

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ ΣΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΡΗΓΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Περίληψη

Η εργασία αυτή έχει σαν σκοπό την παρουσίαση της μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων σε κατασκευές που χρήζουν αντισεισμικής ενίσχυσης. Αρχικά καταγράφονται τα μειονεκτήματα της ενίσχυσης κατασκευής με συνεχές καθ' ύψος τοίχωμα. Μέσω ενός παραδείγματος γίνεται σύγκριση των δύο μεθόδων όπου και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου των μετατεταγμένων δίσκων. Τέλος γίνεται αναφορά σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού- σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο- κατά το τελευταίο μισό του 20^{ου} αιώνα, συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Η πείρα σε συνδυασμό με τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα και την έρευνα, οδηγούν σε νέες έννοιες και κανονισμούς που εισάγονται συνεχώς στα βιβλία αλλά και στην πράξη. Αρνητική(και σε μεγάλο βαθμό αναπόφευκτη) συνέπεια της θετικής αυτής εξέλιξης είναι πως μεγάλο ποσοστό των κτιρίων της χώρας έχει σχεδιαστεί είτε χωρίς καθόλου αντισεισμικούς κανονισμούς(πριν το 1959), είτε με αντισεισμικούς κανονισμούς που ήταν ανεπαρκείς, αφού υποτιμούσαν το μέγεθος των σεισμικών δράσεων και προσδιόριζαν πλημμελώς τα σεισμικά εντατικά μεγέθη(1959-1985)[1]. Δίπλα ,λοιπόν, στην ανάγκη της αντισεισμικής επάρκειας μιας νέας κατασκευής προστέθηκε η ανάγκη ενίσχυσης μιας υφιστάμενης.

Η ενίσχυση μιας κατασκευής από Ο/Σ με τη προσθήκη τοιχωμάτων είναι μια από τις μεθόδους που επιδρούν στο σύνολο της κατασκευής, αυξάνοντας τη δυσκαμψία και την αντοχή του. Με τον τρόπο αυτό διορθώνονται ταυτόχρονα και πολλές εγγενείς μορφολογικές αδυναμίες των κτιρίων όπως εύκαμπτοι όροφοι, εκκεντρότητες κατόψεων, κοντά υποστυλώματα κ.α.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται: 1) Σε κτίρια που παρουσιάζουν μεγάλες μετακινήσεις, 2) Σε κτίρια με πυλωτή ή μαγαζιά στο ισόγειο όπου και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα δημιουργίας εύκαμπτου ορόφου, 3) σε κτίριο που έχει παρατηρηθεί εκκεντρότητα στις ακαμνίες .Με την τοποθέτηση ενφανατούμενων τοιχωμάτων συμβάλλουμε στο να πλησιάσουν το κέντρο μάζας με το κέντρο δυσκαμψίας, κάτι που θα βοηθήσει στην αποφυγή πρόσθετων δυνάμεων λόγω στρέψης στα μέλη του φορέα.[4]

Η εφαρμογή όμως της μεθόδου αυτής, στην πράξη συναντά , κατασκευαστικές, λειτουργικές και οικονομικές δυσκολίες. Βασικό μειονέκτημά της αποτελεί η μεταφορά μεγάλων δυνάμεων και ροπών στη θεμελίωση, δημιουργώντας έτσι μεγάλες ροπές ανατροπής, οι οποίες θα πρέπει να αναληφθούν με ένα σωστά διαμορφωμένο σύστημα θεμελίωσης[2]. Οι οποιαδήποτε επέμβαση αυτού του είδους σημαίνει αυτόματα 1)ενίσχυση της θεμελίωσης (π.χ. δημιουργία πεδιλοδοκού, σύνδεση νέου πέδιλου με τα διπλανά του με συνδετήρια δοκό) 2)επάρκεια χώρου και δυνατότητα πρόσβασης των δομικών μηχανών 3) εκκένωση του συνόλου του κτιρίου όσο διαρκούν οι επισκευές 4)τη μείωση των χώρων και της λειτουργικότητάς τους. Τα παραπάνω οδηγούσαν τους μελετητές στην εκ προοιμίου απόρριψη της μεθόδου αυτής και στο να προτιμήσουν την «κλασική» ενίσχυση των υποστυλωμάτων μέσω μανδυνών Ο/Σ. Κάτι τέτοιο όμως παρέβλεπε την δυσμενή αντισεισμική διάταξη των υποστυλωμάτων που παρέμενε.

2. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ

Λύση στο παραπάνω πρόβλημα και ταυτόχρονα εναλλακτική μέθοδο ενίσχυσης με τοιχώματα είναι η μέθοδος των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων. Με τον όρο

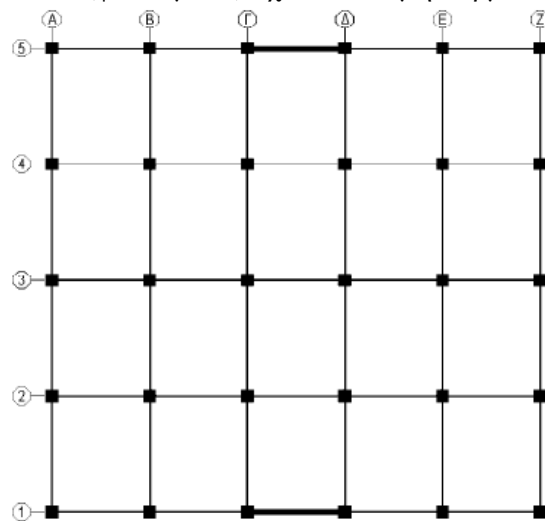
«μετατεταγμένοι κατακόρυφοι δίσκοι» εννοούμε τα μη συνεχή καθ' ύψος ή/και στο επίπεδό τους τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Οι μετατεταγμένοι κατακόρυφοι δίσκοι μπορεί να αποτελούνται είτε (α) από τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος τοποθετημένα στα φαντώματα των πλαισίων μεταξύ των οριζοντίων δοκών και των κατακόρυφων στύλων και επαρκώς οπλισμένα και αγκυρωμένα στο πλαισιακό φάντωμα, είτε (β) από μεταλλικούς δικτυωτούς συνδέσμους. 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.

Η μέθοδος αυτή αρχικά φαίνεται να παραβιάζει την καθ' ύψος κανονικότητα της κατασκευής, καθώς μία από τις απαιτήσεις των κανονισμών -ώστε να διαπιστωθεί η κανονικότητα καθ' ύψος ενός κτιρίου- είναι τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία(π.χ. τοιχώματα και τα πλαίσια σε κτήριο οπλισμένου σκυροδέματος) να είναι συνεχή και χωρίς διακοπή μέχρι την κορυφή του αντίστοιχου τμήματος της κάτοψης[3]. Βασική στόχευση της απαίτησης είναι μεταξύ άλλων η αποφυγή δημιουργίας εύκαμπτου ορόφου και η εν γένει εξομάλυνση της καθ' ύψος μεταβολής των οριζόντιων μετατοπίσεων των ορόφων. Όπως όμως θα δούμε στο παρακάτω παράδειγμα, όχι μόνο δεν παραβιάζεται αλλά επιτυγχάνεται με καλύτερους όρους η βασική αυτή στόχευση.

Με βάση τον ευρωκώδικα 8 σε μη συνεχή καθ' ύψος κτίρια μειώνεται κατά 20% ο συντελεστής συμπεριφοράς q σε σχέση με αυτόν που ισχύει στα κανονικά καθ' ύψος και επιβάλλεται ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

3.Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΔΙΣΚΩΝ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Σε μια από τις παρουσιάσεις τις μεθόδου των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων οι Ε. Ν. Μπαμπούκας και Ι.Ε. Αβραμίδης δεν χρησιμοποίησαν τη δυναμική φασματική μέθοδο ανάλυσης. Αντί αυτού θεώρησαν αξονικά οριζόντια φορτία στο ύψος των δοκών που είναι παράλληλες στον άξονα x . Η απλοποίηση αυτή γίνεται για λόγους απλότητας και εποπτικότητας. Έτσι, χρησιμοποίησαν ως πρότυπο κτίριο για τις παραμετρικές αναλύσεις ένα 10-ώροφο κτίριο με ύψος ορόφου 3.0 m και εξωτερικές διαστάσεις 20.0 m x 20.0 m. Τα συνολικώς τριάντα υποστρώματα διατομής 50/50 είναι διατεταγμένα σε ορθογωνικό κάναβο 5x6. Όλες οι δοκοί (φαντώματα) έχουν διατομή κορμού 25/50 με πάχος πλάκας 15 cm.

