

Αξιολόγηση Μεθόδων Σεισμικής Αποτίμησης Παραδοσιακών Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία- Εφαρμογή στην Παλιά Πόλη της Ξάνθης

**Γεωργία Ζήρα
Ειρήνη - Μαρκέλλα Ψάλτη
Σταυρούλα Πανταζοπούλου
Μηνάς Παπαδόπουλος**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην δομική τέχνη και παράδοση της ευρύτερης περιοχής μελέτης, η χρήση της φέρουσας τοιχοποιίας έχει μεγάλη ιστορική διαδρομή. Μέχρι την περίοδο της Βιομηχανικής επανάστασης αποτελούσε τον αποκλειστικό τρόπο δόμησης κτιριακών έργων, εκ των οποίων μάλιστα πολλά διασώζονται μέχρι σήμερα και θεωρούνται διατηρητέα κτίρια-μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Η σημασία τους επιβάλλει τη δημιουργία κατάλληλου θεσμικού πλαισίου με στόχο την ουσιαστική και ολοκληρωμένη προστασία τους. Παρόλα αυτά σε τεχνικό επίπεδο δεν έχει αναπτυχθεί η έρευνα σχετικώς με τα τοπικά ιστορικά δομικά συστήματα (Τ.Ι. .Σ.), τις τεχνολογικές αξίες που μεταφέρουν διαχρονικώς και τη σεισμική αποτίμησή τους, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την σωστή αποκατάσταση και ολοκληρωμένη προστασία τους. Πρόσφατα προτάθηκε μια μεθοδολογία σεισμικής αποτίμησης και ανασχεδιασμού η οποία βασίζεται σε κατάλληλα απλοποιημένη εφαρμογή ανελαστικής στατικής ανάλυσης με βαρυτικά φορτία για την εκτίμηση των σεισμικών απαιτήσεων και της σεισμικής ικανότητας παραδοσιακών κατασκευών (βλ. Παράρτημα ΚΑΔΕΤ). Στην παρούσα εργασία ελέγχεται η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιώντας ως πεδίο εφαρμογής παραδοσιακούς κτιριακούς τύπους του διασωζόμενου ιστορικού κτιριακού αποθέματος στην Παλιά Πόλη της Ξάνθης. Η συμπεριφορά των κτιρίων ελέγχεται μέσω εφαρμογής της προτεινόμενης διαδικασίας αλλά και όλων των εναλλακτικών διαθέσιμων υπολογιστικών μεθόδων μη γραμμικής ανάλυσης (φασματική ανάλυση, ανάλυση χρονοϊστορίας, ιδιομορφική ανάλυση) και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με στόχο να προκύψει μία ενδεδειγμένη, βιώσιμη διαδικασία μελέτης για σεισμική αποτίμηση και αναβάθμιση των παραδοσιακών κατασκευών. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που εξετάζονται αφορούν τις μέγιστες μετατοπίσεις του κτιρίου, τη χρονική εξέλιξη της απόκρισης και τις ανηγμένες παραμορφώσεις σε χαρακτηριστικές θέσεις με τις οποίες αξιολογείται το ενδεχόμενο αστοχίας. ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φέρουσα τοιχοποιία, Σεισμική αποτίμηση, Παραδοσιακές κατασκευές

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρωπος-τεχνίτης κάθε εποχής, στην προσπάθειά του για μεγαλύτερη προστασία και ενίσχυση των κατασκευών του, επινοούσε νέους τρόπους και τεχνικές που εμπλούτιζαν και βελτίωναν την τεχνογνωσία, τη δομική τεχνολογία και τα εφαρμοζόμενα κατά τόπους δομικά συστήματα, συμβάλλοντας καθοριστικά στην εξέλιξη της δομικής τέχνης. Αποτέλεσμα όλων αυτών των εξελικτικών διεργασιών ήταν η ανάπτυξη και η εφαρμογή-κατά τόπους-σημαντικών Τοπικών Ιστορικών Δομικών Συστημάτων (Τ.Ι. .Σ.), η αποτελεσματικότητα των οποίων κρίθηκε και πιστοποιήθηκε στο χρόνο από την σημαντικά αξιόλογη συμπεριφορά που επέδειξαν σε σειρά σοβαρών σεισμικών καταπονήσεων. Δομικά συστήματα φέρουσας τοιχοποιίας με επιλεκτική χρήση όλων των εναλλακτικών μορφών της, τα οποία έχουν μεγάλη ιστορική διαδρομή στην Ν. Ευρώπη, από τους Μινωικούς χρόνους, την κλασσική Αρχαιότητα και τους Ρωμαϊκούς χρόνους (Τουλιάτος, 1998, Βιτρούβιος 27-23 π.Χ. 1997, Müller-Wiener, 1995) ως την περίοδο της Βιομηχανικής επανάστασης επιβιώνουν μέχρι τις μέρες μας χάρη στα βελτιωμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που τους παρείχε η συνεχής εξέλιξή τους. Κυρίαρχα δομικά υλικά είναι ο λίθος (φυσικός ή τεχνητός-συμπανής οπτόπλινθος) και το ξύλο. Με την πάροδο των χρόνων, η φθορά λόγω γήρανσης και έκθεσης στα φυσικά φαινόμενα, οι σοβαρές τυχηματικές δράσεις και καταπονήσεις (σεισμός), αλλά και η ευκολία αντικατάστασής τους με σύγχρονες κατασκευές ενίοτε απειλούν τη βιωσιμότητα μεγάλου πλήθους υφιστάμενων κτιρίων-μνημείων και διατηρητέων παραδοσιακών κατασκευών. Σήμερα, μεγάλος αριθμός από τα κτίρια αυτά προστατεύονται ως διατηρητέα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς καταγράφουν και πιστοποιούν την τεχνογνωσία και το επίπεδο της τεχνολογίας κάθε εποχής, δηλαδή την τεχνολογική συνιστώσα του πολιτιστικού της επιπέδου.

Πέραν της πρόθεσης και της προσπάθειας θεσμικής θωράκισης για την συντήρηση, αποκατάσταση και ολοκληρωμένη προστασία τους, σε τεχνικό επίπεδο η βασική έρευνα σχετικά με τη σεισμική συμπεριφορά των Τ.Ι. .Σ. είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Σήμερα υπάρχει σχετικό κενό γνώσης ως προς την σεισμική αποτίμηση των κτισμάτων αυτών πριν και μετά την εφαρμογή των δομητικών επεμβάσεων για τη σεισμική αποκατάστασή τους. Περιορισμένη τεχνογνωσία υπάρχει σχετικά με τη διεξαγωγή ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων με τρόπο που να λαμβάνεται υπόψη η χωρική συνέχεια του δομικού συστήματος, η ψαθυρότητα των υλικών, η απουσία διαφραγματικότητας στις στάθμες των ορόφων, καθώς και η μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών και την κατάσταση του φέροντα οργανισμού. Η πολυπλοκότητα του αντικειμένου και ο μεγάλος αριθμός των αναγκαίων παραδοχών σε συνδυασμό με την απαίτηση για αναστρεψιμότητα των δομητικών παρεμβάσεων αποκατάστασης καθιστούν την επιλογή της μεθόδου αποτίμησής τους μια πρόκληση για τους μηχανικούς. Δεδομένου μάλιστα ότι η προσπάθεια που απαιτείται για την προσομοίωση και τη διακριτοποίηση των κτισμάτων αυτών είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με το βαθμό της αβεβαιότητας, σε χώρες ιδιαίτερα σεισμογενείς—όπως είναι η χώρα μας—είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η ανάπτυξη μιας εύχρηστης μεθοδολογίας η οποία θα επιτρέπει τη γρήγορη και αξιόπιστη σεισμική αποτίμηση παραδοσιακών κτισμάτων.

