

Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κωνσταντίνος - Νικόλαος Γ. Κολλιόπουλος

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός,
Μεταπτ. Φοιτητής ΣΜΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ
kwstakolliop@gmail.com , std147865@ac.eap.gr

Νικόλαος Πνευματικός

Καθηγητής Τμ. Πολίτικων Μηχανικών Παν. Δυτικής
Αττικής, Μέλος ΣΕΠ ΣΜΑ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ
pnevma@uniwa.gr , pnevmatikos.nikolaos@ac.eap.gr

Περίληψη – Το παρόν τεχνικό άρθρο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην προσπάθεια προσδιορισμού της επίδρασης των στροφικών συνιστωσών της σεισμικής διέγερσης στην αποτίμηση κατασκευών.

Λέξεις-Κλειδιά: Σεισμικές στροφικές συνιστώσες, Δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα αρχαία χρόνια, οι άνθρωποι αντιλήφθηκαν ότι η οργάνωση τους σε κοινότητες ήταν ο μόνος τρόπος για να εξασφαλίσουν την επιβίωση τους. Με το πέρασμα των αιώνων, οι κοινότητες εξελίχθηκαν σε πόλεις και ο αριθμός των ανθρώπων που συγκεντρώθηκαν στις ίδιες περιοχές αυξήθηκε σημαντικά, αυξάνοντας ταυτόχρονα τις ανάγκες σε επίπεδο υποδομών. Διαχρονικά, τα φυσικά φαινόμενα ήταν το κύριο πρόβλημα που κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν οι κοινωνίες, με τους σεισμούς να διακρίνονται για την επίδραση τους στην καθημερινή δραστηριότητα των πολιτών. Η μεγάλη επίδραση των σεισμικών φαινομένων στη ζωή των κοινωνιών, ήταν και ο λόγος που οι επιστήμονες εστίασαν στη διερεύνηση των σεισμικών δονήσεων, με στόχο την προστασία της ανθρωπότητας από τις σοβαρές τους συνέπειες.

Η εξέλιξη στον τομέα της σεισμικής μηχανικής πέρασε από αρκετά στάδια, με τη γνώση για τα σεισμικά φαινόμενα και τους τρόπους προστασίας των κατασκευών να επιτυγχάνεται με το πέρασμα των χρόνων, καλύπτοντας τα κενά και τις παραλείψεις του παρελθόντος. Όμως, αρκετές ήταν οι περιπτώσεις κατασκευαστικών κουλτουρών, που διαμορφώθηκαν από τα κενά του παρελθόντος και παρέμειναν παρά την ανάπτυξη της γνώσης. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται και η αγνόηση των περιστροφικών συνιστωσών της σεισμικής διέγερσης κατά το σχεδιασμό. Όπως είναι γνωστό πλέον, η σεισμική διέγερση αναλύεται σε έξι συνιστώσες επιτάχυνσης, τρεις μεταφορικές και τρεις περιστροφικές. Η αδυναμία καταγραφής των στροφικών στελεχών από τα παλαιότερου τύπου όργανα μέτρησης σεισμών, οδήγησε στην παγίωση της κατασκευαστικής πρακτικής να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι μεταφορικές συνιστώσες κατά το σχεδιασμό και ανασχεδιασμό κτηρίων, η οποία ακολουθείτε μέχρι σήμερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται σημαντική αβεβαιότητα για την απόκριση των κατασκευών υπό τη διέγερση μιας σεισμικής ακολουθίας με σημαντικές στροφικές συνιστώσες.

Στη σύγχρονη εποχή, με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών, έχουν διαμορφωθεί πλέον τα συστήματα τα

