

## **Υπολογιστική διερεύνηση της επιρροής της κατηγορίας πλαστιμότητας (ductility class) και του δομικού συστήματος (structural type) στη σεισμική συμπεριφορά και στις απαιτήσεις χάλυβα και σκυροδέματος σε τριώροφα κτίρια Ο/Σ σύμφωνα με τον EC8.1**

**Θεοδοσία Αριστοδήμου**

*Msc Πολιτικός Μηχανικός Πανεπιστημίου Frederick, Κύπρος*

**Μίλτων Δημοσθένους**

*Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Ερευνητής του ΙΤΣΑΚ, Επισκέπτης Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Frederick, Κύπρος, [eng.dm@frederick.ac.cy](mailto:eng.dm@frederick.ac.cy)*

### **Εκτενής περίληψη**

Στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Frederick σχεδιάστηκε και τέθηκε σε εφαρμογή από το 2012 μια ερευνητική προσπάθεια ευρείας κλίμακας με αντικείμενα την εξέταση της εφαρμοσιμότητας των Ευρωπαϊκών Κανονισμών (EC) στον κυπριακό χώρο και της διερεύνησης της επιρροής διαφόρων παραμέτρων στα τελικά αποτελέσματα μιας αντισεισμικής μελέτης. Τα αντικείμενα αυτά υλοποιούνται μέσα από τις πτυχιακές και ερευνητικές εργασίες προπτυχιακών και μεταπτυχιακών φοιτητών. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι, πέραν των οποιοδήποτε ερευνητικών αποτελεσμάτων από αυτή την προσπάθεια, το όλο πλαίσιο παρέχει την ευκαιρία προς τους φοιτητές για εμβάθυνση σε θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών σε συνδυασμό με την καλλιέργεια κουλτούρας έρευνας αλλά και ανάπτυξης επαγγελματικής συνείδησης.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει τη μεταβολή στη σεισμική συμπεριφορά και στις απαιτήσεις χάλυβα και σκυροδέματος σε τριώροφα κτίρια, σχεδιασμένα με διαφορετικούς τύπους δομικού συστήματος (structural type) και για διαφορετικά επίπεδα πλαστιμότητας (Ductility Class). Ο σχεδιασμός όλων των δομικών συστημάτων που εξετάστηκαν έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διαθέτουν κανονικότητα οριζοντίως και καθ' ύψος και ταυτόχρονα να ικανοποιούν όλες τις βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού όπως αυτές ορίζονται στον EC8 (απλότητα, συμμετρία, ομοιομορφία, υπερστατικότητα, ακαμψία και αντοχή σε δύο κάθετες διευθύνσεις, στροφική ακαμψία, εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας). Έτσι λοιπόν, σχεδιάστηκε μια τυπική κάτοψη ορόφου διαστάσεων 18mX24m με τρία ανοίγματα στη μία διεύθυνση και τέσσερα στην άλλη και με μήκος κάθε ανοίγματος ίσο με 6.0m. Στα δομικά στοιχεία της πλάκας, των δοκών και των υποστυλωμάτων δόθηκαν αρχικά οι ελάχιστες γεωμετρικές διαστάσεις κατά πώς αυτές ορίζονται από τις διατάξεις των EC2 & EC8. Οι διαστάσεις των τοιχείων άλλαξαν αναλόγως ώστε να προκύψουν τελικώς τα παρακάτω δομικά συστήματα:

- Πλαισιακό σύστημα (frame system) (Σχ. 1)
- Σύστημα τοιχωμάτων (wall system) (Σχ. 2)
- Ισοδύναμο πλαισιακό σύστημα (equivalent frame system)
- Ισοδύναμο σύστημα τοιχωμάτων (equivalent wall system).

Και τα τέσσερα δομικά συστήματα εξετάστηκαν για μεσαίο (M) και υψηλό (H) επίπεδο πλαστιμότητας (Ductility Class) σύμφωνα με τις διατάξεις του κεφαλαίου 5 του EC8 για κατασκευές