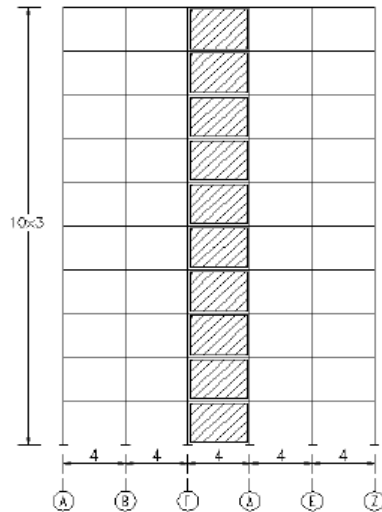


Σχήμα1: Χωρικός φορέας [5]

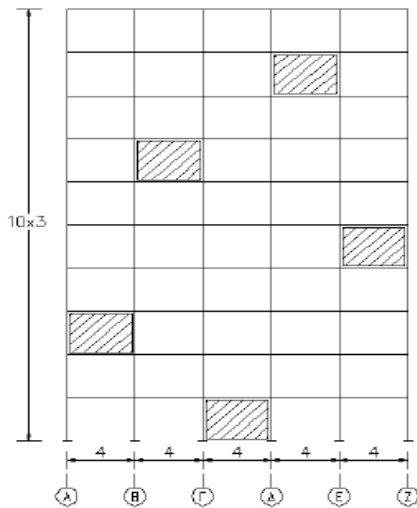
Ως σεισμική φόρτιση του κτιρίου θεώρησαν ομοιόμορφα οριζόντια (αξονικά) στατικά φορτία επί των δοκών που είναι παράλληλες με τον άξονα X. Η καθ' ύψος κατανομή των φορτίων είναι τριγωνική και κοινή σε όλες τις στατικές επιλύσεις. Οι τιμές των οριζόντιων σεισμικών φορτίων για τις στάθμες 1 έως 10 είναι : F1=250, F2=500, F3=750, F4=1000, F5=1250, F6=1500, F7=1750, F8=2000, F9=2250 και F10=2500 kN.

Τα ενισχυτικά τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος έχουν πάχος 20 cm και καταλαμβάνουν όλο το εύρος του φανώματος στο οποίο τοποθετούνται.

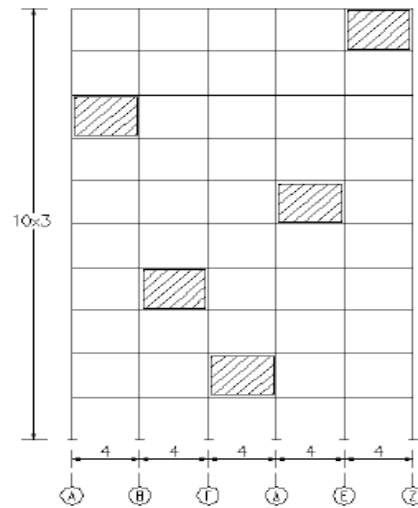
Στο πρώτο μοντέλο που ανέλυσαν τοποθέτησαν στους άξονες 1 και 5 συνεχή καθ' ύψος τοιχώματα Ο/Σ μεταξύ της σειράς Γ και Δ των υποστυλωμάτων(Σχήμα 2) ενώ στο δεύτερο τοποθέτησαν εμφανιζόμενα τοιχώματα Ο/Σ σε τυχαίες θέσεις και με μόνη προϋπόθεση ότι κάθε στάθμη διαθέτει δύο τοιχώματα συμμετρικά τοποθετημένα ως προς το κεντρικό άξονα του κτιρίου(Σχήμα 3,4)[5]



Σχήμα 2: Όψη αξόνων 1 και 5 (συνεχές καθ' ύψος) [5]