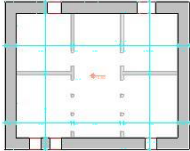
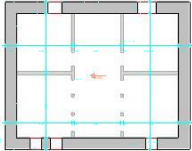
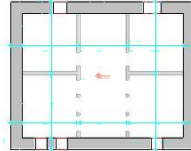
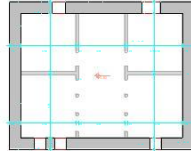
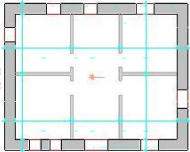
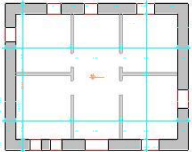
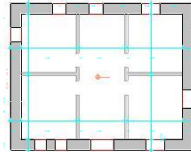
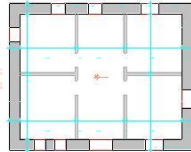
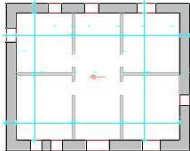
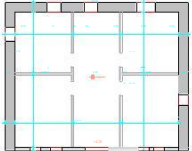
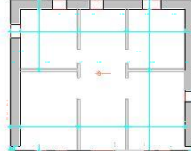
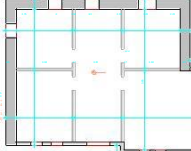
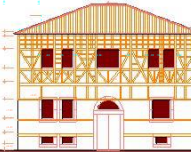
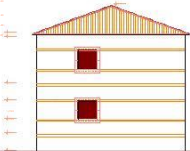
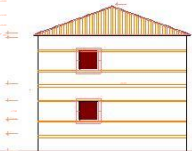
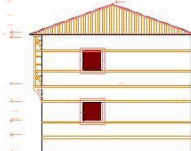
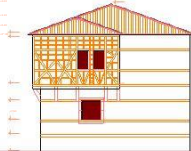
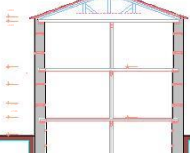
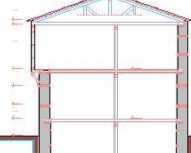
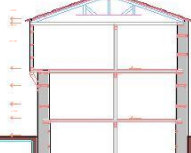
Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η εφαρμογή μιας νέας μεθόδου σεισμικής αποτίμησης και ανασχεδιασμού, που βασίζεται σε μία κατάλληλα απλοποιημένη εφαρμογή ανελαστικής ανάλυσης με βαρυτικά φορτία για τη σεισμική αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η μέθοδος αυτή έχει προταθεί από τους Pardalopoulos & Pantazopoulou(2013), Pantazopoulou (2013), και Vamvatsikos and Pantazopoulou(2010) και πρόσφατα έχει ενσωματωθεί στο σχέδιο του Νέου Κανονισμού για την Αποτίμηση και τις Δομητικές Επεμβάσεις σε Τοιχοποιίες (ΚΑΔΕΤ, 2014) με στόχο να δημιουργηθεί μία εύχρηστη μέθοδος αποτίμησης με αξιόπιστα αποτελέσματα, η οποία θα μπορεί να καθοδηγήσει τις αποφάσεις για ουσιαστική αποκατάσταση, επισκευή και ενίσχυση τέτοιων κτισμάτων. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου συγκρίνονται εδώ με όλες τις διαθέσιμες εναλλακτικές μεθόδους ανελαστικής ανάλυσης (φασματική ανάλυση, ανάλυση χρονοϊστορίας, ιδιομορφική ανάλυση).

Η Παλιά Πόλη της Ξάνθης διαθέτει σημαντικό διασωζόμενο ιστορικό κτιριακό απόθεμα υλοποιημένο με το Τ.Ι.Σ. (Παπαδόπουλος 2007, Παπαδόπουλος 2013), το οποίο έχει τις ρίζες του στην τεχνογνωσία και τις κατασκευαστικές μεθόδους που εφαρμόζονταν στην ευρύτερη περιοχή της Βαλκανικής για πολλούς αιώνες. Τα παραδοσιακά κτίρια του ιστορικού αυτού κτιριακού αποθέματος—κάποια των οποίων έχουν κτιστεί πριν τα μέσα του 19^{ου} αιώνα—είναι χαρακτηριστικά δείγματα της τοπικής παραδοσιακής αρχιτεκτονικής και αποτελούν το πεδίο εφαρμογής για τον έλεγχο της εξεταζόμενης μεθοδολογίας στην παρούσα εργασία. Το σύστημα δόμησης συνδυάζει επιλεκτικά τις λιθοδομές με ξύλινες ενισχύσεις (διαζώματα, δεσίματα, ξυλοδεσιές) με ξυλόπηκτες και ξυλόπλεκτες τοιχοποιίες για τη συγκρότηση ενός ενιαίου στατικού συνόλου με αρκετά αξιόπιστα στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά. Στο διασωζόμενο αυτό ιστορικό κτιριακό απόθεμα η έννοια διατηρητέα κτίρια αφορά σχεδόν αποκλειστικά στην κτιριακή ενότητα της κατοικίας (Εικ. 1) και σε μερικά καπνομάγαζα, κτίρια θρησκευτικής λατρείας, το Δημαρχείο κ.λπ. που ολοκληρώνουν το εξεταζόμενο οικιστικό σύνολο. Στα κτίρια αυτά καταγράφεται η Ιστορική, Κοινωνική, Οικονομική και Πολιτισμική Ανάπτυξη της πόλης, χαρακτηρίζοντας την ιδιαίτερη ταυτότητά της. Εξ' ου άλλωστε είναι χαρακτηρισμένος ως «διατηρητέο οικιστικό σύνολο» ολόκληρος ο ιστορικός αυτός οικισμός.

2. ΚΤΙΡΙΑΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Με στόχο την ενδελεχή διερεύνηση της εξεταζόμενης μεθοδολογίας σεισμικής αποτίμησης και ανασχεδιασμού στο καθορισμένο πεδίο εφαρμογής, συγκροτήθηκε ένα αντιπροσωπευτικό πρότυπο τυπικού παραδοσιακού κτιρίου αστικής κατοικίας στην Παλιά Πόλη της Ξάνθης, υλοποιημένου με εφαρμογή του Τ.Ι. .Σ. της περιοχής και μορφολογία που συγκεντρώνει τα τοπικά παραδοσιακά αλλά και «νεοκλασικίζοντα» χαρακτηριστικά. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται σε τέσσερις κτιριακούς τύπους (Α, Β, Γ, Δ) διωρόφου κτιρίου με ημιυπόγειο όπως φαίνεται στον πίνακα (1), των οποίων τα χαρακτηριστικά καλύπτουν τη συντριπτική πλειοψηφία των κτιρίων του πεδίου εφαρμογής και έχουν προκύψει μέσα από τις τυπικές διαδικασίες προτυποποίησης μετά από καταγραφή, ταξινόμηση και κωδικοποίηση της τυπολογίας και μορφολογίας τους. Το συνολικό του ύψος είναι 9.3m, το μεικτό ύψος κάθε ορόφου είναι 3.2m (καθαρό ύψος 3.02m) ενώ το ημιυπόγειο έχει μεικτό ύψος 2.9m (καθαρό ύψος 2.72m) εκ των οποίων τα 1.8m είναι κάτω από τη στάθμη του εδάφους. Η θεμελίωση ακολουθεί την γεωμετρία των φερόντων τοίχων της κάτοψης του υπογείου και υλοποιείται σε βάθος 0.50 m κάτω από το δάπεδό του, από λιθοδομή μεγάλων λίθων με πάχος 0.85m.

Πιν. 1: Κατόψεις, όψεις και τομή των 4 εξεταζόμενων χαρακτηριστικών κτιριακών τύπων

Αντιπροσωπευτικό Δείγμα παραδοσιακού πετρώκτιστου κτιρίου από τον ιστορικό οικισμό της Ξάνθης		ΤΥΠΟΣ Α	ΤΥΠΟΣ Β	ΤΥΠΟΣ Γ	ΤΥΠΟΣ Δ
	ΚΑΤΟΨΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ				
	ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				
	ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ				
	ΝΟΤΙΑΩΣΗ				
	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ				
	ΤΟΜΗ				

