

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΣΥΛΛΗΨΗ (ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ) ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σκοπός του Κεφαλαίου είναι να δώσει γενικές αρχές και ειδικές οδηγίες για την αρχική δομική σύλληψη αντισεισμικών κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, δηλαδή για την επιλογή της δομικής γεωμετρίας τους ώστε να επιτυγχάνεται πιο εύκολα και αξιόπιστα η ικανοποιητική σεισμική συμπεριφορά τους και να διευκολύνεται η διαδικασία αντισεισμικού σχεδιασμού τους. Η δομική σύλληψη συνήθως αναφέρεται ως διαμόρφωση.

Ο ορισμός της φάσης Α της διαδικασίας σχεδιασμού στον Πρόλογο έδωσε τον ορισμό της δομικής σύλληψης ή διαμόρφωσης του δομικού συστήματος. Επίσης ο Πρόλογος έδειξε πώς η διαμόρφωση εντάσσεται στο γενικό πλαίσιο της διαδικασίας σχεδιασμού και σχετίζεται με τις επόμενες φάσεις. Το Κεφάλαιο 1 τόνισε το στόχο του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού για ελεγχόμενη ανελαστική σεισμική απόκριση και τις υπολογιστικές διαδικασίες υλοποίησής του (ικανοτικός σχεδιασμός δοκών, υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων). Το Κεφάλαιο 3 εστιάζεται στο τι πρέπει να κάνει ή να αποφύγει ο Μελετητής Μηχανικός εκ των προτέρων, για να διευκολύνει τις διαδικασίες αυτές να τελεσφορήσουν.

3.1 ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ, ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΣΥΛΛΗΨΗΣ (ΜΟΡΦΩΣΗΣ) ΑΝΩΔΟΜΗΣ

Σκοπός της Ενότητας είναι να παρουσιάσει και να αιτιολογήσει τις γενικές αρχές που πρέπει να διέπουν τη διαμόρφωση του δομικού συστήματος της ανωδομής και να τις εξειδικεύσει σε πρακτικούς κανόνες γενικής ή ειδικής εφαρμογής.

3.1.1 ΤΟ ΣΚΕΠΤΙΚΟ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η δομική σύλληψη ή διαμόρφωση του δομικού συστήματος είναι εξαιρετικά σημαντική, για τον απλό λόγο ότι οι σημερινές μέθοδοι αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών, όπως οριοθετούνται και διατυπώνονται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, έχουν αναπτυχθεί και ισχύουν απόλυτα μόνο για δομήματα

με σχετικά απλή και κανονική δομική γεωμετρία. Όσο πιο περίπλοκη και σύνθετη γίνεται η δομική γεωμετρία, τόσο απομακρύνεται το δόμημα από τα όρια ισχύος των σημερινών μεθόδων και κανονισμών. Οι συνέπειες της δυσμενούς δομικής μορφολογίας διαπιστώνονται συστηματικά μετά από ισχυρούς σεισμούς: Ακόμα και αν έχουν αναλυθεί, διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί κατά το γράμμα των κανονισμών και με τα πιο σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία, δομήματα με δυσμενή δομική μορφολογία έχουν κατά κανόνα αισθητά χειρότερη σεισμική συμπεριφορά και περισσότερες βλάβες από τα άλλα.

Ο λόγος των ανωτέρω πρέπει να αναζητηθεί στη σημερινή φιλοσοφία και πρακτική αντισεισμικού σχεδιασμού, όπως αυτή περιγράφεται στις Ενότητες 1.1 και 1.2 του Κεφαλαίου 1. Σύμφωνα μ' αυτήν, η διαστασιολόγηση των μελών γίνεται με βάση τις εσωτερικές δυνάμεις που προκύπτουν από γραμμική ελαστική ανάλυση του δομικού συστήματος για το $1/q$ (δηλ. για κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος για το 20% με 30%) των σεισμικών δυνάμεων που θα αναπτύσσονταν από το σεισμό σχεδιασμού (για συνήθη κτίρια αυτόν των 475 χρόνων) αν η απόκριση του δομήματος παρέμενε γραμμική ελαστική. Η ασφάλεια του κτιρίου στο σεισμό αυτό ή και σε μεγαλύτερο βασίζεται στην ικανότητα παραμόρφωσης των δομικών μελών (ή ορισμένων τουλάχιστον από αυτά), όπως αυτή εξασφαλίζεται με την κατασκευαστική διαμόρφωση και τις λεπτομέρειες όπλισής τους. Οι απαιτήσεις παραμορφώσεων που θα προκαλέσει όμως ο ανωτέρω ισχυρός σεισμός στα διάφορα δομικά μέλη, είναι σχετικά προβλέψιμες μόνο σε δομήματα με δομική μορφολογία που δεν απέχει σημαντικά από τα πλαίσια τα οποία υποθέτει και στα οποία βασίσθηκε η ανάπτυξη των σύγχρονων κανονισμών. Διαφορετικά το δόμημα μπορεί να έχει απρόβλεπτη συνολική σεισμική συμπεριφορά, ή να εμφανίσει συγκέντρωση των απαιτούμενων παραμορφώσεων σε ορισμένες μόνο θέσεις και δομικά μέλη, με αποτέλεσμα τοπικές βλάβες ή και αστοχίες.

