκρισης του εν λόγω προσομοιώματος. Η βασική μορφή του κριτηρίου (ΜΟΡΦΗ 1) είναι η ακόλουθη:

$$F = a \cdot J_2 / f_{wc}^2 + \lambda \cdot \sqrt{J_2} / f_{wc} + \beta \cdot I_1 / f_{wc} - 1 \quad (1)$$

όπου οι παράμετροι a , β , λ , I_1 και J_2 υπολογίζονται από τα εξής δεδομένα:

Από την ανάλυση --> Κύριες τάσεις σ_1 και σ_2

Από τα δεδομένα του υλικού

- Μονοαξονική θλιπτική αντοχή f_{wc}
- Μονοαξονική εφελκυστική αντοχή f_{wt}
- Θλιπτική αντοχή f_{wdc} σε ίση διαξονική θλίψη

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω μορφή του κριτηρίου μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι:

Για $F < 0$ --> ΕΠΑΡΚΕΙΑ Για $F = 0$ --> ΟΡΙΑΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ Για $F > 0$ --> ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Μια εναλλακτική μορφή του κριτηρίου (ΜΟΡΦΗ 2) προκύπτει εάν στη σχέση (1) αντί των κυρίων τάσεων χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω τιμές: $\sigma_1' = \sigma_1 \sigma^*$ & $\sigma_2' = \sigma_2 \sigma^*$, με $\sigma^* \geq 0$ (2) με το σ^* να λειτουργεί ως συντελεστής ασφαλείας ούτως ώστε να προκύπτει ΟΡΙΑΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ, δηλαδή:

$$a \cdot J_2 f_{wc}^2 + \lambda \cdot \sqrt{J_2} f_{wc} + \beta \cdot I_1 f_{wc} - 1 = 0 \quad (3)$$

Η επίλυση της εξίσωσης (3) ως προς σ^* γίνεται με δοκιμές καθώς η σχέση είναι πεπλεγμένη. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω μορφή του κριτηρίου μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι:

Για $\sigma^* < 1$ --> ΕΠΑΡΚΕΙΑ Για $\sigma^* = 1$ --> ΟΡΙΑΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ Για $\sigma^* > 1$ --> ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ

Βάσει του παραπάνω κριτηρίου έγινε έλεγχος κάθε πεπερασμένου στοιχείου των θολωτών τμημάτων, ο έλεγχος κατέδειξε ότι όλα τα στοιχεία επαρκούν έναντι των προβλεπόμενων φορτίων. Στην Εικόνα 5-29: Υπόδειγμα αποτελεσμάτων ελέγχων βάσει κριτηρίου αστοχίας Karantoni et al. (1993). Εικόνα 5-29 παρουσιάζεται υπόδειγμα ελέγχου των πεπερασμένων στοιχείων βάσει του κριτηρίου.

Κριτήριο Αστοχίας Τοιχοποιίας	
Όνομα Κριτηρίου	Karantoni et al.
Είδος τοιχοποιίας	Υφιστάμενη (EC8.3)
Εξεταζόμενη Θέση	Μέση Επιφάνεια
Περιγραφή Κριτηρίου	$F = \alpha J_2 / f_w^2 + \lambda J_2^{(1/2)} / f_w + \beta I_1 / f_w - 1$ ΕΠΑΡΚΕΙΑ : Για $F \leq 0$ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ : Για $F > 0$



Έλεγχος Πλεγμάτων

Όνομα Πλέγματος : s1	Υλικό : Λιθοδομή 50 Βενετσανού				
Αντοχή σε θλίψη	$f_w = 8.000$ (N/mm ²)	$\gamma_M = 2.20 / 1.50$			
Αντοχή σε εφελκυσμό	$f_{wt} = 0.000$ (N/mm ²)	CF = 1.35			
Αντοχή σε ίση διαξονική θλίψη	$f_{wc,b} = 0.000$ (N/mm ²)				
Παράμετροι Κριτηρίου :	$\alpha = 0.665$	$b = 1.650$	$c_1 = 13.765$	$\lambda_1 = 0.581$	
	$\beta = 3.835$	$f = 0.085$	$c_2 = 0.959$	$\lambda_2 = 0.995$	

Πλήθος Στοιχείων	Συνολική Επιφάνεια (m ²)	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	Κρίσιμος Συνδυασμός			
				A.A.	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	F _{max}
74	4.17	0	0.00	1	0	0.00	-0.78

