

Ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων

Ε. Ν. Μπάμπουκας

Διπλ. Πολ. Μηχ., Ηράκλειο Κρήτης

Ι. Ε. Αβραμίδης

Καθηγητής, Δρ. Πολ. Μηχ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ

Λέξεις κλειδιά: Ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων, αντισεισμικά τοιχώματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η τοποθέτηση συνεχών καθύψος αντισεισμικών τοιχωμάτων για την ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης του σεισμικού κινδύνου. Εντούτοις, η τοποθέτηση συνεχών καθόλο το ύψος τοιχωμάτων, προκαλεί συχνά στην πράξη, δυσεπίλυτα, αν όχι αξεπέραστα, αρχιτεκτονικά και κυρίως, λειτουργικά προβλήματα. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την τεχνική των μετατεταγμένων καθύψος τοιχωμάτων, η οποία σε πολλές περιπτώσεις προσφέρει διέξοδο στα παραπάνω προβλήματα. Όπως τεκμηριώνεται μέσω μίας εκτεταμένης σειράς παραμετρικών επιλύσεων, η τοποθέτηση μετατεταγμένων καθύψος τοιχωμάτων δεν συνεπάγεται μειονεκτική μηχανική συμπεριφορά του ενισχυόμενου κτιρίου, έναντι εκείνης που επιτυγχάνεται με τα συνεχή καθύψος αντισεισμικά τοιχώματα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσω συνεχών καθόλο το ύψος τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών συνδέσμων, μπορεί να προσφέρει καθοριστική βελτίωση της αντισεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων αυτών. Με τα πρόσθετα τοιχώματα αυξάνεται σημαντικά η αντοχή των κτιρίων σε οριζόντιες καταπονήσεις και παράλληλα μειώνονται οι παραμορφώσεις τους λόγω σεισμού. Ταυτόχρονα διορθώνονται πολλές εγγενείς μορφολογικές αδυναμίες των κτιρίων αυτών, όπως π.χ. εύκαμπτοι όροφοι, εκκεντρότητες κατόψεων, κοντά υποστυλώματα κ.ά., με παράλληλη μείωση του ρόλου και της σημασίας της - λιγότερο ή περισσότερο - ανεξέλεγκτης αντισεισμικής συνεισφοράς της τοιχοποιίας.

Εντούτοις, η τοποθέτηση συνεχών καθύψος ενισχυτικών τοιχωμάτων ή μεταλλικών συνδέσμων, προκαλεί συχνά στην πράξη δυσεπίλυτα, αν όχι αξεπέραστα, αρχιτεκτονικά και, κυρίως, λειτουργικά προβλήματα. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται συνήθως στις διαφορετικές χρήσεις και αρχιτεκτονικές διατάξεις στους διαφόρους ορόφους, π.χ. μεγάλοι χώροι κατοικιών στους δύο τελευταίους ορόφους, μικρότεροι γραφειακοί χώροι στους μεσαίους ορόφους, ελεύθεροι χώροι καταστημάτων στο ισόγειο και χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων στο υπόγειο.

Εκτός όμως από τις λειτουργικές δυσκολίες, παρουσιάζονται συχνά και μεγάλες τεχνικές δυσκολίες. Αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με τη δυσκολία κατασκευής θεμελιώσεων, ικανών να παραλάβουν τις μεγάλες ροπές βάσης των συνεχών σε όλο το ύψος του κτιρίου αντισεισμικών τοιχωμάτων. Οι δυσκολίες αυτές προέρχονται κυρίως από τη στενότητα χώρου στα υφιστάμενα κτίρια, καθώς και από την αδυναμία πρόσβασης των δομικών μηχανών στις θέσεις έδρασης των τοιχωμάτων αυτών.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω λειτουργικών και τεχνικών δυσχερειών, πολύ συχνά αποφεύγεται από τους μελετητές η ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων μέσω κατακόρυφων αντισεισμικών δίσκων και απεμπολείται έτσι εκ προοιμίου, η δυνατότητα μιας καθοριστικής ανύψωσης του επιπέδου αντισεισμικής επίδοσης του κτιρίου. Αντ' αυτού η πράξη καταφεύγει στην

"κλασική" ενίσχυση των υποστυλωμάτων του κτιρίου μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος, δηλαδή σε μία λύση υψηλού κατασκευαστικού κόστους που συχνά - λόγω των υψηλών απαιτήσεων για την αποτελεσματική υλοποίησή της - διαθέτει αμφίβολη τεχνική αρτιότητα. Γνωστές είναι π.χ. οι δυσκολίες σωστής διαμόρφωσης του οπλισμού των μανδύων στους κρίσιμους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων, όπως επίσης είναι σαφές, ότι μια δυσμενής αντισεισμική διάταξη υποστυλωμάτων εξακολουθεί να παραμένει προβληματική και μετά την τοποθέτηση μανδύων σε αυτά.

Εναλλακτική λύση ενίσχυσης που παρακάμπτει τα παραπάνω προβλήματα, προσφέρει η τοποθέτηση μη συνεχών καθύψος ή/και στο επίπεδο τους τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών συνδέσμων, δηλαδή η τοποθέτηση "μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων". Η τεχνική αυτή, αν και εφαρμόστηκε επανειλημμένα στην πράξη (βλ. ΑΝΑΦΟΡΕΣ), δεν έτυχε μέχρι σήμερα μιας συστηματικής διερεύνησης που να αναδεικνύει με σαφήνεια και να τεκμηριώνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Στην παρούσα εργασία, θεωρώντας ως δεδομένη την υπεροχή των μικτών συστημάτων τοιχωμάτων-πλαisiών έναντι των αμιγώς πλαisiακών κατασκευών, παρουσιάζονται ορισμένα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από μία εκτεταμένη σειρά παραμετρικών επιλύσεων που αφορούσαν στη σύγκριση μεταξύ συνεχών καθύψος τοιχωμάτων και μετατεταγμένων καθύψος τοιχωμάτων. Λόγω του περιορισμένου χώρου, παρουσιάζεται εδώ καταρχάς η βασική ιδέα της συγκεκριμένης τεχνικής, με τη βοήθεια ενός κανονικού επιπέδου πλαisiού με συνεχή και μετατεταγμένη διάταξη δίσκων, και στη συνέχεια παρατίθεται το παράδειγμα ενός τρισδιάστατου προτύπου κτιρίου με σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος, για το οποίο επιζητείται η αύξηση της αντισεισμικής του επίδοσης.

