

## **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ**

**ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

### **Περίληψη**

*Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει μια εναλλακτική τεχνική ενίσχυσης με προσθήκη τοιχωμάτων, αυτή των μη συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων ή μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων. Αρχικά δίνονται κάποιες πληροφορίες για την τεχνική ενίσχυσης κατασκευών μέσω τοιχωμάτων και στη συνέχεια επισημαίνεται η σημαντικότητα της καθ' ύψος κανονικότητας ενός κτιρίου. Έπειτα παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων με τη βοήθεια ενός παραδείγματος και τέλος αξιολογείται η χρησιμότητα της.*

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στη χώρα μας ένα μεγάλο ποσοστό των υφισταμένων κτιρίων έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί πριν από το 1985 βασισμένο σε παλαιότερη τεχνογνωσία και σύμφωνα με υποτυπώδεις αντισεισμικούς κανονισμούς οι οποίοι υποτιμούσαν το μέγεθος των σεισμικών δράσεων και αγνοούσαν την σημασία της πλαστιμότητας. Το γεγονός αυτό κρίνει αναγκαία στις περισσότερες περιπτώσεις την ενίσχυση της κατασκευής προκειμένου να αποφευχθούν εκτεταμένες βλάβες σε ενδεχόμενο ισχυρό σεισμό.

Στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης μπορούμε να κινηθούμε προς δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι η ενίσχυση της κατασκευής ως σύνολο έτσι ώστε να μειωθεί η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια αντοχής του και η δεύτερη είναι ενίσχυση μεμονωμένων στοιχείων της κατασκευής προκειμένου να τους προσδώσουμε αντοχή ή άλλα ελλειπόντα χαρακτηριστικά (π.χ. πλαστιμότητα).

Στις περιπτώσεις όπου ο κύριος επιδιωκόμενος στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φορέα. Ωστόσο η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων δεν είναι πάντα εφικτή, είτε λόγω λειτουργικών προβλημάτων, όπως είναι για παράδειγμα οι διαφορετικές χρήσεις και αρχιτεκτονικές διατάξεις στους διαφόρους ορόφους, είτε λόγω τεχνικών δυσκολιών που κυρίως έχουν να κάνουν με τη δυσκολία κατασκευής θεμελιώσεων ικανών να παραλάβουν τις μεγάλες ροπές βάσης των συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων. Οι δυσκολίες αυτές προέρχονται κυρίως από τη στενότητα χώρου στα υφιστάμενα κτίρια αλλά και την αδυναμία πρόσβασης στις θέσεις έδρασης των τοιχωμάτων αυτών.

Αυτό έχει πολύ συχνά ως αποτέλεσμα οι μελετητές να καταφεύγουν στην κλασική ενίσχυση των υποστυλωμάτων του κτιρίου μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος, τεχνική που ενισχύει μεν τα επιμέρους δομικά στοιχεία, χωρίς όμως να βελτιώνει τη μορφολογία του φέροντος οργανισμού ελαττώνοντας έτσι δραματικά τη δυνατότητα καθοριστικής ανύψωσης του επιπέδου αντισεισμικής επίδοσης του κτιρίου. Η τοποθέτηση μη συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ή αλλιώς μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων, αποτελεί μία εναλλακτική λύση ενίσχυσης που ξεπερνά τα παραπάνω προβλήματα και μπορεί να θεωρηθεί ιδανική λύση για τέτοιου είδους περιπτώσεις.

### **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ**

Όταν σε μία κατασκευή, που η ενίσχυση της κρίνεται απαραίτητη, τα αδύναμα στοιχεία είναι πολλά, χρειάζεται μια συνολική αντιμετώπιση του θέματος. Η προσθήκη τοιχωμάτων είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που κατατάσσεται σε αυτήν τη κατεύθυνση, γιατί όχι μόνο βοηθά στην αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να διορθώσει τυχόν σφάλματα του σχεδιασμού, πιθανή κακή μόρφωση

του φορέα και ασυμμετρίες κατανομής της δυσκαμψίας ή της αντοχής καθ' ύψος και της εκκεντρότητας της δυσκαμψίας σε κάτοψη.

