



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά  
Τμήμα: Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ  
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 6.  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΔΑΥΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

# Δαύρος Γεώργιος-

## Πτυχιακή εργασία

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 2: Τοιχοποιία	
2.1 Είδη τοιχοποιίας	4
2.2 Χαρακτηριστικά τοιχοποιίας	8
2.3 Συστήματα τοιχοποιίας και αρχές μόρφωσης κτηρίων	13
Κεφάλαιο 3: Έλεγχοι- Κανονισμοί Ευρωκώδικα	
3.1 Γενικά	16
3.2 Έλεγχος τοίχων από άοπλη τοιχοποιία κυρίως υπό κατακόρυφα φορτία	17
3.3 Τοίχοι από άοπλη τοιχοποιία υπό τέμνουσα	20
3.4 Τοίχοι από άοπλη τοιχοποιία υπό εκτός επιπέδου φόρτιση	21
3.5 Excel	22
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή πέτρινης κατασκευής- Προσομοίωμα	
4.1 Περιγραφή κατασκευής	23
4.2 Περιγραφή μοντέλου στο πρόγραμμα SAP2000	25
4.3 Εφαρμογή ελέγχων στην κατασκευή	49
4.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων	65
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία	69

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική αυτή ασχολείται με τον έλεγχο λίθινων κατασκευών. Πρόκειται για ελέγχους που θα πραγματοποιηθούν σε ένα πέτρινο κτίριο κατασκευασμένο περί το 1900. Θα εξετάσουμε κατ' αρχάς την αντοχή του σε αξονικές και διατιμήθηκες δυνάμεις καθώς επίσης και σε ροπές που προκύπτουν από τα διάφορα φορτία που ασκούνται στο κτίριο. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε την αντοχή του στο σεισμό και εφόσον κριθεί ανεπαρκής θα προταθούν λύσεις αναφορικά με την ενίσχυση της σημερινής κατασκευής.

Ας ξεκινήσουμε όμως με κάποια στοιχεία αναφορικά με την πέτρα. Η πέτρα είναι το αρχαιότερο δομικό υλικό. Από την προϊστορία ως τον 20ό αιώνα η πλειονότητα των κατασκευών χτίστηκε από πέτρα. Ναοί, κατοικίες, ανάκτορα, οχυρά, μύλοι, γέφυρες και υδραγωγεία είναι μερικά γνωστά παραδείγματα.

Στην Ελλάδα, κυρίως λόγω του υπεδάφους από τα αρχαία χρόνια, γίνεται ευρεία χρήση του συγκεκριμένου τύπου κατασκευής. Η μεγάλη ποικιλία χρωμάτων και υφών ανά περιοχή καθώς και η μεγάλη ανθεκτικότητα και μηχανική αντοχή των ελληνικών πετρωμάτων συνετέλεσαν στη χρήση της πέτρας ως σήμερα. Οι τεχνικές χτισίματος περνούσαν από γενιά σε γενιά και τα πέτρινα κτίσματα συνέχιζαν να υπάρχουν. Και συνέχιζαν να υπάρχουν και λόγω των αρκετών πλεονεκτημάτων τους. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των πέτρινων κατασκευών είναι η διαχρονική ομορφιά και αισθητική, η οποία σέβεται το περιβάλλον και εναρμονίζεται με το φυσικό τοπίο. Διαχρονική είναι ακόμη και η αξία τους, αφού αποτελούν μια καλή και μακροχρόνια επένδυση, ανεξαρτήτως περιόδου. Σε αυτό συντελούν και πολλά άλλα στοιχεία. Η πέτρα προσφέρει άριστη ηχομόνωση και άρα καλύτερη ποιότητα διαβίωσης μέσα στο κτίριο. Επιπλέον, οι πέτρινες κατασκευές έχουν αυξημένη θερμομόνωση, που σημαίνει διατήρηση της ζέστης τον χειμώνα και δροσιά το καλοκαίρι. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και η απαιτούμενη χρήση ενέργειας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20%, κάτι που κάνει τις πέτρινες κατασκευές από μόνες τους «βιοκλιματικές». Ένα άλλο προτέρημα των λίθινων κατασκευών, αποτελεί το σχεδόν μηδενικό κόστος

συντήρησης (βλέπε βαφές, επισκευές σοβάδων, μονωτικά υλικά, υγρασία κτλ.). Τέλος, προσφέρουν ισχυρή στατικότητα και αντισεισμικότητα πλεονεκτήματα που καθιστούν ακόμη και σήμερα τις πέτρινες κατασκευές πολλές φορές προτιμότερες και από τις κατασκευές από σκυρόδεμα. Όσον αφορά την κατασκευή ενός σπιτιού από πέτρα, ο κλασικός τρόπος κατασκευής πριν από κάποια χρόνια ήταν ένα πέτρινο σπίτι το οποίο συνδύαζε εξαιρετικά την πέτρα με το ξύλο, χωρίς βέβαια να χρησιμοποιείται οπλισμένο σκυρόδεμα όπως στις σύγχρονες κατασκευές. Δηλαδή, όπως στις σημερινές κατασκευές χρησιμοποιούμε οπλισμένο σκυρόδεμα, τότε, για να δημιουργήσουν έναν όροφο, ενσωμάτωναν το ξύλινο πάτωμα μέσα στην πέτρινη τοιχοποιία και αυτό άντεχε τα φορτία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

### 2.1 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ

Η τοιχοποιία αποτέλεσε το μοναδικό δομικό υλικό για την κατασκευή παγκοσμίως όλων των έργων, μέχρι την εμφάνιση του χάλυβα περίπου στα μέσα του 19ου και του σκυροδέματος στις αρχές του 20ου αιώνα. Εξαίρεση αποτελούν μερικές περιοχές της γης, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε για τη δόμηση κτηρίων το ξύλο. Είναι σύνθετο υλικό και τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι τα τοιχώματα και το συνδετικό κονίαμα. Ανάλογα με το είδος των τοιχοσωμάτων από το οποίο είναι κατασκευασμένες, τη λειτουργία τους στο δόμημα αλλά και τον τρόπο δόμησης τους, οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε κατηγορίες με κοινά χαρακτηριστικά, οι οποίες αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

**A. Αναλόγως του είδους των τοιχοσωμάτων.** Η προέλευση του τοιχοσωματος, δηλαδή αν είναι φυσικό η τεχνητό, διαχωρίζει τις τοιχοποιίες σε δυο βασικές κατηγορίες, σε τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους (λιθοδομές) και σε τοιχοποιίες από τεχνητά τοιχώματα (πλινθοδομές).

**1) Οι τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους** (λιθοδομές) αποτελούν το αρχαιότερο και, μέχρι την ευρεία εφαρμογή του σκυροδέματος, το κυριότερο δομικό υλικό σε πολλές περιοχές της γης. Το υλικό τους είναι λίθοι προερχόμενοι από φυσικά, τις περισσότερες φορές ανθεκτικά πετρώματα, οι οποίοι κατόπιν μικρού η μεγάλου βαθμού κατεργασίας αποκτούν κατάλληλο σχήμα ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή συγκεκριμένου έργου. Από γεωλογικής άποψης, και ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού των πετρωμάτων οι λίθοι που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά έχουν προέλευση *ιζηματογενή, ηφαιστειογενή* και *μεταμορφωσιγενή*. Τα ηφαιστειογενή πετρώματα προέρχονται από τη στερεοποίηση ηφαιστειακής ύλης και στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι γρανίτες. Τα ιζηματογενή δημιουργήθηκαν από αποθέσεις υδατικών διαλυμάτων ή από τη μεταφορά μέσω του

ανέμου, υλικών που προήλθαν από τη διάβρωση των ηφαιστειακών πετρωμάτων και στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ασβεστόλιθοι και οι ψαμμίτες. Τα μεταμορφωσιγενή, στα οποία ανήκουν τα μάρμαρα και οι σχιστόλιθοι, έχουν σχηματιστεί από ανακρυστάλλωση των ιζηματογενών ή ηφαιστειογενών πετρωμάτων, η οποία συνέβη κάτω από κατάλληλες συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Επίσης είναι δυνατόν ο σχηματισμός τους να υπήρξε συνέπεια φυσικοχημικών δράσεων.

Οι τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους, ανάλογα με το αν έχουν ή όχι συνδετικό κονίαμα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

● **Ξερολιθοδομές** είναι οι λιθοδομές που αποτελούνται από ακατέργαστους φυσικούς λίθους χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος. Λόγω της προφανούς αδυναμίας τους να αναλάβουν σημαντικές οριζόντιες δυνάμεις σήμερα χρησιμοποιούνται στη χώρα μας κυρίως για περιφράξεις αλλά και πρόχειρους χαμηλούς τοίχους αντιστήριξης. Στο παρελθόν ξερολιθιές από μεγάλους λίθους (ογκόλιθους) είχαν χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή πρόχειρων καταλυμάτων ιδιαίτερα στην περιοχή της Μάνης.

● **Λιθοδομές** γενικά, ονομάζονται οι τοιχοποιίες που αποτελούνται από φυσικούς λίθους συγκολλημένους με την χρήση κονιάματος. Έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την κατασκευή κάθε είδους δομήματος, όπως οικοδομές, γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης, οχυρωματικά έργα. Υπήρξε το κατ' εξοχήν οικοδομικό υλικό για χιλιάδες χρόνια σε όλες τις περιοχές του κόσμου, με εξαίρεση τις περιοχές που βρίσκονταν σε συμβολές μεγάλων ποταμών, π.χ. στη Μεσοποταμία, όπου χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ομόπλινθοι. Οι λιθοδομές χρησιμοποιούνταν μέχρι την εμφάνιση του οπλισμένου σκυροδέματος για κάθε είδους κατασκευή ενώ η χρήση τους στα κτιριακά έργα εκτοπίστηκε από τις οπτοπλίνθους όταν συστηματοποιήθηκε η παραγωγή τους, δηλαδή στα τέλη του 19ου αιώνα.

● **Χυτές τοιχοποιίες.** Κατασκευάζονται από πλαστικά μείγματα πηλού, κροκάλων και σκυροδέματος, τα οποία στη συνέχεια σκληρύνονται και αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο τοίχου. Χυτές είναι και οι ρωμαϊκές τοιχοποιίες στις οποίες για καλούπι έχουν χρησιμοποιηθεί συμπαγείς οπτόπλινθοι, που αποτελούν ουσιαστικά την εξωτερική επένδυση των τοίχων. Χυτές τοιχοποιίες είναι και οι προκατασκευασμένοι τοίχοι από σκυρόδεμα που κατασκευάζονται βιομηχανικά. Το καλούπι αφαιρείται και ο προκύπτων τοίχος οπλισμένος ή όχι, είναι ένας χυτός τοίχος.

**2) Τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους (πλινθοδομές).** Το υλικό των τοιχοσωμάτων (πλίνθων) των πλινθοδομών είναι βιοτεχνικό ή βιομηχανικό προϊόν κατασκευαζόμενο είτε

επί τόπου είτε μακριά απ' το έργο. Το κύριο χαρακτηριστικό των τεχνητών τοιχοσωμάτων είναι το συγκεκριμένο σχήμα και οι σταθερές διαστάσεις που αυτά διατίθενται. Ανάλογα με το υλικό των τεχνητών τοιχοσωμάτων οι πλινθοδομές διακρίνονται σε:

● **Ωμοπλινθοδομές**, όταν το υλικό είναι ωμόπλινθοι δηλαδή άψητες “χωματόπλιθες”, υλικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη Μεσοποταμία πριν από 12.000 χρόνια περίπου. Στην Ελλάδα, στις πεδινές περιοχές χρησιμοποιήθηκε σε οικοδομικά έργα μέχρι τα πρώτα μετεπαναστατικά χρόνια και σε αγροικίες μέχρι την εμφάνιση των τσιμεντόλιθων. Σε περιοχές της γης όπου η πέτρα είναι σπάνιο υλικό, οι ωμόπλινθοι χρησιμοποιήθηκαν σε πολύ μεγαλύτερη έκταση από όση στην Ελλάδα. Ένα σημαντικό τμήμα των κτιρίων των μη ανεπτυγμένων χωρών αποτελείται από ωμόπλινθους. Η χαμηλή αντοχή τους σε ισχυρές σεισμικές δυνάμεις είναι η αιτία των μεγάλων καταστροφών στις περιοχές αυτές οι οποίες συνοδεύονται και από μεγάλο αριθμό θυμάτων.

● **Οπτοπλινθοδομές**, όταν αποτελούνται από ψημένες (οπτές) πλίνθους, κοινώς τούβλα, τα οποία είναι συνήθως από αργιλικό υλικό (πηλό). Κατασκευές από φέρουσα οπτοπλινθοδομή αποτελούν την πλειονότητα των κτιρίων σε πολλές περιοχές του κόσμου. Τοιχοποιίες από οπτοπλινθοδομή κατασκευάζονται σήμερα είτε ως φέρουσες είτε ως τοιχοπληρώσεις σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Στην Ελλάδα οι οπτόπλινθοι είναι σήμερα σχεδόν το αποκλειστικό υλικό πληρώσεως στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

● **Τσιμεντοπλινθοδομές**, όταν τα τοιχοσώματα είναι τσιμεντόλιθοι, δηλαδή τεχνητά τοιχοσώματα με βάση το σκυρόδεμα. Σήμερα στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή περιφράξεων και αγροτικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Λόγω της κακής θερμομονωτικής ικανότητάς τους η χρήση τους για κατοικία είναι απαγορευτική. Σε πολλές χώρες χρησιμοποιούνται ευρέως ειδικού τύπου τσιμεντόλιθοι με θερμομονωτικές ιδιότητες, κυρίως για την κατασκευή οπλισμένης τοιχοποιίας.

Τελευταία, έχουν παραχθεί ειδικά τοιχοσώματα τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά με διάφορες εμπορικές ονομασίες, απαντώνται σε ποικιλία διαστάσεων και έχουν ως βάση το τσιμέντο, αλλά διαθέτουν ικανοποιητικές θερμομονωτικές ικανότητες λόγω της κυψελοειδούς μορφής της δομής τους. Όταν τα αδρανή είναι από κίσηρη τότε εξασφαλίζεται αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα και οι πλίνθοι ονομάζονται κισηρόλιθοι.

**B. Αναλόγως της λειτουργίας τους στο δόμημα οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε:**

● **Φέρουσες**, όταν προορίζονται να μεταφέρουν στο έδαφος κατακόρυφα ή και οριζόντια φορτία, σε αντίθεση με αυτές που κατασκευάζονται για τη διαμόρφωση των χώρων. Σε ένα κτίριο χωρίς σκελετό, φέροντες είναι οι τοίχοι που μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία από τη στέγη και τα πατώματα στο έδαφος. Υπό σεισμική δράση, τόσο αυτοί οι τοίχοι όσο και όσοι συνδέονται με αυτούς είναι φέροντες. Στη διεθνή βιβλιογραφία οι τοίχοι που συνεισφέρουν στη διατμητική αντίσταση των κτιρίων ονομάζονται διατμητικοί τοίχοι. Αλλά ακόμα και οι τοίχοι πλήρωσης των πλαισίων σε κτίρια με σκελετό, υπό ορισμένες συνθήκες σύνδεσης με τα πλαίσια, είναι φέροντες για οριζόντια φόρτιση και σε αυτό οφείλεται η διαγώνια ρηγμάτωσή τους. Σε ένα κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία όλα τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία πρέπει να κατασκευάζονται πριν από τα οριζόντια που στηρίζουν.

● **Πληρώσεως**, όταν δεν προορίζονται να μεταφέρουν φορτία αλλά κατασκευάζονται για να διαμορφώσουν τους χώρους σε ένα οικοδόμημα. Οι μη φέροντες τοίχοι σε ένα κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία πρέπει να κατασκευάζονται μετά την κατασκευή των πατωμάτων ή πλακών, εκτός αν λαμβάνεται μέριμνα ώστε να μην είναι δυνατή η μεταφορά φορτίων σε αυτούς.

● **Αντιστήριξης**, όταν στηρίζουν γαιώδη πρηνή. Στο σημείο αυτό πρέπει να διαχωριστούν οι παλαιότερες πραγματικές τοιχοποιίες αντιστήριξης από τις νεώτερες που αποτελούν στην πραγματικότητα επένδυση τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα και γίνονται για αισθητικούς λόγους ή για την εναρμόνιση των τοίχων με το περιβάλλον.

● **Επένδυσης**, όταν κατασκευάζονται εν επαφή με τοίχους των ανωτέρω κατηγοριών ή με στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και χρησιμοποιούνται μόνο για διακοσμητικούς σκοπούς. Η δόμησή τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιμελουμένη μιμούμενη τη λαξευμένη λιθοδομή ή λιγότερο, οπότε δίνει την εντύπωση πλακολιθοδομής ή να είναι από ειδικές διακοσμητικές πλίνθους.

**Γ. Αναλόγως του τρόπου δόμησης** μία τοιχοποιία είτε είναι από φυσικούς είτε από τεχνητούς λίθους, διακρίνεται σε **συμπαγή** και σε **κοίλη** ή **με πυρήνα**. Σε μια κατακόρυφη τομή σε συμπαγή τοιχοποιία δε διακρίνονται κατακόρυφως ξεχωριστές στρώσεις, ενώ στην κοίλη διακρίνονται εξωτερική και εσωτερική στρώση και ανάμεσά τους πυρήνας είτε κενός, είτε πληρωμένος με κονίαμα, το οποίο μπορεί να είναι κροκαλόδεμα ή σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα. Εφόσον μια κοίλη τοιχοποιία με κενό πυρήνα χρησιμοποιείται ως φέρουσα είναι απαραίτητη η σύνδεση των κατακόρυφων στρώσεων με συνδέσμους και κάθε μία στρώση πρέπει να έχει ελάχιστο πάχος 10cm.



## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

### 1. ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων της πέτρινης τοιχοποιίας είναι αρκετά δύσκολος για δυο λόγους: αφ' ενός σαν υλικό δεν είναι ούτε ομογενές ούτε ισότροπο (δεν παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες, πχ μηχανικές, ανεξάρτητα από τη διεύθυνση εξέτασης του) και αφ' ετέρου μιας και δεν παρασκευάζεται με βιομηχανικό τρόπο δεν έχει σταθερή ποιότητα. Γι αυτούς τους λόγους η τιμή των μηχανικών ιδιοτήτων εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων τους οποίους και θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

#### Παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή

- Το υλικό και το πάχος του αρμού
- Το ύψος του τοιχοσώματος
- Είδος διάτρητων τοιχοσωμάτων
- Η διαπλοκή των τοιχοσωμάτων, ο τύπος του τοίχου και η διεύθυνση φόρτισης
- Κατασκευαστικές λεπτομέρειες
- Ποιότητα κατασκευής

Όσον αφορά το υλικό και το πάχος του αρμού έχει αποδειχθεί μέσω πειραμάτων θλίψης που πραγματοποιήθηκαν από τον Monk αλλά και του Morsy σε τούβλινα δοκίμια πως το κονίαμα ρυθμίζει την τελική αντοχή της. Αναφορικά με την επίδραση που έχει το **ύψος** του τοιχοσώματος στην θλιπτική αντοχή του ισχύει ότι όσο το ύψος του τοιχοσώματος αυξάνεται, η επίδραση των πλακών μειώνεται και επομένως μειώνεται και η μετρούμενη θλιπτική αντοχή. Αξίζει να τονίσουμε εδώ ότι η επίδραση των πλακών της συσκευής θλίψης μπορεί να μειωθεί εάν οι πλάκες αποκτήσουν μορφή βούρτσας οπότε δεν παρεμποδίζεται η εγκάρσια παραμόρφωση του τοιχοσώματος. Τα αποτελέσματα από τα πειράματα που διεξήχθησαν για τον προσδιορισμό της επίδρασης **των οπών** στη θλιπτική αντοχή των τούβλων απέδειξαν ότι για οπές σε ποσοστό περίπου 20% της επιφανείας τους, οι κυκλικού

σχήματος οπές πρακτικά επηρεάζουν ελάχιστα τη θλιπτική αντοχή τους, σε αντίθεση με τις ορθογωνικές οπές οι οποίες και την μειώνουν. Η μείωση αυτή είναι πιθανόν να οφείλεται στη συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες των οπών, όχι μόνο στο στάδιο λειτουργίας αλλά και στο στάδιο της παραγωγής.

Ο πιο σημαντικός ίσως παράγοντας που επηρεάζει τη θλιπτική αντοχή μιας πέτρινης τοιχοδομής είναι η ποιότητα δόμησης. Η θλιπτική αντοχή που εμφανίζει η πέτρα μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που εμφανίζουν πρίσματα λιθοδομής λόγω χάρη, εξαιτίας του τρόπου δόμησης τους. Έτσι τοίχοι με πυρήνα από μικρές πέτρες και άφθονο ασβεστοκονίαμα είναι φυσικό να έχουν μικρότερη αντοχή από καλοδομημένους συμπαγής τοίχους από τα ίδια υλικά. Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η τοιχοποιία μπορεί να φορτιστεί υπό διεύθυνση άλλη της κάθετου στους αρμούς διάστρωσης. Τα αποτελέσματα πειραμάτων απέδειξαν, όπως ήταν αναμενόμενο, μείωση της θλιπτικής αντοχής όταν η φόρτιση είναι υπό γωνία ως προς την κάθετο στους αρμούς, πλην όμως δεν έχει καταστεί δυνατή η εξαγωγή μιας σχέσης για τον προσδιορισμού του ποσού της μείωσης. Από τον EC 6 συνίσταται όπως αυτή προσδιορίζεται πειραματικά.

Ας εξετάσουμε τώρα την επίδραση που έχουν οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες στην θλιπτική αντοχή μιας πέτρινης κατασκευής ξεκινώντας από τα συγκεντρωμένα φορτία. Η επίδραση που θα έχουν τα φορτία στην τοιχοποιία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: ο λόγος της φορτισμένης επιφάνεια προς το μήκος του τοίχου, η θέση του φορτίου κατά μήκος, ο τρόπος επιβολής του κατά το πάχος του τοίχου, το μέσον επιβολής, ο τύπος και η αντοχή των υλικών της τοιχοποιίας, ο λόγος ύψους προς το μήκος και το πάχος του τοίχου κα. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και οι εγκοπές στο σώμα του τοίχου. Οι εγκοπές αυτές δημιουργούνται σε όλες της πέτρινες κατασκευές προκειμένου να εξυπηρετήσουν την ανάγκη που δημιουργείται για τη δίοδο των ηλεκτρικών καλωδίων και των υδραυλικών σωλήνων. Οι εγκοπές δημιουργούν ασθενείς περιοχές επειδή αυξάνουν τις τάσεις στο εναπομένον πάχος του τοίχου. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι οι εγκοπές αυτές είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς σε λεπτούς τοίχους και κυρίως όταν έχουν οριζόντια η διαγώνια διεύθυνση όποτε και επηρεάζουν μεγάλο μέρος τους. Βεβαίως υπάρχει η δυνατότητα αποφυγής των οπών αυτών με την τοποθέτηση των καλωδίων και των σωλήνων στο στάδιο της κατασκευής. Σε περίπτωση όμως που χρειαστεί να γίνουν εγκοπές στο σώμα του τοίχου τότε θα πρέπει να γίνονται όσο το δυνατόν λεπτότερες, σταθερότερες και κατακόρυφες. Σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων των εγκοπών και των εσοχών που δεν επηρεάζουν την ικανότητα ανάληψης κατακόρυφου φορτίου αναφέρονται στον EC 6. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε και το ρόλο

που παίζει η ποιότητα της κατασκευής στην θλιπτική της αντοχή. Λόγω του ότι η τοιχοποιία είναι υλικό που κατασκευάζεται επιτόπου του έργου από εργοτεχνικό προσωπικό που η εμπειρία του ποικίλει και υπό διάφορες κλιματολογικές συνθήκες η αντοχή της μπορεί να διαφέρει επηρεαζόμενη από τους παραπάνω παράγοντες. Είναι αρκετά σύνηθες φαινόμενο να συνυπάρχουν μερικοί από τους παραπάνω παράγοντες με αποτέλεσμα η μείωση της αντοχής της τοιχοποιίας να φτάσει σε αρκετά μεγάλο ποσοστό. Ας δούμε τώρα τους παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή της τοιχοποιίας και για τους οποίους υπάρχουν στοιχεία για την επιρροή τους στη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.

- *Η λανθασμένη αναλογία στο μείγμα του κονιάματος*, η οποία μεταβάλλει τη θλιπτική αντοχή του. Έχει περισσότερη σημασία σε τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους που έχουν υψηλή θλιπτική αντοχή και λιγότερο σε οπτοπλινθοδομές (Τάσιος 1992)
- *Ο μη κανονικός ρυθμός απορρόφησης υγρασίας*. Απορρόφηση μεγάλης ποσότητας ύδατος δημιουργεί μετά την εξάτμιση κοιλότητες με αέρα στο κονίαμα και συρρίκνωση του υλικού με αποτέλεσμα την ελλειπή εδραίωση των τοιχοσωμάτων. Στον αντίποδα δόμηση με κορεσμένα από υγρασία τούβλα εγκυμονεί κινδύνους μιας και το χειμώνα παρατηρείτε η δημιουργία πάγου.
- *Η κακή αρμολόγηση*. Κακή διάστρωση των οριζοντίων αρμών μπορεί να επιφέρει μείωση μέχρι και 33% της θλιπτικής αντοχής. Κακή διάστρωση ωστόσο των κατακόρυφων αρμών δεν έχει αποδειχθεί πως επηρεάζει σημαντικά την θλιπτική αντοχή των τοίχων. Κατά τον EC6 εκτιμάται μόνο στον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής.
- Η απόκλιση του τοίχου από την κατακόρυφο, λόγω της δημιουργίας εκκεντροτήτων των φορτίων με συνέπεια την αύξηση των τάσεων.
- Η κατασκευή υπό ακραίες κλιματολογικά συνθήκες. Έχει αποδειχθεί ότι η κατασκευή και διατήρηση ενός τοίχου υπό υψηλή θερμοκρασία, περί των 40°C μείωσε λίγο την αντοχή του. Παραδόξως η δόμηση και διατήρηση τοίχων σε θερμοκρασία -5°C δεν είχε καμία συνέπεια στην αντοχή της τοιχοποιίας.

