



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Π.Μ.Σ.: ΧΩΡΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΜΕΝΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ολοκληρωμένη προστασία ιστορικού δομημένου περιβάλλοντος με
προηγμένες τεχνολογίες και υλικά

**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΥΛΙΝΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ**

Φραντζεσκάκης Αλέξανδρος

Επιβλέπουσα : Σταυρουλάκη Μαρία [Αναπληρώτρια Καθηγήτρια]

Εξεταστική Επιτροπή: Κωνσταντίνος Προβιδάκης [Καθηγητής]

Γεώργιος Σταυρουλάκης [Καθηγητής]

XANIA

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας αυτή τη διπλωματική μου εργασία θέλω να εκφράσω θερμές ευχαριστίες σε όλους εκείνους που συνέβαλαν καθένας με το δικό του ιδιαίτερο τρόπο στην υλοποίησή της. Ειδικότερα λοιπόν ευχαριστώ:

- Την οικογένειά μου για την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει όλα τα χρόνια των σπουδών μου.
- Τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και την αγάπη τους.
- Κυρίως όμως την επιβλέποντα αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθηγήτρια κυρία Μαρία Σταυρουλάκη, για τη συνεχή ανατροφοδότηση, τις εύστοχες υποδείξεις, τις λύσεις σε όσα προβλήματα ανέκυψαν και τη γενικότερη συμβολή της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μελέτης αυτής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους καθηγητές Κων/νο Προβιδάκη και Γεώργιο Σταυρουλάκη που ήταν μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του ρόλου των ξύλινων δαπέδων στην δυναμική συμπεριφορά ενός διώροφου κτιρίου από λιθοδομή, και το οποίο κατασκευάστηκε στο κέντρο έρευνας CNR-ENEA στην Ρώμη της Ιταλίας. Η μορφή, οι διαστάσεις, οι φορτίσεις και οι ιδιότητες του πειράματος που χρησιμοποιήσαμε ήταν από την ερευνητική εργασία Michele Betti, Luciano Galano και Andrea Vignoli «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» Engineering Structures 61:195-208, 2014. Η παρούσα εργασία αναπτύχθηκε σε τρεις ενότητες.

Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια αναφορά στο ξύλο, την δομή του, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα, τις μηχανικές ιδιότητες και τις μηχανικές αντοχές. Επίσης, γίνεται αναφορά στην χρήση του ξύλου ως δομικό υλικό, τις κατηγορίες και την διάταξη των ξύλινων πατωμάτων, την τοποθέτηση του στην τοιχοποιία και τις σεισμικές βλάβες. Ακόμα παρουσιάζεται και το νομοθετικό πλαίσιο για τον σχεδιασμό των ξύλινων πατωμάτων, τον έλεγχο διάτμησης και κάμψεις και τον έλεγχο των παραμορφώσεων.

Στην δεύτερη ενότητα αντλούμε στοιχεία για την μορφή (φέρουσα τοιχοποιία, ξύλινο πάτωμα και ξύλινα δοκάρια), τις συνθήκες φόρτισης και τις ιδιότητες των υλικών από την ερευνητική εργασία αναφοράς. Ξεκινώντας προσομοιώσαμε το κτίριο και εστίασαμε στην στατική, στην δυναμική και στην καταπόνηση του σεισμού Colfiorito. Το μοντέλο αναλύθηκε με την χρήση του προγράμματος των πεπερασμένων στοιχείων Marc Mentat. Στην συνέχεια πήραμε στιγμιότυπα με χρωματική απεικόνιση για τις τάσεις και τις μετακινήσεις του μοντέλου μας. Οι χρωματικές απεικονίσεις μας παρουσιάζουν τις περιοχές που εμφανίζετε ο εφελκυσμός και η θλίψη οι οποίες ταυτίζονται με τα αποτελέσματα του πειράματος που εκπονήθηκε στη Ιταλία και δίνεται στην εργασία αναφοράς.

Στην τρίτη ενότητα ενισχύουμε το μοντέλο μας με επιπλέον στρώση ξύλινων σανίδων με διεύθυνση κάθετη ως προς τις σανίδες που χρησιμοποιήθηκαν στο αρχικό μοντέλο. Επιλύουμε το ενισχυμένο μοντέλο για στατική, δυναμική και σεισμική καταπόνηση και παίρνουμε τα αποτελέσματα τάσεων και μετακινήσεων τα οποία στην συνέχεια συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου.

Τελειώνοντας στην εργασία γίνεται αναφορά των συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ο δρόμος για μελλοντική έρευνα από άλλους φοιτητές για την αποκατάσταση μνημείων και άλλων κατασκευών.

Abstract

The subject of this master thesis is to investigate the influence of wooden floors in the dynamic behavior of a two-storey stone building, which was constructed at the CNR-ENEA research center in Rome, Italy. The geometry, dimensions, loads and mechanical properties of the materials which were used are coming from the research work of Michele Betti, Luciano Galano and Andrea Vignoli of Italy "Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms" Engineering Structures 61: 195 -208, 2014. The present work was developed in three sections.

On the first part there is a reference to the wood as material, its structure, advantages, disadvantages, mechanical properties and mechanical resistance. It is also pointed the use of wood as a constructive material, the categories and layout of wooden floors, its place in masonry and earthquake damages. The legal framework for the design of wooden floors, the control of shear and bending and the deformations, are also presented.

On the second part the data about the form (stone masonry, wooden floors and wooden beams), the conditions of charge and the properties of the materials were collected, from the research of a group of Italian scientists Michele Betti, Luciano Galano and Andrea Vignoli. In the beginning the building was simulated by finite elements and the model was analyzed for static and dynamic loads, special for Colfiorito earthquake. The model was analyzed by using the Finite Element program Marc - Mentat. After that the analysis results were presented by the color displays of the displacements and stresses. These results were compared with the areas of element failures and crush which are identified based on the Italian experiments.

On the third part the initial model were reinforced with an additional layer of wooden planks with a direction perpendicular to the planks used in the original model. The new model was solved for static, dynamic and seismic loads. Then the results of stresses and displacements were compared with the results of the first model and was concluded that the horizontal diaphragm stiffness had a small increasement.

At the end the conclusions that came through this process are presented and suggestions for future research about the restoration of monuments and other constructions are given.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
<u>1.</u> ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	10
1.2 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	10
1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	11
1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	11
1.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΞΥΛΟΥ	15
1.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ	16
1.6 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	22
<u>2.</u> ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	26
2.1 ΠΑΤΩΜΑ	26
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ	26
2.3 ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ ΞΥΛΙΝΑ ΠΑΤΩΜΑΤΑ	27
2.4 ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	28
2.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΞΥΛΙΝΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ	31
2.6 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ	32
2.7 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΤΩΝ ΞΥΛΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	33
<u>3.</u> ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	34
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – (ΕΚ5)	34
3.2 ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ – (ΚΑΤΑ ΕΚ5)	34
3.3 ΒΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ (ΚΑΤΑ ΕΚ5)	35
<u>4.</u> ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	38
• «Ο ρόλος της εντός επιπέδου δυσκαμψίας στη σεισμική συμπεριφορά των παραδοσιακών κτιρίων του M. Piazza, C.Baldessari&R.Tomasi, 2009»	38
• «In-plane strengthening of timber floors for the seismic improvement of masonry buildings. Maria Rosa Valluzzi, Enrico Garbin, Massimo Dalla Benetta, Claudio Modena»	40
• «Seismic response of masonry buildings with alternative techniques for in plane strengthening of timber floors. Roberto Scotta, Davide Trutalli, Luca Marchi, Luca Pozza, Michele Mirra»	41
<u>5.</u> ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	44
5.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	44
5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ	44

5.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟ MARCMENTAT	47
<u>6.</u>	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	56
6.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	56
6.2	ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	56
6.3	ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	59
6.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΤΗ ΒΑΣΗ	63
<u>7.</u>	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο	67
7.1	ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ	67
7.2	ΤΥΠΟΙ ΞΥΛΙΝΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	67
7.3	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	69
7.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
7.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	72
7.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	74
7.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗΣ	77
<u>8.</u>	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
<u>9.</u>	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84

Το ξύλο βρίσκεται στα χέρια του ανθρώπου από τότε που εμφανίστηκε στη γη. Οι βασικές ανάγκες του πρωτόγονου ανθρώπου ήταν η θέρμανση και τα όπλα, καθώς και οι μετέπειτα ανάγκες που προέκυψαν και αφορούσαν την στέγαση. Στους αρχαϊκούς χρόνους, στους κλασσικούς αλλά και στους μετέπειτα, το ξύλο χρησιμοποιήθηκε σε πασσαλότοιχους, ξυλοδεσίες, πατώματα, θύρες, παράθυρα, οροφές, στέγες, στην ναυπηγική καθώς ακόμη και σε ναούς, στοές, οικίες που κατασκευάζονταν εξ ολοκλήρου ή εν μέρει με ξύλο.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να ειπωθεί ότι στη μινωική εποχή το ξύλο κατείχε εξέχοντα ρόλο στη διαμόρφωση του φέροντα οργανισμού των κτιρίων και αρκετές φορές συνεργαζόταν με την πέτρα. Οι τεχνικοί και όχι απλοί τεχνίτες της Μινωικής εποχής ήταν αυτοί που επινόησαν ένα ιδιαίτερος τυποποιημένο δομικό σύστημα το οποίο με διάφορες παραλλαγές μπορεί να δώσει μεγάλη ποικιλία φορέων, κτιρίων και χώρων με τολμηρές κατασκευαστικές λύσεις. Στη δεύτερη χιλιετία π.Χ. αυτοί οι τεχνικοί εφάρμοσαν με επιτυχία ένα δομικό σύστημα που για πολλούς αιώνες στη συνέχεια οι κατοπινοί συνάδελφοί τους δεν θα μπορούσαν να διανοηθούν πολλαπλά ανοίγματα στο ισόγειο, κάτι που και σήμερα ακόμη οι αρχιτέκτονες αποφεύγουν προτιμώντας συμπαγείς όγκους. Εκεί δηλαδή που άλλοι πολιτισμοί προσθέτουν μάζα για να στηρίξουν το πολύ δύο ορόφους, οι Μινωίτες αφαιρούσαν για να στηρίξουν ως και τέσσερις (Λαδά, 2009). Η αντισεισμικότητα του μινωικού δομικού συστήματος οφείλεται στην πολύ μεγάλη χρήση του ξύλου είτε ως ύλη με εξαιρετική αντοχή στον εφελκυσμό είτε ως κύριο φέρον στοιχείο δομικών συστημάτων, μέσω των οποίων μειώνονται σημαντικά οι μάζες των τοίχων και οι αδρανειακές δυνάμεις όχι μόνο στους ορόφους αλλά και στο ισόγειο. Επίσης τα ισχυρά ξύλινα συστήματα που χρησιμοποίησαν οι Μινωίτες παρουσιάζουν μεγάλη δυνατότητα παραλαβής των παραμορφώσεων χωρίς να καταρρέουν εύκολα, συγκρατώντας παράλληλα την υπερκείμενη τοιχοποιία και τα πατώματα. Οι βλάβες από έναν σεισμό περιορίζονταν έτσι, αλλά και η αποκατάστασή τους ήταν ευκολότερη (Καρπουζλή, 2015). Επίσης άλλο ένα παράδειγμα είναι η αμφικλινής ξύλινη στέγη του Ικτίνου στον Παρθενώνα.

Με την άνθηση της τεχνολογίας, ο αριθμός των προϊόντων που παράγονταν από ξύλο με απλή μηχανική ή πολύπλοκη χημική μεταποίηση, αυξάνεται συνεχώς. Τα κυριότερα από αυτά είναι καυσόξυλα, ξυλάνθρακες, χαρτί, ρητίνη κτλ.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

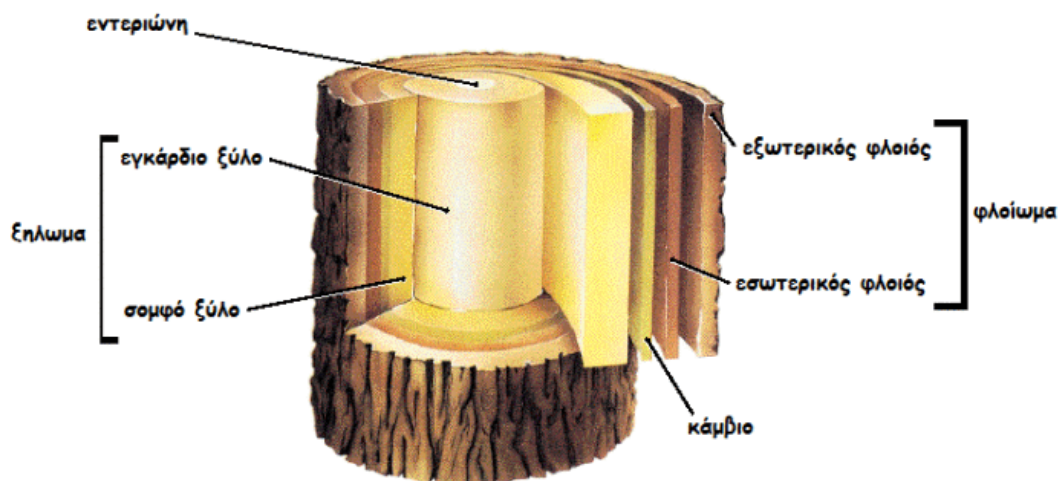
ΤΟ ΔΕΝΤΡΟ

Το ξύλο είναι ένας «ζωντανός οργανισμός», με οργανωμένη κυτταρική δομή, το οποίο εμφανίζει ανισότροπες ιδιότητες. Αυτή η ανισοτροπία ωφελείται στη διαφορετική διεύθυνση των ινών του ξύλου, (τα λεγόμενα κι αλλιώς «νερά» του) και επηρεάζει την αντοχή αυτού.

Στο ξύλο, είναι χαρακτηριστική η παρουσία κυκλικών στρώσεων με το ίδιο κέντρο που λέγονται δακτύλιοι. Μετρώντας τους, στη βάση ενός δένδρου, μπορούμε να εκτιμήσουμε την ηλικία του.

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Ο κορμός ενός δέντρου απαρτίζεται από τα εξής στρώματα [Εικ.1]:



Εικόνα 1: Εγκάρσια τομή ξύλου
«<https://episthmonikesapanthseis.wordpress.com>»

- Το **φλοιώμα** (εξωτερικό και εσωτερικό)
- Το **κάμβιο** (ένα λεπτό στρώμα ζωντανών κυττάρων μεταξύ φλοιού και ξύλου)
- Το **ξηλώμα** (εγκάρδιο και σομφό)
- Η **εντεριώνη** (ο κεντρικός πυρήνας του ξύλου)

ΕΙΔΗ ΞΥΛΙΑΣ

Η ποιότητα του ξύλου εξαρτάται από την προέλευσή του, δηλαδή από το είδος του δέντρου που δημιουργείται, γι' αυτό χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **ΤΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ή ΦΥΛΛΟΒΟΛΑ** : δρυς, οξιά, καστανιά, καρυδιά, σφενδάμι, λεύκα, φτελιά που χαρακτηρίζονται ως « σκληρή ξυλεία».

- **ΤΑ ΚΩΝΟΦΟΡΑ ή ΑΕΙΘΑΛΗ :** πεύκη, ελάτη, κυπαρίσσι που χαρακτηρίζονται ως «μαλακή ξυλεία».

1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Γενικά, το ξύλο έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το τσιμέντο, το χάλυβα, το αλουμίνιο και τα πλαστικά.

- Αναπαράγεται από την φύση με γρήγορο ρυθμό σε σχέση με το πετρέλαιο που εξαντλείται συνεχώς.
- Η επεξεργασία του είναι εύκολη με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.
- Όταν τελειώσει ο χρόνος χρήσης του δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, διότι αποσυντίθεται.
- Έχει μεγάλη αρχιτεκτονική αξία, γιατί είναι διαθέσιμο σε πολλά χρώματα και σχέδια.
- Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή με σχετικά μικρό ίδιο βάρος και συμπεριφέρεται εξαιρετικά στους σεισμούς. Αποτελεί το καλύτερο δομικό υλικό των αντισεισμικών δομικών συστημάτων.
- Ως δομικό υλικό έχει θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Αν και είναι καύσιμο υλικό, έχει σε ικανοποιητικό βαθμό προβλέψιμη συμπεριφορά στην φωτιάς.
- Είναι εξαιρετικό δομικό υλικό με τεράστιες κατασκευαστικές ικανότητες και αρχιτεκτονική αξία, καθώς μπορεί να καλύψει μεγάλα ανοίγματα μεγάλων διαστάσεων.

1.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

Το ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό, για το λόγο αυτό δίνει ή λαμβάνει υγρασία έως ότου το «ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας» (Π.Π.Υ) [Σχ.1] του σταθεροποιηθεί στο λεγόμενο «ποσοστό υγρασίας σε ισορροπία με το περιβάλλον», το οποίο εξαρτάτε από την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας (Καραμπέκος).

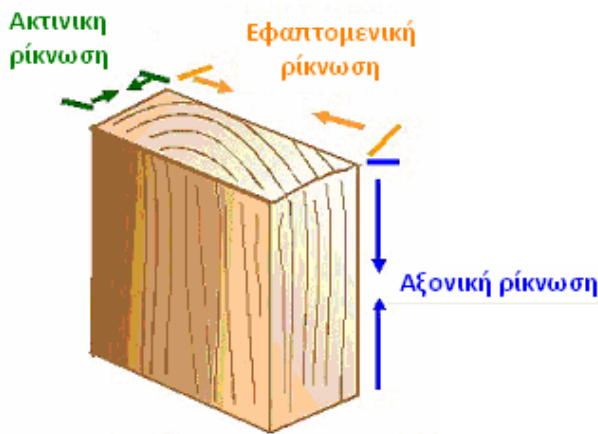
$$\text{Π.Π.Υ} = \frac{\text{Βάρος περιεχόμενου νερού} * 100}{\text{Βάρος αποξηραμένου ξύλου}}$$

Σχέση 1: «Ποσοστό της Περιεχόμενης Υγρασίας» (Π.Π.Υ.).

Επίσης το Π.Π.Υ για το οποίο το ξύλο δεν ανταλλάσσει υγρασία με το περιβάλλον, ονομάζεται «ποσοστό ισορροπίας της περιεχόμενης υγρασίας» (Π.Ι.). Σημειώνετε ότι η ισορροπία αυτή δεν σημαίνει εξίσωση των ποσοστών υγρασίας στο ξύλο και στο περιβάλλον. Επειδή το νερό αντιμετωπίζει δυσκολίες στην είσοδο και την έξοδο προς το ξύλο και από το ξύλο, έτσι το Π.Ι. είναι πολύ χαμηλότερο από τη σχετική υγρασία (RH) του περιβάλλοντος.

Από τη μια το Π.Ι. αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος του ξύλου. Από την άλλη όμως η αύξηση του Π.Π.Υ. οδηγεί σε επικίνδυνη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου. Εξαιτίας λοιπόν της υγροσκοπικότητας του, το ξύλο μεταβάλλει τις διαστάσεις του κάθετα στην διεύθυνση των ινών. Αυτές οι μεταβολές διακρίνονται:

- **Ρίκνωση** είναι το φαινόμενο της αυξομείωσης των διαστάσεων του ξύλου εξαιτίας της απότομης και μεγάλης μεταβολής του ποσοστού υγρασίας.[Εικ.2]



Εικόνα 2: Μεταβολές των διαστάσεων του ξύλου λόγω ρίκνωσης
«ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – Τεχνίτης Ξυλουργός»

Το ξύλο πρέπει να ξεραίνεται καλά και σωστά για να μην δημιουργούνται σφάλματα στην κατασκευή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Η διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου που είναι το άθροισμα της ακτινικής και εφαπτομενικής ρίκνωσης, που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες μεταβολές σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας (π.χ. 43-80% για τη χώρα μας). Έτσι υπάρχει μια ταξινόμηση ανάλογα με την ρίκνωση (Βουλγαρίδη, 2008).[Πιν.1]

Πίνακας1: Ταξινόμηση ξύλων σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της ρίκνωσης
«Bolza and Keating 1972, ΑπόΒουλγαρίδη 2008»

Κωδικός κατηγορίας	Ρίκνωση (%)			
	Εφαπτόμενη		Ακτινική	
	Ολική ρίκνωση	Από 30% ως υγρασία 12%	Ολική ρίκνωση	Από 30% ως υγρασία 12%
1	0,0-3,5	0,0-2,5	0,0-2,0	0,0-1,1
2	3,6-5,0	2,6-4,0	2,1-3,0	1,1-2,0
3	5,1-6,5	4,1-5,5	3,1-4,0	2,1-3,0
4	6,6-8,0	5,6-7,0	4,1-5,0	3,1-4,0
5	>8,1	>7,1	>5,1	>4,1

- **Μετακίνηση** ονομάζουμε το φαινόμενο της συνεχής αλλαγής διαστάσεων στο αποξηραμένο ή ξηρό ξύλο, εξαιτίας των συνεχών εναλλαγών της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας κατά το οποίο οι μεταβολές των διαστάσεων είναι μικρότερες από εκείνες που οφείλονται στη ρίκνωση.

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Η παραμόρφωση ενός κομματιού ξύλου δυσχεραίνει ή και αποκλείει την χρήση του ως δομικού στοιχείου. Στην εικόνα παρουσιάζονται μορφές παραμορφώσεως ξύλινων στοιχείων.[Εικ.3]



Εικόνα 3: Παραμορφώσεις του ξύλου
«ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – Τεχνίτης Ξυλουργός»

ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ

Το ξύλο είναι ιδιαίτερα ευπαθές όταν μετατρέπεται σε δομική ξυλείας, εξαιτίας των θρεπτικών συστατικών που περιλαμβάνει, τα οποία προτιμούν οι μύκητες και τα ξυλοφάγα έντομα.

ΜΥΚΗΤΕΣ

Οι μύκητες είναι ετεροτρόφη μικροοργανισμοί που τρέφονται με τις οργανικές ενώσεις του ξύλου και αλλάζουν την απόχρωση, τις ιδιότητες, τη δομή και τη χημική σύσταση του. Οι μύκητες για να αναπτυχθούν χρειάζονται τροφή (ξύλο), κατάλληλη θερμοκρασία, υγρασία και αέρα (οξυγόνο).[Εικ.4]



Εικόνα 4: Αλλοίωση ξύλου από μύκητες
«ΕΜΠΟΡΙΚΟ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – Τεχνίτης Ξυλουργός»

ΞΥΛΟΦΑΓΑ ΕΝΤΟΜΑ

Ξυλοφάγα έντομα είναι οι τερμίτες [Εικ.6] και τα κολεόπτερα που προσβάλουν είτε νωπό είτε αποξηραμένο ξύλο αποθέτοντας τα αυγά τους στην μαλακή στρώση και κάτω από την φλούδα του ξύλου.[Εικ.5]



Εικόνα 5: Οι προνύμφες των ξυλοφάγων εντόμων στο εσωτερικό του ξύλου
«Σημειώσεις εργαστηρίου υλοχρηστικής Η.Βουλγαρίδης Τμήμα ΔΦΠ ΑΠΘ»



Εικόνα 6: Τερμίτες
«Σημειώσεις εργαστηρίου υλοχρηστικής Η.Βουλγαρίδης Τμήμα ΔΦΠ ΑΠΘ»

ΦΩΤΙΑ

Η φωτιά είναι μία από τις πιο συνηθισμένες αιτίες ζημιών στα ξύλινα κτίρια. Παρότι σαν μέλος κατασκευής το ξύλο μπορεί να φθάσει μια διάρκεια πυραντίστασης 30 λεπτών και περισσότερο.

Από τη μία η διαδικασία της καύσης σε μια ξύλινη κατασκευή γίνεται σε αργά στάδια, με δυνατότητα να αντέξει περισσότερο χρόνο από μια μεταλλική, η οποία χάνει γρηγορότερα τη φέρουσα ικανότητά της, με κίνδυνο κατάρρευσης από μεγάλες παραμορφώσεις. Από την άλλη όμως η θέρμανση, ο καπνός, η απόθεση στάχτης και τέλος η απανθράκωση είναι οι αιτίες που κάνουν την καύση του ξύλου ζημιογόνα.

1.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΞΥΛΟΥ

ΔΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΞΥΛΟΥ

Η δομική προστασία του ξύλου είναι κατά βάση προστασία από την υγρασία. Οι αύξηση των διαστάσεων εμποδίζετε από τεχνητή ξήρανση της εσωτερικής υγρασίας ώστε αυτή να ταιριάζει με την αναμενόμενη υγρασία της κατασκευής.

Προστασία για την αύξηση της υγρασίας από το νερό της βροχής και των τριχοειδών φαινομένων επιτυγχάνεται με:

- Αποστράγγιση των ελεύθερων τοίχων
- Επαρκές προεξοχές της στέγης
- Ένθετα πίσω από την πρόσοψη
- Αποφυγή λιμναζόντων επιφανειών
- Διάταξη προεξοχής νερού
- Στεγάνωση των θέσεων σύνδεσης
- Τοποθέτηση κόντρα πλακέ για την ανερχόμενη υγρασία
- Εξασφάλιση επαρκούς κυκλοφορίας αέρα σε χώρους υγρασίας

ΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΞΥΛΟΥ

Η χημική προστασία ξύλου γίνεται για την προσβολής από μύκητες και έντομα και αναφέρεται στην προστασία των μη φερόντων μελών, αφού εξαντληθούν τα μέσα δομικής προστασίας. Η δυνατότητα του εμποτισμού εξαρτάται από την κατασκευή του ξύλου. Τα περισσότερα προστατευτικά μέσα είναι ανθυγιεινά για τον άνθρωπο και τα ζώα, επομένως θα πρέπει να δείχνουμε ιδιαίτερη επιμέλεια στο περιβάλλον στο οποίο εφαρμόζονται .

Τα προστατευτικά μέσα τοποθετούνται ως εξής:

- Με χειροποίητη μέθοδο μέσω εμποτισμού σκαφής, εμβάπτισης, τριβής ή βαφής.
- Με τεχνητή μέθοδο μέσω εμποτισμού από πίεση ατμολέβητα, αέρα ή διάχυση.

ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΞΥΛΟΥ

Τα πυροπροστατευτικά μέσα δεν είναι σταθερά με τον καιρό. Μια προληπτική πυροπροστασία ξύλινων κατασκευών είναι δυνατή μόνο όταν έχει ήδη προστατευτεί από τις καιρικές συνθήκες ή καταπονήσεις λόγω υγρασίας. Η προστασία του ξύλου έναντι της πυρκαγιάς μπορεί να είναι ενεργητική ή παθητική.

Η ενεργητική επιτυγχάνεται με τη χρήση άκαυστων υλικών για τις επενδύσεις, έτσι ώστε το ξύλο να παραμένει σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και να μειώνει τους κινδύνους αναφλέξεως.

Η παθητική επιτυγχάνεται με επαλείψεις ή με εμβάπτιση σε κατάλληλα υλικά, με πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τη μείωση της ταχύτητας αναφλέξεως και απανθρακώσεως.

1.5 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ

Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου εξαρτώνται από το είδος του δέντρου (κωνοφόρα, πλατύφυλλα) και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (κλίμα, έδαφος, πυκνότητα φυτεύσεως). Η μεγάλη ποικιλία ειδών δέντρων έχει ως αποτέλεσμα το μεγάλο εύρος των ιδιοτήτων του ξύλου.

Ακόμα, το ξύλο ως ανομοιογενές υλικό, παρουσιάζει διαφορετική μηχανική αντοχή σε κάθε διεύθυνση του, κάτι το οποίο δεν μπορεί να καταγραφεί για όλη την διάρκεια της κατεργασίας του, από την υλοτόμηση και την αποθήκευση ως την σχεδίαση και τη δημιουργία μιας κατασκευής.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

ΥΓΡΑΣΙΑ

Το ποσοστό υγρασίας (Π.Υ.) επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του ξύλου. Το ξύλο ως υγροσκοπικό υλικό απορροφά ή αποβάλλει υγρασία, μέχρι να σταθεροποιηθεί γύρω από το ποσοστό ισορροπίας (Π.Ι.) του περιβάλλοντος. Η αύξηση του ποσοστού υγρασίας μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου και αντίστροφα.

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα είναι μια από τις κυριότερες ιδιότητες του ξύλου διότι βάση αυτής αξιοποιούμε σωστά το ξύλο στις κατασκευές. Από την πυκνότητα επηρεάζεται η ρίκνωση, η υγροσκοπικότητα αλλά και άλλες κύριες ιδιότητες. Μεγάλη πυκνότητα σημαίνει μεγάλη μηχανική αντοχή αφού μεγαλύτερο ειδικό βάρος δηλώνει κύτταρα με παχύτερα τοιχώματα και λιγότερα διάκενα. Η πυκνότητα του ξύλου που χρησιμοποιούμε στις κατασκευές είναι από 300 μέχρι 550 kg/m³. Η πυκνότητα σχετίζεται στο ποσοστό υγρασίας, αφενός επειδή το νερό του ξύλου προστίθεται στη μάζα του και αφετέρου λόγω των ογκομετρικών μεταβολών τις οποίες συνεπάγονται οι μεταβολές του ποσοστού υγρασίας. Ανάλογα με την πυκνότητα του ξύλου χωρίζονται σε 6 κατηγορίες.[Πιν.2]

Πίνακας2: Πυκνότητα ξύλου με περιεχόμενη υγρασία 12%
«HMSO 1972, Βουλγαρίδης 2006»

Ξύλο	Πυκνότητα (Kg/m ³)
Πολύ Ελαφρύ	<320
Ελαφρύ	320-450
Μέτριο	450-650
Βαρύ	650-800
Πολύ Βαρύ	800-1000
Εξαιρετικά Βαρύ	>1000

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣ

Η δομική ξυλεία παρουσιάζει κάποια σφάλματα που δημιουργούνται είτε κατά την διάρκεια της ανάπτυξης του δέντρου, είτε κατά την κοπή ή ακόμη και από περιβαλλοντικές

προσβολές. Η παρουσία αυτών των σφαλμάτων παρατηρείται μέσα από την απόσταση και κλίση των «νερών» του ξύλου, την ακανόνιστη ανάπτυξη, τους ρόζους, τους θύλακες ρητίνης και τις ρηγματώσεις. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την μηχανική αντοχή του ξύλου επειδή χαλάνε την συνέχεια και προκαλούν συστροφή των ινών του ξύλου και παρουσιάζουν περιοχές ευάλωτες σε προσβολή από μύκητες και ξυλοφάγα έντομα.

ΚΟΠΩΣΗ

Το φαινόμενο της κοπώσεως παρατηρείται και στο ξύλο: φορτία πιο μικρά από την υπολογιστική τιμή τους αλλά με συνεχείς επαναλήψεις, όπως ο άνεμος μπορούν να δημιουργήσουν στο ξύλο την εμφάνιση αστοχιών κοπώσεως. Αυτές οι αστοχίες μειώνουν τα χαρακτηριστικά αντοχής και ακαμψίας του υλικού καθώς και την ανθεκτικότητα του σε διάρκεια. Η αντοχή σε κόπωση μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της εντάσεως και της επαναλήψεως, με μεγαλύτερη την αντοχή σε κόπωση από αξονικό εφελκυσμό. (Βουλγαρίδη, 2008)

ΚΥΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό διαφοροποιείτε ανάλογα με την διεύθυνση επιβολής φορτίου. Διακρίνεται σε αξονικό (παράλληλα προς τις ίνες) και εγκάρσιο (κάθετο προς τις ίνες) εφελκυσμό, [Εικ.7] με τον αξονικό να παρουσιάζει αντοχές έως και 50 φορές μεγαλύτερες από τον εγκάρσιο. Η διαφορά αυτή στην αντοχή οφείλεται στη διάταξη των σωληνωτών κυττάρων του ξύλου. Επίσης η αντοχή του ξύλου στην διαμήκη διεύθυνση είναι πολύ μικρότερη, γεγονός που οφείλεται στις «ατέλειες» που έχουν δημιουργηθεί στην διάταξη των «αλυσίδων» των ινών, όπως: κάμψεις των ινών, περιοχές μικρής αντοχής, εμφάνιση ασυνεχειών, μεγάλης μεν αντοχής που διακόπτουν όμως τη συνέχεια της δομής του ξύλου, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της συνολικής αντοχής του στοιχείου. (Οικονόμου, Στεφανίδου, Μαυρίδου ΑΠΘ)



Εικόνα 7: Κατεύθυνση των δυνάμεων σε σχέση με την διεύθυνση των ινών αξονικό εφελκυσμό (α) και εγκάρσιο εφελκυσμό (β).

«Ειδικά θέματα δομικών υλικών, Ν.Οικονόμου, Μ.Στεφανίδου, Σ.Μαυρίδου ΑΠΘ»

Η εφελκυστική αντοχή του ξύλου κατά την εγκάρσια διεύθυνση εξαρτάται από την αντοχή της σύνδεσης των κυττάρων και είναι μικρότερη από την αντοχή στην κάθετη της διεύθυνση. Η παρουσία ρωγμών, που ενδέχεται να οφείλονται στη συστολή του ξύλου κατά την ξήρανση, στην επεξεργασία κατά την κατασκευή ή στην ένταση του φορέα, μπορεί να μηδενίσει αυτή την ήδη μικρή αντοχή. Για αυτό το λόγο στις ξύλινες κατασκευές αποφεύγονται

διατάξεις μελών οι οποίες θα φορτίζονταν με εφελκυστικές δυνάμεις κάθετες προς τις ίνες τους. (Οικονόμου, Στεφανίδου, Μαυρίδου ΑΠΘ)

Η σχέση που προσδιορίζει την αντοχή σε εφελκυσμό είναι [Σχ2]:

$$S=P/A$$

Σχέση 2: «Αντοχή σε εφελκυσμό»

Όπου: S: τάση σε εφελκυσμό (Kp/cm²)

P: μέγιστο φορτίο (Kp)

A: ελάχιστη διατομή δείγματος (cm²)

ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Όπως στον εφελκυσμό, έτσι και στην θλίψη, η αντοχή διαφέρει ανάλογα με την διεύθυνση επιβολής της δύναμης. Για αυτό το λόγο διακρίνεται σε αξονική και εγκάρσια θλίψη. Αξονική αστοχία είναι η παραμόρφωση του ξύλου από θλίψη παράλληλη προς τις ίνες και παρουσιάζεται κυρίως σε ξύλινα στηρίγματα και μεγαλώνει με την θραύση της λιγνίνης (κολλώδης ουσία η οποία βρίσκεται ενδιάμεσα των πρωτευνόντων στρωμάτων των τοιχωμάτων των κυττάρων του ξύλου).[Εικ.8]

Οι αντοχές της φυσικής ξυλείας σε αξονική θλίψη κυμαίνονται, μεταξύ 30 και 100 MPa.