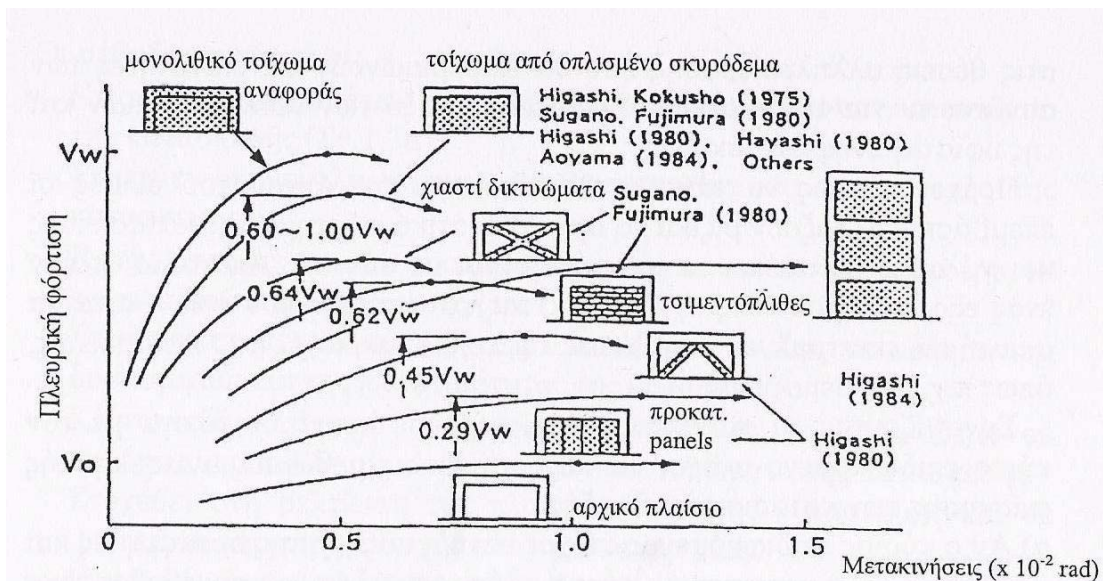
Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στη πράξη διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τύπο του τοιχώματος που χρησιμοποιείται:

- Τοιχώματα από έγχυτο η εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Προκατασκευασμένα τοιχώματα
- Τοιχώματα από οπλισμένη ή άοπλη τοιχοποιία

Όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα, σύμφωνα με πειραματικές έρευνες που έγιναν στην Ιαπωνία από τον Sugano, η πρώτη μέθοδος (τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα) είναι η πλέον αποδοτική. Κρίσιμο σημείο εφαρμογής της είναι η μεταφορά των οριζόντιων δράσεων στα νέα τοιχώματα, γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται έλεγχος επάρκειας του διαμήκους οπλισμού των δοκών, ενώ ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο έλεγχος που απαιτείται για την επάρκεια της αγκύρωσης των νέων ράβδων οπλισμού στον υφιστάμενο φορέα. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της αυξημένης έντασης που αναμένεται να έχουν τα υποστυλώματα, καθώς πλέον αποτελούν τα άκρα ενός νέου τοιχώματος, συνηθίζεται η κατασκευή κλειστών μανδυών σε αυτά εκατέρωθεν του νέου τοιχώματος με κατακόρυφους συνεχείς οπλισμούς και οπλισμό περίσφιξης.

Όσων αφορά την τεχνική της προσθήκης προκατασκευασμένων τοιχωμάτων, αν και είναι αρκετά οικονομική, δεν προτιμάται γιατί έχει συγκριτικά μικρότερη προσφορά στη συνολική δυσκαμψία και αντοχή του φορέα (βλ. σχήμα 1).

Τέλος, τα τοιχώματα από τοιχοποιία (από συμπαγή τούβλα ή τσιμεντόπλινθους) αν και είναι μια μέθοδος λιγότερο αποδοτική σε σχέση με τις άλλες, είναι δημοφιλής επειδή είναι αρκετά οικονομική και συμβάλλει σημαντικά στην κατανάλωση της σεισμικής ενέργειας που εισάγεται στην κατασκευή.



Σχήμα 1 : Αποτελεσματικότητα διάφορων μεθόδων ενίσχυσης δίστυλων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα [Δρίτσος, “Ένισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”]

## ΚΑΘ' ΥΨΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ

Μία εκ των βασικών αρχών που θα πρέπει να ακολουθεί ο μηχανικός, ώστε να καταλήξει σε μία δομική μορφολογία που να χαρακτηρίζεται ως επιτυχής είναι η καθ' ύψος κανονικότητα και ομοιομορφία γεωμετρίας, δυσκαμψίας μάζας αλλά και αντοχής. Όταν σ' ένα κτίριο αλλάξει σημαντικά από όροφο σε όροφο η μάζα, ή οι διαστάσεις σε κάτοψη, ή η δυσκαμψία (λόγω διαφορετικού ύψους ορόφου, διαφορετικής διάταξης ή διαφορετικών διατομών στοιχείων, ή ασυνέχειας-τερματισμού κάποιων υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων) μειώνεται η

ακρίβεια και η αξιοπιστία της ισοδύναμης στατικής μεθόδου ελαστικής ανάλυσης, που εφαρμόζει στις μάζες οριζόντια στατικά φορτία ανάλογα της τιμής της κάθε μάζας επί την απόστασή της από τη βάση. Μάλιστα συχνά η μείωση της ακρίβειας είναι όχι προς την πλευρά της ασφάλειας. Για το λόγο αυτό οι αντισεισμικοί κανονισμοί επιβάλλουν δυναμική (φασματική) ανάλυση για όσες κατασκευές κρίνονται ως “μη-κανονικές καθ’ ύψος”. Επιπλέον, επειδή στις θέσεις απότομης καθ’ ύψος μεταβολής της δυσκαμψίας, της μάζας, ή κυρίως των διαστάσεων, μπορεί να εμφανισθεί τοπική συγκέντρωση ανελαστικών παραμορφώσεων που δεν αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα της ελαστικής δυναμικής ανάλυσης, ορισμένοι κανονισμοί μειώνουν το συνολικό συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  του κτιρίου (ο Ευρωκώδικας 8 τον μειώνει κατά 20%).



