



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αποτίμηση φέρουσας ικανότητας με διερεύνηση ενίσχυσης και καθ' ύψος επέκταση, υφιστάμενου κτιρίου σχολείου από λιθοδομή»

Αραποπούλου Αλεξάνδρα

Επιβλέπων Καθηγητής: Ζέρης Χρήστος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρήστο Ζέρη για την πολύτιμη βοήθεια και τη συνεχή καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιάννη Κατσαγούνο για την παροχή ιστορικών στοιχείων.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται η συμπεριφορά υφιστάμενου σχολικού κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία έναντι σεισμικής διέγερσης το οποίο βρίσκεται στην Κίρρα Φωκίδος. Η αρχιτεκτονική του εν λόγω κτιρίου συνάδει με τα τυπικά διαγράμματα των δημοτικών σχολείων που περιγράφονται στο διάταγμα της 17^{ης} Μαΐου του 1894, τα οποία δημοσιεύθηκαν από τον πολιτικό μηχανικό Δημήτριο Καλλία αποτελώντας τη βάση για την ανέγερση των σχολικών μονάδων της εποχής.

Αρχικά πραγματοποιείται αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του υφισταμένου κτιρίου μέσω χωρικού προσομοιώματος με το πρόγραμμα DIANA FEA. Για την αναπαράσταση του εν λόγω δομήματος χρησιμοποιήθηκαν επιφανειακά στοιχεία για την προσομοίωση της φέρουσας τοιχοποιίας. Με σκοπό την κατανόηση της απόκρισης του κτιρίου πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση και στη συνέχεια γραμμική ελαστική ανάλυση. Ακολούθως κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί μη γραμμική ανάλυση με επιβολή οριζόντιας δύναμης στη στάθμη στέψης της κατασκευής, ώστε να συμβάλει στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής σε σεισμική καταπόνηση και να προσδιορισθούν πιθανές περιοχές αστοχίας και κατά συνέπεια εμφάνισης ρωγμών.

Ακολούθως μελετήθηκε η επιρροή της προσθήκης πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα στη στάθμη στέψης, για λόγους ενίσχυσης του υφιστάμενου κτιρίου. Αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση, γραμμική ελαστική ανάλυση αλλά και ανελαστική ανάλυση με επιβολή οριζόντιας δύναμης στη στάθμη στέψης της κατασκευής όπως και στο πρώτο προσομοίωμα, ώστε να προσεγγιστεί η πραγματική συμπεριφορά του δομήματος έχοντας πλέον διαφραγματική λειτουργία.

Τέλος διερευνήθηκε κατά πόσο είναι εφικτή η προσθήκη ορόφου από διαφορετικό υλικό για λειτουργικούς σκοπούς. Και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες αναλύσεις με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

ABSTRACT

In the present diploma thesis the task for analysis concerns a school structure located at Kirra Fokidos area. It is examined how this particular structure would function in the face of seismic performance. The architecture of this very building is aligned with the typical plots concerning schools as described on the May 17th 1864 decree. Also it has to be mentioned that the plots comprise the basis for the erection of schools of that time period and they were published by the civil engineer Dimitrio Kallia.

The first thing to be evaluated is what the ability of the school bearing masonry in spatial simulated environment can be, using the DIANA FEA software. In order to manage the performance of this building structure superficial elements concerning the simulation of the bearing structure were used. With the view to totally perceive the reaction of the building modal analysis and then linear-elastic analysis were done. Besides it was considered important to perform non-linear analysis by enforcement horizontal force in the last level seat of the construction so as to fully grasp the actual behavior of the structure when under seismic strain. This done, the potential failure spots leading to the revelation of cracks will be defined.

Apart from that, the effect of the added slab made of reinforced concrete in the last level seat of the construction, for reason of reinforcement concerning the existing building, was studied. Respectively, a modal analysis, linear-elastic analysis but also non-linear analysis by enforcement horizontal force in the last level seat of the construction as in the first simulation was done so as to define the actual behavior of the structure now having diaphragmatic function.

Eventually, the fact of how feasible the addition of an extra floor made of different material for practical reason, was fully examined. The analysis involved in the previous cases was also done in this one.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΞΩΦΥΛΛΟ	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	8
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΤΟΥ 1894	12
1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΟΥ 1959	15
1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	17
2. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	23
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	23
3.ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	31
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	31
3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	32
3.4 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	33
3.5 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ	34
3.6 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	39
3.7 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΚΑΜΨΗ	41
3.8 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	43
3.9 ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ	47
3.10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	51
3.11 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	55
4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ	57
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	57
4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	58
4.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ	59

5.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	63
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	63
5.2 ΥΛΙΚΑ	67
5.3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	68
5.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ	73
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΟΠΛΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	75
6.1 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	75
6.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	78
6.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	89
7. ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΛΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	103
7.1 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	104
7.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	107
7.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	118
8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΟΡΟΦΟΥ	129
8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ	129
8.2 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	131
8.3 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	133
8.4 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	144
9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ	159
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	163
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	165
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	169
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	174

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύεται μέσα σε δέκα κεφάλαια. Συγκεκριμένα:

Στο **1^ο κεφάλαιο** γίνεται μία εισαγωγή στην οποία αναφέρονται οι προδιαγραφές που παρείχε η Τεχνική Υπηρεσία του Υπουργείου Παιδείας όσον αφορά την κατασκευή σχολικών κτιρίων από λιθοδομή, όπως επίσης και οι διαφορές που επέφερε ο πρώτος αντισεισμικός κανονισμός στον τρόπο κατασκευής και γίνεται μία ιστορική αναδρομή στο κτίριο που μελετάται.

Στο **2^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα είδη της τοιχοποιίας.

Στο **3^ο κεφάλαιο** αναλύεται η μηχανική της τοιχοποιίας ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά καθώς επίσης και η αντοχή της άοπλης τοιχοποιίας.

Στο **4^ο κεφάλαιο** περιγράφεται το κτίριο που βρίσκεται υπό μελέτη, γίνεται έλεγχος υφιστάμενης κατάστασης και αναφέρονται οι παραδοχές του φέροντος οργανισμού και των υλικών.

Στο **5^ο κεφάλαιο** πραγματοποιείται παρουσίαση του λογισμικού, ειδικότερα πώς προσομοιώθηκε ο φορέας και πώς ορίστηκαν τα υλικά, οι φορτίσεις και οι συνδυασμοί φορτίσεων.

Στο **6^ο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία μέσω ιδιομορφικής ανάλυσης, γραμμικής ελαστικής ανάλυσης και ανελαστικής ανάλυσης.

Στο **7^ο κεφάλαιο** προτείνεται η προσθήκη πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος στη στάθμη στέψης και πραγματοποιούνται αντίστοιχες αναλύσεις.

Στο **8^ο κεφάλαιο** μελετάται η προσθήκη ορόφου κατασκευασμένου από ελαφρύτερο υλικό και πραγματοποιούνται αντίστοιχες αναλύσεις.

Στο **9^ο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Και τέλος στο **10^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

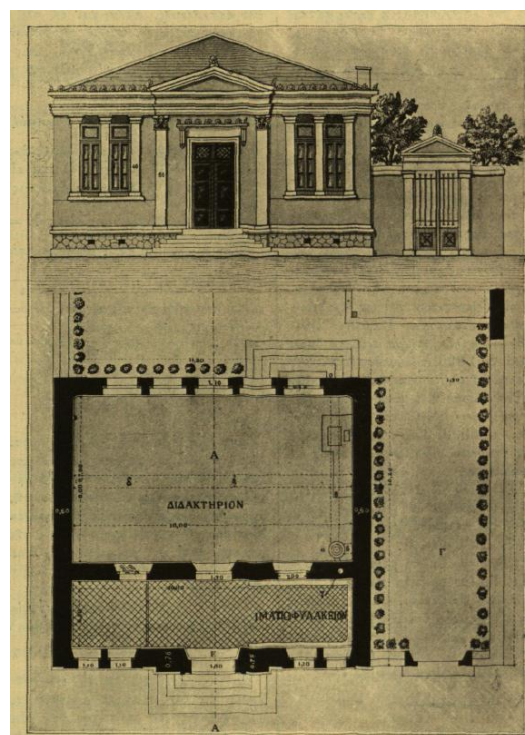
1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΤΟΥ 1894 [5]

Αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των σχολικών κτιρίων των οποίων η ανέγερση έγινε σύμφωνα με το Βασιλικό Διάταγμα του 1894 «Περί του τρόπου κατασκευής των σχολείων», βασισμένο στην εργασία του νομομηχανικού Δημήτριου Καλλία, καθιστώντας το ως το πρώτο επίσημο κείμενο με συγκεκριμένες προδιαγραφές και κανονισμούς για την ανέγερση σχολικών κτιρίων. Το διάταγμα αυτό βασίστηκε στο πρότυπο του "Κανονισμού για την κατασκευή και τον εξοπλισμό των σχολικών κτιρίων", που εκδόθηκε στο Παρίσι τον Ιούνιο του 1880, προσαρμοσμένο στα ελληνικά δεδομένα αποτελούμενο από έξι κεφάλαια που αφορούν την κατασκευή και τη λειτουργία των σχολείων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, με δομή παρόμοια με τον γαλλικό κανονισμό όπου εμπνεύστηκε.

Τα κτίρια του διατάγματος του 1894 παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά στην δομή και στον τρόπο κατασκευής με ελάχιστες παραλλαγές χωρίς αυτές να αποτελούν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό στην αρχιτεκτονική αποτελεί ο κεντρικός άξονας συμμετρίας που διασχίζει την κύρια είσοδο του κτιρίου. Επιπλέον η κύρια όψη επηρεαζόταν από τη νεοκλασικιστική τάση, ενώ η όψη προς την αυλή ήταν πιο απλή, χωρίς ιδιαίτερα διακοσμητικά στοιχεία [9].

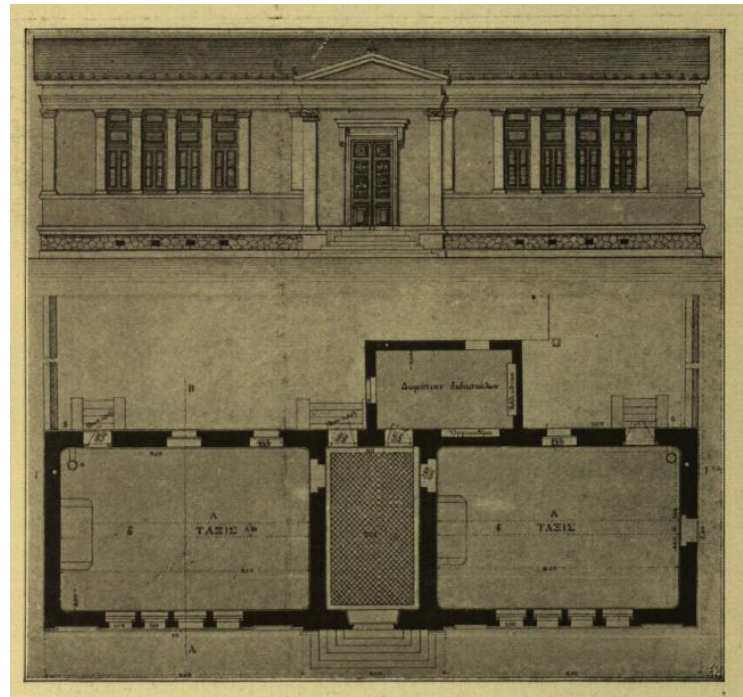
Συγκεκριμένα:

ΜΟΝΟΤΑΞΙΑ, αποτελούνταν από μία αίθουσα και έναν διάδρομο μπροστά με κύριο διακοσμητικό την είσοδο, που συνήθως επιστεγάζεται σε αέτωμα και δύο παράθυρα σε κάθε πλευρά.



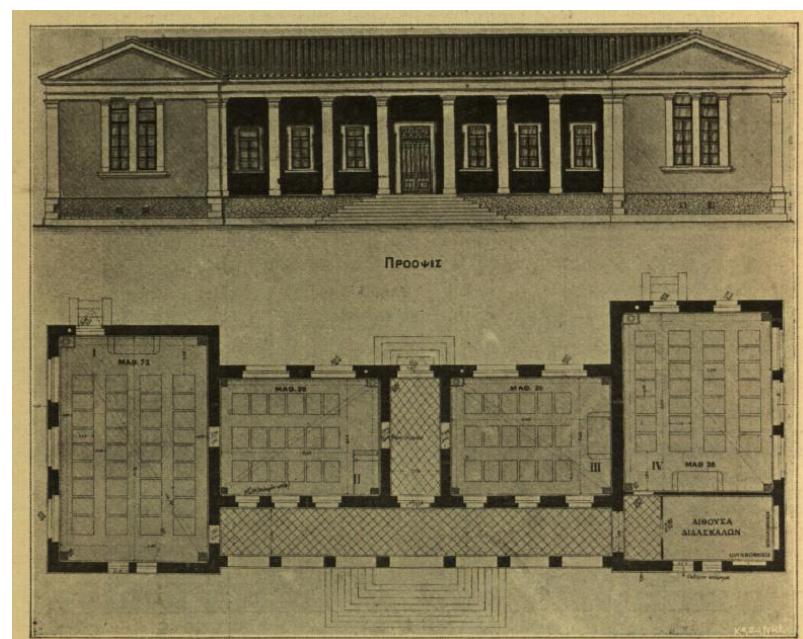
Εικόνα 1: Τύπος μονοταξίου [4]

ΔΙΤΑΞΙΑ, αποτελούνταν από δύο αίθουσες διδασκαλίας, μία αίθουσα για τους δασκάλους και έναν διάδρομο ενώ η είσοδος βρισκόταν στη μέση της πρόσοψης και τα παράθυρα συμμετρικά τοποθετημένα.



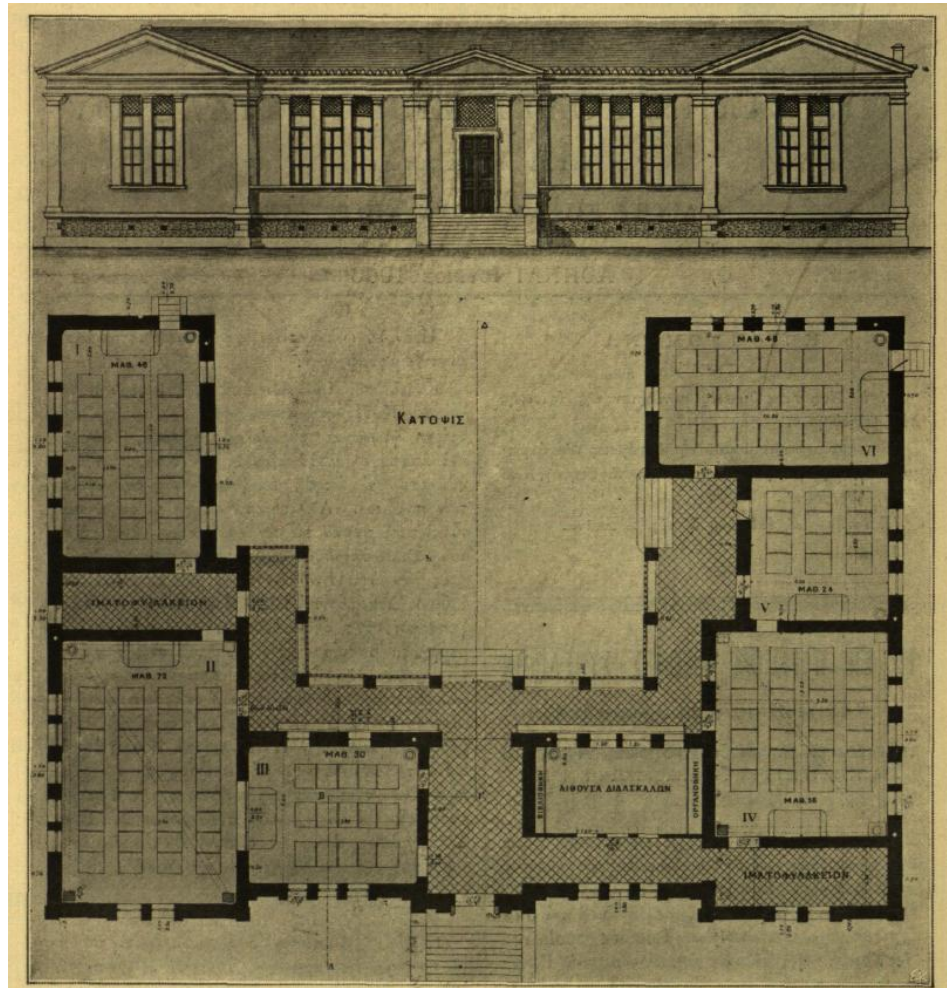
Εικόνα 2: Τύπος διτάξιου [4]

ΤΕΤΡΑΤΑΞΙΑ, αποτελούνταν από τέσσερις αίθουσες διδασκαλίας καθώς και ένα ανοιχτό προστώ (στοά) που προηγείται της κύριας εισόδου.



Εικόνα 3: Τύπος τετρατάξιου [4]

ΕΞΑΤΑΞΙΑ, αποτελούνταν από έξι αίθουσες οι οποίες ήταν διατεταγμένες έτσι ώστε να σχηματίζουν Π δημιουργώντας παράλληλα εσωτερική αυλή και η κύρια είσοδος ήταν συνδυασμός των προηγούμενων περιπτώσεων.

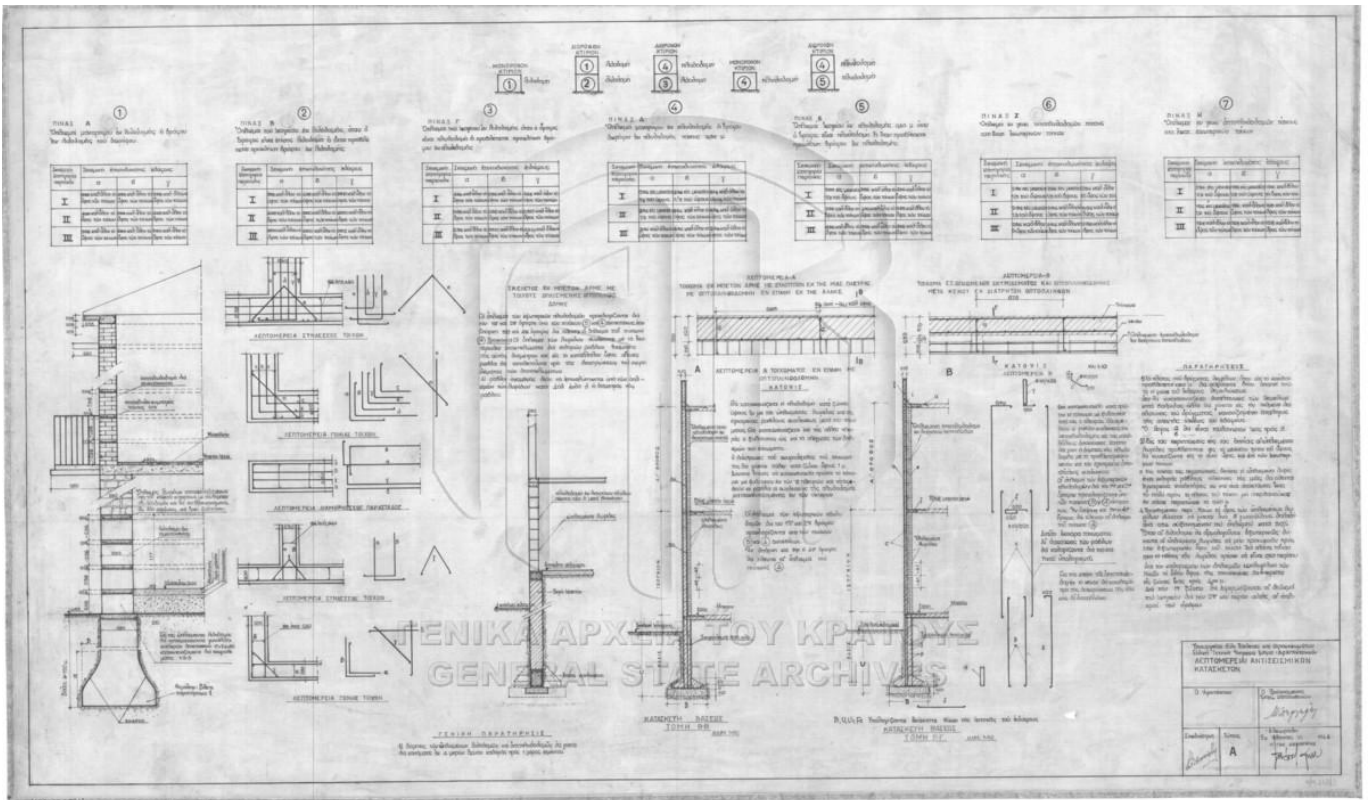


Εικόνα 4: Τύπος εξατάξιου [4]

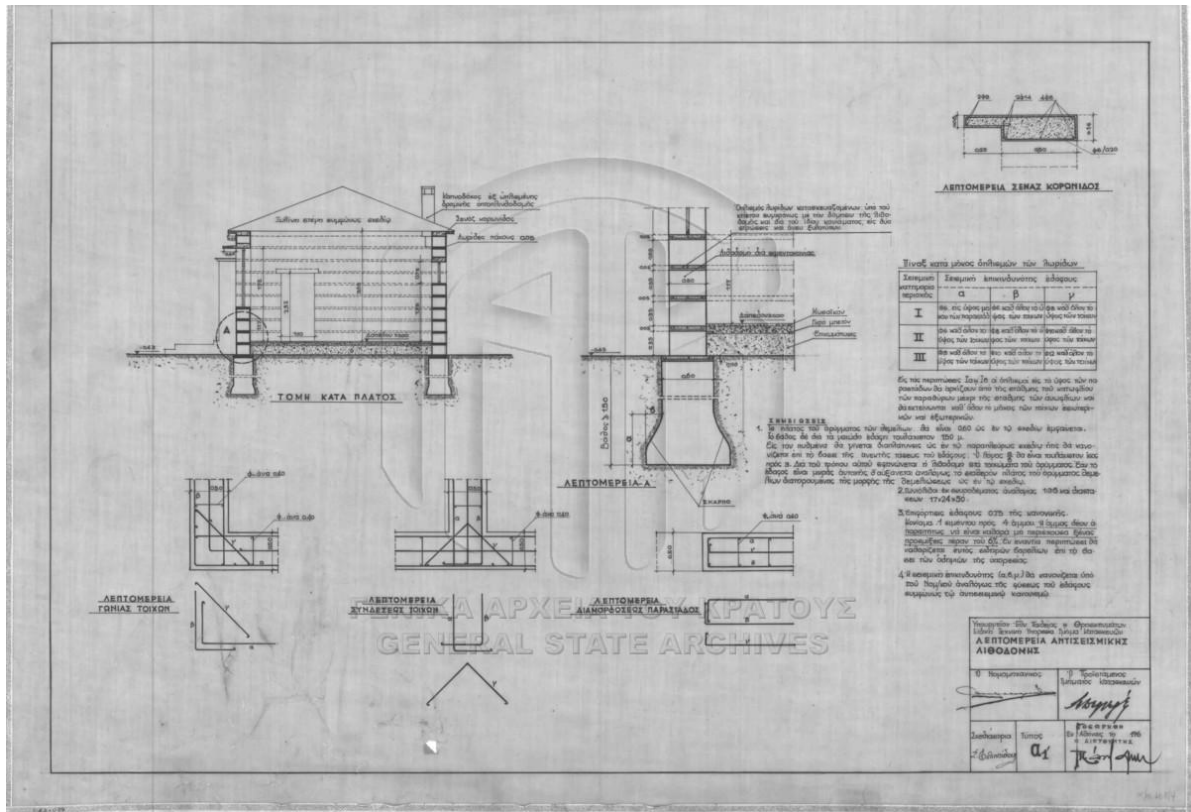
1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΟΥ 1959

Ο πρώτος Αντισεισμικός Κανονισμός του 1959, με υποχρεωτική εφαρμογή σε όλη την χώρα, αποτέλεσε σημείο καμπής στον τρόπο κατασκευής των οικοδομικών έργων.

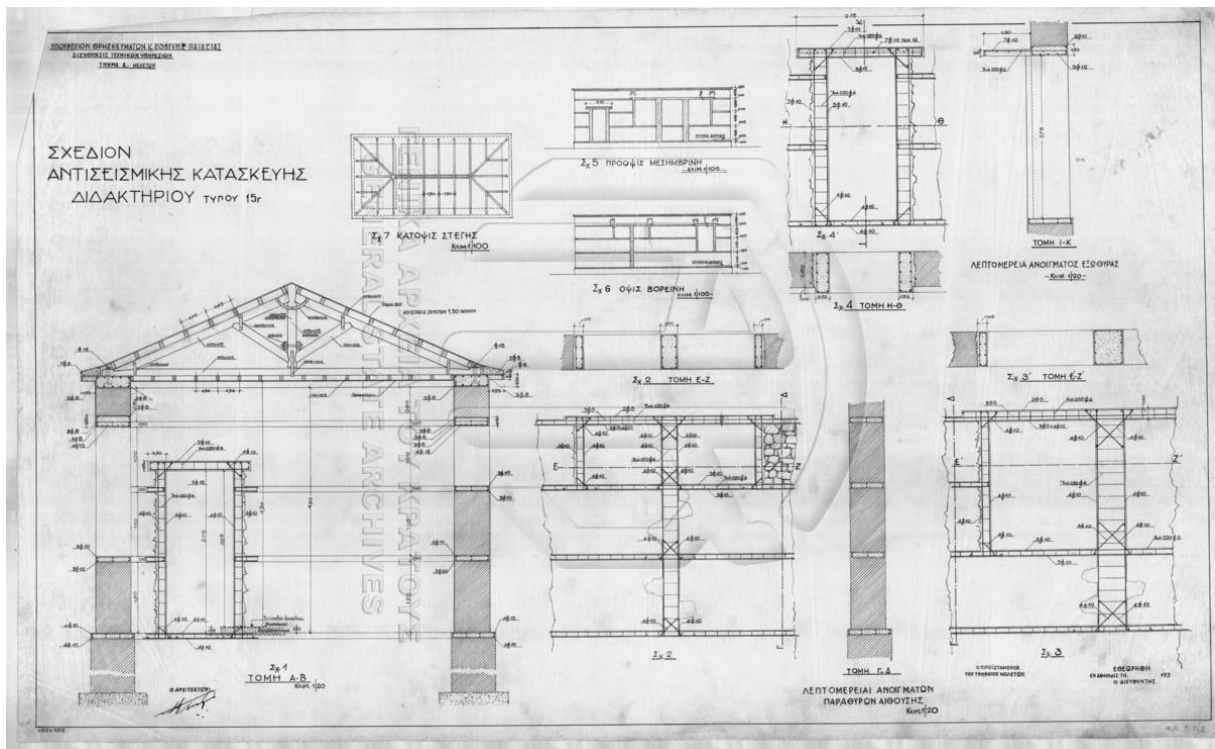
Συγκεκριμένα εισήχθησαν οριζόντια στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος καθ' ύψος της λιθοδομής. Ακολουθούν τα τυπικά σχέδια από το Γενικό Αρχείο του Κράτους που αφορούν τα σχολεία.



Εικόνα 5: Λεπτομέρεια αντισεισμικής κατασκευής [1]



Εικόνα 6: Λεπτομέρεια αντισεισμικής λιθοδομής [1]



Εικόνα 7: Σχέδιο αντισεισμικής κατασκευής διδακτηρίου [1]

1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

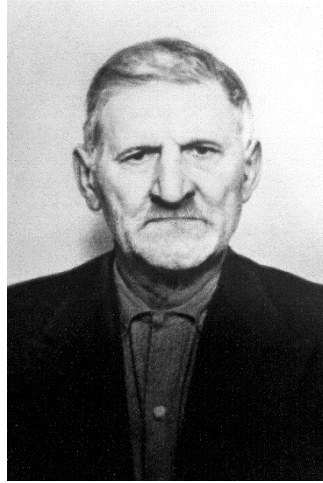
Ο τρομακτικής έντασης και διάρκειας σεισμός της 20ής Ιουλίου/1ης Αυγούστου 1870 προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στο μεγαλύτερο μέρος της Παρνασσίδας τόσο στο φυσικό τοπίο όσο και στα κτίσματα ενώ παράλληλα το τίμημα σε ανθρώπινες ζωές υπήρξε βαρύ.

Στο χωριό Ξηροπήγαδο, που βρισκόταν στις δυτικές πλαγιές του όρους Κίρφη, το πλήγμα ήταν ολοκληρωτικό καθώς αποτελούνταν εξολοκλήρου από πλίθινες οικίες οι οποίες κατέρρευσαν ολοσχερώς. Το γεγονός αυτό και οι πολιτικές αποφάσεις της εποχής ανάγκασαν τους κατοίκους να μετοικήσουν νοτιότερα και να εγκατασταθούν στην παραθαλάσσια περιοχή της αρχαίας Κίρρας, εκεί όπου άλλοτε βρισκόταν το επίνειο των Δελφών. Ο νέος οικισμός έφερε πλέον την ονομασία «Άγιος Νικόλαος» (1872) λόγω της εκεί ομώνυμης εκκλησίας, ενώ αργότερα μετονομάστηκε σε «Κίρρα» (1908). Το χέρσο και σχεδόν επίπεδο έδαφος της τοποθεσίας συντέλεσε στη διαμόρφωση μιας σχετικά καλής ρυμοτομίας με την κεντρική πλατεία (πλατεία Εμποροπανήγυρης) να τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα του παραθαλάσσιου μετώπου.

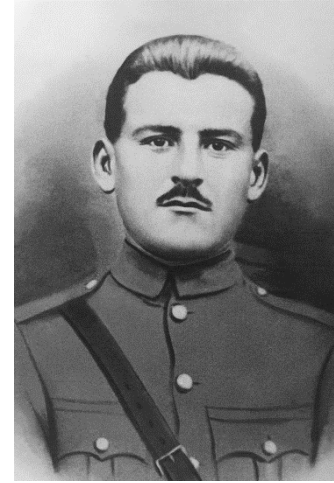
Στα τέλη του 19ου αιώνα ο Προκόπης Μακεδών, τεχνίτης πέτρας με καταγωγή από την περιοχή της Θεσσαλονίκης, άφησε την τουρκοκρατούμενη Μακεδονία και εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Παρνασσίδας. Έμπειρος γνώστης της κατεργασίας και του χειρισμού των λίθων, εργάστηκε για 7 χρόνια στη Μεγάλη Ανασκαφή των Δελφών (La Grande Fouille, 1892-1903) παίρνοντας μέρος στην αναστήλωση των αρχαίων μνημείων. Κατοίκησε στην Κίρρα (Άγιο Νικόλαο) και μετέδωσε την τέχνη της πέτρας στους δύο γιούς του, Γεώργιο και Χαράλαμπο.



Εικόνα 8: Προκόπης Μακεδών
(1868-1956)



Εικόνα 9: Γεώργιος Μακεδών
(1902-1984)



Εικόνα 10: Χαράλαμπος
Μακεδών (1905-1989)

Κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα η οικογένεια Μακεδών έχτισε ένα πλήθος από πέτρινα αλλά και πλίθινα κτίρια -δημόσια και ιδιωτικά- τόσο στην Κίρρα όσο και στην ευρύτερη περιοχή (Ιτέα, Άμφισσα, Δεσφίνα κ.α.). Τα περισσότερα πέτρινα οικοδομήματα, δημόσια κτίρια και ιδιωτικές οικίες, σώζονται έως σήμερα και είναι αξιοποιήσιμα. Σε αυτά συγκαταλέγεται και το διτάξιο Δημοτικό Σχολείο Κίρρας του οποίου η θεμελίωση πραγματοποιήθηκε την 1η Αυγούστου 1932.

ΕΓΚΑΙΝΙΑ

Θεμελίωσις Διδακτηρίου Κίρρας - Παρνασσίδος

Μετά πάσης επισημότητος ἐτέθη ὁ θεμέλιος λίθος τὴν 1ην Αὐγούστου ἐν Κίρρα, τοῦ ἐκεῖ νεοαναγειρομένου διταξίου διδακτηρίου, παρισταμένου πλήθους κόσμου ἐγχωρίου καὶ ξένων παρθεριστῶν, διακρινομένων ἐπίσης τοῦ Κοινοτικοῦ Συμβουλίου Κίρρας ἐν σώματι, τῆς Σχολικῆς Ἐφορείας Κίρρας, τοῦ βουλευτοῦ κ. Γουργουρῆ τοῦ ἐπιθεωρητοῦ κ. Σπεονοβασίλη καὶ πολλῶν ἄλλων.

*Ὡμίλησεν ὁ δημοδ. κ. Παν. Καρδάσης, τονίσας ἐν πολλοῖς τὸν σκοπὸν τοῦ Σχολείου καὶ τοῦ διδασκάλου ἐπιτυχέστατα, δι' ὃ καὶ συγχαίρομεν τὸν κ. Καρδάσην καὶ εὐχόμεθα ὅπως τὸ διδακτήριον τοῦτο ἀποβῆ φωτεινὸς σταθμὸς πρὸς φωτισμὸν τῆς μαθητιώσης νεολαίας Κίρρας.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι από τους ίδιους χτίστες είχαν κατασκευαστεί και άλλα σχολεία της περιοχής όπως το διώροφο Δημοτικό Σχολείο Δεσφίνας (έτος κατασκευής 1917), το Δημοτικό Σχολείο Ιτέας (έτος λειτουργίας 1939) και το ιδιωτικό Γυμνάσιο του Π. Καψάλη στην Ιτέα (έτος κατασκευής 1948-1949).



Εικόνα 12: Το διτάξιο Δημοτικό Σχολείο Κίρρας, 1958, άποψη από τα νότια (φωτογραφικό αρχείο Κοινότητας Κίρρας)



Εικόνα 13: Το διτάξιο Δημοτικό Σχολείο Κίρρας στα μέσα του 20ου αιώνα, άποψη από τα νότια (φωτογραφικό αρχείο Κοινότητας Κίρρας)

Το κεντρικό τμήμα του σύγχρονου οικισμού της Κίρρας χτίστηκε ακριβώς επάνω στα λείψανα του αρχαίου ομώνυμου οικισμού, όταν η Κίρρα λειτουργούσε ως επίγειο του πανελλήνιου Ιερού και Μαντείου των Δελφών και - όπως είναι γνωστό από επιγραφές - στο λιμάνι της Κίρρας έφθαναν οικοδομικά υλικά που προορίζονταν για τα δελφικά μνημεία.

Το Δημοτικό Σχολείο χτίστηκε στη δυτική πλευρά του οικοδομικού τετραγώνου που σχηματίζεται από τις οδούς Κρίσης (δυτικά), Αγίου Ιωάννου (νότια), Αγίου Πολυκάρπου (ανατολικά) και Αγίου Νικολάου (βόρεια), δηλαδή στο κέντρο της Κίρρας, βόρεια της κεντρικής πλατείας. Ως εκ τούτου το Σχολείο βρέθηκε να καταλαμβάνει τμήμα των αρχαίων λιμενικών εγκαταστάσεων, τόσο κάτω από το παλιό σχολικό κτίριο όσο και μέσα στον ακάλυπτο χώρο του.

Ωστόσο η ύπαρξη αρχαίων στο οικόπεδο του Σχολείου έγινε γνωστή κατόπιν της ανέγερσης του παλαιού κτιρίου (1932 και έπειτα) και συγκεκριμένα από τις ανασκαφές της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής Αθηνών στον οικισμό της Κίρρας κατά τα έτη 1936, 1937 και 1938. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε ξανά από τη σωστική ανασκαφή του 2002 που έγινε στο βόρειο αύλειο χώρο του Δημοτικού Σχολείου, όπου και επρόκειτο να γίνει η νέα επέκταση, όταν αποκαλύφθηκε τμήμα κτίσματος των αρχαίων λιμενικών εγκαταστάσεων.



Εικόνα 14: Λείψανα λιμενικών εγκαταστάσεων του νεωρίου της αρχαίας Κίρρας (άποψη από τα βόρεια). Στα δεξιά διακρίνεται η ανατολική πτέρυγα του σημερινού Δημοτικού Σχολείου



Εικόνα 15: Εναέρια άποψη του ιστορικού κέντρου της σύγχρονης Κίρρας όπου διακρίνονται: η πλατεία Εμποροπανήγυρης, η πλατεία Ηρώων, το αρχαίο νεώριο και το Δημοτικό Σχολείο.

2. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τοιχοποιία, όπως περιγράφεται, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης ιστορίας και της ανθρώπινης κατοικίας. Από τις παλαιότερες περιόδους, οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν την τοιχοποιία για να δημιουργήσουν δομές που προστατεύουν από το περιβάλλον, παρέχουν στέγη και εξυπηρετούν λειτουργικές ανάγκες. Αποτελεί ένα σύνθετο δομικό σύστημα λόγω της συνδυασμένης χρήσης λίθων (φυσικών ή τεχνητών) και κονιάματος, ή ακόμα και ξύλων ή μεταλλικών στοιχείων.

2.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ [12]

Η ιστορική εξέλιξη της τοιχοποιίας αντικατοπτρίζει μια εκτενή ποικιλία δομικών μορφών η οποία ταξινομείται σύμφωνα με τη σύσταση και την προέλευση των λιθοσωμάτων που την αποτελούν, τη χρήση τους στην κατασκευή και τον τρόπο δόμησής τους.

1. Ανάλογα με την προέλευση των λιθοσωμάτων

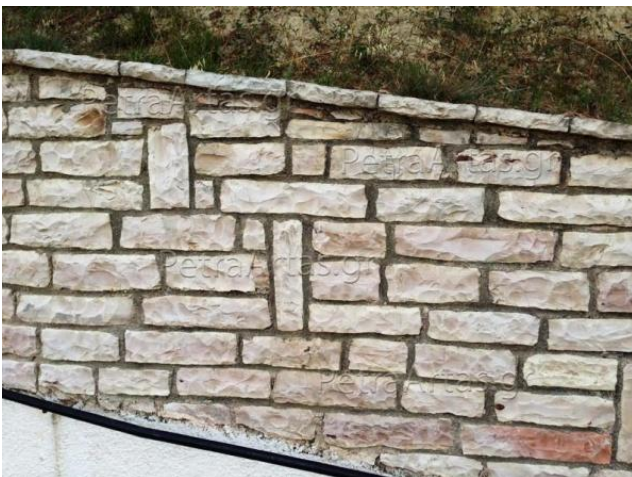
Οι τοιχοποιίες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους και τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους.

Φυσικά λιθοσώματα

Με κριτήριο την επεξεργασία που έχουν υποστεί οι φυσικοί λίθοι προκειμένου να αποκτήσουν το κατάλληλο σχήμα και τις ιδανικές διαστάσεις ώστε να χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές, διακρίνονται σε αργούς, τυκτούς, ημιλαξευτούς, λαξευτούς, μηχανικά κατεργασμένους φυσικούς δομικούς λίθους και πλάκες.

Με κριτήριο τον τρόπο σύνδεσης των τοιχοποιιών (με ή χωρίς κονίαμα), διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- **ΛΙΘΟΔΟΜΗ**, η οποία αποτελείται από φυσικούς λίθους (αργούς, ημιλαξευτούς ή λαξευτούς) συγκολλημένους με κονίαμα. Χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδους κατασκευή με τους λαξευτούς ως κύριο οικοδομικό υλικό των σημαντικών κτιρίων και τους αργούς για τα περισσότερα συνηθέστερα κτίρια.



Εικόνα 17: Λιθοδομή από ημιλαξευτούς λίθους

<https://www.petraartas.gr/construction/54-stone-compiling3>



Εικόνα 16: Λιθοδομή από λαξευτούς λίθους

<https://www.petraartas.gr/construction/55-stone-compiling4>



Εικόνα 18: Λιθοδομή από αργούς λίθους

<https://eidipetras-xtisimo.weebly.com/alpharhogammaomicron943-lambda943thetaomicroniota.html>

- ΞΗΡΟΛΙΘΟΔΟΜΕΣ, αποτελούνται από φυσικούς λίθους οι οποίοι δεν έχουν υποστεί κάποια κατεργασία και δεν συνδέονται με κονίαμα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη αντοχή έναντι σεισμού. Για το λόγο αυτόν δεν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κτισμάτων παρά μόνο για αυτή των περιτοιχίσεων και τοίχων αντιστήριξης.



Εικόνα 19: Ξηρολιθοδομή

<http://5a.arch.ntua.gr/project/4247/5267>

- ΧΥΤΕΣ, είναι οι τοιχοποιίες οι οποίες κατασκευάζονται από μείγμα κροκάλων και πηλού τα οποία με τη χρήση καλουπιών διαστρώνονται κατάλληλα διαμορφώνοντας ένα ενιαίο συμπαγές σύνολο τοίχου.



Εικόνα 20: Χυτή τοιχοποιία [7]

Τεχνητά λιθοσώματα

Πρόκειται για προϊόντα βιομηχανικής επεξεργασίας τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν συγκριτικά με τα φυσικά λιθοσώματα, όπως οι τυποποιημένες διαστάσεις και προκαθορισμένες ιδιότητες.

- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΕΣ, κατασκευάζονται από ψημένες (οπτές) πλίνθους (τούβλα), το συστατικό υλικό των οποίων είναι κυρίως πηλός (άργιλος) και χρησιμοποιούνται κατά κόρον ως μη φέρουσες τοιχοπληρώσεις σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα.



Εικόνα 21: Οπτόπλινθος

https://e-oikodomos.blogspot.com/2011/05/blog-post_18.html

- ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΕΣ, αποτελούνται από λίθους που έχουν κατασκευαστεί με τσιμέντο, άμμο και αδρανή. Λόγω των χαμηλών θερμομονωτικών ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανέγερση βιομηχανικών και αγροτικών εγκαταστάσεων.



Εικόνα 22: Τσιμεντόπλινθος

<https://goulas.com.gr/product/%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%B8%CE%BF%CF%83/>

- **ΩΜΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΕΣ**, αποτελούνται από λιθοσώματα κατασκευασμένα από χώμα και νερό (χωματόπλινθες) τα οποία μέσω καλουπιών ξεραίνονται, σκληραίνουν και παίρνουν το επιθυμητό σχήμα. Η κατασκευή τους πραγματοποιείται επί τόπου στο έργο και εξαιτίας της χαμηλής αντοχής τους πλέον δεν χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 23: Ωμόπλινθος

<https://docplayer.gr/137726489-Tehnikes-stereosis-toihopoiion-apo-plithres-kai-domaton-apo-homa-i-empيريا-efarmogon-sti-moni-sina.html>

2. Ανάλογα με τη χρήση τους στην κατασκευή

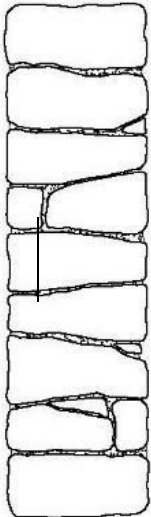
- **ΦΕΡΟΥΣΕΣ**, στόχος των οποίων είναι η μεταφορά των φορτίων της ανωδομής (κατακόρυφα και οριζόντια) στη θεμελίωση.
- **ΠΛΗΡΩΣΗΣ**, χρήση των οποίων είναι μόνο η διαμόρφωση χώρων επομένως, δεν αναλαμβάνουν φορτία για αυτό συνιστάται η κατασκευή τους αφού ολοκληρωθεί ο φέρον οργανισμός.
- **ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για την στήριξη πρανών.
- **ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ**, με σκοπό την διακοσμητική και αισθητική κάλυψη.

3. Ανάλογα με τον τρόπο δόμησης

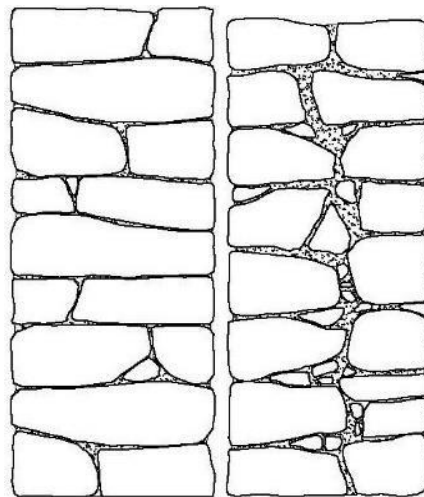
Οι τοιχοποιίες ανάλογα με τον τρόπο δόμησης κατηγοριοποιούνται με βάση το ύψος, το πάχος και το αν είναι οπλισμένες ή προεντεταμένες.

Διάκριση σύμφωνα με το ύψος γίνεται σε κανονικές ή μη κανονικές. Στην πρώτη περίπτωση ανήκουν οι τοιχοποιίες από ορθογωνικούς λίθους οριζόντια διατεταγμένους και κλιμακωτή διάταξη αρμών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ανήκουν όλες οι υπόλοιπες.

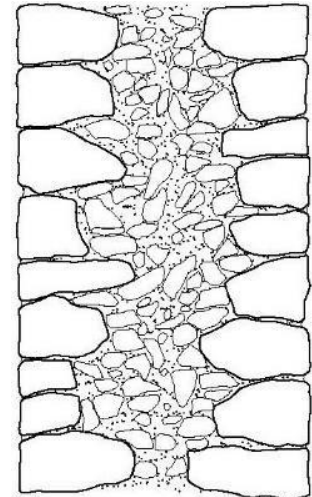
Ανάλογα με το πάχος τους κατηγοριοποιούνται σε συμπαγείς ή μονόστρωτες (μία στρώση λιθοσωμάτων), δίστρωτες (δύο στρώσεις λιθοσωμάτων) και τρίστρωτες (τρεις στρώσεις με την εσωτερική να ονομάζεται πυρήνας).



Εικόνα 24:
Μονόστρωτη
τοιχοποιία [3]



Εικόνα 26:
Δίστρωτες
τοιχοποιίες [3]



Εικόνα 25: Τρίστρωτη
τοιχοποιία [3]

4. Ανάλογα με τη χρήση ή μη οπλισμού

Ανάλογα με τη χρήση ή μη οπλισμού η τοιχοποιία διακρίνεται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- ΑΟΠΛΗ, όπου η κατασκευή γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση λιθοσωμάτων και κονιάματος.
- ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ, όπου τα διαμήκη στοιχεία (ξύλοδεσιές ή μεταλλικά στοιχεία) διευθύνονται κατά μήκος των τοιχών και ενσωματώνονται σε διάφορες θέσεις, δημιουργώντας ένα ενιαίο δομικό σύστημα.
- ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, όπου κατά αντιστοιχία με τα προηγούμενα, τα σενάζ τοποθετούνται με τον ίδιο τρόπο διαδραματίζοντας καίριο ρόλο στην παραλαβή των σεισμικών δυνάμεων.

3.ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε γενικές γραμμές, η επίτευξη ενός ισορροπημένου και ανθεκτικού τοίχου προϋποθέτει τον σωστό συνδυασμό διαφόρων παραμέτρων και παραγόντων, όπως η κατεργασία των λίθων, η ποιότητα της κατασκευαστικής σύνθεσης, ο σχεδιασμός και η δόμηση. Οι κύριοι αυτοί παράγοντες επηρεάζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας επομένως, οι προδιαγραφές και οι οδηγίες για την κατασκευή πρέπει να τηρούνται προσεκτικά προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η αντοχή του τελικού έργου μέσω του ΚΑΔΕΤ [2] και του Ευρωκώδικα 6 [18].

3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

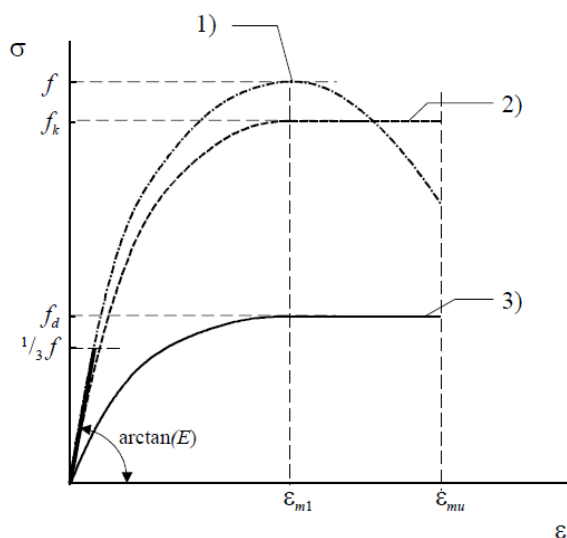
Βασικό προτέρημα της τοιχοποιίας αποτελεί η σχετικά υψηλή θλιπτική αντοχή f_{wc} που παρουσιάζει. Ενώ χαρακτηριστικά όπως η ιδιαίτερα χαμηλή εφελκυστική αντοχή f_t (που συχνά αμελείται), η σχετικά ικανοποιητική αντοχή σε διάτμηση f_v , η έντονη ανισότροπη συμπεριφορά και η απόκριση εκτός επιπέδου αποτελούν τις βασικές αδυναμίες της.

Η αναφορά σε "αδύνατα επίπεδα της τοιχοποιίας" επισημαίνει τις περιοχές που μπορεί να είναι επιρρεπείς σε αδυναμίες λόγω συγκεκριμένων παραγόντων όπως κυρίως η συμπεριφορά της διεπιφάνειας επαφής ιδιαίτερα κατά μήκος των συνεχών οριζόντιων αρμών αλλά και ο ψαθυρός χαρακτήρας των πλίνθων και του κονιάματος.

Συγκριτικά με το οπλισμένο σκυρόδεμα, η τοιχοποιία σαν σύνολο παρουσιάζει μικρότερη θλιπτική αντοχή εξαιτίας της ψαθυρότητας που την διακατέχει, του μεγάλου σεισμικού βάρους και της σχετικά υψηλής διαπερατότητας σε νερό, για αυτό παρατηρούνται μεγάλες γενικά διατομές στο πάχος των φερόντων τοίχων ($\geq 0,50$ m) ώστε να μεταφερθούν τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος.

3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Με βάση τον Ευρωκώδικα 6 [18], η σχέση μεταξύ τάσεων-παραμορφώσεων τοιχοποιίας υπό θλίψη είναι μη γραμμική. Μπορεί όμως να θεωρηθεί γραμμική, παραβολική, ορθογωνική παραβολική ή ορθογωνική με σκοπό τον σχεδιασμό μιας διατομής.



1. Τυπικό διάγραμμα
2. Ιδεατό διάγραμμα (ορθογωνικό- παραβολικό)
3. Διάγραμμα σχεδιασμού

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] το διάγραμμα τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων της τοιχοποιίας υπό θλίψη μπορεί να λαμβάνεται παραβολικό.

Εικόνα 27: Stress-strain relationship for masonry in compression [18]

Επίσης αναφέρει ότι σε περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που αφορούν την ανηγμένη παραμόρφωση αστοχίας, μπορούν να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες ενδεικτικές τιμές οι οποίες έχουν προκύψει από εργαστηριακές δοκιμές σε διάφορα είδη τοιχοποιίας.

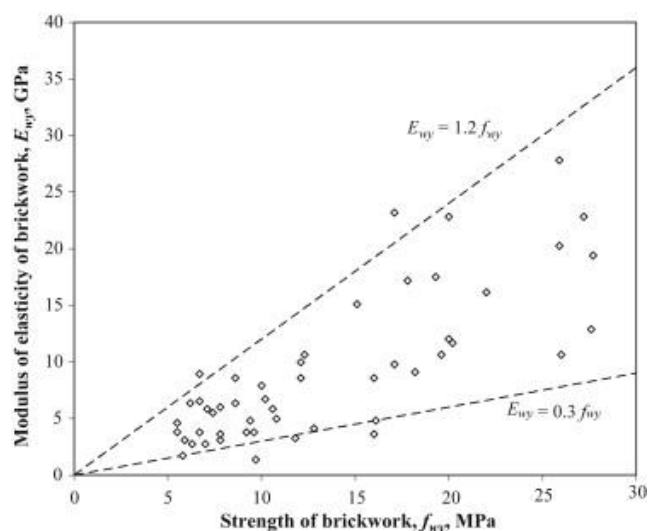
- Αργολιθοδομή: $\epsilon_u = 0,002-0,003$ ($f_c = 1,0-3,0$ MPa)
- Οπτοπλινθοδομή από συμπαγείς οπτόπλινθους: $\epsilon_u = 0,004$ ($f_{wc} = 3,0-8,0$ MPa)
- Οπτοπλινθοδομή από ορθότρυπα λιθοσώματα: $\epsilon_u = 0,0015-0,0035$ ($f_{wc} = 2,0-3,0$ MPa)
- Τρίστρωτη λιθοδομή: $\epsilon_u = 0,0015$ ($f_c = 2,0$ MPa)

3.4 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young εκφράζει τη σχέση μεταξύ της τάσης και της παραμόρφωσης σε ελαστικό (μη μόνιμο) καθεστώς, δηλαδή πώς το υλικό αντιδρά σε μια εφαρμοζόμενη τάση με την αλλαγή της παραμόρφωσης. Με άλλα λόγια πόσο εύκαμπτο ή δύσκαμπτο είναι το υλικό στην αντίδρασή του σε μια δύναμη.

Με δεδομένο ότι η τοιχοποιία είναι συνδυασμός υλικών, το μέτρο ελαστικότητας επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των συνιστώντων υλικών, από το μέγεθος των λιθοσωμάτων και το πάχος των αρμών κονιάματος, καθώς και από την στάθμη της θλιπτικής τάσεως στην τοιχοποιία.

Οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη διασπορά, για αυτό προσδιορίζεται είτε μέσω καταλλήλων εργαστηριακών δοκιμών αντίστοιχων με αυτών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας, είτε χρησιμοποιούνται τιμές για παρόμοιες με την εξεταζόμενη τοιχοποιίες, από αξιόπιστη βιβλιογραφία.



Εικόνα 28: Secant modulus of elasticity as a function of strength of clay brickwork [18]

Ενδεικτικώς σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] μπορεί να εφαρμόζεται η εμπειρική σχέση:

$$E_{wc} \approx 1300 \cdot \left(1 - \frac{f_{wc}}{5}\right) \cdot f_{wc} \mp 140 \cdot f_{wc}^2 \text{ [MPa]}, \text{ για } 1 \text{ MPa} < f_{wc} < 3 \text{ MPa} \text{ (}\Sigma \text{ 6.5)}$$

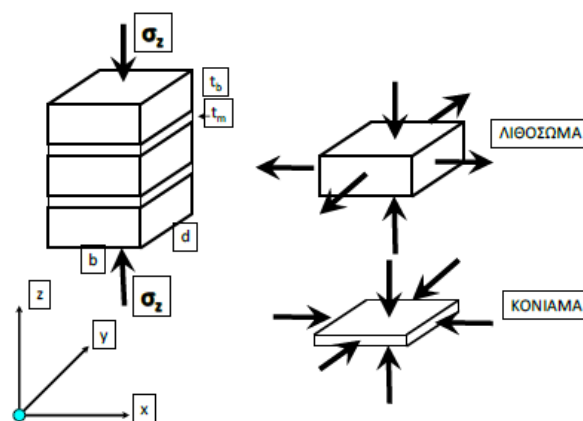
3.5 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ

Μηχανική της άοπλης τοιχοποιίας υπό κατακόρυφη θλίψη

Η άοπλη τοιχοποιία συντίθεται από λίθους συγκολλημένους με κονίαμα, υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας και λόγο διόγκωσης (Poisson). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, μαζί και με γεωμετρικούς παράγοντες, είναι άμεσα συνυφασμένα με τον τρόπο αστοχίας της ο οποίος καθορίζει τη θλιπτική της αντοχή.

Ο τρόπος αστοχίας μιας τοιχοποιίας υποβαλλόμενη σε θλιπτικά φορτία είναι η δημιουργία ρηγματώσεων. Η μορφολογία τους εκτός από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των συνιστώντων υλικών εξαρτάται και από τη δομική σύνθεση της τοιχοποιίας κατά τις όψεις και το πάχος της.

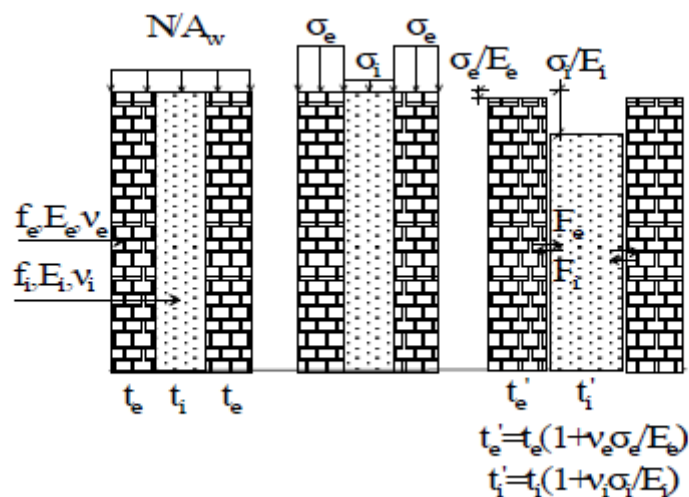
Συγκεκριμένα όταν πρόκειται για μονόστρωτη τοιχοποιία, παρουσιάζονται ρηγματώσεις που διαπερνούν το κονίαμα ή και τα λιθοσώματα. Τα δύο υλικά υποβάλλονται ταυτόχρονα, τα μεν λιθοσώματα σε εγκάρσιο εφελκυσμό το δε κονίαμα σε εγκάρσια θλίψη. Η ετερόσημη τριαξονική ένταση που δημιουργείται λόγω αυτής της διαφορετικής συμπεριφοράς των υλικών οδηγεί σε κατακόρυφες ρωγμές που εμφανίζονται και στα λιθοσώματα παρά το γεγονός ότι αυτά έχουν υψηλότερη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε σύγκριση με το κονίαμα. Συνεπώς η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας προκύπτει μεγαλύτερη από αυτή του κονιάματος (ασθενέστερο υλικό) και μικρότερη από αυτή των λιθοσωμάτων (ισχυρότερο υλικό).



Εικόνα 29: Η Μηχανική της μονόστρωτης τοιχοποιίας υπό κατακόρυφη θλίψη [3]

Στην περίπτωση της δίστρωτης τοιχοποιίας, η αστοχία εκδηλώνεται επίσης κατά τις όψεις. Όταν οι δύο παρειές διαθέτουν πυκνά διάτονα λιθοσώματα τότε ο μηχανισμός είναι αντίστοιχος με αυτόν της μονόστρωτης ενώ, όταν διαθέτει αραιά διάτονα λιθοσώματα ή δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των παρειών, τότε δημιουργείται κατακόρυφη ρωγμή κατά το πάχος της τοιχοποιίας με αποτέλεσμα την αποκόλληση και την ανεξάρτητη λειτουργία των δύο παρειών. Η αστοχία πραγματοποιείται όταν αστοχεί η ασθενέστερη παρειά.

Τέλος η αστοχία της τρίστρωτης τοιχοποιίας παρουσιάζεται τόσο στις όψεις της όσο και εντός του πάχους της με τη μορφή κατακόρυφων ρωγμών. Αυτό συμβαίνει διότι το υλικό πλήρωσης του πυρήνα χαρακτηρίζεται από χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και υψηλό λόγο εγκάρσιας διόγκωσης ασκώντας οριζόντια δύναμη στις εξωτερικές παρειές αναγκάζοντας τις να αναλάβουν όλο το θλιπτικό φορτίο και τελικώς να αστοχήσουν σε εκτός επιπέδου κάμψη.



Εικόνα 30: Η Μηχανική της τρίστρωτης τοιχοποιίας υπό κεντρική θλίψη [3]

Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

Ακολούθως δίνονται οι σχέσεις οι οποίες σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων τοιχοποιιών.