Η σχέση που προσδιορίζει την αντοχή σε θλίψη είναι [Σχ.3]:

$$C=P/A$$

Σχέση 3: «θλιπτική αντοχή»

Όπου: C: θλιπτική αντοχή (Kp/cm²)

P: μέγιστο φορτίο (Kp)

A: εγκάρσια διατομή δείγματος (cm²)



Εικόνα 8 : Πειραματική αντοχή σε θλίψη

«Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ»

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η διατμητική αντοχή μπορεί να χωριστεί σε αξονική, εγκάρσια, κυλιόμενη και λοξή.

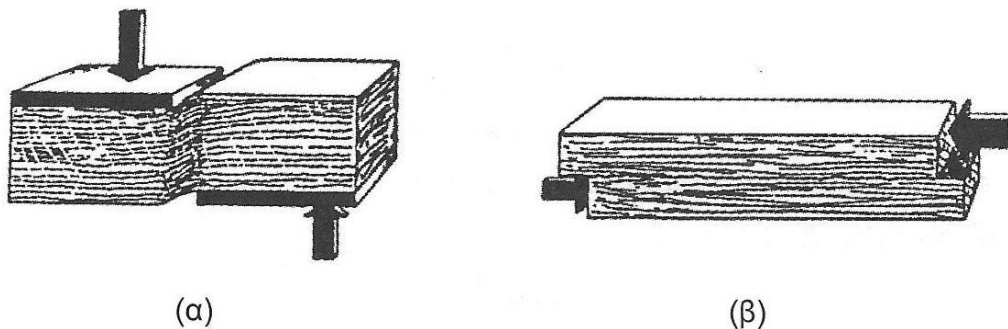
Η αξονική παρουσιάζεται όταν τα ξύλινα στοιχεία καταπονούνται σε αξονική θλίψη ή κάμψη. Η αξονική διάτμηση είναι από 50 έως 200 Kp/cm².

Η αντοχή σε εγκάρσια διάτμηση είναι μεγαλύτερη από την αξονική. Όμως δεν έχει σημασία γιατί το ξύλο καταστρέφεται πιο γρήγορα από αξονική και κυλιόμενη διάτμηση.

Η κυλιόμενη διάτμηση δημιουργείται από φορτία που δρουν σε εγκάρσια διεύθυνση. Η αντοχή σε κυλιόμενη διάτμηση είναι μικρότερη από την αντοχή σε αξονική διάτμηση.

Η λοξή διάτμηση γίνεται όταν έχουμε φόρτιση σε αξονική θλίψη ή εφελκυσμό. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται λοξά επίπεδα στα κυτταρικά τοιχώματα των κυττάρων. Οι μέγιστες τάσεις παρουσιάζονται σε γωνία 45°.

Το ξύλο βρίσκεται υπό τάσεις διάτμησης όταν το μέρος του τμήματος που φορτίζεται τείνει να υποχωρήσει σε σχέση με το άλλο.[Εικ.9]



Εικόνα 9: Διατμητική αστοχία κάθετα στις ίνες (α) παράλληλα στις ίνες (β).
«Ειδικά θέματα δομικών υλικών, Ν.Οικονόμου, Μ.Στεφανίδου, Σ.Μαυρίδου ΑΠΘ»

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η αντοχή του ξύλου σε κάμψη προσδιορίζεται από την αντοχή των εφελκυσμένων ινών του, καθώς εμφανίζεται μια «πλαστικοποίηση» της θλιβόμενης ζώνης της καμπτόμενης διατομής, με αύξηση του πάχους των ινών οι οποίες φτάνουν τη μέγιστη τάση του. Με την πλαστικοποίηση και τις τοπικές αστοχίες των θλιβομένων ινών, η μέγιστη τάση στη θλιβόμενη ζώνη μένει σταθερή, ενώ μεγαλώνουν οι εφελκυστικές τάσεις, έναντι των οποίων το ξύλο εμφανίζει και τη μεγαλύτερη αντοχή. (Βουλγαρίδη, 2008)

Η αντοχή σε κάμψη είναι μεγαλύτερη από την εφελκυστική του αντοχή παράλληλα προς τις ίνες και η διαφορά αυτή αποτυπώνεται στους κανονισμούς.

Στην συνέχεια σας παραθέτω μερικές εικόνες από εργαστηριακές δοκιμές σε ξύλινα δοκίμια.[Εικ.10]



Εικόνα 10: Πειραματική αντοχή σε κάμψη
«Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ»

ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ελαστικότητα ονομάζεται η ιδιότητα του υλικού να επιστρέφει στο αρχικό του μέγεθος και σχήμα όταν φύγει το φορτίο που προκάλεσε την αντίστοιχοι τάση και παραμόρφωση. Αυτό γίνεται κάτω από το όριο ελαστικότητας αν το φορτίο υπερβεί το όριο τότε η παραμόρφωση γίνεται μόνιμη. Η σχέση μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης καθορίζει το μέτρο ελαστικότητας (μέτρο Young).

Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση: [Σχ.4]

E=S/δ

Σχέση 4: «Μέτρο ελαστικότητας»

- Όπου: E: μέτρο ελαστικότητας (Kp/cm²)
S: τάση αν μονάδα επιφάνειας (Kp/cm²)
δ: μονάδα παραμόρφωσης (cm/cm)

Το μέτρο ελαστικότητας ισχύει μέχρι το όριο ελαστικότητας. Όσο μεγαλώνει το μέτρο ελαστικότητας τόσο πιο δύσκαμπτο είναι το υλικό μας.

Στην συνέχεια παρουσιάζετε ένα πινάκας με τα είδη των ξύλων και το αντίστοιχο μέτρο ελαστικότητας, την θλιπτική αντοχή και την εφελκυστική αντοχή από κάμψη.[Πιν.2]

Πίνακας 2: Τυπικές μηχανικές ιδιότητες ξύλου
«Ειδικά θέματα δομικών υλικών, Ν.Οικονόμου, Μ.Στεφανίδου, Σ.Μαυρίδου ΑΠΘ»

Είδος ξύλου	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Θλιπτική αντοχή (MPa)	Εφελκυστική αντοχή από κάμψη (MPa)
Έλατο	9.6	33	66
Πεύκο	10.0	47	83
Δρυς	10.1	52	97
Καστανιά	8.2	44	79
Οξυά	12.6	56	118

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΧΙΣΗ

Η αντοχή σε σχίση δημιουργείται από εξωτερικές δυνάμεις που δρουν με μορφή σφήνας. Λόγω της δομής το ξύλο έχει χαμηλή αξονική αντοχή δηλαδή σχίζεται εύκολα. Αυτή η ιδιότητα του ξύλου έχει και πλεονεκτήματα (δημιουργία καυσόξυλων) και μειονεκτήματα (καταστροφή από καρφιά και βίδες κατά την ένωση μεταξύ τους). Να επισημάνουμε εδώ ότι διαφορετικά είδη ξύλων έχουν και διαφορετική αντοχή σε σχίση. Για παράδειγμα τα κωνοφόρα δέντρα και τα ελαφρά πλατύφυλλα έχουν μικρότερη αντοχή σε σχέση με τα βαριά πλατύφυλλα.

Η σχέση που προσδιορίζει την αντοχή σε σχίση είναι:[Σχ.5]

$$C=P/W$$

Σχέση 5: «Αντοχή σε σχίση»

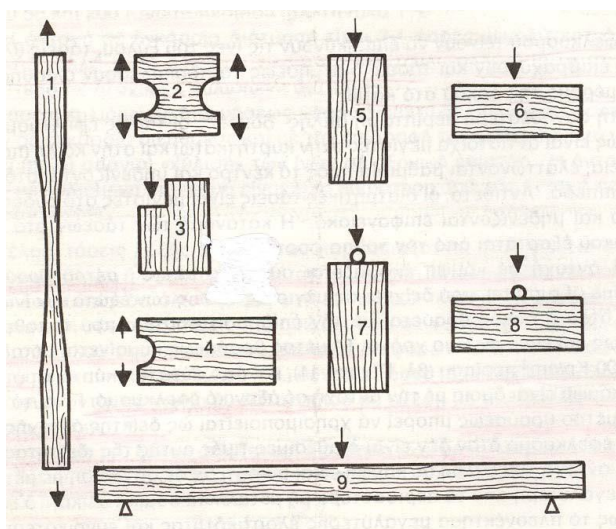
Όπου: C: τάση σε σχίση (Kp/cm)

P: φορτίο που προκαλεί θραύση του δοκιμίου (Kp)

W: πλάτος του δείγματος (cm)

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται δείγματα και τρόποι φορτίσεως για των προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου.[Εικ.11]

1. Αξονικός εφελκυσμός
2. Εγκάρσιος εφελκυσμός
3. Διάτμηση
4. Σχίση
5. Αξονική θλίψη
6. Εγκάρσια θλίψη
7. Αξονική σκληρότητα
8. Εγκάρσια σκληρότητα
9. Στατική κάμψη



Εικόνα 11: Τρόπος φορτίσεως για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων
«Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ»

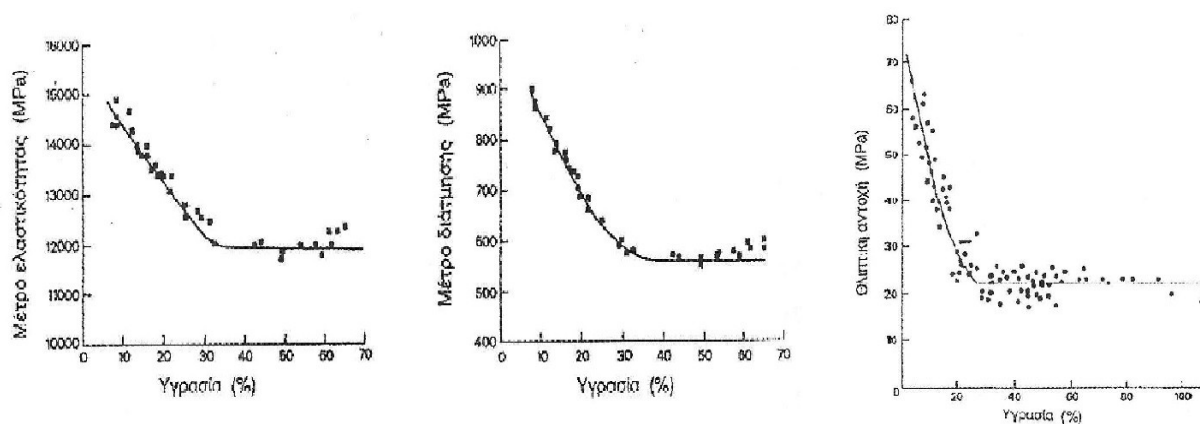
ΕΥΚΑΜΨΙΑ

Η συγκεκριμένη ιδιότητα μας παρουσιάζει με πόσο ευκολία το ξύλο παραμορφώνεται μονίμως χωρίς θραύσεις, παραλαμβάνοντας φόρτια μεγαλύτερα από το όριο ελαστικότητας.

ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την αντίσταση που παρουσιάζει το ξύλο στην είσοδο ξένων σωμάτων στη μάζα του. Η αντίσταση που παρουσιάζει είναι μεγαλύτερη σε αξονική διεύθυνση από ότι σε πλευρική. Η σκληρότητα παίζει κύριο λόγο στην κατεργασία για την δημιουργία επίπλων, πατωμάτων κ.α. Τα ξύλα χωρίζονται σε μαλακά (ιτιά, καστανιά και πεύκο) σε μέτρια σκληρότητα (πεύκο, έλατο, καρυδιά) και σκληρά (ελιά, δρυς, πλάτανος, οξιά).

Στο συγκεκριμένο σημείο θα ήθελα να σας παρουσιάσω 3 διαγράμματα που παρουσιάζουν την μεγάλη σημασία του ποσοστού υγρασίας. Όπως βλέπετε από τα διαγράμματα όσο μικρότερο είναι το ποσοστό υγρασίας τόσο μεγαλύτερο εκθετικά είναι το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο διάτμησης και η θλιπτική αντοχή αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στα κυτταρικά τοιχώματα τα οποία είναι πιο συμπαγή. [Εικ.12]



Εικόνα 12: Επίδραση υγρασίας του ξύλου στο μέτρο ελαστικότητας, μέτρο διάτμησης, θλιπτική αντοχή
«Εργαστήριο Πειραματικής Αντοχής των Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ»

1.6 ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

ΦΥΣΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ

ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ ΞΥΛΕΙΑ

Προέρχεται από κορμούς, σχετικά μικρής διατομής δέντρων, από τους οποίους έχουν αποκοπεί τα κλαδιά και τους έχουν βγάλει το φλοιό. Η συγκεκριμένη ξυλεία έχει πιο μεγάλη αντοχή από την πριστή ξυλεία του ίδιου δέντρου. Αυτό οφείλετε στο ότι οι ίνες του ξύλου κρατούν την ακεραιότητα τους. Παρόλα αυτά, όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια σύνδεση από στρογγυλή σε μια ορθογωνική διατομή παρουσιάζει μια δυσκολία, διότι η επιφάνεια σύνδεσης καταστρέφεται σε αυτό το σημείο. Στους κανονισμούς δεν γίνεται καμιά διάκριση για τις αντοχές τις στρογγυλής ξυλείας.[Εικ.13]



Εικόνα 13: Στρογγυλή Ξυλεία

«http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/xil_2_2t.htm»

ΠΕΛΕΚΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ

Σε αυτή την περίπτωση οι κορμοί παίρνουν ορθογωνικό σχήμα με την βοήθεια κάποιων εργαλείων όπως για παράδειγμα το τσεκούρι. Η συγκεκριμένη κατηγορία ξυλείας χρησιμοποιείται σε απλές αγροτικές κατασκευές, στοιχειώδη ζευκτά, κτλ.[Εικ.14]



Εικόνα 14: Πελεκητή Ξυλεία

«http://www.e-stergiou.com/πελεκητη_ξυλεια-p-223.html»

ΠΡΙΣΤΗ ΞΥΛΕΙΑ

Η πριστή είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία, αφού αποτελεί τον κύριο όγκο της δομικής ξυλείας. Ο τρόπος κατασκευής πραγματοποιείται με τον τεμάχισμα του κορμού με πριόνια. Η κοπή δημιουργείται κάθετα ή εφαπτομενικά προς τους δακτυλίους του κορμού. Στην κατάταξη ενός ξύλου παίζει σημαντικό ρόλο η κοπή, αφού ένα από τα κύρια κριτήρια που καθορίζουν την ποιότητα του ξύλου αφορά στη διάταξη των ινών.[Εικ.15]



Εικόνα 15: Πριστή Ξυλεία
«<https://xyloepiplo.gr>»

ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ

Η δημιουργία της κατηγορίας αυτής γίνεται με την συγκόλληση τεσσάρων και παραπάνω σανίδων με πάχος 20-50mm και μήκους από 1,5 μέχρι 5 m, περίπου. Κατά την παραγωγή κολλάνε της σανίδες μεταξύ τους για να δημιουργήσουν ευθύγραμμους ή καμπύλους φορείς. Η συγκολλητή ξυλεία παρουσιάζει εξαιρετικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το φυσικό ξύλο, αφού μας δίνουν την δυνατότητα να δημιουργήσουμε ξύλινους φορείς μεγάλου μήκους, με πολλές μορφές και καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά.[Εικ.16]



Εικόνα 16: Συγκολλητή Ξυλεία
«<https://www.halepis.gr/products.php?id=52&sub1=2&sub2=24&lang=1>»

ΑΝΤΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ (ΚΟΝΤΡΑ ΠΛΑΚΕ)

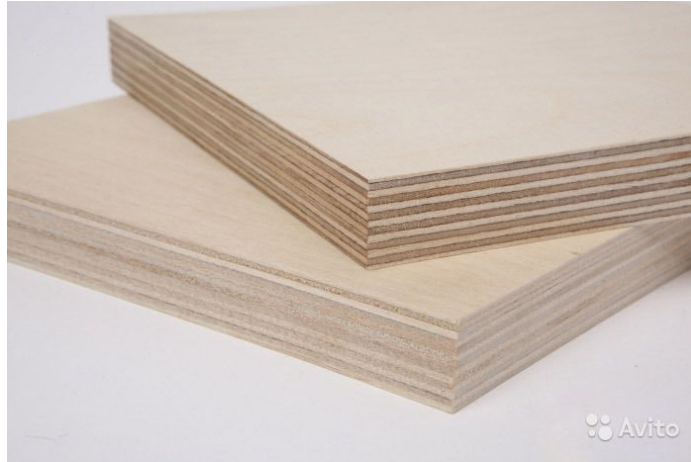
Τελειώνοντας το κόντρα πλακέ παράγεται από διαλεγμένους κορμούς μήκους περίπου 2,5m τους οποίους αποφλοιώνουν και επεξεργάζονται υπό ατμό. Ο κορμός κόβεται είτε σε φέτες είτε ξετυλίγεται και προκύπτουν λεπτά φύλλα ξύλου, πάχους 1 μέχρι 4mm. Τα φύλλα τοποθετούνται σε ειδικές αποθήκες στις οποίες παρακολουθούν την ξήρανση τους. Στην συνέχεια συγκολλούνται μεταξύ με την χρήση υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, πάντα σε μονό αριθμό με τα νερά του κάθε φύλλου κάθετα μεταξύ τους. Η κολλητική ουσία που χρησιμοποιούν εξαρτάται από την ανθεκτικότητα του κάθε φύλλου.

Το σύνθετο φύλλο που προκύπτει έχει πάχος 2,7-50mm με υψηλές αντοχές και μέτρα ελαστικότητας. Επίσης μετά από πειράματα προκύπτει η μεγάλη ανθεκτικότητα στην υγρασία, με αποτέλεσμα το ποσοστό ισορροπίας του είναι πιο χαμηλό από το αντίστοιχο της φυσικής

ξύλειας. Οι παραμορφώσεις είναι φανερά μειωμένες λόγω της σταυρωτής τοποθέτησης των φύλλων.[Εικ.17]

Η αντικολλητή ξυλεία παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η επιφάνεια δεν παραμορφώνετε.
- Δεν σκίζεται και στερεώνεται εύκολα με χρήση βιδών και ήλων.
- Δημιουργεί καμπύλες επιφάνειες.
- Έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην κρούση.
- Το χρησιμοποιούμε ως τελική επιφάνεια στις κατασκευές.



Εικόνα 17: Αντικόλλητη Ξυλεία

«<http://www.kounouvelis.gr/index.php/our-products/plywood/600-2015-10-21-18-58-27>»

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 ΠΑΤΩΜΑΤΑ

Πατώματα ονομάζονται οριζόντιες κατασκευές στο εσωτερικό των κτιρίων, οι οποίες φέρουν φόρτια.

Κύριος σκοπός των πατωμάτων είναι η αύξηση της χρήσιμης επιφάνειας των κτιρίων και η παροχή σταθερής επιφάνειας στους δημιουργούμενους ορόφους για να κυκλοφορούν οι ένοικοι και να στηρίζουν με ασφάλεια φορτία.

Τα φορτία που επενεργούν πάνω στα πατώματα διακρίνονται σε **μόνιμα** και **ωφέλιμα**.

Μόνιμα φορτία είναι τα αμετάβλητα κατά το μέγεθος και την θέση. Αυτά είναι:

- 1) Το ίδιο βάρος του πατώματος
- 2) Η επίστρωση
- 3) Τα επιχρίσματα οροφής του
- 4) Οι τοίχοι που εδράζονται επάνω στο πάτωμα
- 5) Οι στηριζόμενες σ' αυτό άλλες αμετακίνητες κατασκευές

Ωφέλιμα είναι τα φορτία του πατώματος, που μεταβάλλονται ως προς το μέγεθος και την θέση, δηλαδή:

- 1) Προσώπων
- 2) Επίπλων
- 3) Φορτία κινητών αντικειμένων

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ

ΞΥΛΙΝΑ ΠΑΤΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΠΛΕΣ ΞΥΛΙΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο σκελετός ενός ξύλινου πατώματος ή ενός παταριού αυτού του τύπου διαμορφώνεται από δοκάρια και στύλους ξυλείας πλατύφυλλων δέντρων με διαστάσεις ξύλινων δοκαριών και στύλων (διατομής), σύμφωνα με την στατική μελέτη που συντάσσει ο μελετητής μηχανικός. Πάνω στα δοκάρια του σκελετού καρφώνονται τα στοιχεία της επιφάνειας δηλαδή σανίδες από το ίδιο ξύλο κατασκευής του σκελετού ή βιομηχανοποιημένες πλάκες, όπως το κόντρα πλακέ.

Οι ιδιότητες του πατώματος αυτού είναι:

1. Έχουν μικρό πάχος κατασκευής.
2. Το ίδιο τους βάρος είναι περιορισμένο.
3. Δεν αντέχουν σε σημαντικές, κατακόρυφες καταπονήσεις (εκτός αν ενισχυθούν).
4. Δεν έχουν καμιά αντοχή σε οριζόντιες καταπονήσεις (εκτός αν ενισχυθούν με αντιρίδες/αντιανέμια).
5. Δεν προσφέρουν θερμο-ηχομόνωση.
6. Χρειάζονται ειδική προστασία από τη φωτιά.
7. Δύσκολα ενσωματώνονται σ' αυτό οι άλλες εγκαταστάσεις (υδραυλικές, ηλεκτρικές).
8. Χρειάζονται ειδική προστασία από παράσιτα, μικροοργανισμούς κ.ά.
9. Διατίθενται σε διαστάσεις που μπορούν να τυποποιηθούν.

Για τους λόγους αυτούς, αυτός ο τύπος του ξύλινου πατώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μικρά κτίρια, όπως κατοικίες και περίπτερα εκθέσεων, και σε κατασκευές παταριών ή αντίστοιχες βοηθητικές κατασκευές κτιρίων ή κήπου με περιορισμένη διάρκεια ζωής.

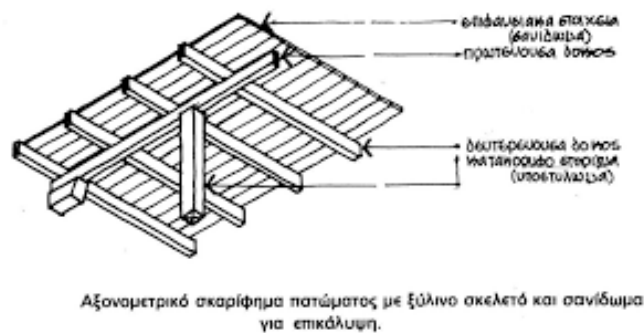
Για τη συντήρηση των ξύλινων πατωμάτων αυτού του τύπου, οι απλές δοκοί θα πρέπει να εμποτιστούν ή να γίνει επάλειψή τους με προστατευτικά υγρά εναντίον της σήψης ή της φωτιάς. Επίσης, μπορεί να υπάρξει προστασία για τα ξύλινα δοκάρια και τα ξύλινα επιφανειακά στοιχεία με βερνίκια (έγχρωμα ή άχρωμα) ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα.

ΞΥΛΙΝΑ ΠΑΤΩΜΑΤΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η κατασκευή αυτή γίνεται με σκελετό από δοκάρια τοξωτής, δικτυωτής ή σύνθετης διατομής, ή από σύνθετο ξύλο από συγκολλημένες ξυλοσανίδες (laminated wood) πάνω στον οποίο καρφώνονται επιφανειακά ξύλινα στοιχεία, τα οποία μπορεί να είναι από το ίδιο ξύλο του σκελετού, σε μορφή σανίδων ή από κόντρα πλακέ εξωτερικής χρήσης.[Εικ.18]

Οι ιδιότητες του πατώματος αυτού είναι:

1. Γεφυρώνουν μεγάλα ανοίγματα (πάνω από 7 m έως 150 m).
2. Έχουν μεγάλο ύψος κατασκευής και μικρό αναλογικά βάρος.
3. Ανθεκτικά σε κατακόρυφες καταπονήσεις.
4. Δεν υφίστανται παραμορφώσεις σε μεγάλα ανοίγματα
5. Τα επιφανειακά στοιχεία (π.χ. σανίδες, κόντρα πλακέ), χρειάζονται προστασία από τη φωτιά.
6. Χρειάζονται ειδική προστασία από την φωτιά (μόνο τα επιφανειακά τους στοιχεία και όχι οι δοκοί).
7. Ενσωματώνουν δύσκολα τις εγκαταστάσεις.
8. Χρειάζονται προστασία από ξένες επιδράσεις.
9. Απαιτούν τυποποιημένα διαστασιολόγηση και συσχέτιση με τα άλλα δομικά υλικά της κατασκευής.
10. Μειώνουν δραστικά το χρόνο κατασκευής ενός κτιρίου.



Εικόνα 18: Πάτωμα με ξύλινο σκελετό και σανίδωμα από πάνω
«(Π.Τουλιάτος, 1999) Σχ.5.4 & 5.5,σελ.39»

2.3 ΔΑΠΕΔΑ ΣΕ ΞΥΛΙΝΑ ΠΑΤΩΜΑΤΑ

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή του φέροντος οργανισμού μιας ξύλινης κατασκευής είναι οι εξής:

- Αισθητικοί παράγοντες

- Οι δυνατότητες μεταφοράς, συναρμολόγησης και ανέγερσης των υλικών και συστημάτων
- Η οικονομικότητα
- Κατάλληλες προϋποθέσεις μόνωσης και ασφάλειας
- Αποφυγή ολισθηρότητας

Η ξυλεία που ενδείκνυται για την κατασκευή των ξύλινων δαπέδων προέρχεται από πλατύφυλλα δέντρα:

- ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ΕΥΚΡΑΤΗΣ ΖΩΝΗΣ: δρυς(βελανιδιά), καρυδιά, καστανιά, οξιά, σφένδαμος, πλατανοειδής, οστριά, ευκάλυπτος, φτελιά κ.ά.
- ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ ΤΡΟΠΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Γενικά, η «σκληρή ξυλεία»- πλατύφυλλα δέντρα ενδείκνυται στην κατασκευή κτιρίων και δομικών κατασκευών. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και «μαλακή ξυλεία»- κωνοφόρα δέντρα για την κατασκευή παταριών, όπως το δασικό πεύκο και ο κέδρος. Καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση του έλατου και των άλλων ειδών πεύκου λόγω των ανεπαρκών, μηχανικών ιδιοτήτων τους. Οι γερμανικοί κανονισμοί ορίζουν πως η χρήση ξύλου από κωνοφόρα δέντρα στις δομικές κατασκευές πρέπει να γίνεται μόνο αν βρίσκεται κάτω από στέγη και με χημικό εμποτισμό.

Επίσης, όσον αφορά την ασφάλεια των πατωμάτων και των παταριών θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης δικτύων, ηλεκτρικών, υδραυλικών, θέρμανσης κ.ά. και να επιτρέπεται η διέλευση κατακόρυφων σωληνώσεων χωρίς να μειώνεται η αντοχή τους.

Κατασκευαστικά, οι οροφές, τα δάπεδα και οι εσωτερικοί τοίχοι πρέπει να συνδυάζονται, συσχετίζοντας τις διαστάσεις των υλικών που τα αποτελούν με τα άλλα στοιχεία της κατασκευής. Η συσχέτιση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για μεικτές (ξύλινες και μεταλλικές) κατασκευές. Για παράδειγμα αν ένα πάτωμα κατασκευαστεί από ξύλο, θα πρέπει να προβλέψει ο μελετητής και ο κατασκευαστής αρμούς διαστολής, γιατί λόγω υγρασίας το χειμώνα αυξάνονται οι διαστάσεις του, ενώ το καλοκαίρι μειώνονται. Ακριβώς αντίθετα από το ξύλο συμπεριφέρεται το μέταλλο.

2.4 ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

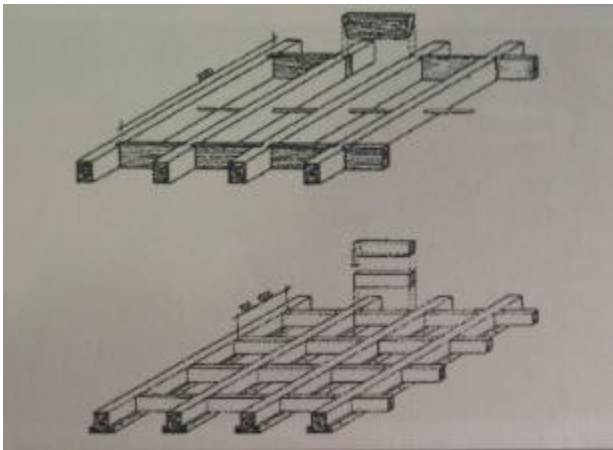
ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ

Με τον όρο «διαφράγματα πατωμάτων» ο ΕΚ5 αναφέρεται σε απλά εδραζόμενα διαφράγματα, που συντίθενται από ξυλόπλακες διαφόρων τύπων, οι οποίες στερεώνονται με μηχανικούς συνδέσμους σε ξύλινο σκελετό. Ουσιαστικά τα πατώματα αποτελούν προσομοίωση των ξύλινων πατωμάτων ως ορθότροπες πλάκες. Οι πλάκες αυτές σχηματίζουν σχάρες από δοκούς συνεπίπεδες ή σε περισσότερα επίπεδα, οι οποίες είναι διέρειστες, τριέρειστες ή τετραέρειστες. Οι συνεπίπεδες δοκοί πρέπει να συνδέονται σε κάθε κόμβο με περισσότερα μέσα σύνδεσης σε κατάλληλη διάταξη και με διατομή ικανή να παραλάβει τις ροπές.[Εικ.19]

Για τη μελέτη των διαφραγμάτων αυτών με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χρησιμοποιείται η απλοποιημένη μέθοδος ανάλυσης, η οποία απαιτεί ορισμένες προϋποθέσεις. Στην απλοποιημένη ανάλυση, η οποία δίνεται από τον ΕΚ5, γίνεται η παραδοχή ότι τα φύλλα

επενδύσεως, τα οποία δεν στερεώνονται σε ορθοστάτες αλληλοσυνδέονται, π.χ. μέσω καδρονιών συνδέσεως.

Αν δεν γίνεται λεπτομερέστερη ανάλυση, οι ακραίες δοκοί κατά μήκος των πλευρών, θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να μπορούν να αναλάβουν τη μέγιστη ροπή κάμψεως του διαφράγματος.

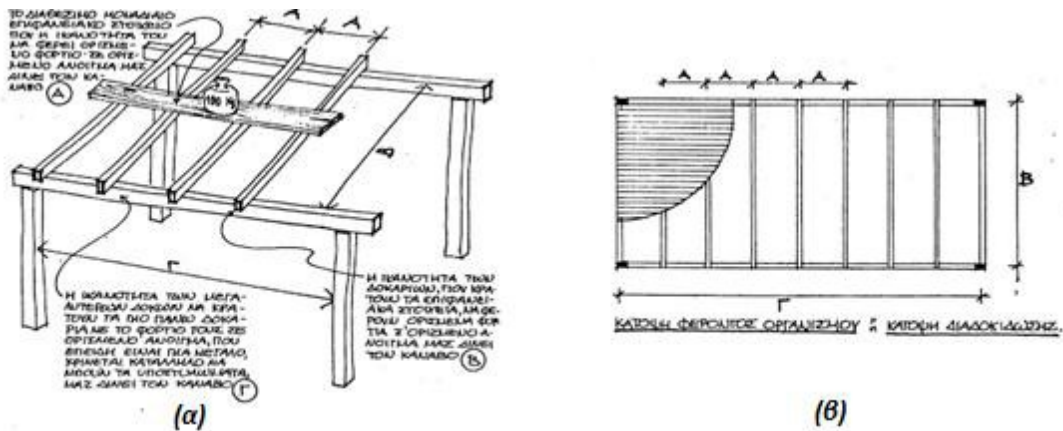


Εικόνα 19:Κατασκευαστικές διατάξεις που συνεισφέρουν στη διαφραγματική λειτουργία
«(Β.Κ.Ζύγουρα-Ε.Μ.Πατέρας)Ταλαντώσεις σε ξύλινα πατώματα»

KANNABOI EYΛINOY SKELETOY

Στόχος της ξύλινης κατασκευής, με το δομικό σύστημα «δοκού επί στύλου», όπως άλλωστε και κάθε δομικού συστήματος, άλλων κατασκευών, είναι καταρχήν να μεταφέρει με ασφάλεια τα φορτία, από τη στέγαση και τα πιο κάτω πατώματα, στο έδαφος.

Βασική αρχή στατικής λειτουργίας της ξύλινης κατασκευής με αυτό το σύστημα είναι η δημιουργία τριών διαδοχικών καννάβων από ξύλινες δοκούς και υποστυλώματα από πάνω προς τα κάτω. Ο πρώτος κάνναβος από ξύλινες δοκούς (φέρει από πάνω του το επιφανειακό στοιχείο – πέτσωμα) και πατάει επάνω στον δεύτερο κάνναβο από ξύλινες δοκούς. Αυτός ο δεύτερος κάνναβος δοκών πατάει στον τρίτο κάνναβο από ξύλινα υποστυλώματα, τα οποία μεταβιβάζουν τα φορτία στο έδαφος.[Εικ.20]



Εικόνα 20:Ο σχεδιασμός των καννάβων του σκελετού μιας ξύλινης κατασκευής
«(Β.Κ.Ζύγουρα-Ε.Μ.Πατέρας)Ταλαντώσεις σε ξύλινα πατώματα»

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΚΑΜΨΙΑΣ

Στην ξύλινη κατασκευή απαραίτητη είναι η εξασφάλιση της ακαμψίας στις οριζόντιες παραμορφώσεις. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί η ξύλινη κατασκευή δημιουργείται από σύνθεση ξύλινων στοιχείων γραμμικών (υποστυλώματα, δοκοί, τεγίδες κ.λπ.) και επιφανειακών (σανίδες, μαδέρια, τεγίδες,) που συνδεόμενα μεταξύ τους δημιουργούν αρθρώσεις με πολύ περιορισμένη, αν όχι ανύπαρκτη αντοχή στις παραμορφώσεις.

Στις ξύλινες κατασκευές η παραμόρφωση μπορεί να συμβεί σε τρία επίπεδα, εξαιτίας των οριζόντιων φορτίσεων του ανέμου και του σεισμού. Τα δύο είναι κατακόρυφα επίπεδα παράλληλα προς τους δύο άξονες του κτίσματος, τον κατά μήκος και τον εγκάρσιο, ενώ το τρίτο είναι οριζόντιο και ταυτίζεται με το επίπεδο των πατωμάτων ή της στέγας.