Σχήμα 2 : (α) Καταρρεύσεις ανώτερων ορόφων για καθ’ ύψος μεταβολή των διαστάσεων κάτοψης  
(β) Κατάρρευση ενδιάμεσου ορόφου λόγω απότομης μεταβολής κατακόρυφων στοιχείων  
[Φαρδής, “Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα”]

Πολύ σημαντικότερες δυσμενείς επιπτώσεις στη σεισμική συμπεριφορά και ασφάλεια απ’ αυτές της μη-κανονικότητας καθ’ ύψος της μάζας, της δυσκαμψίας ή της γεωμετρίας, μπορεί να έχει η μη-κανονικότητα του λόγου της διαθέσιμης αντοχής ορόφου προς την απαιτούμενη. Και τούτο όχι μόνον επειδή η ελαστική δυναμική ανάλυση δεν συλλαμβάνει αυτές τις δυσμενείς επιπτώσεις, αλλά επειδή η μη-κανονικότητα της αντοχής ακυρώνει το βασικό στόχο του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού για ομοιόμορφη διασπορά των απαιτήσεων πλαστιμότητας και παραμορφώσεων σ’ όλο το ύψος του κτιρίου, με πιθανό αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των συνολικών απαιτούμενων μετακινήσεων/παραμορφώσεων στο τμήμα του ύψους του κτιρίου όπου η διαθέσιμη αντοχή είναι πλησιέστερη προς την απαιτούμενη. Στη χειρότερη περίπτωση αυτό μπορεί να οδηγήσει σε “μαλακό όροφο” και σε κατάρρευση του ορόφου αυτού.

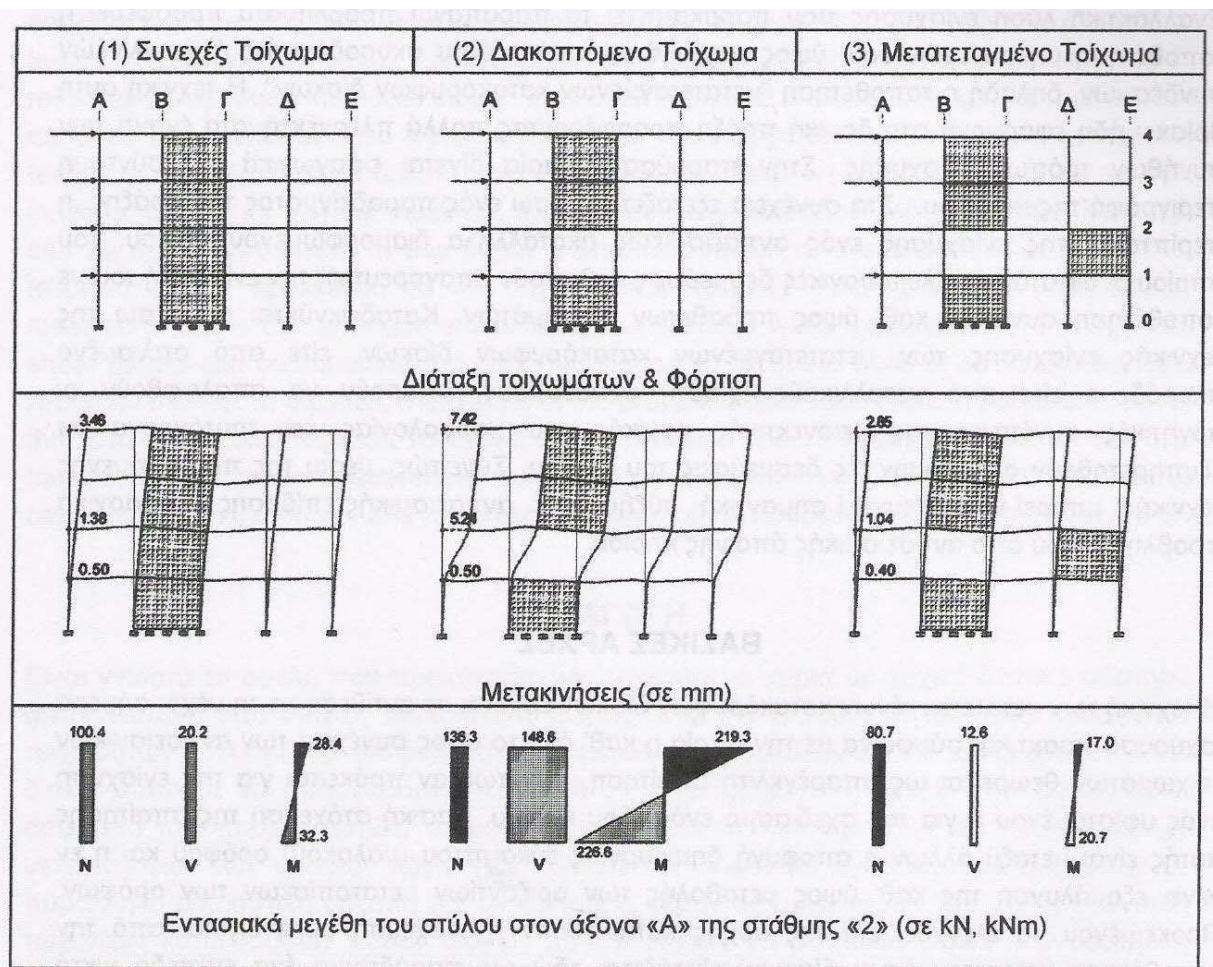
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, ως κανονικά καθ’ ύψος ορίζονται εκείνα τα δομικά συστήματα κτιρίων στα οποία ισχύουν όλες οι κατωτέρω συνθήκες:

- Τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (τοιχώματα και πλαίσια) συνεχίζονται μέχρι την κορυφή του αντίστοιχου τμήματος της κάτοψης, χωρίς διακοπή σε ενδιάμεσο όροφο.
- Η μάζα των ορόφων και η δυσκαμψία των δομικών στοιχείων τους είναι η ίδια σ’ όλους τους ορόφους ή μειώνεται ομαλά από τη βάση προς την κορυφή.
- Σε πλαισιακά δομικά συστήματα δεν υπάρχει έντονη ανομοιομορφία υπεραντοχής έναντι οριζοντίων δράσεων μεταξύ διαδοχικών ορόφων. Ως υπεραντοχή μπορεί να ληφθεί ο λόγος της πραγματικής αντοχής του ορόφου προς τη σεισμική τέμνουσα του ορόφου υπό το σεισμό σχεδιασμού.
- Οι τυχόν εσοχές ενός ορόφου από τον αμέσως κατώτερο είναι περιορισμένες.

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΔΙΣΚΩΝ

Σύμφωνα με την επικρατούσα μέχρι σήμερα πρακτική και σύμφωνα με όσα αναλύσαμε παραπάνω, θεωρείται απαραίτητο τα αντισεισμικά τοιχώματα να είναι συνεχή καθ' όλο το ύψος της κατασκευής, είτε μιλάμε για ενίσχυση υφισταμένου ή την κατασκευή νέου κτιρίου, προκειμένου να εξομαλυνθεί η καθ' ύψος μεταβολή των οριζοντίων μετατοπίσεων των ορόφων αλλά και να αποφευχθεί η δημιουργία μαλακού ορόφου. Έτσι, η μέθοδος των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων φαίνεται, αρχικά, να έρχεται σε πλήρη αντίθεση με αυτήν την πρακτική. Όπως θα φανεί όμως και από το παράδειγμα που ακολουθεί, δεν θίγεται εν τέλει αυτή η βασική στόχευση.

Στο παράδειγμα αυτό εξετάζουμε ένα επίπεδο μικτό πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος τεσσάρων φατνωμάτων και τεσσάρων ορόφων με ένα φατνωματικό τοίχωμα στο φάτνωμα Β-Γ σε τρεις διαφορετικές παραλλαγές διάταξης του: (1) συνεχής διάταξη, (2) διακοπτόμενη καθ' ύψος διάταξη και (3) μετατεταγμένη διάταξη (βλ. Σχήμα 3). Οι δοκοί έχουν διατομές 25x50cm, τα υποστυλώματα 50x50cm και το τοίχωμα έχει πάχος 20cm. Οι δοκοί του πλαισίου θεωρούνται ατενείς (διαφραγματική λειτουργία). Η φόρτιση του πλαισίου είναι οριζόντια και τριγωνική καθ' ύψος και εφαρμόζεται ως γραμμικά κατανεμημένο κεντροβαρικό φορτίο στις οριζόντιες δοκούς 1 έως 4 ( $F_1=100$  kN,  $F_2=200$  kN,  $F_3=300$  kN,  $F_4=400$  kN). Η προσομοίωση των τοιχωμάτων γίνεται με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία για μεγαλύτερη ακρίβεια.