από Ο/Σ (Ductility Class Medium (DCM) & Ductility Class High (DCH)). Ωστόσο, στην παρούσα φάση δεν εξετάζονται οποιαδήποτε θέματα θεμελίωσης, θεωρώντας ότι τα υπό εξέταση κτίρια είναι πλήρως πακτωμένα στη βάση του ισογείου. Τέλος, όλα τα δομικά συστήματα εξετάστηκαν για συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma=1.0$ , εδαφικές συνθήκες κατηγορίας Β (βλέπε κεφ. 3, EC8) και για μέγιστη επιτάχυνση βράχου  $0.25g$ , που αντιστοιχεί σε ζώνη ΙΙΙ σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα της Κύπρου (νότια παραλιακή ζώνη με την υψηλότερη τιμή επιτάχυνσης). Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει για τα πλαισιακά συστήματα και τα ισοδύναμα πλαισιακά συστήματα συντελεστής συμπεριφοράς  $q=3.9$  για DCM και  $q=5.85$  για DCH. Αντίστοιχα, για τα συστήματα τοιχωμάτων και ισοδύναμα συστήματα τοιχωμάτων προκύπτουν  $q=2.41$  για DCM και  $q=3.62$  για DCH. Με βάση τις παραπάνω τιμές διαμορφώθηκαν τα αντίστοιχα «Φάσματα Σχεδιασμού» και έγινε η αντισεισμική μελέτη όλων των δομικών συστημάτων με τη χρήση του προγράμματος SAP2000, επιλύοντας χωρικά προσομοιώματα (spatial models) με τη δυναμική φασματική μέθοδο (Σχ. 3 & Σχ. 4). Η επίλυση των κτιρίων έγινε για τους παρακάτω συνδυασμούς φόρτισης:

$$G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$$

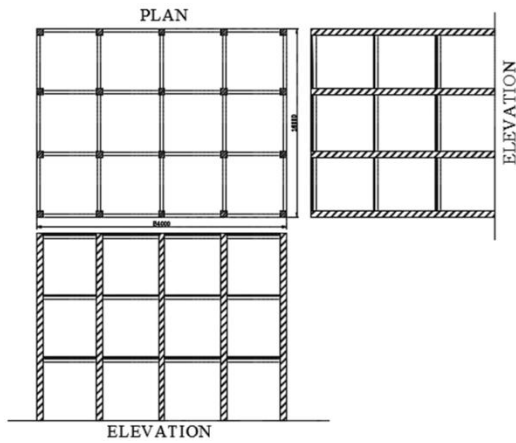
$$G + 0.3Q + 0.3E_x + E_y$$

Από τις πιο πάνω επιλύσεις αξιολογήθηκαν και αποδόθηκαν σχηματικά τα παρακάτω αποτελέσματα κάνοντας ταυτόχρονα σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δομικών συστημάτων και των κατηγοριών πλαστιμότητας:

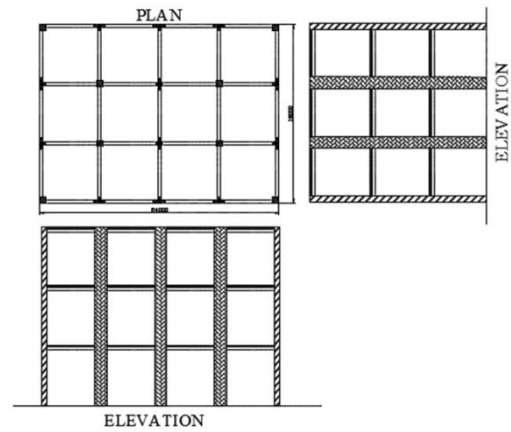
- Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων (σε δύο κάθετες διευθύνσεις) (Σχ. 5 & Σχ. 6)
- Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων (σε δύο κάθετες διευθύνσεις)
- Απαιτήσεις όγκου σκυροδέματος ανά κατηγορία δομικού στοιχείου (πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα, τοιχεία), δομικό σύστημα και επίπεδο πλαστιμότητας.
- Συνολικά απαιτούμενος όγκος σκυροδέματος ανά δομικό σύστημα και επίπεδο πλαστιμότητας.
- Απαιτήσεις όγκου χάλυβα ανά κατηγορία δομικού στοιχείου (πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα, τοιχεία), δομικό σύστημα και επίπεδο πλαστιμότητας
- Συνολικά απαιτούμενος όγκος χάλυβα ανά δομικό σύστημα και επίπεδο πλαστιμότητας.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής πολύ βασικά συμπεράσματα:

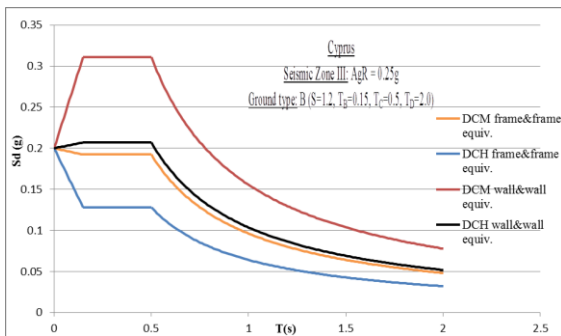
- Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο αυξάνει η παρουσία των τοιχείων μειώνονται οι μετακινήσεις των ορόφων λόγω αύξησης της ακαμψίας του κτιρίου ενώ ταυτόχρονα διαφοροποιείται η εικόνα παραμόρφωσης του κτιρίου καθ' ύψος (deformation shape)
- Επίσης, όσο αυξάνει η παρουσία των τοιχείων αυξάνουν οι απαιτήσεις σε χάλυβα.
- Ο παράγοντας της πλαστιμότητας δεν επηρέασε τις απαιτήσεις σε όγκο σκυροδέματος, παρά το γεγονός ότι για όλα τα δομικά συστήματα χρησιμοποιήθηκαν οι ελάχιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις των δομικών στοιχείων, πλην των τοιχείων (Σχ. 7).
- Τέλος, σε όλες τις περιπτώσεις των δομικών συστημάτων που εξετάστηκαν διαπιστώθηκε ότι οι απαιτήσεις σε χάλυβα για μεσαίο επίπεδο πλαστιμότητας (DCM) είναι μεγαλύτερες απ' ότι για υψηλό επίπεδο πλαστιμότητας (DCH). Αυτό αποδίδεται κυρίως στη διαφορά των σεισμικών φορτίων λόγω διαφορετικών συντελεστών συμπεριφοράς ( $q$ ) μεταξύ των δύο επιπέδων πλαστιμότητας, παρά στις οποιεσδήποτε κανονιστικές διατάξεις για διαφοροποίηση στον τρόπο όπλισης.



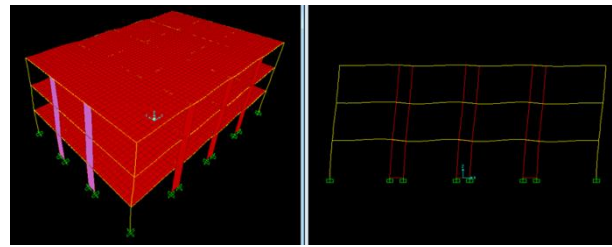
Σχ. 1 Πλαισιακό σύστημα



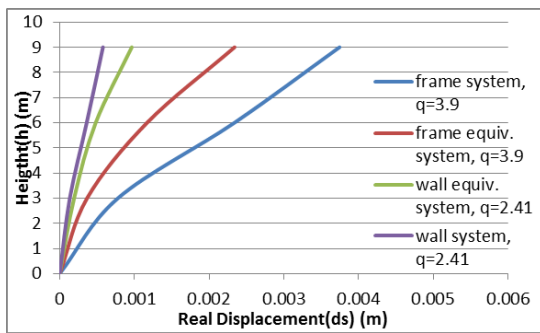
Σχ. 2 Σύστημα τοιχωμάτων



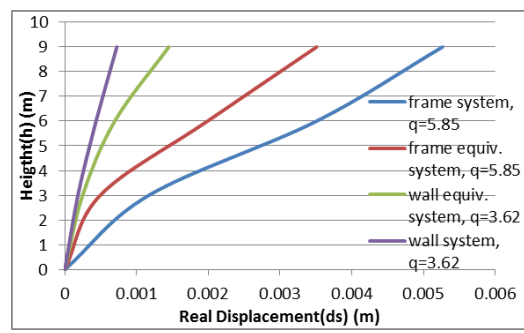
Σχ. 3 Φάσματα σχεδιασμού



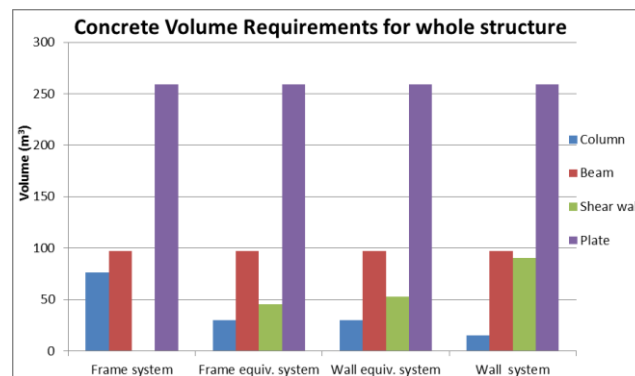
Σχ. 4 Προσομοίωμα κτιρίου στη SAP2000



Σχ. 5 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων (DCM)



Σχ. 6 Μέγιστες μετακινήσεις ορόφων (DCH)



Σχ. 7. Απαιτήσεις σκυροδέματος ανά κατηγορία δομικών στοιχείων (ίδιο για DCM & DCH)