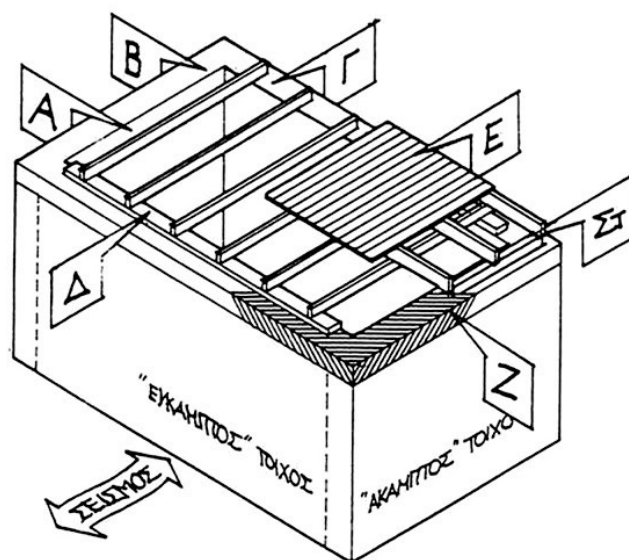
Σ'ένα πολυώροφο ξύλινο ή μεταλλικό κτίριο η ακαμψία των κατακόρυφων επιπέδων πρέπει να εξασφαλίζεται σε όλο τους το ύψος, των δε οριζόντιων σε όλες τους τις επάλληλες θέσεις.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΚΑΜΨΙΑΣ

Οι βασικοί τρόποι για να εξασφαλισθεί η ακαμψία σε μια ξύλινη κατασκευή είναι οι εξής:

1. Να δημιουργηθούν συνδέσεις μεταξύ των ξύλινων στοιχείων (π.χ. δοκοί με υποστύλωμα) ή μεταξύ των ξύλινων στοιχείων και άλλων δομικών στοιχείων του κτιρίου (π.χ. υποστύλωμα με θεμέλιο) που να είναι ικανές να αντισταθούν στις παραμορφώσεις και να παραλάβουν τις πλάγιες ωθήσεις.
2. Να σχηματισθούν τρίγωνα με τα ξύλινα στοιχεία του κτιρίου ή με τη βοήθεια πρόσθετων στοιχείων
3. Να δημιουργηθούν διαφράγματα (πατώματα, τοίχοι, στέγες) που μπορούν να φέρουν φορτία στα επίπεδα που πρέπει να γίνουν απαραμόρφωτα.
4. Να χρησιμοποιηθούν στην ξύλινη κατασκευή άλλα στοιχεία του κτίσματος που έχουν την απαιτούμενη ακαμψία.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Εικόνα 21: Διατάξεις που συνεισφέρουν στη διαφραγματική λειτουργία
Δ.Ν Ρίζου Αρχιτεκτων Ε.Μ.Π. «Το ξύλο», 2012

ΛΑΘΟΣ:

A. Όταν τα ξύλινα υλικά του δαπέδου ή στέγης δεν συνδέονται μεταξύ τους σε ένα διαφραγματικό σύνολο δρουν επιζήμια για τους τοίχους.

B. Ελλείπει σύνδεση με τον «άκαμπτο» τοίχο.

Γ. Κακή σύνδεση με τον «εύκαμπτο» τοίχο.

ΣΩΣΤΟ:

Α. Το πάτωμα ή στέγης συνδέονται σωστά με τους δύο απέναντι τοίχους έτσι ώστε να συνεργαστούν κατά την χρονική στιγμή της τάση ανατροπής τους.

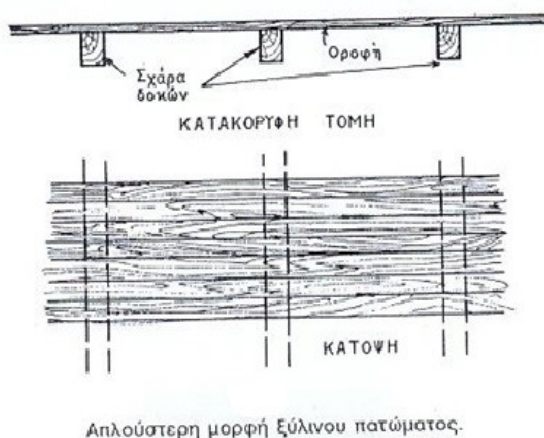
Ε. Με διάφορες κατασκευές (πέτσωμα, λοξές ενισχύσεις κ.λπ.) εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία του συνόλου του πατώματος ή της στέγης.

ΣΤ. Τα στοιχεία του πατώματος ή στέγης συνδέονται σωστά και με τους «άκαμπτους» τοίχους. Με αποτέλεσμα να συνεργάζονται οι τοίχοι με την παρεμβολή του διαφράγματος του πατώματος ή της στέγης παραλαμβάνουν φορτία αδράνεια των «εύκαμπτων» τοίχων.

Ζ. Τα διαζώματα και η περίδεση μειώνουν τις δυσμενείς επιδράσεις των στοιχείων του τυχόν μη διαφραγματικού πατώματος (ή στέγης) και ενισχύουν τη συνεργασία «άκαμπτων» με «εύκαμπτους» τοίχους.

2.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΞΥΛΙΝΟΥ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ

Η τυπική διάταξη των στοιχείων ενός πατώματος είναι η εξής: Τα δοκάρια ή πατόξυλα τοποθετούνται στην διεύθυνση του μικρού ανοίγματος του προς κάλυψη χώρου, το οποίο δεν είναι μεγαλύτερο από 6 μέτρα. Τα πατόξυλα τοποθετούνται ανά απόσταση της τάξης των 60 εκατοστών και εδράζονται απευθείας στην τοιχοποιία. Στο μέσο περίπου του ανοίγματος τα πατόξυλα εδράζονται στο κεντρικό δοκάρι το οποίο έχει την διεύθυνση του μεγάλου ανοίγματος. Το κεντρικό δοκάρι ανάλογα με το μήκος του υποστηρίζεται σε υποστυλώματα. Την τελική επιφάνεια διαμορφώνουν οι ξύλινες σανίδες που καρφώνονται κάθετα στα πατόξυλα.[Εικ.22] Σημειώνεται ότι με την εξέλιξη στην παραγωγή του ξύλου υπάρχει δυνατότητα επιλογής δοκαριών με μεγαλύτερη αντοχή για κάλυψη μεγαλύτερων ανοιγμάτων γεγονός που οδηγεί στην παράλειψη του κεντρικού δοκαριού.



Εικόνα 22: Μορφή ξύλινου πατώματος

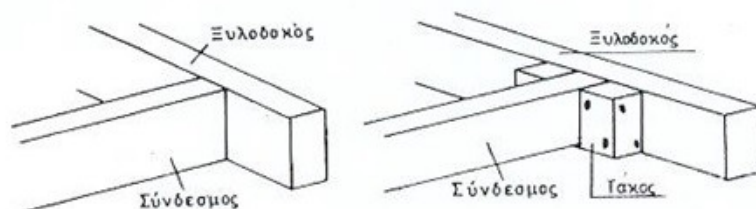
Ε.Σ.Κατσαργάκης «Ξύλινες Κατασκευές» Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2000

Οι διατομές των πατόξυλων είναι γύρω στα 10 επί 15 εκατοστά ενώ το μήκος δεν υπερβαίνει τα 5 με 6 μέτρα. Το κεντρικό δοκάρι έχει διατομή 20 με 25 εκατοστά και μήκος το ίδιο με τα πατόξυλα.

Οι ξύλινες σανίδες έχουν πάχος 2 με 3 εκατοστά και πλάτος 20 εκατοστά. Τα μήκη είναι πολλά αλλά δεν υπερβαίνουν τα 2 με 2,5 μέτρα.

2.6 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ

Η συγκράτηση του ξύλινου πατώματος από τα φέροντα κατακόρυφα στοιχεία (τοίχους) πρέπει να είναι σταθερή και το πάτωμα πρέπει να αποτελεί σύνδεσμο των κατακόρυφων στοιχείων κυρίως των απέναντι ώστε να ενισχυθεί η φέρουσα κατασκευή του κτιρίου. Για να επιτευχθεί αυτό οι ξυλοδοκοί συνδέονται με ήλωση σε εναλλασσόμενες θέσεις από 1,5 έως 2μ. σε όμοια διατομής εγκάρσια ξύλινα κομμάτια είτε απευθείας είτε με χρήση αποκομμάτων ξύλων (τάκων). [Εικ.23]



Σύνδεση μεταξύ των ξυλοδοκών πατώματος.

Εικόνα 23: Σύνδεση ξυλοδοκών πατώματος

Ε.Σ.Κατσαραγάκης «Ξύλινες Κατασκευές» Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2000



Περιπτώσεις εδράσεως ξυλοδοκών πατώματος.



Εικόνα 24: Έδραση ξύλινων πατωμάτων

Ε.Σ.Κατσαραγάκης «Ξύλινες Κατασκευές» Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2000

Η στήριξη των ξύλινων πατωμάτων στα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία είναι συνήθως τοίχοι από λιθοδομή ή πλινθοδομή, οι οποίοι είτε διακόπτονται στο ύψος του πατώματος είτε προχωρούν με διαφορετικό πάχος είτε υψώνονται με το ίδιο πάχος.[Εικ.24]

Οι δυο πρώτες περιπτώσεις εδράσεως έχουν πλεονέκτημα διότι:

- Τα άκρα των δοκών δεν είναι εγκιβωτισμένα μέσα στον τοίχο αλλά ελεύθερα και έχουν καλύτερες συνθήκες αερισμού.
- Δεν εξασθενεί ο τοίχος από τις τρύπες

Η καλύτερη έδραση επιτυγχάνεται όταν διακόπτονται οι τοίχοι στο ύψος του πατώματος ή όταν προχωρούν με διαφορετικό πάχος και τοποθετηθεί ξύλινος στρωτήρας για να κατανέμονται τα φορτία του πατώματος σε όλο το μήκος του τοίχου.

2.7 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΤΩΝ ΞΥΛΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Ως γνωστόν, οι περισσότερες αστοχίες των κατασκευών προέρχονται από ανθρώπινα σφάλματα στη μελέτη ή στην κατασκευή, ενώ ένα μικρό ποσοστό οφείλεται σε έκτακτες, ελάχιστα πιθανές αιτίες, όπως είναι οι θεομηνίες, η υποσκέλιση των χαρακτηριστικών τιμών των αντοχών ή η υπέρβαση των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων, ατυχήματα, κ.λ.π. Η εξέταση των ξύλινων κατασκευών μετά από σεισμό αποδεικνύει ότι οι περισσότερες από τις σημειούμενες βλάβες οφείλονται σε σφάλματα στην προσομοίωση του φορέα, στον σχεδιασμό ή την κακή διαμόρφωση των λεπτομερειών. Η σπουδαιότητα των σεισμικών βλαβών καθιστά επιτακτική την ανάγκη συστηματικής μελέτης αυτών έτσι, ώστε να περιοριστούν (Κατσαραγάκης, 2000). Για την εκτίμηση των βλαβών θα πρέπει να εξετάσουμε την πιθανότητα περαιτέρω ανάπτυξης τους, καθώς και το πόσο επηρεάζει την ανθεκτικότητα της κατασκευής. Έτσι, πρέπει να προσέχουμε περισσότερο στη ρηγμάτωση του ξύλου, ιδιαίτερα στις περιοχές των συνδέσεων, καθώς οι ρωγμές, εκτός από την ενδεχόμενη μείωση της αντοχής, βλάπτουν τόσο το ξύλο όσο και τα συνδετικά στοιχεία ανοίγοντας διόδους στις περιβαλλοντικές προσβολές. Οι παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στη δημιουργία ρωγμών είναι οι ακόλουθοι:

- Ανεπιτυχής διαμόρφωση συνδέσεων και ανεπαρκείς αποστάσεις των συνδετικών μέσων.
- Μη επιμελημένη κατασκευή.
- Συνεργασία δομικών στοιχείων με ασύμβατα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η περίπτωση αυτή μπορεί να συναντηθεί σε δευτερεύουσες κατασκευές που ανεγείρονται με πλημμελή επίβλεψη ή στην περίπτωση διακοπτόμενης ανέγερσης όπου καλούνται να συνεργαστούν παλιά με νέα μέλη.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ –(ΕΚ5)

Οι στόχοι του σχεδιασμού περιγράφονται από τις ακόλουθες βασικές αρχές, οι οποίες ισχύουν για κάθε δόμημα, ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής του. Μια κατασκευή υπολογίζεται και κατασκευάζεται με τρόπο ώστε να εκπληρώνει τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε.

Συγκεκριμένα:

- Να αντέχει τις δράσεις και τις άλλες επιρροές του περιβάλλοντος, οι οποίες αναμένεται να εμφανιστούν κατά την ανέγερση και στη διάρκεια ζωής της κατασκευής.
- Οι ενδεχόμενες βλάβες δεν πρέπει να είναι ασύμμετρες προς τις αιτίες που τις προκαλούν.
- Να εξυπηρετεί τις λειτουργίες για τις οποίες προορίζεται.
- Να διαθέτει την απαραίτητη ανθεκτικότητα σε συνδυασμό με ένα εύλογο, προδιαγραφόμενο κόστος συντηρήσεως.

Οι παραπάνω βασικές αρχές εξασφαλίζονται με την σωστή σύλληψη και υπολογισμό, την επιλογή κατάλληλων υλικών και μεθόδων κατασκευής, την εφαρμογή του κατάλληλου ποιοτικού ελέγχου από την αρχή μέχρι τέλος της κατασκευής, της πρόβλεψης και της εφαρμογής, της απαιτούμενης συντηρήσεως που απαιτούνται για την συγκεκριμένη κατασκευή.

Ο σχεδιασμός και ο υπολογισμός μιας ξύλινης κατασκευής βασίζεται στις αρχές του Ευρωκώδικα 5 ο οποίος περιγράφει τις οριακές καταστάσεις του ελέγχου, τις δράσεις και τον συνδυασμό τους, καθώς και τις αντοχές σχεδιασμού του ξύλου.

3.2 ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ-(ΚΑΤΑ ΕΚ5)

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥ ΕΚ5

- Οι κατασκευές σχεδιάζονται από μηχανικούς οι οποίοι έχουν όλες τις γνώσεις και την απαιτούμενη εμπειρία για να τις υλοποιήσουν.
- Η επαρκής επίβλεψη και ο έλεγχος ποιότητας ασκούνται στο εργοστάσιο, το εργοτάξιο και στο έργο.
- Το εργοτεχνικό προσωπικό πρέπει να διαθέτει τις σωστές γνώσεις και εμπειρίες.
- Τα υλικά της κατασκευής χρησιμοποιούνται όπως προδιαγράφουν οι αντίστοιχοι Ευρωκώδικες. Καθώς κάθε κανονισμός στηρίζεται σε ένα πλέγμα δικών του παραδοχών και αντίστοιχων συντελεστών ασφαλείας, η ανάμειξη διαφορετικών κανονισμών μπορεί να οδηγήσει σε ανασφαλή συμπεράσματα.
- Η κατασκευή συντηρείται επαρκώς.
- Η κατασκευή πρέπει να χρησιμοποιείται σύμφωνα με σχετικές παραδοχές του σχεδιασμού και να μην υπερφορτίζεται.

ΕΙΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΕΚ5

- Τα ξύλα και τα δομικά στοιχεία της κατασκευής δεν πρέπει να εκτίθενται πριν την τοποθέτηση σε κλιματικές συνθήκες (υγρασία και θερμοκρασία) δυσμενέστερες από εκείνες που προβλέπεται να εμφανιστούν στην τελειωμένη κατασκευή.
- Πριν από την εφαρμογή το ξύλο πρέπει να έχει ξηρανθεί ώστε να αποκτήσει το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στις κλιματικές συνθήκες της τελειωμένης κατασκευής.
- Στον Ευρωκώδικα 5 (ΕΚ5) καθορίζεται ότι το ξύλο και τα προϊόντα ξύλου πρέπει είτε να παρουσιάζουν επαρκή φυσική ανθεκτικότητα σε διάρκεια, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 350-2, για την συγκεκριμένη κλάση επικινδυνότητας (όπως ορίζεται στα Πρότυπα EN 335-1 και 2 και στο Σχέδιο EN 335-3), ή να υφίστανται μια κατάλληλη διαδικασία προστασίας. Η οποία επιλέγεται σύμφωνα με τα Σχέδια Προτύπων EN 351-1 και EN 460.

3.3 ΒΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ (ΚΑΤΑ ΕΚ5)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Ανίσωση ελέγχου:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Σχέση 6: «Έλεγχος σε διάτμηση»

Όπου τ_d : η διατμητική τάση σχεδιασμού
 $f_{v,d}$: η διατμητική αντοχή σχεδιασμού

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$(\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + k_m (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) \leq 1$$

$$k_m (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) \leq 1$$

Σχέση 7: «Έλεγχος σε κάμψη»

Όπου: $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$: οι καμπτικές τάσεις σχεδιασμού κατά τους κύριους άξονες της διατομής
 $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$: οι αντίστοιχες καμπτικές αντοχές σχεδιασμού.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Ο συντελεστής k_m εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η ανακατανομή των τάσεων και οι συνέπειες της ανομοιογένειας του υλικού της διατομής

Η τιμή του συντελεστή k_m θα πρέπει να λαμβάνεται ως εξής:

- Για φυσική ή συγκολλητή ξυλεία και LVL: $k_m = 0,7$
- Για ορθογωνικές διατομές: $k_m = 0,7$
- Για διατομές εκτός των ορθογωνικών: $k_m = 1, 0$.
- Για άλλα δομικά προϊόντα ξύλου και για κάθε μορφής διατομή: $k_m = 1, 0$.

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΞΥΛΙΝΩΝ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ

Τα βέλη υπολογίζονται με τις συνήθεις μεθόδους της στατικής. Στο βέλος κάμψεως u_m πρέπει να προστεθεί το βέλος u_v , λόγω διατμήσεως.

Σημαντικές ενδέχεται να είναι και οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από τις ογκομετρικές μεταβολές, λόγω υγρασίας. Οι παραμορφώσεις αυτές αντιμετωπίζονται με τον έλεγχο του ποσοστού υγρασίας του ξύλου πριν την τοποθέτησή του, καθώς και με κατάλληλη μόρφωση του φορέα και των κατασκευαστικών λεπτομερειών.

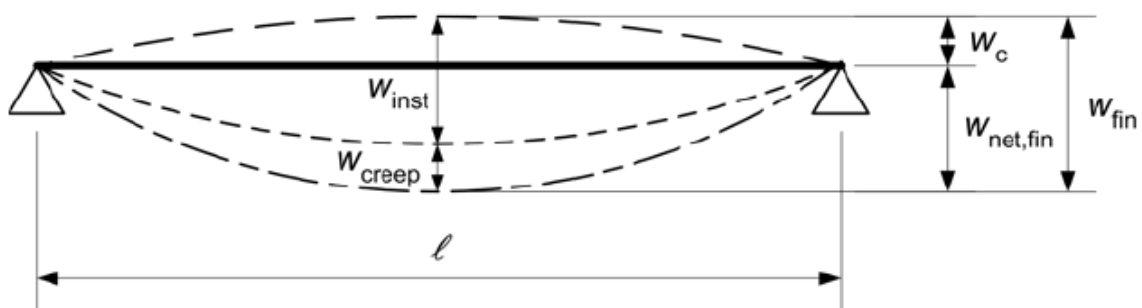
Η στιγμιαία παραμόρφωση, u_{ins} , υπολογίζεται με εφαρμογή της μέσης τιμής του αντίστοιχου μέτρου δυσπαραμορφωσιμότητας (E_{mean} , G).

Η τελική παραμόρφωση, u_{fin} ενός δομικού μορφώματος είναι αυξημένη λόγω της επιρροής του ερπυσμού, όπως αυτός διαμορφώνεται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και την διάρκεια της φορτίσεως και υπολογίζεται με την εισαγωγή του συντελεστή k_{def} . [Σχ.8]

$$U_{fin} = U_{ins} (1 + k_{def})$$

Σχέση 8: «Παραμόρφωση ξύλινων πατωμάτων»

ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ



Εικόνα 25: Συνιστώσες του βέλους
Ευρωκώδικας 5, 2004

Το καθαρό βέλος, $w_{net,fin}$, μετρούμενο από την ευθεία που ορίζουν οι στηρίξεις, λαμβάνεται από την σχέση:

$$W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c = W_{fin} - W_c$$

Σχέση 9: «Οριακή παραμόρφωση»

Όπου:

- w_c : το αντιβέλος (αν εφαρμόζεται)
- w_{inst} : το στιγμιαίο βέλος
- w_{creep} : το ερπυστικό βέλος
- w_{fin} : το τελικό βέλος
- $w_{net,fin}$: το καθαρό τελικό βέλος

Οριακές τιμές βελών κάμψης

Ισχύουν οι παρακάτω τιμές :

Πίνακας 3: Οριακές τιμές βελών κάμψης
«Εθνικό προσάρτημα του EN 1995-1-1 σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών»

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Αμφιέρειστη	$l/300$	$l/250$	$l/200$
Πρόβολος	$l/150$	$l/125$	$l/75$

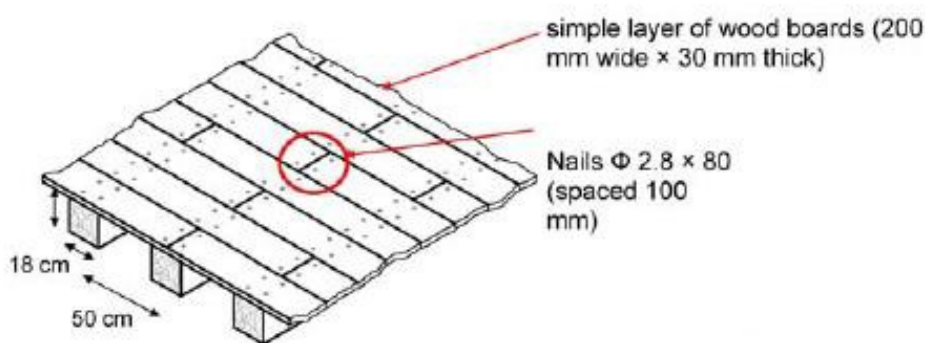
Όπου:

l : το μήκος της δοκού

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

- «Ο ρόλος της εντός επιπέδου δυσκαμψίας στη σεισμική συμπεριφορά των παραδοσιακών κτιρίων του M. Piazza, C.Baldessari&R.Tomasi, 2009»

Το πρώτο παράδειγμα που παρατίθεται σε αυτή την διπλωματική αφορά την μελέτη του ρόλου της εντός επιπέδου δυσκαμψίας σε σεισμική συμπεριφορά παραδοσιακών κατασκευών στην Ιταλία. Συγκεκριμένα, θεωρείται ένα απλά υποστηριζόμενο δάπεδο ξυλείας, όπου τα δοκάρια έχουν διατομή 18 x 18 cm, σε απόσταση 50cm, δηλαδή ένα σύνηθες σύστημα για την κατασκευή του πατώματος στα ιταλικά ιστορικά κτίρια. Το κατάστρωμα αποτελείται από ένα απλό στρώμα από σανίδες ξύλου (3 cm), τοποθετημένες σταυρωτά και καρφωμένες στις ξύλινες δοκούς (4 καρφιά ανά τομή μεταξύ σανίδας και δοκού).[Εικ.26]



Εικόνα 26: Απλό πάτωμα

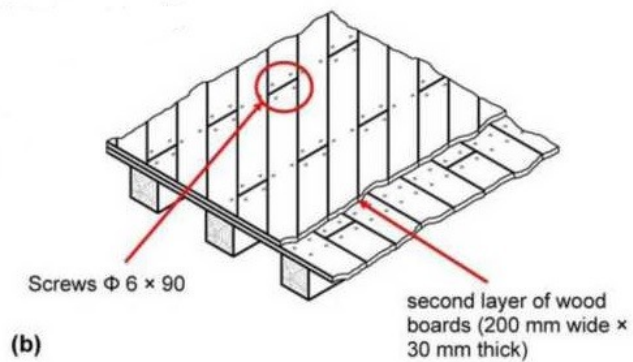
Αρχικά μελετήθηκαν πέντε διαφορετικές τεχνικές ενίσχυσης, προκειμένου να αυξηθεί το επίπεδο της δυσκαμψίας και ως εκ τούτου η αντοχή του κτιρίου.

Σαν πρώτη τεχνική ενίσχυσης θεωρείται ένα δεύτερο πέτσωμα (πλάτος 100 cm , πάχους 3 cm), σταυρωτά τοποθετημένο με το υφιστάμενο και σταθεροποιημένο στις δοκούς με 6 mm βίδες χάλυβα (2-4 βίδες ανά τομή μεταξύ σανίδας και δοκού, βλέπε σχήμα).[Εικ.27]

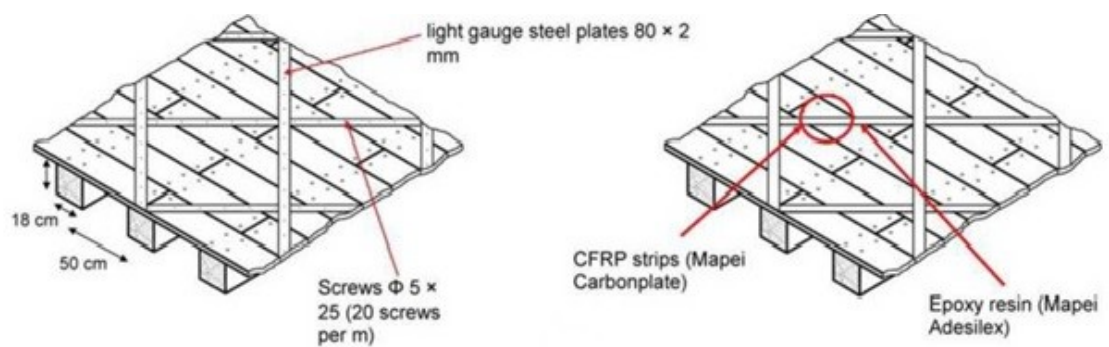
Η δεύτερη τεχνική ενίσχυσης είναι η εφαρμογή διαγώνιας ενίσχυσης (45°) στις υπάρχουσες σανίδες από ξύλο χρησιμοποιώντας λεπτές πλάκες χάλυβα (πλάτους 80 mm και πάχους 2 mm), βιδωμένες με τις σανίδες (20 βίδες ανά m, διαμέτρου 5 mm X 25 mm, βλέπε σχήμα), ή φαρδιές λωρίδες από CFRP (πλάτους 50 mm, πάχος 1,4 χιλιοστά), κολλημένο στο ξύλο με τη βοήθεια μίας ρητίνης στη βάση. Το πλέγμα διαγώνιων ενισχύσεων, που εφαρμόζεται στο πάτωμα είναι 705 χιλιοστά για τις δύο τεχνικές που αναλύθηκαν.[Εικ.28]

Μια άλλη τεχνική ενίσχυσης που αναλύθηκε αφορά την χρήση τριών στρωμάτων κόντρα πλακέ (πάχους 21 χιλιοστών), διατεταγμένο στο υπάρχον στρώμα του ξύλου, το οποίο συνδέεται με ξύλινες δοκούς μέσω κόλλας και χαλύβδινων ράβδων 10 mm .[Εικ.29]

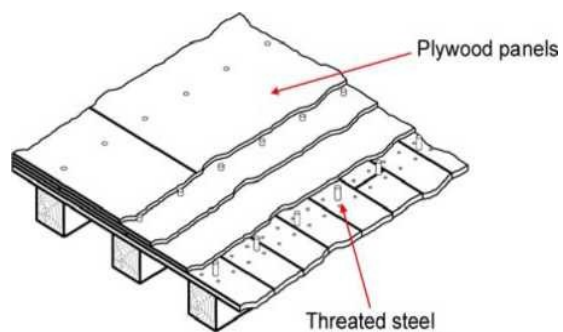
Τέλος θεωρείτε η περίπτωση όπου μια απλή πλάκα από σκυρόδεμα (πάχους 50 mm) τοποθετείται πάνω στις ξύλινες σανίδες, ενώ ο οπλισμός της πλάκας αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα (διαμέτρου 6 χιλιοστών, δίχτυ 200 mm x 200 mm). Οι συνδέσεις μεταξύ των δοκών ξυλείας και πλάκας σκυροδέματος γίνονται με τη βοήθεια ράβδων L σχήματος διατομής.[Εικ.30]



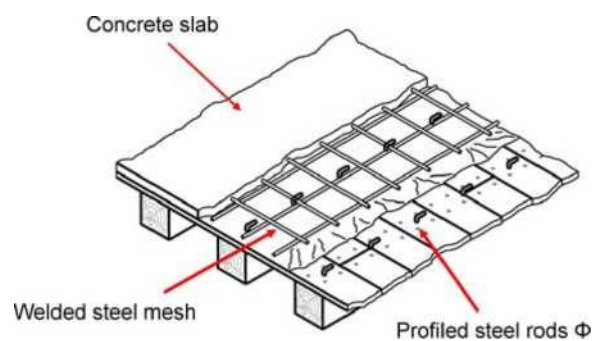
Εικόνα 27: Ενισχυμένο με δεύτερο πετσώμα



Εικόνα 28: Ενισχυμένο με χαλύβδινα ελάσματα & ενισχυμένο με FRP

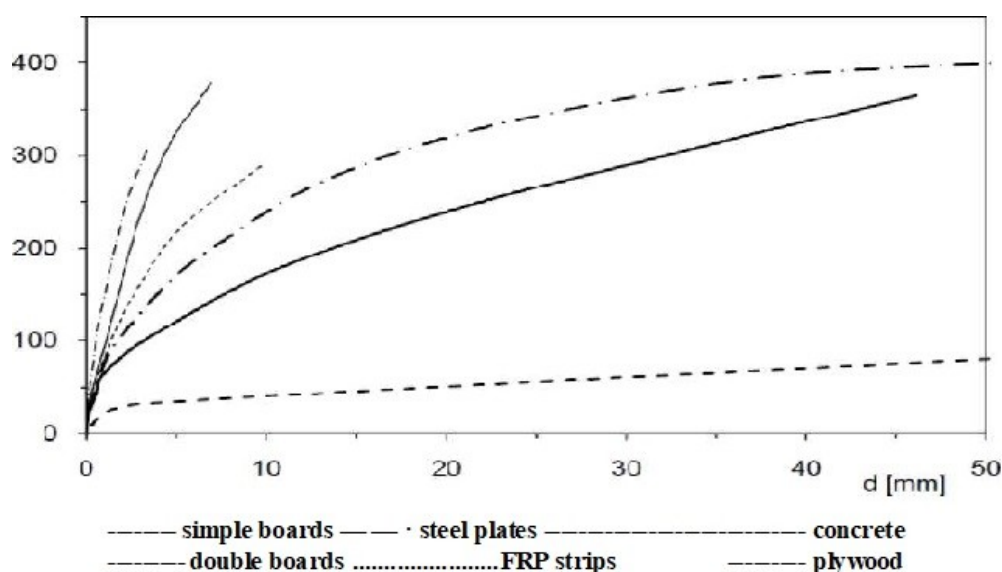


Εικόνα 29: Ενισχυμένο με κόντρα πλακέ



Εικόνα 30: Ενισχυμένο με πλάκα σκυροδέματος

Από την μελέτη διαπιστώνεται η υψηλή εντός επιπέδου παραμόρφωση του δαπέδου με τις απλές σανίδες γεγονός που οδηγεί στην απαίτηση ενίσχυσης της εντός επιπέδου ακαμψίας προκειμένου να είναι σε θέση να μεταφέρει αποτελεσματικά τις σεισμικές δράσεις στους περιμετρικούς τοίχους χωρίς να επιτρέψει την κάμψη εκτός επιπέδου. Θέτοντας ένα δεύτερο στρώμα από ξύλινες σανίδες σε γωνία 45° η εντός επιπέδου δυσκαμψία αποδεικνύεται ότι είναι οκτώ φορές μεγαλύτερη από ό, τι αυτή του αρχικού πατώματος. Οι άλλοι τύποι ενισχύσεων οδηγούν σε περαιτέρω αύξηση της δυσκαμψίας ξεκινώντας από αυτή της ενίσχυσης με χαλύβδινα ελάσματα, συνεχίζοντας σε αυτή με FRP, στην πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και τελικά σε πάνελ από κόντρα πλακέ. Η τελευταία λύση οδηγεί σε αύξηση της δυσκαμψίας περίπου εβδομήντα φορές σε σχέση με του αρχικού φορέα.[Εικ.31]



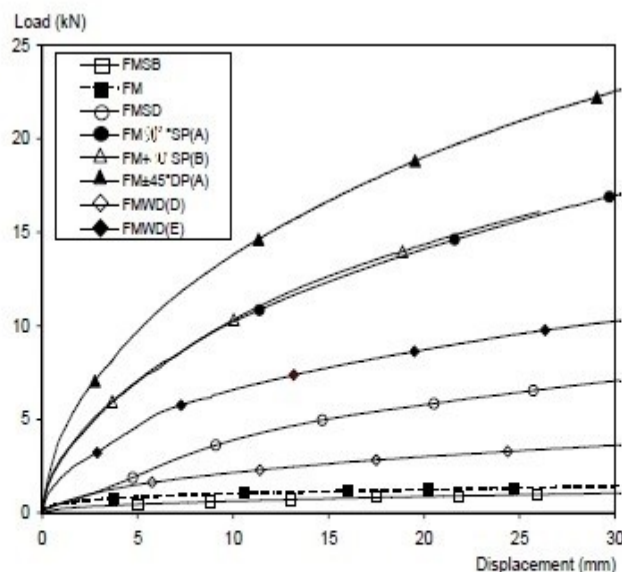
Εικόνα 31: Συγκριτικό διάγραμμα δύναμης μετατόπισης

➤ **«In-plane strengthening of timber floors for the seismic improvement of masonry buildings. Maria Rosa Valluzzi, Enrico Garbin, Massimo Dalla Benetta, Claudio Modena»**

Το δεύτερο παράδειγμα αφορά μια συγκεκριμένη μελέτη που έγινε στο Πανεπιστήμιο της Πάντοβας στην Ιταλία προκειμένου να αξιολογηθεί η συμπεριφορά των ξύλινων πατωμάτων με και χωρίς ενίσχυση.

Τα ξύλινα πατώματα λόγω του χαμηλού επιπέδου δυσκαμψίας και της έλλειψης αποτελεσματικών συνδέσεων στην τοιχοποιία έχουν υποβληθεί σε παρεμβάσεις ή ακόμα και σε ολικές αντικαταστάσεις με πλάκες σκυροδέματος. Από εμπειρία που αποκτήθηκαν κατά την διάρκεια επιθεώρησης μετά από προσφάτους σεισμούς στην Ιταλία προέκυψε η αναποτελεσματικότητα αυτού του είδους παρέμβασης αφού προκλήθηκαν νέες καταρρεύσεις.