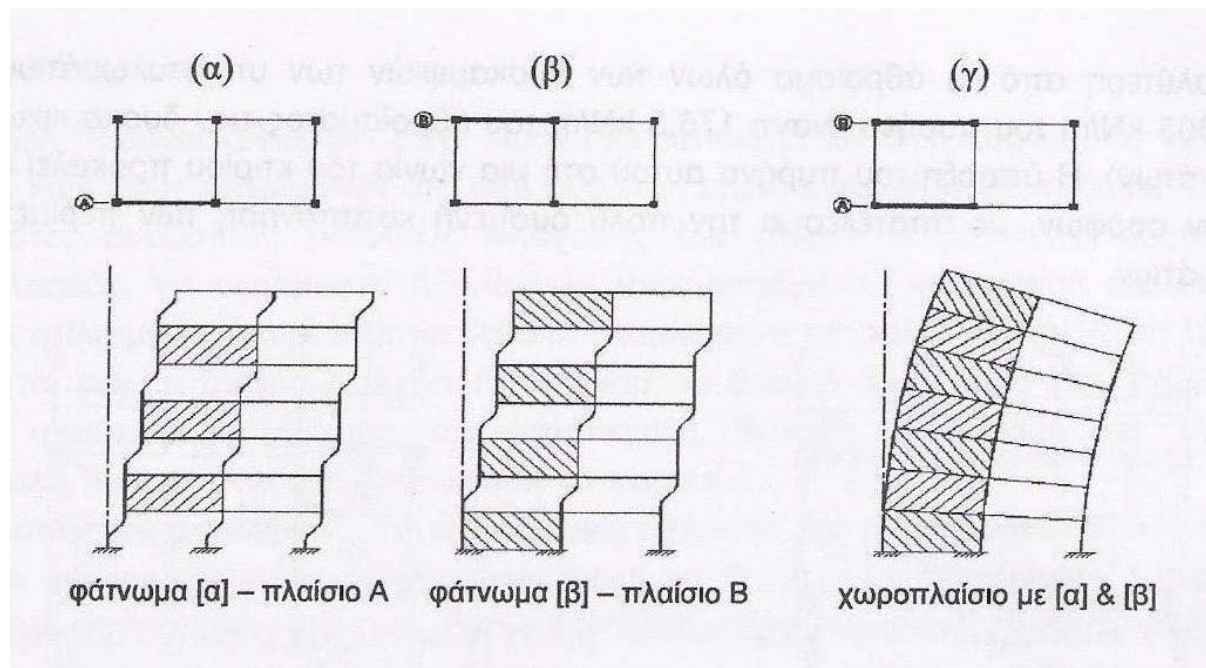


Σχήμα 3 : Επίπεδος φορέας: Διερευνηθείσες διατάξεις ενισχυτικού τοιχώματος. Μετακινήσεις και εντάσεις λόγω στατικών σεισμικών φορτίων [Μπάμπουκας, Μορφίδης, Αβραμίδης, “Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία”]

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά αποτελέσματα της στατικής επίλυσης των τριών αυτών φορέων. Παρατηρούμε ότι μεταξύ της συνεχούς (1) και διακεκομμένης (2) διάταξης παρατηρείται μια πολύ μεγάλη αύξηση των οριζοντίων μετακινήσεων από 3,46mm σε 7,42mm της τάξεως του 114.5% αλλά και των εντατικών μεγεθών της στάθμης 2. Χαρακτηριστικά στον στύλο Α η ροπή αυξάνεται κατά 672.2% και η τέμνουσα κατά 635.6%. Αυτό βέβαια ήταν αναμενόμενο λόγω της απότομης μείωσης της δυσκαμψίας και της αντοχής στη στάθμη αυτή (δημιουργία μαλακού ορόφου).

Στην περίπτωση όμως του μετατεταγμένου τοιχώματος (3), όχι μόνο δεν παρατηρούμε παρόμοια αύξηση των μετακινήσεων και των εντατικών μεγεθών, αλλά αντίθετα εμφανίζεται μείωση της τάξεως του -17.6% για τις μετακινήσεις (2.85mm από 3.46mm), -37.6% για την τέμνουσα και -40.1% για τη ροπή. Αυτό συμβαίνει γιατί παρότι έχει αφαιρεθεί στη στάθμη 2 το τοίχωμα από το φάτνωμα Β-Γ η συνολική δυσκαμψία της στάθμης έχει διατηρηθεί λόγω της επανατοποθέτησης του στο φάτνωμα Δ-Ε.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της αύξησης των αξονικών δυνάμεων των δύο στύλων της στάθμης 2 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), κάτι που είναι και αναμενόμενο αφού πάνω τους στηρίζεται το συνεχιζόμενο στους πάνω ορόφους τοίχωμα. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση (2) στους δύο αυτούς στύλους αναπτύσσονται ταυτόχρονα και πολύ μεγάλες ροπές, κάτι που δε συμβαίνει στους άλλους δύο στύλους της περίπτωσης (3), όπου οι ροπές παραμένουν αρκετά χαμηλές. Η στατική αυτή συμπεριφορά μπορεί να ερμηνευτεί με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος.