οποία ξεπερνούν τις δυσκολίες των παλιότερων οργάνων μέτρησης σεισμών και δίνουν πλήρεις καταγραφές για το σύνολο των συνιστωσών που συνθέτουν τις σεισμικές διεγέρσεις. Επίσης, με στόχο να καλυφθεί το κενό που υπάρχει στις καταγραφές των περιστροφικών σεισμικών συνιστωσών, έχουν διαμορφωθεί σημαντικές μέθοδοι υπολογισμού των στροφικών στελεχών, με βάση τα μεταφορικά χαρακτηριστικά των εδαφικών κινήσεων που έχουν καταγραφεί. Η δημιουργία βάσεων δεδομένων με τα περιστροφικά στελέχη των σεισμικών επιταχύνσεων σε συνδυασμό με την κοινή παραδοχή των επιστημόνων για τη μεγάλη κρισιμότητα των περιστροφικών καταπονήσεων στην ευστάθεια των κατασκευών, οδήγησε τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς να συμπεριλάβουν διατάξεις που εντάσσουν τις περιστροφικές σεισμικές συνιστώσες στις αναλύσεις. Με αυτό το τρόπο διαμορφώνεται το κατάλληλο πλαίσιο ώστε οι μελετητές να λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των σεισμικών συνιστωσών στις αναλύσεις τους, στη προσπάθεια ρεαλιστικής εκτίμησης της συμπεριφοράς των κατασκευών. Η προσπάθεια αυτή, επεκτείνεται στον τομέα των υφιστάμενων κατασκευών, οι οποίες αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι των υποδομών παγκοσμίως και απαιτούν ιδιαίτερη διαχείριση.

Παρά τη διαμόρφωση ενός επαρκούς πλαισίου γύρω από τις περιστροφικές συνιστώσες της σεισμικής διέγερσης, η παγιωμένη τακτική να εφαρμόζονται μόνο οι μεταφορικές συνιστώσες της σεισμικής κίνησης στις διαδικασίες σχεδιασμού και ανασχεδιασμού παραμένει αμετάβλητη. Το γεγονός αυτό γεννά σημαντικά ερωτήματα για τη συμπεριφορά των κτηρίων υπό τη δράση των περιστροφικών συνιστωσών της σεισμικής επιτάχυνσης. Στα πλαίσια αυτά, είναι σημαντική η διερεύνηση της επίδρασης των περιστροφικών στελεχών της διέγερσης, με στόχο να αποτυπωθεί πλήρως η καταπόνηση των κατασκευών υπό τη δράση αυτών των σεισμικών συνιστωσών και να εξακριβωθεί η κρισιμότητά τους στις αναλύσεις. Με το τρόπο αυτό, θα μπορέσει να κριθεί ως προς την ασφάλεια της η συνήθης τακτική να αμελούνται οι περιστροφικές συνιστώσες κατά το σχεδιασμό.

II. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των περιστροφικών συνιστωσών της σεισμικής διέγερσης στην καταπόνηση των κατασκευών, χρησιμοποιήθηκε μια υφιστάμενη κατασκευή της περιοχής των Πατρών στην οδό Κορυτσάς και στον αριθμό 37 (38°14'5.13"B ,

21°43'49.52"Α). Πρόκειται για μία εξαώροφη πολυκατοικία με πλωτή και φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευής του 1987 (υπ' αριθμ. 814/17-07-1986 Οικοδομική Άδεια της Πολεοδομίας Πατρών). Η επιφάνεια κάλυψης του ανέρχεται στα 250,48m², εμβαδόν το οποίο είναι όμοιο σε όλους τους ορόφους, ενώ το συνολικό ύψος της οικοδομής είναι 20,38m.



Εικόνα 1. Βόρεια όψη της πολυκατοικίας

Για να συλλεχθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία που κρίθηκαν απαραίτητα για την προσομοίωση και μελέτη της υφιστάμενης κατασκευής, υποβλήθηκε αίτηση στην αρμόδια υπηρεσία του Δήμου Πατρέων για την εύρεση του Φακέλου Οικοδομικής Αδείας. Ο φάκελος του κτίσματος βρέθηκε πλήρης και αντλήθηκαν από αυτό σχέδια κατόψεων, ξυλοτύπων και το τεύχος στατικών υπολογισμών. Με βάση τη μελέτη κατασκευής, το κτήριο κατασκευάστηκε με βάση τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1984 (ΦΕΚ 239B/16-04-1984). Τα βασικά υλικά των δομικών μελών είναι σκυρόδεμα κατηγορίας B300 και χάλυβας κατηγορίας STIII. Ο φέροντας οργανισμός της κατασκευής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεικτού τύπου, καθώς αποτελείται από ασύζευκτα τοιχώματα, υποστυλώματα και δοκούς, ενώ βρέθηκε σε καλή κατάσταση, χωρίς ρωγμές και επεμβάσεις. Η περιοχή του κτίσματος ανήκει στη Ζώνη Σεισμικότητας II και το έδαφος έδρασης εντάσσεται στη κατηγορία Β κατά ΕΚ-8.

