

## Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία

Application of the staggered-shear-wall technique to strengthen existing buildings with weak seismic layout

Ε.Ν. ΜΠΑΜΠΟΥΚΑΣ<sup>1</sup>, Ι. Ε. ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ<sup>2</sup>

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος υφισταμένων κτιρίων, συνήθως με πλαίσιακό φ/ο από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία είχαν μελετηθεί βάσει παλαιότερης τεχνογνωσίας και με κανονισμούς που δεν απέκλειαν μια δυσμενή αντισεισμική μορφολογία. Κατά την ενίσχυση τέτοιου είδους κτιρίων η τοποθέτηση τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να προσφέρει πολύ θετικά αποτελέσματα, καθότι μπορεί να ανατάξει πλήρως την αντισεισμική μορφολογία των κτιρίων αυτών. Η τοποθέτηση όμως συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων προσκρούσει πολύ συχνά σε λειτουργικά προβλήματα αξεπέραστα, έτσι ώστε τελικά οι ενισχύσεις των κτιρίων αυτών να πραγματοποιούνται με την "κλασική" μέθοδο της μανδύωσης του πλαίσιακού σκελετού. Η λύση αυτή ενισχύει μεν τα επί μέρους δομικά στοιχεία, χωρίς όμως να βελτιώνει τη μορφολογία του φ/ο. Αντίθετα, η τεχνική των μετατεταγμένων δίσκων προσφέρει βελτίωση της αντισεισμικής μορφολογίας και γενικότερα βελτιωμένους δείκτες αντισεισμικής συμπεριφοράς των ενισχυμένων κτιρίων. Επιπλέον, λόγω της εν γένει ευελιξίας της, είναι δυνατόν να προσαρμόζεται εύκολα στις λειτουργικές απαιτήσεις των υφισταμένων κτιρίων. Στην παρούσα εργασία γίνεται εισαγωγικά μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου και δίνεται μια απλή ερμηνεία του μηχανικού της υποβάθρου. Στη συνέχεια, μέσω ενός παραδείγματος της πράξης, εξετάζεται η περίπτωση ενισχύσεων αντισεισμικώς ακατάλληλα διαμορφωμένων κτιρίων, των οποίων οι λειτουργικές δεσμεύσεις δεν επιτρέπουν την τοποθέτηση συνεχών καθ' όλο το ύψος νέων τοιχωμάτων. Εξετάζονται οι περιπτώσεις ενίσχυσης μέσω κατακόρυφων μετατεταγμένων δίσκων κατασκευασμένων από τοιχώματα Ο/Σ, αλλά και μέσω μεταλλικών δικτυωτών συνδέσμων. Η προτεινόμενη τεχνική εξετάζεται σε αντιδιαστολή προς την κλασική μέθοδο ενίσχυσης με μανδύωση των δομικών στοιχείων του πλαίσιακού σκελετού.

**ABSTRACT :** There is a quite large number of existing buildings, usually constructed as r/c frame structures and designed on the basis of older seismic codes, which, therefore, have an adverse seismic layout. For the strengthening of such buildings, the use of r/c shear walls offers great benefits, because their proper arrangement can reshape the total structural layout, thus improving their overall antiseismic capacity.

<sup>1</sup> Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός – ΧΩΡΟΔΟΜΗ Ο.Ε., email: [emmbab@tol.com.gr](mailto:emmbab@tol.com.gr)

<sup>2</sup> Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: [avram@civil.auth.gr](mailto:avram@civil.auth.gr)

Often, the addition of continuous shear walls to an existing building, i.e. shear walls continuously extending from the foundation up to the top of the building, confronts the engineer with serviceability restrictions which cannot be overcome. This difficulty most often leads to the use of other, conventional, strengthening techniques like column jacket reinforcements. Such methods, though they offer additional member strength, do not notably enhance the overall seismic layout. In contrast, the staggered-shear-wall (or shear-panel) technique offers both a structural layout enhancement and an improvement of all seismic indexes. Due to its general flexibility, the serviceability restrictions of the existing buildings can be easily surpassed. In this paper a brief description of this technique is presented, followed by its application to an asymmetrical existing building whose serviceability restrictions make the arrangement of continuous shear walls impossible. The staggered shear panels can be substantiated either as staggered r/c shear walls or as staggered steel X-braced frames. In addition, the results of the proposed technique are compared to those of the "classical" column jacket reinforcement technique. The comparison refers on the one hand to the method's effectiveness concerning the improvement of the building's seismic capacity and on the other hand to construction cost of the necessary retrofitting measures.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστά τα οφέλη που προκύπτουν για υφιστάμενα κτίρια με αρχικό στατικό σύστημα αποτελούμενο από αμιγώς πλαισιακούς φορείς μετά την τοποθέτηση σε αυτά πρόσθετων τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών συνδέσμων. Οι κατακόρυφοι αυτοί δίσκοι μπορούν να προσφέρουν ευεργετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην αντισεισμική ασφάλεια των κτιρίων αυτών, όπως σημαντική μείωση των σχετικών και των απόλυτων μετακινήσεων των ορόφων λόγω των οριζόντιων αδρανειακών σεισμικών δυνάμεων με παράλληλη ουσιαστική αύξηση της αντοχής του φέροντος οργανισμού. Με την τοποθέτηση των νέων κατακόρυφων αυτών δίσκων μπορεί επίσης να βελτιωθεί ριζικά η αντισεισμική μορφολογία των κτιρίων και να αρθούν έτσι τυχόν μορφολογικές αδυναμίες του αρχικού σκελετού, όπως π.χ. εύκαμπτοι (μαλακοί) ή μειωμένης αντοχής (ασθενείς) όροφοι, κοντά υποστυλώματα, έντονη εκκεντρότητα κατόψεων κ.ά., ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μειωθεί και η επιρροή της (γενικά) ανεξέλεγκτης αντισεισμικής συνεισφοράς της τοιχοποιίας.

Παρόλα αυτά, η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος ενισχυτικών τοιχωμάτων προσκρούει συχνά στην καθημερινή δομική πράξη σε αζετέραστα αρχιτεκτονικά και λειτουργικά προβλήματα. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται συνήθως στις διαφορετικές χρήσεις και αρχιτεκτονικές διατάξεις των διαφόρων ορόφων, όπως καταστημάτων στο ισόγειο, γραφειακών χώρων στους ενδιάμεσους ορόφους και κατοικιών (συχνά σε εσοχές) στους τελευταίους ορόφους.

Η (φυσική) συνέπεια των παραπάνω δυσχερειών είναι, πολύ συχνά, να αποφεύγεται από τους μηχανικούς η ενίσχυση των υφισταμένων κτιρίων μέσω κατακόρυφων αντισεισμικών δίσκων και να απεμπολείται έτσι η δυνατότητα μιας καθοριστικής ανύψωσης του επιπέδου αντισεισμικής επίδοσης ενός κτιρίου. Αντί αυτού η πράξη καταφεύγει στην "κλασική" ενίσχυση των υποστυλωμάτων των κτιρίων μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτή είναι μια 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 καθοριστικής σημασίας κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων, όπως επίσης είναι σαφές ότι μια

δυσμενής αντισεισμική διάταξη υποστυλωμάτων εξακολουθεί στις περισσότερες των περιπτώσεων να παραμένει προβληματική και μετά την τοποθέτηση μανδουών σε αυτά. Εναλλακτική λύση ενίσχυσης που παρακάμπτει τα παραπάνω προβλήματα προσφέρει η τοποθέτηση μη συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή μεταλλικών συνδέσμων, δηλαδή η τοποθέτηση "μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων". Η τεχνική αυτή βρίσκει ήδη εφαρμογή στη δομική πράξη προσφέροντας πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συνήθων τρόπων ενίσχυσης. Στην παρούσα εργασία δίνεται εισαγωγικά μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου. Στη συνέχεια εξετάζεται, μέσω ενός παραδείγματος της πράξης, η περίπτωση της ενίσχυσης ενός αντισεισμικώς ακατάλληλα διαμορφωμένου κτιρίου, του οποίου οι υφιστάμενες λειτουργικές δεσμεύσεις καθιστούν απαγορευτική την ενίσχυσή του με τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος πρόσθετων τοιχωμάτων. Καταδεικνύεται ότι μέσω της τεχνικής ενίσχυσης των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων, είτε από οπλισμένο σκυροδέμα είτε από μεταλλικούς (χιαστί) συνδέσμους, μπορούν να απαλειφθούν οι αρνητικές συνέπειες της μειονεκτικής αρχικής του μορφολογίας και ταυτόχρονα να εξυπηρετηθούν οι λειτουργικές δεσμεύσεις του κτιρίου. Συνεπώς, μέσω της προτεινόμενης τεχνικής, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της αντισεισμικής επίδοσης ενός αρχικά προβληματικού από αντισεισμικής άποψης κτιρίου.

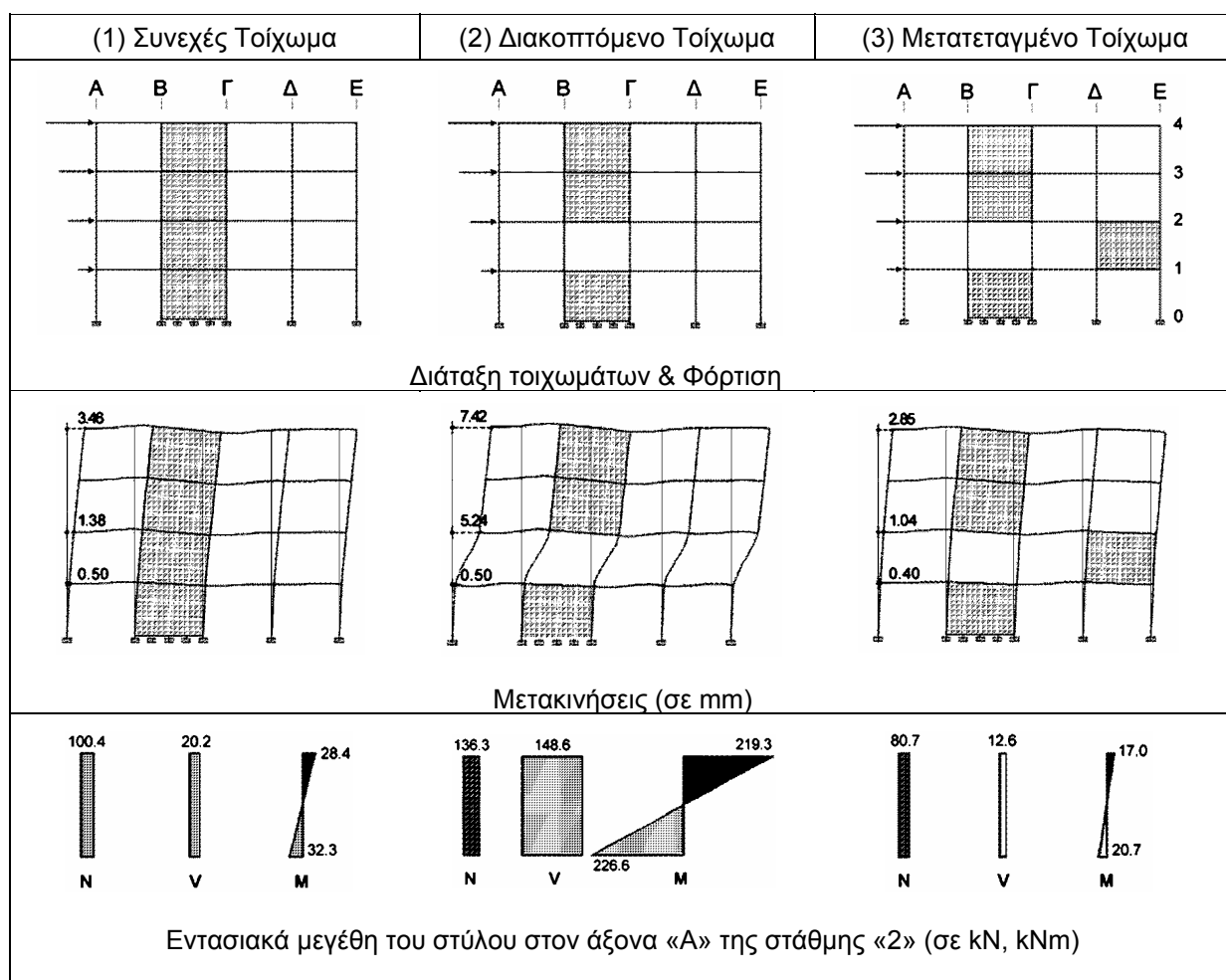
## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η τεχνική των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι σήμερα ισχύουσα πρακτική, σύμφωνα με την οποία η καθ' όλο το ύψος συνέχεια των αντισεισμικών τοιχωμάτων θεωρείται ως απαρύγκλιτη 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 καθ' ύψος μεταβολής των οριζοντίων μετατοπίσεων των ορόφων. Προκειμένου να ελεγχθεί επί της αρχής κατά πόσον η στόχευση αυτή θίγεται από την τοποθέτηση μετατεταγμένων δίσκων, εξετάζεται εδώ ως παράδειγμα ένα επίπεδο μικτό πλαίσιο με ένα φαντωματικό τοίχωμα σε τρεις διαφορετικές παραλλαγές διάταξής του: (1) «συνεχής διάταξη», (2) «διακοπτόμενη (καθ' ύψος) διάταξη» και (3) «μετατεταγμένη διάταξη» (βλ. Σχήμα 1).