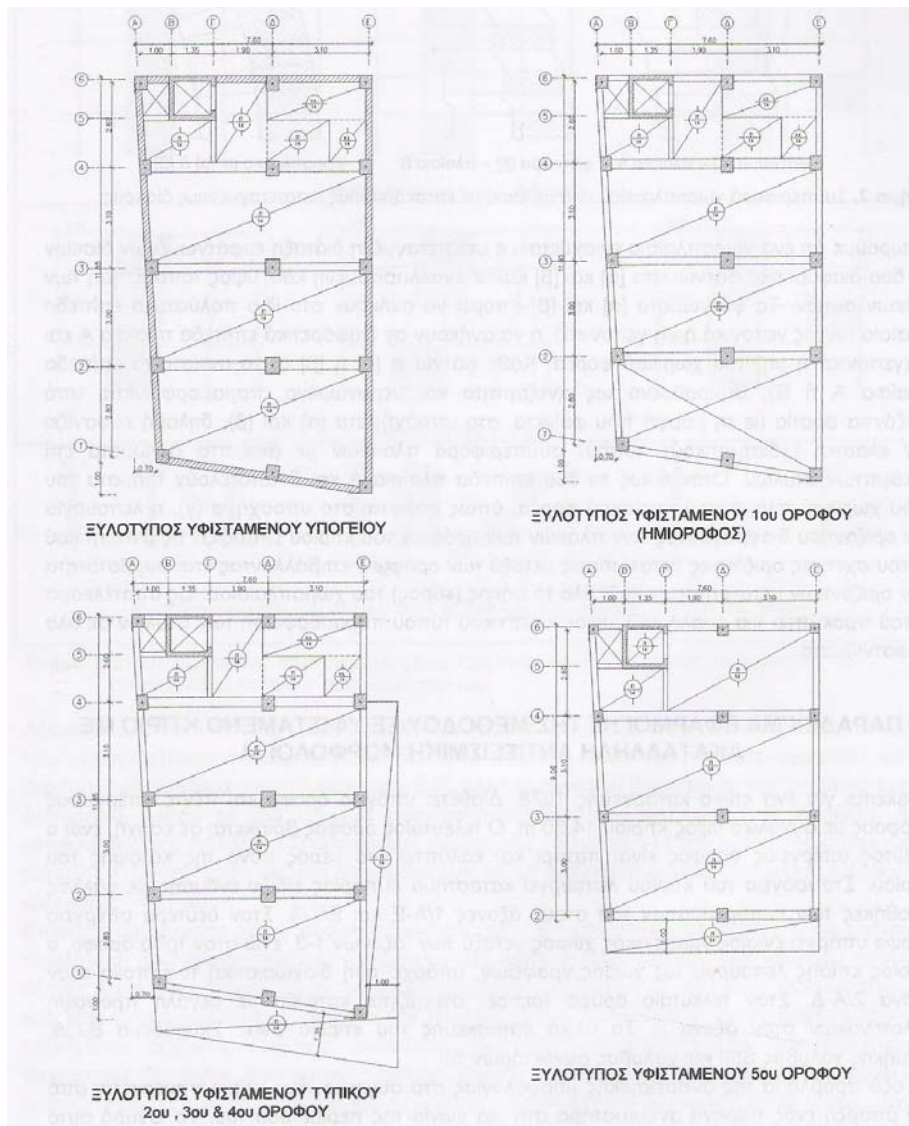
Σχήμα 4 : Συμπεριφορά χωροπλαισίου ενισχυμένου με κατακόρυφους μετατεταγμένους δίσκους [Μπάμπουκας, Μορφίδης, Αβραμίδης, “Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία”]

Θεωρούμε ότι ένα χωροπλαίσιο 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 πολύστυλο 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 A ή B), 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 A και B 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

