

Ανελαστική συμπεριφορά κτιρίων προσεισμικά ενισχυμένων με την τεχνική των «μετατεταγμένων δίσκων»

Inelastic behaviour of existing buildings which are seismic upgraded using the staggered shear panel technique

E. N. ΜΠΑΜΠΟΥΚΑΣ¹, I. E. ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ², Κ. ΜΟΡΦΙΔΗΣ³,

Λέξεις κλειδιά: Ενισχύσεις υφισταμένων κτιρίων, αντισεισμικά τοιχώματα, ανελαστική ανάλυση, υπερωθητική ανάλυση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η αντισεισμική ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων μέσω συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη βελτίωση της σεισμικής επίδοσης των κτιρίων αυτών. Όμως λόγω των συχνών λειτουργικών προβλημάτων που προκαλεί η διέλευση των νέων τοιχωμάτων διαμέσου των ορόφων, η λύση αυτή εγκαταλείπεται συχνά και ο μελετητής καταφεύγει στη λύση της μανδύωσης των δομικών στοιχείων. Εναλλακτικά, με την προ ετών προταθείσα από τους συγγραφείς τεχνική των μετατεταγμένων δίσκων μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να παρακαμφθούν τα λειτουργικά προβλήματα των συνεχών τοιχωμάτων, ενώ παράλληλα βελτιώνονται οι δείκτες της ελαστικής αντισεισμικής συμπεριφοράς, όπως αυτό έχει τεκμηριωθεί σε προηγούμενες δημοσιεύσεις. Στην παρούσα εργασία δίνεται εισαγωγικά μια σύντομη περιγραφή της μεθόδου των μετατεταγμένων δίσκων και στη συνέχεια εξετάζεται η ανελαστική συμπεριφορά των κτιρίων που έχουν ενισχυθεί με τη μέθοδο αυτή. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσω του παραδείγματος ενός πολυωρόφου κτιρίου της ελληνικής πράξης. Οι αντισεισμικές επιδόσεις του συγκεκριμένου κτιρίου στην ανελαστική περιοχή συμπεριφοράς μετά την ενίσχυσή του αφενός μέσω μανδύων και αφετέρου μέσω μετατεταγμένων δίσκων συγκρίνονται και αξιολογούνται. Οι δείκτες αντισεισμικής επίδοσης υπολογίζονται μέσω στατικών υπερωθητικών αναλύσεων και δείχνουν τη μεγάλη αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης με μετατεταγμένους δίσκους.

ABSTRACT: Seismic retrofit of existing buildings by RC shear walls continuously extending from the foundation up to the top of the structure offers great benefits, because it can enhance their stiffness and strength characteristics, and can also improve their total structural layout. Unfortunately, the use of such RC shear walls is very often not compatible with serviceability restrictions of the

¹ Διπλ. Πολ. Μηχανικός, Ηράκλειο Κρήτης, email: emmbab@tol.com.gr

² Καθηγητής, Δρ. Πολ. Μηχ., Τμήμα Πολ. Μηχανικών, ΑΠΘ, email: avram@civil.ntua.gr

³ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Μεταδιδακτορικός ερευνητής, email: morfidis@tol.com.gr

building. In these cases, seismic strengthening using column and/or wall jackets reinforcement is applied. Alternatively, the staggered shear walls technique, proposed by the authors some years ago, can satisfy most serviceability restrictions of an existing building, as it is quite flexible concerning the positions of the necessary additional shear wall elements. In addition, it is able to improve most of the elastic properties of a building. In this paper a brief description of this technique is given, followed by an investigation of the inelastic behavior of a building retrofitted by staggered shear walls. The building, which comprises a series of typical characteristics, is also retrofitted by RC column jackets. In both cases the seismic performance of the upgraded building is determined by static pushover analysis. Comparison of the results shows the effectiveness of the staggered shear wall technique.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλειονότητα του υπάρχοντος δομικού πλούτου των περισσοτέρων σεισμολόγων χωρών έχει μελετηθεί με τεχνολογία και κανονισμούς που δεν απέκλειαν μια δυσμενή αντισεισμική μορφολογία, η οποία σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε εντόνως ανεπαρκή αντισεισμική ασφάλεια των κατασκευών αυτών. Οι ενισχύσεις των παλαιότερων αυτών κατασκευών μέσω τοποθέτησης συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να προσφέρει πολύ θετικά αποτελέσματα, καθ' ότι μπορεί να αναμορφώσει δραστικά την εν γένει αντισεισμική συμπεριφορά των κτιρίων αυτών.