Την τελευταία δεκαετία επικεντρώθηκαν πολλές ερευνητικές μελέτες στην χρήση πιο συμβατικών τεχνικών ικανών για την ενίσχυση των αρχικών ξύλινων πατωμάτων τόσο σε εργαστηριακό όσο και πειραματικό επίπεδο. τόσο. Στην συγκεκριμένη μελέτη γίνεται αναφορά στην ενίσχυση των ξύλινων δαπέδων με διαστάσεις $125 \times 125 \text{ cm}$. Οι μέθοδοι ενίσχυσης που εξετάστηκαν είναι: με μια μεταλλική λοξή λωρίδα από κάτω, με διπλό κάθετο πέτσωμα, με τριπλό πέτσωμα, με μια ξύλινη λοξή λωρίδα και με ένα ξύλινο «X». Όλοι οι τρόποι ενισχύσεις μελετήθηκαν και προέκυψε το εξής διάγραμμα.

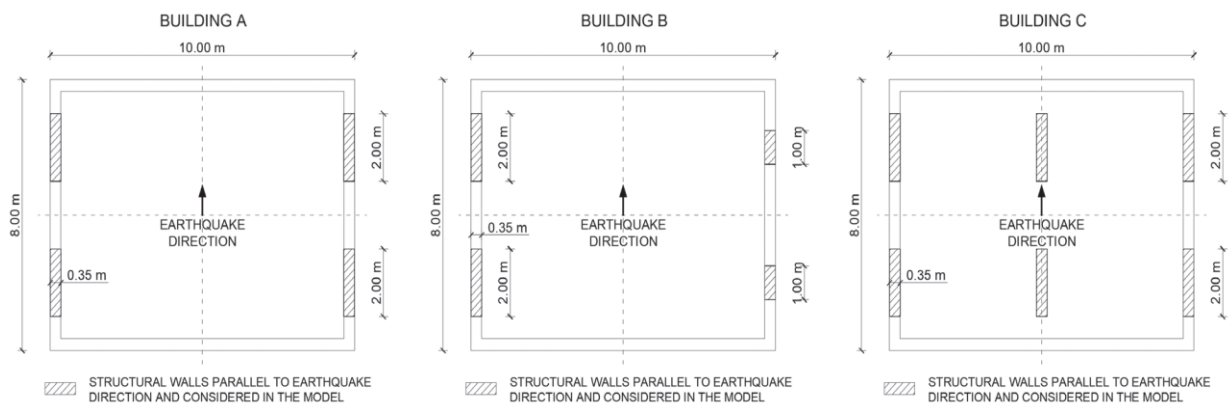


Εικόνα 32: Συγκριτικό διάγραμμα μετατόπισης

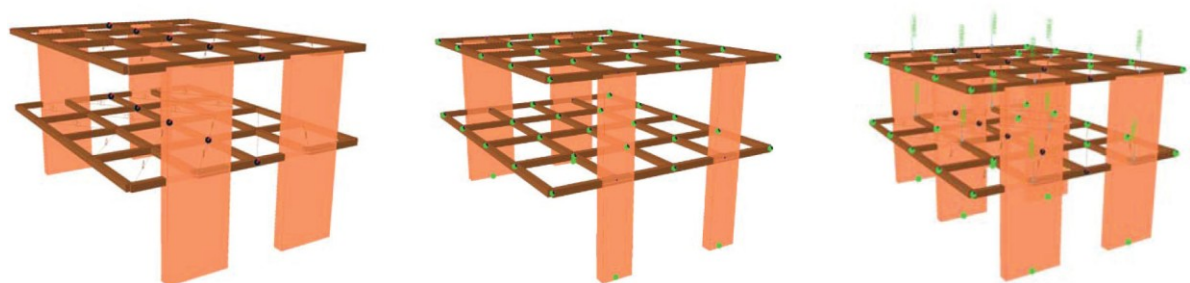
Όπως παρατηρούμε η εφαρμογή πρόσθετων σανίδων υπό γωνία 90° για την ενίσχυση ξύλινων δαπέδων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους δεν αποτελεί την βέλτιστη επιλογή ενίσχυσης. Όμως οι διπλές σανίδες εξασφαλίζουν υψηλή ακαμψία στο επίπεδο εάν έχουν συνδεθεί σωστά με το υπάρχον ξύλο. Επίσης αυτού του είδους η επέμβαση μειώνει την υπερβολική παραμόρφωση εκτός επιπέδου. Αυτή η τεχνική παρέμβασης γίνεται σε παλιά δάπεδα γιατί είναι πιο συμβατή και ελαφρύτερη λύση σε σχέση με τις σύνθετες πλάκες σκυροδέματος. Η ενίσχυση ξύλινων δαπέδων έχει ως στόχος την αύξηση της δυσκαμψίας και αντοχή του διαφράγματος, αλλά η συμβατότητα με την τοιχοποιία πρέπει να είναι εξασφαλισμένη. Αν η ποιότητα της τοιχοποιίας είναι ιδιαίτερα φτωχή, μια υπερβολική δυσκαμψία της πλάκας είχε αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνη για την τοιχοποιία και τη συνολική συμπεριφορά του κτιρίου.

➤ **«Seismic response of masonry buildings with alternative techniques for in plane strengthening of timber floors. Roberto Scotta, Davide Trutalli, Luca Marchi, Luca Pozza, Michele Mirra»**

Το τρίτο παράδειγμα που παρατίθεται αφορά ένα συγκεκριμένο πείραμα που έγινε στο Πανεπιστήμιο του Trento σύμφωνα με το πρότυπο EN 12512 πάνω σε ένα διώροφο κτίριο με διαστάσεις $8,00 \times 10,00\text{m}$ και το ύψος του κάθε ορόφου είναι $3,00\text{m}$. Η μελέτη έγινε για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις στήριξης, το πρώτο είχε 4 κολώνες $200 \times 35\text{cm}$, το δεύτερο έχει $100 \times 35\text{cm}$ δυο κολώνες και τις άλλες δυο $200 \times 35\text{cm}$ και το τρίτο έχει έξι κολώνες $200 \times 35\text{cm}$ [Εικ. 33-34].

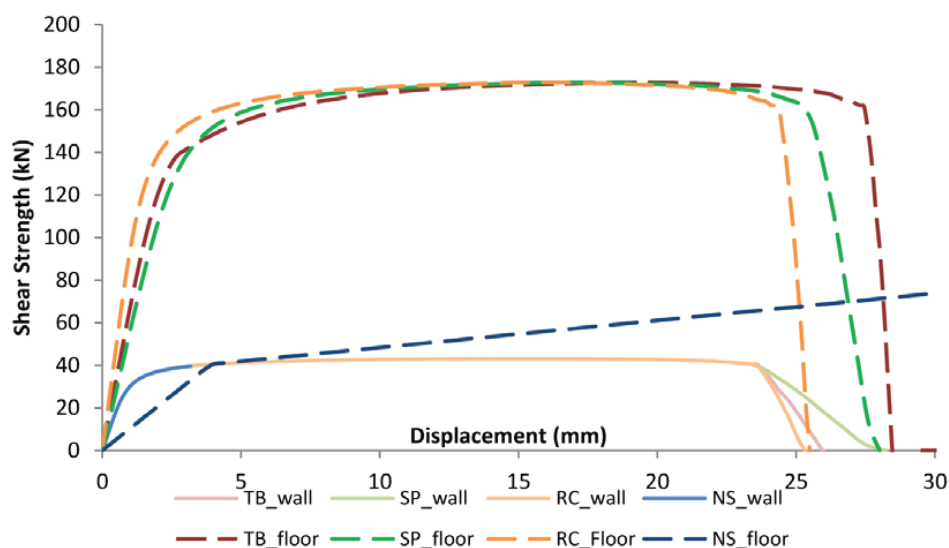


Εικόνα 33: Κατόψεις των μοντέλων του πειράματος



Εικόνα 34: 3D απεικόνιση των μοντέλων του πειράματος

Μετά τις στατικές αναλύσεις που έγιναν στα μοντέλα και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα της διάτμησης βάσης του κτιρίου σε σχέση με την μετατόπιση [Εικ. 35]. Οι συνεχόμενες γραμμές αντιπροσωπεύουν τη διάτμηση βάσης προς την μετατόπιση ενώ οι διακεκομμένες τα δάπεδα προς την μετατόπιση. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι μόνο το μη ενισχυμένο δάπεδο (NS) διαφέρει από όλα τα ενισχυμένα δάπεδα που είναι πρακτικά πανομοιότυπα. Αυτό σημαίνει ότι η ακαμψία του ενισχυμένου δαπέδου είναι επαρκή για να μεταφέρουν την σεισμική δύναμη στην τοιχοποιία, άρα λειτουργούν σαν άκαμπτα διαφράγματα για το κτίριο.



Εικόνα 35: Καμπύλες από την ανάλυση του κτιρίου

Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν 6 τεχνικοί σεισμοί και ο φυσικός σεισμός ElCentro σε όλα τα μοντέλα. Οι τεχνικοί σεισμοί δημιουργήθηκαν τηρώντας τις απαιτήσεις συμβατότητας ιδιοσυχνοτήτων σύμφωνα με το φάσμα ελαστικής απόκρισης για έδαφος τύπου A (έδαφος βράχου).

Η σύγκριση γίνεται μεταξύ NS και TB. Τα αποτελέσματα για τα δάπεδα SP και RC είναι πανομοιότυπα με το μοντέλο TB. Από τα αποτελέσματα προκύπτουν ότι όλες οι τεχνικές ενίσχυσης έχουν σχεδόν την ίδια αποτελεσματικότητα στον περιορισμό της παραμόρφωσης.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία στηρίχθηκε στη φιλοσοφία του προγράμματος T.R.E.M.A. (Technologies for the Reduction of seismic Effects on Architectural Manufactured Structures), το οποίο στοχεύει στη αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς τρισδιάστατων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, των οποίων η σεισμική συμπεριφορά ενισχύεται με τεχνικές αποκατάστασης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιεί το πειραματικό πρόγραμμα διεξάγονται στο κέντρο έρευνας CNR-ENEA στη Ρώμη. (Σάμιος, 2020)

Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δύο πανομοιότυπα τρισδιάστατα κτίρια σύμφωνα με τις παραδοσιακές τεχνικές της κεντρικής Ιταλίας. Στο πλαίσιο του έργου αξιολογήθηκε επίσης η αποτελεσματικότητα των καινοτόμων τεχνικών αποκατάστασης με το σύστημα CAM (Active Concrete of Masonry) με σύγκριση των αποτελεσμάτων στα δύο πρωτότυπα. Το πρώτο πρωτότυπο (RM) κατασκευάστηκε και ενισχύθηκε με το σύστημα CAM, στη συνέχεια δοκιμάστηκε για να επαληθευτεί η αποτελεσματικότητά της ενίσχυσης. το δεύτερο (URM) δοκιμάστηκε μέχρι να καταρρεύσει χωρίς ενίσχυση (Betti et al. 2014).

5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

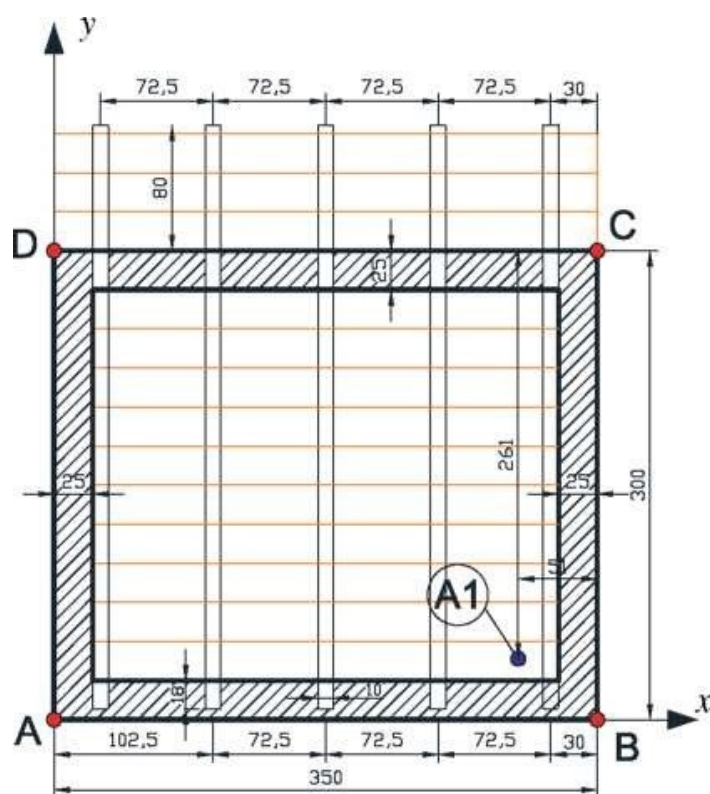
Το διώροφο κτίριο που χρησιμοποιήσαν στην μελέτη είναι σε κλίμακας 1: 1,5 με τους τοίχους να κατασκευάζονται με πεπλεγμένη υφή και χαμηλής ποιότητας κονίαμα, με σκοπό την αναπαράσταση της υπάρχουσας τοιχοποιίας των κατασκευών εκείνη την περίοδο στις περιοχές της Κεντρικής Ιταλίας.[Εικ.32]



Εικόνα 32: Διώροφο κτίριο και δομή τοιχοποιίας

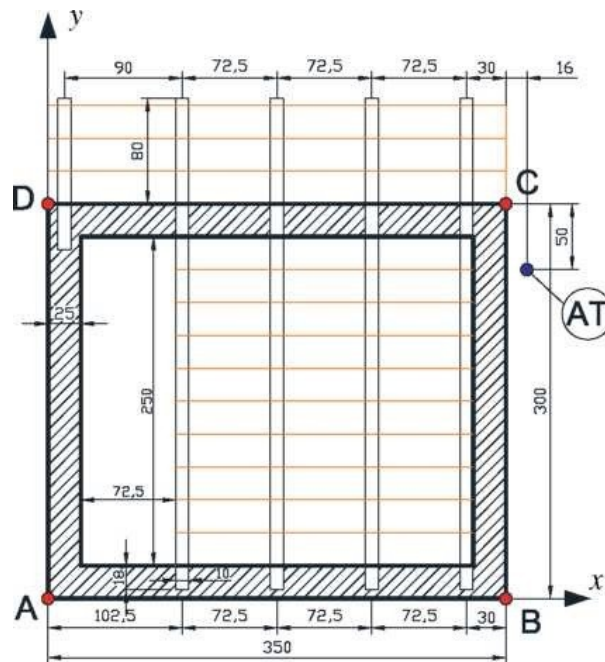
Betti M., Galano L., Vignoli A. «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» 2014

Το κτίσμα συγκροτείται από ένα κέλυφος με εξωτερικές διαστάσεις 3,5 m x 3,0 m και ύψος 2,2 m. κάθε ορόφου.[Εικ.33] Στο δώμα του κτιρίου υπήρχε ένα στηθαίο από πλινθοδομή με ύψους 0,15 μ., επομένως το συνολικό ύψος του κτιρίου είναι 4,55 μ. Οι τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από πλινθοδομή, με ασβεστολιθικές πέτρες και ασβεστοκονίαμα, και το πάχος τους είναι 0,25 μ. και αποτελούνται από δύο κατακόρυφες όψεις χωρίς καμία εγκάρσια σύνδεση. Οι οριζόντιες κατασκευές έγιναν με ξύλινο. Σε κάθε πάτωμα τοποθετηθήκαν 5 ξύλινοι δοκοί με διατομής 0.10 m x 0.18 m και ξύλινες σανίδες με πάχος περίπου 20 mm καρφωμένες στις δοκούς.[Εικ.33, 34] Για να αναπαραχθεί η κακή κατασκευαστική τεχνική που είναι χαρακτηριστική για ορισμένα κτίρια τοιχοποιίας της Κεντρικής Ιταλίας, τόσο οι συνδέσεις τοιχοποιίας-πατώματος όσο και οι συνδέσεις τοιχοποιίας-τοιχοποιίας υλοποιήθηκαν με μη αποτελεσματικό τρόπο.(Σάμιος, 2020)



Εικόνα 33:Κάτοψη ορόφου

Betti M., Galano L., Vignoli A. «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» University of Florence, 2014



Εικόνα 34:Κάτοψη ισογείου

Betti M., Galano L., Vignoli A. «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» University of Florence, 2014

Το ολικό βάρος της τοιχοποιίας ήταν περίπου 169,71 kN. Το μοντέλο κατασκευάστηκε πάνω από μία δοκό οπλισμένου σκυροδέματος που είχε ύψος 0,4 μ. και βάρος 28,25 kN. Το βάρος των ξύλινων πατωμάτων ήταν περίπου 4,08 kN. Επιπλέον για να προσομοιωθούν τα φορτία χρήσης, τοποθετήθηκε μία κατανεμημένη μάζα 2,5 t σε κάθε πάτωμα. Με αποτέλεσμα, το συνολικό βάρος του κατασκευασμένου κτιρίου μαζί με τους δοκούς ήταν περίπου 285,14 kN.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, οι τοίχοι του κτιρίου κατασκευάστηκαν από πλινθοδομή με ασβεστολιθικές πέτρες και ασβεστοκονίαμα, με αναλογίες βάρους των συστατικών 10,5 (άμμος), 11 (ασβέστη) προς 1 (τσιμέντο). Οι μονάδες τοιχοποιίας σχεδιάστηκαν κατά προσέγγιση (δηλ. έχουν ακανόνιστο σχήμα) και είχαν μεταβλητές διαστάσεις από μέσο έως μεγάλο μέγεθος. Τα τοιχώματα είχαν μια τομή διπλού κάθετου στρώματος με υφή ακανόνιστη (opus incertum). Οι μέσες διαστάσεις των αρμών κονιάματος ήταν πολύ μεγάλες τόσο στην εξωτερική πλευρά όσο και στην τομή. Καμία σύνδεση μεταξύ των δύο στρωμάτων δεν πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, προκειμένου να αναπαραχθεί ένα κακό κατασκευαστικό σύστημα, οι τοιχοποιίες δεν συνδέθηκαν μεταξύ τους στις γωνίες και δεν υλοποιήθηκαν δοκοί από σκυρόδεμα για τη σύνδεση των ξύλινων δοκών με τους τοίχους. Ένα ξύλινο δοκάρι τοποθετείται σε κάθε κούφωμα. (Σάμιος, 2020)

Σύμφωνα με το πείραμα πραγματοποιήθηκαν πολλές καταστροφικές και μη καταστροφικές δοκιμές για να χαρακτηριστεί η τοιχοποιία. Για τους ασβεστούχους λίθους πραγματοποιήθηκαν πειράματα και βρέθηκαν η μέση θλιπτική αντοχή (f_{bc}) και το ειδικό βάρος (γ_m) και οι τιμές που εκτιμήθηκαν ήταν $f_{bc} = 8,5 \text{ N/mm}^2$ και $\gamma_m = 1700 \text{ km/m}^3$. Από δοκιμές σε εργαστηριακούς χώρους τα κονιάματα πρόεκυψε μέση θλιπτική αντοχή $f_{mc} = 0,72 \text{ N/mm}^2$ και μέση εφελκυστική αντοχή $f_{mt} = 0,14 \text{ N/mm}^2$. Επίσης έγιναν και δοκιμές στους συνδέσμους των κονιαμάτων με την μέθοδο διείδυσης PNT-G για να εκτιμηθεί η ποιότητα και η μέση τιμή ήταν $f_{mc} = 0,54 \text{ N/mm}^2$.

Επιπλέον στις δοκιμές η τοιχοποιία χαρακτηρίστηκε μέσω τριών δοκιμών συμπίεσης που έγιναν σε δοκίμια τοιχοποιίας. Όσον αφορά τα δοκίμια της τοιχοποιίας ήταν τετράγωνα με πλευρά μήκους 0,9m και πάχους 0,25m. Αρχικά τοποθετήθηκε ένα καταναμημένο κάθετο φορτίο q στις δύο αντίθετες πλευρές του πάνελ και μετά εφαρμόστηκε το διαγώνιο φορτίο P_d με έλεγχο μετατόπισης μέχρι την κατάρρευση. Τα τρία δοκίμια ονομάστηκαν MT_1 , MT_2 και MT_3 , στα οποία επιβλήθηκε μια διαφορετική κάθετη δύναμη $q_1=0,1\text{N/mm}^2$, $q_2=0,15\text{N/mm}^2$, $q_3=0,20\text{N/mm}^2$ αντίστοιχα. Επομένως το μέγιστο διαγώνιο φορτίο ήταν $P_{d1}=37,1\text{kN}$, $P_{d2}=27,8\text{kN}$, $P_{d3}=51,5\text{kN}$.

Για σκοπούς ορθότητας πήραν τα αποτελέσματα από το δοκίμιο MT_1 γιατί τα αποτελέσματα από το MT_2 δεν ήταν σωστά και του MT_3 ήταν ισοδύναμα με το MT_1 .

Υποθέτοντας ότι η τοιχοποιία είναι ένα ομοιογενές γραμμικό ελαστικό υλικό μέχρι να αστοχήσει οι κύριες τάσεις δίνονται από την σχέση (GalanoL,2001):

$$\sigma_1 = -0,785\tau_d + (\sigma_v/2) + \sqrt{(1,469\tau_d)^2 + (\sigma_v^2 / 4)} \quad (1)$$

$$\sigma_3 = -0,785\tau_d + (\sigma_v/2) - \sqrt{(1,469\tau_d)^2 + (\sigma_v^2 / 4)} \quad (2)$$

όπου

σ_v : θλιπτική τάση που εφαρμόζεται στην πρώτη φάση της δοκιμής (με αρνητικό πρόσημο)

$$\tau_d = P_d/A\sqrt{2}$$

A : η περιοχή της τομής του δοκιμίου

Άρα επειδή το φορτίο εφαρμόστηκε σε μήκος 0,42m προκύπτει ότι το $\sigma_v = 0,047\text{ N/mm}^2$

Αντικαθιστώντας το θλιπτικό φορτίο στην εξίσωση (1) και (2) έχουμε ότι η εφελκυστική τάση είναι $\sigma_1 = 0.058\text{ N/mm}^2$ και η θλιπτική τάση είναι $\sigma_3 = -0,288\text{N/mm}^2$.

5.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟ MARCMENTAT

ΓΕΝΙΚΑ

Η προσομοίωση του κτιρίου είναι το πιο σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας ανάλυσης μιας κατασκευής, αφού για να πάρουμε σωστά αποτελέσματα από τις αναλύσεις που πραγματοποιούμε, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δημιουργία ενός σωστού υπολογιστικού μοντέλου του πειράματος της Ιταλίας. Η αρτιότητα του μοντέλου προσομοίωσης επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων. Από αυτούς ο σημαντικότερος είναι η ικανότητα του μελετητή να κάνει σωστά τις απαραίτητες παραδοχές και απλοποιήσεις για τη συμπεριφορά της κατασκευής και μάλιστα σε τέτοιο βαθμό ώστε οι απλοποιήσεις αυτές να μην επιδρούν αρνητικά στα τελικά αποτελέσματα. Συνεπώς, η απόκλιση του προσομοιώματος αποτελεί αναπόφευκτη συνέπεια, ωστόσο επιδιώκεται από το μελετητή να είναι η μικρότερη δυνατή.

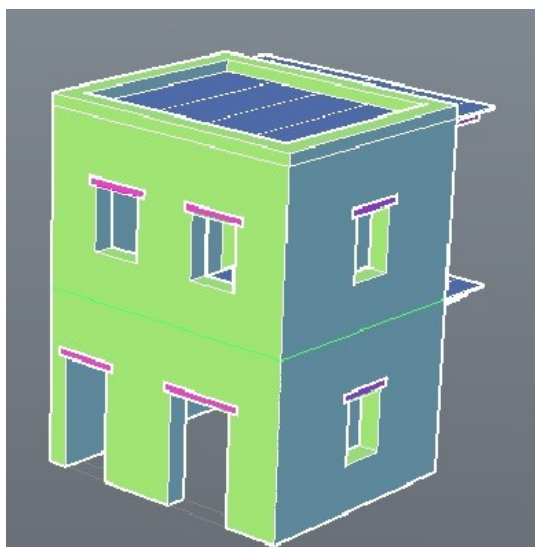
Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, η προσομοίωση και οι διάφορες αναλύσεις της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό MARC/MENTAT. Στη συνέχεια

αναλύεται η διαδικασία προσομοίωσης της κατασκευής καθώς και όλων των παραδοχών που έγιναν για τον φορέα.

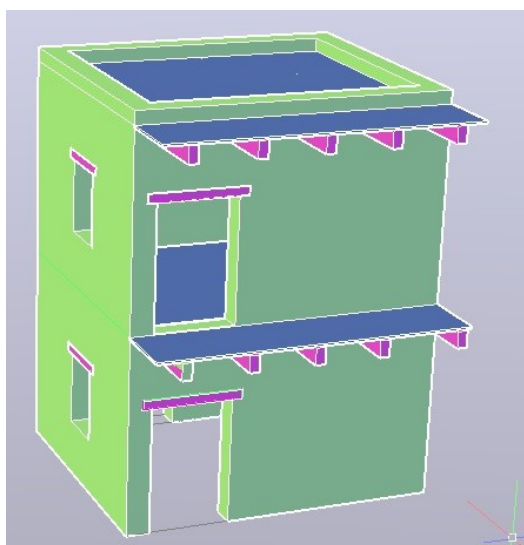
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

Η διαμόρφωση του προσομοιώματος του κτιρίου έγινε βάσει των σχεδίων που μας παραχωρήθηκαν και τα οποία απεικονίζουν επακριβώς τη μορφή του κτιρίου. Από τις κατόψεις προέκυψαν οι οριζόντιες διαστάσεις του κτιρίου στο ισόγειο και στον α' όροφο, καθώς επίσης οι θέσεις και οι διαστάσεις των υπάρχοντων ανοιγμάτων. Τέλος από τις όψεις καθορίστηκαν τα αντίστοιχα ύψη και προσδιορίστηκε η μορφή των ανοιγμάτων.

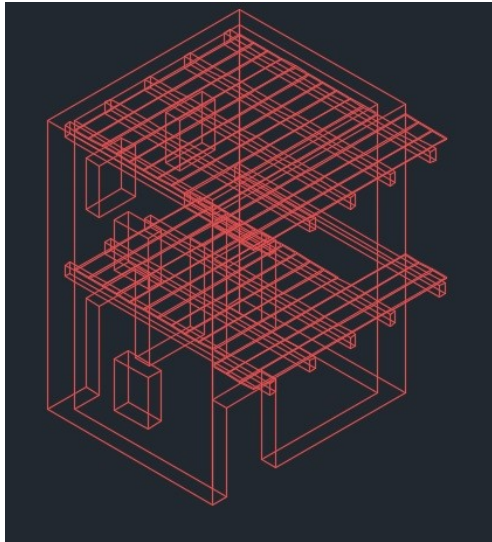
Το μοντέλο της παρούσας κατασκευής φτιάχτηκε στην αρχή στο AutoCad σε 3D μορφή με πάχος κελύφους το πάχος του τοίχου, τοποθέτηση δοκαριών, δημιουργία πατωμάτων και εισαγωγή ανοιγμάτων. Αφού δημιουργήθηκε το 3D μοντέλο της γεωμετρίας στην συνέχεια έγινε εισαγωγή του στο MarcMentat για την διακριτοποίηση με πεπερασμένα στοιχεία και την αριθμητική επίλυση.[Εικ.35, 36, 37]



Εικόνα 35: 3D μοντελο στο AutoCAD



Εικόνα 36: 3D μοντελο στο AutoCAD



Εικόνα 37: 3D μοντέλο στο AutoCAD

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την ανάλυση του φορέα στο MarcMentat είναι αυτή των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method), η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις επιφανειακών φορέων, όπως οι κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Αν και η αντοχή της τοιχοποιίας είναι ένα μέγεθος κρίσιμα εξαρτώμενο από πλήθος παραγόντων, όπως το σύστημα δόμησης, τα μηχανικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λιθοσωμάτων και των αρμών κονιάματος, εντούτοις θεωρείται ικανοποιητική η προσέγγιση της συμπεριφοράς της με επιφανειακά στοιχεία κελύφους, τα οποία παρουσιάζουν ομοιογένεια και ισοτροπία. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων.

Κατά την προσομοίωση του φορέα στο MarcMentat, το υλικό της τοιχοποιίας υπολογίστηκε ως ένα ισότροπο και ομοιογενές υλικό, το οποίο ακολουθεί την προσεγγιστική καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων που ορίζεται από τον EC6 για το σχεδιασμό τοίχων με φόρτιση κάθετα στους αρμούς.

Στην εικόνα 38 παρουσιάζεται το 3D μοντέλο που εισήχθη στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων για να πραγματοποιηθούν οι γραμμικές ελαστικές αναλύσεις.

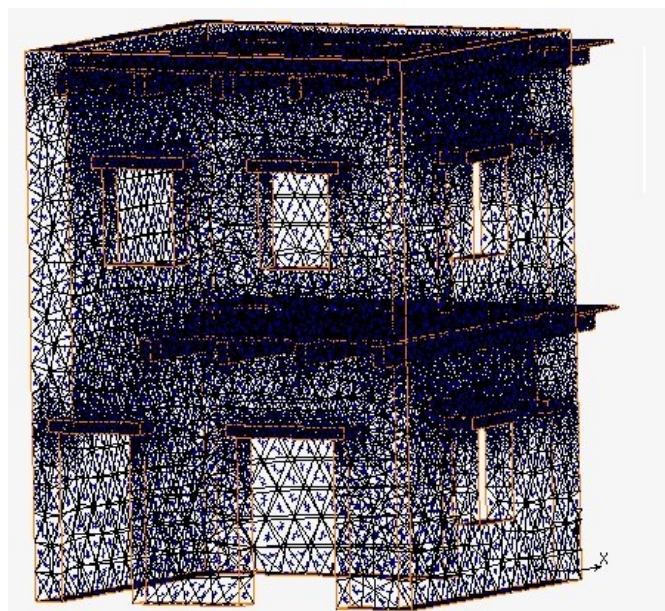
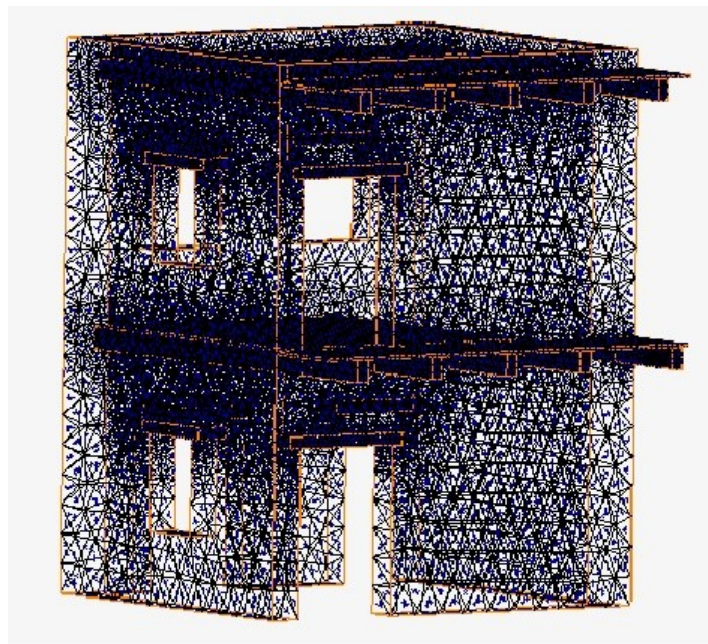


Εικόνα 38: Τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης

ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η διακριτοποίηση του κτιρίου πρέπει να γίνεται προσεκτικά και με στόχο να περιγράψει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματική κατασκευή και τις γεωμετρικές ιδιαιτερότητες του φορέα. Ο αριθμός των στοιχείων που θα χρησιμοποιήσουμε είναι σημαντικός για την αξιοπιστία του μοντέλου γιατί η χρήση μικρού αριθμού στοιχείων μπορεί να δημιουργήσει ένα μοντέλο πιο δύσκαμπτο από το πραγματικό ενώ ο υπερβολικός αριθμός στοιχείων μπορεί να δημιουργήσει ένα δύσχρηστο υπολογιστικό μοντέλο.

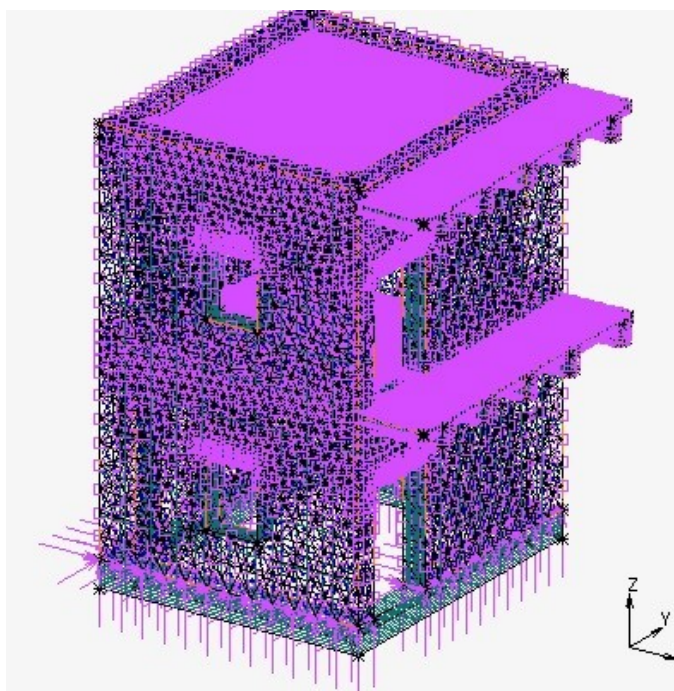
Στην διακριτοποίηση κάθε σημείο παραλαμβάνει τη μάζα και τις ροπές αδράνειας του στερεού τμήματος.[Εικ.39]



Εικόνα 39 : Μοντέλο κατά την διακριτοποίηση

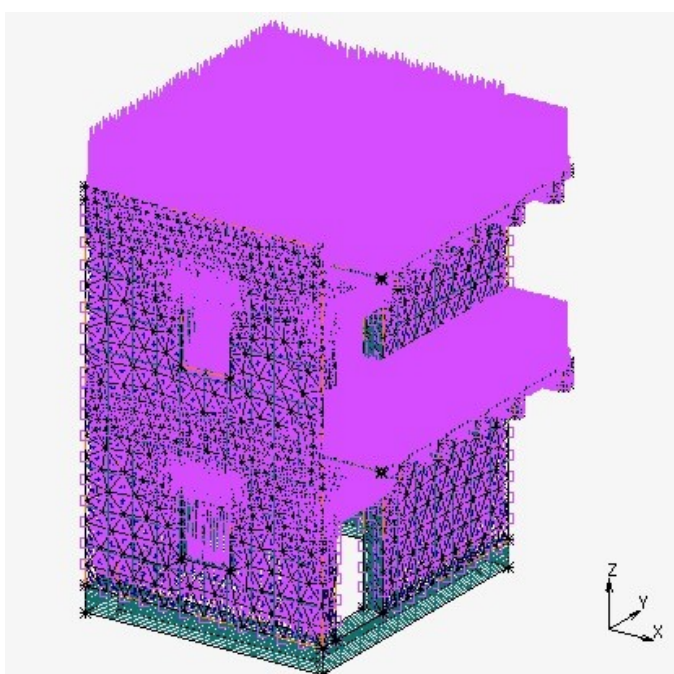
ΣΥΝΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Για την θεμελίωση του κτιρίου θεωρήθηκε ότι είναι πακτωμένη στο έδαφος στη στάθμη 0.00.[Εικ.40] Η δημιουργία της πάκτωσης έγινε με το « structural fixed displacement» όπου δεσμεύουμε όλους τους βαθμούς ελευθερίας των κόμβων που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος.