=====

Όνομα Πλέγματος : s1	Υλικό : Λιθοδομή 50 Βενετσανού				
Αντοχή σε θλίψη	$f_w = 8.000$ (N/mm ²)	$\gamma_M = 2.20 / 1.50$			
Αντοχή σε εφελκυσμό	$f_{wt} = 0.000$ (N/mm ²)	CF = 1.35			
Αντοχή σε ίση διαξονική θλίψη	$f_{wc,b} = 0.000$ (N/mm ²)				
Παράμετροι Κριτηρίου :	$\alpha = 0.665$	$b = 1.650$	$c_1 = 13.765$	$\lambda_1 = 0.581$	
	$\beta = 3.835$	$f = 0.085$	$c_2 = 0.959$	$\lambda_2 = 0.995$	

Πλήθος Στοιχείων	Συνολική Επιφάνεια (m ²)	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	Κρίσιμος Συνδυασμός			
				A.A.	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	F _{max}
174	15.56	0	0.00	1	0	0.00	-0.62

=====

Όνομα Πλέγματος : S15	Υλικό : Λιθοδομή 80 Βενετσανού				
Αντοχή σε θλίψη	$f_w = 8.000$ (N/mm ²)	$\gamma_M = 2.20 / 1.50$			
Αντοχή σε εφελκυσμό	$f_{wt} = 0.000$ (N/mm ²)	CF = 1.35			
Αντοχή σε ίση διαξονική θλίψη	$f_{wc,b} = 0.000$ (N/mm ²)				
Παράμετροι Κριτηρίου :	$\alpha = 0.665$	$b = 1.650$	$c_1 = 13.765$	$\lambda_1 = 0.581$	
	$\beta = 3.835$	$f = 0.085$	$c_2 = 0.959$	$\lambda_2 = 0.995$	

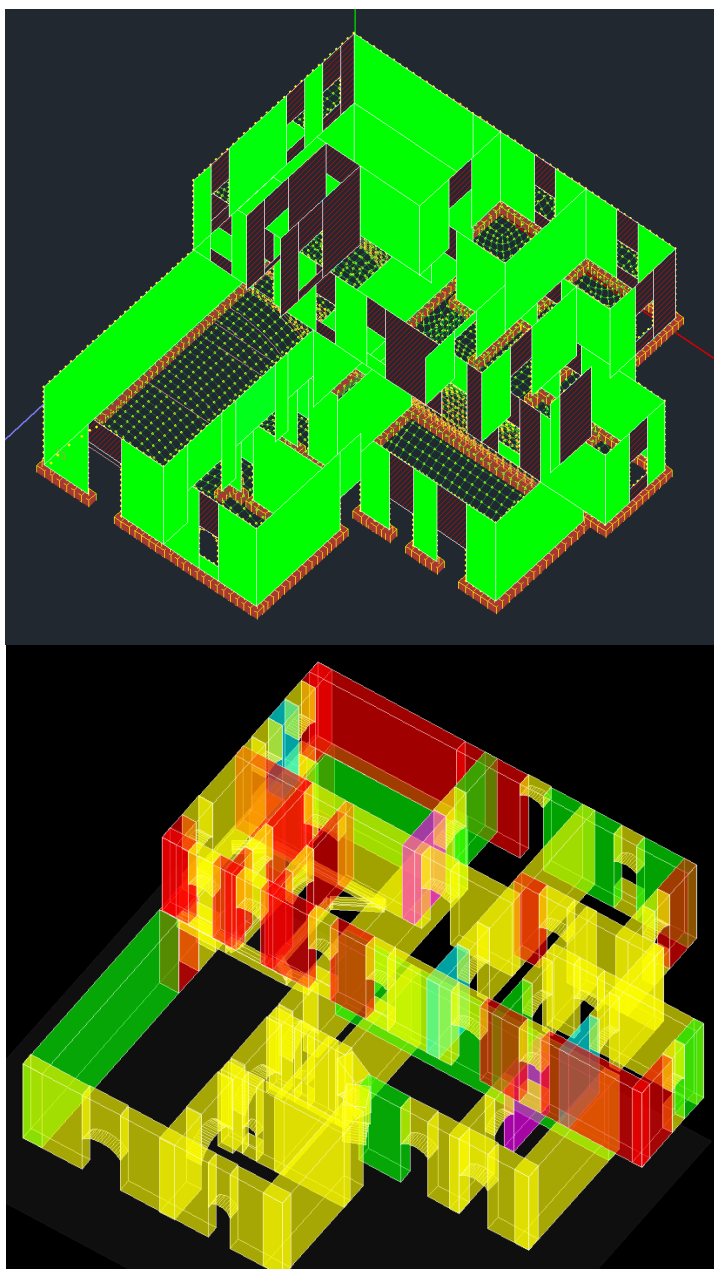
Πλήθος Στοιχείων	Συνολική Επιφάνεια (m ²)	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	Κρίσιμος Συνδυασμός			
				A.A.	Πλήθος Στοιχείων που Αστοχούν	Συνολική Επιφάνεια Αστοχίας (%)	F _{max}
32	2.75	0	0.00	1	0	0.00	-0.97