Η τοποθέτηση όμως τέτοιων συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων συναντά συχνότατα στην πράξη μεγάλα λειτουργικά προβλήματα, που συνήθως οφείλονται στις διαφορετικές χρήσεις και αρχιτεκτονικές διατάξεις των ορόφων του υπό ενίσχυση κτιρίου. Τα λειτουργικά αυτά προβλήματα οδηγούν συνήθως στην επιλογή ενίσχυσης των κτιρίων αυτών μέσω μανδύωσης των δομικών στοιχείων τους. Με την προ ετών προταθείσα από τους συγγραφείς νέα τεχνική των μετατεταγμένων δίσκων επιτυγχάνεται μια γενικευμένη βελτίωση όλων των ελαστικών δεικτών αντισεισμικής συμπεριφοράς των ενισχυμένων κτιρίων, ενώ παρακάμπτονται με τρόπο ιδιαίτερα ευέλικτο τα λειτουργικά προβλήματα των συνεχών τοιχωμάτων. Τα συμπεράσματα αυτά έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες εργασίες (Μπάμπουκας & Αβραμίδης 2006 και 2008), όπου με τη βοήθεια ισοδύναμων ελαστικών παραμετρικών αναλύσεων, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, τεκμηριώθηκε η υπεροχή της μεθόδου έναντι της τεχνικής ενίσχυσης μέσω μανδύων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται εισαγωγικά μια σύντομη περιγραφή της τεχνικής, ενώ στην συνέχεια μέσω ενός παραδείγματος της ελληνικής πράξης εξετάζονται οι περιπτώσεις ενίσχυσης μέσω κατακόρυφων μετατεταγμένων τοιχωμάτων από Ο/Σ, σε αντιδιαστολή με τη μέθοδο των μανδύων ενίσχυσης των διατομών των κατακόρυφων (και ενδεχομένως και των οριζοντίων) στοιχείων. Η σύγκριση των δύο τεχνικών ενίσχυσης γίνεται μέσω αποτίμησης της ανελαστικής συμπεριφοράς του ενισχυμένου με τις συγκεκριμένες τεχνικές κτιρίου. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δύο συγκρινόμενων τεχνικών ενίσχυσης γίνεται με εφαρμογή της Στατικής Υπερωθητικής Ανάλυσης.

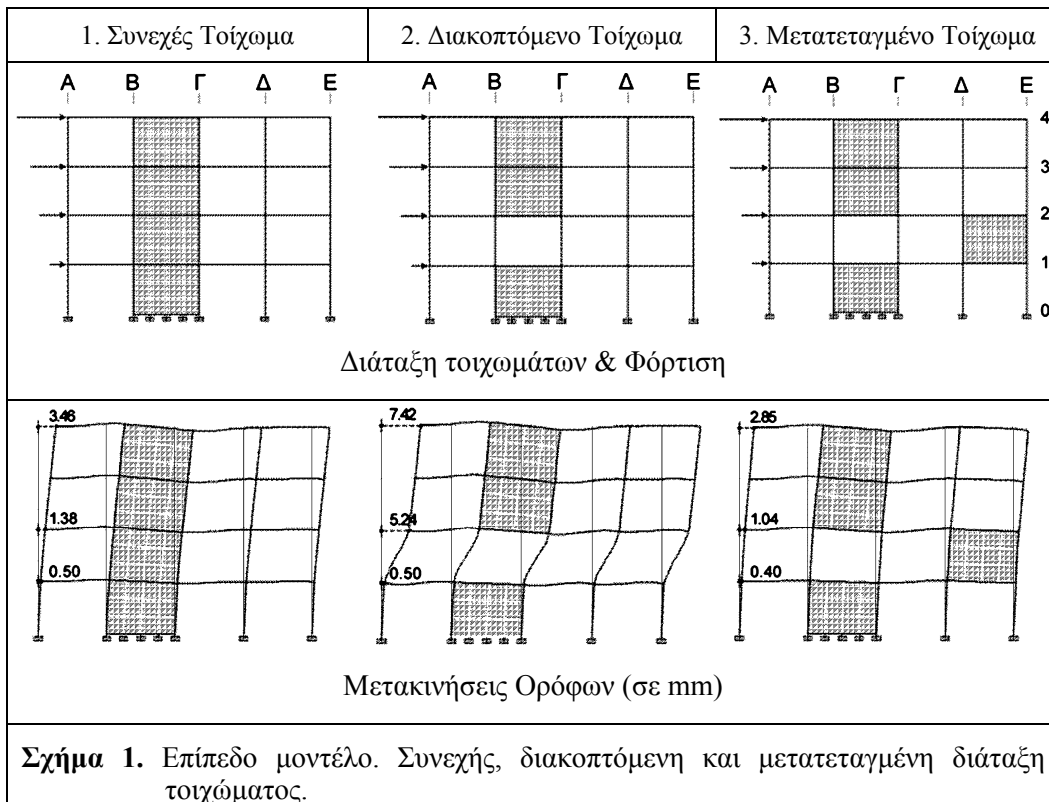
Η στατική υπερωθητική ανάλυση είναι μία μέθοδος αποτίμησης της ανελαστικής απόκρισης των κτιρίων, η οποία δίνει - υπό προϋποθέσεις - τη δυνατότητα εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά ενός κτιρίου που εισέρχεται στην ανελαστική περιοχή υπό ισχυρή σεισμική διέγερση. Η μέθοδος έχει υιοθετηθεί από διάφορους κανονισμούς όπως ο ATC-40, FEMA-356, ΕΚ-8 ως μια μέθοδος αξιολόγησης της σεισμικής επίδοσης υφιστάμενων, αλλά και νέων κατασκευών. Τα αποτελέσματα της Στατικής Υπερωθητικής Ανάλυσης που συγκρίνονται στην παρούσα εργασία είναι οι υπερωθητικές καμπύλες, η οριακή μετακίνηση κορυφής και η εικόνα κατανομής των πλαστικών αρθρώσεων για μετακίνηση κορυφής ίση με το 150% της μετακίνησης-στόχου, όπως προτείνει ο ΕΚ-8. Τα εξαγόμενα αυτά υπολογίστηκαν για το υφιστάμενο κτίριο ως έχει, για το κτίριο ενισχυμένο με μανδύες καθώς και για το κτίριο ενισχυμένο με μετατεταγμένους δίσκους. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της τεχνικής των μετατεταγμένων δίσκων.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ

Η τεχνική των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων έρχεται κατ' αρχάς σε αντίθεση με τη μέχρι σήμερα ισχύουσα πρακτική, σύμφωνα με την οποία η καθ' όλο το ύψος συνέχεια των αντισεισμικών τοιχωμάτων θεωρείται ως απαραίτητη απαίτηση, ασχέτως αν πρόκειται για την ενίσχυση ενός υφιστάμενου 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 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 καθ' ύψος, β) της διακοπτόμενης καθ' ύψος και γ) της μετατεταγμένης διάταξης. Πρόκειται για ένα πλαίσιο Ο/Σ τεσσάρων φατνωμάτων και τεσσάρων ορόφων, με διατομές δοκών 25x50cm και υποστύλωμάτων 50x50cm. Οι δοκοί του πλαισίου θεωρούνται ατενείς (διαφραγματική λειτουργία). Στο φάτνωμα 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 φάτνωμα Β-Γ στο φάτνωμα Δ-Ε (βλ. **Σχήμα 1** άνω). Η φόρτιση του πλαισίου είναι οριζόντια, τριγωνική καθ' ύψος και εφαρμόζεται ως γραμμικά κατανεμημένο φορτίο στις δοκούς των 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 της συνεχούς και της διακεκομμένης διάταξης παρατηρείται μια εξαιρετικά μεγάλη αύξηση των οριζοντίων

μετακινήσεων (+379.0%). 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). Παρόμοια αύξηση των μετακινήσεων δεν υφίσταται στην περίπτωση του μετατεταγμένου τοιχώματος του δεύτερου ορόφου, διότι και μεν έχει αφαιρεθεί στη στάθμη 2 το τοίχωμα από το φάτνωμα Β-Γ, αλλά η συνολική δυσκαμψία της στάθμης έχει διατηρηθεί, καθ' ότι το ίδιο τοίχωμα επανατοποθετήθηκε στο φάτνωμα Δ-Ε. Αντίθετα, οι μετακινήσεις εμφανίζουν μείωση της τάξης του -25.0%. Αντίστοιχη μείωση παρουσιάζουν και τα εντασιακά μεγέθη τέμνουσας (-37.6%) και ροπής (-40.1%).



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

Πρόκειται για ένα κτίριο κατασκευής 1978 (**Σχήμα 2**). Διαθέτει υπόγειο όροφο και πέντε υπέργειους ορόφους, ενώ το συνολικό του ύψος είναι 14.50m. 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/A-E και E/7-3 (**Σχήμα**

2). Στον δεύτερο υπέργειο όροφο υπάρχει ενιαίος γραφειακός χώρος μεταξύ των αξόνων 1-3 (**Σχήμα 2**), ενώ στον τρίτο όροφο, ο οποίος επίσης λειτουργεί ως χώρος γραφείων, υπάρχει ήδη διαχωριστική τοιχοποιία στον άξονα 2/A-Δ. Ο τελευταίος όροφος (ρετιρέ) χρησιμοποιείται ως κατοικία με μεγάλη πρόσοψη υαλοπινάκων στον άξονα 2. Τα υλικά κατασκευής του κτιρίου είναι: Σκυρόδεμα B225, χάλυβας διαμήκων ράβδων οπλισμού St.III, και χάλυβας συνδετήρων St.I.

Το οξύ πρόβλημα αντισεισμικής μορφολογίας στο συγκεκριμένο κτίριο προέρχεται από την ύπαρξη, στην μία γωνία της περιμέτρου του ενός πυρήνα, ο οποίος φιλοξενεί τον ανελκυστήρα. Το στοιχείο αυτό (πυρήνας) καθορίζει την σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου, καθ' όσον στην X-διεύθυνση της σεισμικής δράσης η ενιαία διατομή του διαθέτει δυσκαμψία περισσότερο από δέκα φορές μεγαλύτερη από το άθροισμα όλων των δυσκαμψιών των υποστυλωμάτων ενός ορόφου μαζί (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 επιπόνηση των περιμετρικών υποστυλωμάτων.