Πρόκειται για ένα πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος τεσσάρων φαντωμάτων και τεσσάρων ορόφων (σταθμών) με διατομές δοκών 25x50cm και υποστυλωμάτων 50x50 cm. Οι δοκοί του πλαισίου θεωρούνται ατενείς (διαφραγματική λειτουργία). Στο φάντωμα Β-Γ τοποθετείται τοίχωμα πάχους 20cm. Στην πρώτη εξεταζόμενη περίπτωση το τοίχωμα είναι συνεχές καθ' ύψος, στη δεύτερη διακόπτεται στη στάθμη 2, ενώ στην τρίτη περίπτωση το τοίχωμα της στάθμης 2 έχει μεταταχθεί από το φάντωμα Β-Γ στο φάντωμα Δ-Ε (βλ. Σχήμα 1 άνω). Η φόρτιση του πλαισίου είναι οριζόντια και τριγωνική καθ' ύψος, εφαρμόζεται δε ως γραμμικά κατανεμημένο κεντροβαρικό φορτίο στις οριζόντιες δοκούς ορόφων 1 έως 4 ( $F_1=100.0$  kN,  $F_2=200.0$  kN,  $F_3=300.0$  kN,  $F_4=400.0$  kN).

Ορισμένα χαρακτηριστικά αποτελέσματα της στατικής επίλυσης των τριών αυτών φορέων παρουσιάζονται στο Σχήμα 1. Σημειώνεται ότι η προσομοίωση των τοιχωμάτων γίνεται χάριν μεγαλύτερης ακρίβειας με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία (και όχι με ισοδύναμα πλαίσια). Μεταξύ της συνεχούς (1) και της διακεκομμένης (2) διάταξης παρατηρείται μια εξαιρετικά μεγάλη αύξηση των οριζοντίων μετακινήσεων +114.5% και των εντασιακών μεγεθών της στάθμης 2. Π.χ. για τον στύλο Α: μεταβολή της ροπής κατά +672.2% και της

τέμνουσας κατά +635.6%. 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).

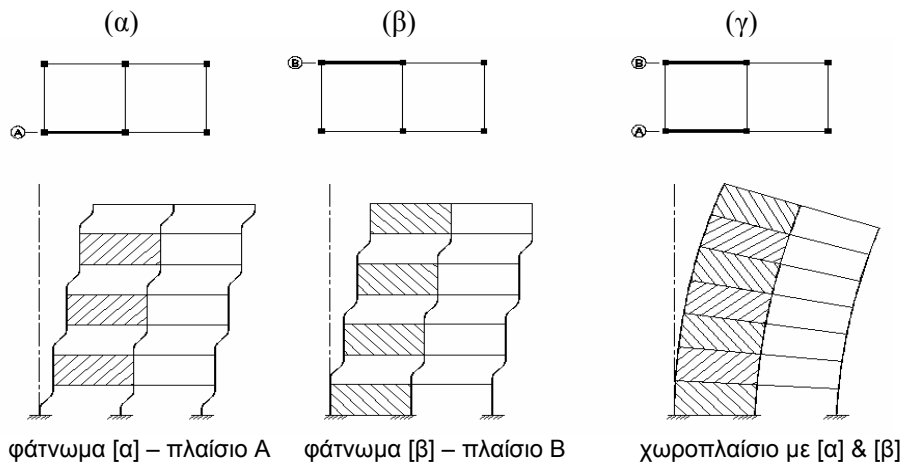


**Σχήμα 1.** Επίπεδος φορέας: Διερευνηθείσες διατάξεις ενισχυτικού τοιχώματος. Μετακινήσεις και εντάσεις λόγω στατικών σεισμικών φορτίων.

Αξιοσημείωτο είναι ότι παρόμοια αύξηση των μετακινήσεων δεν υφίσταται στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος του δεύτερου ορόφου, διότι ναί 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 επανατοποθετήθηκε στο φάνωμα Δ-Ε. Αντίθετα, οι μετακινήσεις της διάταξης (3) εμφανίζουν μείωση της τάξης του -17.6% έναντι της συνεχούς διάταξης (1). Αντίστοιχη μείωση παρουσιάζουν και τα εντασιακά μεγέθη τέμνουσας (-37.6%) και ροπής (-40.1%).

Επίσης παρατηρείται ότι οι αξονικές δυνάμεις των δύο στύλων στους άξονες Β και Γ στην περίπτωση του διακοπτόμενου τοιχώματος (2) και των δύο στύλων του ισογείου στους άξονες Δ και Ε στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος (3) παίρνουν μεγάλες τιμές, κάτι που είναι αναμενόμενο αφού επί των στύλων αυτών "στηρίζεται" το συνεχιζόμενο στους παραπάνω ορόφους τοίχωμα. Εντούτοις, ενώ στην περίπτωση του διακοπτόμενου τοιχώματος (2) στους δύο αυτούς στύλους αναπτύσσονται ταυτόχρονα και πολύ μεγάλες ροπές, οι ροπές των στύλων του ισογείου στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος (3) παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Η ερμηνεία της στατικής αυτής συμπεριφοράς φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.** Συμπεριφορά χωροπλαισίου ενισχυμένου με κατακόρυφους μετατεταγμένους δίσκους.

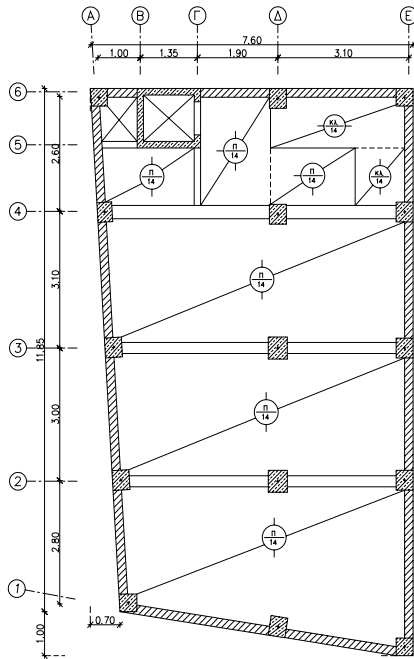
Θεωρούμε ότι ένα χωροπλάισιο ενισχύεται με μετατεταγμένη διάταξη εμφατωμένων δίσκων σε δύο διαφορετικά φαντώματα [α] και [β] και με εναλλασσόμενη καθ' ύψος τοποθέτηση των δίσκων αυτών. Τα φαντώματα [α] και [β] μπορεί να ανήκουν στο ίδιο πολύστιλο επίπεδο πλαίσιο (όντας γειτονικά ή μη γειτονικά) ή να ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα πλαίσια Α και Β (γειτονικά ή μη) του χωρικού φορέα. Κάθε φάτνωμα [α] ή [β] (ή το αντίστοιχο επίπεδο πλαίσιο Α ή Β), θεωρούμενο ως ανεξάρτητο και μεμονωμένο, παραμορφώνεται υπό οριζόντια φορτία με τη μορφή που φαίνεται στα υποσχήματα (α) και (β), δηλαδή εμφανίζει την κλασική («διατμητικού» τύπου) συμπεριφορά πλαισίων με άκαμπτα ζυγώματα επί ευκάμπτων στύλων. Όταν όμως τα δύο επίπεδα πλαίσια Α και Β αποτελούν τμήματα του ίδιου χωρικού πλαισιακού κτιριακού φορέα, όπως φαίνεται στο υποσχήμα (γ), η λειτουργία του οριζοντίου διαφράγματος των πλακών των ορόφων του κτιρίου εμποδίζει τις διατμητικού τύπου σχετικές οριζόντιες μετατοπίσεις μεταξύ των ορόφων, επιβάλλοντας έτσι συμβατότητα των οριζόντιων μετατοπίσεων καθ' όλο το μήκος (εύρος) του χωροπλαισίου. Ως αποτέλεσμα αυτού προκύπτει μια ομαλή καθ' ύψος καμπτικού τύπου παραμόρφωση των στύλων σε όλα τα φαντώματα.

## **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**

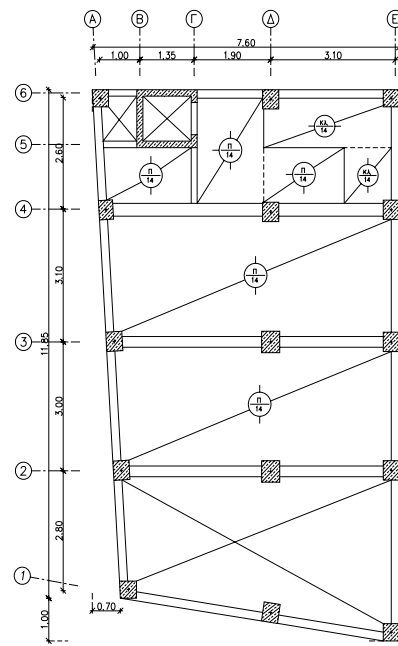
Πρόκειται για ένα κτίριο κατασκευής 1978. Διαθέτει υπόγειο όροφο και πέντε υπέργειους ορόφους με συνολικό ύψος κτιρίου 14.50 m. Ο τελευταίος όροφος βρίσκεται σε εσοχή, ενώ ο πρώτος υπέργειος όροφος είναι πατάρι και καλύπτει ένα μέρος μόνο της κάτοψης του κτιρίου. Στο ισόγειο του κτιρίου λειτουργεί κατάστημα εμπορίας ειδών ένδυσης με υάλινες προθήκες των εμπορευμάτων του στους άξονες 1/Α-Ε και Ε/7-3. Στον δεύτερο υπέργειο όροφο υπάρχει ενιαίος γραφειακός χώρος μεταξύ των αξόνων 1-3, ενώ στον τρίτο όροφο, ο οποίος επίσης λειτουργεί ως χώρος γραφείων, υπάρχει ήδη διαχωριστική τοιχοποιία στον άξονα 2/Α-Δ. Στον τελευταίο όροφο (ρετιρέ) στεγάζεται κατοικία με μεγάλη πρόσοψη υαλοπινάκων στον άξονα 2. Τα υλικά κατασκευής του κτιρίου είναι: Σκυρόδεμα Β225, διαμήκης χάλυβας StIII και χάλυβας συνδετήρων StI.