Η κατασκευή προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα SAP2000 (v18), χρησιμοποιώντας την τυπική κάτοψη ορόφου και τα σχέδια ξυλοτύπων με τους οπλισμούς των μελών. Προχωρώντας, υπολογίστηκαν και υλοποιήθηκαν στο προσομοίωμα οι ενεργές δυσκαμψίες των δομικών στοιχείων με βάση τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (παράγραφος 7.2.3) και προσομοιώθηκε η θεμελίωση χρησιμοποιώντας τις σχέσεις για τις σταθερές ελατηρίων που έχει δημοσιεύσει ο Ομότιμος Καθηγητής Πανεπ. Πατρών Μ. Φαρδής.

Αφού ολοκληρώθηκε το μοντέλο της κατασκευής, ορίστηκαν οι ελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας, εισάγοντας στο σύστημα τις συνιστώσες

εδαφικής επιτάχυνσης του σεισμού της Λευκάδας (2015) όπως καταγράφηκαν από το δικτύου «Argonet» που είναι εγκατεστημένο στη θέση Κούταβος στην Κεφαλλονιά, στην περιοχή της λιμνοθάλασσας του Αργοστολίου, με γεωγραφικό πλάτος 38°09'50.95"Β και μήκος 20°30'22.49"Α. Ο εν λόγω σταθμός εγκαταστάθηκε για τις ανάγκες του ερευνητικού προγράμματος «SINAPS@ - Earthquake and Nuclear Facilities : Ensuring Safety and Sustaining» το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τον Εθνικό Οργανισμό Έρευνας της Γαλλίας (ANR), με σκοπό τη θωράκιση της ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων, μετά το πυρηνικό ατύχημα της Φουκουσίμα το 2011.

Με αυτά τα δεδομένα δημιουργήθηκαν έξι ξεχωριστές ελαστικές δυναμικές αναλύσεις (Load case type - Time History) με τη μέθοδο απευθείας ολοκλήρωσης στο χρόνο (Direct Integration). Οι πέντε από αυτές τις αναλύσεις αφορούν τις πέντε επιμέρους σεισμικές συνιστώσες της σεισμικής διέγερσης (δύο μεταφορικές συνιστώσες κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις - TRAN-EW και TRAN-NS - και τρεις περιστροφικές - ROT-EW, ROT-NS και ROT-UD), ορίζοντας στο πρόγραμμα για κάθε μία τη συνάρτηση χρονοϊστορίας και το βαθμό ελευθερίας, τα οποία αφορούν τη συνιστώσα με την οποία γίνεται η διέγερση της κατασκευής κατά την ανάλυση. Στην έκτη ανάλυση, ορίστηκαν να δράσουν και οι πέντε συνιστώσες ταυτόχρονα στην κατασκευή. Με βάση τον προσανατολισμό της κατασκευής, η διεύθυνση Ανατολή-Δύση (EW) ταυτίζεται με τον άξονα X του προσομοιώματος, η διεύθυνση Βορράς-Νότος (NS) με τον άξονα Y και η κατακόρυφη διεύθυνση με τον άξονα Z. Συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά των αναλύσεων που ορίστηκαν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Οι παράμετροι των δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας

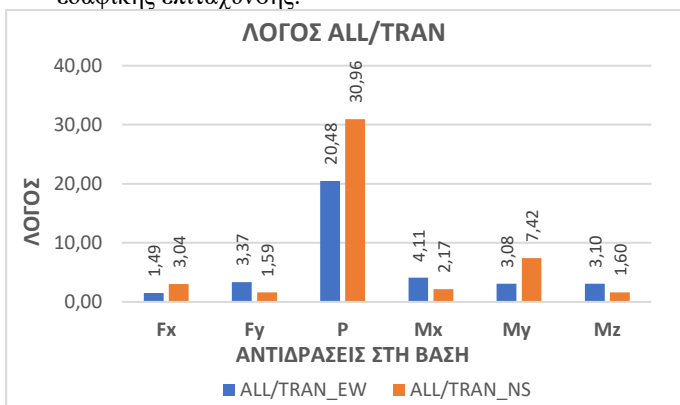
A/A	ΟΝΟΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
1	TRAN-EW	TRAN-EW	U _x
2	TRAN-NS	TRAN-NS	U _y
3	ROT-EW	ROT-EW	R _x
4	ROT-NS	ROT-NS	R _y
5	ROT-UD	ROT-UD	R _z
6	ALL	TRAN-EW TRAN-NS ROT-EW ROT-NS ROT-UD	U _x U _y R _x R _y R _z

III. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την εκτέλεση των αναλύσεων χρονοϊστορίας στο πρόγραμμα SAP2000 ελήφθησαν σημαντικά αποτελέσματα τόσο για την απόκριση της κατασκευής στο σύνολό της όσο για τα δομικά μέλη. Η επιβαλλόμενη διέγερση στην κάθε περίπτωση εξανάγκασε την κατασκευή σε απόκριση, με τα διάφορα μεγέθη να προκύπτουν από το πρόγραμμα υπό μορφή χρονοϊστοριών, με την παρούσα μελέτη να εστιάζει στις μέγιστες απόλυτες τιμές τους. Στις ακόλουθες υποενότητες παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, με σκοπό να γίνει αντιληπτή η επιρροή των σεισμικών συνιστωσών στην απόκριση.

A. Η Καταπόνηση της Κατασκευής στη Βάση

Με βάση τα αποτελέσματα των έξι αναλύσεων ιστορίας για τις δυνάμεις αντίδρασης και τις ροπές στη βάση για την κάθε διεύθυνση, προκύπτει σημαντική επίδραση των περιστροφικών σεισμικών συνιστωσών επιτάχυνσης, είτε αυτές εισάγονται μεμονωμένα στο σύστημα (αναλύσεις ROT-EW, ROT-NS και ROT-UD) είτε σε συνδυασμό με τις μεταφορικές (ανάλυση ALL). Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διέγερση της κατασκευής από τα περιστροφικά στελέχη της σεισμικής κίνησης, οι αντιδράσεις στη βάση της κατασκευής παρουσιάζονται παρόμοιες ή και μεγαλύτερες από τα αντίστοιχα μέγιστα μεγέθη που προκαλούνται από τη μεμονωμένη εισαγωγή στο σύστημα των μεταφορικών συνιστωσών της σεισμικής επιτάχυνσης. Το φαινόμενο αυτό ενισχύεται κατά την ταυτόχρονη παρουσία των μεταφορικών και στρωφικών συνιστωσών, όπου οι δυνάμεις και οι ροπές στη βάση του κτηρίου παρουσιάζονται σημαντικά μεγαλύτερες από τα μεγέθη που προκύπτουν από τις μεταφορικές αναλύσεις. Για να γίνει πιο αντιληπτή η ενίσχυση της καταπόνησης της κατασκευής στη βάση της από την συνδυασμένη διέγερση των μεταφορικών και των περιστροφικών συνιστωσών του σεισμού, στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι λόγοι των μεγεθών που δόθηκαν από τη δράση του συνόλου των συνιστωσών προς τις αντίστοιχες εντάσεις των αναλύσεων με τις μεταφορικές συνιστώσες της εδαφικής επιτάχυνσης.



