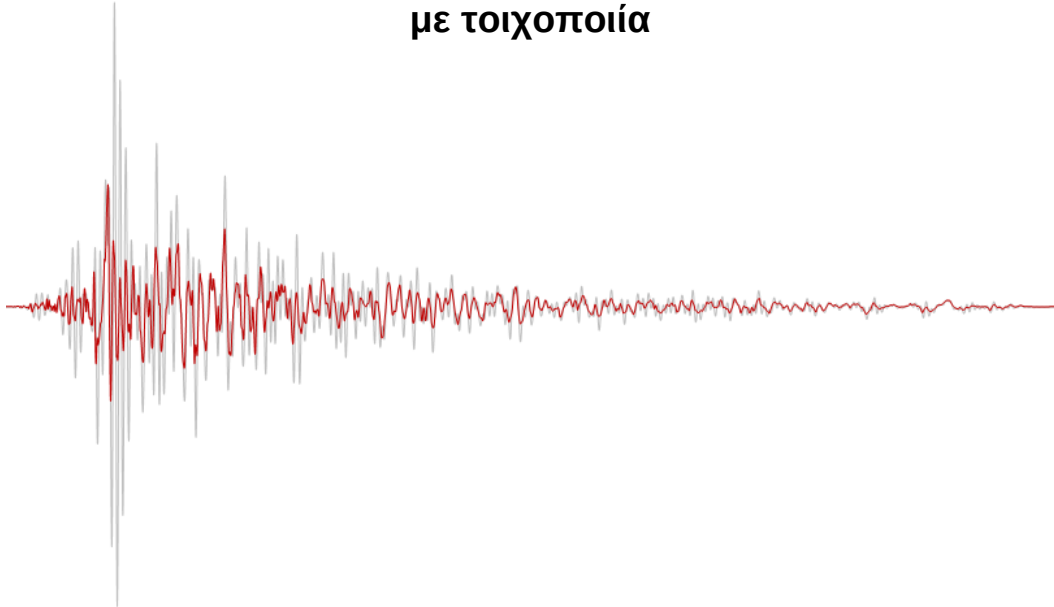




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΠΜΣ: ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Ά ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ
ΚΤΙΡΙΩΝ & ΣΥΝΟΛΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αντισεισμικός σχεδιασμός ξύλινων στεγών ιστορικών κτιρίων
με τοιχοποιία**



Σπουδάστρια: Στρατάκη Ευαγγελία

Επιβλέποντες Καθηγητές: Μουζάκης Χάρης

Τσακανίκα Ελευθερία

Σύμβουλος: Μιλτιάδου Ανδρονίκη

Αθήνα
Οκτώβριος 2017

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική αυτή εργασία οφείλω να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην εξέλιξη και ολοκλήρωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ Χ. Μουζάκη για τον απεριόριστο χρόνο που μου διέθεσε και τη συνεχή καθοδήγησή του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επίσης επιβλέπουσά καθηγήτρια Ε. Τσακανίκα για τη συνεχή στήριξή της. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύμβουλο καθηγήτρια Α. Μιλτιάδου, την δρα Λ. Καραπίπτα και την υπ. δρα Λ. Πανουτσοπούλου που μου προσέφεραν τη πολύτιμη βοήθειά τους όποτε τη χρειάστηκα.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους μου προσέφεραν υλικό ή συμβουλές ή τη στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συνεχή στήριξή τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή	10
1.1 Ξύλο.....	10
1.2 Ξύλινες στέγες.....	14
2. Περιγραφή του προβλήματος.....	22
2.1 Ξύλινη στέγη και παθολογία.....	22
2.2 Ερμηνεία παθολογίας - Στόχος διπλωματικής εργασίας.....	26
3. Φάσμα απόκρισης ορόφου.....	28
3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	28
3.2 Κανονισμοί.....	29
3.2.1 EC8.....	29
3.2.2 ΕΑΚ2000.....	31
4. Αναλυτική διερεύνηση.....	34
4.1 Εισαγωγή.....	34
4.2 Υλικά και προσομοίωση υλικών.....	34
4.3 Σεισμικές διεγέρσεις.....	40
4.4 Κτίσματα με δίρριχτες στέγες.....	43
4.4.1 Κτίριο I.A.....	43
4.4.2 Κτίριο I.B.....	53
4.4.3 Κτίριο II.A.....	54
4.4.4 Κτίριο II.B.....	56
4.4.5 Κτίριο III.A.....	57
4.4.6 Κτίριο III.B.....	59
4.4.7 Κτίριο IV.A.....	60
4.4.8 Κτίριο IV.B.....	62
4.4.9 Κτίριο V.A.....	63
4.4.10 Κτίριο V.B.....	65
4.5 Κτίσματα με τετράρριχτες στέγες.....	66
4.5.1 Κτίριο VI.A.....	66
4.5.2 Κτίριο VI.B.....	69
4.5.3 Κτίριο VI.Γ.....	70

4.5.4	Κτίριο VI.Δ.....	72
4.5.5	Κτίριο VI.Ε.....	73
4.5.6	Κτίριο VII.Α.....	74
4.5.7	Κτίριο VII.Β.....	77
4.5.8	Κτίριο VII.Γ.....	78
4.5.9	Κτίριο VIII.....	79
4.5.10	Κτίριο ΙΧ.Α.....	82
4.5.11	Κτίριο ΙΧ.Β.....	85
4.5.12	Κτίριο ΙΧ.Γ.....	86
4.5.13	Κτίριο ΙΧ.Δ.....	88
4.5.14	Κτίριο ΙΧ.Ε.....	89
5.	Προτάση.....	92
5.1	Εισαγωγή.....	92
5.2	Ιδιοπερίοδος.....	92
5.3	Μεγεθυντικός συντελεστής.....	93
5.4	Κατασκευή φάσματος ορόφου.....	94
5.5	Παράδειγμα.....	97
6.	Συμπεράσματα.....	102
7.	Βιβλιογραφία.....	104

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα του αντισεισμικού σχεδιασμού των ξύλινων στεγών. Αρχικά, μέσω της παρουσίασης των συνήθως απαντώντων σεισμικών βλαβών σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία και ξύλινη στέγη διαπιστώνεται η ανάγκη προσδιορισμού των σεισμικών δυνάμεων που καταπονούν μία στέγη. Μέχρι σήμερα, για να προσδιοριστούν αυτές οι σεισμικές δυνάμεις είναι απαραίτητη η προσομοίωση του συνόλου της κατασκευής, καθώς η καταπόνηση της στέγης από το σεισμό είναι άμεσα συνυφασμένη με την καταπόνηση της υποκείμενης κατασκευής. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναζητά μία μέθοδο για την λύση αυτού του προβλήματος.

Έτσι, 26 διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευών υποβάλλονται σε γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας 7 διαφορετικών σεισμικών διεγέρσεων 2 διεθύνσεων. Συλλέγονται οι ιδιοπερίοδοι των κατασκευών και των στεγών τους, οι επιταχύνσεις στη στέψη και την κορυφή των στεγών. Στη συνέχεια, συγκρίνονται οι επιταχύνσεις που σημειώθηκαν με τις επιταχύνσεις που προέκυψαν από το φάσμα του κάθε σεισμού για την ιδιοπερίοδο κάθε κατασκευής και εξάγεται ένας μεγεθυντικός συντελεστής.

Ακολούθως, οι ιδιοπερίοδοι και οι μεγεθυντικοί συντελεστές που έχουν προκύψει επεξεργάζονται στατιστικά. Η στατιστική επεξεργασία έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή τύπου που εκτιμά την ιδιοπερίοδο μιας κατασκευής χωρίς την αναλυτική προσομοίωσή της, ενώ διαπιστώνεται πως ο μεγεθυντικός συντελεστής στην πλειοψηφία των περιπτώσεων κινείται μεταξύ συγκεκριμένων ορίων.

Τέλος, από τις 14 σεισμικές διεγέρσεις (7 σεισμοί 2 διεθύνσεων) εξάγονται τα φάσματα ορόφου για ιδιοπεριόδους κατασκευής ($T=0.1\text{sec}$ έως $T=1.5\text{sec}$). Μετά από επεξεργασία των φασμάτων, προκύπτει μέσο φάσμα ορόφου το οποίο, αφού προσαρμοσθεί στα δεδομένα της κάθε κατασκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σεισμική ανάλυση της στέγης.

Abstract

This study addresses the subject of seismic design of wooden roofs. Initially common seismic failures of buildings with wooden roofs are presented. The failures prove that the need to determine the seismic forces that act on a roof is critical. Up until today, it is necessary to simulate the whole construction in order to determine the seismic forces at the level of the roof, as the stress of the roof due to the earthquake is interwoven with the stress of the underlying structure. The current diploma thesis investigates the solution to this problem.

Thus, 26 different construction cases are subjected to linear time histories of seven different seismic stimulations of 2 directions. The fundamental eigenvalues of the buildings and their roofs are collected, as well as the accelerations at the upper level of the structure and the upper level of the roof. Afterwards, the aforementioned accelerations are compared with spectrum accelerations and a magnification coefficient is derived.

Subsequently, eigenvalues and magnitude coefficients are analysed statistically. As a result, a mathematical formula that estimates the eigenvalue of a construction without its analytical simulation is extracted, while magnification coefficient appears to range between specified limits for the majority of the cases.

Finally, processing 14 seismic excitations (7 earthquakes of 2 directions), a number of floor response spectra are extracted for construction eigenvalues ranging from $T = 0.1\text{sec}$ to $T=1.5\text{sec}$. In the end, a mean floor response spectrum is obtained which, can be used for seismic analysis of the roof.



Εικόνα 1.0: Ξύλο και διατομές [33]

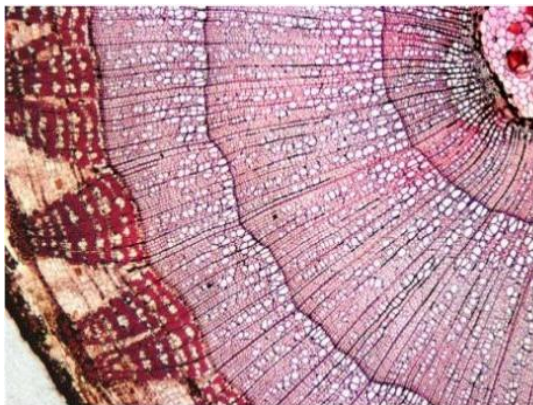
1. Εισαγωγή

1.1 Ξύλο

Ένα από τα πρώτα υλικά που ο άνθρωπος άρχισε να εκμεταλλεύεται για να βελτιώσει τη διαβίωσή του πάνω στη γη ήταν το ξύλο. Η αφθονία του, η ευκολία στη επεξεργασία του αλλά και η συνεχής ανανέωση του συνέβαλαν σε αυτό. Το ξύλο, από τη χρήση του ως καύσιμη ύλη μέχρι τη χρήση του ως δομικό υλικό συνέβαλε ιδιαίτερα στην εξέλιξη της ποιότητας ζωής του ανθρώπου.

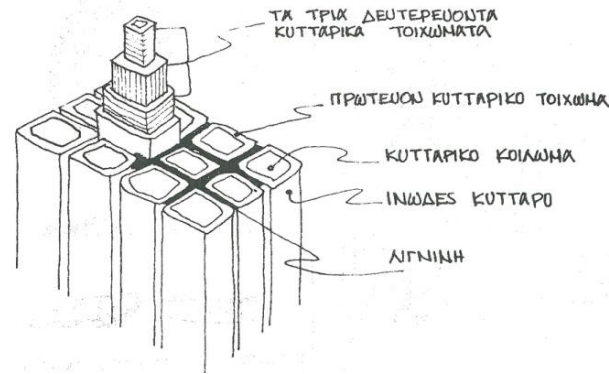
Το ξύλο, ως δομικό υλικό, έπαιξε καθοριστικό ρόλο σε όλες τις περιόδους της ελληνικής αρχιτεκτονικής. Αυτό αποδεικνύεται καθώς είτε χρησιμοποιήθηκε ως κυρίαρχο δομικό υλικό για τη κατασκευή στεγών, οροφών, πατωμάτων, είτε σε συνεργασία με άλλα υλικά σε σύμμικτες κατασκευές όπως για παράδειγμα τη κατασκευή τοιχοποιιών από αργολιθοδομή ή ωμοπλινθοδομή ενισχυμένες έναντι κατακόρυφων αλλά και οριζόντιων φορτίων με ξυλοδεσιές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, το ανάκτορο του Μίνωα αποτελεί μικτή κατασκευή ξύλου και τοιχοποιίας με το ξύλο να παίζει ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο καθώς ανά 1 έως 3 μέτρα υπήρχαν ξύλινα τρισδιάστατα πλαίσια που ενίσχυαν την απόκριση της κατασκευής έναντι σεισμού. Ενώ κατά τη αρχαϊκή κυρίως περίοδο αλλά και μεταγενέστερα, ναοί, στοές και οικίες κατασκευάζονταν εξ' ολοκλήρου ή εν μέρει από ξύλο.

Όσον αφορά τη χημική σύσταση του ξύλου, αυτό αποτελείται σε ποσοστό 99% από οργανικές ενώσεις ενώ το υπόλοιπο 1% καταλαμβάνουν στοιχεία και ενώσεις όπως άζωτο, μέταλλα, θείο, πυρίτιο, τοξικές ενώσεις. Το δέντρο εκμεταλλεύεται το υδρογόνο και το οξυγόνο που περιέχει το νερό που λαμβάνει από το έδαφος, το οποίο αποτελεί και το κύριο συστατικό του χυμού του. Τέλος δεσμεύει το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και μέσω της φωτοσύνθεσης απελευθερώνει οξυγόνο και οργανικές ουσίες απαραίτητες για την ανάπτυξη και τη συντήρηση του δέντρου.



Εικόνα 1.1: Κυτταρικός ιστός ξύλου [34]

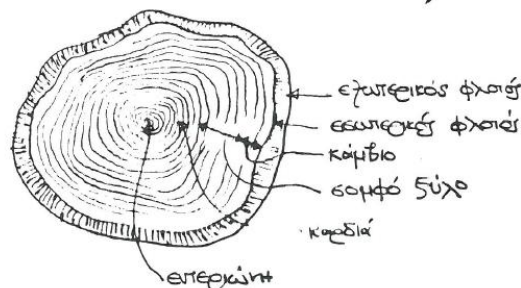
Το ξύλο αποτελείται από σειρές ινωδών κυττάρων συνενωμένων κατά μήκος τη εξωτερικής τους επιφάνειας με μία κολλώδη ουσία, τη λιγνίνη όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα. Η πλειονότητα των ινωδών κυττάρων είναι προσανατολισμένα κατακόρυφα μέσα στο δέντρο. Τα κυτταρικά αυτά στοιχεία έχουν σημαντικά μεγαλύτερη ακαμψία αλλά και εφελκυστική αντοχή κατά μήκος του κύριου άξονά τους, φαινόμενο που έχει σαν αποτέλεσμα το ξύλο ως υλικό να έχει διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες διεύθυνση, με άλλα λόγια, πρόκειται για ανισότροπο υλικό.



Εικόνα 1.2: Κυτταρική δομή ξύλου [11]

Τα δέντρα τα οποία είναι εκμεταλλεύσιμα για την παραγωγή δομικής ξυλείας διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα πλατύφυλλα (φυλλοβόλα, αγγειόσπερμα, π.χ. δρυς, οξιά κ.τ.λ.) και τα κωνοφόρα (αιθθαλή, γυμνόσπερμα, π.χ. πεύκο, έλατο, κυπαρίσσι). Έχει επικρατήσει η ξυλεία των κωνοφόρων να ονομάζεται «μαλακή ξυλεία» ενώ των πλατύφυλλων ως «σκληρή ξυλεία» χωρίς ωστόσο οι χαρακτηρισμοί αυτοί να επιβεβαιώνονται καθολικά.

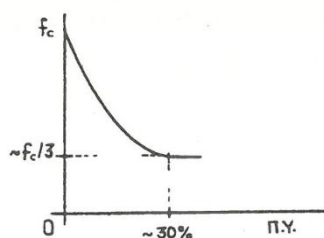
Σε μία τομή κάθετα στον κατακόρυφο άξονα του κορμού διακρίνονται εύκολα τα στρώματα¹ που απαρτίζουν το εσωτερικό του δέντρου. Το πάχος του κάθε στρώματος εξαρτάται από το είδος και την ηλικία του δέντρου. Τα στρώματα από έξω προς τα μέσα(εικόνα 1.3) είναι ο φλοιός, υπεύθυνος για την προστασία του δέντρου, το κάμβιο, λεπτό αναπτυσσόμενο στρώμα που δημιουργεί τον εσωτερικό φλοιό προς τα έξω και το σομφό ξύλο προς τα μέσα. Ανά έτος το κάμβιο σχηματίζει ένα αυξητικό ή ετησιο δακτύλιο. Ακολουθεί το σομφό ξύλο, συνήθως ανοιχτόχρωμη ζώνη, στο πλαίσιο του οποίου πραγματοποιείται η κυκλοφορία του χυμού από τις ρίζες στα φύλλα. Το καρδιόξυλο ή εγκάρδιο ξύλο, σκουρόχρωμη ζώνη που περιβάλλεται από το σομφό ξύλο, είναι μία αδρανής στρώση που αποτελεί το κυριότερο φέρον τμήμα του δέντρου. Σε αυτήν τη περιοχή υπάρχει η καλύτερη ποιότητα ξυλείας του κορμού. Τέλος, εντερώνη ονομάζεται ο κεντρικός πυρήνας του δέντρου και περιλαμβάνει τον ιστό που ευθύνεται για την καθ' ύψος ανάπτυξη του δέντρου.



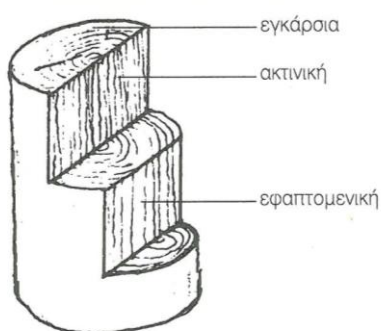
Εικόνα 1.3: Εσωτερική δομή ξύλου [9]

¹ Τα στρώματα που αναφέρονται αφορούν τα δέντρα που υπάγονται στην εξωγενή ξυλεία, και περιλαμβάνει σχεδόν όλους τους τύπους της δομικής ξυλείας. Στην ενδογενή ξυλεία τα στρώματα που αναλύονται δεν είναι διακριτά.

Το ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό. Αυτό σημαίνει πως είτε θα απορροφήσει υγρασία από το περιβάλλον του είτε θα αποβάλει υγρασία έτσι ώστε τελικά η περιεχόμενη σε αυτό υγρασία να ισορροπήσει με την υγρασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα το *δεσμευμένο νερό* βρίσκεται στα τοιχώματα των κυττάρων ενώ το *ελεύθερο νερό* στους πόρους του ξύλου. Το δεσμευμένο νερό ασκεί μεγάλη επιρροή στις μηχανικές ιδιότητες (Εικόνα 1.4) καθώς και στις ογκομετρικές μεταβολές του ξύλου. Το ελεύθερο νερό μπορεί να προσθέσει στο ξύλο μόνο βάρος και είναι και αυτό που εγκαταλείπει πρώτο το ξύλο κατά τη ξήρανση του. Σημείο ινοκόρου ή σημείο κορεσμού του ξύλου ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία η υγρασία των τοιχωμάτων των κυττάρων έχει λάβει τη μέγιστη δυνατή τιμή, ενώ η υγρασία που θα απορροφηθεί μετά από αυτό το όριο θα συγκεντρωθεί στους πόρους του. Μέχρι το σημείο ινοκόρου ο όγκος του ξύλου αυξάνεται με τη πρόσληψη υγρασίας, ενώ μετά από αυτό αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας χωρίς καμία επίπτωση στον όγκο του ξύλου. Το σημείο ινοκόρου είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια πειραματικά, για τη συνήθη δομική ξυλεία η τιμή του είναι γύρω στο 30%.

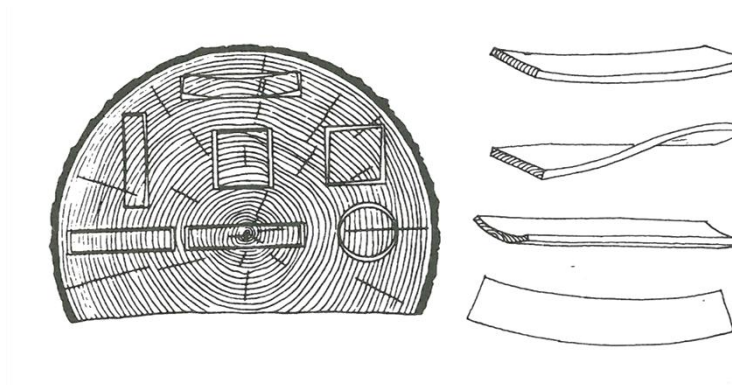


Εικόνα 1.4: Μεταβολή θλιπτικής αντοχής του ξύλου σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία [9]



Εικόνα 1.5: Διευθύνσεις κοπής ξύλου [9]

Η συστολή του ξύλου που προκαλείται από την αποβολή του νερού δεν είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις. Παρατηρείται ότι μεγαλύτερη είναι η παραμόρφωση εφαπτομενικά στους ετήσιους δακτυλίους (Εικόνα 1.5). Αμέσως μικρότερη είναι η συστολή κατά την ακτινική διεύθυνση ενώ σημαντικά μικρότερη είναι η διαμήκης συστολή ξηράνσεως. Επομένως, ένα κομμάτι ξυλείας παραμορφώνεται κατά τη ξηράνσή του ανομοιόμορφα και ανάλογα με τη θέση κοπής (Εικόνα 1.6). Έτσι είναι πιθανό διατομές ή επιφάνειες να στρεβλώσουν ή να εμφανισθούν διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές.



Εικόνα 1.6: Χαρακτηριστικές μορφές παραμορφώσεων ξύλου [9]

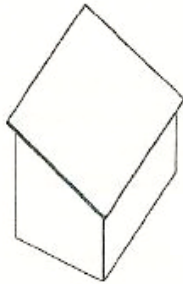
1.2 Ξύλινες στέγες

Το ανώτερο τμήμα μιας κατασκευής, το οποίο έχει σκοπό να προστατέψει τη κατασκευή και τους ενοίκους της από καιρικά φαινόμενα και εξωτερικούς παράγοντες ονομάζεται στέγη. Ο όρος έχει επικρατήσει σχεδόν αποκλειστικά για κεκλιμένες στέγες ενώ η οριζόντια (επίπεδη) στέγη καλείται δώμα. Η μορφή της στέγης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Ταυτόχρονα τα παραδοσιακά συστήματα στέγασης αποτελούν ειδικό κεφάλαιο της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής καθώς οι μάστορες καλούνταν να συνδυάσουν το διαθέσιμο υλικό της περιοχής και την τεχνογνωσία της εποχής με σκοπό την κάλυψη των αναγκών των χρηστών και τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους.

Η στέγη μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα κεκλιμένα επίπεδα τα οποία ονομάζονται πλευρές ή έδρες ή πανιά (μαστορική ορολογία). Έτσι οι στέγες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

Μονόρριχτη στέγη

Αποτελείται από ένα κεκλιμένο επίπεδο στέγασης σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου.



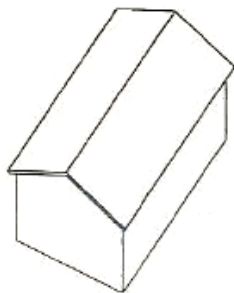
Εικόνα 1.7: Μονόρριχτη στέγη [25]



Εικόνα 1.9: Κατοικία με μονόρριχτη στέγη [28]

Δίρριχτη στέγη

Αποτελείται από δύο επίπεδα στέγασης, σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου.



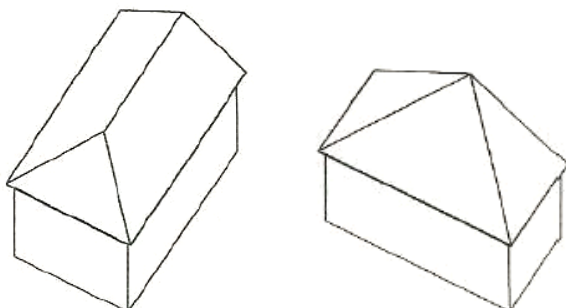
Εικόνα 1.10: Δίρριχτη στέγη [25]



Εικόνα 1.11: Δίρριχτες στέγες στο Πάρκο Λαυρίου [29]

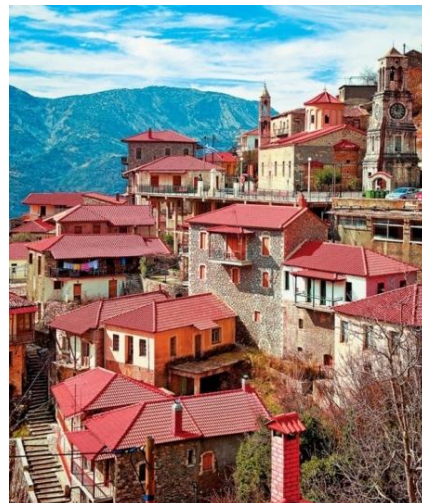
Τρίριχητη στέγη

Αποτελείται από τρία επίπεδα στέγασης, τα οποία έχουν σχήμα τριγώνου ή τραapeζίου.



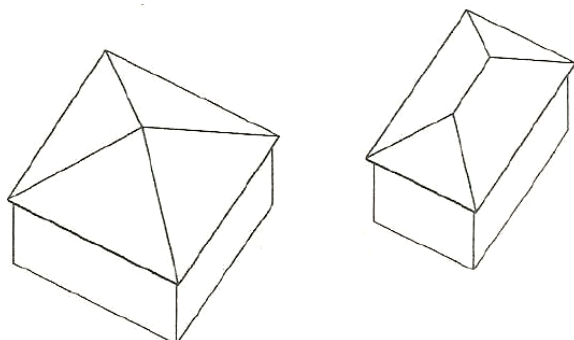
Εικόνα 1.12 (πάνω): Τρίριχτές στέγες [25]

Εικόνα 1.13 (δεξιά): Τρίριχτες στέγες στα Λαγκάδια [30]



Τετράριχητη στέγη

Αντίστοιχα αποτελείται από 4 επίπεδα στέγασης σχήματος τριγώνου ή τραapeζίου.

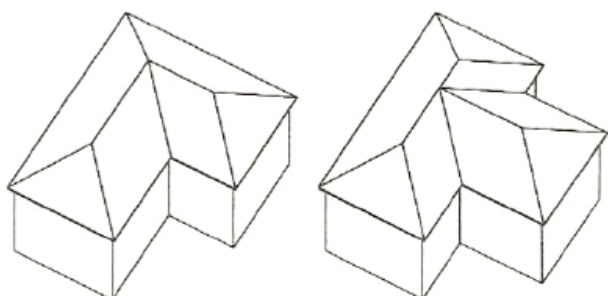


Εικόνα 1.14 (πάνω): Τετράριχτες στέγες [25]

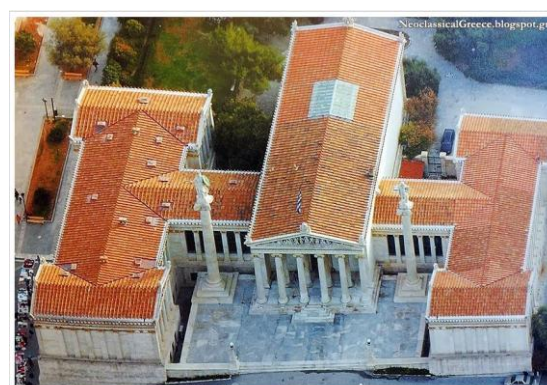
Εικόνα 1.15 (δεξιά): Τετράριχτες στέγες στα Γιάννενα



Ακόμα, όταν η κάτοψη της κατασκευής είναι πολύπλοκη τότε εμφανίζονται πολυεδρικές στέγες. Είναι δυνατόν όταν το άνοιγμα που καλύπτει το κάθε πτερύγιο της στέγης διαφέρει, αυτές να εμφανίζουν διακυμάνσεις στο ύψος μεταξύ των πτερυγίων.

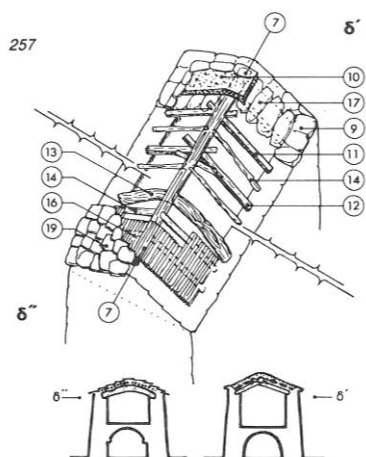


Εικόνα 1.16 (πάνω): Πολυεδρικές στέγες [25]



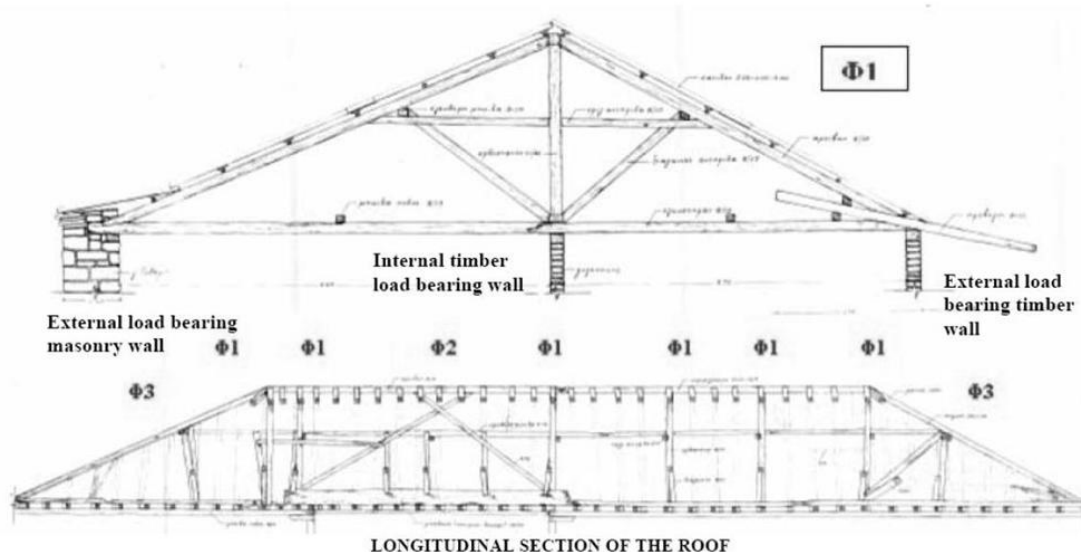
Εικόνα 1.17 (δεξιά): Εναέρια άποψη της Ακαδημίας Αθηνών[32]

Η κατάλληλη κλίση της στέγης καθορίζεται από παράγοντες όπως οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής (βροχόπτωση, χιόνια) και από το βάρος και τον τρόπο τοποθέτησης του υλικού επικάλυψης, για παράδειγμα αν τα κεραμίδια είναι ακουμπιστά ή δετά. Στον Ελλαδικό χώρο απαντώνται στέγες με κλίσεις από 30% έως 50%.

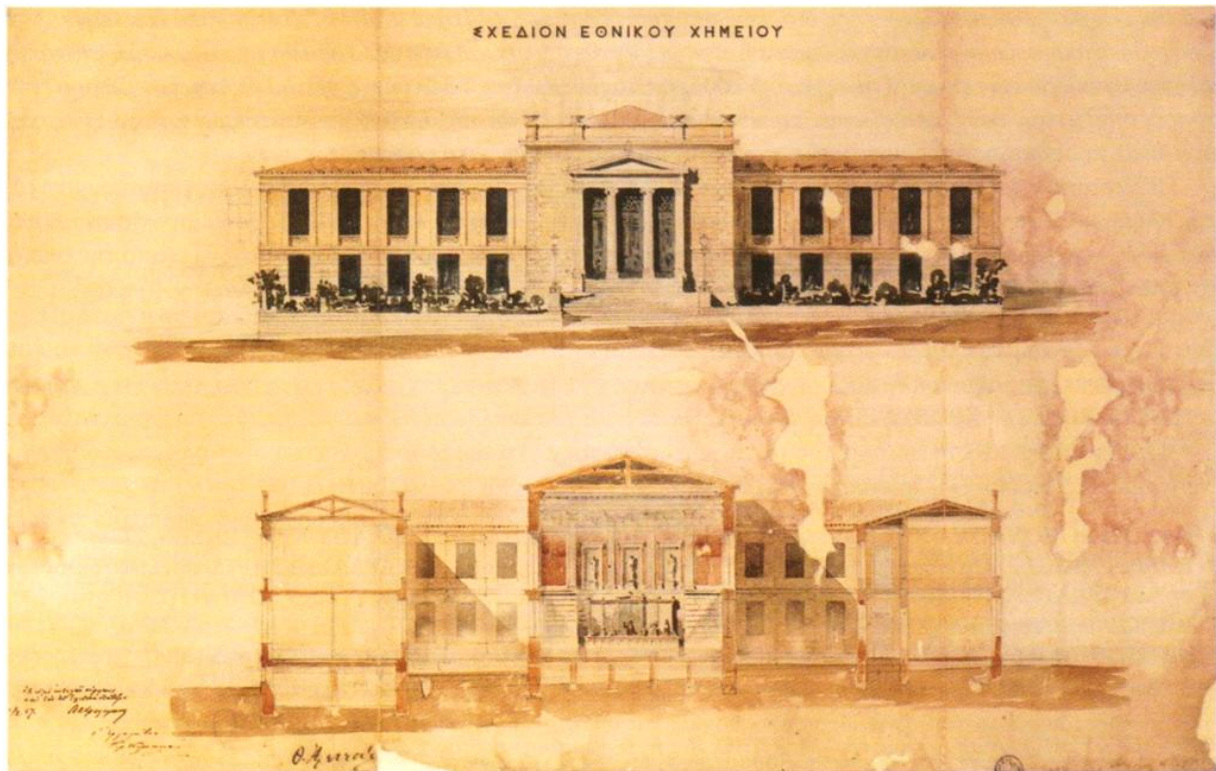


Εικόνα 1.18: Στέγη μορφής Λ στην Μάνη [12]

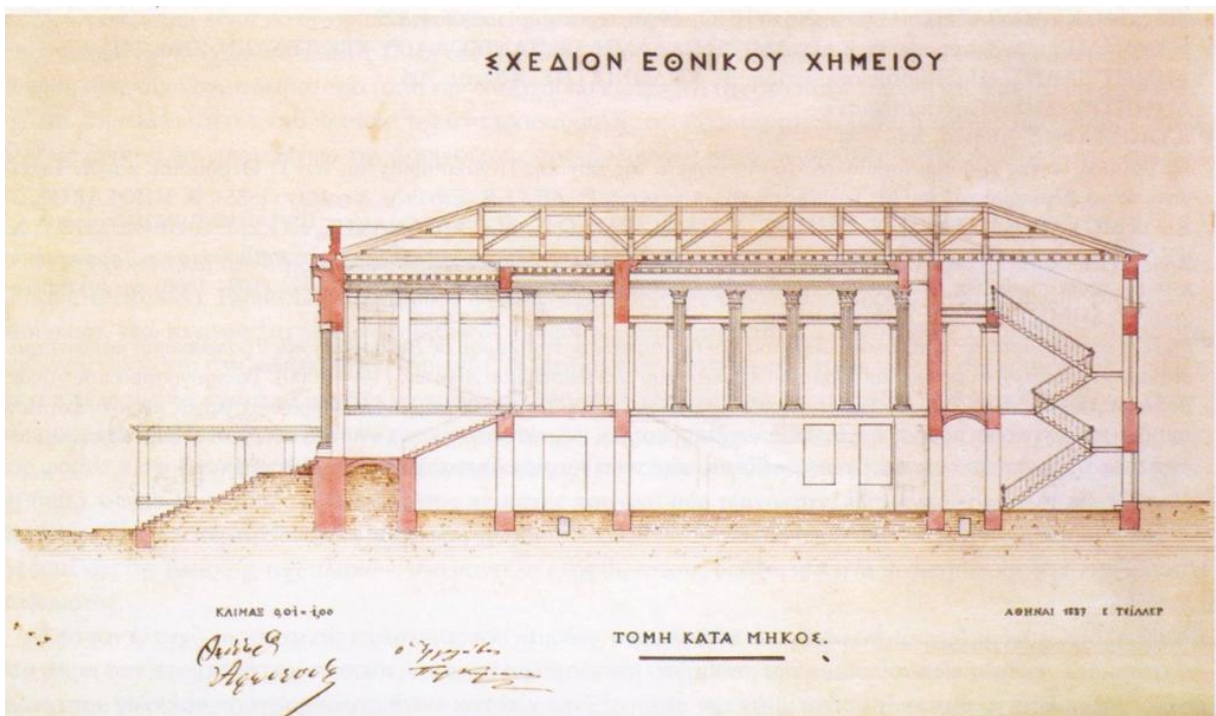
Οι στέγες ανάλογα με τον κύριο φορέα τους διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. τις κρεμαστές και τις στέγες τύπου «δοκού επί στύλου». Οι στέγες τύπου «δοκού επί στύλου» είναι στην πραγματικότητα ένα χωρικό σύστημα κεκλιμένων δοκών οι οποίες εδράζονται στους εξωτερικούς και εσωτερικούς φέροντες τοίχους του κτιρίου. Αυτός ο τύπος στέγης συχνά αναφέρεται ως «καθιστή στέγη» ή φορέας πυκνού σκελετού, καθώς οι κεκλιμένες δοκοί είναι πυκνά τοποθετημένες. Συνήθως δεν υπάρχουν τεγίδες αλλά το σανίδωμα τοποθετείται απ' ευθείας πάνω στις κεκλιμένες δοκούς. Στην ελληνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική κυριαρχεί αυτός ο τύπος στέγης, ο οποίος χρησιμοποιούνταν ήδη από τη βυζαντινή περίοδο. Άξια αναφοράς είναι η περίπτωση που τη στέγη μορφώνουν ζεύγη αντιστηριζόμενων δοκών, οι οποίες εδράζονται στην υποκείμενη τοιχοποιία. Η στέγη αυτή ονομάζεται αντιστηριζόμενη ή τύπου Λ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη στέγαση μικρών ανοιγμάτων, ενώ πρέπει να σημειωθεί πως μεταφέρει πλάγιες ωθήσεις τους υποκείμενους τοίχους.



Εικόνα 1.19: Στέγη δοκού επί στύλου. Αρχοντικό Μπενιζέλων Αθήνα [27]

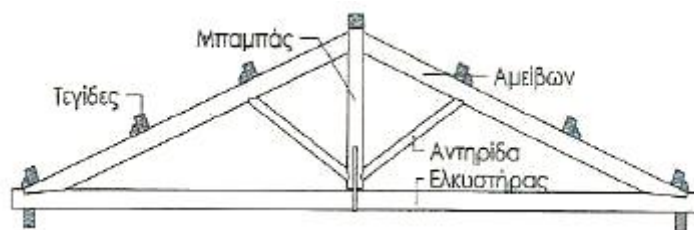


Εικόνα 1.20: Πρόσοψη και κατά πλάτος τομή του Εθνικού Χημείου. Υδατογραφία του E. Ziller (1885) [6]

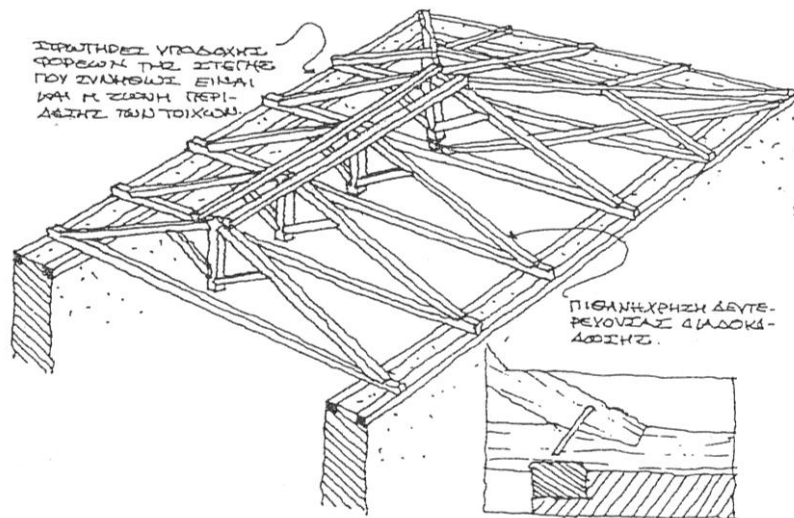


Εικόνα 1.21: Κατά μήκος τομή του Εθνικού Χημείου. Υδατογραφία του E. Ziller (1885) [6]

Η κρεμαστή στέγη μορφώνεται από επαναλαμβανόμενους ανά ίσες αποστάσεις δικτυωτούς φορείς, τα ζευκτά. Τα ζευκτά εδράζονται μόνο στους εξωτερικούς τοίχους και συνδέονται μεταξύ τους με τις τεγίδες. Ένα τυπικό ζευκτό αποτελείται από τις κεκλιμένες δοκούς: αμείβοντες, οι οποίοι αντιστηρίζονται από τις αντηρίδες με τη βοήθεια του ορθοστάτη ή μπαμπάς και την οριζόντια δοκό: ελκυστήρα. Ο ορθοστάτης δεν εφάπτεται με τον ελκυστήρα προκειμένου να μην μεταβιβάζει σε αυτόν φορτία. Εντούτοις ο ελκυστήρας αναρτάται από τον ορθοστάτη μέσω μεταλλικού ελάσματος αναλαμβάνοντας μέρος του ίδιου βάρους του, και καθιστώντας εφικτό με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα γεφύρωσης μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσων στηρίξεων. Όπως φαίνεται και στις εικόνες 1.22, 1.23, οι αμείβοντες εδράζονται πάνω στους ελκυστήρες και μέσω της σύνδεσης τους με τους τελευταίους, η οριζόντια συνιστώσα το αξονικού φορτίου του αμείβοντα παραλαμβάνεται από τον ελκυστήρα. Με αυτόν τον μηχανισμό μεταφέρει στην υποκείμενη κατασκευή μόνο κατακόρυφα φορτία. Πέρα από το τυπικό ζευκτό συναντά κανείς διάφορες παραλλαγές ζευκτών. Ακόμα, για την ενίσχυση της δυναμικής συμπεριφοράς της στέγης εκτός του επιπέδου των ζευκτών κάποιες φορές προστίθενται επιπλέον σύνδεσμοι μεταξύ τους. Στις εικόνες 1.20 και 1.21 παρουσιάζεται η στέγη του Εθνικού Χημείου, όπου τα ζευκτά συνδέονται μεταξύ τους με διαγώνιους συνδέσμους.



