

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΩΜΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ

ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

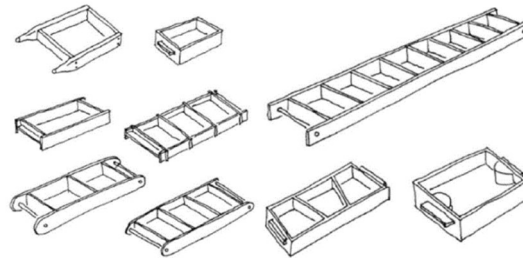
Πολιτικός μηχανικός, απόφοιτη (2022) ΔΠΜΣ «Προστασίας Μνημείων» ΕΜΠ, papandreoujoanna@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης την διερεύνηση του τρόπου δόμησης των κτιρίων από ωμοπλινθοδομή καθώς και τις τεχνικές επεμβάσεων που εφαρμόζονται. Αρχικά παρουσιάζεται το χώμα ως υλικό δόμησης καθώς και ο τρόπος προσδιορισμού των μηχανικών του χαρακτηριστικών. Αναλύεται ο τρόπος δόμησης και τεκμηριώνεται η ύπαρξη πλίνθινων κατασκευών στα ΒΑ παράλια της Πελοποννήσου έπειτα από συστηματική καταγραφή. Συνοπτικά παρουσιάζεται η συμπεριφορά και η παθολογία αυτών των κατασκευών καθώς και οι επισκευές - ενισχύσεις που προτείνονται στην βιβλιογραφία. Προσεγγίστηκε υπολογιστικά πλινθόκτιστο κτίριο συνήθους τυπολογίας, έγιναν αναλύσεις αποτίμησης της συμπεριφοράς και έλεγχοι σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ. Ακολούθως προτάθηκε σύνολο επεμβάσεων με σκοπό την βελτίωση της απόκρισης του φορέα.

1. ΤΟ ΧΩΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΔΟΜΗΣΗΣ

Το έδαφος αποτελεί στάδιο μιας μακράς διαδικασίας αλλοίωσης και εξέλιξης του μητρικού πετρώματος. Είναι το αποτέλεσμα ενός εύρους από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που σχετίζονται με κλιματικές και βιολογικές συνθήκες, την χλωρίδα και την πανίδα. Έτσι, αποκτά άπειρες μορφές και τεράστια ποικιλία χαρακτηριστικών. Η δόμηση με χώμα επιτυγχάνεται με την ανάμειξη τμήματος αργιλικού εδάφους, νερού και διαφόρων πρόσμικτων (βλ. σταθεροποίηση [1]). Τα επιμέρους συστατικά μπορεί να διαφέρουν ανά περίπτωση και αυτό να οδηγεί σε διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες, απόχρωση κλπ.. Οι ωμόπλινθοι παράγονται με την χρήση ξύλινων ορθογώνιων καλουπιών τοποθετημένων στο έδαφος, τα οποία είναι ανοιχτά στην πάνω και την κάτω πλευρά τους.

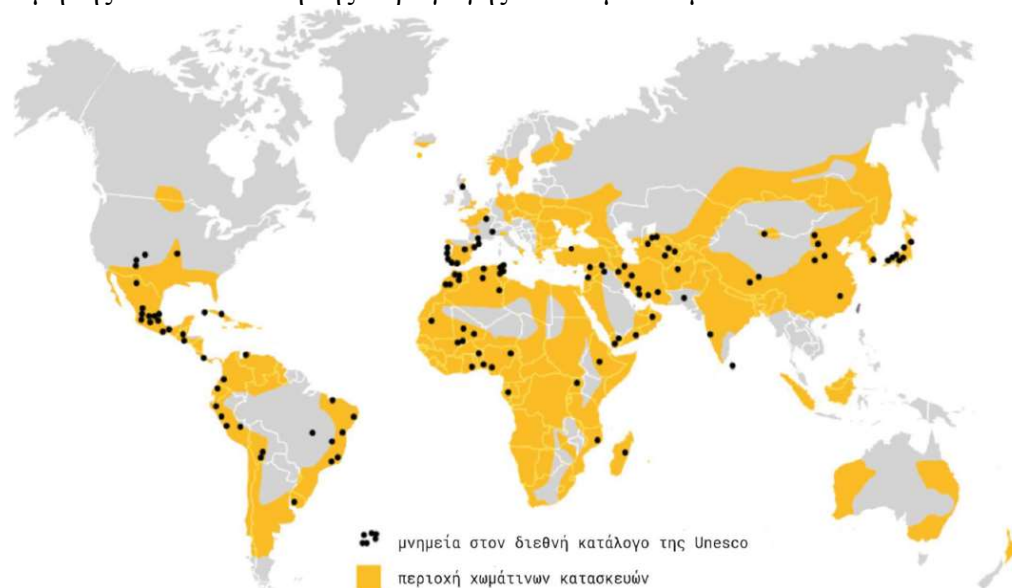


Εικόνα 1: Καλούπια ωμοπλίνθων [2]

Από την αρχαιότητα έως και σήμερα, το χώμα (ή ωμή γη) είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα υλικά δόμησης μαζί με το ξύλο και τους φυσικούς λίθους. Η χρήση του χώματος απαντάται συχνά στην Λατινική Αμερική, στην Αφρική, την Μέση Ανατολή και την Νότια Ευρώπη. Ως πρώτη ύλη βρίσκεται σε αφθονία σχεδόν παντού και ίσως αποτελεί το οικονομικά πιο προσιτό (κύριο δομικό) υλικό. Η δόμηση με χώμα στο ελλαδικό χώρο τεκμηριώνεται από τα προϊστορικά και αρχαία χρόνια, στο σύνολο σχεδόν της χώρας. Σε πεδινές περιοχές με αργιλώδες έδαφος η κατασκευή με αυτόν τον τρόπο γινόταν συστηματικά, όχι μόνο σε επίπεδο κατοικιών αλλά και προβιομηχανικά, αγροτικά κτίσματα.

Υπάρχει λοιπόν ένα σημαντικό απόθεμα πλίνθινων κατασκευών όπου σε ορισμένες περιοχές τις χαρακτηρίζουν εξολοκλήρου, ενώ σε άλλες αποτελούν σημαντικούς μάρτυρες μιας εποχής. Πέραν της αποδεδειγμένης μνημειακής αξίας λόγω ιστορικότητας και αρχιτεκτονικής αξίας, η σημασία της προστασίας του συγκεκριμένου τρόπου δόμησης έγκειται

και στην διαφύλαξη σειράς τεχνικών που περιλαμβάνουν εκτός από την καθαυτή διαδικασία της οικοδόμησης αλλά και αυτή της παραγωγής των δομικών μονάδων.



Εικόνα 2: Χάρτης περιοχών χωμάτινων κατασκευών και μνημείων [3]

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

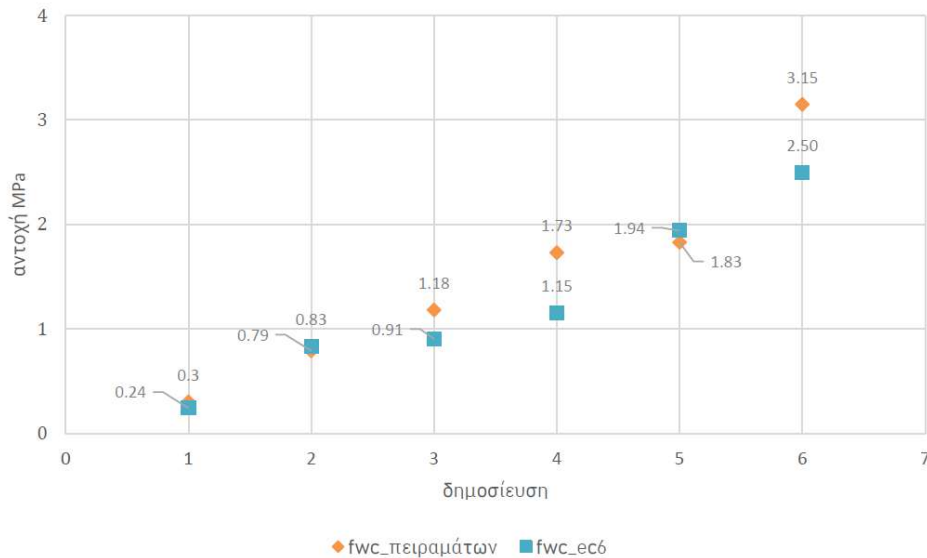
Παρά την σημασία των μηχανικών χαρακτηριστικών, το πλήθος των Κανονισμών η Προτύπων αναγνωρισμένων από κράτη είναι περιορισμένο. Η αναφορά σε δομικές μονάδες από ωμή γη, όταν γίνονται δεν είναι συγκεκριμένες και λεπτομερείς.

Η θλιπτική αντοχή αποτελεί ένα από τα βασικότερα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών. Για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ωμόπλινθοι, επιβάλλεται ο προσδιορισμός της και δυστυχώς δεν υπάρχει κοινώς αποδεκτός τρόπος μέτρησής της. Συνήθεις δοκιμές είναι η μονοαξονική θλίψη, η κάμψη τριών σημείων και η επιτόπου μέτρηση με σκληρόμετρο. Βασικοί παράγοντες που καθιστούν τα αποτελέσματα των ερευνών μη συγκρίσιμα είναι το μέγεθος, το σχήμα των δοκιμίων, το εμβαδό στο οποίο ασκείται άμεση θλίψη και ο τρόπος τοποθέτησής τους σε σχέση με την διεύθυνση επιβολής της φόρτισης κ.α..

Στις κατασκευές από ωμοπλινθοδομή, χρησιμοποιούνται κονιάματα με κύριο συστατικό τον πηλό, τα οποία όταν εκτεθούν στον ατμοσφαιρικό αέρα αρχίζει η εξάτμιση του περιεχόμενου νερού και τα στερεά υλικά παραμένουν ενωμένα (αερική κονία). Η σύνθεση τους μπορεί να περιέχει σταθεροποιητές (π.χ. προσθήκη ασβέστη) χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο. Ο τρόπος προσδιορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των πηλοκονιαμάτων δεν διαφέρει από τις περιπτώσεις των υπόλοιπων κονιαμάτων. Οι μηχανικές ιδιότητες των πηλοκονιαμάτων προφανώς καθορίζονται από τα συστατικά τους. Η μη τυποποίηση όμως των πηλών, οδηγεί στην αδυναμία καθορισμού των ιδιοτήτων του πηλοκονιάματος εξ αρχής.

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας γίνεται με την διεξαγωγή πειραμάτων σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα ή την χρήση εμπειρικών τύπων. Σημειώνεται ότι οι ωμόπλινθοι και τα πηλοκονιάματα δεν είναι στο εύρος των υλικών που καλύπτει, αλλά ερευνητές [4],[5] διαπιστώνουν ότι η σχέση του ΕΚ6 μπορεί να υιοθετηθεί αφού οδηγεί σε αποδεκτές αποκλίσεις από τα πειραματικά αποτελέσματα. Τουλάχιστον για τις εργασίες που εξετάστηκαν¹ ([6],[7],[8],[9],[10],[11]) η εξίσωση που προτείνει ο ΕΚ6 για την τιμή της θλιπτικής αντοχής δεν αποκλίνει σημαντικά από τις πραγματικές τιμές.

