

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗ ΜΙΧΑΕΛΑ

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια Π.Π., mikaelavas@gmail.com

Περίληψη

Η επίδραση γειτονικών κτιρίων στην αποτίμηση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ) με χρήση μη-γραμμικής στατικής ανάλυσης (Pushover), εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Η παρούσα μελέτη αποτελείται από 6 συνολικά κτίρια, 2 και 4 ορόφων, με τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κατανομής του οργανισμού πλήρωσεως, γυμνά, με τοιχοπλήρωση και με πιλοτή. Η προσομοίωση, η ανάλυση και η αποτίμηση, ακολουθούν τον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και λαμβάνουν υπόψη καμπτικές και διατμητικές αστοχίες. Προέκυψε ότι η παρουσία γειτονικού κτιρίου χαμηλότερου ύψους χωρίς την κατάλληλη απόσταση, αυξάνει τις συνολικές βλάβες του εξεταζόμενου κτιρίου. Εξάιρεση αποτέλεσε η περίπτωση ύπαρξης πιλοτής, κατά την οποία η παρουσία γειτονικού κτιρίου, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, συγκριτικά με την περίπτωση αγνόησης της γειτνίασης. Τέλος, με χρήση της ανελαστικής ανάλυσης χρονοϊστορίας, αναλύεται η δυναμική αλληλεπίδραση/κρούση των γειτονικών κτιρίων. Προέκυψε ότι η κρούση στα σημεία επαφής των πλακών ή δοκών με γειτονικό υποστυλώμα, αυξάνει στιγμιαία την τέμνουσα σε αυτό το σημείο και μπορεί να προκαλέσει αστοχία του υποστυλώματος σε τέμνουσα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την αποτίμηση ενός κτιρίου εν επαφή με γειτονικό κτίριο, συνήθως δε λαμβάνεται στην προσομοίωση/ανάλυση η επίδραση της επαφής. Στον Ελλαδικό χώρο, τα κτίρια εν επαφή αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των υφιστάμενων κτιρίων. Κτίρια εν επαφή με ίδιο ή διαφορετικό ύψος ορόφων, μπορούν να επηρεάσουν θετικά ή/και αρνητικά την απόκριση του ενός ή/και του άλλου κτιρίου. Σε αυτήν την εργασία μελετάται η δυσμενέστερη περίπτωση, αυτή όπου τα δύο κτίρια έχουν διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά δηλ. διαφορετική ιδιοπερίοδο και διαφορετικό ύψος ορόφου, δηλ. οι πλάκες των εκατέρωθεν κτιρίων βρίσκονται σε διαφορετικό ύψος, με αποτέλεσμα την πιθανότητα πρόκλησης βλάβης στα εν επαφή υποστυλώματα του γειτονικού κτιρίου, λόγω κρούσης κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης.

Η μελέτη περιλαμβάνει 6 συνολικά κτίρια, 4 και 2 ορόφων, Κτίριο Α και Κτίριο Β, αντίστοιχα. Τα κτίρια Α και Β εξετάζονται για 3 διαφορετικές κατανομές του οργανισμού πλήρωσης α) γυμνά (χωρίς τοιχοπλήρωσεις), β) με τοιχοπλήρωσεις και γ) με τοιχοπλήρωσεις στους άνω ορόφους και γυμνό το ισόγειο (Pilotis). Επιπλέον, γίνεται σύγκριση της συνήθης περίπτωσης, δηλ. της αποτίμησης χωρίς τον συνυπολογισμό της επίδρασης της επαφής με γειτονικό κτίριο, με αυτή του συνυπολογισμού της επαφής. Η ανάλυση (αποτίμηση) γίνεται με χρήση μη-γραμμικής στατικής ανάλυσης (Pushover) και λαμβάνεται υπόψη στο προσομοίωμα η καμπτική και η διατμητική αντοχή. Η ανάλυση και η προσομοίωση των κτιρίων ακολουθεί τον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Τέλος, για τη μελέτη της δυναμικής επίδρασης της επαφής των κτιρίων λόγω κρούσης γίνεται χρήση μη-γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας (NLTH) για 2 ιστορικά σειсмоγραφήματα.

2. ΤΑ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΑ

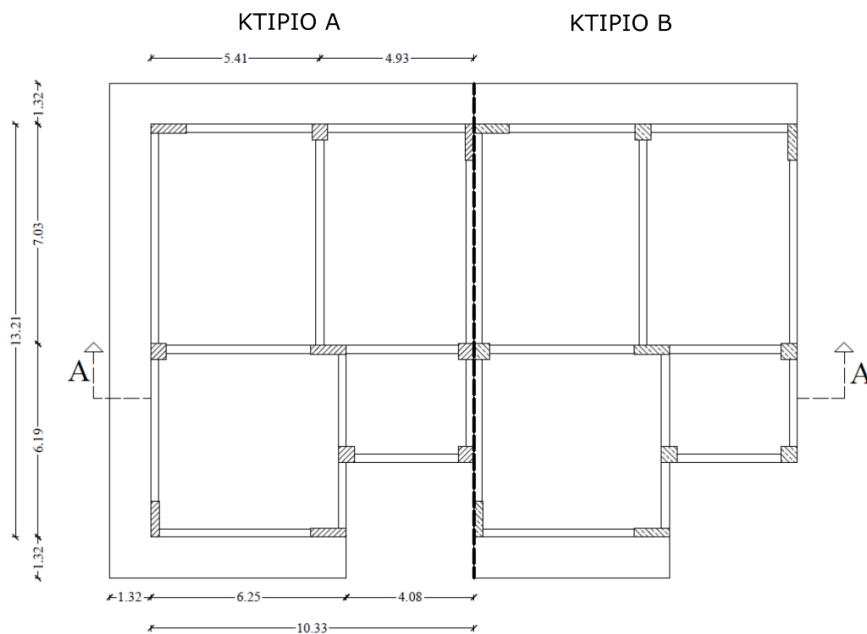
Στην παρούσα εργασία εξετάζονται δυο όμοια σε κάτοψη κτίρια (Κτίριο Α και Κτίριο Β) από Ο/Σ, κατασκευασμένα προ του 1984. Η κάτοψη του κάθε κτιρίου είναι σχήματος Γ, με συνολικό μήκος 10.33 m και πλάτος 13.21 m (Σχ. 1). Το Κτίριο Α αποτελείται από 4 ορόφους ύψους 3.36 m και το Κτίριο Β από 2 ορόφους ύψους 2.90 m. Έτσι, προκύπτει οι εκατέρωθεν

πλάκες των δύο εν επαφή κτιρίων Α και Β, να βρίσκονται σε διαφορετικό ύψος όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