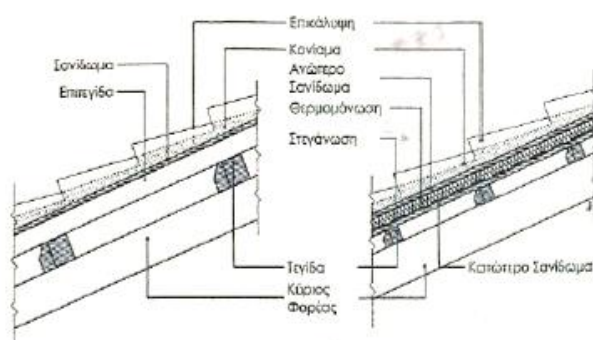
Εικόνα 1.22: Ονόματα μελών τυπικού ζευκτού [25]



Εικόνα 1.23: Σκίτσο κρεμαστής στέγης [26]

Πάνω στον κύριο φορέα της στέγης στερεώνεται ο δευτερεύον φορέας . Αυτός απαρτίζεται από τις τεγίδες, οριζόντια στοιχεία σχετικά μικρής διατομής και πάνω από αυτές οι επιτεγίδες. Οι επιτεγίδες είναι επίσης στοιχεία μικρής διατομής παράλληλα στην κλίση της στέγης. Ο δευτερεύον αυτός φορέας είναι ο σκελετός της επικάλυψης. Είναι πιθανόν να μην υπάρχουν επιτεγίδες ή ακόμα και τεγίδες όταν τα μέλη του κύριου φορέα είναι πολύ πυκνά.

Η επικάλυψη της στέγης είναι αυτή που προστατεύει τόσο την ίδια όσο και την υποκείμενη κατασκευή από τις καιρικές συνθήκες. Κεραμικά κεραμίδια, σχιστόπλακες είναι κάποια από τα στοιχεία που μορφώνουν την επικάλυψη μιας στέγης. Το υλικό της επικάλυψης είτε τοποθετείται κολυμβητό σε κονίαμα, είτε καρφώνεται βιδώνεται ή δένεται. Ανάλογα με το υλικό της επικάλυψης, πολλές φορές χρησιμοποιείται ως βάση της επικάλυψης συνεχής επιφάνεια (στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική αποτελούμενη από σανίδες) το σανίδωμα ή αλλιώς πέτσωμα. Στις σύγχρονες στέγες το πέτσωμα αξιοποιείται για την εφαρμογή θερμομόνωσης, υγρομόνωσης, κτλ.



Εικόνα 1.24: Λεπτομέρεια με μονό ή διπλό σανίδωμα αντίστοιχα [25]

Το συνηθέστερο υλικό επικάλυψης είναι τα κεραμίδια. Υπάρχουν διαφόρων ειδών κεραμίδια ενώ τα πιο συνηθισμένα είναι τα βυζαντινά, τα ρωμαϊκά και τα πτυχωτά (Εικόνα 1.25). Τα βυζαντινά κεραμίδια (κοίλα κεραμίδια) αποτελούνται από στρωτήρες (ή λούκια) και καλυπτήρες ή καπάκια. Τοποθετούνται συνήθως κολυμβητά πάνω σε σανίδωμα, ενώ ακόμα μπορούν να τοποθετηθούν εν ξηρώ ή πάνω σε καδρόνια. Στα ρωμαϊκά κεραμίδια το λούκι και το καπάκι έχουν ενσωματωθεί. Τα Γαλλικά κεραμίδια (πτυχωτά κεραμίδια) δένονται πάνω σε ξύλινα καδρόνια που τοποθετούνται ανά αποστάσεις ανάλογες με το μήκος των κεραμιδιών. Σε όλες τις περιπτώσεις τα κεραμίδια των κορυφογραμμών και των ραχών τοποθετούνται κολυμβητά σε κονίαμα.

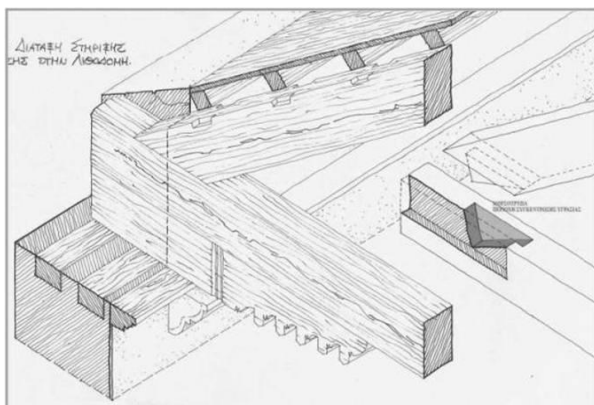


Εικόνα 1.25: Με τη σειρά: κολυμβητά, ρωμαϊκά και γαλλικά κεραμίδια

Η στέγη εδράζεται στη στέψη του κατακόρυφου οργανισμού. Στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική στην στέψη των φέρουσων τοιχοποιιών εδράζονται ή εγκιβωτίζονται ξύλινες δοκοί σε όλη τη περίμετρο της κατασκευής. Οι δοκοί αυτές ονομάζονται στρωτήρες και μέσω αυτών πραγματοποιείται η σύνδεση της στέγης με την υποκείμενη κατασκευή. Ακόμα, οι στρωτήρες χρησιμεύουν στην ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων της στέγης και ταυτόχρονα την περίδεση της κατασκευής στη στάθμη της στέψης, για αυτό έπρεπε να είναι επαρκώς συνδεδεμένοι σε όλη τη περίμετρο του κτηρίου. Στις σύγχρονες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά πολλές φορές και στις παραδοσιακές, η στέγη εδράζεται σε περιμετρική δοκό οπλισμένου σκυροδέματος (σενάζ).



Εικόνα 1.26: Απόληξεις ζευκτών και έλλειψη σύνδεσης με την υποκείμενη κατασκευή [27]



Εικόνα 1.27: Λεπτομέρεια έδρασης της στέγης [27]



Εικόνα 2.1(αριστερά), Εικόνα 2.2α(δεξιά): Κατάρρευση τοιχοποιίας εκτός του επιπέδου της, Βρίσσα ,Λέσβος 2017 [27]



Εικόνα 2.2.β:Κατάρρευση τοιχοποιίας εκτός του επιπέδου της. Βρίσσα .Λέσβος 2017 [27]

Εικόνα 2.3: Τμηματική κατάρρευση τοιχοποιίας, Κεφαλονιά, 2014 [27]

Εικόνα 2.4: κατάρρευση κατασκευής, Κεφαλονιά, 2014 [27]



2. Περιγραφή του προβλήματος

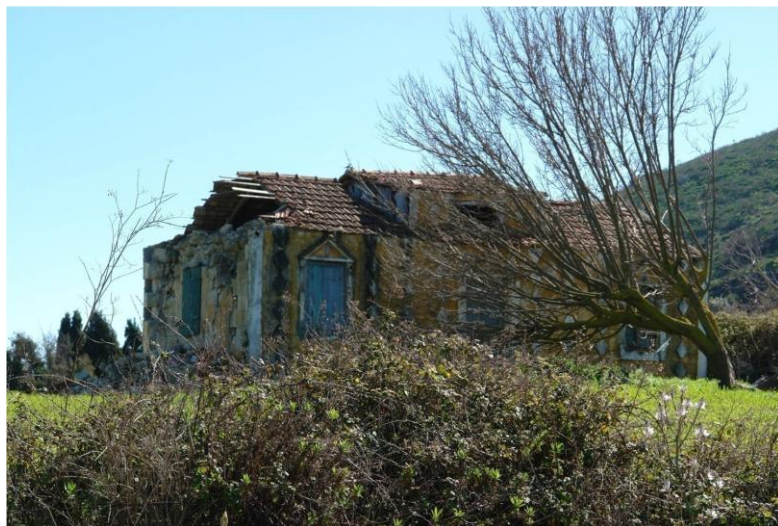
2.1 Ξύλινη στέγη και παθολογία

Η στέγη επιτελεί τον σημαντικότερο ρόλο της θωράκισης μιας κατασκευής έναντι των καιρικών συνθηκών. Αυτό δεν είναι κρίσιμο μόνο για τους ενοίκους και τον εξοπλισμό τους, αλλά και για την διατήρηση της επάρκειας των ίδιων των φερόντων μελών της κατασκευής. Η αδιάκοπη έκθεση στην βροχή, το χιόνι, την υγρασία και τις θερμοκρασιακές μεταβολές γενικότερα, φθείρει τα φέροντα μέλη και μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στην απώλειά τους. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της εικόνας που ακολουθεί που απεικονίζει εγκαταλελειμμένη κατασκευή στο Τεχνολογικό Πάρκο Λαυρίου.



Εικόνα 2.5: Εγκαταλελειμμένες εγκαταστάσεις στο Τεχνολογικό Πάρκο Λαυρίου

Η στέγη όμως εκτός από τα παραπάνω, μπορεί υπό προϋποθέσεις, να συμβάλει στην καλύτερη απόκριση μιας κατασκευής σε ένα σεισμικό φαινόμενο. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η στέγη να μπορεί να λειτουργήσει σαν διάφραγμα καθώς και να είναι επαρκώς συνδεδεμένη με την υποκείμενη κατασκευή στη στάθμη της έδρασής της. Οι εικόνες που ακολουθούν αποτυπώνουν βλάβες σε κατασκευές λόγω σεισμικών φαινομένων. Έτσι στις Εικόνες 2.1, 2.2, 2.10 οι εγκάρσιες στην διεύθυνση του σεισμού τοιχοποιίες κατέρρευσαν εκτός του επιπέδου τους, αν η τοιχοποιία ήταν επαρκώς συνδεδεμένη με τη στέγη η κατάρρευση δεν θα είχε αυτή την έκταση. Ακόμα ασύνδετες ή ανεπαρκώς συνδεδεμένες φαίνεται να είναι η στέγες των Εικόνων 2.3, 2.4, 2.10. Ταυτόχρονα αξίζει να σημειωθεί πως όταν η στέγη είναι διαφραγματοποιημένη και άκαμπτη αλλά η υποκείμενη τοιχοποιία δεν είναι αντίστοιχα ενισχυμένη οι βλάβες είναι αντίστοιχες (Εικόνα 2.10). Τέλος, η ανύπαρκτη σύνδεση των δικλινών στεγών με τα αετώματα έχει ως αποτέλεσμα τη κατάρρευσή τους όταν η σεισμική διέγερση λαμβάνει χώρα εγκάρσια στο επίπεδό τους (Εικόνες 2.6, 2.7, 2.8).



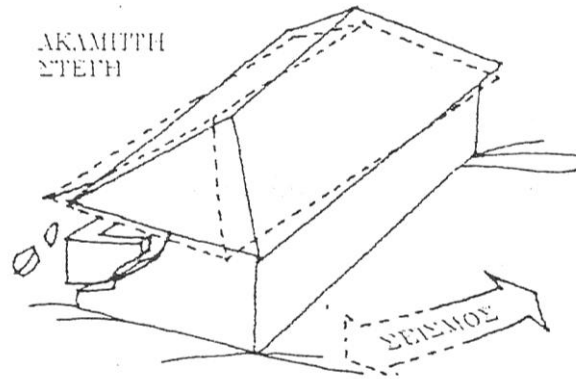
Εικόνες 2.6 , 2.7, 2.8 : Καταρρεύσεις αετωμάτων ,
Κεφαλονιά, 2014 [27]



Εικόνα 2.9α,2.9β : Απώλεια τμήματος της
επικάλυψης λόγω σεισμού, Κεφαλονιά, 2014 [27]

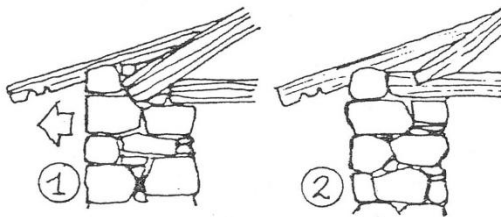


ΣΧ. 9 ΑΠΟ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΜΗΣΗ Σ'ΕΝΑ ΚΤΙΣΜΑ ΜΕ ΑΣΥΝΔΕΤΗ ΣΤΕΓΗ ΣΥΜΒΑΛΙΜΟΝΟΝ ΚΥΡΙΩΣ ΤΑ ΣΕΙΣ: Α - Ο ΚΑΘΕΤΟΣ ΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ "ΕΥΚΑΜΠΤΟΣ" ΤΟΙΧΟΣ ΤΕΙΝΕΙ ΝΑ ΠΕΣΕΙ ΠΡΟΣ ΤΑ ΕΞΩ. Β - Η ΑΣΥΝΔΕΤΗ ΣΤΕΓΗ (Η ΠΛΑΤΩΜΑ) ΒΟΗΘΕΙΕ ΣΤΗ ΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. Γ - ΟΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ ΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ "ΑΚΑΜΠΤΟΙ" ΤΟΙΧΟΙ ΔΕΝ ΕΠΙΠΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΣΟΒΑΡΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΕΙΣΜΟ.



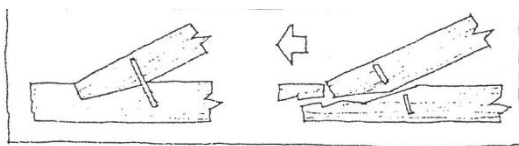
Εικόνα 2.10: Σκίτσα αναμενόμενων βλαβών [26]

Η μη επαρκής σύνδεση μπορεί να οφείλεται είτε σε κακό σχεδιασμό ή/και κακή υλοποίηση της συγκεκριμένης σύνδεσης εξ αρχής είτε σε αλλοίωση των συνδεόμενων μελών λόγω σήψης ή για οποιαδήποτε άλλη αιτία.



Δύο τυπικά παραδείγματα στεγών:

1. Με οριζόντια φόρτιση στον τοίχο.
2. Χωρίς οριζόντια φόρτιση στον τοίχο.



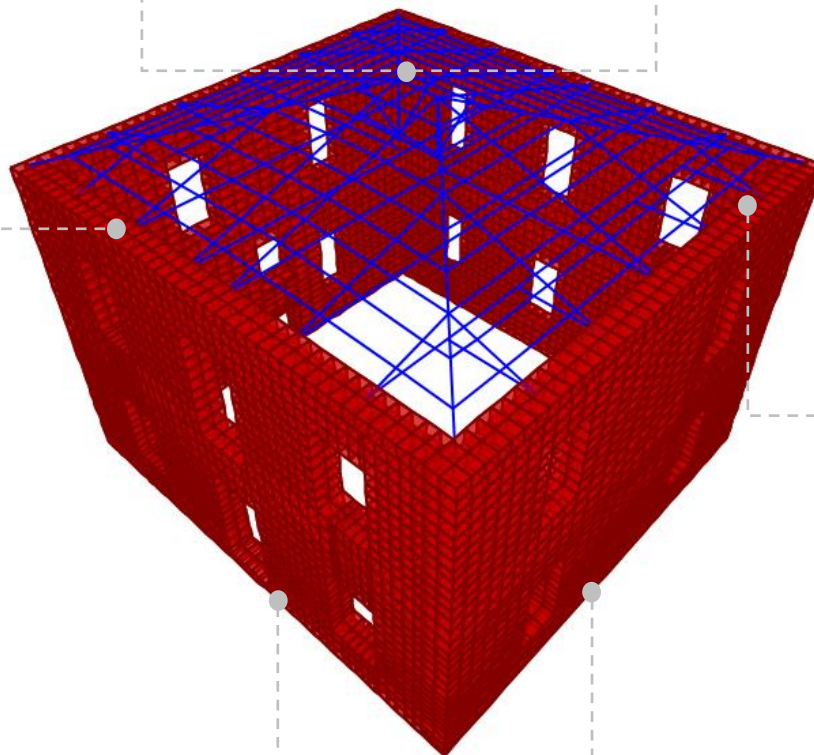
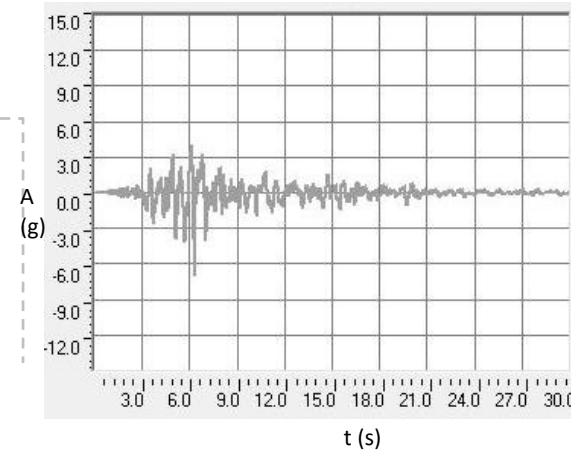
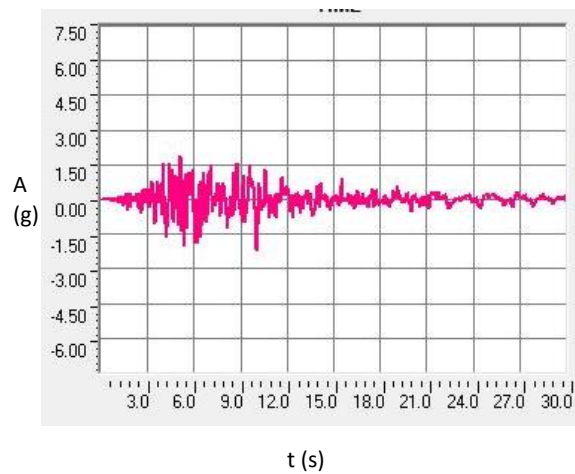
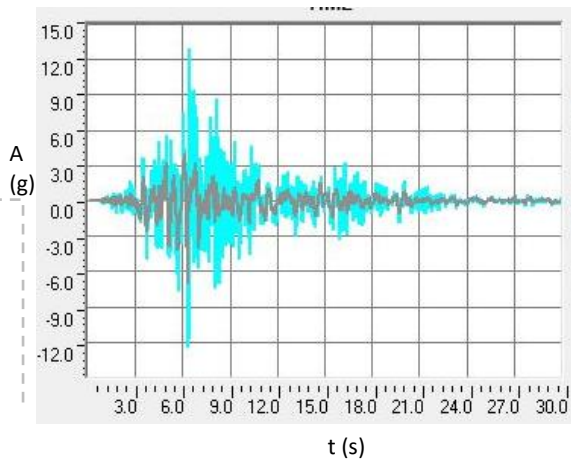
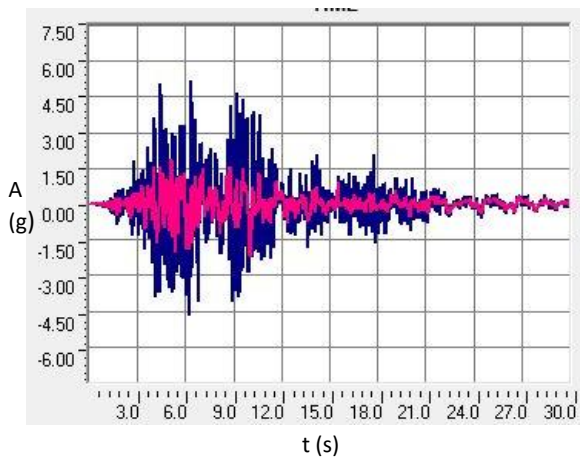
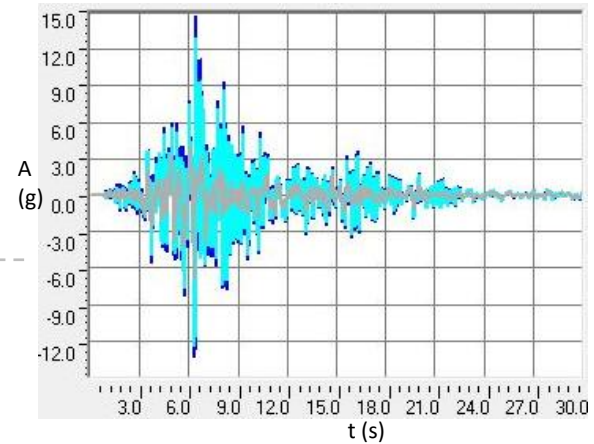
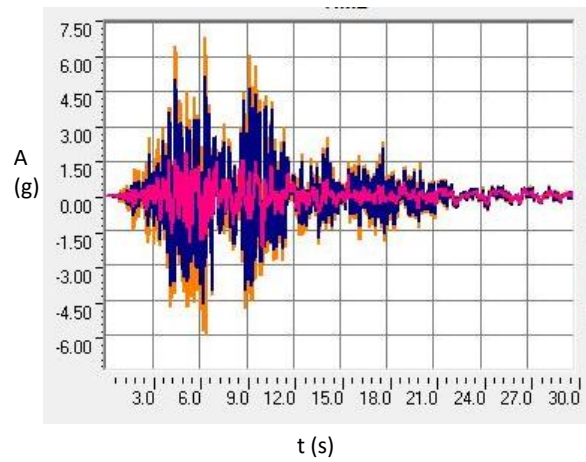
Συνήθης αστοχία ξύλινων στοιχείων ζευκτού εγκλωβισμένων μέσα στην τοιχοποιία.



Εικόνα 2.12: Αστοχία σύνδεσης [27]

Εικόνα 2.11: Πιθανές αστοχίες λόγω σχεδιασμού ή φθοράς [26]

Τέλος, η επικάλυψη της στέγης είναι επίσης ιδιαίτερα ευάλωτη στον σεισμό (Εικόνα 2.9). Για αυτό το λόγο ο τρόπος τοποθέτησής της οφείλει να έχει σχέση με τη σεισμικότητα της περιοχής. Ενώ ιδιαίτερη σημασία έχει η συντήρησή της επικάλυψης.



Εικόνα 2.13: Επιταχυνσιογραφήματα σεισμού σε διάφορες στάθμες

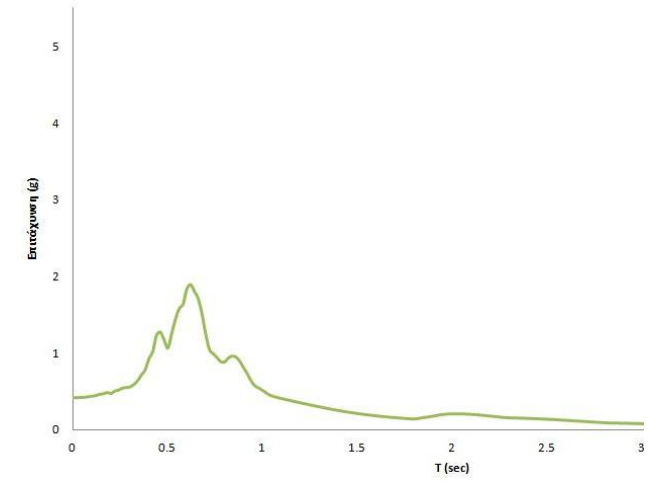
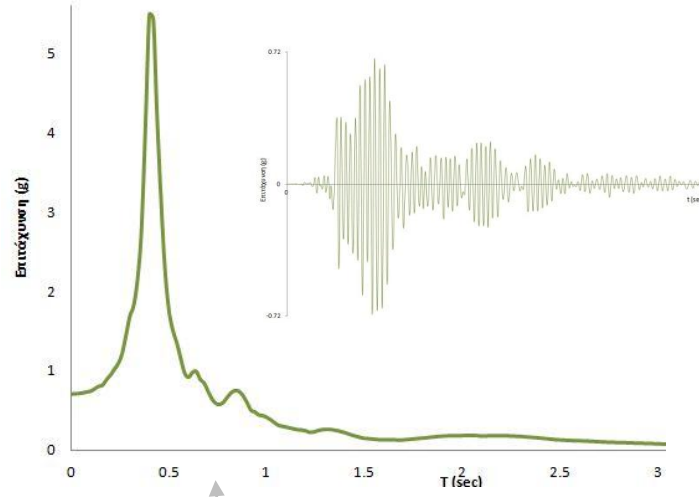
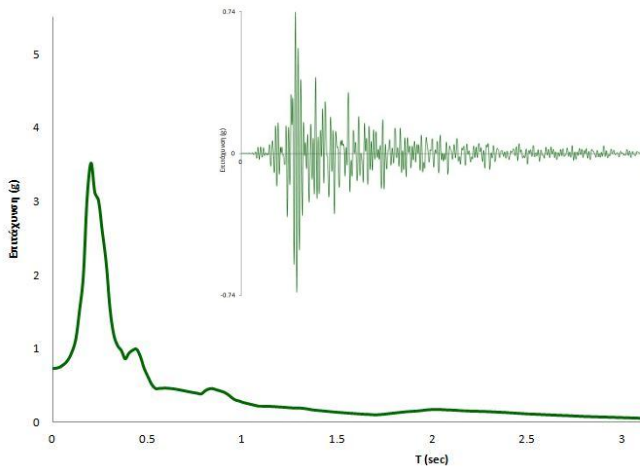
2.2 Ερμηνεία παθολογίας - Στόχος διπλωματικής εργασίας

Οι περισσότερες από τις βλάβες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οφείλονται στο σεισμό. Οι περισσότερες βλάβες που αποδίδονται σε σεισμικά φαινόμενα παρατηρούνται στην ψηλότερη στάθμη των κατασκευών. Η συχνότητα εκδήλωσης των βλαβών σε αυτή τη περιοχή εξηγείται στην εικόνα 2.13. Η επιτάχυνση που επιβάλλει η σεισμική διέγερση στη βάση της κατασκευής δεν είναι ίδια με την επιτάχυνση (άρα και τη σεισμική δύναμη) στη στέψη της. Ανάλογα με τα μηχανικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, τα σεισμικά αυτά μεγέθη μεγεθύνονται και αυτή η αύξηση δεν μπορεί να αγνοηθεί. Ακόμα μεγαλύτερη επιτάχυνση και ως εκ τούτου σεισμική δύναμη αναπτύσσεται στην κορυφή των αετωμάτων καθώς όχι μόνο αυτά βρίσκονται σε ακόμα μεγαλύτερο ύψος, αλλά επίσης συνήθως δεν είναι συνδεδεμένα με τις στέγες. Η συχνότητα εμφάνισης καταρρέψεων των αετωμάτων καταδεικνύει την αναγκαιότητα σύνδεσής τους με τις στέγες.

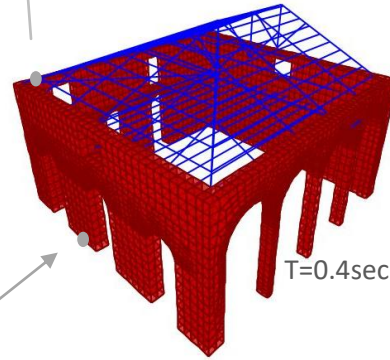
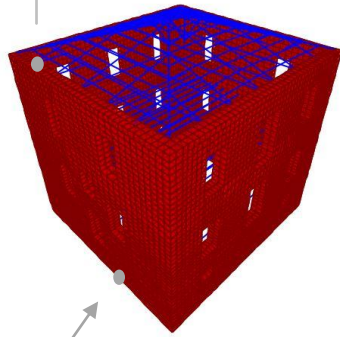
Η αύξηση της τιμής της σεισμικής δύναμης με το ύψος οδηγεί εύκολα στο συμπέρασμα πως η περιοχή σύνδεσης της κατασκευής με τη στέγη καταπονείται έντονα έναντι σεισμού. Όταν η σύνδεση αυτή είναι επαρκώς σχεδιασμένη, τότε ακόμα και αν εμφανισθούν βλάβες, όμοιες με αυτές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν θα είναι τόσο εκτεταμένες. Αυτό αναμένεται να συμβεί καθώς η εξασφάλιση της καλής σύνδεσης της στέγης με την υποκείμενη κατασκευή συνεισφέρει καθοριστικά στην βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής.

Όταν μία κατασκευή μελετάται και κατασκευάζεται εξ' αρχής τότε η εν λόγω σύνδεση έχει το υπόβαθρο να σχεδιασθεί επαρκώς, καθώς η σεισμική δύναμη που ασκείται στη στέγη είναι άμεσα συνυφασμένη με τη σεισμική δύναμη που ασκείται στην κατασκευή. Ο υπολογισμός των σεισμικών δυνάμεων που καταπονούν μία κατασκευή ανάλογα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται, το έδαφος στο οποίο είναι θεμελιωμένη, και φυσικά τα χαρακτηριστικά της γίνεται με τη βοήθεια των κανονισμών (EC8). Στην περίπτωση όμως ενός ήδη υφιστάμενου κτιρίου το οποίο δεν απαιτεί εκτεταμένες επεμβάσεις που θα προϋπέθεταν την αναλυτική προσομοίωσή του, η εύρεση της αντίστοιχης σεισμικής δύναμης δεν είναι τόσο απλή. Αυτή η περίπτωση, είναι ιδιαίτερα συνήθης σε παραδοσιακές κατασκευές, όπου χρειάζεται εκτεταμένη επέμβαση μόνο στη στέγη ή ακόμα και αντικατάσταση της. Οι κανονισμοί όμως δεν έχουν προβλέψει αυτήν την ανάγκη. Έτσι αυτή τη στιγμή ο σχεδιασμός μιας στέγης απαιτεί εκ των πραγμάτων την προσομοίωση του συνόλου της κατασκευής, με μόνο σκοπό το προσδιορισμό της απόκρισης της στέγης έναντι σεισμού.

Η παρούσα διπλωματική διερευνά το φαινόμενο της σεισμικής μεγέθυνσης. Στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση μεθόδου για τον υπολογισμό των σεισμικών δυνάμεων που καταπονούν τη στέγη, χωρίς την επίλυση του συνόλου της κατασκευής.



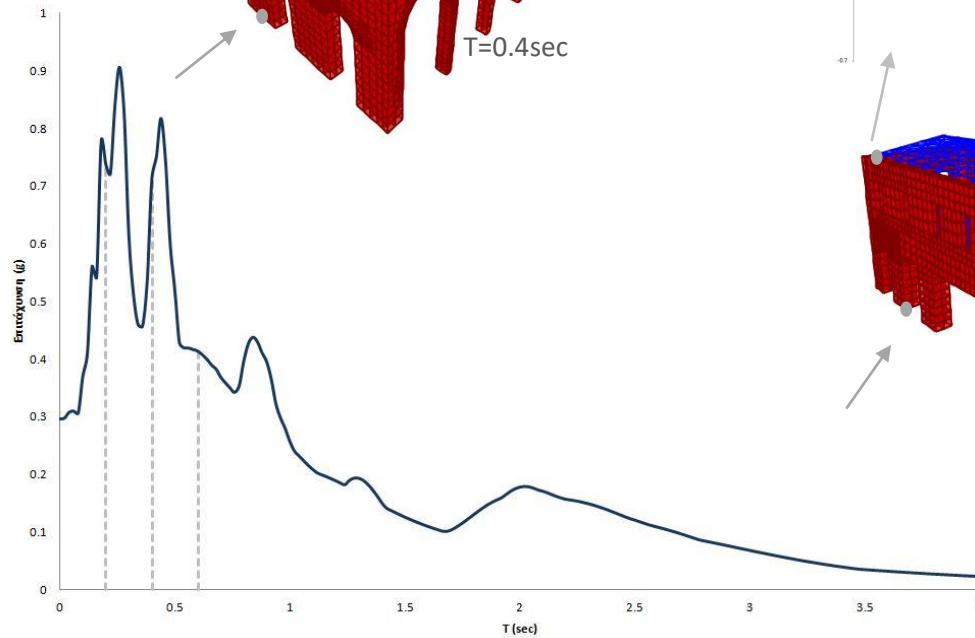
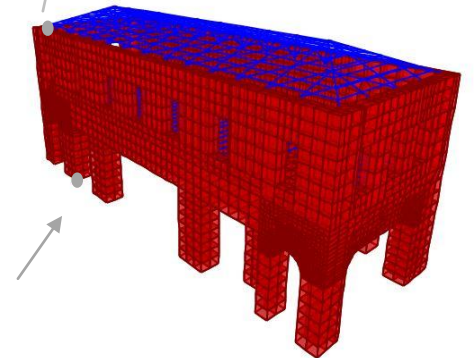
T=0.2sec



T=0.4sec



T=0.6sec



Εικόνα 3.1: Χρονοϊστορία και φάσμα (δεξιά) στη στάθμη του εδάφους του σεισμού της Κορίνθου του 1982. Πάνω εικονίζονται οι χρονοϊστορίες και τα αντίστοιχα φάσματα για T=0.2s,0.4s,0.6s

3. Φάσμα απόκρισης ορόφου

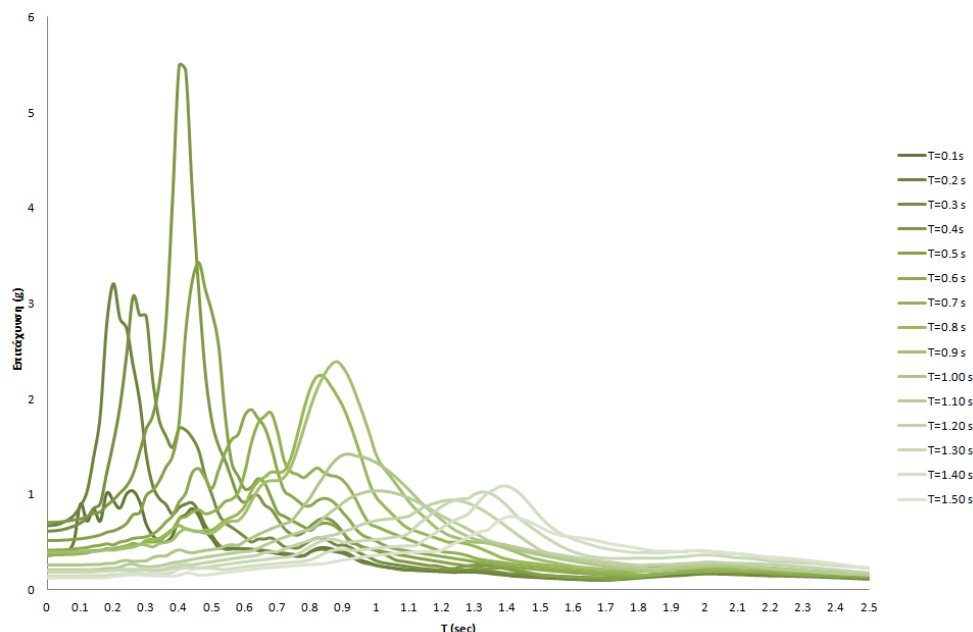
3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Γενικά ένα φάσμα απόκρισης συνοψίζει τη μέγιστη απόκριση όλων των γραμμικών μονοβαθμίων συστημάτων σε μία συγκεκριμένη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης. Τα μεγέθη που απεικονίζονται είναι η ταχύτητα, η μετατόπιση ή συνηθέστερα η επιτάχυνση σε σχέση με την ιδιοπερίοδο μίας κατασκευής.

Η συγκέντρωση των μεγίστων τιμών της επιτάχυνσης που προκαλούνται σε συστήματα με διαφορετικές ιδιοπεριόδους από το συγκεκριμένο σεισμό, σχηματίζει τελικά το φάσμα απόκρισης της σεισμικής δόνησης. Σήμερα με τη βοήθεια των κατάλληλων λογισμικών εισάγοντας την χρονοϊστορία της εδαφικής επιτάχυνσης ενός σεισμού σχηματίζεται εύκολα το φάσμα απόκρισής του. Όπως είναι γνωστό, ο σχεδιασμός των περισσότερων κατασκευών έναντι σεισμού σήμερα βασίζεται σε φάσμα που προτείνει ο Ευρωκώδικας.

Τα φάσματα απόκρισης αναφέρονται συνήθως στη στάθμη του εδάφους, όταν όμως αναφέρονται σε στάθμη ψηλότερα από το έδαφος τότε ονομάζονται φάσματα απόκρισης ορόφου (Floor response spectrum). Ένα φάσμα απόκρισης ορόφου χρησιμεύει αν σε συγκεκριμένη στάθμη, ανώτερη του εδάφους εδράζεται δευτερεύον φορέας. Έτσι εισάγοντας την ιδιοπερίοδο του δευτερεύοντος φορέα, μπορεί κανείς να βρει την επιτάχυνση στο ανώτερο σημείου αυτού. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας μας ενδιαφέρει το φάσμα απόκρισης στη στάθμη της στέψης της κατασκευής όπου εδράζεται η στέγη.

Το φάσμα ενός σεισμού που αναφέρεται στη στάθμη του εδάφους είναι διαφοροποιημένο από το φάσμα ορόφου παρόλο που έχουν προκύψει για την ίδια σεισμική δόνηση. Το φάσμα απόκρισης ορόφου δίνει μέγιστες τιμές επιτάχυνσης για τιμές περιόδου κοντά στην κύρια ιδιοπερίοδο του φορέα σε συγκεκριμένη διεύθυνση (Εικόνες 3.1, 3.2). Παρατηρείται λοιπόν πως όταν η ιδιοπερίοδος του δευτερεύοντος φορέα είναι σχεδόν ίση με την ιδιοπερίοδο του κύριου φορέα, τότε η επιτάχυνση κορυφής του δευτερεύοντος φορέα αναμένεται να πάρει τη μέγιστη τιμή. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως συντονισμός.



Εικόνα 3.2: Φάσματα απόκρισης ορόφου του σεισμού της Κορίνθου για διαφορετικές ιδιοπεριόδους

3.2 Κανονισμοί

Για τον σωστό σχεδιασμό της στέγης είναι απαραίτητο να ελεγχθούν τα φέροντα μέλη αυτής και οι μεταξύ τους συνδέσεις τόσο σε οριζόντια όσο και σε κατακόρυφα φορτία. Ακόμα πρέπει να διαστασιολογηθεί η σύνδεση της στέγης με τον υποκείμενο φορέα έτσι ώστε να είναι επαρκής έναντι οριζοντίων δυνάμεων (ανέμου και σεισμού). Όμοια πρέπει να μελετάται η αγκύρωση μη φερόντων στοιχείων της στέγης όπως η επικάλυψη της (π.χ. κεραμίδια), διακοσμητικά στοιχεία και άλλα. Για όλα τα παραπάνω πρέπει να γνωρίζουμε τις σεισμικές δυνάμεις στην στάθμη της έδρασης της στέγης.

Ο υπολογισμός των σεισμικών δυνάμεων στη στάθμη της στέψης δεν περιλαμβάνεται στους κανονισμούς. Περιλαμβάνεται παρόλα αυτά ο υπολογισμός της σεισμικής δύναμης (σε κάποια στάθμη) για τον σχεδιασμό μη φερόντων στοιχείων (προσαρτημάτων). Οι μη φέρουσες κατασκευές που εδράζονται πάνω στον κύριο φορέα αναφέρονται από τα κανονιστικά κείμενα ως προσαρτήματα. Ακολουθεί ο τρόπος υπολογισμού της επιτάχυνσης σχεδιασμού του προσαρτήματος σύμφωνα με τον EC8 και τον ΕΑΚ. Οι στέγες δεν υπάγονται σε αυτή τη κατηγορία κατασκευών. Ο όρος προσαρτήματα αναφέρεται σε κατασκευές όπως στηθαία, σήματα, καπνοδόχοι και άλλα. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού της σεισμικής δύναμης για προσαρτήματα για λόγους σύγκρισης.

3.2.1 EC8

Ο EC8 στην ομάδα των προσαρτημάτων περιλαμβάνει "στηθαία, αετώματα, κεραίες μηχανικά προσαρτήματα και εξοπλισμό, τοίχοι όψευς, διαχωριστικοί τοίχοι, κιγκλιδώματα τα οποία ενδέχεται, σε περίπτωση αστοχίας, να προκαλέσουν κινδύνους σε ανθρώπους ή να επηρεάσουν τον κύριο φορέα του κτιρίου ή δίκτυα και κρίσιμες εγκαταστάσεις". Για προσαρτήματα μεγάλης σπουδαιότητας ή ιδιαίτερα επικίνδυνης φύσεως ο EC8 συστήνει "η σεισμική ανάλυση να βασίζεται σε ρεαλιστικό προσομοίωμα των σχετικών φερόντων συστημάτων και σε χρήση κατάλληλων φασμάτων απόκρισης που προέρχονται από την απόκριση των φερόντων στοιχείων του κύριου αντισεισμικού συστήματος".

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο EC8, ως κανονιστικό κείμενο, δεν περιλαμβάνει κάποιο τρόπο υπολογισμού της σεισμικής δύναμης που καταπονεί τη στέγη και συστήνει την αναλυτική προσομοίωση του συνολικού φορέα για την εύρεση αυτής. Παρακάτω υπολογίζεται, παρά ταύτα, η σεισμική επιτάχυνση και σεισμική δύναμη που συστήνει ο EC8 για τα προσαρτήματα στα πλαίσια της συγκριτικής μελέτης της παρούσας εργασίας.