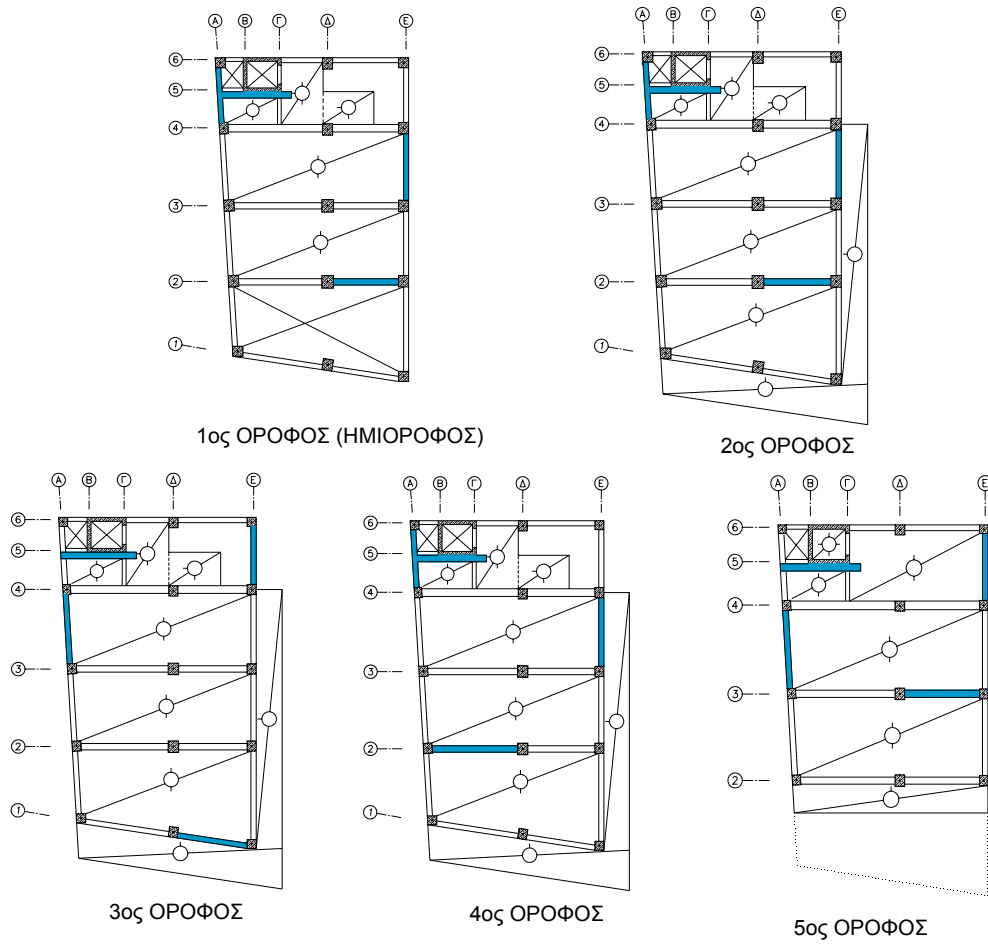
Μέθοδοι Ενίσχυσης

Λόγω των προαναφερθεισών στην Εισαγωγή λειτουργικών δεσμεύσεων, η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων στο υπό μελέτη κτίριο είναι απαγορευτική. Συνεπώς, οι μέχρι σήμερα διαθέσιμες τεχνικές ενίσχυσης οδηγούν νομοτελειακά στην αμιγώς πλαισιακή ενίσχυση του κτιρίου μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος στα υποστυλώματα και στις δοκούς. Με τη λύση αυτή ενισχύονται μεν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, το κυρίως όμως αίτιο που προκάλεσε το σοβαρό αντισεισμικό έλλειμμα του, δηλαδή η προβληματική αντισεισμική του μορφολογία, εξακολουθεί να υφίσταται. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι μέσω των μανδύων ενίσχυσης αντιμετωπίζονται οι συνέπειες του προβλήματος, ενώ η ίδια η αιτία του εξακολουθεί να υφίσταται.

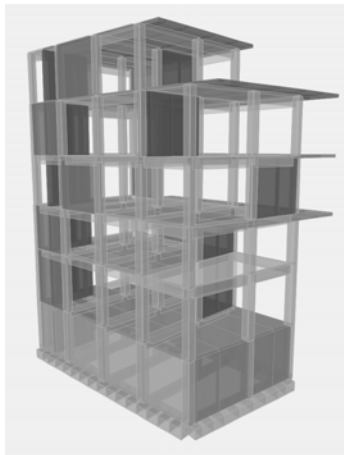
Λύση η οποία και αποκαθιστά την αντισεισμική επάρκεια του κτιρίου εξαλείφοντας το βασικό αίτιο που την προκαλεί, χωρίς συγχρόνως να δημιουργεί ιδιαίτερα εμπόδια στην καθημερινή λειτουργία του, είναι η λύση της τεχνικής των μετατεταγμένων δίσκων.

Στα παρακάτω σχήματα δείχνονται οι θέσεις τοποθέτησης των κατακόρυφων δίσκων στους ορόφους του κτιρίου. Οι θέσεις των δίσκων είναι ίδιες είτε πρόκειται για τοιχώματα Ο/Σ και για τους μεταλλικούς συνδέσμους.