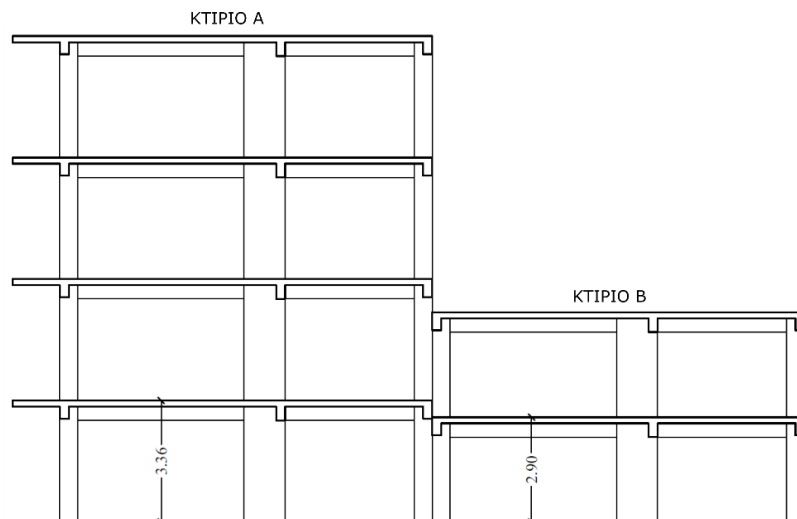
Το κάθε κτίριο, Α και Β αντίστοιχα, διαθέτει 5 ορθογωνικά υποστυλώματα διαστάσεων 0.50 m με οπλισμό 4Φ20, και 5 τοιχώματα διαστάσεων 1.14 m x 0.28 m με οπλισμό 5Φ20 και 3Φ8. Οι περιμετρικές δοκοί είναι διαστάσεων 250 m x 500 m με οπλισμό 2Φ16 στο άνω και κάτω πέλμα στα άκρα τους, αντίστοιχα, και οι εσωτερικές δοκοί 250 m x 550 m με οπλισμό 2Φ20 στο άνω και κάτω πέλμα, αντίστοιχα. Οι συνδετήρες είναι ορθογωνικοί Φ8/200 στα κατακόρυφα μέλη και Φ8/250 στις δοκούς. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και η αντοχή του χάλυβα λαμβάνεται ίση με 18 MPa και 400 MPa, αντίστοιχα.

Περιμετρικά σε κάθε όροφο θεωρείται μπατική τοιχοποιία με εκτιμηθέν φαινόμενο βάρος 3.5 kN/m², και εσωτερικά του χώρου δρομική τοιχοποιία 2 kN/m². Επιπλέον, επί των περιμετρικών δοκών της οροφής υπάρχει μπατική τοιχοποιία ύψους 1 m.

Θεωρείται ζώνη σεισμικότητας ΙΙ, κατηγορία εδάφους Β, με εδαφική επιτάχυνση 0.24 g (όπου g η επιτάχυνση βαρύτητας).



Σχήμα 1. Κάτοψη των εν επαφή κτιρίων Α και Β

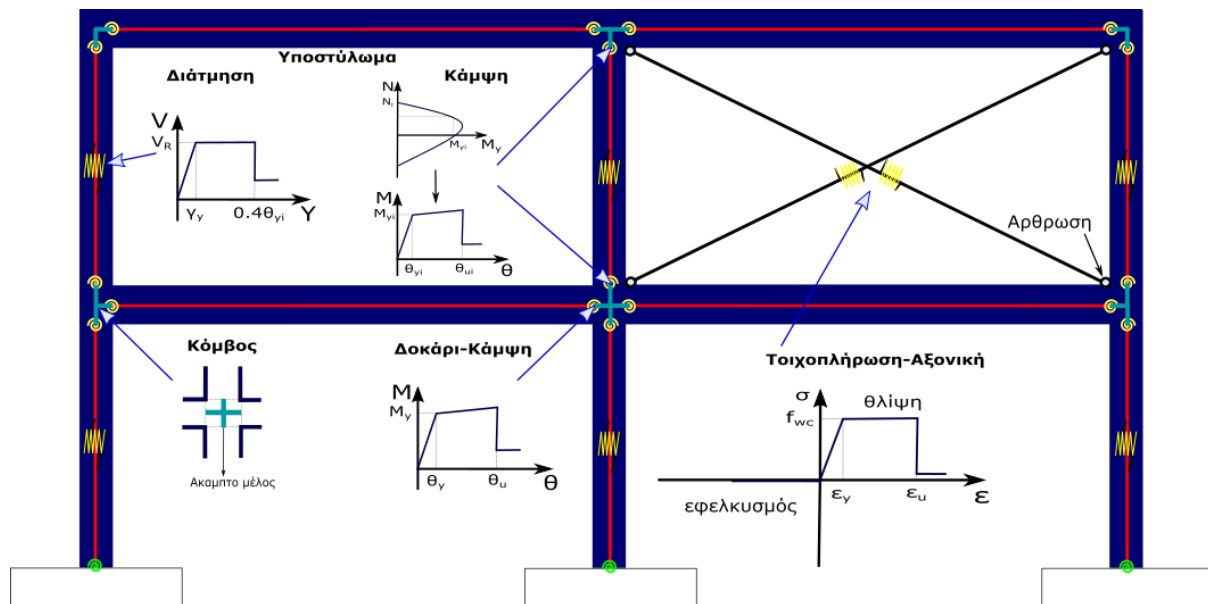


Σχήμα 2. Τομή Α-Α των εν επαφή κτιρίων Α και Β

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Η προσομοίωση των κτιρίων Α και Β ακολουθεί τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και βασίζεται σε γραμμικά στοιχεία συγκεντρωμένης πλαστιμότητας στα δύο άκρα (plastic hinges), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Η προσομοίωση περιλαμβάνει στοιχεία δοκαριών, υποστυλωμάτων, τοιχοπληρώσεων και επαφής των γειτονικών κτιρίων. Λεπτομερέστερα στοιχεία προσομοίωσης των παραπάνω παρουσιάζονται στα επόμενα υπό-κεφάλαια.

Τα κτίρια θεωρούνται πλήρως πακτωμένα στη βάση τους. Η επίδραση της πλάκας στην κατασκευή λαμβάνεται υπόψη ορίζοντας δύσκαμπτο διάφραγμα σε κάθε όροφο, θέτοντας στα δοκάρια κατάλληλο συνεργαζόμενο πλάτος (b_{eff}) και κατανέμοντας κατάλληλα το φορτίο της πλάκας στα δοκάρια. Το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων SAP2000 [2] χρησιμοποιήθηκε για όλες τις αναλύσεις, και σε αυτό βασίστηκε το προσομοίωμα των κτιρίων Α και Β (Σχ. 3). Το λογισμικό ανάλυσης διατομών με χρήση ινών ΒΙΑΧ [3], χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των στοιχείων των διατομών, δηλ. ροπή διαρροής, αλληλεπίδραση αξονικής δύναμης και ροπής, καμπυλότητα και γωνία στροφής χορδής.