¹ Αναφέρονται οι συγκεκριμένες εργασίες διότι στην υπόλοιπη βιβλιογραφία δεν υπήρχαν άλλες με επαρκή δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή της εξίσωσης (στην πλειοψηφία, δεν μπορούσε να υπολογιστεί το δ το οποίο προκύπτει από τις διαστάσεις του δοκιμίου).



Εικόνα 3: Συγκριτικό γράφημα τιμών θλιπτικών αντοχών: εξίσωση ΕΚ6 – πειραματικά αποτελέσματα.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

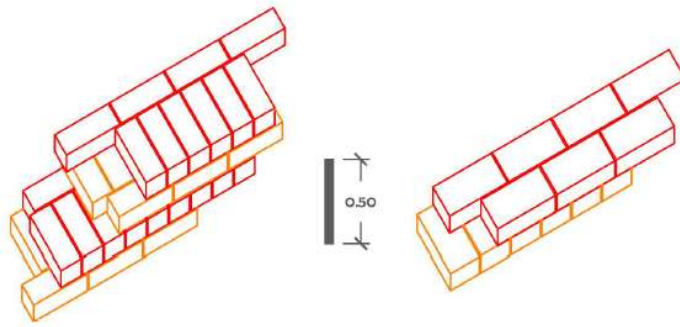
Προκειμένου να αναγνωρισθεί ο τρόπος δόμησης, το πλήθος και το είδος των πλίνθινων κτιρίων, έγινε καταγραφή σε μορφή καρτελών ορισμένου αριθμού κτιρίων. Κάθε κτίριο που καταχωρήθηκε μπορεί να εντοπιστεί επακριβώς στον διαδικτυακό χάρτη² όπως επίσης και άλλα πλινθόκτιστα κτίρια για τα οποία όμως δεν έγινε συστηματική καταγραφή.

Με στόχο την αποφυγή της ανερχόμενης υγρασίας, στην συντριπτική πλειονότητα της η ωμοπλινθοδομή στηρίζεται σε μια λίθινη βάση 40-80 εκατοστών από αργολιθοδομή και μερικές φορές από οπτοπλινθοδομή. Στην περίπτωση όπου το κτίριο έχει όροφο, η λίθινη αυτή βάση μπορεί να εκταθεί μέχρι και το πάτωμα του ορόφου και στην συνέχεια να χτιστεί η ωμοπλινθοδομή. Κατά την όψη, παρατηρείται ένα καθ' ύψος ισόδομο σύστημα δόμησης όπου οι ωμόπλινθοι διατάσσονται σε μία στρώση με εμφανή την μεγάλη τους πλευρά και στην επόμενη στρώση με την μικρή.

Κατά το πάχος της τοιχοποιίας, η εμπλοκή των λιθοσωμάτων της ωμοπλινθοδομής ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι δομημένη. Δεν μπορεί να χαρακτηριστεί τρίστρωτη λόγω της απουσίας της ενδιάμεσης στρώσης (γεμίματος) που συναντάται συνήθως στις λιθοδομές. Στα κτίρια που εξετάστηκαν στην περιοχή της έρευνας, οι τοιχοποιίες είναι μπατικές με τα λιθοσώματα δομημένα έτσι ώστε να μην υπάρχουν κατακόρυφοι αρμοί ανάμεσα στα λιθοσώματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε τοιχοποιία δύο παρειών με ύπαρξη διάτονων λίθων, γεγονός που υποδηλώνει μια άλλη λογική δόμησης με πάχος τοίχου ίσο με την μεγάλη διάσταση της δομικής μονάδας.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι σύνθεσης των πλινθών για την κατασκευή ενός τοίχου. Μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με την σχέση που έχει η μεγαλύτερη πλευρά (μήκος) της δομικής μονάδας με το πάχος του τοίχου. Για πάχη ίσα με το μήκος της πλίνθας η δόμηση είναι δρομική ενώ για μεγαλύτερα μπατική (ή υπερμπατική). Σε κάθε περίπτωση προκύπτουν ισόδομες τοιχοποιίες στις οποίες γίνεται προσπάθεια για διαμόρφωση διακοπτόμενων αρμών.

² Υπερσύνδεσμος: <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1UC6N-nE-r4qbXwB6qBd9xfujKhtYRQ&usp=sharing>



Εικόνα 4: Τρόπος δόμησης στην περιοχή της έρευνας.

Η δόμηση με ωμόπλινθους στην χώρα μας είναι παραδοσιακά συνυφασμένη με την χρήση ξύλινων στοιχείων τα οποία βελτιώνουν την συμπεριφορά της κατασκευής. Ξυλοδεσιές τοποθετούνται συστηματικά σε στάθμες πατωμάτων, ποδιών και πρεκιών και συχνά οριζόντια (και μερικές φορές κατακόρυφα) ξύλινα στοιχεία ενισχύουν τους πεσσούς ανάμεσα από ανοίγματα.



Εικόνα 5: Στάθμες ξυλοδεσιών και οριζόντιων ενισχύσεων (ενδιάμεση στάθμη) στην περιοχή Λυκοποριά δήμου Ξυλοκάστρου – Ευρωστίνης.

Η σύνδεση των διαμήκων και εγκάρσιων ξύλων μεταξύ τους έχει μεγάλη σημασία για την αποτελεσματικότητα του συνόλου. Αυτή γίνεται είτε μισοχαρακτή είτε απλώς με εν επαφή με ένα καρφί. Πιο σπάνια συναντώνται πιο περίτεχνες συναρμογές. Παρατηρήθηκε η προσπάθεια να προστατευτούν τα ξύλινα μέλη από την υγρασία τοποθετώντας στην όψη του κτιρίου μικρούς λίθους ή κεραμίδια. Όσον αφορά στις δοκούς των πατωμάτων, σε όλα τα κτίρια που εξετάστηκαν, διαπιστώθηκε η έδραση τους σε όλο το πάχος της τοιχοποιίας καθώς και η σύνδεση τους με τους στρωτήρες της στάθμης.

Για την επαρκή αγκύρωση των ξύλινων μελών, όπως μέρος ξυλοδεσιών, δοκών πατώματος ή στέγης συχνά χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία αγκύρωσης στα άκρα τους. Μεταλλικοί ελκυστήρες χρησιμοποιούνται επίσης για τη σύνδεση κατακόρυφων στοιχείων μεταξύ τους σε διάφορες διατάξεις (ελεύθεροι, ενσωματωμένοι στα πατώματα ή στο πάχος των τοίχων).



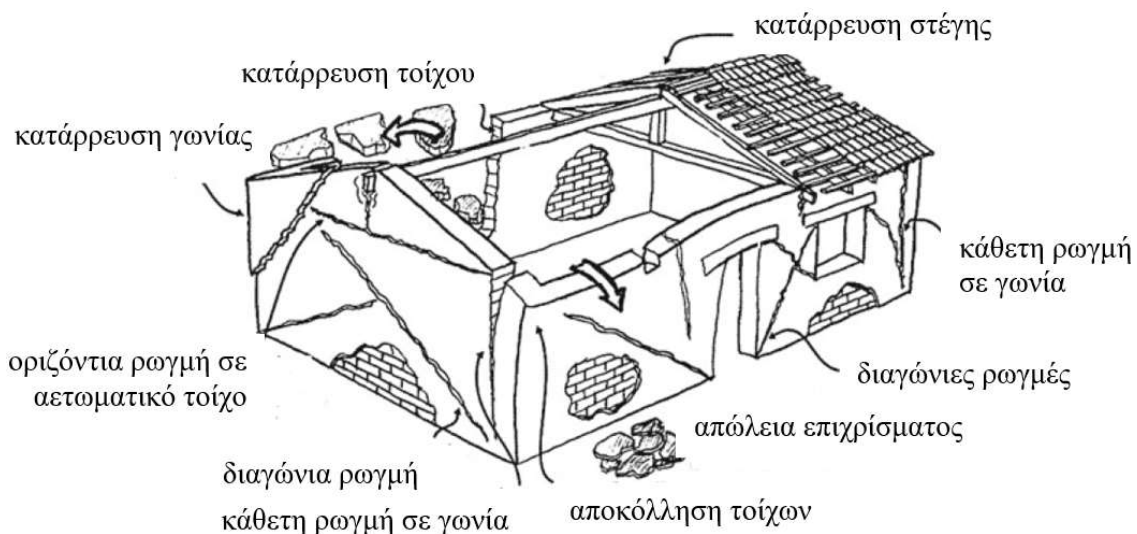
Εικόνα 6: Αριστερά: Κατοικία με μεταλλικά στοιχεία αγκύρωσης στις όψεις της, στην προσφυγική συνοικία της Πάτρας. Δεξιά: Σχηματική απεικόνιση πιθανής διάταξης μεταλλικής αγκύρωσης ξύλινης δοκού.

4. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΙΘΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η πιο ενδελεχής και εμπειρισταωμένη μελέτη της συμπεριφοράς των πλιθινών κατασκευών έγινε στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος με τίτλο “Getty Seismic Adobe Project” του Ινστιτούτου Getty [12].

Η υγρασία αποτελεί την πιο σημαντική -μη σεισμική- ευπάθεια του των κατασκευών από χώμα, είτε ως κατερχόμενη ή πλευρική (βροχή) είτε ως ανερχόμενη έχει την ιδιότητα σταδιακά να διαβρώνει (με την έννοια της απόπλυσης) το χώμα. Συνήθως, η ανερχόμενη υγρασία (ειδικά σε περίπτωση απουσίας λίθινης βάσης) σε συνδυασμό με τις ριπές του ανέμου, απομειώνει τις διατομές στην βάση των τοίχων αυξάνοντας την καταπόνηση. Όταν το νερό εξατμίζεται, τα άλατα που περιέχει κρυσταλλοποιούνται και παραμένουν στην επιφάνεια των τοίχων. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας τα άλατα διαστέλλονται και μπορούν να ρηγματώσουν την πλίθα.

Οι τοίχοι από ωμοπλινθοδομή συμπεριφέρονται γενικότερα οι λιθοδομές, χαρακτηρίζονται δηλαδή από εγγενή αδυναμία να αντισταθούν στις εφελκυστικές τάσεις που προκαλούνται από εκτός επιπέδου καταπόνηση. Συνήθως οι βλάβες συναντώνται σε τοίχους που βρίσκονται κάθετα στη διεύθυνση του σεισμού, μεταξύ δύο εγκάρσιων τοίχων.



Εικόνα 7: Τυπικές αστοχίες πλιθινών κατασκευών [13].

Η πιο τυπική περίπτωση ρηγματώσης λόγω σεισμική διέγερσης, σε τοίχους που βρίσκονται παράλληλα με τον σεισμό (εντός επιπέδου), αποτελούν οι διαγώνιες ή δυσδιαγώνιες ρωγμές, υπό γωνία περίπου 45°, εμφανίζονται σε πεσσούς και περιοχές άνω και κάτω των ανοιγμάτων ως αποτέλεσμα ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Οι ρωγμές αυτές συνήθως αναπτύσσονται κλιμακωτά διότι στην περίπτωση της ωμοπλινθοδομής υπάρχουν σαφείς οριζόντιοι αρμοί.

5. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

5.1 Καταγραφή στην περιοχή έρευνας

Οι περισσότερες ενισχύσεις και επεμβάσεις στις ωμοπλινθοδομές αν μπορεί κανείς να κρίνει από την όψη και το τελικό αισθητικό αποτέλεσμα, πραγματοποιήθηκαν ως έκτακτη επέμβαση – άμεσο μέτρο προστασίας μετά από κάποιο σεισμικό γεγονός. Την πιο συνηθισμένη περίπτωση επέμβασης στις περιοχές που έγινε η έρευνα αποτελεί η «ενίσχυση» των τοίχων με ελαφρώς ωπλισμένο τσιμεντοκονίαμα εφαρμοσμένο και στις δύο πλευρές τους. Κάποιο ελαφρύ μεταλλικό πλέγμα (κατά συντριπτική πλειονότητα το κοινό κοτετσόσυρμα) στερεώνεται με πρόκες ανά συγκεκριμένες αποστάσεις στην επιφάνεια των ωμοπλινθοδομών και στην συνέχεια επικαλύπτεται με μια στρώση τσιμεντοκονιάματος. Αυτή η πρακτική κατά πάσα πιθανότητα, πραγματοποιούταν μετά την εμφάνιση ρωγμών που οφείλονταν σε σεισμική διέγερση. Το αποτέλεσμα της επέμβασης αυτής από μηχανικής άποψης εξαρτάται ουσιαστικά από την διεπιφάνεια που διαμορφώνεται μεταξύ της πλινθοδομής και του ωπλισμένου επιχρίσματος. Η πρόσφυση χώματος - τσιμεντοκονιάματος είναι προβληματική για αυτό παρατηρούνται πολλές αποκολλήσεις και διαχωρισμός των υλικών. Τέλος, η σοβαρότερη και πιο άμεση επίπτωση αυτής της πρακτικής σχετίζεται με την υγρασία και τον ενδεχόμενο εγκλωβισμό της στο εσωτερικό του τοίχου.

Συνήθης είναι επίσης η χρήση οριζόντιων διαζωμάτων από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Η ευμενής κατανομή φορτίων που προσφέρουν δικαιολογεί την ύπαρξη τους αλλά, το μεγάλο ζήτημα είναι το μεγάλο βάρος τους και κυρίως το κατά πόσο θα έχουν συναρμογή με την υποκείμενη τοιχοποιία δηλαδή, το αν μπορούν τα δύο αυτά υλικά να συνεργαστούν και αν να με τι είδους βλήτρα, διότι υπάρχει ο κίνδυνος της διάρρηξης των ωμοπλίνθων.



Εικόνα 8: Τυπικές επισκευές στην Πάτρα: αυτοσχέδιο μεταλλικό πλέγμα, κοτετσόσυρμα, εφαρμογή guinite.

5.2 Προτεινόμενες στην βιβλιογραφία

Η χρήση ενεμάτων για την επισκευή των ρωγμών στις πλίνθινες κατασκευές μπορεί να θεωρηθεί μια πολύ σημαντική τεχνική επισκευής των κατασκευών αυτών σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Η εισαγωγή ενεμάτων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας με σκοπό την πλήρωση ρωγμών και κενών αποτελεί συνήθη και αποτελεσματική (μη αναστρέψιμη) τεχνική για την βελτίωση της συμπεριφοράς της, χωρίς να αλλοιώνεται η εξωτερική μορφή της. Η αποδοτικότητα της μεθόδου είναι αντιστρόφως ανάλογη της αρχικής ποιότητας δόμησης του τοίχου [14]. Όμως η διαδικασία εφαρμογής ενεμάτων ομογενοποίησης, όπως γίνεται συνήθως στις λιθοδομές, δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση των πλινθοδομών, αφενός λόγω των προβλημάτων ενεσιμότητας, αλλά και γιατί πολλές φορές επί της ουσίας δεν υπάρχουν τέτοια κενά στον πυρήνα της τοιχοποιίας. Οι ενέσεις γίνονται με σκοπό την πλήρωση συγκεκριμένων ρωγμών ή εσωτερικών κοιλοτήτων, που προσεγγίζονται συνήθως μέσω των ρωγμών. Άρα δεν ακολουθείται η χάραξη κάρναβου για τις θέσεις των σωληνίσκων, αυτοί τοποθετούνται στις τροχιές των ρωγμών ή σε θέσεις που αντιστοιχούν σε γνωστές εσωτερικές κοιλοότητες ή ασυνέχειες. Έχει τεκμηριωθεί από τη βιβλιογραφία ότι αποτελούν τεχνική επισκευής και όχι ενίσχυσης αυτών των κατασκευών [15].

Η ύπαρξη οριζόντιο διαζωμάτων (ξυλοδεσιές) στις κατασκευές από τοιχοποιία ενισχύει και βελτιώνει την συμπεριφορά του συνόλου, εξασφαλίζοντας την συνεργασία όλων των πλευρών του κτιρίου διανέμοντας τα φορτία. Στην χώρα μας η χρήση ξύλινου διαζώματος στο ύψος της στέψης ή/και σε στάθμες πατωμάτων, προκιάων είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις χωμάτινες κατασκευές. Όταν τα κτίρια υποστούν βλάβες και οι ξυλοδεσιές χάσουν την συνέχειά τους (διακόπτεται έτσι και η ευμενής λειτουργία τους) επιβάλλεται η αντικατάστασή τους, εργασία που ενέχει μεγάλη δυσκολία για πρακτικούς (οικοδομικούς) λόγους.

Για ευμενέστερη κατανομή της σεισμικής φόρτισης, την ενεργοποίηση δηλαδή και των εγκάρσιων στην σεισμική διέγερση πλευρών του κτιρίου, απαραίτητη επέμβαση είναι η κατασκευή διαφράγματος (ολικού ή μερικού) στις κατάλληλες στάθμες [16].

Σε ένα τόσο ψαθυρό υλικό όπως η ωμοπλινθοδομή οι έρευνες είναι επόμενο να εστιάζουν στην αύξηση της παραμορφωσιμότητας και την βελτίωση της εκτός επιπέδου συμπεριφοράς μέσω της εφαρμογής πλεγμάτων στην τοιχοποιία. Αυτά μπορεί να αποτελούνται από συνθετικά σχοινιά, καλάμια, έτοιμα πλαστικά πλέγματα ή γεωπλέγματα [17].

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

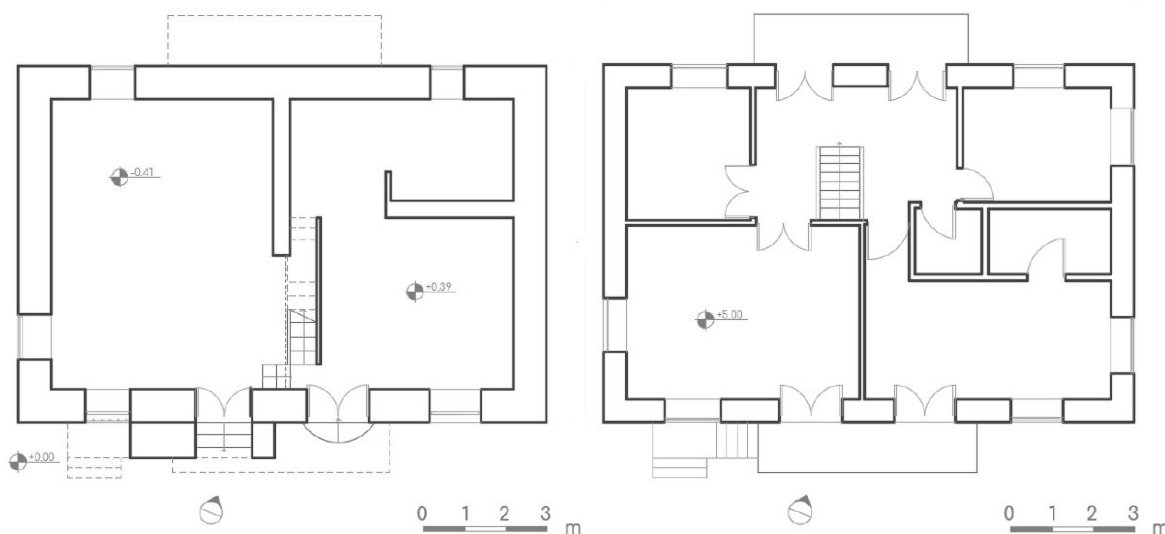
6.1 Περιπτωσιολογική μελέτη

Το κτίριο που προσομοιώθηκε αποτελεί τυπικό δείγμα της Γαλαξιδιώτικης αρχιτεκτονικής. Πρόκειται για ορθογωνικής κάτοψης κατασκευή με πλευρές 12.4×8.6 μέτρα και ύψους τοιχοποιίας 9.15 μέτρα. Διαρθρώνεται σε τρία επίπεδα (ισόγειο, μεσόροφος και όροφος), το ανώτερο από τα οποία είναι κατασκευασμένο από ωμοπλινθοδομή. Ο μεσόροφος καταλαμβάνει το μισό περίπου της συνολικής κάτοψης. Οι όψεις του κτιρίου έχουν μεγάλο πλήθος ανοιγμάτων πλάτους 0.80-1.40 μέτρα τα οποία διατάσσονται με σχετική κανονικότητα καθ' ύψος.

Για την προσομοίωση του κτιρίου με πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AcorD (v6.2) της itech [18]. Οι τοίχοι θεωρήθηκαν επιφανειακά στοιχεία δύο διαστάσεων συνεχούς μέσου και τα ξύλινα μέλη (φορείς ή ξυλοδεσιές) γραμμικά. Η διακριτοποίηση των επιφανειακών μελών έγινε με τετραγωνικά στοιχεία μέγιστης διάστασης 0.45m, ενώ στις περιοχές που αναμένονταν συγκέντρωση τάσεων χρησιμοποιήθηκε πιο πυκνό πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων. Τα ξύλινα μέλη θεωρήθηκαν αρθρωτά στα άκρα τους και οι τοίχοι πακτωμένοι στην βάση τους.



Εικόνα 9: Κύριες (νότια αριστερά και βόρεια δεξιά) όψεις του κτιρίου.



Εικόνα 10: Κάτοψη ισογείου και κάτοψη ορόφου.

Οι παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη για τη διαμόρφωση των επί μέρους συνδυασμών που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις έχουν ως εξής:

Μόνιμα φορτία (G): επικάλυψη στην στέγη με βυζαντινά κεραμίδια 1.2 kN/m^2 , ξύλινη οροφή 0.15 kN/m^2 , σανίδωμα πατωμάτων 0.2 kN/m^2 και μόνωση 0.1 kN/m^2 .

Στα μόνιμα φορτία συμπεριλαμβάνονται τα ίδια βάρη των υλικών.

Μεταβλητά φορτία (Q,S): φορτίο χρήσης πατωμάτων 2 kN/m^2 και φορτίο χιονιού στην στέγη $s=0.64 \text{ kN/m}^2$

Σεισμικά φορτία (E_x , E_y)

Τα σεισμικά φορτία λαμβάνονται υπόψη ομοιόμορφα κατανομημένα καθ' ύψος των τοίχων ακολουθώντας την κατανομή της μάζας του κτιρίου. Πάνω σε κάθε κόμβο των πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόζονται σαν στατικά φορτία δυνάμεις ανάλογες τις μάζας που τους αντιστοιχεί. Για τον επιμερισμό των επικόμβιων σεισμικών φορτίων χρησιμοποιείται το ελαστικό φάσμα απόκρισης σύμφωνα με τον ΕΚ 8-1.