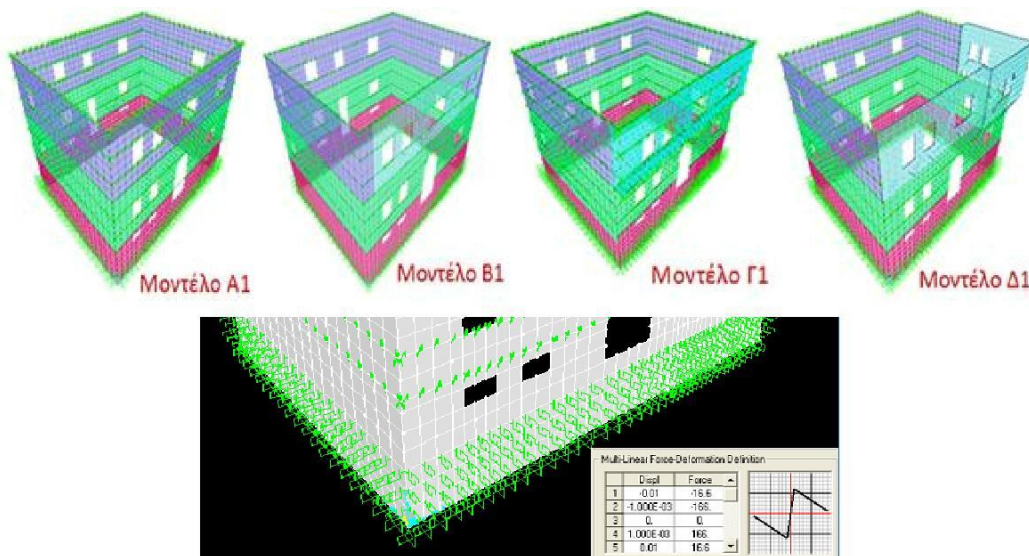
Το υπόγειο και το ισόγειο και στους τέσσερεις κτιριακούς τύπους αναπτύσσεται γεωμετρικά και κατασκευαστικά με τον ίδιο τρόπο. Οι διαφοροποιήσεις-παραλλαγές αφορούν στον όροφο και συγκεκριμένα στο είδος και τις διαστάσεις της φέρουσας τοιχοποιίας, και στο σχήμα της κάτοψης. Ο πρώτος όροφος στον τύπο Α έχει ορθογωνική κάτοψη $11.25\text{m} \times 8.25\text{m}$ και φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομή ενισχυμένη με ξύλινα διαζώματα. Στον τύπο Β η κάτοψη του πρώτου ορόφου είναι ορθογωνική $11.25\text{m} \times 8.25\text{m}$, η φέρουσα τοιχοποιία είναι από λιθοδομή ενισχυμένη με ξύλινα διαζώματα, εκτός από τη νότια όψη του ορόφου, η οποία υλοποιείται με ξυλόπηκτη τοιχοποιία (τσατμάς). Στον τύπο Γ η κάτοψη του πρώτου ορόφου είναι ορθογωνική $11.25\text{m} \times 8.75\text{m}$ με εξώστεγο (+0,50 m) σε ολόκληρη τη νότια όψη της, η φέρουσα τοιχοποιία είναι από λιθοδομή ενισχυμένη με ξύλινα διαζώματα, εκτός του εξώστεγου της νότιας όψης, που υλοποιείται από ξυλόπηκτη τοιχοποιία. Τέλος, στον τύπο Δ η κάτοψη του πρώτου ορόφου είναι ορθογωνική με δύο εξώστεγα, ένα στη νότια όψη ($5.05\text{m} \times 0.5\text{m}$) και ένα στη ανατολική όψη ($5.55\text{m} \times 0.5\text{m}$). Η φέρουσα τοιχοποιία είναι από λιθοδομή ενισχυμένη με ξύλινα διαζώματα, εκτός από ολόκληρη την νότια όψη και το εξώστεγο στην ανατολική όψη που υλοποιούνται από ξυλόπηκτη τοιχοποιία. Η περιμετρική φέρουσα τοιχοποιία είναι από λιθοδομή ενισχυμένη με ξύλινα διαζώματα και το πάχος της μειώνεται καθ' ύψος (υπόγειο 0.75m , ισόγειο 0.70m και όροφος 0.65m). Τα ξύλινα διαζώματα (ξυλοδεσιές), έχουν πάχος 0.10m και διατρέχουν όλο το μήκος των φερόντων τοίχων (όλη την περίμετρο) σε επτά στάθμες (+1.10m, +2.0 m, +3.20m, +4.30m, +5.20m, +6.40m, +7.50m). Η ξυλόπηκτη τοιχοποιία έχει πάχος 0.22m στις εξωτερικές τοιχοποιίες και 0.20m στις εσωτερικές (οι τιμές αυτές θεωρούνται συνήθεις στις καλές κατασκευές του εξεταζόμενου κτιριακού αποθέματος). Η στέγη και στους 4 κτιριακούς τύπους του παραπάνω προτύπου είναι τετράρριχτη κεραμοσκεπή με γεωμετρία που ακολουθεί επακριβώς το σχήμα της κάτοψης. Οι προεξοχές της περιμετρικά του κτιρίου κυμαίνονται από 0.35m μέχρι 0.45m . Τα δάπεδα αποτελούνται από σύστημα κύριων δοκών – «πατόξυλα», παράλληλα με τη διεύθυνση του μικρότερου ανοίγματος, οι οποίες καλύπτονται με το σανίδωμα του πατώματος. Οι κύριες ξύλινες δοκοί, εδράζονται στη φέρουσα περιμετρική τοιχοποιία πάνω σε ξύλινους στρωτήρες. Οι σανίδες των πατωμάτων, που έχουν πλάτος από 0.25 ως 0.35m και πάχος 2.00cm έως 2.50cm τοποθετούνται καθέτως προς τα πατόξυλα.

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των 4 χαρακτηριστικών κτιριακών τύπων του εξεταζόμενου προτύπου διαμορφώθηκε υπολογιστικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων με χρήση του λογισμικού προγράμματος SAP2000 V15.1.0. Ο κατακόρυφος φέρων οργανισμός από τοιχοποιία προσομοιώθηκε με χρήση επίπεδων επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους (thick flat shell elements) ενώ τα ξύλινα διαζώματα προσομοιώθηκαν με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (frame elements).

Το βασικό στοιχείο κελύφους που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις ήταν ένα επιφανειακό στοιχείο ορθογωνικής διατομής, με διαστάσεις των πλευρών να κυμαίνονται μεταξύ 0.25 και 0.70m , (μέση τιμή περί τα 0.40m). Η στέγη και οι ξύλινες δοκοί των πατωμάτων δεν προσομοιώθηκαν αλλά μεταφέρθηκαν ως φορτίο στους αντίστοιχους κόμβους της κάτοψης, καθώς παρέχουν μικρή διαφραγματική λειτουργία στο κτίριο. Ακόμη, αγνοήθηκαν οι εσωτερικοί μη φέροντες τοίχοι. Και για τα 4 κτίρια μελέτης, διαμορφώθηκαν 2 διαφορετικά μοντέλα, με διαφορετικά πάχη τοιχοποιιών. Συγκεκριμένα, στα μοντέλα A1, B1, Γ1, Δ1 το πάχος της τοιχοποιίας κυμαίνεται από 0.75m στο υπόγειο, σε 0.70m στο ισόγειο, 0.65m στον όροφο και 0.22m στην ξυλόπηκτη τοιχοποιία, ενώ στα μοντέλα A2, B2, Γ2, Δ2 υπάρχει απομείωση του πάχους της τοιχοποιίας, με 0.60m στο υπόγειο, 0.50m στο ισόγειο, 0.45m στον όροφο, και 0.18m στην ξυλόπηκτη τοιχοποιία. Τα γραμμικά στοιχεία που προσομοιώνουν τα ξύλινα διαζώματα είχαν διατομή διαστάσεων $10 \times 20\text{cm}$, ενώ τα ξύλινα στοιχεία του τσατμά, προσομοιώθηκαν με γραμμικά στοιχεία διαστάσεων $15 \times 15\text{cm}$ για τον περιμετρικό ξύλινο σκελετό και γραμμικά στοιχεία διαστάσεων $10 \times 10\text{cm}$ για τα εσωτερικά ξύλινα στοιχεία. Τέλος, τα εξώστεγα του ορόφου στηρίζονται σε υποκείμενο οριζόντιο διάζωμα με εγκάρσιες κεκλιμένες ξύλινες αντηρίδες διατομής $18 \times 12\text{cm}$.