Διάγραμμα 1. Λόγοι αντιδράσεων στη βάση της κατασκευής

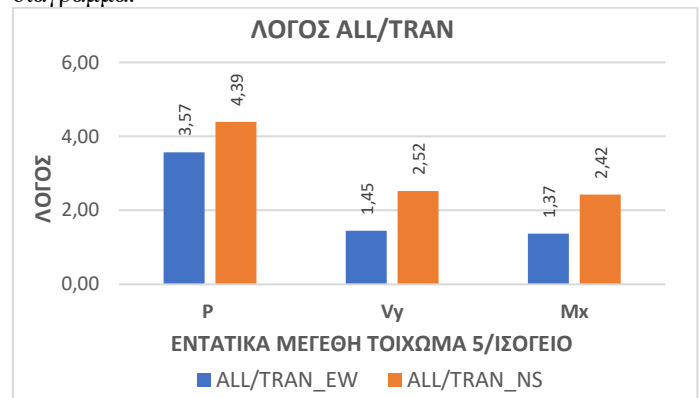
Όπως φαίνεται, η σύζευξη μεταξύ των μεταφορικών και των περιστροφικών συνιστωσών της εδαφικής κίνησης, οδηγεί σε αύξηση τουλάχιστον 50% των εντάσεων στη βάση της κατασκευής. Η ενίσχυση των μεγεθών ποικίλει ανάλογα με την εξεταζόμενη ένταση, με τη μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται στη περίπτωση των αξονικών δυνάμεων, όπου λαμβάνεται δύναμη είκοσι φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με την ανάλυση της μεταφορικής συνιστώσας στη διεύθυνση X (TRAN-EW) και περίπου τριάντα μια φορές μεγαλύτερη από την μεταφορική συνιστώσα στη διεύθυνση Y (TRAN-NS). Αξιοσημείωτη είναι η μεγέθυνση στις ροπές ανατροπής κατά X και Y, όπου οι ροπές στη βάση από το σύνολο των στελεχών της σεισμικής διέγερσης είναι από δύο έως και επτά φορές μεγαλύτερες των αντιστοίχων μεγεθών των αναλύσεων με τις μεταφορικές συνιστώσες.

Συμπερασματικά, η καταπόνηση της κατασκευής παρουσιάζεται σημαντικά μεγαλύτερη κατά τη συμμετοχή των περιστροφικών συνιστωσών στην εισαγόμενη ιστορία, είτε αυτό πραγματοποιείται μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με τις μεταφορικές συνιστώσες της

διέγερσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η παρουσία των περιστροφικών συνιστωσών της εδαφικής επιτάχυνσης στις αναλύσεις να κρίνεται ως επιβεβλημένη για την ρεαλιστική αποτίμηση του δομήματος.

B. Τα Εντατικά Μεγέθη των Μελών του Φ.Ο.

Προχωρώντας στα δομικά μέλη της κατασκευής, οι μεταβολές στις αναπτυσσόμενες εντάσεις στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού είναι σημαντικές. Καταρχάς, η εισαγωγή των στρωφικών συνιστωσών στο σύστημα προκαλεί μη αναμενόμενες εντάσεις στα μέλη του φέροντα οργανισμού συγκριτικά με τις μεταφορικές συνιστώσες, το οποίο μεταφράζεται σε αύξηση των εντατικών μεγεθών στα μέλη και διαφοροποίηση των θέσεων των κρίσιμων μελών ανά κατηγορία στοιχείου (δοκοί, υποστυλώματα και τοιχώματα). Έπειτα, η διέγερση του συστήματος από το συνδυασμό μεταφορικών και περιστροφικών σεισμικών συνιστωσών προκαλεί σημαντική επιβάρυνση των μελών συγκριτικά με τις εντάσεις που αναπτύσσονται από τις μεταφορικές συνιστώσες της εδαφικής επιτάχυνσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το νοτιοανατολικό γωνιακό τοίχωμα του ισόγειου, του οποίου οι λόγοι των μέγιστων εντάσεων παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 2. Λόγοι μέγιστων εντατικών μεγεθών για το γωνιακό τοίχωμα T5 του ισόγειου

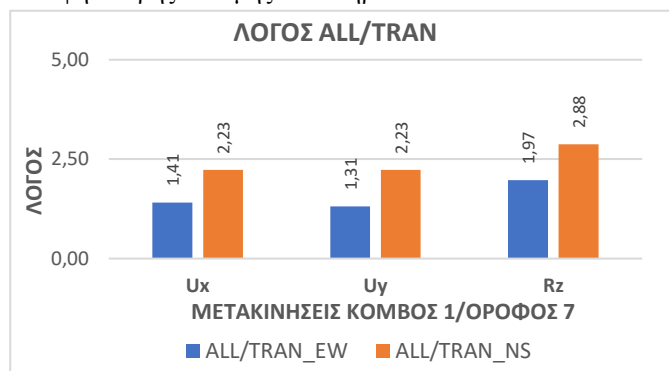
Σύμφωνα με το διάγραμμα, η ταυτόχρονη διέγερση του κτηρίου από το σύνολο των συνιστωσών αποδεικνύεται δυσμενέστερη από τη μεμονωμένη ανάλυση με τις μεταφορικές συνιστώσες. Όσον αφορά τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από το σύνολο των στελεχών του σεισμού, παρουσιάζονται άνω των τρισεπίμισι φορές μεγαλύτερες των αντιστοίχων δυνάμεων από τη δράση των μεταφορικών σεισμικών επιταχύνσεων. Έπειτα, η τέμνουσα δύναμη κατά τη διεύθυνση Y είναι αυξημένη κατά 45% για την ανάλυση ALL σε σχέση με την τέμνουσα από την ανάλυση TRAN-EW, ενώ συγκριτικά με τη διέγερση από τη μεταφορική συνιστώσα κατά Y άξονα (TRAN-NS) η τέμνουσα V_y λαμβάνεται δύο φορές μεγαλύτερη στην ανάλυση ALL. Ομοίως για τις ροπές κάμψης κατά X άξονα, η ανάλυση με το σύνολο των συνιστωσών προκαλεί ροπή αυξημένη κατά 37% σε σχέση με τη ροπή που δόθηκε από την ανάλυση TRAN-EW και δύο φορές μεγαλύτερη από την ένταση που προκλήθηκε από την εισαγωγή την ιστορία επιτάχυνσης TRAN-NS στο κτήριο.