- Θλιπτική αντοχή μονόστρωτης τοιχοποιίας ή δίστρωτης τοιχοποιίας με διάτονα λιθοσώματα

(α) Καλοδομημένη οπτοπλινθοδομή:

$$f_{wc} = [f_{mc} + 0,40 \cdot (f_{bc} - f_{mc})] \cdot (1 - 0,8 \cdot \sqrt[3]{a}), f_{bc} > f_{mc} \quad (\Sigma 6.1)$$

$$f_{wc} = f_{bc} \cdot (1 - 0,8 \cdot \sqrt[3]{a}), f_{bc} < f_{mc} \quad (\Sigma 6.2)$$

Όπου,

f_{bc} και f_{mc} η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων και του κονιάματος αντιστοίχως,
 $a = \frac{t_{jm}}{h_{bm}}$ ο λόγος του μέσου πάχους των οριζόντιων αρμών κονιάματος και του μέσου ύψους των λιθοσωμάτων t_{jm} και h_{bm} αντιστοιχά

(β) Χαμηλής αντοχής λιθοδομή:

$$f_{wc} = \xi \cdot \left[\left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_{bc}} - f_0 \right) + \lambda \cdot f_{mc} \right] \quad (\Sigma 6.3)$$

V_m ο όγκος του κονιάματος

V_w ο όγκος της τοιχοποιίας

f_{bc} η θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος

λ συντελεστής συνάφειας λιθοσώματος- κονιάματος, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 0,50 για τραχείς λίθους και ίσος με 0,1 για πολύ λείους λίθους.

f_0 συντελεστής (σε MPa), ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν τον βαθμό λάξευσης των λίθων και παίρνει τις ακόλουθες τιμές :

0,00 για λαξευτή λιθοδομή 0,50-1,00 για λιθοδομή από ημικανονικούς λίθους 1,50-2,50 για αργολιθοδομή, ανάλογα με την ποιότητα δομήσεως.

ξ , συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την δυσμενή επιρροή του πάχους των αρμών κονιάματος

$$\xi = \frac{1}{1+3,5 \cdot (k-k_0)} < 1,0$$

$$k = (\text{όγκος κονιάματος}) : (\text{όγκος τοιχοποιίας}) = V_m / V_w \geq 0,30$$

$$k_0 = 0,30$$

Εάν $V_m / V_w \leq 0,30$, τότε λαμβάνεται $\xi = 1,00$

Η σχέση αυτή εφαρμόζεται για $f_{bc} = 25-75$ MPa και $f_{mc} = 0,5-2,5$ MPa.

- Θλιπτική αντοχή δίστρωτης τοιχοποιίας χωρίς διάτονα λιθοσώματα

Όπως αναφέρθηκε, στην περίπτωση της δίστρωτης τοιχοποιίας χωρίς διάτονα λιθοσώματα ή με αραιά λιθοσώματα, οι δύο παρειές λειτουργούν ανεξάρτητα και έτσι υπολογίζεται η θλιπτική αντοχή τους ξεχωριστά και λαμβάνεται η μικρότερη εκ των δύο.

- Θλιπτική αντοχή τρίστρωτης τοιχοποιίας

Για την τρίστρωτη τοιχοποιία είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η γεωμετρία της τόσο κατά τις όψεις όσο και κατά το πάχος της, καθώς επίσης και οι θλιπτικές αντοχές των παρειών και του υλικού πληρώσεως του πυρήνα.

Η θλιπτική αντοχή του υλικού πληρώσεως προκύπτει από εργαστηριακή δοκιμή κατάλληλων δειγμάτων ή δοκιμίων αναπαραγόμενων ενδεχομένως υπό ανάλογες συνθήκες.

A. Όμοιες εξωτερικές παρειές (πρακτικώς ισοπαχείς και περίπου της ίδιας θλιπτικής αντοχής).

$$f_{wc} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot (2 \cdot \lambda_e \cdot \delta \cdot f_{c,e} + \lambda_i \cdot f_{c,i}) / (1 + 2 \cdot \delta) \quad (6.1)$$

όπου,

δ , ο λόγος του πάχους της εξωτερικής παρειάς προς το πάχος του υλικού πληρώσεως

$f_{c,e}$ και $f_{c,i}$ η θλιπτική αντοχή των εξωτερικών παρειών και του υλικού πληρώσεως αντιστοίχως

λ_e (<1,00) και λ_i (>1,00): εμπειρικοί συντελεστές, οι οποίοι λαμβάνουν υπ' όψη την αλληλεπίδραση εξωτερικών παρειών και υλικού πληρώσεως.

γ_{Rd} δείκτης αβεβαιότητας, ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 1,50.

B. Ανόμοιες εξωτερικές παρειές

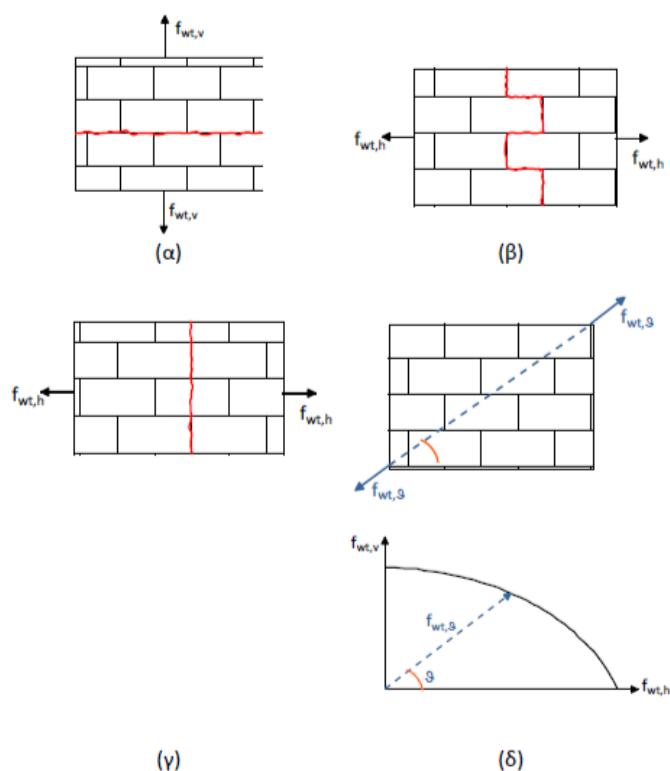
$$f_{wc} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \frac{[\lambda_e \cdot (\delta_{e1} \cdot f_{c,e1} + \delta_{e2} \cdot f_{c,e2}) + \lambda_i \cdot f_{c,i}]}{1 + \delta_{e1} + \delta_{e2}} \quad (\Sigma 6.4)$$

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, οι εμπειρικοί συντελεστές μπορούν να λαμβάνονται ίσοι με $\lambda_e = 0,80$ και $\lambda_i = 1,20$ αντιστοίχως.

3.6 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Η τοιχοποιία χαρακτηρίζεται από ανισοτροπία με αποτέλεσμα τη διαφορετική τιμή εφελκυστικής αντοχής ανάλογα με την κατεύθυνση και τη γωνία υπό την οποία εμφανίζεται ο εφελκυσμός. Οι εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται είναι ενδεχομένως και από συνδυασμό κατακόρυφης θλιπτικής δύναμης, τέμνουσας και ροπής κάμψης. Επομένως για κάθε συνδυασμό εντατικών μεγεθών προκύπτει διαφορετική τιμή της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας, λόγω της ετερόσημης επίπεδης διαξονικής κατάστασης και λόγω της διαφορετικής γωνίας υπό την οποία εμφανίζεται η κύρια εφελκυστική τάση ως προς τις στρώσεις της τοιχοποιίας.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] εμφανίζονται οι εξής περιπτώσεις αστοχίας εξαιτίας εφελκυστικών τάσεων.



Εικόνα 31: Μορφές αστοχίας της τοιχοποιίας υπό εφελκυσμό [3]

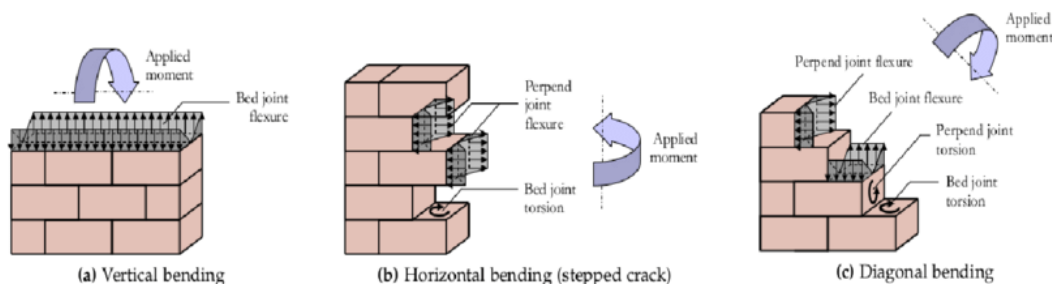
Συγκεκριμένα στην περίπτωση (α) η τοιχοποιία υπόκειται σε κατακόρυφο εφελκυσμό και η αντοχή της εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του κονιάματος των οριζόντιων αρμών, καθώς και από την αντοχή αποκόλλησης λιθοσώματος-κονιάματος.

Στις περιπτώσεις (β) και (γ) η αντοχή υπό οριζόντιο εφελκυσμό εξαρτάται από την αντοχή των επιμέρους υλικών. Όταν η αντοχή του κονιάματος είναι πολύ μικρότερη από την αντοχή του λιθοσώματος, εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του κονιάματος, καθώς και από την τριβή κατά μήκος των οριζόντιων τμημάτων της ρωγμής (περίπτωση -β-) ενώ, όταν οι αντοχές των συνιστώντων υλικών είναι συγκρίσιμες, τότε η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή και των δύο υλικών (περίπτωση -γ-).

Σημειώνεται ότι η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας υπό κατακόρυφο εφελκυσμό είναι περίπου ίση με το μισό της αντοχής υπό οριζόντιο εφελκυσμό, και τέλος στην περίπτωση (δ) για εφελκυσμό επιβαλλόμενο υπό γωνία ισχύουν τιμές για ενδιάμεσες τιμές αντοχής.

3.7 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΚΑΜΨΗ

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] διακρίνονται δύο περιπτώσεις για τον έλεγχο επάρκειας μιας άοπλης διατομής έναντι εκτός επιπέδου κάμψης, σε κάμψη εντός επιπέδου (πεσσοί, τοιχία σε σεισμό) και σε κάμψη εκτός επιπέδου.



Εικόνα 32: Τοίχος επιβαλλόμενος σε εκτός επιπέδου κάμψη

https://www.researchgate.net/figure/Internal-stresses-in-the-interfaces-depending-on-the-applied-bending-moment-Vaculik_fig5_327035111

(α) Εκτός επιπέδου ροπή κάμψης περί οριζόντιο άξονα:

Η εφελκυστική αντοχή της μονόστρωτης ή δίστρωτης με πυκνά διάτονα λιθοσώματα τοιχοποιίας αμελείται, γίνεται παραδοχή αδρανούς περιοχής, η δε ροπή κάμψης την οποία μπορεί να αναλάβει η διατομή ελέγχου εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και από την τιμή του (ευμενούς) αξονικού φορτίου, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$M_r = \frac{1}{2} \cdot l \cdot t_w^2 \cdot \sigma_o \cdot \left(1 - \frac{\sigma_o}{f_{wc}}\right) \quad (6.2)$$

όπου,

$\sigma_o (= \frac{N}{l \cdot t_w})$ η μέση θλιπτική τάση λόγω αξονικής δράσεως στην διατομή ελέγχου,

l και t_w το μήκος και το πάχος της διατομής και

f_{wc} η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

Αυτά ισχύουν για μονόστρωτη και για δίστρωτη τοιχοποιία με πυκνά διάτονα λιθοσώματα. Στην περίπτωση όμως, τρίστρωτης τοιχοποιίας, ή δίστρωτης χωρίς ή με αραιά διάτονα λιθοσώματα, η ροπή αντοχής εξαρτάται από το εάν οι εξωτερικές παρειές είναι αποκολλημένες ή όχι και εάν στην

εσωτερική παρειά στηρίζονται ή όχι τα ξύλινα στοιχεία υπερκείμενου δαπέδου. Εάν δεν είναι αποκολλημένες οι παρειές, τότε επιτρέπεται η εφαρμογή της σχέσεως. Εάν είναι αποκολλημένες, θα ελέγχονται χωριστά οι δυο παρειές για περίπου ίσες δρώσες ροπές.

(β) Εκτός επιπέδου ροπή κάμψεως περί κατακόρυφο άξονα:

Σ' αυτήν την περίπτωση, ο έλεγχος της κρίσιμης διατομής γίνεται μέσω σύγκρισης της αναπτυσσόμενης εφελκυστικής τάσης στην ακραία εφελκυόμενη ίνα, με την αντίστοιχη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας:

$$\sigma_{wt} = \frac{6 \cdot M_s}{l \cdot t_w^2} < f_{wt} \quad (6.3)$$

όπου,

σ_{wt} η τάση στην ακραία εφελκυόμενη ίνα, οφειλόμενη σε ροπή M_s

l και t_w το μήκος και το πάχος του στοιχείου αντιστοίχως

f_{wt} η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας, f_{wt} , μπορεί να λαμβάνεται ίση με 0,10 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος δεν υπερβαίνει τα 2,0 MPa, ίση με 0,20 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος δομήσεως είναι μεταξύ 2,0 και 5,0 MPa και ίση με 0,40 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος είναι μεγαλύτερη από 5,0 MPa.

3.8 ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

Μηχανισμός αστοχίας

Στα υφιστάμενα δομήματα από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία, διατμητικές και ορθές δυνάμεις που προκαλούνται από τα μόνιμα φορτία της κατασκευής συνυπάρχουν, με αποτέλεσμα η αστοχία να προκληθεί εξαιτίας της ρηγμάτωσης λόγω διαγώνιου εφελκυσμού, ή από διατμητική ολίσθηση διαμέσου των ρωγμών του κονιάματος, ή από θλίψη που παρουσιάζεται λόγω της τέμνουσας με την εμφάνιση λοξών ρωγμών ή θλιπτική αστοχία του λοξού θλιπτήρα υπό ταυτόχρονο εγκάρσιο εφελκυσμό.

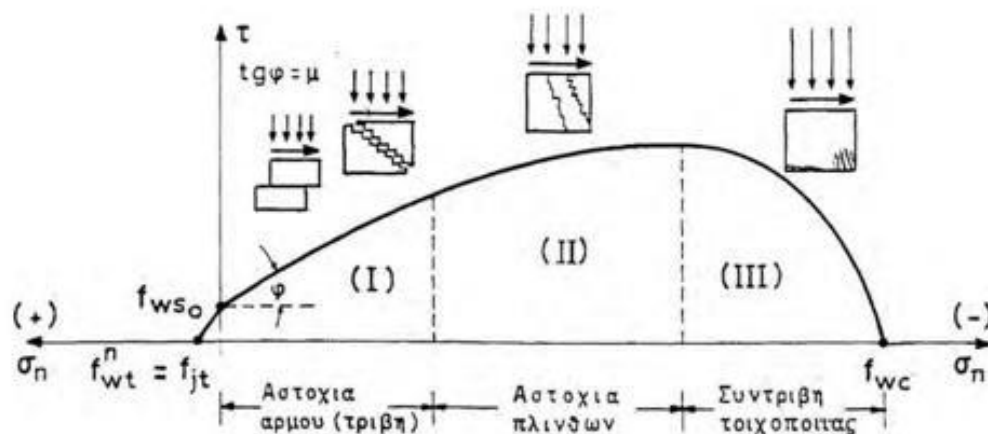
Κατά τη διάρκεια του σεισμού οι διαγώνιες/ δισδιαγώνιες ρωγμές, εξαιτίας της ανακύκλισης, πιθανόν να προκαλέσουν αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας με αποτέλεσμα την αστοχία της κατασκευής. Ο λοξός θλιπτήρας παρουσιάζει φέρουσα ικανότητα που αντιστοιχεί σε μικρό ποσοστό της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας υπό μονοαξονική θλίψη. Αυτή μειώνεται ακόμα περισσότερο εξαιτίας της ανακύκλισης και της συνακόλουθης ρηγμάτωσης με αποτέλεσμα την πιθανή αστοχία του στοιχείου λόγω της ανεπάρκειας των λοξών θλιπτήρων.

Επιπλέον οι ρωγμές παρουσιάζουν γωνία η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του θλιπτικού φορτίου που καταπονεί το δόμημα, και η μορφολογία τους από τον τρόπο δομήσεως της τοιχοποιίας. Έτσι στην περίπτωση όπου τα λιθοσώματα και το κονίαμα έχουν παραπλήσια μηχανικά χαρακτηριστικά τότε οι λοξές ρωγμές περνούν τόσο μέσω των αρμών του κονιάματος, όσο και μέσω των λιθοσωμάτων και εμφανίζονται περίπου σαν ευθείες γραμμές. Όταν όμως παρατηρείται βαθμιδωτή μορφή των ρωγμών οι οποίες διαδίδονται μέσω των αρμών του κονιάματος τότε, η κατάσταση αυτή είναι απόρροια του γεγονότος ότι ο λίθος έχει μεγαλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Επίσης ακόμα και αν τα λιθοσώματα έχουν σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή από το κονίαμα αλλά μικρό μέγεθος τότε πάλι οι ρωγμές διαδίδονται μέσω των αρμών του κονιάματος, αλλά έχουν μορφή περίπου ευθείας.

Τέλος όταν εξετάζεται δίστρωτη ή τρίστρωτη τοιχοποιία τότε η μορφολογία ρηγματώσεως είναι συνήθως διαφορετική στις δύο εξωτερικές παρειές ακόμα και αν αυτές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Αντοχή σε διάτμηση

Υπό πραγματικές συνθήκες καθαρή διάτμηση δεν υπάρχει, αλλά στο επίπεδο των αρμών οι διατμητικές τάσεις συνυπάρχουν με τις ορθές που μπορεί να οφείλονται ακόμα και μόνο στο ίδιο βάρος της τοιχοποιίας.



Εικόνα 33: Περιβάλλουσα αστοχίας τοιχοποιίας Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

Χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό είναι η περιβάλλουσα αστοχίας υπό σχεδιασμό ορθών και διατμητικών τάσεων.

Αναλύοντας την καμπύλη προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- *Περιοχή I:* χαμηλές τιμές ορθών τάσεων σ_n και διατμητική αστοχία της τοιχοποιίας με τη μορφή είτε αστοχία τριβής- ολίσθησης οριζόντιου αρμού είτε, κλιμακωτή αποκόλληση και ολίσθηση κατακόρυφων και οριζόντιων αρμών. Είναι αποδεκτό να γίνεται χρήση του κριτηρίου αστοχίας Coulomb, $\tau_u = f_{wc} = f_{wc0} + \mu \cdot \sigma_n$, όπου η ορθή τάση θεωρείται θετική.

- *Περιοχή II:* μέσες τιμές ορθών τάσεων σ_n και η αστοχία οφείλεται σε λοξή ρηγμάτωση που διαπερνά και πλίνθους και συνήθως εμφανίζεται στους πεσσούς των ανοιγμάτων.
- *Περιοχή III:* υψηλές τιμές ορθών τάσεων σ_n και η αστοχία προκαλείται λόγω κάμψης με τη μορφή συντριβής της θλιβόμενης γωνίας.
- *Περιοχή εφελκυστικής ορθής τάσης σ_n :* καθώς συνήθως ισχύει $f_{wso} > f_{jt}$, το διάγραμμα αστοχίας είναι πρακτικά ευθεία με έντονη κλίση και ο συντελεστής τριβής μ παίρνει τιμές συνήθως από 0,4 έως 0,7. Το τμήμα αυτό εκφράζει τις ορθές τάσεις στις οποίες λειτουργεί η τοιχοποιία.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3], η αντοχή της τοιχοποιίας έναντι τέμνουσας μπορεί να υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$f_v = f_{v0} + \mu \cdot \sigma \quad (6.4)$$

όπου,

f_{v0} η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας υπό μηδενική θλιπτική τάση σ και μ ο φαινόμενος συντελεστής τριβής

Επιπλέον αναφέρεται ότι:

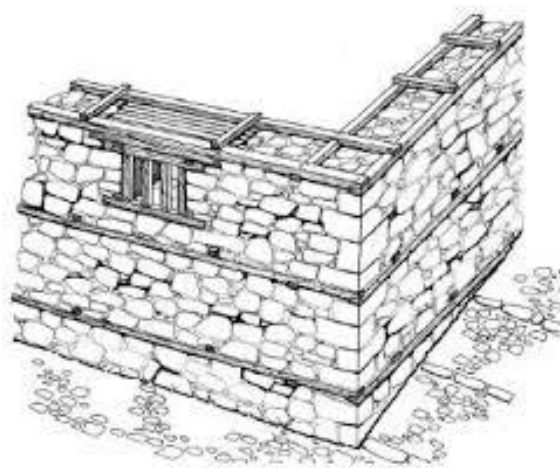
- Η διατμητική αντοχή επιστρατεύεται μόνον κατά μήκος της θλιβόμενης ζώνης, l_c , της διατομής ελέγχου.
- Σε κάθε περίπτωση, η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας δεν μπορεί να λαμβάνεται μεγαλύτερη από $0,065f_{bc}$, όπου f_{bc} η μέση θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων.
- Ο φαινόμενος συντελεστής τριβής αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο και όχι στο κεκλιμένο επίπεδο της ρωγμής. Ο συντελεστής τριβής είναι συνάρτηση τόσο της τιμής της θλιπτικής τάσεως, όσο και της τραχύτητας της διεπιφάνειας.
- Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, ο συντελεστής τριβής μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0,40. Δεδομένου ότι αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε

μεγάλες τιμές θλιπτικής τάσης κάθετης στην διεπιφάνεια, όταν πρόκειται για αποτίμηση κτιρίων με ιστορική/αρχιτεκτονική αξία, συνιστάται να λαμβάνεται υπ' όψη κατάλληλη (αυξημένη) τιμή του συντελεστή τριβής, βάσει της βιβλιογραφίας.

3.9 ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ

Τα οριζόντια διαζώματα, είτε πρόκειται για ξυλοδεσίες είτε για μεταλλικά ή από οπλισμένο σκυρόδεμα σε πιο πρόσφατες κατασκευές, αντιπροσωπεύουν σημαντικά στοιχεία που διατέμνουν ολόκληρο το μήκος των φερόντων τοίχων, συμβάλλοντας στη συνολική αντοχή της κατασκευής σε διάφορες συνθήκες.

Στις ξυλοδεσίες ή μεταλλικά διαζώματα, τα διαμήκη στοιχεία διευθύνονται κατά μήκος των τοίχων και ενσωματώνονται σε διάφορες θέσεις. Στα σημεία σύναψης των τοίχων, συνδέονται με τα αντίστοιχα στοιχεία, δημιουργώντας ένα ενιαίο δομικό σύστημα. Όταν χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δύο διαμήκη ξύλινα ή μεταλλικά στοιχεία στο πάχος των τοίχων, επιτυγχάνεται εγκάρσια σύνδεση, με ξύλινα ή μεταλλικά στοιχεία, τα οποία διατάσσονται ανά αποστάσεις. Σε περιπτώσεις διαζωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, αυτά καταλαμβάνουν συνήθως ολόκληρο το πλάτος της τοιχοποιίας, ενώ το ύψος τους παραμένει συνήθως χαμηλό.



Εικόνα 34: Οριζόντια διαζώματα

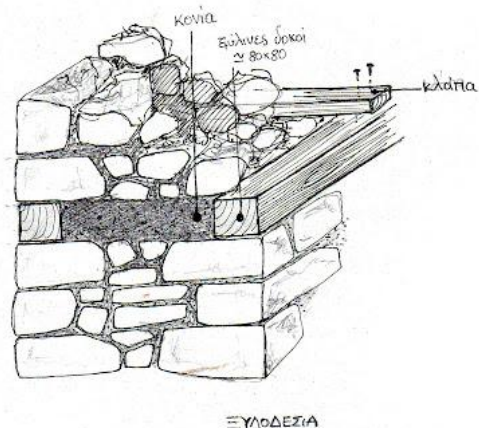
http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/349/pol_00729.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Η παρουσία διαζωμάτων δεν επηρεάζει άμεσα τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας αυτής καθαυτής. Ωστόσο, τα οριζόντια διαζώματα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με κατακόρυφα διαζώματα και τοποθετούνται στις στάθμες των πατωμάτων και της στέγης, καθώς και επιπλέον σε μια τουλάχιστον ενδιάμεση στάθμη, ασκούν λειτουργία περίσφιγξης στη θλίψη.

Τα οριζόντια διαζώματα είναι σημαντικά ως οπλισμός κατά τη διατμητική και καμπτική καταπόνηση της κατασκευής. Αυτά επηρεάζουν τη ρηγμάτωση και το φορτίο αστοχίας, καθώς και την παραμορφωσιμότητα των στοιχείων της τοιχοποιίας. Η σύνδεση των οριζόντιων διαζωμάτων με τα κατακόρυφα

διαζώματα δημιουργεί ένα συνολικό περικλειστο σύστημα που αυξάνει την ολική αντοχή του κτιρίου σε σεισμικές δυνάμεις.

Συγκεκριμένα η παρουσία του συστήματος ξυλοδεσίας συνεισφέρει σε μια μικρή αύξηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας κατά περίπου 15%-20%, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται σημαντική αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας της τοιχοποιίας υπό επίδραση θλίψης. Αυτή η ενίσχυση των μηχανικών χαρακτηριστικών οφείλεται στη μειωμένη εμφάνιση και εξάπλωση κατακόρυφων ρωγμών εντός του πάχους της τοιχοποιίας, χάρη στην εγκάρσια σύνδεση των ξύλινων στοιχείων. Το σύστημα ξυλοδεσίας ενισχύει τη συνοχή της τοιχοποιίας και προάγει την ομοιόμορφη συμπεριφορά των διαφορετικών τμημάτων της λιθοδομής.



Εικόνα 35: Ξυλοδεσία

<http://5a.arch.ntua.gr/project/1107/1835>

Στην περίπτωση των διαζωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία εντοπίζονται συχνά σε περιοχές με έντονη σεισμικότητα και σε υφιστάμενα σχολεία έπειτα του 1960, διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην παραλαβή των σεισμικών δυνάμεων, λειτουργώντας ως ουσιώδεις συνιστώσες για την ασφάλεια των κατασκευών. Τα οριζόντια διαζώματα, σε πολλές περιπτώσεις, αναλαμβάνουν το βάρος των σεισμικών δυνάμεων και τις μεταφέρουν στους εγκάρσιους τοίχους, λειτουργώντας σαν δοκοί σε οριζόντιο επίπεδο. Επιπλέον λειτουργούν και ως ελκυστήρες στην παραλαβή των φορτίων δίσκου εντός επιπέδου. Η μηχανική αυτή στρατηγική προσδίδει αξιοπιστία στην απόκριση και μηχανική αντοχή στα κτίρια, εξασφαλίζοντας την προστασία τους κατά των σεισμών.

Επιπλέον, τα οριζόντια διαζώματα ενισχύουν τη λειτουργία της τοιχοποιίας σε κάμψη εκτός επιπέδου, προστατεύοντας τους τοίχους από τον κίνδυνο αποκόλλησης. Τα διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελούν κρίσιμο συστατικό της δομής, καθώς καλούνται να λειτουργήσουν ως δοκοί που κάμπτονται σε οριζόντιο επίπεδο. Αυτή η δομική προσέγγιση προσφέρει σταθερότητα και προστασία από τις επιπτώσεις των σεισμών, προσδίδοντας περαιτέρω βεβαιότητα για την ασφάλεια των κατασκευών σε τέτοιες περιοχές.



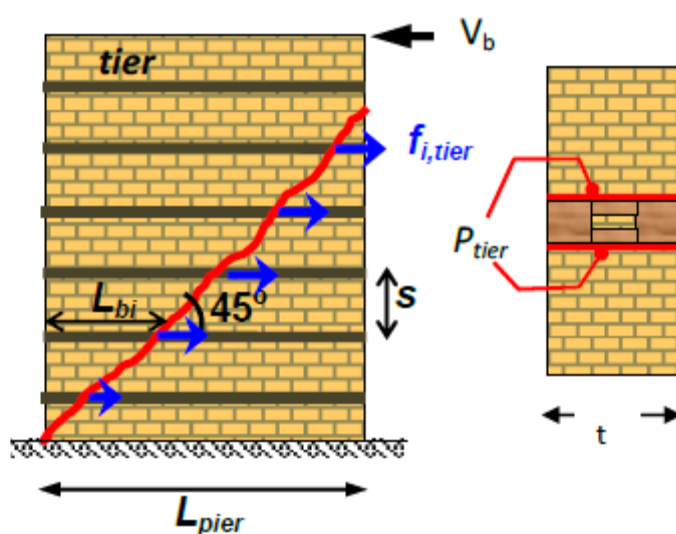
Εικόνα 36: Οριζόντια διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (σενάζ)
https://grafei-o-oikodimos.blogspot.com/2012/12/blog-post_482.html

Στη συνέχεια περιγράφεται ενδελεχώς η συμβολή των σενάζ οπλισμένου σκυροδέματος στην αντιμετώπιση εφελκυστικών τάσεων που επηρεάζουν τη φέρουσα τοιχοποιία. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εφελκυστικές τάσεις εμφανίζονται κατά το σεισμό τόσο στην τοιχοποιία όσο και στα σενάζ οπλισμένου σκυροδέματος.

Αρχικά όταν οι ρωγμές παραμένουν μικρές, η σεισμική τέμνουσα διαμοιράζεται τόσο στα οριζόντια σενάζ όσο και στην τοιχοποιία. Καθώς όμως οι παραμορφώσεις αυξάνονται, η σεισμική τέμνουσα μεταβαίνει αποκλειστικά στα οριζόντια σενάζ, παρατηρώντας παράλληλα απώλεια συνοχής μεταξύ του διαζώματος και του κονιάματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6 [18], ο έλεγχος των οπλισμένων διατμητικών τοίχων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε θεωρώντας ότι η τέμνουσα δύναμη προέρχεται αποκλειστικά από την τοιχοποιία, είτε από την τοιχοποιία και τον οριζόντιο οπλισμό. Η συνολική διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας, η οποία έχει ενισχυθεί με οριζόντια στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, υπολογίζεται ως το άθροισμα της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας (V_{Rd}) συν τη συμβολή των οριζοντίων διαζωμάτων (V_b).

$$V_{Rd}^{tot} = V_{Rd} + V_b$$



Εικόνα 37: Συνεισφορά των οριζόντιων διαζωμάτων [3]

3.10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η προαπαιτούμενη συνθήκη για την ανάλυση ενός φορέα είναι η προσομοίωσή του. Η επιτυχημένη ανάπτυξη ενός κατάλληλου προσομοιώματος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως η επιθυμητή υπολογιστική ακρίβεια των αποτελεσμάτων, τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του φορέα, τα επιβαλλόμενα φορτία και το είδος της ανάλυσης.

Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς ενός φορέα σε εντατικά μεγέθη πραγματοποιείται μέσω της ανάλυσης του ιδεατού δομικού συστήματος και του αντίστοιχου υπολογιστικού προσομοιώματος. Τα εντατικά μεγέθη υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τους αυξητικούς επιμέρους συντελεστές ασφάλειας, ενώ τα μεγέθη αντίστασης του φορέα υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τους μειωτικούς επιμέρους συντελεστές ασφάλειας.

Στη διαδικασία αυτή, το ιδεατό δομικό σύστημα αντιπροσωπεύει μια απλοποιημένη μαθηματική αναπαράσταση του πραγματικού φορέα, ενώ το υπολογιστικό προσομοίωμα αναλαμβάνει τον ρεαλιστικό υπολογισμό της συμπεριφοράς του φορέα σε διάφορες συνθήκες φόρτισης και στοχευόμενων μεγεθών.

Οι αυξητικοί συντελεστές ασφάλειας χρησιμοποιούνται για να ληφθούν υπόψη πιθανοί παράγοντες αβεβαιότητας και αστοχίας στη προσομοίωση, ενώ οι μειωτικοί συντελεστές ασφάλειας λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε υποεκτίμηση της αντοχής του φορέα.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι προσομοίωσης για κατασκευές από τοιχοποιία είναι οι εξής:

- Πεπερασμένων στοιχείων
- Μακροστοιχείων
- Ισοδύναμου πλαισίου οιονεί – ραβδωτών στοιχείων-μελών
- Συστήματος θλιπτήρων και ελκυστήρων

Πεπερασμένα στοιχεία:

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (ΠΣ) είναι η πιο διαδεδομένη υπολογιστική διαδικασία για την ανάλυση κατασκευών, με εφαρμογές που καλύπτουν σχεδόν όλο το φάσμα της τεχνικής μηχανικής. Η λεπτομερής ανάπτυξη της μεθόδου αποτελεί αντικείμενο εκτενούς βιβλιογραφίας. Συνήθεις εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μελέτη στατικής, θερμικής, δυναμικής και σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών.

Η μέθοδος βασίζεται στο διακριτικό χωρισμό του δομικού συστήματος σε μικρά, πεπερασμένα στοιχεία, όπως τρισδιάστατα σώματα, δισδιάστατες επιφάνειες ή μονοδιάστατες ράβδοι. Κάθε ΠΣ υπολογίζεται ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και τις συνθήκες φόρτισης. Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ο κρίσιμος ρόλος της διακριτοποίησης, δηλαδή της επιλογής του πλήθους, του σχήματος και του μεγέθους των ΠΣ. Παρατηρείται ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται το πλήθος των στοιχείων. Ωστόσο ταυτόχρονα αυξάνεται το υπολογιστικό κόστος και μειώνεται η ταχύτητα εκτέλεσης των υπολογισμών.

Η ευελιξία αυτής της μεθόδου επιτρέπει την αντιμετώπιση ποικίλων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων στατικών, δυναμικών, θερμικών και σεισμικών αναλύσεων, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές σε πολλούς τομείς της μηχανικής.

Τα πεπερασμένα στοιχεία διακρίνονται σε γραμμικά (στοιχεία δοκού και δικτυώματος), επιφανειακά (στοιχεία πλάκας, κελύφους) και χωρικά (στοιχεία τριών διαστάσεων).

Μακροστοιχεία:

Αναλύοντας τις βλάβες που προκλήθηκαν από σεισμούς έχει παρατηρηθεί ότι είναι τοπικές, κυρίως σε κτίρια κατασκευασμένα από τοιχοποιία, υποδεικνύοντας υψηλή σεισμική ευπάθεια μεμονωμένων δομικών στοιχείων που αδυνατούν να διανέμουν τις σεισμικές δυνάμεις στο υπόλοιπο κτίριο. Στην παρούσα μέθοδο, η κατασκευή αντιμετωπίζεται ως σύνολο, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το υπολογιστικό κόστος και ο χρόνος ολοκλήρωσης των υπολογισμών και θεωρεί ότι ένας τοπικός μηχανισμός εκτός επιπέδου αποτελείται από άκαμπτα στερεά σώματα που διαχωρίζονται τόσο μεταξύ τους όσο και από την υπόλοιπη κατασκευή με ζώνες ασυνέχειας.

Τα μακροστοιχεία μπορούν να οριστούν είτε με βάση την αρχική γεωμετρία του φορέα, είτε με βάση μια αρχική κατανομή κύριων ρωγμών στο φορέα. Οι γεωμετρικές ιδιότητές τους αντιστοιχούν σε αυτές των μελών που προσομοιώνουν και η σύνδεση μεταξύ τους στους κόμβους πραγματοποιείται μέσω ελατηρίων.

Μέθοδος ισοδύναμου πλαισίου:

Στη μέθοδο του ισοδυνάμου πλαισίου, η κατασκευή αναλύεται ως ένα σύνολο συνεχών πλαισίων, τα οποία αποτελούνται από επιμέρους γραμμικά στοιχεία. Κάθε πλαίσιο υποδιαιρείται σε οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία, τα οποία είναι ραβδωτά και αντιπροσωπεύουν τους πεσσούς και τα υπέρθυρα αντίστοιχα τα οποία ενώνονται μεταξύ τους μέσω κοινών άκαμπτων τμημάτων (κόμβοι). Βάσει παρατηρήσεων σε υπάρχοντα κτίρια που έχουν υποστεί σεισμική καταπόνηση, έχει διαπιστωθεί ότι στους πεσσούς και τα υπέρθυρα, τα οποία προσομοιώνονται ως παραμορφώσιμα στοιχεία, συγκεντρώνονται οι σημαντικότερες βλάβες ενώ οι πιο ασήμαντες στους κόμβους σύνδεσης.

Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου αποτελεί μια δημοφιλή μέθοδο προσομοίωσης εξαιτίας της απλότητας εφαρμογής της και της σαφήνειας των αποτελεσμάτων που συμβάλλει στην ευκολία ερμηνείας τους.

Προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου είναι η εξασφαλισμένη διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων και της στέγης, η διάταξη των ανοιγμάτων είναι τέτοια ώστε κάθε πεσσός να έχει περίπου σταθερό μήκος από τη στάθμη της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη του τοίχου και ο λόγος του ύψους προς το ελεύθερο μήκος του πεσσού (στον όροφο) να μην υπερβαίνει το 2,0.

Τέλος καθώς κάθε τοίχος προσομοιώνεται ως ισοδύναμο πλαίσιο, επιτυγχάνεται μείωση υπολογιστικού κόστους και βαθμών ελευθερίας.

Σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων:

Στη συγκεκριμένη ανάλυση πραγματοποιείται προσομοίωση κρίσιμου τμήματος ή υποσυνόλου της κατασκευής ως σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων κυρίως στην περίπτωση διαζωματικής τοιχοποιίας. Απαιτείται ακριβής προσδιορισμός της θέσης και κατεύθυνσης των ελκυστήρων με τη προϋπόθεση, ότι έχουν την δυνατότητα ανάληψης των εφελκυστικών τάσεων από την τοιχοποιία, για αυτό προτείνεται η διεξαγωγή προκαταρκτικής ελαστικής ανάλυσης προσομοιώματος του κτιρίου ή της κρίσιμης περιοχής με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων και στατική φόρτιση συμβατή με τις επιπτώσεις της σεισμικής δράσης.

3.11 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και για τον σχεδιασμό πιθανών επισκευών ή ενισχύσεων ενός φορέα από φέρουσα τοιχοποιία, ο υπολογισμός εντατικών μεγεθών και παραμορφώσεων πραγματοποιείται σύμφωνα με τις παρακάτω μεθόδους:

- i. Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση- Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- ii. Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης- Ελαστική δυναμική ανάλυση
- iii. Ελαστική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας
- iv. Ανελαστική στατική ανάλυση
- v. Ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας

Οι ελαστικές μέθοδοι μπορούν να δώσουν μία ικανοποιητική ένδειξη της ελαστικής συμπεριφοράς του δομήματος μέχρι να πραγματοποιηθεί η πρώτη διαρροή, αλλά δεν μπορούν να προβλέψουν την ανακατανομή των εντάσεων που συμβαίνουν κατά την προοδευτική διαρροή των δομικών μελών του φορέα.

Οι ανελαστικές μέθοδοι συμβάλλουν στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής φανερώνοντας τους μηχανισμούς αστοχίας και την ενδεχόμενη προοδευτική κατάρρευση.

Οι πιο κοινά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τη σεισμική ανάλυση είναι η ελαστική ισοδύναμη στατική ανάλυση με συντελεστή συμπεριφοράς q , σεισμική δράση από το μειωμένο φάσμα απόκρισης, και η ανελαστική στατική ανάλυση με σεισμική δράση από το ελαστικό φάσμα απόκρισης.

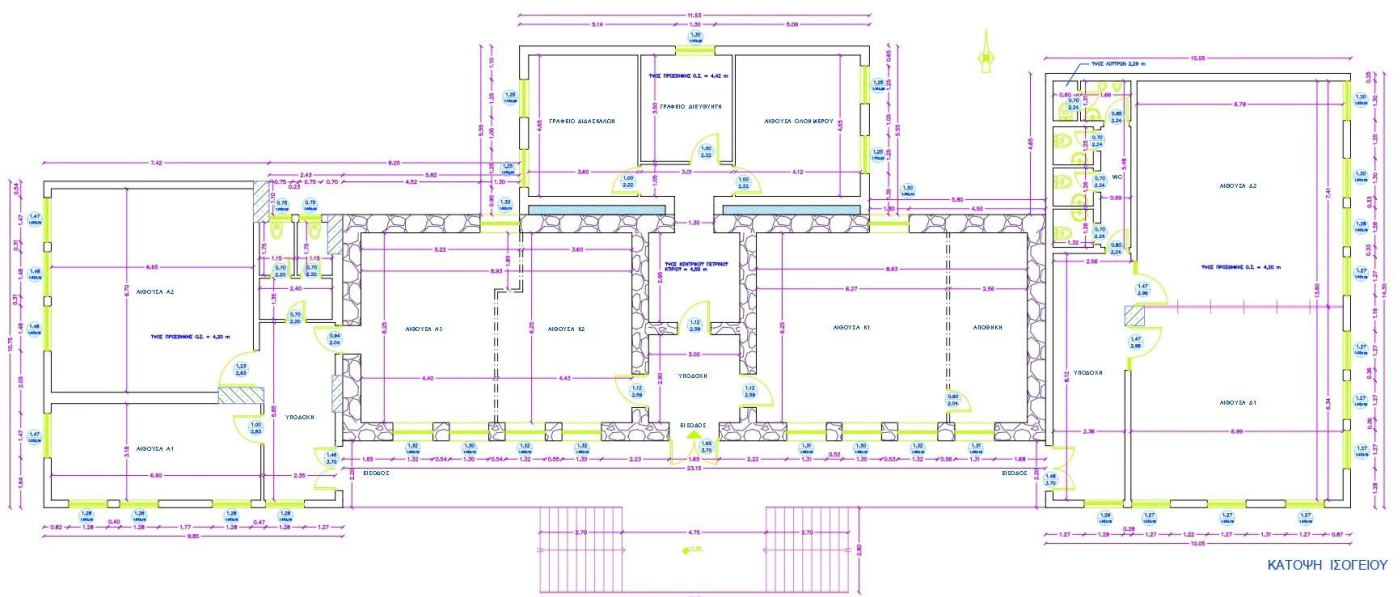
4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της μελέτης αποτελεί μόνο το αρχικό κτίριο από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία και όχι οι μεταγενέστερες προσθήκες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκε λεπτομερής αποτύπωση η οποία σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα AutoCAD Architecture [16] τόσο του πέτρινου κτιρίου όσο και των προσθηκών ως προς τα ανοίγματα και τις διαστάσεις των χώρων.



Εικόνα 38: Φωτογραφία σημερινής κατάστασης

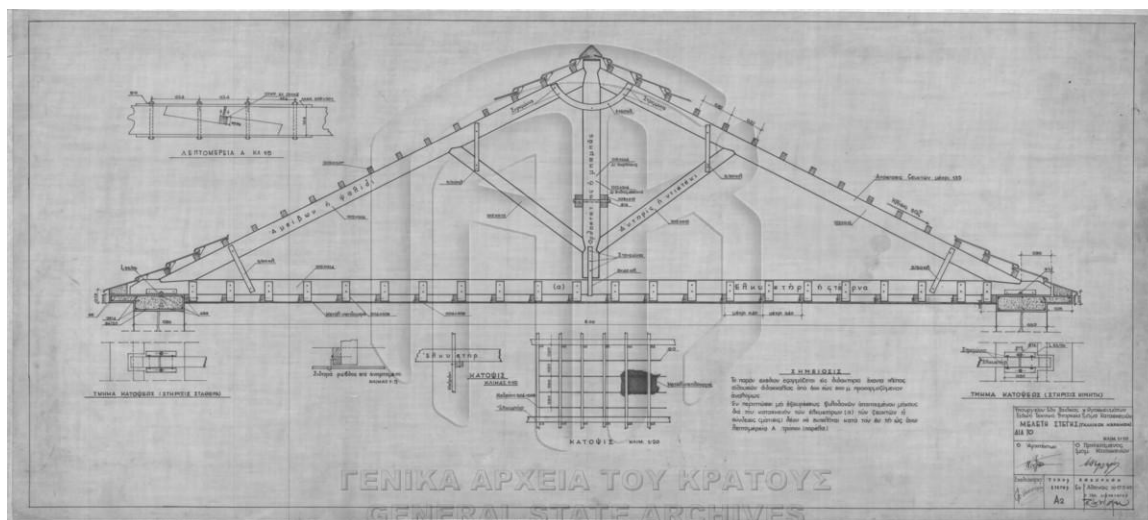


Εικόνα 39: Αποτύπωση υφιστάμενων κτιρίων [16]

4.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ

ΞΥΛΙΝΗ ΣΤΕΓΗ

Αναφορικά με τη στέγη γίνεται η παραδοχή ότι αποτελείται από διαδοχικά τυπικά ζευκτά ανά 1,50 m και ύψος 1,50 m από φυσική ξυλεία, που συνήθιζαν να κατασκευάζουν εκείνη την εποχή, ενώ ο τρόπος με τον οποίο εισήχθη στο προσομοίωμα αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 39: Ξύλινα ζευκτά στέγης [1]

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Σχετικά με το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε στις πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος είναι κατηγορίας C20/25 τόσο στο προσομοίωμα ενίσχυσης του υφισταμένου με πλάκα όσο και στο προσομοίωμα διερεύνησης προσθήκης.

YTONG [22]

Η προσθήκη ορόφου προβλέπεται να κατασκευαστεί από YTONG, υλικό που παράγεται από χαλαζιακή άμμο, τσιμέντο και νερό. Πρόκειται για ένα δομικό υλικό που προσφέρει υψηλή αντισεισμικότητα, εξαιρετική θερμομόνωση, εύκολη, γρήγορη και οικονομική χρήση, καθολική εφαρμογή και αποδοτική κατασκευή για οικονομία στην ενέργεια. Επιπλέον σημαντικό προτέρημα είναι το χαμηλό ειδικό βάρος με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται σημαντικά το υφιστάμενο δόμημα σε σχέση με άλλα υλικά. Οι ιδιότητες του εν λόγω υλικού είναι οι εξής:

- Μέτρο ελαστικότητας $E = 1300 \text{ MPa}$
- Ειδικό βάρος $\gamma = 4 \text{ kN/m}^3$
- Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας $f_{bc} = 2500 \text{ kPa}$
- Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας $f_{bt} = 400 \text{ kPa}$
- Θλιπτική αντοχή κονιάματος $f_{mc} = 17000 \text{ kPa}$
- Εφελκυστική αντοχή κονιάματος $f_{mt} = 1700 \text{ kPa}$
- Λόγος Poisson $\nu \sim 0,25$

ΟΠΛΙΣΜΟΙ ΣΕΝΑΖ

Για τους οπλισμούς χρησιμοποιήθηκε χάλυβας B500c με όριο διαρροής $f_y = 510 \text{ MPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E = 200 \text{ GPa}$.

ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Η τοιχοποιία που χρησιμοποιείται στο μοντέλο είναι δίστρωτη και σύμφωνα με την αποτύπωση η εξωτερική τοιχοποιία έχει πάχος $0,60 \text{ m}$, η εσωτερική τοιχοποιία κατά τη διεύθυνση Y έχει πάχος $0,55 \text{ m}$ και η εσωτερική τοιχοποιία κατά τη διεύθυνση X έχει πάχος $0,45 \text{ m}$.

Αναφορικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά μέσω πειραματικής δοκιμής που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για ασβεστολιθικό πέτρωμα υψηλής θλιπτικής αντοχής. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων και

προκειμένου να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας, κρίθηκε σκόπιμο να ληφθεί η μέγιστη αποδεκτή τιμή θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας όπως ορίζει ο ΚΑΔΕΤ [[3] δηλαδή $f_{wc} = 3 \text{ MPa}$.

Πειραματική δοκιμή [10]

Αφού λήφθηκε δείγμα από το λατομείο της περιοχής, από το οποίο χρησιμοποιήθηκαν οι λίθοι για την ανέγερση του σχολείου, πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου πειραματική μέτρηση της θλιπτικής αντοχής του δείγματος.

Το δείγμα επεξεργάστηκε κατάλληλα με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο κυβικών δοκιμών διαστάσεων 8·9·9 cm και 5,8·5,8·6,5 cm και βάρους 1779,32 gr και 609,42 gr αντίστοιχα. Η θλιπτική τους αντοχή έφτασε στο πρώτο δοκίμιο τα 491 kN και στο δεύτερο τα 207,3 kN όπου και αστόχησαν. Έτσι μέσος όρος θλιπτικής αντοχής δοκιμίου υπολογίστηκε στα 65 MPa.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ [3] πρόκειται για ένα ισχυρό πέτρωμα ασβεστόλιθου. Καθώς οι τιμές που κυμαίνεται η θλιπτική αντοχή του εν λόγω υλικού παρουσιάζουν διασπορά, για αυτό επιλέχθηκε να εισαχθεί στο πρόγραμμα η μέγιστη αποδεκτή τιμή κατά τον κανονισμό.



Εικόνα 40: Τοποθέτηση δοκιμίου



Εικόνα 43: Αστοχία δοκιμίου



Εικόνα 44: Θλιπτική αντοχή πρώτου δοκιμίου

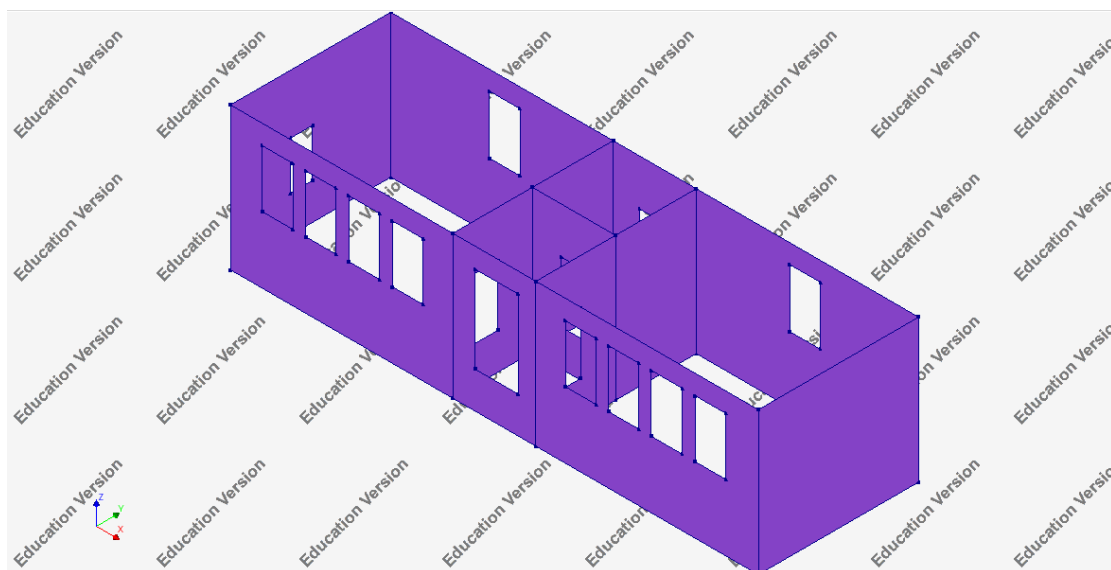


Εικόνα 45: Θλιπτική αντοχή δεύτερου δοκιμίου

5.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

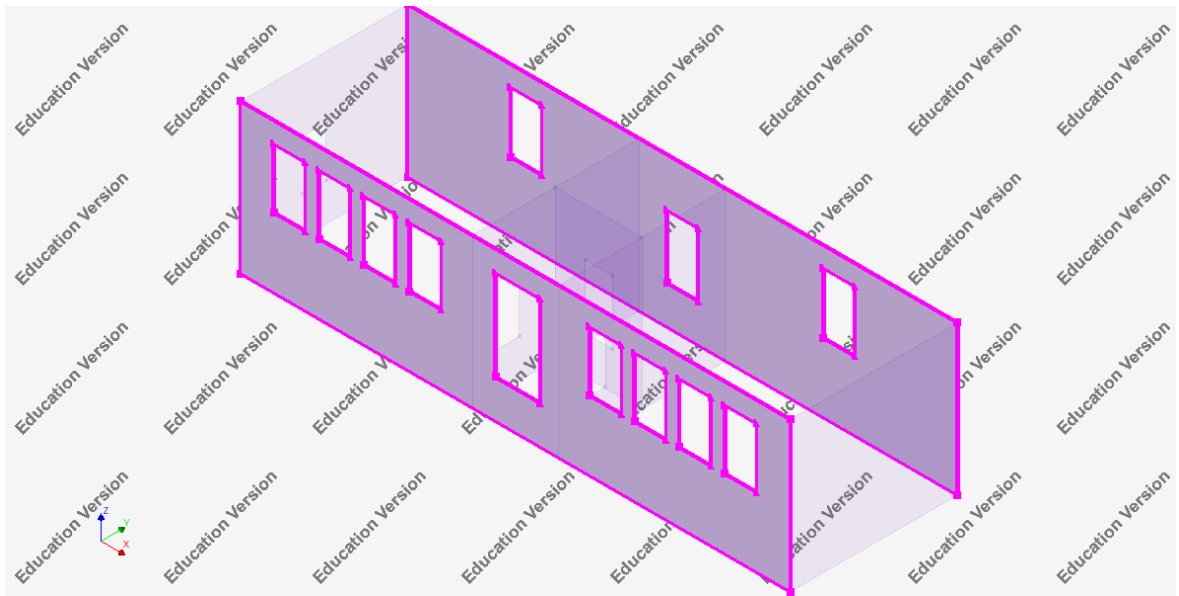
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Για την ανάλυση του προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκε η εκπαιδευτική άδεια του προγράμματος DIANA FEA [17] μέσω του οποίου η διακριτοποίηση πραγματοποιείται με πεπερασμένα στοιχεία κελύφους τεσσάρων κόμβων που μπορούν να παραλάβουν ορθές, διατμητικές και καμπτικές δυνάμεις. Κάθε κόμβος του στοιχείου έχει έξι βαθμούς ελευθερίας, τρεις μετακινησιακούς και τρεις στροφικούς και ο έλεγχος της φέρουσας τοιχοποιίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις. Το χωρικό προσομοίωμα συνιστά μία πιστή αναπαράσταση της πραγματικής κατασκευής το οποίο αποτελείται από επιφανειακά στοιχεία.

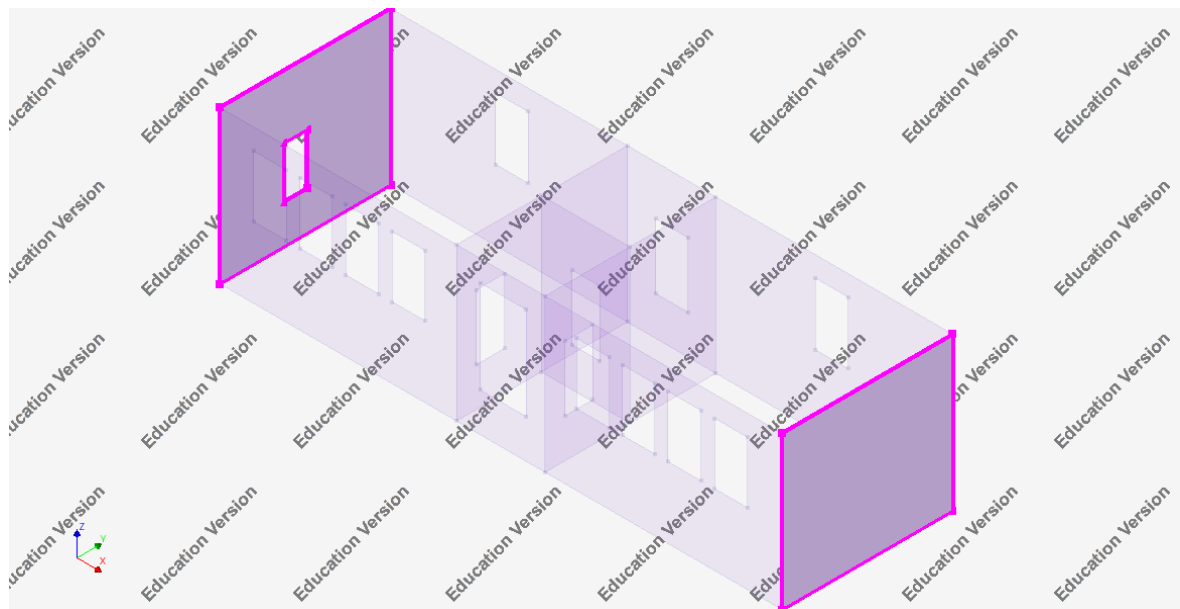


Εικόνα 41: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του φορέα [17]

Η εξωτερική τοιχοποιία προσομοιάζεται με επιφανειακά στοιχεία πάχους 0,60 m.

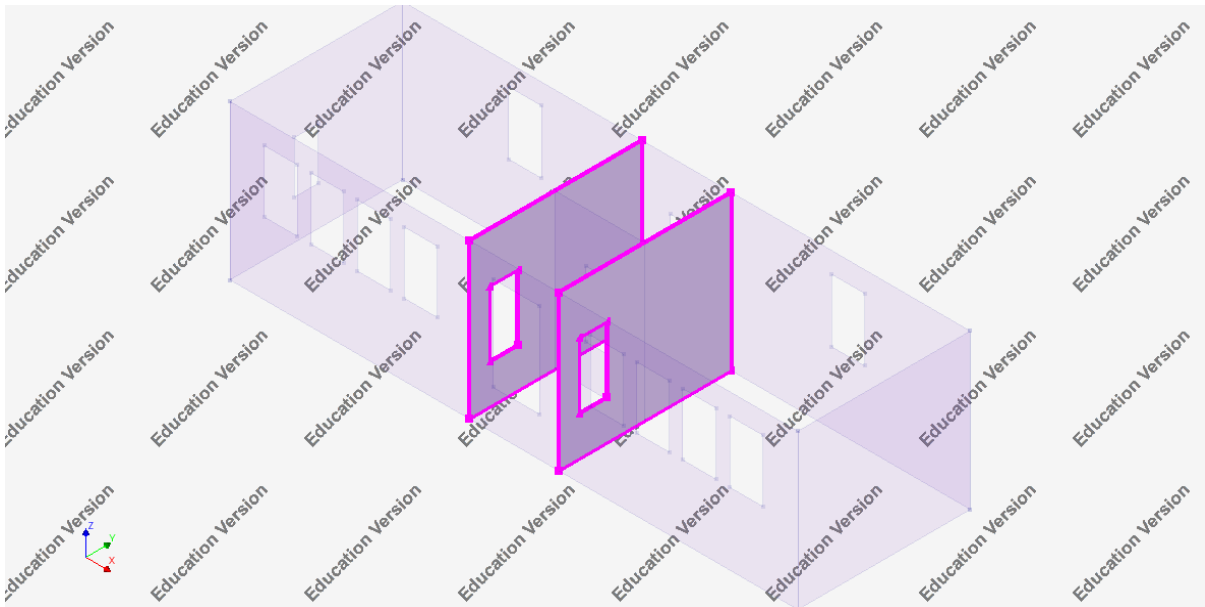


Εικόνα 42: Εξωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση X [17]

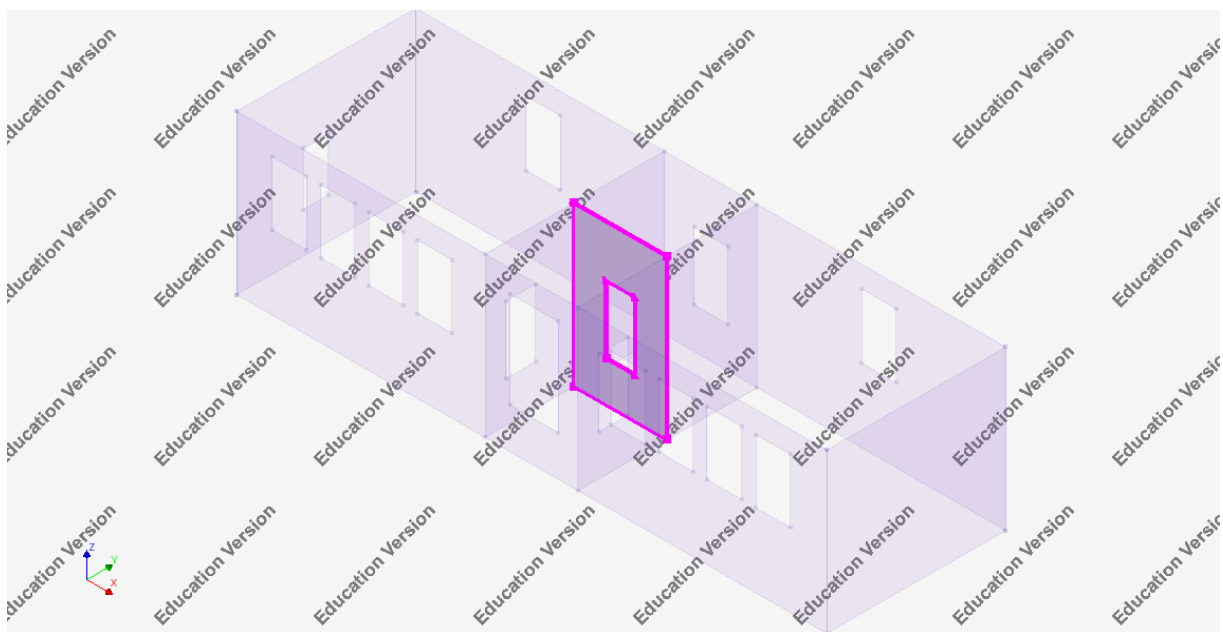


Εικόνα 43: Εξωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση Y [17]

Στην εσωτερική εγκάρσια διεύθυνση τα επιφανειακά στοιχεία έχουν πάχος 0,55 m ενώ στη διαμήκη εσωτερική διεύθυνση έχουν πάχος 0,45 m.