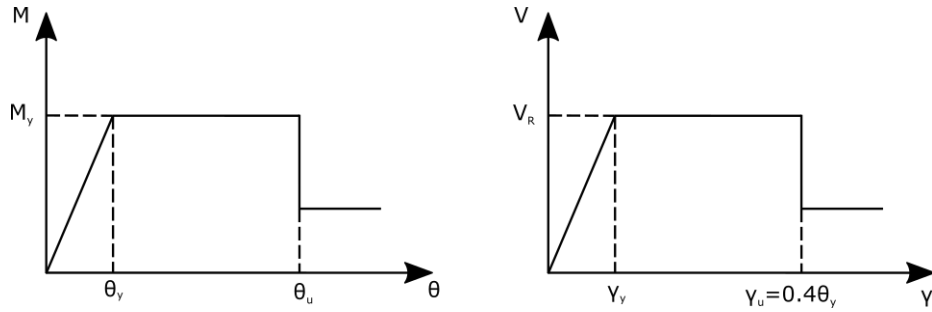


Σχήμα 3. Προσομοίωση δοκών, υποστυλωμάτων, κόμβων και τοιχοπληρώσεων των κτιρίων Α και Β

3.1 Δοκάρια και υποστυλώματα

Η μηχανική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων περιγράφεται μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους F , δηλ. κάμψη M ή/και τέμνουσα V , συναρτήσει της παραμόρφωσης δ , δηλ. γωνία στροφής χορδής θ ή/και γωνιακής παραμόρφωσης γ , αντίστοιχα. Η συμπεριφορά αυτή, ορίζεται στα δύο άκρα του κάθε μέλους (πλαστικές αρθρώσεις), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

Στην παρούσα εργασία, τα δοκάρια προσομοιώνονται μόνο για αστοχία σε κάμψη βάσει του νόμου $M-\theta$, ενώ τα υποστυλώματα προσομοιώνονται για κάμψη και διάτμηση, $M-\theta$ και $V-\gamma$, αντίστοιχα (Σχ. 3 και 4). Επιπλέον, στα υποστυλώματα ορίζεται νόμος αλληλεπίδρασης ροπής-αξονικής, $M-N$ (Σχ. 3), καθώς η ροπή M εξαρτάται από την αξονική δύναμη N , και η N μεταβάλλεται κατά τη σεισμική διέγερση. Σε όλα τα δοκάρια θεωρείται σταθερή αξονική δύναμη ίση με μηδέν.



Σχήμα 4. Νόμος προσομοίωσης πλαστικών αρθρώσεων κατακόρυφων μελών κάμψης M-θ και διάτμησης V-γ

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. περιλαμβάνει σχέσεις υπολογισμού της ροπής κατά της διαρροή M_y , γωνίας στροφής στην διαρροή θ_y και στην αστοχία θ_u . Η ροπή διαρροής M_y υπολογίζεται από τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Α.6 παράρτημα Α7) [1]:

$$\frac{M_y}{bd^3} = \left(\frac{1}{r}\right)_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left(0.5(1 + \delta') - \frac{\xi_y}{3} \right) + \left[(1 - \xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1 - \delta') \right] (1 - \delta') \frac{E_s}{2} \right\} \quad (1)$$

Οι γωνίες στροφής χορδής στη διαρροή και την αστοχία υπολογίζονται από τις σχέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.2 εξίσωση Σ.2 και §7.2.4 εξίσωση Σ.8α) [1]:

$$\theta_y = \left(\frac{1}{r}\right)_y \frac{L_s + \alpha_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \left(\frac{1}{r}\right)_y \frac{d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (2)$$

$$\theta_y = \left(\frac{1}{r}\right)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0013 + \left(\frac{1}{r}\right)_y \frac{d_b f_y}{8\sqrt{f_{cm}}} \quad (3)$$

$$\theta_{um} = 0.016(0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega_2)}{\max(0.01, \omega_1)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_s}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha_{psx} \frac{f_{yw}}{f_c} + \alpha_f \rho_{fx} \frac{f_{fe}}{f_c} \right)} (1.25^{100\rho_d}) \quad (4)$$

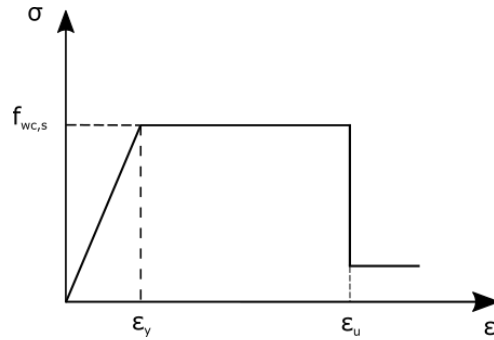
Η εξίσωση (2) χρησιμοποιείται για την περίπτωση δοκών και υποστυλωμάτων, ενώ η (3) μόνο για την περίπτωση των τοιχωμάτων.

Η διατμητική αντοχή των στοιχείων V_R , με την ανακύκλιση των μετελαστικών μετακινήσεων, υπολογίζεται με βάση τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ παράρτημα 7Γ εξίσωση Γ.1) [1]:

$$V_R = \frac{h - x}{2L_s} \min[N; 0.55A_c f_{cm}] + (1 - 0.05 \min[5, \mu_{\theta}^{pl}]) (0.16 \max[0.5; 100\rho_{tot}] (1 - 0.16 \min[5; a_s]) \sqrt{f_{cm}} A_c + V_w) \quad (5)$$

3.2 Τοιχοπληρώσεις

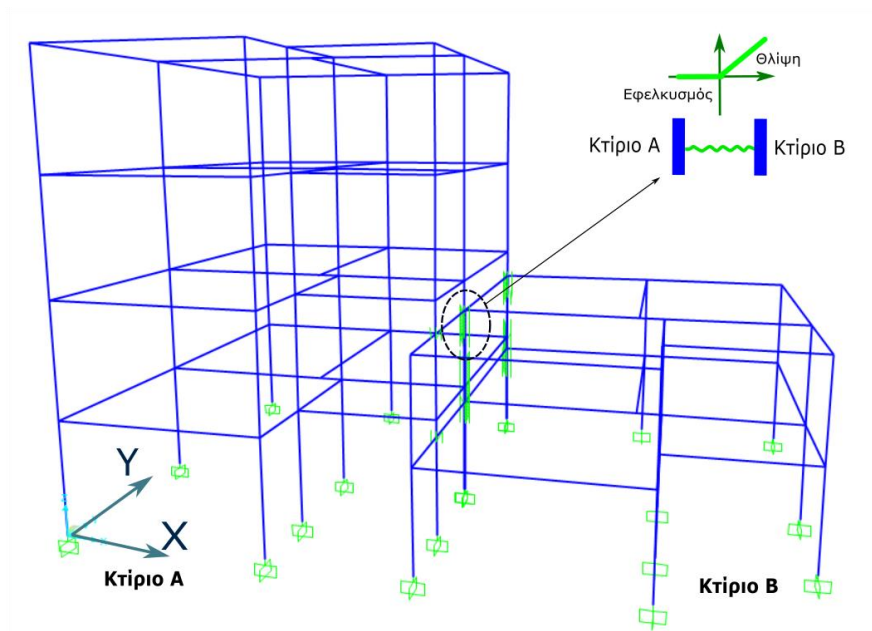
Η τοιχοπλήρωση προσομοιώνεται με δύο διαγώνιους θλιπτήρες, αρθρωμένους στα άκρα (Σχ. 3), με λειτουργία μόνο σε θλίψη, με πάχος αυτό της τοιχοπλήρωσης και πλάτος το $0.15 \cdot L$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1 εξίσωση Σ.15). Το προσομοίωμα σ-ε της θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου λαμβάνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, με μέση θλιπτική αντοχή $f_{wc,s}$ ίση με 1.5 MPa.