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.3 του ΚΑΔΕΤ «Στόχοι Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού» για κτίρια συνήθους σπουδαιότητας που οικοδομήθηκαν προ του 1985 όπως αυτό που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, δίνεται η δυνατότητα έξι επιπέδων σεισμού σχεδιασμού (με χαμηλότερο στόχο $B3^+$). Κάθε στόχος αποτίμησης αποτελεί έναν συνδυασμό στάθμης επιτελεστικότητας (Α,Β,Γ) και επίπεδου σεισμού σχεδιασμού ($a_g/a_{g,ref}=0.25-1.80$). Στην προκειμένη περίπτωση ο χαμηλότερος λόγος οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης προς την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση αναφοράς (με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια ζωής του έργου) μπορεί να λάβει την τιμή 0.45 που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 50% στα

50 χρόνια. Τελικώς για τον έλεγχο του κτιρίου επιλέχθηκε επίπεδο σεισμού σχεδιασμού με λόγο $a_g/a_{g,ref}$ ίσο με 1.00 ο οποίος αντιστοιχεί στην στάθμη επιτελεστικότητας Β1.

6.2 Έλεγχοι δομικών μελών

Με κριτήριο τις αναπτυσσόμενες τάσεις για κάθε συνδυασμό φόρτισης, επιλέχθηκαν συγκεκριμένοι πεσσοί και υπέρθυρα όπου έγιναν τομές. Ανάμεσα στα εξαγόμενα του λογισμικού, δίνονται τα εντατικά μεγέθη (τα οποία προκύπτουν από ολοκλήρωση των τάσεων) σε κάθε τομή. Για τους ελέγχους των μελών θεωρήθηκαν τιμές θλιπτικής αντοχής λίθων και κονιάματος από την βιβλιογραφία, ενώ η θλιπτική αντοχή της πλινθοδομής υπολογίστηκε με την σχέση του Ευρωκώδικα 6: $f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3}$. Για το μέτρο ελαστικότητας ελήφθησαν υπόψη τιμές από την βιβλιογραφία και η σχέση (3.7.2) του ΕΚ6. Για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής της λιθοδομής (θεωρήθηκε τρίστρωτη) χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις (6.1) και (Σ6.3) του ΚΑΔΕΤ.

Υλικό	Fwc	E	f_{vm0}	fwt	ρ	ν
-	MPa	MPa	MPa	MPa	kg/m ³	
Λιθοδομή	1.04	1100	0.1	0.1	2200	0.2
Πλινθοδομή	0.85	810	0.1	0.1	1800	0.2

Εικόνα 11: Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών.

Επιπλέον για τις αναλύσεις αποτίμησης της υπάρχουσας κατάστασης θεωρήθηκαν ρηγματωμένες διατομές, λαμβάνοντας μέτρο ελαστικότητας μειωμένο κατά 50% σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και τον ΕΚ8 (δηλ. $E_{λιθ}=505$ MPa και $E_{πλινθ}=405$ MPa).

Στον ΚΑΔΕΤ (§3.10.5) ορίζεται η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων ως «ανεκτή» (Γ)³ δεδομένου ότι δεν κατέστη εφικτό να ληφθούν δείγματα από το μνημείο έτσι η τιμή του συντελεστή ασφαλείας γ_g που χρησιμοποιείται λαμβάνει την τιμή 1.50.

Έλεγχοι σε όρους δυνάμεων

Έγιναν οι έλεγχοι που προβλέπονται από τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ στην §7.2.2.

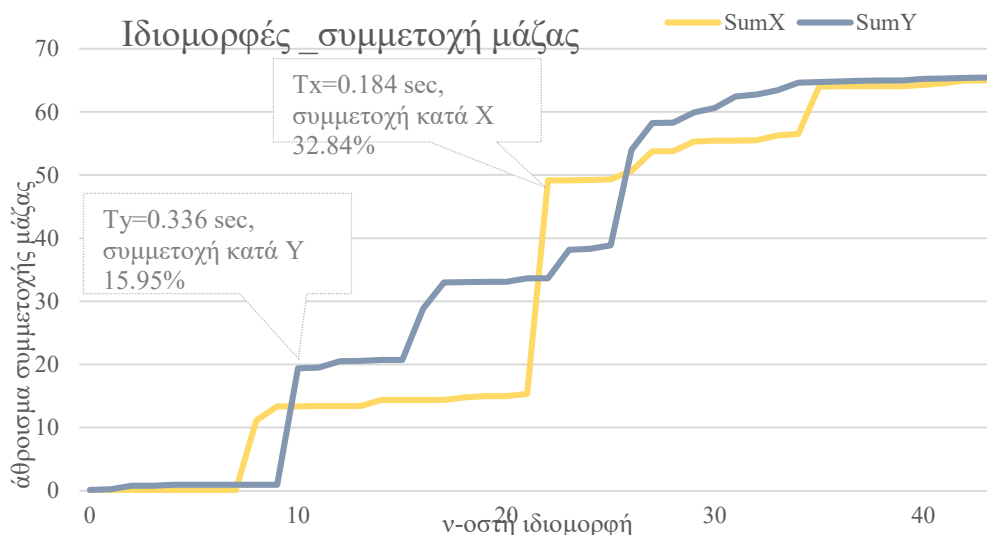
Έλεγχοι σε όρους παραμορφώσεων

Για τον προσδιορισμό των ανελαστικών μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε η σχέση (Σ5.4) που βρίσκεται στα σχόλια του ΚΑΔΕΤ. Οι έλεγχοι σε όρους παραμορφώσεων πραγματοποιούνται με γωνίες στροφής χορδής, δηλαδή την γωνία που σχηματίζουν η χορδή του παραμορφωμένου στοιχείου με την αντίστοιχη ευθεία του απαραμορφωτού.

6.3 Αναλύσεις υφιστάμενου φορέα

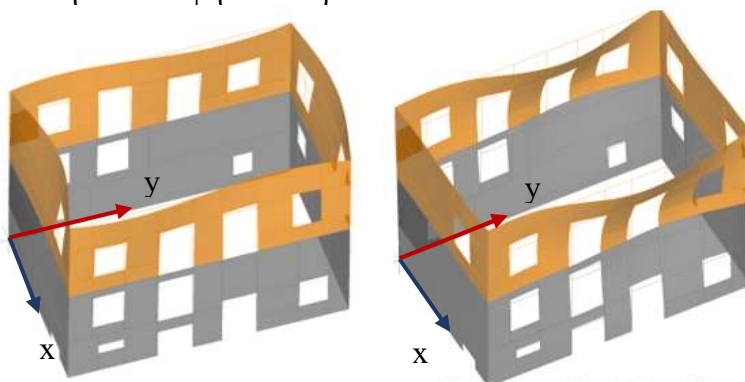
Για τον προσδιορισμό των θεμελιωδών ιδιομορφών και την οπτική παρουσίαση τους, εκτελέστηκε από το πρόγραμμα ιδιομορφική ανάλυση ικανού πλήθους ιδιομορφών τέτοιο ώστε να ενεργοποιείται αθροιστικά τουλάχιστον το 75% της συνολικής μάζας. Λήφθηκαν υπόψη μόνο αυτές οι ιδιομορφές στις οποίες οι δρώσες μάζες είναι τουλάχιστον 5% (ΚΑΔΕΤ §5.5). Παρακάτω φαίνονται τα σχήματα των κυρίαρχων ιδιομορφών σε κάθε διεύθυνση, καθώς και την αθροιστική κατανομή του συνόλου κατά x, y.

³ Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ για την συγκεκριμένη στάθμη αξιοπιστίας είναι απαραίτητη η λήψη δοκιμών λιθοσωμάτων και κονιάματος, κάτι που δεν ήταν δυνατό στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 12: Πίνακας ιδιομορφών και ταλαντούμενης μάζας του υφιστάμενου φορέα (με κίτρινο ο άξονας x και με μπλε ο y).

Σύμφωνα με την εικόνα των κυρίων τάσεων, επαληθεύεται η πλειονότητα των ρωγμών που καταγράφηκαν κατά την επίσκεψη στο κτίριο.



Εικόνα 13: Θεμελιώδεις ιδιομορφές για $T_y=0.336$ sec και $T_x=0.184$ sec αντίστοιχα.

6.4 Προσομοίωση ενισχυμένου φορέα

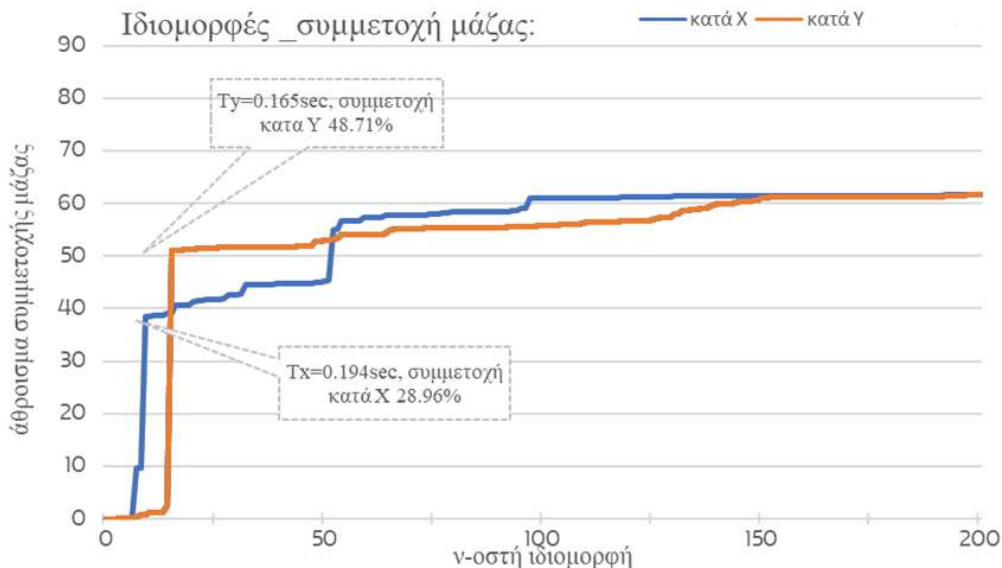
Η τεχνική των ενεμάτων θα χρησιμοποιηθεί στο ισόγειο (αργολιθοδομή). Βάσει των σχολίων που αναφέρονται στο κεφάλαιο 8 του Κανονισμού, η ομογενοποίηση με ένεμα υδραυλικής άσβεστου εφόσον εφαρμοστεί σωστά, μπορεί να οδηγήσει σε ποσοστό αύξησης ίσο με 100% της εφελκυστικής και της διατμητικής αντοχής. Για το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ πρέπει να γίνουν δύο προσεγγίσεις, θεωρώντας μηδενική αύξηση και αύξηση κατά 60%. Στην εργασία αυτή λαμβάνεται αύξηση κατά 60%. Τέλος όσον αναφορά την πλινθοδομή, θεωρείται ότι γίνεται αποκατάσταση των ρωγμών με πηλοενέματα τα οποία, θεωρήθηκε σε αυτή την εργασία ότι, δεν αλλάζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού, απλώς ανακτάται το μέτρο ελαστικότητας.