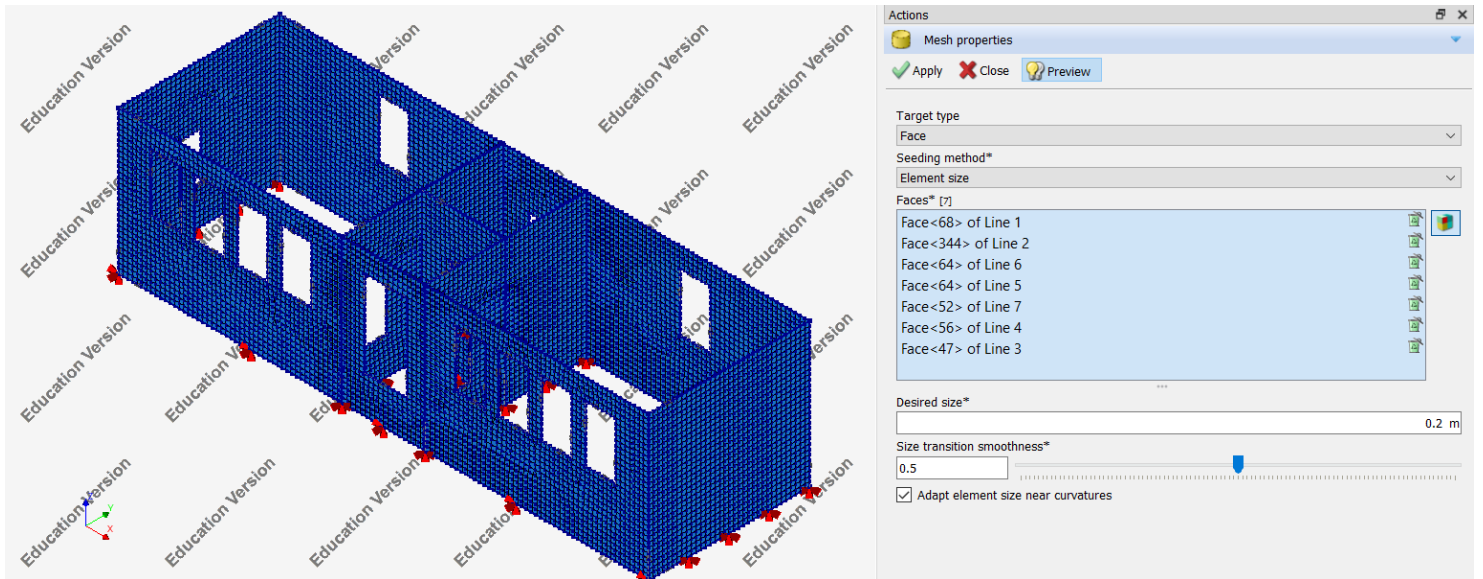


Εικόνα 44: Εσωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση Y [17]

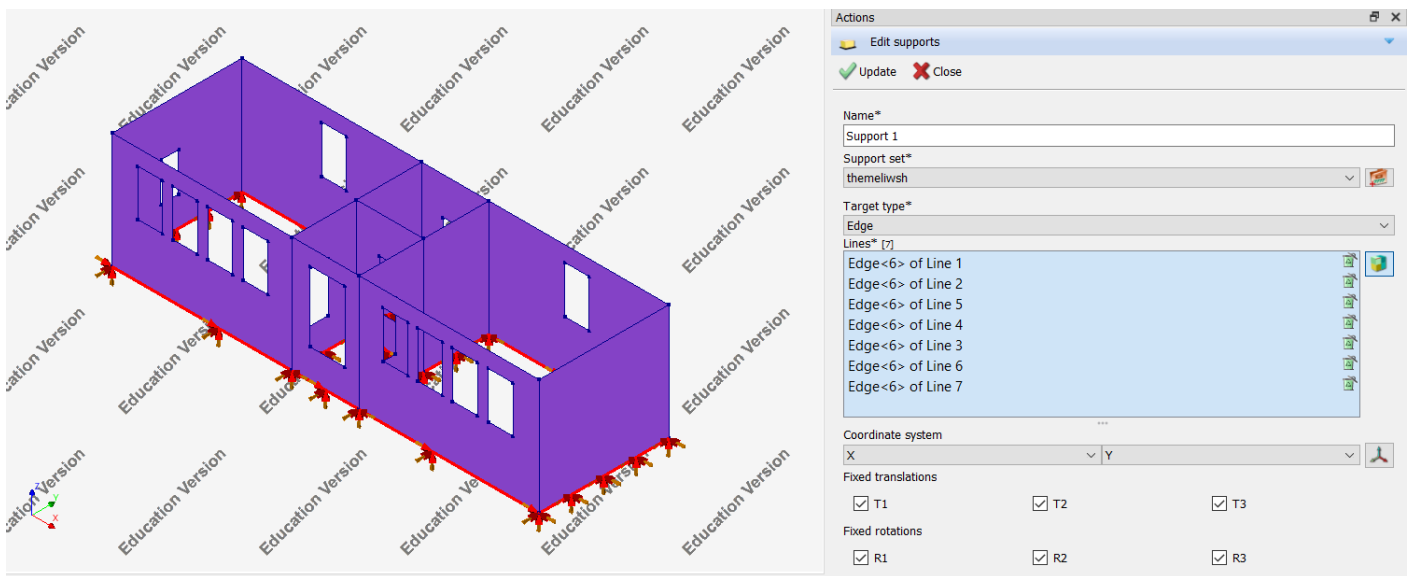


Εικόνα 45: Εσωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση X [17]

Η διακριτοποίηση του φορέα έγινε με επιφανειακά στοιχεία διάστασης 0,2 m.



Εικόνα 46: Διακριτοποίηση φορέα [17]



Εικόνα 47: Πακτώσεις στο έδαφος [17]

Η βάση του φορέα θεωρήθηκε πακτωμένη στο έδαφος.

5.2 ΥΛΙΚΑ

Κατόπιν παρουσιάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά της φέρουσας τοιχοποιίας που εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την προσομοίωση του φορέα.

The 'Edit material' dialog box for 'Masonry_non_linear' is shown. The 'Name' field contains 'Masonry_non_linear'. Under 'Aspects to include', several checkboxes are present: Thermal effects, Concentration effects, Maturity effects, Shrinkage, Creep, Strength reduction, Damping, and Additional dynamic surface mass. The 'Linear material properties' section is expanded and checked, showing input fields for Young's modulus* (2.82e+06 kN/m²), Poisson's ratio* (0.2), and Mass density (2.77 T/m³). Other sections like 'Total strain based crack model', 'Tensile behavior', 'Compressive behavior', and 'Shear behavior' are also checked and expanded. Buttons for 'Close' and 'Help' are at the bottom.

Εικόνα 50: Γραμμικές ιδιότητες [17]

The 'Edit material' dialog box for 'Masonry_non_linear' is shown. The 'Name' field contains 'Masonry_non_linear'. Under 'Aspects to include', checkboxes for Thermal effects, Concentration effects, Maturity effects, Shrinkage, Creep, Strength reduction, Damping, and Additional dynamic surface mass are present. The 'Linear material properties', 'Total strain based crack model', and 'Tensile behavior' sections are checked and expanded. The 'Tensile curve*' is set to 'Linear-ultimate crack strain'. The 'Tensile strength*' is 282 kN/m², 'Ultimate strain*' is 0.0001, and 'Residual tensile strength' is 0 kN/m². The 'Poisson's ratio reduction' section shows 'Reduction model' set to 'No reduction'. Other sections like 'Compressive behavior' and 'Shear behavior' are also checked and expanded. Buttons for 'Close' and 'Help' are at the bottom.

Εικόνα 49: Εφελκυστικές ιδιότητες [17]

The 'Edit material' dialog box for 'Masonry_non_linear' is shown. The 'Name' field contains 'Masonry_non_linear'. Under 'Aspects to include', checkboxes for Thermal effects, Concentration effects, Maturity effects, Shrinkage, Creep, Strength reduction, Damping, and Additional dynamic surface mass are present. The 'Linear material properties', 'Total strain based crack model', 'Tensile behavior', and 'Compressive behavior' sections are checked and expanded. The 'Compression curve*' is set to 'Eurocode 2 EN 1992-1-1'. The 'Compressive strength*' is 3000 kN/m², 'Strain at maximum stress*' is 0.0032, and 'Strain at ultimate stress*' is 0.004. The 'Young's modulus at 0.4*compressive strength*' is 1.128e+06 kN/m². The 'Reduction due to lateral cracking' section shows 'Reduction model*' set to 'No reduction'. The 'Stress confinement' section shows 'Confinement model' set to 'No increase'. The 'Shear behavior' section is also checked and expanded. Buttons for 'Close' and 'Help' are at the bottom.

Εικόνα 48: Θλιπτικές ιδιότητες [17]

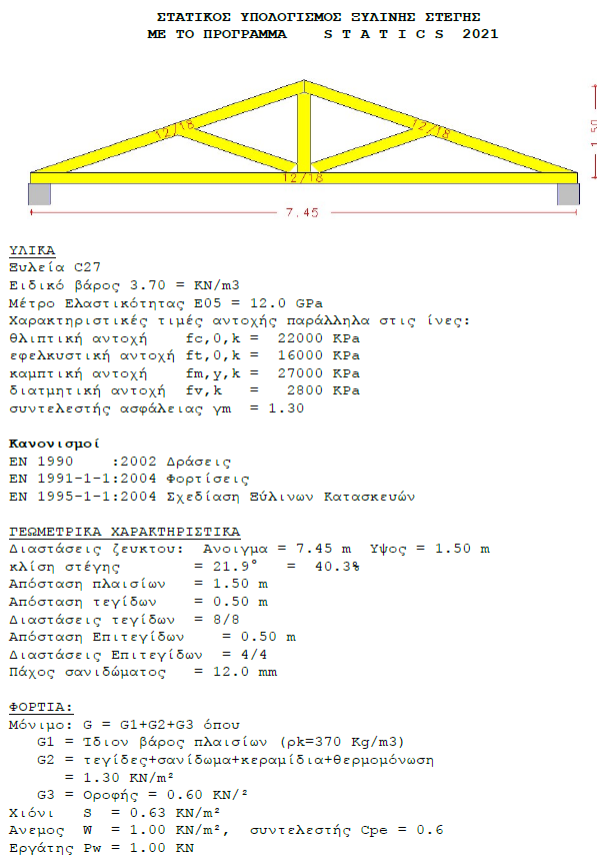
5.3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

1. Ίδιο βάρος φέρουσας τοιχοποιίας

Το ίδιο βάρος της κατασκευής υπολογίζεται σύμφωνα με την πυκνότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται αυτόματα από το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

2. Μόνιμα φορτία στέγης

Το μόνιμο βάρος της στέγης υπολογίστηκε προσεγγιστικά έπειτα από στατική ανάλυση ενός τυπικού ζευκτού με το πρόγραμμα STATICS [20] και στη συνέχεια αναλύθηκε ως γραμμικό καταναμημένο φορτίο στις τέσσερις πλευρές με βάση τρίγωνα-τραπέζια.



Εικόνα 51: Παραδοχές μελέτης της στέγης [20]

ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

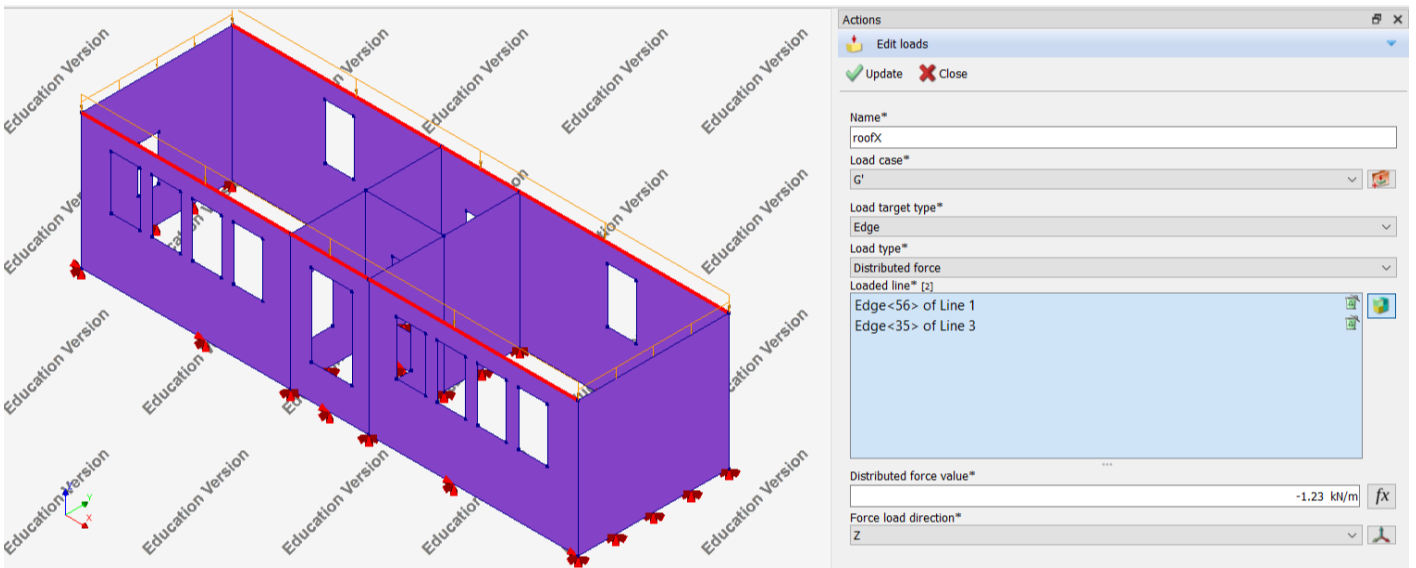
Όγκος και βάρος ξυλείας ανά πλαίσιο ($\rho_k=370$ Kg/m³).

	Διατομή mm	Μήκος m	Όγκος m ³	Βάρος Kg
Αμείβοντες	120/180	2.14	0.1735	64.2
Στρωτήρες	120/180	1.86	0.1609	59.5
Διαγώνιοι	120/180	1.87	0.0810	30.0
Ορθοστάτες	120/180	1.40	0.0302	11.2
Τεγίδες	80/80	27.00	0.1728	63.9
Επιτεγίδες	40/40	24.09	0.0386	14.3
Σανιδώμα	400/12	30.12	0.1446	53.5
			0.8015	296.6

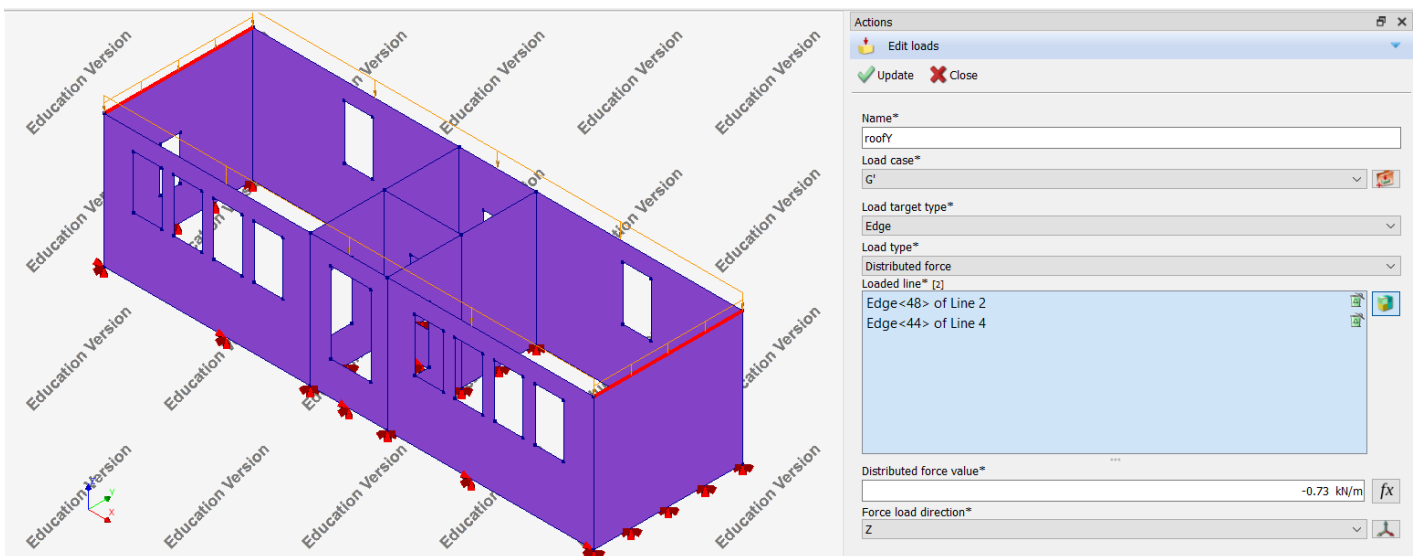
Ανάλυση ανά διατομή

Διατομή mm	Μήκος m	Όγκος m ³	Βάρος Kg	
400/12	30.12	0.1446	53.5	
40/40	24.09	0.0386	14.3	
80/80	27.00	0.1728	63.9	
120/180	20.63	0.4456	164.9	
		101.84	0.8015	296.6

Εικόνα 52: Προμέτρηση υλικών [20]



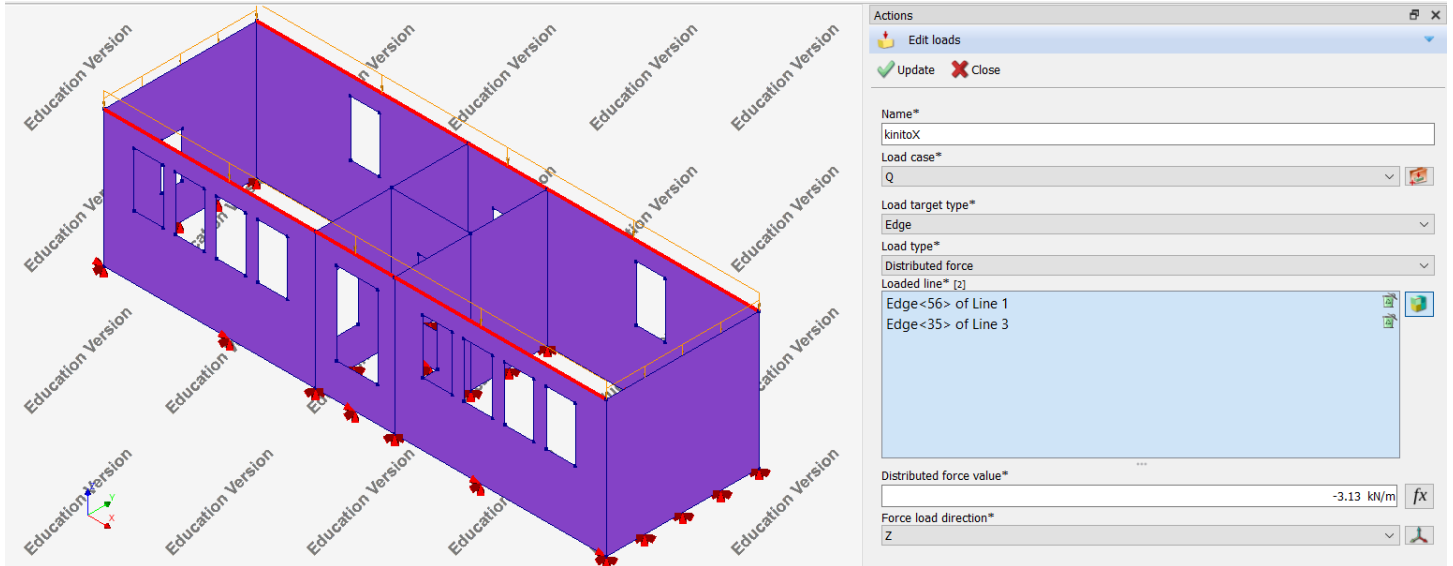
Εικόνα 53: Φορτίο στέγης στη διεύθυνση X [17]



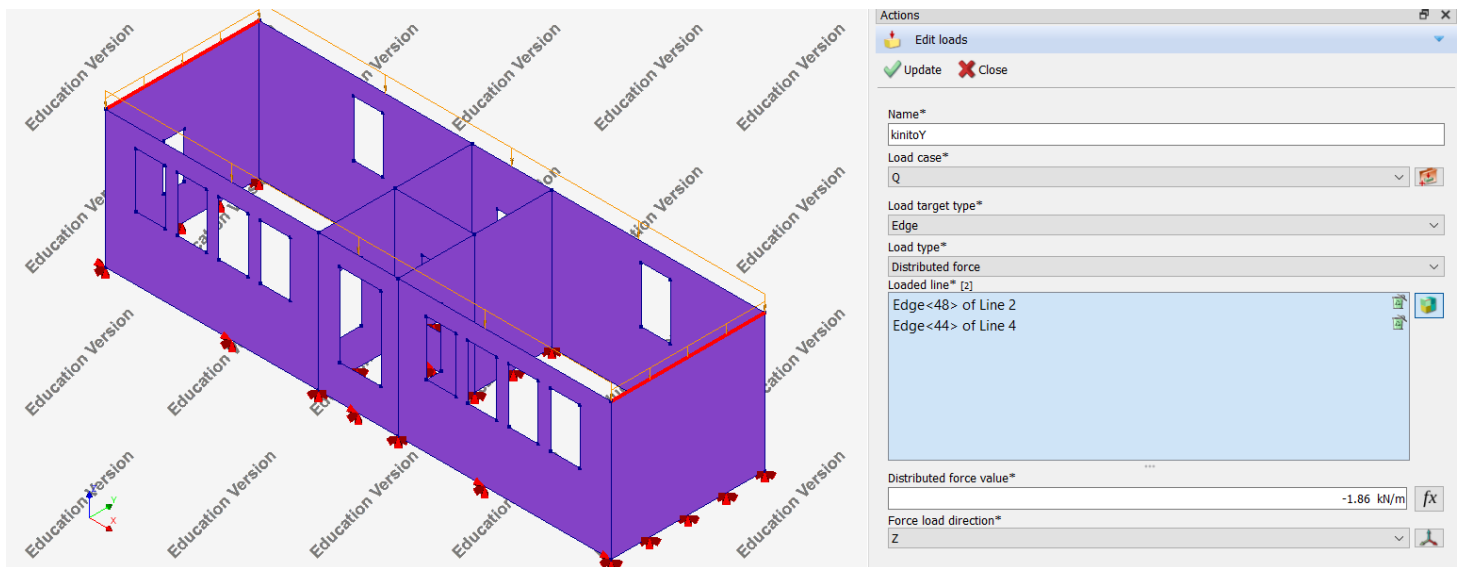
Εικόνα 54: Φορτίο στέγης στη διεύθυνση Y [17]

3. Κινητό φορτίο στέγης

Εφαρμόστηκε κινητό φορτίο $1,0 \text{ kN/m}^2$ το οποίο αναλύθηκε ως γραμμικό καταναμημένο φορτίο στις τέσσερις πλευρές με βάση τρίγωνα-τραπέζια.



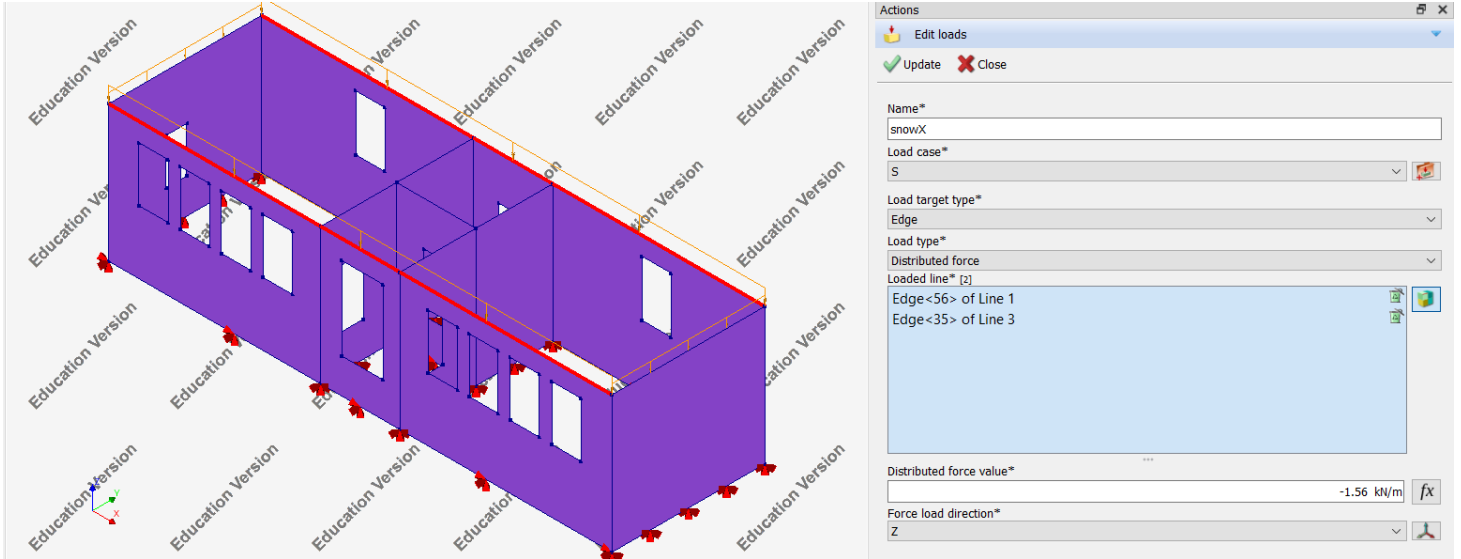
Εικόνα 55: Κινητό φορτίο στέγης στη διεύθυνση X [17]



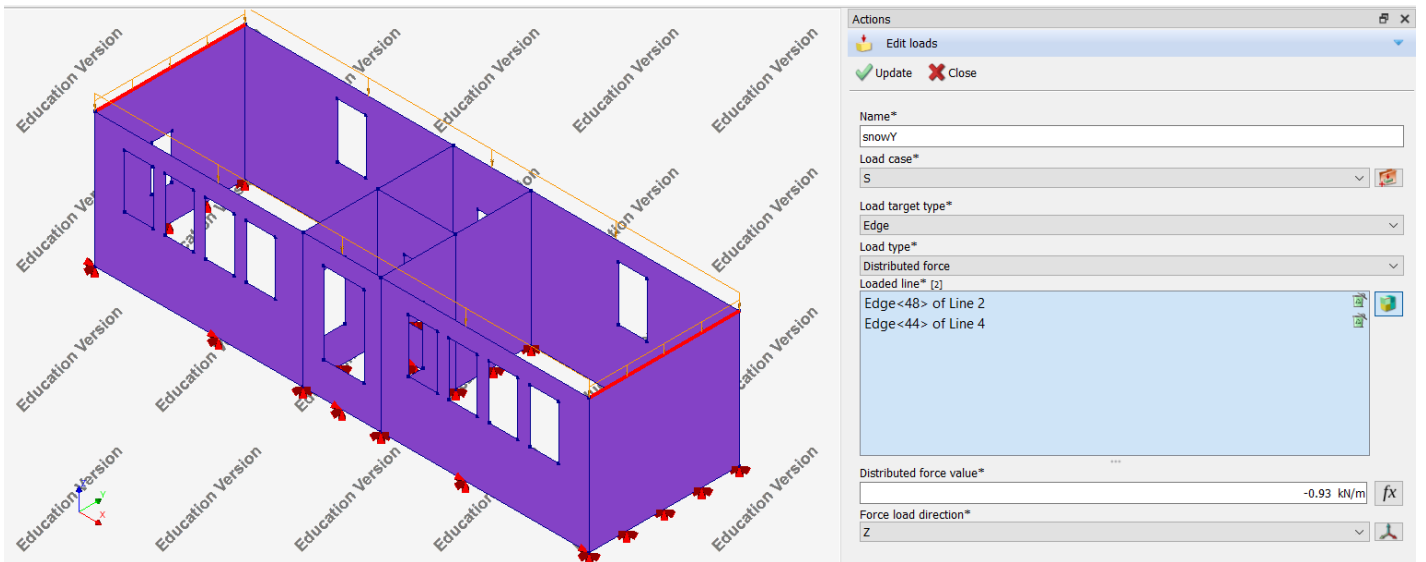
Εικόνα 56: Κινητό φορτίο στέγης στη διεύθυνση Y [17]

4. Χιόνι

Εφαρμόστηκε φορτίο χιονιού $0,5 \text{ kN/m}^2$ το οποίο αναλύθηκε ως γραμμικό κατανεμημένο φορτίο στις τέσσερις πλευρές με βάση τρίγωνα-τραπέζια.



Εικόνα 57: Φορτίο χιονιού στη διεύθυνση X [17]



Εικόνα 58: Φορτίο χιονιού στη διεύθυνση Y [17]

5. Σεισμικά φορτία

Αναφορικά με τη σεισμική φόρτιση η κατασκευή βρίσκεται σε περιοχή που ανήκει στη Ζώνη 2 σεισμικής επικινδυνότητας ($\alpha_{GR} = 0,24g$) με έδαφος Γ ($S=1,15$) και σπουδαιότητα II. Επιπλέον γίνεται χρήση του ενιαίου δείκτη συμπεριφοράς q λαμβάνοντας τιμή 1,5 καθώς πρόκειται για άοπλη τοιχοποιία χωρίς βλάβες και φθορές σε πρωτεύοντα στοιχεία [13].

Επομένως η ελαστική επιτάχυνση βάσης που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς για τη μη γραμμική ανάλυση και στις δυο διευθύνσεις, σύμφωνα με το ελαστικό φάσμα του Ευρωκώδικα 8 [14] είναι:

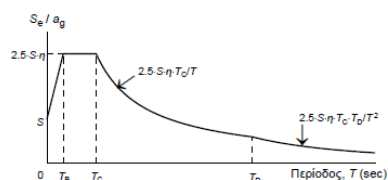
$$S_e = \frac{agR \cdot n \cdot S \cdot 2,5}{q} = 4,6 \text{ m/s}^2$$

Ενώ για την γραμμική ελαστική ανάλυση λαμβάνεται υπόψη επιτάχυνση βάσης με συντελεστή συμπεριφοράς $q=1,0$ ίση με:

$$S_e = \frac{agR \cdot n \cdot S \cdot 2,5}{q} = 6,9 \text{ m/s}^2$$

Ε.Κ. 8

Ελαστικό φάσμα απόκρισης (S_e =ελαστική φασματική επιτάχυνση)



$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

όπου:

$$a_g = \gamma \cdot a_{gR}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{\zeta + 5}} \geq 0.55 = \text{συντελεστής απόσβεσης (το } \zeta \text{ τίθεται επί τους εκατό)}$$

S = συντελεστής εδάφους

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	a_{gR} (g)	Κατηγορία Σπουδαιότητας	γ	Κατηγορία Εδάφους	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	S
Z1	0.16	I	0.80	A	0.15	0.40	2.50	1.00
Z2	0.24	II	1.00	B	0.15	0.50	2.50	1.20
Z3	0.36	III	1.20	C	0.20	0.60	2.50	1.15
		IV	1.40	D	0.20	0.80	2.50	1.35
				E	0.15	0.50	2.50	1.40

5.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ [8]

Ακολούθως λαμβάνονται υπόψη οι εξής συνδυασμοί:

Στατικός Συνδυασμός: $1,35 \cdot (G + G') + 1,5 \cdot (Q + S)$

Σεισμικοί Συνδυασμοί:

- SeismicX: $(G + G') + 0,3 \cdot Q + EX + 0,3 \cdot EY$
- SeismicY: $(G + G') + 0,3 \cdot Q + 0,3 \cdot EX + EY$

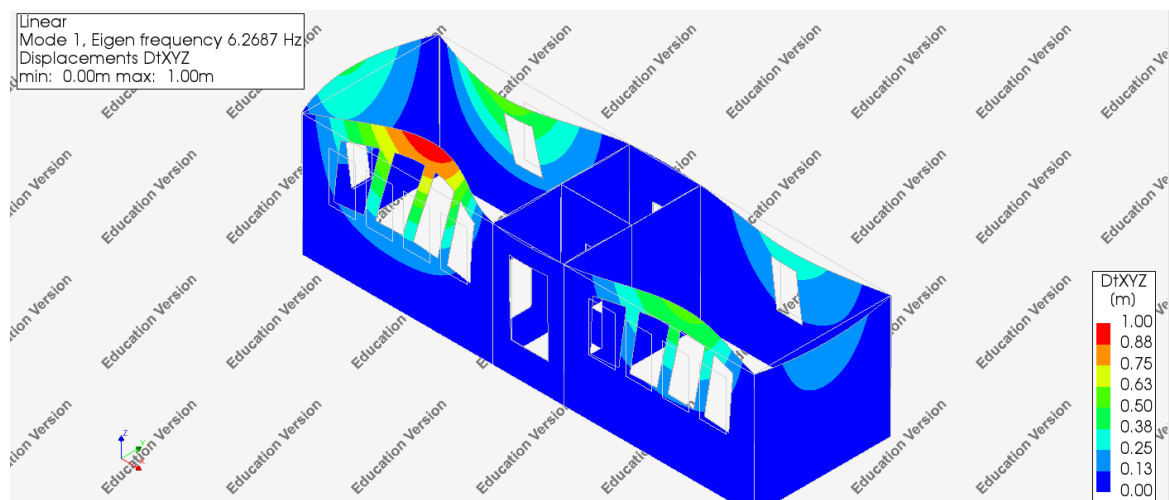
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΑΟΠΛΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

6.1 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

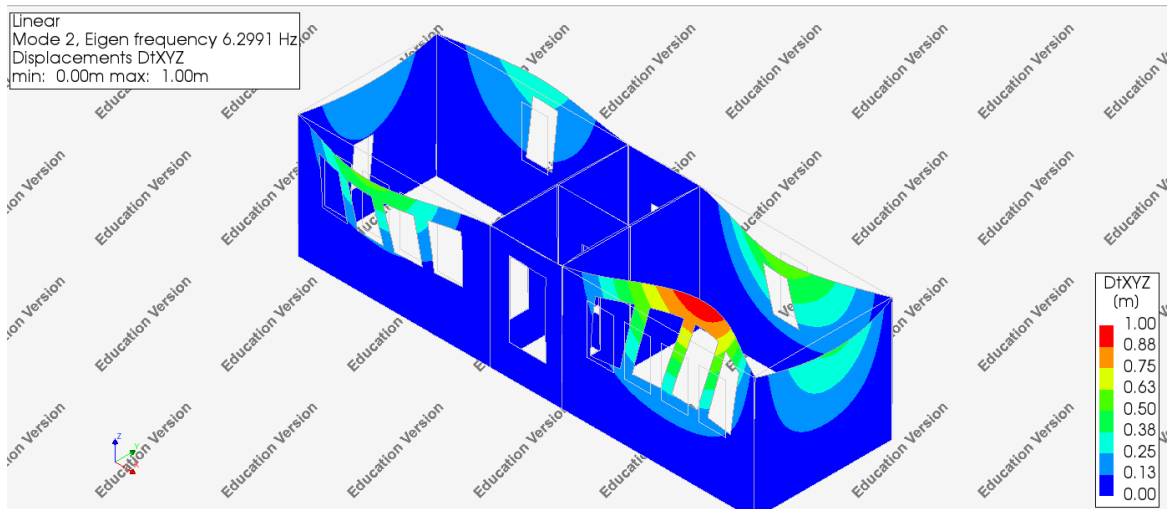
Ακολουθώς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου. Λόγω έλλειψης διαφραγματικής λειτουργίας δεν είναι ξεκάθαρο ποιές είναι οι δεσπόζουσες ιδιομορφές των διευθύνσεων Χ και Υ καθώς η κατασκευή δεν ταλαντεύεται ως ενιαίο σύνολο.

Θεωρώντας την πρώτη ιδιομορφή δεσπόζουσα στη διεύθυνση Υ προκύπτει ιδιοπερίοδος $T = 0,16 \text{ sec}$.

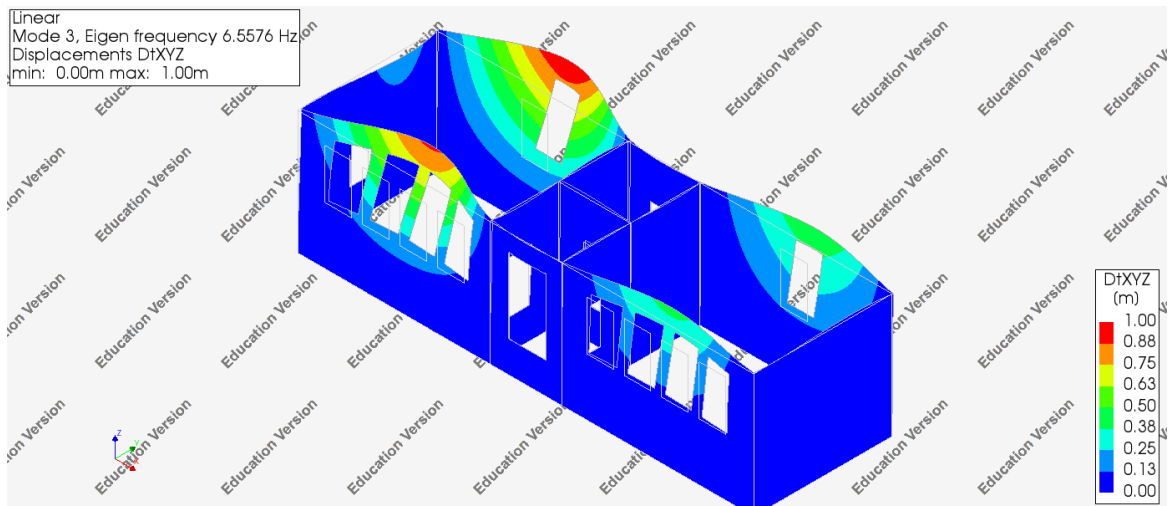
Επιπλέον για να ενεργοποιηθεί το 75% της συνολικής μάζας του κτιρίου απαιτούνται οι 87 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση Χ και οι 54 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση Υ.



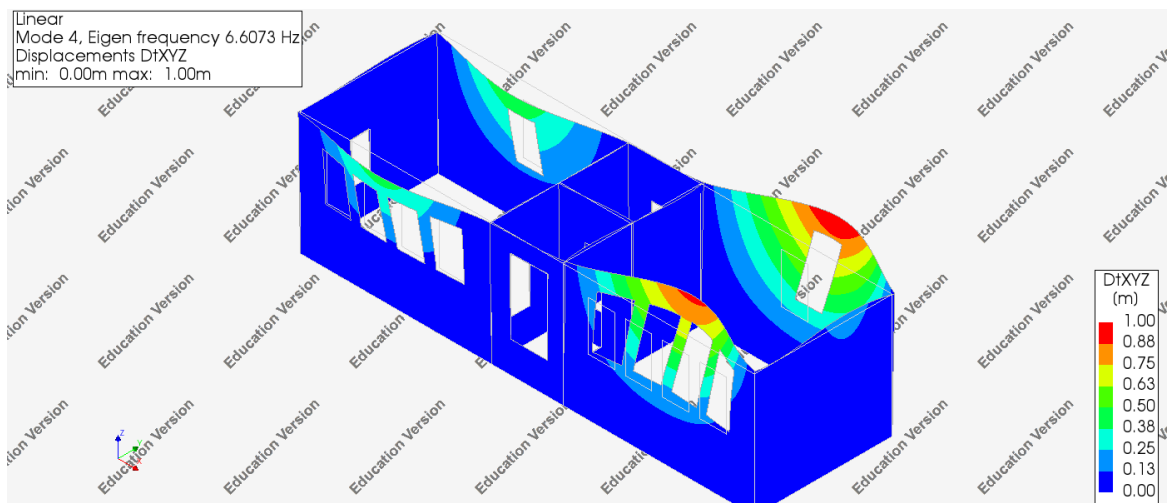
Εικόνα 60: 1η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]



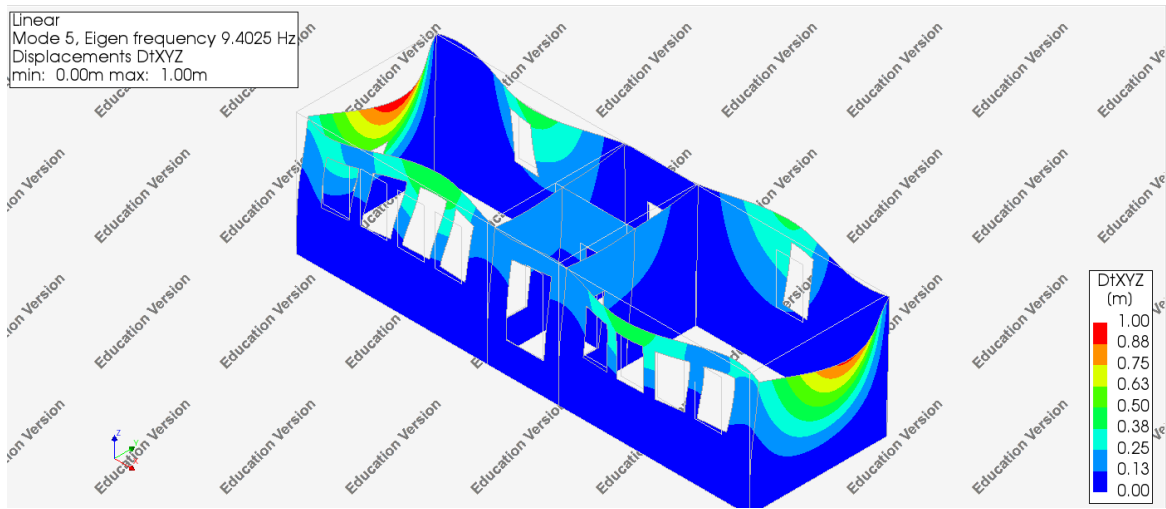
Εικόνα 61: 2η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]



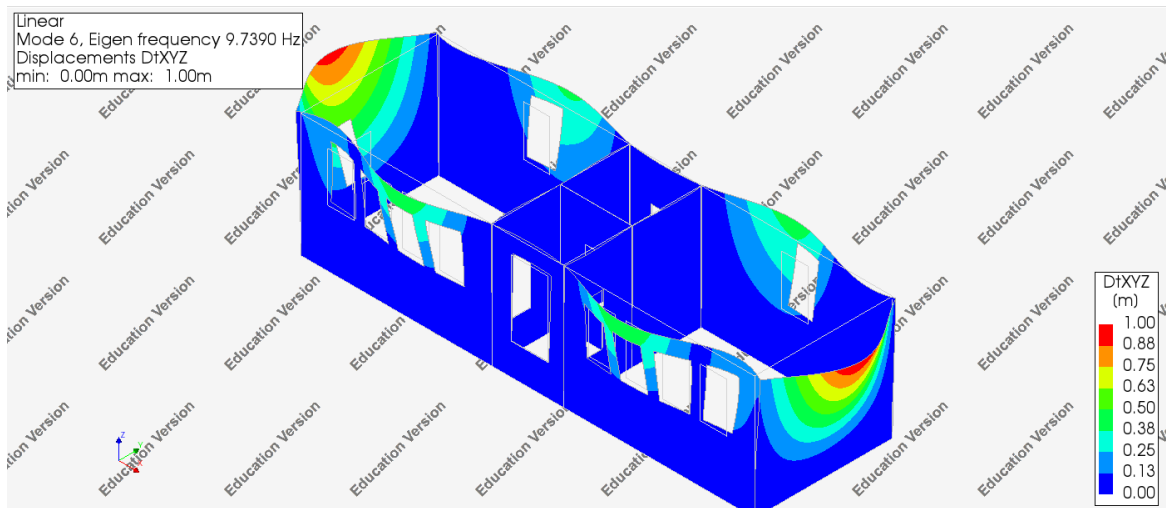
Εικόνα 62: 3η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]



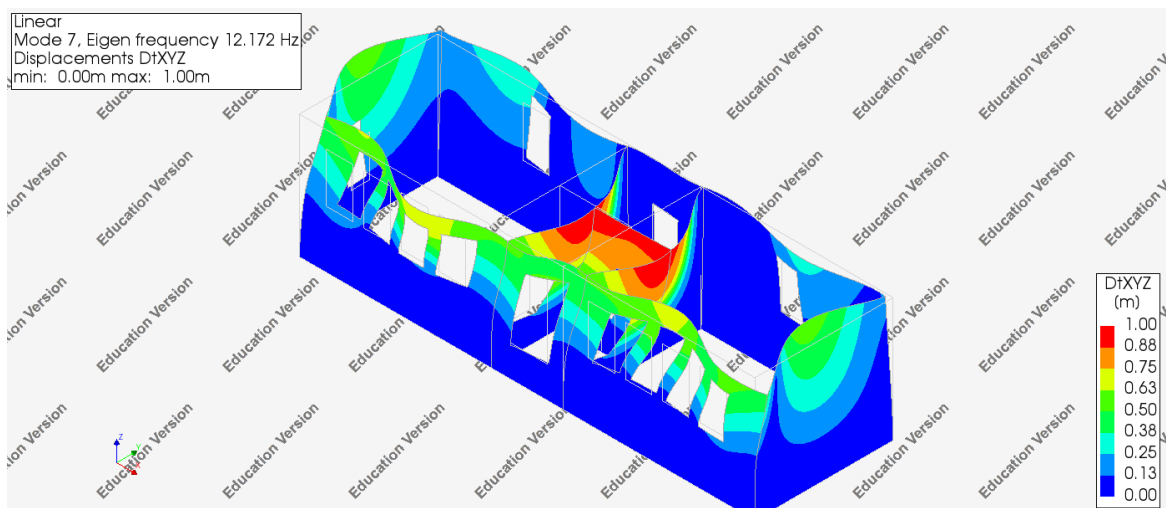
Εικόνα 63: 4η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]



Εικόνα 64: 5η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]



Εικόνα 65: 6η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]

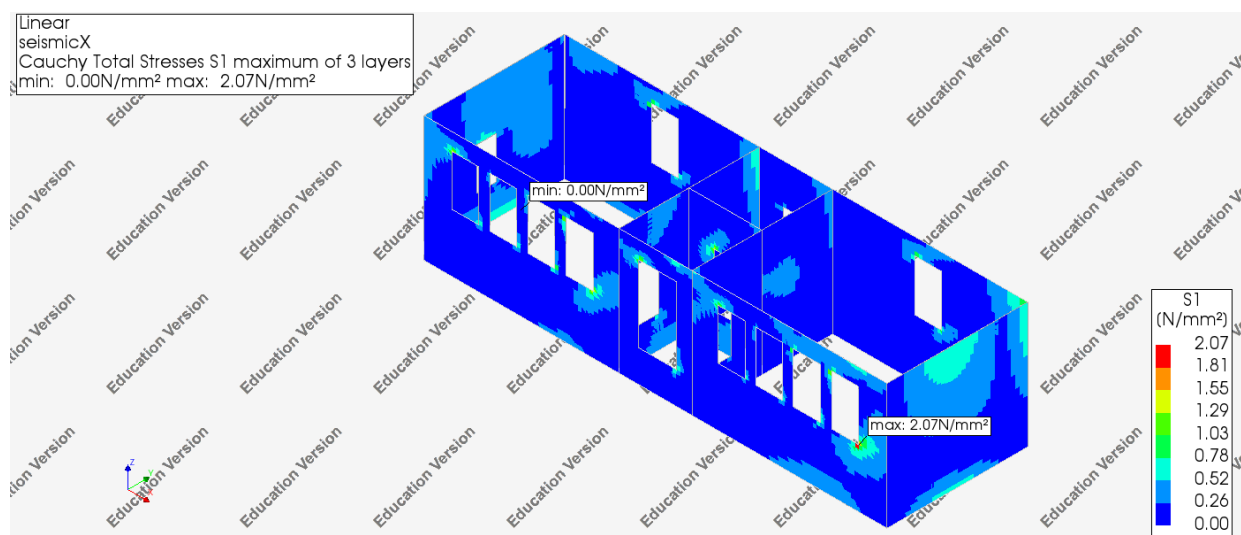


Εικόνα 66: 7η Ιδιομορφή υφιστάμενο [17]

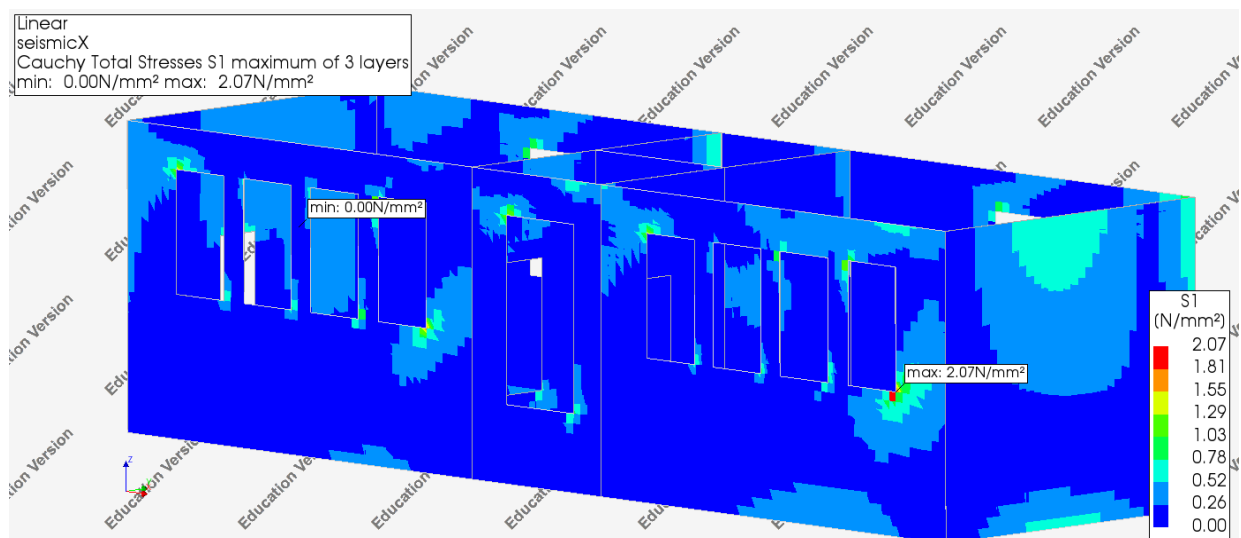
6.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στην τοιχοποιία όταν το κτίριο της μελέτης υποβάλλεται σε σεισμική επιτάχυνση που αντιστοιχεί σε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας 2.

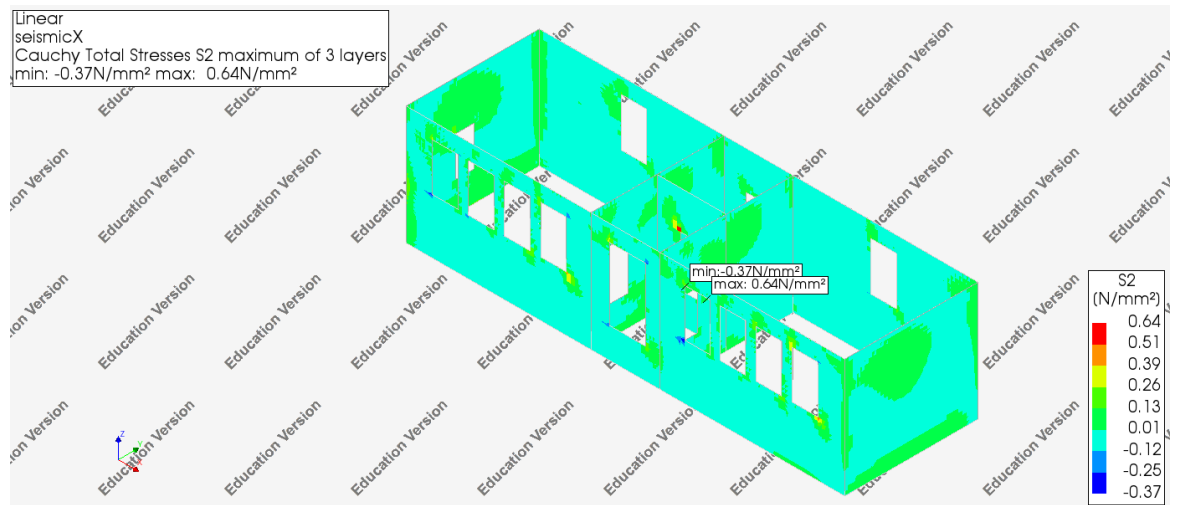
seismicX : $EX + 0,3EY + G + G' + 0,3Q$



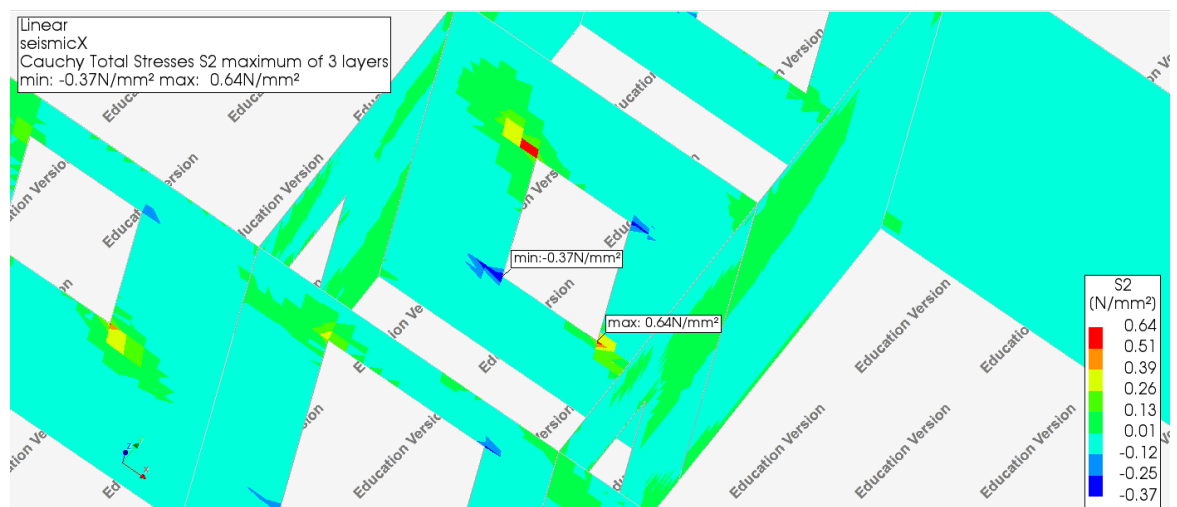
Εικόνα 72: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicX [17]



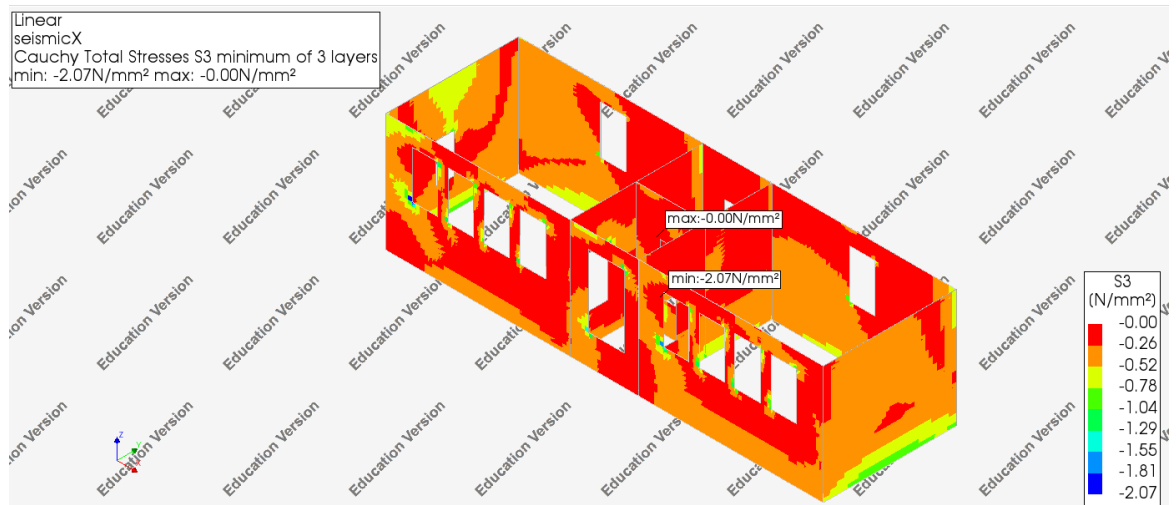
Εικόνα 73: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση) [17]



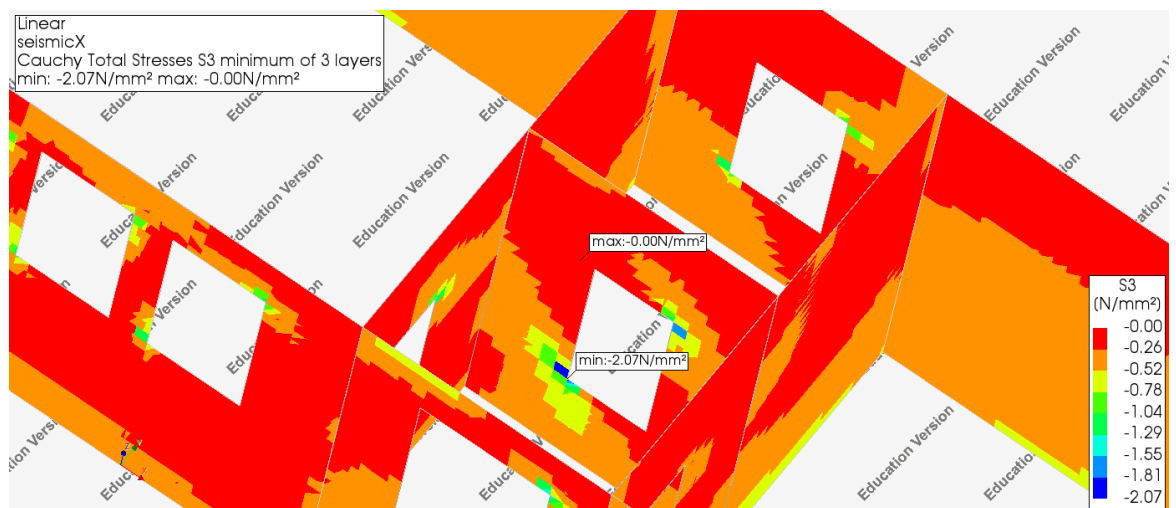
Εικόνα 67: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicX [17]



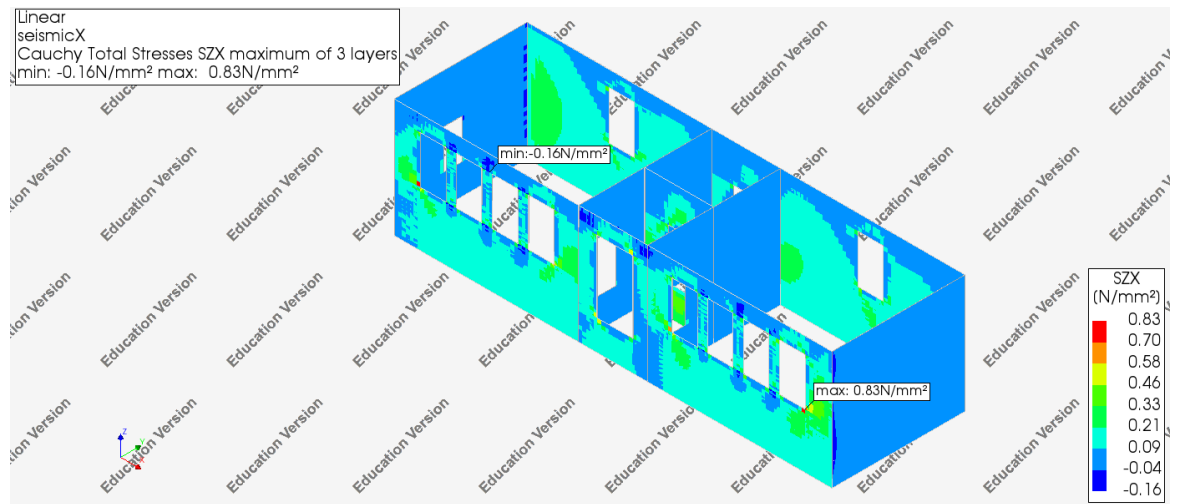
Εικόνα 68: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση) [17]