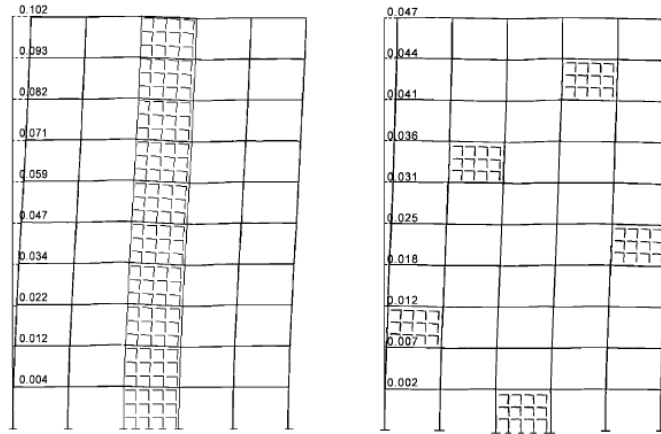


Σχήμα 3: Όψη αξόνων 1&5 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]



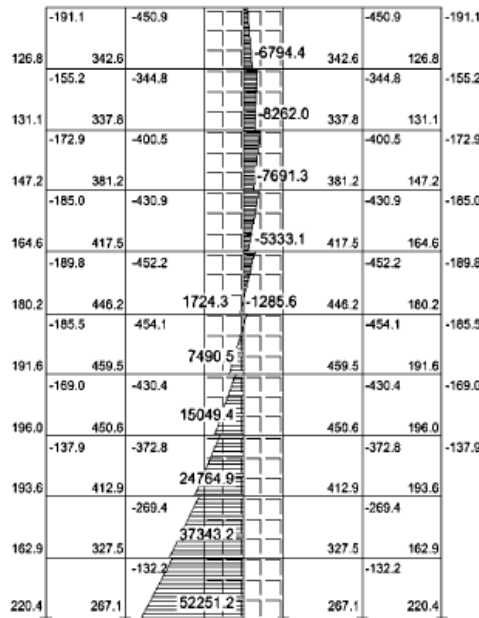
Σχήμα 4: Όψη αξόνων 2&4 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]

Από την ανάλυση των 2 μοντέλων προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:



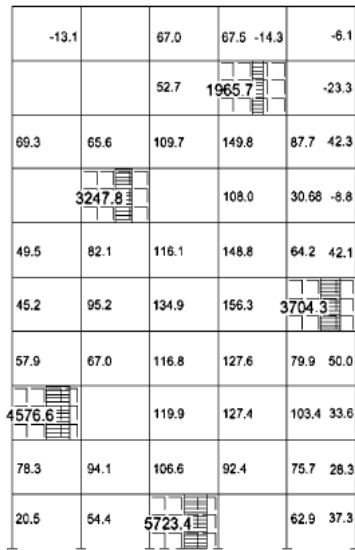
Σχήμα 7(a,b): Μετακινήσεις σε mm[5]

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 1: Οι οριζόντιες μετακινήσεις των ορόφων στη μετατεταγμένη διάταξη είναι 35-116% μικρότερες από αυτές στη συνεχή διάταξη.(Σχήμα 7(a,b))

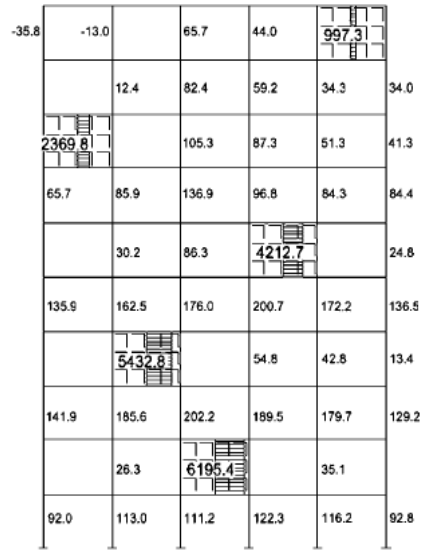


Σχήμα 8: Καμπτικές ροπές άξονα 1 [5]

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 2: Οι ροπές κάμψης στη συνεχή διάταξη εμφανίζουν πολύ μεγάλες ροπές στη βάση ενώ μειώνονται σημαντικά στους μεσαίους και υψηλούς ορόφους(Σχήμα 8)