Για να προσομοιωθούν οι μηχανισμοί τριβής και συνάφειας που αναπτύσσονται στα διαζώματα, όταν στο κτίριο ασκούνται τα συνήθη στατικά φορτία, χρησιμοποιήθηκαν ελατήρια που συνδέουν τους κόμβους των επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων της τοιχοποιίας με τα γραμμικά στοιχεία των διαζωμάτων στην εκάστοτε στάθμη και πλευρά. Η μη γραμμικότητα των ελατηρίων αποδίδεται μέσω του διαγράμματος δύναμης-μετακίνησης όπως φαίνεται στην εικόνα (2β). Αρχικά υπολογίζεται η δύναμη συνάφειας που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια των ξύλινων στοιχείων με την τοιχοποιία από τη σχέση: $F_{\text{συνάφ}} = u_b \times E_{\text{διαζ}} \times A$, όπου u_b : η διατμητική αντοχή του κονιάματος σε MPa και $E_{\text{διαζ}}$: το εμβαδό της παράπλευρης επιφάνειας του διαζώματος που έρχεται σε επαφή με την τοιχοποιία, το οποίο ισούται με το πλάτος επαφής επί το μήκος το επιμεριζόμενο στον κόμβο όπου τοποθετείται το κάθε ελατήριο. Για τον εφελκυσμό θεωρείται ότι η συνάφεια αυξάνεται γραμμικά από 0 έως 1mm μετακίνησης και φτάνει τη μέγιστη τιμή, στη συνέχεια και μέχρι τα 10mm απομειώνεται γραμμικά στο 1/10 του μεγίστου. Όμοια για τη θλίψη θεωρείται ότι η συνάφεια των ελατηρίων αυξάνεται γραμμικά από 0 έως 1mm μετακίνησης και φτάνει τη μέγιστη τιμή, στη συνέχεια και μέχρι τα 10mm απομειώνεται γραμμικά στο 1/10 του μεγίστου. Στους κόμβους της στάθμης της θεμελίωσης, δηλαδή σε ύψος 1.8m κάτω από τη στάθμη του εδάφους, εισήχθησαν πακτώσεις, ενώ στο τμήμα του κτιρίου που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του εδάφους (σε τμήμα του υπογείου) όπου δημιουργούνται ωθήσεις γαιών εξαιτίας της ταλάντωσης της κατασκευής κατά το σεισμό, εισήχθησαν ελατήρια τύπου “Gap” που λειτουργούν μόνο σε θλίψη και έχουν έξι βαθμούς ελευθερίας, τρεις μεταφορικούς και τρεις στροφικούς. Για τα κτίρια A και B, προσομοιώθηκαν 2 επιπλέον μοντέλα (A1.1, A1.2, B1.1, B1.2) για δύο ακόμη περιπτώσεις: α) μη λαμβάνοντας υπόψη την ενδοτικότητα της θεμελίωσης, δηλαδή δεσμεύοντας τους κόμβους της, ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα παραμόρφωσης και β) δεσμεύοντας τους κόμβους των ξύλινων διαζωμάτων, τα οποία συνδέονται με τα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία μέσω ελατηρίων. Επομένως, συνολικά προσομοιώθηκαν 12 διαφορετικά μοντέλα.



Εικ.1: (α) Τρισδιάστατη απεικόνιση των 4 προσομοιωμάτων
(β) Προσομοίωση των ελατηρίων και χαρακτηριστική καμπύλη ελατηρίου

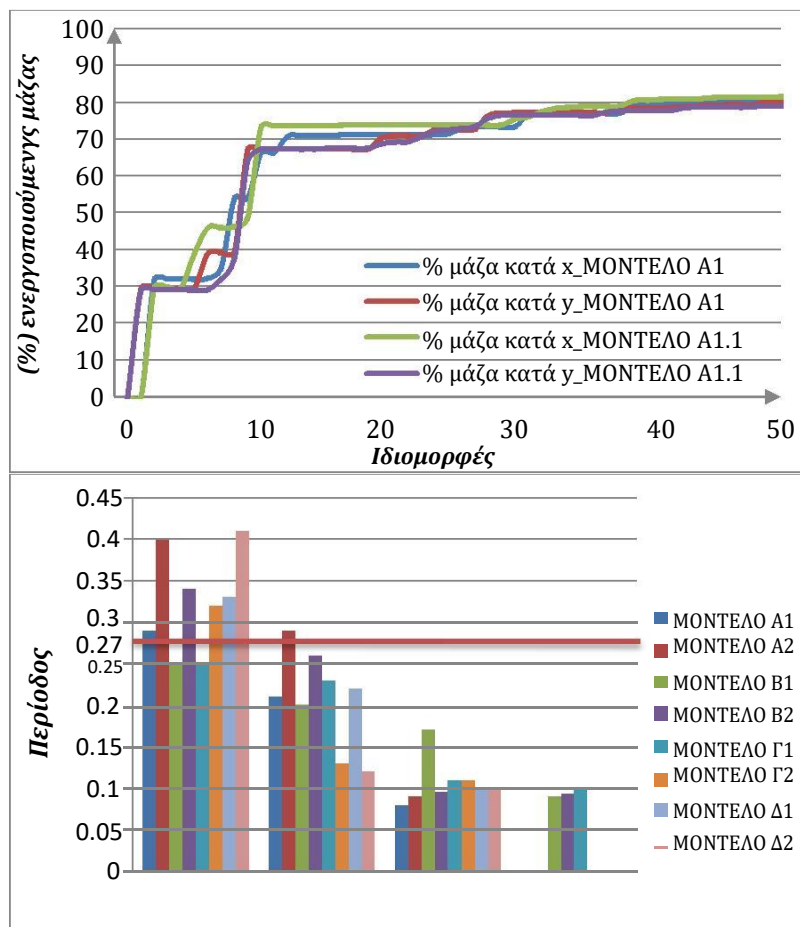
4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Ιδιομορφική ανάλυση

Με την ιδιομορφική ανάλυση εκτιμώνται οι ιδιομορφές και ιδιοπερίοδοι, η συμπεριφορά του κτιρίου (μεταφορική ή/και στροφική) καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής της μάζας έκαστης ιδιομορφής, πράγμα που επιτρέπει την εκτίμηση του αριθμού των σημαντικών ιδιομορφών. Στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία υπάρχει δυσκολία στην εύρεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, καθώς σε κτίρια

χωρίς διαφράγματα έχουμε πάρα πολλές ιδιομορφές με περίπου ισότιμη, μικρή όμως, συμμετοχή μάζας (Karantoni and Pantazopoulou 2013, Pantazopoulou 2013). Αυτό το πρόβλημα παρατηρήθηκε και στα κτίρια που μελετώνται στην παρούσα εργασία. Τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για τις ιδιομορφές με ποσοστό ιδιομορφικής μάζας μεγαλύτερο από 10% παρουσιάζονται στον πίνακα (2).