## 2. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η καμπτική αντοχή της τοιχοποιίας δηλαδή ουσιαστικά η εφελκυστική αλλά και η διατμητική της αντοχή εξαρτώνται από τη συνεργασία του κονιάματος και των τοιχοσωμάτων η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες κάποιους από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω:

- η σύνθεση του κονιάματος και ειδικότερα ο λόγος άμμος/τσιμέντο, ο λόγος τσιμέντο/νερό, η περιεκτικότητα σε νερό καθώς επίσης και τυχόν χημικά πρόσθετα που μπορεί να υπάρχουν στο νερό
- το είδος του τοιχοσωματος και ειδικότερα το πορώδες, η υγρασία, η μορφή της διεπιφάνειας και η μακροκατασκευή του, δηλαδή η μορφή, η ύπαρξη και το μέγεθος των οπών και των εγκοπών.

Υπάρχουν όμως και άλλα στοιχεία που επηρεάζουν την συνεργασία κονιάματος και τοιχοσωματος όπως η ροή του νερού, η συστολή των υλικών, ο βαθμός και η μεταβολή της ενυδάτωσης, η πυκνότητα των υλικών ενυδάτωσης το πορώδες, η χημική συνεργασία και το εργάσιμο.

Όσον αφορά τις ανάγκες σχεδιασμού των κατασκευών μεγαλύτερη σημασία παρουσιάζει ο προσδιορισμός της καμπτικής εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας και όχι της καθαρά εφελκυστικής αντοχής. Αυτό συμβαίνει γιατί οι εφελκόμενες περιοχές στους τοίχους των κατασκευών δημιουργούνται είτε λόγω εκκεντρότητας των κατακόρυφων φορτίων εντός ή εκτός του επιπέδου τους είτε λόγω της ύπαρξης οριζοντίων δυνάμεων εγκάρσιο στο επίπεδο τους (άνεμος, σεισμός) καθώς επίσης και σε καμπτόμενα τμήματα όπως είναι τα ανώφλια. Η καμπτική εφελκυστική αντοχή για κάμψη σε επίπεδο παράλληλο στους αρμούς (κάθετη αστοχία) έχει αποδειχθεί μεγαλύτερη από 2 έως 5 φορές από όση για κάμψη κάθετα σε αυτούς (παράλληλη αστοχία). Ο λόγος των δυο αντοχών εξαρτάται από πλήθος παραγόντων και είναι ένα μέτρο της ανισοροπίας του υλικού. Προτείνεται να λαμβάνεται ίσος με 2.0 αν και πειραματικά έχει βρεθεί για τοιχοποιίες από αργιλικά τούβλα ότι κυμαίνεται από 1.5 έως 8.0.

### **Παράγοντες που επηρεάζουν τον λόγο παράλληλης/κάθετης κάμψης:**

- η αντοχή των τοιχοσωμάτων
- η πλήρωση των οπών με κονίαμα σε διάτρητα τούβλα, καθώς εξασφαλίζει συνθήκες μικρότερης ανισοροπίας. Η πλήρωση των οπών με κονίαμα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την

εφελκυστική αντοχή κάθετα στους αρμούς, επομένως μειώνει το λόγο των δυο αντοχών.

● Το ποσοστό των οπών, αφού στην περίπτωση αστοχίας με διάδοση των ρωγμών μέσω των τοιχοσωματων η αντοχή αυξάνεται όσο το ποσοστό των οπών μειώνεται.

● Ο λόγος των πλευρών των τοιχοσωματων αποδεικνύεται σημαντικός σε ορισμένες περιπτώσεις συμπαγών τούβλων, όταν η αστοχία συμβαίνει με διάδοση ρωγμών δια μέσου των τοιχωμάτων.

● Η ύπαρξη κατακόρυφης θλιπτικής τάσης, η οποία αυξάνει την εφελκυστική αντοχή κάθετα στους αρμούς

### **3. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Εκτός από θλιπτική και καμπτική ένταση οι φέροντες τοίχοι από τοιχοποιία προορίζονται να αναλαμβάνουν και τέμνουσες δυνάμεις που προέρχονται από τα κατακόρυφα φορτία. Επομένως στον τοίχο μπορεί να αναπτυχθούν τάσεις λόγω των ορθών δυνάμεων, των τεμνουσων και των τυχών ροπών. Οι τρόποι αστοχίας υπό τη συνδυασμένη αυτή ένταση είναι:

● διατμητική ολίσθηση μέσω των αρμών του κονιάματος

● διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση

● θλιπτική αστοχία λόγω τέμνουσας

Πρότυπες δοκιμές για τον πειραματικό προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας δεν έχουν θεσπισθεί.

Σε αντίθεση με αυτό στον EC6 συνίσταται η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας να προσδιορίζεται από πειραματικούς έλεγχοι. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό τότε πρέπει να θεωρείται ότι η αστοχία θα επέλθει λόγω κάποιου εκ των κατωτέρων αιτιών:

α) της διατμητικής αστοχίας των αρμών

β) της υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του τοιχοσωματος οπότε η ρωγμή θα διαδοθεί και μέσω των τοιχοσωματων, η οποία λαμβάνεται ίση με πολύ μικρο ποσοστό της θλιπτικής αντοχής.

γ)της υπέρβασης της συνάφειας μεταξύ δυο υλικών, τοιχοσωματος και κονιάματος, οπότε η ρηγματώση θα εκδηλωθεί με οριζόντια ολίσθηση κατά μήκος των αρμών και τελικώς η διατμητική τάση που δύναται να προκαλέσει κάποιο από τα ανωτέρω είδη αστοχίας. Η συνάφεια υπό μηδενική ορθή τάση πρέπει να προσδιορίζεται κατά τα πρότυπα EN 1052-3 ή EN 1052-4.

## **2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΜΟΦΩΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Μελετώντας τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή για κατακόρυφα φορτία, έχουν όμως μειωμένη αντοχή στις δράσεις που δημιουργούν εφελκυστικές τάσεις, όπως είναι για παράδειγμα ο σεισμός και οι διαφορικές καθιζήσεις. Παρ' ολ' αυτά κτίρια με κατάλληλη μόρφωση και καλή ποιότητα δόμησης έχουν δείξει πολύ καλή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια ακόμα και ισχυρών σεισμών. Στοιχεία που επηρεάζουν, σε διαφορετικό βαθμό βέβαια το καθένα, την αντοχή των κτιρίων υπό την επίδραση σεισμικών δράσεων είναι: το σύστημα της τοιχοποιίας που έχει χρησιμοποιηθεί, η ύπαρξη ή όχι πλακών και/ή οριζοντίων διαζωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι διάφορες προσθήκες καθ' ύψος ή κατ' επέκταση του κτιρίου, οι επισκευές και τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί, η κανονικότητα και η συμμετρία σε κάτοψη και καθ' ύψος του κτιρίου, και διάφορα άλλα. Ας αναφέρουμε λοιπόν τα διάφορα συστήματα τοιχοποιίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια πέτρινη κατασκευή.

### **2.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ**

● **Απλή φέρουσα τοιχοποιία:** Σε περιοχές με μεγάλη σεισμικότητα όπως είναι αρκετά μέρη στην Ελλάδα τα κτίρια από απλή φέρουσα τοιχοποιία πρέπει έχουν περιμετρικά του κτιρίου ζώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα σε κατάλληλες στάθμες καθ' ύψους των τοίχων κάθε ορόφου. Η χρήση των οριζοντίων διαζωμάτων (σενάζ) έχει επικρατήσει στην Ελλάδα τα μεταπολεμικά χρόνια και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα ευνοϊκή για τη σεισμική απόκριση τους. Αξίζει να τονίσουμε ότι οριζόντια διαζώματα στη στάθμη των ανωφλίων συναντώνται και σε παλαιότερα κτίρια, αλλά σπανίως κατασκευάζονταν περιμετρικά όλων των φέροντων τοίχων, αφού η κατασκευή τους είχε σκοπό μόνο τη διαμόρφωση του ανωφλίου, διότι η άξια

των διαζωμάτων στην απόκριση των κτηρίων από τοιχοποιία δεν είχε ακόμα εκτιμηθεί.

● **Διαζωματική ή περισφιγμένη τοιχοποιία:** είναι το δομικό σύστημα που αποτελείται από κατακόρυφες και οριζόντιες ζώνες οπλισμένου σκυροδέματος ανά κανονικά διαστήματα, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους ώστε να περισφίγγουν τους άοπλους τοίχους. Η χρήση της στην Ελλάδα δεν είναι συστηματική, δηλαδή δεν αποτελεί το συνήθη τρόπο δόμησης των κατασκευών από τοιχοποιία, άλλα χρησιμοποιείται μεμονωμένα.

### 2.3.1.1 ΑΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Ας εξετάσουμε λοιπόν τώρα λίγο καλύτερα μερικά από τα χαρακτηριστικά της απλής τοιχοποιίας, ξεκινώντας από τα οριζόντια διαζώματα. Συνήθως κατασκευάζονται στη στάθμη της οροφής κάθε ορόφου και στη στάθμη των ανωφλίων ή/και των κατωφλίων των ανοιγμάτων και είναι πολύ αποτελεσματικά στην ανάληψη οριζοντίων σεισμικών εφελκυστικών τάσεων λόγω κάμψης των τοίχων εγκάρσια στο επίπεδο τους και στην αποφυγή αποκόλλησης τους από τους εγκάρσιους και ανατροπής τους. Τα οριζόντια διαζώματα πρέπει να διατάσσονται σε όλες τις στάθμες των ορόφων και στη στέψη φερόντων και μη φερόντων τοίχων, ακόμα και στη στέψη των θεμελίων, σε περίπτωση που αυτά δεν κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε ενδιάμεσες στάθμες κατασκευάζονται σε τοίχους αν το ύψος τους υπερβαίνει τα 4μ. Πρέπει να κατασκευάζονται περιμετρικώς του κτηρίου, να έχουν πάχος όσο το πάχος της πλάκας του τοίχου, το δε ύψος τους πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο το πάχος της πλάκας και πάντως όχι λιγότερο από 15εκ. Σύμφωνα με το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής, το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα πρέπει να είναι τουλάχιστον C12/15, το δε ποσοστό ελάχιστου διαμήκους οπλισμού να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{\min} = f_{ctm} / f_{yk}$$

Όπου:

$f_{ctm}$  είναι η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και

$f_{yk}$  είναι η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του χάλυβα οπλισμού των ζωνών

Ο οπλισμός που προκύπτει από την εφαρμογή αυτής της σχέσης δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 200<sub>mm</sub><sup>2</sup> και πρέπει να αγκυρώνεται σύμφωνα με όσα προβλέπει η παράγραφος 17.7 του ΕΚΟΣ 2000. Οι συνδετήρες πρέπει να είναι τουλάχιστον Φ6/250.

### 2.3.1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΠΟ ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Ας εξετάσουμε τώρα πως γίνεται ο σχεδιασμός των τοίχων από άοπλη τοιχοποιία, ξεκινώντας από τους έλεγχους που πρέπει να εφαρμοστούν. Σύμφωνα με την φιλοσοφία των Ευρωκωδικών τα δομικά μέλη πρέπει να ελέγχονται ώστε να εκπληρούνται οι οριακές καταστάσεις αντοχής και λειτουργικότητας. Τα κτίρια από τοιχοποιία λόγω της δομής τους θεωρείται ότι όταν εκπληρούν τις απαιτήσεις της οριακής κατάστασης αντοχής εκπληρούν συγχρόνως και τις απαιτήσεις της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, διότι οι παραμορφώσεις τους δεν είναι τέτοιες που να απαιτείται ιδιαίτερος έλεγχος για αυτές. Για κάθε σχετικό έλεγχο οριακής κατάστασης πρέπει να θεωρείται ένα προσομοίωμα της κατασκευής το οποίο θα λαμβάνει υπόψη:

- Τον τύπο και τα υλικά της κατασκευής καθώς και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται
- Τη συμπεριφορά όλης της κατασκευής, άλλα και των τμημάτων της που σχετίζονται με τη θεωρούμενη οριακή κατάσταση.
- Τις δράσεις και πως ενεργούν στην κατασκευή

Επιπλέον, ο σχεδιασμός πρέπει να περιλαμβάνει εκτός από το σύνολο και τα τμήματα της κατασκευής( πχ. τοίχους, ανώφλια, διαζώματα).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΕΛΕΓΧΟΙ- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

### 3.1 Γενικά

Κάθε τμήμα μιας κατασκευής πρέπει να ελέγχεται στην οριακή κατάσταση αντοχής. Επιπλέον έλεγχος για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δεν χρειάζεται όπου αυτή κρίνεται ότι ικανοποιείται όταν ικανοποιείται η οριακή κατάσταση αστοχίας. Βέβαια, σ αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η λειτουργικότητα δεν βλάπτεται από παραμορφώσεις άλλων δομικών στοιχείων όπως πχ. τοίχοι από μεγάλα βέλη πλακών. Κατά το σχεδιασμό ισχύει η βασική ανισότητα:

$$S_d \leq R_d$$

$S_d$  είναι η δράση σχεδιασμού, και

$R_d$  είναι η αντίσταση ή δύναμη σχεδιασμού αντοχής

Η δράση σχεδιασμού προκύπτει από τους συνδυασμούς φορτίσεων και με τους επιμέρους συντελεστές για κάθε δράση, όπως αυτοί ορίζονται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Έτσι πρέπει να ισχύει:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Όπου:

$N_{Rd}$  και  $N_{Sd}$  είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού αντοχής (αντίσταση σε αξονική δύναμη) και η δρώσα αξονική δύναμη σχεδιασμού αντιστοίχως

$V_{Rd}$  και  $V_{Sd}$  είναι η τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού αντοχής και η δρώσα τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού αντιστοίχως

$M_{Rd}$  και  $M_{Sd}$  είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού αντοχής και η δρώσα καμπτική ροπή σχεδιασμού αντιστοίχως.

Η αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας είναι η χαρακτηριστική αντοχή διαιρεμένη με

τον κατάλληλο επιμέρους συντελεστή ασφαλείας γμ, ο οποίος εξαρτάται από την ποιότητα παραγωγής των λιθοσωμάτων και από το επίπεδο παρακολούθησης των εργασιών κατασκευής του έργου. Κατά το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής του EC6 και οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για σεισμικά φορτία παραμένουν ίσοι με αυτούς για τις μόνιμες δράσεις.

### **3.2 Έλεγχος τοίχων από άοπλη τοιχοποιία κυρίως υπό κατακόρυφα φορτία**

Η ικανότητα των τοίχων στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων εξαρτάται από τη γεωμετρία του τοίχου(διαστάσεις, λυγηρότητα), τις οριακές συνθήκες στα άκρα του, δηλαδή την ύπαρξη η όχι πλακών άνω και κάτω από τον τοίχο και την ύπαρξη τυχόν εγκάρσιων τοίχων, την εκκεντρότητα των φορτίων και τέλος το υλικό της τοιχοποιίας.

#### **3.2.1 Αξονική δύναμη αντοχής τοίχου**

Για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής ενός τοίχου γίνονται οι εξής υποθέσεις:

- Οι επίπεδες διατομές παραμένουν επίπεδες
- Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας κάθετα στους αρμούς λαμβάνεται ίση με μηδέν

Κατά το σχεδιασμό μιας κατασκευής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Η μακροχρόνια επιρροή των φορτίων,
- Τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως,
- Οι εκκεντρότητες των φορτίων όπως αυτές προκύπτουν από τη θέση και τις συνοριακές συνθήκες των τοίχων και τον τρόπο έδρασης των πλακών
- Οι εκκεντρότητες από τυχόν απόκλιση της κατασκευής από την κατακόρυφο, αλλά και λόγω αλλαγής των ιδιοτήτων των υλικών σε τμήματα του τοίχου αλλά και των γεωμετρικών στοιχείων.

Στην οριακή κατάσταση αντοχής το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού ενός τοίχου  $N_{Sd}$  και η κατακόρυφη αξονική δύναμη αντοχής  $N_{Rd}$  συνδέονται με τη σχέση:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd}$$

Η αξονική δύναμη σχεδιασμού αντοχής ενός άοπλου τοίχου δίδεται από τη σχέση:

$$N_{Rd} = \Phi_i f_d t / \gamma_m$$

Όπου:

- $\Phi_i$  μειωτικός συντελεστής που εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η λυγηρότητα του τοίχου και η πιθανή εκκεντρότητα των φορτίων και υπολογίζεται στην παράγραφο 3.2.2
- $f_d$  θλιπτική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας
- $t$  το πάχος του τοίχου
- $\gamma_m$  ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας

#### **Επισημαίνεται ότι:**

- Όταν το εμβαδόν της διατομής ενός τοίχου είναι μικρότερο από  $0.1\text{m}^2$ , η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού  $f_d$  της τοιχοποιίας πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον ακόλουθο συντελεστή:

$$(0.7 + 3A)$$

όπου  $A$  είναι η φορτιζόμενη οριζόντια διατομή του στοιχείου σε τετραγωνικά μέτρα.

- Στην περίπτωση κοίλων τοίχων, κάθε μονός τοίχος θα πρέπει να ελέγχεται χωριστά, λαμβάνοντας υπόψη την οριζόντια διατομή του φορτιζόμενου τοίχου και την λυγηρότητα που προκύπτει βάσει του ενεργού πάχους του κοίλου τοίχου
- Ένα πέτασμα όψεως, θα πρέπει να μελετάται όπως και ένας μονός τοίχος, κατασκευασμένος με τα ασθενέστερα λιθοσώματα
- Ένας διπλός τοίχος του οποίου οι δυο τοίχοι συνδέονται, μπορεί να υπολογίζεται ως μονός υπό τον όρο ότι και οι δυο τοίχοι που τον αποτελούν υποβάλλονται σε παρόμοιου μεγέθους φορτίο. Αλλιώς υπολογίζεται ως κοίλος τοίχος.
- Όταν οι εγκοπές βρίσκονται εκτός των ορίων που δίδονται στην παράγραφο 8.6 του EC6, η επιρροή τους στην φέρουσα ικανότητα του τοίχου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως

ακολουθως:

- οι κατακόρυφες εγκοπές ή εσοχές θα πρέπει να θεωρηθούν είτε ως πέρατα του τοίχου είτε, εναλλακτικώς, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το μειωμένο πάχος του τοίχου στη θέση της εσοχής ή της εγκοπής κατά τον υπολογισμό της αντίστασης σχεδιασμού έναντι κατακόρυφων φορτίων.

- οι οριζόντιες ή κεκλιμένες εγκοπές θα πρέπει να αντιμετωπισθούν κατά τον έλεγχο της αντοχής του τοίχου στην περιοχή τους, λαμβάνοντας υπόψη την εκκεντρότητα του φορτίου.

### 3.2.2 Μειωτικός συντελεστής λόγω λυγηρότητας και εκκεντρότητας

Η τιμή του μειωτικού συντελεστή  $\Phi$  για την λυγηρότητα και την εκκεντρότητα μπορεί να βασίζεται στην παραδοχή ορθολογικού διαγράμματος θλιπτικών τάσεων και να υπολογίζεται ως εξής:

$$\Phi_i = 1 - 2 e_i/t$$

όπου:

$t$  είναι το πάχος του τοίχου

$e_i$  είναι η εκκεντρότητα στην κορυφή ή στην βάση του τοίχου, υπολογιζόμενη από την εξίσωση:

$$e_i = M_{id} / N_{id} + e_{he} + e_{init} \geq 0.05 t$$

$M_{id}$  είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού στη κορυφή ή στην βάση του τοίχου, υπολογιζόμενη βάσει της εκκεντρότητας του φορτίου του πατώματος στην θέση της στηρίξεως

$N_{id}$  είναι το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού στην κορυφή ή στην βάση του τοίχου

$e_{he}$  είναι η εκκεντρότητα που προκύπτει από οριζόντια φορτία (πχ. άνεμο)

$e_{mit}$  είναι η αρχική εκκεντρότητα

### 3.3 Τοίχοι από άοπλη τοιχοποιία υπό τέμνουσα

(1) Στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{sd}$ , πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την αντίσταση σχεδιασμού έναντι τέμνουσας  $V_{rd}$ , έτσι ώστε:

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

(2) Η αντίσταση σχεδιασμού έναντι τέμνουσας δίδεται από τη σχέση:

$$V_{rd} = f_{vd} t l_c$$

όπου:

$t$  είναι το πάχος του τοίχου

$l_c$  είναι το μήκος της θλιβόμενης ζώνης του τοίχου (αμελούνται οι εφελκόμενες περιοχές)

$f_{vd}$  είναι η διατμητική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας, όπως προκύπτει από τους παρακάτω τύπους, βάσει της μέσης κατακόρυφης τάσης στην θλιβόμενη ζώνη του τοίχου και αμελώντας όλα τα εφελκόμενα τμήματα του τοίχου, υπολογιζόμενη από την εξίσωση:

$f_{vd} = f_{vk}/\gamma_m$  όπου:

$\gamma_m$ : συντελεστής ασφαλείας

$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$  όπου:

$\sigma_d = N_{id}/E$  είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής τάσεως της κάθετης προς την τέμνουσα του στοιχείου στην θεωρούμενη στάθμη και η οποία έχει προκύψει βάσει του

κατάλληλου συνδυασμού φορτίσεως και

$$f_{vk0}=100 \text{ kn/m}^2$$

(3) Το μήκος της θλιβόμενης ζώνης του τοίχου,  $l_c$ , πρέπει να υπολογίζεται βάσει της παραδοχής ομοιόμορφης κατανομής των θλιπτικών τάσεων και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανοίγματα, τις εγκοπές και τις εσοχές. Οποιοδήποτε τμήμα του τοίχου υποβάλλεται σε κατακόρυφες εφελκυστικές τάσεις, δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της διατομής του τοίχου η οποία αναλαμβάνει την τέμνουσα.

(4) Οι συνδέσεις μεταξύ διατμητικού τοίχου και εγκάρσιων τοίχων πρέπει να ελέγχονται έναντι κατακόρυφης τέμνουσας.

(5) Το θλιβόμενο μήκος του τοίχου θα πρέπει να ελέγχεται έναντι κατακόρυφων φορτίων και τέμνουσας

### **3.4 Τοίχοι από άοπλη τοιχοποιία υπό εκτός επιπέδου φόρτιση**

(1) Στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η δρώσα καμπτική ροπή σχεδιασμού επί του τοίχου,  $M_{sd}$ , πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την αντίσταση σχεδιασμού του τοίχου έναντι καμπτικής ροπής  $M_{rd}$ , έτσι ώστε:

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

(2) Ο λόγος  $\mu$  των καμπτικών αντοχών της τοιχοποιίας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό.

(3) Η εκτός επιπέδου αντίσταση σχεδιασμού έναντι καμπτικής ροπής  $M_{rd}$  ανά μονάδα μήκους ή ύψους, δίδεται από τη ακόλουθη σχέση:

$$M_{rd}=f_{xd} Z$$

ΟΠΟΥ

$f_{xd}$  είναι η καμπτική αντοχή σχεδιασμού για το κατάλληλο επίπεδο κάμψης και

$Z$  είναι η ροπή αντίστασης ανά μονάδα μήκους ή ύψους του τοίχου

### 3.5 Excel

Οι παραπάνω έλεγχοι ενσωματώθηκαν σε φύλλο excel, όπου για κάθε πεσσό του κτηρίου, γίνονταν μια φορά στη βάση και μια στην κορυφή του. Στο συγκεκριμένο excel αρχικά πρέπει να προσθέσεις τις ιδιότητες του πεσσού που εξετάζεις, όπως το ύψος και το πάχος του τοίχου, καθώς επίσης και τις εκκεντρότητες που υπάρχουν και οφείλονται στα φορτία που ασκούνται στον πεσσό. Στη συνέχεια μπορείς να ελέγξεις αν τα εντατικά φορτία (N,V, M) ανταποκρίνονται στα όρια που έχουν τεθεί για τα συγκεκριμένα μεγέθη στη φάση του σχεδιασμού πολύ απλά συγκρίνοντας τα με τα ίδια τα μεγέθη σχεδιασμού που προκύπτουν από το συνδυασμό των παραπάνω ιδιοτήτων και κάποιων πραγματικών μεγεθών. Το φύλλο που σχεδιάστηκε είχε την παρακάτω μορφή (εικ.)

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G	Column H	Column I	Column J	Column K	Column L
2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ											
3	Υψος ελεγχόμενου πεσσού	$h$	2,5 m									
4	Αποτελεσματικό ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h_{eff}$	2,5 m									
5	Ροπή σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$M_{Ed}$	1,00E-015 kNm									
6	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$N_{Ed}$	220,347 kN									
7	Εκκενρότητα από οριζόντια φορτία EC6 (6.1.2.2)	$e_{pe}$	0 m									
8	Αρχική εκκενρότητα	$e_{ps}$	0,0055556 m									
9	Πάχος τοίχου	$t$	0,5 m									
10	Εκκενρότητα τοίχου EC6 (6.1.2.2)	$e_{ei}$	0,0055556 m			αξονική αντοχή σχεδιασμού	$N_{Rd}$	611,11111 kN				
11						αξονικό φορτίο σχεδιασμού	$N_{Ed}$	220,347 kN				
12	Μειωτικός συντελεστής ληψρότητας και εκκενρότητας EC6	$\psi_{ei}$	0,9777778			Αποτέλεσμα ελέγχου		1				
13	Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$f_{td}$	2500 kN/m <sup>2</sup>									
14	Συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_m$	2									
17	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΤΥΧΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ											
18	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ											
19	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$N_{Ed}$	117,359 kN			χαρακτηριστική αρχική διατμητική δύναμη	$V_{k0}$	100				
20	Μήκος ελεγχόμενου πεσσού	$l_s$	0,9 m			χαρακτηριστική διατμητική δύναμη τοιχοποιίας	$V_{k}$	204,31911				
21	Πάχος τοίχου	$t$	0,5 m			διατμητική αντοχή σχεδιασμού του τοίχου EC6 (6.2)	$f_{td}$	102,15956 kN/m <sup>2</sup>				
22	Εμβαδόν ελεγχόμενου πεσσού	$A_{pe}$	0,45 m <sup>2</sup>									
23						διατμητική αντοχή σχεδιασμού	$V_{Rd}$	45,9718 kN				
24						διατμητικό φορτίο σχεδιασμού	$V_{Ed}$	16,29 kN				
25						Αποτέλεσμα ελέγχου		1				
26												
27												
28												
29												
30												
31	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΟΠΩΝ											

Εικόνα 1: Αρχική μορφή του φύλλου που σχεδιάστηκε στο excel

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΤΡΙΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ-ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

#### **4.1 Περιγραφή κατασκευής**

Το κτίριο που εξετάζεται στη συγκεκριμένη πτυχιακή, βρίσκεται στο χωριό Άγιος Κωνσταντίνος, 1,5 χιλιόμετρο έξω από την Τρίπολη, πρωτεύουσα του νομού Αρκαδίας. Πρόκειται για κτίριο χτισμένο περί το 1920.