Σύμφωνα με τη παράγραφο §4.3.5.2 του EC8 η επιτάχυνση στη βάση του προσαρτήματος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (EC8:4.25). Ο EC8 ονομάζει το παρακάτω μέγεθος σεισμικό συντελεστή.

$$S_a = a \cdot S \cdot \left[\frac{3 \left(1 + \frac{z}{H}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2} - 0.5 \right] \geq a \cdot S$$

όπου,

a , ο λόγος της εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας A, αg προς την εδαφική επιτάχυνση της βαρύτητας g

S , ο συντελεστής εδάφους

T_a , η θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης του προσαρτήματος

T_1 , η θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης του κτιρίου στη σχετική διεύθυνση

z , ύψος πάνω στο οποίο βρίσκεται το προσάρτημα επάνω από το επίπεδο εφαρμογής της σεισμικής δράσης

H , το ύψος του κτιρίου που μετράται από τη θεμελίωση ή από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου

Η οριζόντια δύναμη που καταπονεί το προσάρτημα στο κέντρο μάζας του λόγω σεισμού υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (EC8:4.24)

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a}{q_a}$$

όπου,

W_a , το βάρος του προσαρτήματος

S_a , ο σεισμικός συντελεστής όπως υπολογίστηκε παραπάνω

γ_a , ο συντελεστής σπουδαιότητας του προσαρτήματος ίσος με 1.5 για στοιχεία αγκύρωσης μηχανημάτων και εξοπλισμού συστημάτων ασφαλείας, καθώς και για δεξαμενές και δοχεία που περιέχουν τοξικές ή εκρηκτικές ουσίες που θεωρούνται επικίνδυνες για τη δημόσια ασφάλεια, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας τίθεται ίσος με 1

q_a , ο συντελεστής συμπεριφοράς του προσαρτήματος όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα

Τύπος προσαρτήματος	q_a
Στηθαία σε μορφή προβόλου ή διακοσμητικά στοιχεία Σήματα και πίνακες διαφημίσεων Καπνοδόχοι, ιστοί και δεξαμενές σε πόδια που δρουν σαν ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος περισσότερο από το ήμισυ του συνολικού ύψους τους	1,0
Εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι Διαχωριστικοί τοίχοι και τοίχοι όψεως Καπνοδόχοι, ιστοί και δεξαμενές σε πόδια που δρουν σαν ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος λιγότερο από το ήμισυ του συνολικού ύψους τους, ή που διαθέτουν αντιστηρίξεις ή καλωδιωτές προσδέσεις (επιτόνους) προς τον φορέα στο κέντρο μάζας τους ή πάνω από αυτό Στοιχεία αγκύρωσης μονίμων ερμαρίων και βιβλιοθηκών που εδράζονται στο δάπεδο Στοιχεία αγκύρωσης ψευδοροφών και φωτιστικών	2,0

Πίνακας 3.3: EC8, §4.3.5.4

3.2.2 ΕΑΚ2000

Ο ΕΑΚ 2000 ορίζει ως προσαρτήματα «κατασκευές ή τμήματα κατασκευών που δεν αποτελούν οργανικό μέρος του σκελετού». Ενώ αναφέρει πως «η σεισμική απόκριση ενός προσαρτήματος επηρεάζεται από τη σεισμική απόκριση του κτιρίου επειδή η κίνηση του σημείου στήριξης πάνω στο κτίριο είναι διαφορετική από τη κίνηση του εδάφους». Ακόμα, αναφέρει πως για επικίνδυνες εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις μεγάλης σπουδαιότητας πρέπει να γίνονται ακριβείς υπολογισμοί με ρεαλιστικά προσομοιώματα. Σε κάθε άλλη περίπτωση η οριζόντια σεισμική δύναμη και ο σεισμικός συντελεστής υπολογίζονται όπως περιγράφεται παρακάτω.

Η επιτάχυνση στο ύψος έδρασης του προσαρτήματος (σεισμικός συντελεστής) (ΕΑΚ2000: 3.20)

$$\varepsilon = \alpha \cdot \beta \cdot \left(1 + \frac{z}{H}\right)$$

όπου,

$\alpha = \frac{A}{g}$, η εδαφική επιτάχυνση

T_p , η ιδιοπερίοδος του προσαρτήματος για πλήρη πάκτωση στο στηρίζον υπόβαθρο,

T , η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτηρίου,

z , η στάθμη στήριξης του προσαρτήματος,

H , το ύψος του κτηρίου και

$$\beta = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{T_p}{T}\right)^2} \geq 1$$

Η οριζόντια σεισμική δύναμη υπολογίζεται ως εξής (ΕΑΚ2000: 4.17):

$$H_P = \varepsilon \cdot W_P \cdot \frac{\gamma_P}{q_P}$$

όπου,

W_P , το βάρος του προσαρτήματος

ε , ο σεισμικός συντελεστής

γ_P , ο συντελεστής σπουδαιότητας του προσαρτήματος. Λαμβάνεται ίσος με το συντελεστή σπουδαιότητας του κτιρίου εκτός από τις περιπτώσεις που το προσάρτημα αφορά εξοπλισμό συστήματος διατήρησης ζωής ή δεξαμενές και δοχεία με ικανή ποσότητα έντονων τοξικών εκρηκτικών ουσιών ώστε να αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια ασφάλεια, σε αυτή τη περίπτωση δε θα λαμβάνεται μικρότερος από 1

q_P , μειωτικός συντελεστής που εκφράζει την ικανότητα του προσαρτήματος να υποστεί σημαντικές μεταλαστικές παραμορφώσεις χωρίς να αστοχήσει. Οι ακόλουθες μέγιστες τιμές θα χρησιμοποιούνται στις παρακάτω περιπτώσεις:

$q_P=1$

- *στηθαία και διακοσμητικά σε μορφή προβόλου,*
- *για σήματα και πινακίδες,*
- *για καπνοδόχους, ιστούς και υπερυψωμένες δεξαμενές που δρουν ως ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος μεγαλύτερο από το 1/2 του συνολικού ύψους τους,*
- *για προσαρτήματα υψηλού κινδύνου.*

$q_P=2.5$

- Εξωτερικοί τοίχοι, μανδρότοιχοι μεγαλύτεροι των 2 m
- Καπνοδόχοι, ιστοί με υπερυψωμένες δεξαμενές που διαθέτουν αντιστηρίξεις ή αγκυρώσεις με επίτονους ώστε να δρουν σαν ελεύθεροι πρόβολοι σε ύψος που δεν υπερβαίνει το 1/2 του συνολικού ύψους τους
- Δεξαμενές μαζί με το περιεχόμενό τους
- Αγκυρώσεις μόνιμων ραφιών ή παταριών εδραζόμενων στο δάπεδο
- αγκυρώσεις ψευδοροφών και φωτιστικών σημαντικού βάρους
- Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός και συναφείς αγωγοί, σωληνώσεις και αεραγωγοί, βάρους μεγαλύτερου των 2 kN

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 δεν υποχρεούνται σε έλεγχο "προσαρτήματα σε κτήρια σπουδαιότητας Σ1 και Σ2 σε περιοχές σεισμικότητας Ι και προσαρτήματα κατηγορίας $q_r=2.5$ σε κτήρια σπουδαιότητας Σ2 σε περιοχές σεισμικότητας ΙΙ

4. Αναλυτική διερεύνηση

4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε το αριθμητικό προσομοίωμα 16 κατασκευών. Μελετήθηκαν 2 βασικές κατηγορίες κατασκευών με δίρριχτες και τετράρριχτες στέγες τύπου ζευκτού. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δείγματος των κτιρίων είναι πως ο φέρων οργανισμός των κατασκευών είναι φέρουσα τοιχοποιία, δεν βρίσκονται σε επαφή με άλλες κατασκευές καθώς και η γενικότερη κανονικότητα που παρουσιάζουν στις κατόψεις. Τέλος οι κατασκευές δεν περιλαμβάνουν ισχυρό διάφραγμα στις στάθμες των πατωμάτων και των στεγών, παρά μόνο τις συνήθεις ξύλινες κατασκευές αυτών.

Οι κατασκευές που μελετήθηκαν χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ως προς την προέλευσή τους, πρόκειται για: α) υπαρκτές κατασκευές, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οποίων σχεδιάστηκαν με βάση την αποτύπωσή τους, β) αποτυπωμένες κατασκευές οι οποίες τροποποιήθηκαν προκειμένου να εξυπηρετούν το σκοπό της παρούσας εργασίας γ) επιπλέον κατασκευές που σχεδιάστηκαν ώστε να ακολουθούν τα πρότυπα των προηγούμενων.

Γεωμετρικά στοιχεία για την αποτύπωση κάποιων από τις κατασκευές με τετράρριχτες στέγες αντλήθηκαν από αποτυπώσεις του αρχείου του Σπουδαστηρίου Αρχιτεκτονικής Μορφολογίας του Ε.Μ.Π. που βρίσκονται στην έκδοση «Νεοκλασικά σπίτια της Αττικής» καθώς και στην έκδοση «Νεοκλασική αρχιτεκτονική στην Καλαμάτα», της Εταιρείας Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών. Οι αποτυπώσεις που παρουσιάζονται σε αυτές τις εκδόσεις περιλαμβάνουν μόνο κάποιες κατόψεις, τις όψεις και κάποιες αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες. Τα επιπλέον στοιχεία που είναι απαραίτητα για την αριθμητική προσομοίωση των κτισμάτων συμπληρώθηκαν από μελέτη της βιβλιογραφίας που αφορά τις νεοκλασικές κατοικίες και τα κατασκευαστικά τους στοιχεία πάντα ώστε να καλύπτουν το σκοπό της παρούσας εργασίας.

4.2 Υλικά και προσομοίωση υλικών

Η αριθμητική προσομοίωση των κατασκευών έγινε στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP200 v15. Η τοιχοποιία αποδόθηκε ως ισότροπο υλικό και προσομοιώθηκε με τη χρήση χωρικών πεπερασμένων στοιχείων (solid elements). Τα 3D αυτά πεπερασμένα στοιχεία θεωρήθηκε ότι προσεγγίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη πραγματική συμπεριφορά της φέρουσας τοιχοποιίας, η πιστή προσομοίωση της οποίας δεν έχει ακόμα βρεθεί.

Λόγω έλλειψης στοιχείων σε όλες οι τοιχοποιίες ελήφθησαν όμοια μηχανικά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, ενώ το πάχος τοιχοποιίας για κάθε κτίριο προέκυψε από την αποτύπωση. Όλες οι κατασκευές θεωρήθηκαν πακτωμένες στη στάθμη του εδάφους.

Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας		
Συμβολισμός	Μέγεθος	Τιμή
E	Μέτρο ελαστικότητας	1 GPa
γ	Ειδικό βάρος	18 kN/m ³
ν	Μέτρο του Poisson	0.2
G	Μέτρο διάτμησης	0.417GPa
ζ	Απόσβεση	0.05

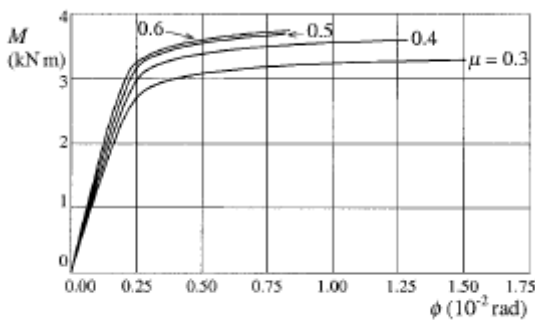
Όσον αφορά τις στέγες, ο φέρον οργανισμός κάθε στέγης προσομοιώθηκε με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (frame elements). Για την πληρότητα της διερεύνησης της συμπεριφοράς της στέγης και με στόχο την σύγκριση των αποτελεσμάτων το ξύλο προσομοιώθηκε ως ορθότροπο αλλά και ως ισότροπο υλικό. Το βάρος των κεραμιδιών αλλά και οι άλλες καταπονήσεις της στέγης (χιόνι, άνεμος) αποδόθηκαν ως φορτίο στο μοντέλο. Τα ξύλινα μέλη των στεγών που παρουσιάζονται στη συνέχεια έχουν διαστασιολογηθεί αναλυτικά σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες (χιόνι, άνεμος) της κάθε κατασκευής. Οι αναλυτική διαστασιολόγηση δεν παρουσιάζεται καθώς δεν εξυπηρετεί τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας. Όλες οι στέγες αποτελούνται από φυσική ξυλεία C20. Κάθε στέγη έχει διαστασιολογηθεί χωριστά για την περίπτωση που αυτή φέρει κεραμίδια γαλλικού τύπου (50 kg/m²) και κολυμβητά κεραμίδια (130 kg/m²).

Για να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ της απόκρισης των διαφορετικών στεγών όλες οι στέγες αποτελούνται από την ίδια ποιότητα ξύλου C20 με τα παρακάτω μηχανικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ιδιότητες της ποιότητας ξύλου C20 όπως ορίζονται από τον EC5 (ορθότροπο υλικό) και όπως αυτές μεταφράζονται όταν το ξύλο αποδίδεται κατά τη συνήθη παραδοχή ως ισότροπο υλικό.

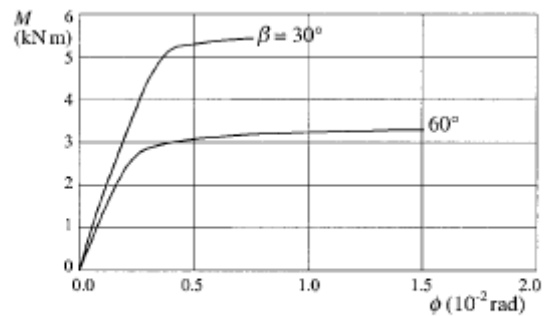
Μηχανικά χαρακτηριστικά για φυσική ξυλεία κωνοφόρων και λευκή C20			
Συμβολισμός	Μέγεθος	Τιμή Ορθότροπο (MPa)	Τιμή Ισότροπο (MPa)
f_{m,k}	Αντοχή σε κάμψη	20	20
f_{t,0,k}	Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα στις ίνες	12	12
f_{t,90,k}	Αντοχή σε εφελκυσμό κάθετα στις ίνες	0.5	12
f_{c,0,k}	Αντοχή σε θλίψη παράλληλα στις ίνες	19	19
f_{c,90,k}	Αντοχή σε θλίψη κάθετα στις ίνες	2.3	19
f_{v,k}	Διάτμηση	2.2	2.2
E_{0,mean}	Μέσο μέτρο ελαστικότητας παράλληλα στις ίνες	9500	9500
E_{0,05}	0.05% μέτρο ελαστικότητας παράλληλα στις ίνες	6400	6400
E_{90,mean}	Μέσο μέτρο ελαστικότητας κάθετα στις ίνες	320	9500
G_{mean}	Μέσο μέτρο διάτμησης	590	3654
ρ_{mean}	Μέση τιμή πυκνότητας (kg/m ³)	390	390
ρ_k	Χαρακτηριστική τιμή πυκνότητας (kg/m ³)	330	330

Η συνδεσμολογία των δομικών μελών της στέγης πραγματοποιείται μέσω παραδοσιακών ξυλουργικών συνδέσεων. Στις ξυλουργικές συνδέσεις οι δυνάμεις μεταβιβάζονται μόνο μέσω της επαφής των ξύλινων μελών. Τις περισσότερες φορές τη συνεχή επαφή των μελών ακόμα και σε απρόβλεπτες συγκυρίες όπως ένας σεισμός διασφαλίζουν μεταλλικοί σύνδεσμοι (μπουλόνια, λάμες, τζινέτια, κτλ.). Οι συνδέσεις, όπως περιγράφηκαν, δεν μεταφέρουν ροπές πλήρως, αλλά ταυτόχρονα δεν αποτελούν ούτε αρθρώσεις, παρόλο που τις περισσότερες φορές θεωρούνται ως τέτοιες. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν από την M. Parisi και τον M. Piazza σε μέλη από παραδοσιακά ιταλικά ζευκτά τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους με ξυλουργικές συνδέσεις με και χωρίς μεταλλικούς συνδέσμους [M. Parisi, M. Piazza, Mechanics of plain and retrofitted traditional timber connections, Journal of Structural Engineering, 2000].

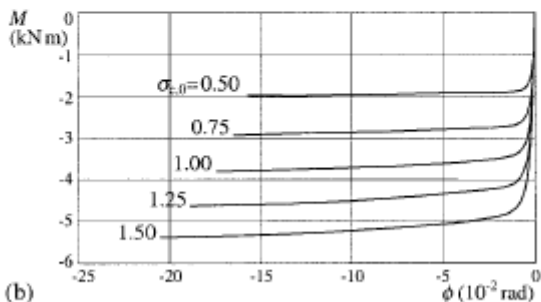
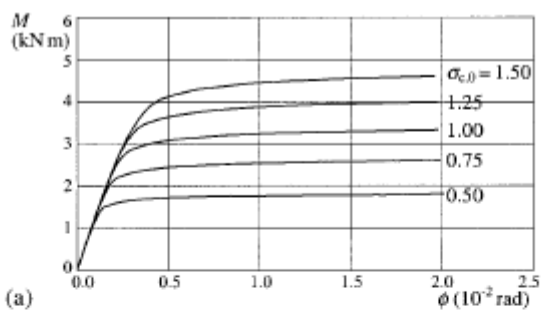
Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η δυνατότητα μεταβίβασης ροπών μέσω ξυλουργικών συνδέσεων εξαρτάται από το συντελεστή τριβής μεταξύ των επιφανειών των ξύλινων μελών, από τις διαστάσεις των μελών, από τη γωνία μεταξύ των συνδεόμενων μελών, από το μέγεθος των θλιπτικών τάσεων που ασκούνται στην διεπιφάνεια της σύνδεσης όπως φαίνεται στα διαγράμματα που παρατίθενται παρακάτω.



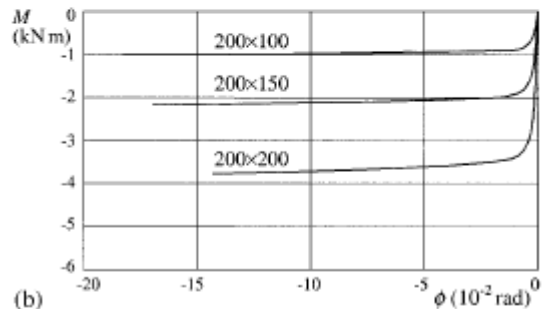
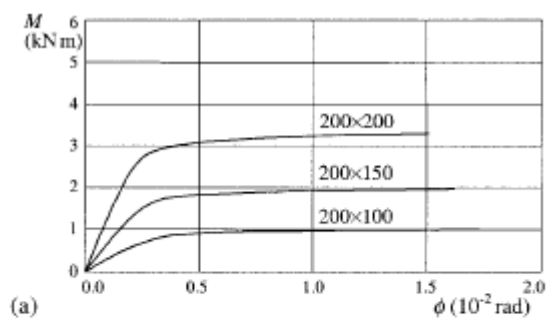
Εικόνα 4.1: Επίδραση τριβής, γωνία μελών 60°, $\sigma=0,75$ MPa, στροφή θετική [20]



Εικόνα 4.2: Επίδραση γωνίας μελών, $\sigma=0,75$ MPa, στροφή θετική [20]

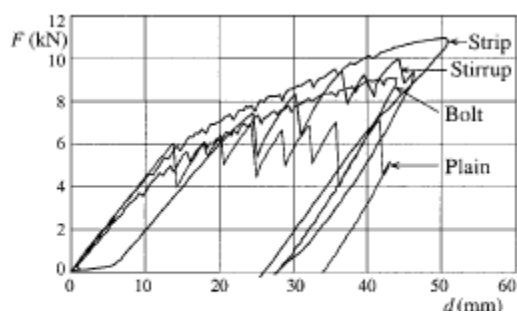


Εικόνα 4.3: Επίδραση θλιπτικής τάσης δοκού (διατομή: 200x200mm, $\beta=60^\circ$), α) θετική στροφή, β) αρνητική στροφή [20]

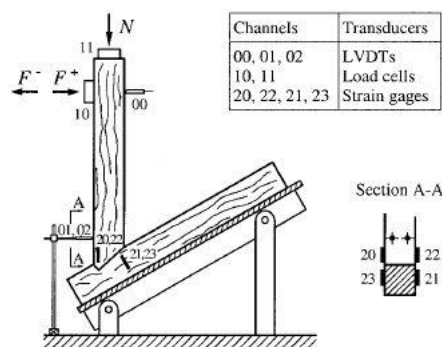


Εικόνα 4.4: Επίδραση διατομής ($\beta=60^\circ$, $\sigma=1$ MPa): α) θετική στροφή, β) αρνητική στροφή [20]

Ακόμα, ιδιαίτερα σημαντικό συμπέρασμα αυτής της έρευνας είναι ότι ξυλουργικές συνδέσεις με κάποιους τύπους μεταλλικών συνδέσμων (όπως τα μπουλόνια) έχουν ακριβώς την ίδια ελαστική συμπεριφορά με αυτήν που είχαν οι συνδέσεις χωρίς μεταλλικές εξασφαλίσεις.



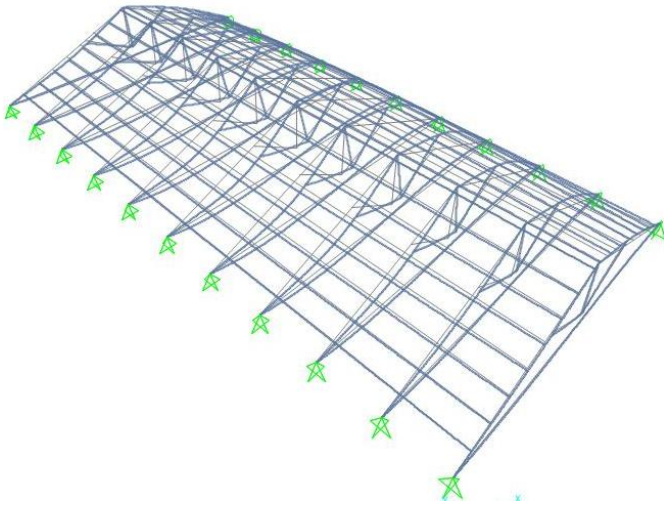
Εικόνα 4.5: Σχέση δύναμης και μετακίνησης για ενισχυμένες και μη ενισχυμένες συνδέσεις ($\beta=30^\circ$, $\sigma=1,5\text{MPa}$, θετική στροφή) [20]



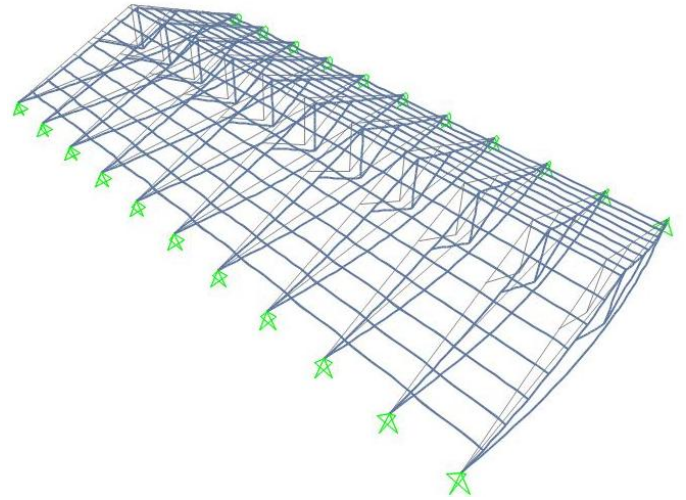
Εικόνα 4.6: Πειραματική διάταξη [20]

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν πειράματα όμοια με αυτά που προαναφέρθηκαν, τα οποία θα συνέβαλαν στην κατανόηση της λειτουργίας τόσο του ζευκτού στο σύνολό του όσο και των συνδέσεων πιο συγκεκριμένα και τέλος στον προσδιορισμό των απαραίτητων μηχανικών χαρακτηριστικών για την πιστή προσομοίωση της κατασκευής. Έτσι, οι ξυλουργικές συνδέσεις προσομοιώθηκαν με τη προσθήκη ενός στροφικού ελατηρίου 20kNm/rad μεταξύ των μελών στο επίπεδο στο οποίο λειτουργεί η κάθε ξυλουργική σύνδεση. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα συντηρητική σε σχέση με τις τιμές που προέκυψαν από την ιταλική ερευνητική εργασία και χρησιμοποιήθηκε λόγω έλλειψης στοιχείων. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της στέγης μίας εκκλησίας τύπου βασιλικής (πρόκειται κτίριο I που παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια). Έτσι στην περίπτωση που όλα τα δομικά μέλη συνδέονται μεταξύ τους με πλήρη συνέχεια υλικού προκύπτουν $T_x=0.213\text{sec}$ $T_y=0.254\text{sec}$. Αν όλα τα δομικά μέλη συνδέονταν μεταξύ τους με πλήρεις αρθρώσεις τότε $T_x=0.267\text{sec}$ $T_y=6.23\text{sec}$. Τέλος με τη προσθήκη του στροφικού ελατηρίου 20kNm/rad προκύπτουν $T_x=0.2629\text{sec}$ $T_y=0.393\text{sec}$, ενώ με τη προσθήκη στροφικού ελατηρίου 200kNm/rad προκύπτουν $T_x=0.2427\text{sec}$ $T_y=0.2737\text{sec}$. Παρατηρούμε ότι τα ελατήρια δεν συμβάλλουν τόσο στην εντός του επιπέδου του ζευκτού συμπεριφορά, όσο στην εκτός του επιπέδου του, όπου το σύστημα έχει ελάχιστη δυσκαμψία και έτσι ακόμα και η σύνδεση των τεγίδων με τα ζευκτά μέσω του μικρού αυτού ελατηρίου έχει μεγάλη σημασία.

Θεωρώντας όλες τις συνδέσεις ως συνέχεια υλικού:

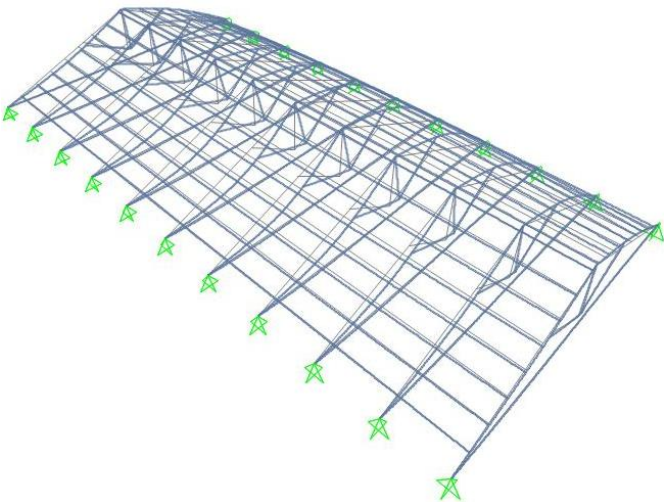


Εικόνα 4.7: $T_x = 0.2134\text{sec}$

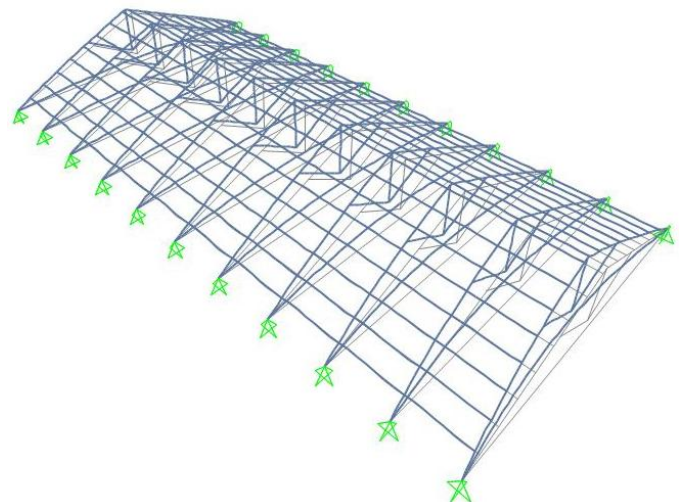


Εικόνα 4.8: $T_y = 0.2544\text{sec}$

Με την προσθήκη στροφικών ελατηρίων 200kN/rad:

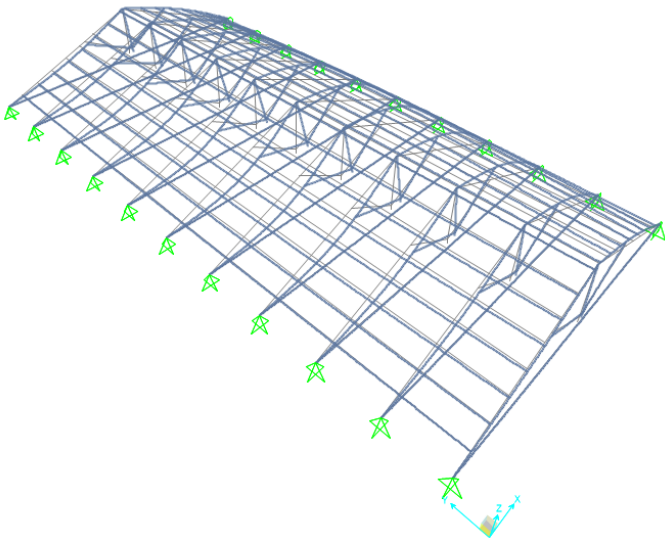


Εικόνα 4.9: $T_x = 0.24273\text{sec}$

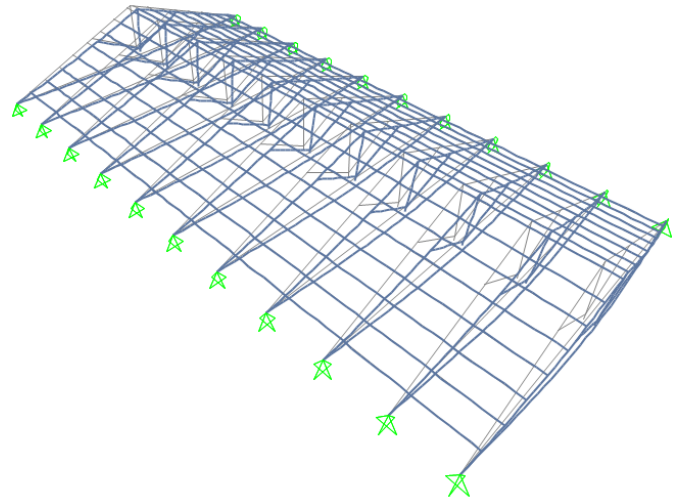


Εικόνα 4.10: $T_y = 0.27367\text{sec}$

Με την προσθήκη στροφικών ελατηρίων 20kN/rad:

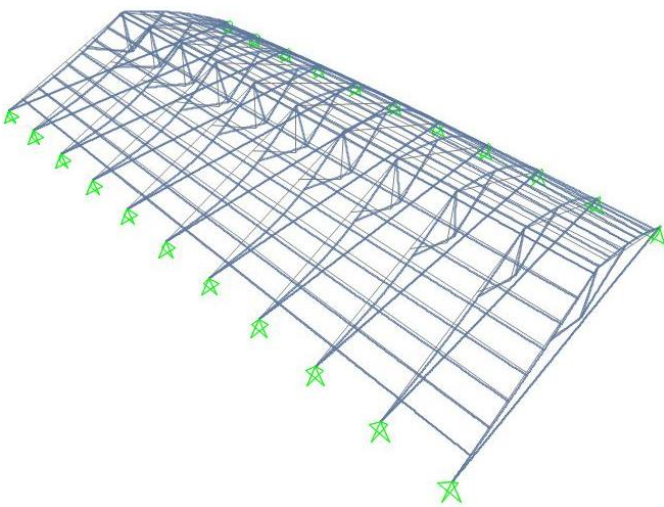


Εικόνα 4.11: $T_x = 0.26288\text{sec}$

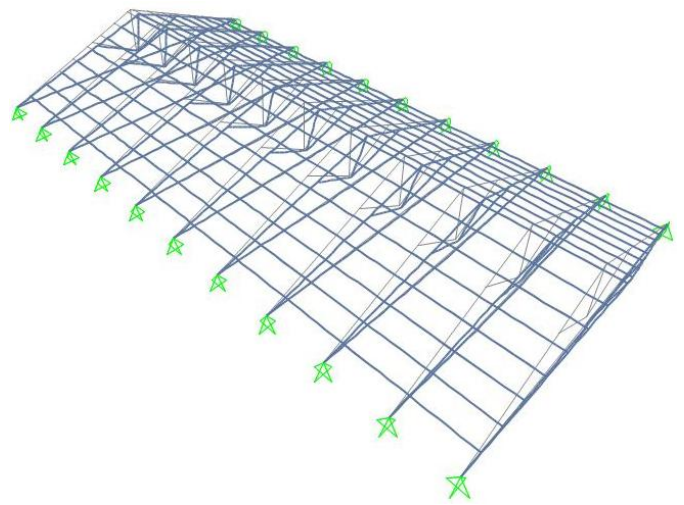


Εικόνα 4.12: $T_y = 0.393\text{sec}$

Θεωρώντας όλες τις συνδέσεις ως αρθρώσεις:



Εικόνα 4.13: $T_x = 0.26718\text{sec}$

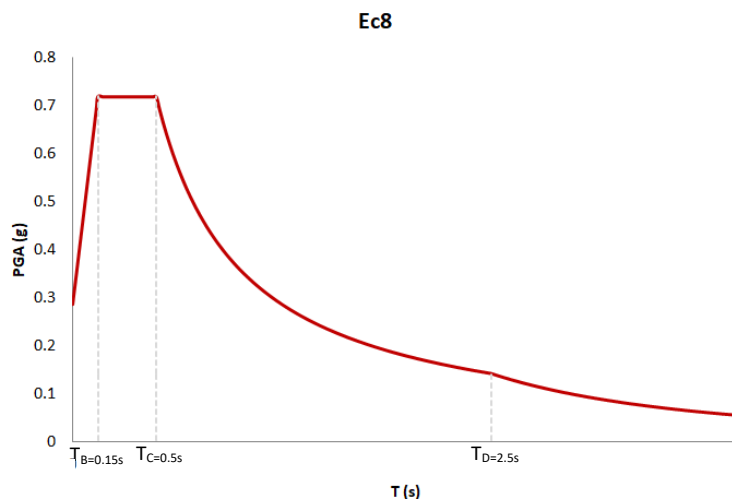


Εικόνα 4.14: $T_y = 6.229\text{sec}$

4.3 Σεισμικές διεγέρσεις

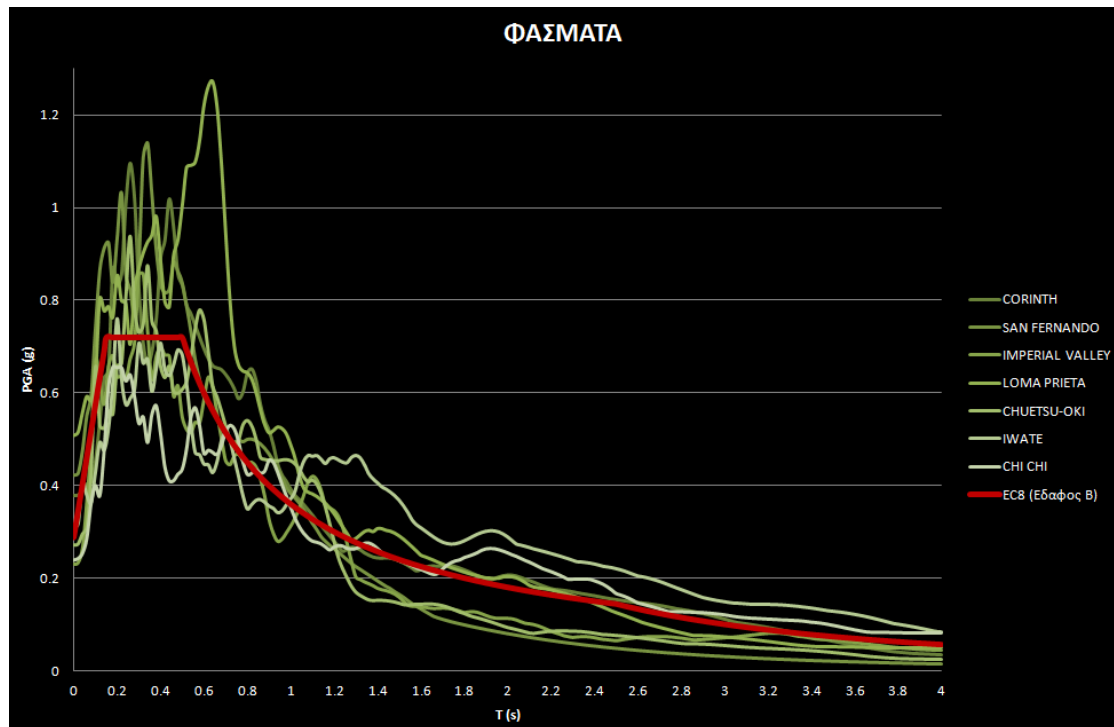
Τα προσομοιώματα των κατασκευών υποβλήθηκαν σε 7 σεισμικές διεγέρσεις με σκοπό την εξαγωγή των επιταχύνσεων στην στέψη τους. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας. Γραμμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας ονομάζεται η δυναμική ανάλυση που υποβάλει το φορέα σε σεισμική φόρτιση μέσω επιταχυνσιογραφημάτων εδαφικών δονήσεων. Η απόκριση του φορέα υπολογίζεται με επαναληπτικό τρόπο για κάθε χρονικό βήμα. Τα αποτελέσματα της εν λόγω ανάλυσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε μεταβολές των βασικών παραμέτρων του συστήματος όπως, διέγερση, μάζα, δυσκαμψία, απόσβεση.

Προκειμένου οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις αναλύσεις να είναι συγκρίσιμοι με αυτούς του Ευρωκώδικα και του ΕΑΚ οι χρονοϊστορίες των σεισμών κανονικοποιήθηκαν. Τα κτήρια που προσομοιώθηκαν στη συνέχεια βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές, παρόλα αυτά επιλέχθηκε να επιβληθούν σε όλα οι ίδιοι σεισμοί για λόγους σύγκρισης. Θεωρήθηκε λοιπόν πως όλες οι κατασκευές βρίσκονται σε περιοχές της σεισμικής ζώνης Β με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σε βράχο $ag_r = 0.24g$. Το έδαφος των περιοχών εντάσσεται στη κατηγορία Β (Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.) με συντελεστή εδάφους $S=1.2$. Έτσι η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους υπολογίζεται $ag = S \cdot ag_r = 0.288g$ και το φάσμα του ευρωκώδικα διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.15: Φάσμα Ευρωκώδικα 8, έδαφος Β, σεισμική ζώνη II

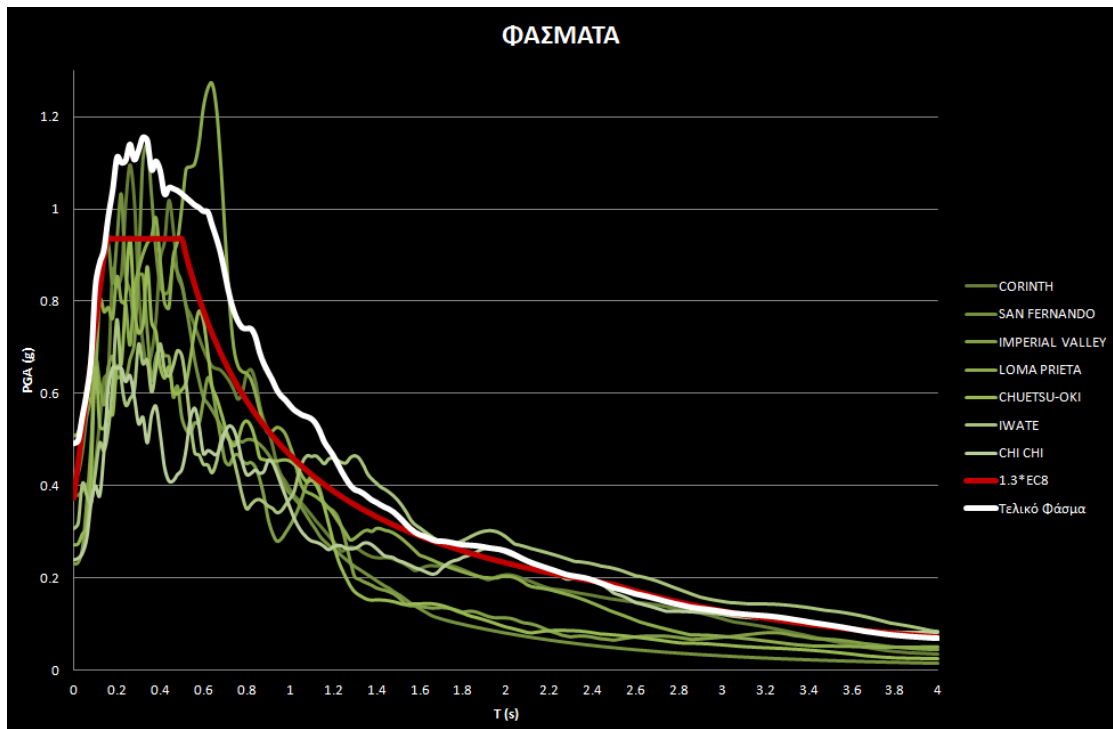
Το παραπάνω φάσμα εισήχθη στην τράπεζα επιταχυνσιογραφημάτων PEER STRONG MOTION DATABASE και από εκεί εξήχθησαν 7 διαφορετικοί πραγματικοί σεισμοί δύο διευθύνσεων με scale factor κοντά στη μονάδα και φυσικά με μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων ($v_s, 30$) μέσα στα όρια που ορίζει ο ευρωκώδικας για τη κατηγορία εδάφους Β. Τα φάσματα των εδαφικών διεγέρσεων που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.16: Αρχικά σεισμικά φάσματα και φάσμα Ευρωκώδικα 8

Η συμβατότητα των επιταχυνσιογραφημάτων προς το φάσμα σχεδιασμού εξασφαλίζεται με την ακόλουθη διαδικασία. Για κάθε σεισμό, αποτελούμενο από ζεύγος οριζοντίων χρονοϊστοριών εδαφικής διέγερσης, υπολογίζεται φάσμα ίσο με τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των φασμάτων της κάθε συνιστώσας. Έτσι προκύπτουν 7 τέτοια φάσματα ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται συνολικό φάσμα ίσο με το μέσο όρο των τελευταίων. Το συνολικό φάσμα κλιμακώθηκε έτσι ώστε να μην είναι χαμηλότερο από το φάσμα σχεδιασμού προσαυξημένο κατά 30% στο διάστημα των περιόδων $0,2T$ έως $2T$, με T θεμελιώδη περίοδο του φορέα στη κάθε διεύθυνση. Η χαμηλότερη από τις θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους των δύο διευθύνσεων, χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του κάτω ορίου και η μεγαλύτερη για το ανώτερο όριο [16]. Ο συντελεστής κλιμάκωσης όπως προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται σε κάθε μία από τις συνιστώσες κάθε σεισμού.