Σχήμα 5. Νόμος προσομοίωσης τάσεων - παραμορφώσεων θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου άοπλης τοιχοπλήρωσης

3.3 Αλληλεπίδραση κτιρίων

Η αλληλεπίδραση των γειτονικών, εν επαφή κτιρίων προσομοιώνεται με στοιχείο ελατηρίου (gap element) χωρίς κενό, μεγάλης δυσκαμψίας (3 φορές τη δυσκαμψία των γειτονικών μελών) και λειτουργία μόνο σε θλίψη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Το στοιχείο αυτό τοποθετείται σε όλα τα μέλη που βρίσκονται σε επαφή.



Σχήμα 6. Προσομοίωση αλληλεπίδρασης κτιρίων Α και Β

3.4 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ αναγνωρίζει 3 στάθμες επιτελεστικότητας, «Περιορισμένες Βλάβες» (Στάθμη Α), «Σημαντικές Βλάβες» ή Προστασία Ζωής (Στάθμη Β) και «Αποφυγή Κατάρρευσης» (Στάθμη Γ). Τα όρια της κάθε στάθμης επιτελεστικότητας, ορίζονται συναρτήσει των παραμορφώσεων δ_d (θ ή γ) των μελών. Τα όρια υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §9.2, §9.3) [1]:

$$\delta_d = \delta_y, \text{ για Στάθμη Α} \quad (6)$$

$$\delta_d = \frac{0.5(\delta_y + \delta_u)}{\gamma_{Rd}}, \text{ για Στάθμη Β} \quad (7)$$

$$\delta_d = \frac{\delta_u}{\gamma_{Rd}}, \text{ για Στάθμη } \Gamma \quad (8)$$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης περιλαμβάνουν την απόκριση της καμπύλης Τέμνουσα βάσης – Μετακίνησης (V-δ), τον αριθμό αστοχιών των μελών και τους αντίστοιχους μέγιστους και ελάχιστους λόγους ανεπάρκειας (max, min λ), για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κτιρίων δηλ. γυμνό, τοιχοπληρωμένο και με πιλοτή, καθώς και την περίπτωση αλληλεπίδρασης τους λόγω γειννίασης (επαφής). Λαμβάνονται υπόψη μόνο οι αστοχίες που προκύπτουν στα υποστυλώματα και τα τοιχώματα, και αγνοούνται τυχόν αστοχίες στα δοκάρια και τις τοιχοπληρώσεις.

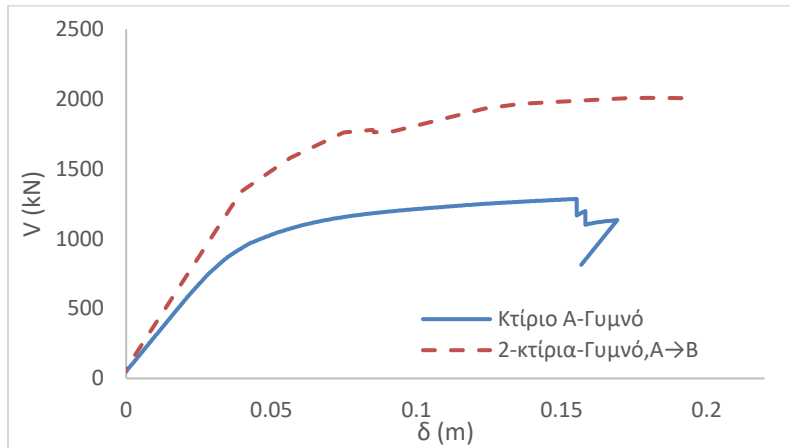
Ως λόγος ανεπάρκειας λ, λαμβάνεται η μέγιστη παραμόρφωση του μέλους (θ ή γ) στη στοχευόμενη μετακίνηση της οροφής του κτιρίου, όπως αυτή ορίζεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.4.2, εξίσωση Σ5.6) [1], προς τη μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην ασφάλεια ζωής, στάθμη επιτελεστικότητας Β (δηλ. θ/θ_B ή γ/γ_B για διάτμηση και κάμψη, αντίστοιχα).

4.1 Γυμνό Κτίριο

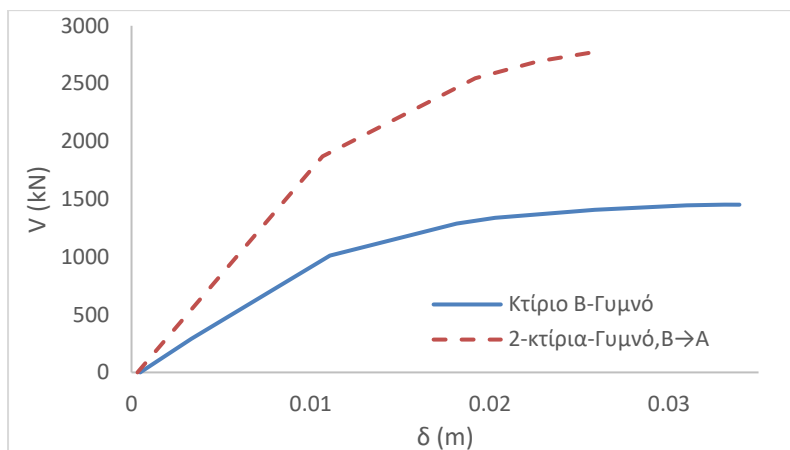
Τα Σχήματα 7 και 8 παρουσιάζουν τις καμπύλες αντίστασης V-δ, όπως προέκυψαν από την ανελαστική στατική ανάλυση Pushover, μέχρι την αστοχία, των κτιρίων Α και Β, αντίστοιχα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται ο αριθμός των αστοχιών και οι λόγοι ανεπάρκειας λ των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων, για επίπεδο επιτελεστικότητας ασφάλεια ζωής, για το Κτίριο Α και το Κτίριο Β, αντίστοιχα.

