

## Ελαστική και μετελαστική ανάλυση πολυώροφων πλαισιακών κτιρίων Ο/Σ για ισοδύναμη σεισμική φόρτιση σύμφωνα με τον EC8

**Γιώργος Βακανάς**

*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

Μέσα από πολύχρονες προσπάθειες και έρευνες προτάθηκαν διάφοροι τρόποι επίλυσης των κατασκευών όταν αυτές υποβάλλονται σε σεισμική φόρτιση. Οι μέθοδοι αυτές κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι που θεωρούν ελαστική τη συμπεριφορά της κατασκευής – δηλ. χωρίς εμφάνιση βλαβών (ελαστική ανάλυση) και στη δεύτερη κατηγορία οι μέθοδοι οι οποίες μπορούν και συνεκτιμούν την εμφάνιση τέτοιων βλαβών οι οποίες κατά συνέπεια μεταβάλλουν και τη συμπεριφορά της κατασκευής (μετελαστική ανάλυση). Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.1, για τον αντισεισμικό σχεδιασμό νέων κτιριακών έργων, προβλέπεται η χρήση των παρακάτω μεθόδων ελαστικής ανάλυσης:

1. Η ισοδύναμη στατική μέθοδος (Lateral Force Method – LF)
2. Η φασματική μέθοδος ανάλυσης (Response Spectrum Method RS)
3. Η γραμμική βήμα προς βήμα αριθμητική ολοκλήρωση της χρονοϊστορίας της απόκρισης της κατασκευής (Time history analysis – LTH)

Οι πρώτες δύο βασίζονται στην κατάλληλη χρήση του φάσματος απόκρισης που προτείνει ο EC8 ενώ η τελευταία βασίζεται στη χρήση επιταχυνσιογραφημάτων με μέγιστη επιτάχυνση και συχνοτικό περιεχόμενο ανάλογο των φασμάτων που προτείνονται στον EC8. Οι μέθοδοι μετελαστικής ανάλυσης προτείνονται κυρίως στον EC8.3 για τον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων κτιρίων. Συγκεκριμένα προτείνονται οι παρακάτω μέθοδοι:

1. Η υπερωθητική μέθοδος (Push Over Method – PO)
2. Η μη γραμμική βήμα προς βήμα αριθμητική ολοκλήρωση της χρονοϊστορίας της απόκρισης της κατασκευής (Time history analysis – NLTH)

Εξ' αυτών, η υπερωθητική μέθοδος (γνωστότερη ως push over) βασίζεται στην κατάλληλη χρήση των φασμάτων που προτείνονται στον EC8 επιβάλλοντας στην κατασκευή μια συνεχώς αυξανόμενη και κατά συγκεκριμένο τρόπο πλευρική φόρτιση αλλά εξετάζοντας ταυτόχρονα σε κάθε βήμα φόρτισης την περίπτωση εμφάνισης βλαβών και την κατάλληλη συνεκτίμησή τους. Αντίθετα, η βήμα προς βήμα αριθμητική ολοκλήρωση της εξίσωσης κίνησης της κατασκευής κάνει χρήση ενός επιταχυνσιογραφήματος βάσης, όπου όμως και πάλι σε κάθε βήμα γίνεται έλεγχος εμφάνισης βλαβών και κατάλληλη συνεκτίμησή τους στην περαιτέρω ανάλυση της κατασκευής.

Το κύριο ερώτημα που τίθεται, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, είναι κατά πόσον οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης καταλήγουν σε ίδια, παρόμοια ή πολύ διαφορετικά αποτελέσματα της απόκρισης