Μηχανικά χαρακτηριστικά μετά την ομογενοποίηση	(MPa)
Θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας	1.29
Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας	0.20
Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας	0.20
Μέτρο ελαστικότητας λιθοδομής	1715
Μέτρο ελαστικότητας πλινθοδομής	810

Εικόνα 15: Μηχανικά χαρακτηριστικά μετά την ομογενοποίηση.

Διαφραγματοποίηση πατώματων και της στέγης

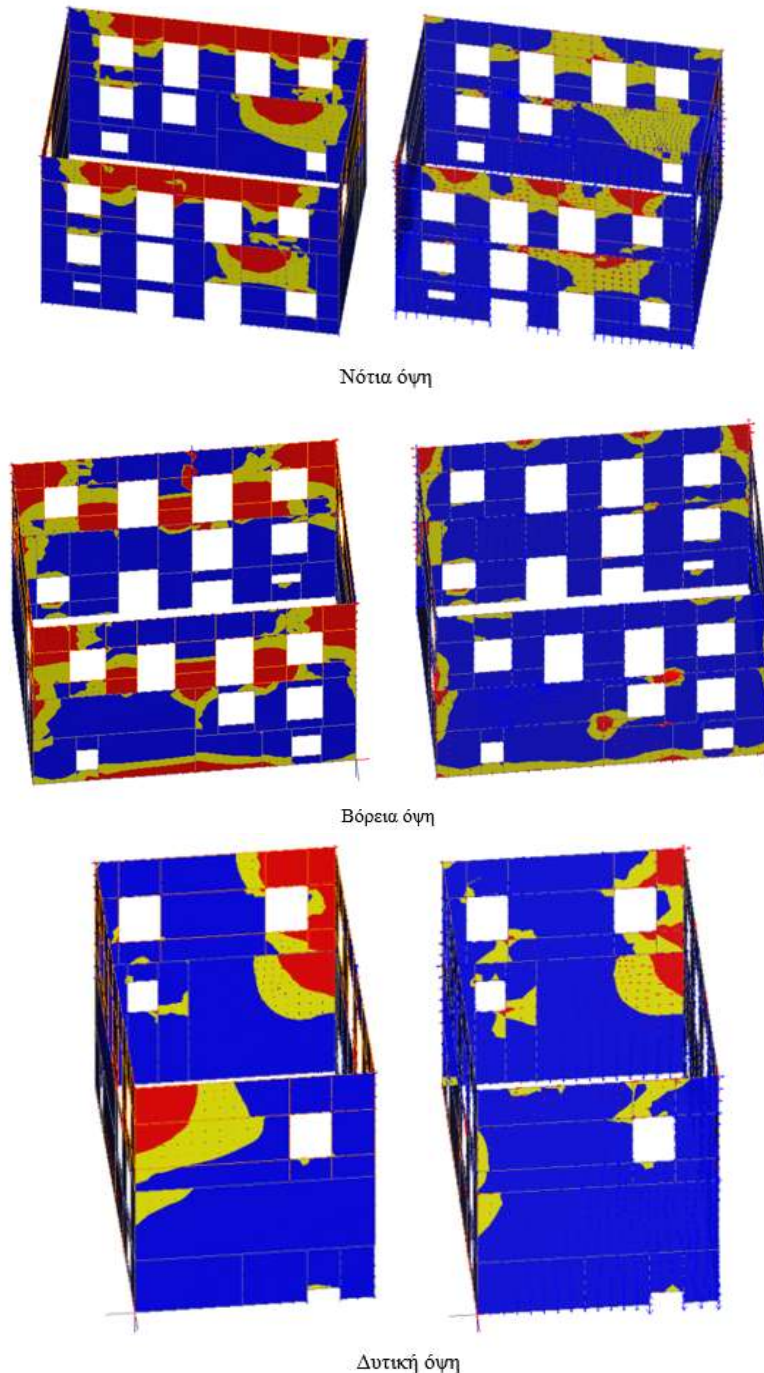
Η ενίσχυση της διαφραγματικής λειτουργίας πατωμάτων και στεγών είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος βελτίωσης της συμπεριφοράς των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία έναντι των σεισμικών φορτίων. Με την βελτίωση των υφιστάμενων ξύλινων πατωμάτων ώστε να μπορέσουν να λειτουργήσουν διαφραγματικά επιτυγχάνεται ορθότερη κατανομή των σεισμικών δυνάμεων ανάλογα με την δυσκαμψία των στοιχείων: δηλαδή η κάθετη στο επίπεδο του τοίχου αδρανειακή δύναμη μεταφέρεται κυρίως μέσω του διαφράγματος στους εγκάρσιους τοίχους και όχι μόνο μέσω των ακμών που τους συνδέουν. Με την προϋπόθεση ότι το διάφραγμα συνδέεται επαρκώς στους παρακείμενους ή υποκείμενους τοίχους ενισχύεται η «λειτουργία κιβωτίου» και το κτίριο αποκτά κατά κάποιο τρόπο μονολιθική συμπεριφορά. Αυτό συνεπάγεται ομοιόμορφη σχεδόν μετατόπιση στην στάθμη του διαφράγματος και μείωση του κατακόρυφου ανοίγματος καμπτικής παραμόρφωσης. Για την επίτευξη των παραπάνω εξετάστηκε μαζί με την βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας (με ενέματα υδραυλικής ασβέστου στις λιθοδομές του ισογείου και αποκατάσταση των ρωγμών του ορόφου με πηλοενέματα) η προσθήκη οριζόντιων διαζωμάτων και η ενίσχυση του πατώματος και της στέγης ώστε να λειτουργήσουν διαφραγματικά. Τοποθετήθηκε περιμετρικά της στάθμης του πατώματος του ορόφου και της στέγης μεταλλική διατομή σχήματος «L» με την οποία συνδέονται αφενός τα δοκάρια του πατώματος και αφετέρου μια στρώση κλιμακωτής διάταξης φύλλων κόντρα πλακέ (διαστάσεων $1.25 \times 2.5\text{m}$ και πάχους 18-24mm) η οποία εισάγεται πάνω από το υπάρχον σανίδωμα, ενώ τελική επιφάνεια αποτελεί ένα νέο σανίδωμα. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα μετά την εισαγωγή των επιμέρους υλικών για αυτόματο υπολογισμό της δυσκαμψίας που προσφέρει το κάθε διάφραγμα. Όσον αφορά στη στέγη, λόγω της ιδιαιτερότητας του κτιρίου, με την ύπαρξη οροφωγραφιών σε όλη την έκταση του ταβανιού του ορόφου, οι επάλληλες στρώσεις κόντρα πλακέ – σανιδώματος τοποθετούνται στην κεκλιμένη επιφάνεια της στέγης.



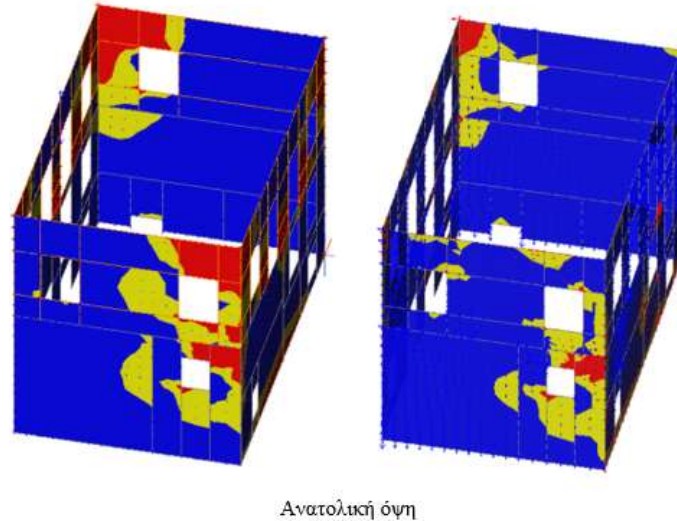
Εικόνα 16: Πίνακας ιδιομορφών και ταλαντούμενης μάζας του ενισχυμένου φορέα.

Για λόγους σύγκρισης παρατίθεται η εικόνα των κύριων εφελκυστικών τάσεων του αρχικού (μη ενισχυμένου) προσομοιώματος (αριστερά) σε αντιπαραβολή αυτών του ενισχυμένου φορέα (δεξιά) για την αντιπροσωπευτική φόρτιση G+Ex (ο x άξονας είναι παράλληλος στην μικρή πλευρά του κτιρίου). Φαίνεται η εμφανώς βελτιωμένη συμπεριφορά του κτιρίου μετά την εισαγωγή των ενισχυτικών επεμβάσεων στο προσομοίωμα. Τα διαφράγματα αναλαμβάνουν μέρος της έντασης και ομαλοποιούν την διανομή της στους

τοίχους καθώς εξασφαλίζουν μια πιο κιβωτιοειδή λειτουργία. Η χρωματική διαβάθμιση είναι όμοια και για τις δύο στήλες με σκοπό την απευθείας σύγκρισή τους. Το κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί σε υπέρβαση της τιμής 0.1 MPa (που θεωρήθηκε η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας στο αρχικό προσομοίωμα), το κίτρινο σε τιμές 0.06-0.1 MPa ενώ το μπλε σε τιμές μικρότερες του μηδενός (θλίψη).



Εικόνα 17: Κύριες εφελκυστικές τάσεις στο αρχικό (αριστερά) και το ενισχυμένο (δεξιά) μοντέλο για G+Ex .



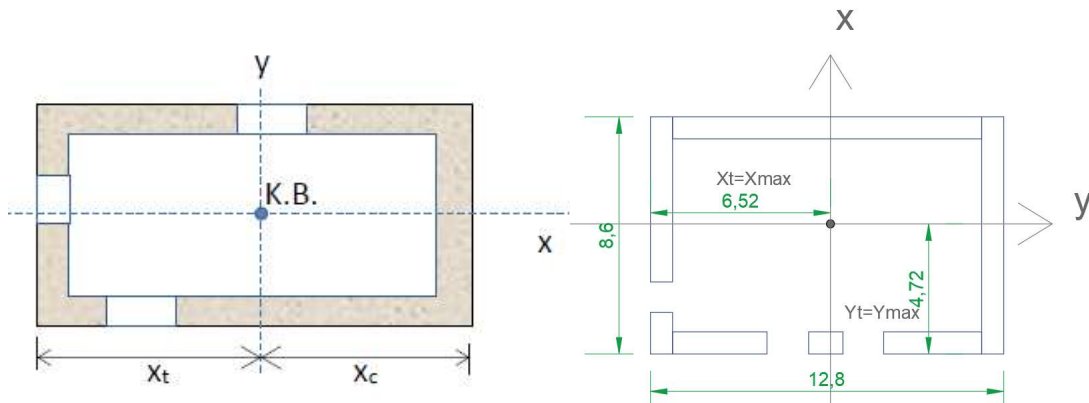
Εικόνα 18: Κύριες εφελκυστικές τάσεις στο αρχικό (αριστερά) και το ενισχυμένο (δεξιά) μοντέλο για G+Ex

6.5 Προσδιορισμός R για τον προσδιορισμό των ανελαστικών μετακινήσεων

Στην περίπτωση ελέγχου δομικών μελών σε όρους παραμορφώσεων (για στάθμες επιτελεστικότητας Β ή Γ) σύμφωνα με την §7.4 του ΚΑΔΕΤ απαιτείται ο προσδιορισμός των ανελαστικών μετακινήσεων (ο έλεγχος αναφέρεται στο σημείο Σ2 του διαγράμματος του Σχήματος Σ 7.2 (α) Κανονισμού). Αυτό αποτελεί κύριο στόχο της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (pushover) η οποία δεν πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Ο Κανονισμός δίνει την δυνατότητα σύμφωνα με τα σχόλια της §5.4.4 να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των ανελαστικών μετακινήσεων με βάση τις ελαστικές μετακινήσεις.