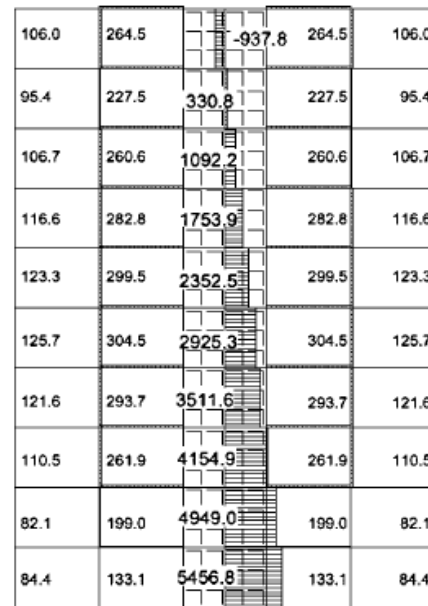


Σχήμα 9: Καμπτικές ροπές άξονα 1[5]



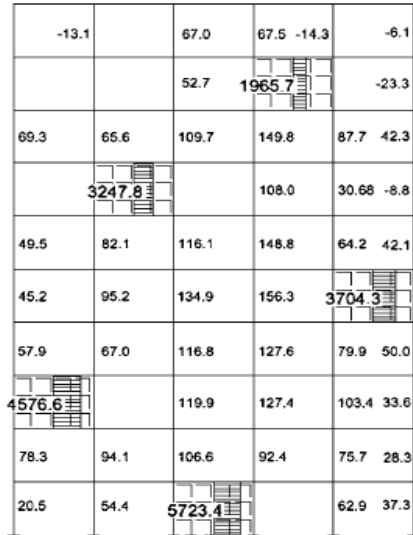
Σχήμα10: Καμπτικές ροπές άξονα 2[5]

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 3: Στη μετατεταγμένη διάταξη των κατακόρυφων δίσκων οι ροπές στη βάση είναι σημαντικά μικρότερες. (Σχήμα 9,10)

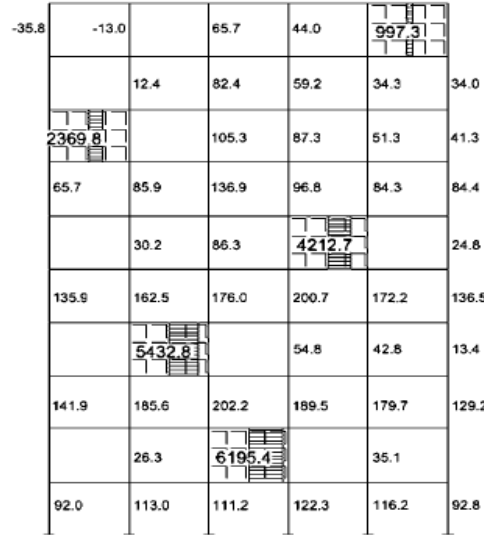


Σχήμα 11: Διατμητικές δυνάμεις στον άξονα 1 (συνεχής διάταξη) [5]

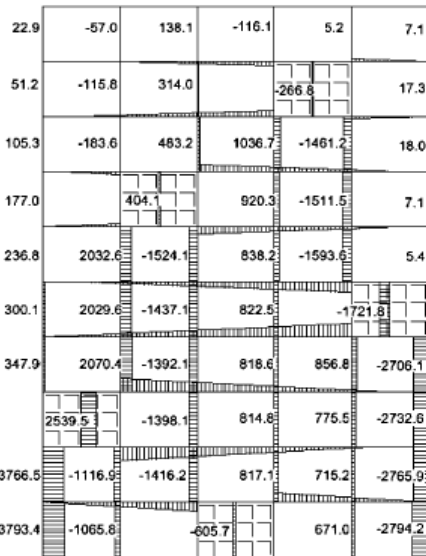
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 4: Οι διατμητικές δυνάμεις ανά όροφο στη συνεχή διάταξη τοιχωμάτων δεν έχουν σημαντικές διαφορές από αυτές στη μετατεταγμένη. (Σχήμα 11,12,13)