Οι μετατεταγμένοι κατακόρυφοι δίσκοι αποτελούνται στο παράδειγμά μας από τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος τοποθετημένα στα φατνώματα των πλαισίων μεταξύ των οριζοντίων δοκών και των κατακόρυφων στύλων. Τα τοιχώματα αυτά είναι επαρκώς οπλισμένα και αγκυρωμένα στο πλαισιακό φάτνωμα.



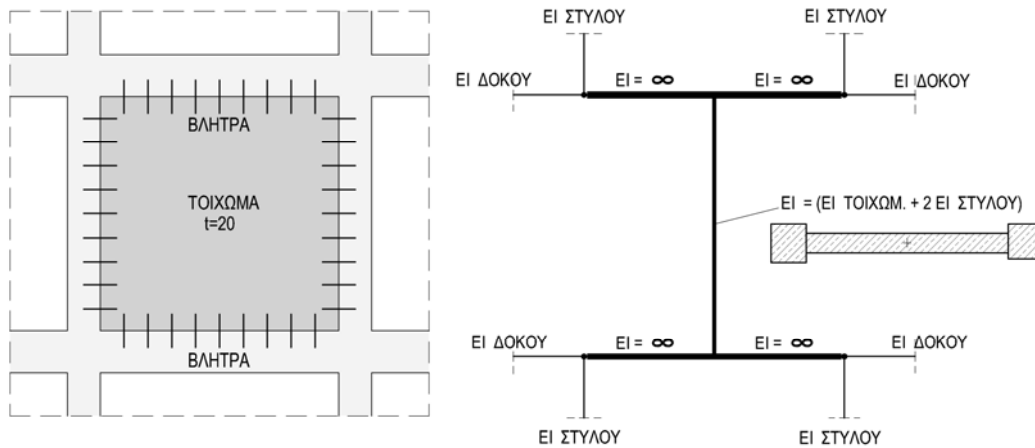
Σχήμα 2. Σκαριφήματα ξυλοτύπων με τις θέσεις των μετατεταγμένων δίσκων.



Σχήμα 3. Προσομοίωση Μετατεταγμένων Τοιχωμάτων

ΣΤΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κατά τη μη γραμμική ανάλυση, για την προσομοίωση των τοιχωμάτων της τεχνικής των μετατεταγμένων δίσκων χρησιμοποιήθηκαν ισοδύναμα ραβδόμορφα στοιχεία σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4. Υλοποίηση μετατεταγμένου τοιχώματος και προσομοίωση του με ισοδύναμα γραμμικά στοιχεία

Ως θέσεις των κρίσιμων διατομών, όπου μπορούν να αναπτυχθούν πλαστικές αρθρώσεις, θεωρήθηκαν τα άκρα των γραμμικών φορέων, τόσο των δοκών όσο και των υποστυλωμάτων, αλλά και των τοιχωμάτων στην περίπτωση των μετατεταγμένων δίσκων.

Παραδοχές στατικής υπερωθητικής ανάλυσης

Οι αναλύσεις έγιναν με το πρόγραμμα SAP2000 v.7.44 και τις εξής παραδοχές:

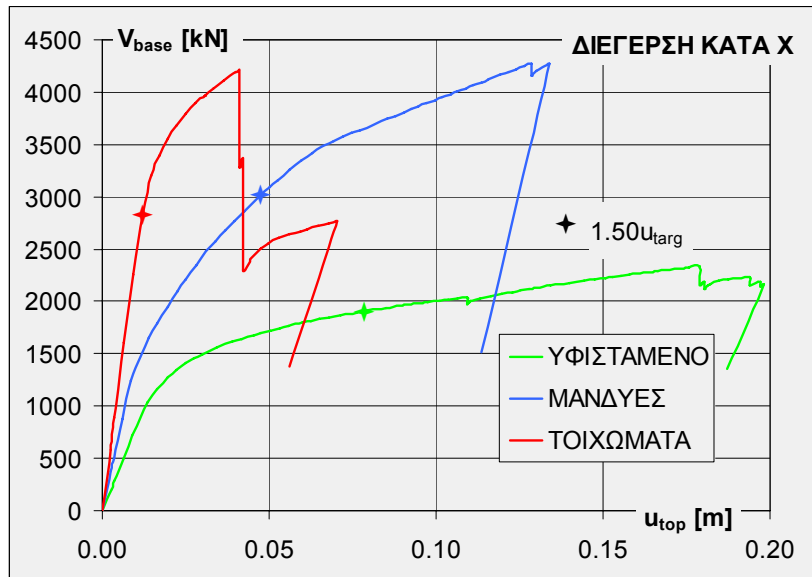
- Οι ανελαστικές αναλύσεις διενεργήθηκαν για σεισμική διέγερση κατά τη διεύθυνση των καθολικών X και Y αξόνων των κτιρίων.
- Οι σεισμικές δυνάμεις εφαρμόστηκαν στο γεωμετρικό κέντρο των κατόψεων.
- Η κατανομή των οριζοντίων επαυξητικών φορτίων θεωρήθηκε ότι είναι τριγωνική αυξανόμενη καθ' ύψος, σύμφωνα με τη σχέση 3.15 του ΕΑΚ/2000.
- Η μετακίνηση-στόχος υπολογίστηκε με βάση το παράρτημα Β του ΕΚ-8 (ΕC8, Annex B)
- Τα μήκη των πλαστικών αρθρώσεων των δοκών και των υποστυλωμάτων υπολογίστηκαν αυτόματα από το SAP2000. Για τα τοιχώματα, το μήκος πλαστικής άρθρωσης στη βάση εκτιμήθηκε από τη σχέση των Paulay/Priestley (1992):