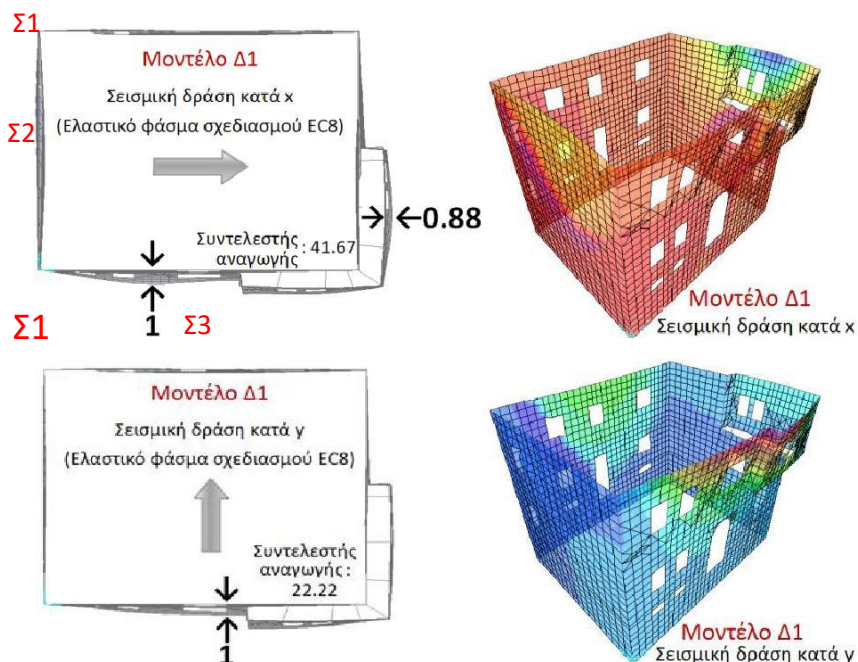
Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης συνάγεται ότι σε όλα τα μοντέλα οι περισσότερες ιδιομορφές που προέκυψαν έχουν μικρή συμμετοχή μάζας, συνεπώς δε μπορούμε καταλήξουμε σε κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την κύρια ιδιομορφή του κάθε μοντέλου. Ιδιαίτερα στα μοντέλα Δ1, Δ2 προκύπτουν ιδιομορφές με πολύ μικρή συμμετοχή μάζας. Η ύπαρξη ξυλόπηκτου εξώστεγου σε δύο πλευρές δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο τον εντοπισμό της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου σε σχέση με τα άλλα μοντέλα. Ακόμη, η μείωση του πάχους της τοιχοποιίας σε ίδια κτίρια όπως επίσης και η ύπαρξη ξυλόπηκτης τοιχοποιίας (τσατμά) οδηγεί σε αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, λόγω μικρότερης δυσκαμψίας. Επίσης όσον αφορά στα μοντέλα A1.1, B1.1 παρατηρούμε ότι μη λαμβάνοντας υπόψη την ενδοτικότητα της θεμελίωσης, προκύπτει μικρή μείωση των ιδιοπεριόδων με ικανοποιητικό ποσοστό μάζας ενώ για τα μοντέλα A1.2, B1.2, η απουσία ελατηρίων στο σημείο σύνδεσης των ξύλινων στοιχείων με την τοιχοποιία δεν επηρέασε τις θεμελιώδεις ιδιομορφές. Τέλος, εφόσον υπάρχει δυσκολία στην εύρεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου μέσω προσομοίωσης, προτείνεται η προσεγγιστική σχέση. Για την εφαρμογή της δυναμικής φασματικής μεθόδου χρησιμοποιήθηκε το φάσμα τύπου Ι του Ευρωκώδικα 8 για έδαφος κατηγορίας Α, $a_g=0.16g$, ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ζ1 και $\zeta=5\%$. Για τα υπό μελέτη κτίρια πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές αναλύσεις για κάθε συνιστώσα της σεισμικής δράσης. Η ιδιομορφική επαλληλία γίνεται με τον κανόνα CQC και ο σεισμικός συνδυασμός που ελήφθη είναι $G+0.3Q+E_x$ και $G+0.3Q+E_y$.



Διαγρ. 1: (α) Ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας στην ιδιομορφική ανάλυση κατά x, y στο μοντέλο A1. (β) Ιδιομορφές με σχετικά μεγάλο ποσοστό δρώσας ιδιομορφικής μάζας για τα 8 διαφορετικά μοντέλα

Μοντέλο	Ιδιομορφή & Διεύθυνση		Ιδιοπερίοδος (sec)	Ποσοστό δρώσας ιδιομορφικής μάζας
A1/A1.1*/A1.2** Τύπος A Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.75/0.70/0.65	2	y	0.29/0.27/0.28	29.5/29.1/31.4
	3	x	0.21/0.20/0.21	31.9/29.7/33.0
	14	z	0.08/0.07/0.08	15.2/17.0/16.3
A2 Τύπος A Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.60/0.50/0.45	2	y	0.40	24.3
	3	x	0.29	21.5
	17	z	0.09	10.3
B1/B1.1*/B1.2** Τύπος B Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.75/0.70/0.65	2	y	0.25/0.23/0.25	11.2/11.2/11.2
	3	x	0.20/0.19/0.20	10.8/11.6/9.7
	5	x	0.17/0.16/0.17	12.9/15.0/13.4
	13	x	0.09/0.08/0.09	13.7/21.9/13.7
B2 Τύπος B Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.60/0.50/0.45	2	y	0.34	10.0
	3	x	0.26	14.5
	14	y	0.096	24.1
	16	x	0.093	17.8
Γ1 Τύπος Γ Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.75/0.70/0.65	4	x	0.25	29.2
	5	y	0.23	14.8
	13	x	0.11	12.2
	15	y	0.10	23.2
Γ2 Τύπος Γ Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.60/0.50/0.45	4	x	0.32	16.7
	13	x	0.13	17.0
	18	y	0.11	21.1
Δ1 Τύπος Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.75/0.70/0.65	3	y	0.33	8.3
	17	x	0.22	8.4
	22	x	0.10	13.1
Δ2 Τύπος Πάχος τοιχ.καθ'ύψος:0.60/0.50/0.45	3	y	0.41	8.1
	5	x	0.12	11.1
	15	x	0.098	11.6

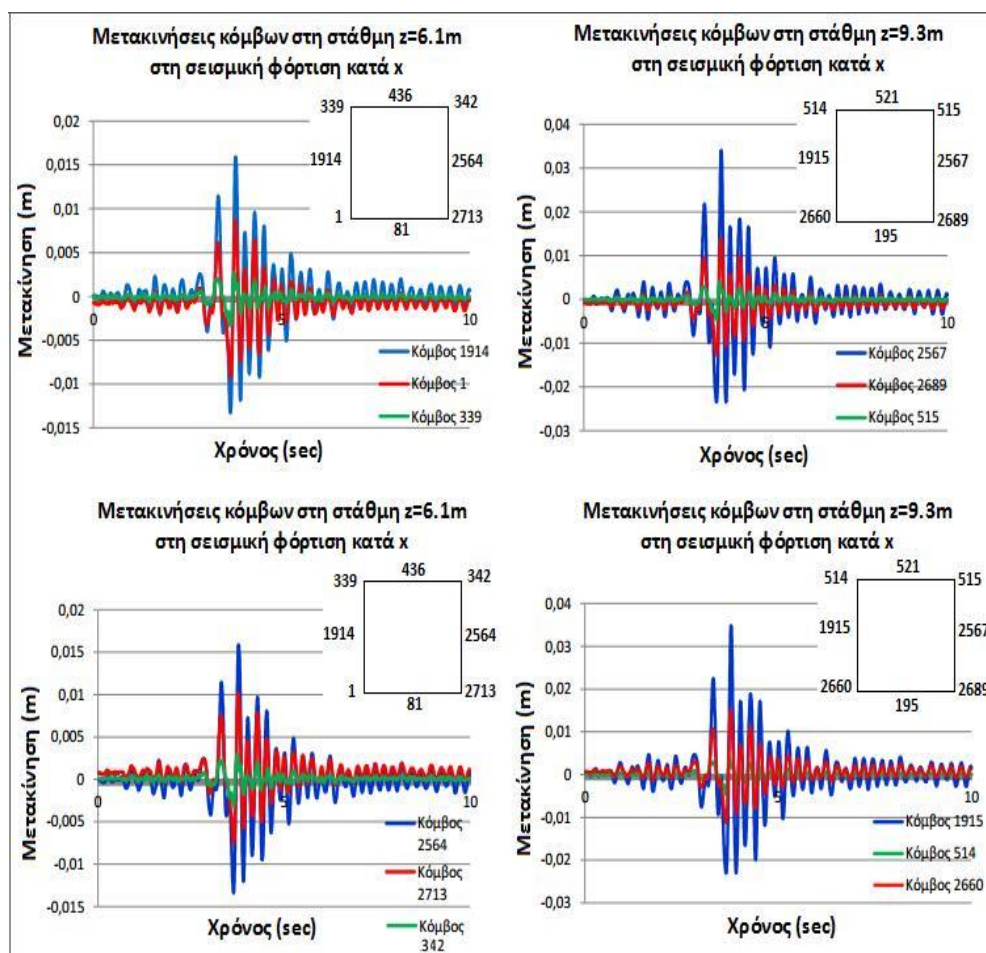
Πιν. 2: Ενδεικτικά στοιχεία ιδιομορφών με σχετικά μεγάλο ποσοστό δρώσας ιδιομορφικής μάζας (*πάκτωση στο έδαφος, **πάκτωση στις ξυλοδεσιές)



Εικ. 2: Παραμορφωμένο σχήμα μοντέλου Δ1 κατά τη δυναμική φασματική ανάλυση όπου ορίζονται τα σημεία Σ1 και Σ2 για τα οποία δίνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις στον πίνακα (3) 1 Ο συντελεστής αναγωγής υπολογίστηκε ώστε τα σχήματα να έχουν μέγιστη μετατόπιση τη μονάδα για είναι συγκρίσιμα. (Για το μοντέλο Δ1 κατά x: συντελεστής αναγωγής = μέγιστη μετατόπιση/1 = 0.024/1=41.67 και το μοντέλο 1 κατά y: συντελεστής αναγωγής = μέγιστη μετατόπιση/1 = 0.024/1=22.22=0.045)