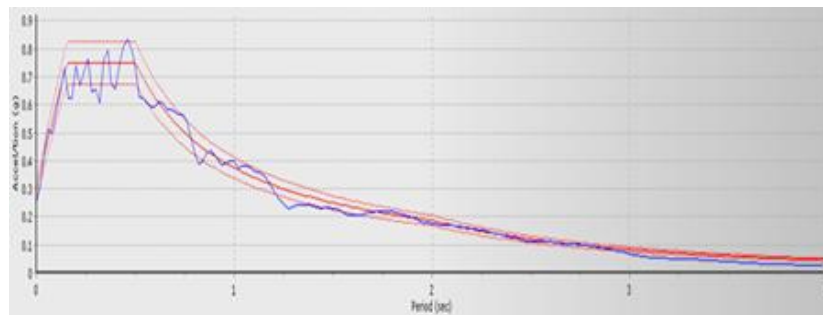
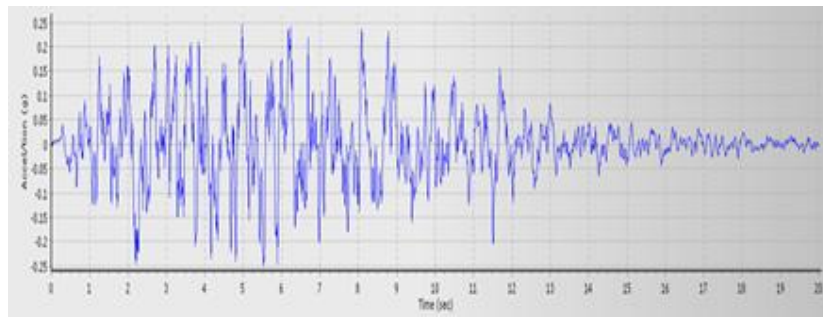
των κατασκευών. Με το θέμα αυτό έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές διεθνώς εξετάζοντας κατά περίπτωση διάφορες πτυχές του προβλήματος.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση των διαφορών των σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των ορόφων (interstorey drift) επιπέδων πλαισιακών κατασκευών (planar frame systems) όπως προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων ελαστικής και μετελαστικής ανάλυσης. Εξ' ανάγκης όμως, εξετάζεται και το θέμα των μέγιστων μετακινήσεων των ορόφων (max. storey displacement) δεδομένου ότι από αυτές υπολογίζονται και οι σχετικές μετακινήσεις σύμφωνα με τον EC8. Εξαίρεση βεβαίως αποτελούν τα αποτελέσματα από την βήμα προς βήμα αριθμητική ολοκλήρωση (ελαστική και μετελαστική) δεδομένου ότι εδώ τα μεγέθη των σχετικών μετακινήσεων μπορούν να υπολογιστούν σε επίπεδο χρονοϊστορίας. Ωστόσο, για να είναι αξιόπιστη η σύγκριση των αποτελεσμάτων από αυτή τη μελέτη θα πρέπει τα επίπεδα της σεισμικής φόρτισης που θα χρησιμοποιηθούν να είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό έχουν παραχθεί χρονοϊστορίες επιταχύνσεων των οποίων το φάσμα απόκρισης είναι ίδιο (ή καλύτερα σχεδόν ίδιο) με αυτό που προτείνεται από τον EC8 και τις διατάξεις του εθνικού προσαρτήματος της Κύπρου (Σχ. 1).

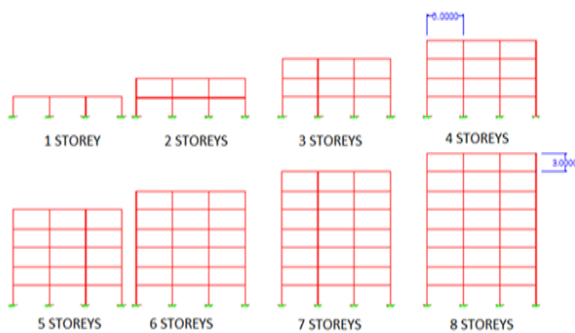
Η διερεύνηση του προβλήματος έγινε σε οκτώ (8) επίπεδα πλαισιακά συστήματα με τρία ανοίγματα στο επίπεδο της βάσης το καθένα αλλά με διαφορετικό αριθμό ορόφων (Μονώροφο, διώροφο κ.λ.π. μέχρι οκτώροφο) (Σχ. 2). Τα επίπεδα αυτά πλαίσια αποτελούν το κεντρικό τμήμα αντίστοιχων πλαισιακών κατασκευών οι οποίες σχεδιάστηκαν με βάση τους Ευρωκώδικες και τα εθνικά προσαρτήματα της Κύπρου (Σχ. 3). Όλες οι υπολογιστικές επιλύσεις έγιναν με τη χρήση του προγράμματος SAP2000. Στη συνέχεια παρατίθενται τα πλέον βασικά συμπεράσματα αυτής της προσπάθειας:

1. Από τις ελαστικές αναλύσεις προκύπτει ότι, τα αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων των ορόφων από τη την ισοδύναμη στατική μέθοδο (για  $\lambda=1$  και  $\lambda=0.85$ ) είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά που προκύπτουν από τις άλλες μεθόδους. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τη φασματική μέθοδο και τη βήμα προς βήμα αριθμητική ολοκλήρωση της χρονοϊστορίας των επιταχύνσεων σχεδόν ταυτίζονται. Παρατηρούνται όμως μικρού μεγέθους αποκλίσεις για την περίπτωση των σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των ορόφων (interstorey drift) (Σχ. 4).
2. Από τις μετελαστικές αναλύσεις (μη γραμμικές) προκύπτει ότι τα αποτελέσματα των μέγιστων μετακινήσεων των ορόφων που προκύπτουν από την υπερωθητική μέθοδο (push over) είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά που προκύπτουν από τη μέθοδο της μη γραμμικής βήμα προς βήμα αριθμητικής ολοκλήρωσης της χρονοϊστορίας των επιταχύνσεων. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τις σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (interstorey drift) αν αυτές υπολογιστούν με βάση τις μέγιστες τιμές των μετακινήσεων των ορόφων, ανεξαρτήτως της χρονικής στιγμής που επισυμβαίνουν σε κάθε όροφο, όπως προβλέπεται από τον EC8. Αντίθετα, αν οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (interstorey drift) υπολογιστούν με βάση τη χρονοϊστορία των μετακινήσεων κάθε ορόφου τότε προκύπτουν πολύ μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις και μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις μεγαλύτερες και από αυτές που υπολογίζονται με την υπερωθητική μέθοδο (push over) (Σχ. 5). Η κατάσταση αυτή επενεργεί πολύ σημαντικά στην ανάπτυξη των πλαστικών αρθρώσεων γι' αυτό και οι εικόνες των παλισίων με τις πλαστικές αρθρώσεις που έχουν προκύψει από τις δύο μεθόδους είναι πολύ διαφορετικές.

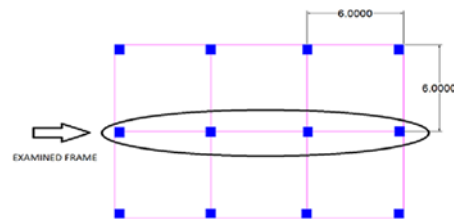
3.



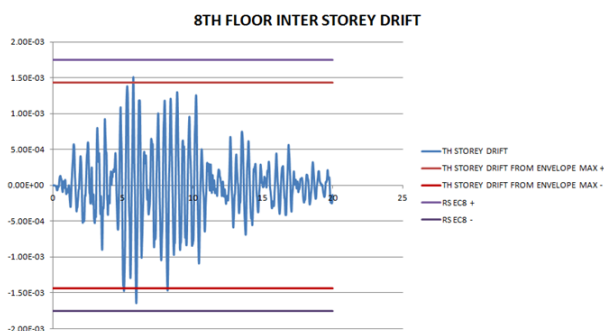
Σχ. 1 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα συμβατό με το φάσμα απόκρισης του EC8 και του εθνικού προσαρτήματος της Κύπρου για μέγιστη επιτάχυνση 0.25g (ζώνη III)



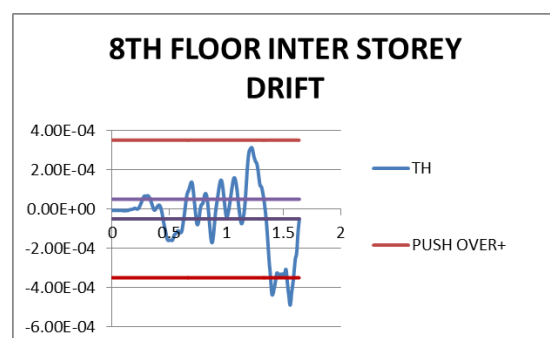
Σχ. 2 Απεικόνιση επίπεδων πλαισίων που εξετάστηκαν



Σχ. 3 Κάτοψη τυπικού ορόφου και θέση εξεταζόμενου πλαισίου



Σχ. 4 Σύγκριση των σχετικών μετακινήσεων (interstorey drift) του όγδοου ορόφου από ελαστικές αναλύσεις



Σχ. 5 Σύγκριση των σχετικών μετακινήσεων (interstorey drift) του όγδοου ορόφου από μετελαστικές αναλύσεις