Παρά τα διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά των κατασκευών που προσομοιώθηκαν, και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, ο συντελεστής κλιμάκωσης προκύπτει κοινός για όλες και ίσος με 1.46. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται και πάλι τα φάσματα των 7 σεισμών, το φάσμα σχεδιασμού του EC8 προσαυξημένο κατά 30% και το τελικό φάσμα μεγεθυμένο κατά 1.46 φορές στην περιοχή περιόδων $T=0.05s$ έως $T=0.68s$.



Εικόνα 4.17: Σεισμικά φάσματα μετά την κλιμάκωση

4.4 Κτίσματα με δίρριχτες στέγες

Σε αυτή τη κατηγορία επιλέχθηκε να μελετηθούν εκκλησίες τύπου βασιλικής. Πρόκειται για επιμήκεις ορθογωνικές κατασκευές με έναν όροφο αλλά διαφορετικά ύψη. Στις στενές πλευρές σχηματίζονται αετώματα. Οι δίρριχτες στέγες αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ζευκτά που εδράζονται στις μακριές πλευρές. Τα αετώματα δεν είναι συνδεδεμένα με τις στέγες και για αυτό αποτελούν το πιο ευάλωτο τμήμα της κατασκευής σε περίπτωση σεισμού. Τέλος, επισημαίνεται ότι οι δίρριχτες στέγες δεν αποτελούν σύνηθες σύστημα στέγασης στην Ελλάδα.

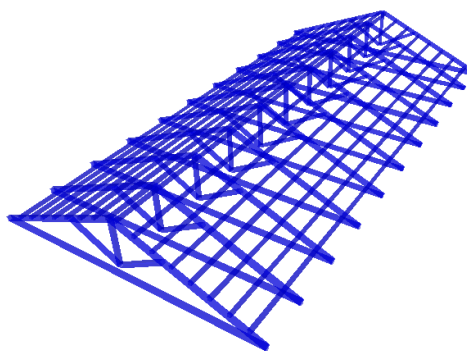
4.4.1 Κτίριο Ι.Α

Γενική περιγραφή

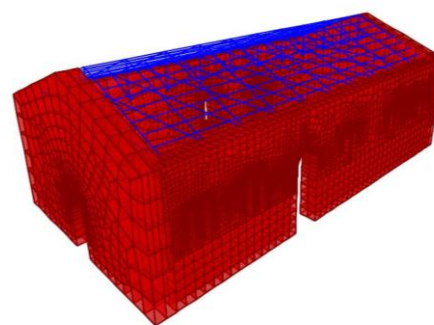
Πρόκειται για βασιλική με κάτοψη διαστάσεων 9.9m x 18.75m και ύψος μακριών πλευρών 5.2m. Τα ανοίγματα των δύο μακριών πλευρών δεν είναι συμμετρικά. Οι τοιχοποιίες της βασιλικής είναι τρίστρωτες με πάχος 80 cm.

Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά. Τα ζευκτά είναι διατεταγμένα ανά 1.7m και συνδέονται μεταξύ τους με τεγίδες που εδράζονται πάνω στον κύριο φορέα και είναι αμφιέριστες. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τηγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50



Εικόνα 4.19: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

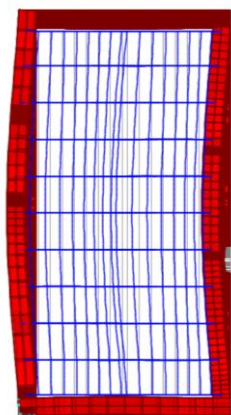


Εικόνα 4.18: Αριθμητικό προσομοίωμα Κτιρίου Ι.Α

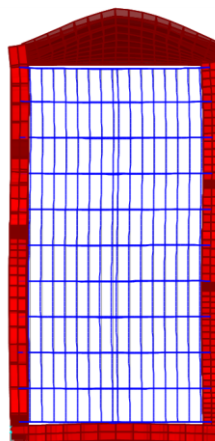
Η παραπάνω στέγη αναλύθηκε έχοντας λάβει το ξύλο ως ορθότροπο υλικό και ως ισότροπο υλικό. Στην πρώτη περίπτωση οι ιδιοπερίοδοι της στέγης ήταν $T_x^{\text{ορθότροπο}} = 0.277\text{sec}$, $T_y^{\text{ορθότροπο}} = 0.408\text{sec}$ ενώ στη δεύτερη περίπτωση $T_x^{\text{ισότροπο}} = 0.274\text{sec}$, $T_y^{\text{ισότροπο}} = 0.393\text{sec}$. Παρατηρείται πως οι ιδιοπερίοδοι στις δύο περιπτώσεις είναι πάρα πολύ κοντά. Το ίδιο ισχύει και για τις επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στη στέψη της βασιλικής σε κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις. Έτσι αποφασίστηκε πως για τους σκοπούς της παρούσας

διπλωματικής εργασίας αρκεί η προσομοίωση του ξύλου ως ισότροπο υλικό. Στη συνέχεια το ξύλο θα προσομοιώνεται ως ισότροπο υλικό.

Ακόμα οι κύριες μεταφορικές ιδιοπερίοδοι της κατασκευής σε κάθε διεύθυνση παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Εικόνα 4.20: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.238s$



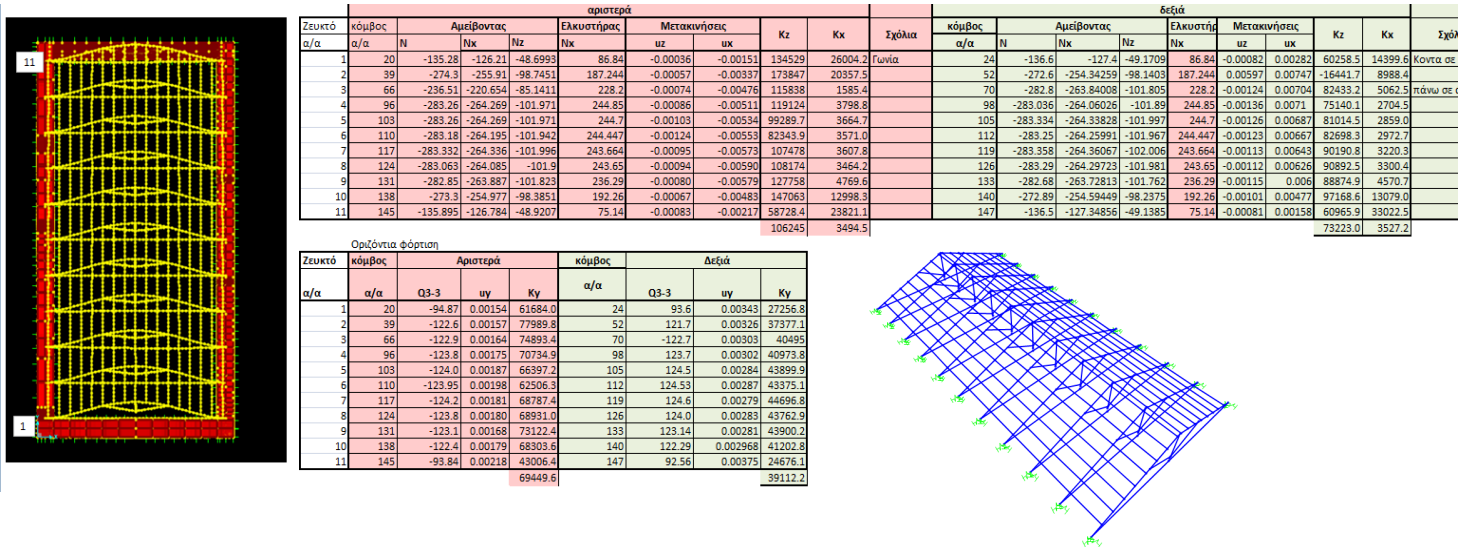
Εικόνα 4.21: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_ψ=0.202s$

Διερεύνηση συμπεριφοράς της στέγης

Στα πλαίσια της διερεύνησης της δυναμικής συμπεριφοράς της στέγης και της κατανόησης αυτής έγινε το αριθμητικό προσομοίωμα της μαζί με την υφιστάμενη κατασκευή αλλά και ανεξάρτητα. Μία στέγη δεν μπορεί όμως να υπάρξει ποτέ μόνη της καθώς σχεδιάστηκε αποκλειστικά και μόνο για να εξυπηρετήσει την υποκείμενη αυτής κατασκευή. Λαμβάνεται λοιπόν υπ' όψιν η στήριξη της στέγης πάνω στην κατασκευή ακόμα και όταν η στέγη προσομοιώνεται ανεξάρτητα από το κτίριο. Αυτό γίνεται με δύο τρόπους, είτε εισάγοντας ελατήρια στους κόμβους όπου θα συνδεόταν με τη κατασκευή είτε εισάγοντας άρθρωση και κύλιση στα αντίστοιχα σημεία. Έτσι είναι πια δυνατή η σύγκριση της δυναμικής απόκρισης της στέγης ως ανεξάρτητου φορέα και ως μέρος του συνολικού φορέα.

Όσον αφορά τα ελατήρια, στόχος είναι να αποδώσουν την δυσκαμψία της υποκείμενης κατασκευής. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει τη συμπεριφορά και την καταπόνηση της στέγης αν σκεφτεί κανείς ότι οι στηρίξεις μιας στέγης δεν είναι ακλόνητες αλλά είναι δυνατό να μετατοπιστούν ανάλογα με τις δυνάμεις που τους μεταβιβάζονται και τη δυσκαμψία της υποκείμενης κατασκευής. Η βαθμονόμηση των ελατηρίων έγινε φορτίζοντας τη στέγη (στο προσομοίωμα που περιελάμβανε και τη στέγη και το κτίριο) και μετρώντας τις δυνάμεις που ασκούσαν στις στηρίξεις της σε κάθε διεύθυνση και τις αντίστοιχες μετατοπίσεις που αυτές προκαλούσαν. Έτσι συντάχθηκε ο παρακάτω πίνακας και στη συνέχεια εισήχθησαν στο προσομοίωμα τα αντίστοιχα ελατήρια στην περίπτωση της ανεξάρτητης επίλυσης της στέγης.

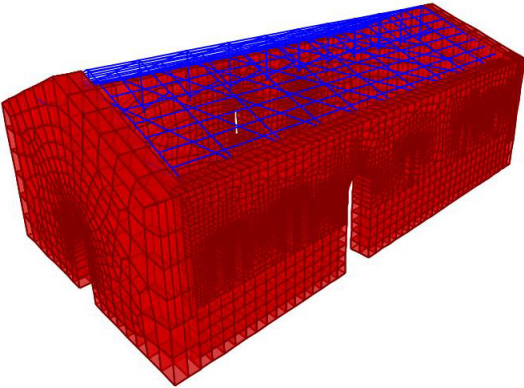
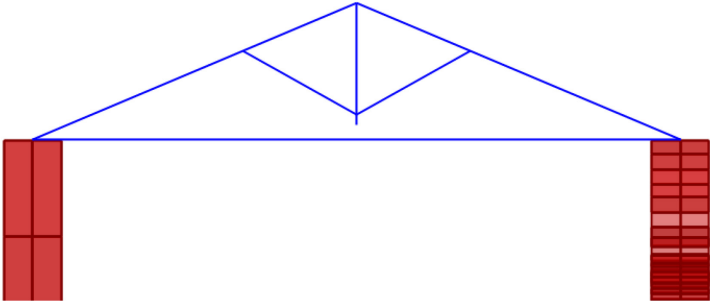
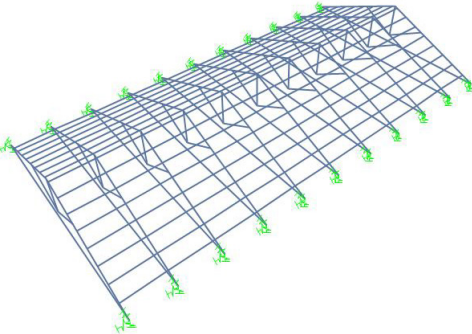
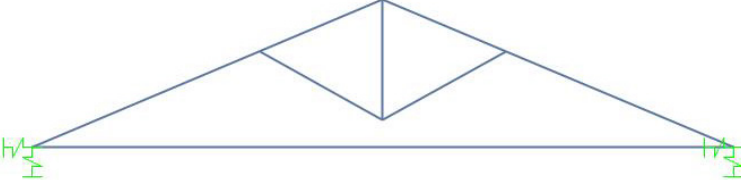
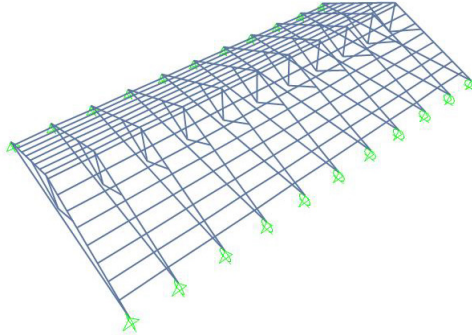
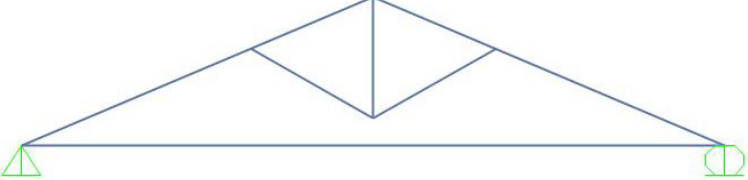
και στη συνέχεια εισήχθησαν στο προσομοίωμα τα αντίστοιχα ελατήρια στην περίπτωση της ανεξάρτητης επίλυσης της στέγης.



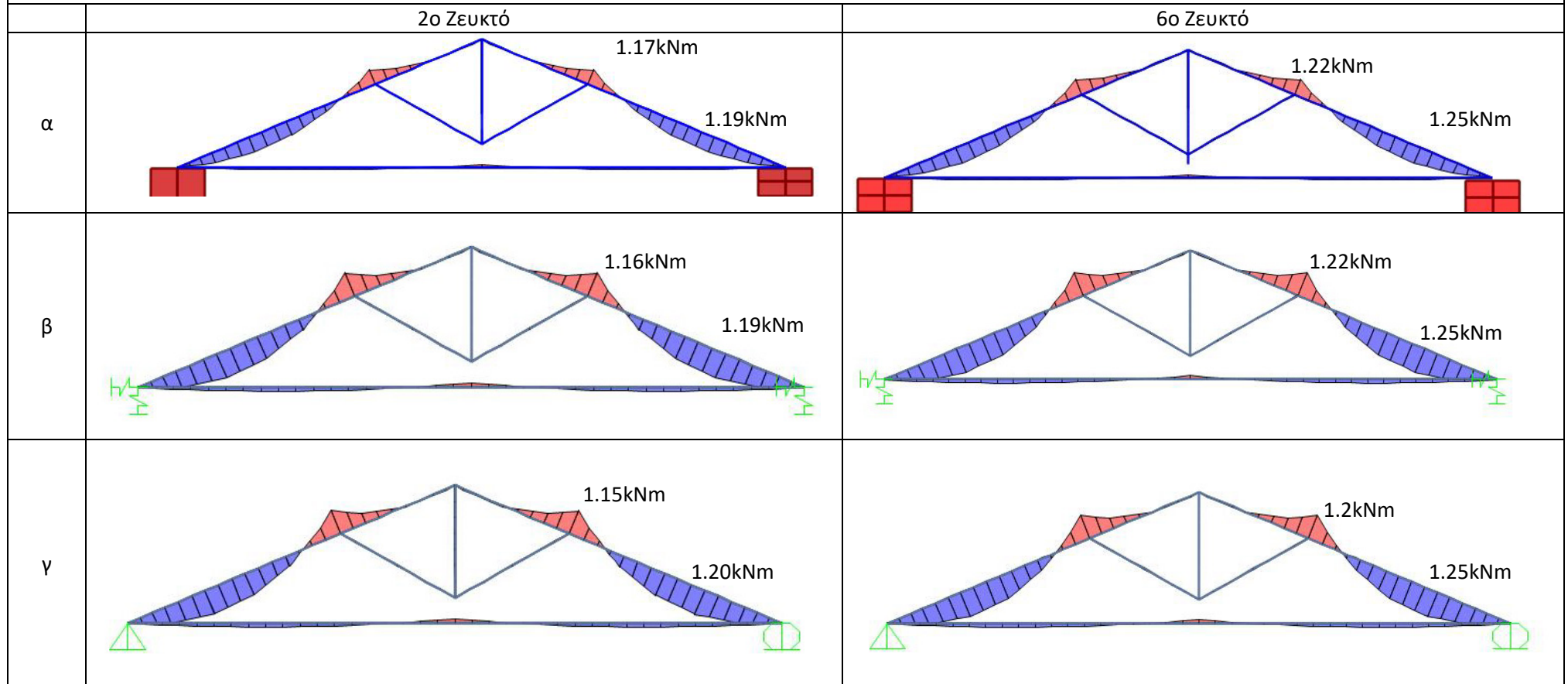
Εικόνα 4.22: Υπολογιστικό φύλλο ανεύρεσης της δυσκαμψίας των ελατηρίων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη του 2ου και του 6ου ζευκτού, φορτιζόμενων με το συνδυασμό 1,35G, στην περίπτωση που η στέγη εδράζεται στην υποκείμενη κατασκευή (α), στην περίπτωση που η στέγη εδράζεται σε ελατήρια (β), στην περίπτωση που η στέγη εδράζεται στο έδαφος σε άρθρωση και κύλιση (γ).

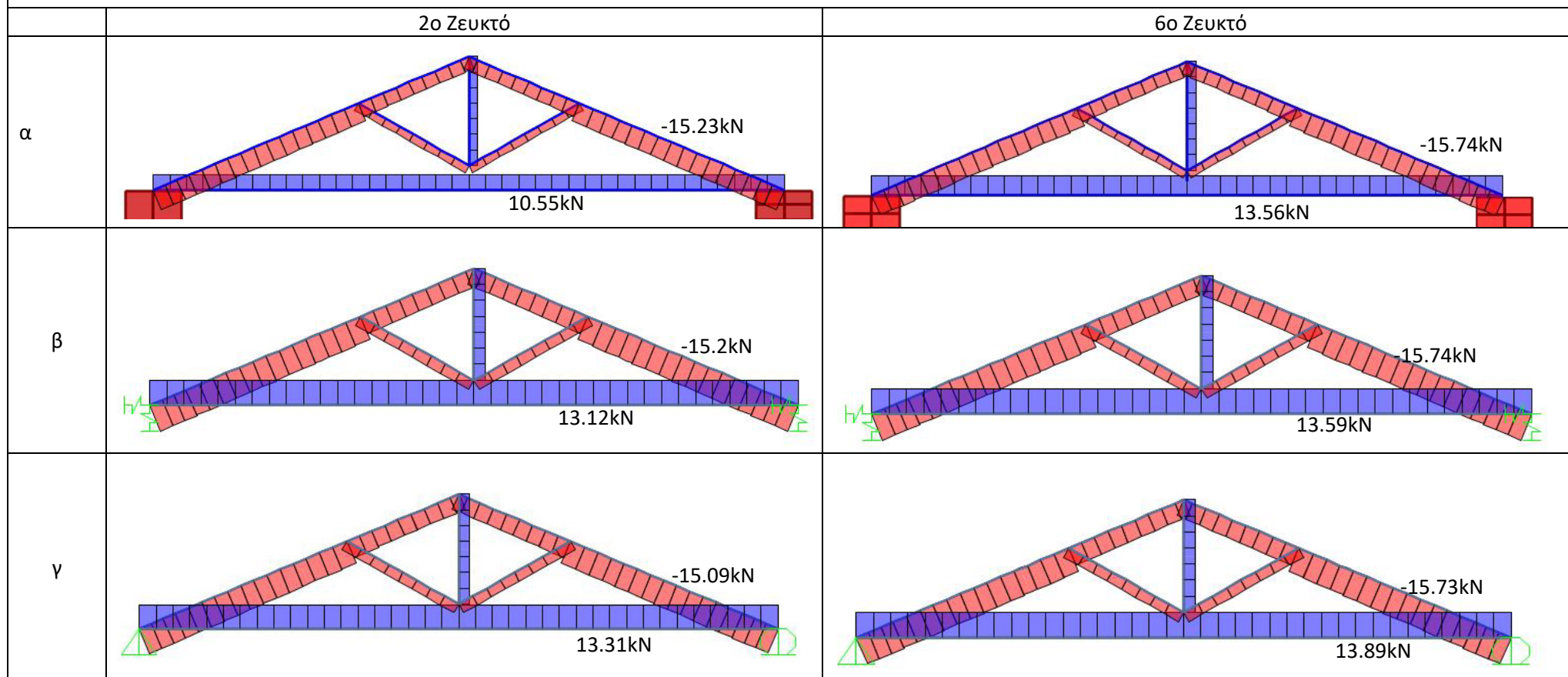
Πίνακας 4.23: Διερεύνηση Συμπεριφοράς Στέγης

α		
β		
γ		

Πίνακας 4.24: Διαγράμματα Ροπών Κάμψης

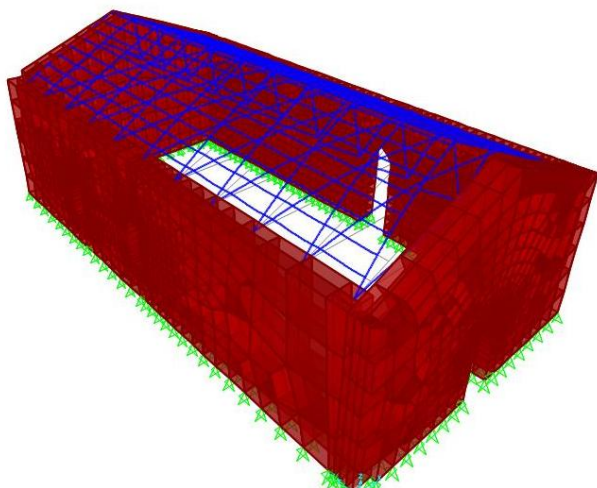


Πίνακας 4.25: Διαγράμματα Αξονικών Δυνάμεων



Παρατηρούμε, ότι όσον αφορά τα εντατικά μεγέθη, το ζευκτό μπορεί να διαστασιολογηθεί ανεξάρτητα από την υποκείμενη κατασκευή, αν αυτή αντικατασταθεί, είτε από ελατήρια είτε από άρθρωση και κύλιση. Η στατική αυτονομία του ζευκτού προεκτείνεται και στη δυναμική του συμπεριφορά όπως φαίνεται από τις παρακάτω εικόνες.

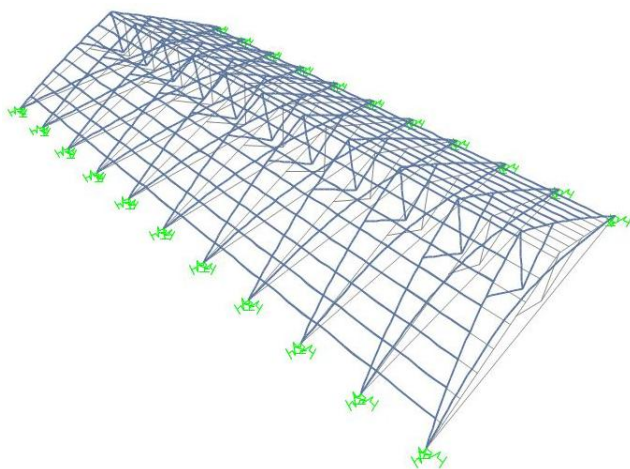
Διεύθυνση ΥΥ'



Εικόνα 4.26: περίπτωση α:

$T\gamma=0.393s$

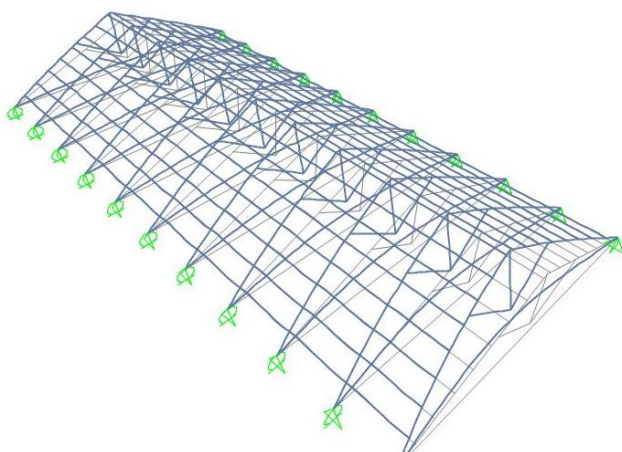
Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 11.1Mgr



Εικόνα 4.27: περίπτωση β:

$T\gamma=0.39367s$

Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 9.8Mgr

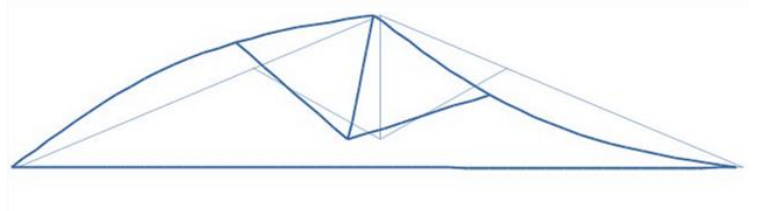
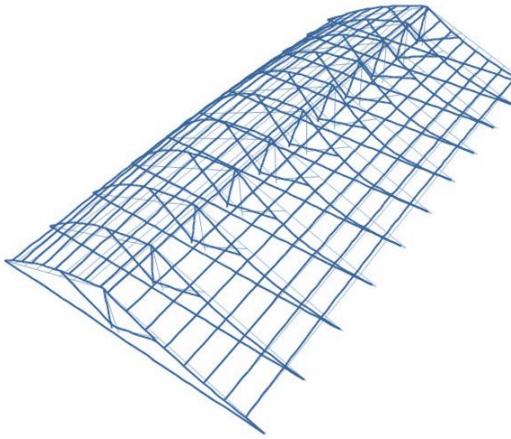


Εικόνα 4.28: περίπτωση γ:

$T\gamma=0.39313s$

Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 9.32Mgr

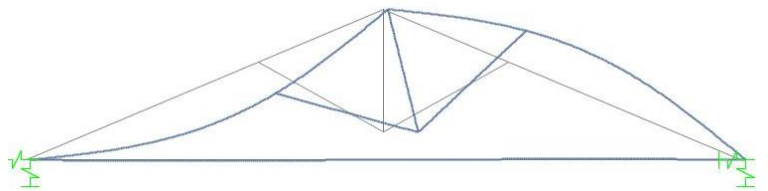
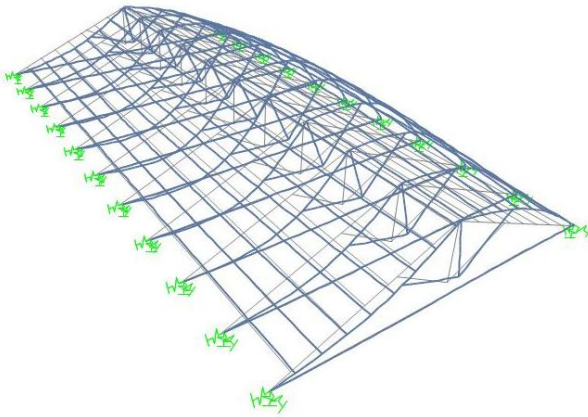
Διεύθυνση ΧΧ'



Εικόνα 4.29: Περίπτωση α:

$T_x=0.274s$

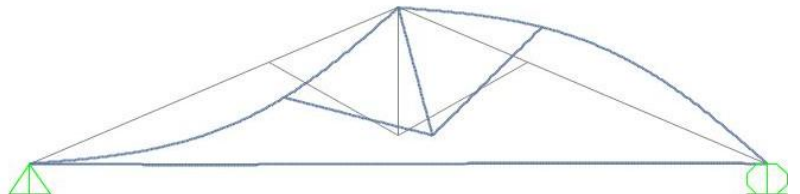
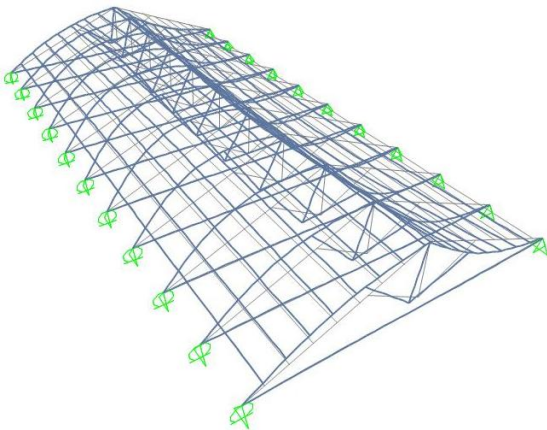
Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 48.2Mgr



Εικόνα 4.30: Περίπτωση β:

$T_x=0.270s$

Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 2.57Mgr



Εικόνα 4.31: Περίπτωση γ:

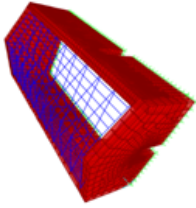
$T_x=0.263s$

Ενεργός ιδιομορφική μάζα: 1.38Mgr

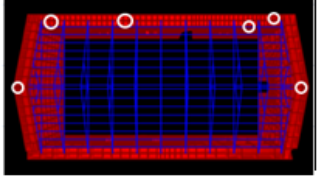
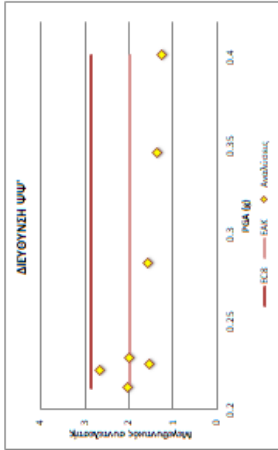
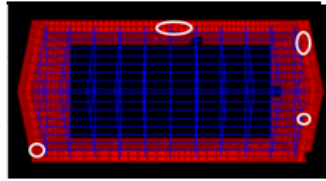
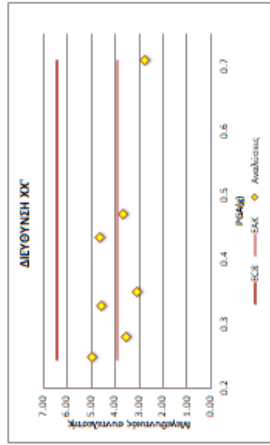
Βασισμένη Κερατολογία

Στοιχεία καταγραφής ετών: υποαναμετρική		Διαμετρική κλίση		
υποαναμετρικό οδόστρωμα		h (cm)	B (cm)	
Διαμετρικός ΧΧ' Διαμετρικός ΥΥ'		Αμφιβόλιος	22	18
S	1.2	συνολικός αέρας	18	18
Ta	0.200	Φωσφωρικός	22	18
Tb	0.228	Θαλασσίτης	18	18
Tc	0.1884	Θαλασσίτης	18	18
Z	5.2	είδος τρύφης	10	10
H	5.2	θόρυβος (dB(A))	110	110

Κυριώτερη επιλογή καταγραφής	
Μήκος (m)	18.75
Πλάτος (m)	9.9
είδος τρύφης	5.2
είδος τρύφης από το δάπεδο	1
είδος τρύφης	X



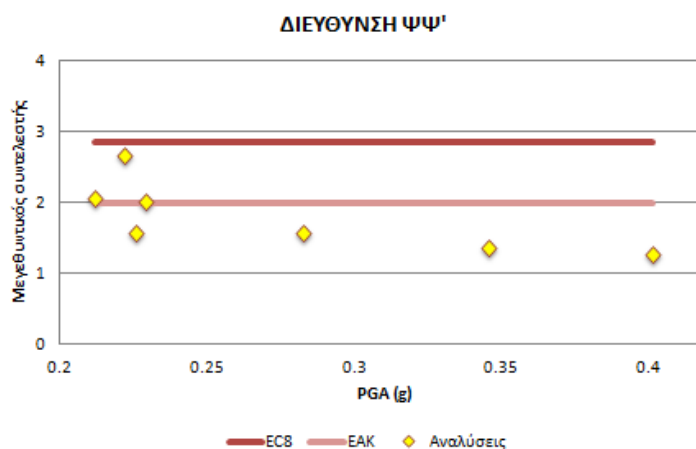
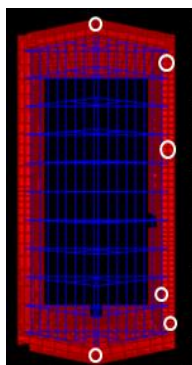
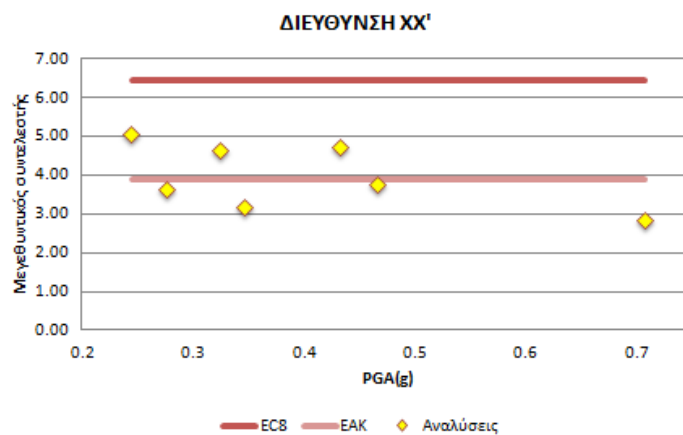
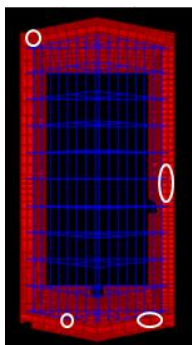
ΖΕΙΜΟΙ	Διαμετρικός ΧΧ'										Διαμετρικός ΥΥ'																						
	Μεγιστήν αδρανή κούρση (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)		S _u (kg/m ²)														
COBINTH	0.2064	0.432744	2.63	2	0.5192928	6.09	2	1	1.85727	2	1	1.80744714	3.7	10.337	1.97115	4.56	4.74	0.23677	0.3456842	0.37744	2	0.41482	1.2	0.46996	2	1	0.69137	2	4.526	1.33	9.30	2.74	14.00
SAN FERNANDO	0.32	0.4672	2.84	2	0.56064	6.09	2	1	1.85727	2	1	1.7354355	3.7	14.53	1.48114	3.17	6.80	0.275	0.4015	0.43838	2	0.4818	1.2	0.46996	2	1	0.803	2	4.81	1.22	24.13	6.13	15.04
IMPERIAL VALLEY	0.168	0.24528	1.49	2	0.204336	6.09	2	1	1.85727	2	1	0.51110384	3.7	12.06	1.3211	5.30	4.56	0.157	0.22022	0.25027	2	0.27506	1.2	0.46996	2	1	0.45844	2	3.73	1.66	16.18	7.20	12.05
LOMA PRETA	0.4847	0.707662	4.31	2	0.8491944	6.09	2	1	1.85727	2	1	2.62864247	3.7	18.58	1.89399	2.68	8.10	0.1519	0.221774	0.24214	2	0.26613	1.2	0.46996	2	1	0.44355	2	3.5	1.61	15.00	6.89	7.23
CHETSU DOKI	0.223	0.22558	1.98	2	0.390696	6.09	2	1	1.85727	2	1	1.20938162	3.7	17.86	1.82059	5.59	4.18	0.1547	0.225862	0.24661	2	0.27103	1.2	0.46996	2	1	0.45172	2	3.137	1.42	15.58	7.03	9.87
IMATE	0.238	0.34748	2.11	2	0.416076	6.09	2	1	1.85727	2	1	1.20073016	3.7	9.62	0.98063	2.82	4.18	0.1937	0.282802	0.30878	2	0.33036	1.2	0.46996	2	1	0.5656	2	3.42	1.23	13.04	4.70	7.63
CH CHI	0.19	0.2774	1.69	2	0.33288	6.09	2	1	1.85727	2	1	1.03041483	3.7	11.1	1.1315	4.08	4.20	0.1452	0.211992	0.23146	2	0.25439	1.2	0.46996	2	1	0.42398	2	2.693	1.27	12.61	6.06	6.45



Εικόνα 4.31β: Υπολογιστικό φύλλο επεξεργασίας σεισμικών στοιχείων κτιρίου Ι.Α

Σεισμικές επιταχύνσεις στέψης

Σε αυτό το στάδιο η κατασκευή υποβλήθηκε σε 7 σεισμικές διεγέρσεις με τη μορφή των γραμμικών χρονοϊστοριών τα φάσματα των οποίων καθώς και η διαδικασία κανονικοποίησής τους παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.3. Από τις σεισμικές αναλύσεις εξήχθησαν για κάθε σεισμό 2 διευθύνσεων, οι μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώθηκαν στη στέψη της κατασκευής και στον κορφιά της στέγης και συντάχθηκαν υπολογιστικά φύλλα excel για την περαιτέρω επεξεργασία τους (ενδεικτικά παρουσιάζεται το excel που αφορά το κτίριο I.A στην εικόνα 4.31β). Από τις επιταχύνσεις της στέψης σημειώθηκαν οι μέγιστες επιταχύνσεις για κάθε διεύθυνση του σεισμού για τις πλευρές όπου εδράζονται τα ζευκτά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι θέσεις που εμφανίζονται οι μέγιστες επιταχύνσεις. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προτείνουν ο EC8 και ο ΕΑΚ για τα προσαρτήματα (κεφάλαιο 3.2) και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας. Σημειώνεται ότι ως συντελεστής μεγέθυνσης εδώ αναφέρεται ο λόγος της επιτάχυνσης που σημειώνεται στη στέψη προς την επιτάχυνση που επιβάλλεται στη βάση της κατασκευής.

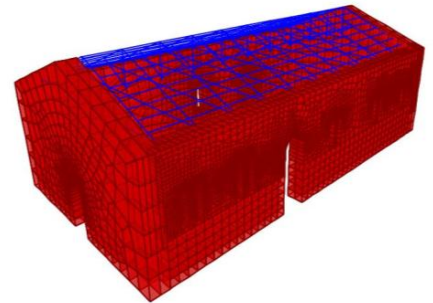


Εικόνα 4.32: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

Σημειώνεται πως σε αυτό το σημείο έγινε εκτενής περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την ανάλυση όλων των κατασκευών. Για τις κατασκευές που θα ακολουθούν η διαδικασία και τα αποτελέσματα θα παρουσιάζονται εν συντομία.

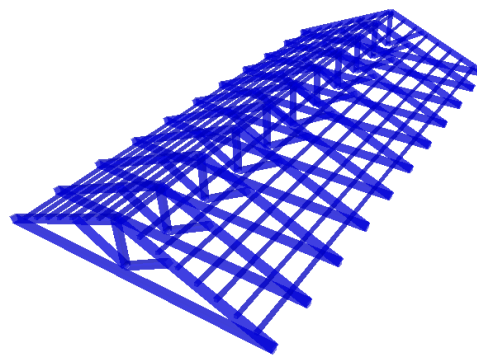
4.4.2 Κτίριο I.B

Η κατασκευή ακριβώς όπως περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε για κολυμβητά κεραμίδια. Η κάτοψη της κατασκευής είναι 9.9m x 18.75m και ύψος μακρών πλευρών 5.2m. Ενώ τα ζευκτά της στέγης είναι διατεταγμένα ανά 1.7m. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.32: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	22	18
Αντηρίδες	18	18
Ελκυστήρας	22	18
Ορθοστάτες	18	18
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		130

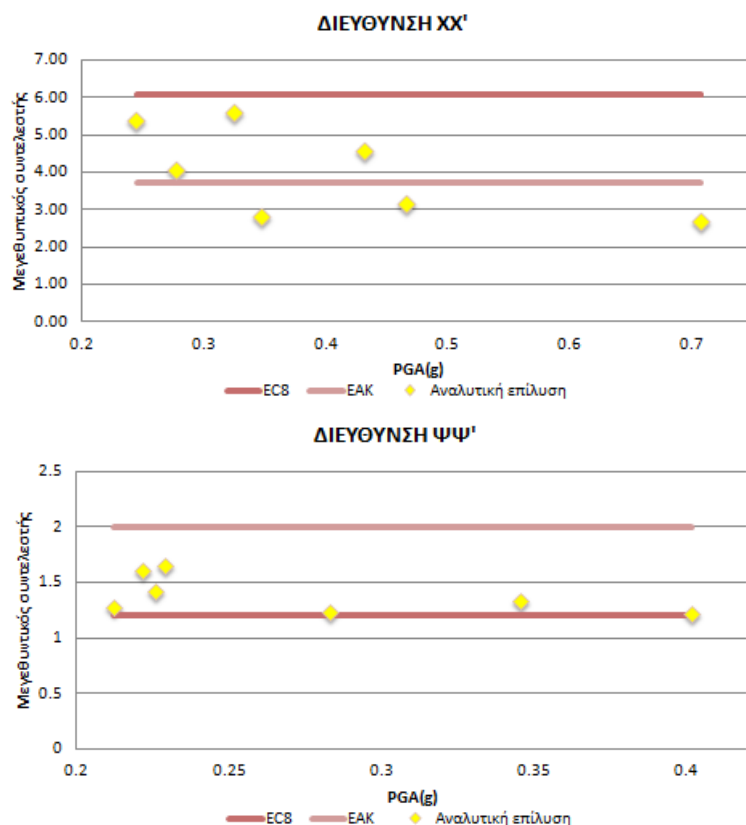


Εικόνα 4.33: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.

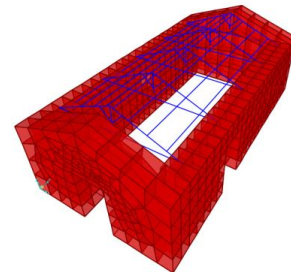
Πίνακας 4.34	T _χ	T _ψ
Στέγη	0.2s	0.528s
Σύνολο κατασκευής	0.28s	0.188s

Εικόνα 4.35: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



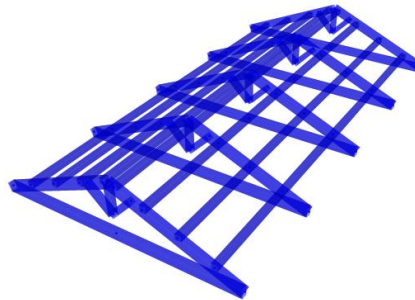
4.4.3 Κτίριο Π.Α

Πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 5m x 9.5m και ύψος μακρών πλευρών 2.6m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.8m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



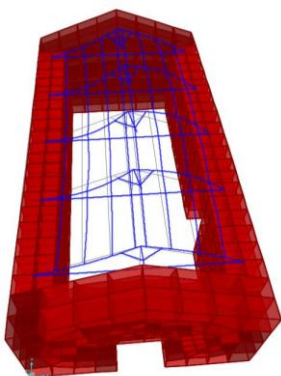
Εικόνα 4.36: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	10
Αντηρίδες	10	10
Ελκυστήρας	16	10
Ορθοστάτης	10	10
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50

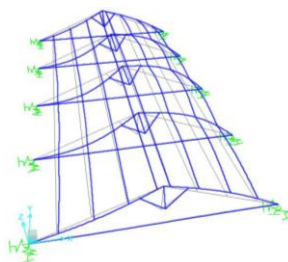


Εικόνα 4.37: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

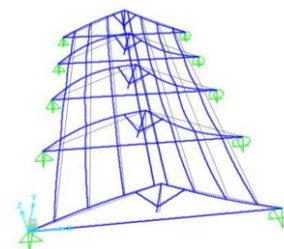
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προτείνουν ο EC8 και ο ΕΑΚ για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.