Τα Σχήματα 7 και 8, και ο Πίνακας 1, καθώς επίσης όλα τα αντίστοιχα σχήματα και πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζουν επιπλέον, την περίπτωση της αλληλεπίδρασης των δυο κτιρίων, Α και Β, αντίστοιχα. Το σύμβολο A→B στους πίνακες και τα σχήματα, δηλώνει την περίπτωση επίδρασης του Κτιρίου Α στο Β, κατά την ανάλυση του κτιρίου Α, ενώ το σύμβολο B→A δηλώνει την αντίθετη περίπτωση. Στο Σχήμα 7 και στο πρώτο μέρος του Πίνακα 1, φαίνεται η περίπτωση μετακίνησης του Κτιρίου Α κατά τη x διεύθυνση (Σχ. 6) για τις περιπτώσεις που δεν λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη Κτιρίου Β και που λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξή του και η αλληλεπίδρασή του με το Κτίριο Α (δηλ. A→B). Στο Σχήμα 8 και στο δεύτερο μέρος του Πίνακα 1, φαίνεται η αντίθετη περίπτωση, δηλ. η περίπτωση μετακίνησης του Κτιρίου Β κατά τη -x διεύθυνση (Σχ. 6) για τις περιπτώσεις που δεν λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του Κτιρίου Α και που λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξή του και η αλληλεπίδραση του με το Κτίριο Β (δηλ. B→A).

Παρατηρείται ότι και τα δύο κτίρια (Α, Β) έχουν παρόμοια μέγιστη Τέμνουσα βάσης (λόγω του ότι τα δύο κτίρια, έχουν ίδια γεωμετρία διατομών και ίδιο ποσοστό οπλισμού) και ότι το Κτίριο Α, λόγω μεγαλύτερου ύψους, έχει πολύ μεγαλύτερη μέγιστη μετακίνηση οροφής από το Κτίριο Β. Επίσης, συγκρίνοντας την περίπτωση της αλληλεπίδρασης των δύο κτιρίων, παρατηρείται ότι η Τέμνουσα βάσης στην αστοχία του B→A, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του A→B. Αυτό συμβαίνει καθώς το Κτίριο Β είναι χαμηλότερο σε ύψος από το Κτίριο Α, με κοντύτερα υποστυλώματα και άρα πιο δύσκαμπτο από το Κτίριο Α. Επομένως, η επίδραση του Α στο Β προκύπτει μεγαλύτερη. Η μέγιστη τέμνουσα βάσης των κτιρίων Α και Β, προκύπτει να είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση συνυπολογισμού της αλληλεπίδρασης των δυο κτιρίων (A→B, B→A), σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της, το οποίο είναι λογικό και δεν υποδηλώνει απαραίτητα υψηλότερη αντοχή.



Σχήμα 7. Καμπύλη V-δ για το Κτίριο Α και τα 2 κτίρια (Α→Β) - Περίπτωση γυμνού κτιρίου - Διεύθυνση x



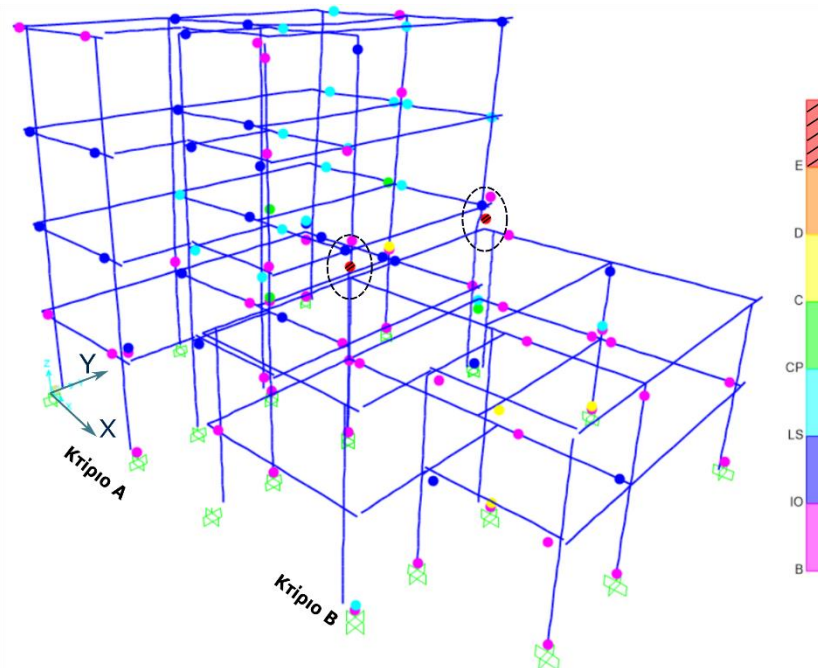
Σχήμα 8. Καμπύλη V-δ για το Κτίριο Β και τα 2 κτίρια (Β→Α) - Περίπτωση γυμνού κτιρίου - Διεύθυνση -x

Γυμνά Κτίρια			Διεύθυνση x				Διεύθυνση -x			
			A	B	A → B		A	B	B → A	
Αριθμός Αστοχιών	Υποστυλώματα	Κάμψη	-	-	1	-	-	-	-	-
		Διάτμηση	-	5	2	2	-	4	2	2
	Τοιχώματα	Κάμψη	1	-	-	-	-	-	-	-
		Διάτμηση	5	6	5	4	-	4	3	3
Λόγος Ανεπάρκειας	Υποστυλώματα	Max λ	-	4.70	10.80	3.70	-	3.60	4.40	1.95
		Min λ	-	3.30	1.40	1.15	-	1.50	1.20	1.80
	Τοιχώματα	Max λ	3.30	3.70	11.30	4.40	-	3.70	3.60	1.60
		Min λ	1.25	2.00	1.23	1.70	-	1.15	2.00	1.20

Πίνακας 1. Αστοχίες και λόγοι ανεπάρκειας μελών – Περίπτωση γυμνού κτιρίου - Διεύθυνση x και -x

Ο αριθμός αστοχιών (δηλ. υπέρβασης επιτρεπόμενης παραμόρφωσης στην ασφάλεια ζωή) και οι λόγοι ανεπάρκειας λ παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Παρατηρείται ότι και τα δυο εξεταζόμενα κτίρια Α, Β αστοχούν κατά κύριο λόγο από διάτμηση. Όσον αφορά τη διεύθυνση x, παρατηρείται ότι το Κτίριο Α, με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο Β (δηλ. Α→Β), Σχήμα 9, παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της. Αντιθέτως, το Κτίριο Β παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών από αυτές που του προκαλεί το Κτίριο Α (δηλ. Α→Β). Όσον αφορά τη διεύθυνση -x, παρατηρείται ότι το Κτίριο Β με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο Α (δηλ. Β→Α) παρουσιάζει μικρότερο αριθμό αστοχιών σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της.