Μετά τον προσδιορισμό της σεισμικής τέμνουσας ($V_{el} = C_m \cdot S_e(T) \cdot \frac{W}{g}$) υπολογίζεται η ροπή ανατροπής στην βάση του δομήματος (θεωρείται ορθογωνική κατανομή της σεισμικής δύναμης) : $M_{ed} = 0.5 \cdot H$ όπου H, το ύψος του κτιρίου.

Με σκοπό τον υπολογισμό των τάσεων στις ακραίες ίνες [19] (θλιβόμενη και/ή εφελκυσόμενη), αφού πρώτα βρεθούν οι κεντροβαρικοί άξονες στην βάση του κτιρίου, για κάθε διεύθυνση σεισμικής φόρτισης υπολογίζονται οι ροπές αντίστασης για κάθε άξονα σύμφωνα με το σχήμα (Σ 5.8) του ΚΑΔΕΤ:



Εικόνα 18: Αριστερά: το σχήμα (Σ 5.8) του ΚΑΔΕΤ σύμφωνα με το οποίο ορίζονται οι ροπές αντίστασης. Δεξιά: το αντίστοιχο σχήμα για το κτίριο του παραδείγματος.

$$\Omega_{wc} = \frac{I_{w,y}}{x_c}, \quad \Omega_{wt} = \frac{I_{w,t}}{x_t} \quad \text{και αντίστοιχα για την διεύθυνση } y$$

Οι τάσεις στις ακραίες θέσεις για κάθε διεύθυνση υπολογίζονται σύμφωνα με την σχέση (5.2):

$$\sigma_{wc} = \frac{N_{ed}}{A_w} + \frac{M_{ed}}{\Omega_{wc}} \text{ και } \sigma_{wt} = \frac{N_{ed}}{A_w} + \frac{M_{ed}}{\Omega_{wt}}, \text{ (βλ. σχήμα } \Sigma \text{ 5.8β του ΚΑΔΕΤ)}$$

Στη συνέχεια με δεδομένες τις τάσεις μπορεί να υπολογιστεί το θλιβόμενο μήκος (άρα και το θλιβόμενο εμβαδό A_c) σε κάθε περίπτωση:

$$L_c = L \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_c + \sigma_t}$$

Ακολούθως βρίσκεται η απαιτούμενη διατμητική τάση στην βάση: $\tau_{\text{απαιτ}} = \frac{V_{el}}{A_c}$

Εν συνεχεία για τον προσδιορισμό του $R (=q_{\text{απαιτ}})$ συγκρίνεται η απαιτούμενη διατμητική τάση στην βάση με την θεωρητική διατμητική αντοχή⁴ ($f_v=200 \text{ kPa}$):

$$R = \frac{\tau_{\text{απαιτ}}}{f_v}$$

Η απαιτούμενη πλαστιμότητα:

$$\mu_{\text{απαιτ}} = 1 + (R-1) \cdot \frac{T_c}{T}$$

Εν τέλει ο λόγος των ανελαστικών προς ελαστικές μετακινήσεις (Σ 5.4) για κάθε διεύθυνση υπολογίζεται:

$$\frac{d_{\text{inel}}}{d_{el}} = \frac{\mu_{\text{απαιτ}}}{R} = \frac{1 + (R-1) \cdot \frac{T_c}{T}}{R} \text{ για } T \leq T_c$$

Προκύπτει λοιπόν ότι οι μετακινήσεις των κόμβων που εξάγονται από την ελαστική (ισοδύναμη στατική) ανάλυση θα πολλαπλασιαστούν με 1.583 κατά την διεύθυνση X και με 1.232 κατά την διεύθυνση Y.

			μονάδες	
			X	Y
διάσταση στην κάτοψη	Lx,Ly	m	8.6	12.8
ύψος		m	9.15	
ροπή αντίστασης, c	Ω_{cx}, Ω_{cy}	m ³	102.84	80.63
ροπή αντίστασης, t	Ω_{tx}, Ω_{ty}	m ³	99.06	66.28
θεμελιώδης ιδιοπερίοδος	T1x,T1y	sec	0.194	0.165
Βάρος	W	kN	4925	
εμβαδό	A	m ²	28.24	
επιτάχυνση	ag	g	0.24	
φασματική επιτάχυνση	Se(T1)	g	0.72	
τέμνουσα βάση	Vo	kN	3546	
ροπή ανατροπής	Mo	kNm	16222.95	
τάσεις κατα X	$\sigma_{p1},$	kN/m ²	-26.804	
	σ_{p2}	kN/m ²	419.162	
τάσεις κατα Y	$\sigma_{p1},$	kN/m ²		16.649
	σ_{p2}	kN/m ²		338.167
θλιβόμενο μήκος	Lθly,Lθly	m	8.083	12.8
διατμητικές τάσεις	tx,ty	kN/m ²	317.373	225.917

⁴ Η προσέγγιση αυτή είναι από την μεριά της ασφάλειας. Κανονικά θα έπρεπε να ληφθεί υπόψη και η ευμενής για την διατμητική αντοχή παρουσία του κατακόρυφου φορτίου.

$q_{\text{απαιτ}} = \tau / f_v$	1.587	1.130
$\mu \Delta_{\text{απαιτ}} = 1 + (q-1) * T_c / T$	2.513	1.393
$d_{\text{inel}} / \text{del} = \mu / q$	1.583	1.232

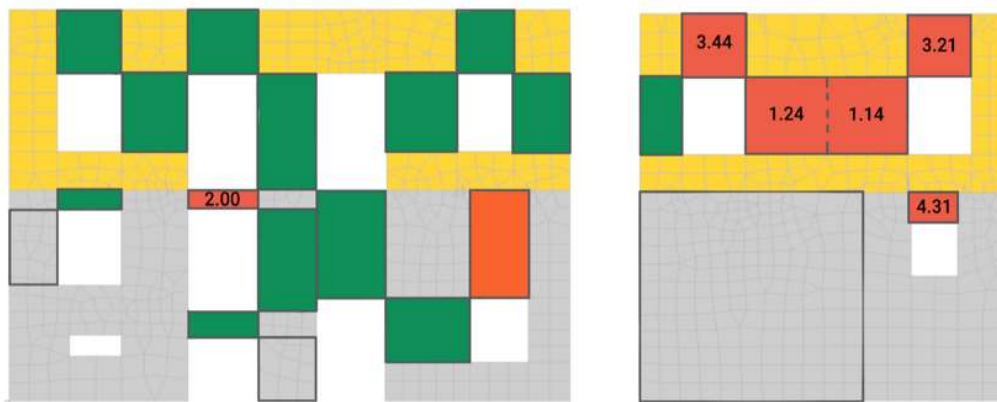
Εικόνα 19: Τα αριθμητικά δεδομένα για κάθε διεύθυνση του κτιρίου και η πορεία υπολογισμού του R.

Έλεγχος μελών

Σε κάθε στοιχείο πραγματοποιήθηκε κατάλληλος αριθμός τομών, συνήθως τριών στην βάση, την μέση και την κορυφή του στοιχείου εκτός αν ήταν προφανής βάσει της εικόνας των τάσεων στα πεπερασμένα στοιχεία. Παρακάτω παρατίθενται εποπτικά οι αστοχίες των επιμέρους στοιχείων ανά στάθμη επιτελεστικότητας. Με πράσινο χρώμα εννοείται η επάρκεια των στοιχείων σε στάθμη επιτελεστικότητας B, ενώ με πορτοκαλί σημειώνεται το στοιχείο που ικανοποιεί την Γ στάθμη. Τέλος τα στοιχεία που έχουν επισημανθεί με κόκκινο χρώμα αστοχούν στην στάθμη αυτή (Γ) και ο αριθμός που αναγράφεται πάνω τους αντιστοιχεί στον λόγο ανεπάρκειας. Οι πεσσοί μεγάλου μήκους, διαιρούνται σε επιμέρους τοιχοστοιχεία (διακεκομμένες γραμμές).

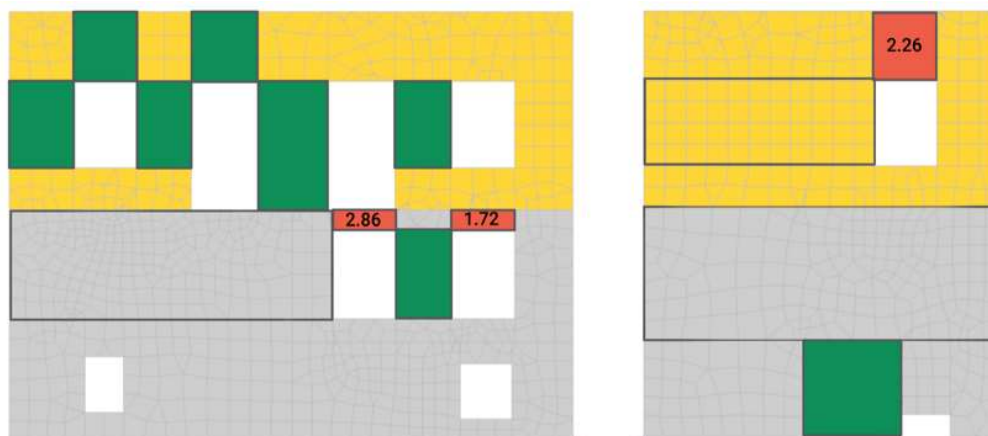
Παρατηρούνται αστοχίες στα λίθινα υπέρθυρα της στάθμης του ορόφου (+4.92m) που οφείλονται στις μεγάλες εφελκυστικές δυνάμεις που τα καταπονούν σε συνδυασμό με την απουσία θλιβόμενης ζώνης και το μικρό τους ύψος. Σημειώνεται πως δεν λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα ανάληψης εφελκυστικών φορτίων από τα πρέκια των ανοιγμάτων καθώς αυτά δεν έχουν προσομοιωθεί όσο αναφορά το λίθινο τμήμα του κτιρίου. Αφενός δεν ήταν δυνατή η λεπτομερής τεκμηρίωση τους εφόσον στην υφιστάμενη κατάσταση δεν είναι εμφανή και αφετέρου η εισαγωγή μεμονωμένων γραμμικών στοιχείων ως υπερθύρων (όταν δεν εντάσσεται στο συνολικό σύστημα ξυλοδεσιών όπως στο πλίνθινο τμήμα) αποτελεί περίπλοκη διαδικασία αφού θα επηρέαζε την διάρθρωση και τον καταμερισμό των επιμέρους επιφανειακών στοιχείων που συνορεύει.