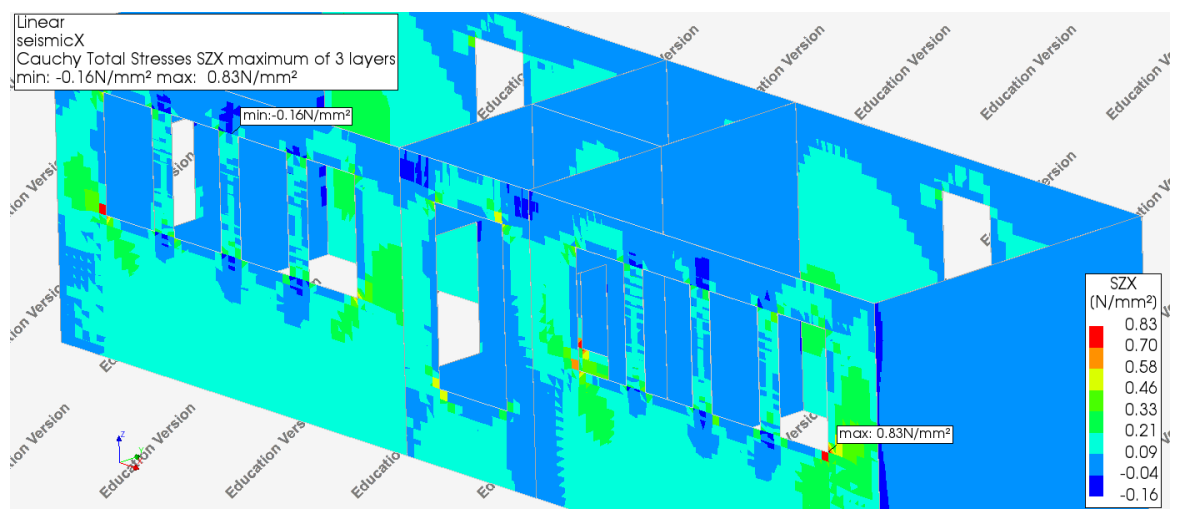
Εικόνα 69: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicX [17]



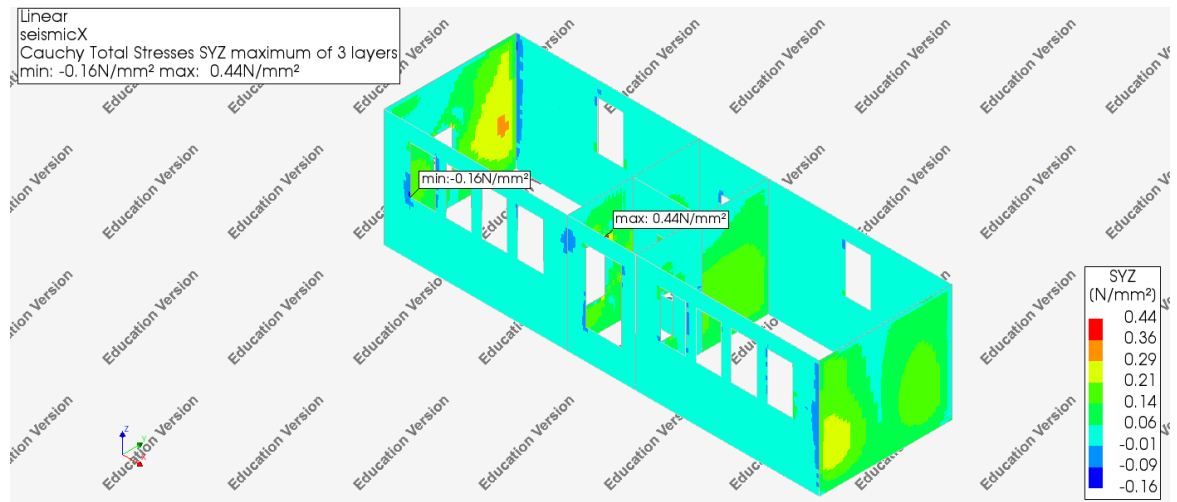
Εικόνα 70: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση) [17]



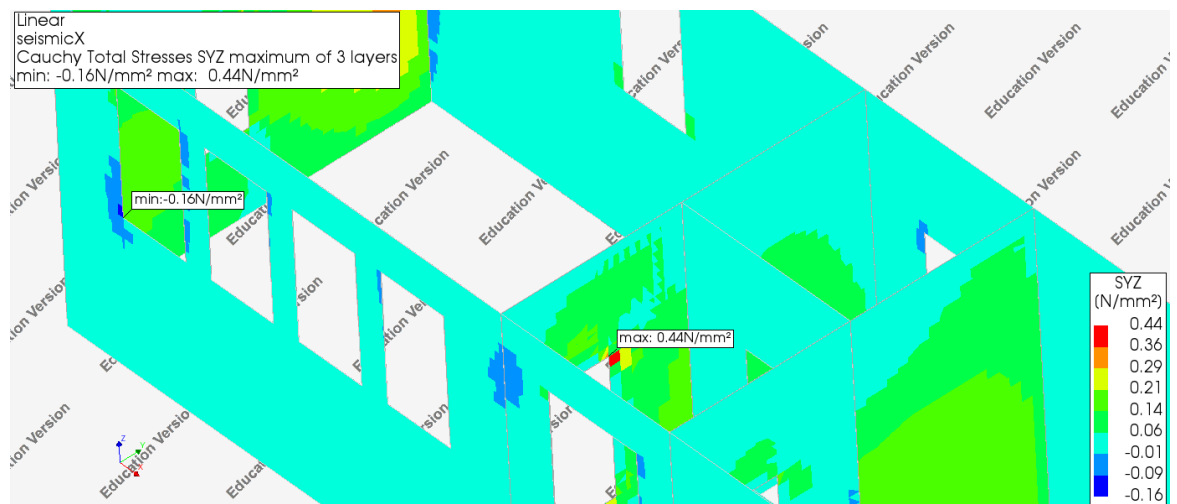
Εικόνα 71: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicX [17]



Εικόνα 72: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση) [17]

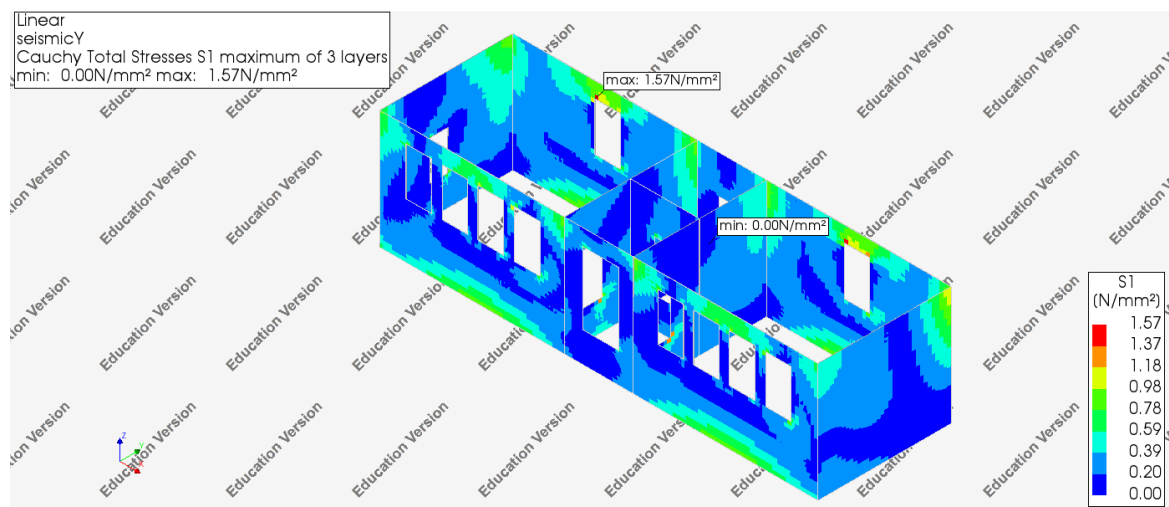


Εικόνα 73: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicX [17]

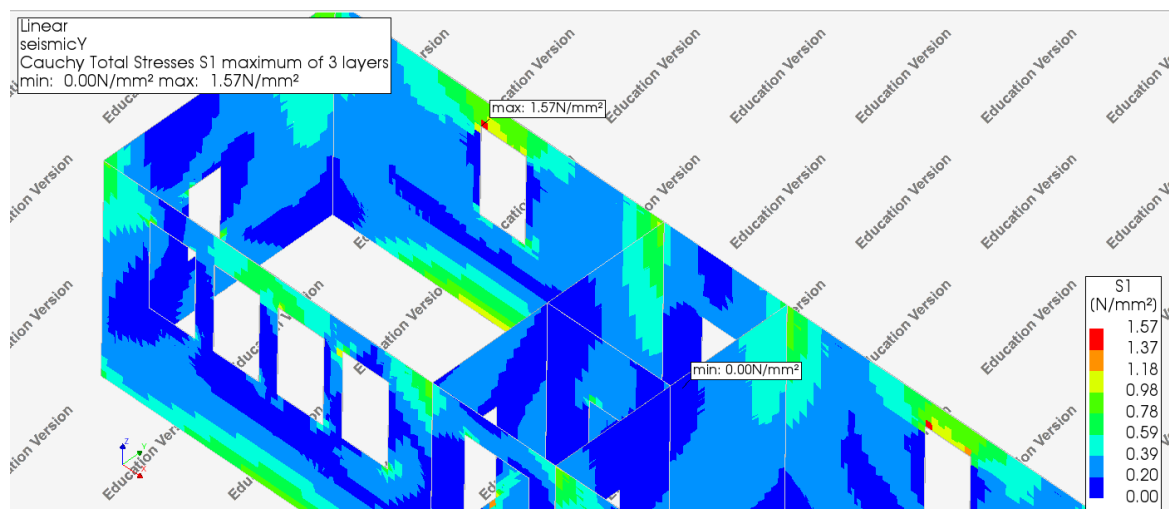


Εικόνα 74: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση) [17]

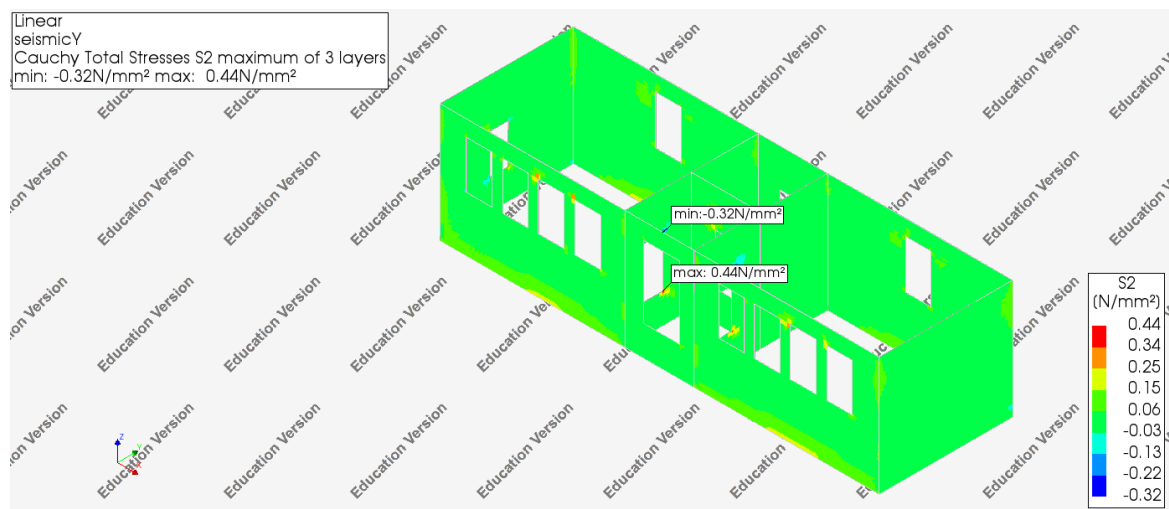
seismicY : 0,3EX+ EY+ G+ G' + 0,3Q



Εικόνα 75: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicY [17]



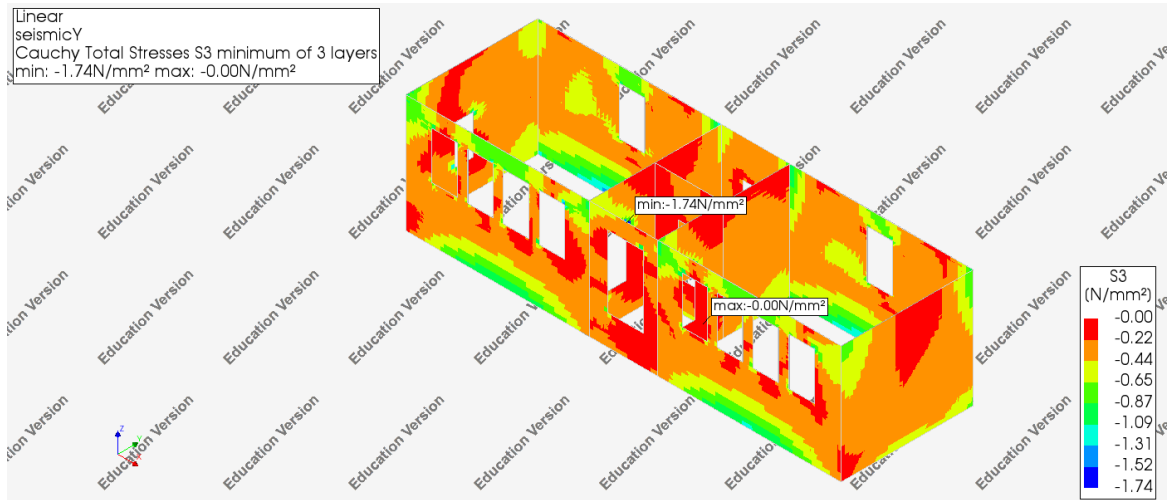
Εικόνα 76: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση) [17]



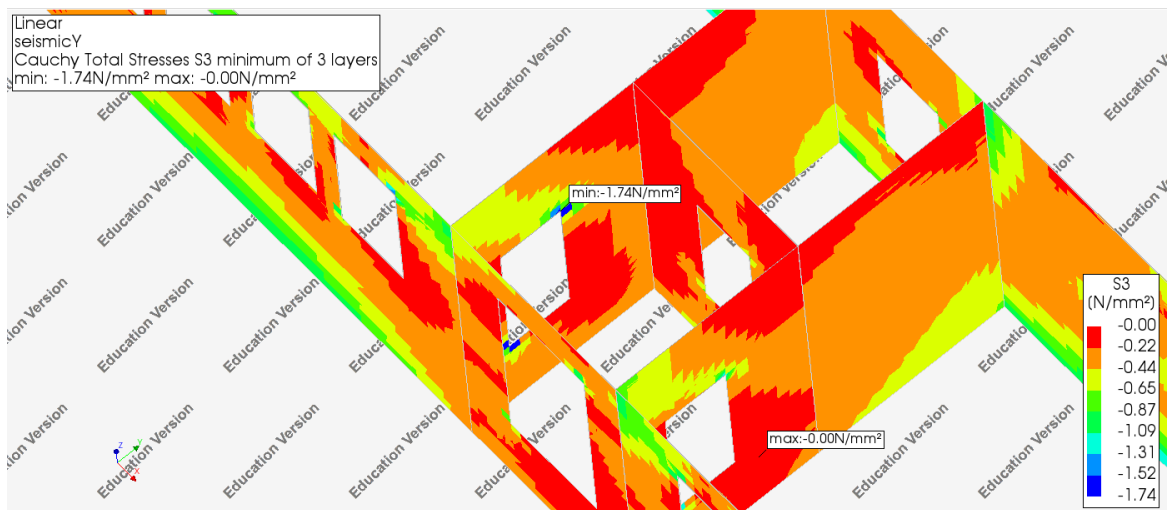
Εικόνα 77: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicY [17]



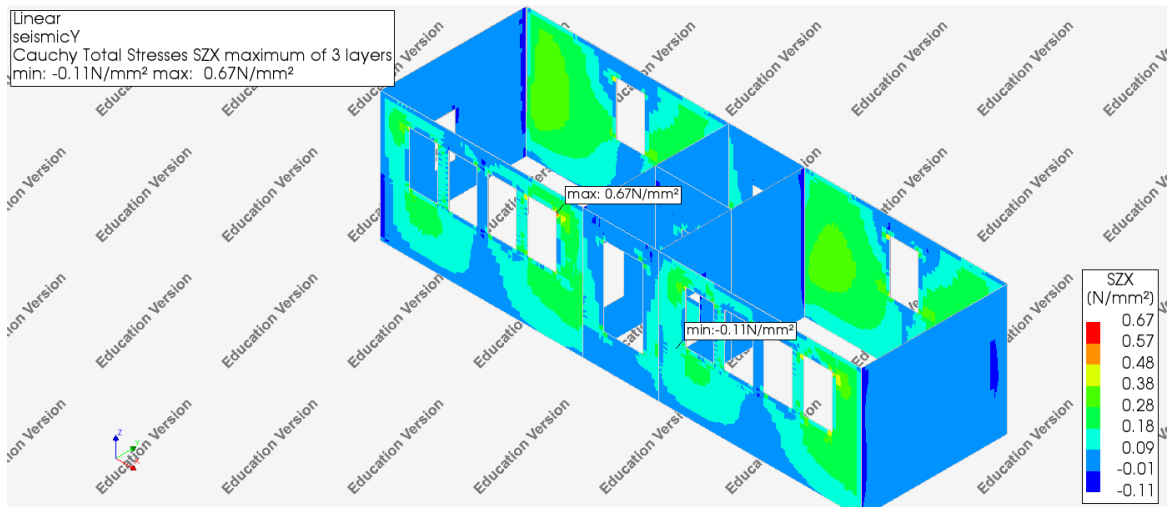
Εικόνα 78: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση) [17]



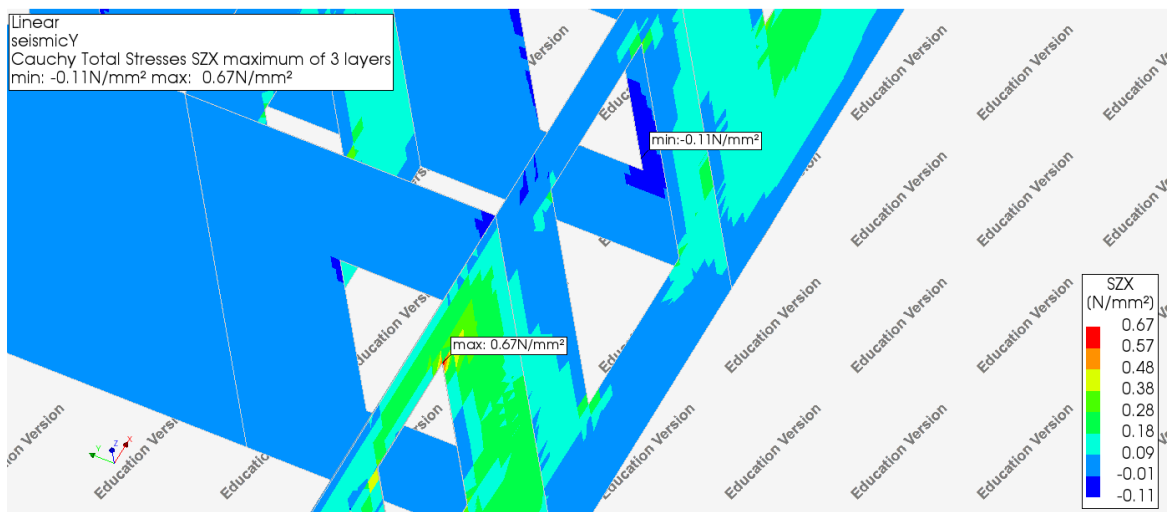
Εικόνα 79: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicY [17]



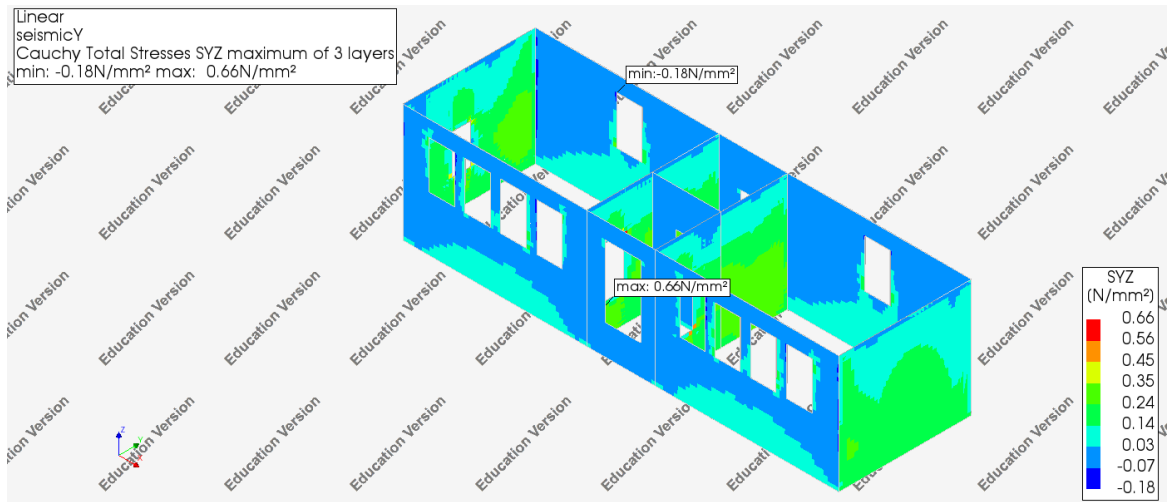
Εικόνα 80: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση) [17]



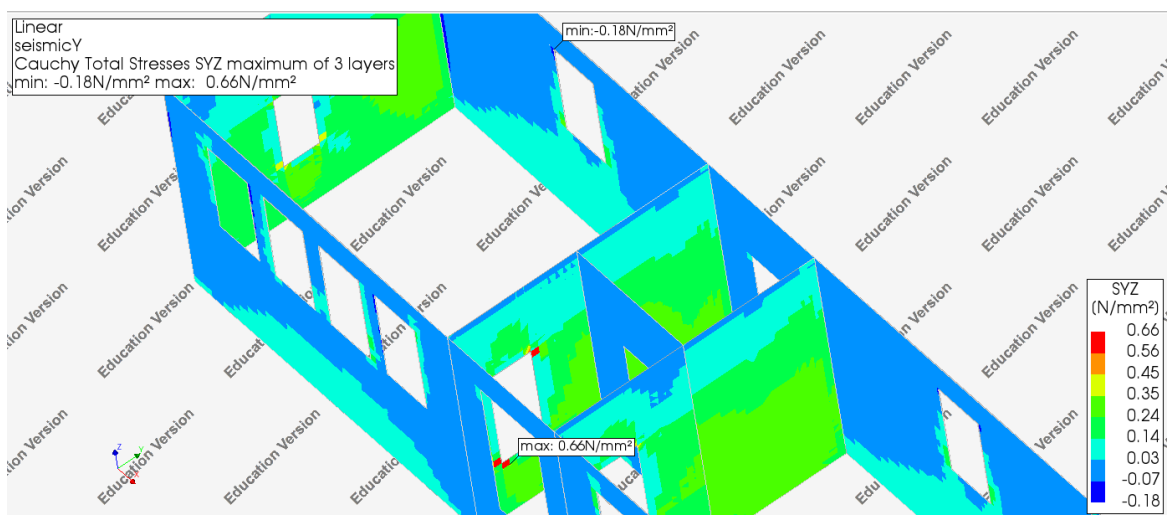
Εικόνα 81: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicY [17]



Εικόνα 82: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση) [17]



Εικόνα 83: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicY [17]



Εικόνα 84: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση) [17]

Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται οι κύριες και διατμητικές τάσεις που δημιουργούνται στην τοιχοποιία υπό τους σεισμικούς συνδυασμούς.

Η μέγιστη θλιπτική τάση προκύπτει 2,07 MPa από τον συνδυασμό seismicX χωρίς να παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής.

Και στους δύο σεισμικούς συνδυασμούς παρατηρείται τοπική υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσης που αντιστοιχεί στην τιμή 0,30 MPa.

6.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μέσω της παρούσας μη γραμμικής ανάλυσης μπορεί να εκτιμηθεί η «πραγματική» συμπεριφορά του δομήματος έναντι σεισμικής διέγερσης κατασκευάζοντας την καμπύλη ικανότητας και επιβάλλοντας οριζόντια δύναμη στη στάθμη στέψης της κατασκευής.

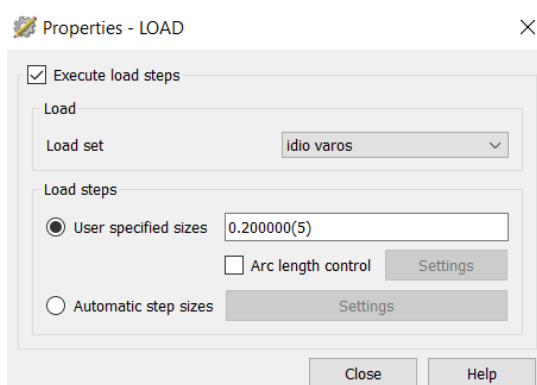
Η δύναμη αυτή εφαρμόζεται ως δύο ξεχωριστές φορτίσεις για τις δύο κύριες διευθύνσεις X και Y με σταδιακή αύξησή της στη στάθμη στέψης. Σε κάθε βήμα της ανάλυσης προσδιορίζονται η τέμνουσα βάσης F_b και η μετακίνηση δ του κόμβου αναφοράς, σύμφωνα με την ανελαστική συμπεριφορά της κατασκευής, και κατασκευάζεται η καμπύλη ικανότητας του φορέα, η σχέση δηλαδή μεταξύ της μετακίνησης του σημείου ελέγχου με τη συνολική τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται.

Επιπλέον μέσω του προσομοιώματος είναι δυνατόν να προσδιορισθούν πιθανές περιοχές που ενδέχεται να αστοχήσουν και να εμφανισθούν ρωγμές.

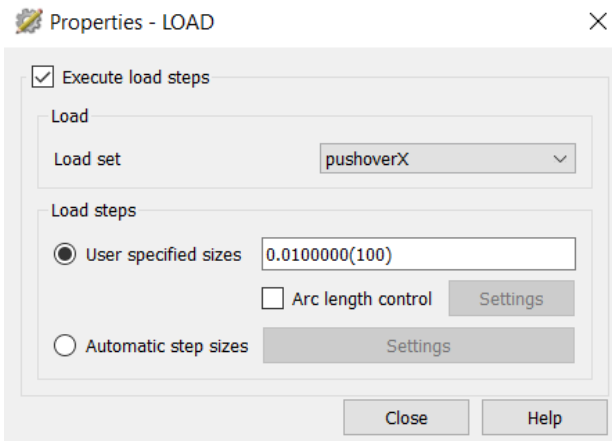
Αναφορικά με το προσομοίωμα στο DIANA [17], η φόρτιση πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Πρώτα εφαρμόστηκε το κατακόρυφο φορτίο που αφορά το ίδιο βάρος της κατασκευής και έπειτα το οριζόντιο φορτίο που αποτελεί τη σεισμική διέγερση. Η ανάλυση πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε διεύθυνση.

	$\bar{E}X$	$\bar{E}Y$	\bar{U}	\bar{V}
pushoverX	1			
pushoverY		1		
idio varos			1	1

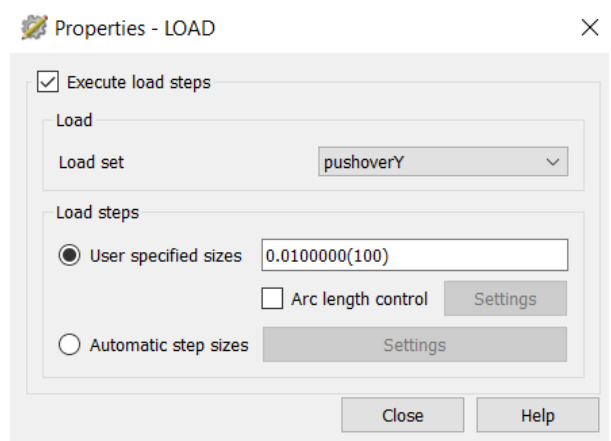
Εικόνα 86: Φορτίσεις μη γραμμικής ανάλυσης [17]



Εικόνα 85: Κατακόρυφη φόρτιση [17]



Εικόνα 88: Οριζόντια φόρτιση διεύθυνση X [17]

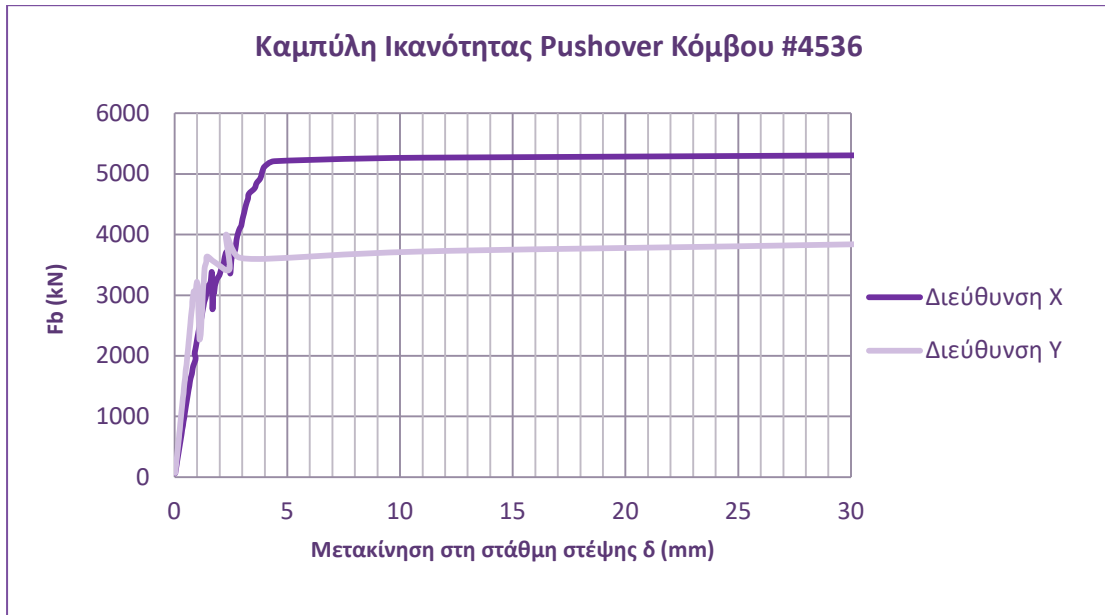


Εικόνα 87: Οριζόντια φόρτιση διεύθυνση Y [17]

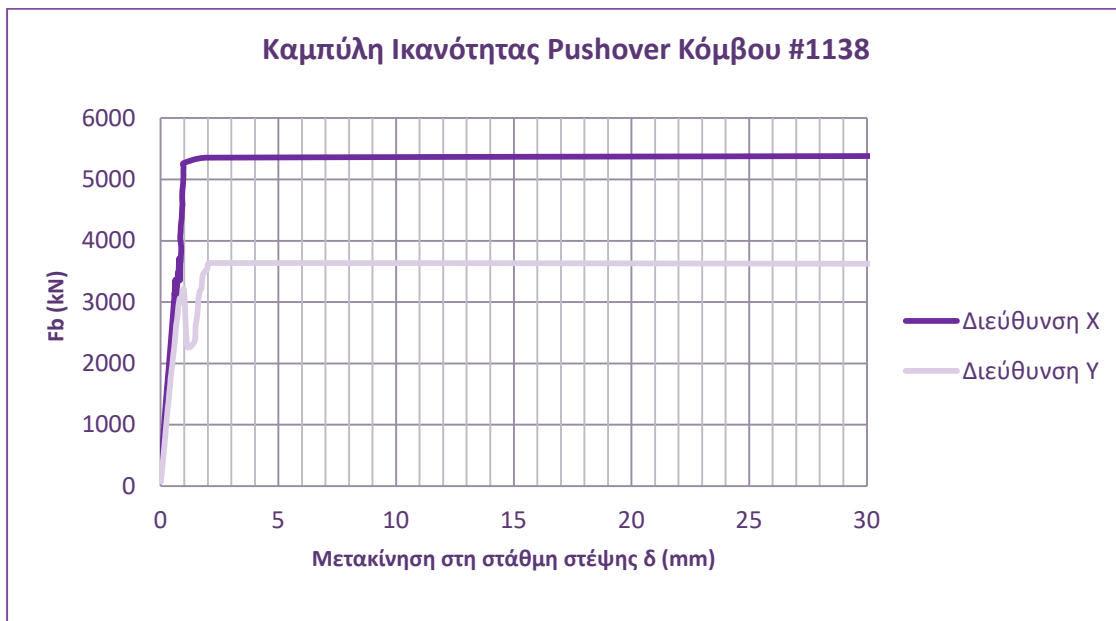
Ακολουθώς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μη γραμμικής ανάλυσης για τους τέσσερις κόμβους των γωνιών του κτιρίου που βρίσκονται στη στάθμη στέψης και για τον κόμβο που ενώνει τους εσωτερικούς τοίχους.



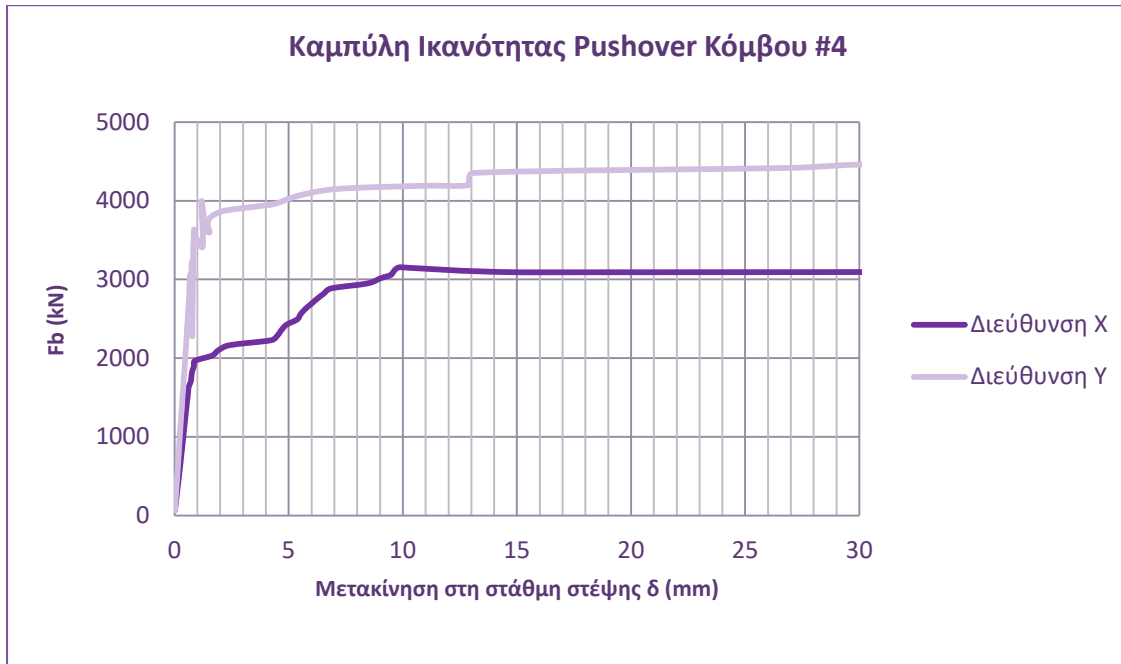
Εικόνα 89: Κόμβοι αναφοράς υφιστάμενο [17]



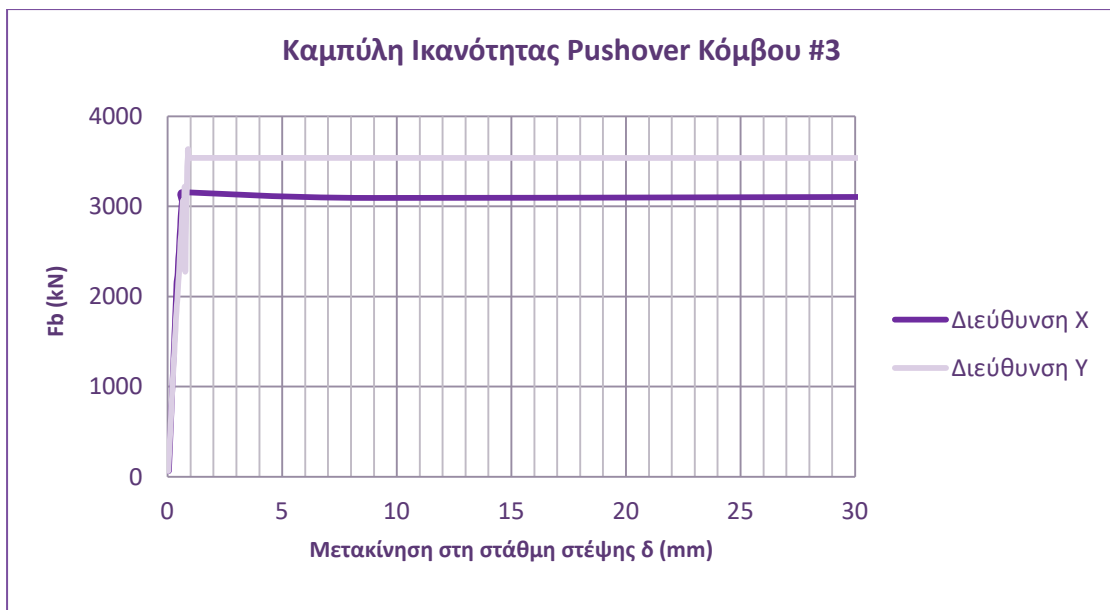
Εικόνα 90: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #4536



Εικόνα 91: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #1138



Εικόνα 92: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #4



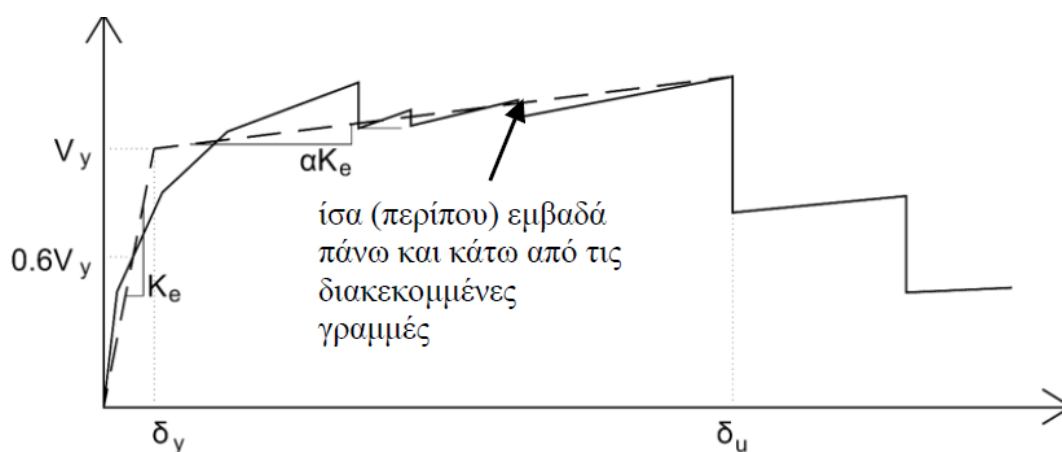
Εικόνα 93: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #3

Με βάση τα αποτελέσματα από τη μη γραμμική ανάλυση, η κατασκευή δεν παρουσιάζει ίδια αντοχή και στις δύο διευθύνσεις.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ [2], η μη-γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης που συνδέει την τέμνουσα βάσεως και τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου θα αντικαθίσταται από μια εξιδανικευμένη καμπύλη η οποία συνίσταται να είναι διγραμμική ώστε να υπολογισθεί η στοχευόμενη μετακίνηση.

Η σύνθεση της διγραμμικής καμπύλης πραγματοποιείται με βάση το κριτήριο της κατά προσέγγιση ισότητας των εμβαδών των χωρίων που προκύπτουν πάνω και κάτω από τις τομές της πραγματικής και της εξιδανικευμένης καμπύλης.

Η πρωτογενής και η εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης τέμνονται στα σημεία $V = 0,6V_y$ και $\delta = \delta_u$, όπου δ_u μετακίνηση αστοχίας, πέραν της οποίας παρατηρείται σημαντική μείωση της αντοχής του φορέα.



Εικόνα 94: Εξιδανικευμένη Καμπύλη Ικανότητας [2]

Η στοχευόμενη μετακίνηση υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο των συντελεστών μετακίνησης ως εξής:

$$\delta t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot S_e(T) \quad (\Sigma 5.6)$$

Όπου C_0, C_1, C_2, C_3 τροποποιητικοί συντελεστές, S_e η επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος για $T = T_e$ και T_e η τιμή της ισοδύναμης κυριαρχούσας ιδιοπεριόδου.

Συγκεκριμένα :

- C_0 : Συντελεστής που συσχετίζει τη φασματική μετακίνηση του ισοδύναμου ελαστικού φορέα με δυσκαμψία K_e με την πραγματική μετακίνηση δ_t της κορυφής του ελαστοπλαστικά αποκρινόμενου φορέα. Οι τιμές του μπορεί να λαμβάνονται ίσες προς 1.0, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, για αριθμό ορόφων 1, 2, 3, 5, και ≥ 10 , αντίστοιχα.

- C_1 : Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του τη διαφορά της μέγιστης ανελαστική μετακίνησης ενός κτιρίου προς την αντίστοιχη ελαστική επιτρέπεται να λαμβάνεται από τις σχέσεις:

$$C_1 = 1,00, \text{ για } T_e \geq T_c$$

$$C_1 = \left[1,00 + (1 - R) \cdot \frac{T_c}{T_e} \right], \text{ για } T_e < T_c$$

$$R = \frac{v_{el}}{v_y} = \frac{se/g}{v_y/W} \cdot C_m \quad (\Sigma 5.7)$$

Όπου:

v_y , η αντίσταση διαρροής που υπολογίζεται με κατάλληλη διγραμμικοποίηση του διαγράμματος δυνάμεων (τέμνουσα βάσεως)– μετακινήσεων (κορυφής) του κτιρίου,

C_m , ο συντελεστής δρώσας μάζας (για την συνεκτίμηση των ανώτερων ιδιομορφών), ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0,9 για πλαίσια με τρεις και άνω ορόφους, 0,8 για τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος και 1,0 για τις υπόλοιπες περιπτώσεις,

g , η επιτάχυνση βαρύτητας,

W , το βάρος της ταλαντούμενης μάζας.

- C_2 : Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του σχήματος του βρόχου υστέρησης στη μέγιστη μετακίνηση. Συνήθως $C_2=1,00$.
- C_3 : Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αύξηση των μετακινήσεων λόγω φαινομένων 2ας τάξεως (P- Δ). Για συνήθη κτίρια $C_3=1,00$.

Υφιστάμενη κατάσταση

Μέσω της διγραμμικοποιημένης καμπύλης υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης. Σχετικά με την ελαστική επιτάχυνση επιλέχθηκε αυτή που αντιστοιχεί στο οριζόντιο κλάδο του ελαστικού φάσματος του Ευρωκώδικα 8 λαμβάνοντας έτσι υπόψη τη δυσμενέστερη περίπτωση ($S_e=6.9 \text{ m/s}^2$).

Διεύθυνση Χ

$C_0 = 1$, καθώς πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2=C_3=1$

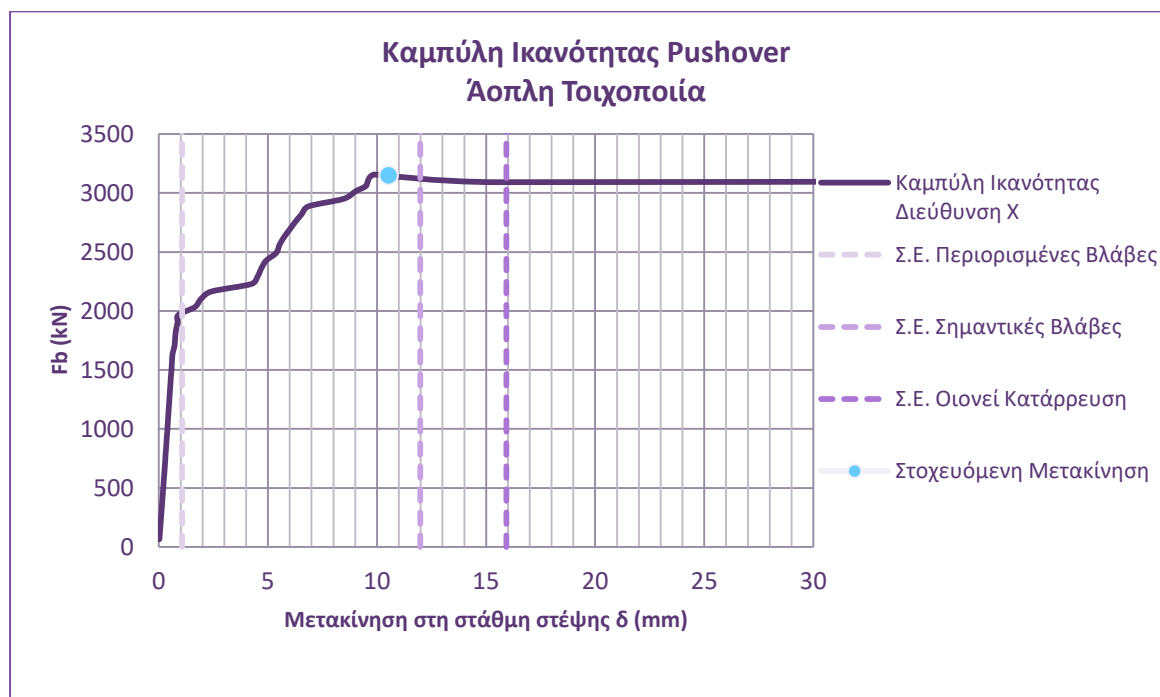
$C_1 = 2,241$

$W = 6608,996 \text{ kN}$

$R = 1,875$

$T_e = 0,164 \text{ sec}$

$\delta_t = 10,535 \text{ mm}$

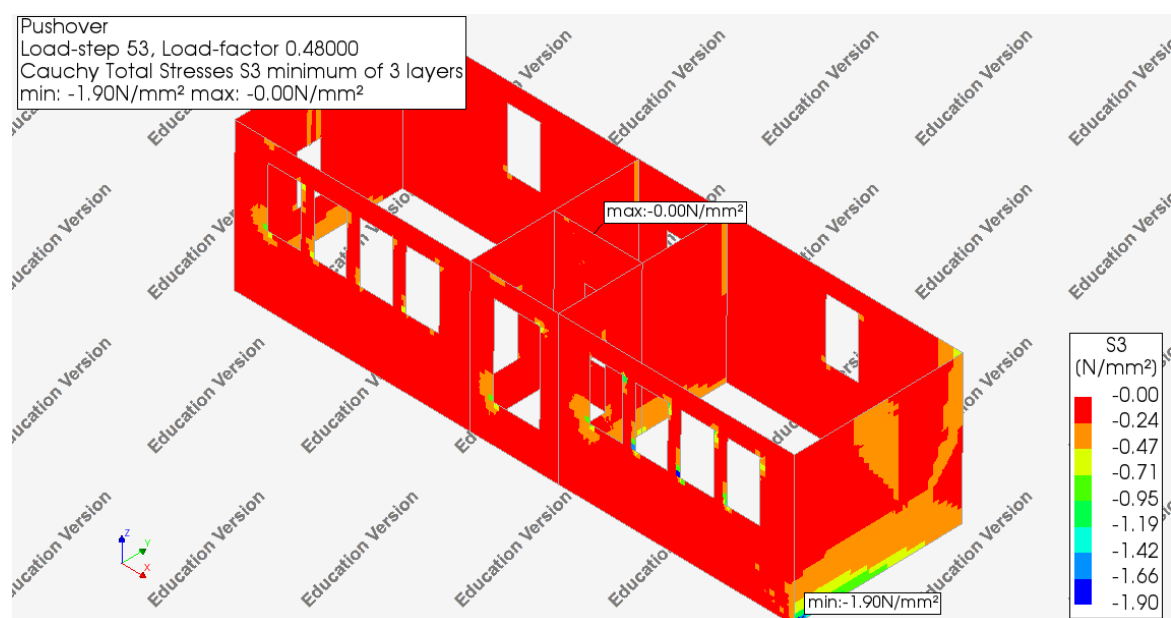


Εικόνα 95: Καμπύλη Ικανότητας υφιστάμενου διεύθυνση Χ

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση X, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

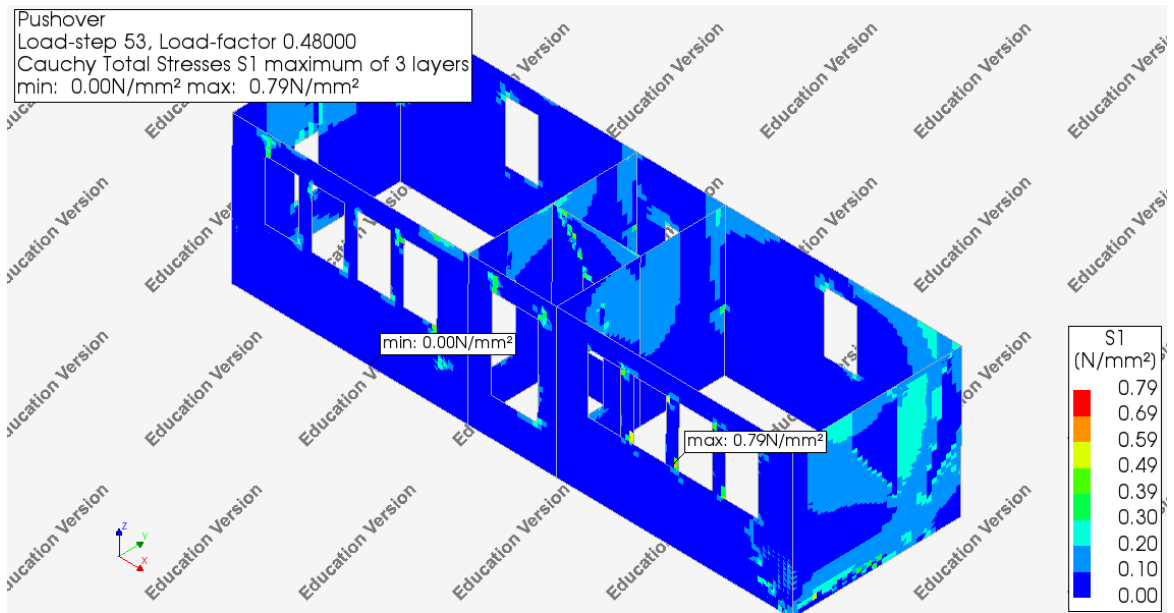
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολουθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

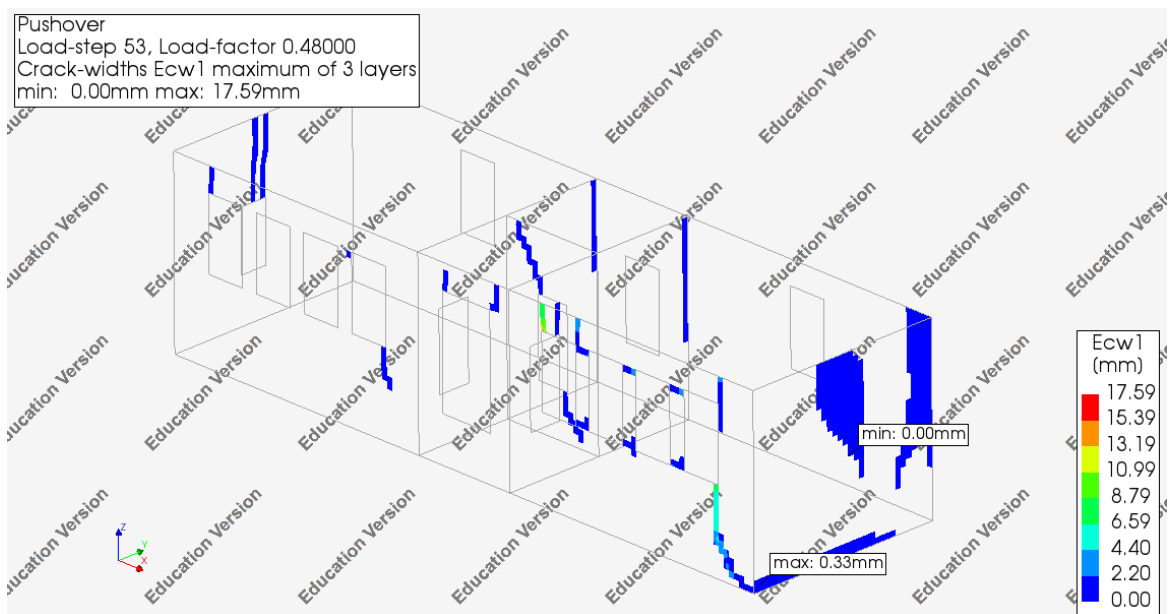


Εικόνα 96: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.

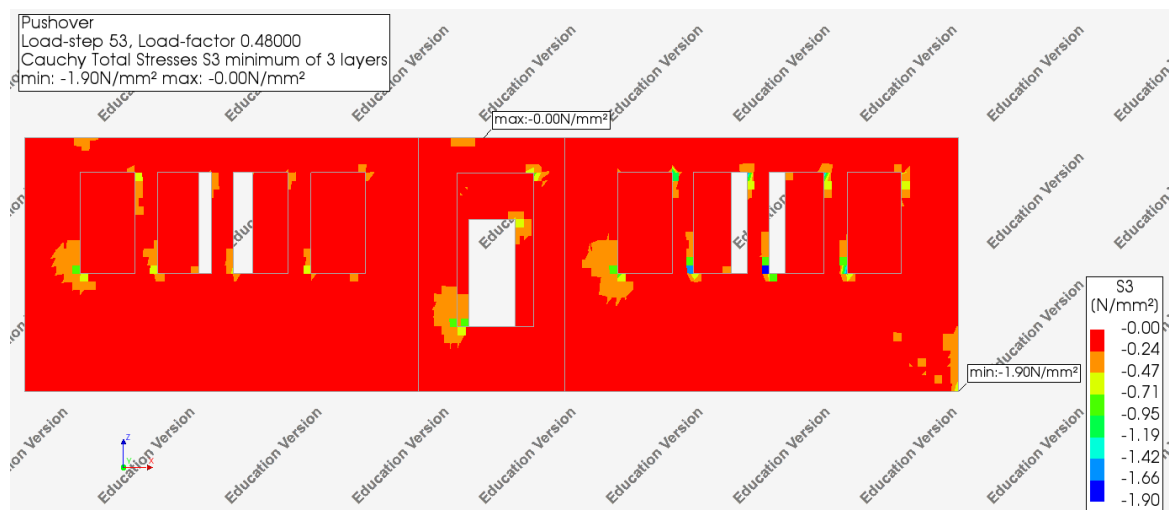


Εικόνα 97: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Χ υφιστάμενο [17]



Εικόνα 98: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Χ υφιστάμενο [17]

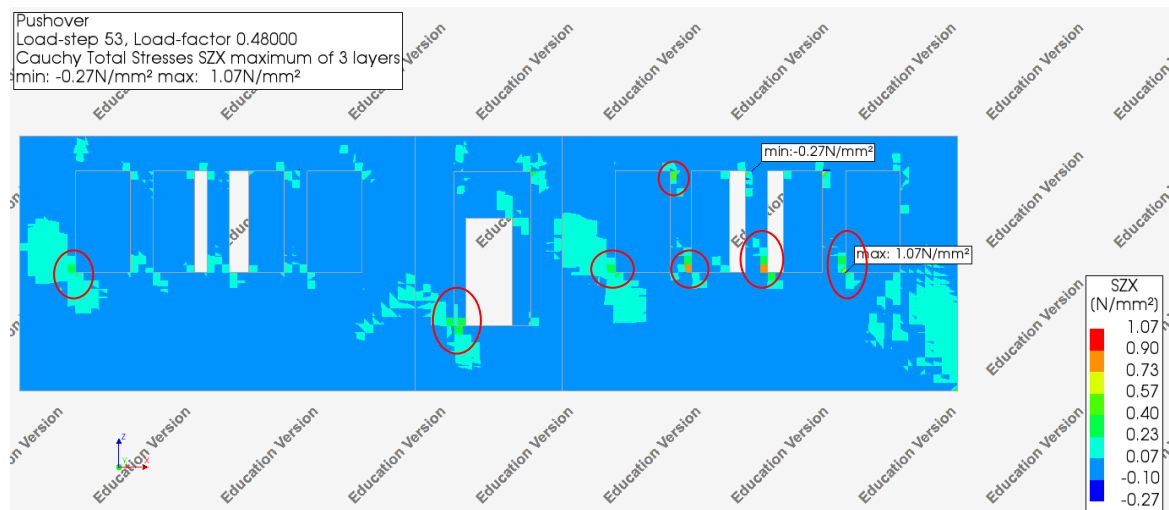
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και πραγματοποιείται ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 99: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο επίπεδο ZX [17]

Για την εξεταζόμενη όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,35$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,35 = 0,34 \text{ MPa}$$



Εικόνα 100: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο επίπεδο ZX [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες στα σημεία των πεσσών.