Το οξύ πρόβλημα της αντισεισμικής μορφολογίας στο συγκεκριμένο κτίριο προέρχεται από την ύπαρξη ενός πυρήνα ανελκυστήρα στη μία γωνία της περιμέτρου του. Το ισχυρό αυτό

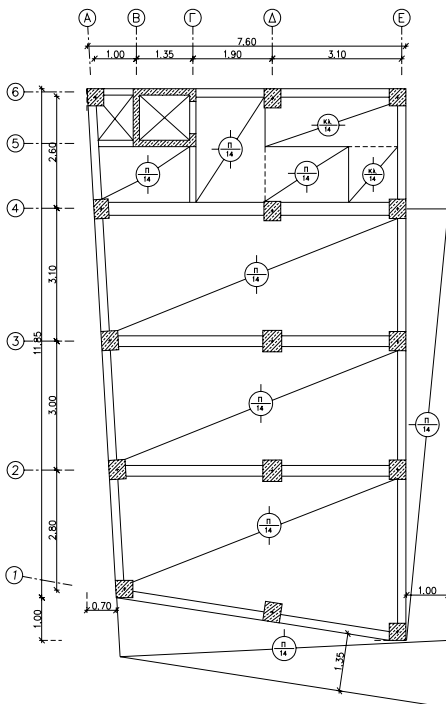
δομικό στοιχείο αυτό καθορίζει τη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου, καθότι στην Χ- διεύθυνση της σεισμικής δράσης η ενιαία διατομή του πυρήνα διαθέτει δυσκαμψία δέκα φορές μεγαλύτερη από το άθροισμα όλων των δυσκαμψιών των υποστυλωμάτων ενός ορόφου (1803 kN/m του πυρήνα έναντι 176,3 kN/m του αθροίσματος των δυσκαμψιών των υποστυλωμάτων). Η ύπαρξη του πυρήνα αυτού στη μια γωνία του κτιρίου προκαλεί έντονη στροφή των ορόφων, με αποτέλεσμα την πολύ δυσμενή καταπόνηση των περιμετρικών υποστυλωμάτων.



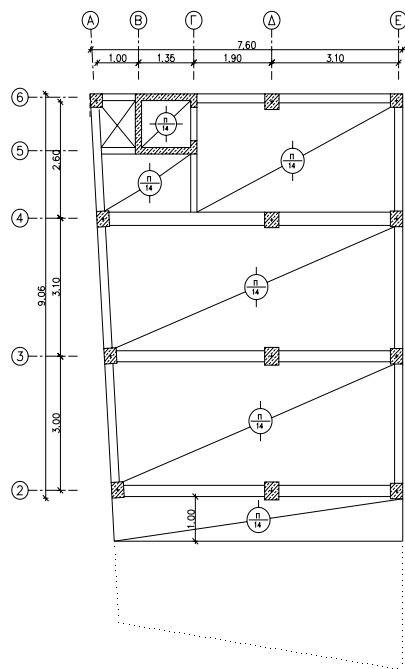
ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ



ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ 1ου ΟΡΟΦΟΥ (ΗΜΙΟΡΟΦΟΣ)



ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΤΥΠΙΚΟΥ 2ου, 3ου & 4ου ΟΡΟΦΟΥ



ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ 5ου ΟΡΟΦΟΥ

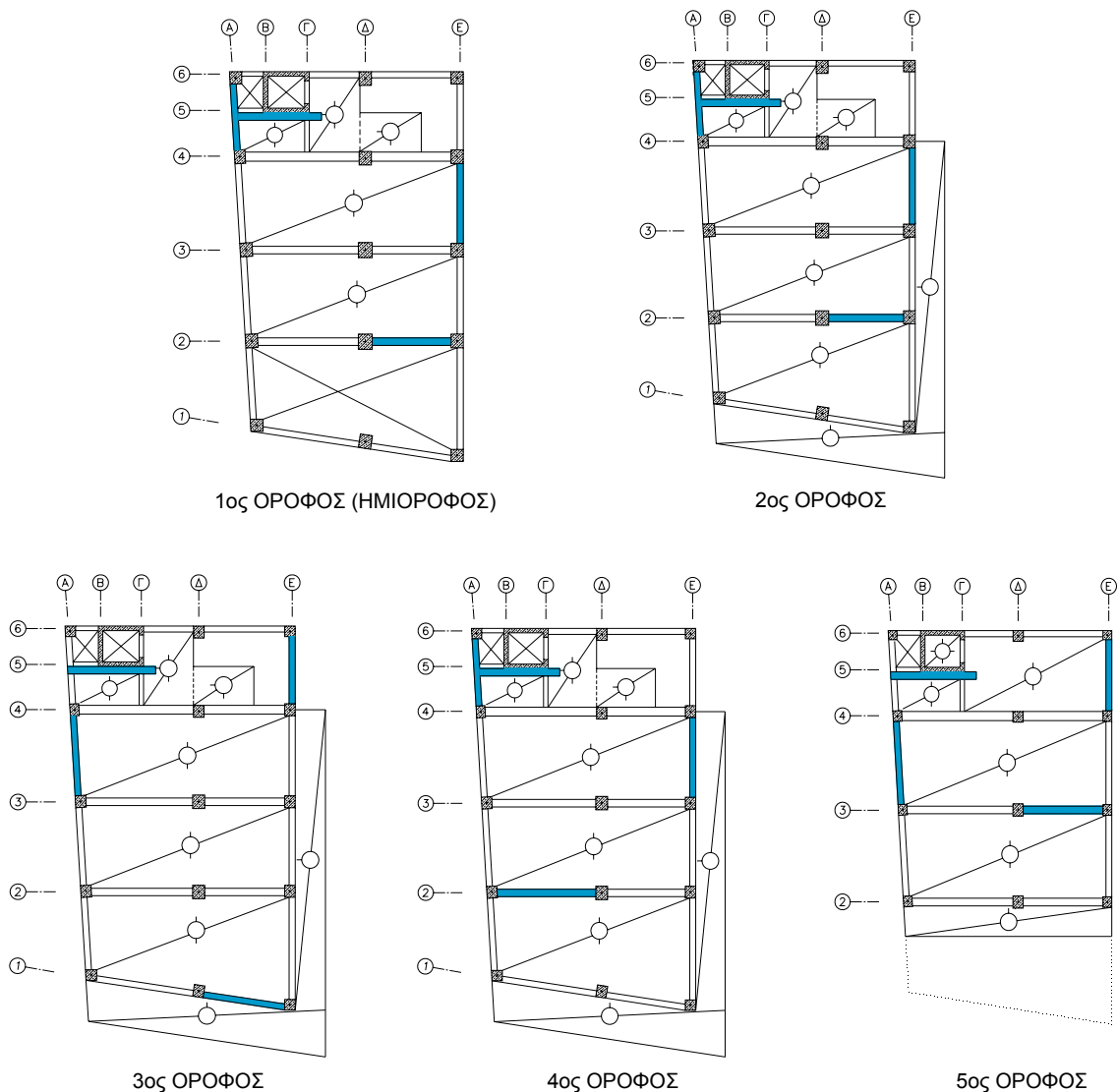
Σχήμα 3. Σκαριφήματα ξυλοτύπων υφιστάμενου κτιρίου.

## Μέθοδοι Ενίσχυσης

Λόγω των προαναφερθεισών στην εισαγωγή λειτουργικών δεσμεύσεων, η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων στο υπό ενίσχυση κτίριο είναι απαγορευτική. Συνεπώς, από τις γνωστές συμβατικές μεθόδους ενίσχυσης δεν μπορεί παρά, κατά κάποιο τρόπο «νομοτελειακά», να εφαρμοστεί η ενίσχυση του υφιστάμενου πλαίσιακού σκελετού μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος (στα υποστυλώματα και στις δοκούς). Με τη λύση αυτή, ενισχύονται μεν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, το βασικό όμως αίτιο που δημιουργεί το σοβαρό αντισεισμικό έλλειμμα της κατασκευής, δηλαδή η αδόκιμη και ανεπαρκής αντισεισμική του μορφολογία, εξακολουθεί να παραμένει.

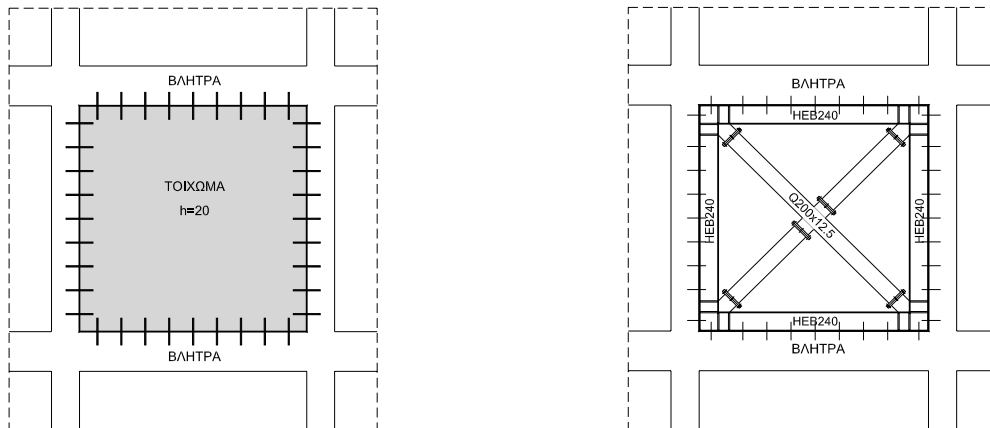
Λύση, η οποία να αποκαθιστά την αντισεισμική επάρκεια του κτιρίου εξαλείφοντας τη βασική πηγή της αδυναμίας αυτής χωρίς συγχρόνως να δημιουργεί αξεπέραστα εμπόδια στην καθημερινή λειτουργία του κτιρίου, είναι η λύση της μεθόδου των μετατεταγμένων δίσκων.

Στα παρακάτω σχήματα δείχνονται οι θέσεις τοποθέτησης των κατακορύφων δίσκων στους ορόφους του κτιρίου. Οι θέσεις είναι ίδιες τόσο για τα τοιχώματα Ο/Σ όσο και για τους μεταλλικούς συνδέσμους.