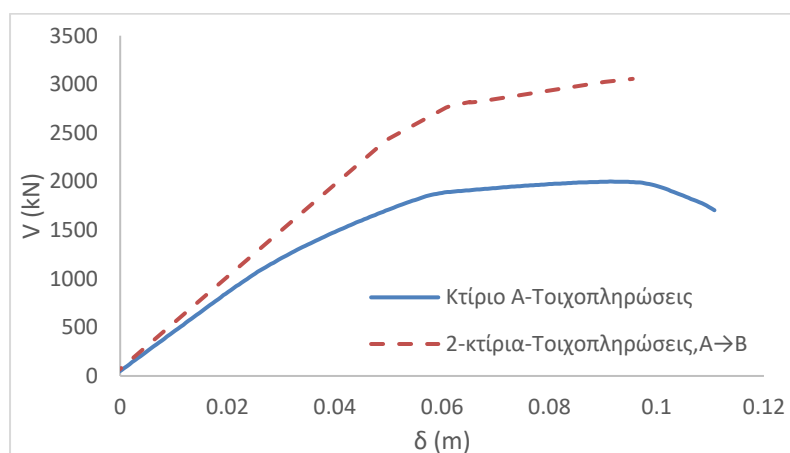
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το Κτίριο A δεν έχει αστοχίες στην περίπτωση που εξετάζεται μόνο του. Ωστόσο, στην περίπτωση αλληλεπίδρασης (B→A), παρατηρούνται 5 αστοχίες. Οι μέγιστοι λόγοι ανεπάρκειας λ_{max} , εμφανίζονται στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης των κτιρίων A→B, στα υποστυλώματα και τοιχώματα του Κτιρίου A, που έρχονται σε επαφή με την πλάκα ή δοκάρη του Κτιρίου B. Οι υπόλοιποι λόγοι ανεπάρκειας είναι παρόμοιοι μεταξύ τους.



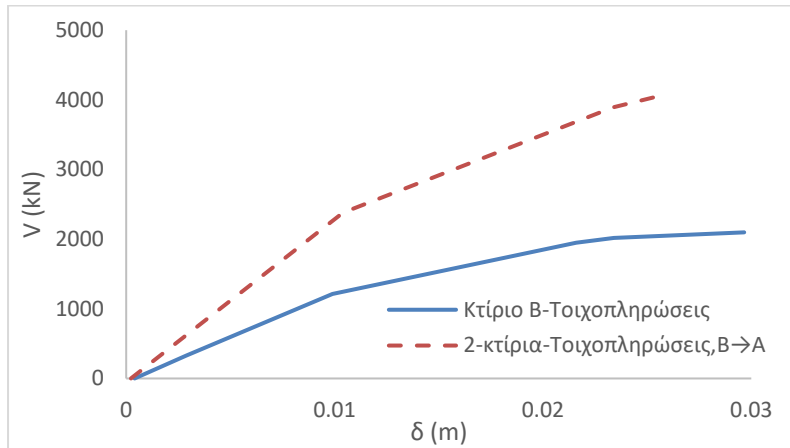
Σχήμα 9. Περίπτωση επίδρασης Κτιρίου A στο B (A→B), διεύθυνση x - Τοπικές αστοχίες στα σημεία επαφής των A και B

4.2 Κτίριο με Τοιχοπληρώσεις

Από τα σχήματα 10 και 11, μπορούν να εξαχθούν παρόμοια συμπεράσματα με τα σχήματα 7 και 8. Η ύπαρξη γειτονικού κτιρίου σε επαφή αυξάνει τη δυσκαμψία και την τέμνουσα βάση του εξεταζόμενου κτιρίου.



Σχήμα 10. Καμπύλη V- δ για το Κτίριο A και τα 2 κτίρια (A→B) - Περίπτωση κτιρίου με τοιχοπληρώσεις - Διεύθυνση x



Σχήμα 11. Καμπύλη V-δ για το Κτίριο Β και τα 2 κτίρια (B→A) - Περίπτωση κτιρίου με τοιχοπληρώσεις - Διεύθυνση -x

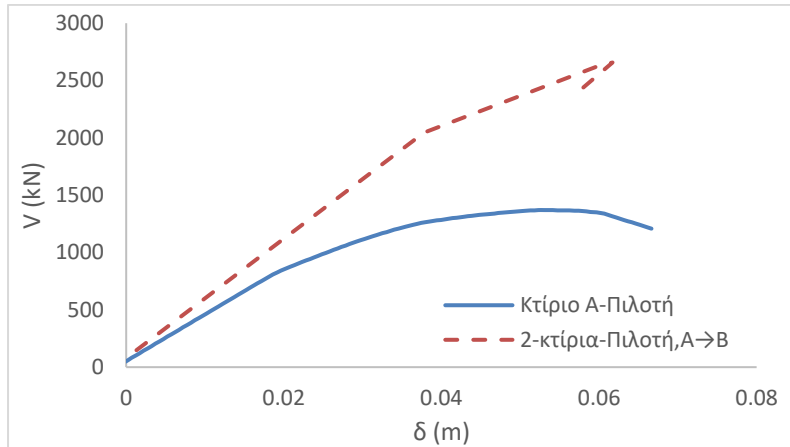
Κτίρια με Τοιχοπληρώσεις			Διεύθυνση x				Διεύθυνση -x			
			A	B	A→B		A	B	B→A	
Αριθμός Αστοχιών	Υποστυλώματα	Κάμψη Διάτμηση	-	-	-	-	1	-	-	-
	Τοιχώματα	Κάμψη Διάτμηση	2	5	4	2	3	2	3	1
Λόγος Ανεπάρκειας	Υποστυλώματα	Max λ	3.60	3.60	10.15	2.60	3.60	2.70	2.00	2.90
		Min λ	2.07	1.50	4.75	1.20	1.40	1.50	1.60	2.90
	Τοιχώματα	Max λ	3.60	3.60	10.80	2.90	3.60	3.90	3.10	1.25
		Min λ	1.50	1.28	2.00	1.10	1.40	2.20	1.75	1.10

Πίνακας 2. Αστοχίες και λόγοι ανεπάρκειας μελών – Περίπτωση κτιρίου με τοιχοπληρώσεις - Διεύθυνση x και -x