Επιπρόσθετα, στις μικρές πλευρές του κτιρίου στο πλίνθινο του τμήμα αστοχούν εκτός από τα υπέρθυρα και τα επιμέρους στοιχεία του πεσσού μεγάλου μήκους έναντι τέμνουσας. Υπενθυμίζεται πως ο στόχος ανασχεδιασμού στην επίλυση αυτή θεωρήθηκε η στάθμη επιτελεστικότητας B1 ($a_g / a_{g,ref} = 1.00$) με δεδομένη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων «Ανεκτής⁵», ο οποίος δεν επιτεύχθηκε λόγω εκτεταμένων αστοχιών τόσο στο λίθινο όσο και στο πλίνθινο τμήμα.



Εικόνα 20: Αστοχίες μελών νότιας (αριστερά) και δυτικής (δεξιά) όψης ανά στάθμη επιτελεστικότητας .

5 Η τρίτη κατά σειρά στάθμη αξιοπιστίας «ανεκτή» στον ΚΑΔΕΤ αντιστοιχεί στο «περιορισμένο» επίπεδο γνώσης του ΕΚ8-1.



Εικόνα 21: Αστοχίες μελών βόρειας (αριστερά) και ανατολικής (δεξιά) όψης ανά στάθμη επιτελεστικότητας .

Γίνεται σαφής η σημασία και η επίπτωση της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενός υφιστάμενου κτιρίου. Μικρότεροι συντελεστές ασφαλείας τόσο στις δράσεις σχεδιασμού όσο και στα υφιστάμενα υλικά θα οδηγούσαν σε ευμενέστερα αποτελέσματα και τελικώς σε μικρότερου βαθμού επεμβάσεις. Ακόμη αξίζει να αναφερθεί ότι η υιοθέτηση μιας τόσο υψηλής σεισμικής κλάσης για ένα υλικό όπως η ωμοπλινθοδομή το οποίο από την φύση του απαιτεί συχνή επιθεώρηση και επισκευή, ίσως είναι υπερβολική. Επιπλέον λόγω του ότι πρόκειται για κατοικία η οποία συντηρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα, θα μπορούσε να γίνει αποδεκτός ένας χαμηλότερος στόχος ανασχεδιασμού.

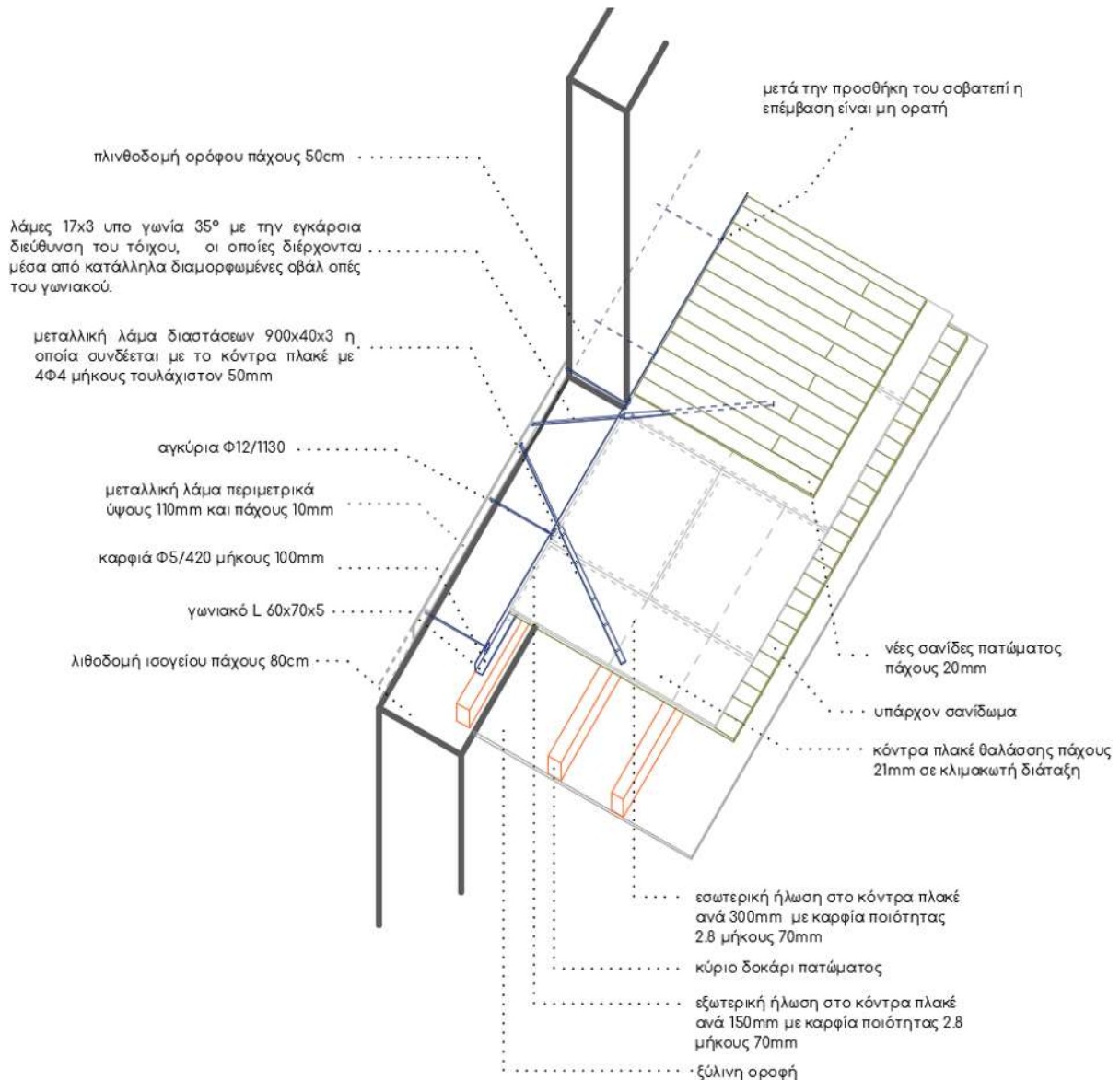
Η εντατική κατάσταση των λίθινων υπερθύρων που αστοχούν επηρεάζεται κυρίως από τις μεγάλες εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται, ενώ ταυτόχρονα οι εντός επιπέδου ροπές δεν προσφέρουν ικανό θλιβόμενο μήκος και σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής στην αντίστοιχη παρειά του στοιχείου. Απαραίτητη επέμβαση επομένως είναι η αντικατάσταση και ενίσχυση των πρεκιών στα υπέρθυρα με επαρκές μήκος αγκύρωσης εκατέρωθεν, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς για την μη υπέρβαση της αντοχής της τοιχοποιίας στα σημεία έδρασης.

Όσον αφορά τα στοιχεία από ωμοπλινθοδομή, με δεδομένη την δυσκολία της οποιασδήποτε αύξησης των μηχανικών της χαρακτηριστικών εκτός από την παρόμοια μέθοδο με τα λίθινα υπέρθυρα, ενίσχυση των πρεκιών για ανάληψη των εφελκυστικών δυνάμεων, προτείνεται η τοποθέτηση πλαστικού πλέγματος εκατέρωθεν της τοιχοποιίας για την βελτίωση της παραμορφωσιμότητας του συνόλου.

Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία [12],[17], στην περίπτωση των ωμοπλινθοδομών έχουν εφαρμοστεί πλέγματα από διάφορα υλικά όπως ξύλο, μέταλλο, σχοινί, πλαστικό ή συνθετικά πλέγματα. Με σκοπό την διατήρηση της όψης του κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη τον μνημειακό του χαρακτήρα, υλικά των οποίων η εφαρμογή τους απαιτεί μεγάλο πάχος προκαλώντας ανομοιομορφίες στην όψη δεν είναι αποδεκτά. Επιπλέον η επιλογή του υλικού επηρεάζεται σημαντικά από την ιδιαιτερότητα της συμπεριφοράς των ωμοπλίνθων παρουσία υγρασίας. Επιλέγεται έτσι το πλαστικό πλέγμα το οποίο έχει μηδενική απορροφητικότητα σε συνδυασμό με κονίαμα υδραυλικής άσβεστου.

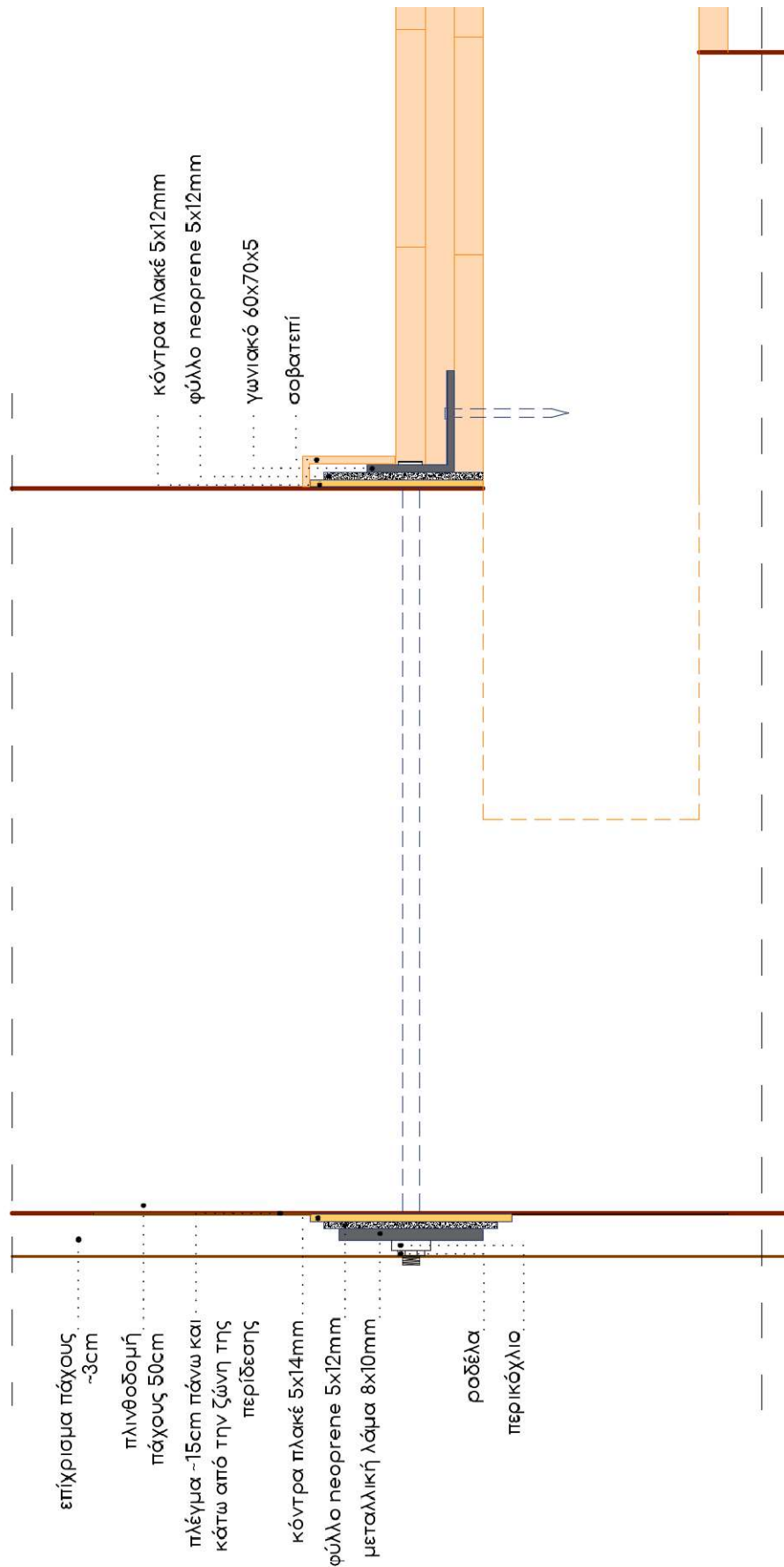
Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός της επέμβασης καθότι, ναι μεν οι στρώσεις που θα δημιουργηθούν με το οπλισμένο επίχρισμα θα προσφέρουν αντοχή εντός και εκτός επιπέδου, αλλά υπάρχει ο προφανής κίνδυνος της αποκόλλησης και αυτός της διάτρησης της τοιχοποιίας. Οι κίνδυνοι αυτοί αντιμετωπίζονται με επιμελείς αγκυρώσεις (με πλαστικά

αγκύρια ή θύσανους⁶⁾ σε κατάλληλο κάνναβο και με ορθή τοποθέτηση του πλέγματος στην ευρύτερη περιοχή του ενισχυόμενου στοιχείου.