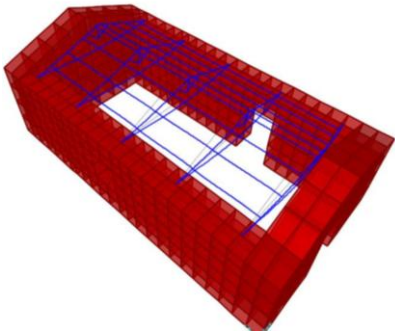
Εικόνα 4.38: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.0733s$



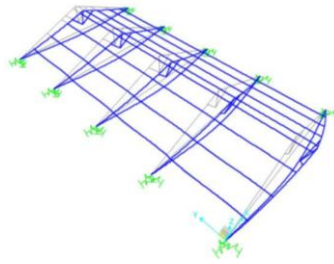
Εικόνα 4.39.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.0727s$ (ελατήρια)



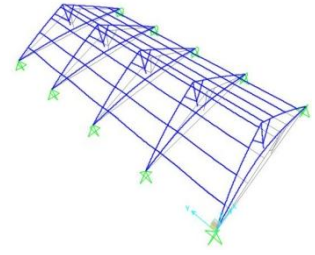
Εικόνα 4.39.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.0734s$ (άρθρωση-κύλιση)



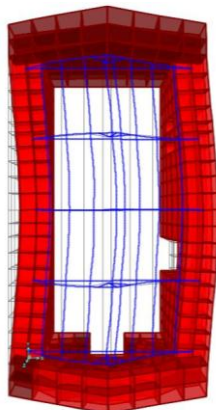
Εικόνα 4.40: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_{\psi}=0.1860s$



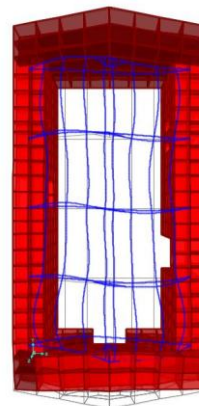
Εικόνα 4.41.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.1862s$ (ελατήρια)



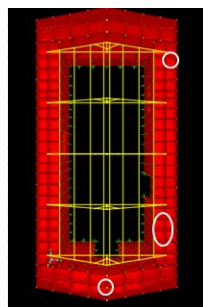
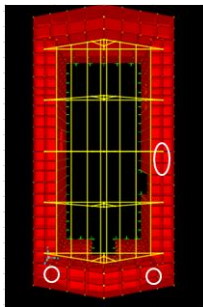
Εικόνα 4.41.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.190s$ (άρθρωση-κύλιση)



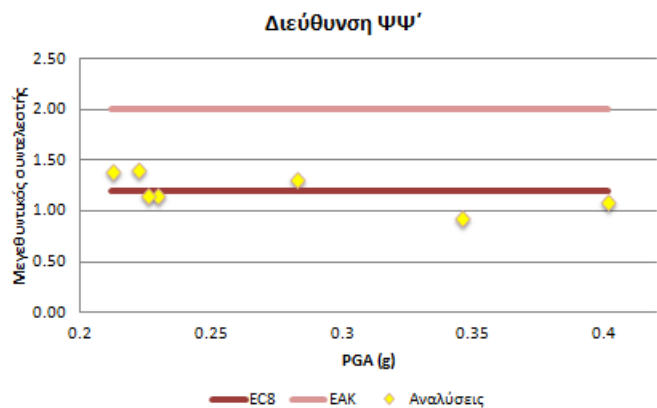
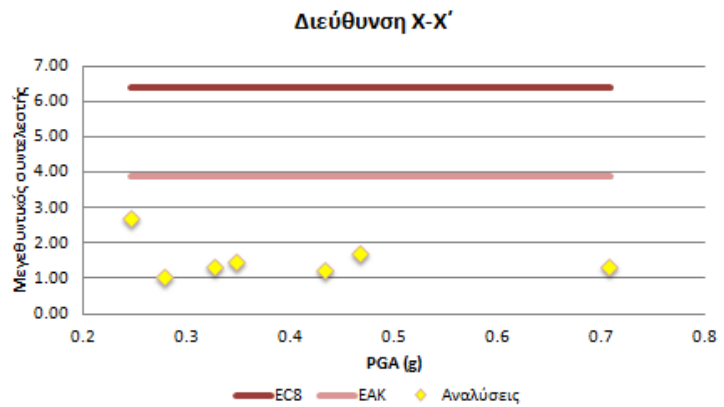
Εικόνα 4.42: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.063s$



Εικόνα 4.43: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.048s$

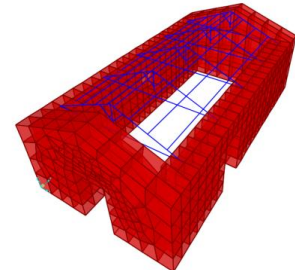


Εικόνα 4.44: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις



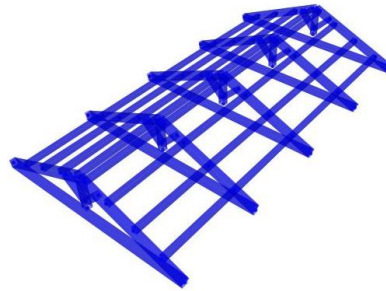
4.4.4 Κτίριο II.B

Όμοια με το κτίριο II.A πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 5m x 9.5m και ύψος μακρών πλευρών 2.6m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.8m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από κολυμβητά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.45: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		130

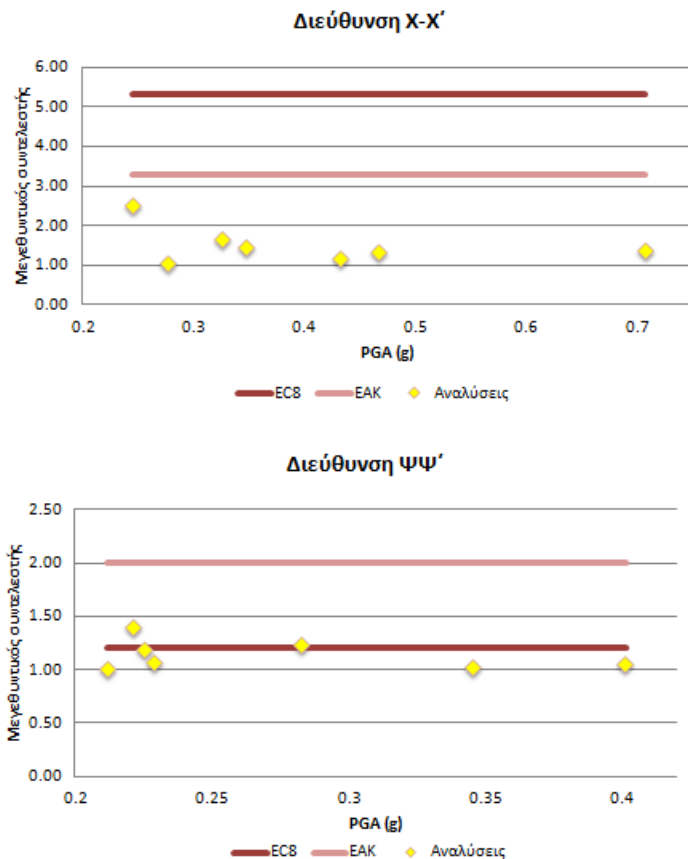


Εικόνα 4.46: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.

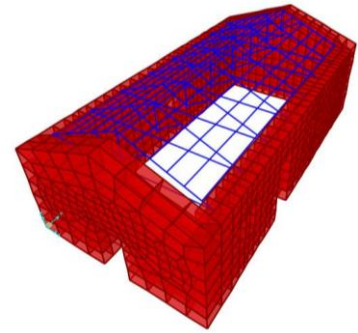
Πίνακας 4.47	T _x	T _ψ
Στέγη	0.10s	0.254s
Σύνολο κατασκευής	0.069s	0.048s

Εικόνα 4.48: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



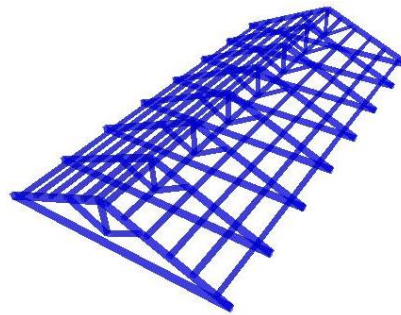
4.4.5 Κτίριο III.A

Πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 7m x 13.3m και ύψος μακρών πλευρών 3.7m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.6m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



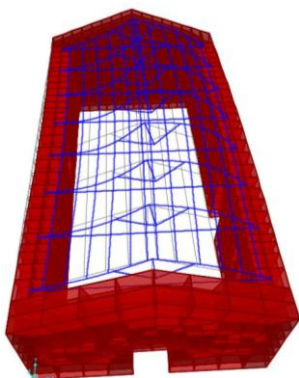
Εικόνα 4.49: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	10
Αντηρίδες	10	10
Ελκυστήρες	16	10
Ορθοστάτες	10	10
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

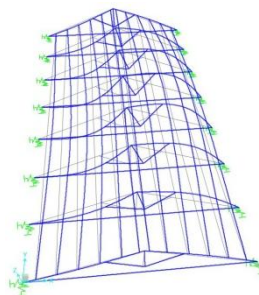


Εικόνα 4.50: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

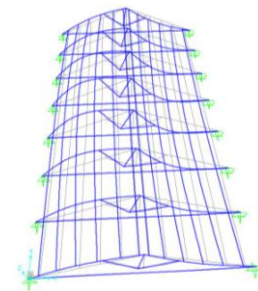
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.



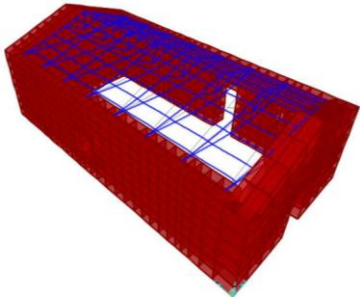
Εικόνα 4.51: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.139s$



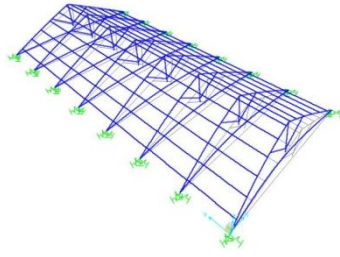
Εικόνα 4.52.α: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.133s$ (ελατήρια)



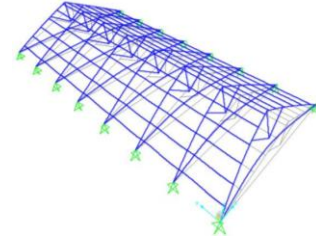
Εικόνα 4.52.β: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.136s$ (άρθρωση-κύλιση)



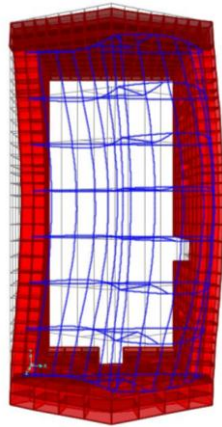
Εικόνα 4.53: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_{\psi}=0.2583s$



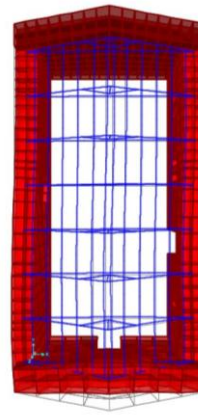
Εικόνα 4.54.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.2579s$ (ελατήρια)



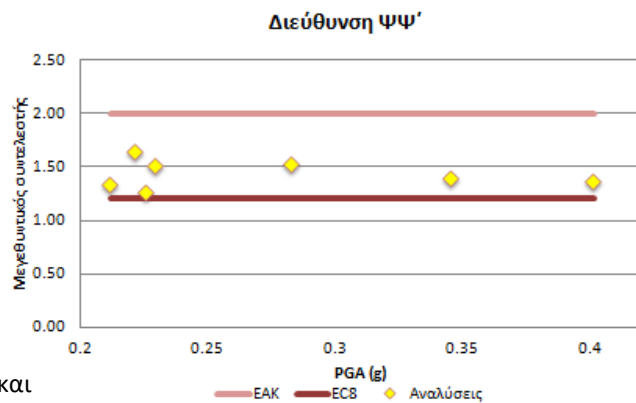
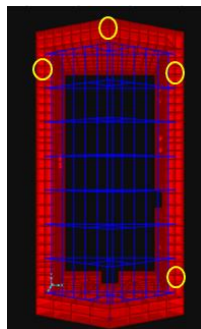
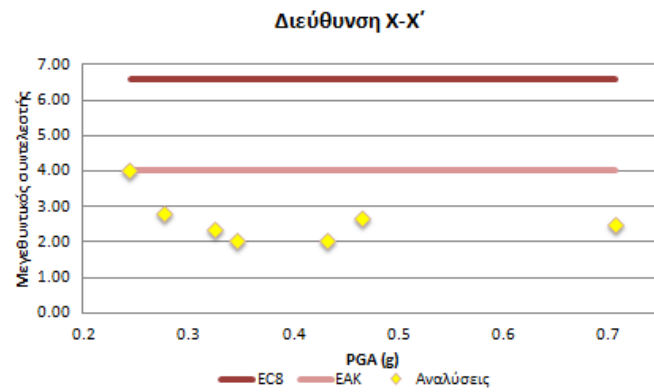
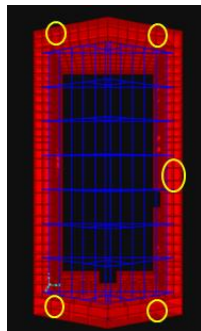
Εικόνα 4.54.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.266s$ (άρθρωση-κύλιση)



Εικόνα 4.55: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.139s$



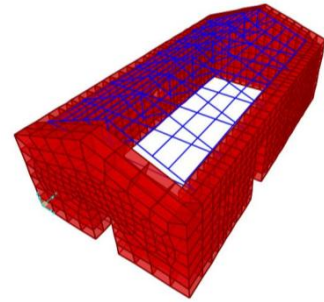
Εικόνα 4.56: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.084s$



Εικόνα 4.57: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις ~ 58 ~

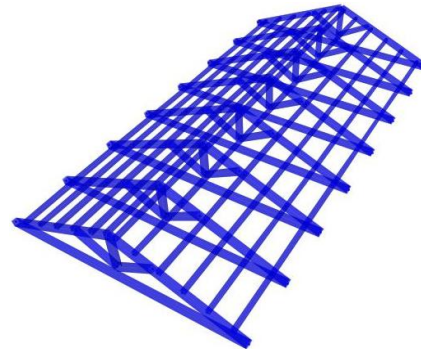
4.4.6 Κτίριο III.B

Όμοια με το κτίριο III.A πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 7m x 13.3m και ύψος μακρών πλευρών 3.7m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.6m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από κολυμβητά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.58: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	14
Αντηρίδες	14	14
Ελκυστήρες	16	14
Ορθοστάτες	14	14
Τηγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		130

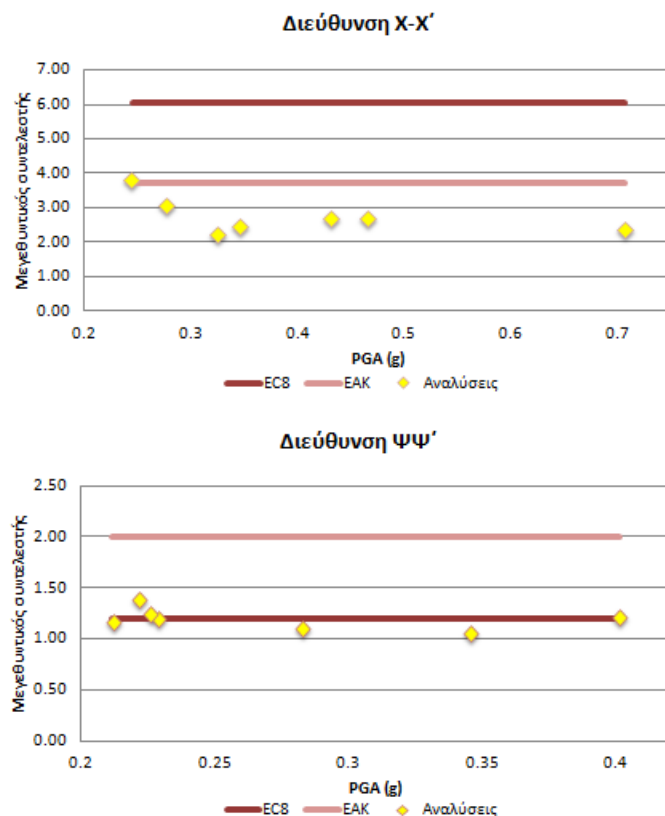


Εικόνα 4.59: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.

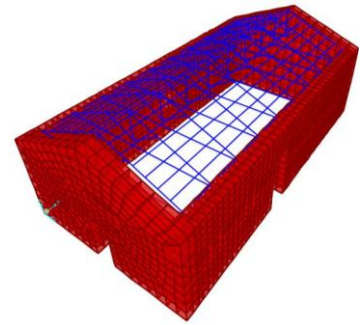
Πίνακας 4.60	T _x	T _ψ
Στέγη	0.172s	0.352s
Σύνολο κατασκευής	0.134s	0.084s

Εικόνα 4.61: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



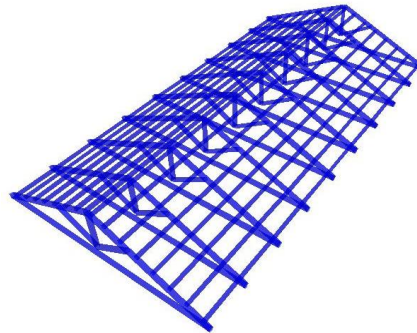
4.4.7 Κτίριο IV.A

Πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 9mx17m και ύψος μακρινών πλευρών 4.7m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.7m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



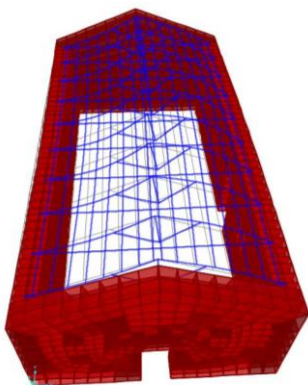
Εικόνα 4.62: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

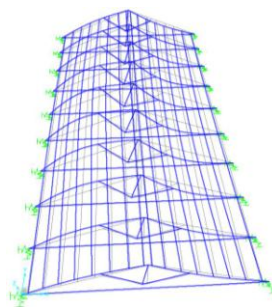


Εικόνα 4.63: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

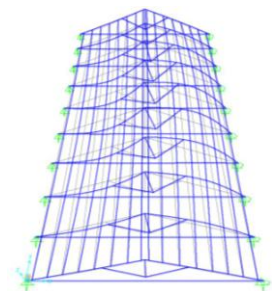
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.



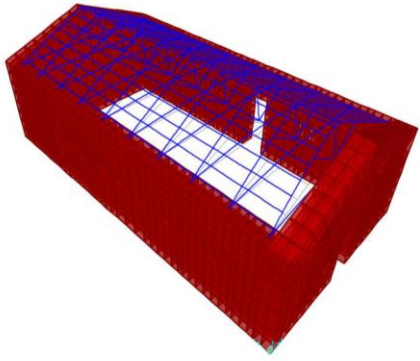
Εικόνα 4.64: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.228s$



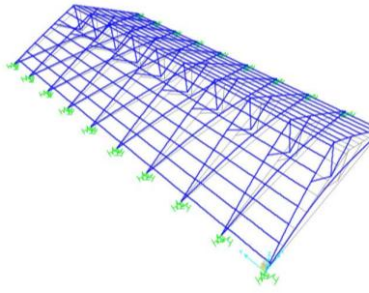
Εικόνα 4.65.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.227s$ (ελατήρια)



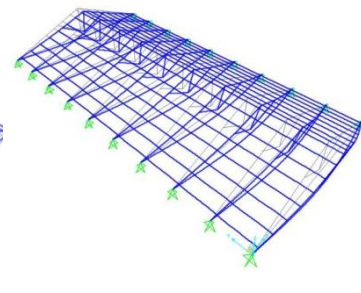
Εικόνα 4.65.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.221s$ (άρθρωση-κύλιση)



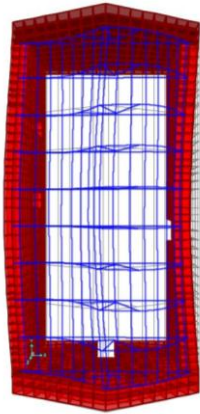
Εικόνα 4.66: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T\psi=0.3416s$



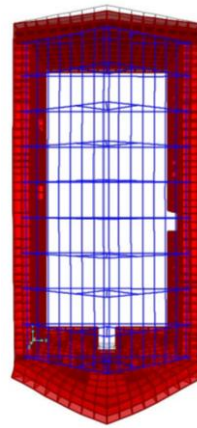
Εικόνα 4.67.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.342s$ (ελατήρια)



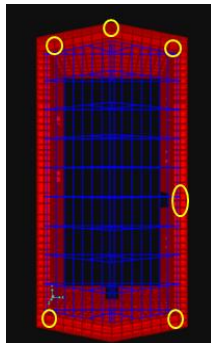
Εικόνα 4.67.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.351s$ (άρθρωση-κύλιση)



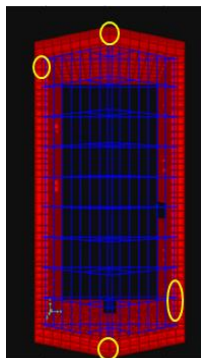
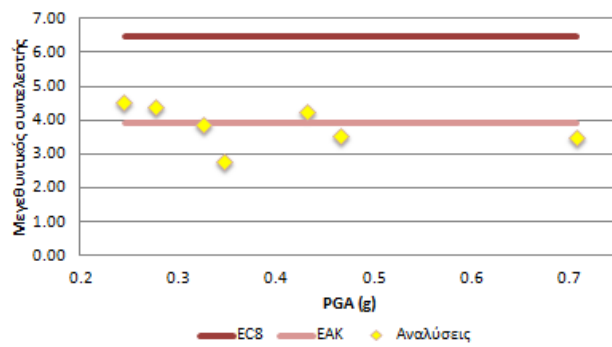
Εικόνα 4.68: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\chi=0.199s$



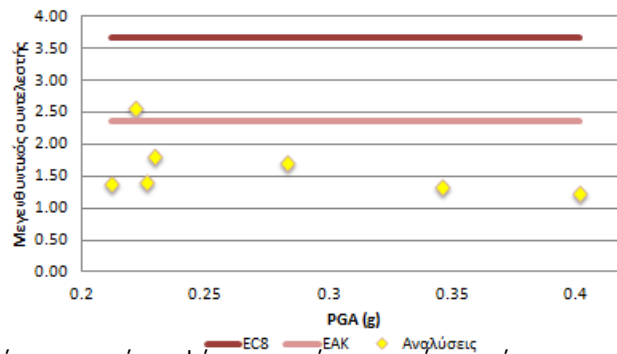
Εικόνα 4.69: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.186s$



Διεύθυνση X-X'



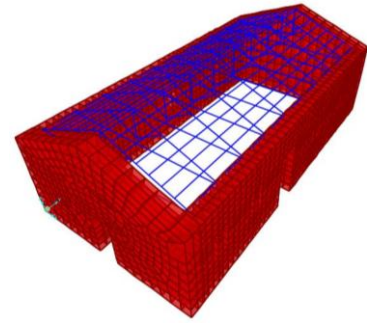
Διεύθυνση $\Psi\Psi'$



Εικόνα 4.70: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

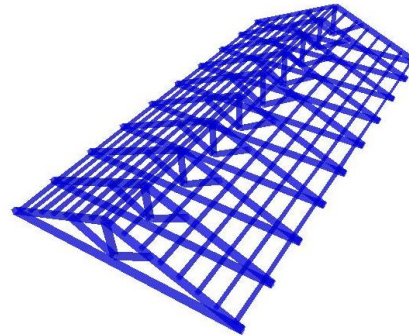
4.4.8 Κτίριο IV.B

Πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 9m x 17m και ύψος μακρών πλευρών 4.7m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.7m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από κολυμβητά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.71: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	18	16
Αντηρίδες	16	16
Ελκυστήρες	18	16
Ορθοστάτες	16	16
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	130	

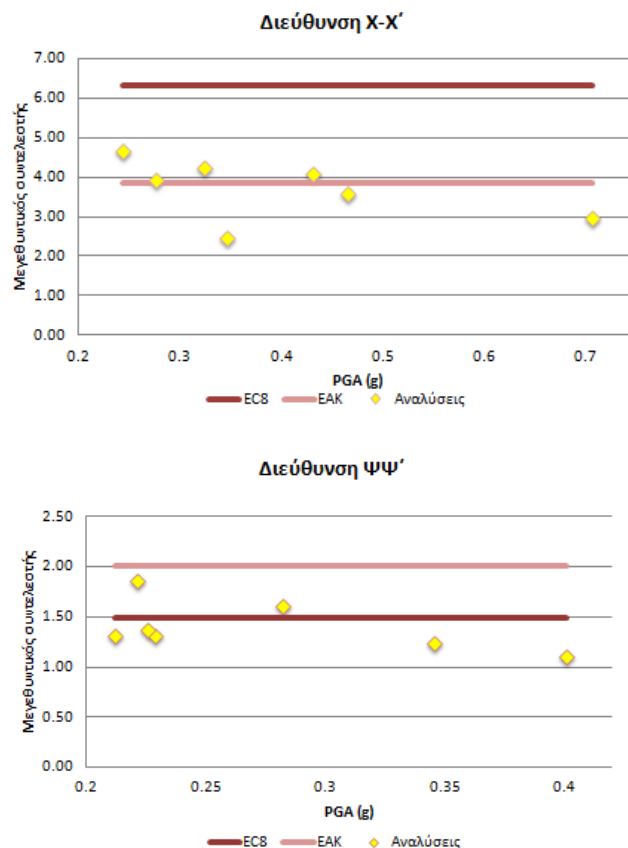


Εικόνα 4.72: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.

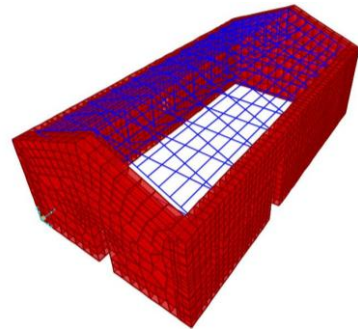
Πίνακας 4.73	T _x	T _ψ
Στέγη	0.253s	0.475s
Σύνολο κατασκευής	0.211s	0.185s

Εικόνα 4.74: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



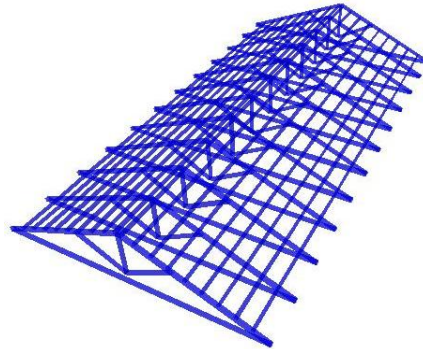
4.4.9 Κτίριο V.A

Πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 11mx20.8m και ύψος μακρών πλευρών 5.8m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.7m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



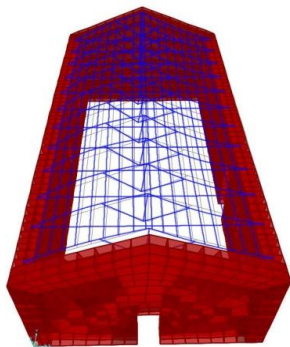
Εικόνα 4.75: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50

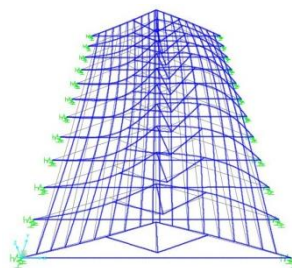


Εικόνα 4.76: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

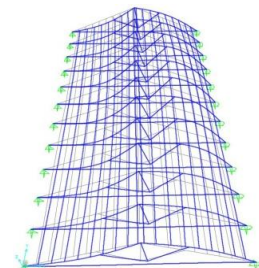
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.



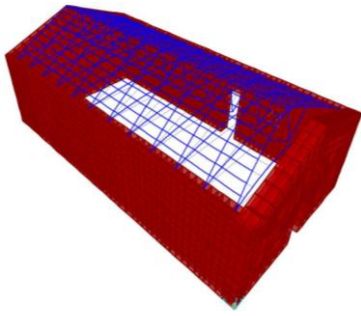
Εικόνα 4.77: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.334s$



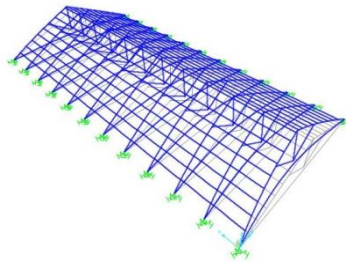
Εικόνα 4.78.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.339s$ (ελατήρια)



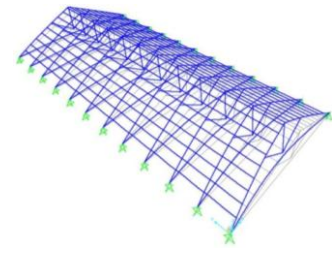
Εικόνα 4.78.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.331s$ (άρθρωση-κύλιση)



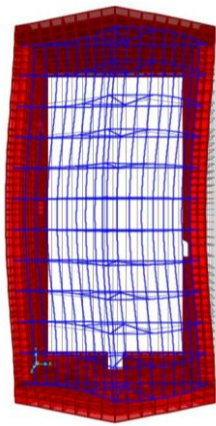
Εικόνα 4.79: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_{\psi}=0.475s$



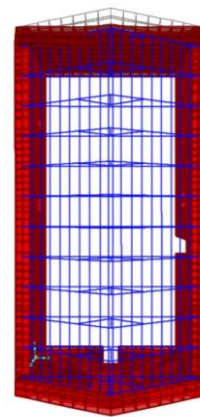
Εικόνα 4.80.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.482s$ (ελατήρια)



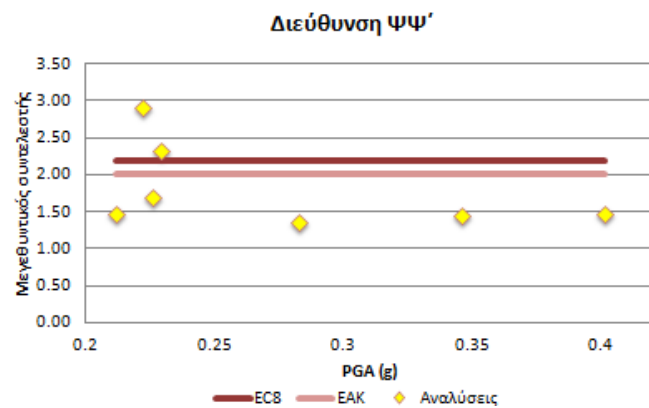
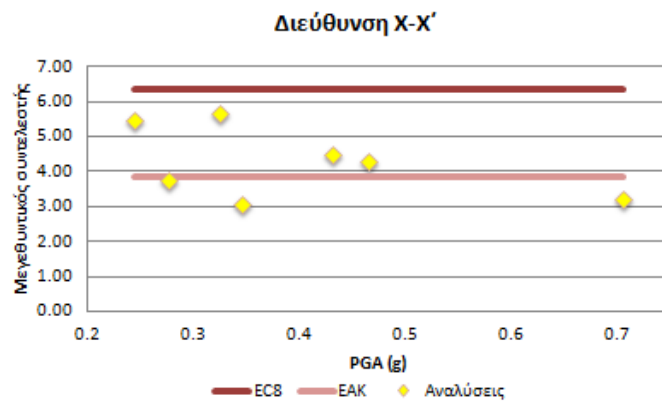
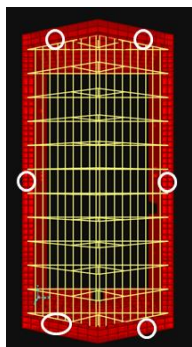
Εικόνα 4.80.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.475s$ (άρθρωση-κύλιση)



Εικόνα 4.81: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.288s$



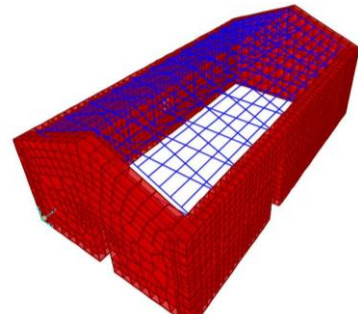
Εικόνα 4.82: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.214s$



Εικόνα 4.83: Μεγθ. συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

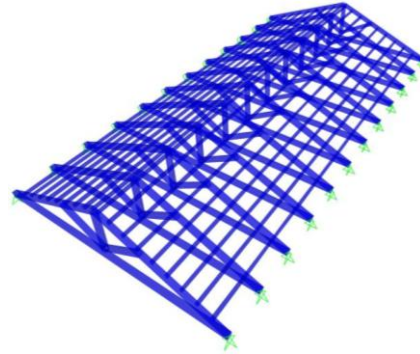
4.4.10 Κτίριο V.B

Όμοια με το κτίριο V.A πρόκειται για ορθογωνικό κτίσμα με κάτοψη διαστάσεων 11m x 20.8m και ύψος μακρών πλευρών 5.8m. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 80 cm. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά διατεταγμένα ανά 1.7m. Η κλίση της στέγης είναι 22°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από κολυμβητά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.84: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	22	18
Αντηρίδες	18	18
Ελκυστήρες	22	18
Ορθοστάτες	18	18
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	130	

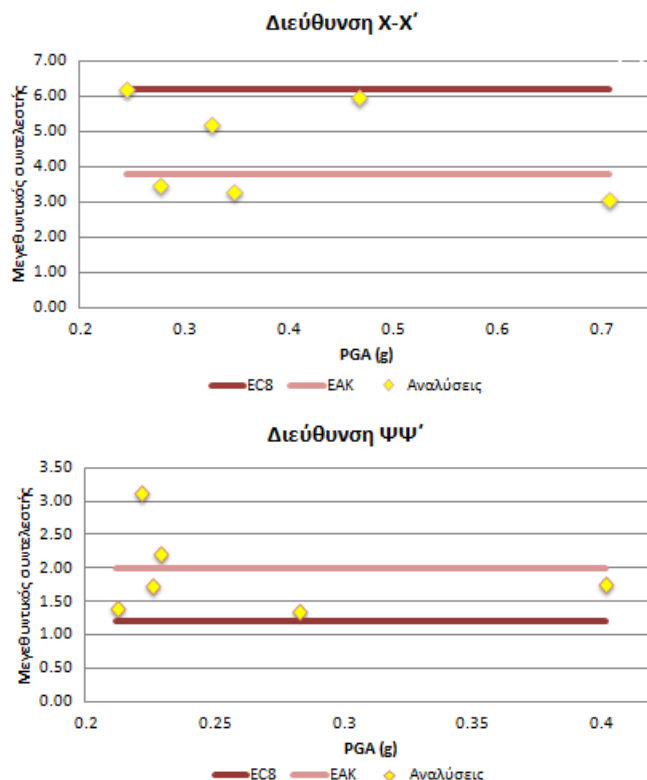


Εικόνα 4.85: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των μακρών πλευρών.

Πίνακας 4.86	T _χ	T _ψ
Στέγη	0.248s	0.635s
Σύνολο κατασκευής	0.330s	0.213s

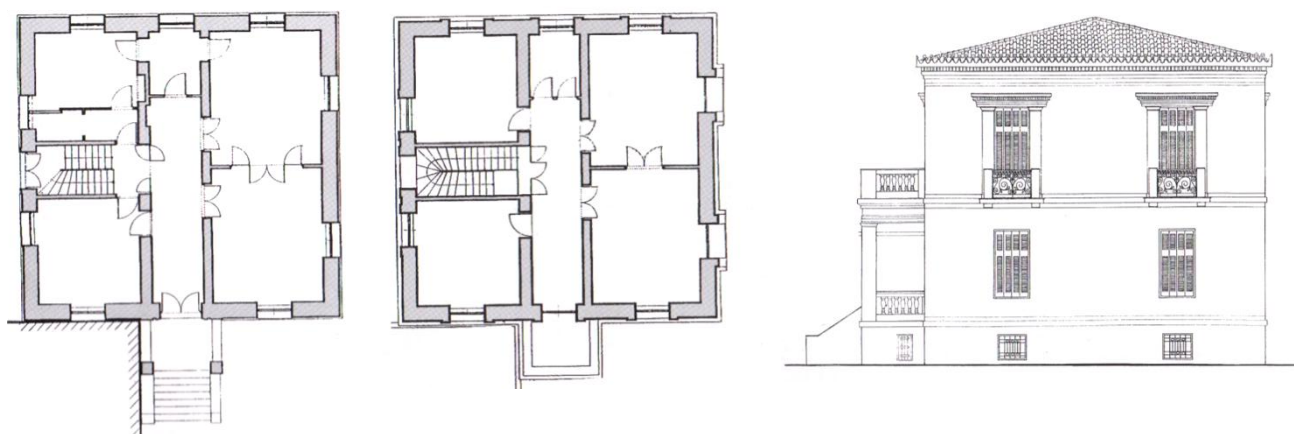
Εικόνα 4.86: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



4.5 Κτίσματα με τετράρριχτες στέγες

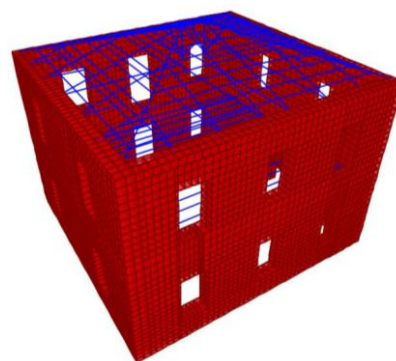
4.5.1 Κτίριο VI.A

Νεοκλασική κατοικία η οποία βρίσκεται στη συμβολή των οδών Επτανήσου και Χανίων στην Κυψέλη. Χρησιμοποιήθηκε η αποτύπωση της κατασκευής από το Σπουδαστήριο Αρχιτεκτονικής Μορφολογίας της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. που περιλαμβάνεται στην έκδοση «Νεοκλασικά σπίτια της Αττικής».



Εικόνα 4.87: Κάτοψεις ισογείου και ορόφου και όψεις [1]

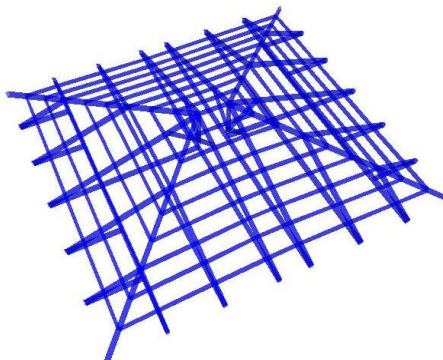
Πρόκειται για κτίσμα με σχεδόν τετραγωνική κάτοψη διαστάσεων $11.8 \times 12.5 \text{m}^2$ με συμμετρία στις όψεις. Η κατοικία συντίθεται από ημιυπόγειο, ισόγειο και όροφο. Το ημιυπόγειο έχει ύψος 3m ενώ οι υπόλοιποι χώροι έχουν ύψος 4m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Οι εσωτερικές τοιχοποιίες θεωρήθηκαν ασύνδετες με τις εξωτερικές και για αυτό δεν περιλαμβάνονται στο αριθμητικό προσομοίωμα, καθώς σε μία τέτοια περίπτωση δεν συμβάλλουν στην σεισμική απόκριση της κατασκευής. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Το ημιυπόγειο της κατασκευής αγνοήθηκε καθώς κατασκευές με ημιυπόγειο πρέπει να μελετηθούν χωριστά καθώς αποτελούν ειδική περίπτωση. Έτσι η εν λόγω κατοικία προσομοιώθηκε ως διώροφη ενώ στα επόμενα κεφάλαια ακολουθούν κάποιες παραλλαγές της. Η στάθμη έδρασης της στέγης βρίσκεται στα 8.7m.



Εικόνα 4.88: Αριθμητικό προσομοίωμα

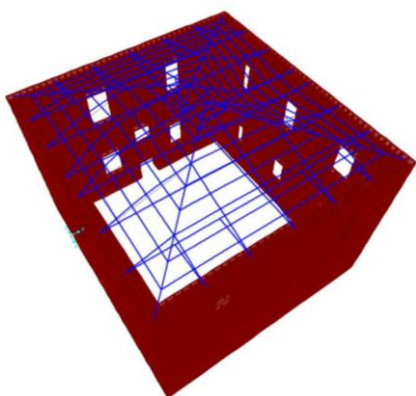
Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από 2 ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 17°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50

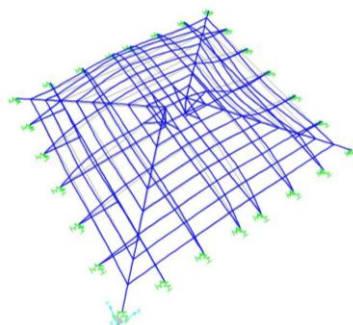


Εικόνα 4.89: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

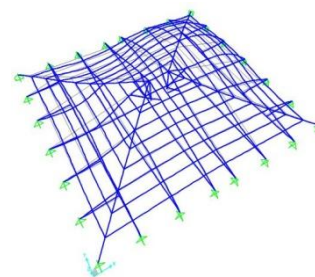
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα (με ελατήρια και αρθρώσεις - κυλίσεις) καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.