Από τα ανωτέρω κρίνεται ότι η παρουσία των περιστροφικών συνιστωσών της σεισμικής επιτάχυνσης στις αναλύσεις οδηγεί σε μεταβολή της συμπεριφοράς της

κατασκευής. Τα στρωφικά στελέχη του σεισμού επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις εντάσεις που αναπτύσσονται στα μέλη, με αποτέλεσμα να θεωρούνται κρίσιμα για την επιτυχή αποτύπωση των δυνατοτήτων της κατασκευής.

C. Οι Μετακινήσεις των Κόμβων

Η μεταβολή στην απόκριση της κατασκευής από την παρουσία των στρωφικών σεισμικών επιταχύνσεων στις αναλύσεις, παρουσιάζεται ομοίως στις μετακινήσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους του κτηρίου. Κατ' αρχάς, οι κόμβοι που συγκεντρώνουν τις μέγιστες μετακινήσεις διαφοροποιούνται κατά την εισαγωγή των περιστροφικών στελεχών της σεισμικής κίνησης στο σύστημα, με τις τιμές των μετακινήσεων να ενισχύονται σημαντικά. Αυτή η μεταβολή επηρεάζει τις σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, προκαλώντας αυξημένες παραμορφώσεις στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού κατά τη διέγερση από τις περιστροφικές συνιστώσες του σεισμού. Επιπροσθέτως, η σύζευξη των μεταφορικών και περιστροφικών συνιστωσών οδηγεί σε μεγιστοποίηση των μετακινήσεων, ξεπερνώντας σημαντικά τα μεγέθη που προκύπτουν από τις μεταφορικές αναλύσεις του δομήματος. Η εικόνα αυτή αποτυπώνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, μελετώντας τις μετακινήσεις του νοτιοανατολικού γωνιακού κόμβου της υψηλότερης στάθμης του κτηρίου.



Διάγραμμα 3. Λόγοι μέγιστων μετακινήσεων στον γωνιακό κόμβο 1 του έβδομου ορόφου

Οι μέγιστες μετακινήσεις που δόθηκαν από την ανάλυση ALL εμφανίζονται πάνω από 30% αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες μετακινήσεις που προκλήθηκαν στον γωνιακό κόμβο 1 της στάθμης του 7ου ορόφου από την ανάλυση με τη μεταφορική συνιστώσα TRAN-EW. Η μικρότερη μεταβολή αφορά την μετακίνηση U_y του κόμβου, ενώ για τη μεταφορική μετακίνηση κατά άξονα X η αύξηση λαμβάνει τιμή 41%. Επιπροσθέτως, για την στροφή περί τον κατακόρυφο άξονα, η στροφή του κόμβου από την ανάλυση ALL είναι σχεδόν διπλάσια της στροφής που προέκυψε από την ανάλυση TRAN-EW. Όσον αφορά την ανάλυση με τη μεταφορική συνιστώσα κατά Y διεύθυνση, αυτή προκαλεί τις μισές μετακινήσεις συγκριτικά με την ανάλυση ALL και κατά συνέπεια η ενίσχυση τους από την παρουσία όλων των στελεχών της επιτάχυνσης χαρακτηρίζεται ως σημαντική.