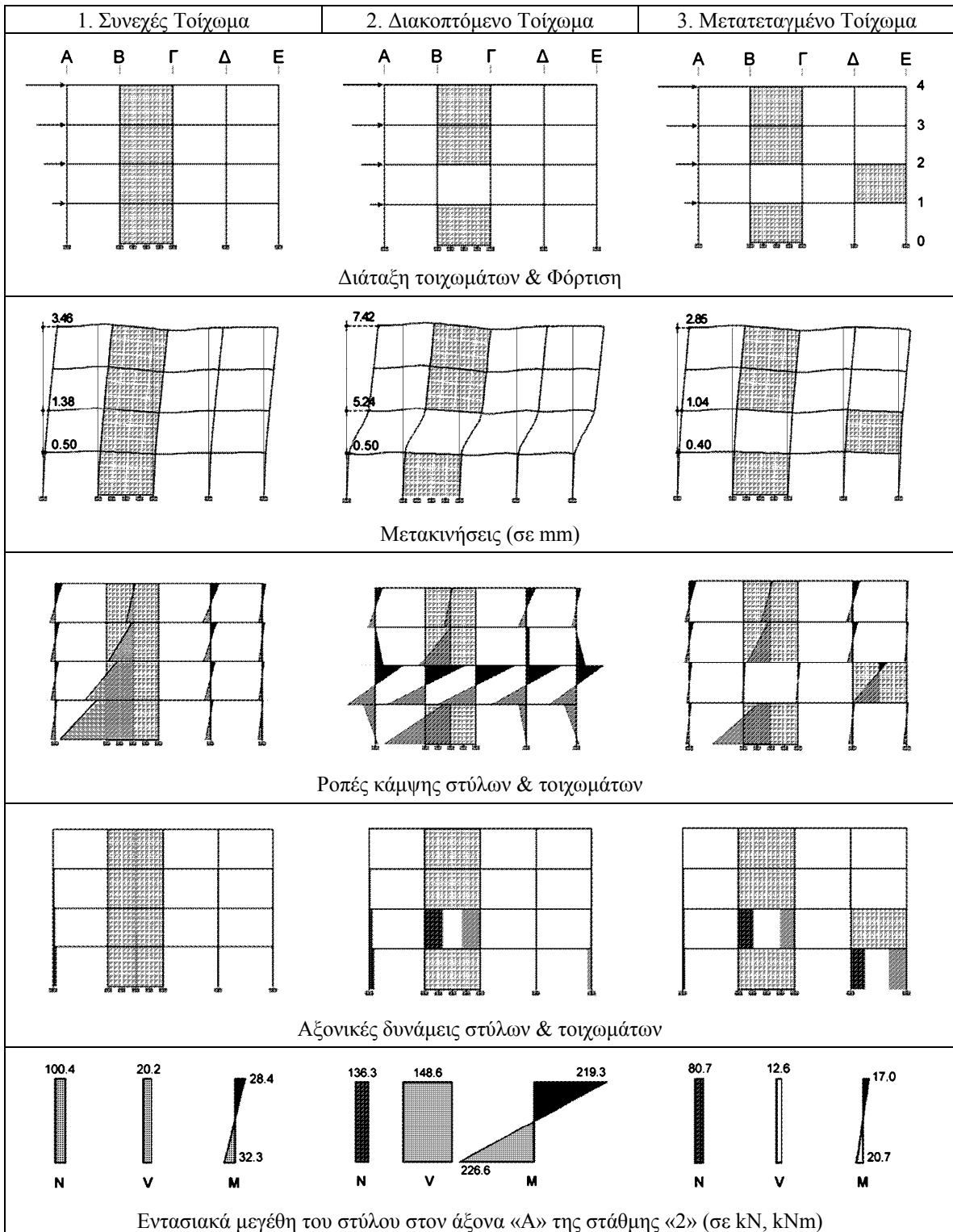
2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η τεχνική των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι σήμερα ισχύουσα πρακτική, σύμφωνα με την οποία η καθόλο το ύψος συνέχεια των αντισεισμικών τοιχωμάτων θεωρείται ως *απαρέγκλιτη* απαίτηση ασχέτως αν πρόκειται για την ενίσχυση ενός υφισταμένου ή για τον σχεδιασμό ενός νέου κτιρίου. Βασική στόχευση της απαίτησης αυτής είναι μεταξύ άλλων η αποφυγή δημιουργίας εύκαμπτου (μαλακού) ορόφου και η εν γένει εξομάλυνση της καθύψος μεταβολής των οριζοντίων μετατοπίσεων των ορόφων. Προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσον η στόχευση αυτή θίγεται από την τοποθέτηση μετατεταγμένων δίσκων, εξετάζεται ως παράδειγμα ένα επίπεδο μικτό πλαίσιο με ένα φατνωματικό τοίχωμα σε τρεις διαφορετικές παραλλαγές διάταξής του: α) της συνεχούς διάταξης, β) της διακοπτόμενης και γ) της μετατεταγμένης διάταξης.

Πρόκειται για ένα πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος τεσσάρων φατνωμάτων και τεσσάρων ορόφων (σταθμών) με διατομές δοκών 25 x 50 cm και υποστυλωμάτων 50 x 50cm. Οι δοκοί του πλαisiού θεωρούνται ατενείς (διαφραγματική λειτουργία). Στο φάτνωμα Β-Γ τοποθετείται τοίχωμα πάχους 20cm. Στην πρώτη εξεταζόμενη περίπτωση το τοίχωμα είναι συνεχές καθύψος, στη δεύτερη διακόπτεται στη στάθμη 2, ενώ στην τρίτη περίπτωση το τοίχωμα της στάθμης 2 έχει μεταταχθεί από το φάτνωμα Β-Γ στο φάτνωμα Δ-Ε (βλ. Σχήμα 1 άνω). Η φόρτιση του πλαisiού είναι οριζόντια, τριγωνική καθύψος και εφαρμόζεται ως αξονικό, γραμμικά κατανομημένο φορτίο στις οριζόντιες δοκούς των αξόνων (ορόφων) 1 έως 4 ($F_1=100.0$ kN, $F_2=200.0$ kN, $F_3=300.0$ kN, $F_4=400.0$ kN).