Διεύθυνση Υ

$C_0 = 1$, καθώς πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2 = C_3 = 1$

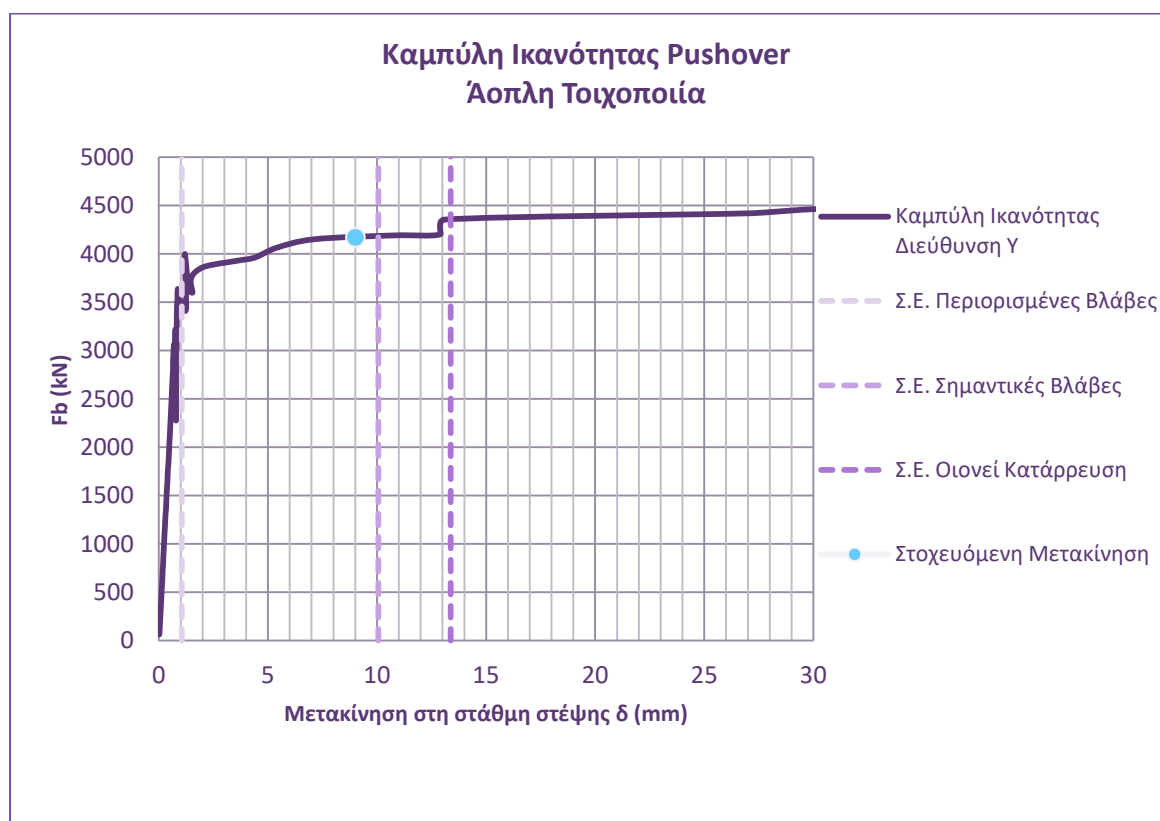
$C_1 = 1,54$

$W = 6608,996 \text{ kN}$

$R = 1,31$

$T_e = 0,183 \text{ sec}$

$\delta_t = 9,014 \text{ mm}$

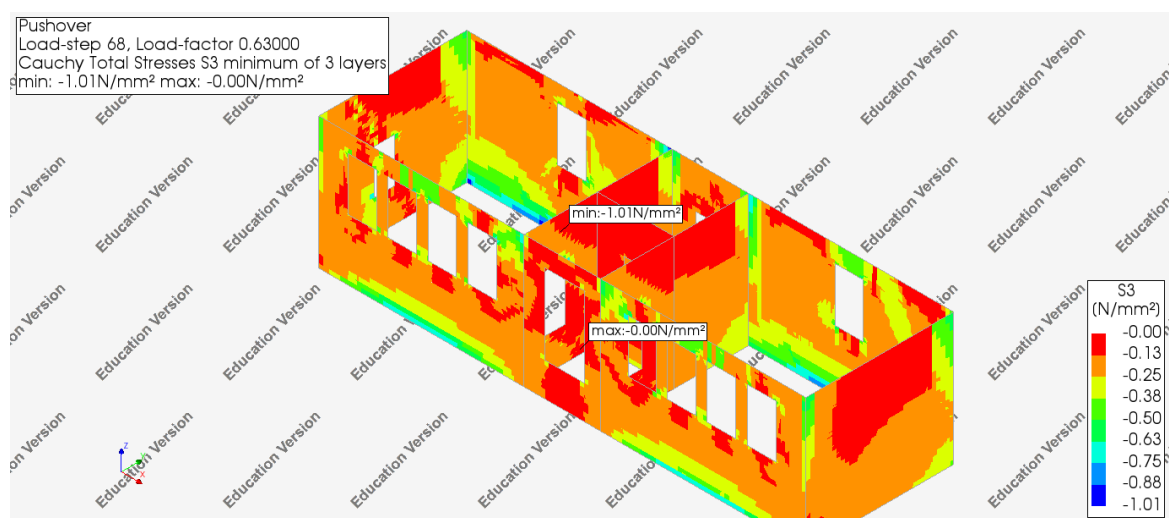


Εικόνα 101: Καμπύλη Ικανότητας υφιστάμενου διεύθυνση Υ

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση Y, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

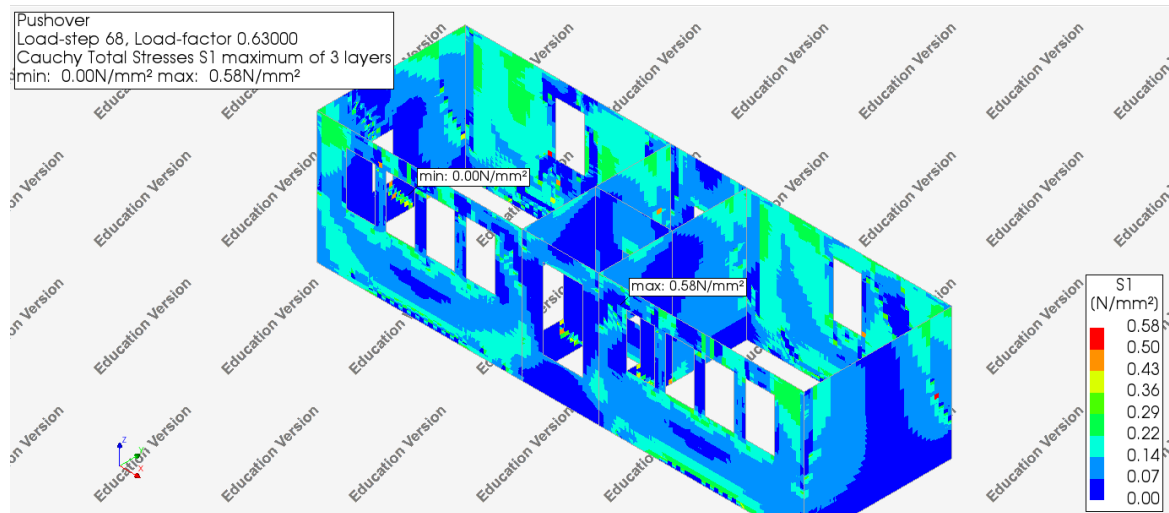
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολουθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

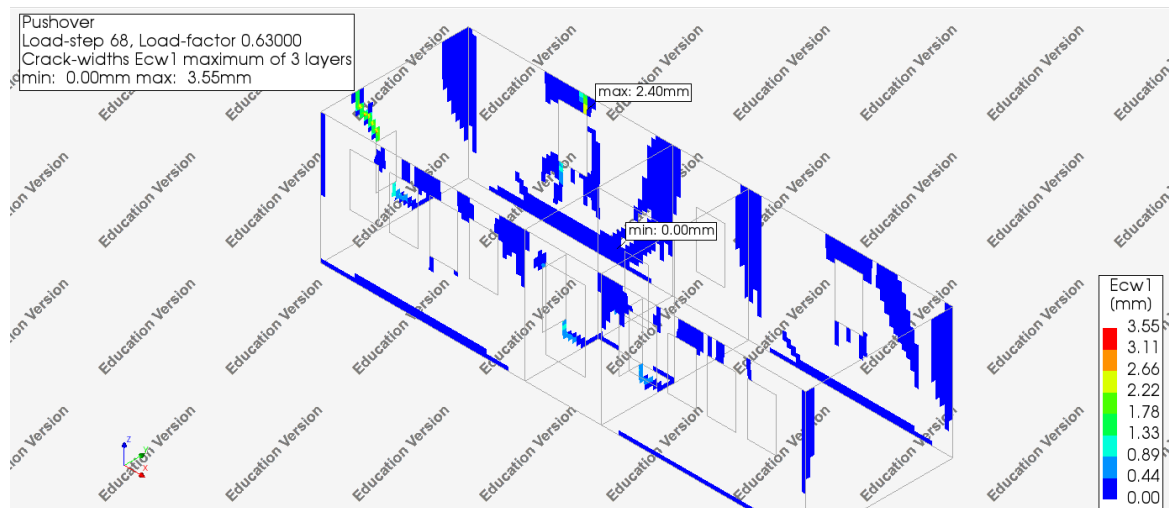


Εικόνα 102: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Y υφιστάμενο [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.

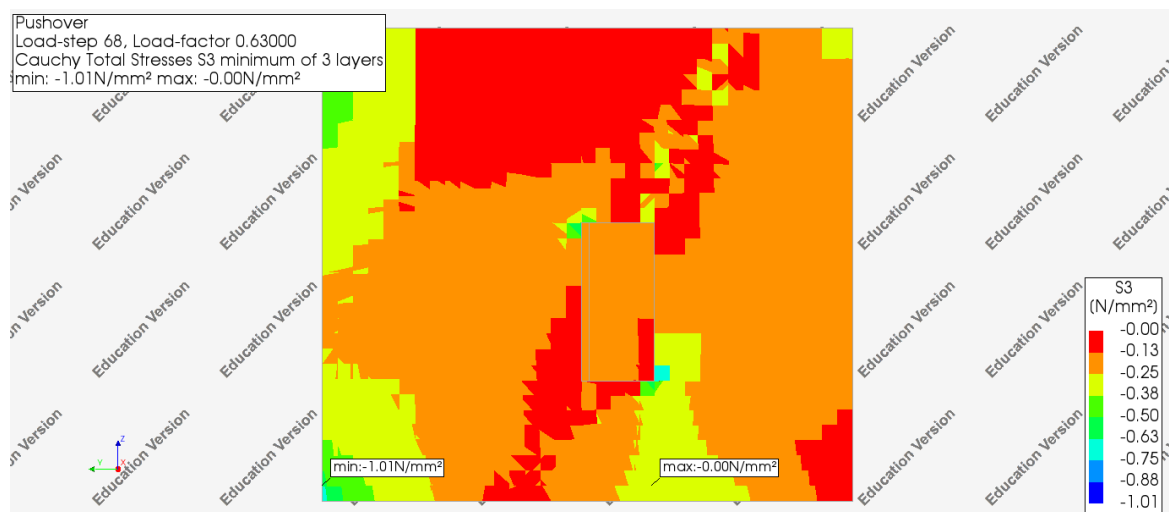


Εικόνα 103: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Υ υφιστάμενο [17]



Εικόνα 104: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Υ υφιστάμενο [17]

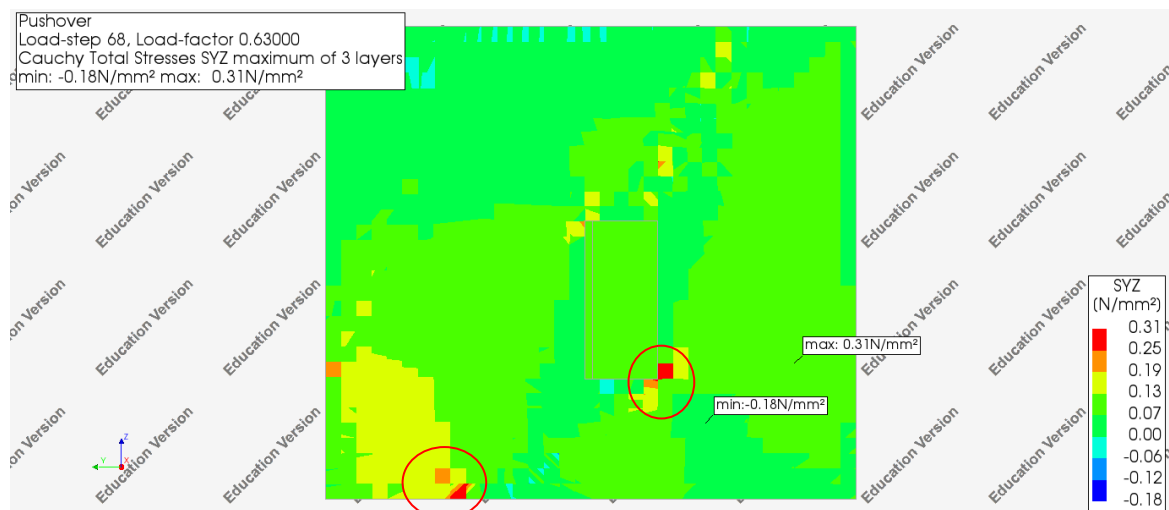
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και πραγματοποιείται ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 105: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Y υφιστάμενο επίπεδο YZ [17]

Για την εξεταζόμενη όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,17$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,17 = 0,268 \text{ MPa}$$



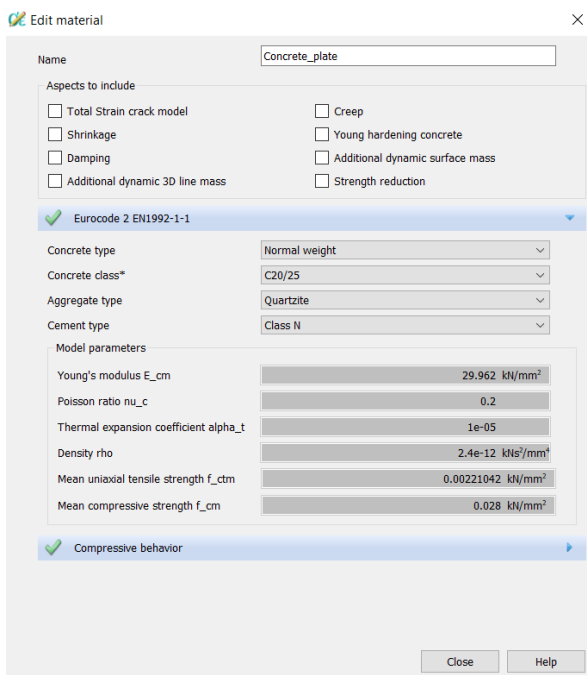
Εικόνα 106: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο επίπεδο YZ [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες στα σημεία των πεσσών.

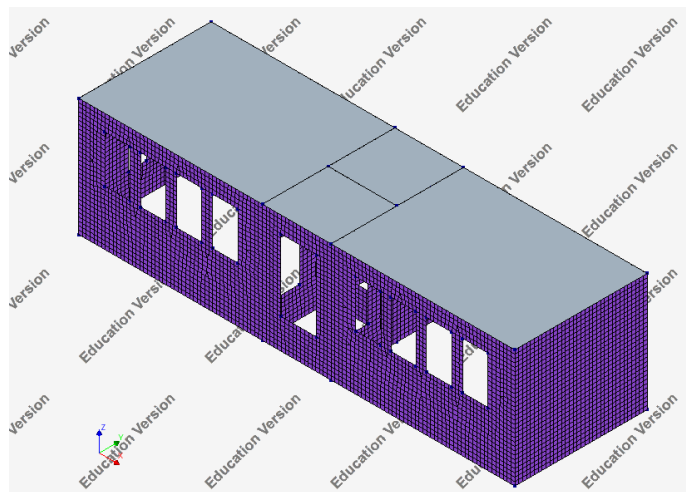
7. ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΛΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [11]

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνάται η συμπεριφορά της κατασκευής όταν σε αυτή πραγματοποιηθεί επέμβαση δημιουργώντας δύσκαμπτο διάφραγμα με την προσθήκη πλάκας σκυροδέματος πάχους 0,20 m και ποιότητα σκυροδέματος C20/25 [19].

Για την προσομοίωση του διαφράγματος θεωρήθηκε ότι η πλάκα διαχωρίζεται σε επιφανειακά στοιχεία διαστάσεων 0,20-0,20 m.



Εικόνα 108: Ορισμός σκυροδέματος [17]



Εικόνα 107: Προσομοίωμα με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος [17]

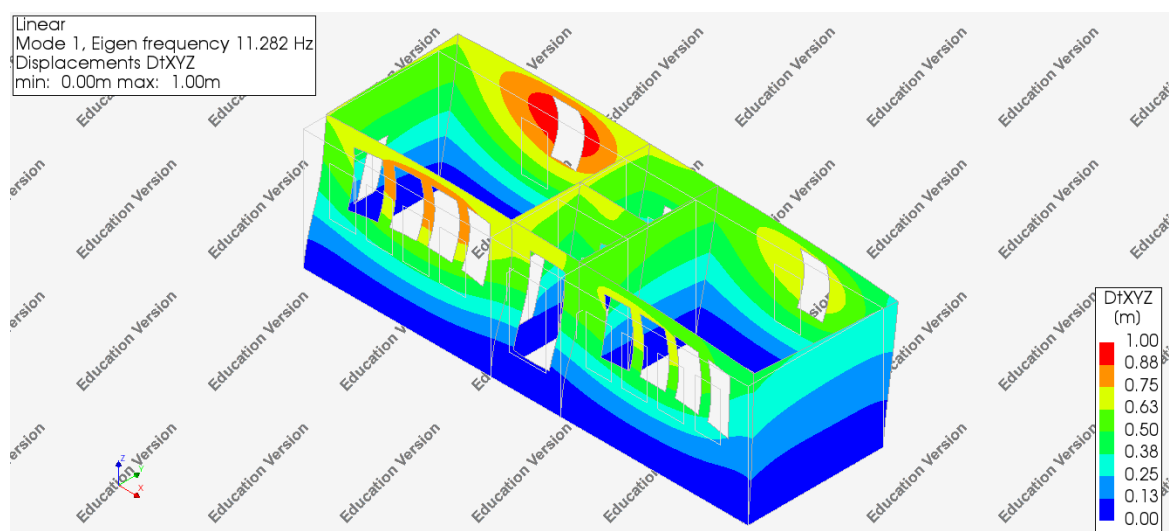
7.1 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με την προσθήκη πλάκας σκυροδέματος εξασφαλίζεται η πλήρη διαφραγματική λειτουργία με την προϋπόθεση την καλή σύνδεσή της με τον κατακόρυφο φέροντα οργανισμό του δομήματος και παρατηρείται αύξηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου.

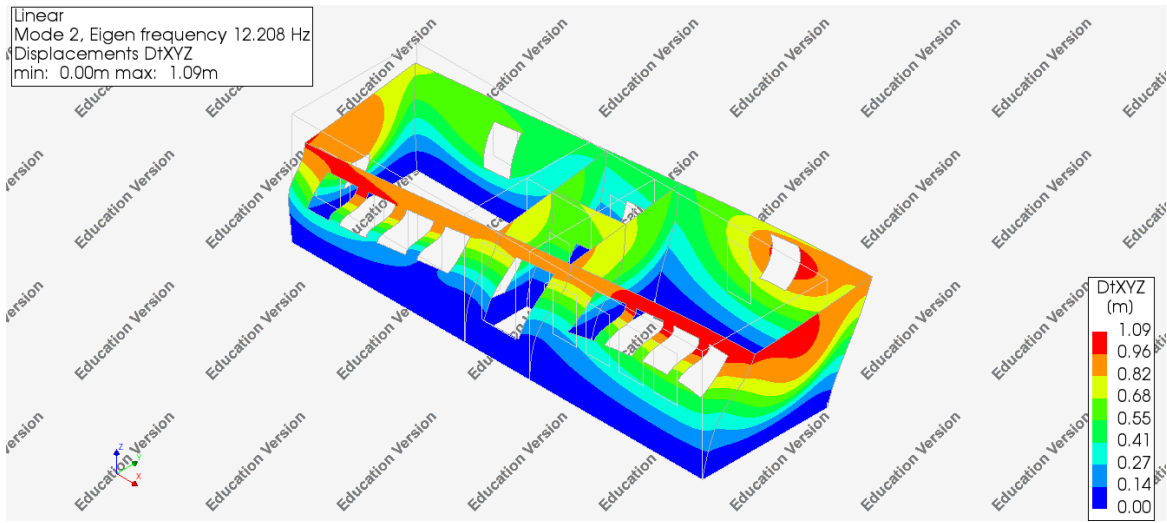
Ακολούθως παρουσιάζονται κάποιες από τις ιδιομορφές στις οποίες παρατηρείται ενιαία μετακίνηση ανά διεύθυνση συγκριτικά με το προσομοίωμα του υφισταμένου κτιρίου χωρίς την προσθήκη πλάκας σκυροδέματος.

Παρατηρείται ότι η πρώτη ιδιομορφή δεσπόζει στη διεύθυνση Y με ιδιοπερίοδο $T = 0,09$ sec.

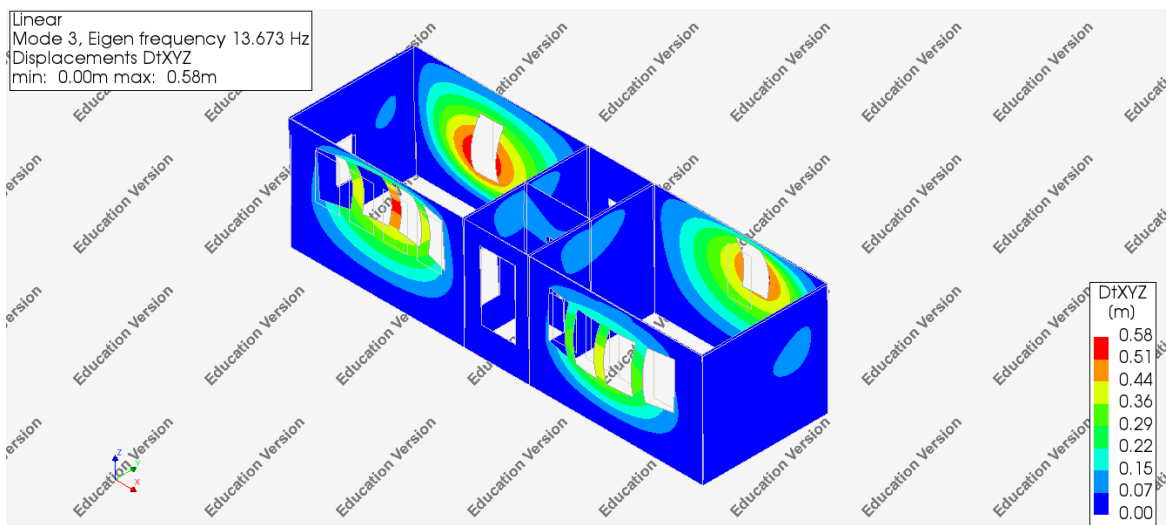
Επιπλέον για να ενεργοποιηθεί το 75% της συνολικής μάζας του κτιρίου απαιτούνται οι 59 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση X και οι 28 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση Y.



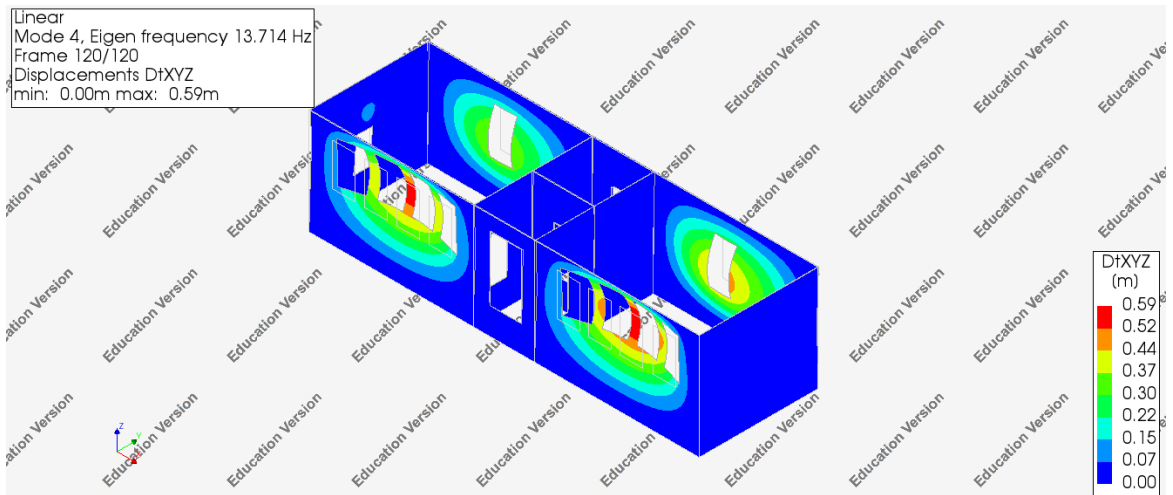
Εικόνα 109: 1η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]



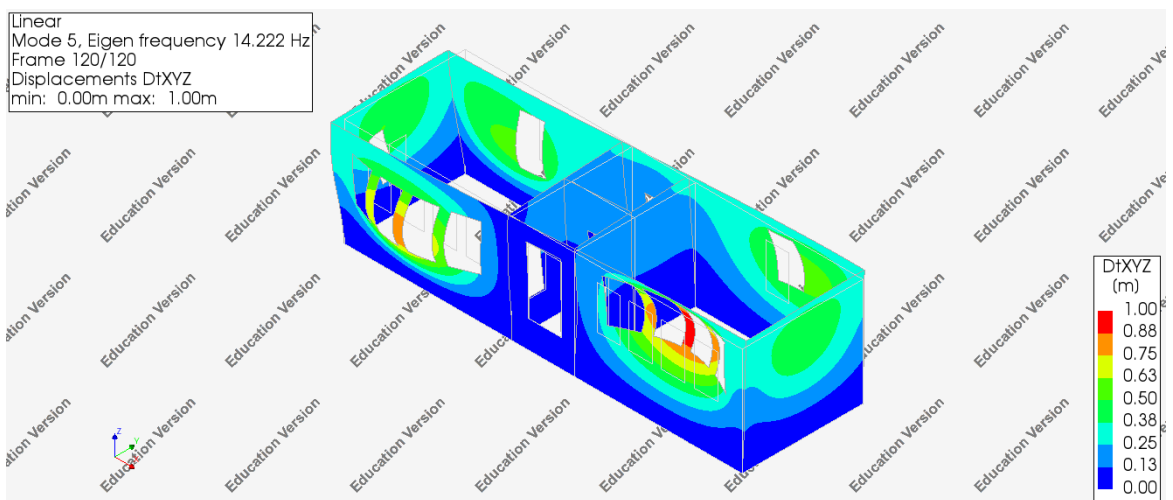
Εικόνα 110: 2η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]



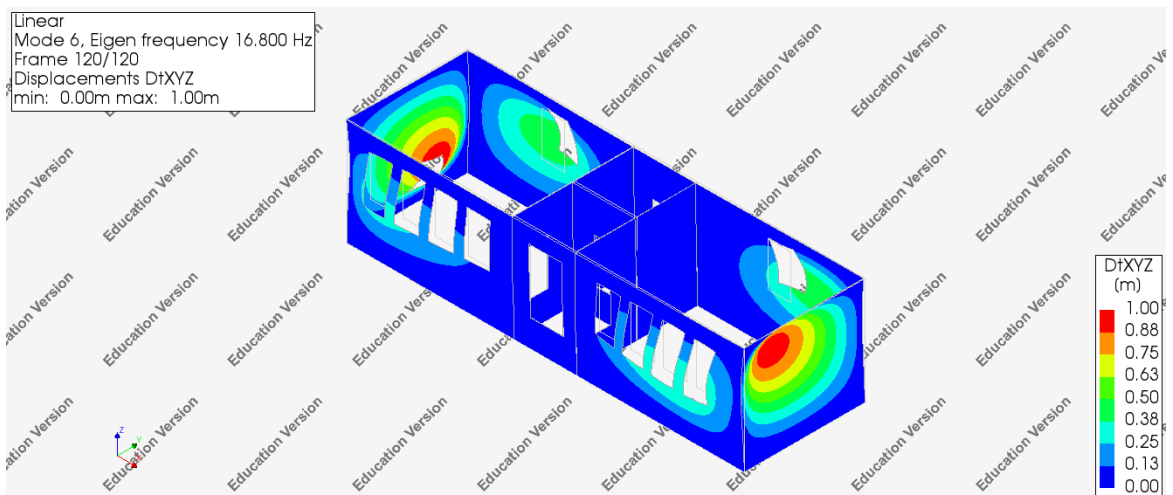
Εικόνα 111: 3η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]



Εικόνα 112: 4η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]



Εικόνα 113: 5η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]

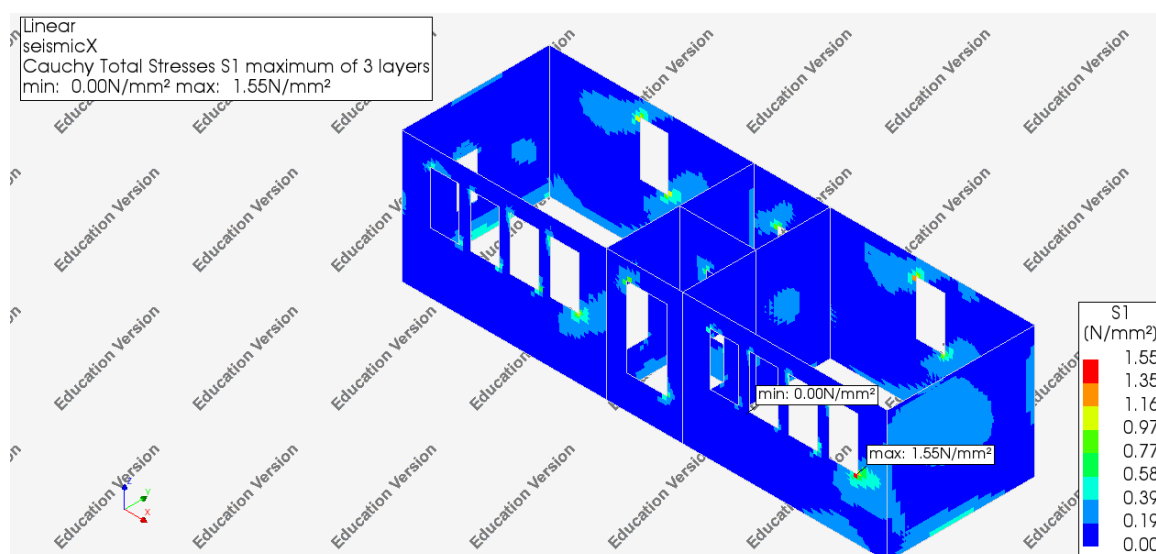


Εικόνα 114: 6η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]

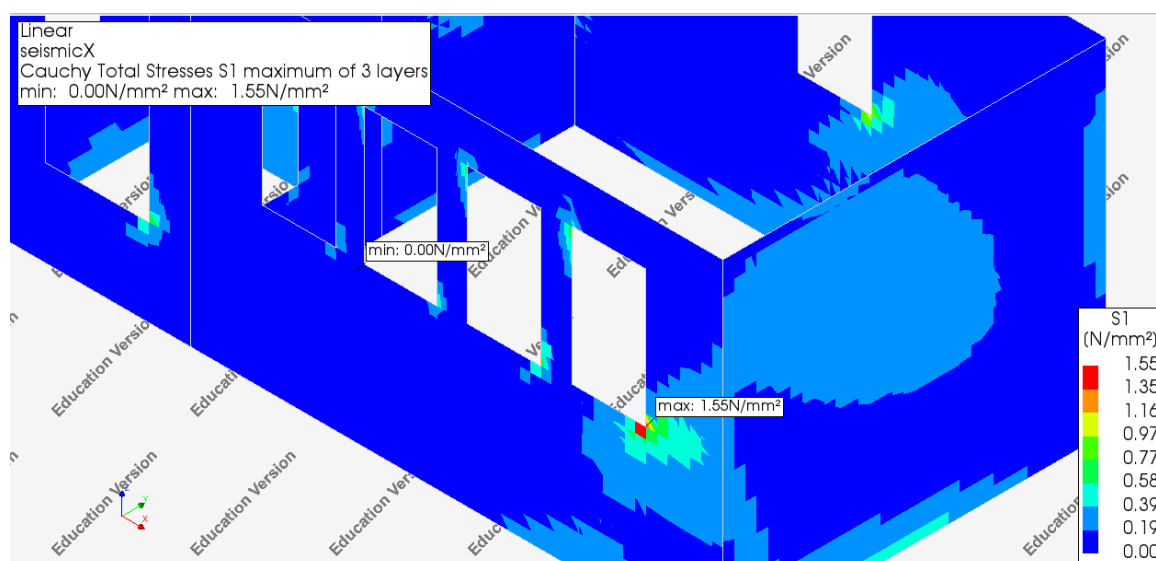
7.2 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στην τοιχοποιία όταν το κτίριο της μελέτης υποβάλλεται σε σεισμική επιτάχυνση που αντιστοιχεί σε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας 2.

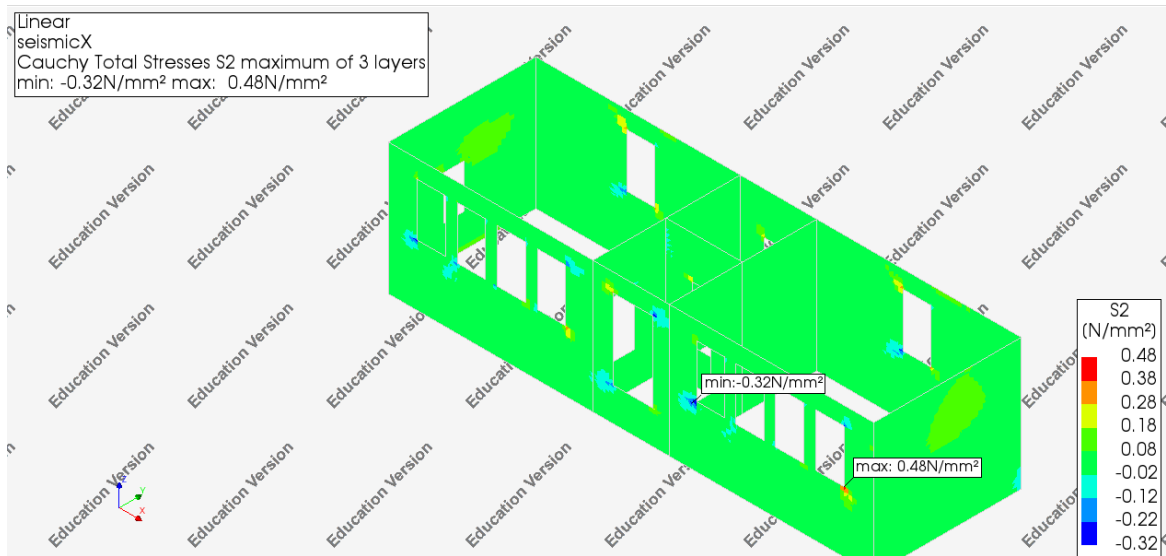
seismicX : $EX + 0,3EY + G + G' + 0,3Q$



Εικόνα 115: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicX [17]



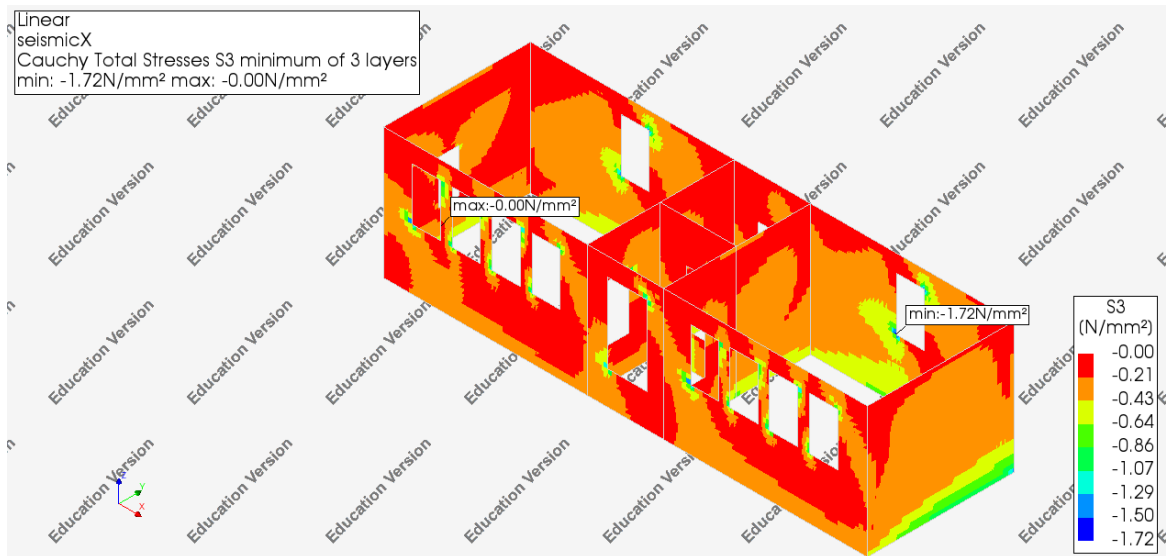
Εικόνα 116: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση) [17]



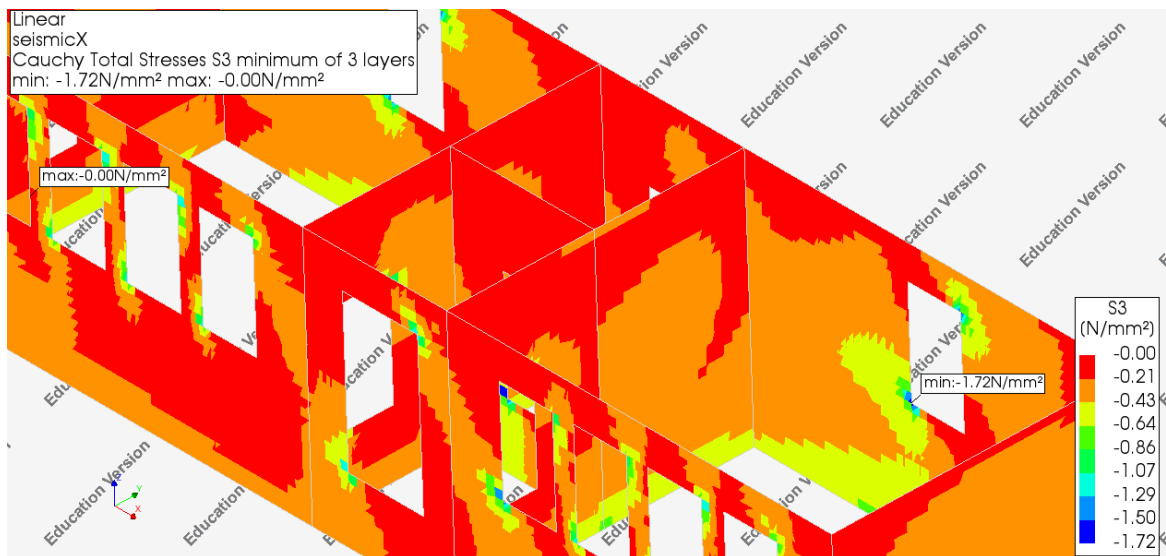
Εικόνα 117: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicX [17]



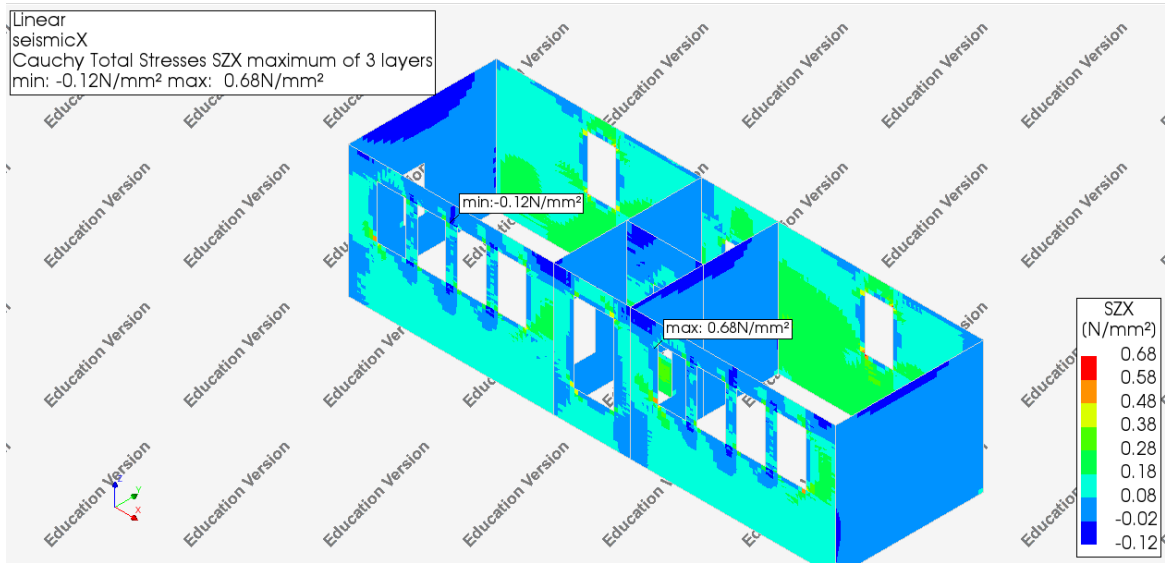
Εικόνα 118: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση) [17]



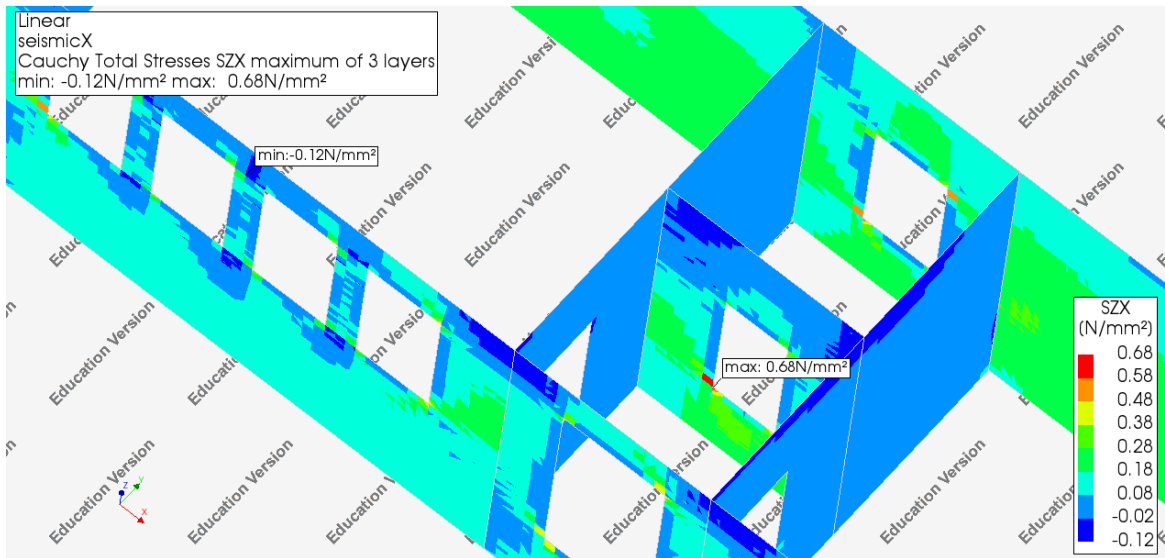
Εικόνα 119: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicX [17]



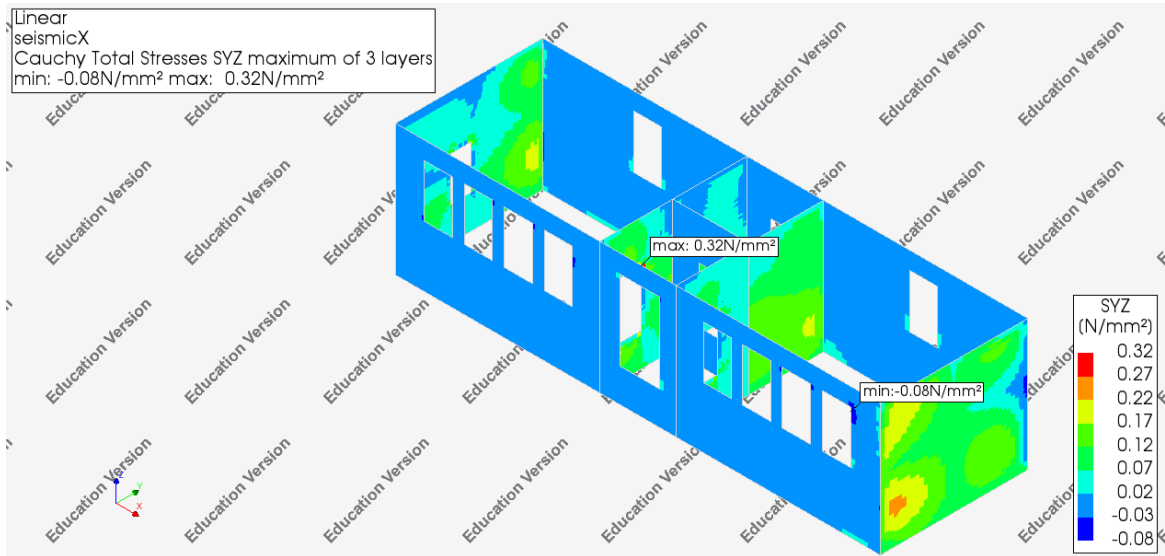
Εικόνα 120: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση) [17]



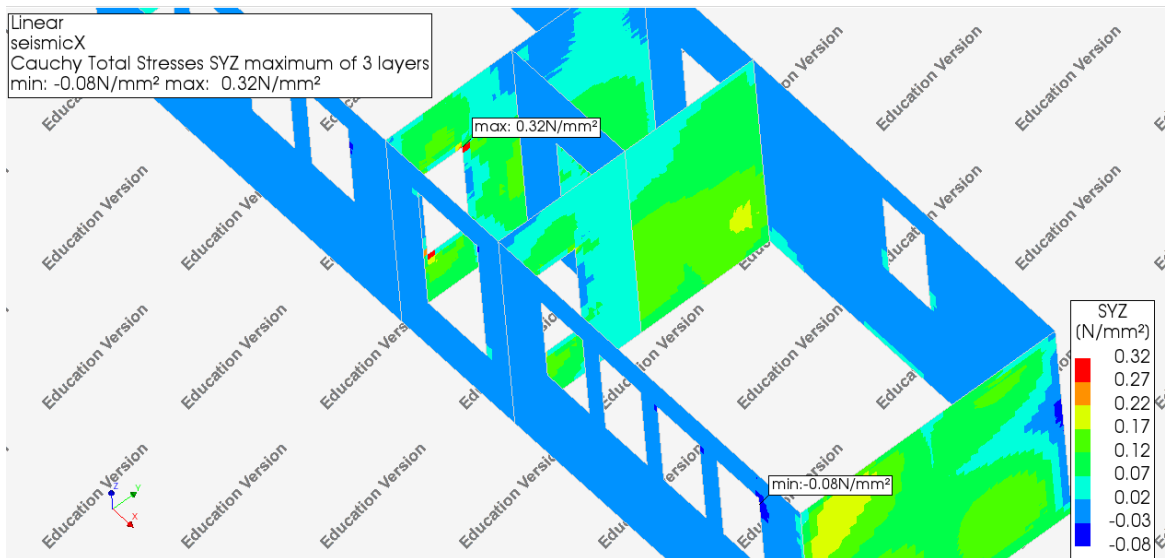
Εικόνα 121: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicX [17]



Εικόνα 122: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση) [17]

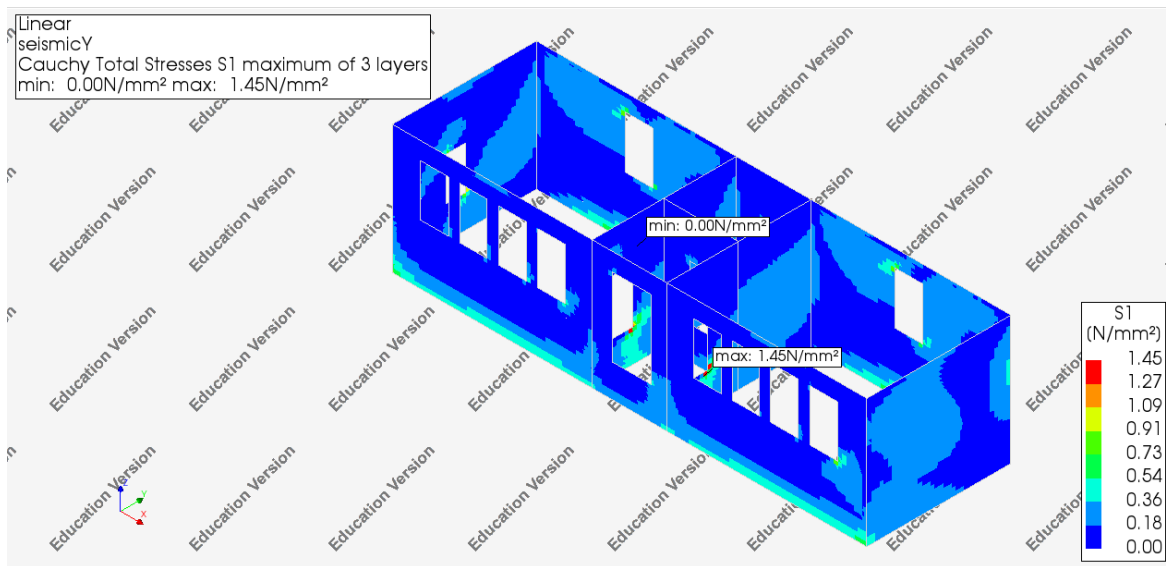


Εικόνα 123: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicX [17]

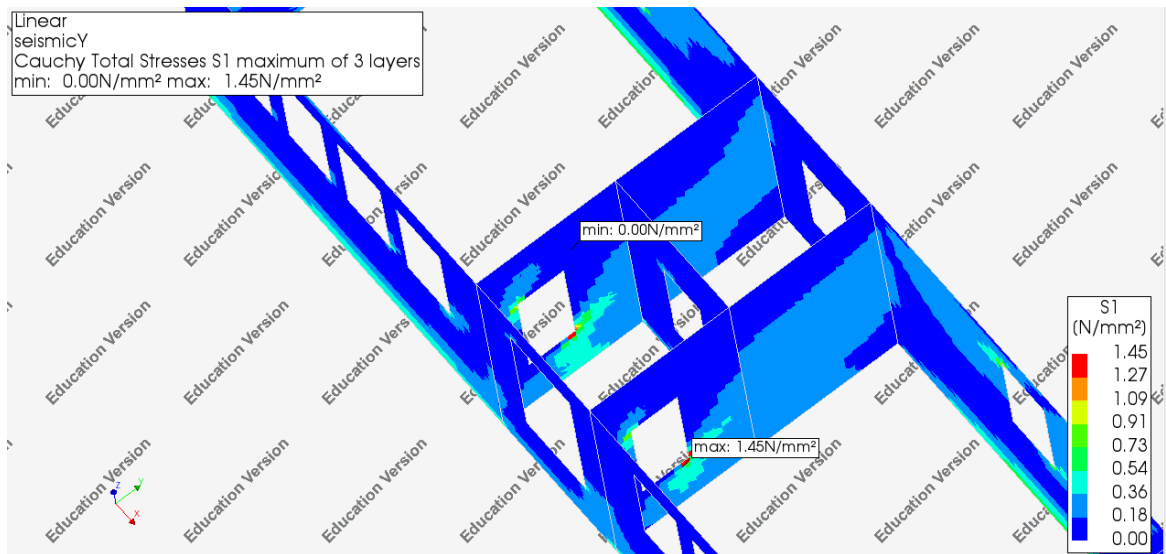


Εικόνα 124: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση) [17]

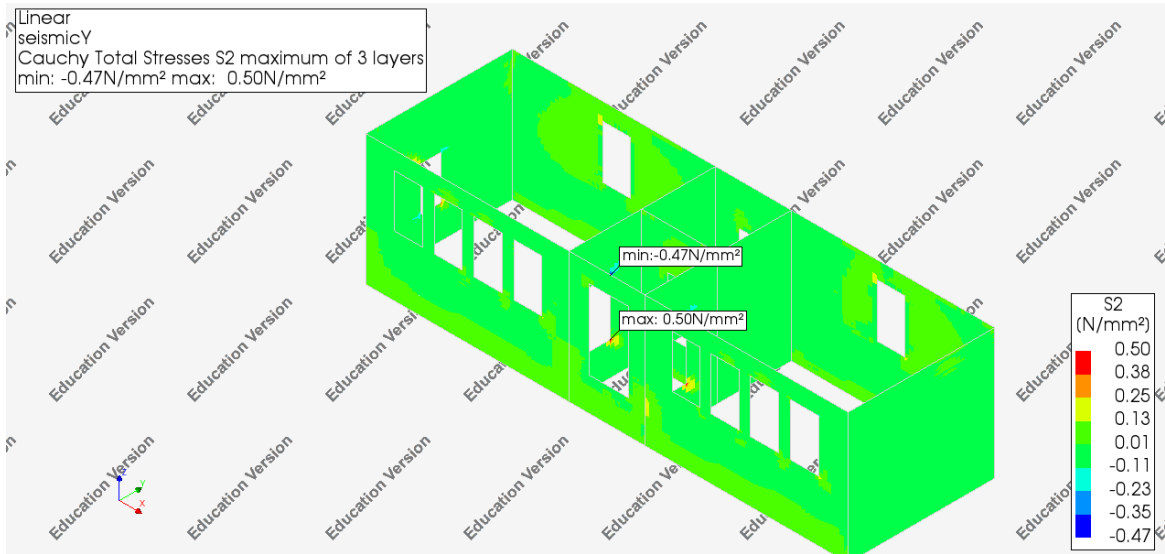
seismicY : 0,3EX+ EY+ G+ G' + 0,3Q



Εικόνα 125: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicY [17]



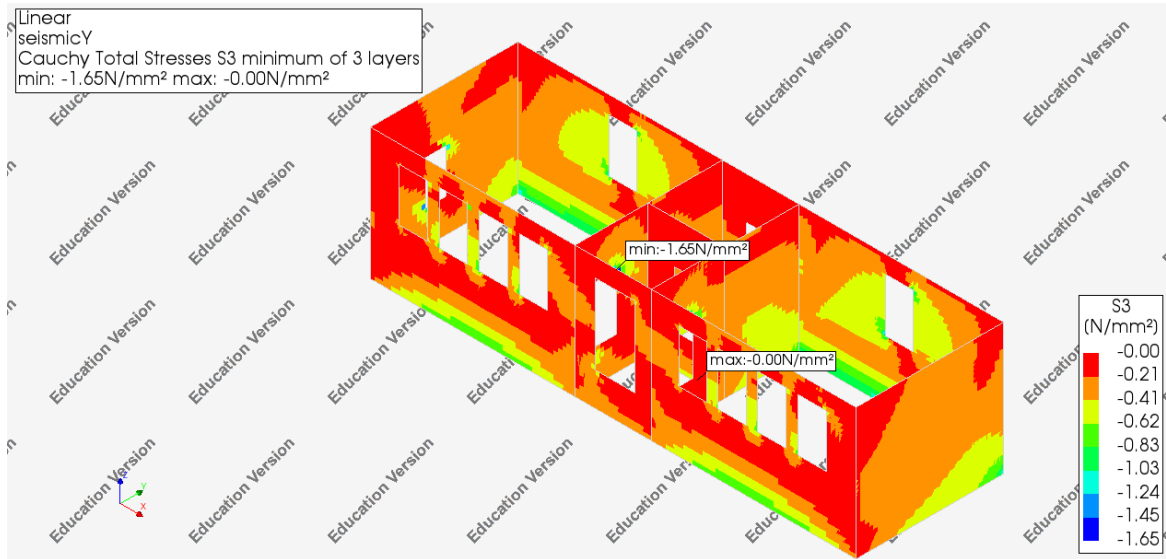
Εικόνα 126: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση) [17]



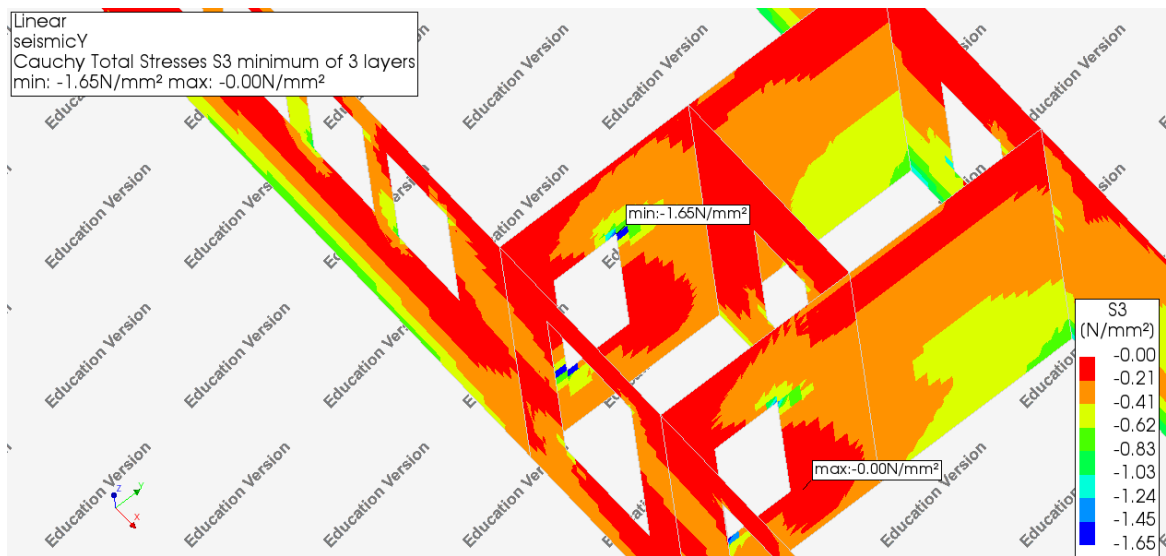
Εικόνα 127: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicY [17]



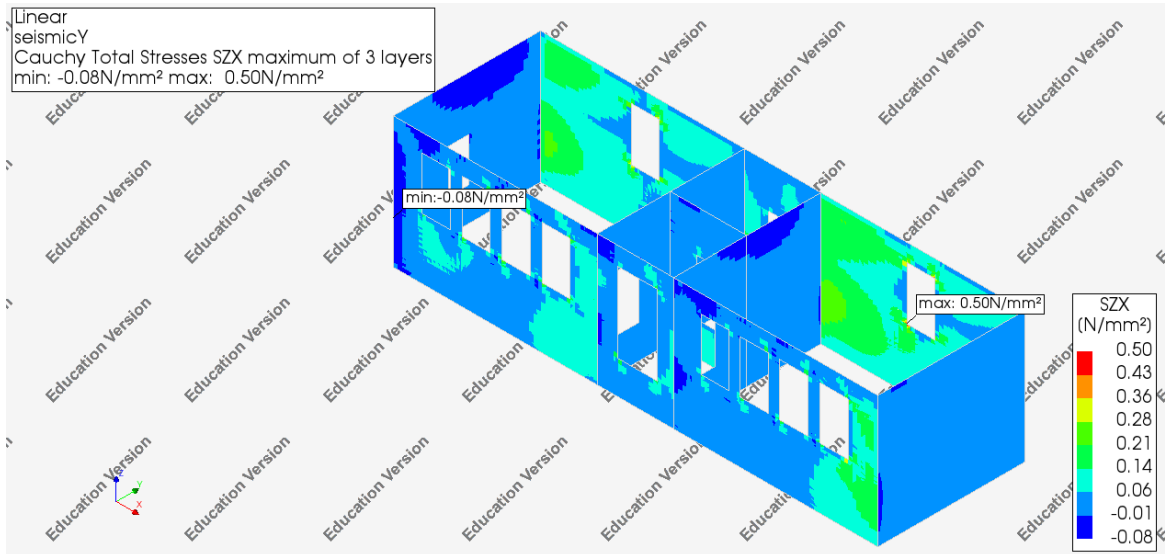
Εικόνα 128: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση) [17]



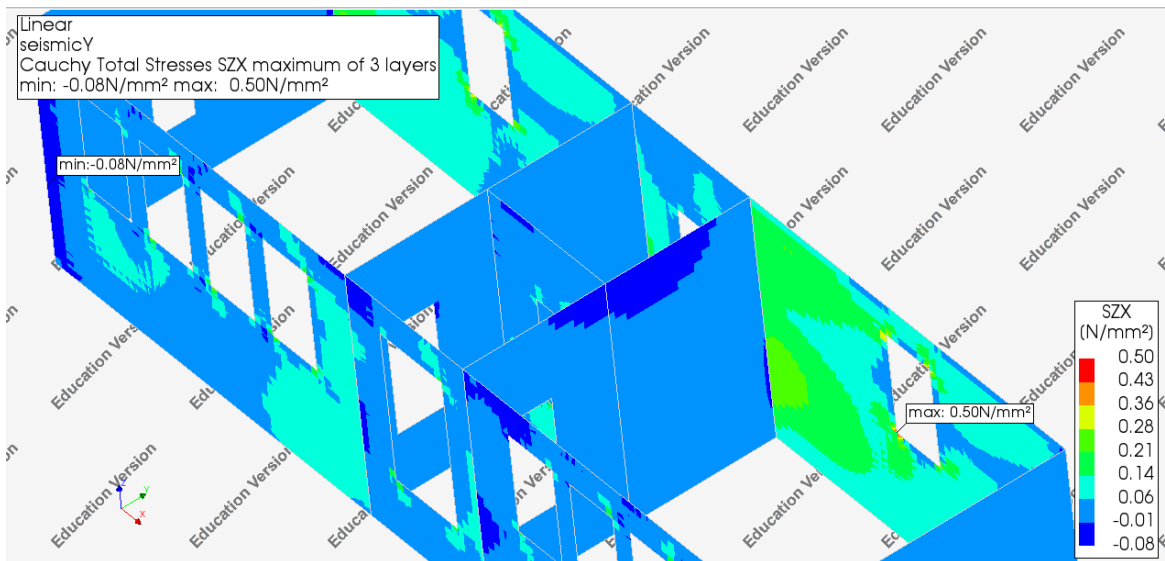
Εικόνα 129: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicY [17]



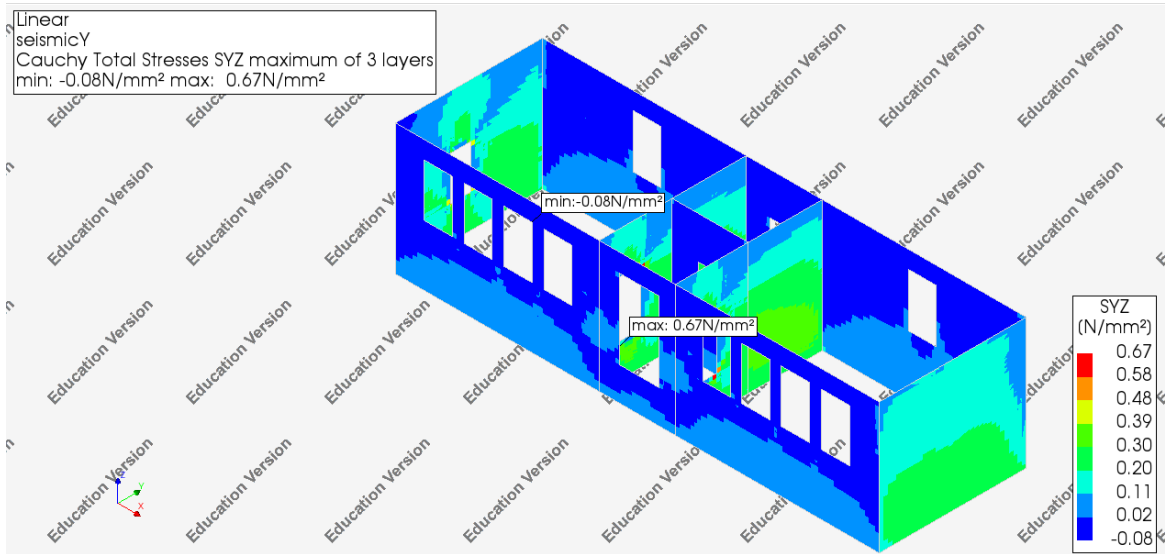
Εικόνα 130: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση) [17]



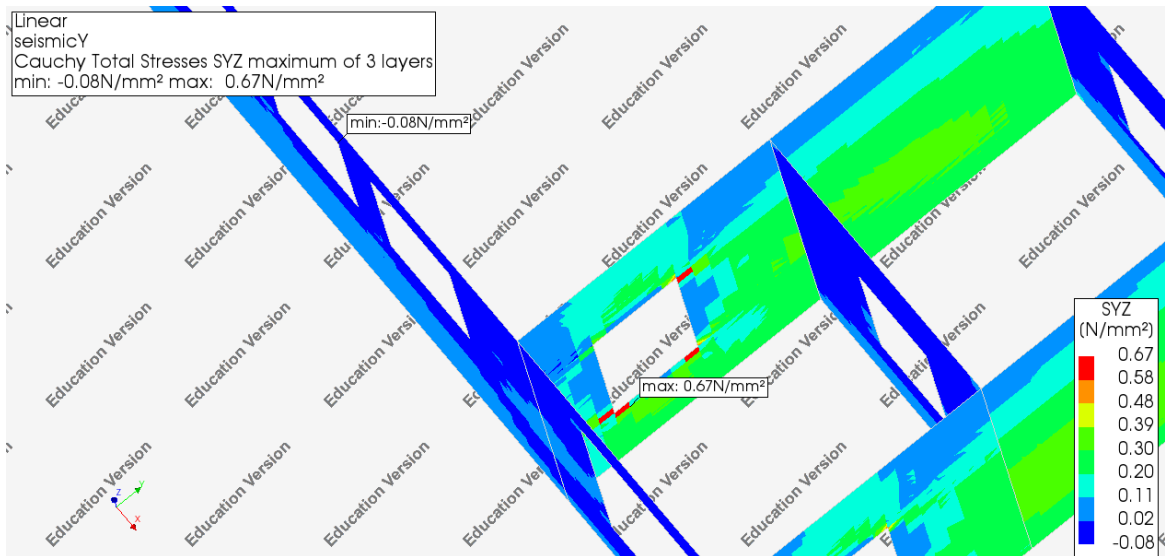
Εικόνα 131: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicY [17]



Εικόνα 132: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση) [17]



Εικόνα 133: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicY [17]



Εικόνα 134: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση) [17]

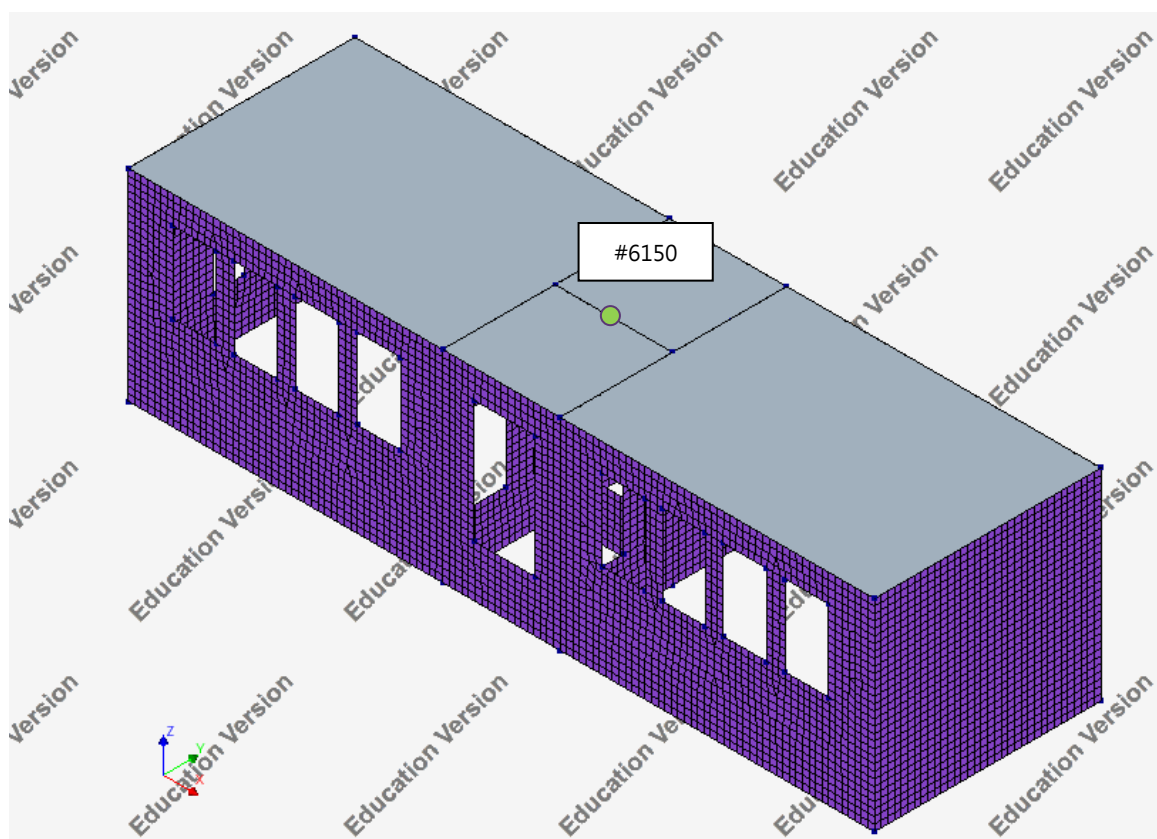
Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται οι κύριες και διατμητικές τάσεις που δημιουργούνται στην τοιχοποιία υπό τους σεισμικούς συνδυασμούς.