$$L_p = 0.2 \cdot L_w + 0.044 \cdot h_w \leq 0.8 \cdot L_w \quad (h_w, L_w \text{ ύψος και πλάτος του τοιχώματος})$$

- Οι στάθμες επιτελεστικότητας που ελήφθησαν υπόψη για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων είναι σύμφωνες με την FEMA273, (1997).

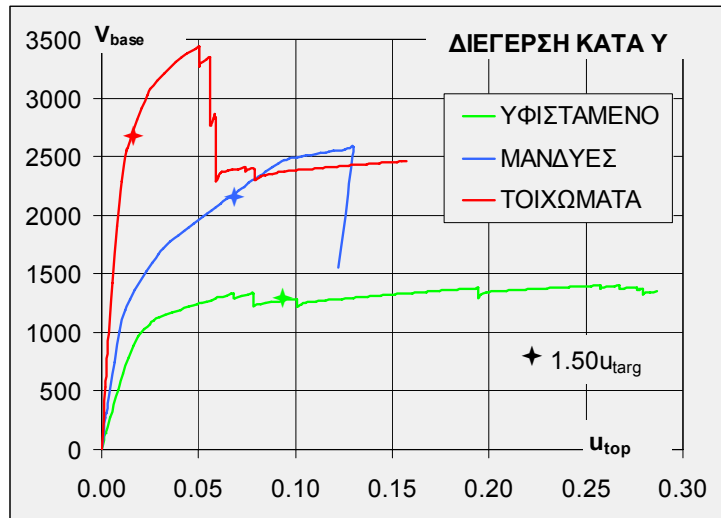
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στα **Σχήματα 5** και **6** παρουσιάζονται οι υπερωθητικές καμπύλες των δύο διαφορετικών τεχνικών ενίσχυσης και του υφισταμένου κτιρίου για σεισμική καταπόνηση στις καθολικές διευθύνσεις X και Y του κτιρίου. Οι τετμημένες αφορούν στη μετακίνηση του κέντρου βάρους του τελευταίου ορόφου και οι τεταγμένες στην τέμνουσα βάσης.



Σχήμα 5. Υπερωθητικές καμπύλες του υφιστάμενου κτιρίου και των δύο διαφορετικών διατάξεων ενίσχυσης κατά τη διεύθυνση φόρτισης X.

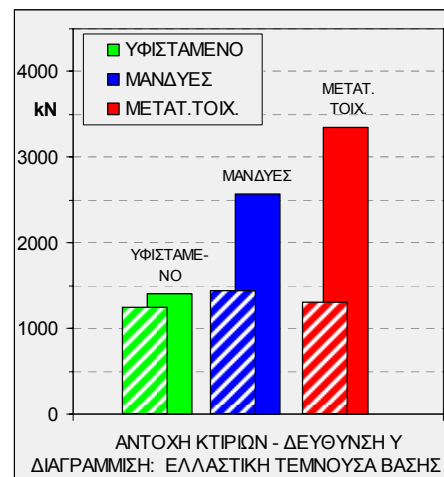
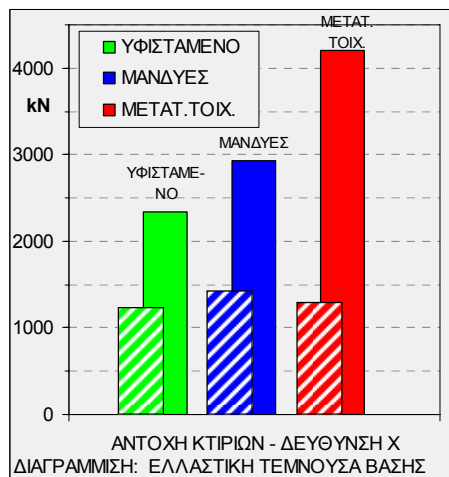
Από τη μελέτη των σχημάτων αυτών προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενίσχυση με τους μετατεταγμένους δίσκους μειώνει κατά πολύ τις ανελαστικές μετακινήσεις-παραμορφώσεις και ως εκ τούτου και τις αναμενόμενες βλάβες σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία. Επιπλέον, ειδικότερα για τη σεισμική διέγερση κατά Y (βλ. **Σχήμα 6**) η ενίσχυση με μετατεταγμένους δίσκους οδηγεί και σε μία σημαντική αύξηση της αντοχής σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση που προκύπτει από την ενίσχυση των στοιχείων του κτιρίου με μανδύες (αύξηση αντοχής κατά 80% περίπου).