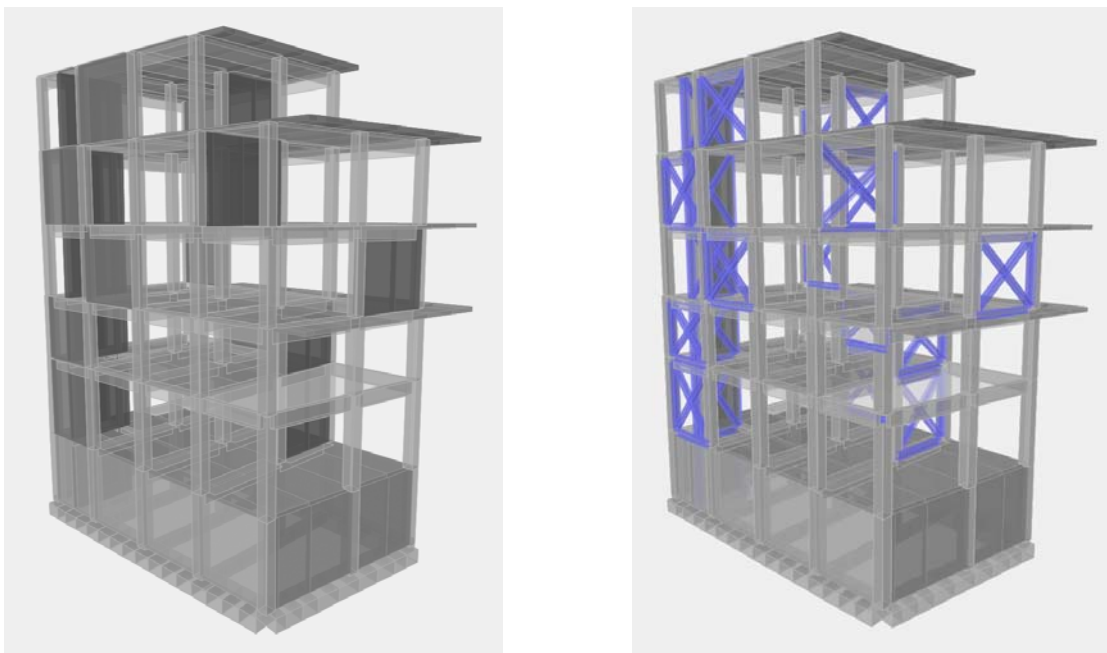
**Σχήμα 4.** Σκαριφήματα ξυλοτύπων με τις θέσεις των μετατεταγμένων δίσκων.

Οι μετατεταγμένοι κατακόρυφοι δίσκοι μπορεί να αποτελούνται είτε (α) από τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος τοποθετημένα στα φανώματα των πλαισίων μεταξύ των οριζοντίων δοκών και των κατακόρυφων στύλων και επαρκώς οπλισμένα και αγκυρωμένα στο πλαισιακό φάνωμα, είτε (β) από μεταλλικούς δικτυωτούς συνδέσμους. Οι σύνδεσμοι αυτοί συντίθενται από ένα ορθογωνικό πλαίσιο οριζοντίων και κατακόρυφων μεταλλικών δοκών παραλλήλων και σε επαφή με τις άνω και κάτω δοκούς και τους εκατέρωθεν στύλους του πλαισιακού φανώματος και, βέβαια, με κατάλληλη και επαρκή αγκύρωση (βλήτρωση). Εσωτερικά ο μεταλλικός σύνδεσμος μπορεί να είναι τύπου Χ ή Λ. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγεται ο τύπος Χ.



**Σχήμα 5.** Σκαριφήματα μετατεταγμένου τοιχώματος & μεταλλικού συνδέσμου

Όπως ήδη προαναφέρθηκε, οι θέσεις των κατακόρυφων δίσκων μπορούν να διαφέρουν καθ' ύψος από όροφο σε όροφο του κτιρίου. Πρέπει όμως κάθε όροφος να διαθέτει τουλάχιστον δύο κατακόρυφους δίσκους ανά διεύθυνση ενίσχυσης του κτιρίου. Η απόσταση μεταξύ των δίσκων ανά διεύθυνση ενίσχυσης είναι επιθυμητό να είναι η μέγιστη δυνατή.



**Σχήμα 6.** Προσομοιώσεις μετατεταγμένων τοιχώματων & μετατεταγμένων μεταλλικών συνδέσμων.



## Σεισμικές Φορτίσεις

Για τον υπολογισμό της σεισμικής καταπόνησης του κτιρίου χρησιμοποιείται στο εδώ αριθμητικό παράδειγμα η δυναμική φασματική μέθοδος του ΕΑΚ-2000 με συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης  $\alpha=0.16$  και συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς  $\eta=1.50$ .

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα μεγέθη που συγκρίνονται και που προέκυψαν από τις αντισεισμικές αναλύσεις των τεσσάρων διαφορετικών συστημάτων, δηλαδή του υφισταμένου κτιρίου χωρίς επεμβάσεις ενίσχυσης και των τριών παραλλαγών ενίσχυσής του (μανδύες, μετατεταγμένα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος και μετατεταγμένοι χιαστί μεταλλικοί δίσκοι), είναι τα ακόλουθα:

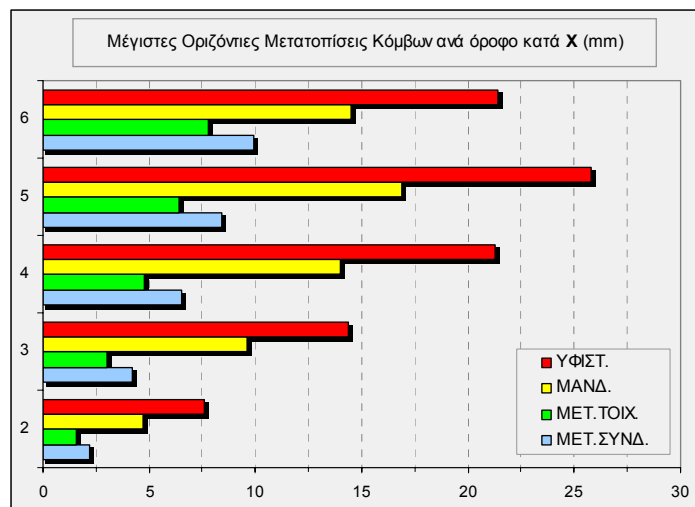
- οι οριζόντιες απόλυτες μετακινήσεις των ορόφων,
- οι οριζόντιες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων,
- οι καμπτικές ροπές των στύλων,
- οι διατμητικές δυνάμεις των στύλων και των δοκών,
- οι αξονικές δυνάμεις των στύλων και
- οι εφελκυστικές συνεπίπεδες δυνάμεις των πλακών των ορόφων.

### Οριζόντιες (απόλυτες) Μετατοπίσεις Ορόφων

Οι δυσμενέστερες οριζόντιες μετατοπίσεις των ορόφων κατά την ενίσχυση με μανδύες είναι σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο μειωμένες περίπου κατά 40% (μέσος όρος) σε κάθε όροφο σε αμφότερες τις διευθύνσεις X και Y. Στις περιπτώσεις των μετατεταγμένων δίσκων (τοιχώματα σκυροδέματος ή χιαστί μεταλλικοί σύνδεσμοι) διαπιστώνεται έντονη βελτίωση, καθότι η μείωση των μετακινήσεων είναι της τάξης του 75% κατά μέσο όρο στην X και κατά 80% κατά την Y διεύθυνση.

Π.Φ.: DYNAMX                      Τιμές σε mm

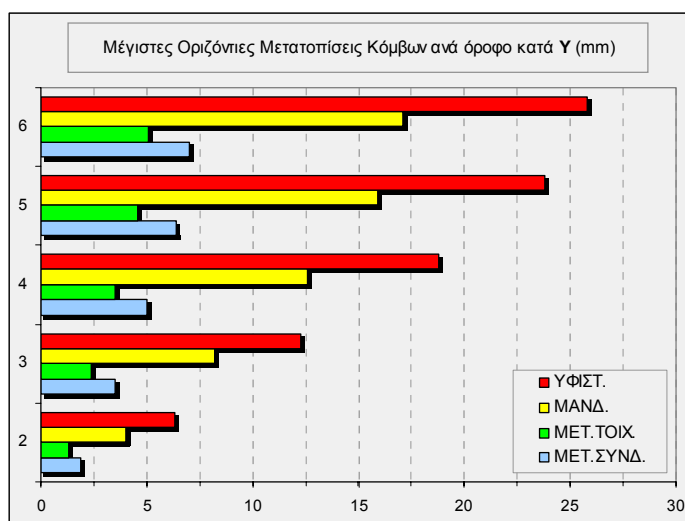
ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
2	7.60	4.70	1.60	2.20
3	14.40	9.60	3.00	4.20
4	21.30	14.00	4.80	6.50
5	25.80	16.90	6.40	8.40
6	21.40	14.50	7.80	9.90



Σχήμα 7. Οριζόντιες (απόλυτες) μετατοπίσεις ορόφων κατά τη διεύθυνση X.

Π.Φ.: DYNAMY Τιμές σε mm

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
2	6.30	4.00	1.30	1.90
3	12.30	8.20	2.40	3.50
4	18.80	12.60	3.50	5.00
5	23.80	15.90	4.60	6.40
6	25.80	17.10	5.10	7.00



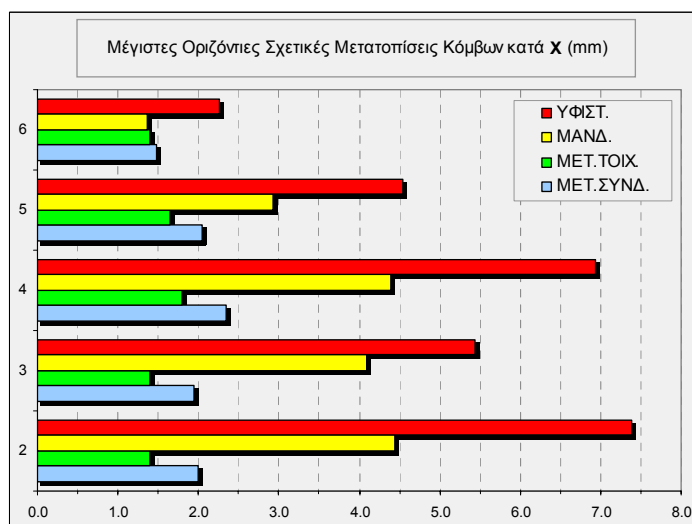
Σχήμα 8. Οριζόντιες (απόλυτες) μετατοπίσεις ορόφων κατά τη διεύθυνση Y.

### Οριζόντιες (σχετικές) Μετατοπίσεις Ορόφων

Όπως οι απόλυτες οριζόντιες μετακινήσεις έτσι και οι οριζόντιες σχετικές μετατοπίσεις των ορόφων στο ενισχυμένο με μανδύες κτίριο είναι μειωμένες σε σχέση με το υφιστάμενο κτίριο: Σε κάθε όροφο περίπου κατά 35% (μέσος όρος) και στις δύο διευθύνσεις, ενώ στις περιπτώσεις των μετατεταγμένων δίσκων η μείωση, όπως και στις απόλυτες μετακινήσεις, είναι της τάξης του 75% και 80% (μέσος όρος) στις διευθύνσεις X και Y του κτιρίου αντίστοιχα.