##### **4.1.1 Διαστάσεις- Χαρακτηριστικά κτηρίου**

Το κτίριο που εξετάζεται είναι σχήματος ορθογωνικού με διαστάσεις 6μ x 11.95μ. Η μικρή πλευρά αποτελεί και την πρόσοψη του κτηρίου. Αποτελείται από το ισόγειο και έναν ακόμα όροφο, ενώ καλύπτεται από τετράριχτη κεραμιδένια στέγη. Οι τοίχοι του έχουν το ίδιο πάχος και στο ισόγειο και στον όροφο ίσο με 0.5μ περιμετρικά του κτηρίου. Το αξιοσημείωτο για το συγκεκριμένο οικοδόμημα είναι η έλλειψη σχεδόν ολόκληρης της μιας πλευράς του κτηρίου, η στατική λειτουργία της οποίας έχει υποκατασταθεί με προσωρινά μεταλλικά υποστυλώματα. Η μορφή του κτηρίου σήμερα, παρουσιάζεται στις εικόνες 4.1, 4.2, 4.3

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πρόσοψη του κτηρίου



*Εικόνα 2: Πρόσοψη κτηρίου*



Η παρακάτω εικόνα δείχνει την δεξιά πλευρά του κτηρίου



*Εικόνα 3: Πλάγια όψη κτηρίου*

Η αριστερή πλευρά του κτηρίου, στην οποία και απουσιάζει ο τοίχος. Διακρίνονται τα μεταλλικά υποστυλώματα που υποβαστάζουν τα φορτία της στέγης.



*Εικόνα 4: Πλάγια όψη κτιρίου, από την οποία απουσιάζει ο τοίχος*

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται αρχικά ανάλυση και επίλυση του συγκεκριμένου μοντέλου.

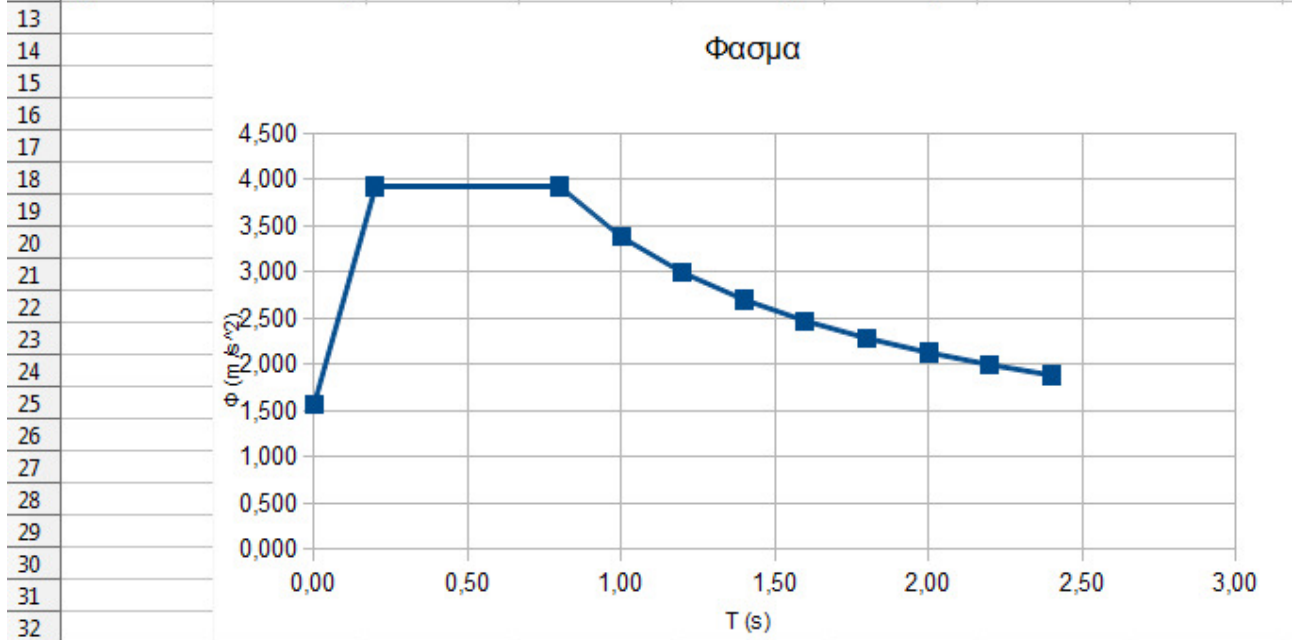
## 4.2 Περιγραφή μοντέλου στο πρόγραμμα SAP2000

Στην πτυχιακή εργασία, αρχικά σχεδιάστηκε ένα προσωμοίωμα του κτηρίου με τη βοήθεια των προγραμμάτων SAP και Autocad.

**Πρόγραμμα SAP 2000:** Το πρόγραμμα SAP2000 (Computers and Structures Inc.) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στατική και δυναμική ανάλυση κατασκευών οποιουδήποτε τύπου, όπως κτίρια γέφυρες, φράγματα κ.λ.π. Έχει δυνατότητες στατικής και δυναμικής ανάλυσης, τόσο γραμμικής όσο και μη γραμμικής ανάλυσης, συνδυασμού διαφορετικών ειδών ραβδωτών, πλαισιακών και πεπερασμένων στοιχείων καθώς και ειδικών μη-γραμμικών συνδέσμων και ελατηρίων για εξειδικευμένες αναλύσεις. Μπορείς ακόμα να δουλέψεις πάνω σε πολλούς διαφορετικούς τύπους στοιχείων, όπως πλαισιακά στοιχεία (frame elements) για μοντελοποίηση ράβδων δικτυωμάτων και δοκών, επιφανειακά στοιχεία όπως κελύφη (shell) και επίπεδα (plane) στοιχεία, μη γραμμικά στοιχεία σύζευξης (non-linear links) και τρισδιάστατα στοιχεία (solid elements). Σου δίνει επίσης δυνατότητα επιλογής διαφορετικών ειδών δράσεων, όπως φορτία βαρύτητας, θερμοκρασιακών μεταβολών, κατανεμημένα φορτία, επικόμβιες φορτίσεις, κ.λ.π. Στα πλαίσια της δυναμικής ανάλυσης, συμπεριλαμβάνονται δυνατότητες φασματικής ανάλυσης και δυναμικής ανάλυσης με επαλληλία των ιδιομορφών ή απευθείας ολοκλήρωση με διάφορες μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης.

Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο πρόγραμμα κατασκευάστηκε το κτίριο που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1. Για την κατασκευή του κτηρίου χρησιμοποιήθηκαν επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία για την προσομοίωση της τοιχοποιίας και γραμμικά στοιχεία στην κορυφή του τοίχου για την προσθήκη των φορτίων της στέγης. Επίσης προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εξέταση της συμπεριφοράς του κτηρίου σε σεισμό, έγινε εισαγωγή μέσω αρχείου .txt του σεισμικού φάσματος (σχεδιασμένο με το πρόγραμμα excel εικ.5) στο SAP2000.

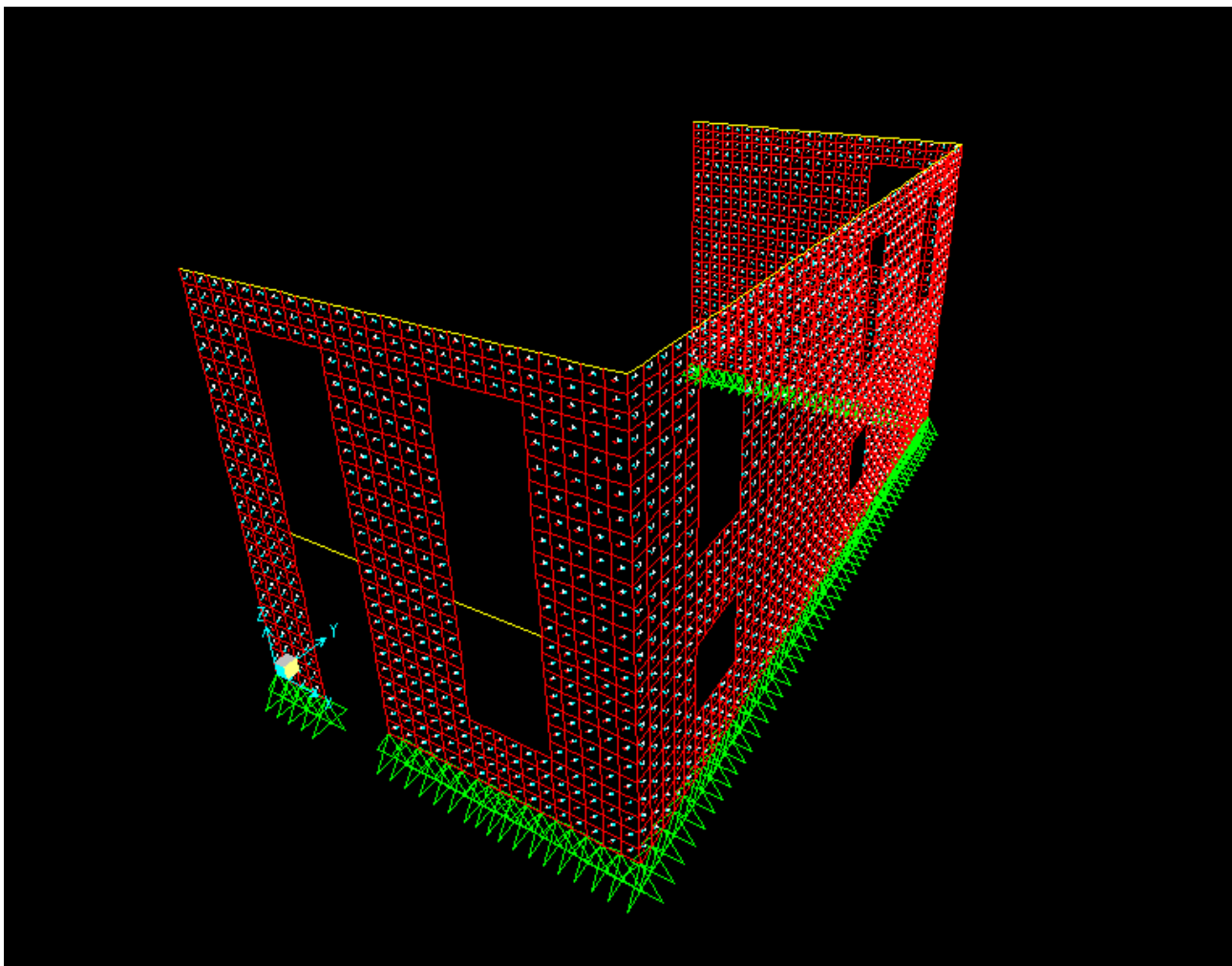
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	z	η			T	Φ		
2		5	1		0,00	1,570		
3					0,20	3,924		
4	α	0,16			0,80	3,924		
5	g	9,81			1,00	3,382		
6	A	1,5696			1,20	2,995		
7	$\lambda_i$	1			1,40	2,702		
8	g	1			1,60	2,472		
9	θ	1			1,80	2,285		
10	$\beta_0$	2,5			2,00	2,130		
11	$T_1$	0,2			2,20	1,999		
12	$T_2$	0,8			2,40	1,886		



Εικόνα 5: Σεισμικό φάσμα σχεδιασμένο σε φύλλο excel

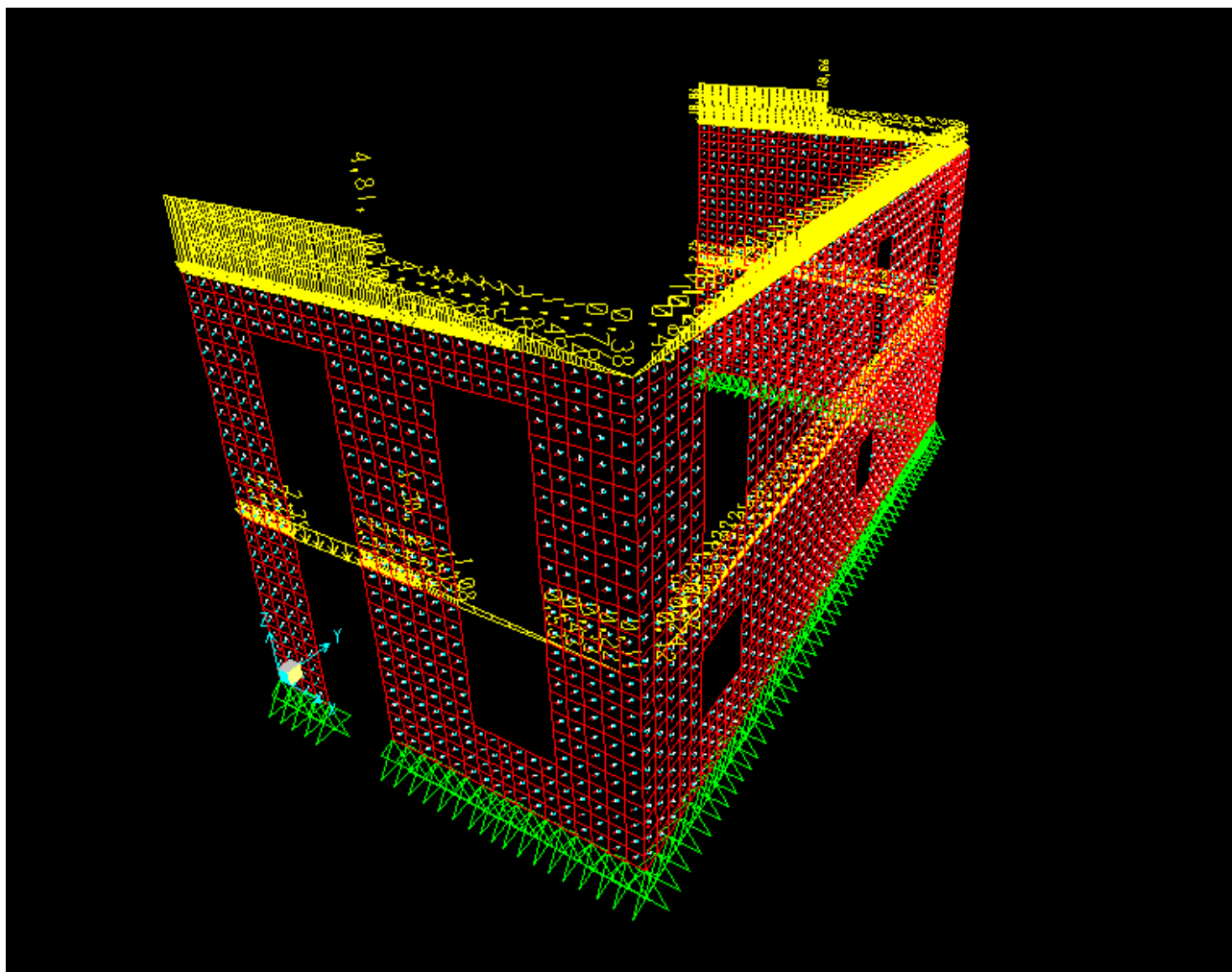
Το κτήριο στη σημερινή του μορφή , σχεδιασμένο ψηφιακά στο πρόγραμμα SAP2000

(εικ. 6)



*Εικόνα 6: Το κτήριο με τη σημερινή του μορφή, σχεδιασμένο με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000*

Στο υλικό το οποίο τοποθετήθηκε στους τοίχους δόθηκαν τα χαρακτηριστικά της πέτρας. Στην συνέχεια το κτήριο φορτίστηκε με τα υπάρχοντα φορτία (μόνιμα και κινητά) όπως φαίνεται στην εικόνα 7

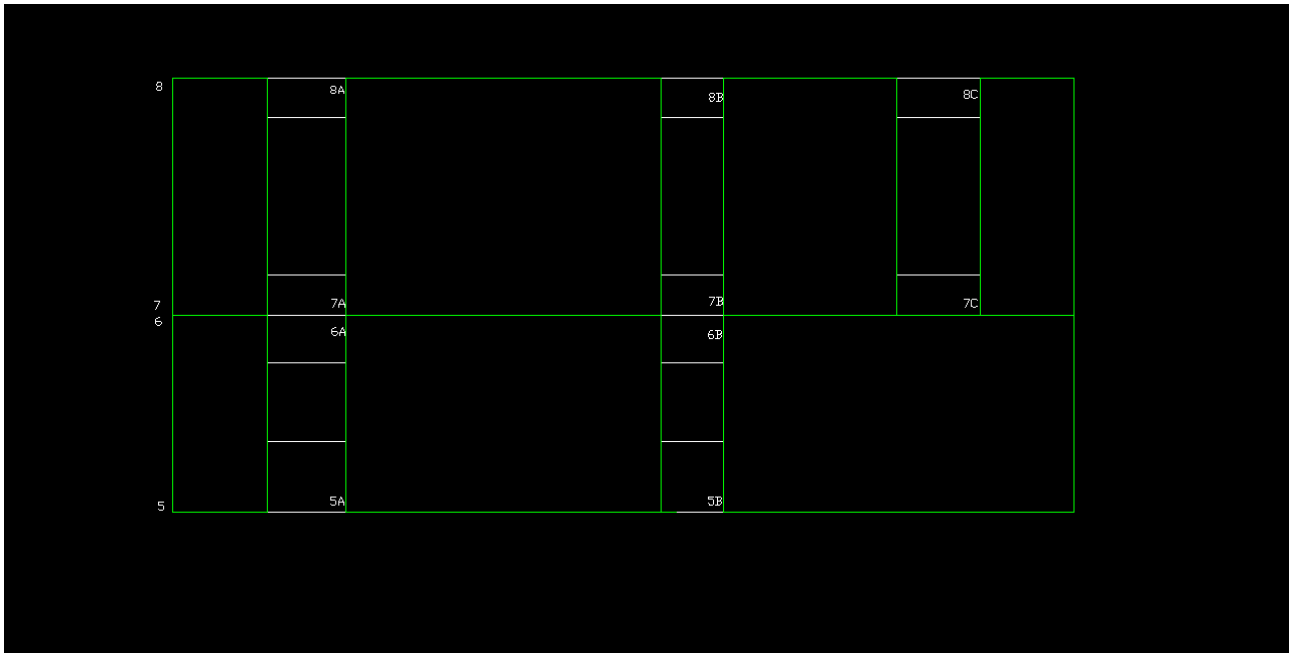


Εικόνα 7: Το κτήριο φορτισμένο με τα υπάρχοντα φορτία

Οι συνδυασμοί των φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον ΕΑΚ-ΕΚΩΣ και πρόκειται για τους:

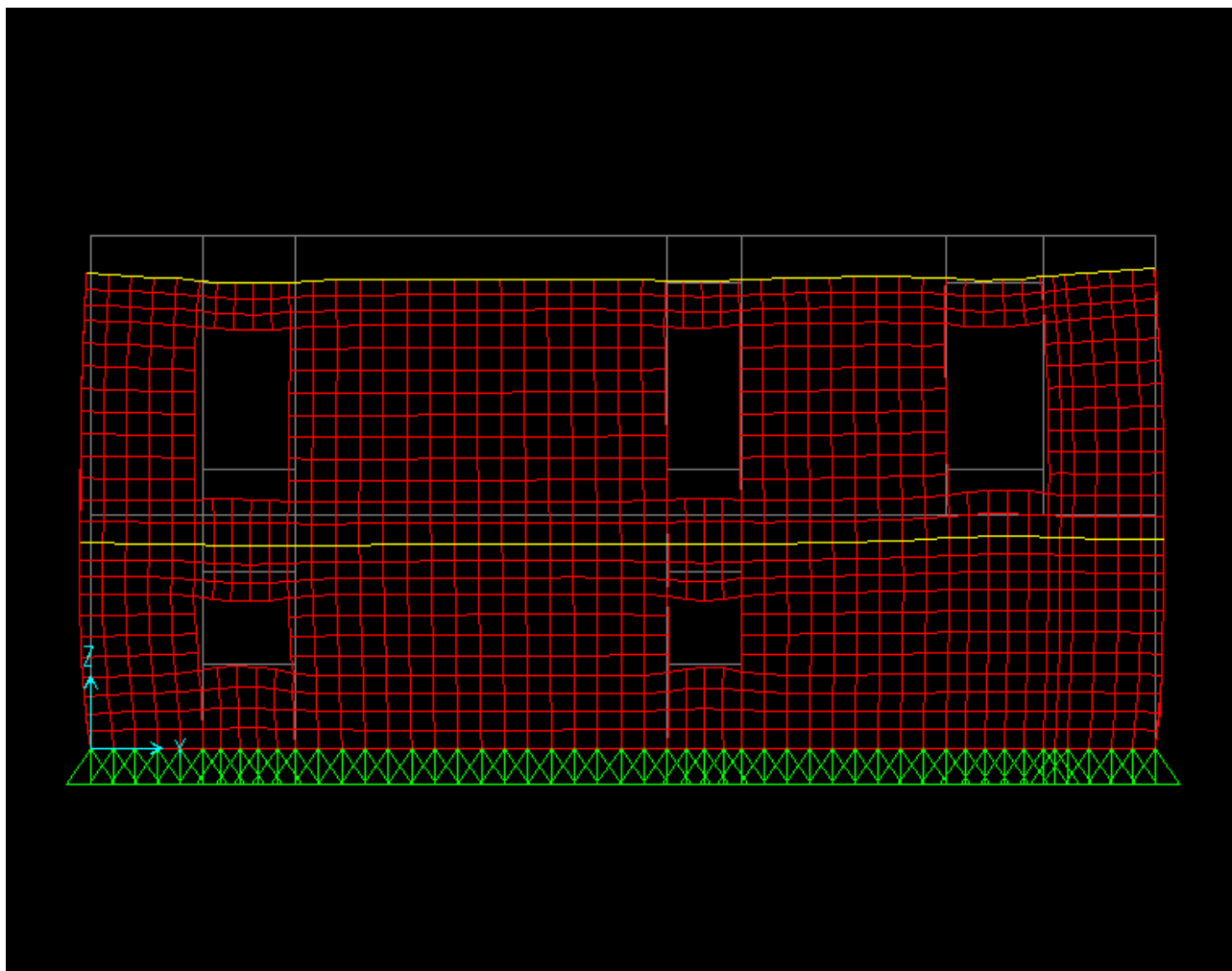
- Βασικός συνδυασμός (fundamental combination):  $=1.35G+1.5Q$  και τον
- Τυχηματικός συνδυασμός (accidental combination):  $=E+G+0.3Q$

Τέλος στο συγκεκριμένο μοντέλο πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι πάνω στις αξονικές, και διατμητικές δυνάμεις καθώς επίσης και στις ροπές που ασκούνται σε κάθε πεσσό ξεχωριστά. Ο διαχωρισμός των πεσσών πραγματοποιήθηκε όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα(εικ. 8)



Εικόνα 8: Διαχωρισμός πεσσών

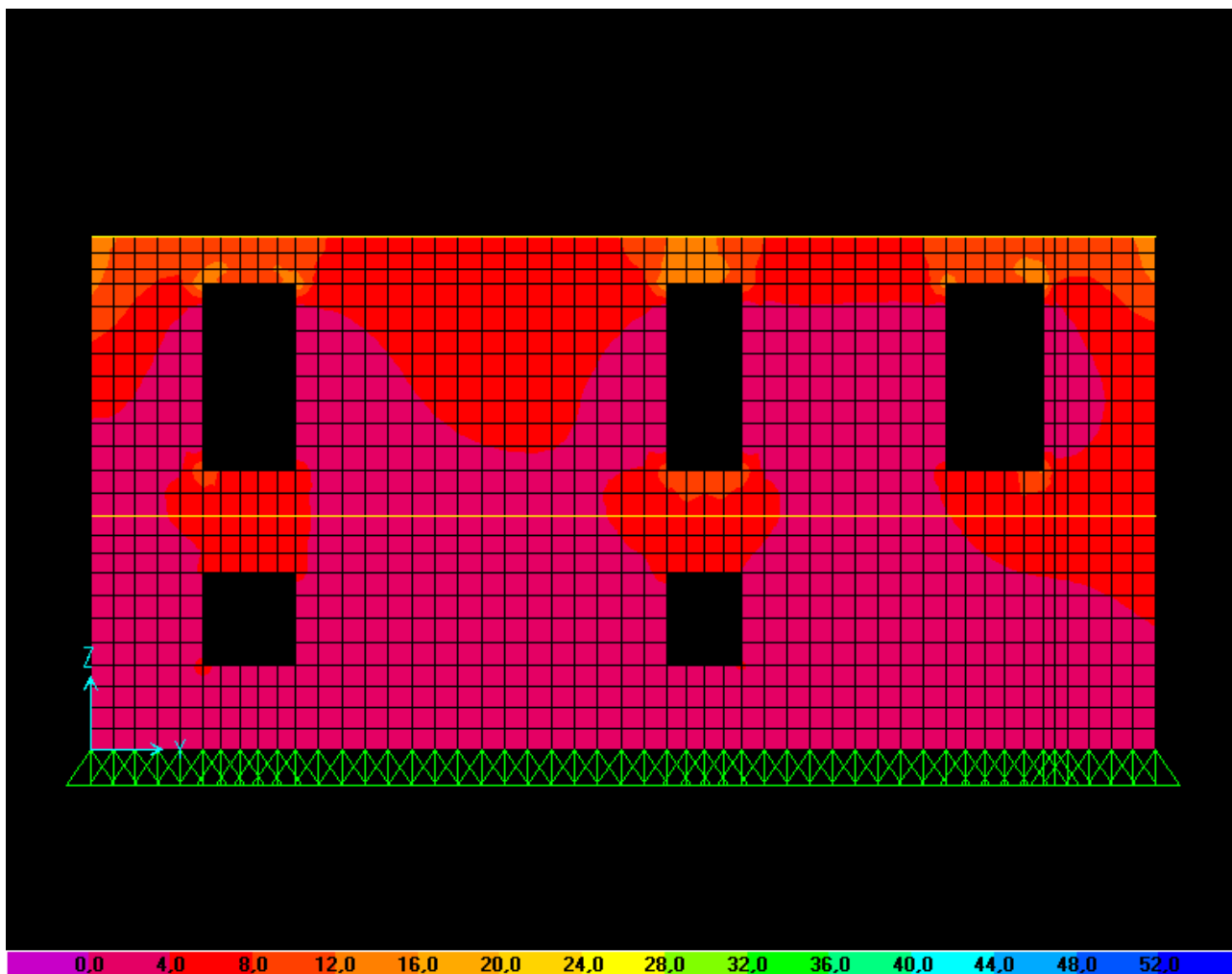
Με την εισαγωγή των φορτίων η παραμόρφωση του κτηρίου είχε την ακόλουθη μορφή (εικ. 9):