Αποτελέσματα της στατικής επίλυσης των τριών αυτών φορέων παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Σημειώνεται ότι η προσομοίωση των τοιχωμάτων γίνεται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Μεταξύ του συνεχούς και του διακεκομμένης διάταξης παρατηρείται μια εξαιρετικά μεγάλη *αύξηση* των οριζοντίων μετακινήσεων (+379.0%) και των εντασιακών μεγεθών της στάθμης 2. Π.χ. για τον στύλο Α: μεταβολή της ροπής κατά +772.6% και της τέμνουσας κατά +735.6%. Το γεγονός αυτό ήταν βέβαια αναμενόμενο, λόγω της απότομης μείωσης της δυσκαμψίας της στάθμης αυτής στη

διακοπτόμενη διάταξη (δημιουργία εύκαμπτου - μαλακού - ορόφου λόγω αφαίρεσης του τοιχώματος στον δεύτερο όροφο).



Σχήμα 1. Επίπεδος φορέας: Διερευνηθείσες διατάξεις και εντάσεις λόγω στατικών σεισμικών φορτίων

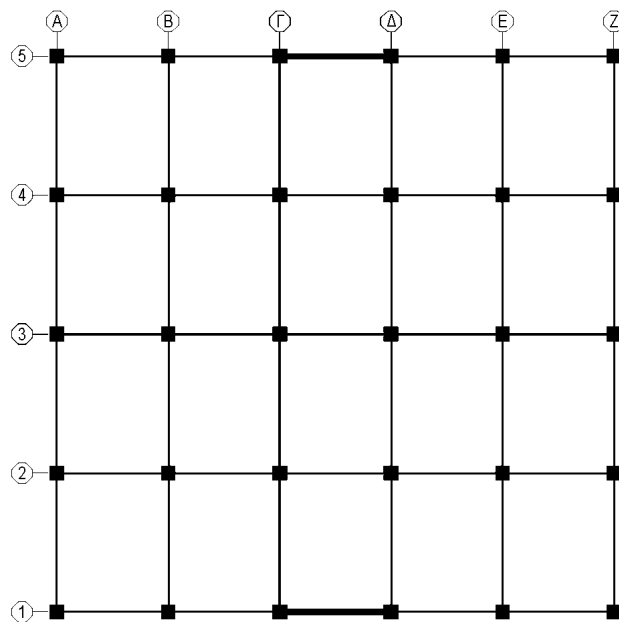
Παρόμοια αύξηση των μετακινήσεων δεν υφίσταται στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος του δευτέρου ορόφου, διότι ναι μεν έχει αφαιρεθεί στη στάθμη 2 το τοίχωμα από το φάνωμα Β-Γ, αλλά η συνολική δυσκαμψία της στάθμης έχει διατηρηθεί, καθότι το ίδιο τοίχωμα επαναποθετήθηκε στο φάνωμα Δ-Ε. Αντίθετα, οι μετακινήσεις εμφανίζουν *μείωση* της τάξης του -25.0%. Αντίστοιχη μείωση παρουσιάζουν και τα εντασιακά μεγεθών τέμνουσας (-37.6%) και ροπής (-40.1%).

Τέλος παρατηρείται, ότι οι αξονικές δυνάμεις (α) των δύο στύλων στους άξονες Β και Γ στην περίπτωση του διακοπόμενου τοιχώματος και (β) των δύο στύλων του ισογείου στους άξονες Δ και Ε στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος παίρνουν μεγάλες τιμές, κάτι που είναι αναμενόμενο λόγω του ότι επί των στύλων αυτών "στηρίζεται" το εκτεινόμενο στους παραπάνω ορόφους τοίχωμα. Εντούτοις, ενώ στην περίπτωση του διακοπόμενου τοιχώματος στους δύο αυτούς στύλους αναπτύσσονται ταυτόχρονα πολύ μεγάλες ροπές, οι ροπές των στύλων του ισογείου στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

3 ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΤΙΡΙΟ

3.1 Διαστάσεις και διατομές

Ως πρότυπο κτίριο για τη διενέργεια των παραμετρικών αναλύσεων επιλέχθηκε ένα 10-ώροφο κτίριο με ύψος ορόφου 3.0 m και εξωτερικές διαστάσεις 20.0 m x 20.0 m. Τα συνολικώς τριάντα υποστυλώματα διατομής 50/50 είναι διατεταγμένα σε ορθογωνικό κάναβο 5x6. Όλες οι δοκοί (φατνώματα) έχουν διατομή κορμού 25/50 με πάχος πλάκας 15 cm.



Σχήμα 2. Χωρικός φορέας: Σκαρίφημα στάθμης 3 – αρίθμηση αξόνων

3.2 Φορτίσεις κτιρίου

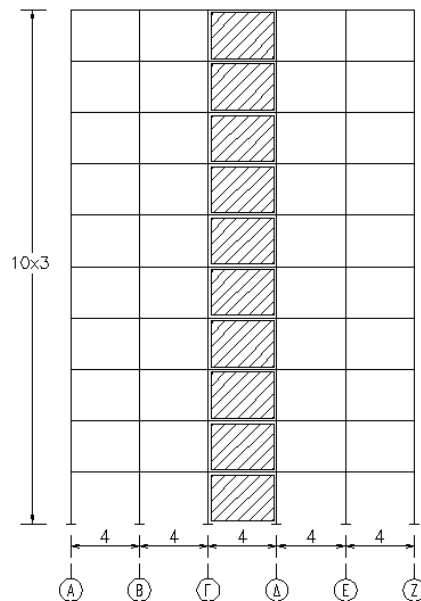
Ως σεισμική φόρτιση του κτιρίου θεωρούνται ομοιόμορφα οριζόντια (αξονικά) στατικά φορτία επί των δοκών που είναι παράλληλες με τον άξονα Χ. Η καθύψος κατανομή των φορτίων είναι τριγωνική και κοινή σε όλες τις στατικές επιλύσεις. Οι τιμές των οριζόντιων σεισμικών φορτίων για τις στάθμες 1 έως 10 είναι : $F_1=250$, $F_2=500$, $F_3=750$, $F_4=1000$, $F_5=1250$, $F_6=1500$, $F_7=1750$, $F_8=2000$, $F_9=2250$ και $F_{10}=2500$ kN.