Π.Φ.: DYNAMX Τιμές σε mm

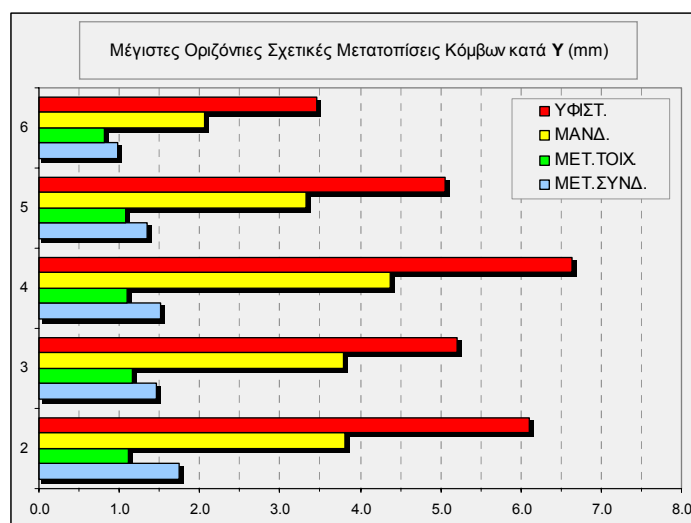
ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
2	7.39	4.44	1.40	1.99
3	5.43	4.10	1.39	1.94
4	6.94	4.38	1.79	2.34
5	4.53	2.92	1.65	2.04
6	2.25	1.36	1.40	1.48



Σχήμα 9. Οριζόντιες (σχετικές) μετατοπίσεις ορόφων κατά τη διεύθυνση X.

Π.Φ.: DYNAMY Τιμές σε mm

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
2	6.10	3.80	1.12	1.75
3	5.21	3.79	1.16	1.47
4	6.63	4.38	1.09	1.52
5	5.05	3.33	1.09	1.35
6	3.45	2.07	0.82	0.97

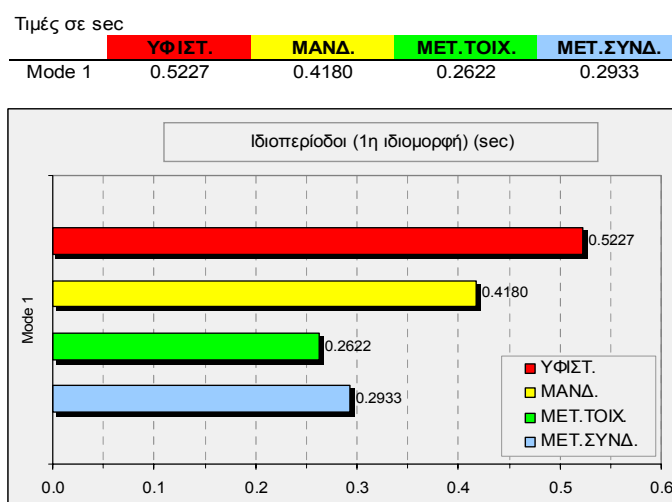


Σχήμα 10. Οριζόντιες (σχετικές) μετατοπίσεις ορόφων κατά τη διεύθυνση Υ.

### Δυναμική Ανάλυση - Ιδιοπερίοδοι

Οι τιμές των πρώτων ιδιοπεριοδών ακολουθούν τη δυσκαμψία του κτιρίου. Περισσότερο εύκαμπτο είναι το υφιστάμενο κτίριο και ακολουθεί το ενισχυμένο με μανδύες. Το πλέον δύσκαμπτο μοντέλο με τη μικρότερη ιδιοπερίοδο είναι το ενισχυόμενο με μετατεταγμένα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας και δυσμησίας που προσφέρουν τα στοιχεία αυτά.

Η λύση των μετατεταγμένων κατακόρυφων μεταλλικών συνδέσμων έχει συμπεριφορά παρόμοια με αυτή των μετατεταγμένων τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, όμως λόγω πεπερασμένης δυστένειας των διαγωνίων ράβδων παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο από αυτή του ενισχυμένου με μετατεταγμένα τοιχώματα κτιρίου.



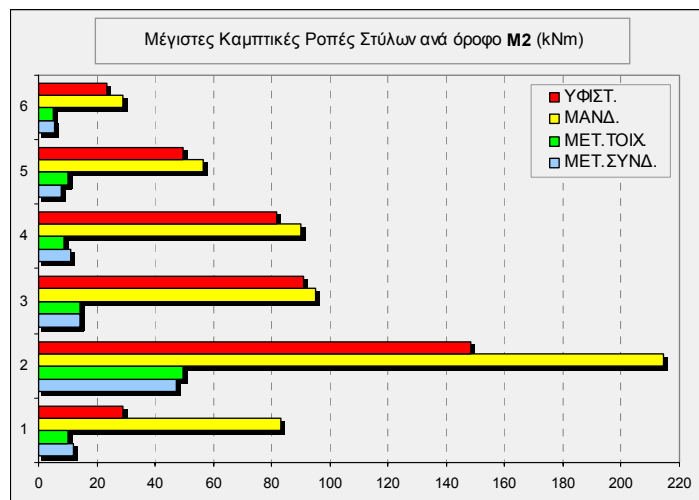
Σχήμα 11. Ιδιοπερίοδοι διαφορετικών μοντέλων ενίσχυσης.

## Καμπτικές Ροπές στύλων

Στο υφιστάμενο κτίριο εξετάζεται ο καμπτικώς δυσμενέστερα καταπονούμενος στύλος της πρώτης στάθμης (ισογείου), ο οποίος είναι και ο πλέον απομακρυσμένος από τον πυρήνα του ανελκυστήρα. Ο ίδιος στύλος παρακολουθείται και κατά τις διαφορετικές περιπτώσεις ενίσχυσης. Ο στύλος αυτός στην περίπτωση ενίσχυσης με μανδύες έχει ιδιαίτερα αυξημένη δυσκαμψία λόγω περιμετρικής αύξησης της διατομής κατά 7.5cm, με συνέπεια να παρατηρείται μεγαλύτερη καμπτική καταπόνησή του σε σύγκριση με τον αντίστοιχο στύλο του υφιστάμενου κτιρίου. Αντίθετα, στις ενισχύσεις μέσω μετατεταγμένων δίσκων (Ο/Σ ή μεταλλικών) η καμπτική καταπόνησή του μειώνεται σε όλους τους ορόφους του κτιρίου από - 50% έως -80% (περίπου) σε σχέση με τον αρχικό, μη ενισχυμένο στύλο.

Σ.Φ.: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ Τιμές σε kNm

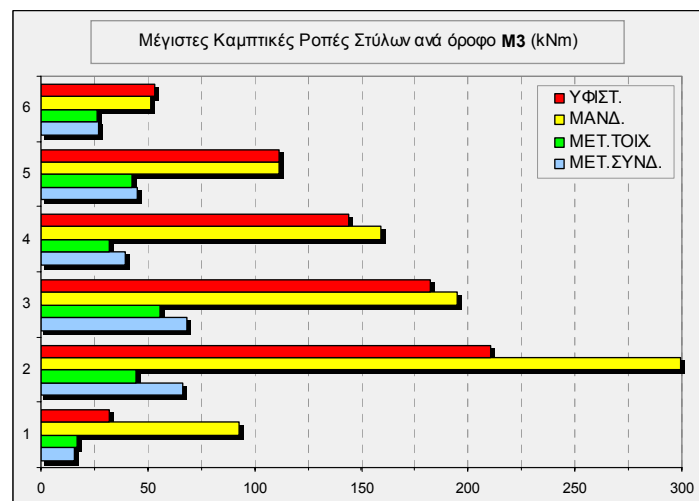
ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
1	28.98	82.92	10.14	11.93
2	148.56	214.27	49.43	47.42
3	91.12	94.98	14.26	14.38
4	81.58	90.16	8.86	11.04
5	49.67	56.50	9.96	7.95
6	23.47	29.10	4.93	5.29



Σχήμα 12. Καμπτικές ροπές στύλων M2.

Σ.Φ.: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ Τιμές σε kNm

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
1	31.87	92.93	16.95	15.83
2	210.22	299.13	44.50	66.10
3	182.43	194.55	55.99	68.29
4	144.01	158.90	31.83	39.58
5	111.64	111.67	42.48	45.27
6	53.19	51.51	26.35	26.64



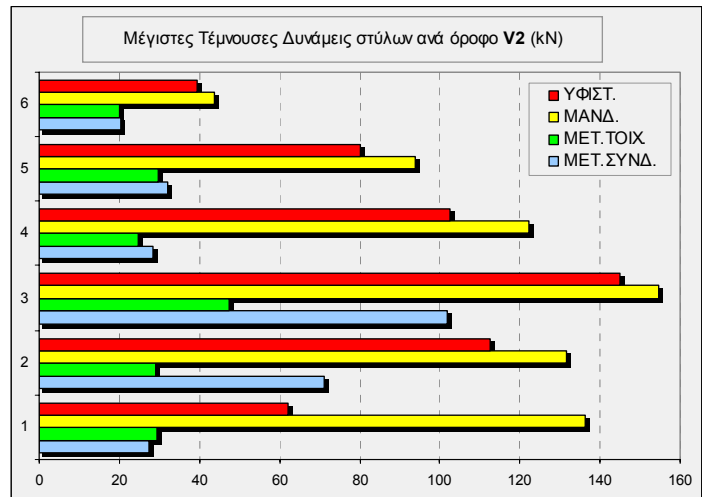
Σχήμα 13. Καμπτικές ροπές στύλων M3.

## Διατμητικές Δυνάμεις Στύλων

Ο ίδιος στύλος της πρώτης υπέργειας στάθμης που εξετάστηκε σε κάμψη εξετάζεται και συγκρίνεται για τέμνουσες δυνάμεις μεταξύ της αρχικής υφιστάμενης κατάστασης και των εναλλακτικών μεθόδων ενίσχυσης. Και εδώ στην περίπτωση ενίσχυσης με μανδύες έχουμε αύξηση της διατμητικής έντασης σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, ενώ στις περιπτώσεις των μετατεταγμένων δίσκων (Ο/Σ ή μεταλλικών) διαπιστώνεται μείωση της διατμητικής του έντασης από -75% έως -40%.

Σ.Φ.: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ Τιμές σε kN

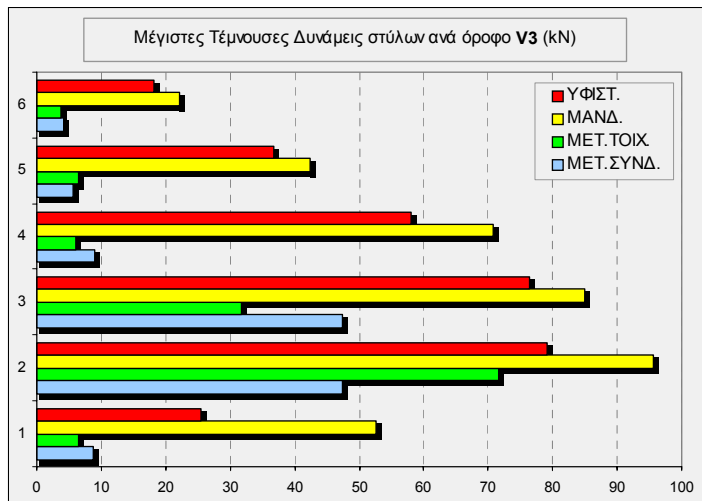
ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
1	62.03	136.13	29.35	27.37
2	112.42	131.75	29.05	71.08
3	144.85	154.69	47.46	102.04
4	102.39	122.37	24.59	28.26
5	80.01	93.95	29.71	31.96
6	39.50	43.92	20.17	20.46



Σχήμα 14. Διατμητικές δυνάμεις στύλων V2.

Σ.Φ.: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ Τιμές σε kN

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
1	25.48	52.58	6.54	8.72
2	79.11	95.60	71.61	47.38
3	76.43	85.01	31.68	47.32
4	58.12	70.84	6.00	9.08
5	36.65	42.48	6.49	5.61
6	18.16	22.04	3.74	4.12



Σχήμα 15. Διατμητικές δυνάμεις στύλων V3.