*Εικόνα 9: Παραμόρφωση κτηρίου*

Μετά το πέρας της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000 τα αποτελέσματα στους πεσσούς είχαν την ακόλουθη μορφή:

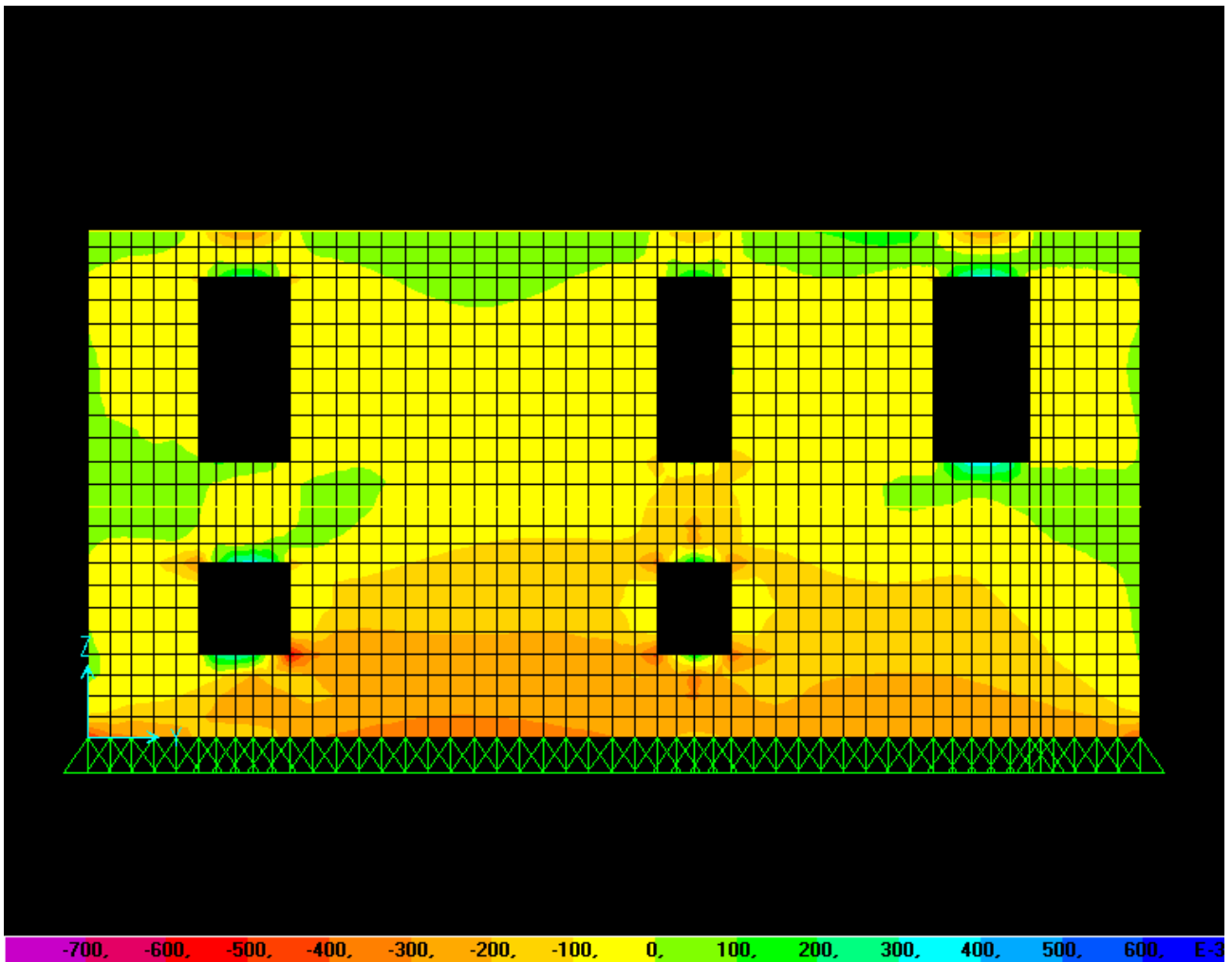
για ροπές (εικ.10):



Εικόνα 10: ροπές κατά τη διεύθυνση y-z



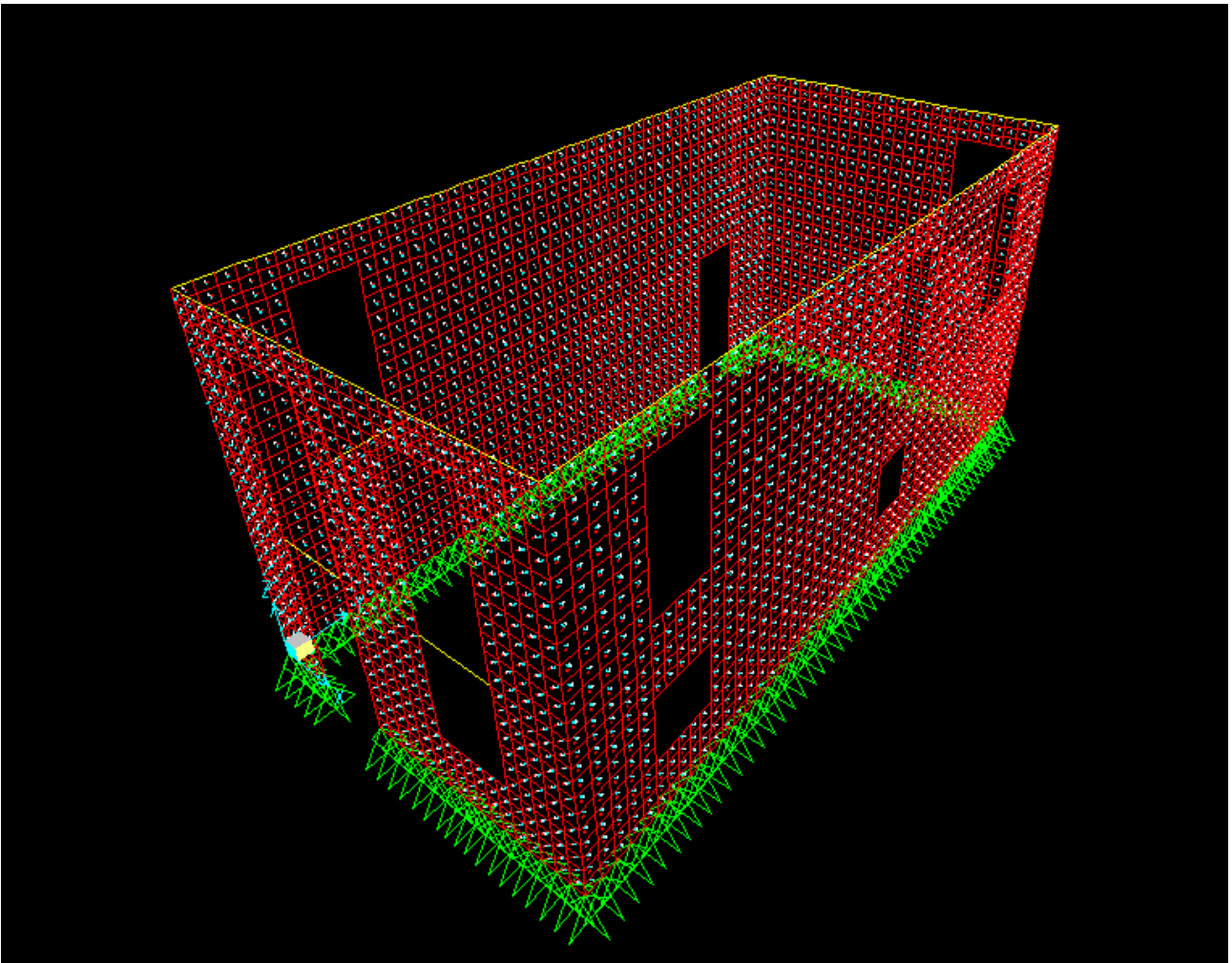
για αξονικές-τέμνουσες (εικ.11):



Εικόνα 11: αξονική δύναμη κατά τη διεύθυνση y-z

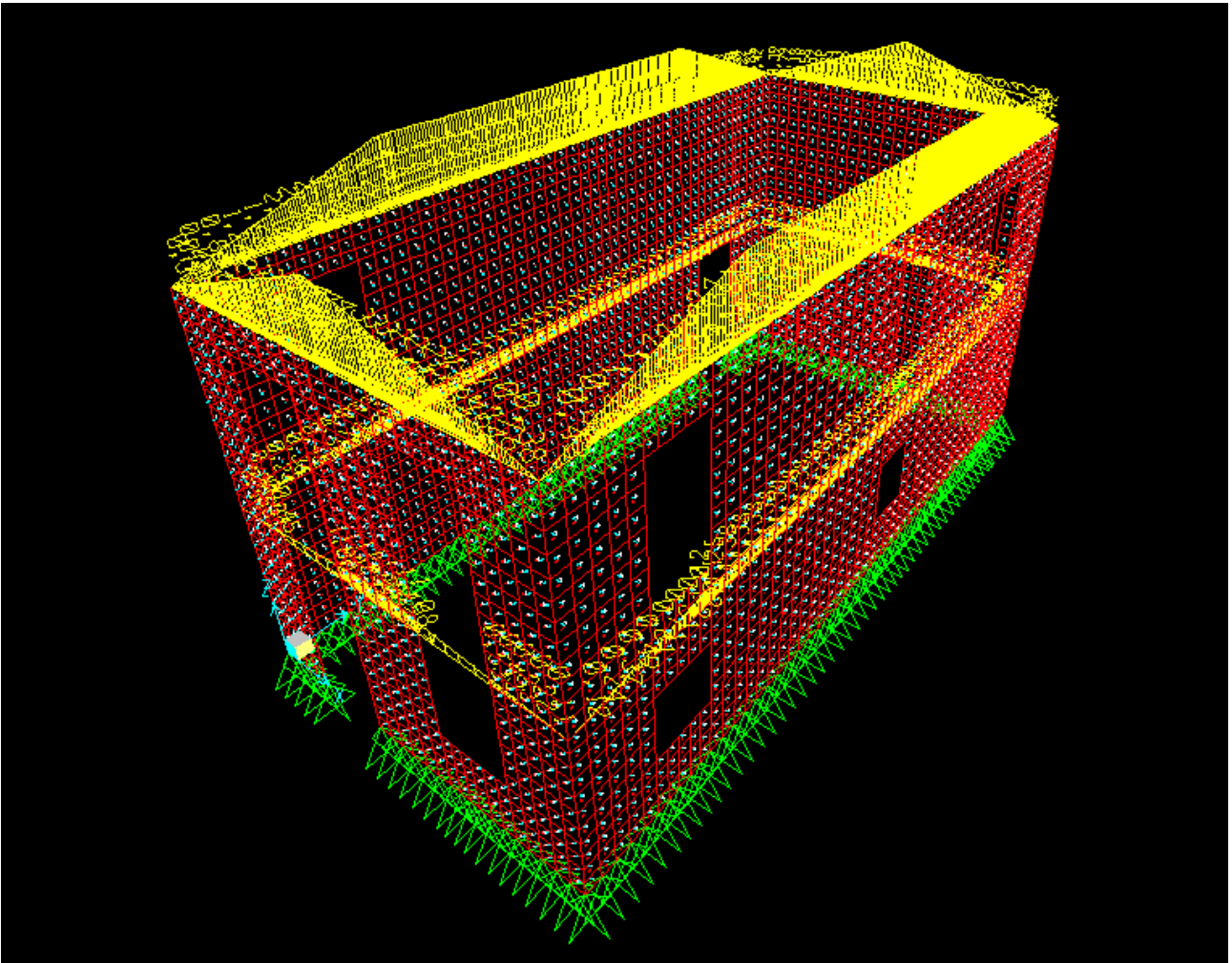
#### 4.2.1 Σχεδιασμός επιπλέον τοίχου

Μετά το πέρας της ανάλυσης και της επίλυσης του κτηρίου με τη σημερινή του μορφή, και διαπιστώνοντας ότι σε αρκετά σημεία τα αποτελέσματα των ελέγχων δεν ήταν ικανοποιητικά, πραγματοποιήθηκε η προσθήκη ολόκληρης της αριστερής πλευράς του κτηρίου, εργασία που αναμένεται να πραγματοποιηθεί στο συγκεκριμένο κτήριο (εικ.12). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση και επίλυση του συγκεκριμένου μοντέλου, με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000 τα αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στις εικόνες που ακολουθούν.

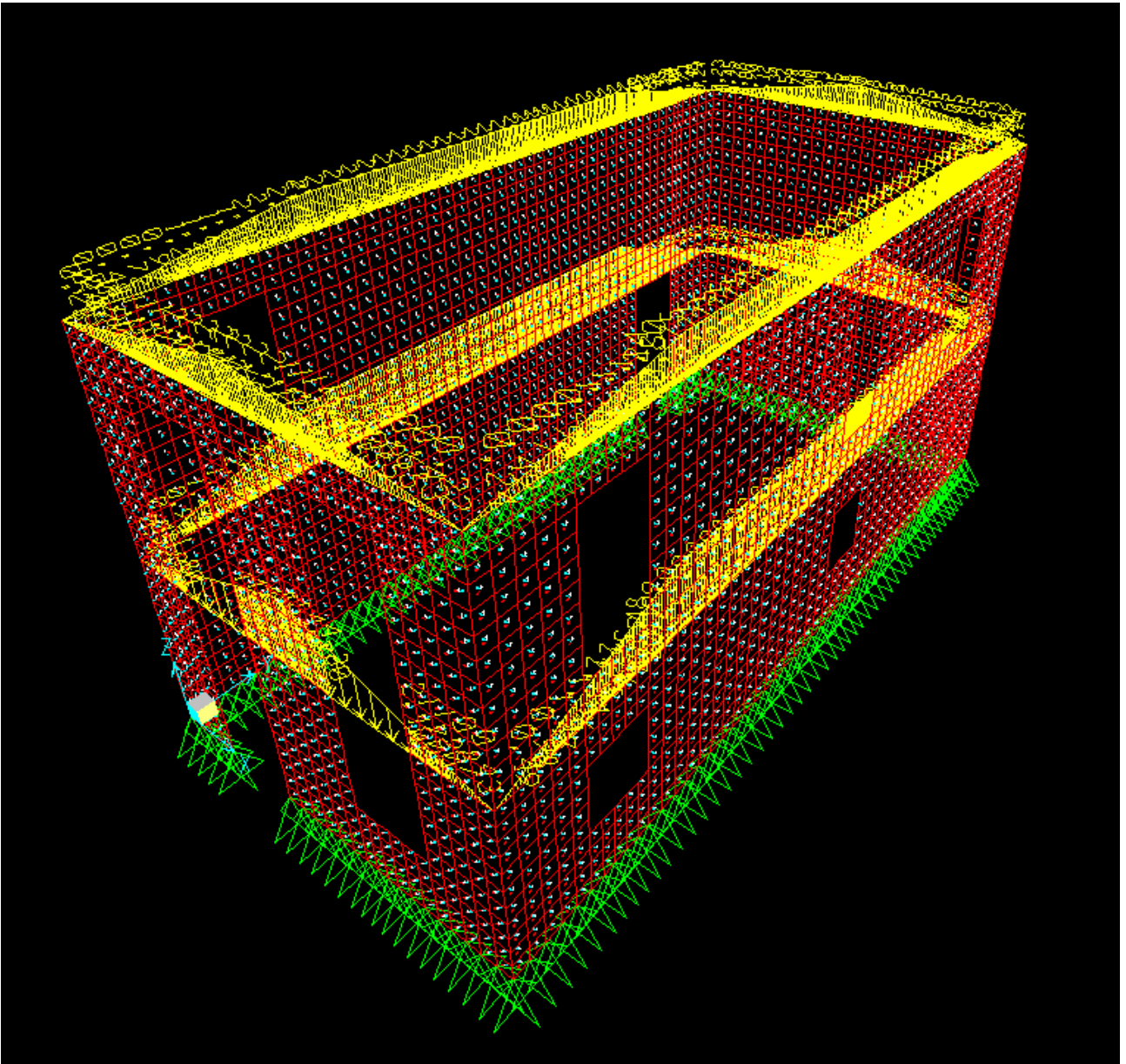


Εικόνα 12: το κτήριο ολοκληρωμένο

το κτήριο έπειτα φορτίστηκε με τους αντίστοιχους συνδυασμούς φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν και στο προηγούμενο μοντέλο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Αρχικά εμφανίζεται το κτήριο φορτισμένο με τα μόνιμα φορτία(εικ.13) και στη συνέχεια φορτισμένο με τα κινητά (εικ.14)

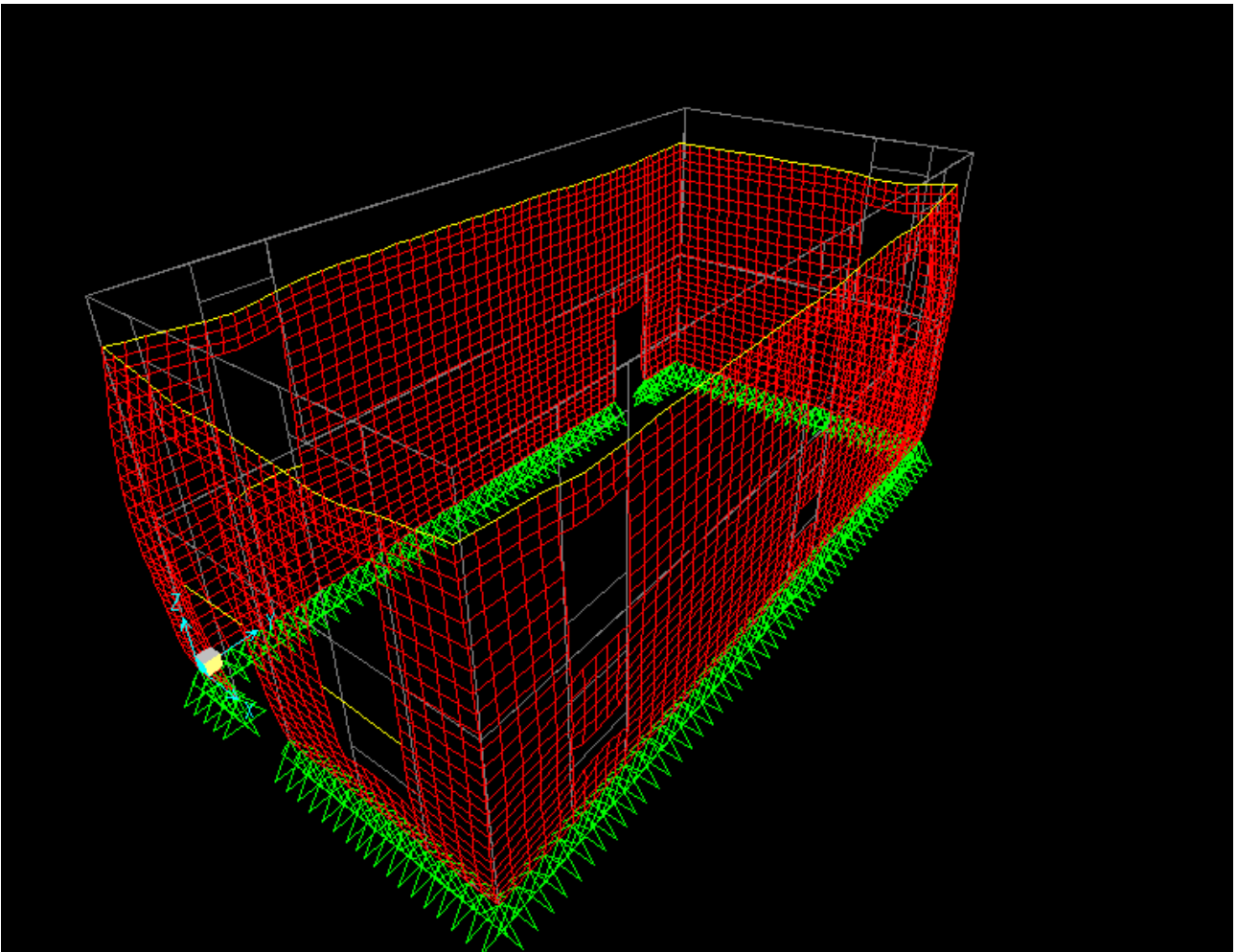


*Εικόνα 13: το ολοκληρωμένο κτήριο, φορτισμένο*



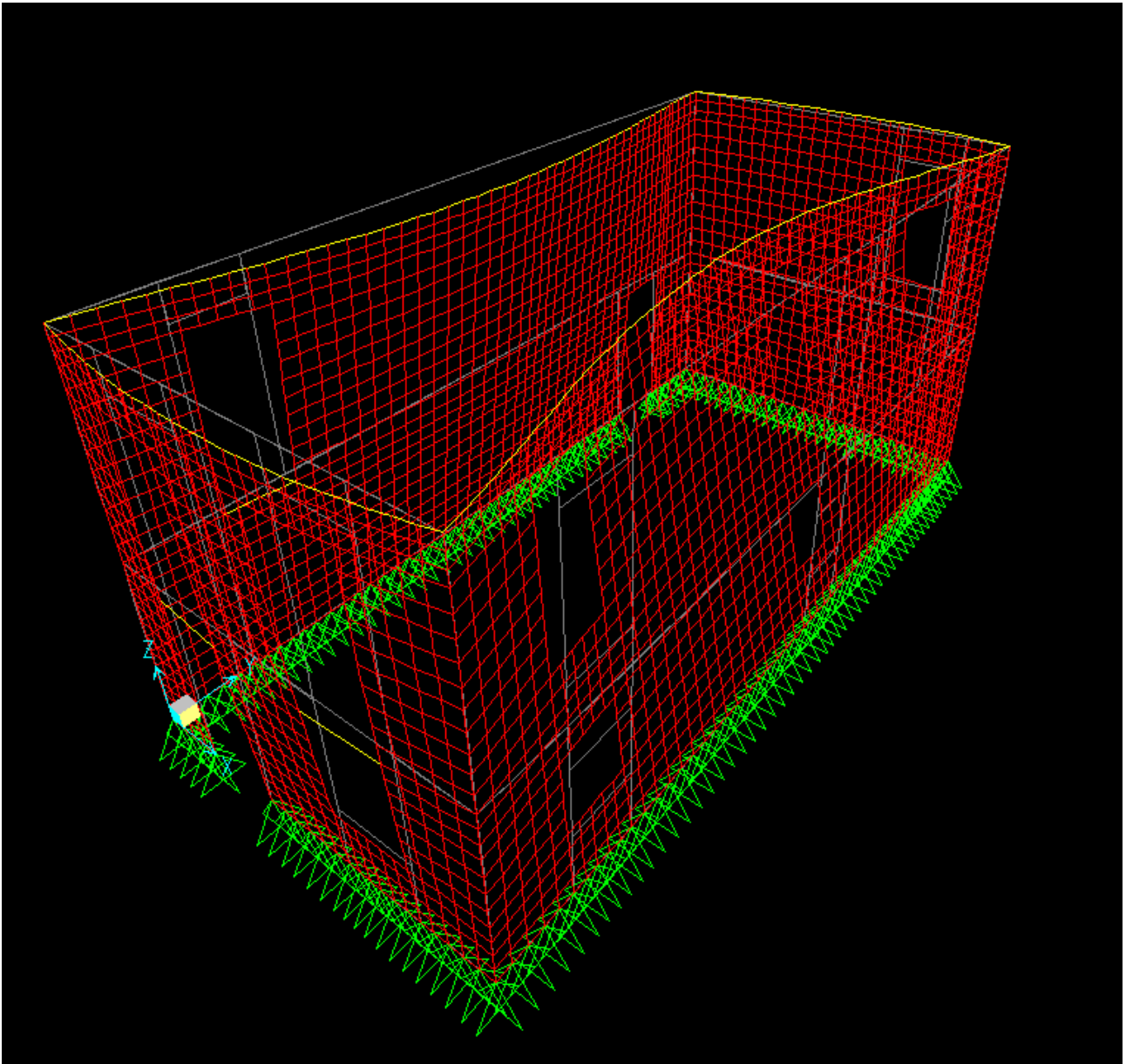
*Εικόνα 14: Το κτίριο φορτισμένο με τα κινητά φορτία*

Ο συνδυασμός φόρτισης που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο κτήριο, προερχόμενος από τον ΕΑΚ2000, δηλαδή  $1,35G+1,5Q$  αναμένεται να προκαλέσει στο κτήριο συγκεκριμένες παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις που επιδέχεται το κτήριο λόγω των φορτίων που του επιβλήθηκαν φαίνονται στην εικόνα 15:

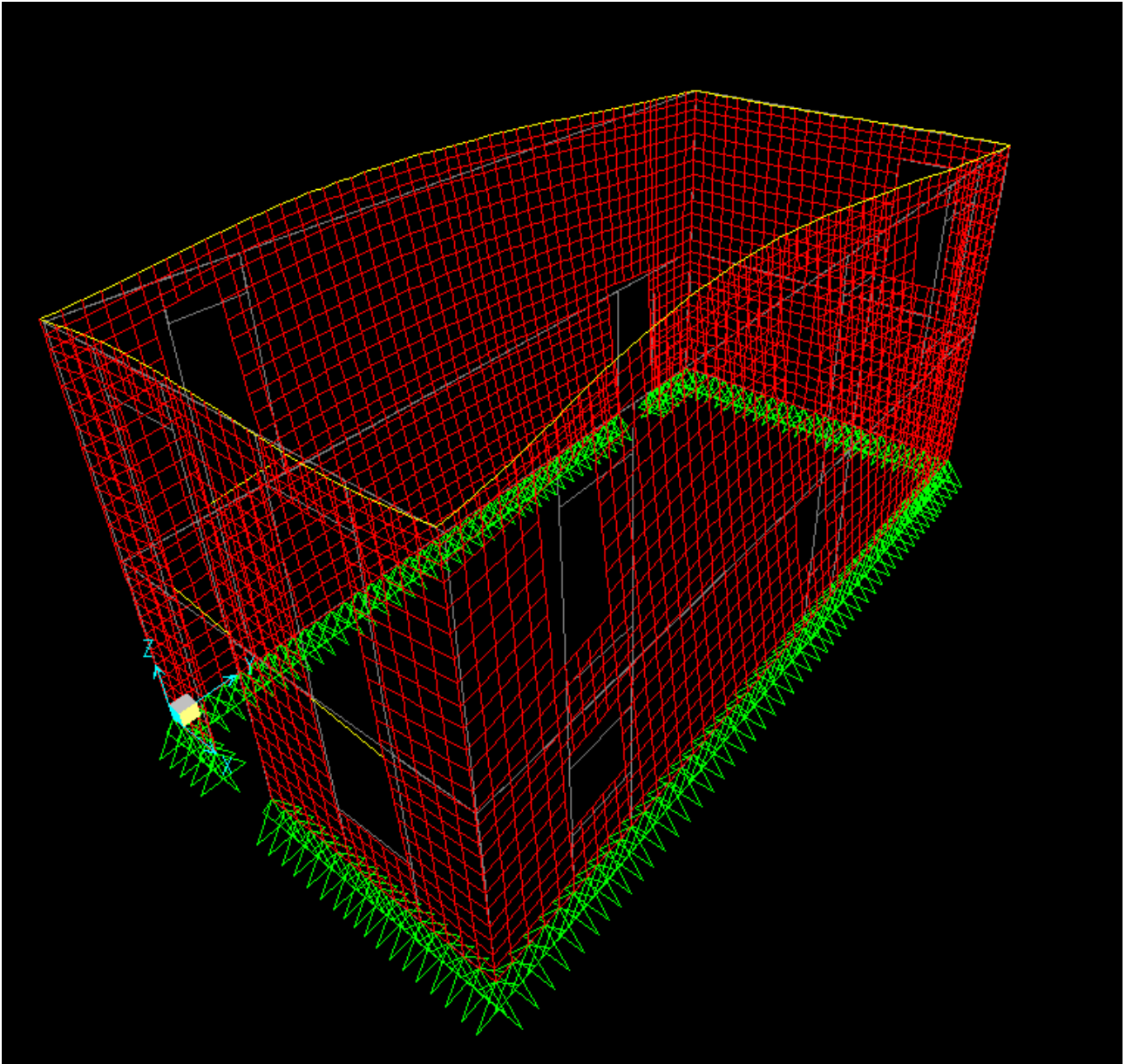


*Εικόνα 15: η παραμόρφωση του κτηρίου λόγω των φορτίων*

Στη συνέχεια παρουσιάζονται 2 από τις ιδιομορφές του κτηρίου εικ 16-17:



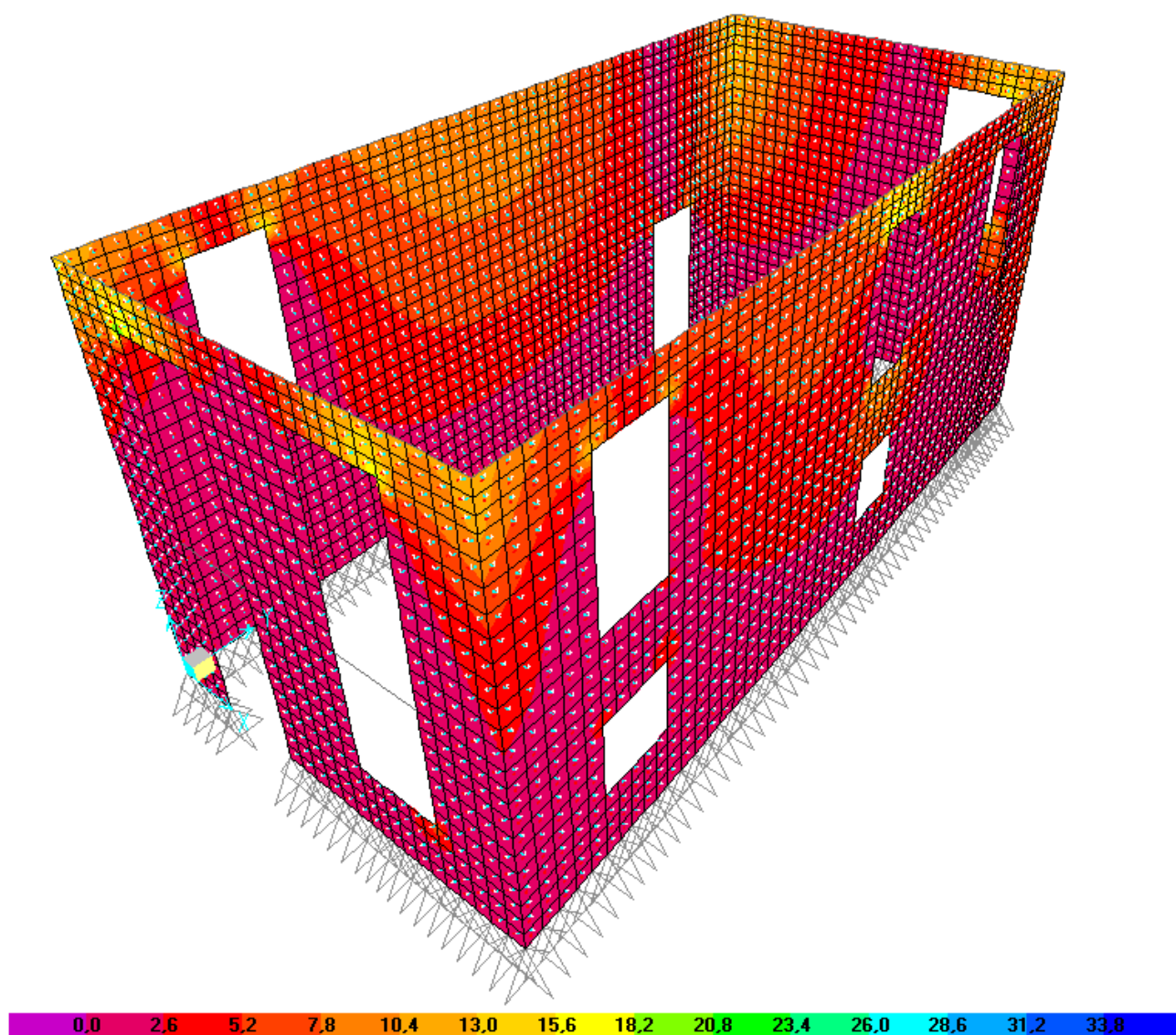
*Εικόνα 16: Πρώτη ιδιομορφή του κτηρίου*



*Εικόνα 17: Δεύτερη ιδιομορφή του κτιρίου*

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του μοντέλου μέσω του προγράμματος SAP2000 στη οποία εμφανίστηκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

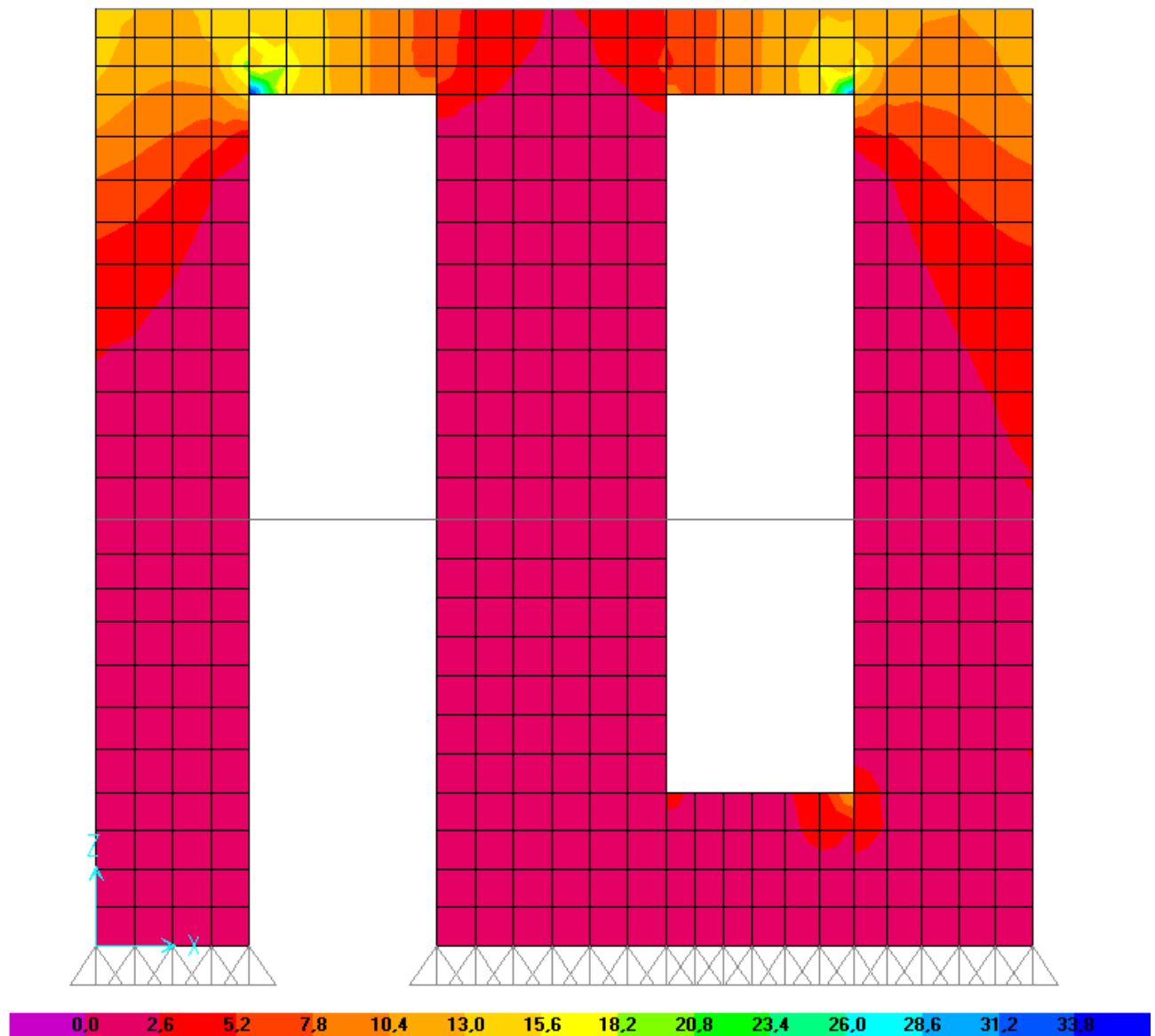
- ροπές εικ 18-22
- Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι ροπές που ασκούνται σε ολόκληρο το κτήριο, με την έντασή τους να αυξάνεται ανάλογα με το άνοιγμα του χρώματος (εικ. ) Παρατηρούμε ότι στο πάνω μέρος των τοίχων και ιδιαίτερα στις γωνίες που σχηματίζουν, είτε μεταξύ τους, είτε με τα ανοίγματα, οι ροπές αυξάνονται σημαντικά, ιδιαίτερα σε σχέση με τις ροπές που δέχεται το κτήριο στο κάτω μέρος των τοίχων, το μέτρο των οποίων πλησιάζει το μηδέν.



Εικόνα 18: Οι ροπές που υπάρχουν στο κτίριο

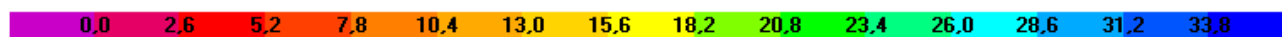
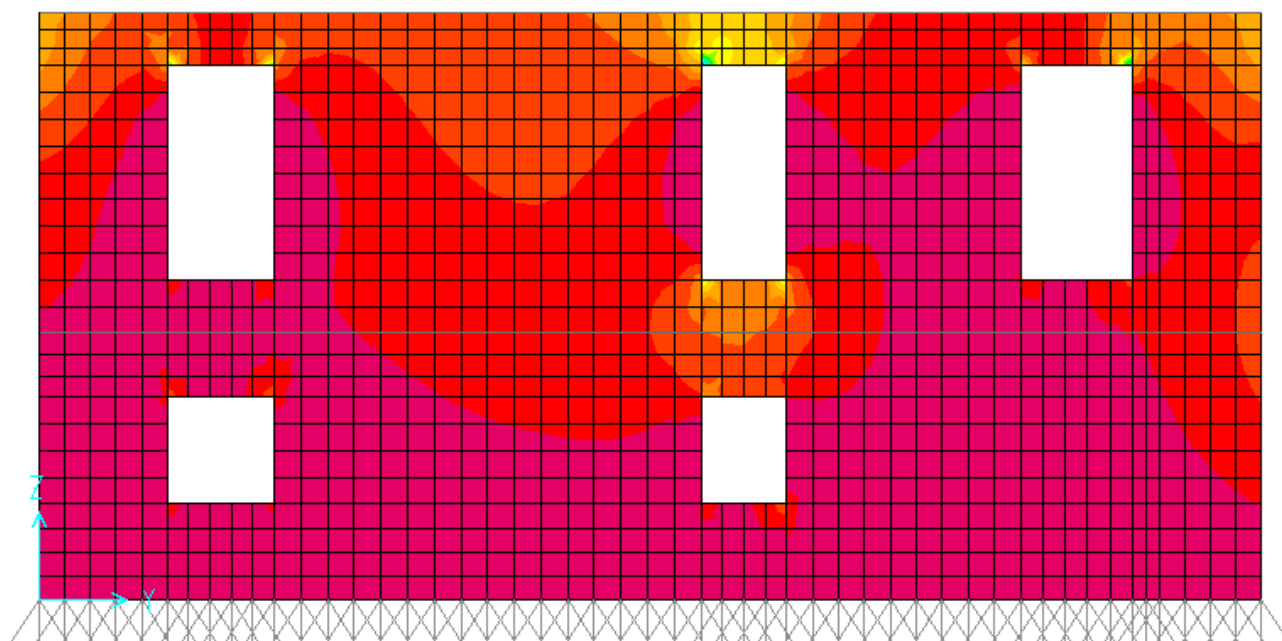


Εδώ παρουσιάζεται η πρόσοψη του συγκεκριμένου κτηρίου, στην οποία και εμφανίζονται οι ροπές που ασκούνται στους τρεις πεσσούς από τους οποίους αποτελείται. Παρατηρούμε ότι στην κορυφή των πεσσών οι ροπές είναι εντονότερες ενώ οι μεγαλύτερες εμφανίζονται ακριβώς στις γωνίες που σχηματίζουν ο πρώτος και ο τρίτος πεσσός με τα ανοίγματα.



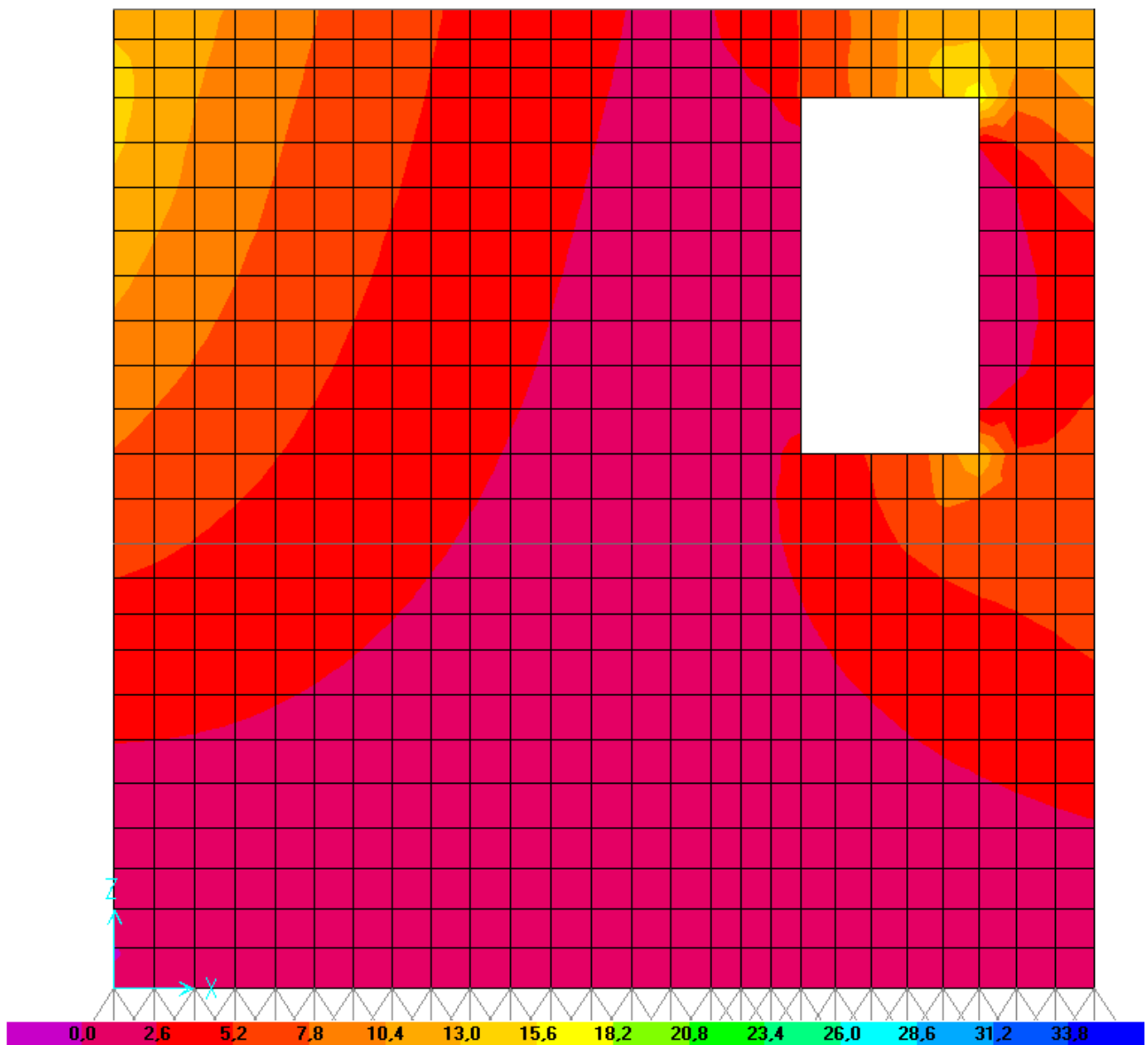
Εικόνα 19: Ροπές-Πρόσοψη

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι ροπές που ασκούνται στη δεξιά πλευρά του κτηρίου. Φαίνεται και πάλι ότι οι ροπές είναι εντονότερες στην κορυφή των πεσσών του ορόφου.



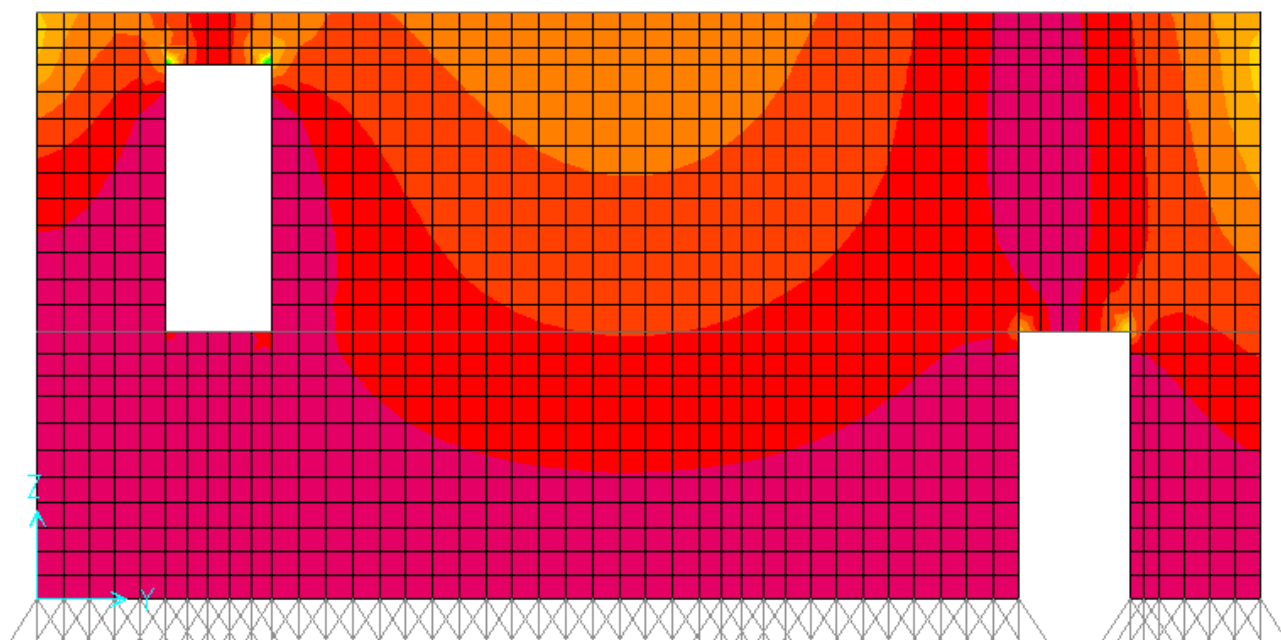
Εικόνα 20: Ροπές-Πλάγια όψη

Η πίσω πλευρά του κτηρίου με τις αντίστοιχες ροπές που ασκούνται σε αυτή. Οι ροπές είναι εντονότερες κυρίως στα πλάγια, τα σημεία δηλαδή που η συγκεκριμένη πλευρά με τις δύο άλλες του κτηρίου.



Εικόνα 21: Ροπές-Πίσω όψη

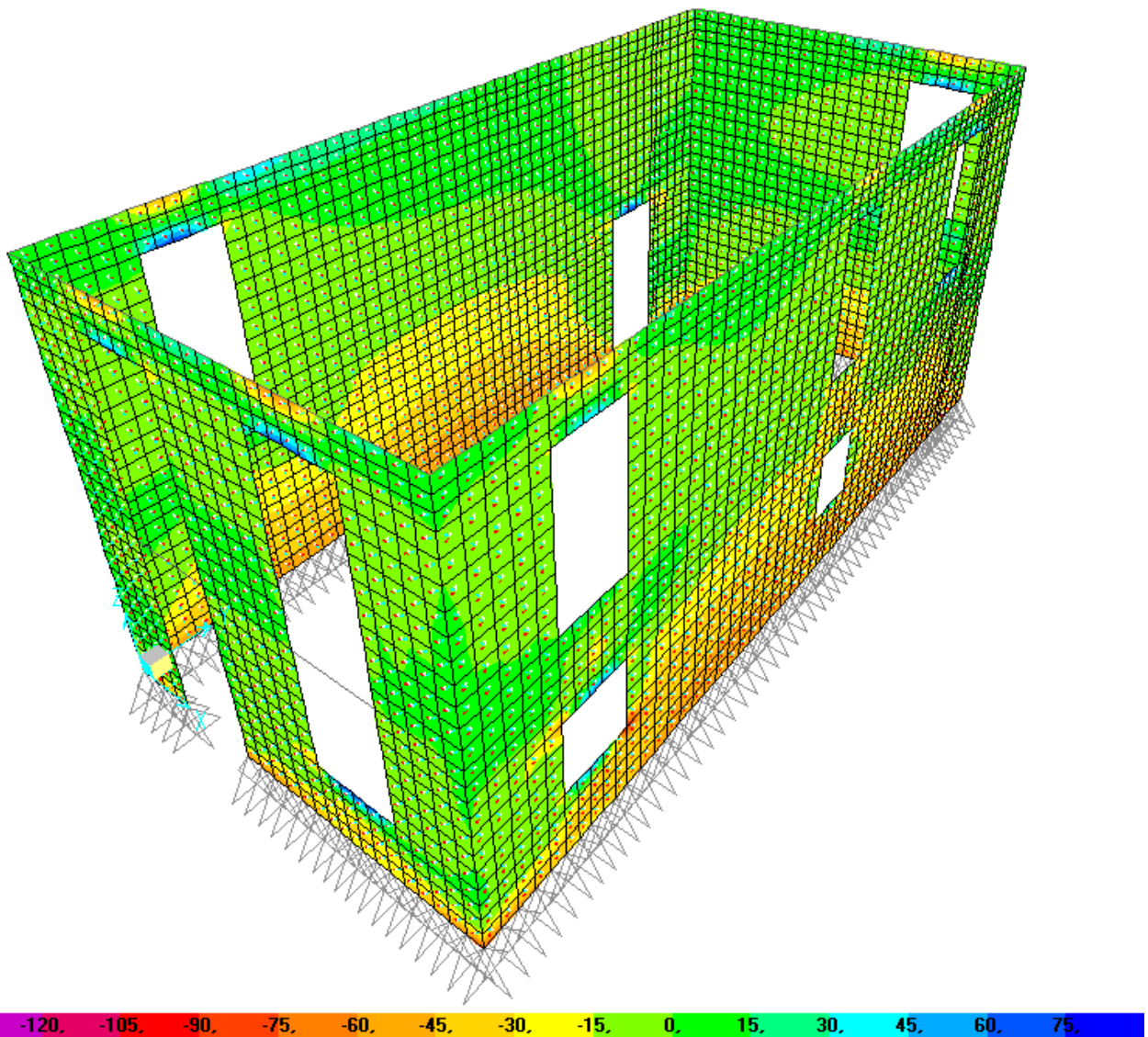
Εδώ παρουσιάζονται οι ροπές στην αριστερή πλευρά του κτηρίου. Παρατηρείται ότι η έντασή τους είναι αυξημένη κυρίως στο πάνω μέρος των πεσσών και στα πλάγια. Παρ'όλ'αυτά η εντονότερη τιμή ροπής παρουσιάζεται στη γωνία που κάνουν οι πεσσοί του ορόφου με το άνοιγμα.