Σχήμα 6. Υπερωθητικές καμπύλες υφιστάμενου κτιρίου και των δύο διαφορετικών διατάξεων ενίσχυσης κατά τη διεύθυνση φόρτισης Y.

Πίνακας 1. Αντοχή Κτιρίου και Ελαστική τέμνουσα βάσης.

σε kN	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X		ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y		ΤΕΜΝΟΥΣΣΕΣ ΒΑΣΗΣ
	ΑΝΤΟΧΗ ΚΤΙΡΙΩΝ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΝΤΟΧΗΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΚΤΙΡΙΩΝ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΝΤΟΧΗΣ	
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	2334.80	0.0%	1399.00	0.0%	1229.39
ΜΑΝΔΥΕΣ	2934.60	+25.7%	2577.30	+84.2%	1428.02
ΜΕΤΑΤ.ΤΟΙΧ.	4203.30	+80.0%	3345.80	+139.2%	1349.84

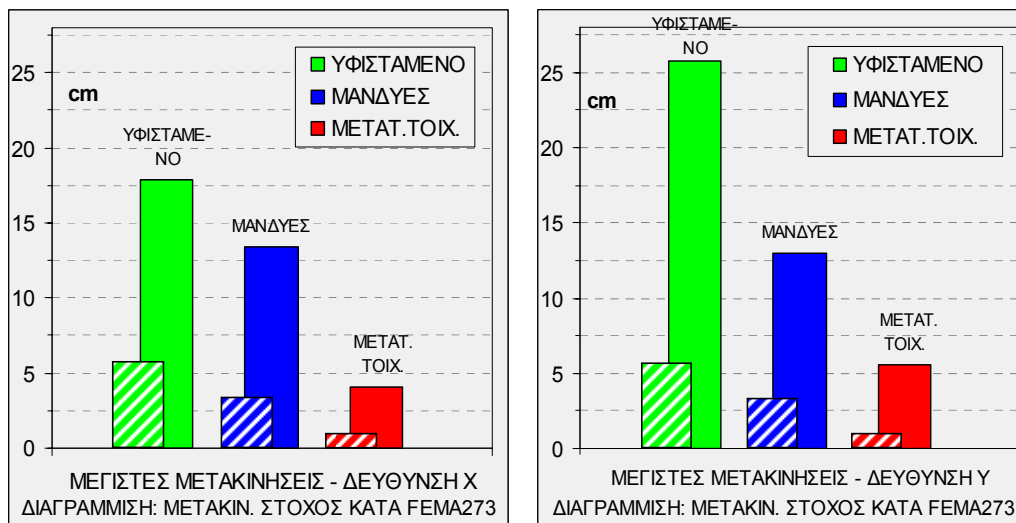


Σχήμα 7. Αντοχές υφισταμένου και του βελτιωμένου με τις δύο τεχνικές ενίσχυσης κτιρίου, καθώς και οι αντίστοιχες τέμνουσες βάσης της ελαστικής ανάλυσης.

Ενώ οι τέμνουσες δυνάμεις βάσης κατά την ελαστική ανάλυση έχουν μικρή μεταξύ τους απόκλιση, οι δυνάμεις αντοχής του κτιρίου στα τρία διαφορετικά μοντέλα εμφανίζουν σημαντικές διαφορές. Η αντοχή του ενισχυμένου μέσω μανδύων κτιρίου κατά τη διεύθυνση X αυξάνεται σε σχέση με το υφιστάμενο κατά 25.7%, ενώ η αύξηση της αντοχής του ενισχυμένου μέσω μετατεταγμένων δίσκων κτιρίου φθάνει στο 80%. Κατά τη διεύθυνση Y, η αντοχή του ενισχυμένου κτιρίου μέσω μανδύων αυξάνεται κατά 84%, ενώ η αύξηση της αντοχής του ενισχυμένου μέσω μετατεταγμένων δίσκων κτιρίου φθάνει στο 139%.

Πίνακας 2. Ανελαστική μέγιστη μετακίνηση κτιρίου και μετακίνηση-στόχος.

σε cm	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X			ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y		
	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΓ. ΜΕΤΑΚ.	ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ Σ ΣΤΟΧΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΓ. ΜΕΤΑΚ.	ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ Σ ΣΤΟΧΟΣ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	17.89	0.0%	5.16	25.72	0.0%	5.85
ΜΑΝΔΥΕΣ	13.39	-25.2%	3.02	13.01	-49.4%	4.10
ΜΕΤΑΤ.ΤΟΙΧ.	4.12	-77.0%	0.85	5.59	-78.3%	0.89



Σχήμα 8. Μέγιστη μετακίνηση και μετακίνηση-στόχος κατά FEMA273 του υφισταμένου και του βελτιωμένου με τις δύο τεχνικές ενίσχυσης κτιρίου.