3.3 Περιγραφή ενισχυτικών τοιχωμάτων

Τα ενισχυτικά τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος έχουν πάχος 20 cm και καταλαμβάνουν όλο το εύρος του φαντώματος στο οποίο τοποθετούνται. Στην πράξη, εφόσον πρόκειται για ενίσχυση υφισταμένης κατασκευής, η σκυροδέτηση των ενισχυτικών τοιχωμάτων γίνεται από υποστύλωμα σε υποστύλωμα και η σύνδεση με τις δοκούς και τα υποστύλωμα εξασφαλίζεται μέσω μεταλλικών βλήτρων (και ρητινών). Σημειώνεται ότι τα τοιχώματα προσομοιώνονται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.

3.4 Τοιχώματα Συνεχούς Διάταξης (Σ)

Στους άξονες 1 & 5 τοποθετούνται στο κτίριο δύο τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 20 cm. Τα τοιχώματα αυτά εμφανίζονται μεταξύ της σειράς Γ και Δ των υποστυλωμάτων και είναι συνεχή σε όλο το ύψος του κτιρίου (βλ. Σχήματα 2 και 3). Ο φορέας είναι διπλά συμμετρικός.

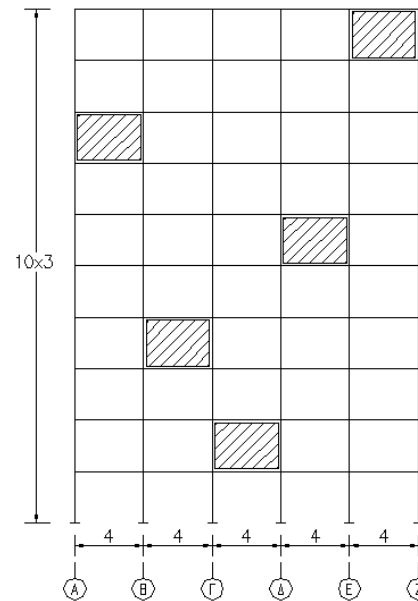
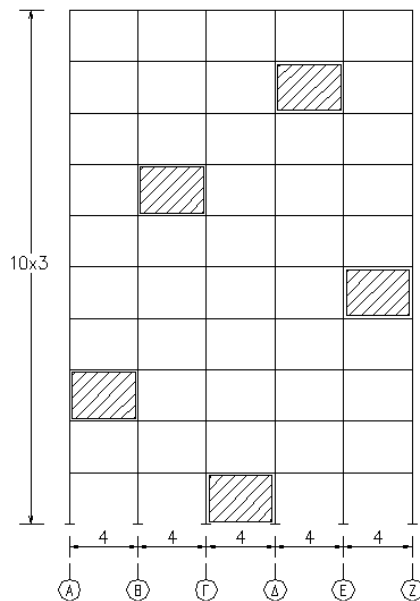


Σχήμα 3. Διάταξη (Σ) - Όψη αξόνων 1 & 5

3.5 Τοιχώματα Μετατεταγμένης Διάταξης (Μ)

Στο κτίριο τοποθετούνται εμφανημένα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Οι θέσεις των τοιχωμάτων σε κάθε πλαίσιο είναι τυχαία υπό τη μόνη προϋπόθεση ότι κάθε στάθμη να διαθέτει δύο τοιχώματα συμμετρικά τοποθετημένα ως προς τον κεντρικό άξονα του κτιρίου. Προκειμένου να διατηρηθεί η συμμετρία ως προς τον οριζόντιο άξονα 3, η διάταξη των μετατεταγμένων

τοιχωμάτων είναι κοινή για τους άξονες 1 & 5 και για τους άξονες 2 & 4 (Σχήματα 4 και 5). Διατομές και φορτίσεις επιλέγονται ακριβώς όπως στη διάταξη (Σ).



4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα μεγέθη που προκύπτουν από τις στατικές αναλύσεις της συνεχούς και της μετατεταγμένης διάταξης είναι τα ακόλουθα:

- οι οριζόντιες μετακινήσεις των ορόφων,
- οι καμπτικές ροπές στύλων και τοιχωμάτων,
- οι διατμητικές δυνάμεις στύλων και τοιχωμάτων,
- οι αξονικές δυνάμεις στύλων και τοιχωμάτων και
- οι εφελκυστικές κύριες δυνάμεις των πλακών ανά όροφο.

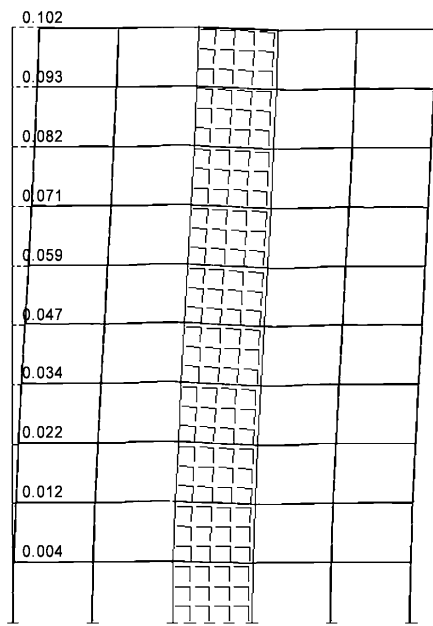
4.1 Οριζόντιες μετατοπίσεις ορόφων (Σχήματα 6 και 7)

Οι οριζόντιες μετατοπίσεις των ορόφων για τους φορείς με μετατεταγμένη διάταξη (M) των ενισχυτικών δίσκων είναι κατά 35-116% μικρότερες από αυτές της συνεχούς διάταξης (Σ).