Εικόνα 22: Ροπές-Πλάγια όψη

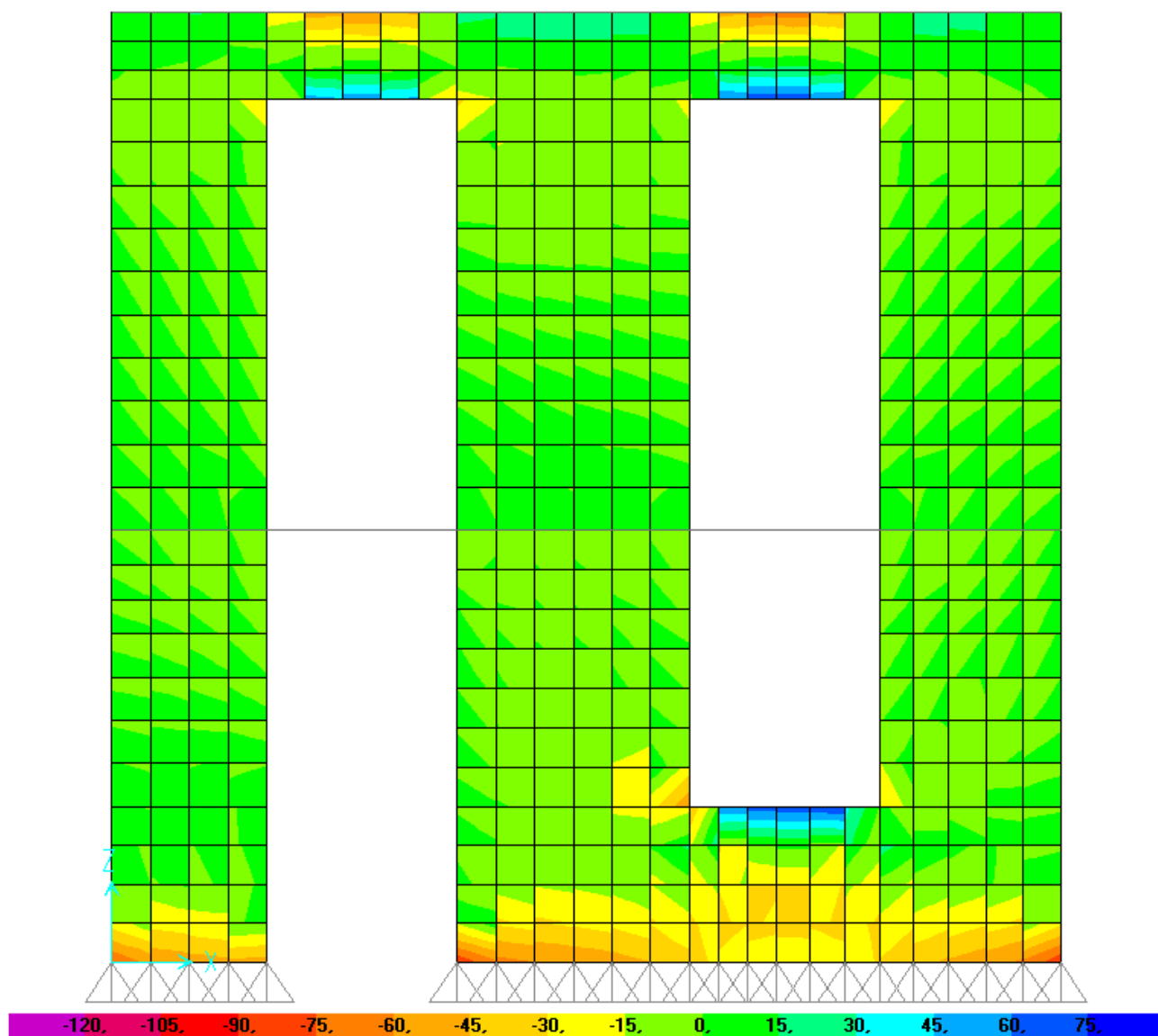
- αξονικές δυνάμεις εικ.23-27

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι αξονικές δυνάμεις που ασκούνται στο κτήριο. Οι δυνάμεις είναι έντονες στο πάνω μέρος των τοίχων και εντονότερες πάνω και κάτω από τα ανοίγματα όπως φαίνεται από τη σκούρα μπλε απόχρωση στο σχεδιάγραμμα της παρακάτω εικόνας.



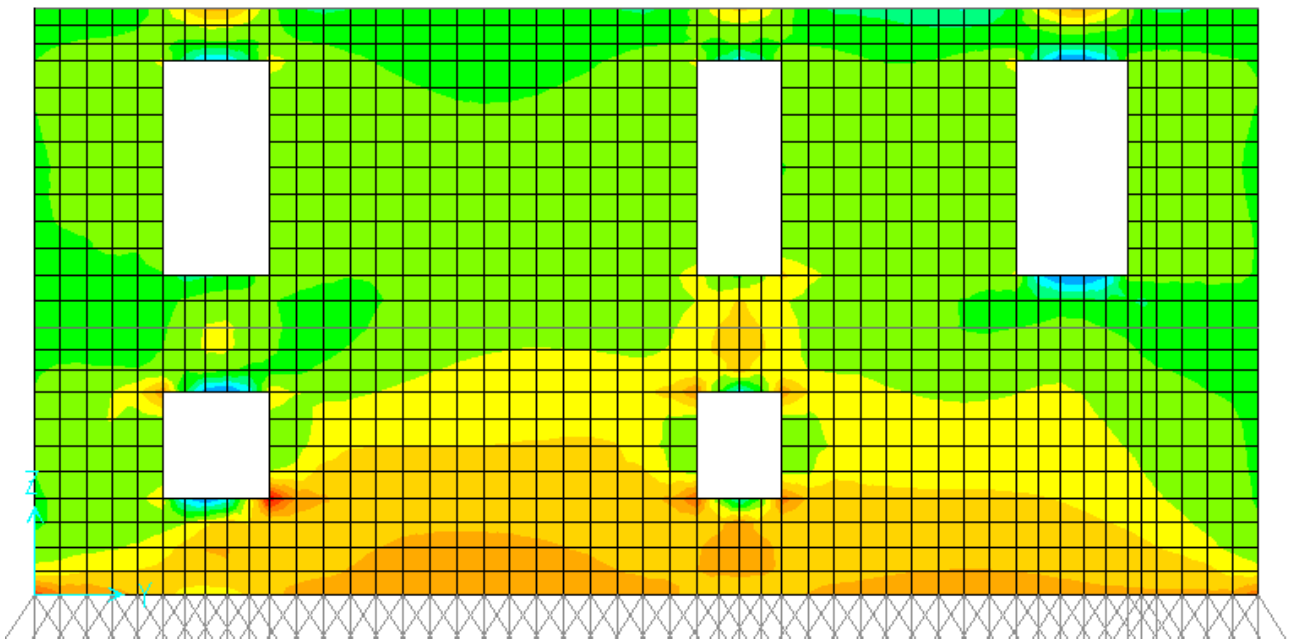
Εικόνα 23: Αξονικές δυνάμεις σε ολόκληρο το κτήριο

Εδώ φαίνονται οι αξονικές δυνάμεις που ασκούνται στην πρόσοψη του κτηρίου. Παρατηρούμε όπως και προηγουμένως ότι η μεγαλύτερη τιμή τους παρουσιάζεται στην κορυφή και το κάτω μέρος των ανοιγμάτων της πρόσοψης.



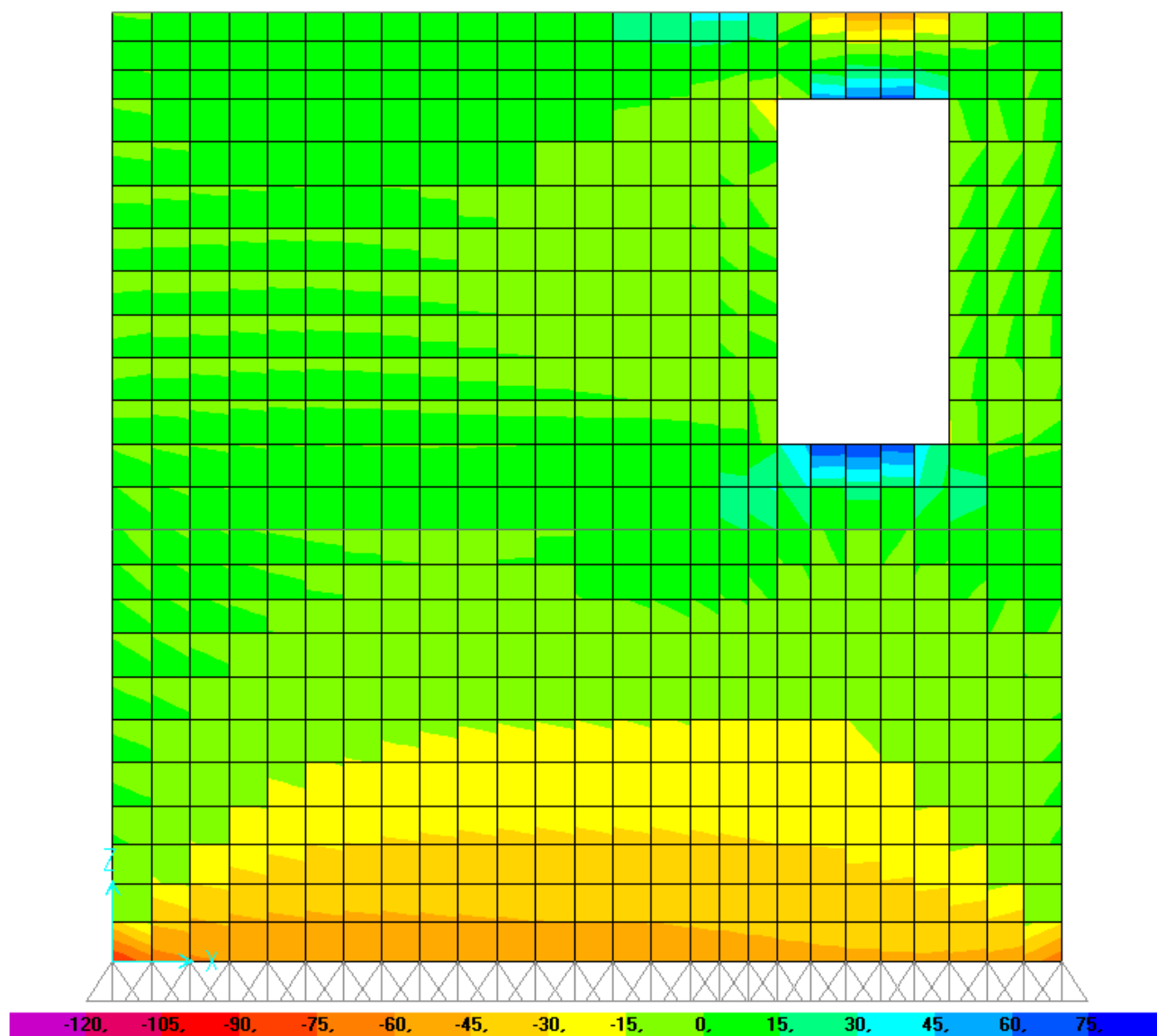
Εικόνα 24: Αξονικές-Πρόσοψη

Και πάλι αξονικές, στην δεξιά πλευρά του κτηρίου. Διαπιστώνουμε και εδώ ότι οι δυνάμεις είναι εντονότερες στο πάνω και το κάτω μέρος των ανοιγμάτων. Παρατηρείται ακόμα ότι στους πεσσούς που βρίσκονται στο ισόγειο οι αξονικές παίρνουν αρνητική τιμή, κυρίως στο κεντρικό κομμάτι, ενώ στον όροφο στα αντίστοιχα τμήματα η τιμή τους είναι θετική και αρκετά κοντά στο μηδέν.



Εικόνα 25: Αξονικές-Πλάγια όψη

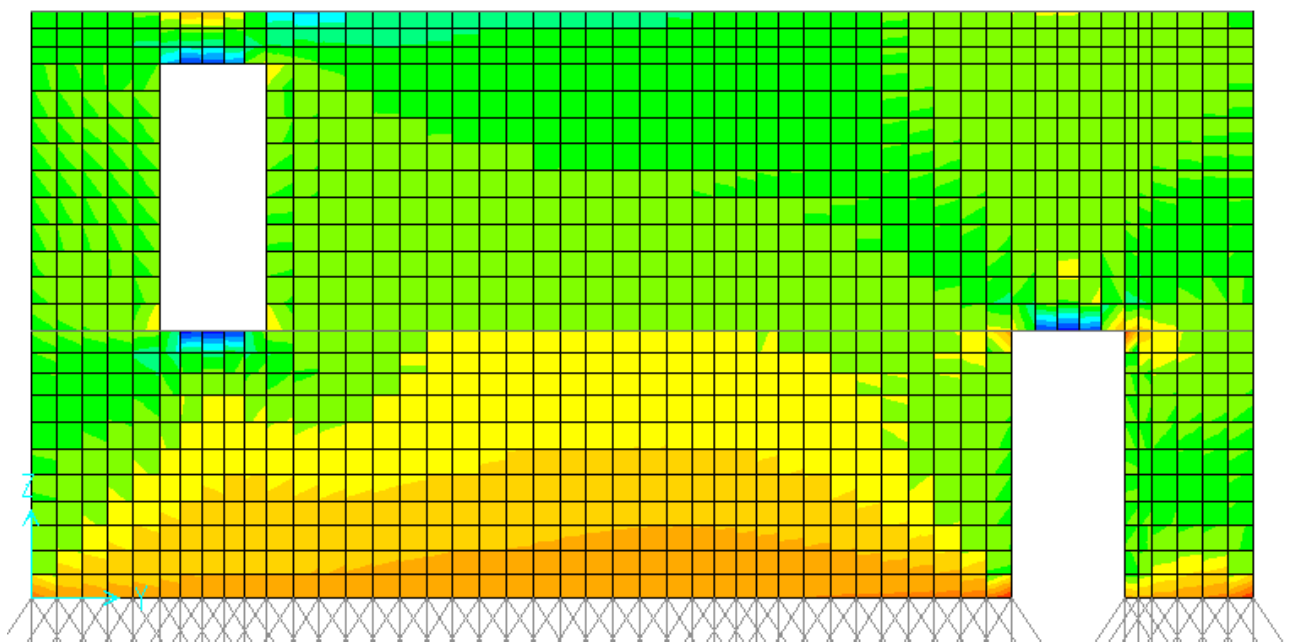
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η πίσω πλευρά του κτηρίου, με το αντίστοιχο σχεδιάγραμμα αξονικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτή. Και πάλι οι δυνάμεις είναι εντονότερες στη κορυφή και στη βάση των ανοιγμάτων και παίρνουν αρνητική τιμή στη βάση του πεσσού του ισογείου.



Εικόνα 26: Αξονικές-Πίσω όψη



,Εδώ απεικονίζεται η αριστερή πλευρά, με τις αξονικές δυνάμεις που ασκούνται σε αυτή. Στο κεντρικό τμήμα του πεσσού του ισογείου οι δυνάμεις παίρνουν αρνητική τιμή, μεγιστοποιούνται και πάλι στα ανοίγματα, ενώ στους πεσσούς του ορόφου παίρνουν θετική τιμή που πλησιάζει το μηδέν.

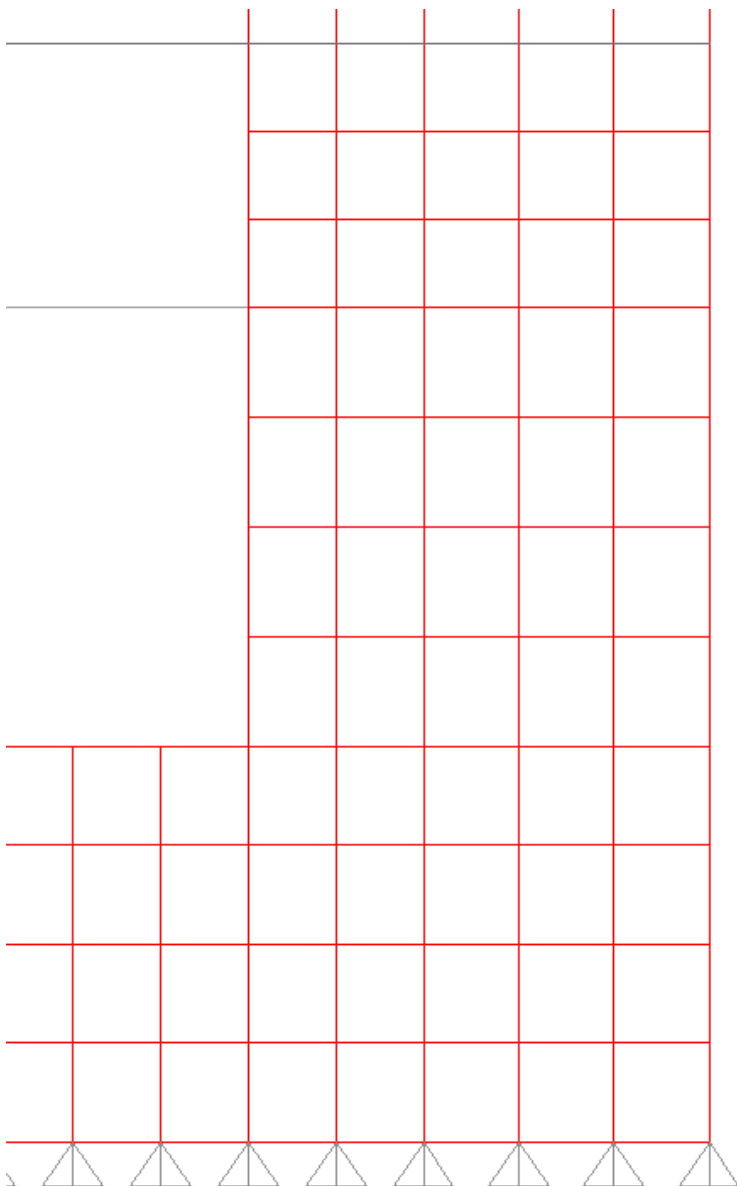


Εικόνα 27: Αξονικές-Πλάγια όψη

### 4.3 Εφαρμογή ελέγχων στην κατασκευή

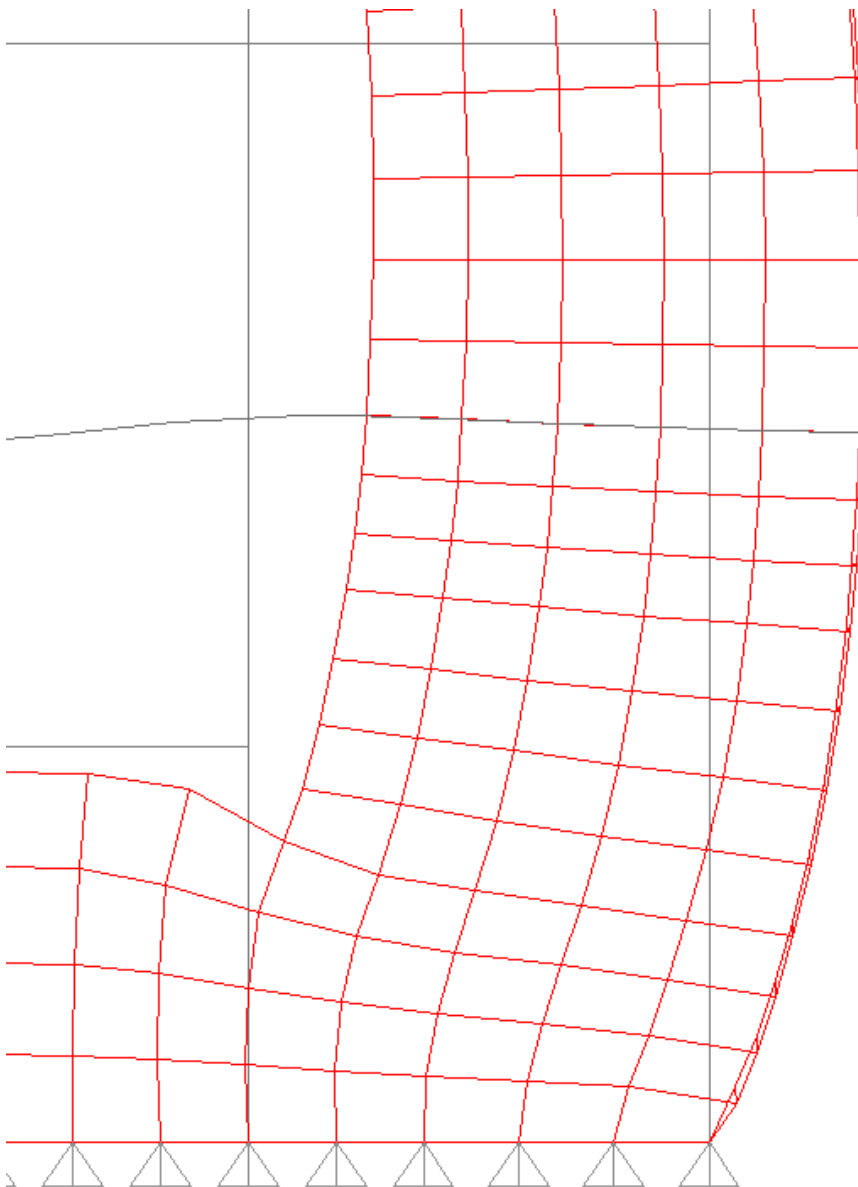
Αναλυτικότερα θα εξεταστούν οι δύο παρακάτω πεσσοί του κτηρίου με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας των ελέγχων:

- πεσσός 1: βρίσκεται στην μπροστινή πλευρά του κτηρίου στην κάτω δεξιά γωνία όπως φαίνεται στην εικόνα 28



Εικόνα 28: Πεσσός 1

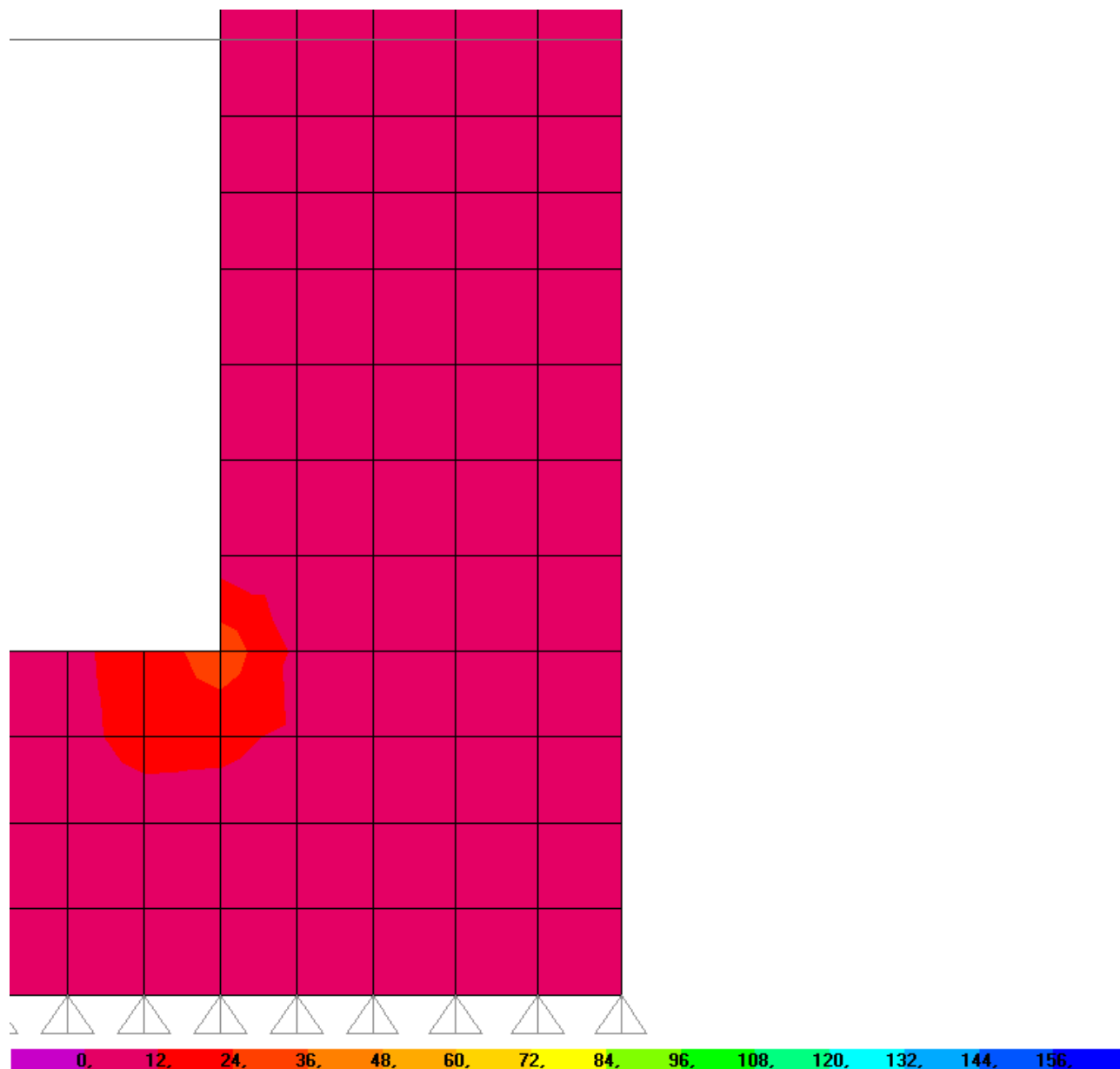
η παραμόρφωση που υφίσταται ο συγκεκριμένος πεσσός φαίνεται ακριβώς από κάτω στην εικόνα 29