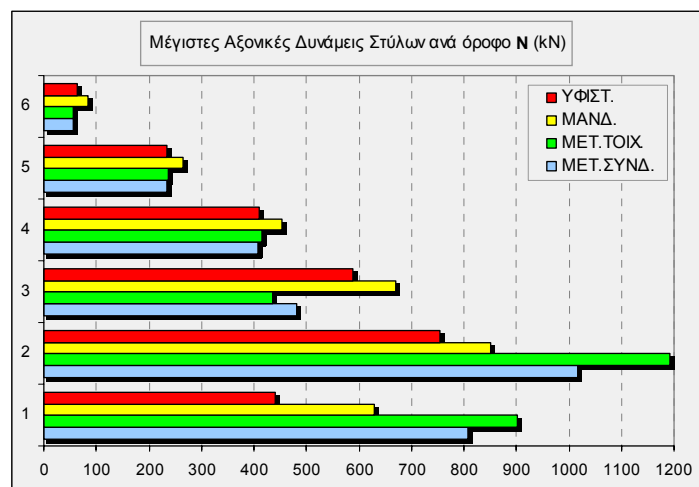
## Αξονικές Δυνάμεις Στύλων

Ο ίδιος στύλος της πρώτης υπέργειας στάθμης, (E/2) που εξετάστηκε σε κάμψη εξετάζεται και συγκρίνεται για αξονικές δυνάμεις.

Στην περίπτωση των μανδύων έχουμε αύξηση που αντιστοιχεί στην αύξηση της επιπλέον δυσκαμψίας και της επιπλέον δυστένειας λόγω μανδύων: Π.χ. για τον στύλο του πρώτου υπέργειου ορόφου αύξηση κατά 47%.

Στην περίπτωση των μετατεταγμένων δίσκων η αύξηση αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη (της τάξης του 102%) και οφείλεται στο γεγονός ότι ο ελεγχόμενος στύλος φέρει στην κεφαλή του το άκρο ενός μετατεταγμένου δίσκου. Παράλληλα όμως ο ίδιος στύλος, όπως διαπιστώθηκε προηγουμένως για τις μετατεταγμένες διατάξεις, καταπονείται με πολύ μειωμένες καμπτικές ροπές, οπότε, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, στον έλεγχο διαξονικής κάμψης με ορθή δύναμη η αντοχή του παραμένει επαρκής.

Σ.Φ.:	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ			
	Τιμές σε kN			
ΣΤΑΘΜΗ	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
1	441.19	629.72	901.90	808.22
2	753.53	851.18	1191.80	1017.62
3	589.00	670.24	436.34	480.54
4	409.88	452.76	414.45	408.09
5	234.21	264.41	236.83	233.46
6	64.49	85.16	56.41	56.46



Σχήμα 16. Αξονικές δυνάμεις στύλων.

## Αντοχή Υποστυλωμάτων σε Κάμψη με Ορθή Δύναμη

Εξετάζεται ο ακραίος στύλος E/2 του πρώτου υπέργειου ορόφου (ισόγειο) σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη για την υφιστάμενη κατάσταση, την ενίσχυση με μανδύες και τις ενισχύσεις με μετατεταγμένους κατακόρυφους δίσκους.

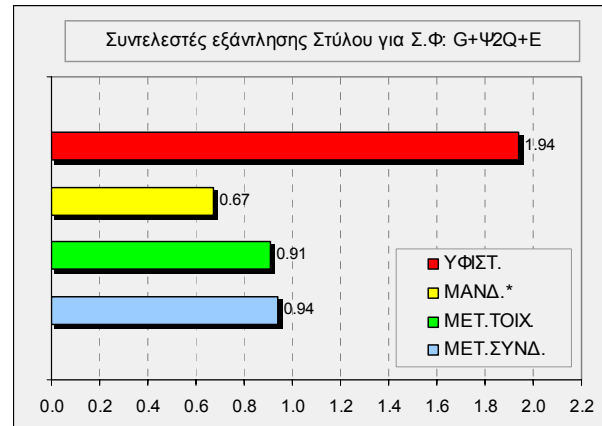
Διαπιστώνεται ότι, με τον δεδομένο οπλισμό της διατομής (4Φ20 + 4Φ16) STIII και σύμφωνα με τον συνδυασμό φόρτισης της εξίσωσης (4.1) του ΕΑΚ, στο μη ενισχυμένο κτίριο έχουμε λόγο εξάντλησης  $CR=1.94$ , δηλαδή όριο αντοχής περίπου το ήμισυ του απαιτούμενου.

Στην περίπτωση των μανδύων ενίσχυσης, με την αύξηση των διαστάσεων της διατομής κατά 7.5cm περιμετρικά και πρόσθεση 14Φ20 περιμετρικά του υποστυλώματος, ο λόγος εξάντλησης αντοχής διαμορφώνεται στο  $CR=0.67$ , δηλαδή έχουμε επάρκεια αντοχής 33%.

Στις περιπτώσεις των μετατεταγμένων δίσκων, ο ίδιος στύλος και χωρίς επέμβαση ενίσχυσης εμφανίζει λόγους  $CR=0.91$  για την ενίσχυση μέσω τοιχωμάτων και  $CR=0.94$  για την ενίσχυση μέσω μεταλλικών δικτυωτών συνδέσμων. Δηλαδή, και στις δύο περιπτώσεις των μετατεταγμένων δίσκων διαπιστώνεται επάρκεια αντοχής του υφιστάμενου υποστυλώματος και συνεπώς δεν απαιτούνται πρόσθετες επεμβάσεις ενίσχυσης.

Συντελεστές εξάντλησης Στύλου για Σ.Φ: G+Ψ2Q+E				
Διατομή	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.*	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
40x45	1.94	0.67	0.91	0.94

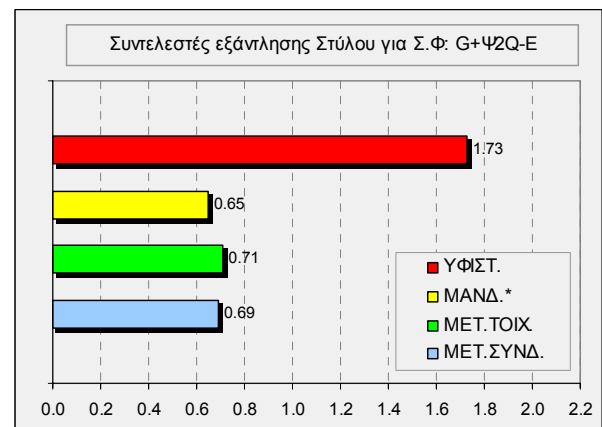
\* Για το προσομοίωμα "ΜΑΝΔ." ο στύλος υπολογίστηκε με περιμετρικό μανδύα πάχους 7.5cm και υλικά C20/B500C.



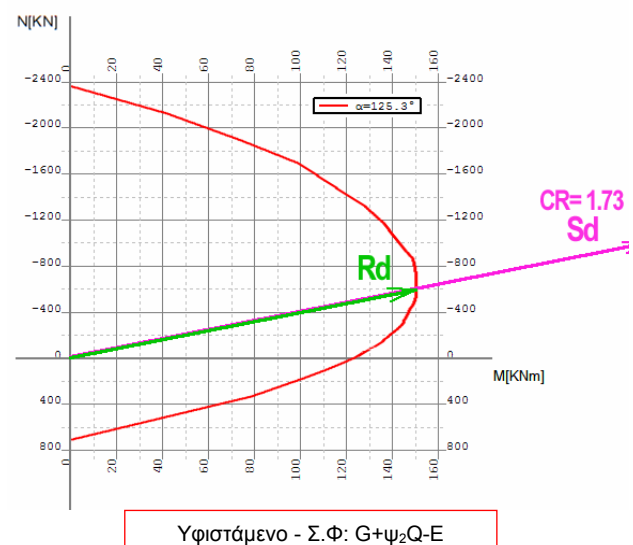
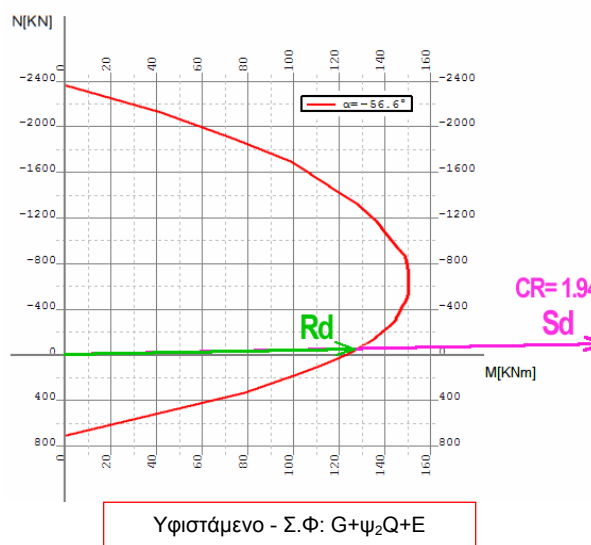
Σχήμα 17. Συντελεστές εξάντλησης στύλου στη θέση E/2 για Σ.Φ.: G+Ψ<sub>2</sub>Q+E.

Συντελεστές εξάντλησης Στύλου για Σ.Φ: G+Ψ2Q-E				
Διατομή	ΥΦΙΣΤ.	ΜΑΝΔ.*	ΜΕΤ.ΤΟΙΧ.	ΜΕΤ.ΣΥΝΔ.
40x45	1.73	0.65	0.71	0.69

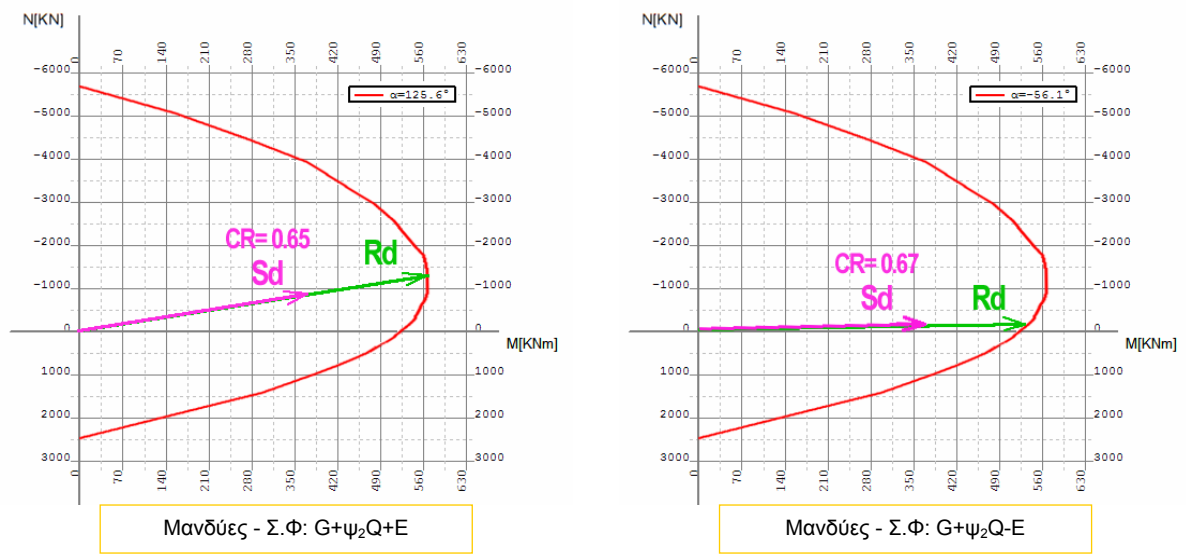
\* Για το προσομοίωμα "ΜΑΝΔ." ο στύλος υπολογίστηκε με περιμετρικό μανδύα πάχους 7.5cm και υλικά C20/B500C.