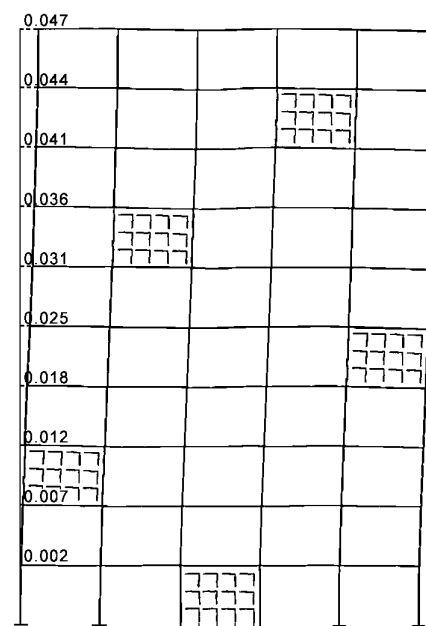
4.2 Καμπτικές ροπές στύλων και τοιχωμάτων (Σχήματα 8, 9 και 10)

Οι ροπές κάμψης των τοιχωμάτων προκύπτουν από την ολοκλήρωση των κυρίων τάσεων των τοιχωμάτων κατά μήκος της διατομής τους και είναι καθοριστικές για τον απαιτούμενο καμπτικό οπλισμό τους.

Στον ισόγειο όροφο, που είναι και ο πλέον σημαντικός, η διαφορά των καμπτικών ροπών της συνεχούς από τη μετατεταγμένη διάταξη είναι συντριπτική: Περίπου 400 % μεγαλύτερη ροπή βάσης στη συνεχή διάταξη. Αυτό έχει προφανώς πολύ μεγάλη πρακτική σημασία, διότι από την ροπή βάσης εξαρτώνται άμεσα οι απαιτούμενες διαστάσεις των θεμελίων των ενισχυτικών τοιχωμάτων. Η καμπτική καταπόνηση των τοιχωμάτων της συνεχούς διάταξης μειώνεται δραστικά στους μεσαίους και υψηλούς ορόφους.

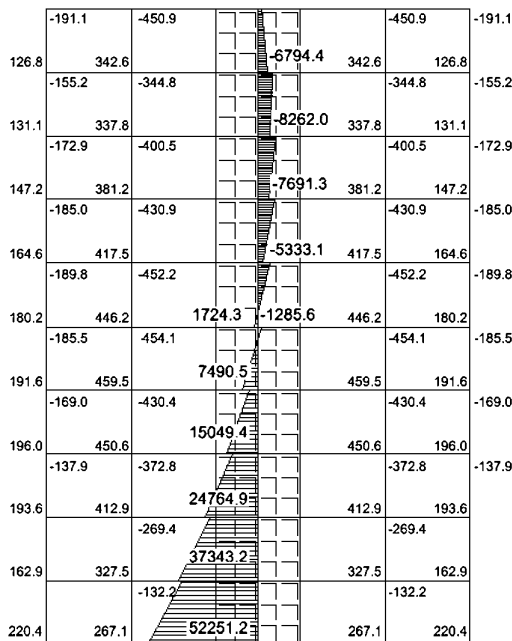


Σχήμα 6. Διάταξη (Σ) - Μετακινήσεις (σε m)

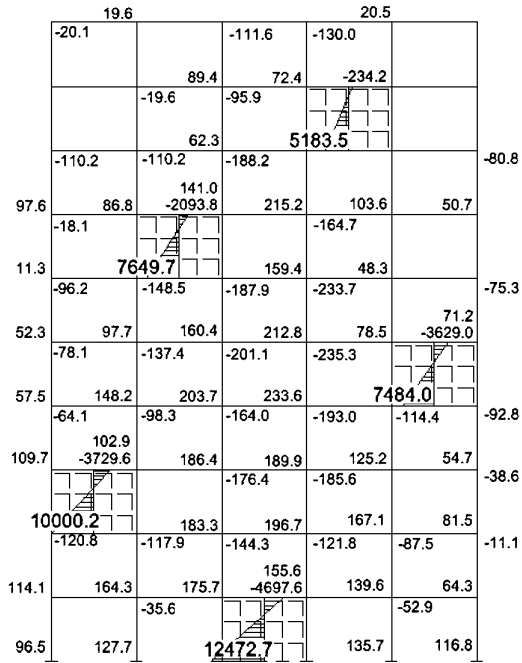


Σχήμα 7. Διάταξη (Μ) - Μετακινήσεις (σε m)

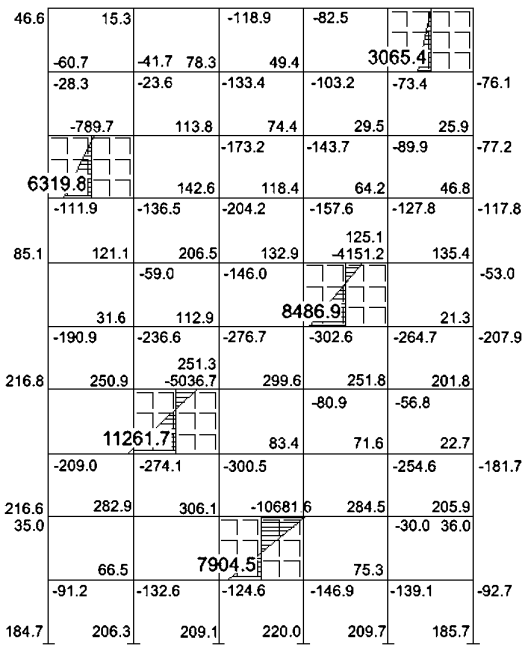
Στις μετατεταγμένες διατάξεις η κατανομή της καταπόνησης των τοιχωμάτων είναι ομαλότερη (Σχήματα 9 και 10) και δεν παρατηρείται η κλασική καθύψος κατανομή της συνεχούς διάταξης (Σχήμα 8) που οφείλεται στη σύζευξη τοιχώματος-πλαισίου. Οι καμπτικές ροπές της μετατεταγμένης διάταξης είναι περίπου το 50% αυτών της συνεχούς διάταξης.