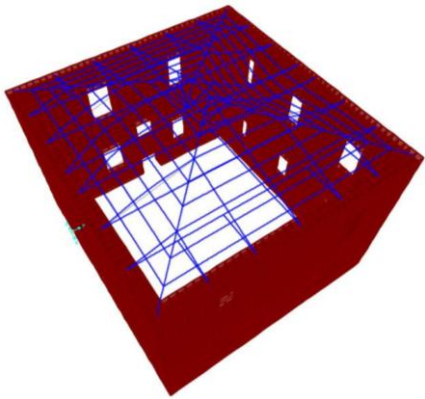
Εικόνα 4.90:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.152s$



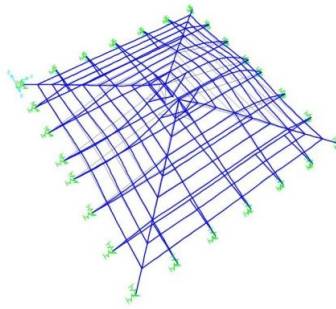
Εικόνα 4.91.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.154s$ (ελατήρια)



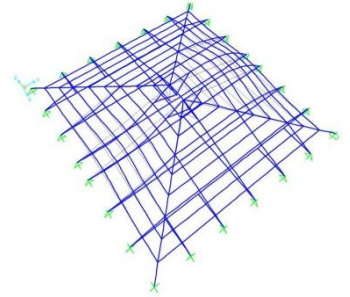
Εικόνα 4.91.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.156s$ (άρθρωση και κύλιση)



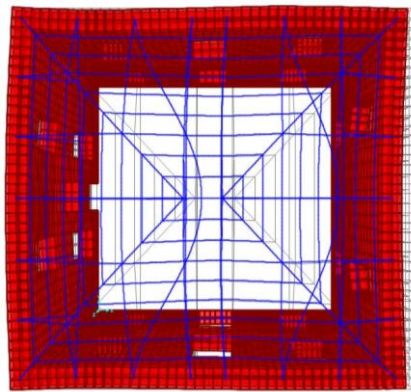
Εικόνα 4.91: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_{\psi}=0.214s$



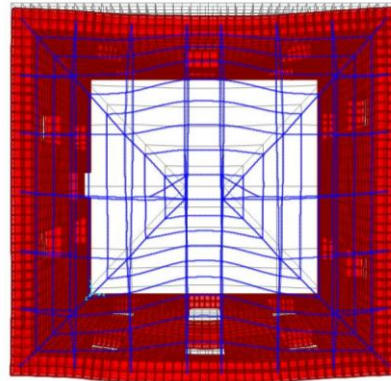
Εικόνα 4.92.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.222s$ (ελατήρια)



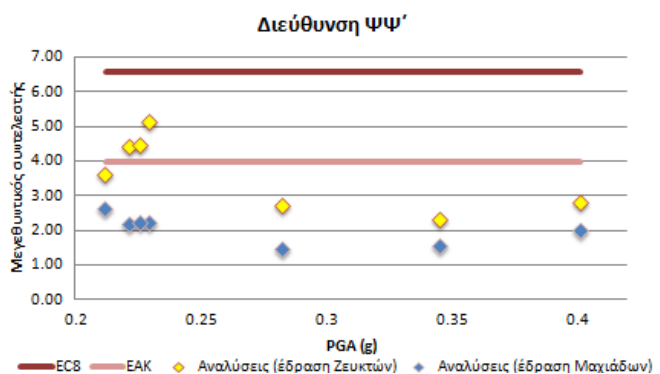
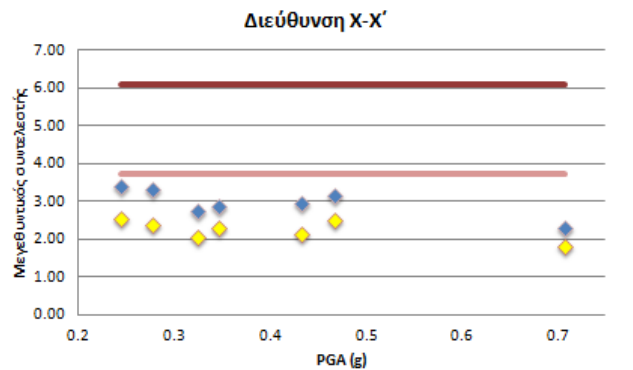
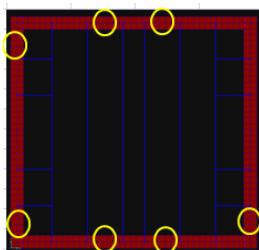
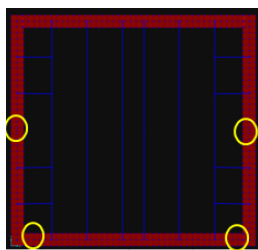
Εικόνα 4.92.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.211s$ (άρθρωση - κύλιση)



Εικόνα 4.93: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.208s$



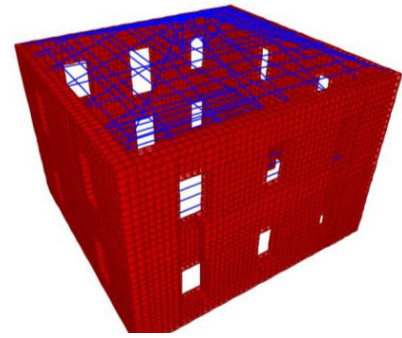
Εικόνα 4.93: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.201s$



Εικόνα 4.94: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

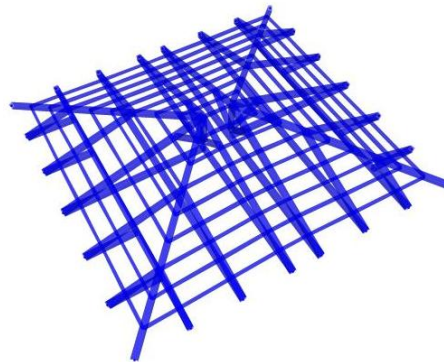
4.5.2 Κτίριο VI.B

Όμοια με το κτίριο VI.A πρόκειται για κτίσμα με σχεδόν τετραγωνική κάτοψη διαστάσεων 11.8x12.5m² με συμμετρία στις όψεις ύψος στέψης 8.7m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Η κλίση της στέγης είναι 17°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από κολυμβητά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.95: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	22	18
Αντηρίδες	18	18
Ελκυστήρες	22	18
Ορθοστάτες	18	18
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	130	

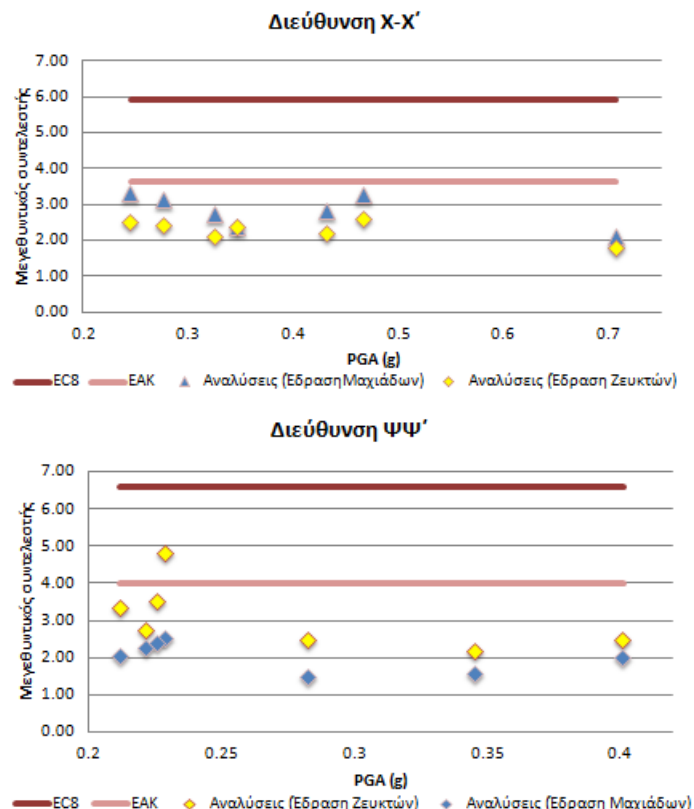


Εικόνα 4.96: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

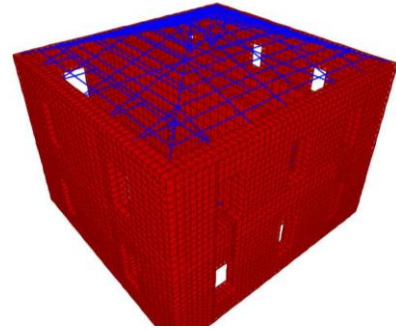
Πίνακας 4.97	T _x	T _ψ
Στέγη	0.14s	0.19s
Σύνολο κατασκευής	0.21s	0.20s

Εικόνα 4.98: Μεγθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



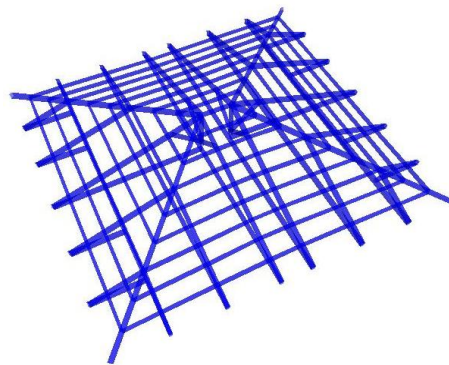
4.5.3 Κτίριο VI.Γ

Πρόκειται για το κτίσμα VI.A θεωρώντας αυτή τη φορά πως οι εσωτερικές τοιχοποιίες είναι συνδεδεμένες με τις εξωτερικές. Έτσι, η κάτοψη της κατασκευής είναι ομοίως σχεδόν τετραγωνική διαστάσεων $11.8 \times 12.5 \text{m}^2$ και το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 8.7m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm ενώ οι εσωτερικές 40cm. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Η κλίση της στέγης είναι 17° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



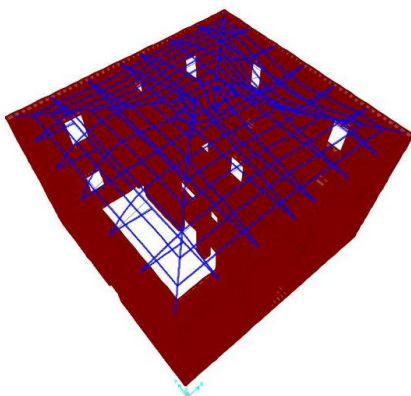
Εικόνα 4.99: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

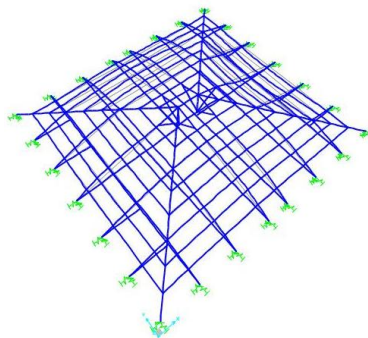


Εικόνα 4.100: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

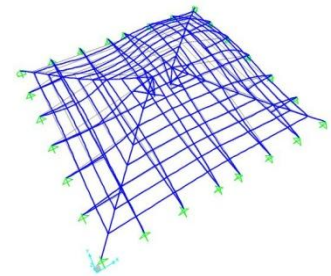
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.



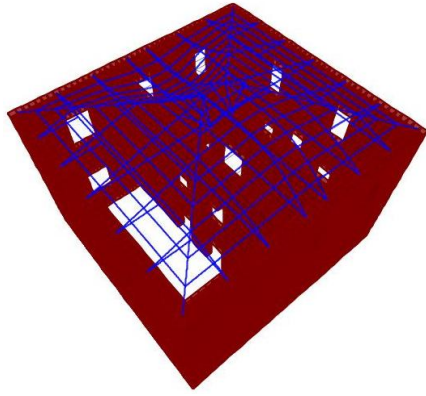
Εικόνα 4.101: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.151\text{s}$



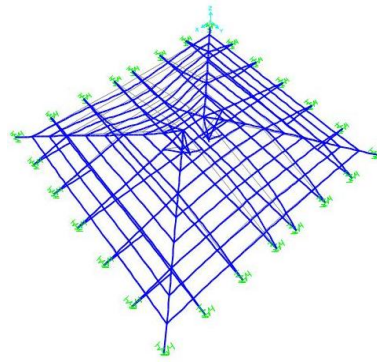
Εικόνα 4.102.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.154\text{s}$ (ελατήρια)



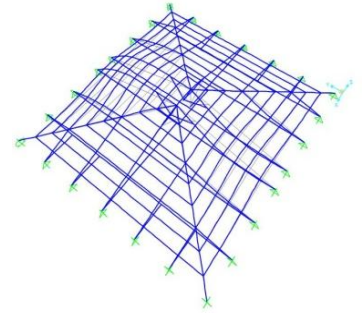
Εικόνα 4.102.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.156\text{s}$ (άρθρωση και κύλιση)



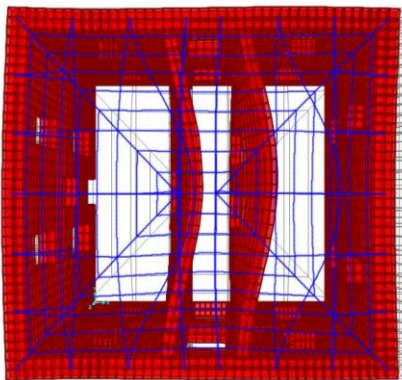
Εικόνα 4.103:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_{\psi}=0.214s$



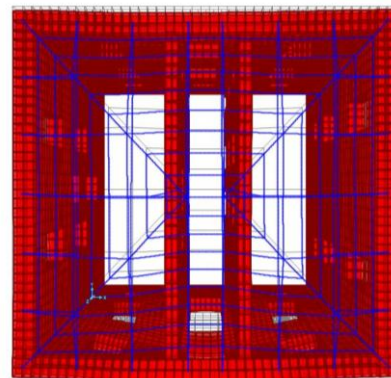
Εικόνα 4.104.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.222s$ (ελατήρια)



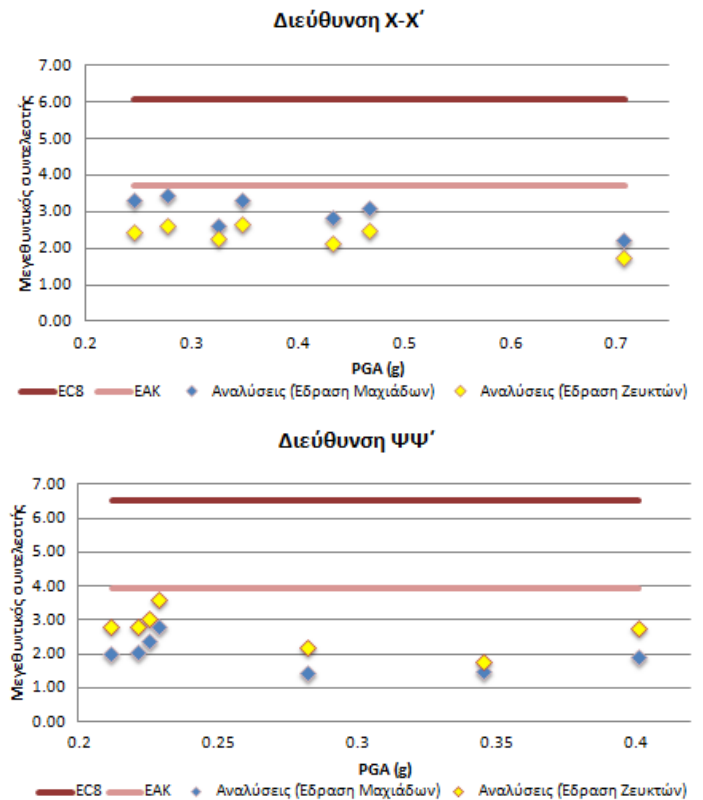
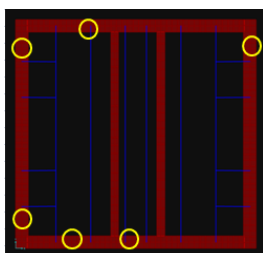
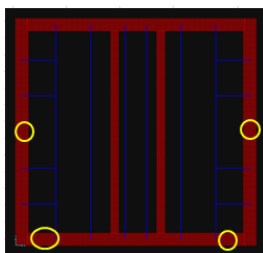
Εικόνα 4.104.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.211s$ (άρθρωση - κύλιση)



Εικόνα 4.105: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.210s$



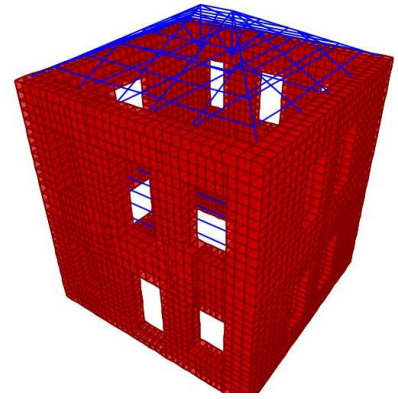
Εικόνα 4.106: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_{\psi}=0.193s$



Εικόνα 4.107: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

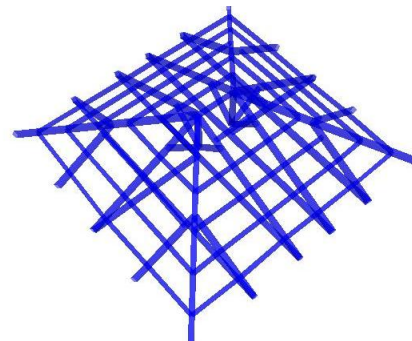
4.5.4 Κτίριο VI.Δ

Πρόκειται για κτίσμα με σχεδόν τετραγωνική κάτοψη διαστάσεων $8.3 \times 8.2 \text{m}^2$, 2 ορόφων με ύψος ορόφου 4m και ύψος στέψης 8.7m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Η κλίση της στέγης είναι 27° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.108: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

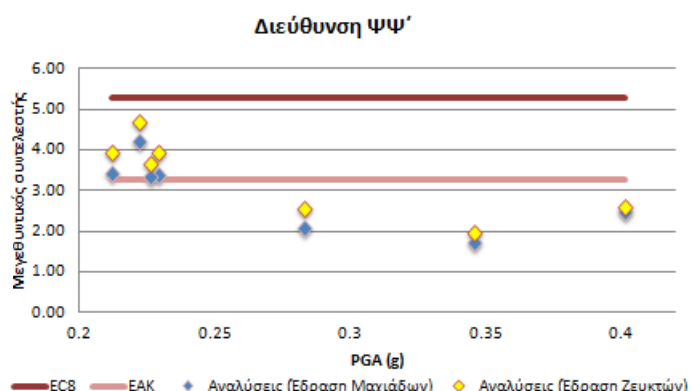
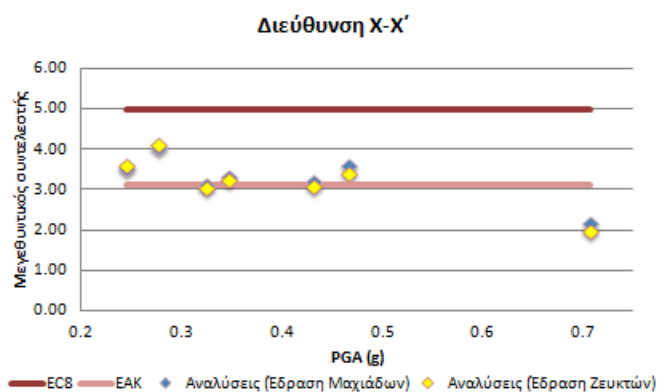


Εικόνα 4.109: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

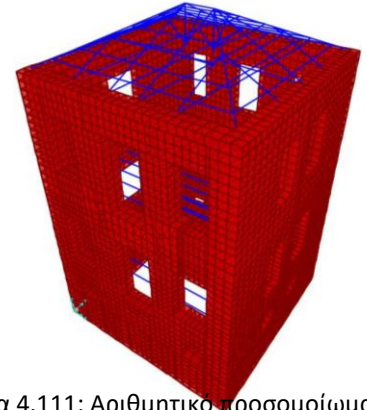
Πίνακας 4.110	T _χ	T _ψ
Στέγη	0.099s	0.096s
Σύνολο κατασκευής	0.22s	0.18s

Εικόνα 4.110: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



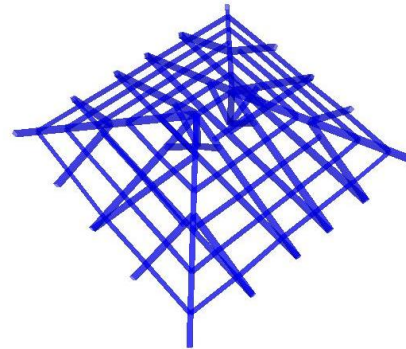
4.5.5 Κτίριο VI.E

Πρόκειται για κτίσμα με σχεδόν τετραγωνική κάτοψη διαστάσεων $8.3 \times 8.2 \text{ m}^2$, 3 ορόφων και ύψος στέψης 11.7m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Η κλίση της στέγης είναι 27° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.111: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

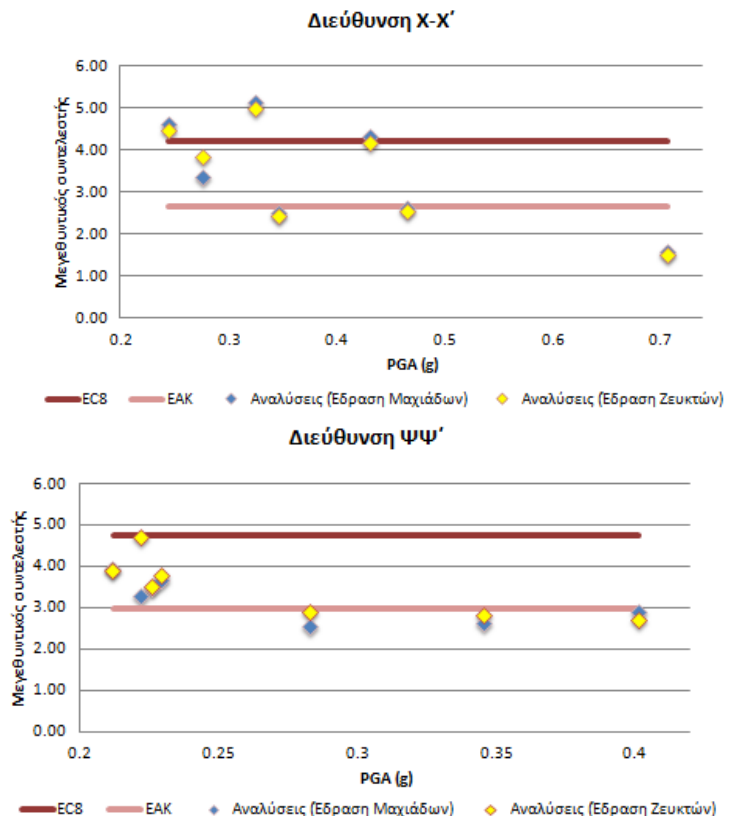


Εικόνα 4.112: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

Πίνακας 4.113	T _χ	T _ψ
Στέγη	0.082s	0.097s
Σύνολο κατασκευής	0.264s	0.233s

Εικόνα 4.114: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



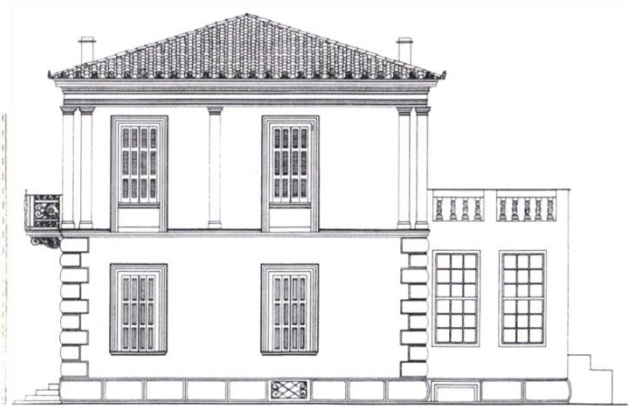
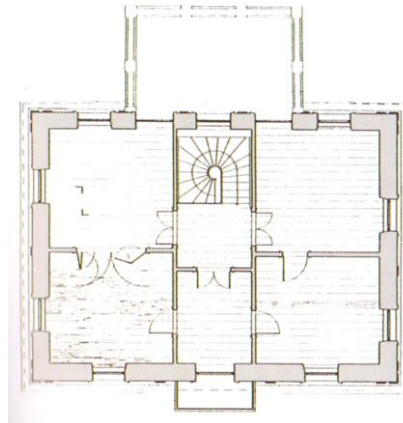
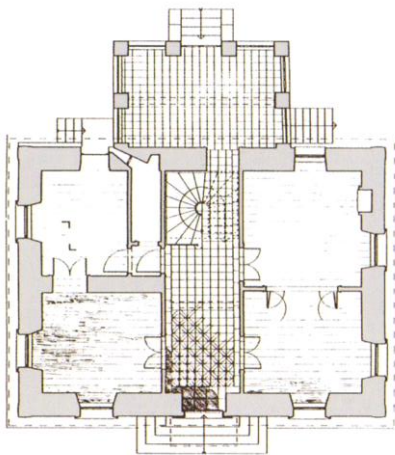
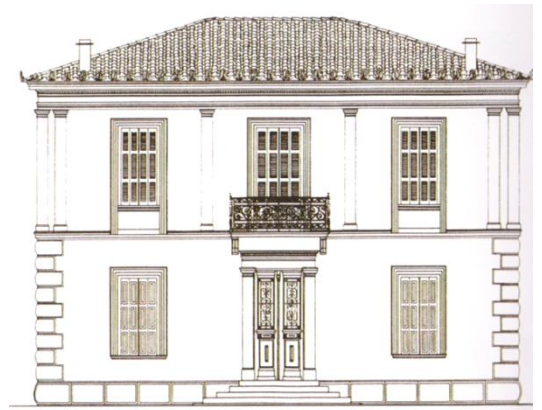
4.5.6 Κτίριο VII.A

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί δώροφο νεοκλασικό κτίριο το οποίο βρίσκεται στο Άργος και συγκεκριμένα στην οδό Δαναού με αριθμό 33. Το κτίριο κατασκευάστηκε το 1830 και είναι γνωστό ως Μέγαρο Τρικούπη καθώς πρόκειται για την οικία του πρώτου πρωθυπουργού της Ελλάδας, Σπυρίδωνα Τρικούπη. Η αριθμητική προσομοίωση της κατασκευής βασίστηκε στην αποτύπωση που περιλαμβάνεται στην έκδοση «Νεοκλασική Αρχιτεκτονική στην Καλαμάτα».

Πρόκειται για κτίσμα ορθογωνικής κάτοψης διαστάσεων $12.2 \times 9 \text{m}^2$. Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 8.4m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες αποτελούνται από αργολιθοδομή και έχουν πάχος 80 cm στο ισόγειο και 60cm στον όροφο. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής $10 \text{cm} \times 20 \text{cm}$ και δεν αποτελούν διάφραγμα. Η κατασκευή που διαμορφώνει την είσοδο θεωρείται ως ξεχωριστή και ασύνδετη από το κυρίως κτίριο και ως εκ τούτου δεν περιλαμβάνεται στο αριθμητικό προσομοίωμα.

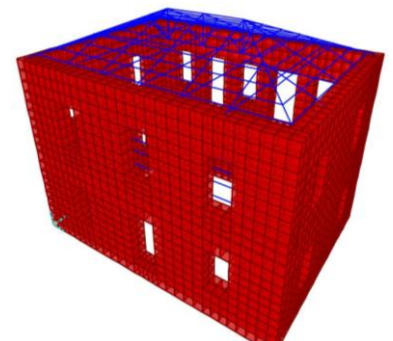


Εικόνα 4.115: Άποψη από το δρόμο



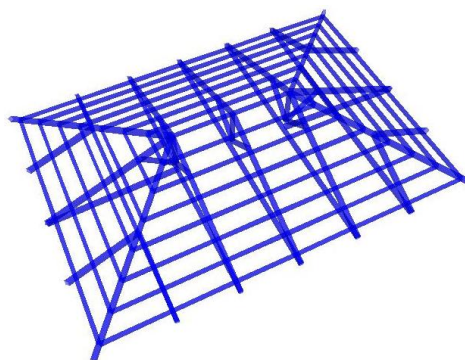
Εικόνα 4.116: Κάτοψεις ισογείου και ορόφου και όψεις [2]

Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση των ζευκτών είναι 22° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



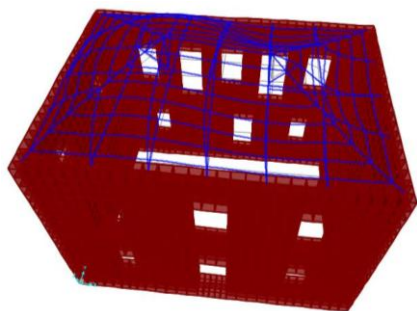
Εικόνα 4.117: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50

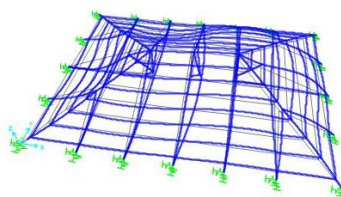


Εικόνα 4.117: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

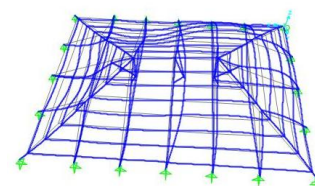
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.



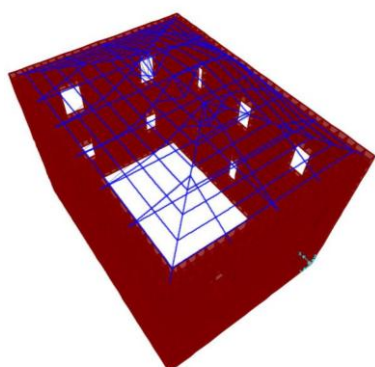
Εικόνα 4.118:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.099s$



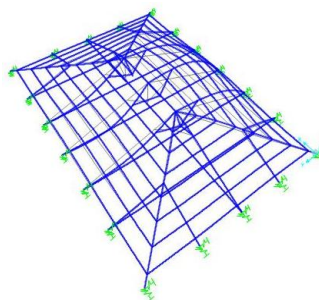
Εικόνα 4.119.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.099s$ (ελατήρια)



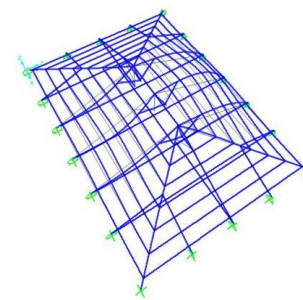
Εικόνα 4.119.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.096s$ (άρθρωση-κύλιση)



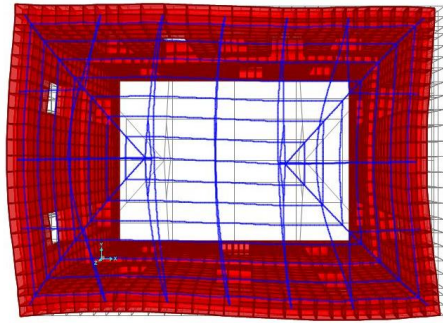
Εικόνα 4.120:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_ψ=0.181s$



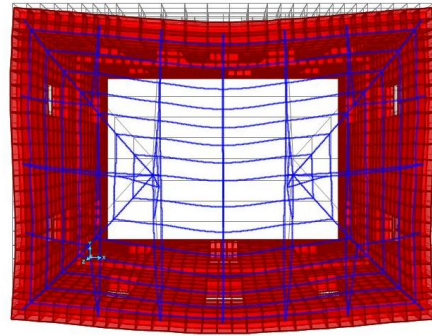
Εικόνα 4.121.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_ψ=0.186s$ (ελατήρια)



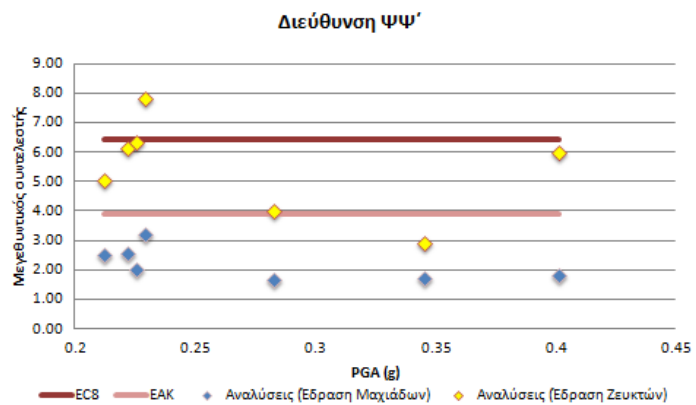
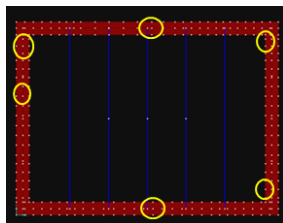
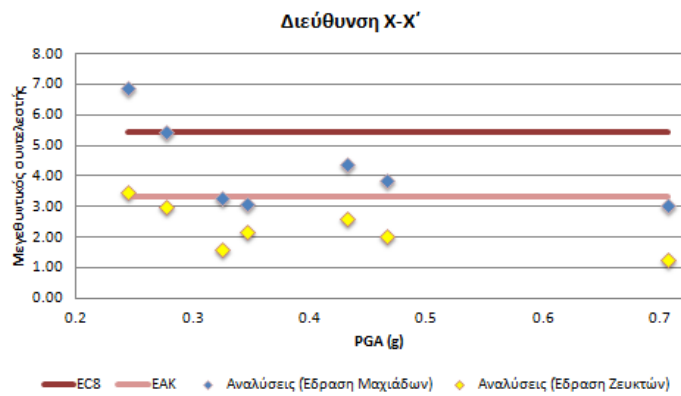
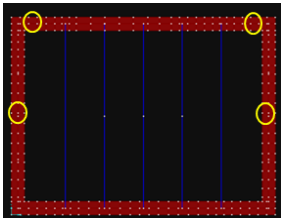
Εικόνα 4.121.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_ψ=0.181s$ (άρθρωση-κύλιση)



Εικόνα 4.122: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.177s$



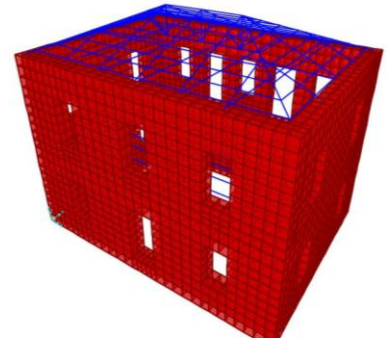
Εικόνα 4.123: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.214s$



Εικόνα 4.124: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

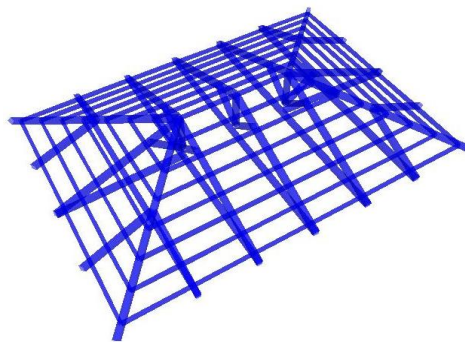
4.5.7 Κτίριο VII.B

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος VII.A αυτή τη φορά με κολυμβητό κεραμίδι. Συνοπτικά, η κάτοψη είναι διαστάσεων 12.2x9m². Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 8.4m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες αποτελούνται από αργολιθοδομή και έχουν πάχος 80 cm στο ισόγειο και 60cm στον όροφο. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 10cm x 20cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά κλίσης 22° ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.125: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	18	16
Αντηρίδες	16	16
Ελκυστήρες	18	16
Ορθοστάτες	16	16
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	130	

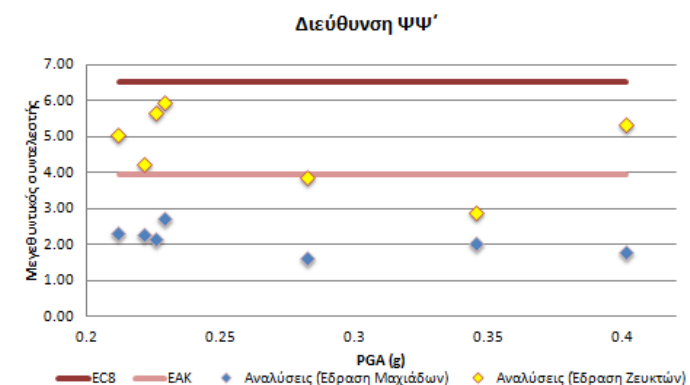
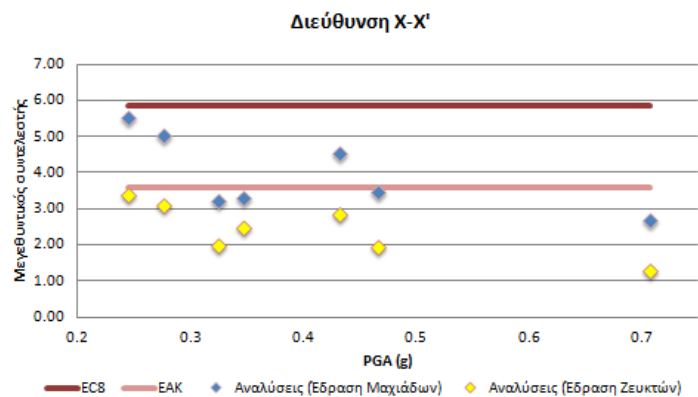


Εικόνα 4.126: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

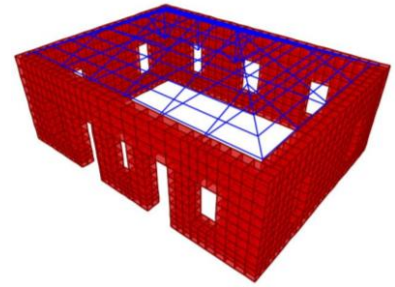
Πίνακας 4.127:	T _x	T _ψ
Στέγη	0.121s	0.202s
Σύνολο κατασκευής	0.183s	0.223s

Εικόνα 4.128: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



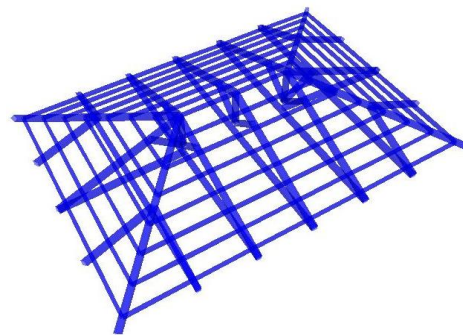
4.5.8 Κτίριο VII.Γ

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος VII.A. Εδώ μελετάται η συμπεριφορά της αντίστοιχης μονώροφης κατασκευής. Συνοπτικά, η κάτοψη είναι διαστάσεων 12.2x9m². Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 4.3m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες αποτελούνται από αργολιθοδομή και έχουν πάχος 80 cm στο ισόγειο. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά κλίσης 22° ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.129: Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

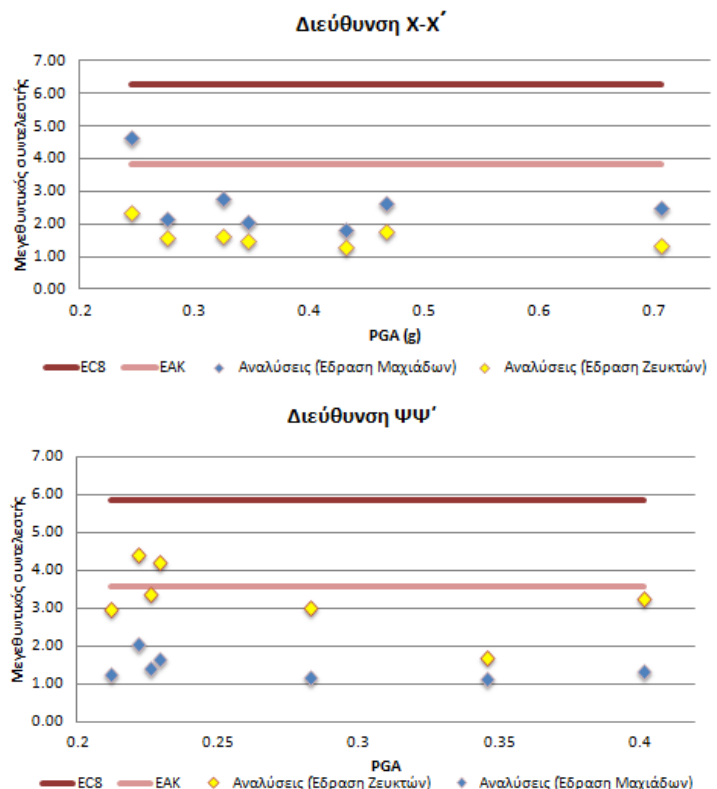


Εικόνα 4.130: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

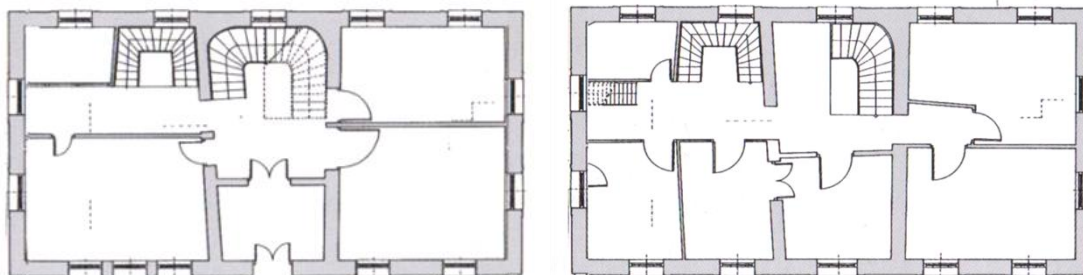
Πίνακας 4.131	T _χ	T _ψ
Στέγη	0.095s	0.185s
Σύνολο κατασκευής	0.120s	0.138s

Εικόνα 4.131: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



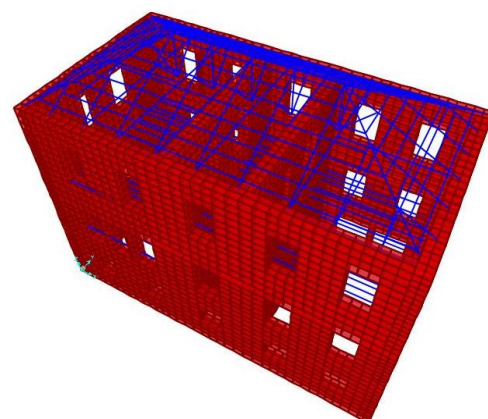
4.5.9 Κτίριο VIII

Νεοκλασική κατασκευή η οποία βρίσκεται στην περιοχή του Μεταξουργείου. Πρόκειται για κατασκευή με σύνθετη κάτοψη η αποτύπωση της οποίας περιλαμβάνεται στην έκδοση «Νεοκλασικά σπίτια της Αττικής». Τα γεωμετρικά στοιχεία της κατασκευής τροποποιήθηκαν έτσι ώστε να εξυπηρετούν το σκοπό της παρούσας εργασίας. Οι κατόψεις μετά τις αλλαγές παρουσιάζονται στη συνέχεια.