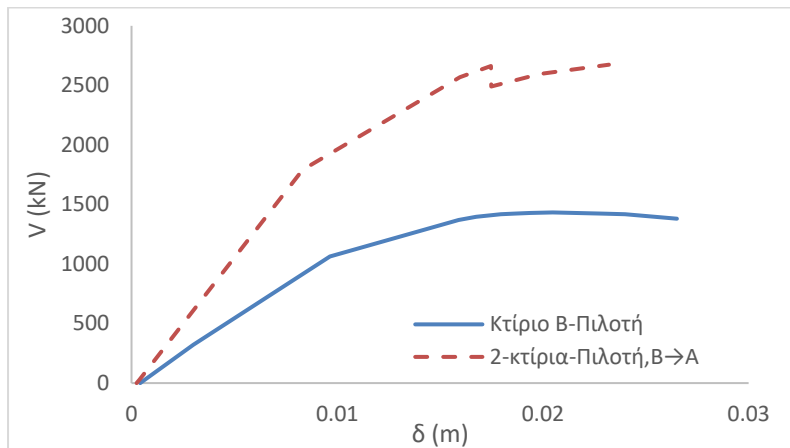
Ο αριθμός αστοχιών (δηλ. υπέρβασης επιτρεπόμενης παραμόρφωσης στην ασφάλεια ζωή) και οι λόγοι ανεπάρκειας λ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Παρατηρείται ότι και τα δυο εξεταζόμενα κτίρια A, B αστοχούν κατά κύριο λόγο από διάτμηση. Όσον αφορά τη διεύθυνση x, παρατηρείται ότι το Κτίριο A, με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο B (δηλ. A→B), παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών, σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της. Αντιθέτως, το Κτίριο B παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών από αυτές που του προκαλεί το Κτίριο A (δηλ. A→B). Όσον αφορά τη διεύθυνση -x, παρατηρείται ότι το Κτίριο B με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο A (δηλ. B→A), παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της. Οι μέγιστοι λόγοι ανεπάρκειας λ_{max} , εμφανίζονται στην περίπτωση της αλληλεπίδρασης των κτιρίων A→B, στα υποστυλώματα και τοιχώματα του Κτιρίου A, που έρχονται σε επαφή με την πλάκα ή δοκάρη του Κτιρίου B. Οι υπόλοιποι λόγοι ανεπάρκειας είναι παρόμοιοι μεταξύ τους.

4.3 Κτίριο με Πιλοτή

Από τα Σχήματα 12 και 13 παρατηρείται ότι η ύπαρξη πιλοτής, μειώνει την επίδραση του αριθμού ορόφων στη μέγιστη αντοχή σε τέμνουσα βάση. Παρατηρείται ότι τα κτίρια A και B, αν και διαφορετικά σε αριθμό ορόφων, καταλήγουν να έχουν την ίδια μειωμένη αντοχή. Επίσης, παρατηρώντας την επίδραση της επαφής με γειτονικό κτίριο, γίνεται αντιληπτό ότι σε περίπτωση ύπαρξης πιλοτής, η επίδραση της επαφής με γειτονικό κτίριο δεν αλλάζει με το αν επιδρά το A στο B (A→B) ή το B στο A (B→A). Ο λόγος είναι ότι στα κτίρια με πιλοτή, κύριο ρόλο παίζουν τα υποστυλώματα/τοιχώματα του ισογείου, και τα κτίρια A και B, έχοντας ίδια υποστυλώματα και τοιχώματα, χάνεται η επίδραση του διαφορετικού αριθμού ορόφων.



Σχήμα 12. Καμπύλη V-δ για το Κτίριο Α και τα 2 κτίρια Α→Β - Περίπτωση κτιρίου με πιλοτή - Διεύθυνση x



Σχήμα 13. Καμπύλη V-δ για το Κτίριο Β και τα 2 κτίρια Β→Α - Περίπτωση κτιρίου με πιλοτή - Διεύθυνση -x

Κτίρια με Πιλοτή			Διεύθυνση x				Διεύθυνση -x			
			A	B	A→B		A	B	B→A	
Αριθμός Αστοχιών	Υποστυλώματα	Κάμψη Διάτμηση	1 -	- -	- -	1 -	- -	- -	- -	
	Τοιχώματα	Κάμψη Διάτμηση	4 5	1 3	4 3	2 1	5 4	3 1	2 1	
Λόγος Ανεπάρκειας	Υποστυλώματα	Max λ	7.70	5.70	6.36	5.50	5.70	5.40	1.50	1.30
		Min λ	2.00	1.53	6.36	1.50	2.08	4.00	1.20	1.30
	Τοιχώματα	Max λ	10.6	7.00	2.90	5.00	11.4	4.90	3.60	1.40
		Min λ	5.80	4.50	2.80	3.40	5.10	3.00	1.90	1.40

Πίνακας 3. Αστοχίες και λόγοι ανεπάρκειας μελών – Περίπτωση κτιρίου με πιλοτή - διεύθυνση x και -x

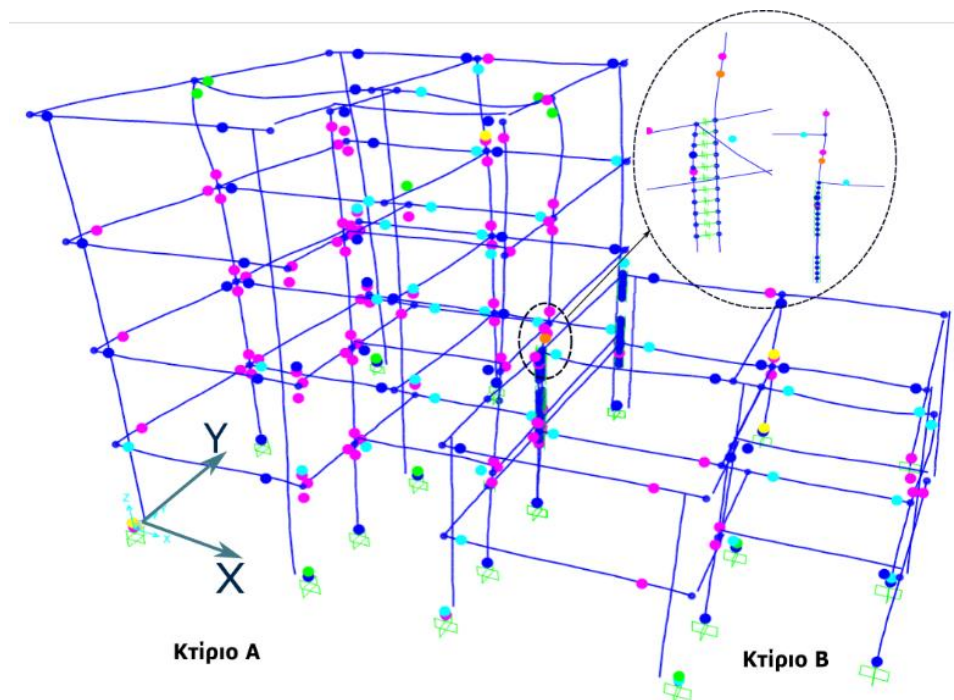
Ο αριθμός αστοχιών (δηλ. υπέρβασης επιτρεπόμενης παραμόρφωσης στην ασφάλεια ζωή) και οι λόγοι ανεπάρκειας λ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Παρατηρείται ότι και τα δυο εξεταζόμενα κτίρια Α και Β, αστοχούν κατά κύριο λόγο από διάτμηση. Όσον αφορά τη διεύθυνση x, παρατηρείται ότι το Κτίριο Α, με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο Β (δηλ. Α→Β), παρουσιάζει μικρότερο αριθμό αστοχιών σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της. Επιπλέον, το Κτίριο Β παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αστοχιών από αυτές που του προκαλεί το Κτίριο Α (δηλ. Α→Β). Όσον αφορά τη διεύθυνση -x, παρατηρείται