Η μέγιστη θλιπτική τάση προκύπτει 1,72 MPa από τον συνδυασμό seismicX χωρίς να παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής.

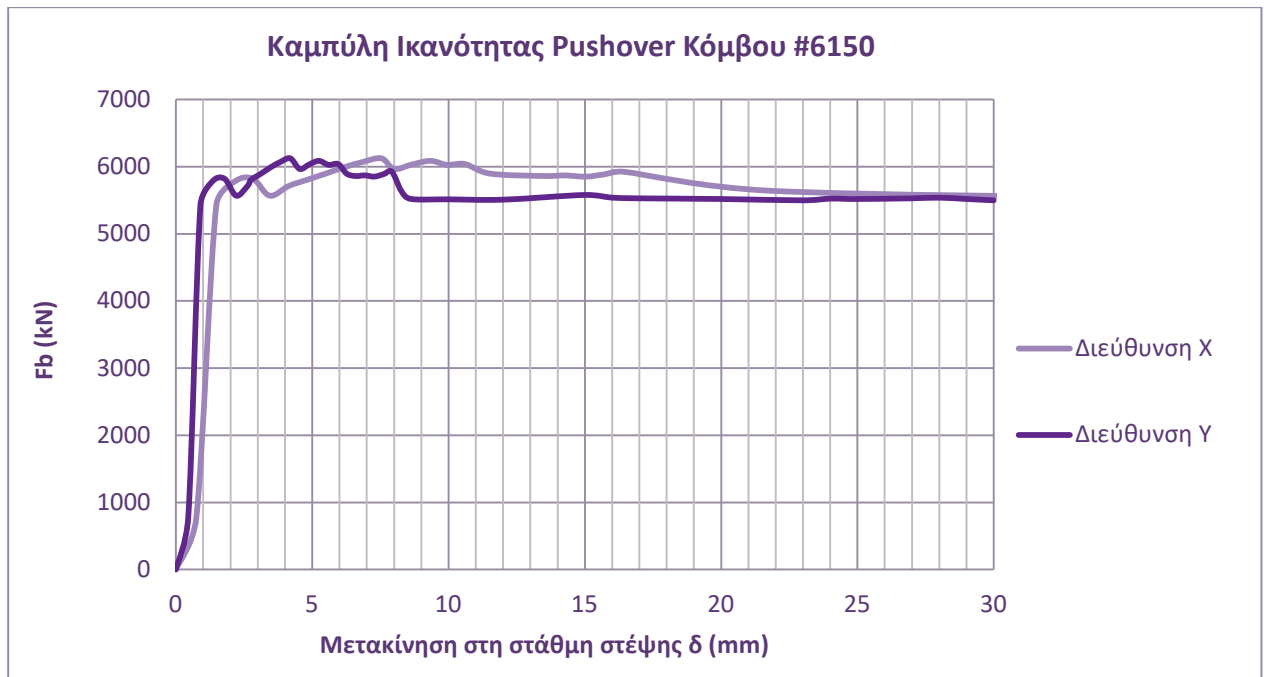
Και στους δύο σεισμικούς συνδυασμούς παρατηρείται τοπική υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσης που αντιστοιχεί στην τιμή 0,30 MPa.

7.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Αντίστοιχα με το προσομοίωμα του υφισταμένου κτιρίου ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μη γραμμικής ανάλυσης για το προσομοίωμα με την προσθήκη πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος ελέγχοντας έναν κόμβο στη στέψη του κτιρίου που βρίσκεται στο κέντρο της πλάκας.



Εικόνα 135: Προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ [17]



Εικόνα 136: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου πλάκα ΟΣ

Με βάση τα αποτελέσματα από τη μη γραμμική ανάλυση, η κατασκευή παρουσιάζει σχεδόν ίδια αντοχή και στις δύο διευθύνσεις με ελαφρώς μεγαλύτερη στη διεύθυνση Χ.

Ενισχυμένη κατάσταση

Μέσω της διγραμμικοποιημένης καμπύλης υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης. Σχετικά με την ελαστική επιτάχυνση επιλέχθηκε αυτή που αντιστοιχεί στο οριζόντιο κλάδο του ελαστικού φάσματος του Ευρωκώδικα 8 λαμβάνοντας έτσι υπόψη τη δυσμενέστερη περίπτωση ($S_e=6,9 \text{ m/s}^2$).

Διεύθυνση X

$C_0= 1$, καθώς πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2=C_3=1$

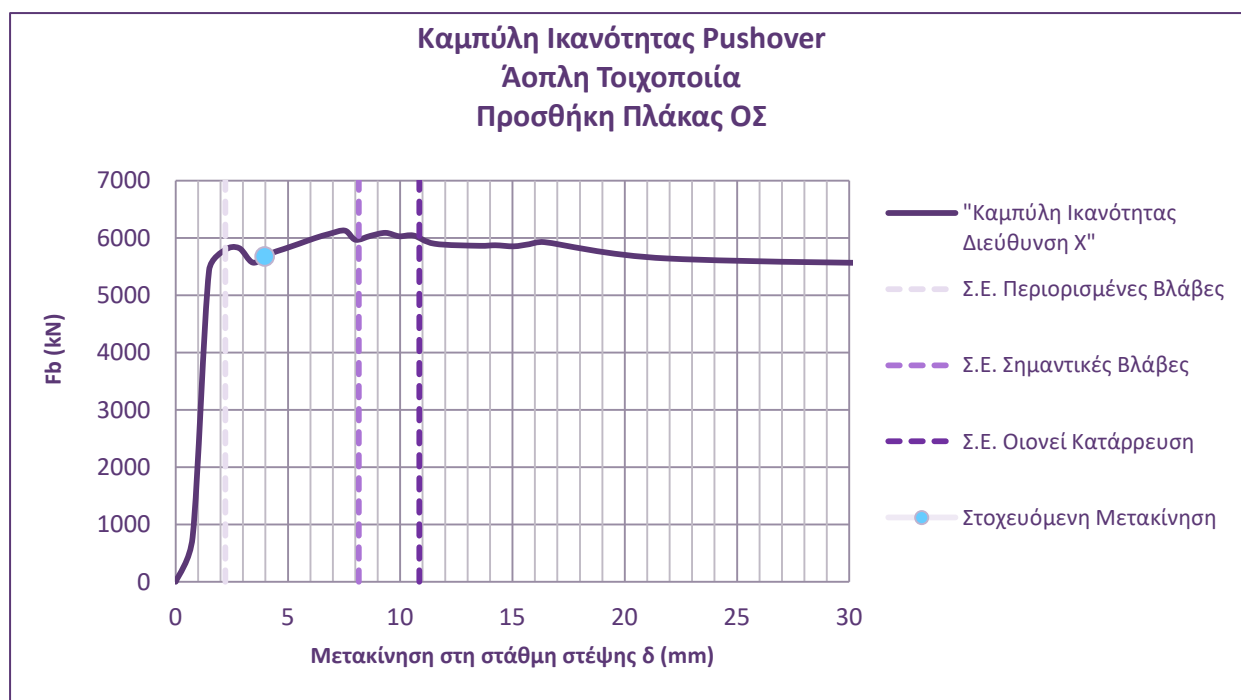
$C_1= 1,55$

$W= 7336,353 \text{ kN}$

$R= 1,16$

$T_e= 0,121 \text{ sec}$

$\delta_t= 3,97 \text{ mm}$

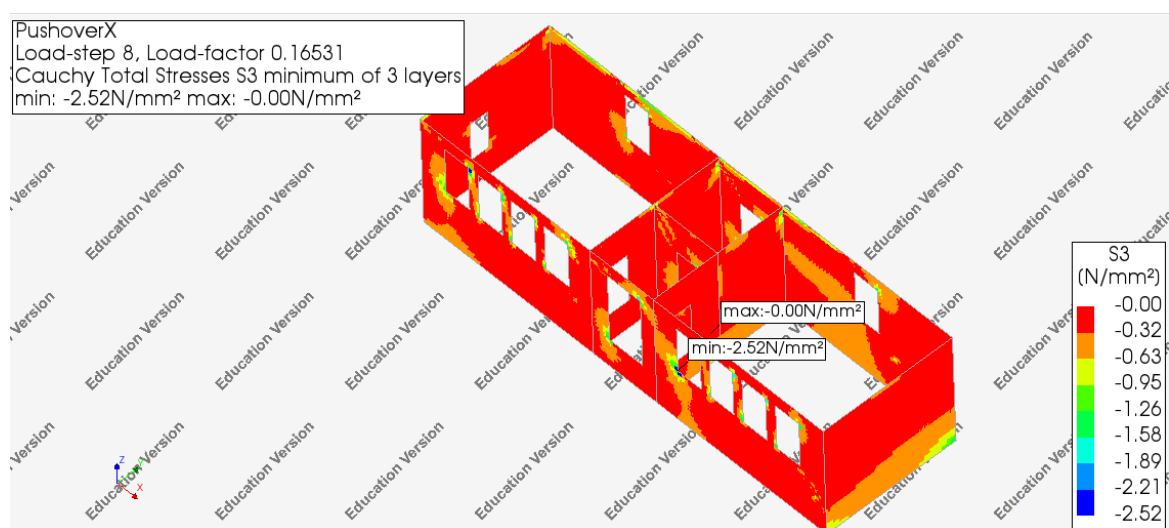


Εικόνα 137: Καμπύλη Ικανότητας υφισταμένου με προσθήκη πλάκας ΟΣ διεύθυνση X

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση X, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

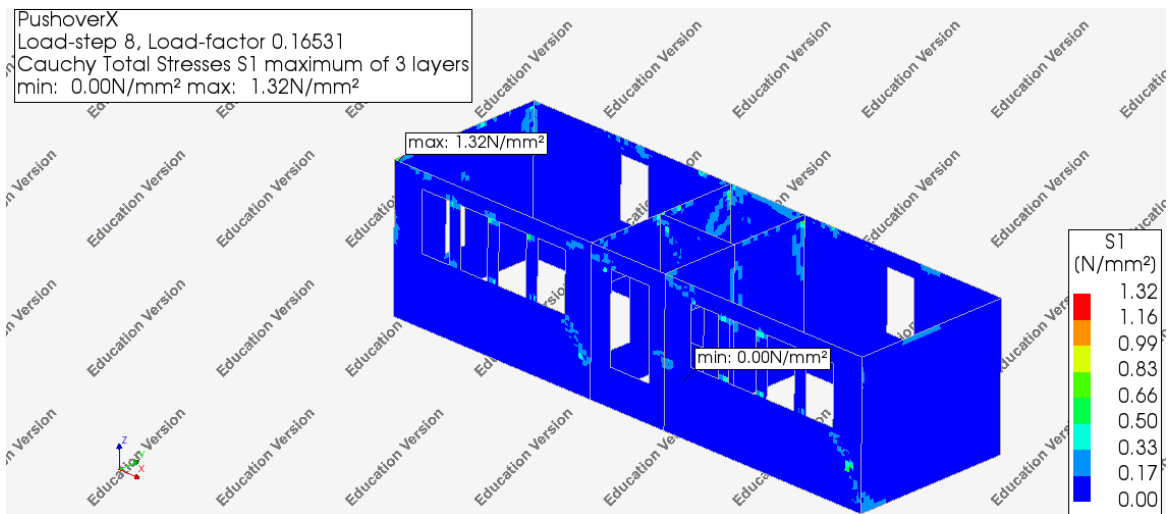
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολουθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

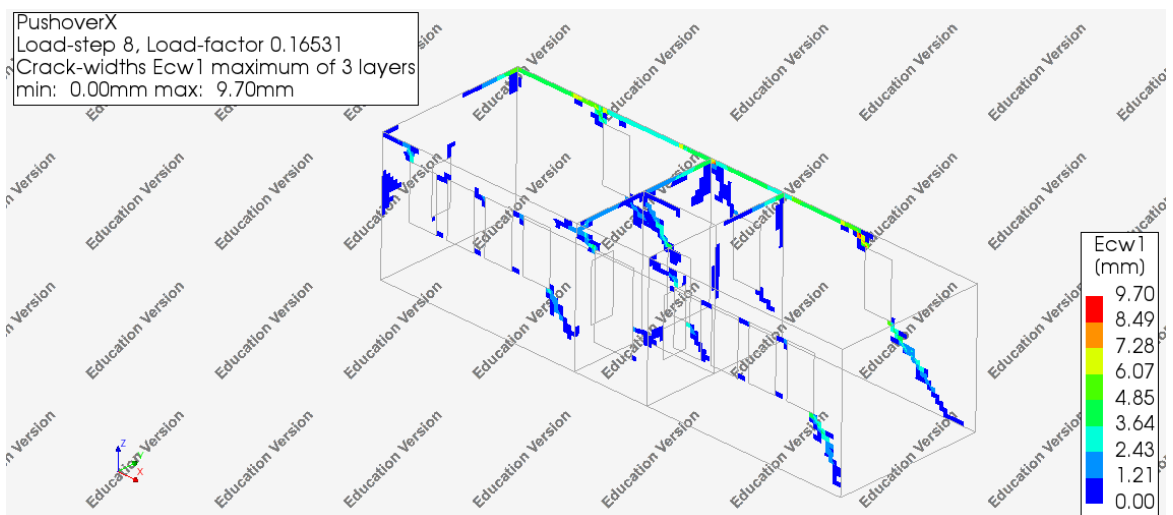


Εικόνα 138: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση X [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.

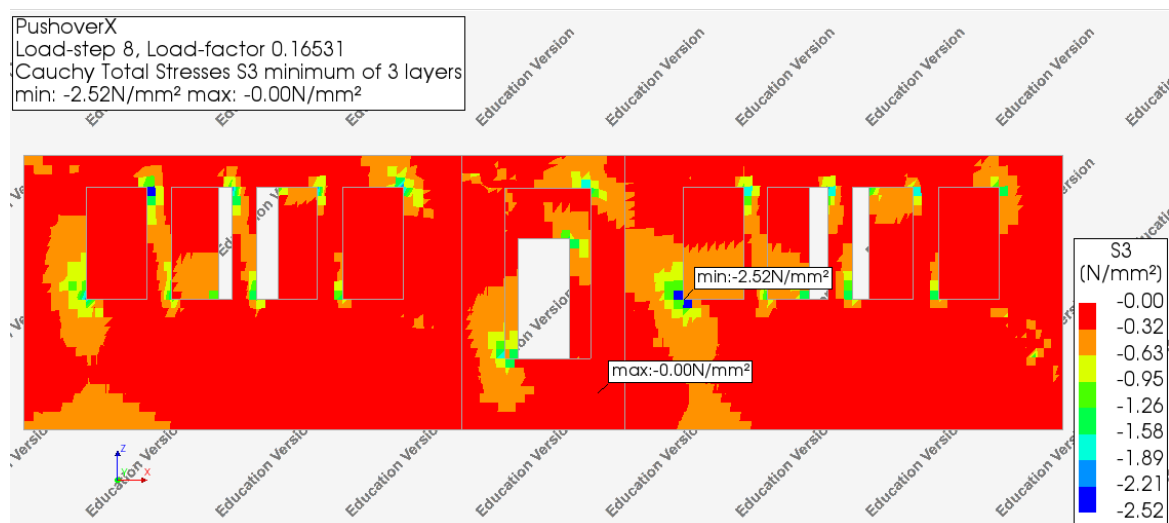


Εικόνα 139: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση X [17]



Εικόνα 140: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση X [17]

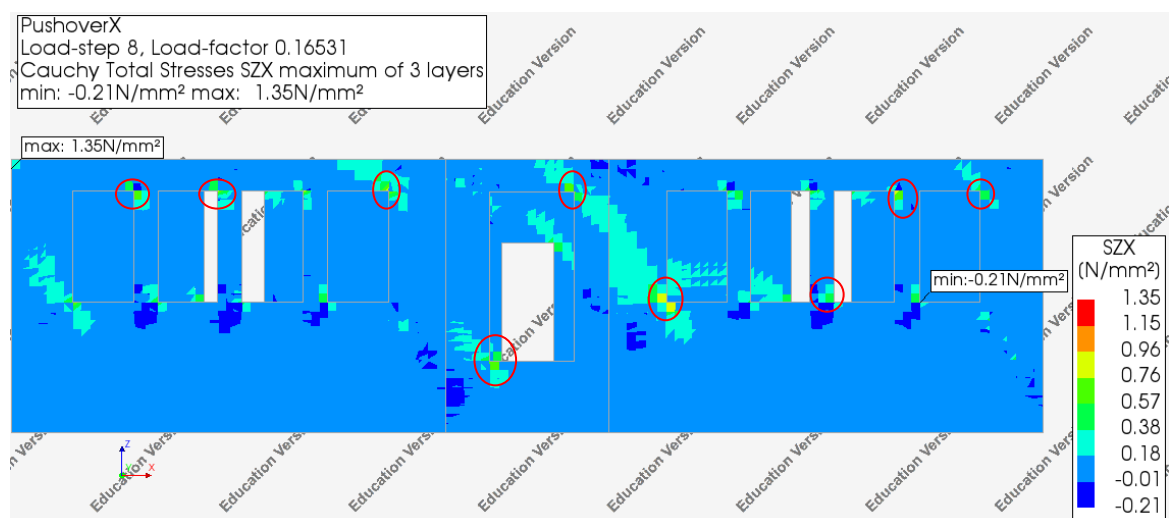
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και πραγματοποιείται ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 141: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο ZX [17]

Για την υπό εξέταση όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,45$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,45 = 0,38 \text{ MPa}$$



Εικόνα 142: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο ZX [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες στα σημεία των πεσσών.

Διεύθυνση Υ

$C_0 = 1$, καθώς πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2 = C_3 = 1$

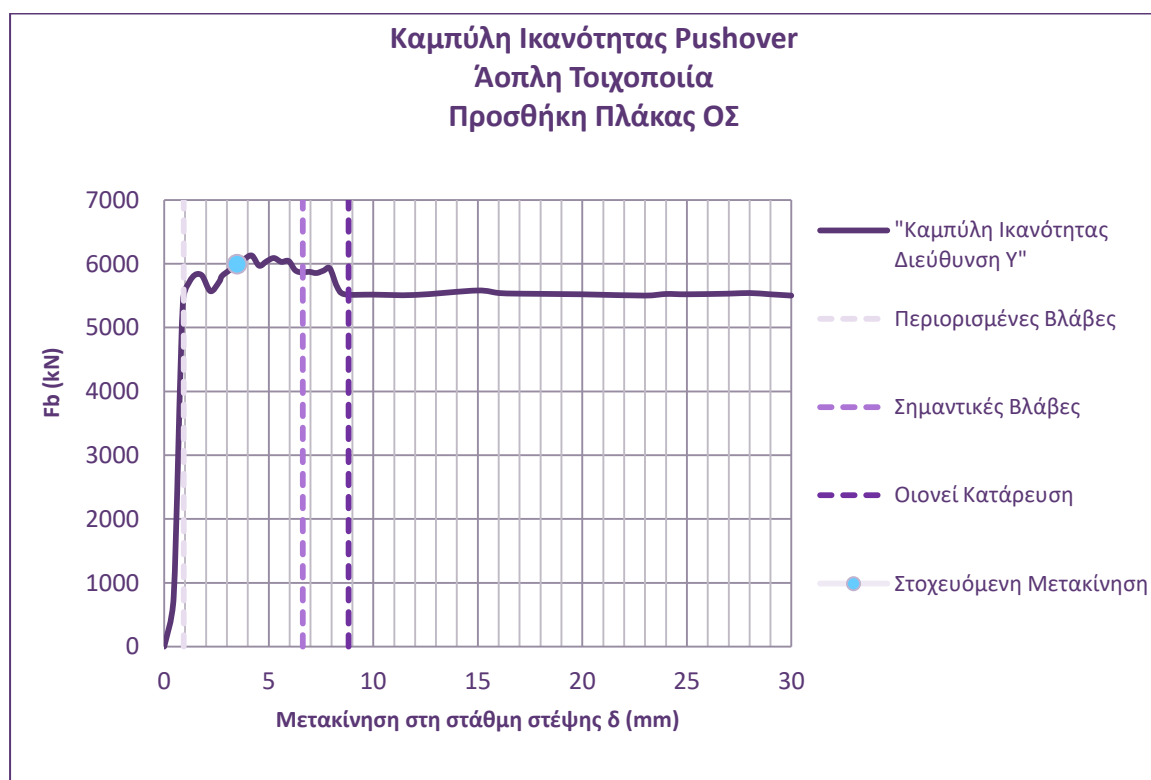
$C_1 = 1,65$

$W = 7336,353 \text{ kN}$

$R = 1,17$

$T_e = 0,11 \text{ sec}$

$\delta_t = 3,49 \text{ mm}$

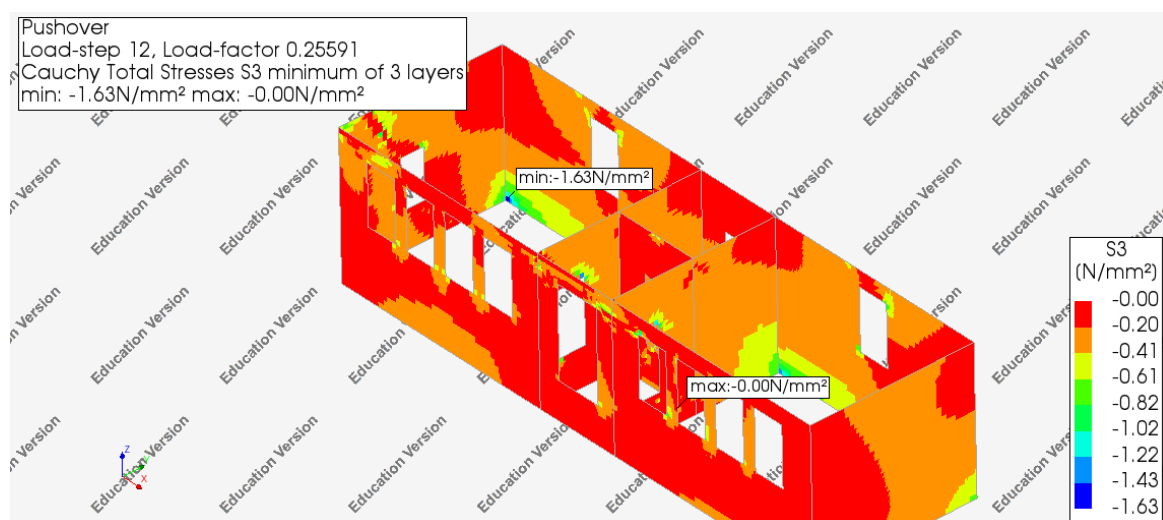


Εικόνα 143: Καμπύλη Ικανότητας υφισταμένου με προσθήκη πλάκας ΟΣ διεύθυνση Υ

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση Y, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

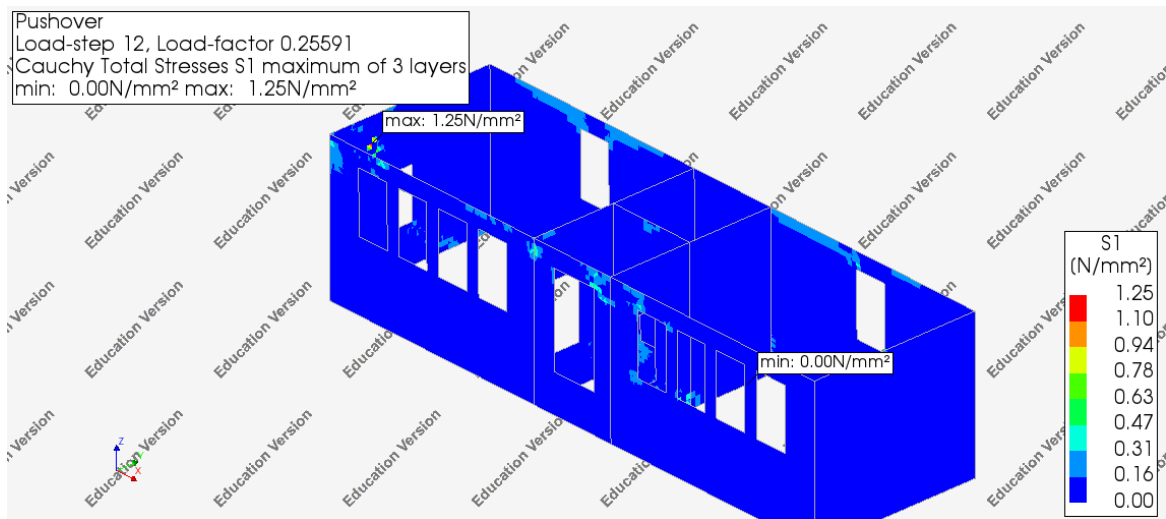
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολούθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

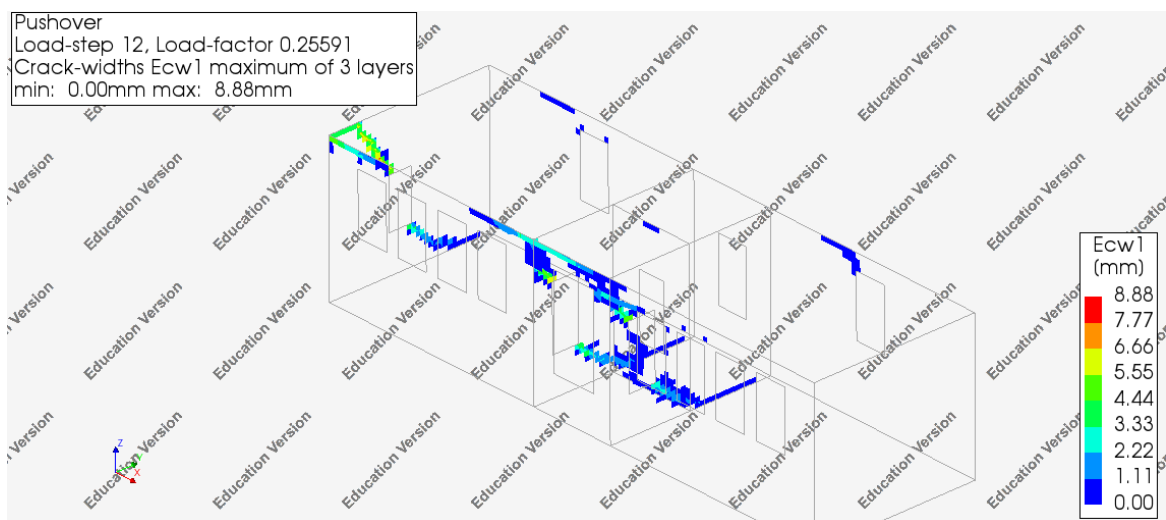


Εικόνα 144: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση Y [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.

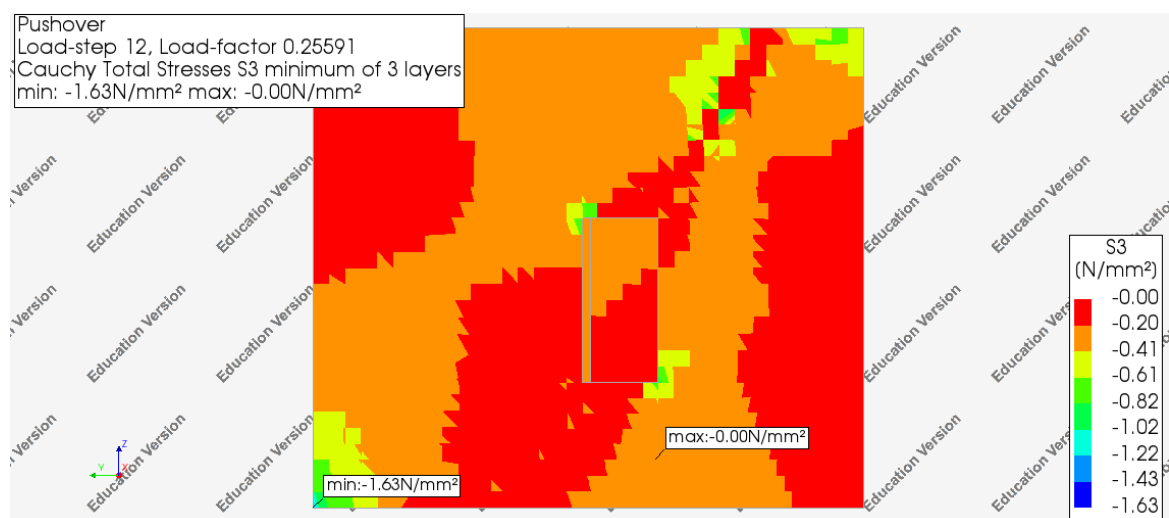


Εικόνα 145: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση Y [17]



Εικόνα 146: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση Y [17]

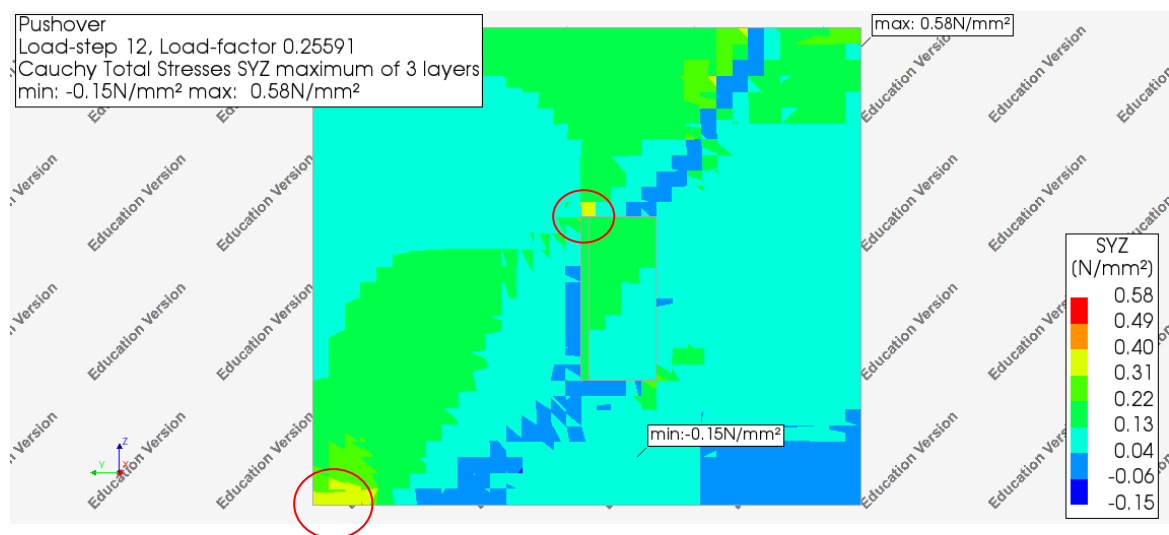
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και πραγματοποιείται ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 147: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο YZ [17]

Για την υπό εξέταση όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,30$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,30 = 0,32 \text{ MPa}$$



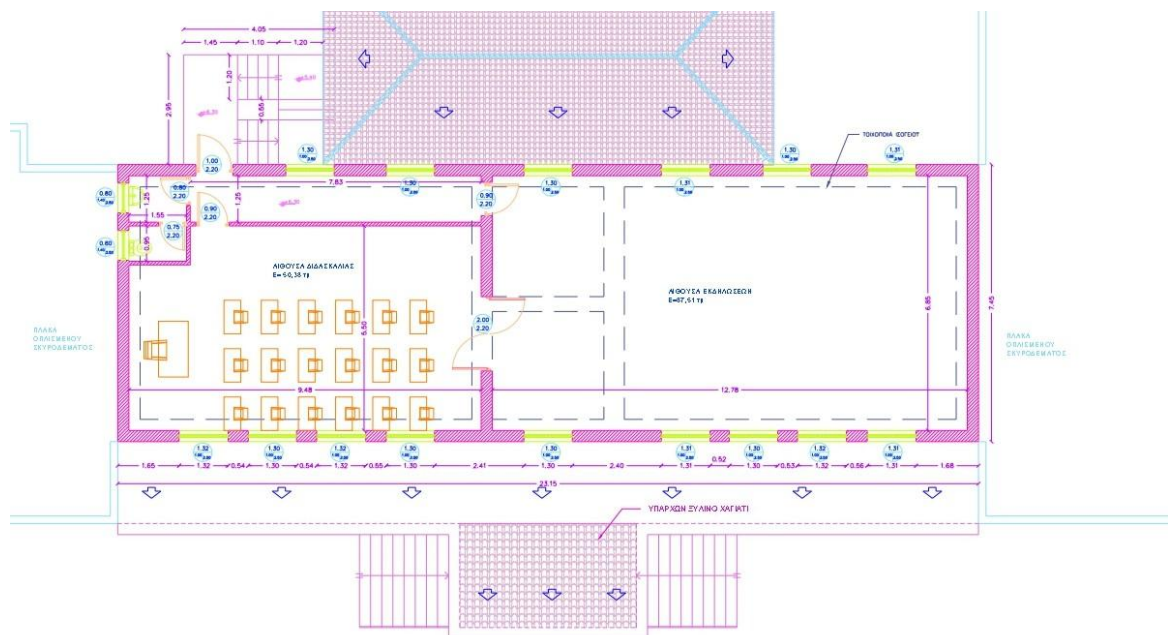
Εικόνα 148: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο YZ [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες.

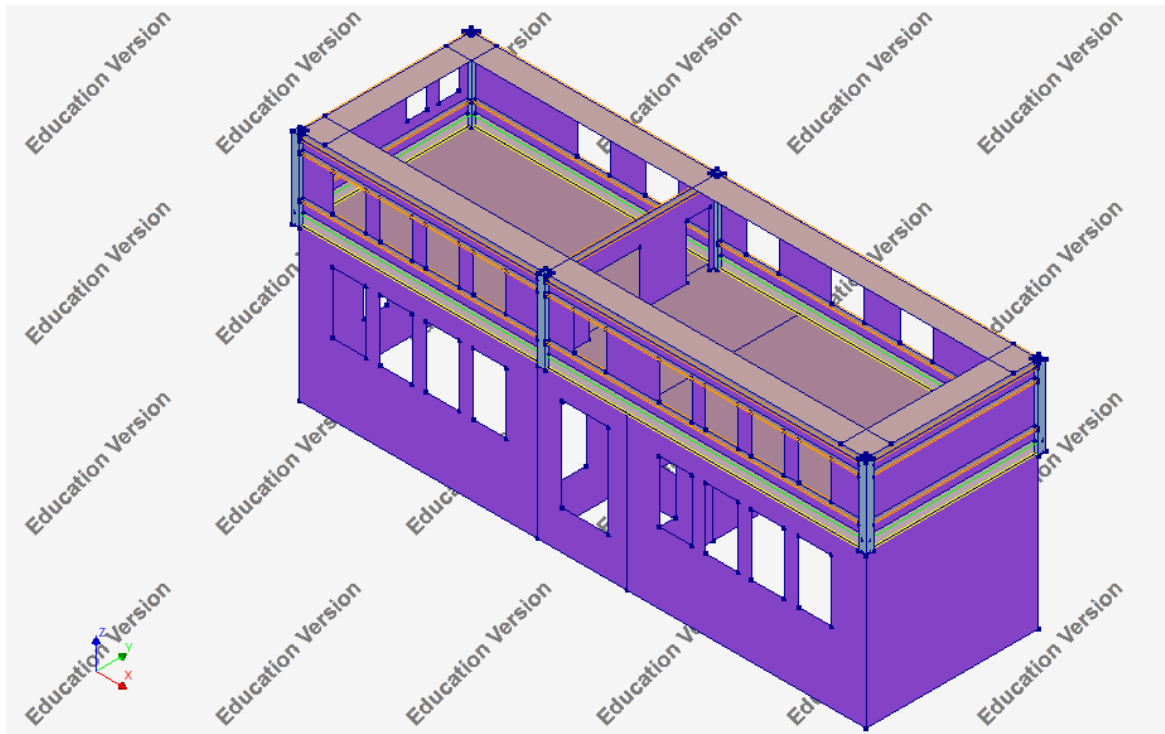
8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΟΡΟΦΟΥ

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνάται κατά πόσο είναι εφικτή η προσθήκη ορόφου στο πέτρινο τμήμα του υφισταμένου κτιρίου για λειτουργικούς σκοπούς. Όπως προαναφέρθηκε θα κατασκευαστεί πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 0,20 m και ποιότητας C20/25 επί της υφιστάμενης στέψης του κτιρίου, ενώ ο φέρον οργανισμός της προσθήκης θα είναι διαζωματική τοιχοποιία από YTONG και κατηγορία υλικών για το σκυρόδεμα C20/25 και για το χάλυβα B500c όσον αφορά τα σενάζ. Στην οροφή θα κατασκευαστεί ξύλινη τετράριχτη στέγη ως επικάλυψη μέγιστου ύψους 1,50 m, ενώ το ύψος της προσθήκης θα είναι 3,20 m. Ακολουθεί μία προτεινόμενη αρχιτεκτονική λύση καθώς και ο τρόπος που προσομοιώθηκε χωρικά με επιφανειακά στοιχεία διαστάσεων 0,20-0,20 m.

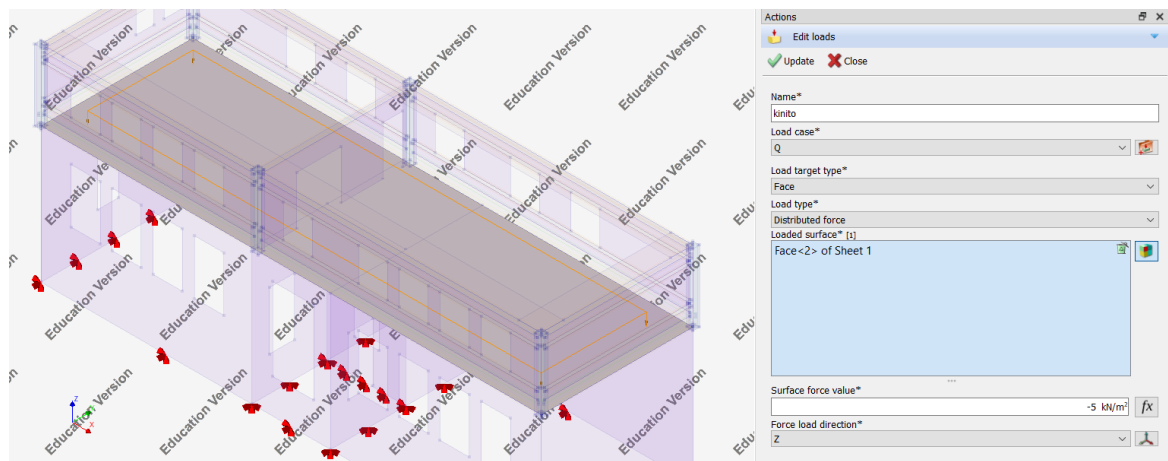


Εικόνα 149: Αρχιτεκτονική λύση προσθήκης ορόφου [16]



Εικόνα 150: Χωρικό προσομοίωμα προσθήκης [17]

Αναφορικά με τα φορτία και τους συνδυασμούς φορτίσεων επιπλέον των όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως, προστίθεται επιπλέον κινητό φορτίο της τάξης των $5,0 \text{ kN/m}^2$ στην πλάκα δαπέδου της προσθήκης το οποίο αντιστοιχεί στη συνάθροιση κοινού.

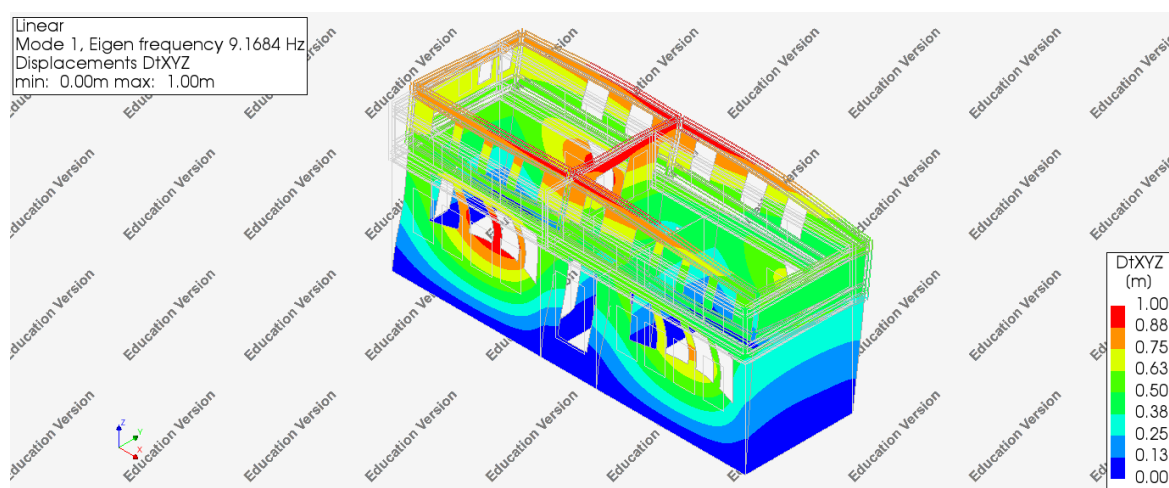


Εικόνα 151: Κινητό φορτίο πλάκας δαπέδου προσθήκης [17]

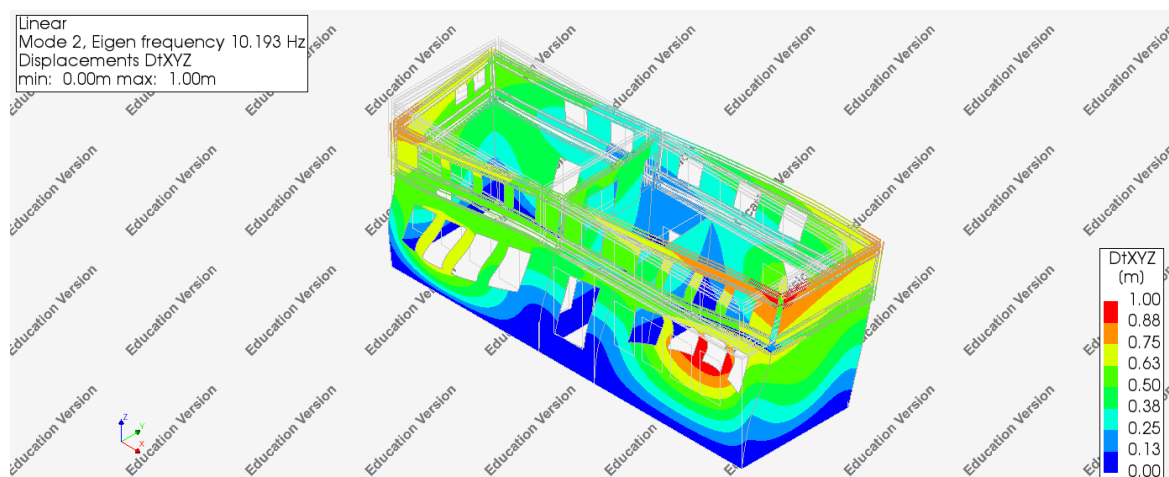
8.2 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης κατά την οποία παρατηρείται ενιαία μετακίνηση της προσθήκης επηρεασμένη από την απόκριση του υφισταμένου δομήματος, με την πρώτη ιδιομορφή να δεσπόζει στη διεύθυνση Y και ιδιοπερίοδο $T = 0,109 \text{ sec}$.

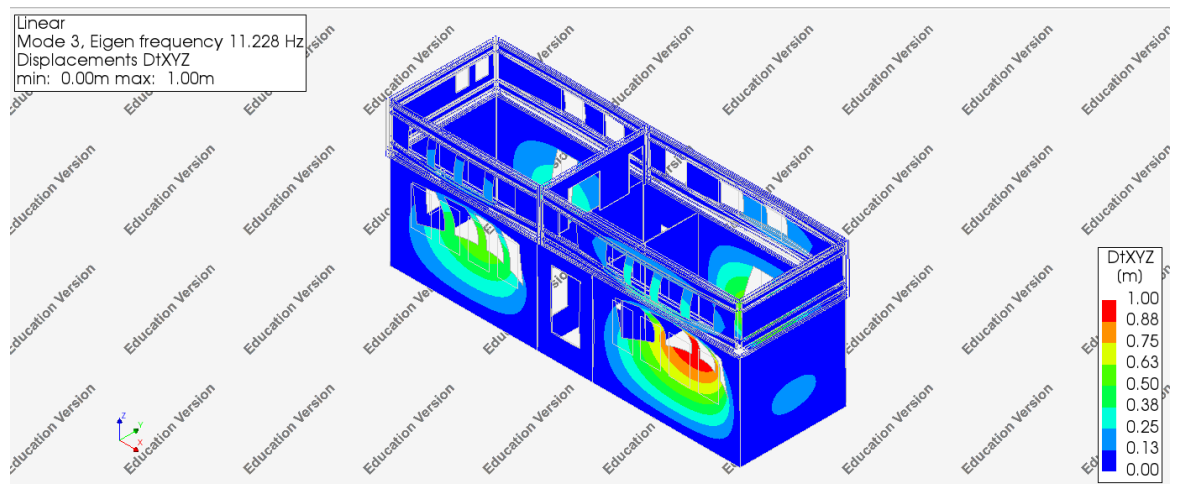
Επιπλέον για να ενεργοποιηθεί το 75% της συνολικής μάζας του κτιρίου απαιτούνται οι 64 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση X και οι 12 πρώτες ιδιομορφές στη διεύθυνση Y.



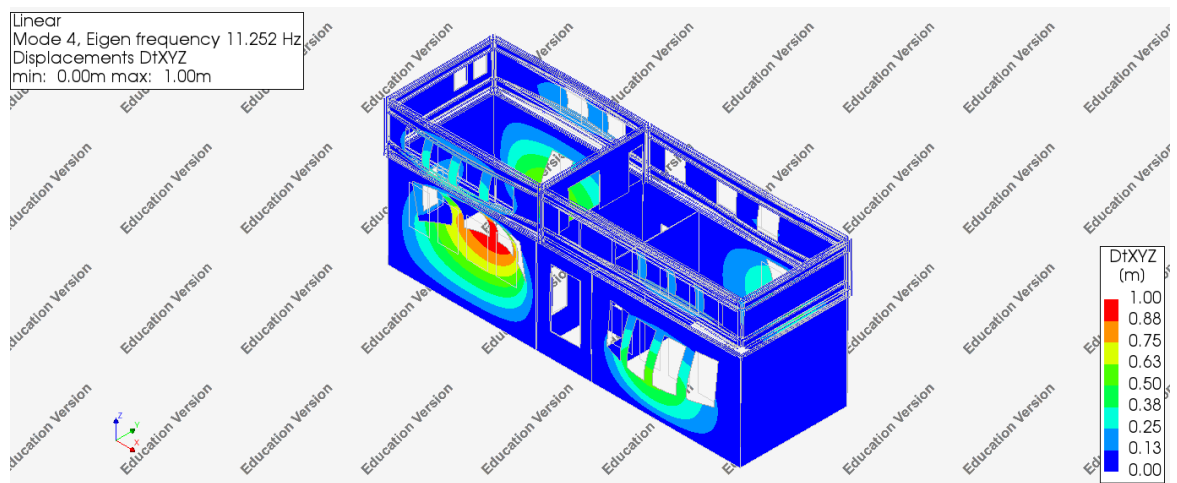
Εικόνα 152: 1η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου [17]



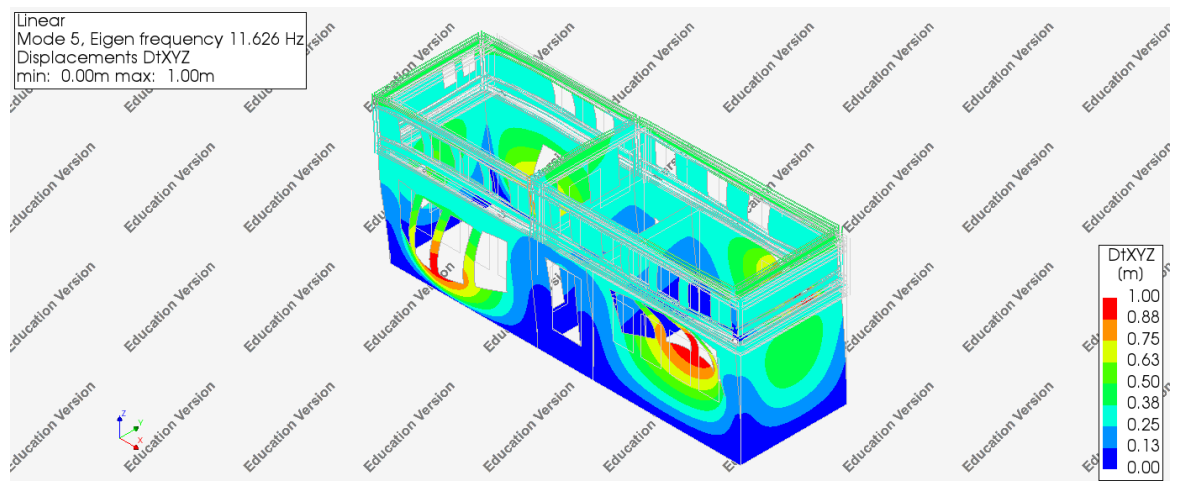
Εικόνα 153: 2η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου [17]



Εικόνα 154: 3η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου [17]



Εικόνα 155: 4η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου [17]

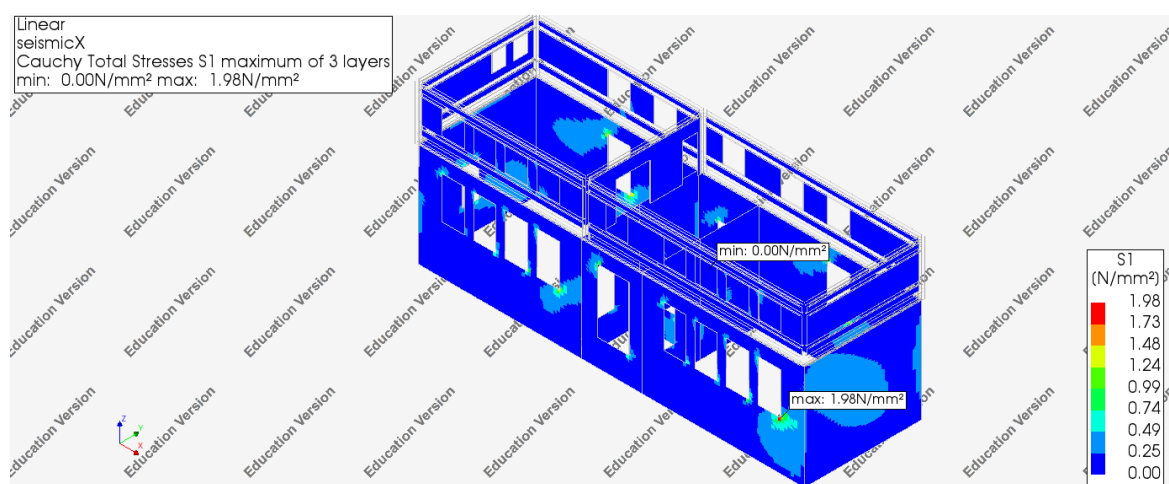


Εικόνα 156: 5η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου [17]

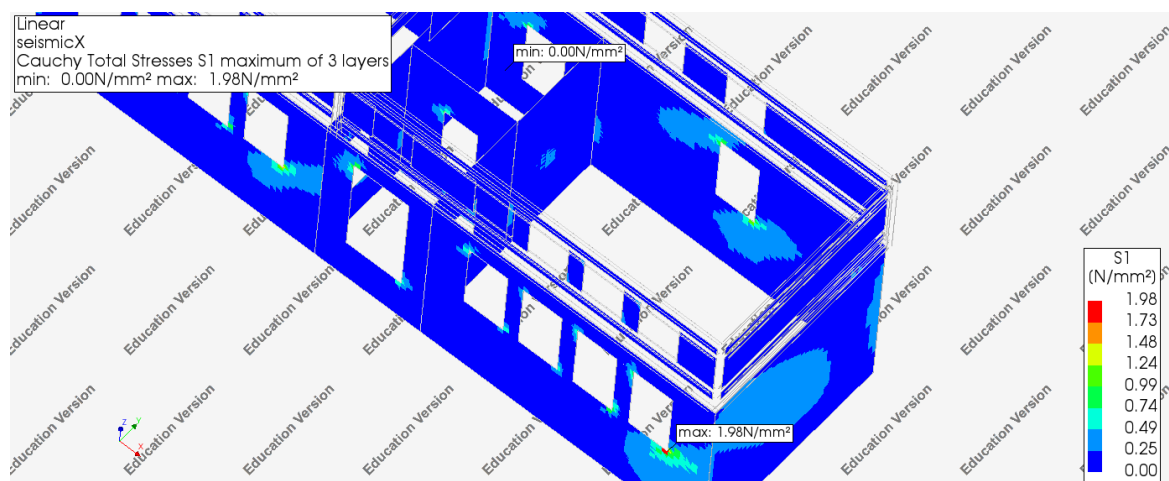
8.3 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στην τοιχοποιία όταν η κατασκευή υποβάλλεται σε σεισμική επιτάχυνση που αντιστοιχεί σε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας 2.