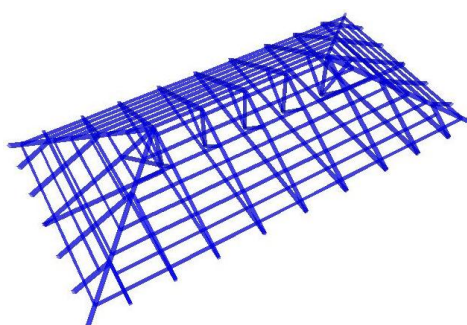
Εικόνα 4.132: Κάτοψη ισογείου και ορόφου [1]

Πρόκειται για τριώροφη κατασκευή με κάτοψη διαστάσεων $18.1 \times 9.7 \text{m}^2$. Κάθε όροφος έχει ύψος 4m ενώ η στέψη βρίσκεται στα 12m. Οι φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm ενώ οι εσωτερικές τοιχοποιίες θεωρήθηκαν συνδεδεμένες με τις εξωτερικές. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 30cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση των ζευκτών είναι 28° . Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.133: Αριθμητικό προσομοίωμα

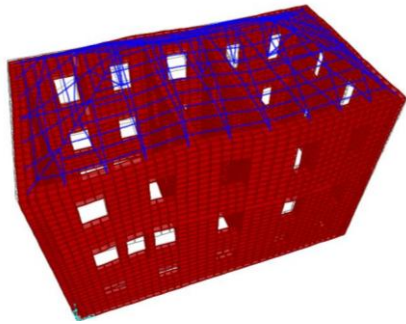
Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)		50



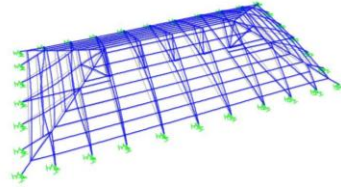
Εικόνα 4.134: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα

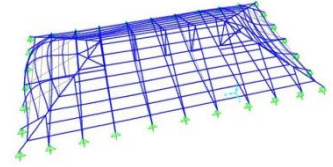
προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.



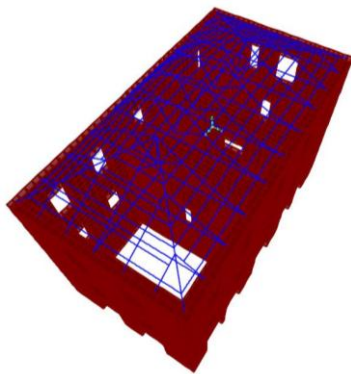
Εικόνα 4.135:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.139s$



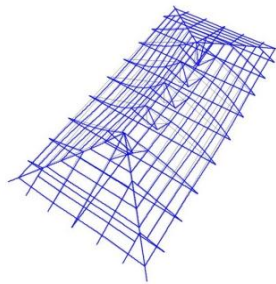
Εικόνα 4.136.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.136s$ (ελατήρια)



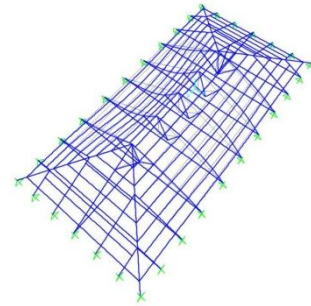
Εικόνα 4.136.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.12.8s$ (άρθρωση-κύλιση)



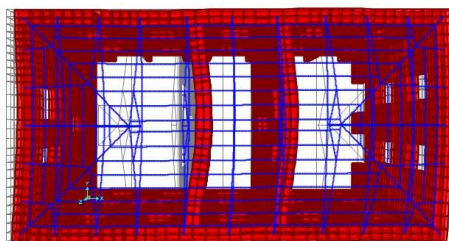
Εικόνα 4.137:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_\psi=0.274s$



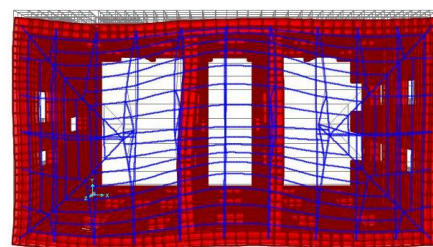
Εικόνα 4.138:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.281s$ (ελατήρια)



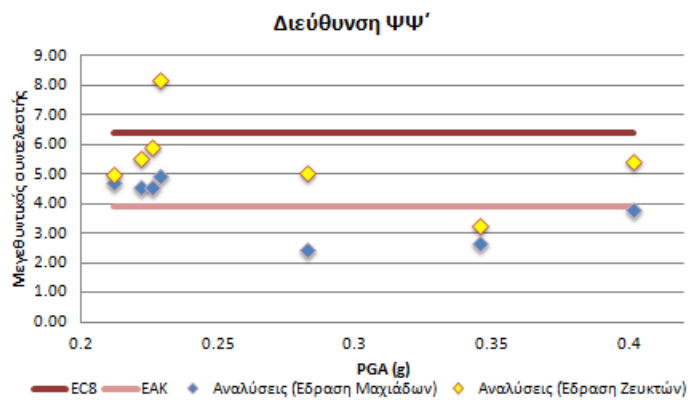
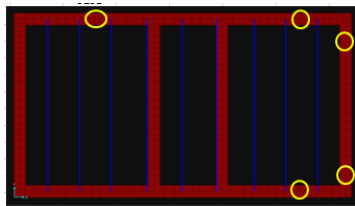
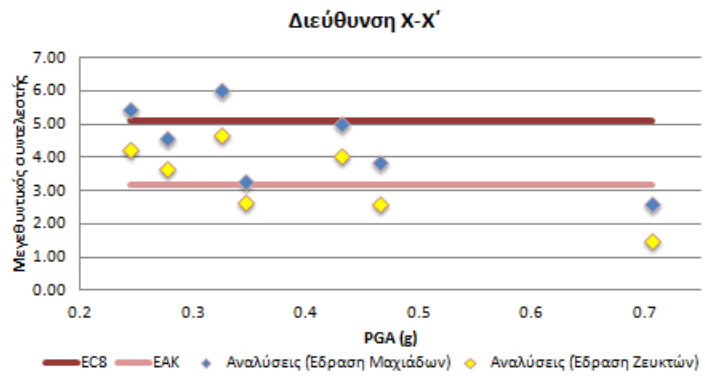
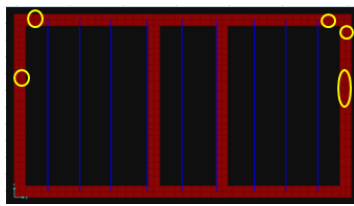
Εικόνα 4.138:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.281s$ (άρθρωση- κύλιση)



Εικόνα 4.139: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.294s$



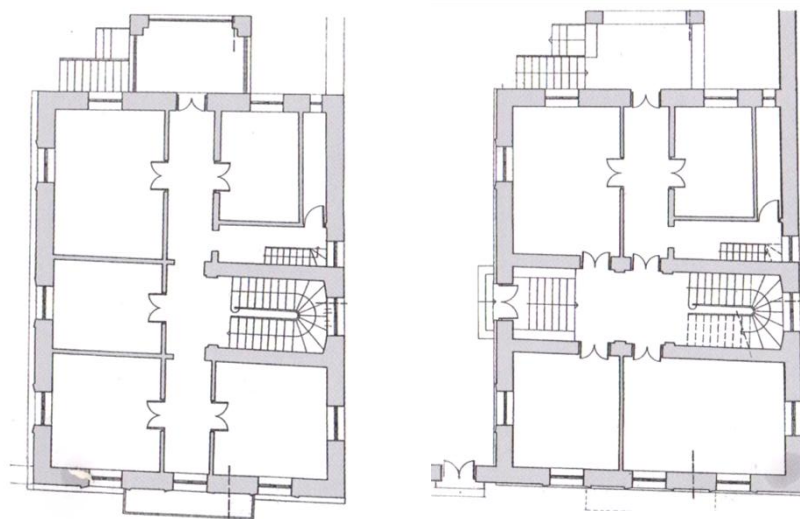
Εικόνα 4.140: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.234s$



Εικόνα 4.141: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

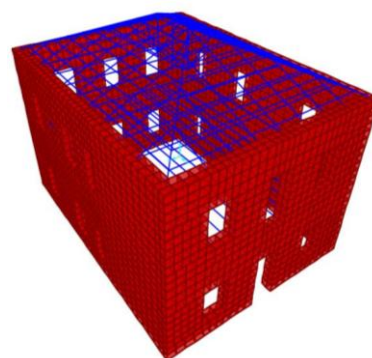
4.5.10 Κτίριο IX.A

Νεοκλασική κατασκευή η οποία βρίσκεται στον Πειραιά και συγκεκριμένα στην οδό Β' Μεραρχίας στον αριθμό 34. Χρησιμοποιήθηκε η αποτύπωση της κατασκευής από το Σπουδαστήριο Αρχιτεκτονικής Μορφολογίας της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. που περιλαμβάνεται στην έκδοση «Νεοκλασικά σπίτια της Αττικής».



Εικόνα 4.142: Κάτοψη ισογείου και ορόφου (αριστερά και όψη (πάνω) [1]

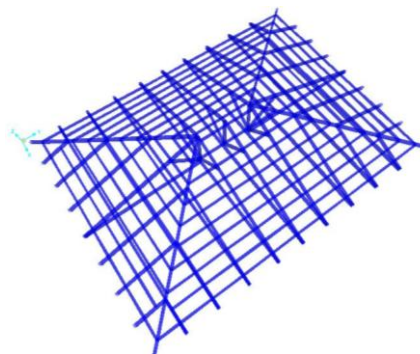
Πρόκειται για κτίσμα διαστάσεων $12 \times 15.8 \text{m}^2$. Η κατοικία συντίθεται από ημιυπόγειο, ισόγειο και όροφο. Για το ημιυπόγειο θεωρήθηκε ύψος 3m ενώ οι υπόλοιποι χώροι έχουν ύψος 5m. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Οι εσωτερικές τοιχοποιίες θεωρήθηκαν ασύνδετες με τις εξωτερικές και για αυτό δεν περιλαμβάνονται στο αριθμητικό προσομοίωμα, καθώς σε μία τέτοια περίπτωση δεν συμβάλλουν στην σεισμική απόκριση της κατασκευής. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής $15 \text{cm} \times 25 \text{cm}$ και δεν αποτελούν διάφραγμα. Το ημιυπόγειο της κατασκευής αγνοήθηκε. Έτσι η εν λόγω κατοικία προσομοιώθηκε ως δώροφη ενώ στα επόμενα κεφάλαια ακολουθούν κάποιες παραλλαγές της. Το ύψος της στέγης βρίσκεται στα 10m.



Εικόνα 4.143: Αριθμητικό προσομοίωμα

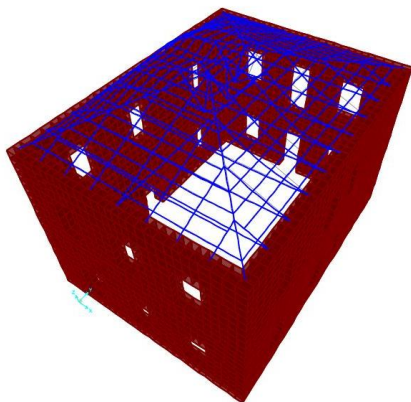
Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από 2 ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 24° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

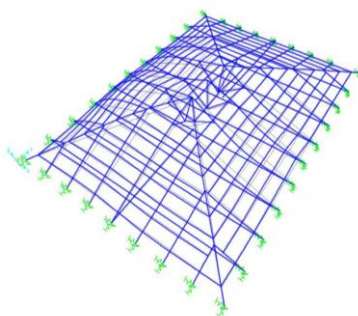


Εικόνα 4.144: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

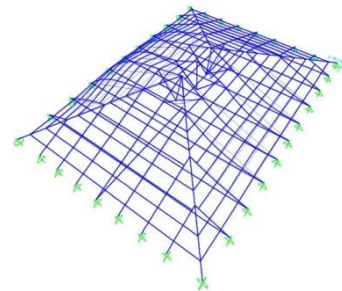
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών



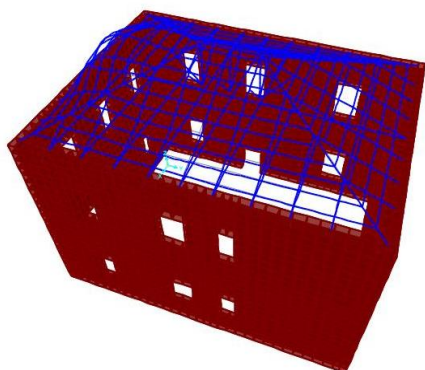
Εικόνα 4.145:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.196s$



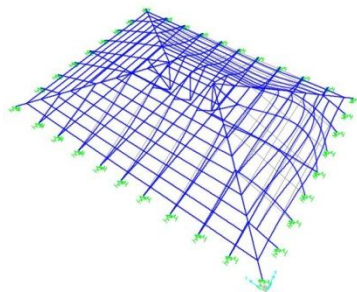
Εικόνα 4.146.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.20s$ (ελατήρια)



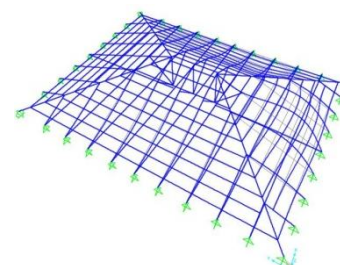
Εικόνα 4.146.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.189s$ (άρθρωση-κύλιση)



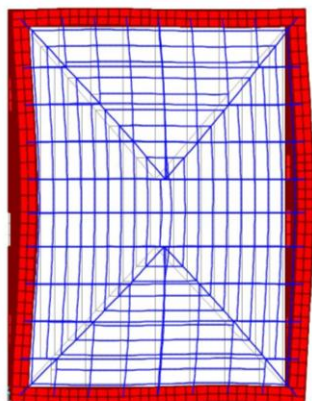
Εικόνα 4.147:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_\psi=0.168s$



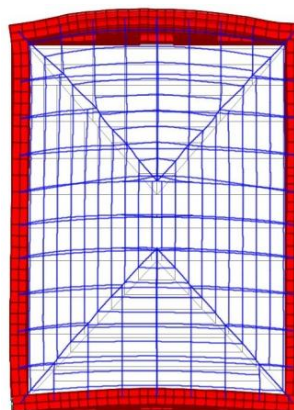
Εικόνα 4.148.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.165s$ (ελατήρια)



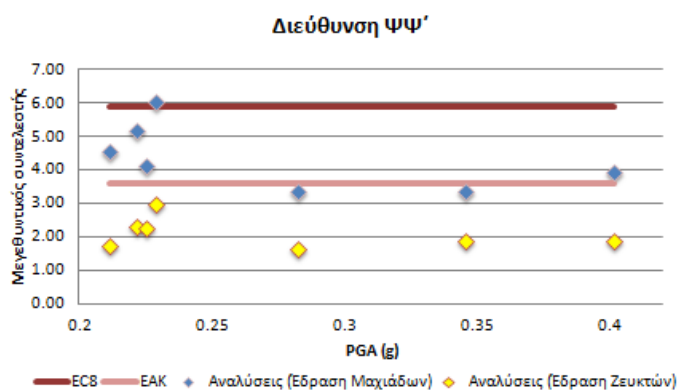
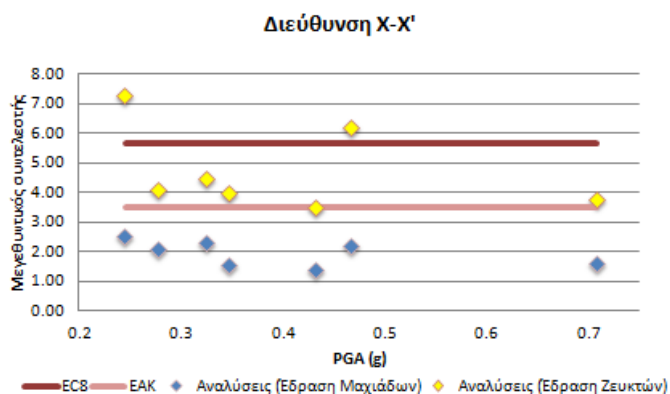
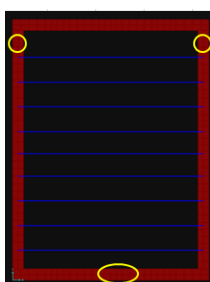
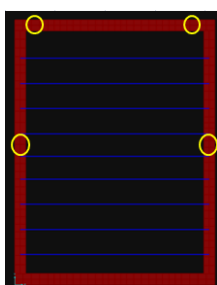
Εικόνα 4.148.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_\psi=0.164s$ (άρθρωση-κύλιση)



Εικόνα 4.149: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.319s$



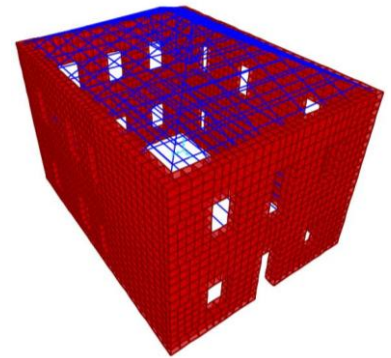
Εικόνα 4.150: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_ψ=0.248s$



Εικόνα 4.151: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις

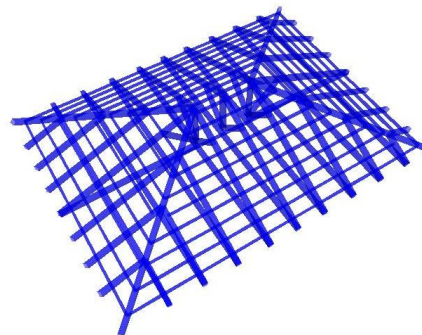
4.5.11 Κτίριο IX.B

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος IX.A αυτή τη φορά με κολυμβητό κεραμίδι. Συνοπτικά πρόκειται για κτίσμα διαστάσεων 12x15.8m². Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Οι εσωτερικές τοιχοποιίες θεωρήθηκαν ασύνδετες με τις εξωτερικές και για αυτό δεν περιλαμβάνονται στο αριθμητικό προσομοίωμα. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 10m. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 24°. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.152 Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	22	20
Αντηρίδες	20	20
Ελκυστήρες	22	20
Ορθοστάτες	20	20
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	130	

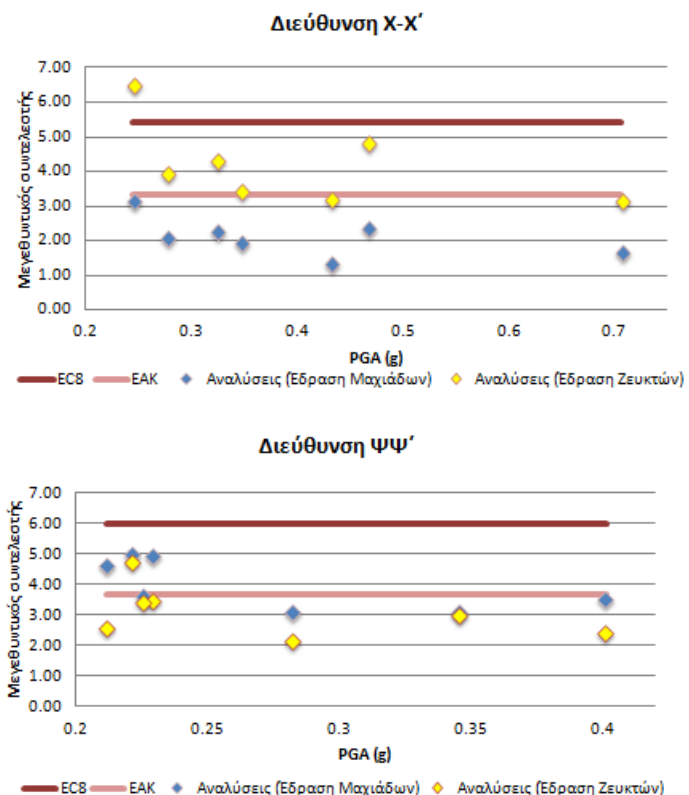


Εικόνα 4.153: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

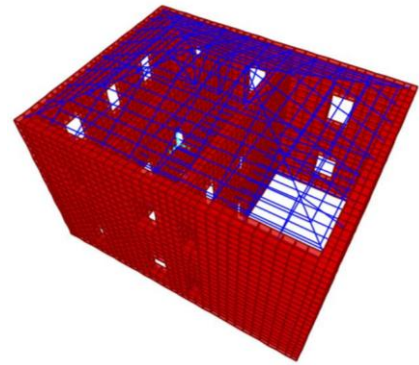
Πίνακας 4.154	T _x	T _ψ
Στέγη	0.171s	0.165s
Σύνολο κατασκευής	0.3089s	0.239s

Εικόνα 4.155: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



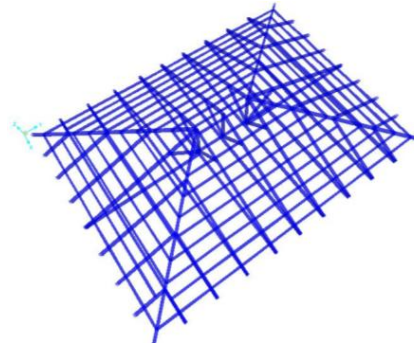
4.5.12 Κτίριο ΙΧ.Γ

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος ΙΧ.Α έχοντας θεωρήσει τις εσωτερικές τοιχοποιίες συνεχείς μέχρι τη στέψη και συνδεδεμένες με τις εξωτερικές. Συνοπτικά πρόκειται για κτίσμα διαστάσεων $12 \times 15.8 \text{m}^2$. Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm και οι εσωτερικές 0.50cm. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 10m. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 24° . Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



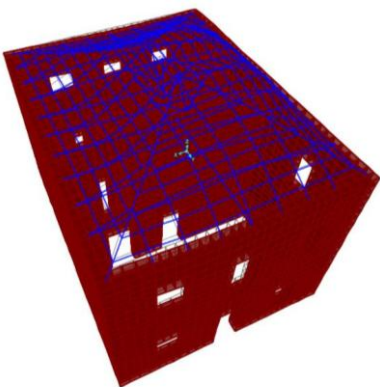
Εικόνα 4.156 Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

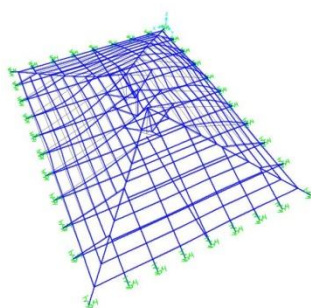


Εικόνα 4.157: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

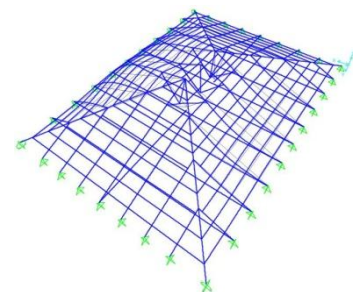
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι οι ιδιομορφές που ταλαντώνουν τη στέγη ως μέρος της κατασκευής, οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της στέγης ως ανεξάρτητο φορέα καθώς και οι θεμελιώδεις ιδιομορφές της συνολικής κατασκευής. Ακόμα, για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν οι μεγεθυντικοί συντελεστές για τα προσαρτήματα και οι πραγματικοί συντελεστές μεγέθυνσης που προέκυψαν από τις αναλύσεις γραμμικής χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.



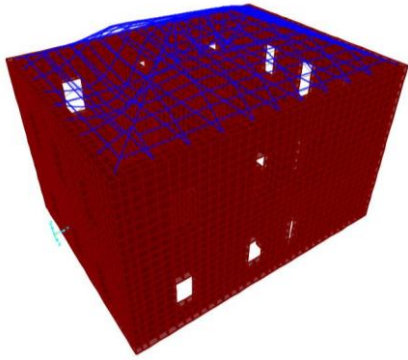
Εικόνα 4.158:Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T_x=0.197\text{s}$



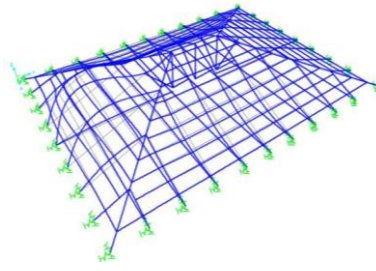
Εικόνα 4.159.α:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.20\text{s}$



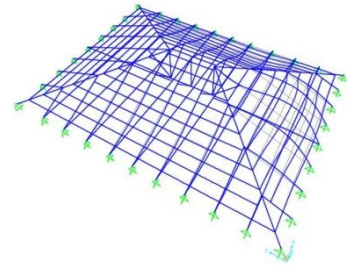
Εικόνα 4.159.β:Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.189\text{s}$



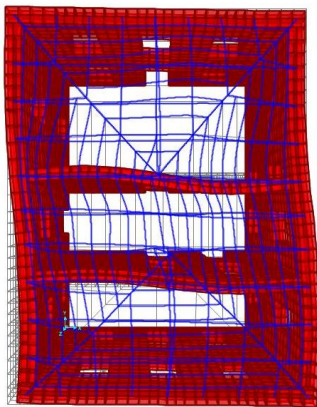
Εικόνα 4.160: Μεταφορική ιδιοπερίοδος στέγης $T\psi=0.164s$



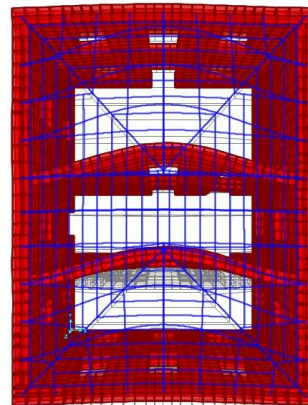
Εικόνα 4.161.α: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.165s$ (ελατήρια)



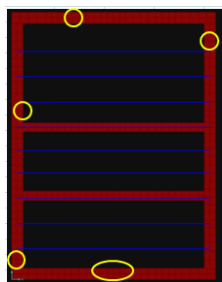
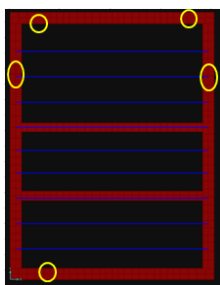
Εικόνα 4.161.β: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.164s$ (άρθρωση-κύλιση)



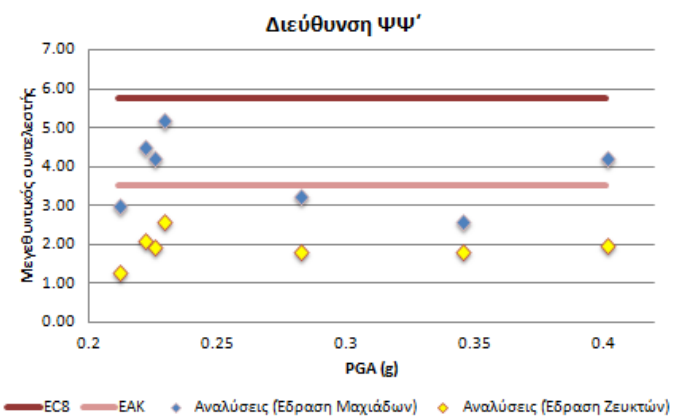
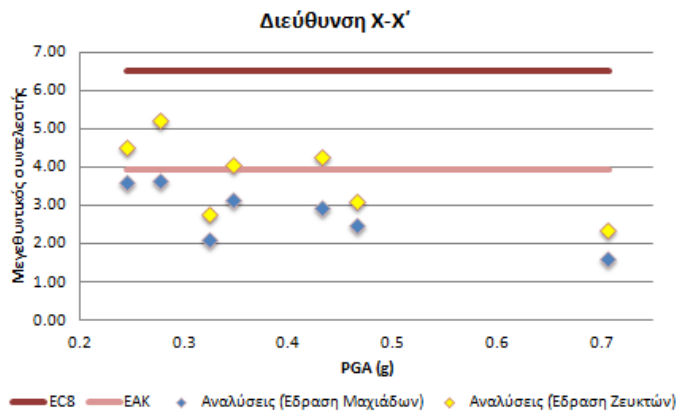
Εικόνα 4.162: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T_x=0.175s$



Εικόνα 4.163: Κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος $T\psi=0.265s$

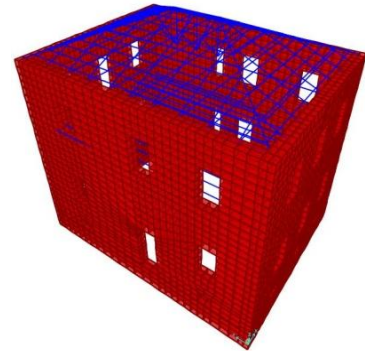


Εικόνα 4.164: Μεγεθυντικοί συντελεστές και σημεία εμφάνισης μεγίστων τιμών επιτάχυνσης στις 2 διευθύνσεις



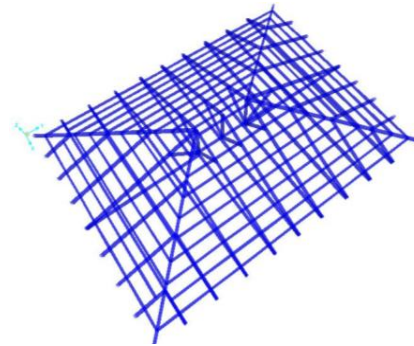
4.5.13 Κτίριο ΙΧ.Δ

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος ΙΧ.Α αυτή τη φορά ως τριώροφο. Συνοπτικά πρόκειται για κτίσμα διαστάσεων 12x15.8m². Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Οι εσωτερικές τοιχοποιίες αγνοήθηκαν. Τα πατώματα είναι ξύλινα με δοκούς διατομής 15cm x 25cm και δεν αποτελούν διάφραγμα. Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 13m. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 24°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.165 Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

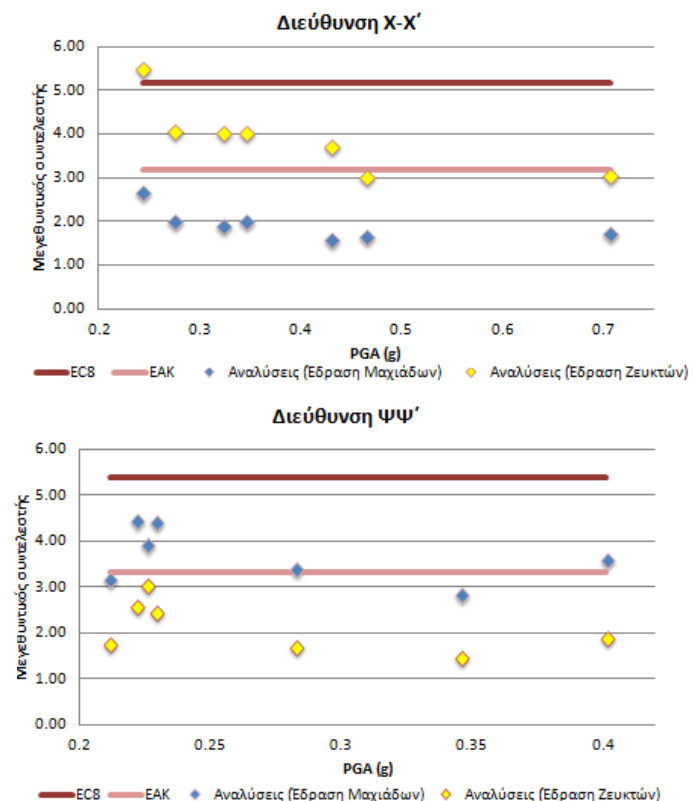


Εικόνα 4.166: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

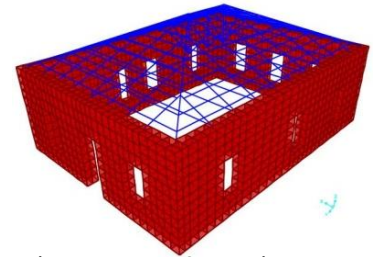
Πίνακας 4.167	T _x	T _ψ
Στέγη	0.193s	0.164s
Σύνολο κατασκευής	0.388s	0.298s

Εικόνα 4.168: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



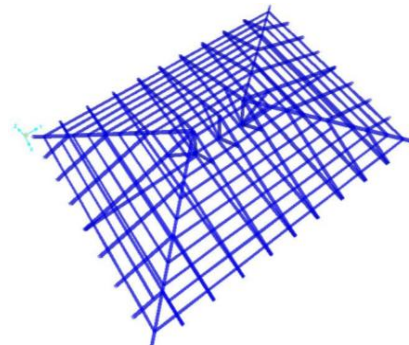
4.5.14 Κτίριο IX.E

Πρόκειται για παραλλαγή του κτίσματος IX.A αυτή τη φορά ως μονώροφο. Συνοπτικά πρόκειται για κτίσμα διαστάσεων 12x15.8m². Οι εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες έχουν πάχος 60cm. Οι εσωτερικές τοιχοποιίες αγνοήθηκαν. Το ύψος της στέψης βρίσκεται στα 5m. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση της στέγης είναι 24°. Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 4.169 Αριθμητικό προσομοίωμα

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16/20	12
Ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
Φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	

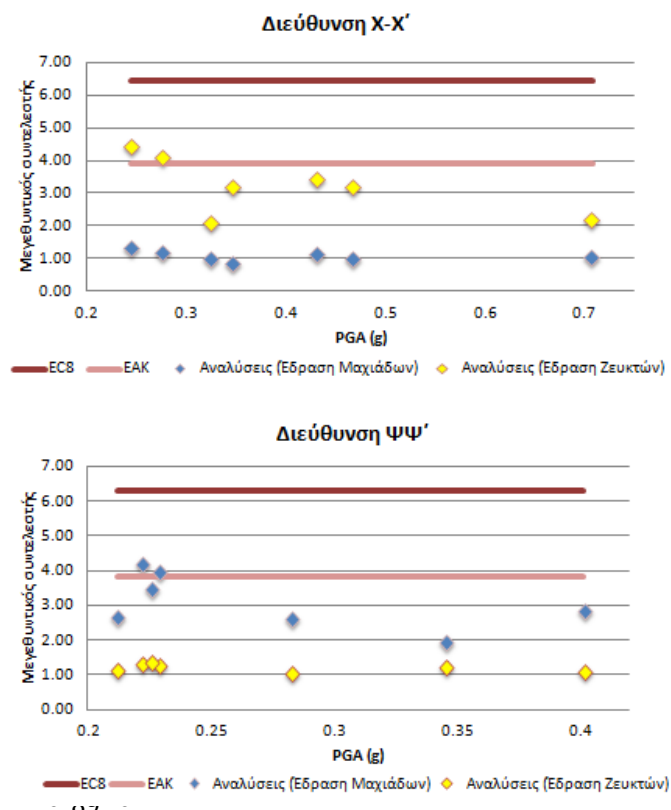


Εικόνα 4.170: Αριθμητικό προσομοίωμα στέγης

Οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι της στέγης αλλά και του συνόλου της κατασκευής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές που προκύπτουν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και αφορούν τις μέγιστες επιταχύνσεις που σημειώνονται στην στέψη των τοιχοποιιών.

Πίνακας 4.171	T _x	T _ψ
Στέγη	0.197s	0.165s
Σύνολο κατασκευής	0.172s	0.137s

Εικόνα 4.172: Μεγεθυντικοί συντελεστές σεισμικών επιταχύνσεων



Πίνακας 5.1 : Δυναμικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατασκευών

	TBX	TBY	LX	LY	Htot	ΤσεγΧ	ΤσεγΥ	Η ορόφου	b Χ	b Υ	ΑΧ	ΑΥ
	s	s	m	m	m	s	s	m	m	m	m ²	m ²
I.A	0.200	0.239	18.8	9.9	5.2	0.408	0.277	5.2	0.8	0.8	15.0	7.9
I.B	0.188	0.276	18.8	9.9	5.2	0.528	0.200	5.2	0.8	0.8	15.0	7.9
II.A	0.048	0.063	9.5	5.0	2.6	0.186	0.073	2.6	0.8	0.8	7.6	4.0
II.B	0.048	0.069	9.5	5.0	2.6	0.254	0.102	2.6	0.8	0.8	7.6	4.0
III.A	0.084	0.139	13.3	7.0	3.7	0.258	0.139	3.7	0.8	0.8	10.6	5.6
III.B	0.084	0.134	13.3	7.0	3.7	0.352	0.172	3.7	0.8	0.8	10.6	5.6
IV.A	0.186	0.199	17.0	9.0	4.7	0.340	0.227	4.7	0.8	0.8	13.6	7.2
IV.B	0.185	0.211	17.0	9.0	4.7	0.475	0.253	4.7	0.8	0.8	13.6	7.2
V.A	0.210	0.288	20.8	11.0	5.8	0.475	0.340	5.8	0.8	0.8	16.6	8.8
V.B	0.213	0.330	20.8	11.0	5.8	0.635	0.248	5.8	0.8	0.8	16.6	8.8
VI.A	0.208	0.201	12.5	11.8	8.7	0.152	0.214	4.3	0.7	0.7	8.1	7.7
VI.B	0.212	0.204	12.5	11.8	8.7	0.142	0.192	4.3	0.7	0.7	8.1	7.7
VI.Γ	0.193	0.210	11.8	4.8	8.7	0.214	0.151	4.3	0.7	0.7	7.7	3.1
VI.Δ	0.217	0.181	8.3	8.2	8.7	0.100	0.096	4.3	0.7	0.7	5.4	5.3
VI.E	0.264	0.233	8.3	8.2	11.7	0.077	0.097	4.3	0.7	0.7	5.4	5.3
VII.A	0.177	0.214	12.2	9.0	8.6	0.099	0.182	4.3	0.6	0.6	7.3	5.4
VII.B	0.183	0.224	12.2	9.0	8.6	0.121	0.202	4.3	0.6	0.6	7.3	5.4
VII.Γ	0.120	0.138	12.2	9.0	4.3	0.095	0.185	4.3	0.6	0.6	7.3	5.4
VIII	0.234	0.294	9.7	7.5	12.0	0.274	0.145	4.0	0.6	0.6	5.8	4.5
IX.A	0.248	0.319	15.8	12.0	10.0	0.165	0.196	5.0	0.7	0.7	10.3	7.8
IX.B	0.239	0.309	15.8	12.0	10.0	0.165	0.171	5.0	0.7	0.7	10.3	7.8
IX.Γ	0.175	0.265	12.0	6.6	10.0	0.197	0.169	5.0	0.7	0.7	7.8	4.3
IX.Δ	0.298	0.388	15.8	12.0	13.0	0.164	0.193	5.0	0.7	0.7	10.3	7.8
IX.E	0.137	0.172	15.8	12.0	5.5	0.165	0.197	5.5	0.7	0.7	10.3	7.8

όπου: TB: ιδιοπερίοδος κτηρίου στην αντίστοιχη διεύθυνση

b: πάχος τοιχοποιίας στέψης

L: μήκος πλευράς στην αντίστοιχη διεύθυνση

A: εμβαδόν τοιχοποιίας στέψης

Htot: στάθμη στέψης

5. Προτάση

5.1 Εισαγωγή

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας των κατασκευών που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο σε αυτό το σημείο θα επεξεργασθούν και θα συγκριθούν. Αρχικά, όλες οι κατασκευές επαναπροσανατολίστηκαν (πίνακας 5.1) ώστε η μεγαλύτερη πλευρά τους να είναι παράλληλη στον άξονα ΧΧ' και η μικρότερη στον ΥΥ'. Στόχος είναι τα αποτελέσματα να είναι μεταξύ τους συγκρίσιμα. Τέλος, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS.