Εικόνα 40: Έδραση της κατασκευής

Επιπλέον στην κατασκευή μας θεωρήθηκε και το ίδιο βάρος [Εικ.41] το οποίο ορίζεται αυτόματα, μέσω του ειδικού βάρους των υλικών που προκύπτει από τις ιδιότητες τους πολλαπλασιασμένο με την επιτάχυνση της βαρύτητας $g=9,81 \text{ m/s}^2$. [Πιν.4]



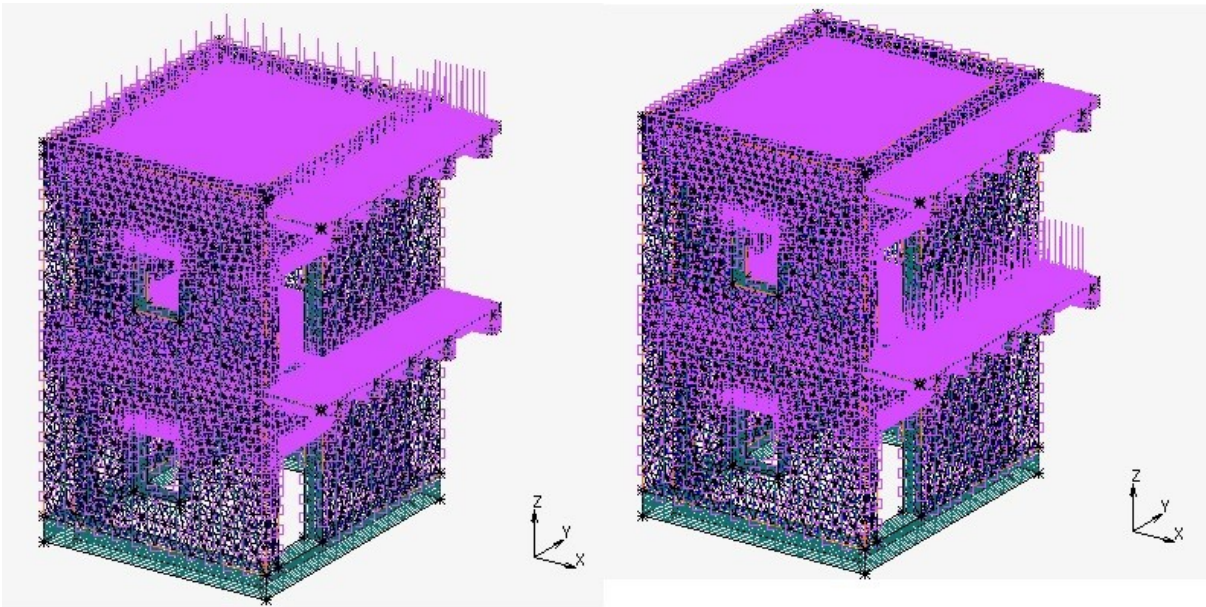
Εικόνα 41: Ίδιο βάρος της κατασκευής

Πίνακας 4: Ίδια βάρη υλικών

Δεδομένα	M.M.	Ποσότητα
Ολικό βάρος τοιχοποιίας	kN	169.71
Βάρος δοκού Ο.Σ.	kN	28,25
Βάρος ξύλινων δαπέδων	kN	4,08
Κατανεμημένη μάζα δαπέδων	tn	2,5

ΦΟΡΤΙΑ

Για την προσομοίωση και για να ταυτίζετε με το μοντέλο του πειράματος της Ιταλίας κατανεμήθηκε ένα ομοιόμορφο φορτίο στους ορόφους 2,5tn που αντιπροσωπεύει τα φορτία χρήσης. Αυτό μετατράπηκε σε κατακόρυφο φορτίο πίεσης και εισήχθη στο ξύλινο πάτωμα κάθε ορόφου.[Εικ.42]



Εικόνα 42: Μοντέλο με κατανεμημένο φορτίο και στα δύο επίπεδα

ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κτίριο συναντούμε δυο διαφορετικά υλικά την λιθοδομή και τα ξύλινα στοιχεία τα οποία διαμορφώνουν το φέροντα οργανισμό [Εικ. 43]. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους ελήφθησαν από το πείραμα που διεξήχθη στο πρόγραμμα T.R.E.M.A. και έχει καταγραφή στην εργασία αναφοράς (Betti et al. 2014).[Πιν.5]
Αναλυτικότερα για τον υπολογισμό κάποιων μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν έγινε χρήση των κάτωθι εξισώσεων:

$$\alpha = (2*\sin\varphi) / (\sqrt{3}*(3-\sin\varphi)) = 0,55$$
$$\beta = (\alpha) / (\sqrt{\beta}*(3*c^2 - \alpha^2)) = 0,29$$

$$M = (1-\alpha*\sqrt{3}) / (\alpha*\sqrt{3}-1)$$

$$y_{str} = (6*c*cos\varphi) / (\sqrt{3}*(3-sin\varphi)) = 787000 \text{ N/m}^2$$

:

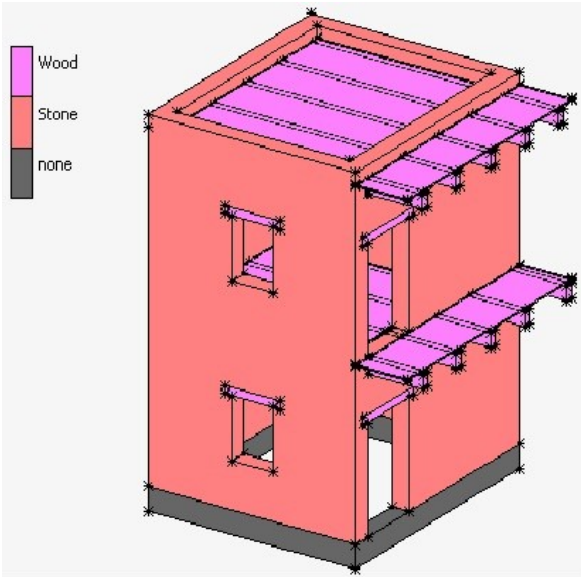
Πίνακας 5: Υλικά προσομοίωσης

Υλικό	Λιθοδομή	Ξύλινες Δοκοί	Ξύλινα Ανώφλια	Επένδυση Ξύλου
Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)	700	10000	10000	10000
Λόγος Poisson ν	0,25	0,2	0,2	0,2
Πυκνότητα ρ (kg/m³)	1700	700	700	700
Αντοχή σε εφελκυσμό σt (Mpa)	0,065			
Αντοχή σε θλίψη σc (Mpa)	2,5			
Συνοχή c (Mpa)	0,7			
Γωνία εσωτερικής τριβής φ	40			

Επιπλέον οι μηχανικές ιδιότητες που πήραμε από την διπλωματική εργασία του προγράμματος T.R.E.M.A. είναι οι εξής:[Πιν.6]

Πίνακας 6: Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

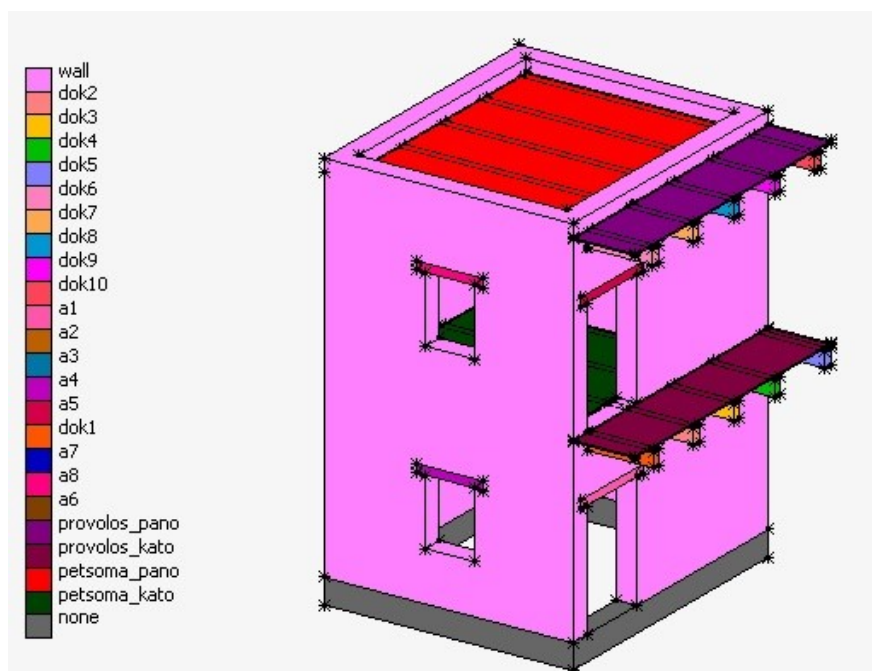
Ιδιότητες	Ονομασία	M/M	Ποσότητα
Θλυπτική αντοχή	f _{bc}	N/mm ²	8,5
Ειδική μάζα	γ _m	Kg/m ³	1700
Μέση θλυπτική αντοχή	f _{mc}	N/mm ²	0,72
Μέση εφελκυστική αντοχή	f _b c	N/mm ²	0,14
Ποιότητα κονιάματος	f _{mc}	N/mm ²	0,54
Θλιπτική Αντοχή αρμολογήματος	f _{wc}	N/mm ²	2-3,5



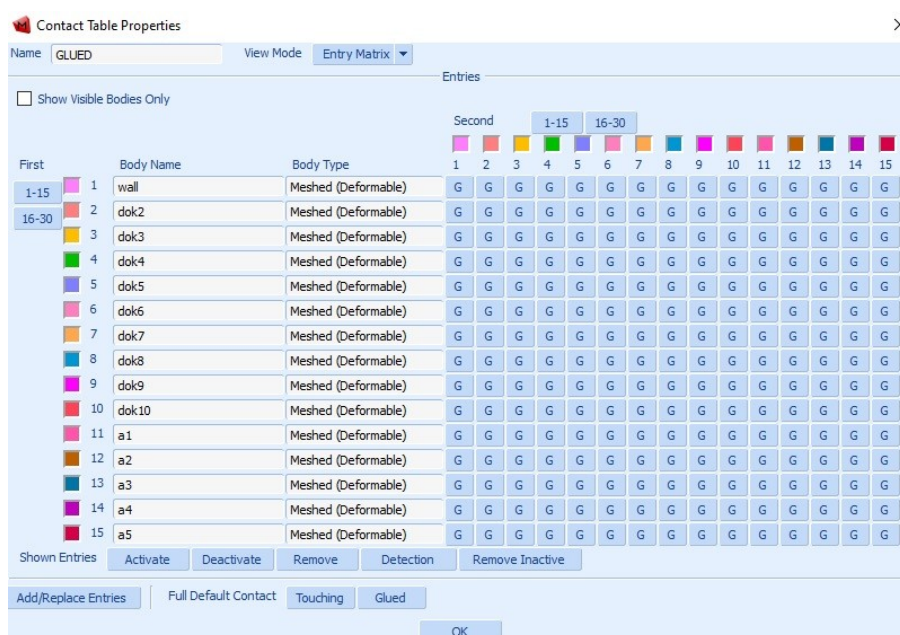
Εικόνα 43: Μοντέλο με τα υλικά

ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την επίλυση του προσομοιώματος δημιουργήθηκε η διακριτοποίηση με τρισδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία και στην συνέχεια αναγνωρίστηκαν οι διαφορετικές όγκοι (σώματα σε επαφή – contact bodies) τα οποία έπρεπε να συνδεθούν.[Εικ.44] Στην συνέχεια μέσω ενός πίνακα ελέγχου της σύνδεσης αυτών των σωμάτων («Contact Table»), ορίστηκε τα σώματα να είναι όλα πλήρως συνδεδεμένα μεταξύ τους («glued»).[Εικ.45]



Εικόνα 44: Μοντέλο με τα Contact Bodies



Εικόνα 45: Μοντέλο με τα Contact Tables

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα στοιχεία της ανάλυσης της κατασκευής και στη συνέχεια η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο υφιστάμενο κτήριο καθώς και η αξιολόγησή τους.

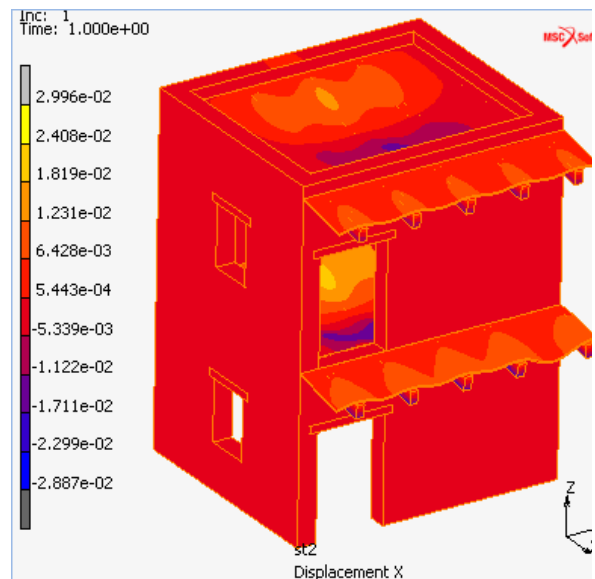
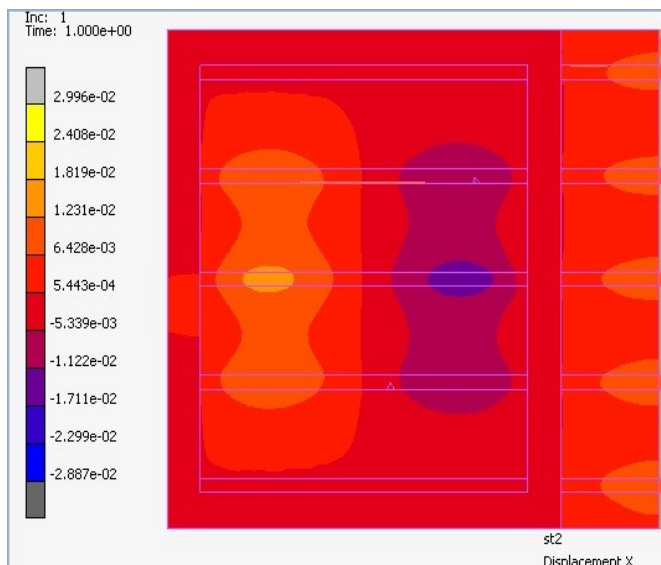
6.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

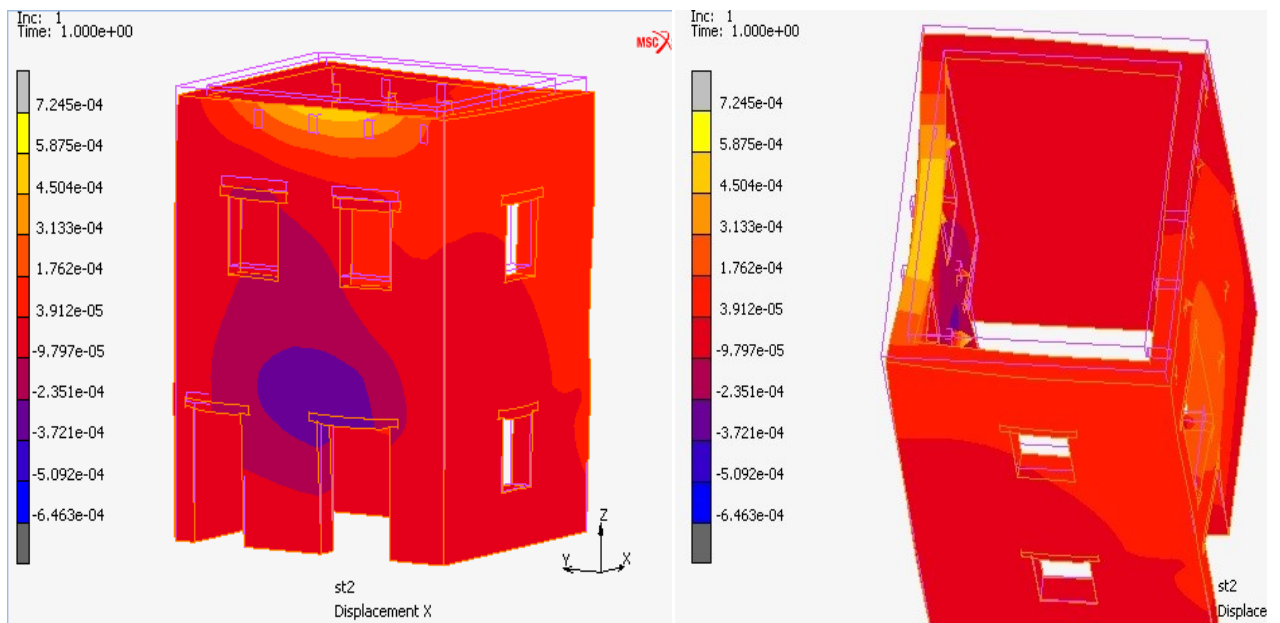
Το πρόγραμμα Marc Mentat προσφέρει μια μεγάλη επιλογή από αναλύσεις και επιλύσεις. Στην παρούσα εργασία η πρώτη μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η στατική ανάλυση για όλα τα στατικά φορτία (Static analysis). Η δεύτερη μέθοδος είναι η ιδιομορφική ανάλυση (Modal analysis) που υπολογίζει τις ιδιομορφικές ταλαντώσεις, τις ιδιοπεριόδους και τις ιδιοσυχνότητες του μοντέλου. Τέλος έγινε επίλυση του μοντέλου με την επιβολή σεισμικής καταπόνησης (Transient analysis) με τα στοιχεία του πραγματικού σεισμού της Ιταλίας με όνομα Colfiortio.

6.2 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

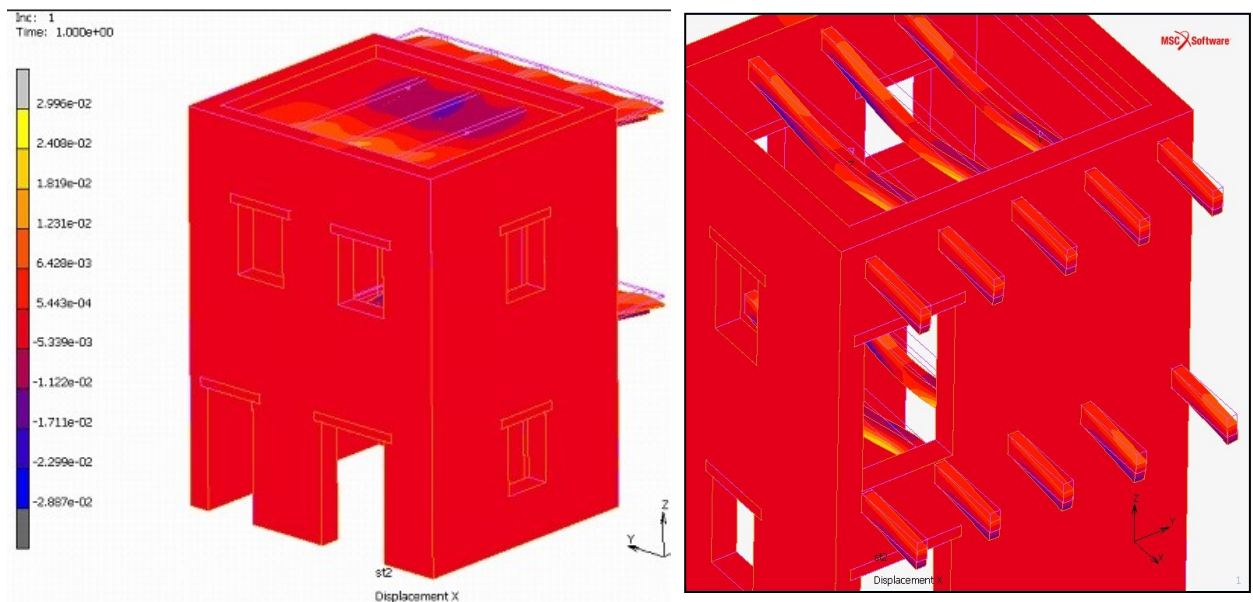
Η στατική ανάλυση του κτιρίου αφορά όλα τα φορτία που δρουν σταθερά και ανεξάρτητα του χρόνου.

Από τις φωτογραφίες παρατηρούμε από την μετακίνηση κατά X ότι υπάρχει μια έντονη βύθιση στα ξύλινα δάπεδα. [Εικ.46]. Πιο αναλυτικά αν παρατηρήσουμε την [Εικ. 47] βλέπουμε τις παραμορφώσεις που παραλαμβάνουν τα δοκάρια όπου το βέλος κάμψης είναι έντονο για αυτό το λόγο έχουν και κυματοειδής μορφή.



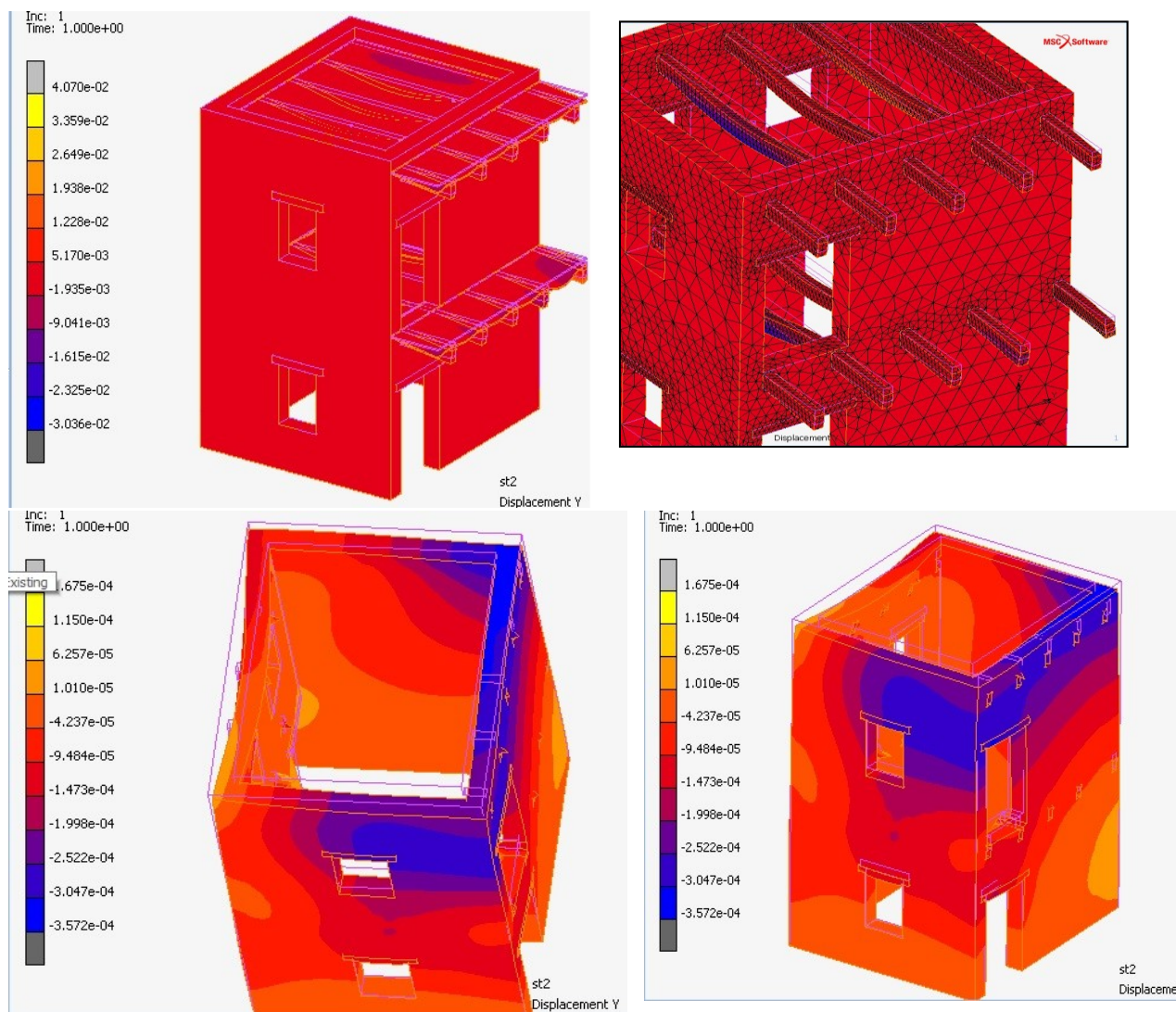


Εικόνα 46: Μετατόπιση κατά τον άξονα x (displacement x)

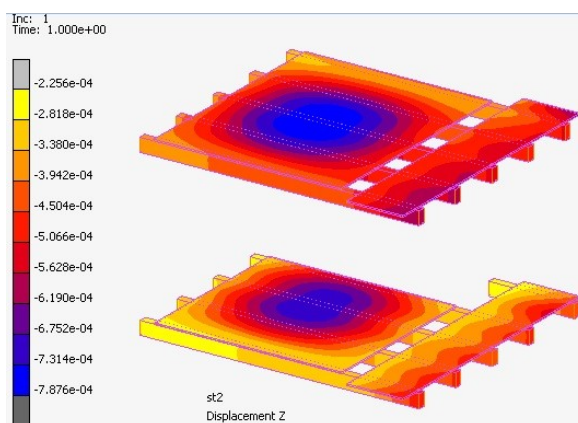


Εικόνα 47: Παραμόρφωση ξύλινων στοιχείων

Επίσης από την μετατόπιση στον άξονα y παρατηρούμε ότι η παραμόρφωση είναι στο ίδιο μοτίβο με την παραμόρφωση στον άξονα x. Επιπλέον έχουμε και παραμόρφωση καθ' ύψος των ακμών του κτιρίου. [Εικ.48]



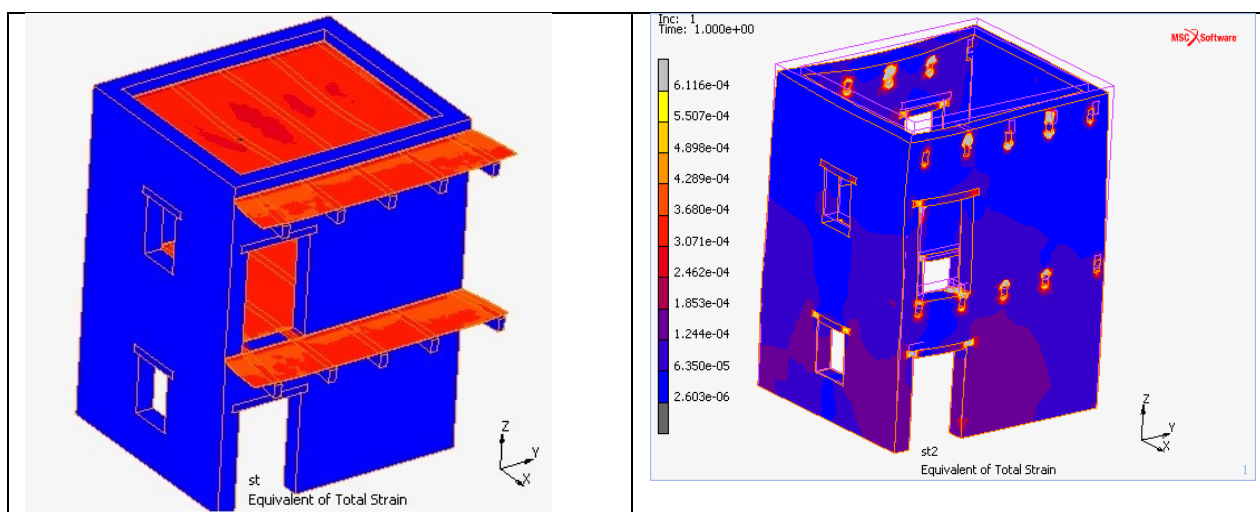
Εικόνα 48: Μετατόπιση κατά τον άξονα y (displacement y)



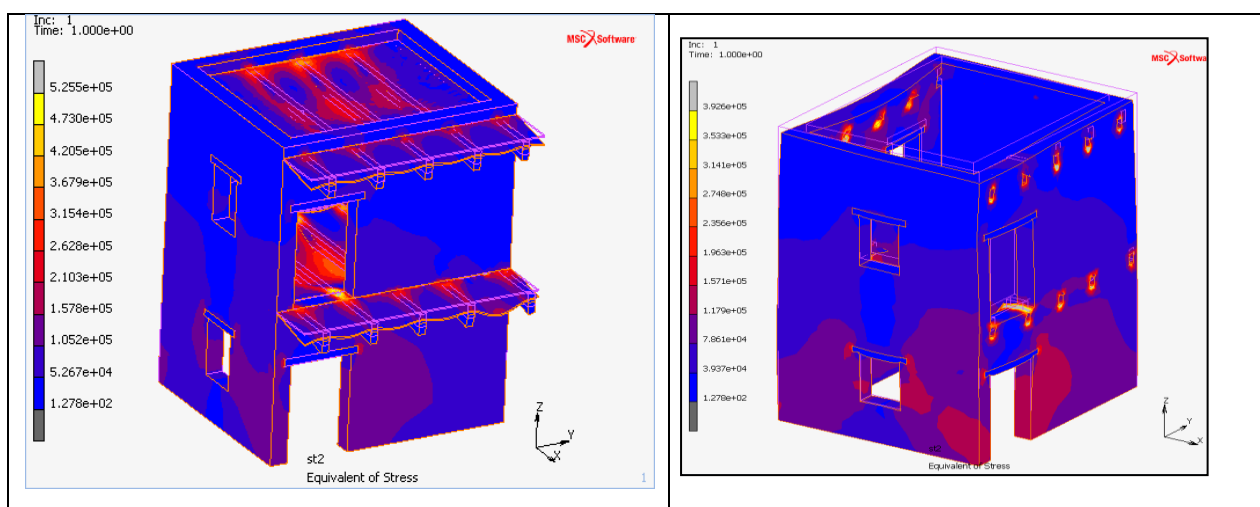
Εικόνα 49: Βυθίσεις πατωμάτων

Από τις αναλύσεις παρατηρούμε ότι υπάρχουν βυθίσεις στα πατώματα και στις δοκούς. Επιλέγοντας ένα κεντρικό κόμβο στην δοκό του πατώματος του ορόφου βρέθηκε ότι η μέγιστη βύθιση είναι 0,05mm και στο πάτωμα του δώματος είναι 0,049mm.[Εικ. 49]. Σύμφωνα με τον [Πινάκα 3] παρατηρούμε ότι η επιτρεπόμενη βύθιση μιας αμφιέρειστης δοκού είναι 0,0125mm επομένως χρειάζεται μια ενίσχυση.

Από την ανάλυση των χρωματικών απεικονίσεων της ισοδύναμης συνολικής παραμόρφωσης [Εικ. 49, 50] παρατηρούμε για μια ακόμα φορά την πολύ έντονη εφελκυστική τάση στις θέσεις των ξύλινων πατωμάτων, των δοκαριών, και περιμετρικά των ανοιγμάτων, σε αντίθεση με το υπόλοιπο κτίριο που είναι σχεδόν μηδενικές.