Εικόνα 21: Σκίτσο της διάρθρωσης του διαφράγματος στην μικρή πλευρά (παράλληλα με τα δοκάρια).

⁶⁾ [Λεξικό Τριανταφυλλίδη] Θύσανος: σύνολο μακριών τεχνητών ή φυσικών νημάτων τα οποία είναι ενωμένα μόνο στο ένα τους άκρο, αφήνοντας το άλλο ελεύθερο. Η χρήση θυσάνων δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι τώρα σε ωμοπλινθοδομές.



Εικόνα 22: Διάταξη επάλληλων υλικών στην επιφάνεια της πλινθοδομής.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ωμόπλινθοι ως δομικό υλικό έχουν μακράιωνη ιστορία στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης και της χώρας μας. Στην εργασία αυτή τεκμηριώθηκε μεταξύ άλλων η ύπαρξη πλήθους κτιρίων από ωμοπλινθοδομή στο κέντρο της πόλης των Πατρών και την ευρύτερη περιοχή των βορειοανατολικών παράλιων της Πελοποννήσου. Οι τοιχοποιίες από ωμόπλινθους όχι μόνο είναι μέρος της αρχιτεκτονικής μας παράδοσης αλλά ταυτόχρονα αποτελούν έναν εναλλακτικό τρόπο δόμησης λαμβάνοντας υπόψη την βιωσιμότητα και την αειφορία που προσφέρουν.

Η συνεχής και διευρυνόμενη κοινωνική αναγκαιότητα ωθεί την επιστημονική κοινότητα να ερευνά όλο και περισσότερο τόσο τις καθαυτές ιδιότητες του υλικού αλλά και την απόκριση των κατασκευών από ωμοπλινθοδομή. Μεγάλο πλήθος ερευνών επικεντρώνεται στον σχεδιασμό κατάλληλων μεθόδων επέμβασης και ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού καθώς ειδικά στις χώρες με έντονη σεισμική δραστηριότητα όπως η δική μας, έχει προκύψει η ανάγκη διαμόρφωσης ενός πλαισίου τεχνικών επεμβάσεων, πέραν των άμεσων μέτρων προστασίας. Γίνεται λοιπόν σαφής η απαίτηση της ενσωμάτωσης των ωμοπλινθοδομών σε σύγχρονους κανονισμούς οι οποίοι θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στους μηχανικούς.

Σε μια προσπάθεια να αναλυθεί υπολογιστικά μια πλίνθινη κατασκευή, προσομοιώθηκε με λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων μια συνή τυπολογία που αποτελείται από λίθινο ισόγειο και πλίνθινο όροφο. Οι δράσεις και οι αντιστάσεις των επιμέρους στοιχείων θεωρήθηκαν βάσει του τελικού κειμένου του ΚΑΔΕΤ, υιοθετώντας στόχο ανασχεδιασμού Β1 ο οποίος τελικά δεν ικανοποιήθηκε. Θεωρείται ότι σε αυτού του είδους τις κατασκευές που υποχρεωτικά έχουν ανάγκη συνεχούς συντήρησης θα μπορούσε να θεωρηθεί δόκιμος ένας χαμηλότερος στόχος σε συνδυασμό με έλεγχο της κατασκευής και των τυχόν παλαιότερων επεμβάσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Προτείνεται η διεξαγωγή πειραμάτων για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των ωμοπλίνθων, η προσπάθεια προσέγγισης την πραγματικής συμπεριφοράς τους μέσω πειραματικών μεθόδων που θα συμβάλλουν στην καλύτερη υπολογιστική προσέγγιση της συμπεριφοράς των κατασκευών. Ειδικότερα και πιο συγκεκριμένα για την χώρα μας, θα ήταν χρήσιμο να γίνουν πειράματα σε τοίχους από ωμοπλινθοδομή -μεγάλης κλίμακας και ακολούθως σε δοκίμια κτιρίων- με ξυλοδεσιές όπως είθισται σε αυτές τις κατασκευές. Μια τέτοια πειραματική διερεύνηση θα επιτρέψει την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας επιλεγμένων τεχνικών επέμβασης που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Houben, Hugo, and Hubert Guillaud. 1994. *Earth Construction A comprehensive guide*. London: ITDG Publishing.
- [2] Minke, Gernot. 2006. *Building with Earth*. Birkhäuser – Publishers for Architecture.
- [3] Daudon, Dominique, Yannick Sieffert, Osvaldo Albarracín, Lucas Garino Libardi, και Gustavo Navarta. 2014. “Adobe Construction Modeling by Discrete Element Method: First Methodological Steps” *Procedia Economics and Finance*.
- [4] Illampas, Rogiros. 2014. “Experimental and computational investigation of the structural response adobe structures” Phd Thesis, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Πολυτεχνική Σχολή.
- [5] Μπέη, Γεωργία. 2004. “Τοιχοποιία από πηλό: Πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από Συμπιεσμένες Ωμοπλίνθους” Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [6] Silveira, Dora, Humberto Varum, Aníbal Costa, and José Carvalho. 2015. “Mechanical Properties and Behavior of Traditional Adobe Wall Panels of the Aveiro District.” *Journal of Materials in Civil Engineering* 27 (9)
- [7] Wu, Feng, Gang Li, Hong-Nan Li, and Jin-Qing Jia. 2013. “Strength and stress–strain characteristics of traditional adobe block and masonry” *Materials and Structures*.

- [8] Illampas, Rogiros, Ioannis Ioannou, and Dimos Charmpis. 2017. “Experimental assessment of adobe masonry assemblages under monotonic and loading–unloading compression.” *Materials and Structures*.
- [9] Illampas, Rogiros. 2014. “Experimental and computational investigation of the structural response adobe structures” Phd Thesis, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Πολυτεχνική Σχολή.
- [10] Müller, P., Miccoli, L., Fontana, P., Ziegert, C. 2017. “Development of partial safety factors for earth block masonry” *Materials and Structures* 50.
- [11] Miccoli, Lorenzo , Urs Müller, και Patrick Fontana. 2014. “Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob” *Construction and Building Materials* 61: 327-339.
- [12] Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, and William S. Ginell. 2002. *Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures*. Getty Conservation Institute Scientific Program, Los Angeles, California: Getty Publications.
- [13] Tarque, N., Sayın, E., Rafi, M.M., and Tolles, E.L. 2021. “Behaviour of Adobe Construction in Recent Earthquakes” In *Structural Characterization and Seismic Retrofitting of Adobe Constructions*, by H., Parisi, F., Tarque, N., Silveira, D. Varum, 15-33. Springer.
- [14] Miltiadou-Fezans, Androniki, Theodosios P. Tassios (2022) *Mix design and application of hydraulic grouts for masonry strengthening*. Book, Springer Nature, Switzerland AG 2022, p283: doi.org/10.1007/978-3-030-85965-7
- [15] Illampas, Rogiros, Rui Silva, Dimos Charmpis, Paulo Lourenço, and Ioannis Ioannou. 2017. “Validation of the repair effectiveness of clay-based grout injections by lateral load testing of an adobe model building.” *Construction and Building Materials* 174–184.
- [16] Michiels, Tim. 2014. *Seismic retrofitting techniques for historic adobe buildings*. Master Thesis, Leuven: KU Leuven.
- [17] Figueiredo, A., H. Varum , A. Costa, D. Silveira , and C. Oliveira. 2013. “Seismic retrofitting solution of an adobe masonry wall.” *Materials and Structures* 203-219.
- [18] Itech. (2022). *Acord BAT-3D (Version 6.1) Manuel d' utilisation*
<https://www.acord.io/downloads/doc/ACORD-MU-V61-FR-MODULE-BAT3D.pdf>
- [19] Pantazopoulou, Stavroula J. 2013 «State of the art report for the analysis methods for unreinforced masonry heritage structures and monuments»
- [20] Mousourakis, Apostolos, Maria Arakadaki, Sofoklis Kotsopoulos, Sinamidis Iordanis, Tina Mikrou, Evangelia Frangedaki, and Nikos Lagaros. 2020. “Earthen Architecture in Greece: Traditional Techniques and Reevaluation.” *Heritage*.
- [21] Pardalopoulos, Stylianos I., and Stavroula J. Pantazopoulou. 2017. “Methodology for practical seismic assessment of unreinforced masonry buildings with historical value.” *Earthquake Engng Struct Dyn*. 2793– 2810.
- [22] Papayanni, Ioanna, and Vasiliki Pachta. 2017. “Constructional characteristics and restoration aspects of historic earth block structures.” *Res. Eng. Struct. Mat.* 3(2): 113-121.
- [23] Arq. Roberto Prieto Sánchez, και Ing. Julio Vargas Newman. 2014. *Fichas para la reparación de viviendas de adobe*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- [24] Blondet, M., J. Vargas-Neumann, and R.J. Groenenberg. 2012. “Evaluation of the Efficacy of Mud Injection to Repair Seismic Cracks on Adobe Structures via Full-Scale Shaking Table Tests.” *15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisboa: Curran Associates, Inc.
- [25] Μιλτιάδου - Fezans, Ανδρονίκη. 2020. “Μέθοδοι και τεχνικές στερέωσης: Τοιχοποιίες – θολοδομίες” Σημειώσεις Μαθήματος (ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”), ΕΜΠ.
- [26] ΚΑΔΕΤ "Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις", 2022.
- [27] Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός Κατασκευών από τοιχοποιία.

9. ΕΠΙΒΛΕΨΗ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» του Ε.Μ.Π υπό την επίβλεψη της Ανδρονίκης Μιλτιάδου – Fezans, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών και με τη συμβολή ως συμβούλου της Σταματίνας Μικρού, Αρχιτέκτονα Μηχανικό Ε.Ε.Π. σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ευχαριστίες απευθύνονται στον Γαλλική εταιρεία itech για τη δωρεάν παραχώρηση του λογισμικού.