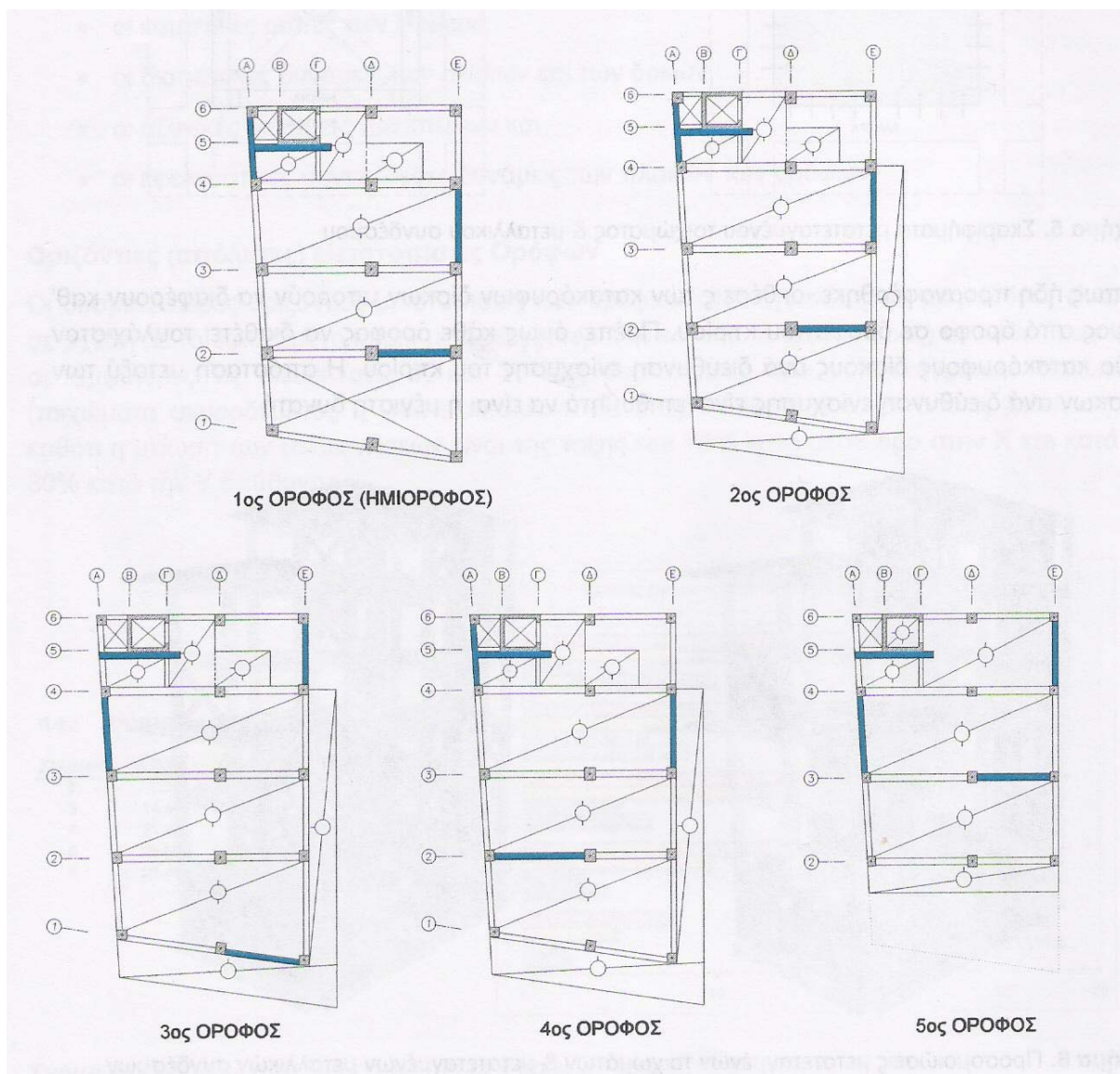
Η μέθοδος των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση ενός πενταόροφου με υπόγειο κτιρίου κατασκευής 1978. Το οξύ πρόβλημα της αντισεισμικής μορφολογίας στο συγκεκριμένο κτίριο προέρχεται από την ύπαρξη ενός πυρήνα ανελκυστήρα στη μία γωνία της περιμέτρου του, που καθορίζει τη σεισμική συμπεριφορά



Σχήμα 5 : Σκαριφήματα ξυλοτύπων υφισταμένου κτιρίου [Μπάμπουκας, Μορφίδης, Αβραμίδης, “Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία”]

του, καθώς στην Χ-διεύθυνση της σεισμικής δράσης η ενιαία διατομή του πυρήνα διαθέτει δυσκαμψία δέκα φορές μεγαλύτερη από το άθροισμα όλων των δυσκαμψιών των υποστλωμάτων ενός ορόφου. Η ύπαρξη του πυρήνα αυτού προκαλεί έντονη στροφή των ορόφων, με αποτέλεσμα την πολύ δυσμενή καταπόνηση των περιμετρικών υποστλωμάτων.

Λόγω των αξεπέραστων λειτουργικών δεσμεύσεων, η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων είναι απαγορευτική. Με την ενίσχυση του υφιστάμενου πλαισιακού φορέα μέσω μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχύονται μεν τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, εξακολουθεί να παραμένει όμως η αδόκιμη και ανεπαρκής αντισεισμική του μορφολογία. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση μετατεταγμένων δίσκων. Στο Σχήμα 6 φαίνονται οι θέσεις τοποθέτησης των τοιχωμάτων, οι οποίες είναι διαφορετικές από όροφο σε όροφο. Πρέπει όμως καθένας να διαθέτει τουλάχιστον δύο κατακόρυφους δίσκους ανά διεύθυνση ενίσχυσης του κτιρίου, ενώ είναι επιθυμητό η απόσταση μεταξύ τους να είναι η μέγιστη δυνατή.