Εικόνα 29: Παραμόρφωση που υφίσταται ο πέσσος

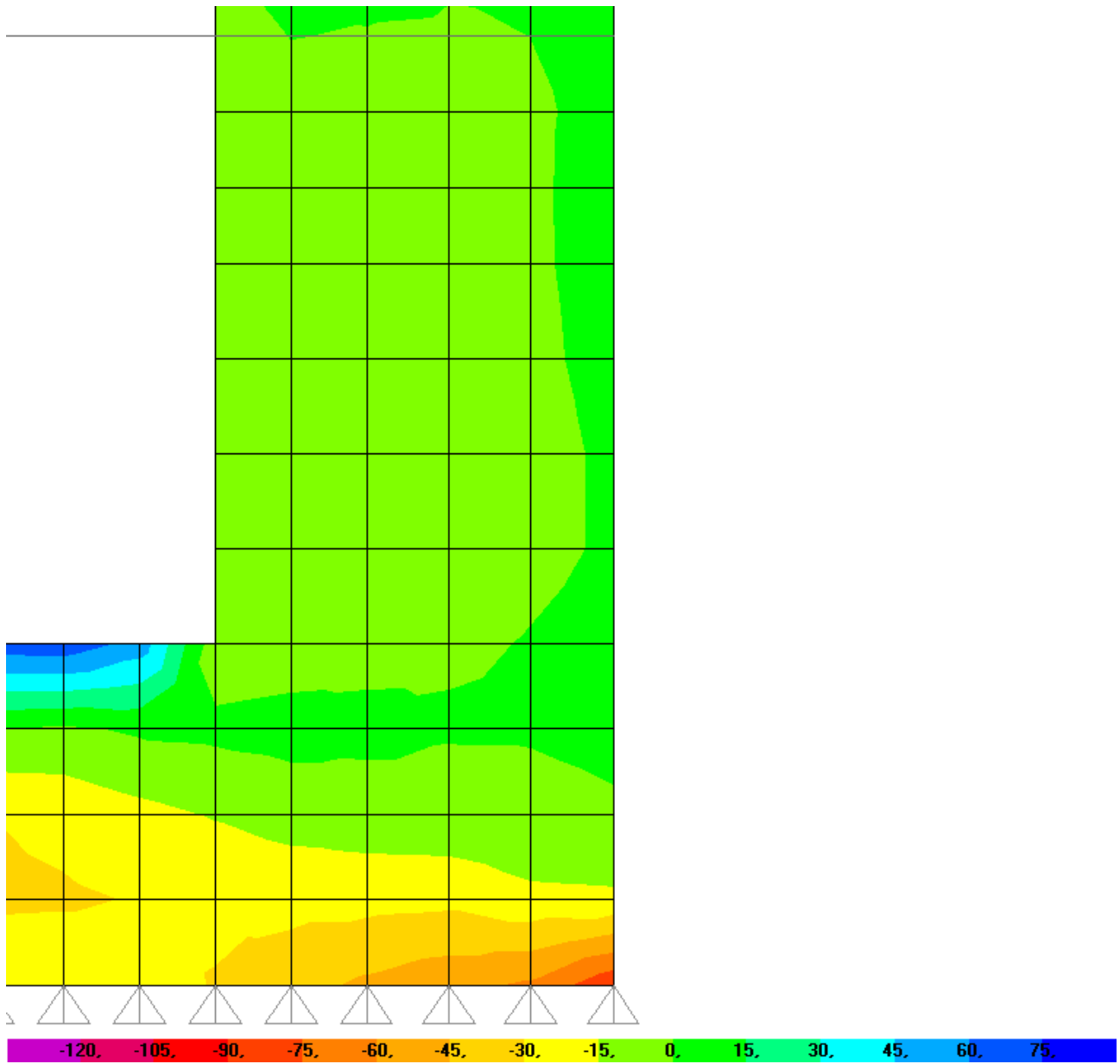
οι ροπές στον πεσσό: εικ 30

Παρατηρείται ότι οι ροπές είναι σταθερά χαμηλές στο μεγαλύτερο μέρος του πεσσού, με την τιμή τους να αυξάνεται σημαντικά στη γωνία που σχηματίζει ο πεσσός με το άνοιγμα.



Εικόνα 30: Ροπές στον πεσσό

οι αξονικές στον πεσσό: εικ 31



Εικόνα 31: Αξονικές στον πεσσό

τέλος οι έλεγχοι που εφαρμόστηκαν στον παραπάνω πεσσό φαίνονται στα δύο παρακάτω φύλλα excel (εικ.32-εικ35). Πρόκειται για έναν έλεγχο στην βάση του πεσσού (1B) και έναν στην κορυφή του (2B)

	A	B	C	D
1	1B			
2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ			
3	Ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h$	2,5 m	
4	αποτελεσματικό ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h_{eff}$	2,5 m	
5	Ροπή σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$M_{id}$	0,0815 knm	
6	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	178,859 kn	
7	Εκκεντρότητα από οριζόντια φορτία EC6 (6.1.2.2)	$e_{he}$	0 m	
8	Αρχική εκκεντρότητα	$e_{init}$	0,0055556 m	
9	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
10	εκκεντρότητα τοίχου EC6 (6.1.2.2)	$e_i$	0,0060112 m	
11				
12	μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας EC6 (6.1.2.2)	$\Phi_i$	0,9759551	
13	θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$f_d$	2500 kn/m <sup>2</sup>	
14	συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_m$	2	
15				
16				
17	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΤΥΧΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ			
18				
19	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	86,004 kn	
20	μήκος ελεγχόμενου πεσσού	$l_c$	1,05 m	
21	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
22	Εμβαδόν ελεγχόμενου πεσσού	$E_{πεσ}$	0,525 m <sup>2</sup>	
23				
24				
25				
26				
27	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ			
28				
29				
30	αξονική αντοχή σχεδιασμού	$N_{Rd}$	609,97195 kn	
31	αξονικό φορτίο σχεδιασμού	$N_{ed}$	178,859 kn	
32				
33	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
34				
35				
36				

Εικόνα 32

	A	B	C	D
37				
38	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ			
39				
40	χαρακτηριστική αρχική διατμητική δύναμη	$f_{vk0}$	100	
41	χαρακτηριστική διατμητική δύναμη τοιχοποιίας	$f_{vk}$	165,52686	
42	διατμητική αντοχή σχεδιασμού του τοίχου EC6 (6.2)	$f_{vd}$	82,763429	$\text{kn/m}^2$
43				
44	διατμητική αντοχή σχεδιασμού	$V_{Rd}$	43,4508	$\text{kn}$
45	διατμητικό φορτίο σχεδιασμού	$V_{Ed}$	36,493	$\text{kn}$
46				
47	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
48				
49				
50				
51	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΟΠΩΝ			
52				
53				
54	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$f_{xd}$	100	$\text{kn/m}^2$
55	Ροπή αντίστασης ανά μέτρο μήκους	Z	0,0833333	$\text{m}$
56				
57				
58	καμπτική αντοχή σχεδιασμού	$M_{Rd}$	8,3333333	$\text{knm}$
59	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$M_{ed}$	0,1106	$\text{knm}$
60	καμπτική δύναμη σχεδιασμού ανά μέτρο μήκους	$M_{ed/m}$	0,1053333	
61	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
62				
63				
64				
65	Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση των ελέγχων είναι οι ακόλουθοι:			
66	<b><u>Έλεγχοι- Προσ απαιτούμενοι τύποι:</u></b>			
67				
68	<u>εκκεντρότητα τοίχου:</u> $e_i = \max(M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{in it}, 0,005 * t)$			
69				
70				
71	<u>μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας:</u> $\varphi_i$			
72				
73				
74	<u>αξονική αντοχή σχεδιασμού:</u> $N_{rd} = \varphi_i * t * f_d$			
75				
76	<u>διατμητική αντοχή σχεδιασμού:</u> $V_{rd} = f_{vd} * t * 1_c$			
77				

Εικόνα 33

	A	B	C	D
1	2B			
2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ			
3	Ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h$	2,5 m	
4	αποτελεσματικό ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h_{eff}$	2,5 m	
5	Ροπή σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$M_{jd}$	0,146 knm	
6	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{jd}$	130,085 kn	
7	Εκκεντρότητα από οριζόντια φορτία EC6 (6.1.2.2)	$e_{he}$	0 m	
8	Αρχική εκκεντρότητα	$e_{init}$	0,0055556 m	
9	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
10	εκκεντρότητα τοίχου EC6 (6.1.2.2)	$ei$	0,0066779 m	
11				
12	μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας EC6	$\Phi$	0,9732884	
13	θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$f_d$	2500 kn/m <sup>2</sup>	
14	συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_m$	2	
15				
16				
17	ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΤΥΧΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ			
18				
19	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{jd}$	49,316 kn	
20	μήκος ελεγχόμενου πεσσού	$l_c$	1,05 m	
21	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
22	Εμβαδόν ελεγχόμενου πεσσού	$E_{πεσφ}$	0,525 m <sup>2</sup>	
23				
24				
25				
26				
27	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ			
28				
29				
30	αξονική αντοχή σχεδιασμού	$N_{Rd}$	608,30525 kn	
31	αξονικό φορτίο σχεδιασμού	$N_{ed}$	130,085 kn	
32				
33	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
34				
35				
36				

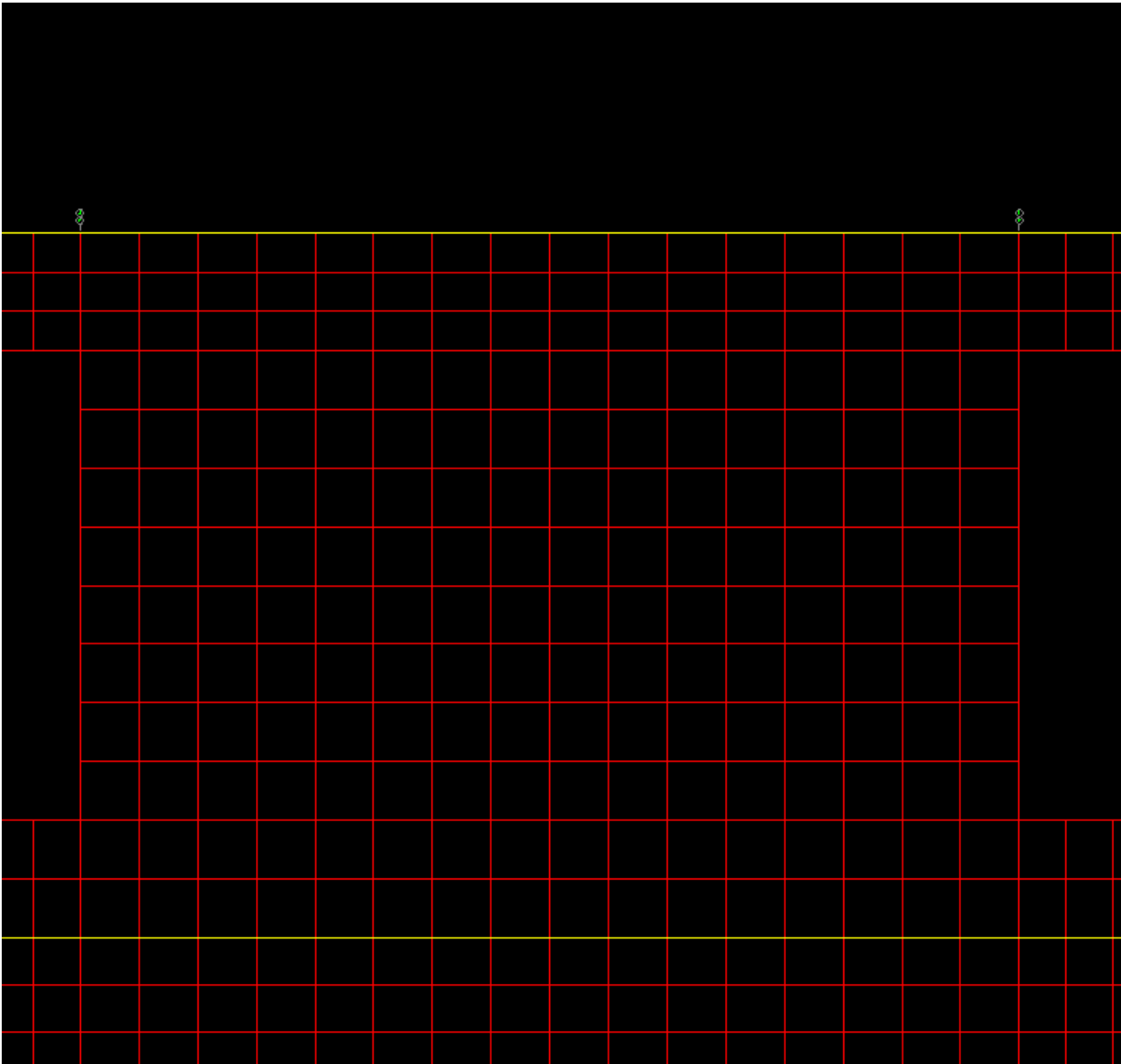
Εικόνα 34



	A	B	C	D
37				
38	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ</b>			
39				
40	χαρακτηριστική αρχική <u>διατμητική</u> δύναμη	$f_{vk0}$	100	
41	χαρακτηριστική <u>διατμητική</u> δύναμη τοιχοποιίας	$f_{vk}$	137,5741	
42	<u>διατμητική</u> αντοχή σχεδιασμού του τοίχου EC6 (6.2)	$f_{vd}$	68,787048	$kn/m^2$
43				
44	<u>διατμητική</u> αντοχή σχεδιασμού	$V_{Rd}$	36,1132	$kn$
45	<u>διατμητικό</u> φορτίο σχεδιασμού	$V_{Ed}$	3,308	$kn$
46				
47	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
48				
49				
50				
51	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΟΠΩΝ</b>			
52				
53				
54	<u>καμπτική</u> δύναμη σχεδιασμού	$f_{xd}$	100	$kn/m^2$
55	Ροπή αντίστασης ανά μέτρο μήκους	Z	0,0833333	
56				
57				
58	<u>καμπτική</u> αντοχή σχεδιασμού	$M_{Rd}$	8,3333333	$knm$
59	<u>καμπτική</u> δύναμη σχεδιασμού	$M_{ed}$	5,8924	$knm$
60	<u>καμπτική</u> δύναμη σχεδιασμού ανά μέτρο μήκους	$M_{ed/m}$	5,6118095	
61	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
62				
63				
64				
65	<b><u>Έλεγχοι- Προαπαιτούμενοι τύποι:</u></b>			
66				
67				
68	<u>εκκεντρότητα τοίχου:</u> $e_i = \max(M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init}, 0,005 * t)$			
69				
70				
71	<u>μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας:</u> $\phi_1$			
72				
73				
74	<u>αξονική αντοχή σχεδιασμού:</u> $N_{rd} = \phi_1 * t * f_d$			
75				
76				
77	<u>διατμητική αντοχή σχεδιασμού:</u> $V_{rd} = f_{vd} * t * l_c$			
78				
79				
80				
81	<u>καμπτική αντοχή σχεδιασμού:</u> $M_{Rd} = f_{xd} * Z$			

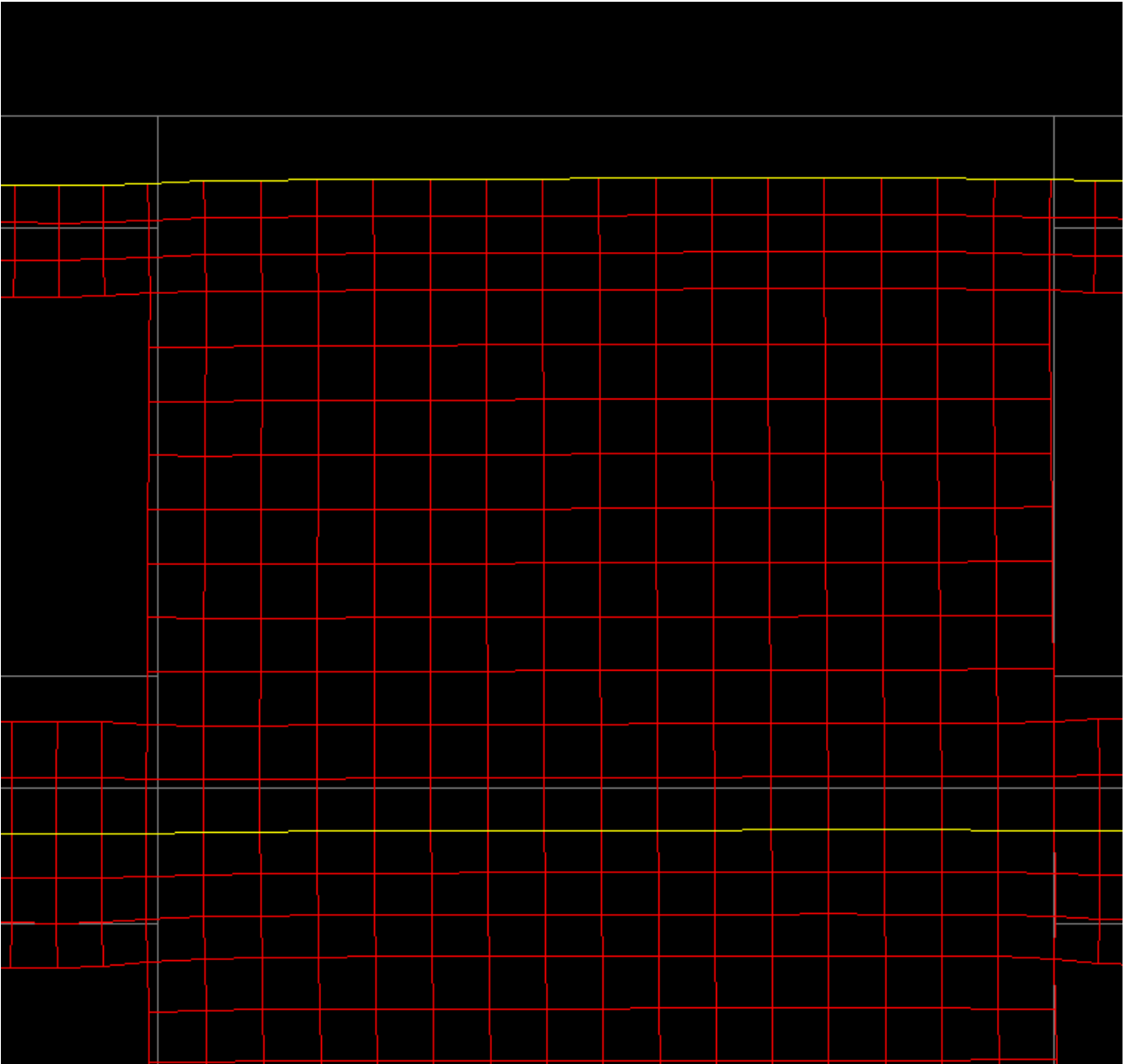
Εικόνα 35

Ο δεύτερος πεσσός που θα παρατηρηθεί αναλυτικότερα, βρίσκεται στη μέση της δεξιάς πλευράς του κτηρίου όπως φαίνεται στην εικόνα(36). Και εδώ θα παρουσιαστούν, η παραμόρφωση του πεσσού, οι ροπές, οι αξονικές αλλά και οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν στην κορυφή και στη βάση του πεσσού.



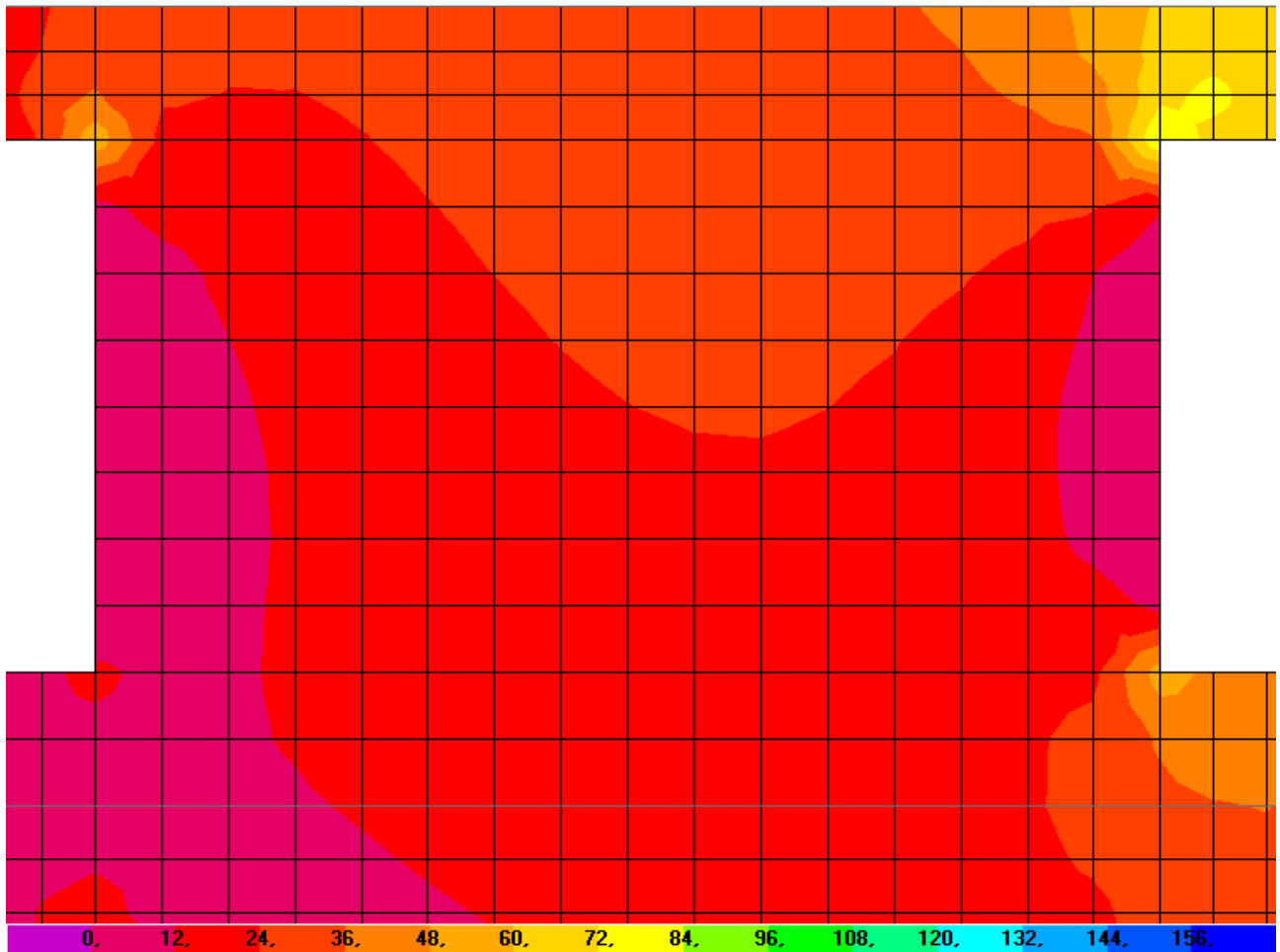
*Εικόνα 36: Πεσσός Β'*

Παρακάτω παρατηρείται η παραμόρφωση που υφίσταται ο πεσσός εξαιτίας των φορτίων που έχουν επιβληθεί στην κατασκευή (εικ.37). Η παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη προς τα άκρα του πεσσού.



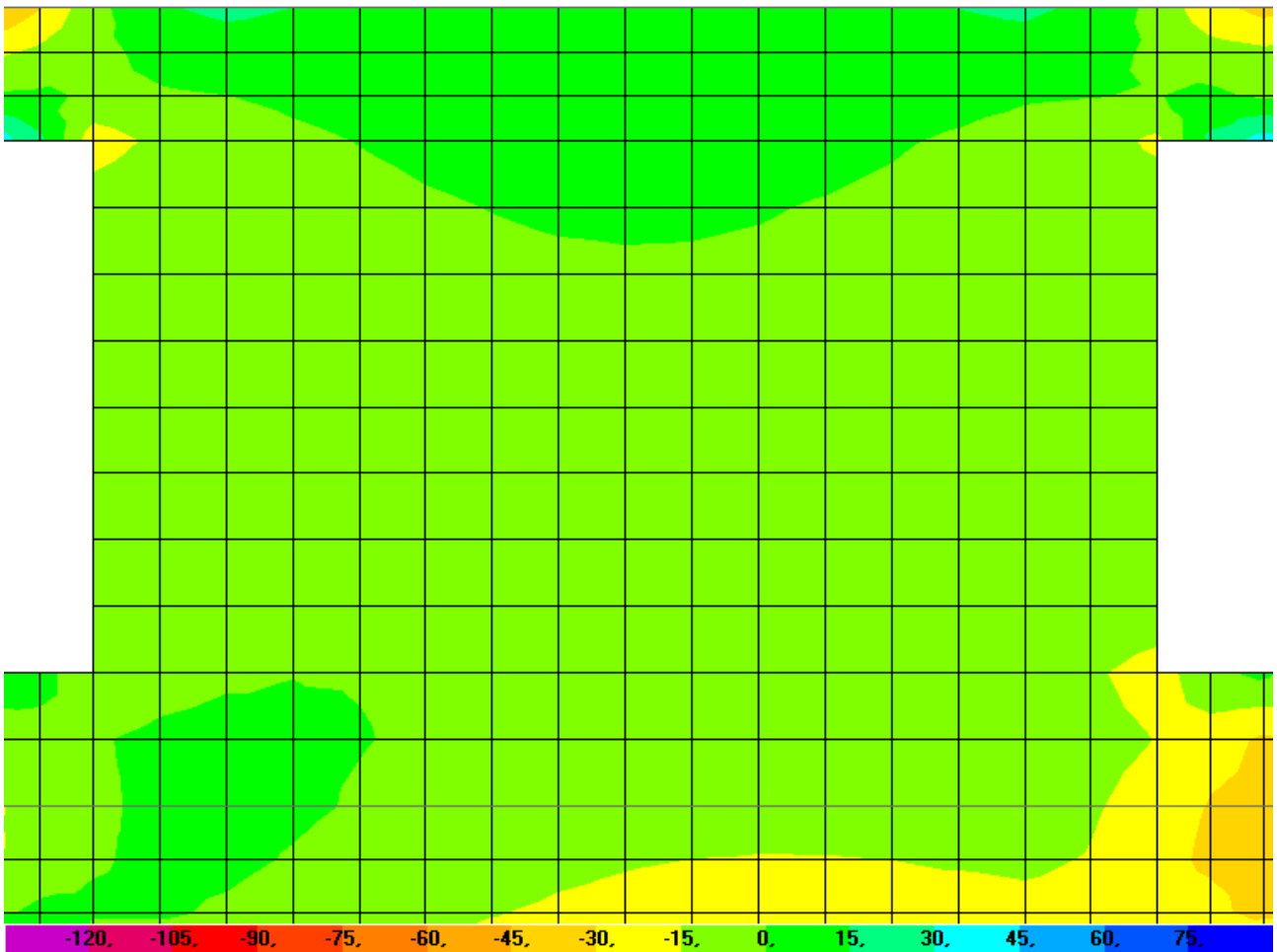
*Εικόνα 37: Παραμόρφωση πεσσού*

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται οι ροπές που ασκούνται στον συγκεκριμένο πεσσό. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, οι ροπές είναι μεγαλύτερες στην κορυφή του πεσσού, και κυρίως προς τα πλάγια, όπου και εφάπτεται ο πεσσός με τα δύο ανοίγματα, αριστερά και δεξιά του. Αντίθετα η τιμή των ροπών μειώνεται σημαντικά αριστερά και δεξιά στο κεντρικό μέρος του πεσσού, όπου και η τιμή της πλησιάζει το μηδέν.