Εν κατακλείδι, η συμμετοχή των περιστροφικών συνιστωσών στην εισαγόμενη σεισμική επιτάχυνση κατά τις αναλύσεις κρίνεται σημαντική για την εκτίμηση των αναπτυσσόμενων μετακινήσεων στα επίπεδα της κατασκευής. Επομένως, η εφαρμογή των στρωφικών

στοιχείων της διέγερσης είναι κρίσιμη για τη ρεαλιστική προσέγγιση των χαρακτηριστικών της κατασκευής.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, είναι έκδηλη η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς της κατασκευής από τη συμμετοχή των περιστροφικών συνιστωσών στη διέγερση του προσομοιώματος. Η εισαγωγή των μεμονωμένων στρωφικών στελεχών της επιτάχυνσης στο σύστημα, οδήγησε σε μεταβολή της απόκρισης της κατασκευής, με τις καταπονήσεις να συγκεντρώνονται σε περιοχές του κτηρίου, οι οποίες δεν παρουσιάζονται δυσμενείς για τις μεταφορικές συνιστώσες του σεισμού. Το φαινόμενο αυτό ενισχύθηκε από τη σύζευξη μεταφορικών και περιστροφικών συνιστωσών, όπου οι εντάσεις αυξήθηκαν σημαντικά τόσο στη βάση όσο και στα μέλη της κατασκευής, γεγονός που αποδεικνύει την κρισιμότητα της παρουσίας των περιστροφικών συνιστωσών στις αναλύσεις. Από την εικόνα αυτή, είναι φανερό ότι η παρουσία των περιστροφικών εδαφικών επιταχύνσεων μεταβάλλει σε σημαντικό βαθμό τις ανάγκες του φέροντα οργανισμού, η πρόβλεψη των οποίων είναι απαραίτητη για τον ασφαλή σχεδιασμό των κτηρίων.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ο επιτυχημένος σχεδιασμός και ανασχεδιασμός κατασκευών δεν νοείται να μη λαμβάνει υπόψη τις περιστροφικές συνιστώσες. Πλέον, παρέχονται όλα τα εργαλεία στο μελετητή, τόσο για τα στοιχεία των περιστροφικών συνιστωσών όσο για τους τρόπους εφαρμογής τους στις αναλύσεις, ώστε να μεριμνά για το σύνολο των χαρακτηριστικών των σεισμικών διεγέρσεων στις μελέτες του. Έτσι, η παρωχημένη πρακτική να λαμβάνονται μόνο τα μεταφορικά στοιχεία του σεισμού στις αναλύσεις μπορεί και πρέπει να εκλείψει, καθώς ο αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών πρέπει να βασίζεται στα πραγματικά δεδομένα των σεισμικών φαινομένων που εμφανίζονται ανά περιοχή του πλανήτη, παρέχοντας έτσι την απαιτούμενη ασφάλεια στους πολίτες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες Καθηγητές μου κ. Νικόλαο Πνευματικό και κ. Τηλέμαχο Παναγιωτάκο για τη συνεχή καθοδήγηση και άσπογη συνεργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Pnevmatikos, N.G.; Papavasileiou, G.S.; Konstandakopoulou, F.D.; Papagiannopoulos, G.A.; Hatzigeorgiou, G. Influence of Earthquake Rotational Components on the Seismic Safety of Steel Structures, Vibration, 2020.
- Pnevmatikos, N.G.; Papavasileiou, G.S.; Konstandakopoulou, F.D.; Papagiannopoulos, G.A. Influence of Rotational Component of Earthquake Excitation to the Response of Steel Slender Frame. In Materials Science Forum; Trans Tech Publications Ltd.: Freienbach, Switzerland, 2019; Volume 968.
- Pnevmatikos, N.G.; Papavasileiou, G.S.; Konstandakopoulou, F.D.; Papagiannopoulos, G.A. Analysis of a steel structure considering the rotational and translational components of the earthquake excitation. In Proceedings of the 4th Hellenic National Conference on Earthquake Engineering and Technical Seismology, Athens, Greece, 5–7 September 2019.
- Φαρδής, Μ. Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος III, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2015.
- Ο.Α.Σ.Π. Κανονισμός Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ.), 3η Αναθεώρηση, Αθήνα, 2023.