5.2 Ιδιοπερίοδος

Μετά από στατιστική επεξεργασία των δυναμικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των κατασκευών στο πρόγραμμα SPSS, προέκυψε πως η κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος κάθε κατασκευής σε κάθε διεύθυνση συσχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Παρατηρήθηκε πως αν το δείγμα χωρισθεί σε μικρότερες ομάδες τότε η ιδιοπερίοδος μπορεί να προσεγγισθεί καλύτερα. Έτσι, προσδιορίστηκε χωριστά η ιδιοπερίοδος των μονώροφων κατασκευών και των κατασκευών με περισσότερους από έναν ορόφους. Τέλος, οι κατασκευές στις οποίες οι εσωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες λήφθηκαν υπ' όψιν ως συνδεδεμένες με τις εξωτερικές θα έπρεπε επίσης να αποτελέσουν ξεχωριστή ομάδα, αλλά εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού τέτοιων περιπτώσεων στο δείγμα μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας δεν προέκυψε κάποιο συμπέρασμα για αυτές. Έτσι, η ιδιοπερίοδος σε κάθε διεύθυνση προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$T_{\text{κτιρίου}} = \begin{cases} \frac{L_{\Pi}^{0.501} \cdot L_K^{0.443} \cdot H^{0.925}}{10^{2.498}}, & N = 1 \\ \frac{L_{\Pi}^{-0.213} \cdot L_K^{0.637} \cdot H^{1.172}}{10^{2.226}}, & N > 1 \end{cases}$$

όπου,

L_{Π} , μήκος κατασκευής στην διεύθυνση που αναζητείται η ιδιοπερίοδος

L_K , μήκος κατασκευής στην εγκάρσια διεύθυνση

H , ύψος στέψης κατασκευής

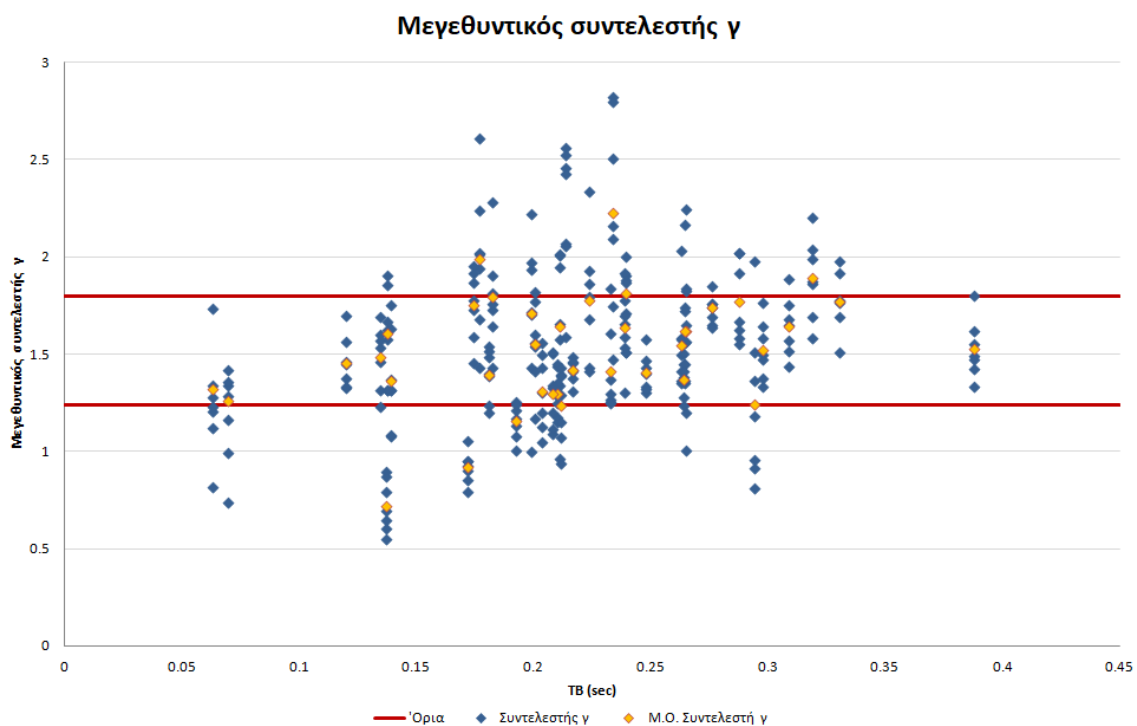
N , αριθμός ορόφων

5.3 Μεγεθυντικός συντελεστής

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος κάθε κατασκευής για κάθε διεύθυνση (Πίνακας 5.1) όπως αυτή προέκυψε από την ιδιομορφική ανάλυση στο σημείο αυτό εισήχθη στο φάσμα που αναφέρεται στη στάθμη του εδάφους για κάθε συνιστώσα των 7 δονήσεων. Τα φάσματα αυτά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.3. Έτσι προέκυψαν οι τιμές «φασματικών επιταχύνσεων» για κάθε διεύθυνση κάθε σεισμού. Σημειώνεται πως οι τιμές αυτές αναφέρονται σε μονοβάθμιους ταλαντωτές.

Στη συνέχεια, συγκεντρώθηκαν τα απόλυτα μεγέθη των «πραγματοποιούμενων επιταχύνσεων» που σημειώθηκαν στην στέψη κάθε μίας από τις κατασκευές, όπως αυτά προέκυψαν από τις γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 4.4 και 4.5.

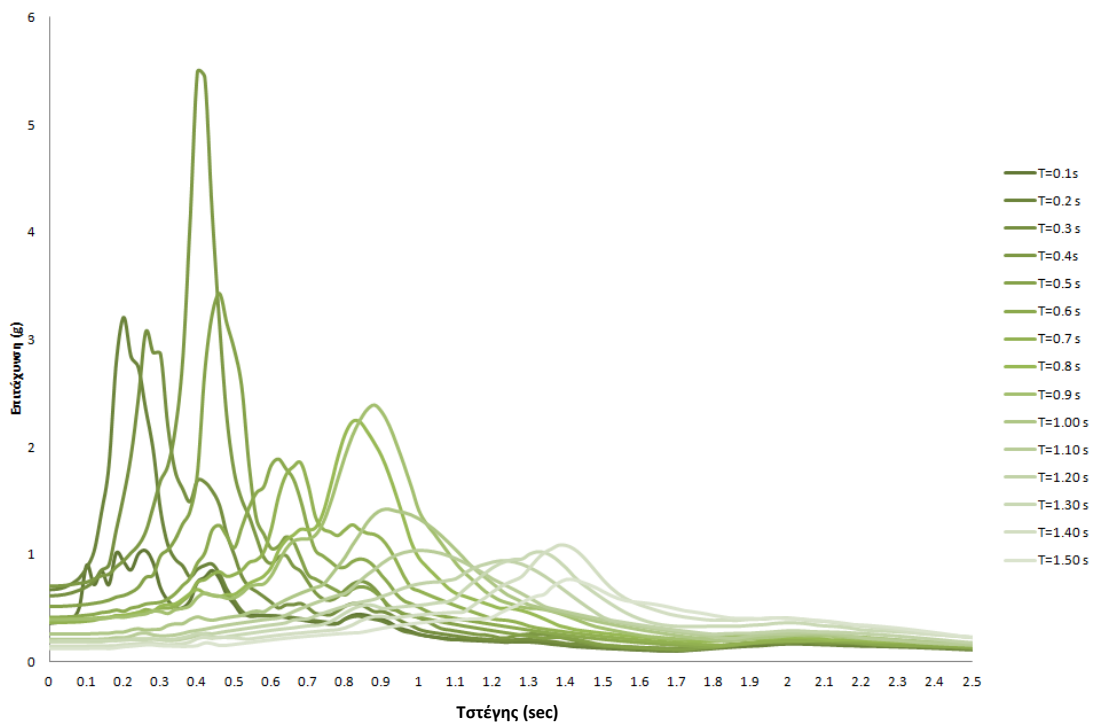
Για τη σύγκριση των πραγματοποιούμενων και των φασματικών επιταχύνσεων σχηματίστηκε ο λόγος $\frac{\text{πραγματοποιούμενη επιτάχυνση}}{\text{φασματική επιτάχυνση}} = \gamma$. Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, αυτός ο λόγος στη πραγματικότητα συγκρίνει την επιτάχυνση που ανέπτυξε το πολυβάθμιο σύστημα με την επιτάχυνση που θα ανέπτυξε το μονοβάθμιο σύστημα. Ο συντελεστής γ λοιπόν σχετίζεται με τον συντελεστή συμμετοχής της θεμελιώδους ιδιομορφής κάθε διεύθυνσης. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεγεθυντικοί συντελεστές γ σε σχέση με την ιδιοπερίοδο για όλες τις κατασκευές που αναλύθηκαν. Μπορεί να παρατηρήσει κανείς πως για κάθε κτίριο προέκυψαν 7 διαφορετικοί συντελεστές γ , ένας για κάθε σεισμική δόνηση. Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των συντελεστών γ για κάθε κατασκευή και προσδιορίστηκε η περιοχή στην οποία απαντάται η πλειονότητα των τιμών του μεγεθυντικού συντελεστή. Σημειώνεται πως ανάμεσα στα άνω και κάτω όρια που χαράχθηκαν περιλαμβάνεται το 85% των τιμών των μέσων όρων του γ που εμφανίστηκαν.



Διάγραμμα 5.2

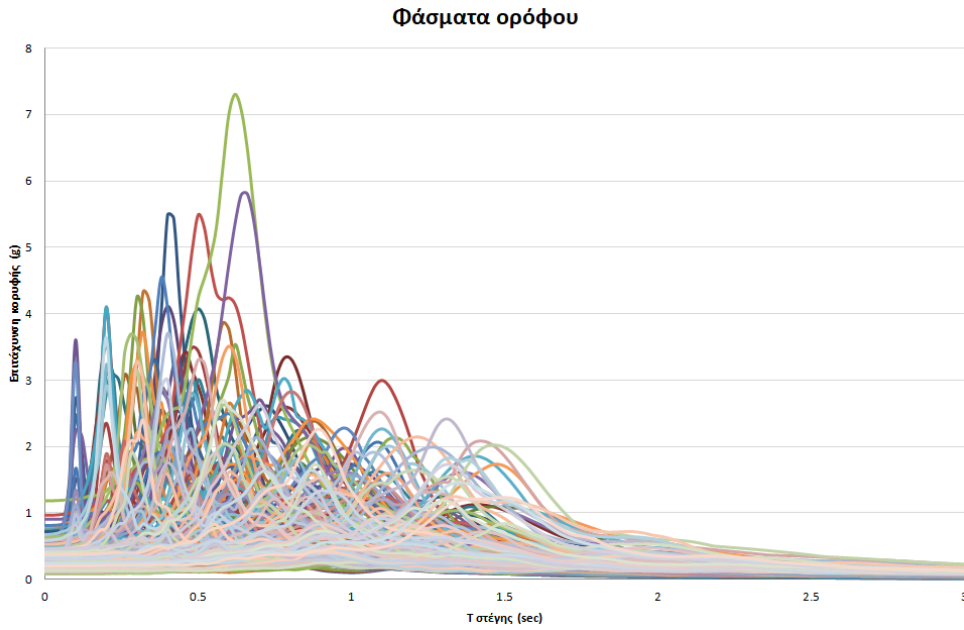
5.4 Κατασκευή φάσματος ορόφου

Όπως περιγράψαμε το φάσμα ορόφου αναφέρεται σε στάθμη της κατασκευής ψηλότερα της θεμελίωσής της. Η διαδικασία εξαγωγής του από μία σεισμική διέγερση που αναφέρεται στη στάθμη του εδάφους παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.1. Εν συντομία, εισάγεται η χρονοϊστορία του σεισμού στη στάθμη του εδάφους στο λογισμικό Seismosignal και από κει προκύπτει η χρονοϊστορία στην κορυφή μονοβαθμίου με ιδιοπερίοδο T (Εικόνα 3.1). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για τιμές $T=0.1s$ έως $T=1.5s$. Έτσι για κάθε σεισμική διέγερση προκύπτουν τα φάσματα ορόφου που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2. Κάθε ένα από τα φάσματα ορόφου που προκύπτουν παρουσιάζουν μέγιστη τιμή για τιμή ιδιοπεριόδου κοντά στην ιδιοπερίοδο του μονοβαθμίου στο οποίο αναφέρονται. Έτσι για κύριο φορέα με $T=0.4s$, σύμφωνα με το φάσμα ορόφου $T=0.4s$, ένας δευτερεύον φορέας με $T=0.2s$ αναμένεται να παρουσιάσει μικρότερη επιτάχυνση κορυφής από έναν δευτερεύοντα φορέα με $T=0.4s$. Εφόσον η παρούσα εργασία στοχεύει στον σχεδιασμό στεγών έναντι σεισμού, το φάσμα ορόφου θα αναφέρεται στην στέψη των κατασκευών. Κύριος φορέας θα είναι το κτίριο πάνω στο οποίο εδράζεται η στέγη και δευτερεύον φορέας θα είναι η στέγη.



Εικόνα 3.2: Φάσματα απόκρισης ορόφου του σεισμού της Κορίνθου για διαφορετικές ιδιοπεριόδους

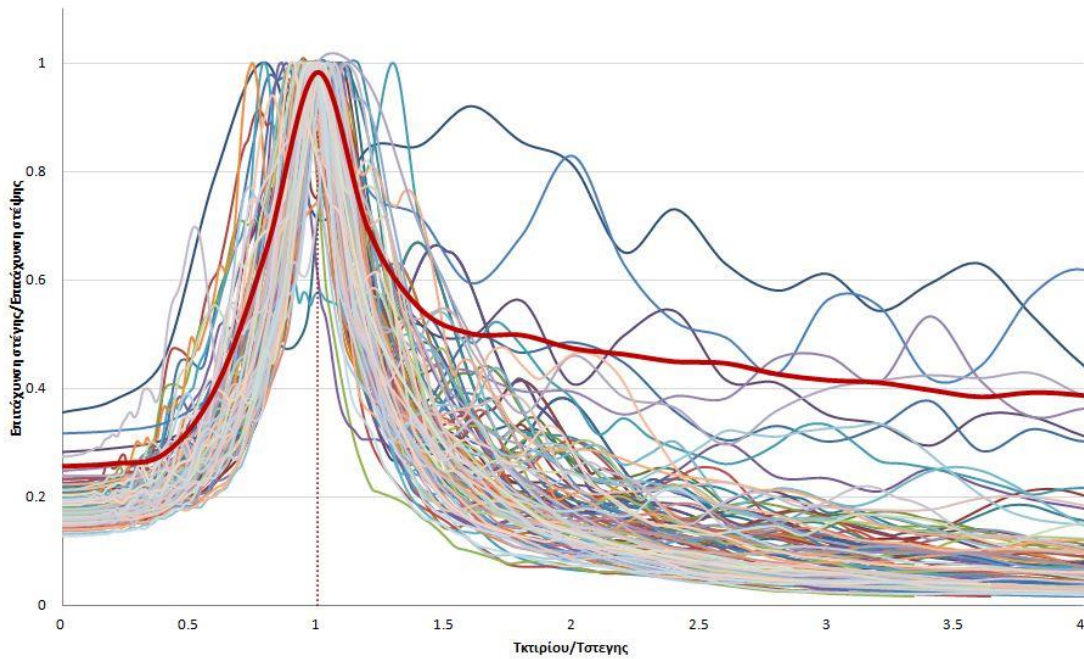
Η διαδικασία αυτή έγινε για 14 σεισμικά φάσματα, 2 διευθύνσεις 7 σεισμικών διεγέρσεων, τα οποία παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.3. Κοινό χαρακτηριστικό των φασμάτων είναι μεν ότι όλα παρουσιάζουν μέγιστο για $T_{\text{κτιρίου}} \approx T_{\text{στέγης}}$, τα μέγιστα όμως έχουν διαφορετικές τιμές επιτάχυνσης και εμφανίζονται σε διαφορετικά T . Έτσι, τα φάσματα δεν είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3: Φάσματα ορόφου 14 σεισμών για διαφορετικές ιδιοπεριόδους

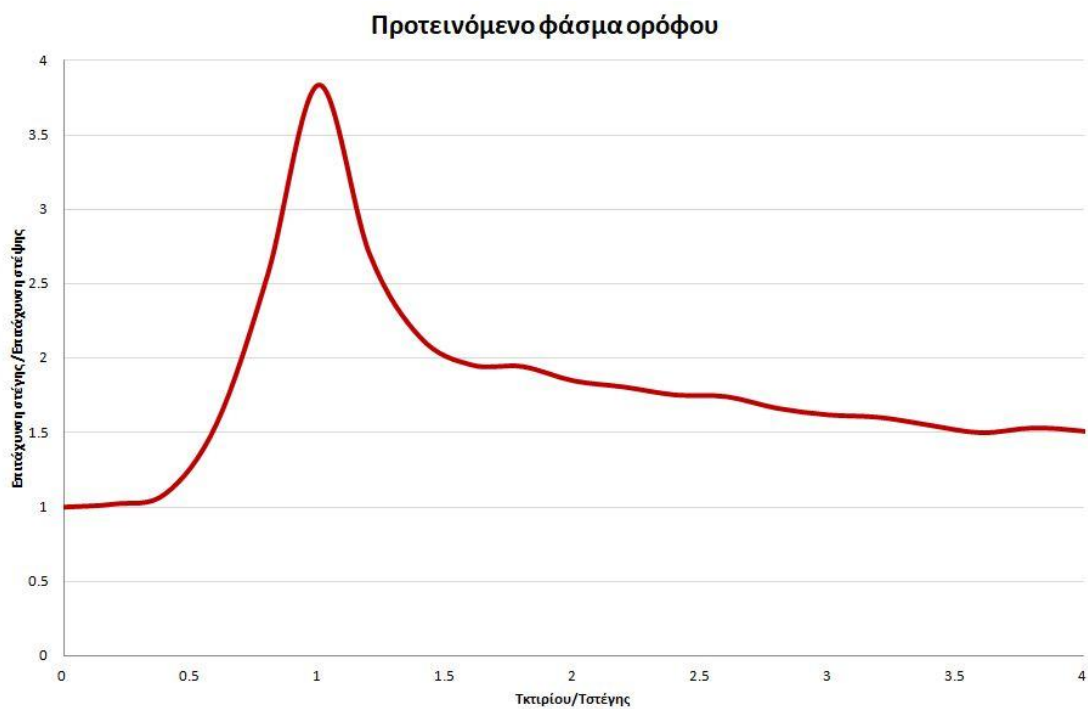
Προκειμένου τα φάσματα να μπορούν να συγκριθούν και να επεξεργασθούν κανονικοποιήθηκαν έτσι ώστε το μέγιστο να εμφανίζεται για $\frac{T_{κτιρίου}}{T_{στέγης}} = 1$ και $\frac{Επιτάχυνση}{\max Επιτάχυνση} = 1$. Όλα τα φάσματα κανονικοποιημένα παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4. Στη συνέχεια, βρέθηκε η μέση τιμή για κάθε $T_{στέγης}$ με βήμα $T=0.1$ και από τα μέσα φάσματα που προέκυψαν βρέθηκε το μέγιστο (Εικόνα 5.4: κόκκινη γραμμή).

Κανονικοποιημένα φάσματα ορόφου



Εικόνα 5.4: Κανονικοποιημένα φάσματα ορόφου, (κόκκινη γραμμή: προτεινόμενο φάσμα)

Το φάσμα που προέκυψε από την παραπάνω επεξεργασία, κανονικοποιήθηκε εκ νέου έτσι ώστε να ξεκινάει από τη μονάδα και παρουσιάζεται στη συνέχεια. Το φάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται για την διαστασιολόγηση της στέγης αλλά και οποιασδήποτε δευτερεύουσας κατασκευής εδράζεται στη στέψη κάποιας άλλης κατασκευής, όταν αυτή δεν καλύπτεται από τις διατάξεις του EC8 για τα προσαρτήματα.



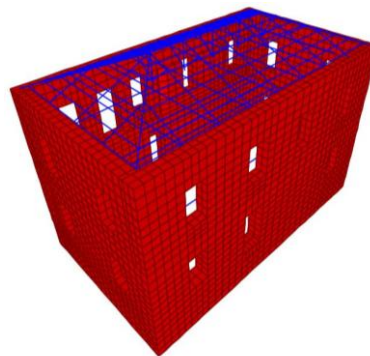
Εικόνα 5.5: Προτεινόμενο φάσμα ορόφου

5.5 Παράδειγμα

Σε αυτό το σημείο θα προσδιορισθούν οι επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στην στέψη κατασκευής και τον κορφιά της στέγης εξ' αιτίας του σεισμού της Κορίνθου του 1981, τόσο με αναλυτική προσομοίωση του συνόλου της κατασκευής (παρενθέσεις) όσο και με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου με δύο εναλλακτικούς τρόπους.

Πρόκειται για κτίσμα 2 ορόφων με διαστάσεις κάτοψης $L_x=15.8m$ $L_y=9m$, ύψος στέψης $H=10m$, πάχος φέρουσας τοιχοποιίας $0.60m$, μέτρο ελαστικότητας $E=1GPa$. Οι εσωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες είναι ασύνδετες με τις εξωτερικές. Ο δομικός φορέας της στέγης αποτελείται από ζευκτά ενώ τα εγκάρσια των ζευκτών κεκλιμένα επίπεδα μορφώνονται από μαχιάδες. Η κλίση των ζευκτών είναι 22° . Η επικάλυψη της στέγης αποτελείται από γαλλικά κεραμίδια. Οι διατομές της στέγης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Διατομές Στέγης		
	h (cm)	b (cm)
Αμείβοντες	16	12
Αντηρίδες	12	12
Ελκυστήρες	16	12
ορθοστάτες	12	12
Τεγίδες	10	10
φορτίο κεραμιδιών (kg/m ²)	50	



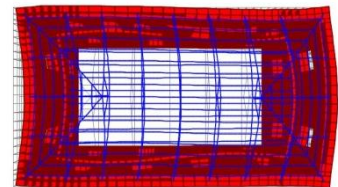
Εικόνα 5.6: Προσομοίωση κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία

Διεύθυνση ΧΧ'

Εφόσον $N=2$ η κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι:

$$T_{κτ,Χ} = \frac{L_{\Pi}^{-0.213} \cdot L_K^{0.637} \cdot H^{1.172}}{10^{2,226}} = \frac{15.8^{-0.213} \cdot 9^{0.637} \cdot 10^{1.172}}{10^{2,226}} = \mathbf{0,199sec}$$

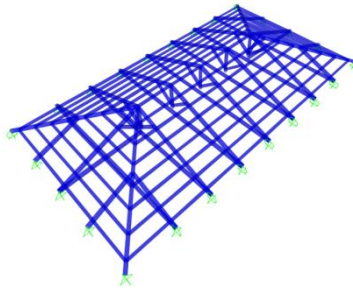
Από την αναλυτική επίλυση της κατασκευής προκύπτει: $T_{κτ,Χ} = \mathbf{0.188sec}$



Για $T_{κτ,Χ} = 0,199s$ από το φάσμα του σεισμού στην ΧΧ' διεύθυνση προκύπτει επιτάχυνση $A=0.739g$. Θεωρώντας $\gamma_{max}=1.8$ από το διάγραμμα 5.2, προκύπτει αναμενόμενη επιτάχυνση στη στέψη $A_{στέψης} = A \cdot \gamma = 0,739 \cdot 1.8 = \mathbf{1.33g}$.

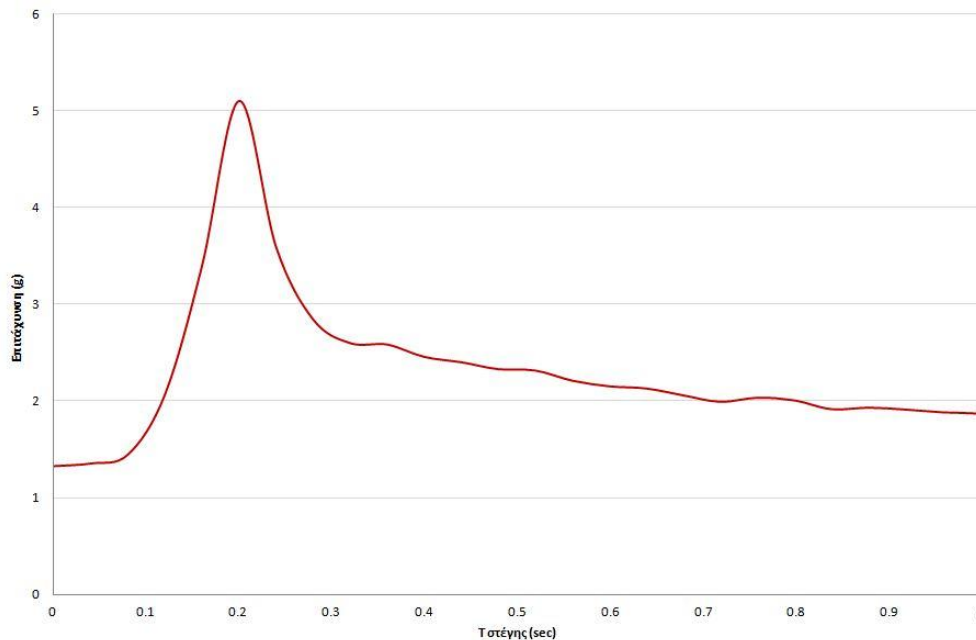
Από την αναλυτική επίλυση προκύπτει μέγιστη επιτάχυνση στη στέψη $A_{\sigma\tau\acute{\epsilon}\psi\eta\varsigma} = 1g$

Στη συνέχεια προσομοιώνεται η στέγη σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων και στα σημεία στήριξής της τοποθετούνται αρθρώσεις και κυλίσεις. Συγκεκριμένα στα άκρα των ζευκτών τοποθετούνται άρθρωση και κύλιση μέσα στο επίπεδο του ζευκτού ενώ στους μαχιάδες τοποθετούνται αρθρώσεις.



Εικόνα 5.7: Προσομοίωση στέγης με πεπερασμένα στοιχεία

Στη συνέχεια προσαρμόζεται το προτεινόμενο φάσμα στα δεδομένα της συγκεκριμένης περίπτωσης. Το φάσμα αναφέρεται πια στην ιδιοπερίοδο της συγκεκριμένης κατασκευής και στην επιτάχυνση που αναμένεται να σημειωθεί στη στέψη της, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Το προσαρμοσμένο φάσμα εισάγεται στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων και η στέγη υποβάλλεται σε φασματική ανάλυση.



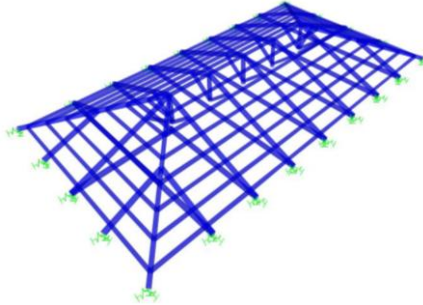
Εικόνα 5.8: Προσαρμοσμένο φάσμα ορόφου

Η σχετική επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά τη φασματική ανάλυση είναι $A_{\sigma\chi\epsilon\tau\iota\kappa\acute{\eta}} = 0.2g$. Άρα η επιτάχυνση που σημειώνεται στο κορφιά είναι $A_{\kappa\omicron\rho\phi\iota\acute{\alpha}} = A_{\sigma\tau\acute{\epsilon}\psi\eta\varsigma} + A_{\sigma\chi\epsilon\tau\iota\kappa\acute{\eta}} = 1.33 + 0.2 = 1.53g$

Η μέγιστη επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά την γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας του συνόλου της κατασκευής είναι $A_{\text{κορφιά}} = 0.90g$

Εναλλακτικά

Προσομοιώνεται η στέγη και στα σημεία όπου θα συνδεόταν με την υποκείμενη κατασκευή τοποθετούνται ελατήρια με αντίστοιχη δυσκαμψία.



Εικόνα 5.9: Προσομοίωση στέγης με πεπερασμένα στοιχεία

Ομοίως εισάγεται το προτεινόμενο φάσμα αφού προσαρμοσθεί στα δεδομένα της κατασκευής και η στέγη υποβάλλεται σε φασματική ανάλυση. Η μέγιστη (απόλυτη) επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά τη φασματική ανάλυση είναι $A_{\text{κορφιά}} = 0.65g$.

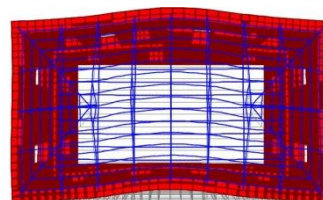
Η μέγιστη επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά την γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας του συνόλου της κατασκευής είναι $A_{\text{κορφιά}} = 0.90g$

Διεύθυνση ΥΥ'

Εφόσον $N=2$ η κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι:

$$T_{κτ,Υ} = \frac{L_{II}^{-0.213} \cdot L_K^{0.637} \cdot H^{1.172}}{10^{2,226}} = \frac{9^{-0.213} \cdot 15.8^{0.637} \cdot 10^{1.172}}{10^{2,226}} = \mathbf{0.321sec}$$

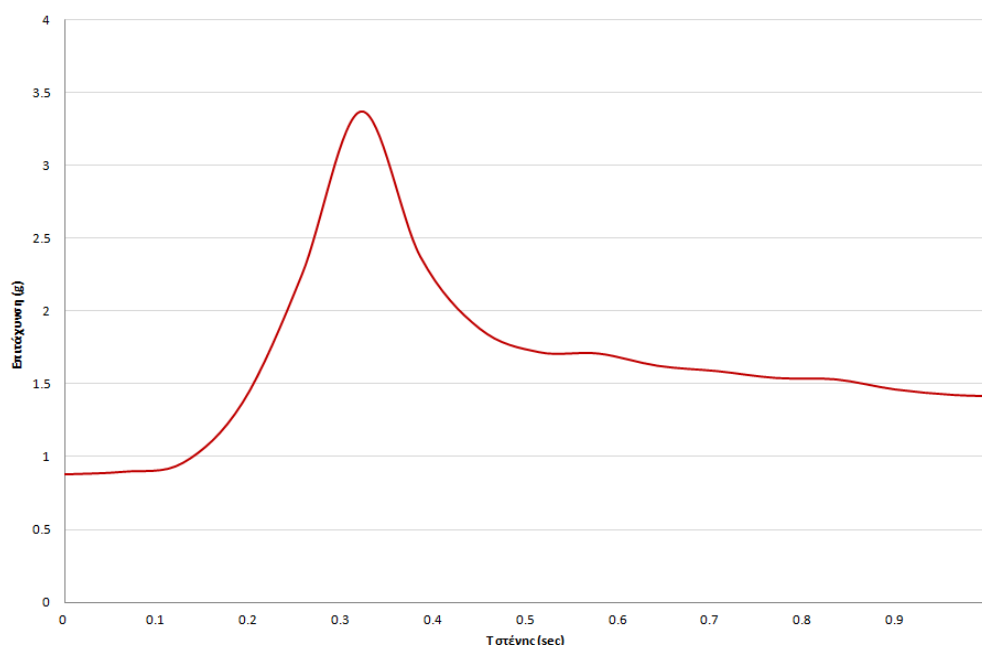
Από την αναλυτική επίλυση της κατασκευής προκύπτει: $T_{κτ,Υ} = \mathbf{0.334sec}$



Για $T_{κτ,Υ} = 0,321s$ από το φάσμα του σεισμού στην ΥΥ' διεύθυνση προκύπτει επιτάχυνση $A=0.488g$. Θεωρώντας $\gamma_{max}=1.8$ από το διάγραμμα 5.2, προκύπτει αναμενόμενη επιτάχυνση στη στέψη $A_{στέψης} = A \cdot \gamma = 0,739 \cdot 1.8 = \mathbf{0.878g}$.

Από την αναλυτική επίλυση προκύπτει μέγιστη επιτάχυνση στη στέψη $A_{στέψης} = \mathbf{1.0g}$

Στη συνέχεια αναπροσαρμόζεται το προτεινόμενο φάσμα στα δεδομένα της συγκεκριμένης διεύθυνσης και εισάγεται στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων .



Εικόνα 5.10: Προσαρμοσμένο φάσμα ορόφου

Η σχετική επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά τη φασματική ανάλυση είναι $A_{σχετική} = 0.04g$. Άρα η επιτάχυνση που σημειώνεται στο κορφιά είναι $A_{κορφιά} = A_{στέψης} + A_{σχετική} = 0.88 + 0.04 = \mathbf{0.92g}$

Η μέγιστη επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά την γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας του συνόλου της κατασκευής είναι $A_{κορφιά} = \mathbf{1.0g}$

Εναλλακτικά

Η μέγιστη (απόλυτη) επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά του προσομοιώματος της στέγης που βασίζεται σε ελατήρια, μετά τη φασματική ανάλυση είναι $A_{κορφιά} = \mathbf{0.92g}$.

Η μέγιστη επιτάχυνση που σημειώνεται στον κορφιά της στέγης μετά την γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας του συνόλου της κατασκευής είναι $A_{κορφιά} = \mathbf{1.0g}$

6. Συμπεράσματα

Οι συνηθέστερα εμφανιζόμενες βλάβες σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία όταν αυτή υποβάλλεται σε σεισμό επιβεβαιώνουν την μεγέθυνση των σεισμικών δυνάμεων που ασκούνται στη βάση της κατασκευής. Έτσι προκύπτει η αναγκαιότητα του προσδιορισμού των δυνάμεων αυτών σε κάθε περίπτωση, ακόμα και αν η επέμβαση στην κατασκευή αφορά μόνο την στέγη.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αναζήτηση μεθόδου μέσω της οποίας θα μπορεί να εκτιμηθεί η απόκριση της στέγης έναντι σεισμού καθώς και η καταπόνηση της σύνδεσης της στέγης με την υποκείμενη τοιχοποιία ομοίως σε περίπτωση σεισμού, χωρίς την προσομοίωση της υποκείμενης κατασκευής. Για αυτό το λόγο αναλύθηκαν 5 κτίσματα με δίρριχτες στέγες με κολυμβητά και γαλλικά κεραμίδια, 8 κτίσματα με τετράρριχτες στέγες, τα περισσότερα με κολυμβητά και γαλλικά κεραμίδια, 3 κτίσματα με εσωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες συνδεδεμένες με τις εξωτερικές. Οι κατασκευές αυτές υποβλήθηκαν σε γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας και εξήχθησαν οι ιδιοπερίοδοι τους στις δύο διευθύνσεις και οι επιταχύνσεις που σημειώθηκαν στη στέψη και στον κορφιά της στέγης. Κοινά χαρακτηριστικά των κατασκευών είναι πως, αποτελούνται από φέρουσα τοιχοποιία, δεν βρίσκονται σε επαφή με άλλες κατασκευές, παρουσιάζουν σχετική συμμετρία σε όψεις και κατόψεις και δεν έχουν ισχυρό διάφραγμα στις στάθμες των πατωμάτων και των στεγών, παρά μόνο τις συνήθεις ξύλινες κατασκευές αυτών. Ταυτόχρονα, οι στέγες αναλύθηκαν ανεξάρτητα από την υποκείμενη κατασκευή. Σε αυτήν την περίπτωση, στα σημεία όπου θα συνδεόταν η στέγη με την υποκείμενη κατασκευή εισάγονται αρθρώσεις και κυλίσεις ή εναλλακτικά ελατήρια με δυσκαμψία ίση με αυτήν της υποκείμενης τοιχοποιίας.

Αποδείχθηκε πως η στέγη είτε εδράζεται στην στέψη μίας κατασκευής είτε ανεξάρτητη παρουσιάζει τα ίδια δυναμικά χαρακτηριστικά. Άρα πληρούνται οι προϋποθέσεις να αναλυθεί ανεξάρτητα από το κτίριο. Στη συνέχεια, οι τιμές ιδιοπεριόδου που προέκυψαν για τις συνολικές κατασκευές (στέγη και κτίριο) επεξεργάστηκαν στατιστικά. Προέκυψε πως η ιδιοπερίοδος συσχετίζεται με τις γεωμετρικές διαστάσεις της κατασκευής. Ακόμα, για την καλύτερη προσέγγιση των πραγματικών τιμών των ιδιοπεριόδων οι κατασκευές χωρίστηκαν σε ομάδες (μονώροφες κατασκευές, πολυώροφες κατασκευές, κατασκευές με εσωτερικές τοιχοποιίες σε σύνδεση με τις εξωτερικές).

Στη συνέχεια μέσω της σύγκρισης των επιταχύνσεων που σημειώθηκαν στη στέψη κάθε κατασκευής με την επιτάχυνση που προέκυψε από το σεισμικό φάσμα, προέκυψε ο μεγεθυντικός συντελεστής γ . Ακολούθως, από τα σεισμικά φάσματα που αναφέρονται στην στάθμη του εδάφους εξήχθησαν τα αντίστοιχα φάσματα ορόφου για διαφορετικές τιμές ιδιοπεριόδων. Από την επεξεργασία του συνόλου των φασμάτων ορόφου προέκυψε το προτεινόμενο φάσμα.

Από τις δοκιμαστικές εφαρμογές της προτεινόμενης μεθόδου αναδείχθηκε πως ανάλογα με τις τιμές δυσκαμψίας των ελατηρίων, η εκτιμώμενη επιτάχυνση μπορεί να φτάσει ιδιαίτερα κοντά στην υπολογιζόμενη. Προτείνεται λοιπόν περαιτέρω διερεύνηση των τιμών

δυσκαμψίας των ελατηρίων που θα αντικαταστήσουν την υποκείμενη της στέγης κατασκευή.

Συνοπτικά, για να εκτιμήσει κανείς τα σεισμικά μεγέθη που καταπονούν τη στέγη σε κάθε διεύθυνση πρέπει να ακολουθήσει τα εξής βήματα:

- Προσδιορισμός ιδιοπεριόδου κατασκευής:

$$T_{\text{κτιρίου}} = \begin{cases} \frac{L_{\Pi}^{0.501} \cdot L_K^{0.443} \cdot H^{0.925}}{10^{2.498}}, & N = 1 \\ \frac{L_{\Pi}^{-0.213} \cdot L_K^{0.637} \cdot H^{1.172}}{10^{2.226}}, & N > 1 \end{cases}$$

όπου,

L_{Π} , μήκος κατασκευής στην διεύθυνση που αναζητείται η ιδιοπερίοδος

L_K , μήκος κατασκευής στην εγκάρσια διεύθυνση

H , ύψος στέψης κατασκευής

N , αριθμός ορόφων

- Εισαγωγή της ιδιοπεριόδου σε σεισμικό φάσμα και εξαγωγή της αντίστοιχης επιτάχυνσης
- Μεγέθυνση της επιτάχυνσης πολλαπλασιάζοντας την φασματική επιτάχυνση με τον μεγεθυντικό συντελεστή γ : (1.24 ÷ 1.8)
- Προσαρμογή του προτεινόμενου φάσματος στην κύρια μεταφορική ιδιοπερίοδο της υπό μελέτη κατασκευής και στην επιτάχυνση στέψης που υπολογίστηκε αμέσως προηγούμενα.
- Εφαρμογή του φάσματος ορόφου στην υπό μελέτη στέγη.

Σημειώνεται πως τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης εργασίας επιβεβαιώνουν τις 26 περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Προτείνεται η διεύρυνση του δείγματος των κατασκευών έτσι ώστε να είναι δυνατή η γενίκευση των συμπερασμάτων .

7. Βιβλιογραφία

Βιβλία

1. Αρχείο Σπουδαστηρίου Αρχιτεκτονικής Μορφολογίας, *Νεοκλασικά Σπίτια της Αττικής*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009
2. Δημητσάντου - Κρέμεζη Κ., *Νεοκλασική Αρχιτεκτονική στην Καλαμάτα*, Εταιρεία Μεσσηνιακών Σπουδών, Αθήνα, 2016
3. EN 1998-1:2004, *Ευρωκώδικας 8*
4. EN 1995-1-1, *Ευρωκώδικας 5*
5. ΕΑΚ 2000, *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός*, Αθήνα 2001
6. Θανόπουλος Ν., *Τα Αθηναϊκά Μνημειακά κτήρια του 19ου αι. και των αρχών του 20ου αι. με διερεύνηση της κατασκευαστικής και στατικής μεθοδολογίας (1834-1946)*, Τόμος Β', Σταμούλη, Αθήνα, 2007
7. Ιωαννίδης Π. Χ., *Οι στέγες στην οικοδομή σαν μορφολογικά και φέροντα στοιχεία*, Αθήνα, 1983
8. Κακαράς Ι., *Τεχνολογία ξύλινων κατασκευών*, Ίων, 2013
9. Κατσαραγάκης Σ. Ε., *Ξύλινες Κατασκευές*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2000
10. Τάσσιος Θ., Κατσαραγάκης Ε., Πλαϊνης Π., *Σημειώσεις Ξύλινων Κατασκευών*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Δομοστατικής, Αθήνα, 1990
11. Τουλιατος Π., *Ενημερωτικό σεμινάριο για τις ξύλινες κατασκευές*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1984
12. Σαΐτας Γ, Μάνη, *Ελληνική παραδοσιακή αρχιτεκτονική*, Μέλισσα, Αθήνα, 1992
13. ASCE Standard 4-98, *Seismic Analysis of Safety -Related Nuclear Structures and Commentary*, American Society of Civil Engineers, 1998
14. Chopra A., *Δυναμική των Κατασκευών*, Γκιούρδας, Αθήνα 2010

Διαλέξεις

15. Δαργέντας Ν., Πολύζος Β., *Συστήματα στέγασης στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική του Ελλαδικού χώρου*, Σχολή Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, 2015

Δημοσιεύσεις

16. *Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση*, Διεύθυνση μελετών έργων οδοποιίας, Γενική Διεύθυνση δημοσίων έργων, Υπουργείο Περιβάλλοντος χωροταξίας και Δημοσίων έργων , 2007
17. Asfura A., Kiureghian A., *Floor response spectrum method for seismic analysis of multiply supported secondary systems*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1986
18. Jiang W., Bo L., Wai-Chau X., Mahesh D.P., *Generate floor response spectra: Part 1. Direct spectra-to-spectra method*, Nuclear Engineering and Design, 2015
19. Juster-Lermitte S., Fournely E., *Floor response spectra- new proposal of a simplified methodology to define seismic force on equipment*, 16WCEE 2017, 2017
20. Parisi M, Piazza M., *Mechanics of plain and retrofitted traditional timber connections*, Journal of Structural Engineering, 2000

21. Parisi M., Chesi C., Tardini C. , *Inferring seismic behavior morphology in timber roofs*, International Journal of Architectural Heritage, 2012
22. Parisi M., Piazza M., *Seismic behavior and retrofitting of joints in traditional timber roof structures*, Soil Mechanics and earthquake engineering, 2002
23. Peters K.A., Schmitz D. Wagner U., *Determination of floor response spectra on the basis of the response spectra method*, Nuclear Engineering and Design, 1977

Σημειώσεις

24. Θεοφανόπουλος, Σημειώσεις μαθήματος, Τ.Ε.Ι. Πειραιά
25. Μυλωνάς Κ. Π., Τσακανίκα Ε., *Μικρές Ξύλινες στέγες, Σημειώσεις για το μάθημα Οικοδομική 2*, ΕΜΠ, Μάρτιος 2004
26. Τουλιανός Π., Τσακανίκα Ε., *Σημειώσεις Σεμιναρίου: Επεμβάσεις Ενίσχυσης, Επισκευής και επανάχρησης Ιστορικής και Παραδοσιακής Κατασκευής σε Σεισμογενές Περιβάλλον.*, Πάτρα 14 & 15 Μαΐου 2004
27. Αρχείο Τσακανίκα Ε.

Internet

28. houzz.com
29. left.gr
30. lagkadianocarnavali.gr
31. nafplio.wordpress.com
32. neoclassicalgreece.blogspot.gr/
33. [pixabay](http://pixabay.com)
34. [Slideshare](http://slideshare.com)