ότι το Κτίριο Β, με συνυπολογισμό της αλληλεπίδρασης με το Κτίριο Α (δηλ. $B \rightarrow A$), παρουσιάζει μικρότερο αριθμό αστοχιών σε σχέση με την περίπτωση μη συνυπολογισμού της. Οι μέγιστοι λόγοι ανεπάρκειας λ_{max} , εμφανίζονται στην περίπτωση που δεν λαμβάνεται η αλληλεπίδραση των κτιρίων $A \rightarrow B$, στα τοιχώματα του ισογείου του Κτιρίου Α. Στην περίπτωση του συνυπολογισμού της αλληλεπίδρασης των κτιρίων Α και Β, δηλ. $A \rightarrow B$ και $B \rightarrow A$, αντίστοιχα, οι λόγοι ανεπάρκειας λ_{max} είναι εμφανώς μικρότεροι.

Από τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι ο συνυπολογισμός της αλληλεπίδρασης των κτιρίων, έχει ευνοϊκά αποτελέσματα στην περίπτωση κτιρίων με πιλοτή, καθώς αυξάνει την πλευρική δυσκαμψία του ισογείου, η οποία αποτελεί τη βασική αδυναμία των κτιρίων με πιλοτή. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα προηγούμενα αποτελέσματα, όπου η περίπτωση του συνυπολογισμού της ύπαρξης γειτονικών κτιρίων, έδινε δυσμενέστερα αποτελέσματα από αυτή του μη συνυπολογισμού της.

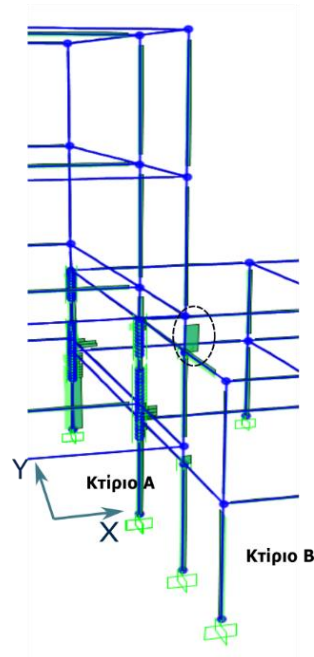
5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ – ΚΡΟΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ Α & Β

Η μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover) που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, δε μπορεί να λάβει υπόψη την εμφάνιση επιπλέον δυνάμεων στα σημεία επαφής λόγω κρούσης μεταξύ δύο κτιρίων κατά την διάρκεια της σεισμικής κίνησης. Έτσι, στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζεται η αλληλεπίδραση των γυμνών κτιρίων Α και Β με χρήση μη γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας (time-history analysis) για 2 ιστορικές εδαφικές επιταχύνσεις (El Centro και New Hall).



Σχήμα 14. Μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας, σεισμός New Hall, κρούση μεταξύ κτιρίων Α και Β

Η κρούση μεταξύ των κτιρίων Α και Β, όπως προέκυψε από τις μη γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας, προκαλεί αυξημένες τιμές τοπικής τέμνουσας στα μέλη που έρχονται σε επαφή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15. Τα αποτελέσματα αυτής της κρούσης είναι η αστοχία σε διάτμηση του υποστυλώματος του Κτιρίου Α, όπως φαίνεται στα Σχήματα 14 και 15.



Σχήμα 15. Τοπική μεγέθυνση τέμνουσας κατά τη στιγμή της κρούσης των μελών των κτιρίων A και B

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Μελετήθηκε η επίδραση ενός γειτονικού κτιρίου στην αποτίμηση κτιρίων από Ο/Σ με χρήση μη γραμμικών αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη 2 διαφορετικά ύψη κτιρίων (13.40 m και 5.80 m) και τρία διαφορετικά συστήματα κτιρίων (γυμνά, με τοιχοπλήρωση και με πιλοτή).
2. Συγκρίθηκε η συνήθης περίπτωση αποτίμησης του κάθε κτιρίου ξεχωριστά, δηλ. αγνοώντας την επίδραση ύπαρξης γειτονικού κτιρίου εν επαφή, με την περίπτωση του συνυπολογισμού της επίδρασης της επαφής τους.
3. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η αγνόηση της επίδρασης της ύπαρξης γειτονικών κτιρίων, δεν οδηγεί πάντοτε σε ασφαλή αποτίμηση της κατασκευής, τουλάχιστον για τις περιπτώσεις των κτιρίων που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.
4. Η ύπαρξη γειτονικού κτιρίου χαμηλότερου ύψους, χωρίς την κατάλληλη απόσταση, αυξάνει σημαντικά τις βλάβες του εξεταζόμενου κτιρίου. Εξαιρέση αποτέλεσε η περίπτωση ύπαρξης πιλοτής, κατά την οποία ο συνυπολογισμός της επίδρασης της ύπαρξης γειτονικών κτιρίων έδωσε καλύτερα αποτελέσματα (δηλ. λιγότερες αστοχίες), συγκριτικά με την περίπτωση αγνόησης της γειτνίασης. Η δυσμενέστερη περίπτωση αλληλεπίδρασης κτιρίων εν επαφή, με βάση τους μέγιστους λόγους ανεπάρκειας, προέκυψε στο Κτίριο A για A→B, δηλ. στην περίπτωση που το υψηλότερο Κτίριο A αλληλεπιδρά με το χαμηλότερο Κτίριο B, λόγω της μετακίνησης του Κτιρίου A.
5. Η μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας έδειξε ότι η κρούση στα σημεία επαφής των πλακών ή δοκών με γειτονικό υποστύλωμα, αυξάνει στιγμιαία την τέμνουσα σε αυτό το σημείο και μπορεί να προκαλέσει αστοχία του υποστυλώματος σε τέμνουσα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013
- [2] SAP2000. «Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Berkeley» California: Computers and Structures Inc., 2010.
- [3] Σφακιανάκης Μ.Γ. «Πρόγραμμα ΒΙΑΧ, Οδηγίες χρήσης», Πάτρα 2015 .