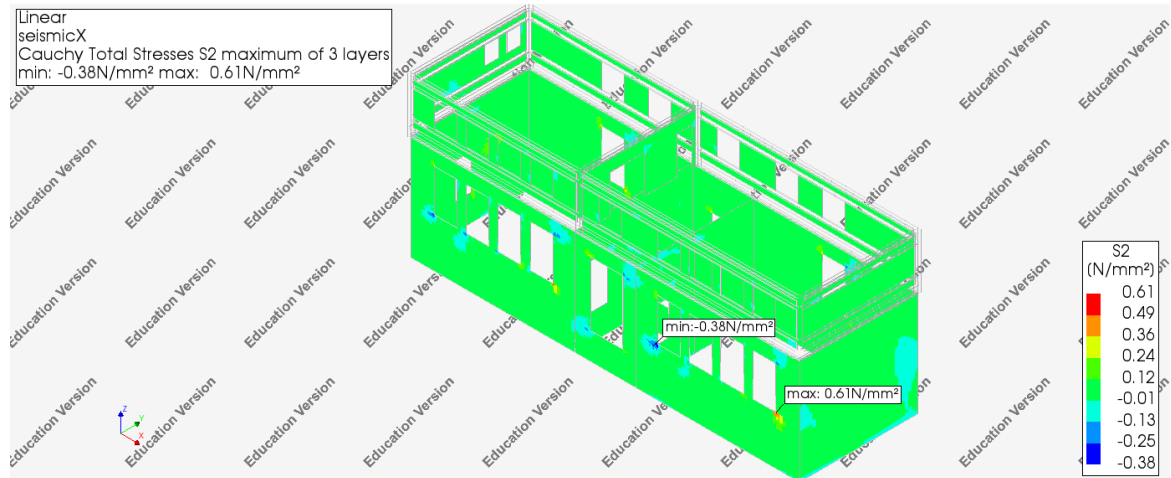
seismicX : $EX + 0,3EY + G + G' + 0,3Q$



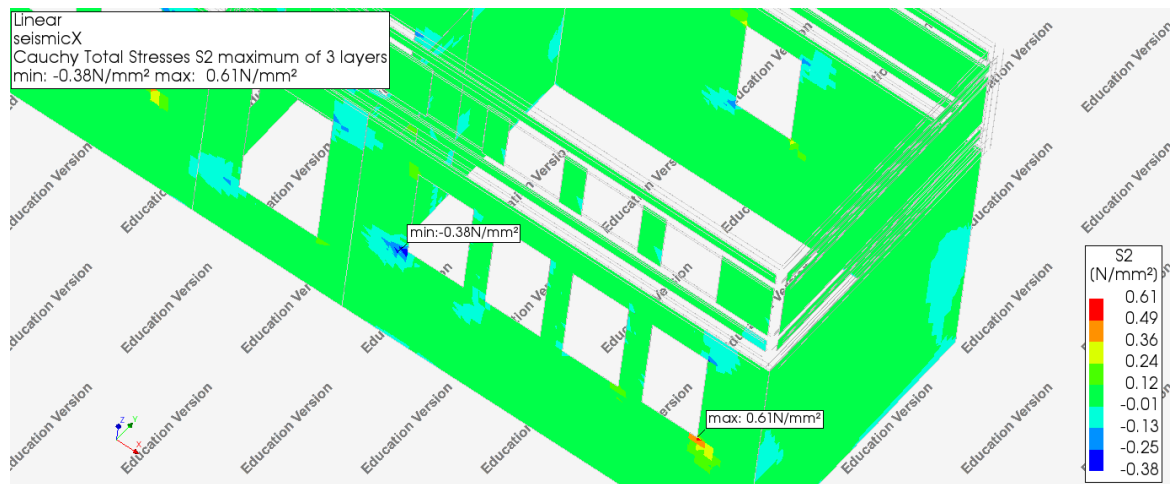
Εικόνα 157: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicX [17]



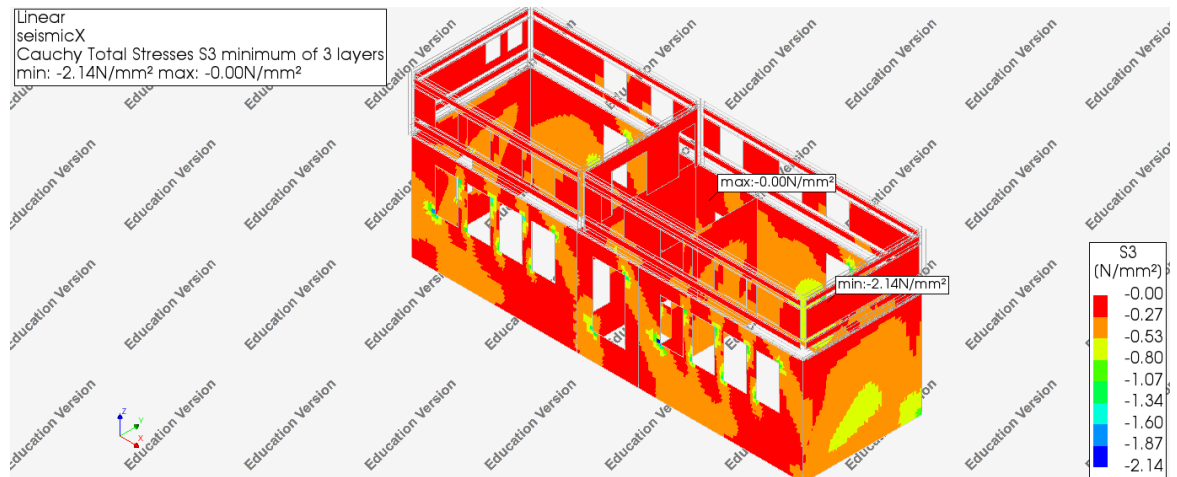
Εικόνα 158: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση) [17]



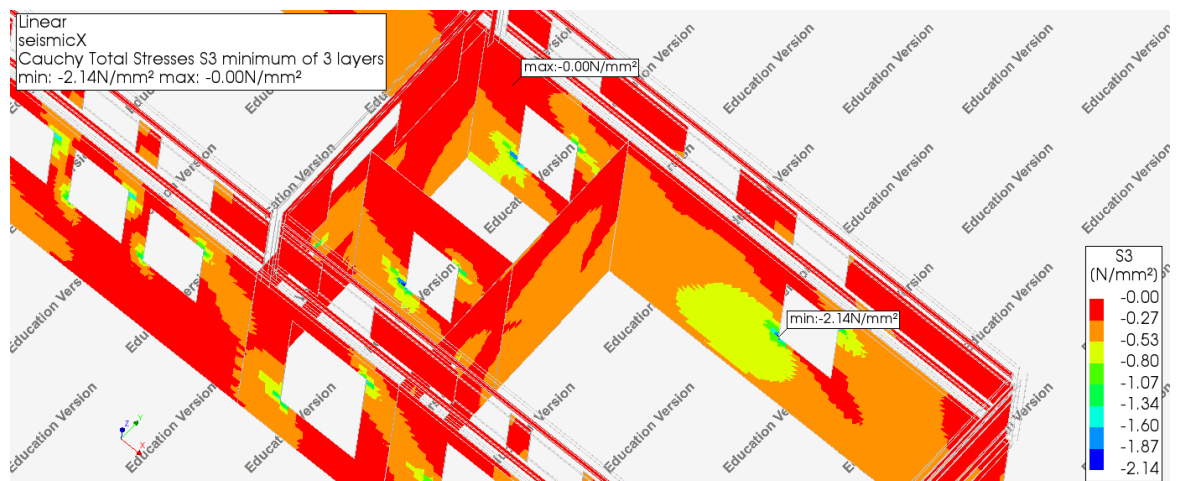
Εικόνα 159: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicX [17]



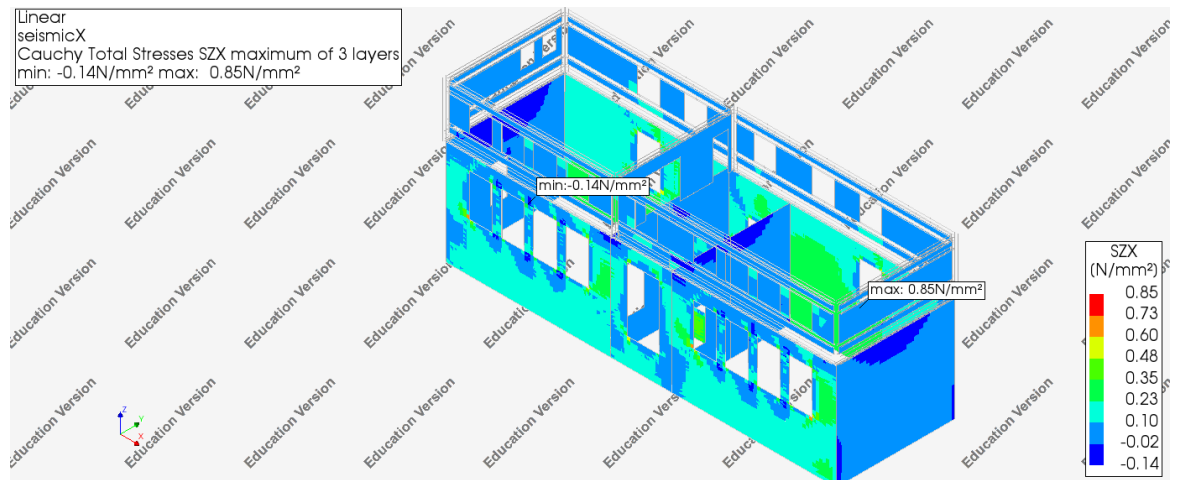
Εικόνα 160: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση) [17]



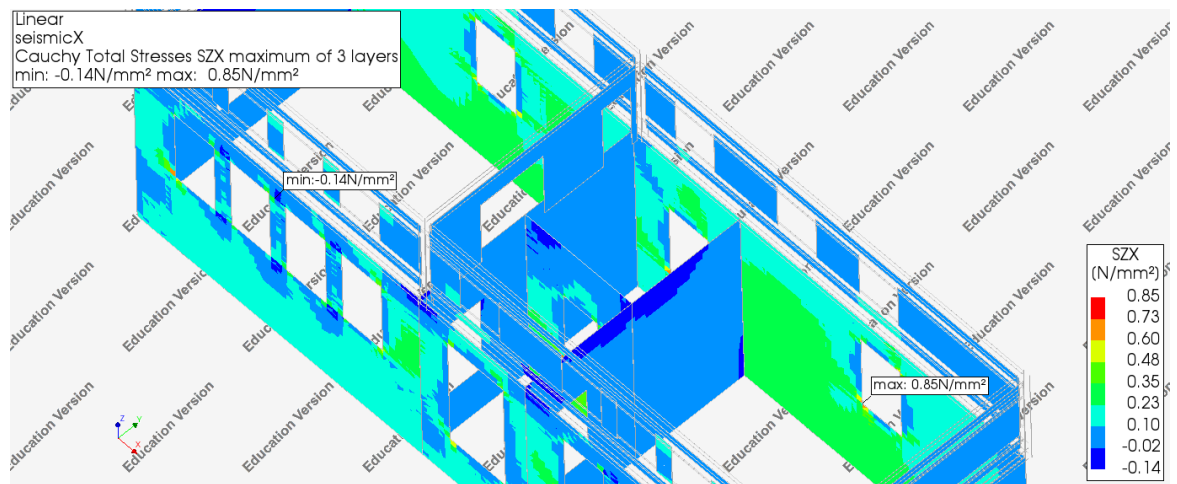
Εικόνα 161: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicX [17]



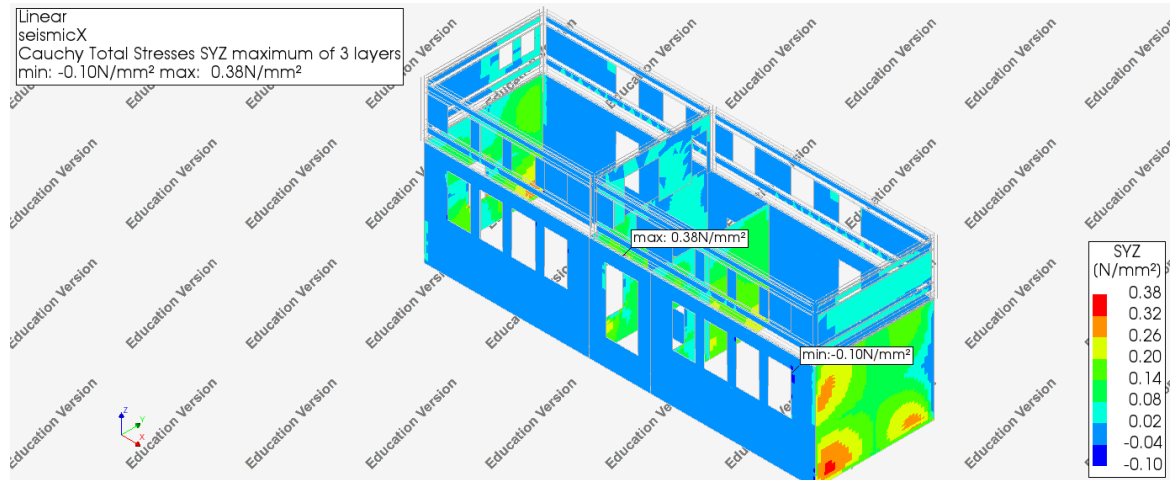
Εικόνα 162: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση) [17]



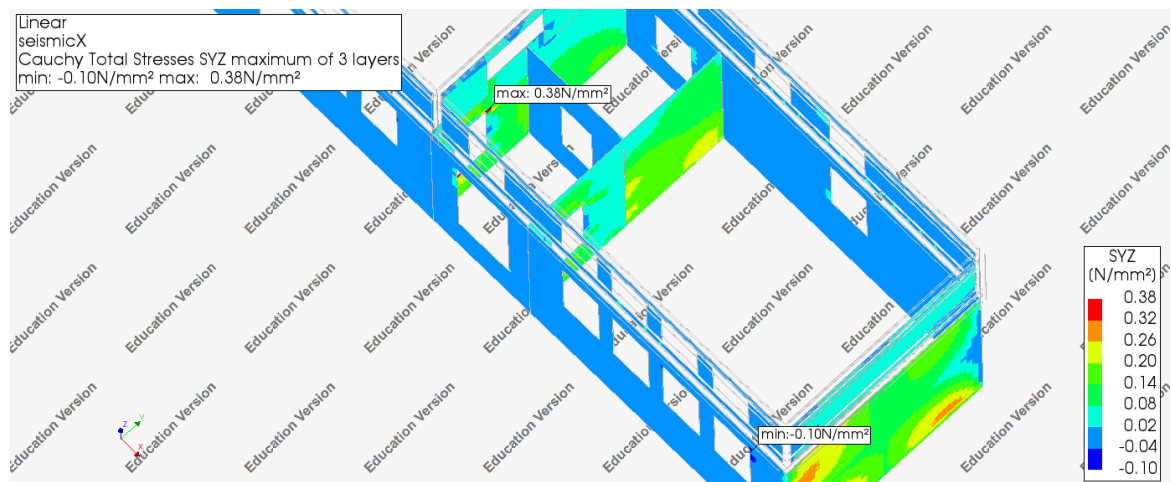
Εικόνα 163: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicX [17]



Εικόνα 164: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση) [17]

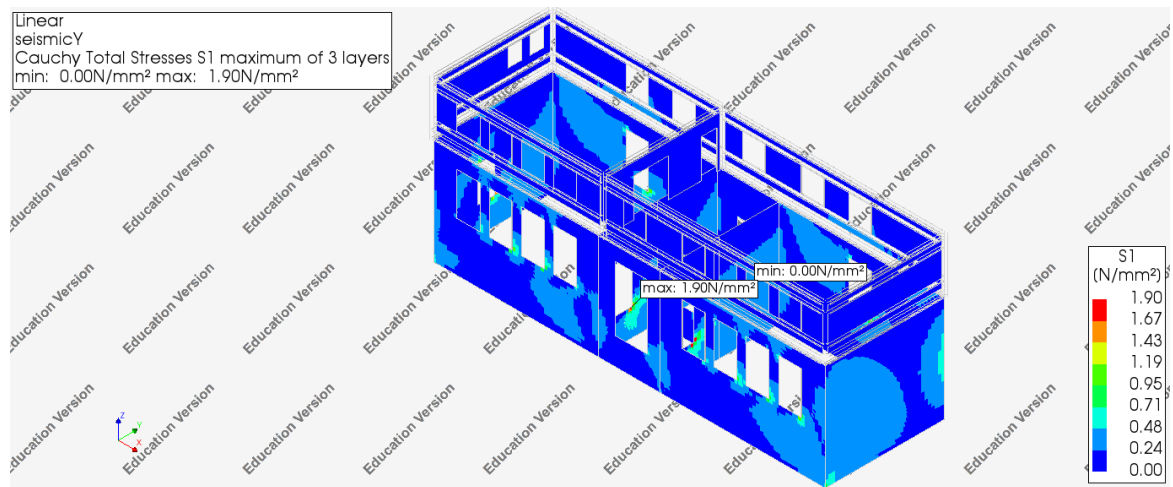


Εικόνα 165: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicX [17]

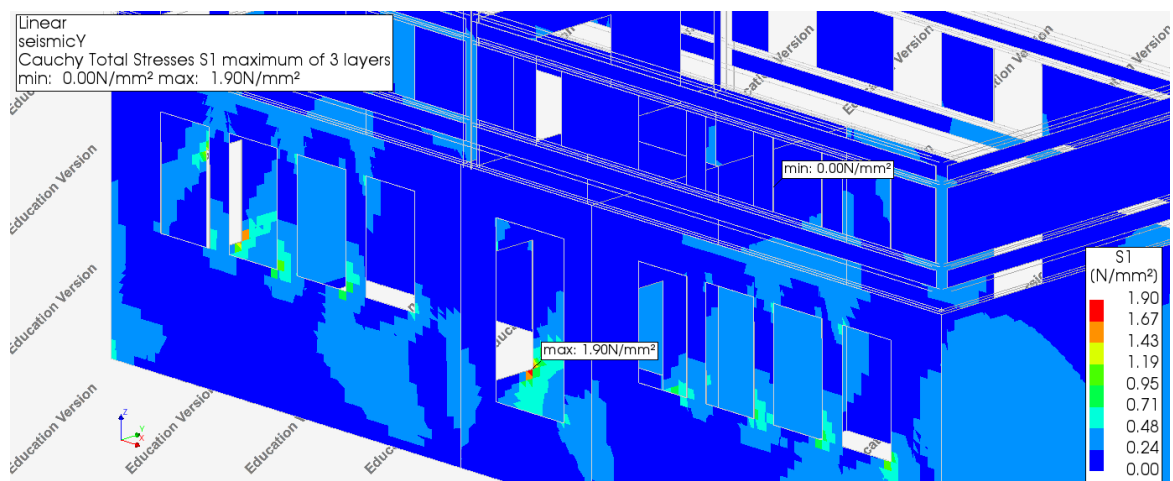


Εικόνα 166: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση) [17]

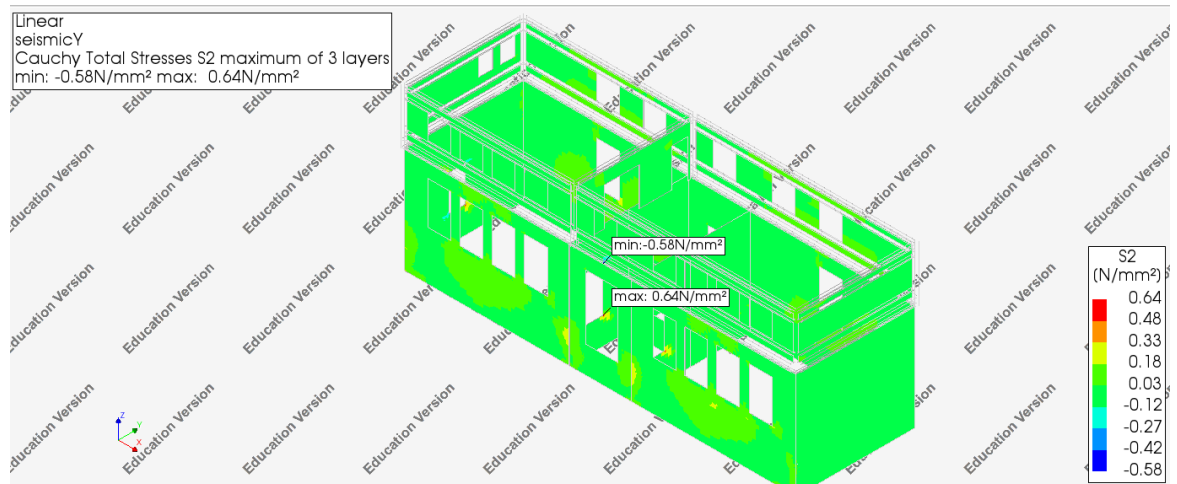
seismicY : 0,3EX+ EY+ G+ G' + 0,3Q



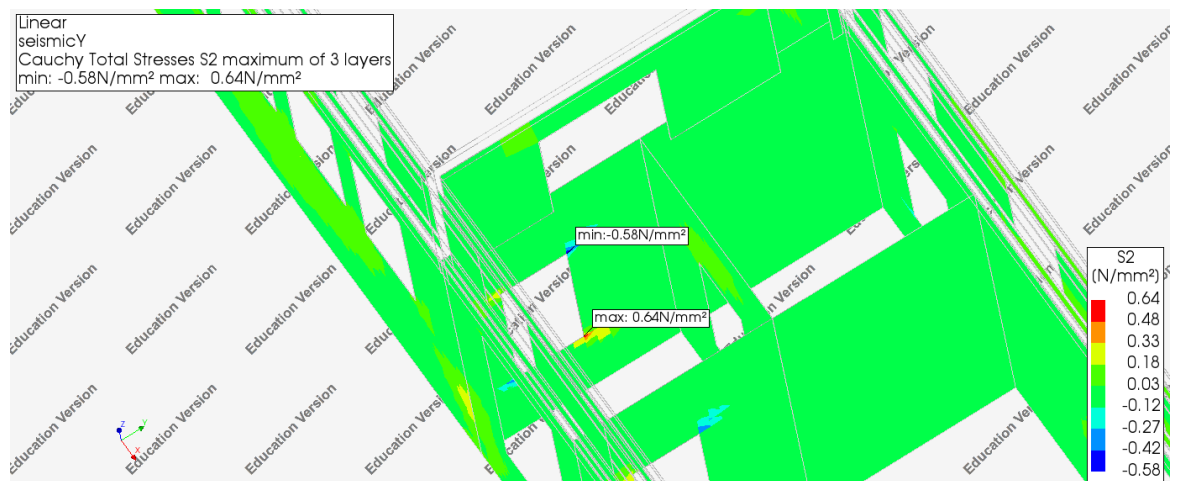
Εικόνα 167: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicY [17]



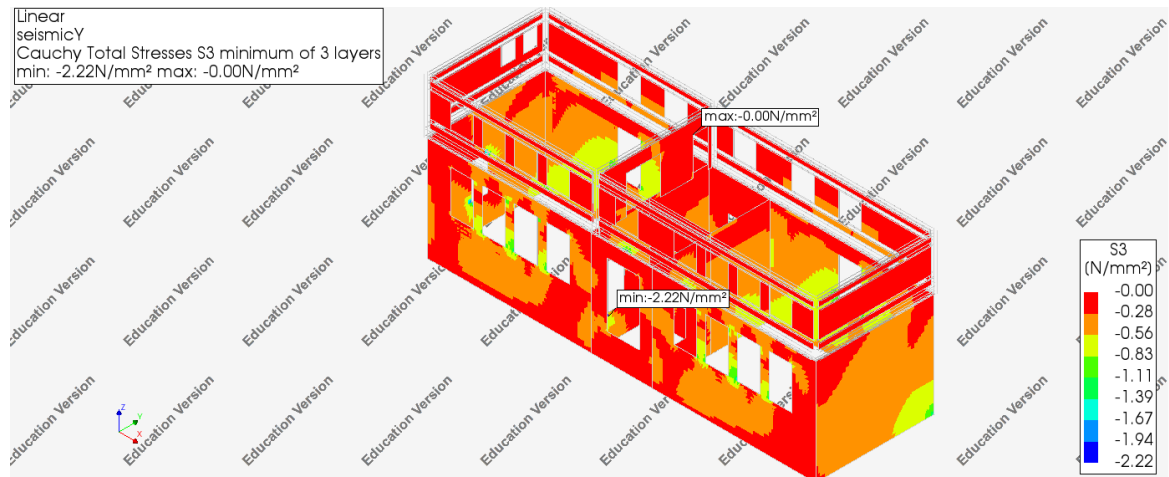
Εικόνα 168: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση) [17]



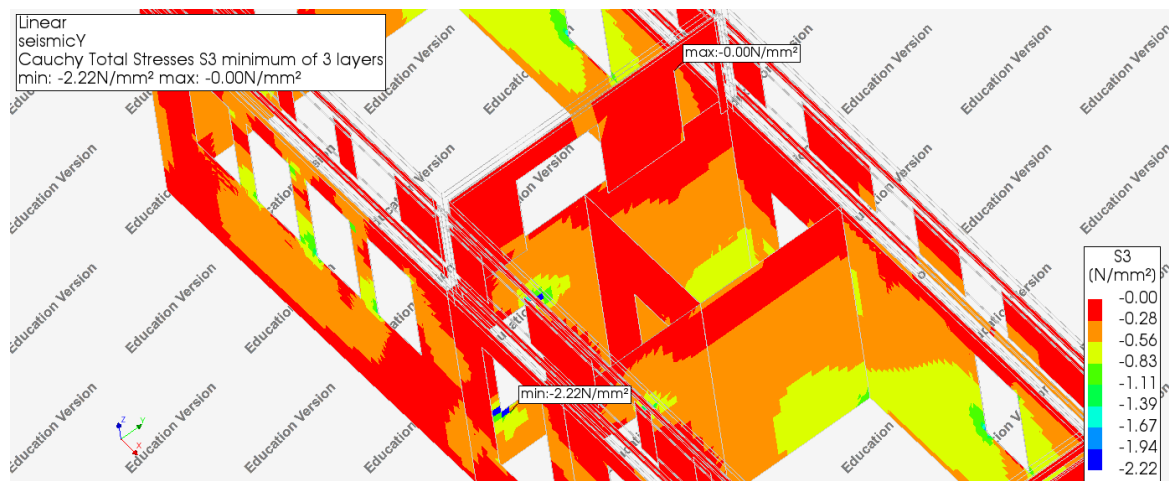
Εικόνα 169: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicY [17]



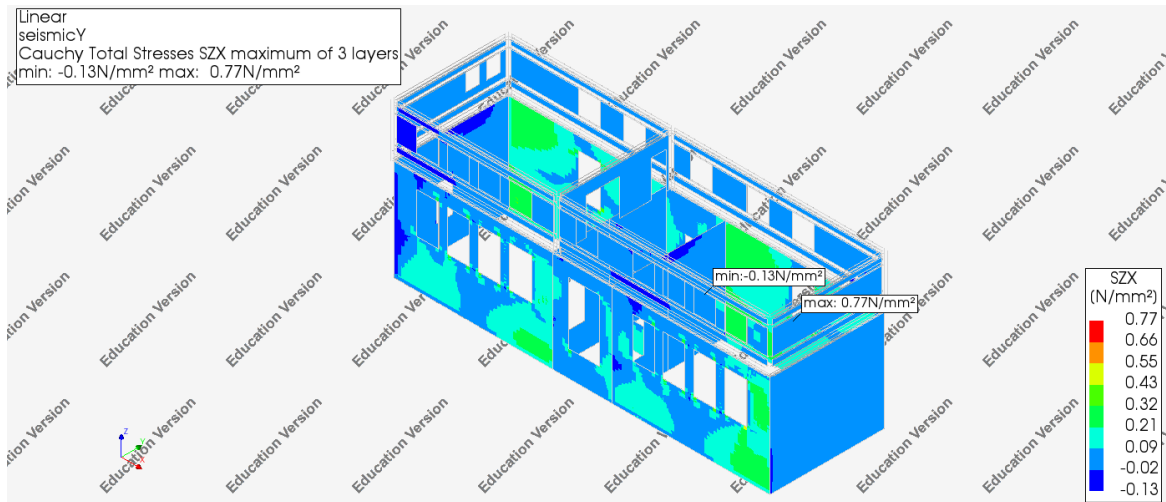
Εικόνα 170: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση) [17]



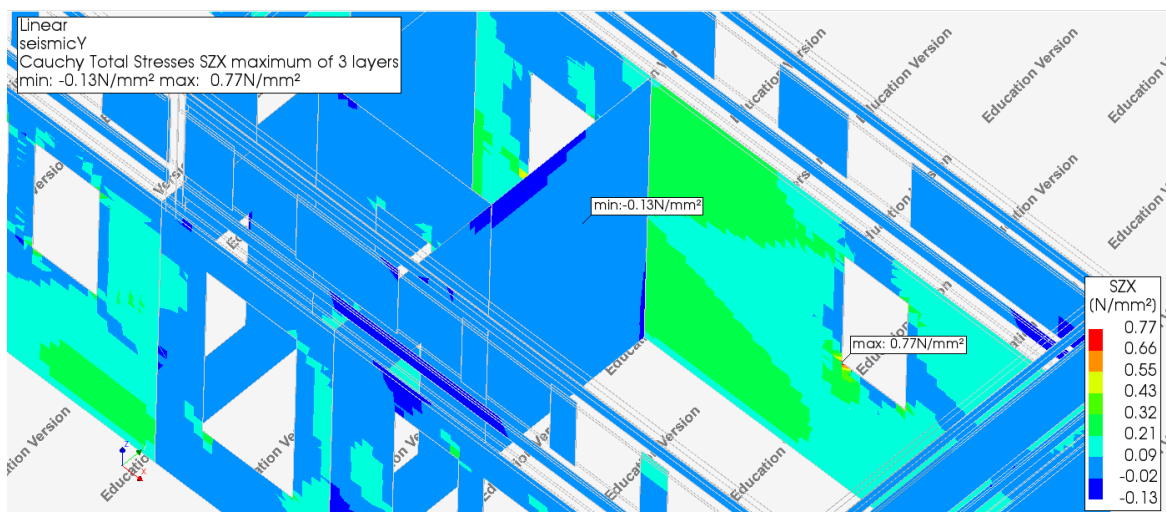
Εικόνα 171: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicY [17]



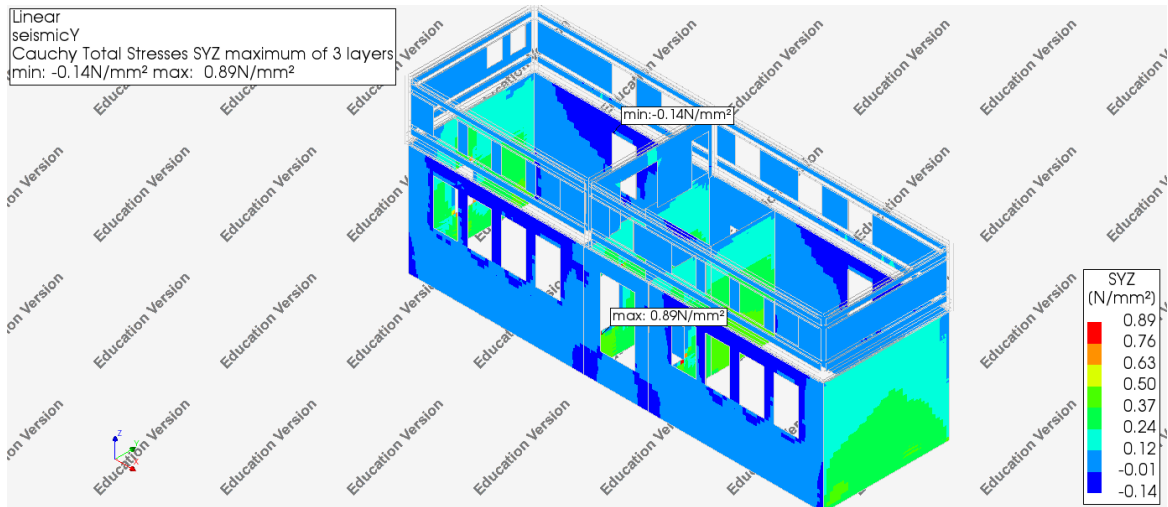
Εικόνα 172: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση) [17]



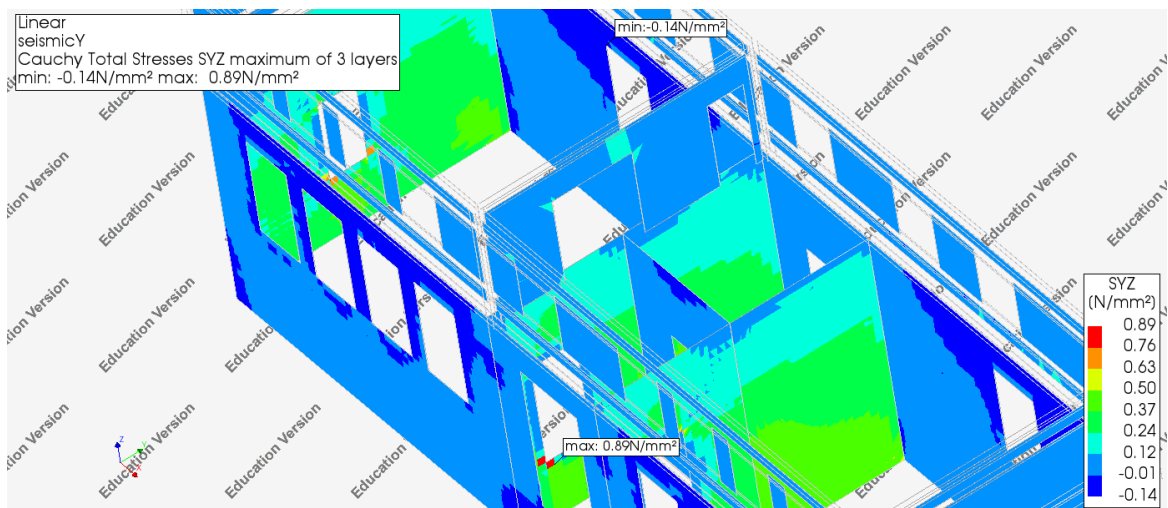
Εικόνα 173: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicY [17]



Εικόνα 174: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση) [17]



Εικόνα 175: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicY [17]



Εικόνα 176: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση) [17]

Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται οι κύριες και διατμητικές τάσεις που δημιουργούνται στην τοιχοποιία του υφισταμένου και της προσθήκης υπό τους σεισμικούς συνδυασμούς.

Η μέγιστη θλιπτική τάση 2,22 MPa από τον συνδυασμό seismicY όπου δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής.

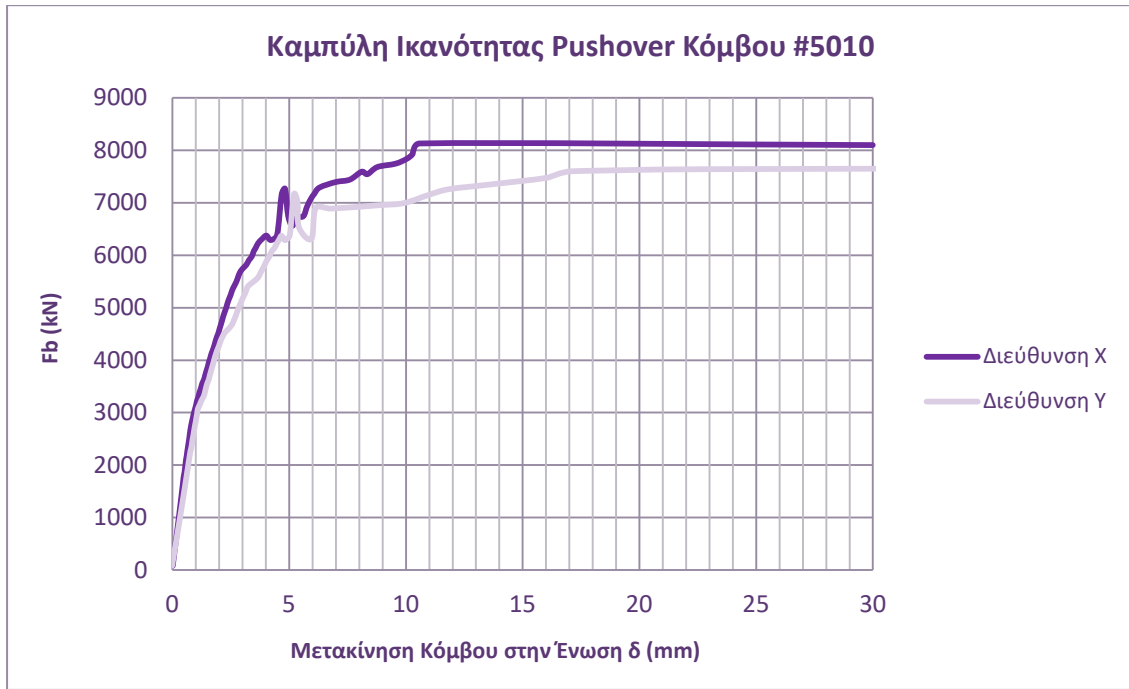
Και στους δύο σεισμικούς συνδυασμούς παρατηρείται τοπική υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσης που αντιστοιχεί στην τιμή 0,30 MPa.

8.4 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

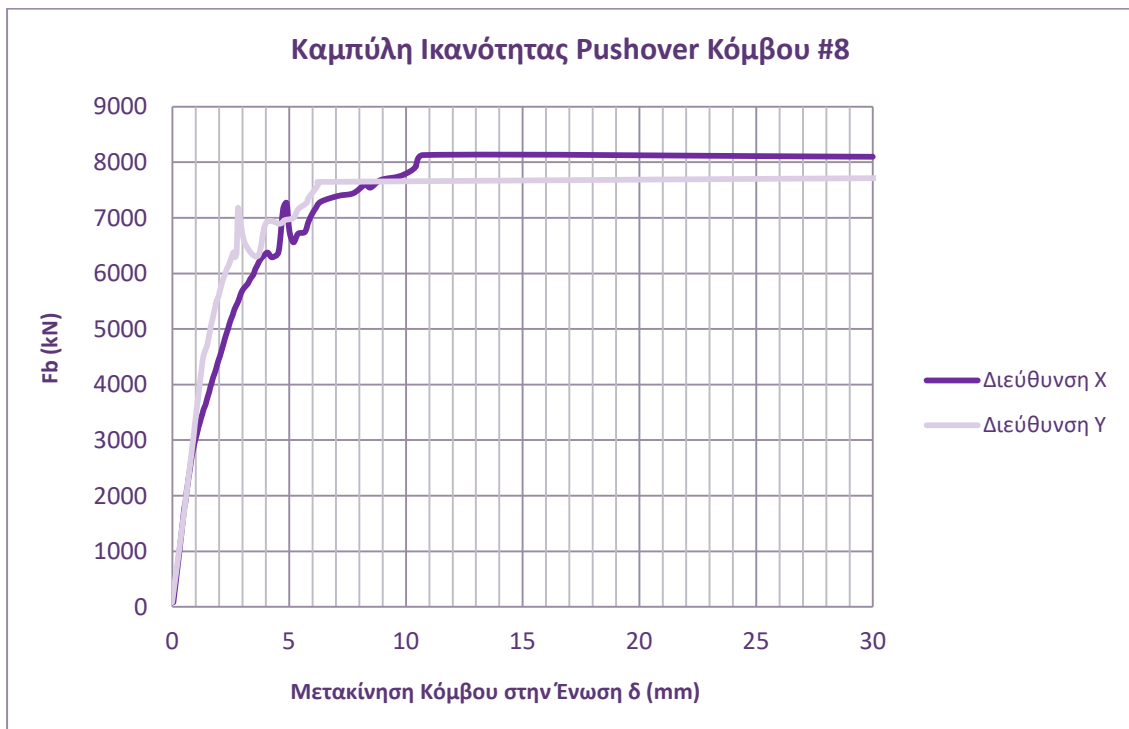
Αντίστοιχα με το προσομοίωμα του υφισταμένου κτιρίου και το προσομοίωμα του υφισταμένου κτιρίου ενισχυμένο με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μη γραμμικής ανάλυσης για το προσομοίωμα με την προσθήκη ορόφου ελέγχοντας τους κόμβους των γωνιών στη στάθμη στέψης της κατασκευής αλλά και τους κόμβους των γωνιών στη στάθμη ένωσης του υφισταμένου και της προσθήκης.



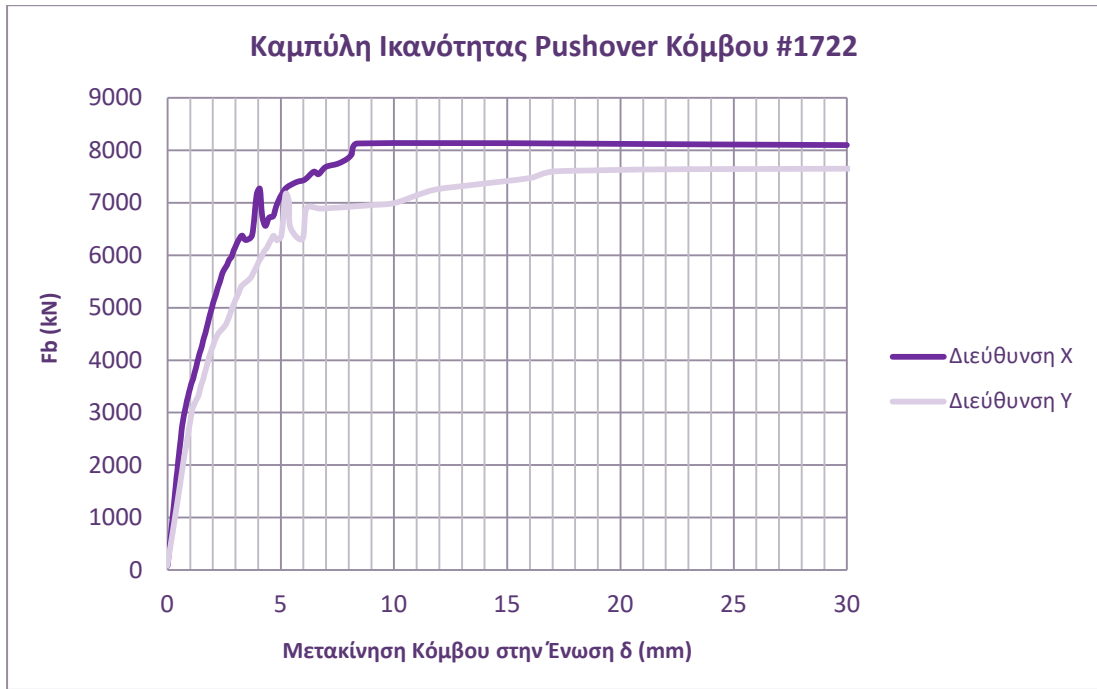
Εικόνα 177: Κόμβοι ελέγχων Μη Γραμμικής Ανάλυσης για την προσθήκη ορόφου [17]



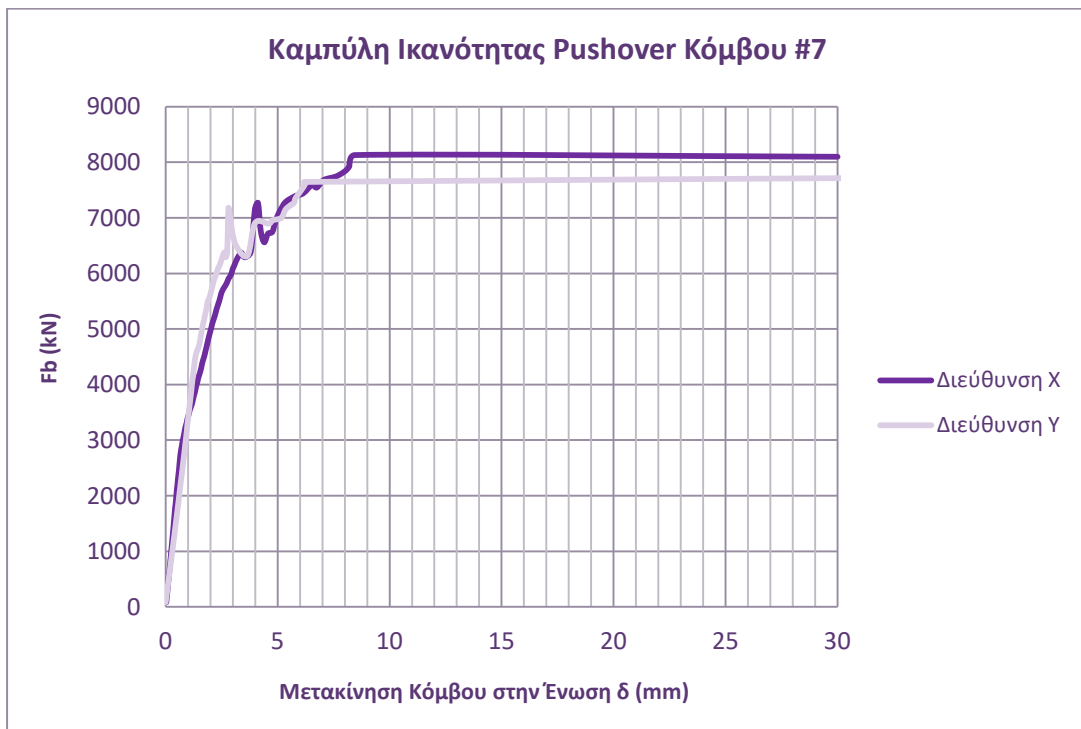
Εικόνα 178: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #5010



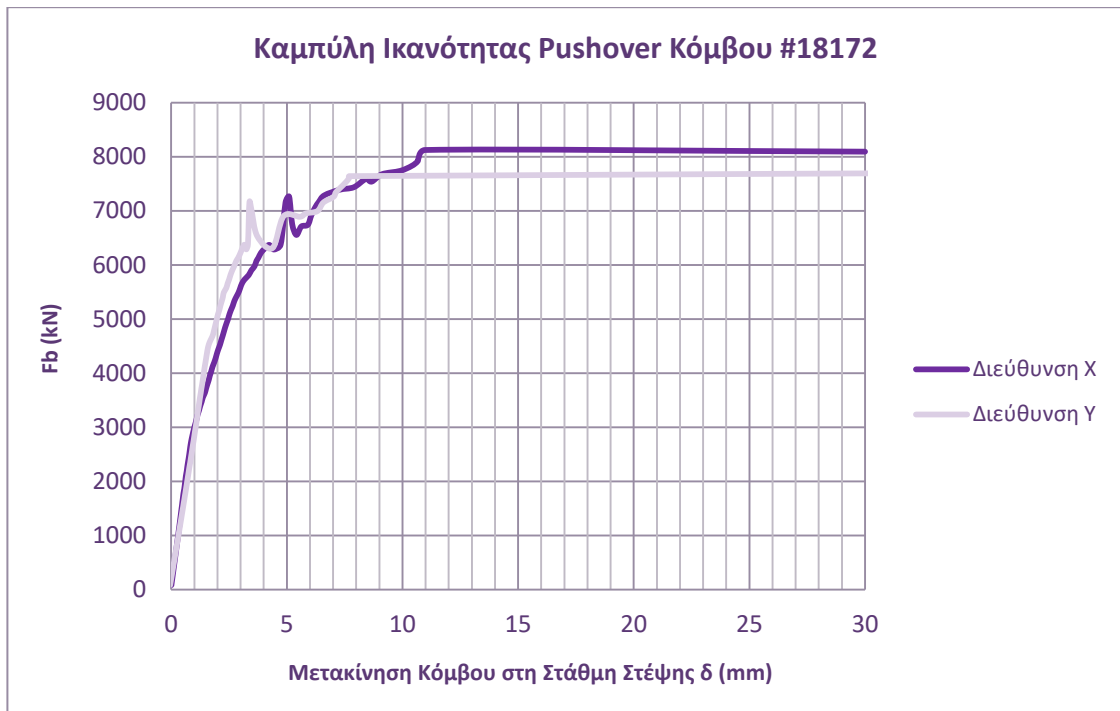
Εικόνα 179: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #8



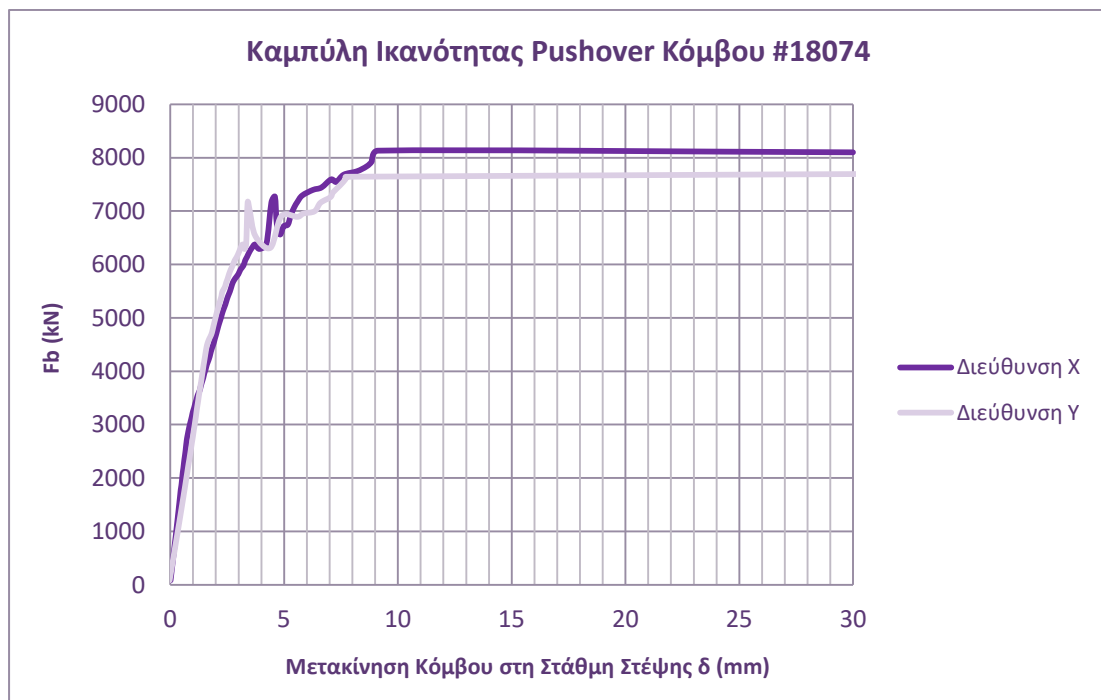
Εικόνα 180: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #1722



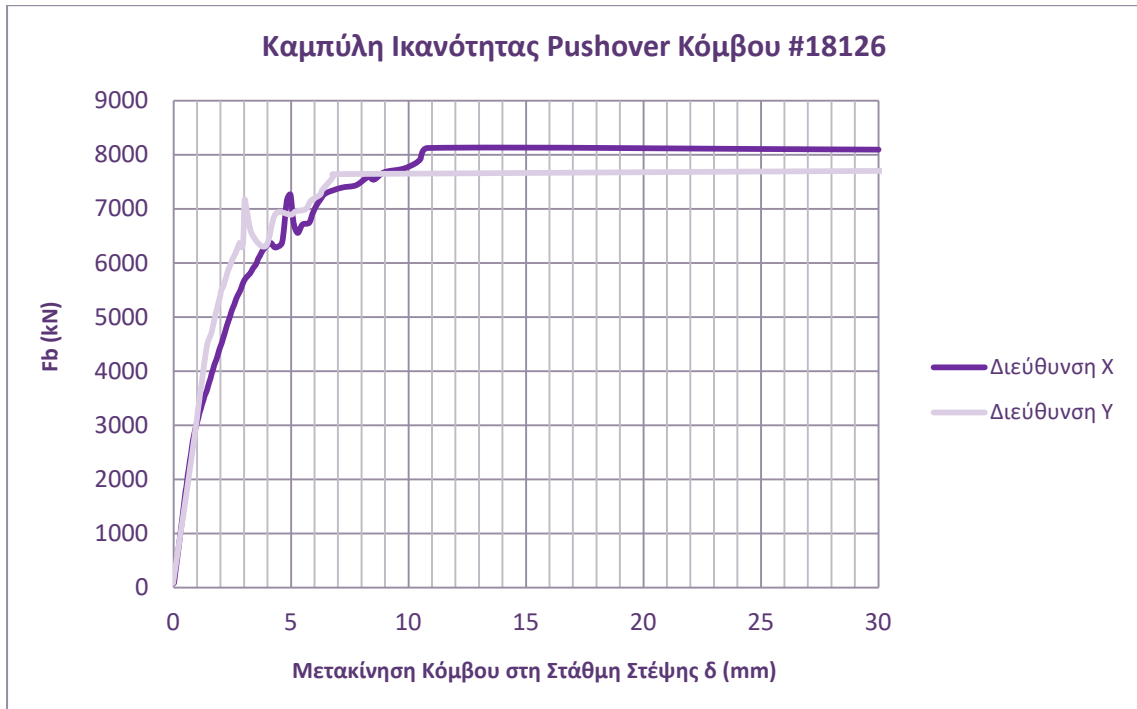
Εικόνα 181: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #7



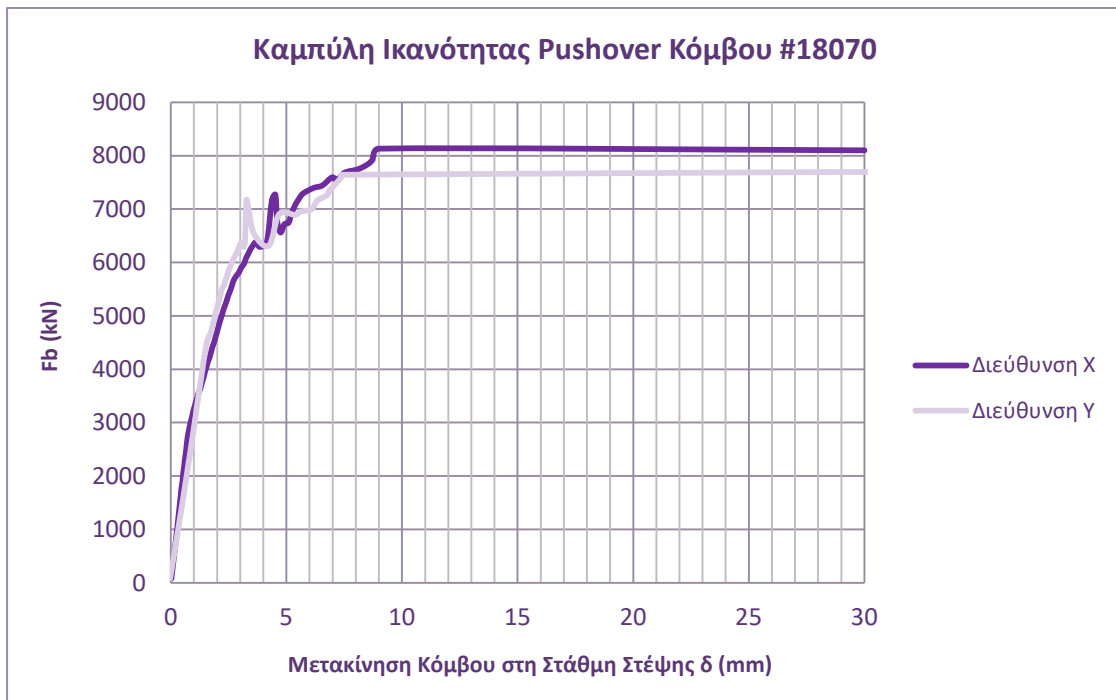
Εικόνα 182: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18172



Εικόνα 183: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18074



Εικόνα 184: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18126



Εικόνα 185: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18070

Με βάση τα αποτελέσματα από τη μη γραμμική ανάλυση, η κατασκευή παρουσιάζει σχεδόν ίδια αντοχή και στις δύο διευθύνσεις με ελαφρώς μεγαλύτερη κατά τη διεύθυνση Χ.

Προσθήκη Ορόφου

Μέσω της διγραμμικοποιημένης καμπύλης υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης. Σχετικά με την ελαστική επιτάχυνση επιλέχθηκε αυτή που αντιστοιχεί στο οριζόντιο κλάδο του ελαστικού φάσματος του Ευρωκώδικα 8 λαμβάνοντας έτσι υπόψη τη δυσμενέστερη περίπτωση ($S_e=6,9 \text{ m/s}^2$).