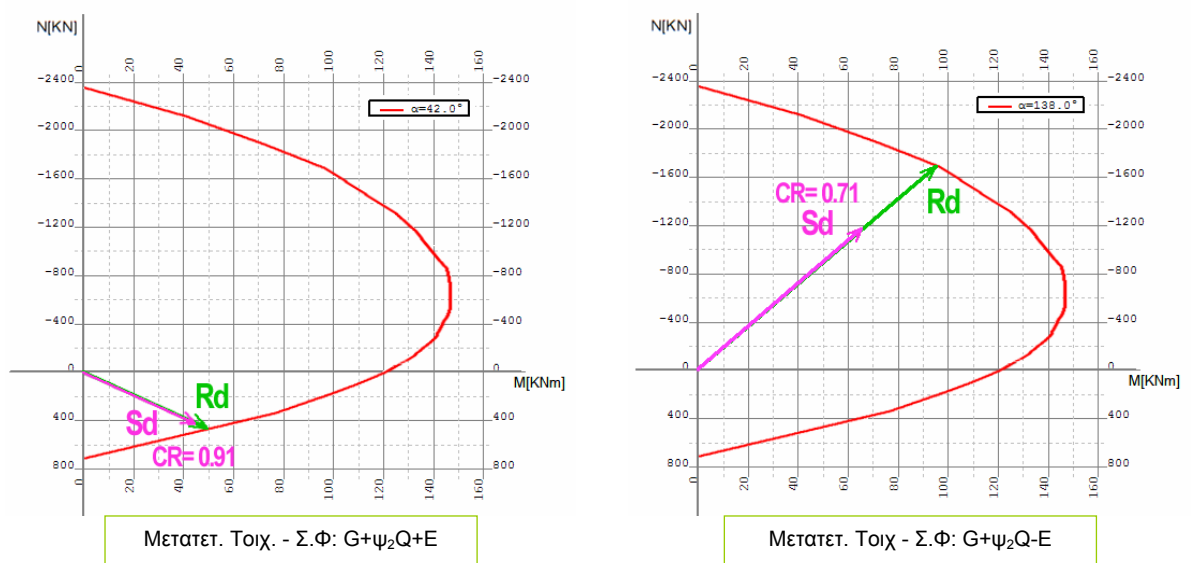
Σχήμα 18. Συντελεστές εξάντλησης στύλου στη θέση E/2 για Σ.Φ.: G+Ψ<sub>2</sub>Q-E.



Σχήμα 19. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M υφιστάμενου υποστυλώματος στη θέση E/2.

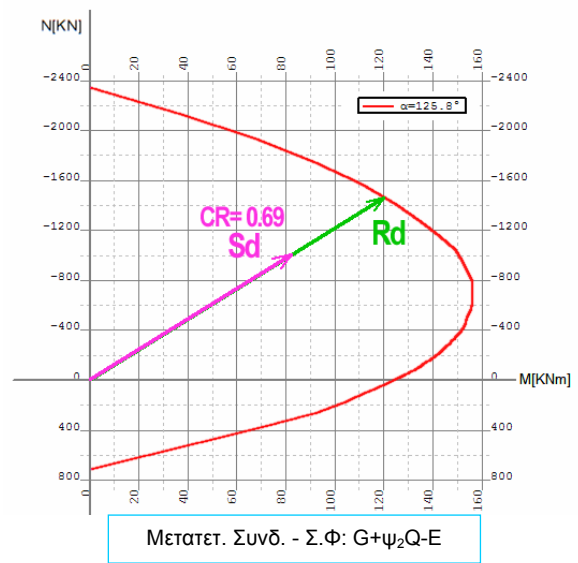
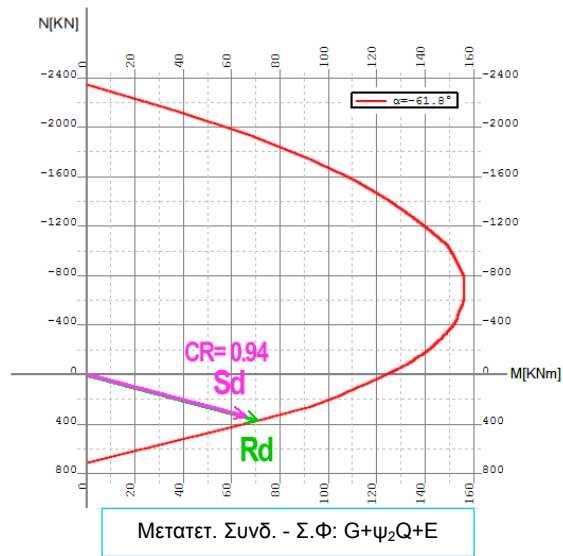


Σχήμα 20. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M υποστυλώματος με μανδύες στη θέση E/2.

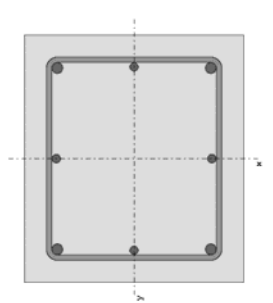


Σχήμα 21. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M υποστυλώματος στη θέση E/2 ενισχυμένου με μετατεταγμένα τοιχώματα.

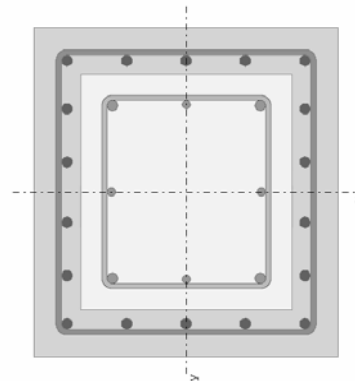




**Σχήμα 22.** Διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M υποστύλματος στη θέση E/2 ενισχυμένου με Μετατεταγμένους Μεταλλικούς Συνδέσμους.



Στύλος Υφιστάμενου: 40/45  
Οπλισμός: 4Φ20+4Φ16  
Υλικά: B225/StIII



Στύλος 55/60 (μανδύας 7.5 εκ.)  
Οπλισμός: 18Φ20  
Υλικά: Cs20/B500C

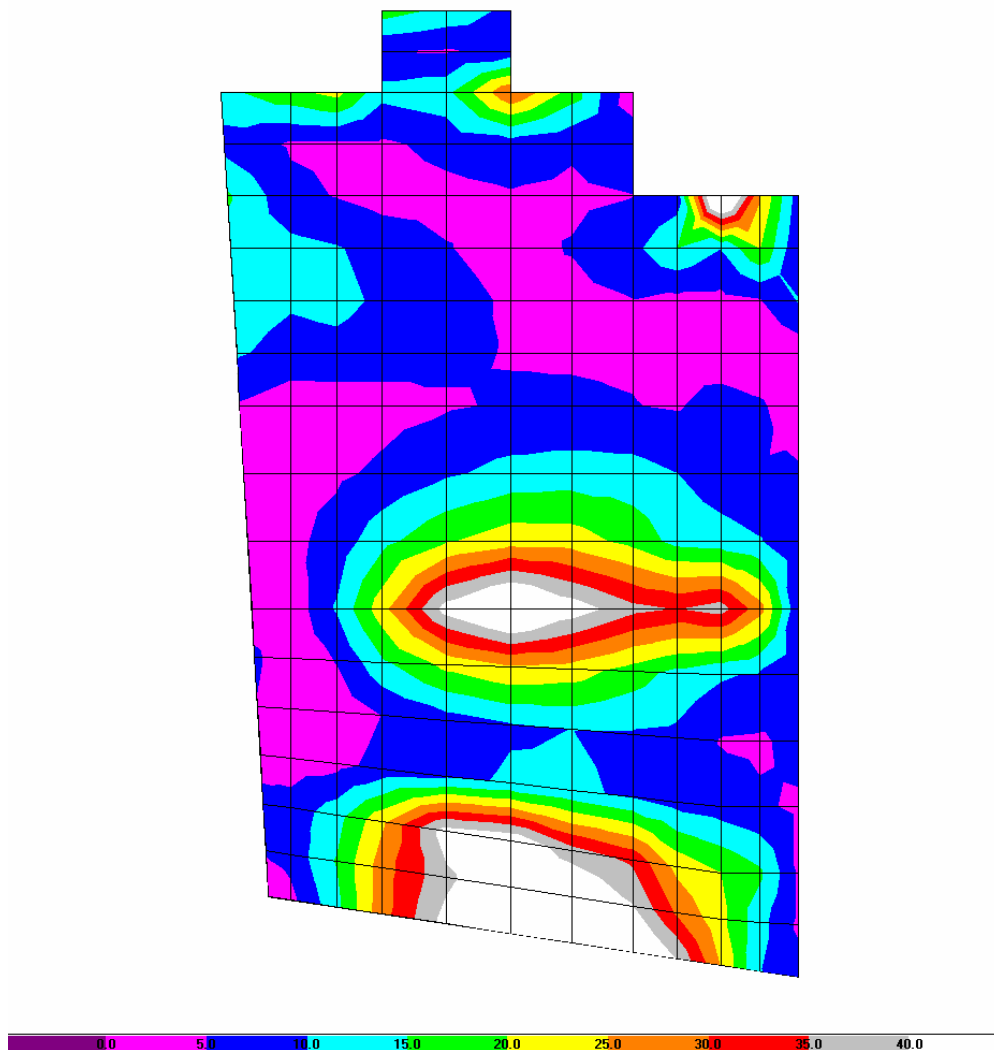
**Σχήμα 23.** Σκαριφήματα διατομών στύλων στη θέση E/2 - Υφιστάμενου & με μανδύα 7.5 cm.