5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ

Διενεργείται δυναμική, μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας όπου χρησιμοποιείται ως διέγερση βάσης το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Αιγίου (15/6/1995) με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους $a_{\max}=0.552g$. Ο φορέας υποβάλλεται στη χρονοϊστορία των εδαφικών επιταχύνσεων του σεισμού. Πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις για κάθε περίπτωση μελέτης, εκ των οποίων η πρώτη είναι μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας, όπου εισάχθηκαν τα στατικά φορτία της κατασκευής, σύμφωνα με τον σεισμικό συνδυασμό $G+0.3Q$, και στη συνέχεια, προστέθηκε το σεισμικό φορτίο. Έγιναν δύο διαφορετικές αναλύσεις για τις δύο διευθύνσεις του σεισμικού φορτίου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που μελετήθηκαν είναι τόσο οι χρονοϊστορίες μετατοπίσεων επιλεγμένων κόμβων όσο και το παραμορφωμένο σχήμα του κτιρίου το οποίο υποδεικνύει τις τοπικές απαιτήσεις των παραμορφώσεων κατά την απόκριση σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές (π.χ. τη στιγμή της μέγιστης οριζόντιας μετάθεσης κορυφής).

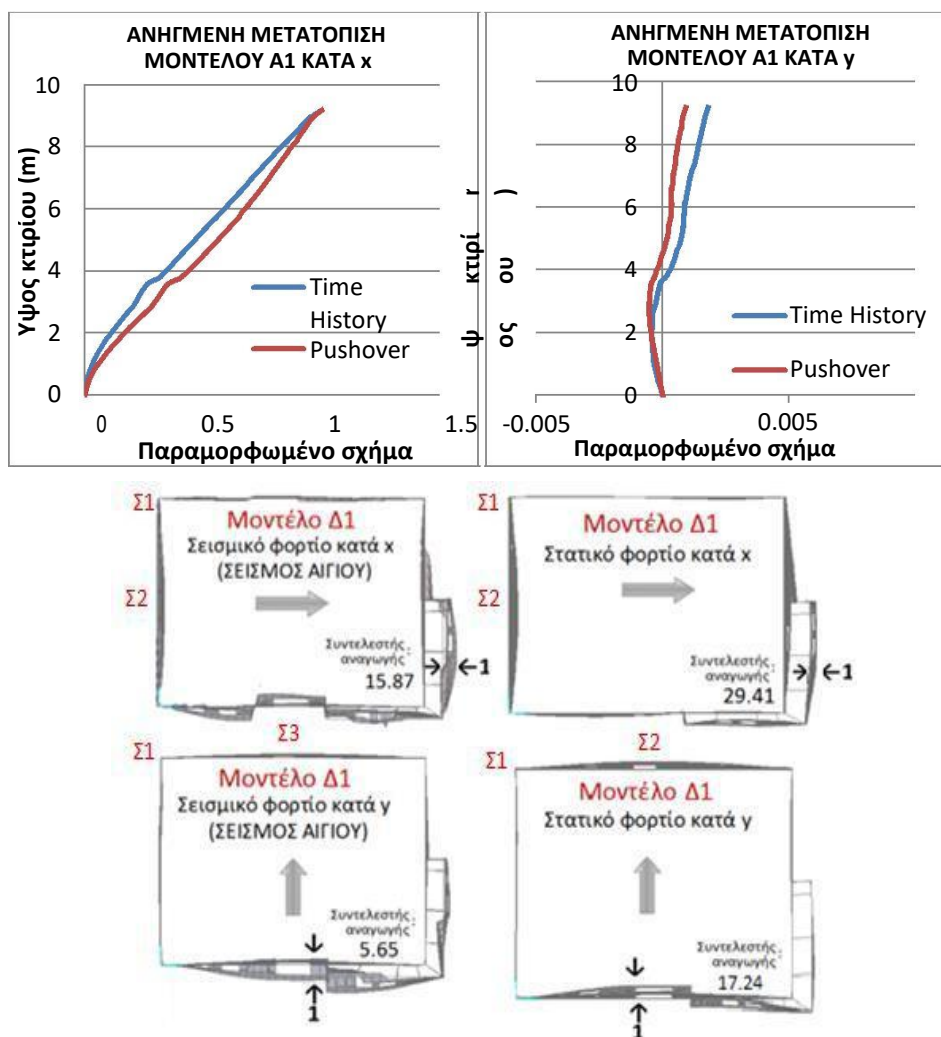


Διαγρ. 2: Χρονοϊστορίες μετατοπίσεων κόμβων σε διαφορετικές στάθμες του μοντέλου Γ1. Η χρονική σύμπτωση των παλμών απόκρισης από τους διάφορους ορόφους (κίνηση σε φάση) υποδεικνύει ότι η συμμετοχή ανώτερων ιδιομορφών στο συγκεκριμένο παράδειγμα κτιρίου ήταν αμελητέα.

6. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΡΥΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Πρόσφατα έχει προταθεί στο σχέδιο του Κανονισμού Αποτίμησης και Δομητικών Επεμβάσεων για Τοιχοποιίες (2014) μία μεθοδολογία σεισμικής αποτίμησης και ανασχεδιασμού, η οποία βασίζεται σε μία κατάλληλα απλοποιημένη εφαρμογή ανελαστικής στατικής ανάλυσης με

βαρυτικά φορτία για την εκτίμηση των σεισμικών απαιτήσεων και της σεισμικής ικανότητας παραδοσιακών κατασκευών. Στη συγκεκριμένη ανάλυση η κατασκευή φορτίζεται με το ίδιο βάρος της στην οριζόντια διεύθυνση που αναπαριστά τις αδρανειακές δυνάμεις που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Αυτή η φόρτιση ισοδυναμεί με ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή επιταχύνσεων του κτιρίου $1.0g$, οπότε η ισοδύναμη επιτάχυνση εδάφους είναι $a_g=1.0g/2.5=0.40g$. Επομένως φορτίζοντας το κτίριο με το ίδιο βάρος του είναι σαν να του επιβάλλουμε σεισμό με επιτάχυνση εδάφους $0.4g$, η οποία είναι αρκετά μεγάλη για έδαφος. Η ομοιόμορφη κατανομή επιταχύνσεων έχει σκοπό να ενεργοποιήσει τις αδρανειακές δυνάμεις οπουδήποτε υπάρχει μάζα. Επειδή οι μάζες στις κατασκευές αυτού του τύπου είναι κατανεμημένες, ο μόνος τρόπος προκειμένου να εισαχθούν αδρανειακές δυνάμεις στα επιμέρους δομικά στοιχεία είναι μέσω αξιοποίησης των επιταχύνσεων πεδίου όπως είναι το πεδίο βαρύτητας, και την αντίστοιχη λειτουργία των εμπορικών προγραμμάτων για την διεκπεραίωση ανάλυσης των κατασκευών για τα φορτία βαρύτητας. Όμως στην προκειμένη περίπτωση, η επιλογή της κατεύθυνσης δράσης του βαρυτικού πεδίου είναι αυτή που επιλέγεται ως κατεύθυνση δράσης του σεισμού. Τα αποτελέσματα της προταθείσας ανάλυσης συγκρίνονται με τις μέγιστες τιμές των αποτελεσμάτων των υπόλοιπων αναλύσεων προκειμένου να εξακριβωθεί κατά πόσο η συγκεκριμένη ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να απλοποιηθεί τη διαδικασία αποτίμησης και ανασχεδιασμού των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.



Εικ. 3: (α) Συγκριτικό διάγραμμα παραμορφωμένου σχήματος για το μοντέλο A1 για σεισμό (Time history analysis) και βαρυτικό πεδίο (pushover) να ασκούνται κατά την x-κατεύθυνση, (β) Παραμορφωμένο σχήμα κτιρίου στη ανάλυση χρονοϊστορίας και στη στατική ανάλυση με τα φορτία βαρύτητας²

Σ. Α. για το μοντέλο Δ1 κατά x στην Time History: $1/0.063=15.87$

² Σ. Α. για το μοντέλο Δ1 κατά y στην Time History: $1/0.18=5.65$

Σ. Α. για το μοντέλο Δ1 κατά x στην Pushover: $1/0.034=29.41$

Σ. Α. για το μοντέλο Δ1 κατά y στην Pushover: $1/0.058=17.24$

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα 12 μοντέλα συνάγεται ότι:
α) Οι μέγιστες μετακινήσεις παρατηρούνται σε κόμβους της τοιχοποιίας που βρίσκονται στην κορυφή των κτιρίων ($z=9.3\text{m}$).