Σχήμα 8. Διάταξη (Σ) - Καμπτικές ροπές άξονα 1



Σχήμα 9. Διάταξη (Μ) - Καμπτικές ροπές άξονα 1

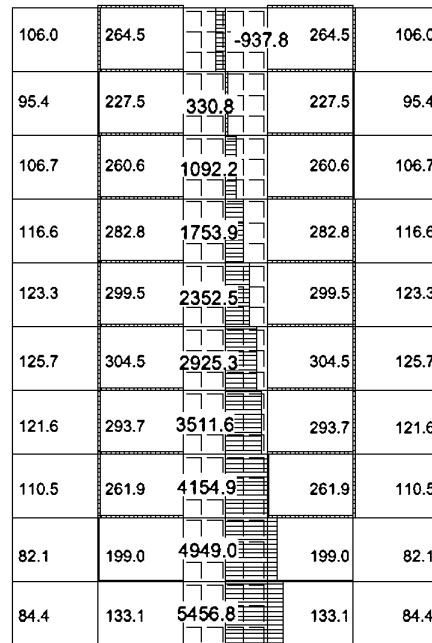


Σχήμα 10. Διάταξη (Μ) - Καμπτικές ροπές άξονα 2

4.3 Διατμητικές δυνάμεις στύλων και τοιχωμάτων (Σχήματα 11, 12 και 13)

Οι διατμητικές δυνάμεις των τοιχωμάτων προκύπτουν από την ολοκλήρωση των κυρίων τάσεων των τοιχωμάτων κατά μήκος της διατομής τους.

Σε αντίθεση με τις ροπές, οι τέμνουσες των ενισχυτικών τοιχωμάτων ανά όροφο δεν εμφανίζουν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ της μετατεταγμένης και της συνεχούς διάταξης.



Σχήμα 11. Διάταξη (Σ) - Διατμητικές δυνάμεις άξονα 1

-13.1		67.0	67.5 -14.3	-6.1	
		52.7	1965.7	-23.3	
69.3	65.6	109.7	149.8	87.7	42.3
	3247.8		108.0	30.68	-8.8
49.5	82.1	116.1	148.8	64.2	42.1
45.2	95.2	134.9	156.3	3704.3	
57.9	67.0	116.8	127.6	79.9	50.0
4576.6		119.9	127.4	103.4	33.6
78.3	94.1	106.6	92.4	75.7	28.3
20.5	54.4	5723.4		62.9	37.3

-35.8	-13.0	65.7	44.0	997.3	
	12.4	82.4	59.2	34.3	34.0
2369.8		105.3	87.3	51.3	41.3
65.7	85.9	136.9	96.8	84.3	84.4
	30.2	86.3	4212.7		24.8
135.9	162.5	176.0	200.7	172.2	136.5
	5432.8		54.8	42.8	13.4
141.9	185.6	202.2	189.5	179.7	129.2
	26.3	6195.4		35.1	
92.0	113.0	111.2	122.3	116.2	92.8

Σχήμα 12. Διάταξη (M) - Διατμητικές δυνάμεις άξονα 1 Σχήμα 13. Διάταξη (M) - Διατμητικές δυνάμεις άξονα 2

4.4 Αξονικές δυνάμεις στύλων και τοιχωμάτων (Σχήματα 14, 15 και 16)

Στη μετατεταγμένη διάταξη, οι αξονικές δυνάμεις των υποστυλωμάτων ακριβώς κάτω από τους μετατεταγμένους δίσκους εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με τους στύλους των ίδιων θέσεων στη συνεχή διάταξη. Έτσι, η αξονική δύναμη και η ροπή π.χ. του γωνιακού στύλου του ισογείου στη διασταύρωση των αξόνων 1 & Z είναι στη μεν μετατεταγμένη διάταξη ίσες με $N=-2794$ kN και $M=116$ kNm, ενώ του αντίστοιχου στύλου της συνεχούς διάταξης είναι $N=-1392$ kN και $M=220$ kNm. Παρατηρείται δηλαδή διπλασιασμός περίπου της αξονικής δύναμης στη μετατεταγμένη διάταξη, αλλά συγχρόνως σημαντική μείωση, στο 50% περίπου, της καμπτικής ροπής. Η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος αυτού σε κάμψη με ορθή δύναμη απαιτεί οπλισμό $A_s=32.7$ cm² για τη μετατεταγμένη διάταξη και $A_s=15.43$ cm² για τη συνεχή.

Ο στύλος της 6^{ης} στάθμης στη διασταύρωση των αξόνων 1 & Γ, στη μετατεταγμένη διάταξη έχει εντασιακά μεγέθη $N=-1524$ kN και $M=160,4$ kNm ενώ ο ίδιος στύλος της συνεχούς διάταξης $N=-558$ kN και $M=446$ kNm. Παρατηρείται δηλαδή τριπλασιασμός περίπου της αξονικής δύναμης στη μετατεταγμένη διάταξη, αλλά συγχρόνως σημαντική μείωση, στο 35% περίπου, της καμπτικής ροπής. Η διαστασιολόγηση του υποστυλώματος αυτού σε κάμψη με ορθή δύναμη απαιτεί οπλισμό $A_s=7.6$ cm² για τη μετατεταγμένη διάταξη και $A_s=49.1$ cm² για τη συνεχή, δηλαδή πολλαπλάσια απαίτηση καμπτικού οπλισμού στη συνεχή διάταξη λόγω μεγαλύτερης καμπτικής ροπής.

4.5 Εφελκυστικές κύριες δυνάμεις των πλακών ανά όροφο (Σχήμα 17),

Οι πλάκες των ορόφων λειτουργούν ως δίσκοι (διαφράγματα) μεταφοράς των οριζοντίων δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία του κτιρίου.

Στις μετατεταγμένες διατάξεις της μη συνεπίπεδης μετάταξης, ο ρόλος της λειτουργίας των διαφραγμάτων των πλακών καθίσταται κρισιμότερος, διότι μέσω των πλακών λειτουργεί η σύζευξη των γειτονικών, μετατεταγμένων κατά επίπεδο τοιχωμάτων. Προκειμένου να υπολογισθεί η καταπόνηση των πλακών ως δίσκων μεταφοράς δυνάμεων, η προσομοίωσή τους γίνεται με επαρκές πλήθος κατάλληλων πεπερασμένων στοιχείων με πεπερασμένες ελαστικές ιδιότητες (όχι ατενές διάφραγμα).