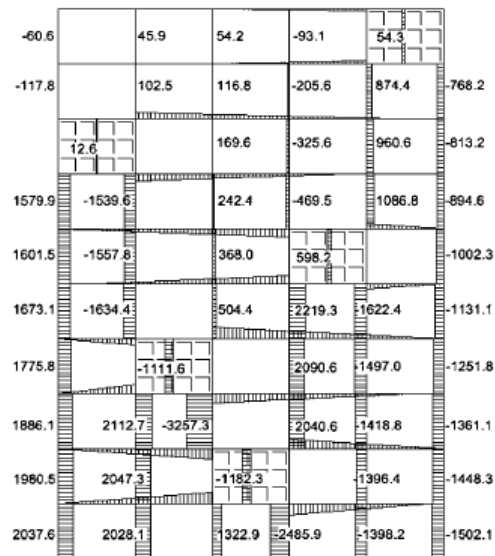
Σχήμα 12: Διατμητικές δυνάμεις στον άξονα 1 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]



Σχήμα 13: Διατμητικές δυνάμεις στον άξονα 2 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]



Σχήμα 14: Αξονικές δυνάμεις άξονα 1 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]



Σχήμα 15: Αξονικές δυνάμεις άξονα 2 (μετατεταγμένη διάταξη) [5]

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ 5: 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. (Σχήμα 14,15,16)

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 16: Αξονικές δυνάμεις άξονα 1 (συνεχής διάταξη) [5]

Από το παράδειγμα αυτό προκύπτουν μια σειρά συμπερασμάτων, όπως:

- Στο συνεχές καθ' ύψος τοίχωμα οι ροπές κάμψης στον 1^ο από το έδαφος όροφο είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με την μετατεταγμένη διάταξη. Αυτό σημαίνει πως η μεγάλη ροπή βάσης θα πρέπει να παραληφθεί και από νέο θεμέλιο με κατάλληλες διαστάσεις.
- Οι αξονικές δυνάμεις στα υποστυλώματα κάτω από τους μετατεταγμένους δίσκους παρουσιάζουν απότομη και μεγάλη αύξηση. Η διαστασιολόγηση όμως των υποστυλωμάτων αυτών με την νέα αξονική δύναμη και την νέα –κατά πολύ μειωμένη– ροπή κάμψης δείχνει πως ο απαιτούμενος οπλισμός σε πολλές περιπτώσεις επαρκεί. Σε κάθε περίπτωση όμως, η ενίσχυση ενός υποστυλώματος που καταπονείται κυρίως σε θλίψη είναι απλούστερη και πιο αξιόπιστη από την ενίσχυση ενός υποστυλώματος καταπονούμενο κυρίως σε κάμψη.

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ

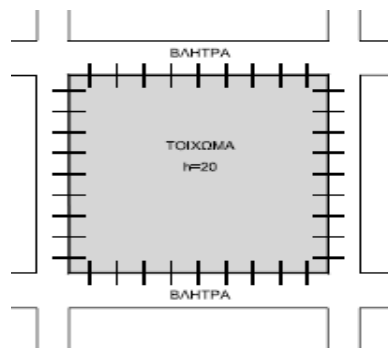
Οι κανόνες κατασκευαστικής διαμόρφωσης των τοιχωμάτων είναι ίδιες με αυτές που ισχύουν για τις νέες κατασκευές. Έτσι το πάχος του τοιχώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τα 2/5 του πάχους του συνοριακού υποστυλώματος ή της άνω δοκού του πλαισίου, όποιο είναι μικρότερο, και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος της άνω δοκού.[2]

Τα υποστυλώματα κάτω από το ενφαινούμενο τοίχωμα, τα οποία είδαμε ότι παραλαμβάνουν μεγάλες αξονικές δυνάμεις ελέγχονται για την επάρκειά τους στην παραλαβή αυτών των δυνάμεων λόγω των μειωμένων καμπτικών ροπών. Τα υποστυλώματα στις άκρες του κάθε κατακόρυφου δίσκου θα παίξουν πλέον το ρόλο των άκρων του τοιχώματος και πρέπει να ελέγχονται για το αν έχουν την απαιτούμενη παραμορφωσιακή ικανότητα.