Οι μέγιστες μετακινήσεις του ΚΒ της τελευταίας στάθμης του κτιρίου (**Σχήμα 8**) πριν την κατάρρευση, για διεύθυνση διέγερσης X, στο μοντέλο με την ενίσχυση μέσω μανδύων μειώνονται κατά -25 % σε σχέση με το υφιστάμενο, ενώ στην περίπτωση των μετατεταγμένων τοιχωμάτων η μείωση είναι -77 %. Κατά την διεύθυνση διέγερσης Y, στο μοντέλο με την ενίσχυση μέσω μανδύων η μείωση είναι μειώνονται κατά -49 % σε σχέση με το υφιστάμενο, ενώ στην περίπτωση των μετατεταγμένων τοιχωμάτων η μείωση είναι -79 %.

Πίνακας 3. Πλήθος πλαστικών αρθρώσεων ανά είδος δομικού στοιχείου για μετακίνηση κορυφής ίση με το 1.50 της μετακίνησης-στόχου

	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ						ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ						
	ΔΟΚΟΙ		ΣΤΥΛΟΙ	ΤΟΙΧΩΜ.		ΣΥΝΟΛΟ	ΔΟΚΟΙ		ΣΤΥΛΟΙ	ΤΟΙΧΩΜ.		ΣΥΝΟΛΟ	
ΥΦΙΣΤΑΜ.	112 B	5 ΙΟ	41 B	19 B	1 ΙΟ	178	72 B	1 ΙΟ	30 B	10 B	2 ΙΟ	4 Ε	119
ΜΑΝΔΥΕΣ	107 B		1 B	19 B		147	91 B		0	15 B			106
ΜΕΤ. ΤΟΙΧ.	18 B		6 B	9 B		33	25 B		6 B	6 B			37

Το πλήθος των σχηματισμένων πλαστικών αρθρώσεων (**Πίνακας 3**) μειώνεται στο ενισχυμένο με μανδύες κτίριο λόγω της σημαντικής μείωσης του αριθμού των αρθρώσεων που σχηματίζονται στα υποστυλώματα.

Πολύ μεγαλύτερη είναι όμως η μείωση των πλαστικών αρθρώσεων στην περίπτωση της ενδύσης με τους μετατεταγμένους δίσκους: Σχηματίζονται κατά 81% πλαστικές αρθρώσεις για σεισμική διέγερση κατά Χ και κατά 70% λιγότερες για σεισμική διέγερση κατά Υ. Συνεπώς προκύπτει και πάλι σημαντικά μικρότερος αριθμός βλαβών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία τεκμηριώνεται μέσω μη γραμμικών (στατικών υπερωθητικών) αναλύσεων το γεγονός, ότι η ευέλικτη τεχνική των μετατεταγμένων τοιχωμάτων αποτελεί μια τεχνική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της τεχνικής των ενισχύσεων υφισταμένων κτιρίων μέσω μανδύωσης των δομικών τους στοιχείων. Η προτεινόμενη τεχνική προσφέρει τεχνικά ποιοτικά χαρακτηριστικά σαφώς βελτιωμένα αυτών που επιτυγχάνονται μέσω της τεχνικής των μανδύων όπως :

- Περιορισμός των μετακινήσεων του κτιρίου (μειωμένες βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία).
- Σημαντική μείωση του αριθμού των πλαστικών αρθρώσεων (περιορισμός βλαβών σε φέροντα στοιχεία).
- Σημαντική αύξηση της αντοχής του κτιρίου σε σχέση με την ενίσχυση μέσω των μανδύων.

Από τα παραπάνω, σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη απαιτούμενη δαπάνη επισκευής και τον μικρότερο βαθμό όχλησης για ενοίκους ενός υπό επισκευή κτιρίου, όπως αυτά έχουν τεκμηριωθεί σε προηγούμενες εργασίες, καθίσταται σαφές ότι η προτεινόμενη τεχνική θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ως

εναλλακτική λύση επέμβασης κατά τον σχεδιασμό της αντισεισμικής ενίσχυσης υφισταμένων κτιρίων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

A. Αθανατοπούλου, Π. Παπαδόπουλος, «Σεισμική συμπεριφορά με αντισεισμικά τοιχώματα τυχαίας καθ' ύψος τοπολογίας», ΤΕΕ-12ο Ελληνικό Συνέδριο σκυροδέματος.

E. Μπάμπουκας, I. E. Αβραμίδης, «Ενισχύσεις υφιστάμενων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων», ΤΕΕ-15ο Ελληνικό συνέδριο σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη (2006).

E. Μπάμπουκας, I. E. Αβραμίδης, «Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία», 3^ο Συνέδριο ETAM – Αθήνα (2008).

ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, California, Report No. SSC 96-01, (1996).

CEN EC8. Design of Structures for Earthquake Resistance. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium (2004).

FEMA 273&274, «NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings», Publ. FEMA 273 & 274, Washington, D.C. (1997).

FEMA-356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, (2000).

P. Papadopoulos – A. Athanatopoulou: «Seismic Behavior of Dual Systems With In-Plane Discontinuities», 12th European Conference On Earthquake Engineering.

Paulay T., Priestley M., «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα και Τοιχοποιία», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα (1996).