82.8	87.1			-87.1	-82.8
215.7	183.7			-183.7	-215.7
357.9	294.7			-294.7	-357.9
513.2	420.1			-420.1	-513.2
678.6	558.2			-558.2	-678.6
849.1	704.4			-704.4	-849.1
1017.2	851.3			-851.3	-1017.2
1172.6	988.6			-988.6	-1172.6
1301.7	1102.5			-1102.5	-1301.7
1392.9	1170.2			-1170.2	-1392.9

Σχήμα 14. Διάταξη (Σ) - Αξονικές δυνάμεις άξονα 1

22.9	-57.0	138.1	-116.1	5.2	7.1
51.2	-115.8	314.0		-266.8	17.3
105.3	-183.6	483.2	1036.7	-1461.2	18.0
177.0		404.1	920.9	-1511.5	7.1
236.8	2032.6	-1524.1	838.2	-1593.6	5.4
300.1	2029.6	-1437.1	822.5		-1721.8
347.9	2070.4	-1392.1	818.6	856.8	-2706.1
	2539.5	-1398.1	814.8	775.5	-2732.6
3766.5	-1116.9	-1416.2	817.1	715.2	-2765.9
3793.4	-1065.8		-605.7	671.0	-2794.2

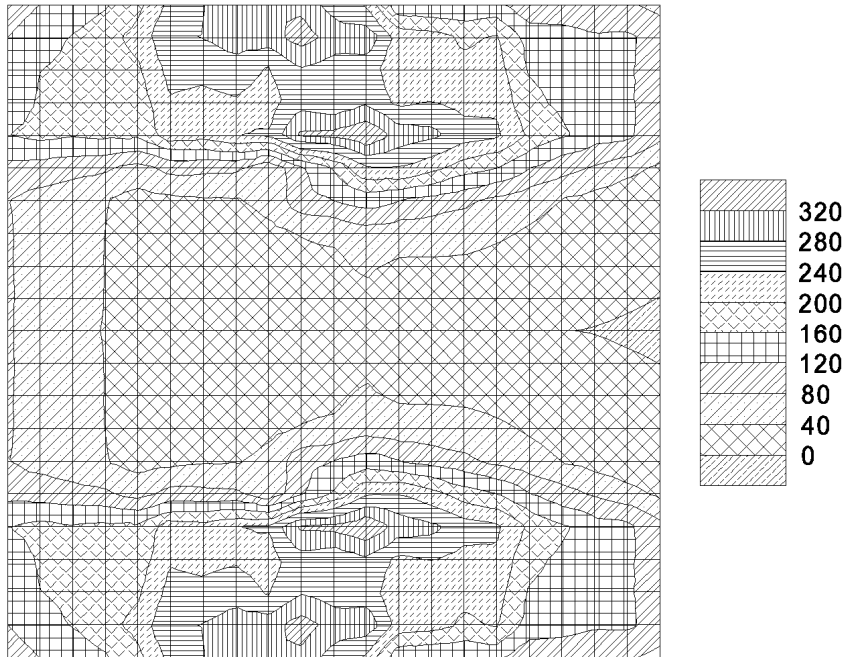
-60.6		45.9	54.2	-93.1	54.3
-117.8		102.5	116.8	-205.6	874.4
	12.6		169.6	-325.6	960.6
1579.9	-1539.6		242.4	-469.5	1086.8
1601.5	-1557.8		368.0	598.2	
1673.1	-1634.4		504.4	-2219.3	-1622.4
1775.8		-1111.6		-2090.6	-1497.0
1886.1	2112.7	-3257.3		2040.6	-1418.8
1980.5	2047.3		-1182.3		-1396.4
2037.6	2028.1		-322.9	-2485.9	-1398.2

Σχήμα 15. Διάταξη (M) - Αξονικές δυνάμεις άξονα 1

Σχήμα 16. Διάταξη (M) - Αξονικές δυνάμεις άξονα 2

Από τις επιλύσεις διαπιστώνεται αύξηση των εφελκυστικών κυρίων δυνάμεων των πλακών της μετατεταγμένης διάταξης σε σχέση με τη συνεχή διάταξη. Η αύξηση αυτή είναι π.χ. στις πλάκες οροφής ισογείου της τάξης του 600%. Η αναλογία αυτή διατηρείται περίπου και στους υπόλοιπους ορόφους πλην των τελευταίων. Γενικώς, ο αυξημένος εφελκυσμός των πλακών δεν δημιουργεί ιδιαίτερο πρόβλημα, διότι η επάρκεια της πλάκας-διαφράγματος σε εφελκυστικές σεισμικές

καταπονήσεις αποκαθίσταται με σχετικά μικρό βαθμό δυσκολίας. Αν, π.χ., ο καμπτικός οπλισμός για την κάλυψη των εφελκυστικών (λόγω κάμψης) δυνάμεων των φατνωμάτων των πλακών της στάθμης 1 είναι $\Phi 8/15$ - S400 και στις δύο διευθύνσεις (σύγκρ. Σχήμα 17), αρκεί πρόσθετος σταυροειδής οπλισμός $\Phi 10/15$ -S500. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να τοποθετηθεί μονόπλευρα της πλάκας: είτε στην επάνω πλευρά των πλακών με έγχυτο σκυρόδεμα είτε στην κάτω πλευρά των πλακών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.