Εικόνα 5-29: Υπόδειγμα αποτελεσμάτων ελέγχων βάσει κριτηρίου αστοχίας Karantoni et al. (1993).

5.8 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι σαφώς πιο κατάλληλη για την επίλυση του συγκεκριμένου πολύπλοκου φορέα, παρόλα αυτά όπως φαίνεται και στις εικόνες των ανεπαρκειών από κάθε μέθοδο τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα.

- Αρκετοί είναι οι πεσσοί που παρουσιάζουν ανεπάρκεια και στις δύο περιπτώσεις.
- Οι ανεπάρκειες οφείλονται σε εφελκυσμό και στις δύο περιπτώσεις.
- Βασική διαφορά αποτελεί ο έλεγχος των υπέρθυρων όπου στη ΜΙΠ παρουσιάζονται να επαρκούν καθώς ελέγχονται μόνο έναντι κάμψης και διάτμησης ενώ στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων καταδεικνύεται ότι εφελκύνονται και συνεπώς αστοχούν.



Εικόνα 5-30: Τοίχοι που παρουσιάζουν ανεπάρκεια: (άνω) Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, (κάτω) ΜΙΠ.

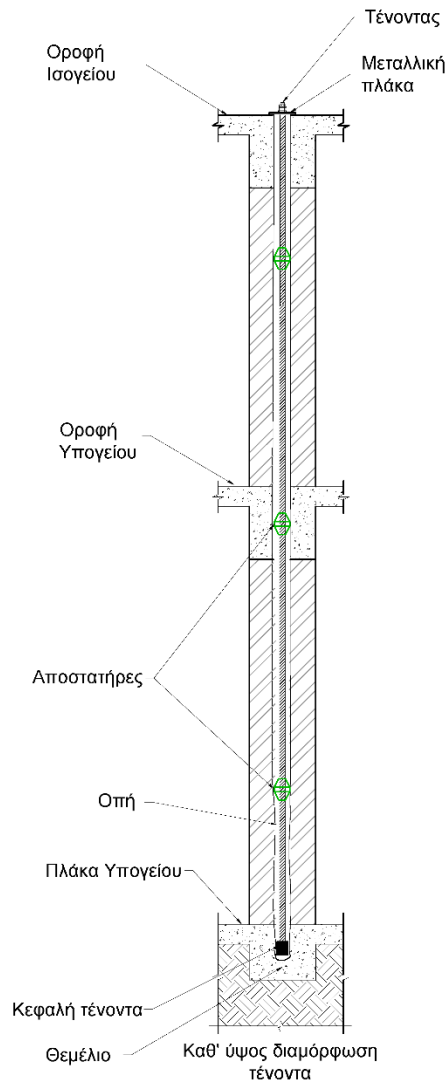
5.9 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

Οι αναλύσεις κατέδειξαν ότι ο βασικός λόγος αστοχίας είναι η ύπαρξη εφελκυσμού σε πεσσούς και υπέρθυρα επομένως για την άρση των ανεπαρκειών θα πρέπει τα στοιχεία είτε να ενισχυθούν έναντι εφελκυσμού είτε να προστεθεί εξωτερική θλίψη μέσω προέντασης.

Για την άρση των ανεπαρκειών των υπέρθυρων προτείνεται η εφαρμογή μεταλλικών ελασμάτων ή δοκών κατάλληλα αγκυρωμένων ώστε να μπορούν να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται.

Για την άρση των ανεπαρκειών των πεσών προτείνονται τα παρακάτω βήματα με παράλληλες αναλύσεις έως ότου ικανοποιούνται όλοι οι έλεγχοι:

1. Προσθήκη δύσκαμπτων πλαισίων Ο/Σ κάτω από τους «φυτευτούς» τοίχους ώστε να αρθεί η υποχώρηση των εδράσεων τους που κατά πάσα πιθανότητα θα οδηγήσει άρει τις όποιες εφελκυστικές τάσεις.
2. Σε περίπτωση που δεν επιλυθεί το ζήτημα στο πρώτο βήμα προτείνεται η προσθήκη κατακόρυφης προέντασης στους τοίχους που αστοχούν (βλ.Εικόνα 5-31)
3. Ως τελευταία λύση προτείνεται σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα η εφαρμογή μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος.