Διεύθυνση Χ

$C_0 = 1$, καθώς το πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2=C_3=1$

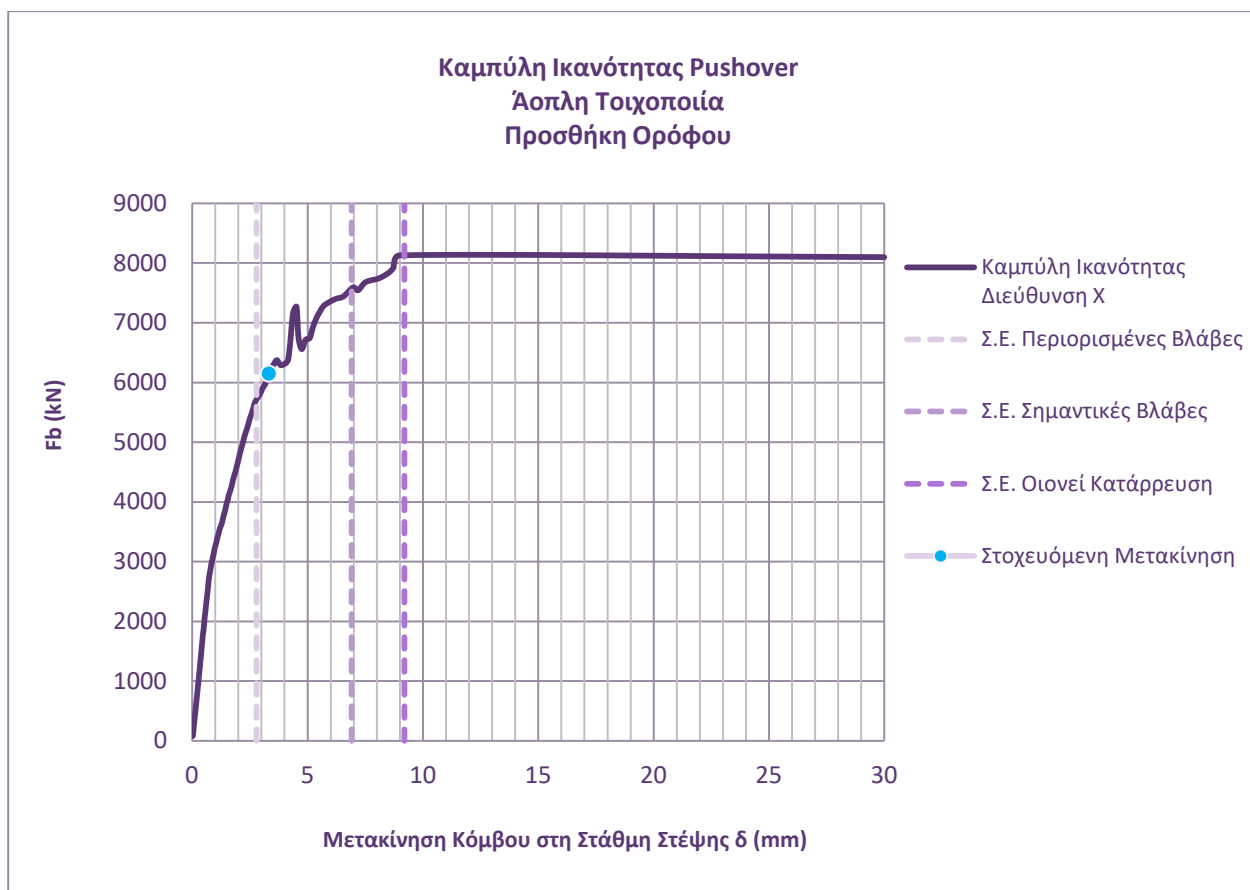
$C_1 = 1,00$, ($C_1 = \max\{[1,00 + (1 - R) \cdot \frac{T_c}{T_e}], 1,00\}$)

$W = 8332,39 \text{ kN}$

$R = 0,682$

$T_e = 0,117 \text{ sec}$

$\delta_t = 1,595 \text{ mm}$

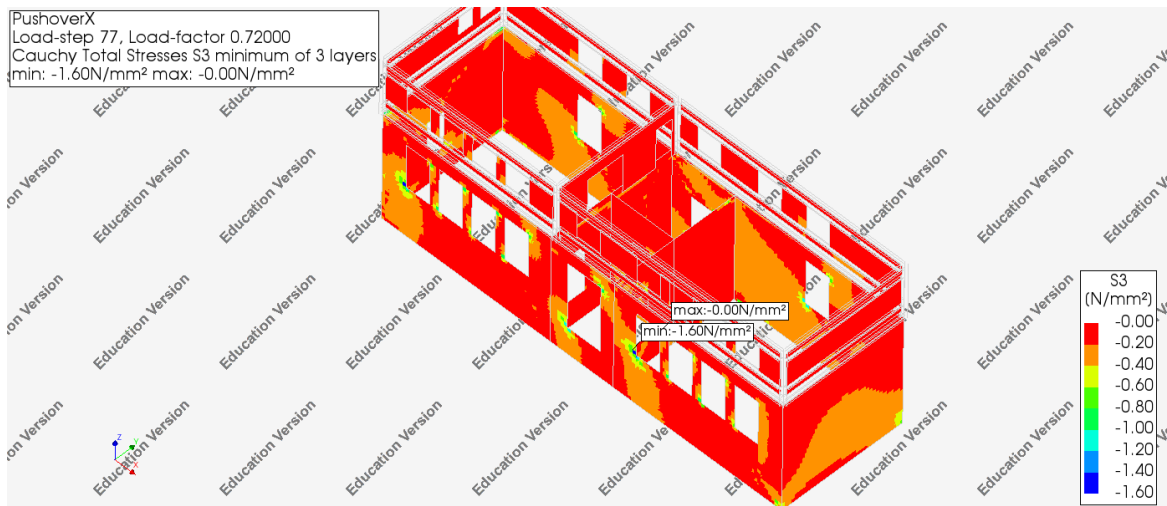


Εικόνα 186: Καμπύλη Ικανότητας προσθήκης διεύθυνση X

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση X, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

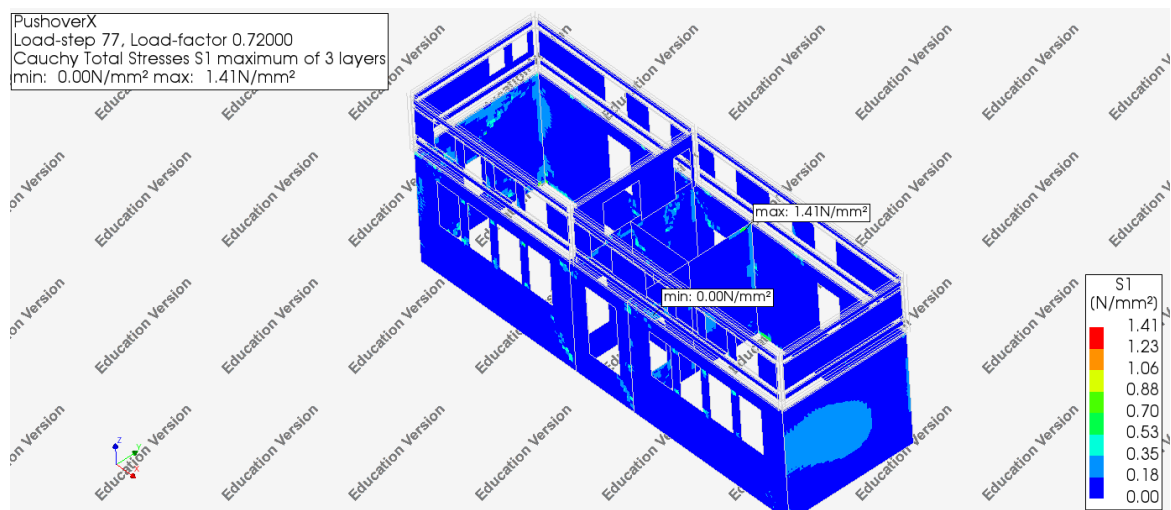
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολούθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

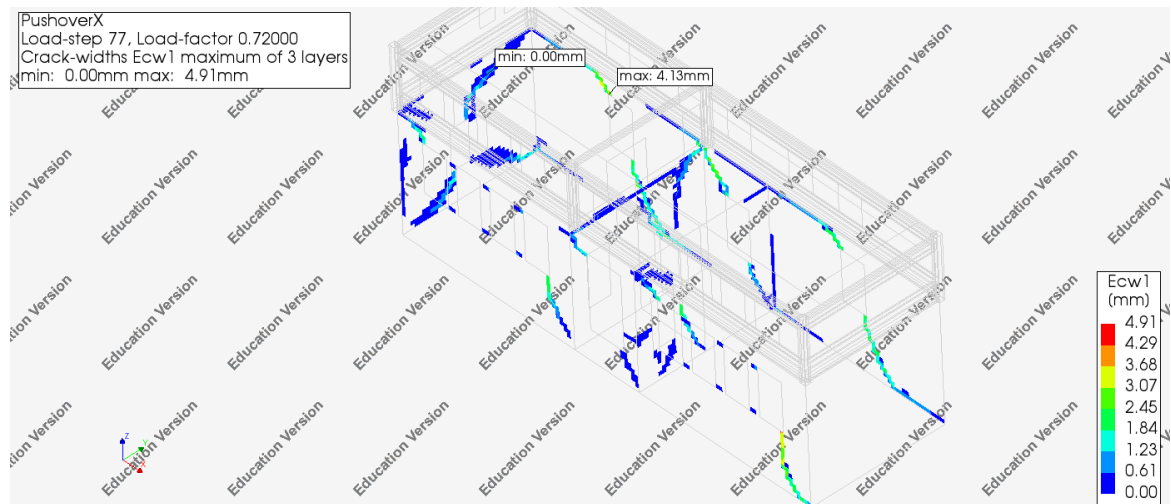


Εικόνα 187: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου διεύθυνση X [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας της προσθήκης.

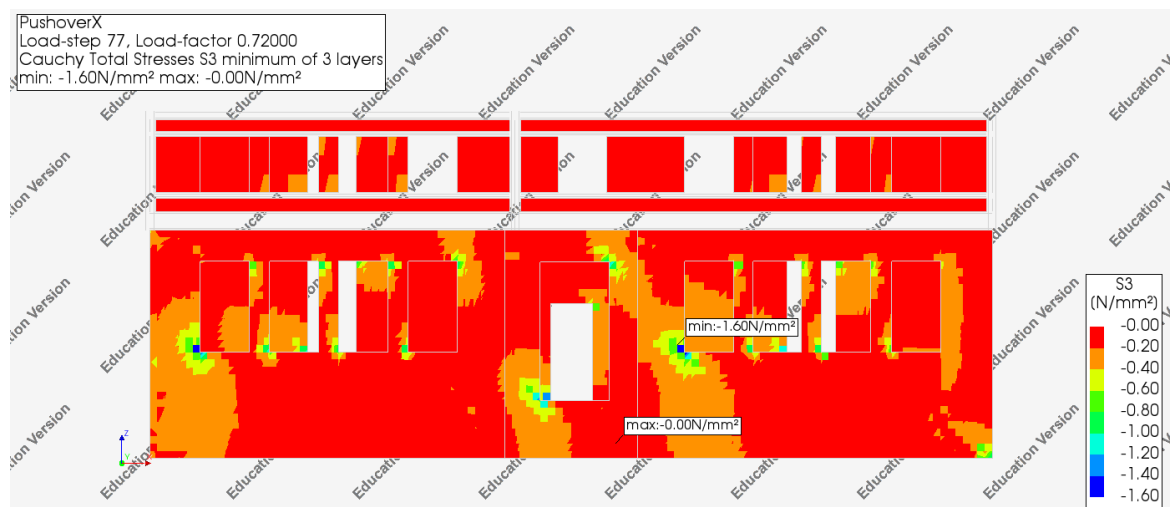


Εικόνα 188: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου διεύθυνση X [17]



Εικόνα 189: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου διεύθυνση X [17]

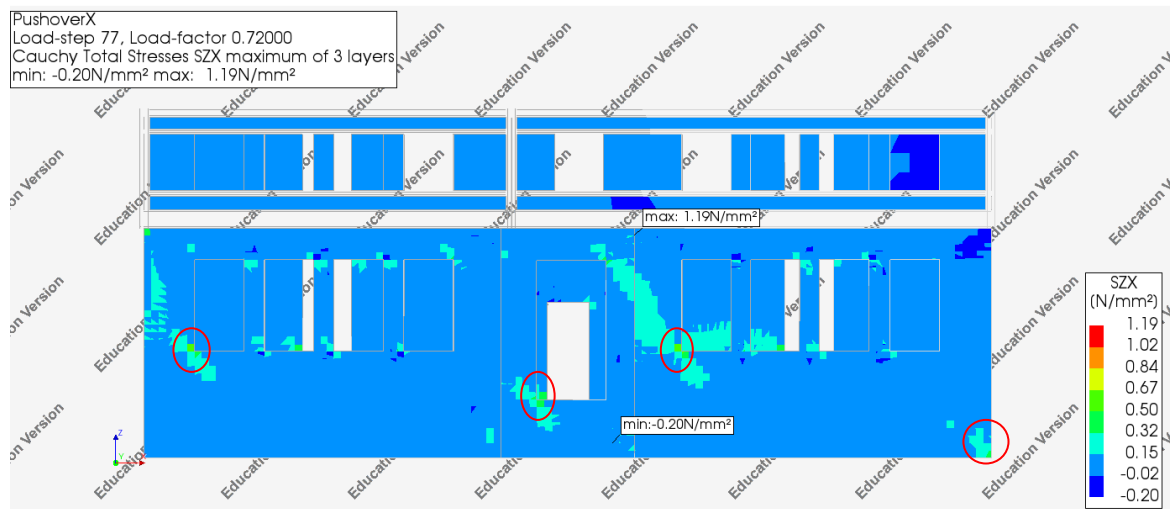
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και να πραγματοποιηθεί ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 190: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου επίπεδο ZX [17]

Για την υπό εξέταση όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,30$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,30 = 0,32 \text{ MPa}$$



Εικόνα 191: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου επίπεδο ZX [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες.

Διεύθυνση Y

$C_0 = 1$, καθώς το πρόκειται για ισόγειο κτίσμα, $C_2 = C_3 = 1$

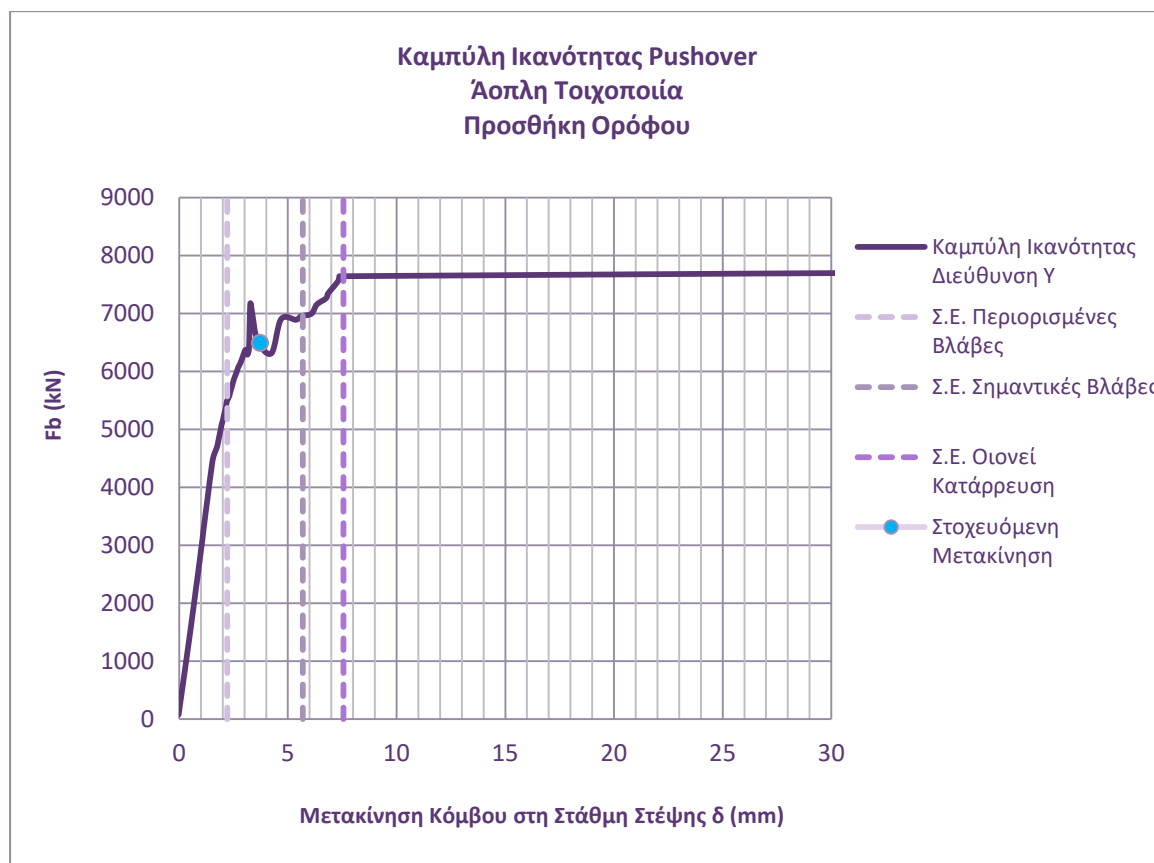
$C_1 = 1,00$, $(C_1 = \max\{[1,00 + (1 - R) \cdot \frac{T_c}{T_e}], 1,00\})$

$W = 8332,39 \text{ kN}$

$R = 0,952$

$T_e = 0,146 \text{ sec}$

$\delta_t = 3,726 \text{ mm}$

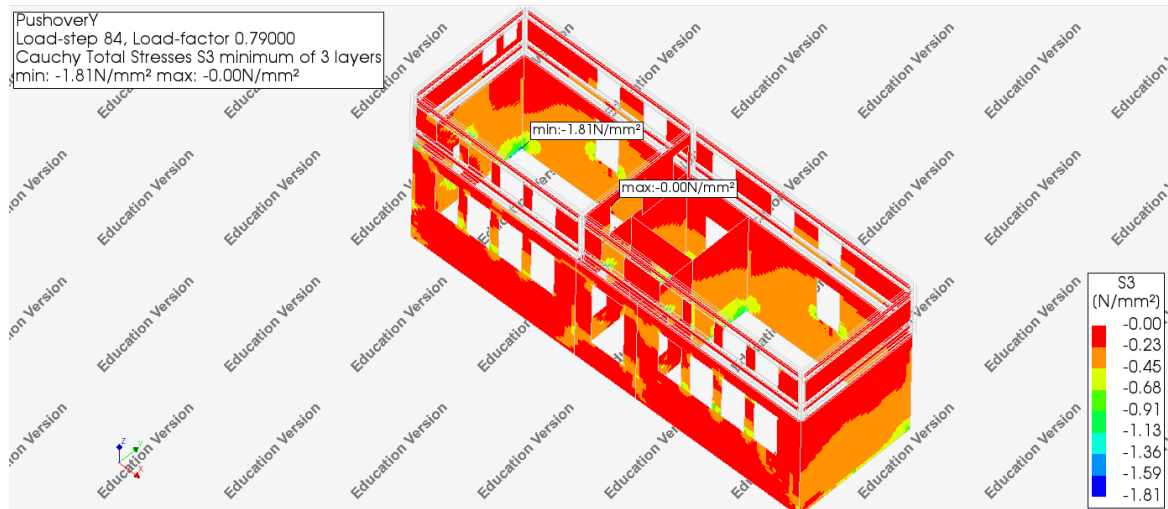


Εικόνα 192: Καμπύλη Ικανότητας προσθήκης διεύθυνση Y

Στο διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής που προκύπτει κατά τη διεύθυνση Y, οι στάθμες επιτελεστικότητας όπως ορίζονται από τον κανονισμό παρουσιάζονται με κατακόρυφες γραμμές για να είναι διακριτά τα όριά τους ενώ επίσης παρουσιάζεται και η στοχευόμενη μετακίνηση που θα παρατηρηθεί στη στάθμη στέψης του δομήματος.

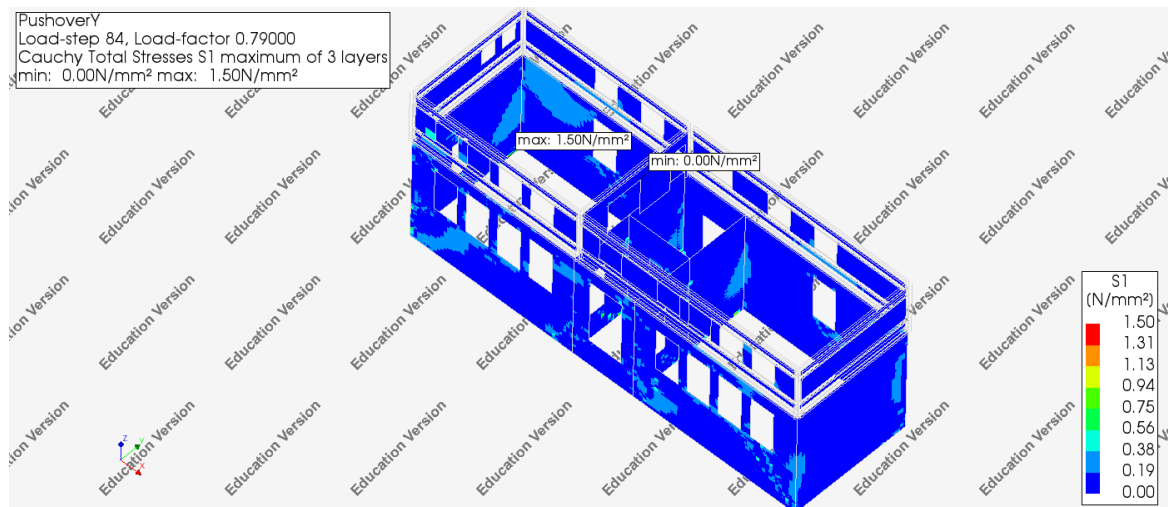
Παρατηρείται ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Ακολούθως παρουσιάζεται η κατανομή κύριων τάσεων στην τοιχοποιία αλλά και το εύρος ρωγμών για το σημείο ελέγχου.

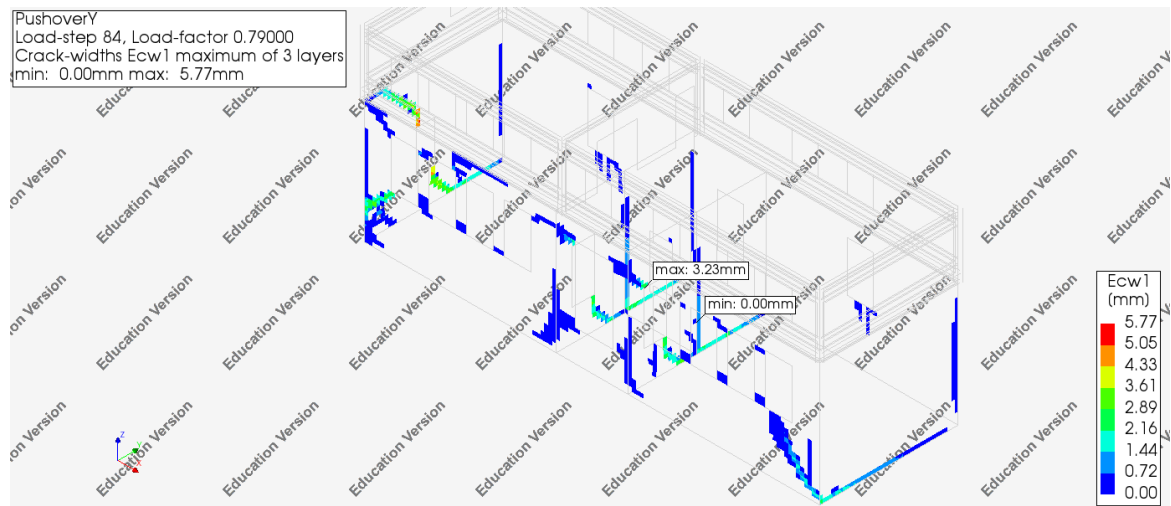


Εικόνα 193: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου επίπεδο YZ [17]

Δεν παρατηρείται υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας της προσθήκης.

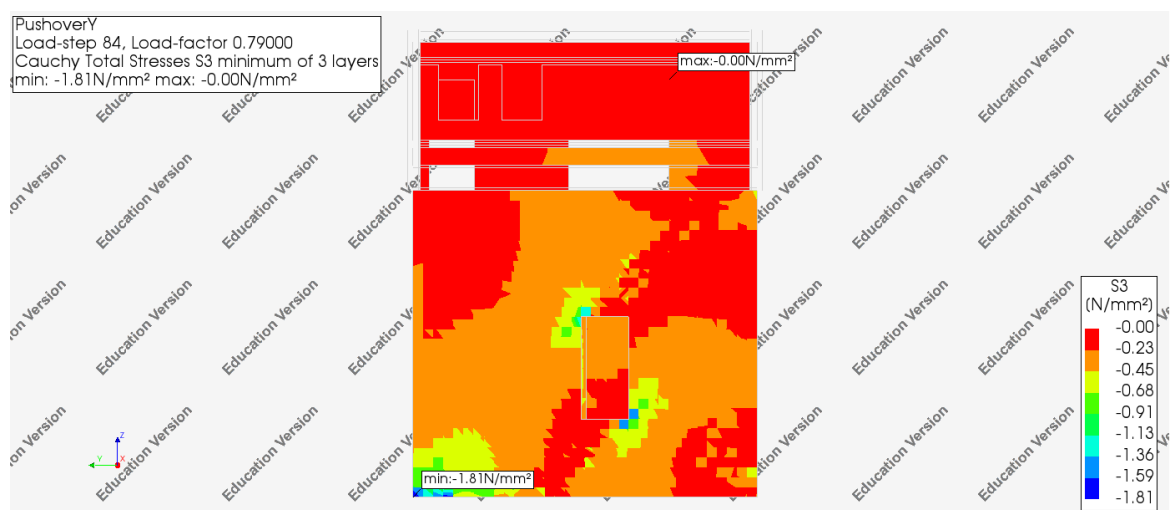


Εικόνα 194: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου διεύθυνση Y [17]



Εικόνα 195: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου διεύθυνση Y [17]

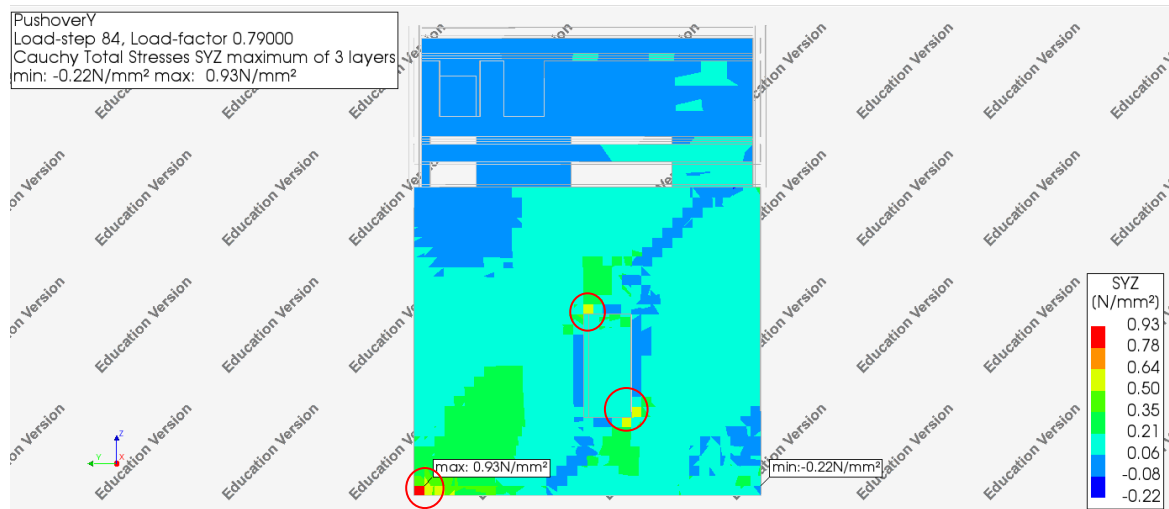
Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και αξιοποιώντας το διάγραμμα των μέσων θλιπτικών τάσεων δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας και να πραγματοποιηθεί ο αντίστοιχος έλεγχος.



Εικόνα 196: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου επίπεδο YZ [17]

Για την υπό εξέταση όψη λαμβάνεται υπόψη $\sigma=0,30$ MPa, $\mu=0,40$ και $f_{v0}=0,20$ MPa.

$$f = f_{v0} + \mu \cdot \sigma = 0,20 + 0,40 \cdot 0,30 = 0,32 \text{ MPa}$$



Εικόνα 197: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου επίπεδο YZ [17]

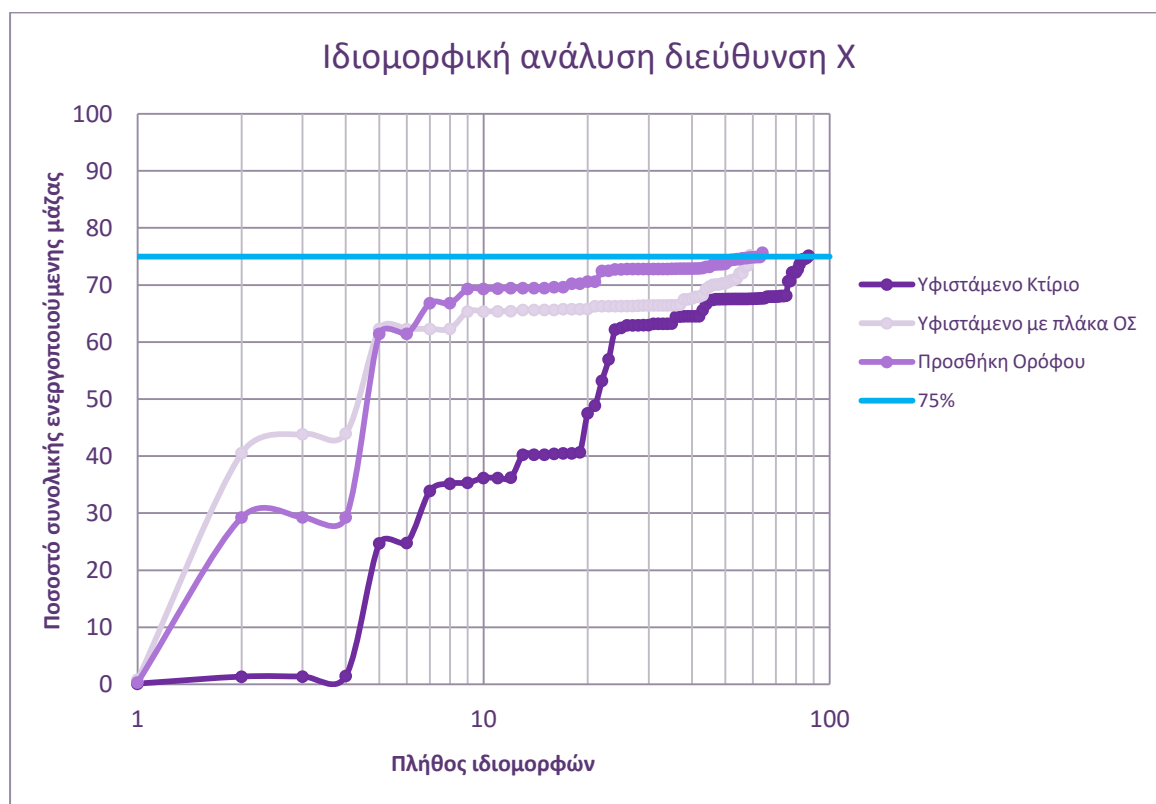
Δεν παρατηρείται υπέρβαση της διατμητικής τάσης στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης όψης, αλλά παρατηρούνται τοπικές αστοχίες.

9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

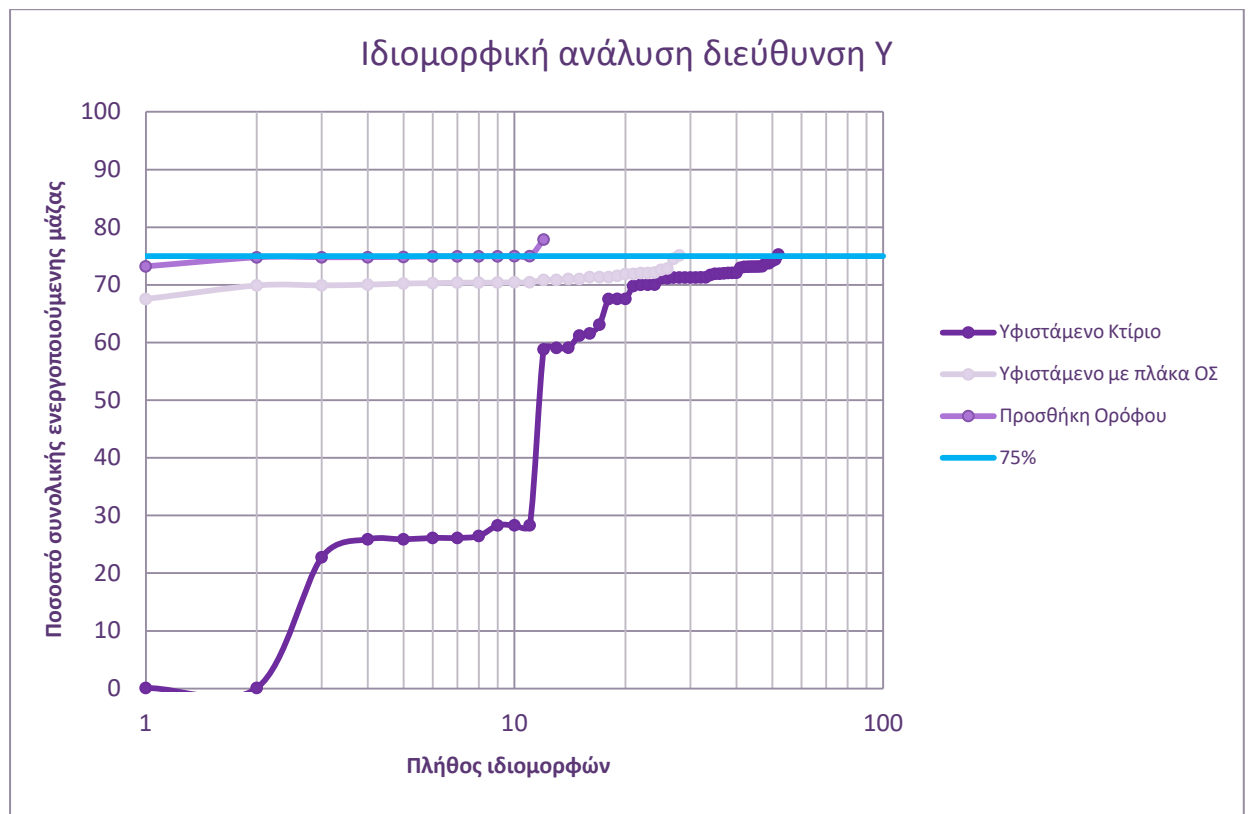
Στα πλαίσια των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν μελετήθηκε η απόκριση του διτάξιου δημοτικού σχολείου της Κίρρας για τρία διαφορετικά προσομοιώματα:

1. Υφιστάμενο κτίριο από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία
2. Υφιστάμενο κτίριο από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία με προσθήκη πλάκας σκυροδέματος 20 cm
3. Υφιστάμενο κτίριο από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία με προσθήκη ορόφου από YTONG

Ακολουθως παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα των ιδιομορφικών αναλύσεων και των μη γραμμικών αναλύσεων όπως πραγματοποιήθηκαν για τα τρία προσομοιώματα.



Εικόνα 198: Ιδιομορφικές αναλύσεις στη διεύθυνση X



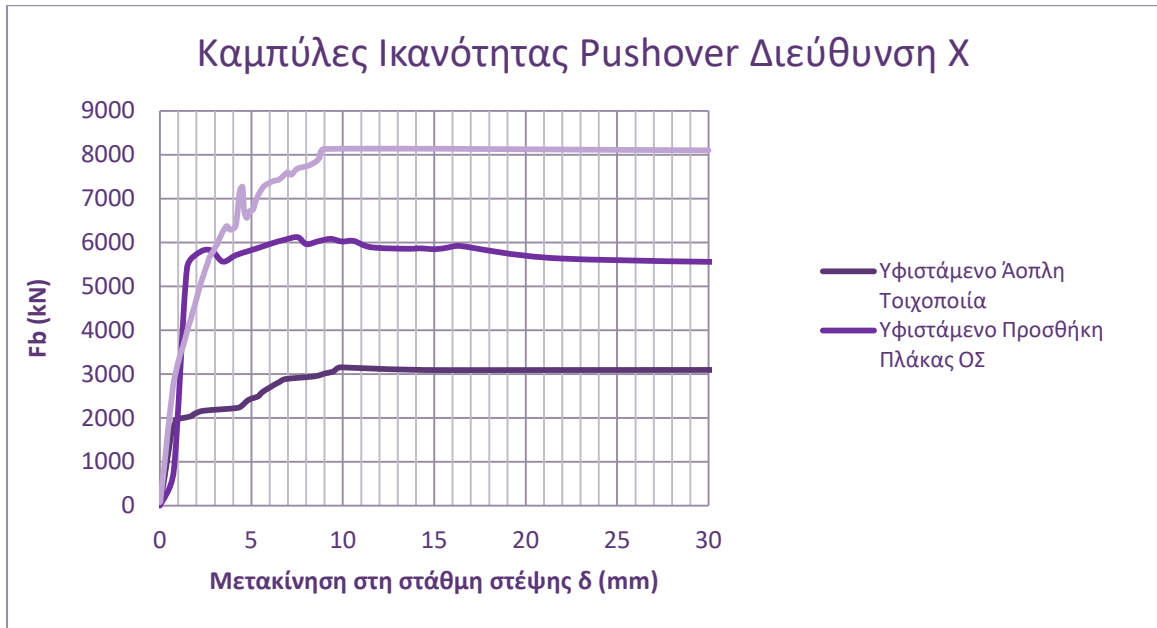
Εικόνα 199: Ιδιομορφικές αναλύσεις στη διεύθυνση Υ

Στα παραπάνω διαγράμματα ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει το συνολικό ποσοστό της μάζας του φορέα που ενεργοποιείται ενώ ο οριζόντιος άξονας εκφράζει το πλήθος των ιδιομορφών.

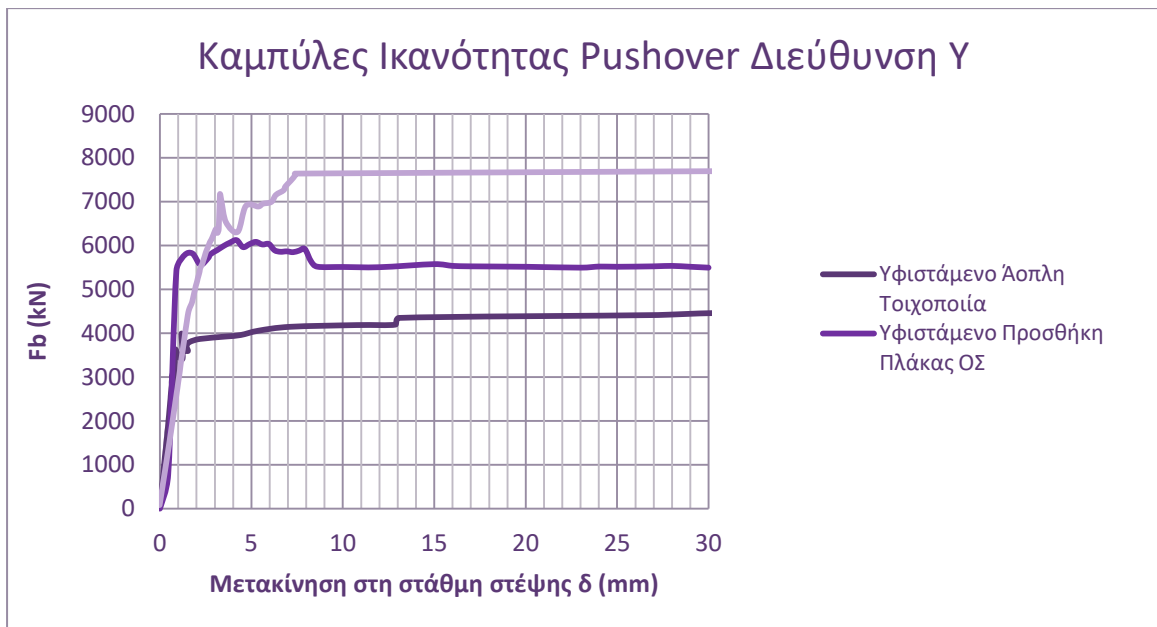
Με βάση τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι και στα τρία προσομοιώματα κατά τη διεύθυνση Χ απαιτούνται αρκετές ιδιομορφές συγκριτικά με τη διεύθυνση Υ.

Συγκεκριμένα στη διεύθυνση Χ, στο προσομοίωμα του υφιστάμενου κτιρίου χωρίς διαφραγματική λειτουργία απαιτούνται 87 ιδιομορφές, ενώ στο προσομοίωμα με την προσθήκη πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος στη στάθμη στέψης του υφιστάμενου κτιρίου, όπου εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία, απαιτούνται 59 ιδιομορφές και στο προσομοίωμα με την προσθήκη ορόφου απαιτούνται 64 ιδιομορφές ώστε να ενεργοποιηθεί το 75 % της μάζας σε αυτή τη διεύθυνση.

Αντίστοιχα στη διεύθυνση Υ, στο πρώτο προσομοίωμα απαιτούνται 52 ιδιομορφές, στο δεύτερο απαιτούνται 28 ιδιομορφές, ενώ στο τρίτο απαιτούνται 12 ιδιομορφές για να ενεργοποιηθεί το 75% της μάζας σε αυτή τη διεύθυνση.



Εικόνα 200: Καμπύλες Ικανότητας διεύθυνση Χ



Εικόνα 201: Καμπύλες Ικανότητας διεύθυνση Υ

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνεται ότι το προσομοίωμα του υφισταμένου κτιρίου από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση έναντι σεισμικής διέγερσης σε σχέση με τα υπόλοιπα προσομοιώματα.

Προσθέτοντας πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι εμφανής η ενίσχυση του καθώς αυξάνονται αισθητά η τέμνουσα βάση και η μετακίνηση αστοχίας του δομήματος.

Τέλος, με την προσθήκη ορόφου από διαζωματική τοιχοποιία και δάπεδο από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, η κατασκευή παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε σεισμικά φορτία καθιστώντας την ιδέα αυτή υλοποιήσιμη.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας αυτής αρχικά μελετήθηκε η συμπεριφορά του υφιστάμενου κτιρίου από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία σε σεισμική διέγερση. Στη συνέχεια μελετήθηκε η σημασία της ύπαρξης διαφράγματος με την προσθήκη πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα στη στάθμη στέψης του κτιρίου και πώς επηρεάστηκε το υφιστάμενο δόμημα. Τέλος διερευνήθηκε κατά πόσο είναι εφικτή η προσθήκη ορόφου για λειτουργικούς σκοπούς.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι από την ιδιομορφική ανάλυση στο υφιστάμενο κτίριο λόγω έλλειψης διαφραγματικής λειτουργίας δεν είναι ξεκάθαρη η απόκρισή του. Παρόλα αυτά η δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος είναι ίση με 0,16 sec έναντι 0,09 sec αποτέλεσμα που προέκυψε από το κτίριο αφού ενισχύθηκε με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Έτσι σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα η διαφραγματική λειτουργία έχει ευμενή επιρροή στην καθολική λειτουργία της κατασκευής ως σύνολο.

Από τα αποτελέσματα της μη γραμμικής ανάλυσης στο υφιστάμενο κτίριο από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία δεν παρατηρείται ίδια αντοχή και στις δύο διευθύνσεις, ενώ από τις καμπύλες ικανότητας κατά τις διευθύνσεις X και Y προκύπτει ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού σε καμία από τις δύο διευθύνσεις, ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Αντιθέτως με την προσθήκη πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα η αύξηση της αντοχής είναι εμφανής αλλά και πάλι προκύπτει ότι η στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες» δεν ικανοποιείται για τον σεισμό σχεδιασμού σε καμία από τις δύο διευθύνσεις, ενώ ικανοποιούνται οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση».

Αναφορικά με το εύρος ρωγμής που προέκυψε για την στοχευόμενη μετακίνηση που υπολογίστηκε για τα δύο αυτά προσομοιώματα παρατηρείται μείωση κατά 44,86%.

Τέλος σχετικά με την προσθήκη ορόφου με διαζωματική τοιχοποιία πλήρωσης από YTONG, προκύπτει ότι μπορεί να υλοποιηθεί, διότι από την ανελαστική ανάλυση για τον σεισμό σχεδιασμού ικανοποιούνται οι δύο από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας όπως τις ορίζει ο κανονισμός.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παρόν παράρτημα περιέχει προοπτικά σχέδια τόσο του υφισταμένου κτιρίου όσο και της πιθανής προσθήκης ορόφου, με σκοπό την κατανόηση περισσότερων λεπτομερειών σχετικά με την κατασκευή.

Μέσω των τρισδιάστατων οπτικών λεπτομερειών γίνεται αντιληπτή η μορφολογία του ήδη υπάρχοντος κτιρίου καθώς επίσης και η ιδέα της προσθήκης παίρνει μορφή.

Τα φωτορεαλιστικά σχέδια δημιουργήθηκαν με το λογισμικό Archicad [15].

Υφιστάμενο Κτίριο



Εικόνα 202: Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενου κτιρίου 1 [15]



Εικόνα 203: Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενου κτιρίου 2 [15]

Μελλοντική Προσθήκη Ορόφου



Εικόνα 204: Τρισδιάστατη απεικόνιση μελλοντικής προσθήκης ορόφου 1 [15]



Εικόνα 205: Τρισδιάστατη απεικόνιση μελλοντικής προσθήκης ορόφου 1 [15]



Εικόνα 206: Αρχιτεκτονική διάταξη προσθήκης ορόφου 1 [15]



Εικόνα 207: Αρχιτεκτονική διάταξη προσθήκης ορόφου 2 [15]

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Τύπος μονοταξίου	12
Εικόνα 2: Τύπος διτάξιου	13
Εικόνα 3: Τύπος τετρατάξιου	13
Εικόνα 4: Τύπος εξατάξιου	14
Εικόνα 5: Λεπτομέρεια αντισεισμικής κατασκευής	15
Εικόνα 6: Λεπτομέρεια αντισεισμικής λιθοδομής	16
Εικόνα 7: Σχέδιο αντισεισμικής κατασκευής διδακτηρίου	16
Εικόνα 8: Προκόπης Μακεδών (1868-1956)	18
Εικόνα 9: Γεώργιος Μακεδών (1902-1984).....	18
Εικόνα 10: Χαράλαμπος Μακεδών (1905-1989)	18
Εικόνα 11: Απόσπασμα από την εφημερίδα ΦΩΚΙΣ, 14 Αυγούστου 1932.....	18
Εικόνα 12: Το διτάξιο Δημοτικό Σχολείο Κίρρας, 1958, άποψη από τα νότια.....	19
Εικόνα 13: Το διτάξιο Δημοτικό Σχολείο Κίρρας στα μέσα του 20ου αιώνα, άποψη από τα νότια	19
Εικόνα 14: Λείψανα λιμενικών εγκαταστάσεων του νεωρίου της αρχαίας Κίρρας.....	20
Εικόνα 15: Εναέρια άποψη του ιστορικού κέντρου της σύγχρονης Κίρρας	21
Εικόνα 16: Λιθοδομή από λαξευτούς λίθους	24
Εικόνα 17: Λιθοδομή από ημιλαξευτούς λίθους.....	24
Εικόνα 18: Λιθοδομή από αργούς λίθους.....	24
Εικόνα 19: Ξηρολιθοδομή	25
Εικόνα 20: Χυτή τοιχοποιία	25
Εικόνα 21: Οπτόπλινθος.....	26
Εικόνα 22: Τιμεντόπλινθος	26
Εικόνα 23: Ωμόπλινθος	27
Εικόνα 24: Μονόστρωτη τοιχοποιία	28
Εικόνα 25: Τρίστρωτη τοιχοποιία	28
Εικόνα 26: Δίστρωτες τοιχοποιίες	28
Εικόνα 27: Stress-strain relationship for masonry in compression	32
Εικόνα 28: Secant modulus of elasticity as a function of strength of clay brickwork	33
Εικόνα 29: Η Μηχανική της μονόστρωτης τοιχοποιίας υπό κατακόρυφη θλίψη	34
Εικόνα 30: Η Μηχανική της τρίστρωτης τοιχοποιίας υπό κεντρική θλίψη	35
Εικόνα 31: Μορφές αστοχίας της τοιχοποιίας υπό εφελκυσμό	39
Εικόνα 32: Τοίχος επιβαλλόμενος σε εκτός επιπέδου κάμψη	41
Εικόνα 33: Περιβάλλουσα αστοχίας τοιχοποιίας	44
Εικόνα 34: Οριζόντια διαζώματα.....	47
Εικόνα 35: Ξυλοδεσιά	48
Εικόνα 36: Οριζόντια διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (σενάζ)	49
Εικόνα 37: Συνεισφορά των οριζόντιων διαζωμάτων	50
Εικόνα 38: Φωτογραφία σημερινής κατάστασης	57
Εικόνα 39: Αποτύπωση υφιστάμενων κτιρίων.....	57
Εικόνα 40: Αποτύπωση πέτρινου κτιρίου	58
Εικόνα 41: Ξύλινα ζευκτά στέγης	59

Εικόνα 42: Τοποθέτηση δοκιμίου.....	62
Εικόνα 43: Αστοχία δοκιμίου.....	62
Εικόνα 44: Θλιπτική αντοχή πρώτου δοκιμίου.....	62
Εικόνα 45: Θλιπτική αντοχή δεύτερου δοκιμίου.....	62
Εικόνα 46: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του φορέα.....	63
Εικόνα 47: Εξωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση X.....	64
Εικόνα 48: Εξωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση Y.....	64
Εικόνα 49: Εσωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση Y.....	65
Εικόνα 50: Εσωτερική τοιχοποιία στη διεύθυνση X.....	65
Εικόνα 51: Διακριτοποίηση φορέα.....	66
Εικόνα 52: Πακτώσεις στο έδαφος.....	66
Εικόνα 53: Θλιπτικές ιδιότητες.....	67
Εικόνα 54: Εφελκυστικές ιδιότητες.....	67
Εικόνα 55: Γραμμικές ιδιότητες.....	67
Εικόνα 56: Παραδοχές μελέτης της στέγης.....	68
Εικόνα 57: Προμέτρηση υλικών.....	68
Εικόνα 58: Φορτίο στέγης στη διεύθυνση X.....	69
Εικόνα 59: Φορτίο στέγης στη διεύθυνση Y.....	69
Εικόνα 60: Κινητό φορτίο στέγης στη διεύθυνση X.....	70
Εικόνα 61: Κινητό φορτίο στέγης στη διεύθυνση Y.....	70
Εικόνα 62: Φορτίο χιονιού στη διεύθυνση X.....	71
Εικόνα 63: Φορτίο χιονιού στη διεύθυνση Y.....	71
Εικόνα 64: Ελαστικό Φάσμα Απόκρισης.....	72
Εικόνα 65: 1η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	75
Εικόνα 66: 2η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	76
Εικόνα 67: 3η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	76
Εικόνα 68: 4η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	76
Εικόνα 69: 5η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	77
Εικόνα 70: 6η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	77
Εικόνα 71: 7η Ιδιομορφή υφιστάμενο.....	77
Εικόνα 72: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicX.....	78
Εικόνα 73: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση).....	78
Εικόνα 74: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicX.....	79
Εικόνα 75: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση).....	79
Εικόνα 76: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicX.....	80
Εικόνα 77: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση).....	80
Εικόνα 78: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicX.....	81
Εικόνα 79: Διαμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση).....	81
Εικόνα 80: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicX.....	82
Εικόνα 81: Διαμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicX (μεγέθυνση).....	82
Εικόνα 82: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicY.....	83
Εικόνα 83: Κύριες τάσεις S1 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση).....	83
Εικόνα 84: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicY.....	84
Εικόνα 85: Κύριες τάσεις S2 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση).....	84
Εικόνα 86: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicY.....	85

Εικόνα 87: Κύριες τάσεις S3 υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση)	85
Εικόνα 88: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicY	86
Εικόνα 89: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση)	86
Εικόνα 90: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicY	87
Εικόνα 91: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ υφιστάμενο seismicY (μεγέθυνση)	87
Εικόνα 92: Κατακόρυφη φόρτιση	89
Εικόνα 93: Φορτίσεις μη γραμμικής ανάλυσης	89
Εικόνα 94: Οριζόντια φόρτιση διεύθυνση Y	90
Εικόνα 95: Οριζόντια φόρτιση διεύθυνση X	90
Εικόνα 96: Κόμβοι αναφοράς υφιστάμενο	90
Εικόνα 97: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #4536	91
Εικόνα 98: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #1138	91
Εικόνα 99: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #4	92
Εικόνα 100: Καμπύλη Ικανότητας κόμβου #3	92
Εικόνα 101: Εξιδακτυκωμένη Καμπύλη Ικανότητας	93
Εικόνα 102: Καμπύλη Ικανότητας υφιστάμενου διεύθυνση X	95
Εικόνα 103: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο	96
Εικόνα 104: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση X υφιστάμενο	97
Εικόνα 105: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση X υφιστάμενο	97
Εικόνα 106: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση X υφιστάμενο επίπεδο ZX	98
Εικόνα 107: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση X υφιστάμενο επίπεδο ZX	98
Εικόνα 108: Καμπύλη Ικανότητας υφιστάμενου διεύθυνση Y	99
Εικόνα 109: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Y υφιστάμενο	100
Εικόνα 110: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση Y υφιστάμενο	101
Εικόνα 111: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση διεύθυνση Y υφιστάμενο	101
Εικόνα 112: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση Y υφιστάμενο επίπεδο YZ	102
Εικόνα 113: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση X υφιστάμενο επίπεδο YZ	102
Εικόνα 114: Προσομοίωμα με πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	103
Εικόνα 115: Ορισμός σκυροδέματος	103
Εικόνα 116: 1η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	104
Εικόνα 117: 2η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	105
Εικόνα 118: 3η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	105
Εικόνα 119: 4η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	106
Εικόνα 120: 5η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	106
Εικόνα 121: 6η Ιδιομορφή προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	106
Εικόνα 122: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicX	107
Εικόνα 123: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση)	107
Εικόνα 124: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicX	108
Εικόνα 125: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση)	108
Εικόνα 126: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicX	109
Εικόνα 127: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση)	109
Εικόνα 128: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicX	110
Εικόνα 129: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση)	110
Εικόνα 130: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicX	111
Εικόνα 131: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicX (μεγέθυνση)	111

Εικόνα 132: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicY	112
Εικόνα 133: Κύριες τάσεις S1 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση)	112
Εικόνα 134: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicY	113
Εικόνα 135: Κύριες τάσεις S2 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση)	113
Εικόνα 136: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicY	114
Εικόνα 137: Κύριες τάσεις S3 πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση)	114
Εικόνα 138: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicY	115
Εικόνα 139: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση)	115
Εικόνα 140: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicY	116
Εικόνα 141: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ πλάκα ΟΣ seismicY (μεγέθυνση)	116
Εικόνα 142: Προσομοίωμα με πλάκα ΟΣ	118
Εικόνα 143: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου πλάκα ΟΣ	119
Εικόνα 144: Καμπύλη Ικανότητας υφισταμένου με προσθήκη πλάκας ΟΣ διεύθυνση X.....	120
Εικόνα 145: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση X	121
Εικόνα 146: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ X.....	122
Εικόνα 147: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση X	122
Εικόνα 148: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο ZX	123
Εικόνα 149: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο ZX	123
Εικόνα 150: Καμπύλη Ικανότητας υφισταμένου με προσθήκη πλάκας ΟΣ διεύθυνση Y.....	124
Εικόνα 151: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ Y	125
Εικόνα 152: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ Y	126
Εικόνα 153: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ διεύθυνση Y	126
Εικόνα 154: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο YZ	127
Εικόνα 155: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση πλάκα ΟΣ επίπεδο YZ	127
Εικόνα 156: Αρχιτεκτονική λύση προσθήκης ορόφου	129
Εικόνα 157: Χωρικό προσομοίωμα προσθήκης	130
Εικόνα 158: Κινητό φορτίο πλάκας δαπέδου προσθήκης	130
Εικόνα 159: 1η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου	131
Εικόνα 160: 2η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου	131
Εικόνα 161: 3η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου	132
Εικόνα 162: 4η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου	132
Εικόνα 163: 5η Ιδιομορφή προσθήκη ορόφου	132
Εικόνα 164: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicX.....	133
Εικόνα 165: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση)	133
Εικόνα 166: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicX.....	134
Εικόνα 167: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση)	134
Εικόνα 168: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicX.....	135
Εικόνα 169: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση)	135
Εικόνα 170: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicX	136
Εικόνα 171: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση)	136
Εικόνα 172: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicX.....	137
Εικόνα 173: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicX (μεγέθυνση)	137
Εικόνα 174: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicY.....	138
Εικόνα 175: Κύριες τάσεις S1 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση)	138
Εικόνα 176: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicY.....	139

Εικόνα 177: Κύριες τάσεις S2 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση)	139
Εικόνα 178: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicY	140
Εικόνα 179: Κύριες τάσεις S3 προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση)	140
Εικόνα 180: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicY	141
Εικόνα 181: Διατμητικές τάσεις επίπεδο ZX προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση)	141
Εικόνα 182: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicY	142
Εικόνα 183: Διατμητικές τάσεις επίπεδο YZ προσθήκη ορόφου seismicY (μεγέθυνση)	142
Εικόνα 184: Κόμβοι ελέγχων Μη Γραμμικής Ανάλυσης για την προσθήκη ορόφου	144
Εικόνα 185: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #5010	145
Εικόνα 186: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #8	145
Εικόνα 187: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #1722	146
Εικόνα 188: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #7	146
Εικόνα 189: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18172	147
Εικόνα 190: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18074	147
Εικόνα 191: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18126	148
Εικόνα 192: Καμπύλες Ικανότητας κόμβου προσθήκης #18070	148
Εικόνα 193: Καμπύλη Ικανότητας προσθήκης διεύθυνση X	150
Εικόνα 194: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου X	151
Εικόνα 195: Κύριες εφελκυστικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου X	151
Εικόνα 196: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου X	152
Εικόνα 197: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου ZX	152
Εικόνα 198: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου ZX	153
Εικόνα 199: Καμπύλη Ικανότητας προσθήκης διεύθυνση Y	154
Εικόνα 200: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου YZ	155
Εικόνα 201: Κύριες εφελκυστικές τάσεις Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου Y	155
Εικόνα 202: Εύρος ρωγμής για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου Y	156
Εικόνα 203: Κύριες θλιπτικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκη ορόφου YZ	156
Εικόνα 204: Διατμητικές τάσεις για την Στοχευόμενη Μετακίνηση προσθήκης ορόφου YZ	157
Εικόνα 205: Ιδιομορφικές αναλύσεις στη διεύθυνση X	159
Εικόνα 206: Ιδιομορφικές αναλύσεις στη διεύθυνση Y	160
Εικόνα 207: Καμπύλες Ικανότητας διεύθυνση X	161
Εικόνα 208: Καμπύλες Ικανότητας διεύθυνση Y	161
Εικόνα 209: Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενου κτιρίου 1	166
Εικόνα 210: Τρισδιάστατη απεικόνιση υφιστάμενου κτιρίου 2	166
Εικόνα 211: Τρισδιάστατη απεικόνιση μελλοντικής προσθήκης ορόφου 1	167
Εικόνα 212: Τρισδιάστατη απεικόνιση μελλοντικής προσθήκης ορόφου 1	167
Εικόνα 213: Αρχιτεκτονική διάταξη προσθήκης ορόφου 1	168
Εικόνα 214: Αρχιτεκτονική διάταξη προσθήκης ορόφου 2	168

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γενικά Αρχεία του Κράτους, <http://www.archives.gak.gr/>
- [2] Δρίτσος Σ., Κάππος Α., Στυλιανίδης Κ., Τάσιος Θ., Φαρδής Μ., Χρονόπουλος Μ., Μώκος Β., Παναγιωτοπούλου Δ., Θωμά Θ. (2016), ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ.
- [3] Δρίτσος Σ., Μιλτιάδου Α., Πανουτσοπούλου Μ., Πανταζοπούλου Σ., Στυλιανίδης Κ. (2022), «ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ-ΚΑΔΕΤ».
- [4] Ελληνικός Πολυτεχνικός Σύλλογος (1906), Υπέρ των Εφαρμοζόμενων Μέτρων δια την Υγιεινή των Σχολικών Κτιρίων
- [5] Ιγνατάκης Χ., Στυλιανίδης Κ., Κατασκευές από Φέρουσα Τοιχοποιία Κανονισμός- Βλάβες- Αποκατάσταση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας
- [6] Καλαφάτη Ελένη (1988), Τα Σχολικά Κτίρια της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης 1821-1929
- [7] Καρπουζλή Δέσποινα (2021), Αποτίμηση της Σεισμικής Τρωτότητας Υφισταμένων Ολιγοτάξιων Σχολείων από Λιθοδομή
- [8] Μαλακάτας Ν., Τρέζος Κων. (2011), Σημειώσεις για τη Χρήση Ευρωκωδίκων, EN 1990 Βάσεις Σχεδιασμού των Φερουσών Κατασκευών, EN 1991 Δράσεις επί των Κατασκευών
- [9] Ριτζούλη Κατερίνα, Η Εκπαίδευση στη Σαντορίνη των Αρχών του 20^{ου} Αιώνα και τα Σχολικά Κτίρια Τύπου “Καλλία” : Παρελθόν, Παρόν και Προοπτικές
- [10] Σπανός Χρ., Σπιθάκης Μ., Τρέζος Κ. (2006), Μέθοδοι για την Επιτόπου Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Υλικών, ΕΠΑΝΤΥΚ- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
- [11] Σπυράκος Κ. (2004), Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά φορτία, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
- [12] Σπυράκος Κωνσταντίνος (2019), Κατασκευές από Τοιχοποιία Αποτίμηση & Επεμβάσεις για Σεισμικά Φορτία

- [13] **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ)**, ΜΕΡΟΣ ΙΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 6 ΜΕΡΟΣ 1-1 (1995) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ
- [14] **Ψυχάρης Γιάννης (2014)**, Βασικές Διατάξεις του Ευρωκώδικα 8
- [15] **Archicad** <https://graphisoft.com/solutions/archicad>
- [16] **AUTODESK** <https://www.autodesk.com/>
- [17] **DIANA FEA** <https://dianafea.com/>
- [18] **Eurocode 6 (2005)**, Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures
- [19] **Muho Edmond, Vasileiadi Michaela, Dritsos Stephanos (2018)**, Influence of Diaphragms on the Response of Masonry Structures According to the Draft Greek Code ΚΑΔΕΤ, Διερεύνηση Επιρροής Διαφραγμάτων σε Κατασκευές από Φέρουσα Τοιχοποιία Σύμφωνα με το Σχέδιο του ΚΑΔΕΤ
- [20] **Multisoft** <https://www.multisoft.gr/>
- [21] **Tomazevic Miha (1999)**, Earthquake- Resistant Design of Masonry Buildings, Φυλλίτσα Καραντώνη (2004), Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κτιρίων από Τοιχοποιία
- [22] **YTONG** Τεχνικός Οδηγός