Εικόνα 49: Ολική παραμόρφωση



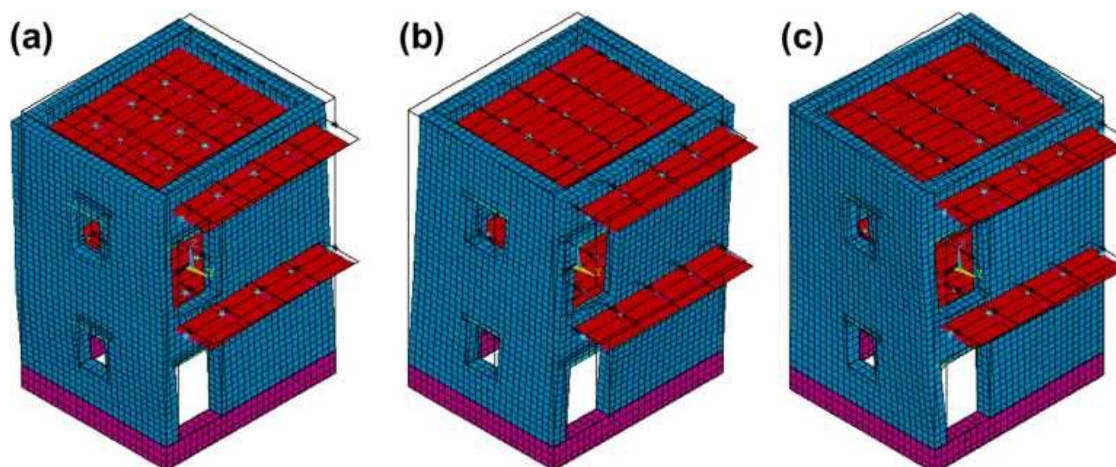
Εικόνα 50: Ισοδύναμη τάσεις

6.3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

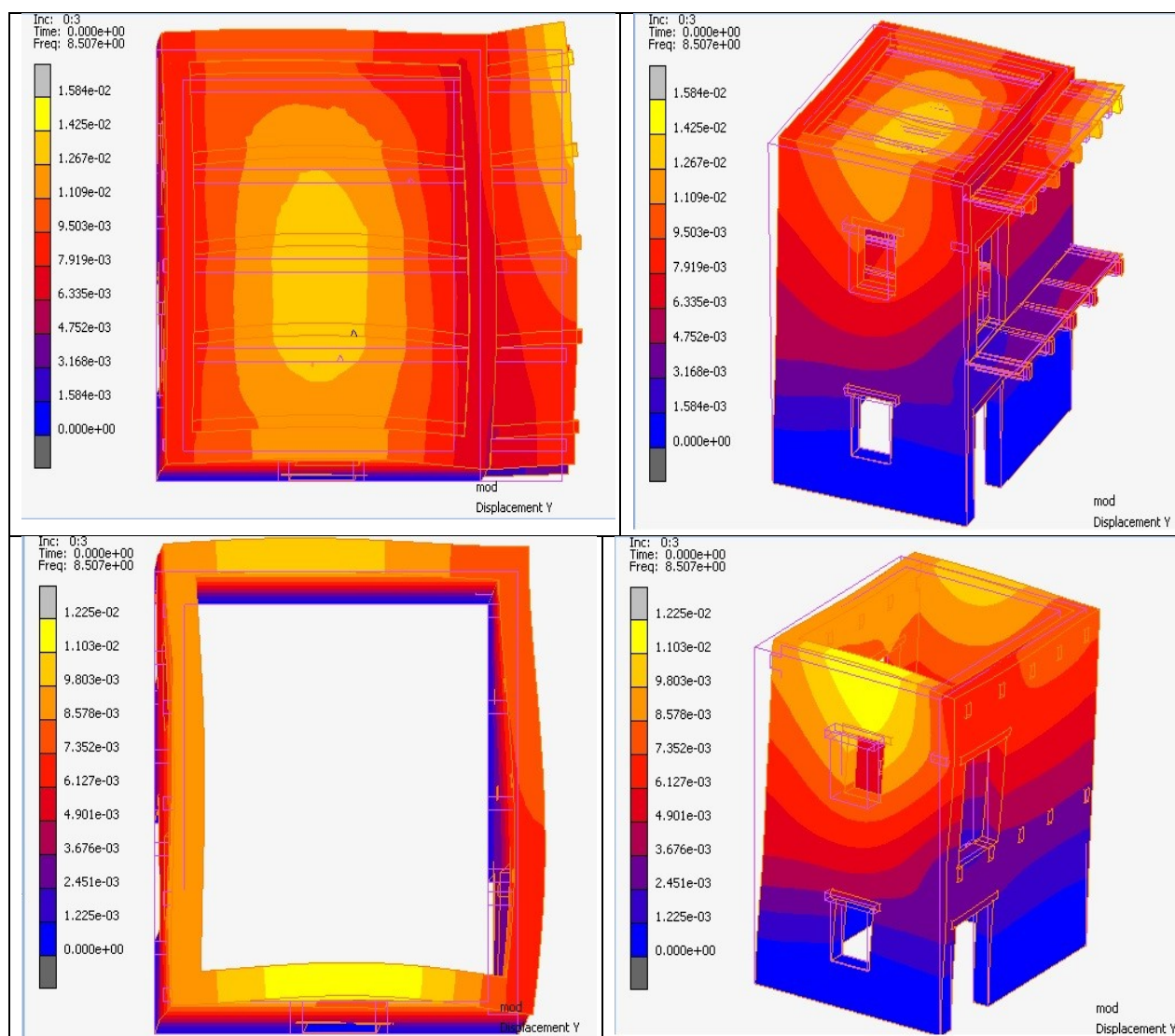
Η επίλυση του φορέα με εφαρμογή απλών κινήσεων ως ελεύθερη ταλάντωση με μηδενική αντίσταση, μας δίνει τις ιδιομορφές και τις ιδιοσυχνότητες του κτιρίου μας. Μια τέτοια συμπεριφορά είναι καθαρά θεωρητική διότι στις πραγματικές κατασκευές τα φαινόμενα εσωτερικής τριβής αποσβένουν τις ταλαντώσεις. Για κάθε ιδιοσυχνότητα κάθε σημείο της κατασκευής εκτελεί μια αρμονική κίνηση γύρω από την θέση ισορροπίας του. Η παραμορφωσιακή κατάσταση κατά την οποία όλα τα σημεία της κατασκευής έχουν το μέγιστο εύρος, χαρακτηρίζει τον τρόπο ταλάντωσης και άρα την αντίστοιχη ιδιοσυχνότητα.

Από τις ιδιομορφές και τις ιδιοσυχνότητες εντοπίζονται οι περιοχές με έντονη ταλάντωση και γίνεται η διερεύνηση της παθολογίας της κατασκευής. Τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων παρέχουν την δυνατότητα εύρεσης αυτών των ιδιομορφών και ιδιοσυχνοτήτων σύμφωνα με τα θεωρητικά δεδομένα και τις παραδοχές που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο.

Κατά την προσομοίωση του κτιρίου μας στόχος μας ήταν οι ιδιομορφές του μοντέλου μας να είναι περίπου ίδιες με το μοντέλο από την εργασία αναφοράς (Betti et al. 2014) και του προγράμματος T.R.E.M.A.[Εικ.54] ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα.

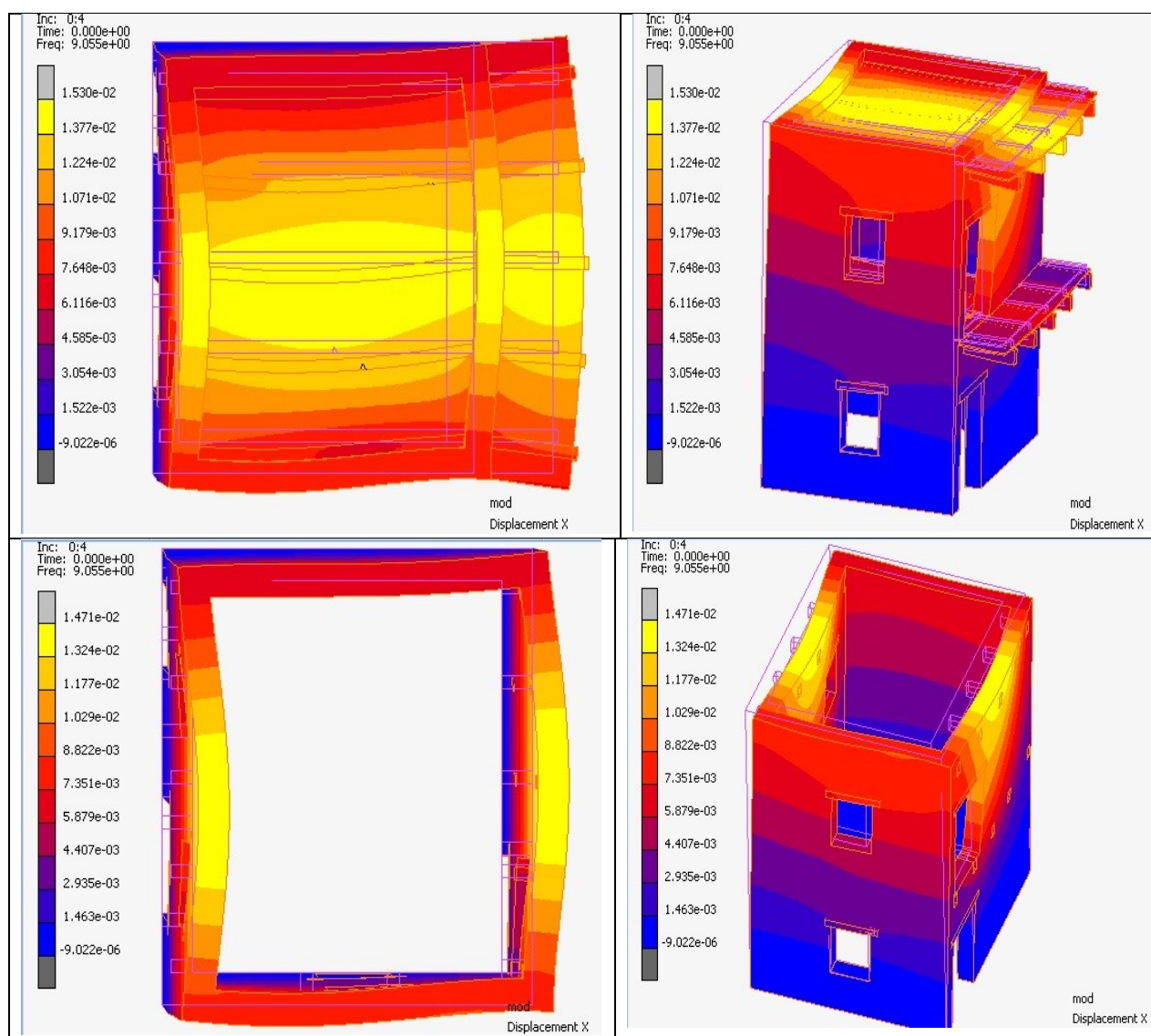


Εικόνα 54: Ιδιομορφικές ταλαντώσεις (a)=9,03Hz, (b)=9,37Hz, (c)=15,32Hz



Εικόνα 55: Μετατόπιση κατά y στην συχνότητα 8,507Hz (displacement)

Στην πρώτη ιδιοσυχνότητα με τιμή 8,507Hz το κτίριο ταλαντώνετε κατά τον άξονα y [Εικ.55], στην δεύτερη με τιμή 9,055Hz ταλαντώνετε κατά τον άξονα x [Εικ.56] και στην τρίτη ιδιοσυχνότητα με τιμή 14,82Hz στρέφεται ως προς τον άξονα z. [Εικ.57]

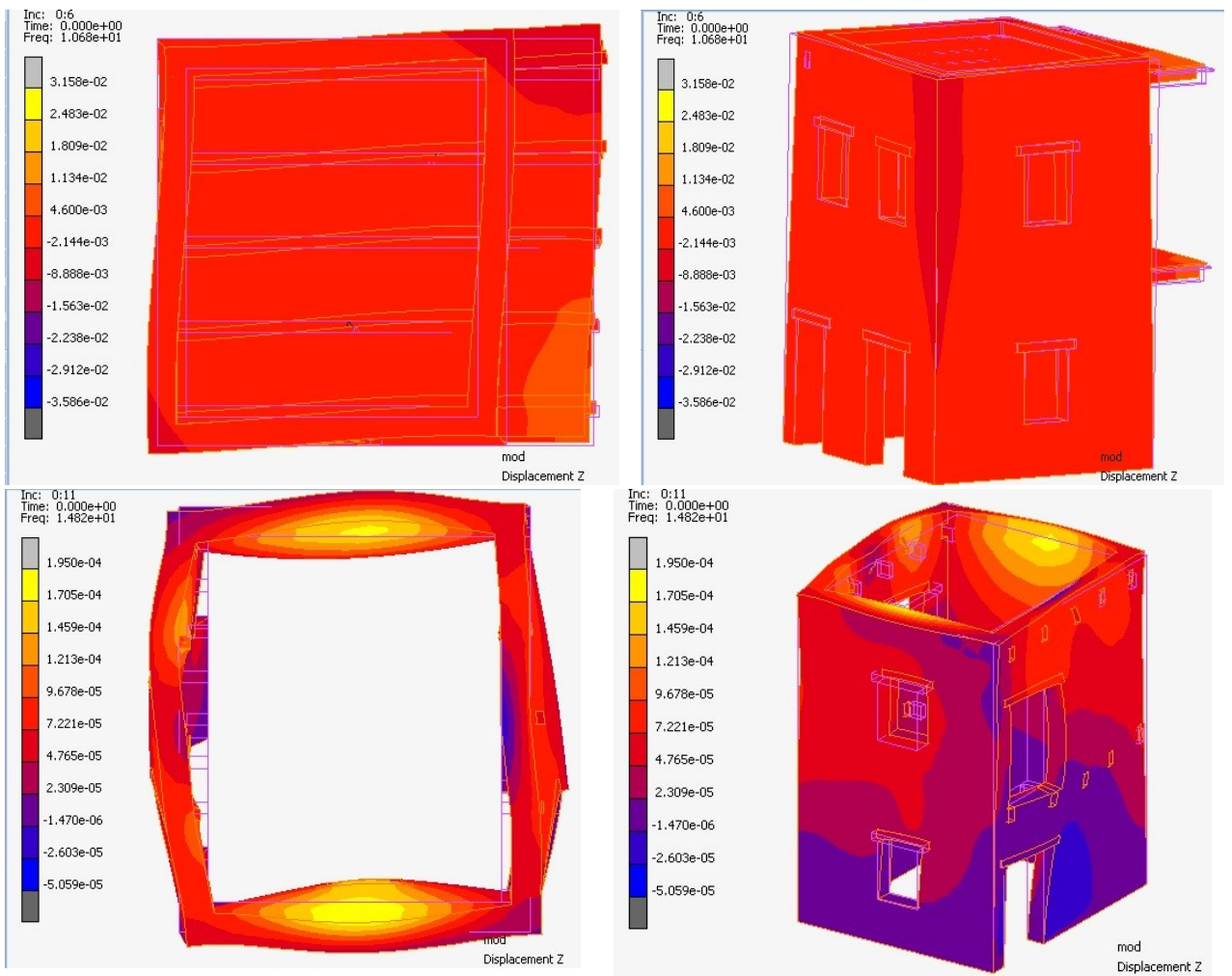


Εικόνα 56: Μετατόπιση κατά x στην συχνότητα 9,055Hz (displacementx)

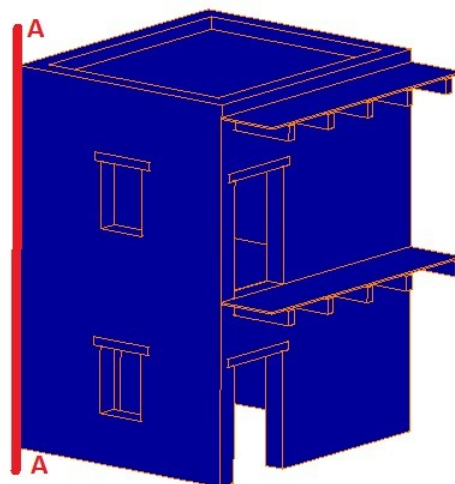
Από τις εικόνες της ιδιομορφικής ανάλυσης προκύπτει ότι έχουμε κάνει μια πανομοιότυπη αποτύπωση μοντέλου με αυτό από την διπλωματική εργασία του προγράμματος T.R.E.M.A.

Συμπερασματικά στις εικόνες 55 – 57, βλέπουμε την παραμόρφωση με απεικόνιση όλων των στοιχείων που το αποτελούν και κυρίως με το ξύλινο δάπεδο για να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα της ταλάντωσης και να ενισχυθεί με την χρήση δεύτερου ξύλινου πετρώματος. Επίσης παρουσιάζονται τα διάγραμμα [Εικ. 59] που δείχνουν την μετατόπιση κατά x-y-z σε συνάρτηση με το μήκος.

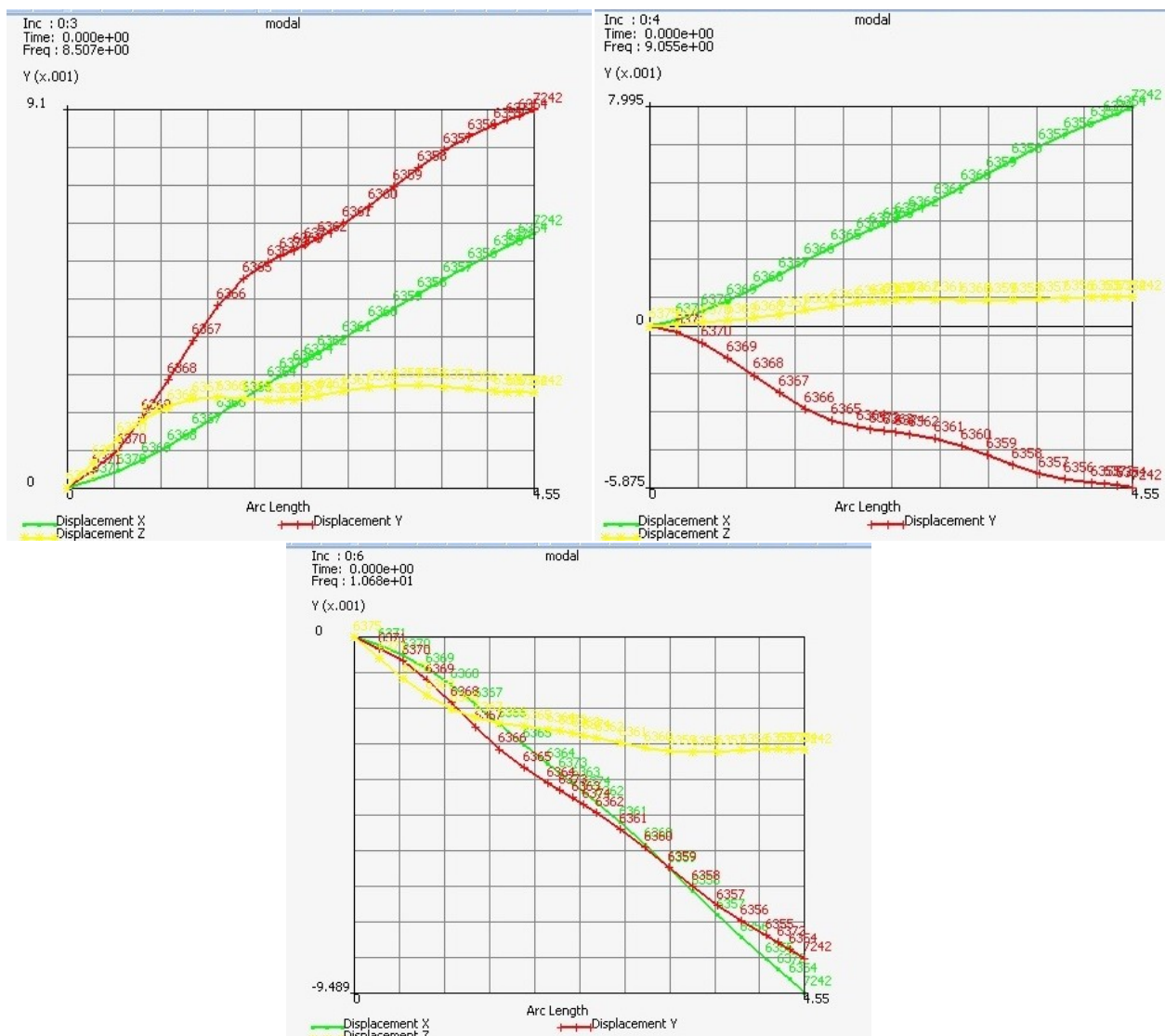
Τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν με την εντολή «Path plot» και στην συνέχεια με «Node path» επιλέγοντας τους κόμβους από την βάση του μοντέλου μας μέχρι το στηθαίο όπως φαίνεται στην [Εικ. 58]



Εικόνα 57: Μετατόπιση κατά z στην συχνότητα 14,82Hz (displacementz)



Εικόνα 58: Τομή Α του αρχικού μοντέλου



Εικόνα 59:Μετατόπιση κατά x-y-z σε συνάρτηση με το μήκος για τους κόμβους βάσης-στηθαίου στην τομή Α του αρχικού μοντέλου

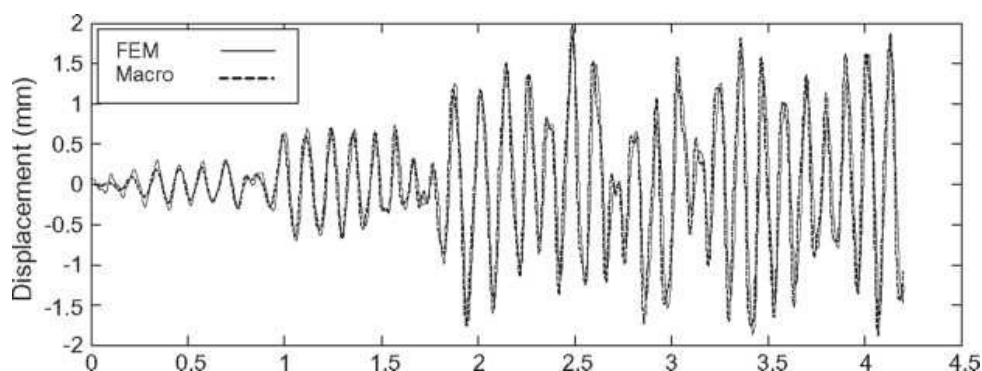
6.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΤΗ ΒΑΣΗ

Στην συνέχεια πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση του κτιρίου με πραγματική χρονοϊστορία. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε την καταγραφή από τον σεισμό της Ιταλίας που έγινε στις 26 Σεπτεμβρίου 1997 με μέγεθος 5,9 Ρίχτερ με επίκεντρο το χωριό Colfiorito. Οι καταστροφές ήταν εκτεταμένες σε κατασκευές και στα ιστορικά μνημεία όπως ο ναός του Αγίου Φραγκίσκου.

Εκτός από την διαφοροποίηση των εντάσεων που διαπιστώθηκε σε επίπεδο μικροκλίματος, διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και μέσα σε οικιστικές μονάδες σε επίπεδο μικροκλίμακας. Ειδικότερα μετά από λεπτομερή καταγραφή των ζημιών στα επιμέρους τμήματα των χωριών διαπιστώθηκε ότι οι διαφορές των εντάσεων έφτασαν τους 2-3 βαθμούς της EMS – 1992. Η ανώτερη παρατήρηση επιβεβαιώθηκε και από τα υφιστάμενα ενόργανα δεδομένα σύμφωνα με τα οποία οι τιμές ενίσχυσης ήταν σημαντικότερες κατά θέσεις μέσα

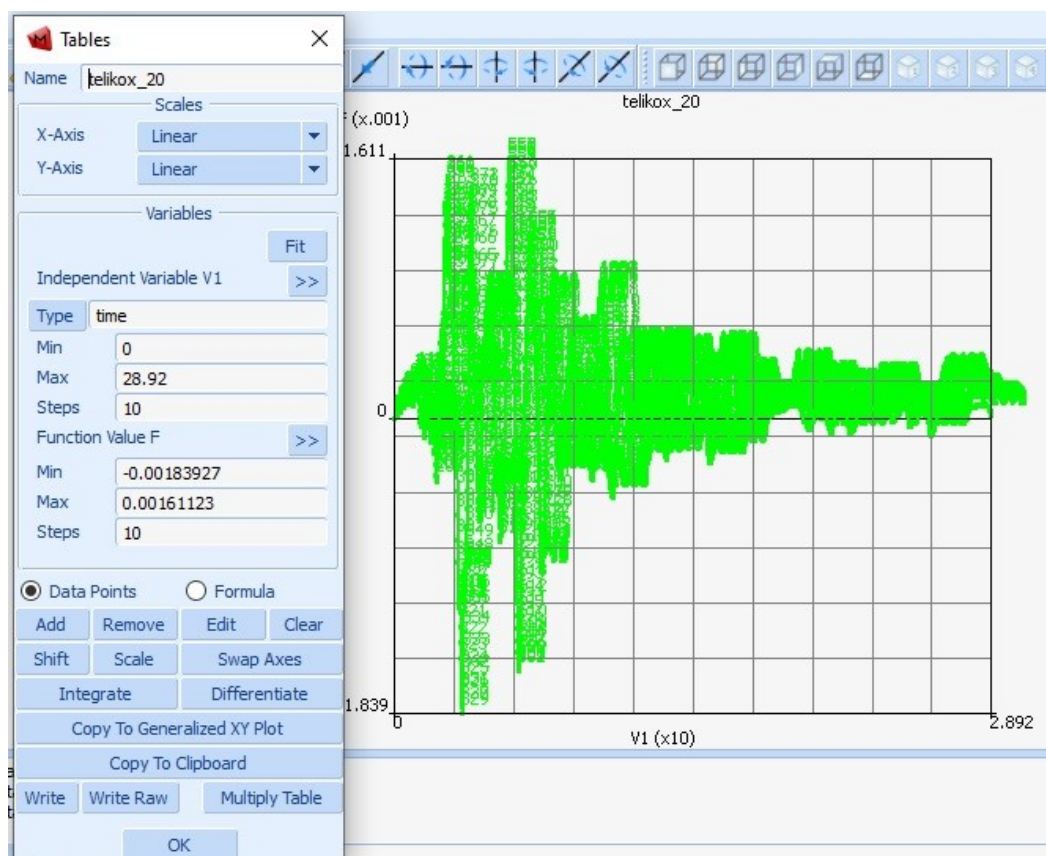
στον οικισμό Cesi. Στις δυο περιοχές όπου εμφανίστηκαν οι διαφοροποιήσεις δημιουργήθηκαν γεωλογικοί σχηματισμοί με τελείως διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (Lekkas, 2000).

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η χρονοϊστορία επιτάχυνσης του σεισμού μας.

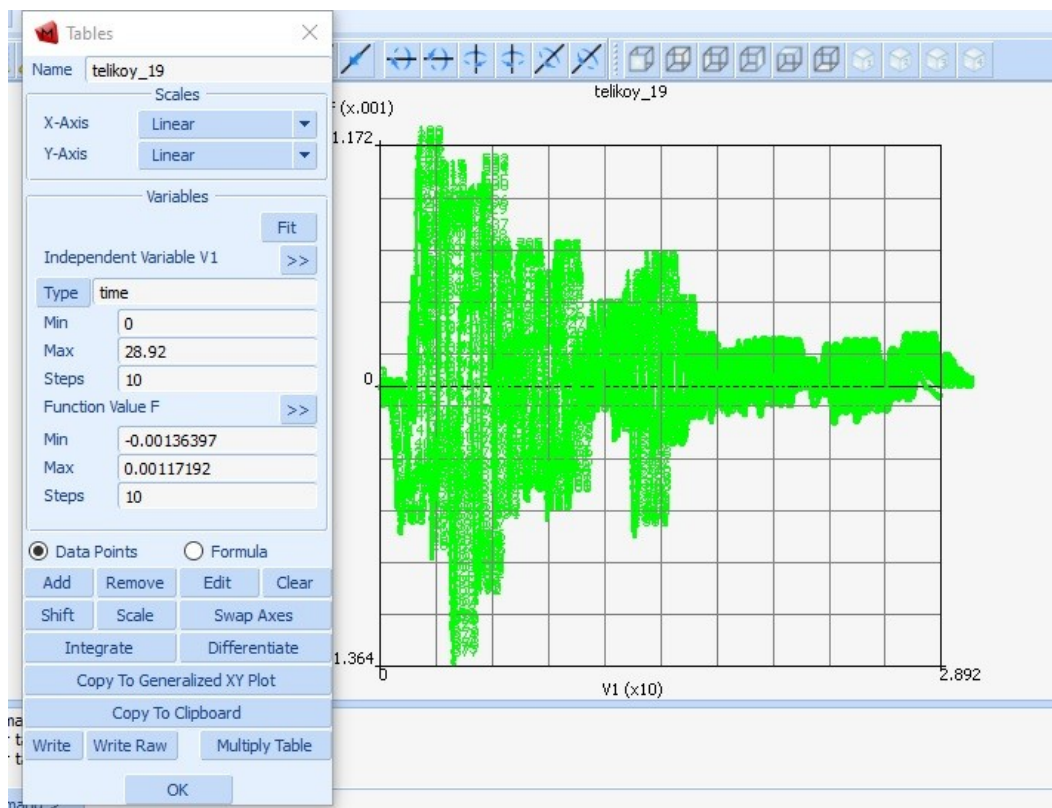


Εικόνα 60: Χρονοϊστορία του σεισμού Colfiorito

Για την επιβολή του σεισμού επιβάλαμε διέγερση της βάσης κατά τους άξονες x και y. Με βάση τα επιταχυνσιογραφήματα που μας χορηγήθηκαν από την ερευνητική ομάδα της Ιταλίας δημιουργήθηκαν δυο αρχεία (.txt) τα οποία εισήχθησαν στο Marc Mentat με την μορφή πίνακα (table). Στην συνέχεια μετά από διπλή ολοκλήρωση στο πρόγραμμα έγινε η μετατροπή των επιταχυνσιογραφημάτων σε χρονοιστορίες μετακίνησης (σε m) [Εικ.61, 62].

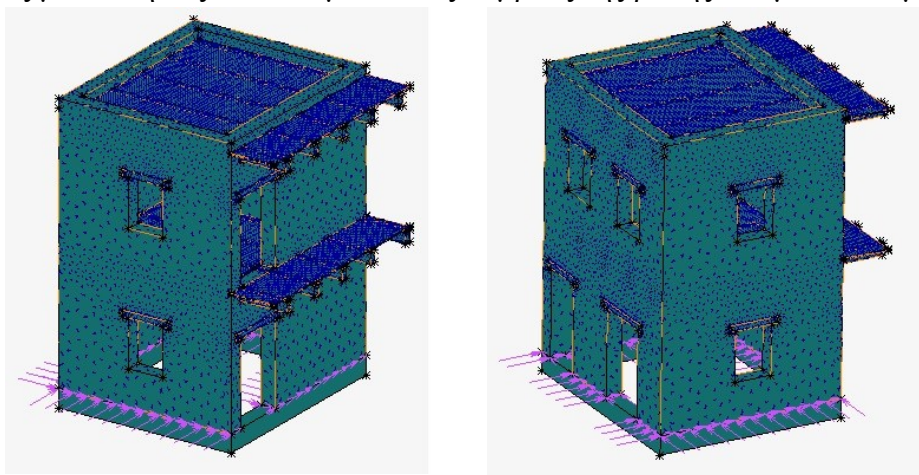


Εικόνα 61: Χρονοϊστορία μετατόπισης του σεισμού Colfiorito κατά τον άξονα x



Εικόνα 62: Χρονοϊστορία μετατόπισης του σεισμού Colfiorito κατά τον άξονα y

Στην συνέχεια εισήχθησαν οι συνοριακές συνθήκες του σεισμού (Boundary Condition) θεωρώντας τις μετακινήσεις του σεισμού στους κόμβους της βάσης του μοντέλου μας.

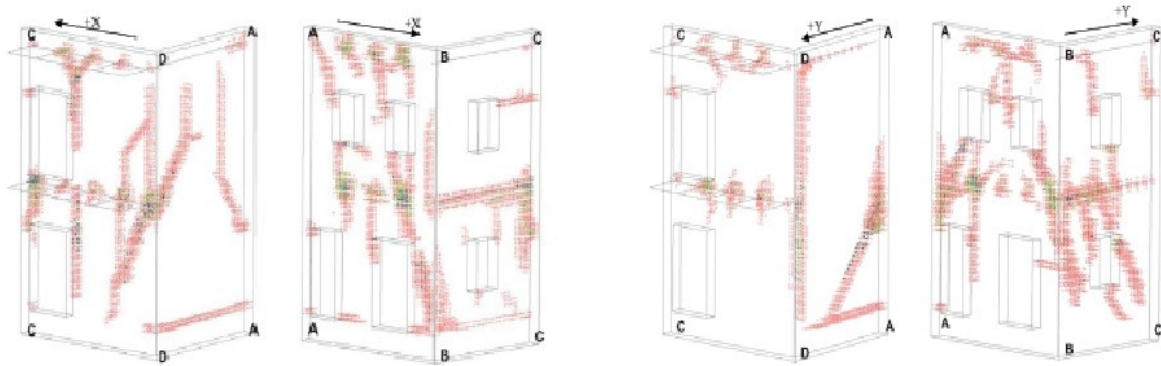


Εικόνα 63: Μοντέλο με την σεισμική φόρτιση στους κόμβους βάσης

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε μια περίπτωση φόρτισης (Loadcase) που χρησιμοποιήθηκε στην δυναμική ανάλυση και περιείχε τις συνοριακές συνθήκες (Boundary Conditions):

- Πάκτωση βάσης ως αρχική συνθήκη στήριξης (Fixed Displacement)
- Φορτίο βαρύτητας (Gravity Load)
- Επιφανειακή φόρτιση στους ορόφους (Face Load)
- Την επίδραση του σεισμού στους κόμβους της βάσης και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Σύμφωνα με την ερευνητική εργασία του προγράμματος T.R.E.M.A. της Ιταλίας προκύπτουν ρωγμές και αστοχίες στο ύψος των ανοιγμάτων και στο ύψος των ξύλινων δαπέδων. [Εικ.63,64] Γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκε να ενισχυθεί η διαφραγματική λειτουργία με διπλό ξύλινο πέτσωμα κάθετο στο είδη υπάρχων πέτσωμα.



Εικόνα 64: Αστοχίες κατά την επίδραση του σεισμού στον άξονα x και στον άξονα y

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7.1 ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

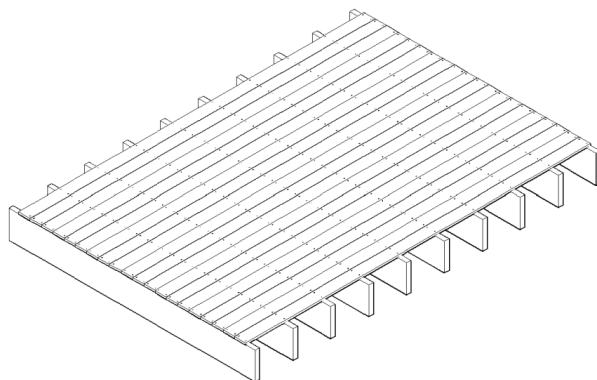
Μετά από την επίλυση του κτιρίου με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος MarcMentat και την παρατήρηση των αποτελεσμάτων [Εικ.49, 50] προκύπτει η ανάγκη ενίσχυσης της διαφραγματικής λειτουργίας των ξύλινων πατωμάτων.

7.2 ΤΥΠΟΙ ΞΥΛΙΝΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η δυσκαμψία των ξύλινων διαφραγμάτων που συναντάται στα κτίρια διαφέρει ανάλογα με το είδος του πετσώματος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι διαφραγμάτων.

ΚΑΘΕΤΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΜΙΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

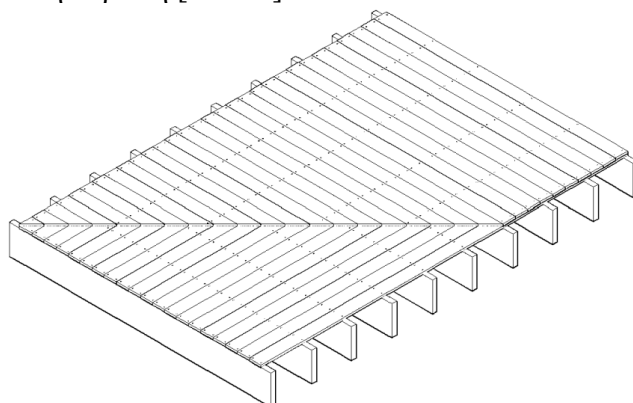
Το σανίδωμα καρφώνεται κάθετα στις ξύλινες δοκούς. Όταν φορτίζεται το διάφραγμα κάθετα στη διεύθυνση των σανίδων, τότε τις διατμητικές δυνάμεις τις παραλαμβάνουν τα ζεύγη των ήλων ενώ όταν φορτίζεται παράλληλα στη διεύθυνση των σανίδων, τότε οι διατμητικές δυνάμεις μεταφέρονται μέσω των ήλων στις δοκούς.[Εικ.65]



Εικόνα 65: Κάθετο σανίδωμα μίας στρώσης

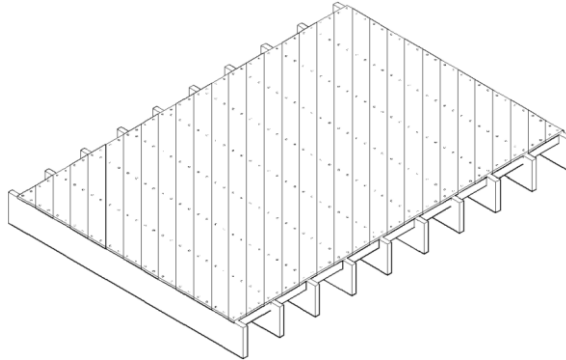
ΚΑΘΕΤΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΔΥΟ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

Η πρώτη στρώση σανιδώματος καρφώνεται κάθετα στις δοκούς και η δεύτερη καρφώνεται είτε κάθετα είτε παράλληλα στην πρώτη.[Εικ.66]



ΔΙΑΓΩΝΙΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΜΙΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ

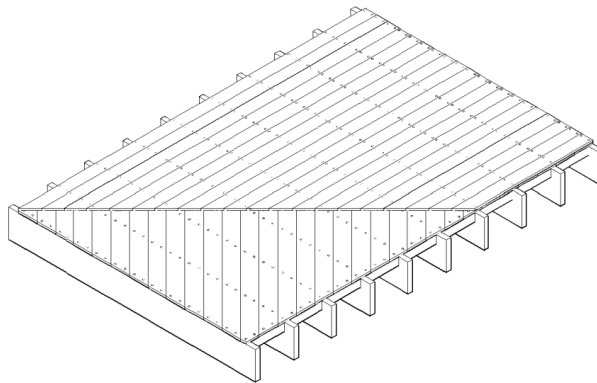
Το σανίδωμα καρφώνεται υπό γωνία περίπου 45° στις δοκούς. Η ικανότητα διάτμησης του διαφράγματος εξαρτάται από το μέγεθος και το πλήθος των ήλων σε κάθε σανίδα. [Εικ.67]



Εικόνα 67: Διαγώνιο σανίδωμα μίας στρώσης

ΔΙΑΓΩΝΙΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΜΙΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΚΑΘΕΤΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΑΠΟ ΠΑΝΩ

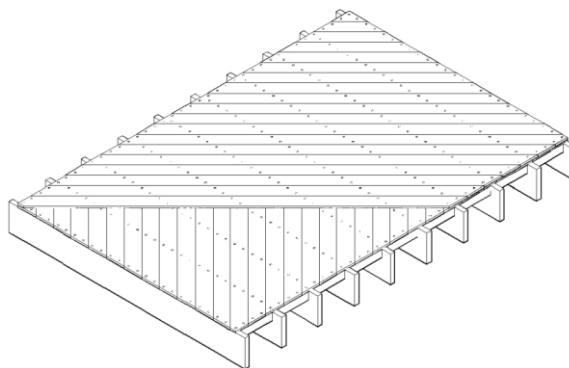
Η πρώτη στρώση σανιδώματος καρφώνεται υπό γωνία 45° στις δοκούς και η δεύτερη στρώση καρφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζει γωνία 90° με τις δοκούς. [Εικ.68]



Εικόνα 68: Διαγώνιο σανίδωμα μίας στρώσης με κάθετο σανίδωμα από πάνω

ΔΙΑΓΩΝΙΟ ΣΑΝΙΔΩΜΑ ΔΥΟ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

Η πρώτη στρώση καρφώνεται υπό γωνία 45° στις δοκούς και το σανίδωμα της δεύτερης στρώσης καρφώνεται έτσι ώστε να σχηματίζει γωνία 90° με το πρώτο σανίδωμα. [Εικ.69]



Εικόνα 69: Διαγώνιο σανίδωμα δύο στρώσεων

7.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Στο κτίριο της μελέτης μας για την ενίσχυση της διαφραγματικής λειτουργίας επιλέχθηκε η προσθήκη κάθετου κάθετου διπλού πετσώματος. Για την επίλυση δημιουργήθηκε σε 3D το δεύτερο πέτσωμα το οποίο στην συνέχεια εισήχθη στο υπάρχον μοντέλο στο MarcMentat [Εικ. 71]

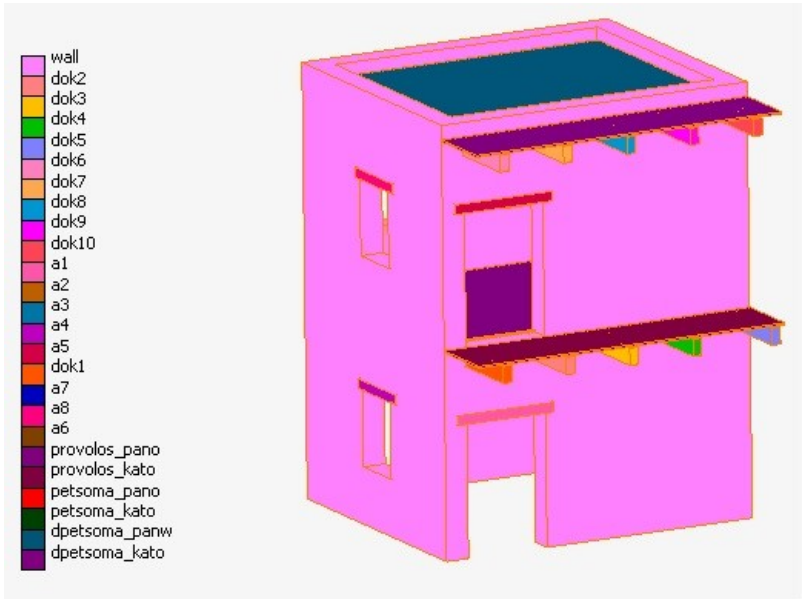
Αντίστοιχα όπως και πριν το επιπλέον πέτσωμα διακριτοποιήθηκε και δημιουργήθηκε ένα καινούργιο «Contact Body» το οποίο συνδέθηκε με τις κατάλληλες συνθήκες σύνδεσης όπως είναι η πλήρης σύνδεση με «Glued» με το υπόλοιπα. [Εικ.72] Για τα υλικά προσομοίωσης του ξύλου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από εργασία των Ε. Βιντζηλαίου, Ε. Βουγιούκα, Ε. Μπαδογιάννη. [Πιν.6] [Εικ. 70]

Material Properties	
Name	bpestoma
Type	standard
Region Type	Data Method
Finite Stiffness	Entered Values
General Properties	
Mass Density	700
Design Sensitivity/Optimization	
Other Properties	
Show Properties	Structural
Type	Elastic-Plastic Orthotropic
Shell/Plane Stress Elements	
<input checked="" type="checkbox"/> Update Thickness	
Young's Moduli	
E1	7.5e+08
E2	1.1e+10
E3	1e+10
Poisson's Ratios	
Nu12	0.2
Nu23	0.2
Nu31	0.2
Shear Moduli	
G12	7e+08
G23	7e+08
G31	7e+08
Viscoelasticity	
Plasticity	
Creep	
Damage Effects	
Thermal Expansion	
Cure Shrinkage	
Damping	
Forming Limit	

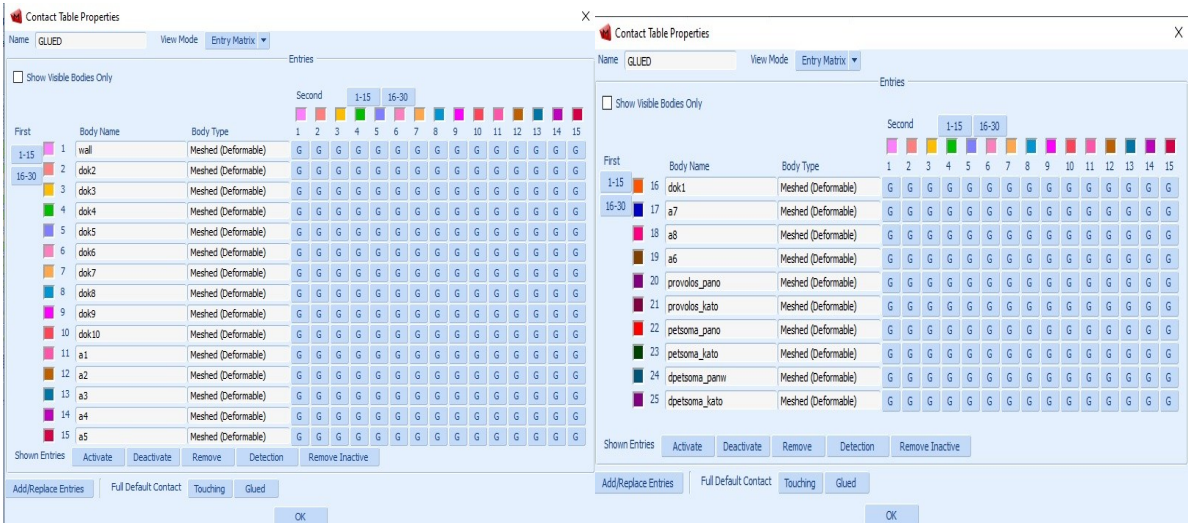
Εικόνα 70: Δημιουργία κάθετου διπλού πετσώματος

Πίνακας 6: Υλικά προσομοίωσης «Ε. Βιντζηλαίου, Ε. Βουγιούκας, Ε. Μπαδογιάννης»

Υλικό	Ξύλο
Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	700
Μέτρο Ελαστικότητας κάθετο στις ίνες E (MPa)	11000
Μέτρο Ελαστικότητας παράλληλο στις ίνες E (MPa)	750



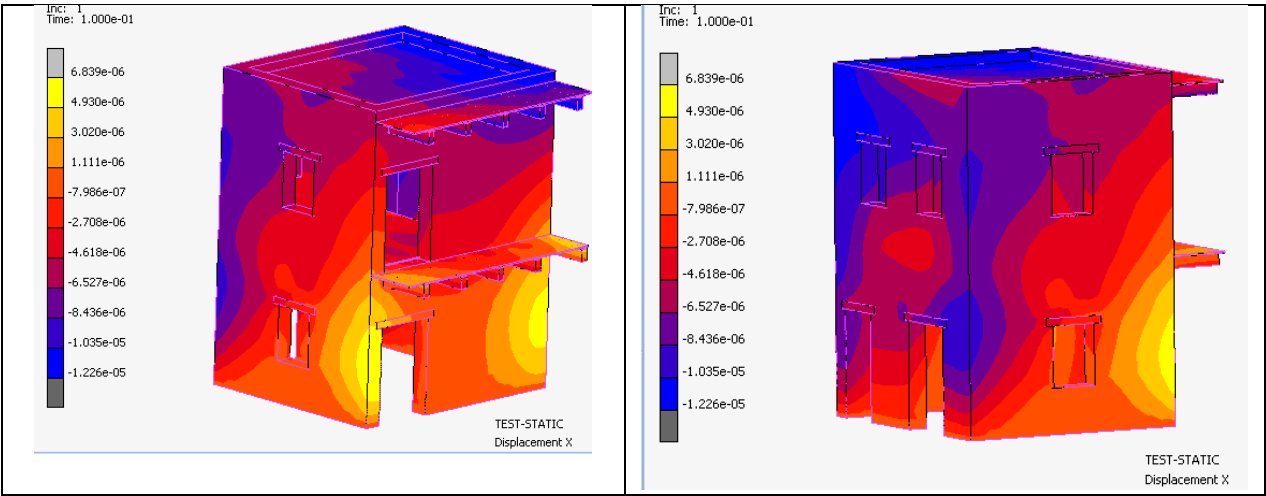
Εικόνα 71: Μοντέλο προσομοιώσεις στο MarcMentat



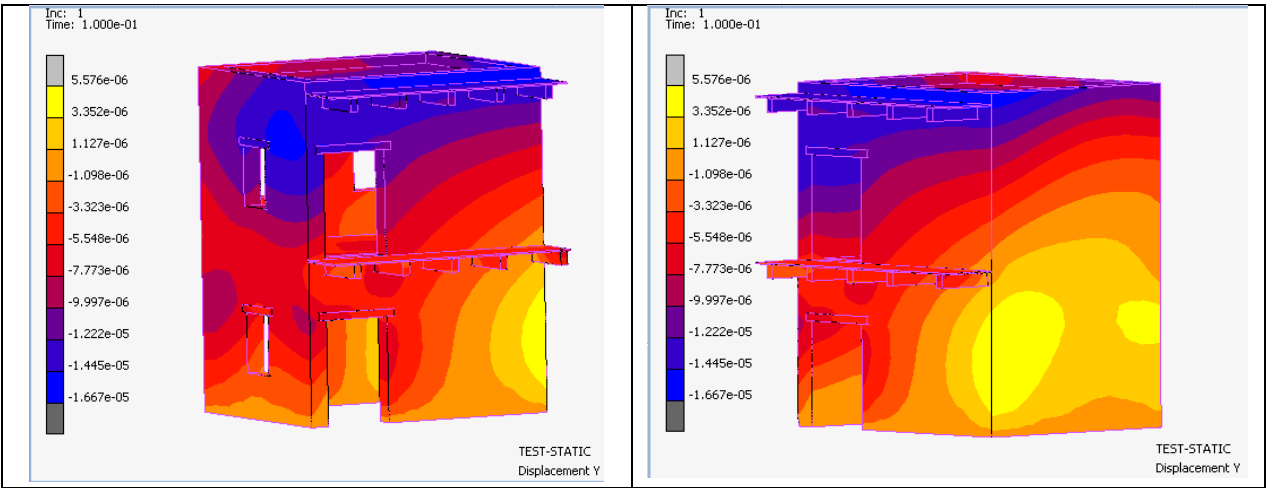
Εικόνα 72: Δημιουργία του Contact Table και η σύνδεση με Glued

7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως παρατηρούμε στις εικόνες που ακολουθούν [Εικ.73, 74] το κτίριο της μελέτης μας έχει διαφορετικές μετατοπίσεις στον άξονα x και y. Αυτό είναι λογικό διότι το δεύτερο πέτσωμα που προσθέσαμε έκανε το κτίριο μας πιο δύσκαμπτο. Επιπλέον βλέπουμε ότι μέγιστες τιμές των μετατοπίσεων κατά τον άξονα x κυμαίνονται $4,93 \cdot 10^{-6} \text{m}$ ενώ στον άξονα y $3,35 \cdot 10^{-6} \text{m}$. Οι συγκεκριμένες τιμές παρατηρούνται στην γωνία του κτιρίου άρα καταλαβαίνουμε ότι εκεί έχουμε μεγάλη συγκέντρωση κύριων τάσεων, επομένως είναι μια ασθενής περιοχή της τοιχοποιίας στον εφελκυσμό.



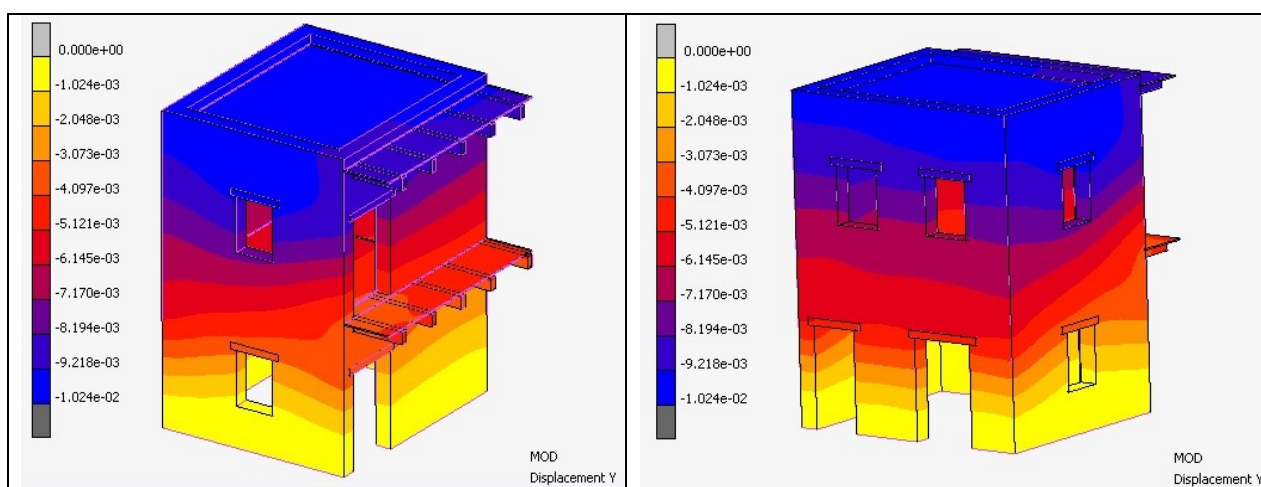
Εικόνα 73: Μετατόπιση κατά x ενισχυμένου μοντέλου



Εικόνα 74: Μετατόπιση κατά y ενισχυμένου μοντέλου

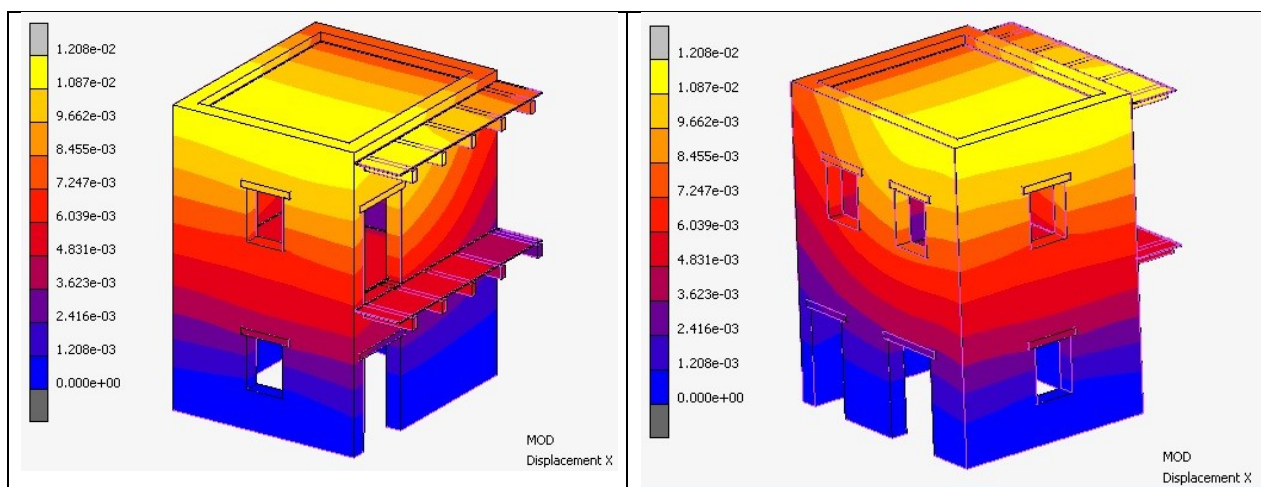
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο προσομοίωσης ταλαντώνεται πρώτα στον άξονα y όπως είχε παρατηρηθεί και στο μοντέλο πριν την ενίσχυση. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα η ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης είναι 8,843 Hz ενώ πριν ήταν 8,507Hz. [Εικ.75]



Εικόνα 75: Μετατόπιση κατά y ενισχυμένου μοντέλου σε συχνότητα 8,843Hz

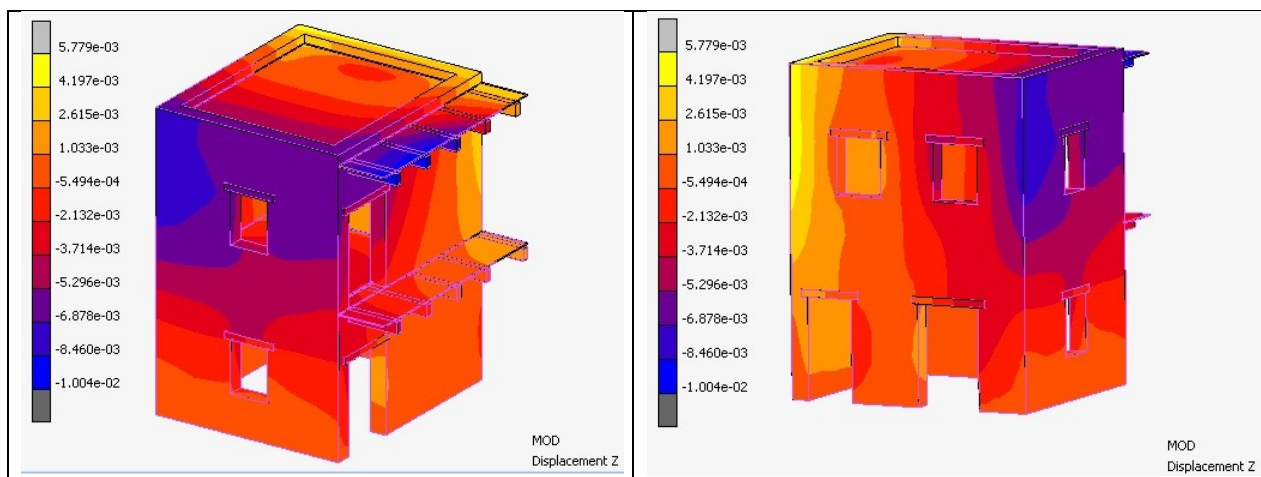
Στην συνέχεια ταλαντώνεται στον άξονα x με ιδιοσυχνότητα 10,012 Hz σε συγκρίσει με πριν την ενίσχυση που ήταν 9,055Hz. [Εικ.76]



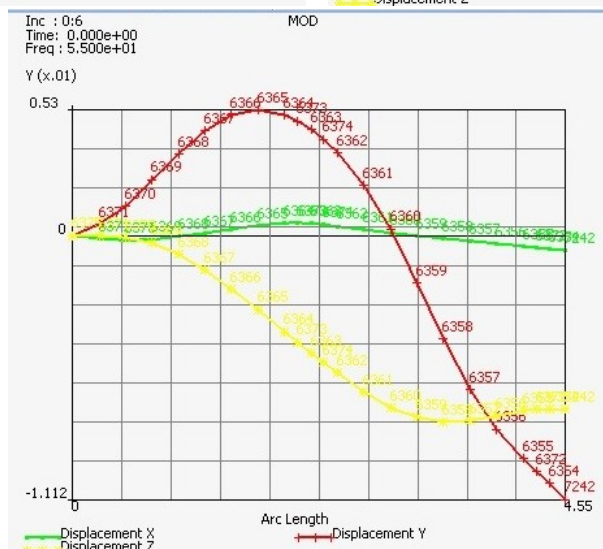
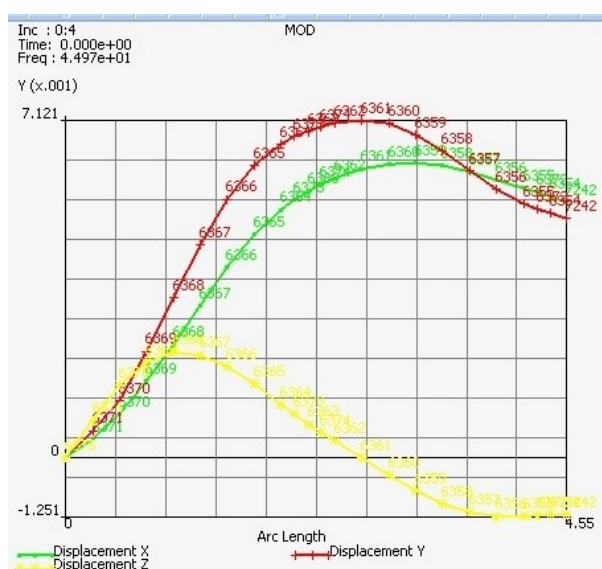
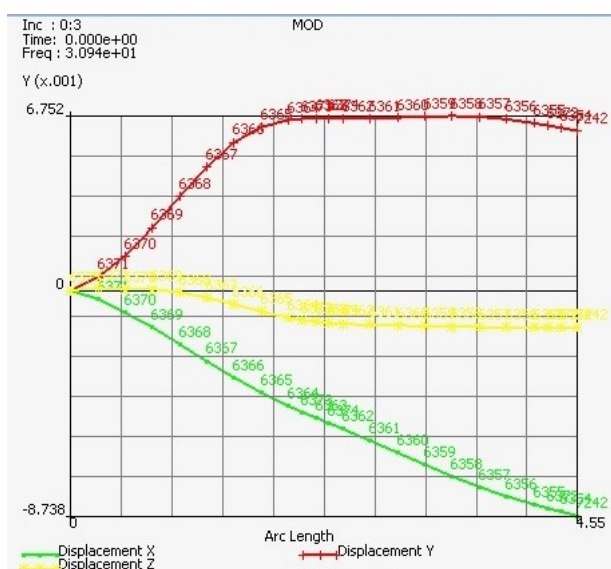
Εικόνα 76: Μετατόπιση κατά x ενισχυμένου μοντέλου σε συχνότητα 10,012Hz

Τελειώνοντας στον άξονα z ταλαντώνεται σε συχνότητα 15,35Hz ενώ στην προηγούμενη επίλυση ήταν στα 14,82Hz. [Εικ.77]

Στην εικόνα 78 δίνονται οι μετατοπίσεις κατά x-y-z σε συνάρτηση με το μήκος για τους κόμβους βάσης-στηθαίου στην τομή A [Εικ. 58] του ενισχυμένου μοντέλου.



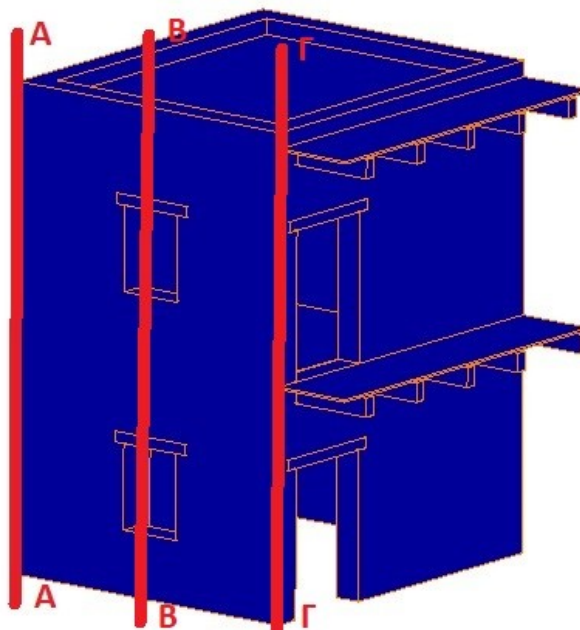
Εικόνα 77: Μετατόπιση κατά z ενισχυμένου μοντέλου σε συχνότητα 15,35Hz



Εικόνα 78: Μετατόπιση κατά x-y-z σε συνάρτηση με το μήκος για τους κόμβους βάσης-στηθαίου στην τομή A του ενισχυμένου μοντέλου

7.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αποτελέσματα από την δυναμική ανάλυση του κτιρίου με πραγματική χρονοϊστορία σεισμικής μετακίνησης. Για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα θα εξεταστούν τρεις κατακόρυφες τομές όπως φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί [Εικ. 79]. Από τις τομές επιλέγονται να παρουσιαστούν οι μετατοπίσεις στην βάση και στο στηθαίο κατά την διάρκεια του σεισμού. Αυτές παρουσιάζονται σε γραφήματα στα οποία φαίνεται η μετατόπιση για κάθε χρονικό βήμα για τον κόμβο της βάσης και τον κόμβο του στηθαίου στις τομές Α-Β-Γ ενώ για σύγκριση στα ίδια γραφήματα έχουμε και την μετατόπιση για το αρχικό μοντέλο και για το ενισχυμένο.



Εικόνα 79: Τομές Α,Β,Γ για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

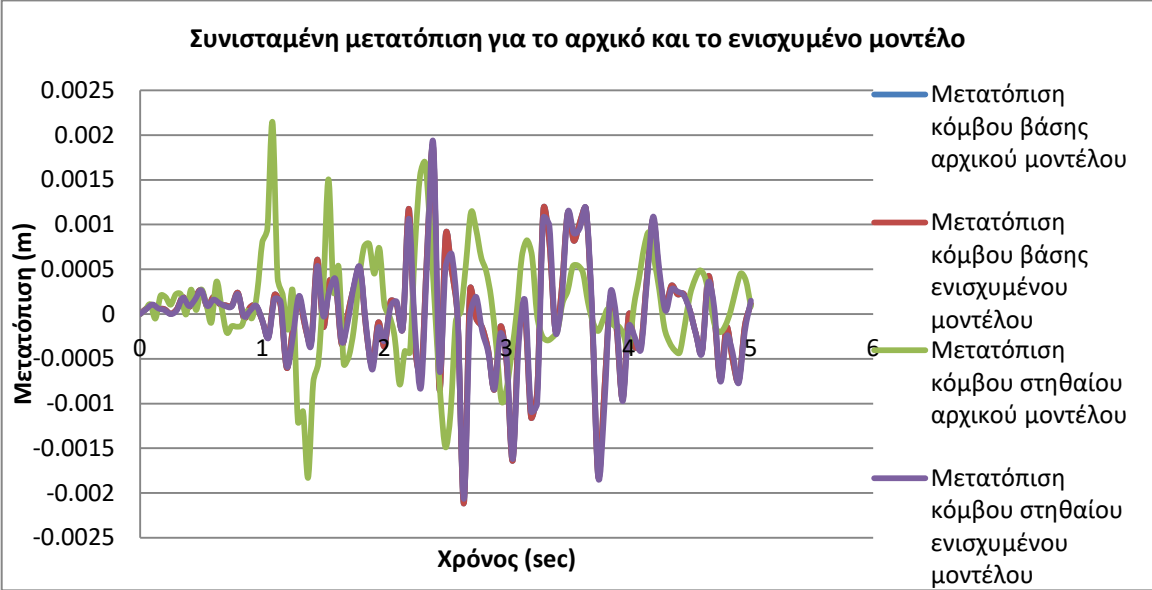
Όπως παρατηρούμε από τα γραφήματα των Εικόνων 80 έως 82 η μετατόπιση βάσης ταυτίζεται και στο αρχικό και στο ενισχυμένο μοντέλο (στοιχείο που επαληθεύει ότι οι δύο αναλύσεις αφορούν την ίδια σεισμική διέγερση και με τα ίδια βήματα ανάλυσης). Οι μέγιστες μετατοπίσεις για τον κόμβο βάσης είναι γύρω στο 1,5 χιλιοστό και εμφανίζεται στα 3,5 δευτερόλεπτα, και για τον κόμβο του στηθαίου είναι για το αρχικό μοντέλο γύρω στα 2 χιλιοστά και εμφανίζεται στο 1,5 δευτερόλεπτο και για το ενισχυμένο στα 2 χιλιοστά και εμφανίζεται μετά τα 2 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 80: Συνισταμένη μετατόπιση για το αρχικό και το ενισχυμένο μοντέλο (για την Τομή Α)



Εικόνα 81: Συνισταμένη μετατόπιση για το αρχικό και το ενισχυμένο μοντέλο (για την Τομή Β)



Εικόνα 82: Συνισταμένη μετατόπιση για το αρχικό και το ενισχυμένο μοντέλο (για την Τομή Γ)

	Τομή Α		Τομή Β		Τομή Γ	
	Μέγιστη μετατόπιση (m)	Χρονικό βήμα (sec)	Μέγιστη μετατόπιση (m)	Χρονικό βήμα (sec)	Μέγιστη μετατόπιση (m)	Χρονικό βήμα (sec)
Κόμβος βάσης αρχικού μοντέλου	0,001848	2,4	0,001848	2,4	0,001848	2,4
Κόμβος στηθαίου αρχικού μοντέλου	0,001914	2,4	0,002145	2,6	0,002143	2,6
Κόμβος βάσης ενισχυμένου μοντέλου	0,001848	2,4	0,001848	2,4	0,001848	2,4
Κόμβος στηθαίου ενισχυμένου μοντέλου	0,001914	2,4	0,001913	2,4	0,001914	2,4

Πίνακας 7: Συνοπτικά αποτελέσματα μετατοπίσεων

Στον πίνακα 7 με τα συνοπτικά αποτελέσματα των μετατοπίσεων παρατηρούμε όπως ήταν αναμενόμενο ότι η μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στο αρχικό μοντέλο στον κόμβο του στηθαίου στην τομή Β. Επιπλέον αυτό που μένει κοινό στην προσομοίωση είναι το χρονικό βήμα το οποίο είναι στα 2,4 δευτερόλεπτα.

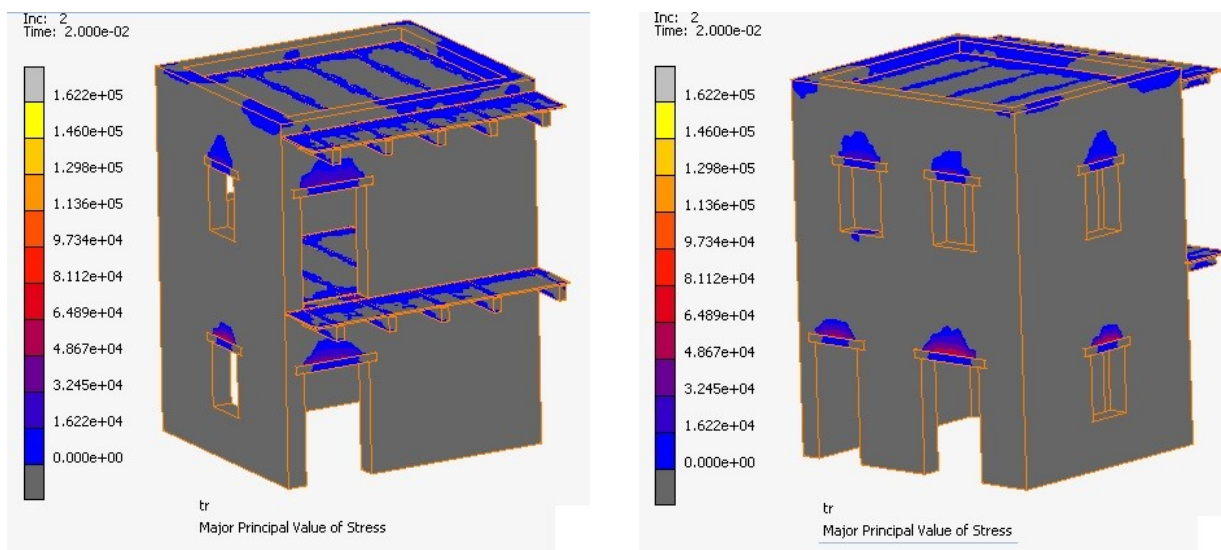
7.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗΣ

Από την ανάλυση προκύπτουν οι αναπτυσσόμενες τάσεις και εδώ παρουσιάζονται οι περιοχές που εμφανίζεται εφελκυσμός και θλίψη στα μοντέλα που αναλύθηκαν (χωρίς και με ενίσχυση).