Κρίσιμο στοιχείο που επηρεάζεται από την δράση των τοιχωμάτων είναι η δοκός πάνω από το τοίχωμα. Απαιτείται έλεγχος στις στάθμες ορόφων ότι οι δοκοί που συντρέχουν στο τοίχωμα (με διεύθυνση τον ισχυρό άξονα του τοιχώματος) έχουν επαρκή διαμήκη οπλισμό για τη μεταφορά των οριζόντιων δράσεων του ορόφου. Αν ο οπλισμός είναι ανεπαρκής ενισχύουμε το δοκάρι κάνοντας χρήση συγκολλητών μεταλλικών πλακών που αγκυρώνονται πάνω στη παλιά δοκό στη διεύθυνση του ισχυρού άξονα. Σε αυτές τις πλάκες συγκολλούνται οριζόντιες διαμήκειες ράβδοι οπλισμού, που τοποθετούνται στις στάθμες των ορόφων και αγκυρώνονται στο νέο τοίχωμα[6].

Επίσης στη μέθοδο των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων οι πλάκες λειτουργούν ως δίσκοι (διαφράγματα) μεταφοράς των οριζόντιων 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. Γενικώς, όμως 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.[5]

Τέλος, απαραίτητο στοιχείο για τη σωστή λειτουργία των νέων προσθηκών στο φέροντα οργανισμό αποτελεί και ο έλεγχος σε διάτμηση των διεπιφανειών του φατνώματος με τα υποστυλώματα και τη δοκό και η τοποθέτηση των απαιτούμενων βλήτρων στις διεπιφάνειες αυτές (σχήμα 17)



Σχήμα 17: Σκαρίφημα μετατεταγμένου τοιχώματος

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΝΟΨΗ

Η μέθοδος των μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων αποτελεί εναλλακτική λύση για την επέμβαση στο σύνολο της κατασκευής. Η χρήση της αποσκοπεί στην επιδιόρθωση των μορφολογικών αδυναμιών της κατασκευής (π.χ. εύκαμπτοι όροφοι, εκκεντρότητες κατόψεων, την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος κατασκευής -αφού δεν απαιτεί μεγάλη έκταση επέμβαση στη θεμελίωση και έχει μικρότερο βαθμό όχλησης των ενοίκων-, την ευελιξία της και την ταχύτητα στη υλοποίησή της. Από αυτή τη σκοπιά είναι προτιμότερη από την μέθοδο ενίσχυσης με προσθήκη συνεχών καθ' ύψος τοιχωμάτων Ο/Σ.

Τέλος, όπως φάνηκε και στο παραπάνω παράδειγμα, δεν παραβιάζεται η βασική στόχευση της καθ' ύψους κανονικότητας, που είναι η αποφυγή δημιουργίας εύκαμπτου ορόφου και η εν γένει εξομάλυνση της καθ' ύψος μεταβολής των οριζόντιων μετατοπίσεων των ορόφων.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ι.Τέγος, Γ.Χ.Ρουπακιάς, «Προεκτίμηση των αναγκαίων εμφανωμένων σε πλαίσια ή και ανεξαρτήτων τοιχωμάτων για την ενίσχυση υφιστάμενης οικοδομής», Πρακτικά 15^{ου} Συνεδρίου Σκυροδέματος 2006
- [2] Βλάχα Μαρίνα, Φλογέρας Αντώνης, «Ενίσχυση κτιρίων με προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος», Πρακτικά 9^{ου} φοιτητικού συνεδρίου «επισκευες κατασκευών»
- [3] Φαρδής Μιχαήλ, Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1998-1:2004 - Ευρωκώδικας 8 «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών – Μέρος 1 Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια», http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464_ec8_1.pdf

- [4] Αργυρόπουλος Χρήστος, «Ενίσχυση πλαισίων με ενφαινούμενα τοιχώματα από σκυρόδεμα», Πρακτικά 10^{ου} φοιτητικού συνεδρίου «επισκευές κατασκευών»
- [5] Ε.Ν. Μπάμπουκας, Ι.Ε. Αβραμίδης, “Ενισχύσεις υφισταμένων κτιρίων μέσω μετατεταγμένων κατακόρυφων δίσκων”, Πρακτικά 15^{ου} Συνεδρίου Σκυροδέματος 2006
- [6] Σ.Η. Δρίτσος, “Ενισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Πάτρα 2009