### Συνεπίπεδες Δυνάμεις των Πλακών των Ορόφων

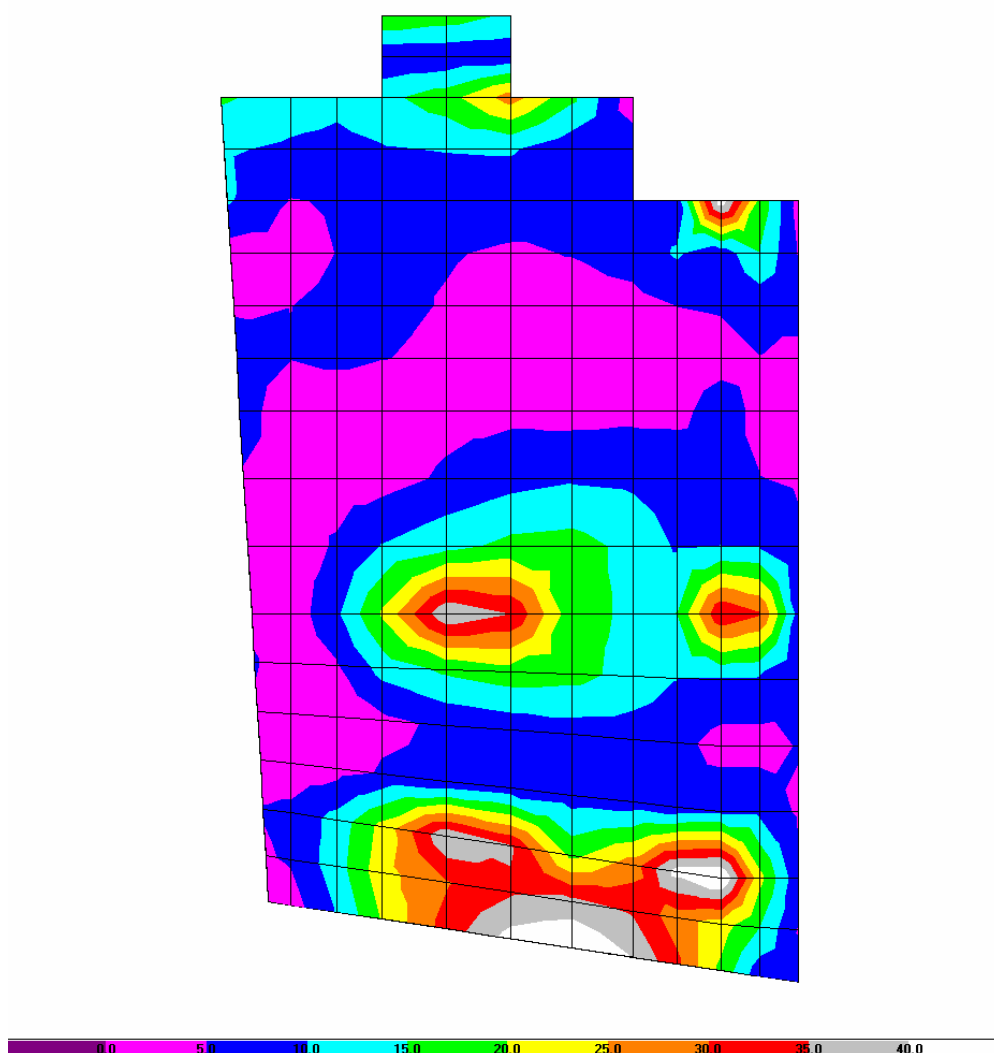
Η λειτουργία των μετατεταγμένων δίσκων βασίζεται στη διαφραγματική λειτουργία των πλακών. Δηλαδή, η μεταφορά των δυνάμεων μεταξύ των μετατεταγμένων επιπέδων των κατακόρυφων δίσκων πραγματοποιείται μέσα από τη λειτουργία δίσκου των πλακών των ορόφων. Αυτό προκαλεί αύξηση των συνεπίπεδων εντάσεων στις πλάκες, κυρίως στις περιοχές των μετατάξεων των κατακόρυφων δίσκων. Εξετάζουμε τις εφελκυστικές συνεπίπεδες δυνάμεις κατά την διεύθυνση X των μετατεταγμένων διατάξεων.

Οι υφιστάμενες πλάκες πάχους 15 cm είναι οπλισμένες με Φ8/15 στη μικρότερη διεύθυνση της πλάκας και με Φ8/20 στη μεγαλύτερη. Ήδη ο οπλισμός Φ8/20 με χάλυβα SII (ή S400) προσφέρει αντοχή δίσκου  $FRd=87.3 \text{ kN/m} < F_{Sd} = 56.3 \text{ kN/m}$ .

Συνεπώς, η υπολογιζόμενη συνεπίπεδη δράση λόγω σεισμού δεν υπερβαίνει το όριο εφελκυστικής συνεπίπεδης αντοχής των πλακών του συγκεκριμένου κτιρίου. Άρα δεν προκύπτει η ανάγκη να ληφθούν περαιτέρω μέτρα ενίσχυσης της αντοχής των πλακών όσον αφορά στη λειτουργία τους ως οριζόντιων επιπέδων δίσκων.



**Σχήμα 24.** Μοντέλο Προσομοίωσης με μετατεταγμένα τοιχώματα - Πλάκα 2ου υπέργειου ορόφου (+8.90) - Εφελκυστικές δυνάμεις F11 (διεύθυνση x) σε kN/m - Περιβάλλουσα συνδυασμών.



**Σχήμα 25.** Μοντέλο Προσομοίωσης με μετατεταγμένους μεταλλικούς συνδέσμους - Πλάκα 2ου ορόφου (+8.90) - Εφελκυστικές δυνάμεις F11 (διεύθυνση x) σε kN/m - Περιβάλλουσας συνδυασμών.

### Συγκριτική Κοστολόγηση Ενισχύσεων

Η παρακάτω συγκριτική κοστολόγηση είναι προσεγγιστική και βασίζεται σε επίσημους πίνακες άρθρων και τιμών οικοδομικών εργασιών (ΑΤΟΕ) του ΥΠΕΧΩΔΕ. Περιλαμβάνει τις κύριες δαπάνες των ενισχύσεων και όχι τις δευτερεύουσες, όπως είναι π.χ. οι καθαιρέσεις, οι αποκαταστάσεις, τα επιχρίσματα, οι χρωματισμοί κλπ., αναφέρεται δε στο υπέργειο μόνο τμήμα του κτιρίου.

Με τις παραπάνω προϋποθέσεις, από τη συγκριτική αξιολόγηση των δαπανών προκύπτει ως προτιμότερη η λύση των μετατεταγμένων τοιχωμάτων.

Στα θετικά αυτής της μεθόδου, από οικονομικής πλευράς, πρέπει να προστεθεί το χαμηλότερο επίπεδο όχλησης σε σχέση με τη λύση των μανδύων (2η κατά σειρά προτίμησης).

Η λύση των μετατεταγμένων μεταλλικών συνδέσμων φαίνεται να είναι η πλέον δαπανηρή. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη η μεγαλύτερη ταχύτητα εκτέλεσης των εργασιών και ο μικρότερος βαθμός όχλησης των ενοίκων του κτιρίου που συνοδεύει αυτήν την τεχνική. Και οι δύο αυτοί λόγοι διαθέτουν βεβαίως οικονομικές προεκτάσεις, οι οποίες θα πρέπει να συνεκτιμηθούν.

**Πίνακας 1.** Συγκριτική Κοστολόγηση Ενισχύσεων.

**ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΜΑΝΔΥΩΝ**

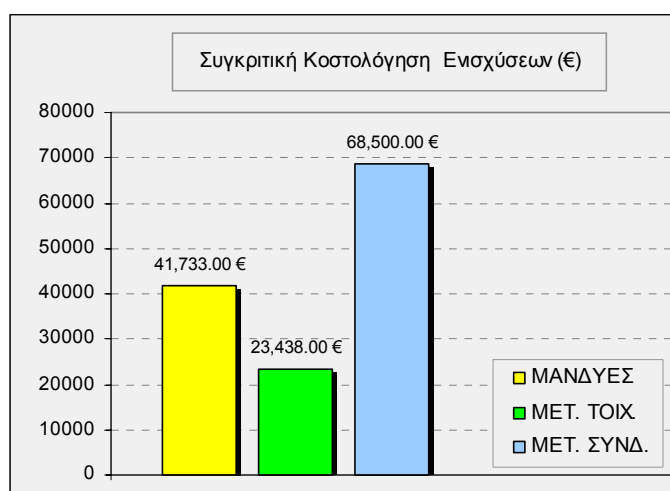
Περιγραφή	M.M.	Ποσότητα	Τιμή μονάδος	Δαπάνη
Μανδύας εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας Cs20	m <sup>3</sup>	28.80	490.00 €	14,112.00 €
Χαλύβδινοι οπλισμοί μανδύων έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος B500 ή B500s	kg	16,740	1.65 €	27,621.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>41,733.00 €</b>

**ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ**

Περιγραφή	M.M.	Ποσότητα	Τιμή μονάδος	Δαπάνη
Έγχυτο σκυροδέμα με χρήση αντλίας, κατηγορίας C20/25	m <sup>3</sup>	32.00	170.00 €	5,440.00 €
Χαλύβδινοι οπλισμοί μανδύων έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος B500 ή B500s	kg	6,478	1.65 €	10,688.70 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>16,128.70 €</b>

**ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ**

Περιγραφή	M.M.	Ποσότητα	Τιμή μονάδος	Δαπάνη
Φέροντα στοιχεία από σιδηροδοκούς ή κοιλοδοκούς ύψους ή πλευράς >160 mm	kg	27,400.00	2.50 €	68,500.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>68,500.00 €</b>



**Σχήμα 26.** Διαγραμματική απεικόνιση κοστολογήσεων.

## **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ ΣΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΔΥΣΜΕΝΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**

Βάσει των προαναφερθέντων διαπιστώνεται ότι σε κτίρια με αρχικώς ακατάλληλη αντισεισμική διάταξη η εφαρμογή της τεχνικής των μετατεταγμένων δίσκων μπορεί να προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Δυνατότητα βελτίωσης των αντισεισμικών μορφολογικών αδυναμιών ενός υφιστάμενου κτιρίου.
- Ευέλικτη υλοποίηση της ενίσχυσης με εύκολη προσαρμογή στις λειτουργικές ανάγκες ενός εν ενεργεία κτιρίου.
- Αύξηση της αντισεισμικής επίδοσης κατά πολύ ανώτερη της τεχνικής των μανδύων, καθότι δεν ενισχύεται απλώς η αντοχή των δομικών στοιχείων, αλλά εξαλείφονται οι βασικοί λόγοι για τους οποίους απαιτείται αυτή η αυξημένη αντοχή.
- Ταχύτητα στην υλοποίηση της ενίσχυσης λόγω του ότι οι επεμβάσεις είναι τοπικές και ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ιδιαίτερα η επιλογή της χρήσης μεταλλικών φορέων οδηγεί σε μεγάλη ταχύτητα υλοποίησης, καθότι η όλη επέμβαση της ενίσχυσης περιορίζεται σε εργασίες τύπου 'ξηράς δόμησης'.
- Περιορισμένη όχληση στους ενοίκους ενός σε λειτουργία κτιρίου, διότι λόγω του τοπικού και περιορισμένου χαρακτήρα των επεμβάσεων δεν απαιτείται η πλήρης εκκένωσή του, όπως αυτό συμβαίνει κατά κανόνα όταν εφαρμόζεται η τεχνική ενίσχυσης μέσω μανδύων.

### **Επίλογος**

Στην παρούσα εργασία τεκμηριώνεται η άποψη ότι η τεχνική των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων αποτελεί μια δόκιμη εναλλακτική λύση έναντι της τεχνικής των μανδύων των πλαισιακών φορέων, προσφέροντας τεχνικά ποιοτικά χαρακτηριστικά σαφώς βελτιωμένα εκείνων της τεχνικής των μανδύων.

Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την χαμηλότερη απαιτούμενη δαπάνη επισκευής και τον μικρότερο βαθμό όχλησης των ενοίκων ενός υπό ενίσχυση κτιρίου, την καθιερώνει ως μια τεχνική, η οποία μπορεί να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για κτίρια τα οποία χρήζουν αντισεισμικής ενίσχυσης.

### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ε.Μπάμπουκας, Ι.Αβραμίδης: Ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων. ΤΕΕ-15ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος.
- Α. Αθανατοπούλου, Π. Παπαδόπουλος: Σεισμική συμπεριφορά με αντισεισμικά τοιχώματα τυχαίας καθ' ύψος τοπολογίας. ΤΕΕ-12ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος.
- P.Papadopoulos – 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. ΤΕΕ-7ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος.
- M.Fintel: Staggered Transverse Wall Beams for Multistory Concrete Buildings-ACI Journal, May 1968
- 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.
- M. P. Cohen: Design Solutions Utilizing the Staggered-steel Truss System. Engineering Journal / American Institute Of Steel Construction. 3rd Quarter / 1986.