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ρυθμίσεις χρωματικής κλίμακας και για το αρχικό αλλά και για το ενισχυμένο μοντέλο. Πιο αναλυτικά ο παράγοντας κλιμάκωσης παραμόρφωσης του μοντέλου δόθηκε στο 450 (deformation scaling factor). Στις εικόνες που σας παρουσιάζω φαίνεται το αρχικό μοντέλο με χρωματικές διαβαθμίσεις. Για να απεικονιστούν οι περιοχές που εμφανίζουν εφελκυσμό και θλίψη εξετάζονται οι μέγιστες κύριες τάσεις «major principal value of stress». Ο χρόνος προσομοίωσης είναι τα 5 second και το χρονικό βήμα είναι 0,01 second. Παρατηρώντας την προσομοίωση εντόπισα την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της έντασης. Απομονώνοντας τις θετικές τιμές εμφανίζονται οι εφελκυστικές δυνάμεις και απομονώνοντας τις αρνητικές τιμές εμφανίζονται οι θλιπτικές δυνάμεις.

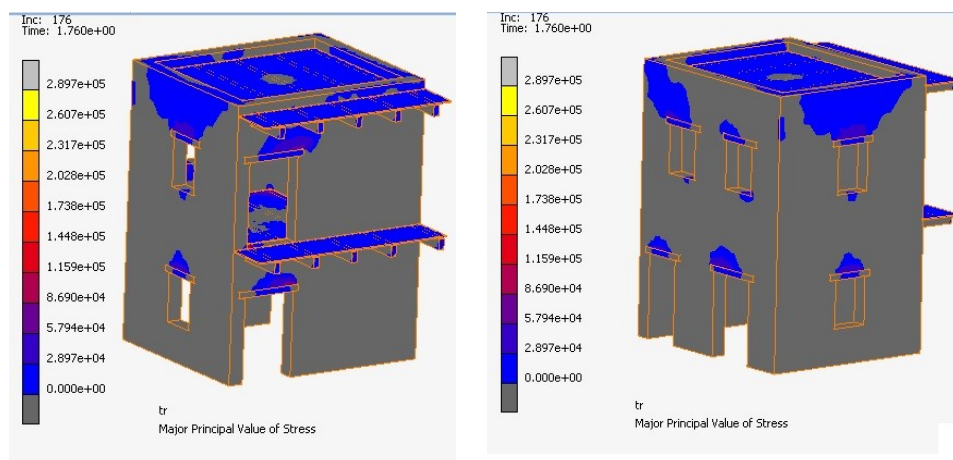
Αρχικά δίνονται οι μέγιστες εφελκυστικές [Εικ. 83-85] και οι μέγιστες θλιπτικές τάσεις [Εικ. 86-88] σε διάφορες χρονικές στιγμές για το μοντέλο χωρίς ενίσχυση.

ΤΑΣΕΙΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



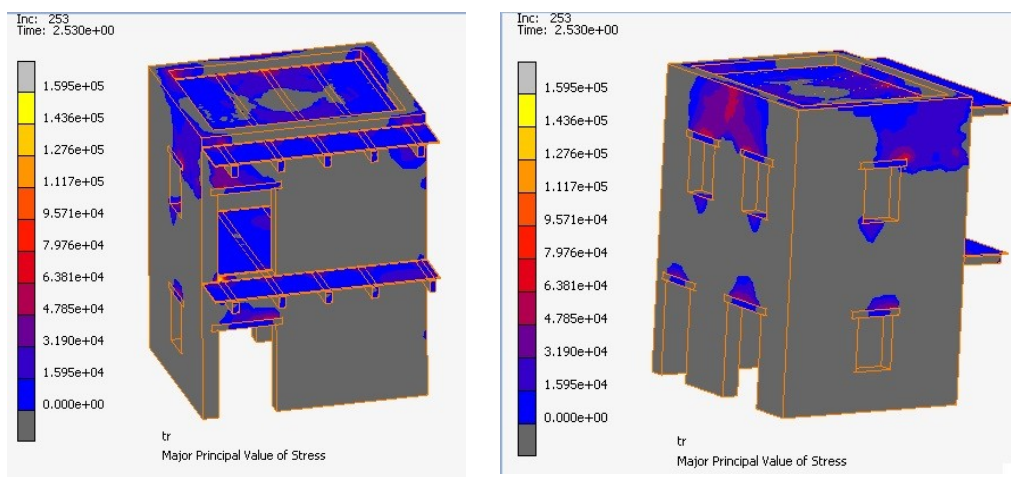
Εικόνα 83: Αποτελέσματα εφελκυσμού για χρονικό βήμα 0,02sec..

Για το χρονικό βήμα των 0,02sec [Εικ. 83] οι περιοχές με εφελκυσμό δίνονται με την χρωματική κλίμακα και εντοπίζονται οι περιοχές με έντονο εφελκυσμό στο σθηαίο του κτιρίου, στα ξύλινα δοκάρια και το πιο έντονο φαινόμενο στα ανώφλια των παραθύρων, όπου εμφανίζει μέγεθος της τάξεως των 162.200 N/m^2 . Σε αυτές τις περιοχές περιμέναμε να αναπτύσσεται εφελκυσμός διότι έχουμε διαφορά ιδιοτήτων στο ξύλο και την τοιχοποιία. Με τα ξύλα ως πιο ελαστικά στοιχεία της κατασκευής να συγκεντρώνουν γύρω τους τις μεγαλύτερες θετικές τάσεις.



Εικόνα 84: Αποτελέσματα εφελκυσμού για χρονικό βήμα 1,76sec..

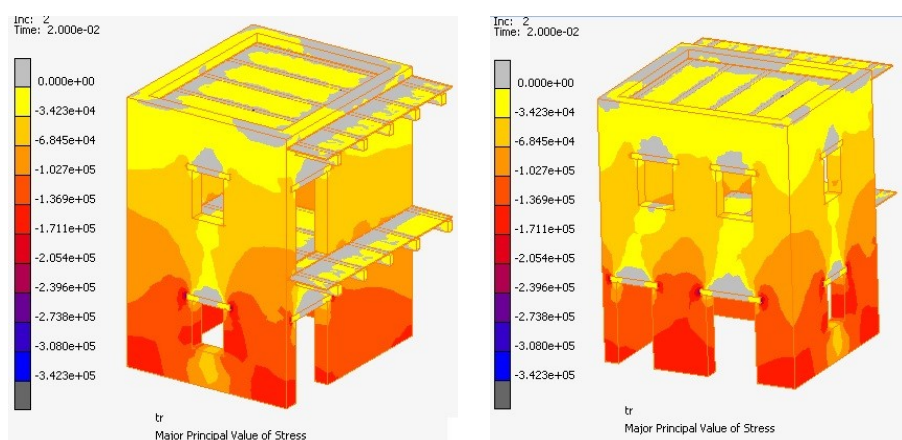
Τον ίδιο μηχανισμό συμπεριφοράς έχουμε και στο χρονικό βήμα 1,76 sec. [Εικ. 84], όμως σε αυτή την περίπτωση οι τιμές του εφελκυσμού έχουν αυξηθεί με μέγιστη τιμή στα 260.700 N/m^2 . Η μέγιστη τιμή έχει εντοπιστεί στο πρέκι της πόρτας του α' ορόφου.



Εικόνα 85: Αποτελέσματα εφελκυσμού για χρονικό βήμα 2,53sec..

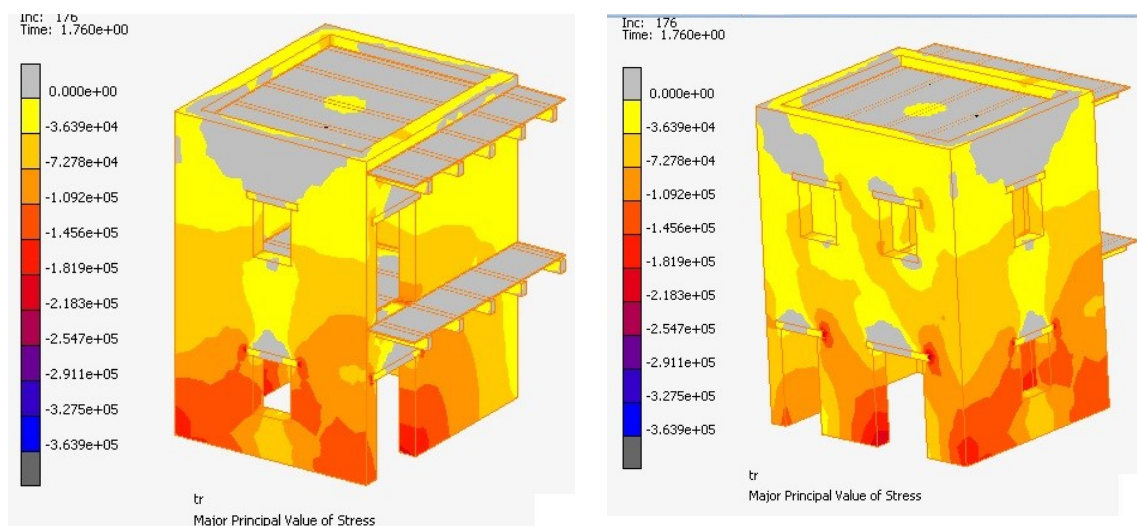
Στο χρονικό βήμα 2,53sec [Εικ. 85], οι τιμές του εφελκυσμού είναι μειωμένες με μέγιστη τιμή 159.500 N/m^2 . Η θέση της πιο έντονης τιμής του εφελκυσμού παρατηρείτε στα ανώφλια των παραθύρων και στον πρόβολο του α' ορόφου.

ΤΑΣΕΙΣ ΘΛΙΨΗΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



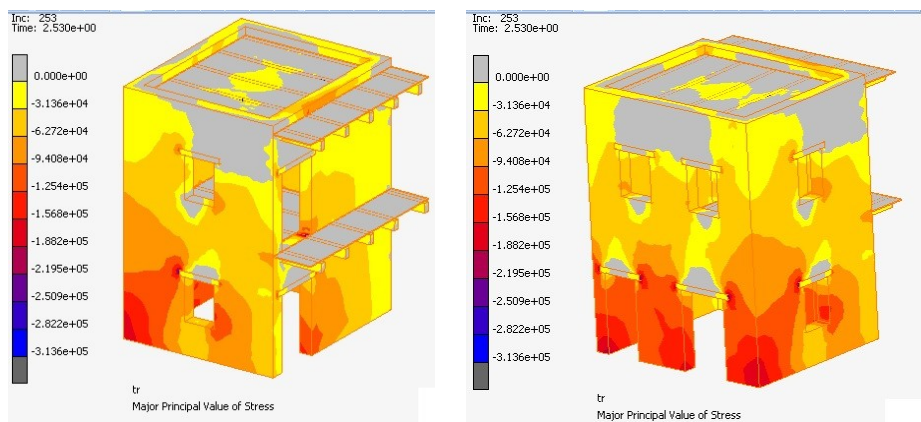
Εικόνα 86: Αποτελέσματα θλίψης για χρονικό βήμα 0,02 sec..

Στα πρώτα 0,02 sec [Εικ. 86], έχουμε έντονη θλίψη της τάξεως των -308.000 N/m^2 που εμφανίζεται στις γωνίες των ανωφλιών, των ανοιγμάτων ενώ εξασθενεί όσο ανεβαίνει προς τα πάνω όπου γίνεται μηδενική. Παρατηρούμε ότι στα σημεία που η θλίψη είναι μηδενική είναι εκεί που έχουμε εφελκυσμό στο ίδιο χρονικό βήμα.



Εικόνα 87: Αποτελέσματα θλίψης για χρονικό βήμα 1,76 sec..

Επιπλέον στο χρονικό βήμα 1,76 sec [Εικ. 87], έχουμε ίδια μορφή θλίψης σε μικρότερη κλίμακα. Αλλά και πάλι παρατηρούμε ότι οι γωνίες της βάσης του κτιρίου φέρουν την μεγαλύτερη καταπόνηση σε θλίψη. Στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα παρατηρούμε ότι η πιο έντονη περιοχή σε θλίψη είναι στις γωνίες των ανοιγμάτων του ισογείου.

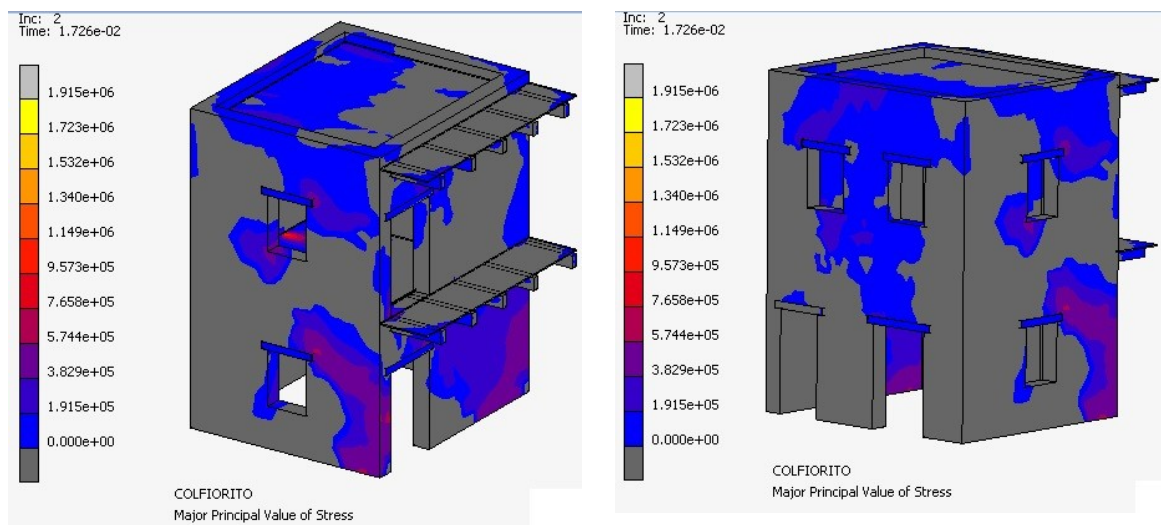


Εικόνα 88: Αποτελέσματα θλίψης για χρονικό βήμα 2,53 sec..

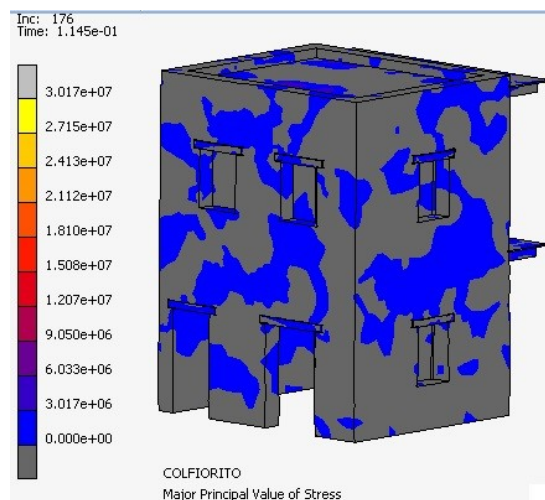
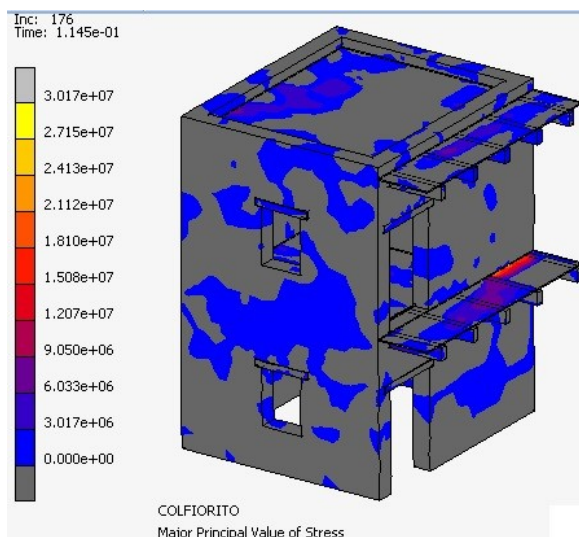
Ίδια εικόνα έχουμε και στο χρονικό βήμα 2,53sec [Εικ. 88], με αυξημένες τις τιμές της θλίψης στην βάση και πιο συγκεκριμένα στην αριστερή γωνία. Αυτό που παρατηρούμε και στα προηγούμενα και σε αυτό το χρονικό βήμα είναι ότι η θλιπτικές τάσεις στα ξύλινα δάπεδα αλλά και στην στέψη του κτιρίου έχουν μηδενιστεί.

ΤΑΣΕΙΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

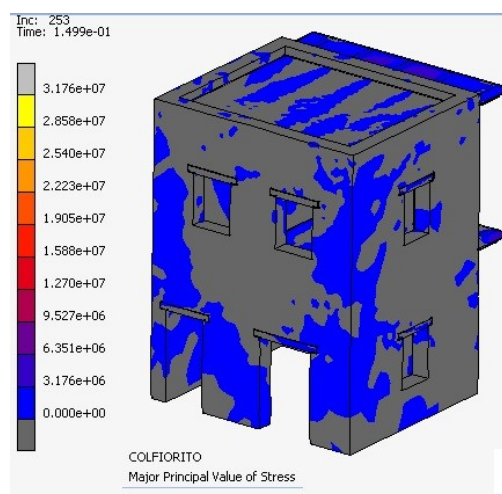
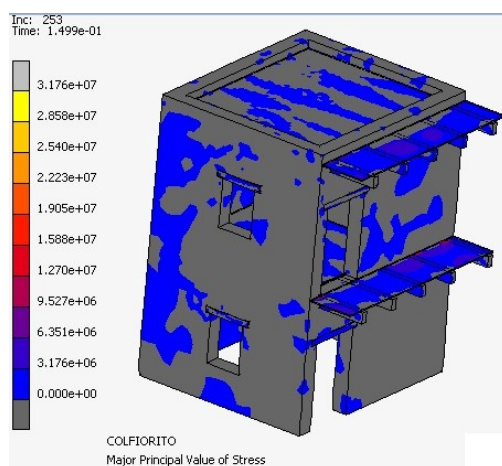
Για να γίνει σύγκριση αποτυπώθηκαν οι τάσεις εφελκυσμού και θλίψης για το ενισχυμένο μοντέλο στα ίδια χρονικά βήματα με το αρχικό μοντέλο έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολη η παρατήρηση των διαφορών ανάμεσα στο δυο μοντέλα.



Εικόνα 89: Αποτελέσματα εφελκυσμού ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 0,02 sec..



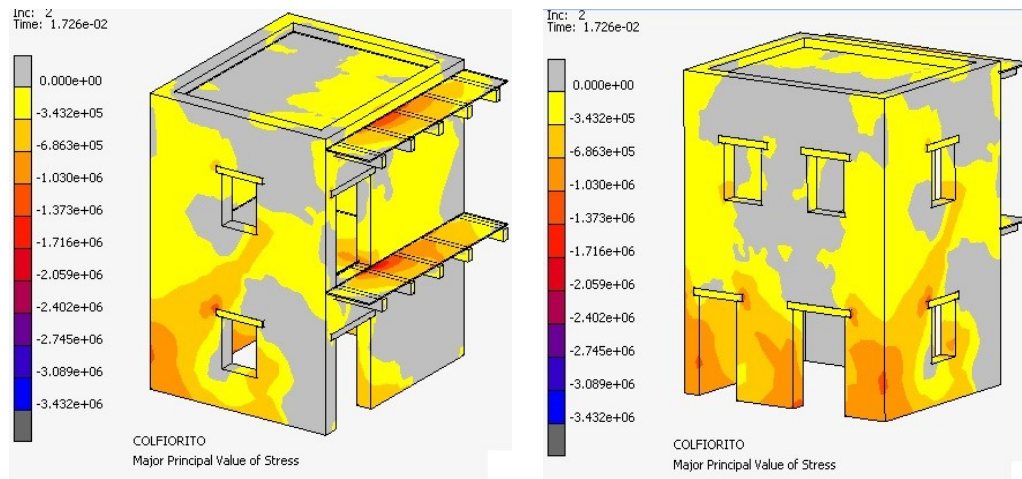
Εικόνα 90: Αποτελέσματα εφελκυσμού ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 1,76 sec..



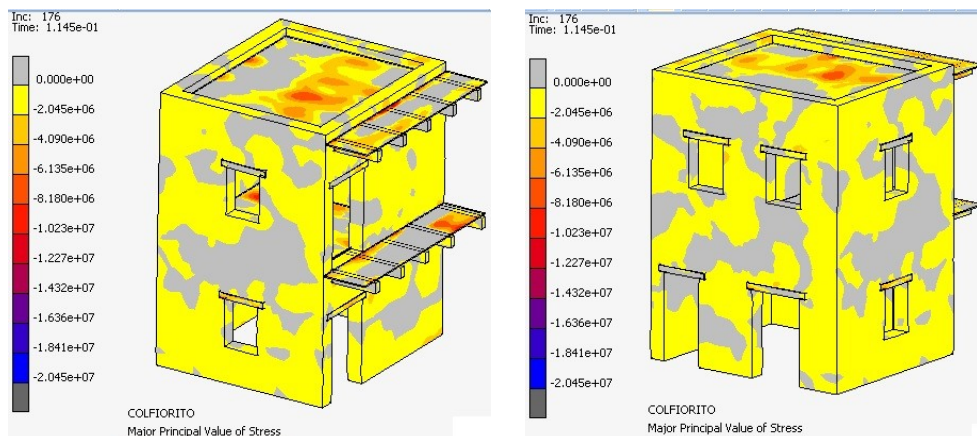
Εικόνα 91: Αποτελέσματα εφελκυσμού ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 2,53 sec..

Στις εικόνες 86 - 88 αν παρατηρήσουμε ο μηχανισμός ανάπτυξης εφελκυσμού είναι σχεδόν ίδιος με διαφορές μεγίστων όπως για το χρονικό βήμα 0,02 sec. στα $1,915 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, για τα 1,76 sec. στα $3,017 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ και για τα 2,53sec. στα $3,176 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Εντονότερο φαινόμενο εμφανίζεται στον πρόβολο του α' ορόφου. Παρατηρούμε επίσης ότι στα ξύλινα πατώματα έχουν μικρότερη τάση εφελκυσμού από το μη ενισχυμένο μοντέλο.

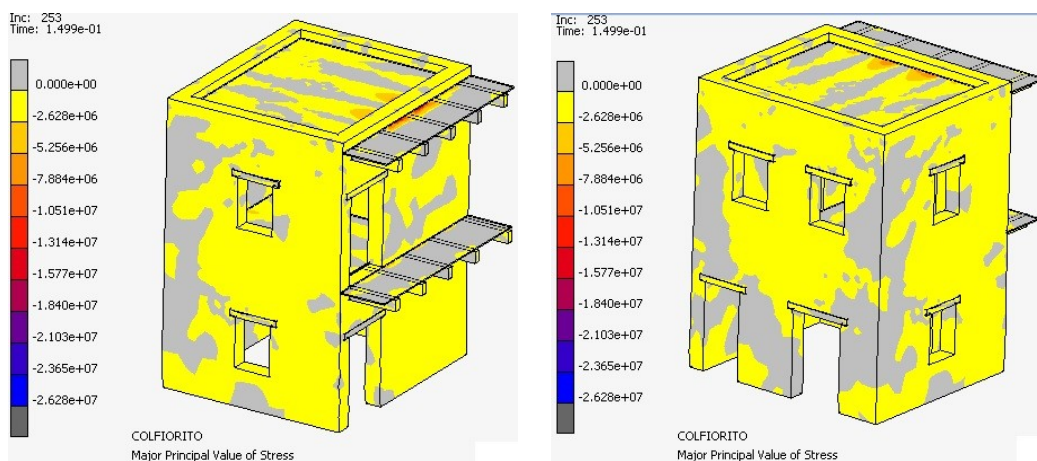
ΤΑΣΕΙΣ ΘΛΙΨΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



Εικόνα 92: Αποτελέσματα θλίψης ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 0,02 sec..



Εικόνα 93: Αποτελέσματα θλίψης ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 1,76 sec..



Εικόνα 94: Αποτελέσματα θλίψης ενισχυμένου μοντέλου για χρονικό βήμα 2,53 sec..

Στην περίπτωση της θλίψης από τα αποτελέσματα [Εικ. 92-94] παρατηρούμε ότι τα θλιπτικά φαινόμενα εμφανίζονται στις ίδιες περιοχές και εξασθενημένα στην πλειοψηφία τους. Στο χρονικό βήμα 0,02 είναι στα -343200 N/m^2 , στο 1,76 είναι στα $-2,045 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ και στο 2,53 είναι στα $-2,628 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι μια προσπάθεια για προσέγγιση του τρόπου ενίσχυσης σε ένα κτίριο από λιθοδομή. Η εργασία ασχολήθηκε με στατική, ιδιομορφική ανάλυση και επίλυση με πραγματική ιστορία. Από τα αποτελέσματα των επιλύσεων και από βιβλιογραφικά πειραματικά στοιχεία μπορούμε να πάρουμε σωστά και αξιόπιστα συμπεράσματα για την συμπεριφορά των ξύλινων πατωμάτων στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία που θέλουμε να ενισχύσουμε.

Το άρθρο στο οποίο βασίστηκε η διπλωματική εργασία ήταν το «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» του Michele Betti, Luciano Galano, Andrea Vignoli. Από την συγκεκριμένη εργασία αντλήθηκαν πληροφορίες για την γεωμετρία της κατασκευής, τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών καθώς και αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων και αναλύσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση του μοντέλου που αναλύθηκε. Επίσης για το ξύλο αντλήθηκαν δεδομένα από παλαιότερη εργασία της ίδιας ερευνητικής ομάδας.

Η διακριτοποίηση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τρισδιάστατα στερεά στοιχεία πεπερασμένων διαστάσεων σε μορφή τριγωνικού πλέγματος. Στην εργασία επιλέχθηκε αυτόματα η δημιουργία του πλέγματος και η πυκνότητα της διακριτοποίησης καταλήγοντας να έχουμε 117.772 (elements) και 35.418 (nodes).

Για την επιβεβαίωση ότι το μοντέλο που δημιουργήθηκε ταιριάζει με το μοντέλο αναφοράς κατά την επίλυση παρατηρήθηκε ότι στις περιοχές που εμφανίζεται εφελκυσμός δηλαδή στα ανοίγματα και στις γωνίες των ανοιγμάτων παρουσιάστηκαν ίδιου τύπου αστοχίες. [Εικ. 63,64] [Εικ. 83,84,85]. Επίσης κατά την επίλυση οι τιμές στις ιδιοσυχνότητες αλλά και στις ιδιομορφές ήταν πάρα πολύ κοντά με το πρωτότυπο μοντέλο, για παράδειγμα στο μοντέλο της ερευνητικής ομάδας της Ιταλίας οι πρώτες τρεις ιδιοσυχνότητες ήταν 9,03Hz, 9,37Hz, και 14,82Hz ενώ αντίστοιχα στο μοντέλο της παρούσας εργασίας ήταν 8,507Hz, 9,055Hz και 14,82Hz.

Τα αποτελέσματα του αρχικού και του ενισχυμένου μοντέλου έχουν πολύ μικρές διαφορές με ευνοϊκότερες αυτές του μοντέλου με την χρήση διπλού πετσώματος. Αυτό πραγματοποιείτε διότι η συγκεκριμένη μέθοδος αποκατάστασης των κατασκευών είναι ήπια με μη παρεμβατικό τρόπο θωράκισης της ταλάντωσης της κατασκευής σε σεισμό. Ο χαρακτηρισμός ως μη παρεμβατική μέθοδος είναι διότι δεν επιφέρει μεγάλη αύξηση της μάζας της κατασκευής και δεν τροποποιεί την γεωμετρία του μοντέλου.

Η επιλογή του κάθετου πετσώματος ελαχιστοποίησε τις εφελκυστικές τάσεις χωρίς να αυξήσει τις θλιπτικές στα σημεία που περιμέναμε.

Επιπλέον από την παρατήρηση των γραφημάτων που αφορούν τις μετακινήσεις προέκυψε ελάχιστη μείωση στο ενισχυμένο.

Για την ολοκλήρωση και εμβάθυνση της παρούσας εργασίας προτείνεται για μελλοντική έρευνα η διερεύνηση τοποθέτησης του πετσώματος σε άλλη γωνία, με μεγαλύτερο πάχος, σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ενίσχυσης στο ίδιο μοντέλο καθώς και η εφαρμογή διαφορετικών σεισμικών διεγέρσεων.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

- **Ευρωκώδικας 5.** EN1995-1-1. 2004. 2004. Γενικά-Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια.
- **Ευρωκώδικας 6** Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία.
- **Ευρωπαϊκά Πρότυπα** EN 335-1:1992 Ανθεκτικότητα στον χρόνο του ξύλου και προϊόντων ξύλου. Ορισμός των κλάσεων επικινδυνότητας βιολογικών προσβολών. Μέρος 1: Γενικά.
- **Ευρωπαϊκά Πρότυπα** EN 335-2:1992 Ανθεκτικότητα σε διάρκεια του ξύλου και προϊόντων ξύλου - ορισμός των κλάσεων επικινδυνότητας βιολογικών προσβολών. Μέρος 2: Εφαρμογή στο φυσικό ξύλο.
- **Ευρωπαϊκά Πρότυπα** EN 350-2:1994 Ανθεκτικότητα του ξύλου και των προϊόντων ξύλου – Εγγενής ανθεκτικότητα του φυσικού ξύλου. Μέρος 2: Οδηγός για την εγγενή ανθεκτικότητα στον χρόνο και επεξεργασιμότητα επιλεγμένων ειδών σημαντικών στην Ευρώπη.
- **Ευρωπαϊκά Πρότυπα** EN 351-1:1995 Ανθεκτικότητα του ξύλου και των προϊόντων ξύλου. Φυσικό ξύλο επεξεργασμένο με συντηρητικά. Μέρος 1: Διαβάθμιση της διεισδύσεως και της κατακρατήσεως του συντηρητικού.
- **Ευρωπαϊκά Πρότυπα** EN 460:1994 Ανθεκτικότητα σε διάρκεια του ξύλου και προϊόντων ξύλου. Εγγενής ανθεκτικότητα στον χρόνο του φυσικού ξύλου. Οδηγός για τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας στον χρόνο του ξύλου για χρήση στις διάφορες κλάσεις επικινδυνότητας.
- **Εθνικό Προσάρτημα** EN 1995-1-1 : Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών: Γενικά- Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια.

ΒΙΒΛΙΑ

- **Ελισσαίος Σ.Κατσαραγάκης** «Ξύλινες Κατασκευές» Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2000.
- **Δ.Ν Ρίζου** Αρχιτέκτων Ε.Μ.Π.«Το ξύλο», 2012

ΑΡΘΡΑ

- **Δρ.Γεώργιος Μαντάνης** «Δομή & Ιδιότητες Ξύλου», μέρος I-Δομή & μέρος I-Δομή. -Τ.Ε.Ι. Λάρισας.(2003) Καρδίτσα.
- **Ε.Αλεξάνδρου** «Δομική ανάλυση παραδοσιακών κτιριακών κατασκευών» Ε.Μ.Π - Σχολή Αρχιτεκτόνων (Μορφολογία - Οικοδομική)
- **Θ.Καραμπέκος, Κ.Μιχαλάκης** «Σημειώσεις οικοδομικής II» ΤΕΙ Τρικάλων Τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων.
- **Η.Βουλγαρίδης** «Σημειώσεις εργαστηρίου υλοχρηστικής» Τμήμα ΔΦΠ ΑΠΘ
- **Η.Βουλγαρίδης** «Ποιότητα Ξύλου (Πανεπιστημιακές παραδόσεις)». Σχολή ΔΦΠ, ΑΠΘ.
- **Bautech Consulting Engineers** «Κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία»

- **Jack Porteous and Abdy Kermani** 2007 «STRUCTURAL TIMBER DESIGN to Eurocode 5» Oxford : Blackwell Publishing, 2007.
- **Barbisan, A., and F. Laner** «Wooden floors: part of historical antiseismic building systems» Annali di Geofisica, November-Dicember 1995.
- **Gattesco, N., and L. Macorini** «High reversibility technique for in-plane stiffening of wooden floors» Structural Analysis of Historic Construction (D'Ayala & Fodde), 2008
- **Andrew D. Gustine** «The Common Wood Floor: Interpretation and Treatment of Wood Plank Flooring in Historic Buildings» University of Pennsylvania, 2002
- **M.A. Parisi, M.Piazza** «Seismic strengthening and seismic improvement of timber structures» Construction and Building Materials, 2015 – Elsevier
- **A.W. Thornton** «Twenty-five years of strengthening Wellington» Dunning Thornton Consultants Ltd, Wellington 2010
- **Betti M., Galano L., Vignoli A.** «Comparative analysis on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms» Engineering Structures 61:195-208, 2014
- **Lekkas E, Fountoulis I** «Influence of local soil conditions on intensity distribution in Cesi (Italy) during the Umbria earthquakes (September 1997)» 12th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), 7p., Auckland 2000.
- **Maria Rosa Valluzzi, Enrico Garbin, Massimo Dalla Benetta, Claudio Modena** «In-plane strengthening of timber floors for the seismic improvement of masonry buildings » WCTE Word Conference on Timber Engineering, 2010

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- **Λαδά Θεώνη-Νικολέτα** «Εφαρμογές Ξύλου σε κατασκευές με Αρχαιολογική Αξία» Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Καρδίτσας Μάιος 2009.
- **Καρπουζλή Δέσποινα** «Συμπεριφορά διαφραγμάτων ιστορικών κατασκευών» Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π
- **Σάμιος Στέφανος** «Αποκατάσταση τοιχοποιίας λιθοδομής με ινοπλισμένα πολυμερή » Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Ιανουάριος 2020.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

- <https://episthmonikesapanthseis.wordpress.com>
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/xil_2_2t.htm
- http://www.e-stergiou.com/πελεκητη_ξυλεια-p-223.html
- <https://xyloepiplo.gr>
- <https://www.halepis.gr/products.php?id=52&sub1=2&sub2=24&lang=1>
- <http://www.kounouvelis.gr/index.php/our-products/plywood/600-2015-10-21-18-58-27>