Εικόνα 38: Ροπές στον πεσσό

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αξονικές που ασκούνται στον υπό παρατήρηση πεσσό. Παρατηρείται πως οι αξονικές είναι μεγαλύτερες στην κορυφή του πεσσού, ενώ η μικρότερη τιμή τους παρουσιάζεται στο κεντρικό κομμάτι του πεσσού.



Εικόνα 39: Αξονικές στον πεσσό

Τέλος θα παρουσιαστούν σε 4 εικόνες(εικ40-εικ43), τα δύο φύλλα excel που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των δύο ελέγχων στο συγκεκριμένο πεσσό. Πρόκειται για έναν έλεγχο στην κορυφή και έναν στην βάση του πεσσού.

	A	B	C	D
1				
2	<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ</b>			
3	Ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h$	3 m	
4	αποτελεσματικό ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h_{eff}$	3 m	
5	Ροπή σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$M_{id}$	0,3926 kNm	
6	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	398,406 kN	
7	Εκκεντρότητα από οριζόντια φορτία EC6 (6.1.2.2)	$e_{ne}$	0 m	
8	Αρχική εκκεντρότητα	$e_{init}$	0,0066667 m	
9	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
10	εκκεντρότητα τοίχου EC6 (6.1.2.2)	$e_i$	0,0076521 m	
11				
12	μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκενρότητας EC6	$\Phi_i$	0,9693916	
13	θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$f_d$	2500 kN/m <sup>2</sup>	
14	συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_m$	2	
15				
16				
17	<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΤΥΧΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ</b>			
18				
19	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	249,964 kN	
20	μήκος ελεγχόμενου πεσσού	$l_c$	4 m	
21	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
22	Εμβαδόν ελεγχόμενου πεσσού	$E_{πεσ}$	2 m <sup>2</sup>	
23				
24				
25				
26	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ</b>			
27				
28				
29	αξονική αντοχή σχεδιασμού	$N_{Rd}$	605,86977 kN	
30	αξονικό φορτίο σχεδιασμού	$N_{ed}$	398,406 kN	
31				
32	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
33				
34				
35				

Εικόνα 40

	A	B	C	D
36				
37	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ			
38				
39	χαρακτηριστική αρχική διατμητική δύναμη	$f_{vk0}$	100	
40	χαρακτηριστική διατμητική δύναμη τοιχοποιίας	$f_{vk}$	149,9928	
41	διατμητική αντοχή σχεδιασμού του τοίχου EC6 (6.2)	$f_{vd}$	74,9964 $\text{kn/m}^2$	
42				
43	διατμητική αντοχή σχεδιασμού	$V_{Rd}$	149,9928 $\text{kn}$	
44	διατμητικό φορτίο σχεδιασμού	$V_{Ed}$	40,573 $\text{kn}$	
45				
46	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
47				
48				
49				
50	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΟΠΩΝ			
51				
52				
53	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$f_{xd}$	100 $\text{kn/m}^2$	
54	Ροπή αντίστασης ανά μέτρο μήκους	Z	0,0833333	
55				
56				
57	καμπτική αντοχή σχεδιασμού	$M_{Rd}$	8,3333333 $\text{knm}$	
58	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$M_{ed}$	28,3843 $\text{knm}$	
59	καμπτική δύναμη σχεδιασμού ανά μέτρο μήκους	$M_{ed/m}$	7,096075	
60	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
61				
62				
63				
64	<b><u>Έλεγχοι- Προαπαιτούμενοι τύποι:</u></b>			
65				
66				
67	<u>εκκεντρότητα τοίχου:</u> $e_i = \max(M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init}, 0,005*t)$			
68				
69				
70	<u>μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας:</u> $\phi_i$			
71				
72				
73	<u>αξονική αντοχή σχεδιασμού:</u> $N_{rd} = \phi_i * t * f_d$			
74				
75				
76	<u>διατμητική αντοχή σχεδιασμού:</u> $V_{rd} = f_{vd} * t * l_c$			
77				
78				
79	<u>καμπτική αντοχή σχεδιασμού:</u> $M_{Rd} = f_{xd} * Z$			
80				

Εικόνα 41

	A	B	C	D
1				
2	<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ</b>			
3	Ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h$	3 m	
4	αποτελεσματικό ύψος ελεγχόμενου πεσσού	$h_{eff}$	3 m	
5	Ροπή σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$M_{id}$	3,71E-006 knm	
6	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	64,334 kn	
7	Εκκενρότητα από οριζόντια φορτία EC6 (6.1.2.2)	$e_{he}$	0 m	
8	Αρχική εκκενρότητα	$e_{init}$	0,0066667 m	
9	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
10	εκκενρότητα τοίχου EC6 (6.1.2.2)	$e_i$	0,0066667 m	
11				
12	μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκενρότητας EC6	$\Phi_i$	0,9733331	
13	θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2)	$f_d$	2500 kn/m <sup>2</sup>	
14	συντελεστής ασφαλείας	$\gamma_m$	2	
15				
16				
17	<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΤΥΧΥΜΑΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ</b>			
18				
19	Αξονική δύναμη σχεδιασμού EC6 (6.1.2.2.)	$N_{id}$	37,5 kn	
20	μήκος ελεγχόμενου πεσσού	$l_c$	4 m	
21	πάχος τοίχου	$t$	0,5 m	
22	Εμβαδόν ελεγχόμενου πεσσού	$E_{πεσ}$	2 m <sup>2</sup>	
23				
24				
25				
26	<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ</b>			
27				
28				
29	αξονική αντοχή σχεδιασμού	$N_{Rd}$	608,33319 kn	
30	αξονικό φορτίο σχεδιασμού	$N_{ed}$	64,334 kn	
31				
32	Αποτέλεσμα ελέγχου		1	
33				
34				
35				

Εικόνα 42



36			
37	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ		
38			
39	χαρακτηριστική αρχική διατμητική δύναμη	$f_{vk0}$	100
40	χαρακτηριστική διατμητική δύναμη τοιχοποιίας	$f_{vk}$	107,5
41	διατμητική αντοχή σχεδιασμού του τοίχου EC6 (6.2)	$f_{vd}$	53,75 kn/m <sup>2</sup>
42			
43	διατμητική αντοχή σχεδιασμού	$V_{Rd}$	107,5 kn
44	διατμητικό φορτίο σχεδιασμού	$V_{Ed}$	45,813 kn
45			
46	Αποτέλεσμα ελέγχου		1
47			
48			
49			
50	ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΟΠΩΝ		
51			
52			
53	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$f_{xd}$	100 kn/m <sup>2</sup>
54	Ροπή αντίστασης ανά μέτρο μήκους	Z	0,0833333
55			
56			
57	καμπτική αντοχή σχεδιασμού	$M_{Rd}$	8,3333333 knm
58	καμπτική δύναμη σχεδιασμού	$M_{ed}$	32,12 knm
59	καμπτική δύναμη σχεδιασμού ανά μέτρο μήκους	$M_{ed/m}$	8,03
60	Αποτέλεσμα ελέγχου		1
61			
62			
63			
64	<b><u>Έλεγχοι- Προαπαιτούμενοι τύποι:</u></b>		
65			
66			
67	<u>εκκεντρότητα τοίχου:</u> $e_i = \max(M_{id}/N_{id} + e_{he} + e_{init}, 0,005 * t)$		
68			
69			
70	<u>μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας:</u> $\varphi_i$		
71			
72			
73	<u>αξονική αντοχή σχεδιασμού:</u> $N_{rd} = \varphi_i * t * f_d$		
74			
75			
76	<u>διατμητική αντοχή σχεδιασμού:</u> $V_{rd} = f_{vd} * t * l_c$		
77			
78			
79			
80	<u>καμπτική αντοχή σχεδιασμού:</u> $M_{Rd} = f_{xd} * Z$		

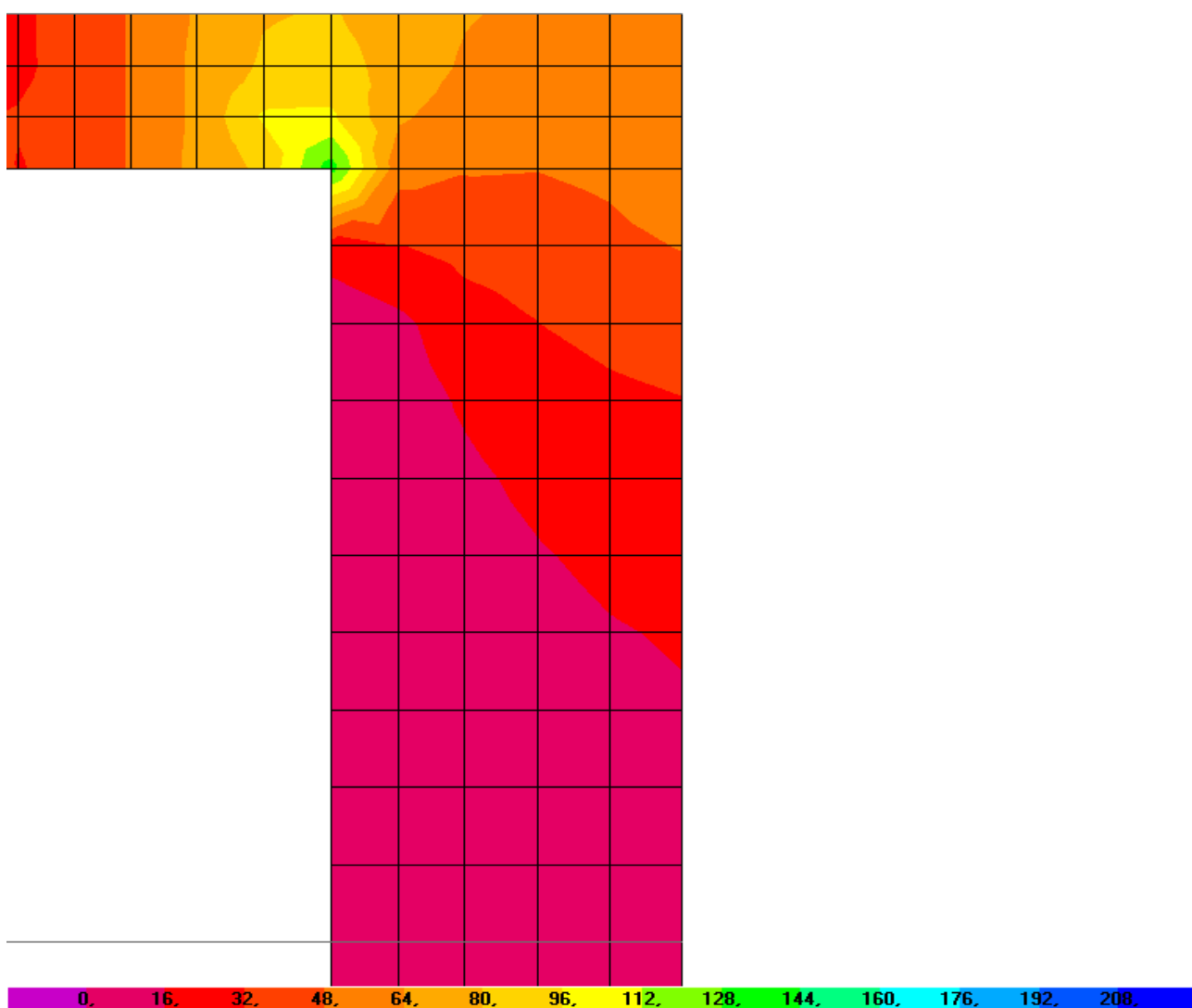
Εικόνα 43

Τέλος μέσω του προγράμματος SAP2000 έγινε προσθήκη πατώματος και στέγης που θα λειτουργούν ως διάφραγμα.

#### 4.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

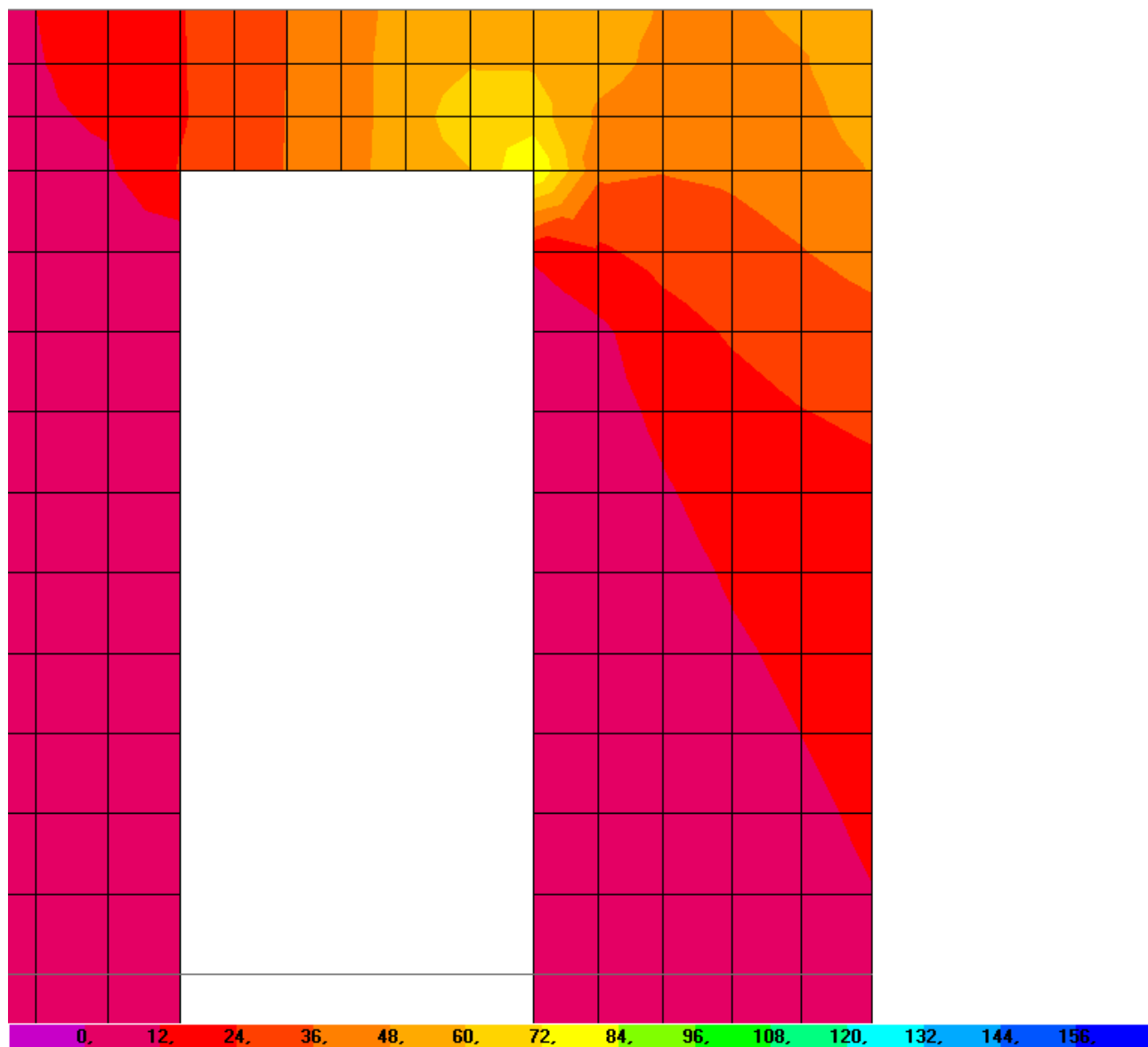
Σε αυτό το σημείο θα παραθέσουμε 3 διαφορετικά αποτελέσματα από τον ίδιο όμως πεσσό του κτηρίου. Τα αποτελέσματα θα είναι από τον έλεγχο των ροπών που πραγματοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πεσσό, αρχικά με την απουσία ενός από τους 4 τοίχους του κτηρίου, στη συνέχεια έχοντας προσθέσει τον τοίχο, και τέλος έχοντας προσθέσει και διάφραγμα στο κτήριο.

1. Ο πεσσός όταν λείπει ο τοίχος από το κτήριο. Οι ροπές στο πάνω μέρος του πεσσού είναι αρκετά έντονες, με την μέγιστη τιμή να πλησιάζει τα 140kNm στην γωνία που κάνει ο πεσσός με το άνοιγμα.



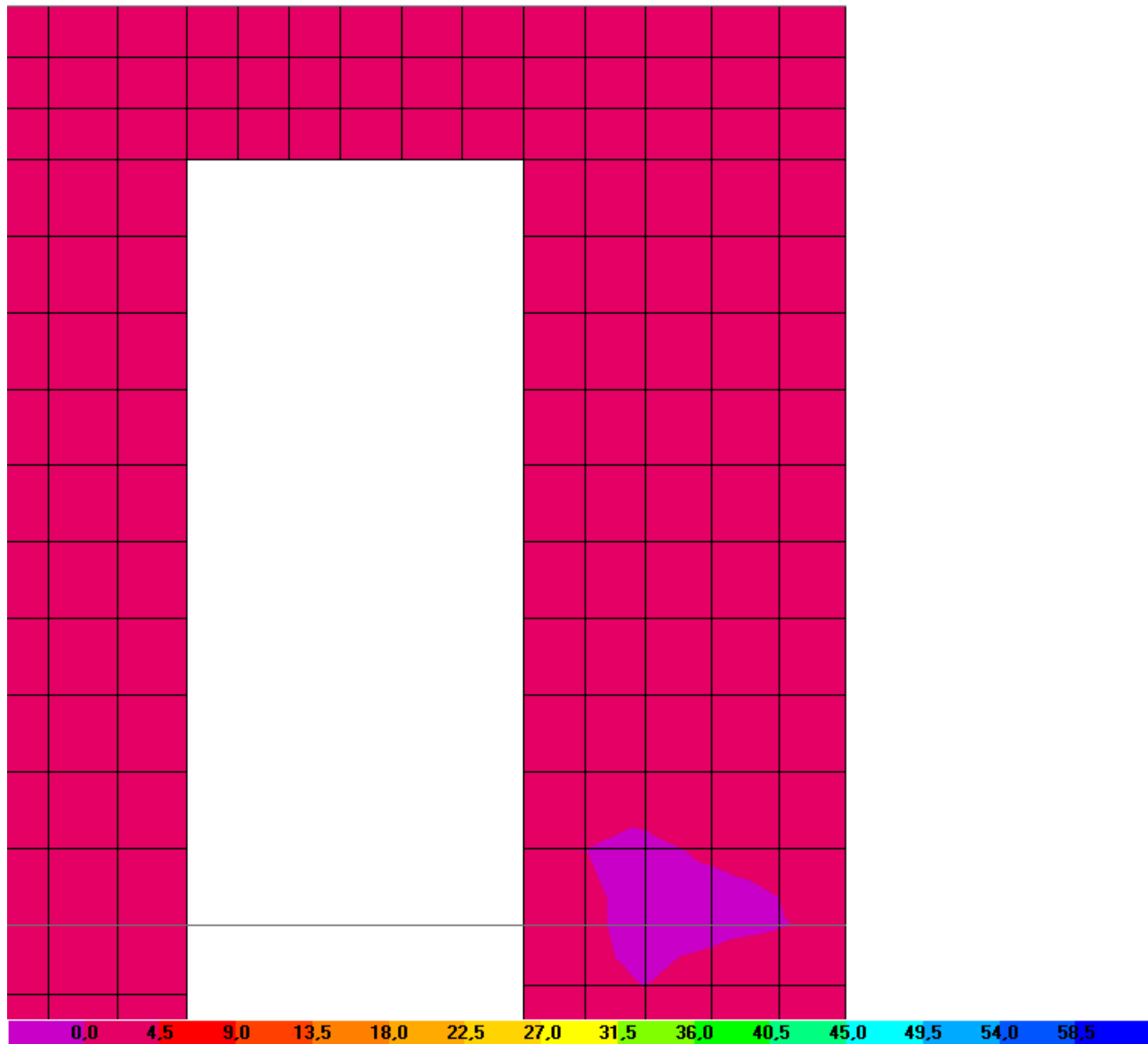
Εικόνα 44: Ροπές στον αρχικό πεσσό

2. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ροπές στον ίδιο πεσσό έχοντας προσθέσει τον τοίχο που λείπει. Παρατηρείται ότι οι μέγιστη τιμή της ροπής έχει μειωθεί σημαντικά. Η τιμή βρίσκεται κοντά στα 80kNm από τα 140kNm που βρισκόταν προηγουμένως.



Εικόνα 45: Ροπές στον πεσσό μετά την προσθήκη του τοίχου

3. Τέλος παρουσιάζεται η εικόνα με τον ίδιο πάντα πεσσό, έχοντας αυτή τη φορά προσθέσει και διάφραγμα. Η ροπές αυτή τη φορά έχουν μειωθεί ακόμα περισσότερο με την μέγιστη τιμή να πλησιάζει τα 5 μόλις knm.



Εικόνα 46: Ροπές στον πεσσό μετά την προσθήκη διαφράγματος

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εξετάστηκε ένα πέτρινο κτήριο, στο οποίο όπως επισημάναμε και παραπάνω λείπει ο ένας από τους 4 τοίχους του, λόγω ανακαίνισης που ποτέ δεν ολοκληρώθηκε. Αφού προσομοιώθηκε το κτήριο στο πρόγραμμα SAP2000 πραγματοποιήθηκε ανάλυση του κτηρίου με τα φορτία για να προσδιοριστούν οι ροπές, οι αξονικές και οι τέμνουσες δυνάμεις που δέχεται το κτήριο στην κατάσταση που βρίσκεται σήμερα. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε φύλλο στο excel με τους ελέγχους του Ευρωκώδικα 6 για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία με σκοπό τη διευκόλυνση της πραγματοποίησής των ελέγχων σε όλους τους πεσσούς του κτηρίου. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε πεσσοί ξεχωριστά ήταν δύο. Ο ένας πραγματοποιήθηκε στη βάση και ο άλλος στην κορυφή του πεσσοί. Σε κάθε έναν από αυτούς τους ελέγχους εξετάστηκε η αξονική, η τέμνουσα και η ροπή που ασκούνται συγκεντρωμένα στο κέντρο της βάσης και της κορυφής του κάθε πεσσοί αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα από τους συγκεκριμένους ελέγχους δεν ήταν ικανοποιητικά με τις τιμές σε αρκετούς πεσσούς του κτηρίου και ειδικότερα στους ελέγχους των ροπών να ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια που προέκυπταν από τον Ευρωκώδικα.

Αναμενόμενα εξ'αρχής τα παραπάνω αποτελέσματα οδήγησαν στον έλεγχο του κτιρίου θεωρώντας ότι θα κατασκευαστεί ο τοίχος, ο οποίος έλειπε αρχικά από το κτήριο. Η προσθήκη του τοίχου βελτίωσε αρκετά την εικόνα των αποτελεσμάτων. Οι ροπές μειώθηκαν αρκετά, πλησιάζοντας τις τιμές των αντοχών που προκύπτουν σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 6 παρέμειναν και πάλι όμως εκτός των ορίων σε αρκετούς πεσσούς του κτηρίου. Γεγονός που διαπιστώθηκε και παραπάνω στον πεσσοί, στον οποίο πραγματοποιήθηκε η σύγκριση του στις διαφορετικές μορφές του κτηρίου.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα οδήγησαν τέλος στον έλεγχο του κτιρίου μετά από την προσθήκη διαφράγματος, το οποίο και απουσιάζει από το κτήριο λόγω της έλλειψης του τοίχου. Η προσομοίωση του διαφράγματος έγινε και πάλι με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000. Τα αποτελέσματα που έδωσε αυτή τη φορά το πρόγραμμα ήταν άκρως ικανοποιητικά με τις ροπές να μειώνονται σημαντικά και να βρίσκονται αυτή τη φορά εντός των ορίων που έδινε ο ευρωκώδικας 6. Από τις παραπάνω αναλύσεις προέκυψε το συμπέρασμα ότι η προσθήκη διαφράγματος βελτιώνει σημαντικά την συμπεριφορά κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.

## Βιβλιογραφία

- 1.Φυλλίτσα Β. Καραντώνη, 2004, Κατασκευές από τοιχοποιία
- 2.Ευρωκώδικας 6 – Σχεδιασμός φέρουσων κατασκευών από τοιχοποιία, Μέρος 1-1: γενικοί κανόνες για κτίρια σχεδιασμένα από οπλισμένη και άοπλη τοιχοποιία, CEN, ENV 1996-1-1:2005
- 3.<http://www.aggeliestanea.gr/Article.aspx?ArticleId=4640272> ,Τα πετρόκτιστα σπίτια συνδυάζουν διαχρονική ομορφιά και αντοχή, Μάιος 2013
- 4.Τάσιος Θ.Π., 1992, Η μηχανική της τοιχοποιίας εκδόσεις Συμμετρία Ε.Μ.Π., Αθήνα