β) Η μέγιστη μετατόπιση παρουσιάζεται σε κόμβους της τοιχοποιίας κάθετα στη σεισμική φόρτιση, δηλαδή στις τοιχοποιίες οι οποίες υπόκεινται σε εκτός επιπέδου κάμψη. Επισημαίνεται ότι τοπικά υπάρχει σημαντική ενίσχυση στα εξώστεγα, όμως οι τιμές με τις οποίες αξιολογείται η αναμενόμενη βλάβη λαμβάνονται για σημεία επί των πετρόκτιστων τοίχων εφόσον η ικανότητα παραμόρφωσής τους είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή των ξυλόπηκτων τοίχων που χρησιμοποιούνται στα εξώστεγα.

γ) Όσο αυξάνεται το πάχος της φέρουσας τοιχοποιίας μειώνονται οι μέγιστες μετακινήσεις κόμβων –μεγαλύτερο πάχος τοίχων αυξάνει την δυσκαμψία του κάθε κτιρίου.

ε) Η ύπαρξη του τσατμά κάνει πιο εύκαμπτη την κατασκευή, συνεπώς όσο μεγαλύτερο είναι το τμήμα της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας σε ένα κτίριο, τόσο μεγαλύτερες μετακινήσεις κόμβων παρουσιάζει το τμήμα της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας.

στ) Όσον αφορά στην ανάλυση χρονοϊστορίας, από τις χρονοϊστορίες μετατοπίσεων των κόμβων στη μέση και στα άκρα των τοίχων στην περίμετρο των κτιρίων, παρατηρούμε ότι οι κόμβοι έχουν την ίδια μορφή ταλάντωσης (κίνηση σε φάση). Όμως σε όλες τις περιπτώσεις οι κόμβοι της μέσης παρουσιάζουν πιο έντονες παραμορφώσεις από τους κόμβους των άκρων.

ζ) Σημαντικό στοιχείο για τη σεισμική αποτίμηση των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία είναι η αντοχή της τοιχοποιίας σε εκτός επιπέδου κάμψη. Για διεύθυνση επιβολής του σεισμικού φορτίου εγκάρσια στο επίπεδό της, εξετάζονται δύο συνιστώσες οι οποίες σχετίζονται με τη διεύθυνση του επιπέδου θραύσεως και είναι α) για επίπεδο θραύσεως κάθετο στους οριζόντιους αρμούς και β) για επίπεδο θραύσεως παράλληλο στους οριζόντιους αρμούς. Για επίπεδο κάμψης κάθετο στους οριζόντιους αρμούς κρίσιμες περιοχές είναι οι διατομές στο κέντρο της ανώτερης στάθμης του κτιρίου καθώς και οι ακμές που συνδέουν τοίχους μεταξύ τους σε ορθή γωνία, ή στα σημεία σύνδεσης της λιθοδομής με την ξυλόπηκτη τοιχοποιία. Επίσης κρίσιμες είναι και οι διατομές που βρίσκονται κοντά στα ανοίγματα. Για επίπεδο κάμψης παράλληλο στους οριζόντιους αρμούς κρίσιμες είναι οι διατομές στη βάση των κτιρίων.

η) Ακόμη, οι μετακινήσεις, δεν επηρεάζονται από την ύπαρξη ελατηρίων που συνδέουν τους κόμβους των διαζωμάτων με τα επιφανειακά στοιχεία τοιχοποιίας, τα οποία θα μπορούσαν, χάριν ευκολίας, να παραλειφθούν, θεωρώντας πλήρη σύνδεση μεταξύ των διαζωμάτων και της τοιχοποιίας, ενώ θεωρώντας πάκτωση στη θεμελίωση υπάρχει κάποια διαφοροποίηση καθώς οι παραμορφώσεις στο τμήμα του υπογείου κάτω από το έδαφος είναι μηδενικές αλλά σε μεγαλύτερο ύψος εμφανίζονται μικρότερες παραμορφώσεις. Συνεπώς, η μεταβολή των παραμορφώσεων καθ' ύψος του κτιρίου είναι πιο απότομη στο μοντέλο με πάκτωση στο έδαφος.

θ) Τέλος, οι κόκκινες τιμές στον πίνακα 3 υπογραμμίζουν υπέρβαση του ορίου της «οιονεί» διαρροής της τοιχοποιίας που λαμβάνεται σε τάξη 0.15%. Μάλιστα ο λόγος των ως άνω τιμών με το όριο του 0.15% είναι μια άμεση πρώτη εκτίμηση της απαιτούμενης πλαστιμότητας. Επισημαίνεται ότι η στατική ανάλυση βρίσκεται αρκετά κοντά με την ανάλυση χρονοϊστορίας, ενώ η ιδιομορφική φασματική ανάλυση οδηγεί ενίοτε σε υπερδιπλάσια μεγέθη—ο υπερσυντηρητισμός των οποίων οδηγεί κατά κανόνα σε υπερβολικές παρεμβάσεις που καταστρατηγούν το πνεύμα των διεθνών συμβάσεων για την αναστρεψιμότητα των χρησιμοποιούμενων επεμβάσεων. Επίσης παρατηρείται ότι η κύρια δράση που απειλεί την ακεραιότητα του συνόλου είναι η οριζόντια απόκλιση μεταξύ σημείων που βρίσκονται στην ίδια στάθμη από το έδαφος (δηλ. η κάμψη με επίπεδο θραύσης κάθετο προς τους οριζόντιους αρμούς).

Μέγιστες παραμορφώσεις (σημεία Σ1, Σ2, Σ3)				
	Φασματική Ανάλυση / Στατική Ανάλυση ανηγμένη σε $a_g=0.16g$ / Ανάλυση Χρονοϊστορίας ανηγμένη σε $a_g=0.16g$			
	u_Σ1 (σε m)	u_Σ2 (σε m)	θ_οριζόντια	θ_κατακόρυφη
Αναλύσεις κατά x				
A1	0.0016/0.0022/0.0014	0.010/0.008/0.008	0.0019/0.0012/0.0014	0.00017/0.00024/0.00015
A2	0.0014/0.0019/0.0011	0.016/0.012/0.012	0.0033/0.0023/0.0024	0.00015/0.00020/0.00012
B1	0.0009/0.0016/0.0010	0.005/0.005/0.005	0.0009/0.0008/0.0009	0.00010/0.00017/0.00011
B2	0.0008/0.0015/0.0009	0.009/0.008/0.007	0.0019/0.0015/0.0013	0.00009/0.00016/0.00010
Γ1	0.0013/0.0021/0.0013	0.013/0.010/0.011	0.0027/0.0018/0.0022	0.00014/0.00023/0.00014
Γ2	0.0013/0.0019/0.0011	0.019/0.015/0.016	0.0040/0.0030/0.0034	0.00014/0.00020/0.00012
Δ1	0.0012/0.0021/0.0013	0.009/0.009/0.009	0.0018/0.0015/0.0016	0.00013/0.00023/0.00014
Δ2	0.0011/0.0020/0.0011	0.015/0.014/0.015	0.0032/0.0027/0.0031	0.00012/0.00022/0.00012
Αναλύσεις κατά y				
	u_Σ1 (σε m)	u_Σ3 (σε m)	θ_οριζόντια	θ_κατακόρυφη
A1	0.0015/0.0019/0.0011	0.018/0.013/0.013	0.0029/0.0020/0.0020	0.00016/0.00020/0.00012
A2	0.0014/0.0018/0.0015	0.032/0.022/0.030	0.0054/0.0036/0.0051	0.00015/0.00019/0.00016
B1	0.0009/0.0016/0.0009	0.010/0.008/0.009	0.0016/0.0011/0.0013	0.00010/0.00017/0.00010
B2	0.0010/0.0015/0.0010	0.020/0.014/0.016	0.0034/0.0022/0.0027	0.00011/0.00016/0.00011
Γ1	0.0012/0.0018/0.0012	0.016/0.013/0.013	0.0026/0.0020/0.0020	0.00013/0.00019/0.00013
Γ2	0.0012/0.0017/0.0014	0.029/0.021/0.035	0.0049/0.0034/0.0060	0.00013/0.00018/0.00015
Δ1	0.0010/0.0019/0.0010	0.015/0.014/0.013	0.0025/0.0022/0.0021	0.00011/0.00020/0.00011
Δ2	0.0009/0.0017/0.0012	0.025/0.023/0.034	0.0043/0.0038/0.0040	0.00010/0.00018/0.00013