Εικόνα 5-31: Λεπτομέρεια κατακόρυφης προέντασης τοίχου.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει της εμπειρίας που αποκτήθηκε στη μελέτη για την παρούσα εργασία μπορούν να εξαχθούν τα κάτωθι συμπεράσματα για το κτήριο της εφαρμογής αλλά και παρόμοιας τεχνοτροπίας κτήρια:

- Η θηραϊκή γη έχει συντελέσει στην κατασκευή κτηρίων από λιθοδομή με μεθόδους και τεχνοτροπίες που θα ήταν αδύνατες στην τον 19ο αιώνα χωρίς την ύπαρξη της.
- Η σύνταξη και εφαρμογή ενός αναλυτικού προγράμματος διερευνητικών εργασιών που να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του κτηρίου αποτελεί το βασικότερο βήμα προς τον στατικό επανέλεγχό του.
- Ανάλογα με τον τύπο κάθε κτηρίου πρέπει να επιλέγεται η καταλληλότερη μέθοδος αποτίμησής του η οποία ίσως δεν είναι εξαρχής προφανής αλλά επιλέγεται κατόπιν αποτίμησης με περισσότερες της μίας μεθόδους. Λόγω της πολυπλοκότητας των κτηρίων της Θήρας είναι μάλλον βέλτιστη η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.
- Η επιλογή της μεθόδου ενίσχυσης είναι πολυπαραγοντικό ζήτημα και θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον τύπο της αστοχίας, τις διαθέσιμες μεθόδους σε κάθε περιοχή αλλά και τυχόν απαιτήσεις αρμόδιων κρατικών υπηρεσιών.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Εγχειρίδιο για τις θηραϊκές τεχνικές δόμησης - Μαθήματα από το έργο "Κάτω από το Τοπίο" στον υπόσκαφο οικισμό της Αγριλιάς στη Θηρασιά, Μπουλούκι| Περιοδεύον Εργαστήριο για τις παραδοσιακές τεχνικές δόμησης & Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα, 2022.
- [2] Φιλιππίδης Δημήτρης (Αρχιτέκτονας), "ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ", Εκδόσεις ΜΕΛΙΣΣΑ, Αθήνα, Ελλάδα, 1983
- [3] Μαρία Δούση, Μιχαήλ Ε. Νομικός, "Η επίδραση του νεοκλασικισμού στην παραδοσιακή οικοδομική. Η περίπτωση του αρχοντικού Σαλίβερου στη Σαντορίνη.", 1^ο Εθνικό Συνέδριο Ιστορία των δομικών κατασκευών, Ξάνθη, Ελλάδα, 2007.
- [4] Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, "Δομικά Υλικά", 10^η έκδοση, Gotsis Εκδόσεις, Πάτρα, Ελλάδα, 2013
- [5] Κανονισμός για αποτίμηση και δομητικές επεμβάσεις τοιχοποιίας ΚΑΔΕΤ 2023, ΦΕΚ 2493/Β/18/04/2023
- [6] Θεόδωρος Ματίκας -Δημήτριος Αγγέλης, "Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι", Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα, 2015.
- [7] Τ.Ο.Λ. Τεχνικός Οίκος Λογισμικού, "Φέρουσα Τοιχοποιία - Εγχειρίδιο τεκμηρίωσης & οδηγός χρήσης λογισμικού ΡΑΦ", Έκδοση 2023.xx, Ηράκλειο, Ελλάδα, 2023
- [8] Σπυράκος Κωνσταντίνος, "Κατασκευές από Τοιχοποιία – Αποτίμηση & Επεμβάσεις για σεισμικά φορτία", Εκδόσεις Εργονόμος ΙΚΕ, Αθήνα, Ελλάδα, 2019.
- [9] Μ. Παπαδρακάκης, "Ανάλυση φορέων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων", Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, Ελλάδα, 2001.
- [10] ACE HELLAS, "Εγχειρίδιο χρήσης λογισμικού ScadaPro – Αποτίμηση κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία", Αθήνα, 2023
- [11] Καραντώνη Φυλλίτσα, "Κατασκευές από τοιχοποιία – Σχεδιασμός & Επισκευές", 2^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, Ελλάδα, 2012.