Σχήμα 6 : Σκαριφήματα ξυλοτύπων με τις θέσεις των μετατεταγμένων δίσκων [Μπάμπουκας, Μορφίδης, Αβραμίδης, “Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία”]

Για την αξιολόγηση της μεθόδου κρίθηκε σκόπιμο να συγκριθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης της με αυτά της ανάλυσης για ενίσχυση με μανδύες. Έτσι:

- για τις απόλυτες οριζόντιες μετακινήσεις των ορόφων προέκυψε ότι με τους μανδύες μειώθηκαν κατά 40% (μέσος όρος) σε κάθε όροφο και στις δύο διευθύνσεις, τη στιγμή που με τους μετατεταγμένους δίσκους μειώθηκαν κατά 75% στην X και κατά 80% στην Y διεύθυνση.
- Οι καμπτικές ροπές μειώνονται κατά 50-80% στους στύλους όλων των ορόφων με τους μετατεταγμένους δίσκους, ενώ σε αυτούς που ενισχύθηκαν με μανδύες παρατηρείται αύξηση της καμπτικής καταπόνησης, σε σύγκριση με τους στύλους πριν την ενίσχυση, που οφείλεται στην αύξηση της δυσκαμψίας τους λόγω της αύξησης των διατομών τους.
- Για τον ίδιο λόγο οι ενισχυμένοι με μανδύες στύλοι έχουν αυξημένη διατμητική ένταση, ενώ στη περίπτωση των μετατεταγμένων δίσκων παρουσιάζεται μείωση της διατμητικής τους έντασης από -75% έως -40%.
- Όσον αφορά τις αξονικές δυνάμεις, ο στύλος που καταπονείται δυσμενέστερα (E/2) παρουσιάζει με τη μέθοδο των μετατεταγμένων δίσκων αύξηση της τάξης του 102%, κάτι που όμως είναι αναμενόμενο καθώς ο στύλος αυτός φέρει στην κεφαλή του το άκρο ενός μετατεταγμένου δίσκου. Επίσης, ο συγκεκριμένος στύλος καταπονείται από πολύ μειωμένες καμπτικές ροπές, οπότε η αντοχή του παραμένει επαρκής. Παράλληλα, ο ίδιος στύλος στην περίπτωση των μανδύων παρουσιάζει αύξηση της αξονικής του δύναμης κατά 47%.

#### **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν 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, καθώς δεν ενισχύεται απλώς η αντοχή των δομικών στοιχείων, αλλά εξελίσσονται 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.
- 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

Επίσης από τεχνικής απόψης:

- 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.
- Αίρεται σε μεγάλο βαθμό ή και εκλείπει τελείως η γνωστή εικόνα κατανομής των ροπών στο συνεχές καθ' ύψος 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 και σαν συνέπεια, μειώνεται η καταπόνηση 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.

Στα αρνητικά της μεθόδου:

- 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. Συνεπώς πρέπει να γίνεται έλεγχος της επάρκειας του οπλισμού των πλακών να φέρουν την πρόσθετη αυτή ένταση. 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.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνική των μετατεταγμένων δίσκων έρχεται σε αντίθεση με το πρώτο κριτήριο που θεσπίζει ο Ευρωκώδικας 8 για τον χαρακτηρισμό ενός δομικού συστήματος ως κανονικού καθ' ύψος, σύμφωνα με το οποίο, τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία (τοιχώματα και πλαίσια) συνεχίζονται μέχρι την κορυφή του αντίστοιχου τμήματος της κάτοψης, χωρίς διακοπή σε ενδιάμεσο όροφο. Εντούτοις, όπως και η παρούσα εργασία τεκμηριώνει, μπορεί να αποτελέσει μία δόκιμη εναλλακτική λύση σε περιπτώσεις όπου η τοποθέτηση συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων είναι ανέφικτη, προσφέροντας μάλιστα τεχνικά ποιοτικά χαρακτηριστικά σαφώς βελτιωμένα εκείνων της τεχνικής των μανδυών.

Λαμβάνοντας δε υπόψη την χαμηλότερη απαιτούμενη δαπάνη επισκευής, την ταχύτητα στην υλοποίηση της και τον μικρότερο βαθμό όχλησης των ενοίκων, μπορούμε με βεβαιότητα να πούμε ότι αποτελεί μία πραγματικά συμφέρουσα επιλογή για κτήρια που χρήζουν αντισεισμικής ενίσχυσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ.Η. Δρίτσος, “Ενισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Πάτρα 2007
- [2] Μ.Ν. Φαρδής, “Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Πάτρα 2005, <http://eclass.upatras.gr/modules/document/document.php>
- [3] Ε.Ν. Μπάμπουκας, Κ.Ε. Μορφίδης, Ι.Ε. Αβραμίδης, “Εφαρμογή της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων για την ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων με ανεπαρκή αντισεισμική μορφολογία”, Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα Νοέμβριος 2008
- [4] Ε.Ν. Μπάμπουκας, Ι.Ε. Αβραμίδης, “Ενισχύσεις υφισταμένων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων”, Πρακτικά 15<sup>ου</sup> Συνεδρίου Σκυροδέματος 2006

- [5] Ι.Τέγος, Γ.Χ.Ρουπακιάς, “Προεκτίμηση των αναγκαίων εμφανωμένων σε πλαίσια ή και ανεξαρτήτων τοιχωμάτων για την ενίσχυση υφιστάμενης οικοδομής”, Πρακτικά 15<sup>ου</sup> Συνεδρίου Σκυροδέματος 2006
- [6] Μ.Ν. Φαρδής, “Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος - Μέρος ΙΙ”, Πάτρα 2007