Πίν.3: Μέγιστες τιμές παραμορφώσεων σε συγκεκριμένα σημεία αναφοράς (δηλ. στη γωνία και στο μέσο της πλευράς του κτιρίου κάθετα προς το σεισμό σε πέτρινο τοίχο) στις 3 διαφορετικές αναλύσεις για τα 8 μοντέλα.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η συγκριτική διερεύνηση μέσω χρήσης πεπερασμένων στοιχείων διαφορετικών μεθόδων σεισμικής αποτίμησης για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία. Χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες εναλλακτικές μέθοδοι μη γραμμικής ανάλυσης (φασματική ανάλυση, ανάλυση χρονοϊστορίας) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από στατική ανάλυση σε οριζόντιο βαρυτικό πεδίο. Παρατηρήθηκε ότι η πολυπλοκότητα του φέροντος οργανισμού λόγω της απουσίας διαφραγματικής λειτουργίας στις διαφορετικές στάθμες των επιπέδων καθιστά δύσκολο τον εντοπισμό της κύριας μεταφορικής ιδιοπεριόδου ανά διεύθυνση. Προκύπτουν πολλές ιδιομορφές με περίπου ισότιμη, μικρή όμως, συμμετοχή μάζας, ώστε να μην είναι άμεσα εφικτή η επέκταση των μεθόδων του Ευρωκώδικα 8 που βασίζεται στην εκτίμηση της απόκρισης της θεμελιώδους ιδιομορφής, και σε αυτή την κατηγορία κατασκευών. Ακόμη, οι μετατοπίσεις των κόμβων μελετήθηκαν συγκριτικά: τιμές που υπολογίσθηκαν τόσο από την φασματική όσο και στη ανάλυση χρονοϊστορίας συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης υποδεικνύοντας ότι η τελευταία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα στη διαδικασία της σεισμικής αποτίμησης του συνόλου. Η δέσμευση των κόμβων της θεμελίωσης (πάκτωση του κτιρίου) δημιουργεί αυξημένη απαίτηση για στροφή στους κόμβους σύνδεσης του υπογείου με την υπόλοιπη κατασκευή. Τα ελατήρια που χρησιμοποιούνται για προσομοιώσουν τη συνάφεια μεταξύ των ξύλινων στοιχείων και της λιθοδομής δε συμβάλουν ουσιαστικά στην απόκριση του κτιρίου υπό την επιβολή του φορτίου. Από τη μελέτη των κτιρίων με χρήση του υπολογιστικού προγράμματος SAP2000, συνάγεται ότι η προσπάθεια που απαιτείται για την προσομοίωση και τη διακριτοποίηση παρόμοιων κτισμάτων είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με το βαθμό της αβεβαιότητας που υπάρχει. Διαπιστώνεται ότι η απλοποιημένη μέθοδος που προτείνεται

προσεγγίζει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά της κατασκευής με λιθοδομή, ακόμα και με την ταυτόχρονη ύπαρξη ξυλόπηκτου εξώστεγου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση και αποκατάσταση τέτοιων κατασκευών αποτελώντας ένα ακόμα εργαλείο για την ολοκληρωμένη προστασία τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Karantoni, F., Papadopoulos, M., and S. J. Pantazopoulou, (2013), "Criteria Guiding Seismic Assessment Strategies of Traditional Masonry Buildings", SMAR 2013 Conference, Istanbul.
2. M. L. Papadopoulos (2013), "Seismic Assessment of Traditional Houses in the Balkans – Case Studies in Xanthi", Journal of Civil Engineering and Science (J.C.E.S.), World Academic Publishing, September 2013, Volume 2, Issue 3, PP. 131-143.
3. M. L. Papadopoulos, S. J. Pantazopoulou (2011). "Simulation for Seismic Assessment of Traditional Houses in the Historical Core of the City of Xanthi before and after Non-Invasive Structural Interventions", CD-ROM Proceedings of the III ECCOMAS Thematic Conf. on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engrg., Corfu, Greece, 26–28 May 2011, M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris (eds.)
4. S. I. Pardalopoulos, M. Th. Kontari και S. J. Pantazopoulou, (2014), "Rapid Seismic Assessment Procedure of Masonry Buildings with Historic Value", Chapter in Seismic Assessment, Behavior and Retrofit of Heritage Buildings and Monuments, Computational Methods in Applied Sciences, Springer (Editors: Psycharis et al.).
5. S. J. Pantazopoulou, (2013). "Analysis Methods for Unreinforced Masonry Heritage Structures and Monuments", Electronic Book Commissioned by Organization for Seismic Panning and Protection of Greece, ecpfe.oasp.gr/en/node/89.
6. S.J. Pardalopoulos, S. J. Pantazopoulou (2011). Seismic Assessment of Vintage Neoclassical Buldings Through Simulation, CD-ROM Proceedings of the III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Corfu, Greece, 26–28 May 2011, M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris (eds.)
7. Vamvatsikos, D. and S. J. Pantazopoulou, "Simplified Vulnerability Assessment of Historical City Cores –the Example of the Old City of Xanthi", CD-ROM Proceedings, 9th U.S. and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Canada, July 2010.
8. Wolfgang Müller-Wiener (1995), Η Αρχιτεκτονική στην Αρχαία Ελλάδα, σ.70-101, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
9. Βιτρουβίου, Περί Αρχιτεκτονικής, σ.147-175 Τόμος Ι, βιβλία Ι-V, Αθήνα: Πλέθρον, 1996
10. Μ. Α. Παπαδόπουλος (2007), "Η Αντισεισμική Συμπεριφορά των Τοπικών Ιστορικών Δομικών Συστημάτων στην ευρύτερη περιοχή της Βαλκανικής - Πηγή γνώσης στην εξέλιξη της Δομικής Τέχνης", CD-ROM Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου «Ιστορία των Δομικών Κατασκευών» (Ψηφιακή Έκδοση), Ξάνθη : ΔΠΘ-Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΤΕΕ Τμήμα Θράκης, ΥΠΠΟ Εφορεία Νεωτέρων Μνημείων Κ. Μακεδονίας, 29 Νοε.-1 Δεκ. 2007, εργ. αρ. 3
11. Τουλιάτος Π. (1998), "Ο σχεδιασμός της αντισεισμικής ξύλινης κατασκευής χθες και σήμερα", Πρακτικά διημ.: Το Ξύλο σε υπάρχουσες δομικές κατασκευές, παλιές και νέες τεχνολογίες, στο Μνημείο & Περιβάλλον ειδική έκδοση II, σ. 167-173, ΥΠΠΟ, ΕΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

1. Γεωργία Ζήρα: Διπλωματούχος Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π. (2010), Μεταπτυχιακός τίτλος Ειδίκευσης: Νέα Υλικά & Τεχνολογίες στο Σχεδιασμό Έργων από Ο.Σ. (2013), Υποψήφια Διδάκτωρ .Π.Θ.
2. Ειρήνη - Μαρκέλλα Ψάλτη: Διπλωματούχος Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π. (2011), Μεταπτυχιακός τίτλος Ειδίκευσης: Νέα Υλικά & Τεχνολογίες στο Σχεδιασμό Έργων από Ο.Σ. (2013).
3. Σ. Πανταζοπούλου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός (Ph.D. - U.C. Berkeley 1987), (MS in Structural Engineering -U.C. Berkeley 1984), Δίπλωμα Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π. (1982), Καθηγήτρια .Π.Θ. (σε άδεια άνευ αποδοχών από το 2012), Καθηγήτρια Παν. Κύπρου.
4. Μηνάς Παπαδόπουλος, Δρ. Πολ. Μηχ. (ΔΠΘ 1998), Δίπλωμα Πολ. Μηχ. ΔΠΘ 1981, Αναπληρωτής Καθηγητής ΔΠΘ.