Σχήμα 17. Διάταξη (Μ) - Εφελκυστικές δυνάμεις (kN) πλάκας στάθμης 1

5 ΓΕΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

5.1 Θετικά σημεία της μεθόδου

- Στις μετατεταγμένες διατάξεις (Μ) τόσο οι μετακινήσεις των ορόφων σε απόλυτες τιμές όσο και οι σχετικές μετακινήσεις μεταξύ δύο διαδοχικών ορόφων είναι σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες μετακινήσεις της συνεχούς διάταξης (Σ).
- Στις μετατεταγμένες διατάξεις αίρεται σε μεγάλο βαθμό ή και εκλείπει τελείως η γνωστή εικόνα κατανομής των ροπών στο συνεχές καθύψος τοίχωμα, η οποία οφείλεται στη σύζευξη τοιχώματος-πλαισίου. Στις μετατεταγμένες διατάξεις τα τοιχώματα συμμετέχουν ενεργά στην ανάληψη πλευρικών δυνάμεων σε όλους τους ορόφους του κτιρίου. Συνέπεια της ενεργούς συμμετοχής των τοιχωμάτων στην ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας σε όλους τους ορόφους, είναι η μείωση της καταπόνησης των υποστυλωμάτων των αρχικών πλαισίων.
- Στις μετατεταγμένες διατάξεις παρατηρείται σημαντική μείωση των ροπών πάκτωσης των ενισχυτικών τοιχωμάτων στο έδαφος. Αυτό συνιστά θέμα μείζονος σημασίας σε ενισχύσεις κτιρίων, όπου οι δυνατότητες υλοποίησης ισχυρών θεμελιώσεων είναι περιορισμένες.

5.2 Αρνητικά σημεία της μεθόδου

- Στις μετατεταγμένες διατάξεις οι πλάκες των ορόφων έχουν σημαντική συμμετοχή στη μεταφορά της σεισμικής φόρτισης στα παράλληλα μεταξύ τους μετατεταγμένα τοιχώματα, διότι καταπονούνται στο επίπεδο τους ως οριζόντιοι δίσκοι. Οι αναπτυσσόμενες εντός του επιπέδου

των πλακών εφελκυστικές δυνάμεις πιθανώς να μην καλύπτονται από τον υφιστάμενο καμπτικό τους οπλισμό (που υπολογίστηκε για να καλύψει την καμπτική τους λειτουργία και μόνον). Εντούτοις, οι ενδεχομένως απαιτούμενες ενισχύσεις παραλαβής πρόσθετων εφελκυστικών δυνάμεων υλοποιούνται εύκολα και μπορούν να γίνουν μονόπλευρα (στην επάνω ή στην κάτω πλευρά της υφιστάμενης πλάκας).

- Οι αξονικές δυνάμεις των υποστυλωμάτων ακριβώς κάτω από τα μετατεταγμένα τοιχώματα είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα αντίστοιχα στοιχεία της συνεχούς διάταξης. Συγχρόνως όμως, οι καμπτικές ροπές των υποστυλωμάτων της μετατεταγμένης διάταξης είναι μικρότερες αυτών της συνεχούς διάταξης. Κατά συνέπεια, ο απαιτούμενος οπλισμός για την εξασφάλιση επαρκούς αντοχής των υποστυλωμάτων δεν είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερος στη μετατεταγμένη διάταξη. Αντίθετα, ενδέχεται σε πολλές περιπτώσεις να απαιτείται λιγότερος οπλισμός. Σε κάθε περίπτωση, η ενίσχυση ενός υποστυλώματος καταπονούμενου κυρίως σε θλίψη είναι σημαντικά απλούστερη και περισσότερο αξιόπιστη από την ενίσχυση ενός υποστυλώματος καταπονούμενου κυρίως σε κάμψη.

5.3 Επίλογος

Στην παρούσα εργασία τεκμηριώνεται το γεγονός, ότι η τεχνική των μετατεταγμένων τοιχωμάτων συνιστά μια τεχνικώς εφικτή και ταυτόχρονα ευέλικτη και πρακτική λύση στο πρόβλημα της ενίσχυσης υφισταμένων κτιρίων. Στις περιπτώσεις όπου η συνεχής καθύψος τοποθέτηση τοιχωμάτων δεν είναι δυνατή, η τεχνική αυτή προσφέρει έναν εναλλακτικό τρόπο ενίσχυσης έναντι της τεχνικής της ενίσχυσης των υφισταμένων υποστυλωμάτων με μανδύες.

Σημειώνεται, ότι η διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της τεχνικής των μετατεταγμένων δίσκων βρίσκεται υπό εξέλιξη. Ειδικότερα, μελετώνται οι περιπτώσεις υφισταμένων κτιρίων με έντονες ασυμμετρίες, για τα οποία εξετάζονται οι δυνατότητες μείωσης ή και πλήρους άρσης της στρεπτικής σεισμικής καταπόνησής τους μέσω κατάλληλης τοποθέτησης μετατεταγμένων καθύψος τοιχωμάτων.

Παράλληλα με τις διερευνήσεις μετατεταγμένων διατάξεων υπό στατικά σεισμικά φορτία, διερευνάται και η δυναμική συμπεριφορά τους με τη βοήθεια δυναμικών φασματικών αναλύσεων βάσει του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού.

Τέλος, σε εξέλιξη βρίσκεται και η διερεύνηση της ανελαστικής συμπεριφοράς κτιρίων ενισχυμένων με μετατεταγμένες διατάξεις τοιχωμάτων με τη βοήθεια μη γραμμικών χρονολογικών καθώς και υπερωθητικών αναλύσεων.

6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

A. Αθανατοπούλου, Π. Παπαδόπουλος : Σεισμική συμπεριφορά με αντισεισμικά τοιχώματα τυχαίας καθ' ύψος τοπολογίας . TEE-12^ο Ελληνικό Συνέδριο σκυροδέματος.

P.Papadopoulou – A.Athanatopoulou : Seismic Behavior Of Dual Systems With In-Plane Discontinuities – 12th European Conference On Earthquake Engineering.

Φ.Βασιλάκης, Α.Μαριδάκης : Χωροδικτυωτή στατική λειτουργία πολυωρόφων κτιρίων σε σεισμό. TEE-7^ο Ελληνικό Συνέδριο σκυροδέματος.

John B. Scalzi : The Staggered Truss System — Structural Considerations. AISC National Engineering Conference, Cleveland, Ohio, May 6-7, 1971.

R.E. Leffler : Calculation of Wind Drift in Staggered-Truss Buildings. Engineering Journal - American Institute Of Steel Construction . First Quarter / 1983.

Michael P. Cohen. Design Solutions Utilizing the Staggered-steel Truss System . Engineering Journal / American Institute Of Steel Construction . Third Quarter / 1986.