Ετσι λοιπόν, για να επωφεληθεί ο μηχανικός από τη δυνατότητα οικονομικού αντισεισμικού σχεδιασμού με τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q της τάξεως του 3 έως 6 (ή και παραπάνω) που του δίνουν οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί, θα πρέπει και το δομικό σύστημα που θα επιλέξει να είναι σχετικά απλό, κανονικό και ξεκάθαρο και να ακολουθεί τις σχετικές κατευθύνσεις των Κανονισμών και του παρόντος Κεφαλαίου. Διαφορετικά θα πρέπει να αρκестθεί σε χαμηλότερες τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q (π.χ. μέχρι $q=1.5$ κατά τον ΕΑΚ και τον Ευρωκώδικα 8).

Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η ευρεία διάδοση αξιόπιστων προγραμμάτων ελαστικής στατικής ή δυναμικής ανάλυσης δομικών συστημάτων στο χώρο, γεννά μια εξαιρετική

αυτοπεποίθηση στο Μελετητή Μηχανικό ως προς τις δυνατότητές του να αντιμετωπίσει υπολογιστικά οποιαδήποτε σύνθετη δομική γεωμετρία. Η αυτοπεποίθηση με βάση την επανάσταση στα προγράμματα ανάλυσης με H/Y μπορεί να είναι δικαιολογημένη μόνο για σαφώς καθορισμένα φορτία, όπως είναι τα κατακόρυφα, και με την προϋπόθεση ότι ο μελετητής είναι σε θέση να κατασκευάσει το κατάλληλο μαθηματικό προσομοίωμα του δομικού συστήματος (“εξιδανίκευση”). Η σεισμική δράση όμως δεν είναι σαφώς καθορισμένη και εμπεριέχει εξαιρετικές αβεβαιότητες. Επιπλέον, η γραμμική ελαστική ανάλυση αφορά κλάσμα $1/q$ της (εξιδανικευμένης) σεισμικής δράσης. Έτσι λοιπόν, μόνον αν η τιμή του q είναι χαμηλή (π.χ. $q \leq 1.5$) μπορεί να δικαιολογηθεί η νοοτροπία του: “δεν υπάρχει πρόβλημα όποια διαμόρφωση και να έχει το κτίριό μου, γιατί εγώ θα το υπολογίσω”.

Συμπερασματικά, η αρχική σύλληψη της δομικής γεωμετρίας πρέπει να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων της σεισμικής συμπεριφοράς και στην αξιόπιστη ικανοποίηση των σχετικών απαιτήσεων για το σεισμό σχεδιασμού ή και για ακόμη μεγαλύτερο. Η δομική γεωμετρία είναι αυτή που κατά κύριο λόγο καθορίζει τη σεισμική συμπεριφορά και την τρωτότητα του κτιρίου. Οι δυσμενείς επιπτώσεις μίας άστοχης ή προβληματικής επιλογής δομικής γεωμετρίας δεν μπορούν να διορθωθούν στις επόμενες φάσεις του σχεδιασμού, δηλαδή αυτές της ανάλυσης για τη σεισμική δράση και της διαστασιολόγησης-επιλογής των λεπτομερειών όπλισης, ακόμα και αν αυτές γίνουν με τη μέγιστη δυνατή προσοχή και επιμέλεια. Επισημαίνεται δέ ότι συνήθως η επιτυχής σύλληψη του δομικού συστήματος είναι ευκολότερη προτού οριστικοποιηθεί η αρχιτεκτονική σύλληψη-μελέτη του κτιρίου. Επομένως απαιτεί την εμπλοκή του Μελετητή Μηχανικού και τη συνεργασία του με τον Αρχιτέκτονα στα πρώτα στάδια της μελέτης του κτιρίου.

3.1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΛΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ

Όπως τονίστηκε και στον Πρόλογο, η δομική σύλληψη ή διαμόρφωση έχει υποκειμενική βάση και εξαρτάται από την κρίση, την εμπειρία και τη δημιουργικότητα του Μελετητή Μηχανικού. Επιπλέον υπόκειται στους γενικούς και ειδικούς περιορισμούς και δεσμεύσεις που του επιβάλλει η αρχιτεκτονική λύση. Υπάρχουν όμως και ορισμένες βασικές αρχές ή κατευθύνσεις που θα πρέπει να ακολουθεί ο μηχανικός, ώστε να καταλήξει σε μία δομική μορφολογία που να χαρακτηρίζεται ως επιτυχής. Στις

υποενότητες που ακολουθούν αναφέρονται και αναλύονται τα χαρακτηριστικά μιας καλής δομικής μορφολογίας της ανωδομής. Αυτά είναι:

- Σαφήνεια και καθαρότητα του δομικού συστήματος,
- Απλότητα και ομοιομορφία στη δομική γεωμετρία,
- Συμμετρία, κανονικότητα και απλότητα σε κάτοψη,
- Δυστρεψία περί κατακόρυφο άξονα,
- Καθ' ύψος κανονικότητα και ομοιομορφία γεωμετρίας, δυσκαμψίας και μάζας,
- Καθ' ύψος κανονικότητα της αντοχής,
- Υπερστατικότητα δομικού συστήματος και πολλαπλότητα διαδρομών δυνάμεων,
- Συνέχεια της ροής δυνάμεων χωρίς τοπικές συγκεντρώσεις έντασης,
- Οριζόντια σύνδεση των κατακορύφων στοιχείων σ' όλες τις στάθμες,
- Μικρή συνολική μάζα,
- Αποφυγή δυσμενών επιρροών των τοιχοπληρώσεων.

3.1.3 ΣΑΦΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το δομικό σύστημα ανάληψης των σεισμικών δράσεων πρέπει να είναι σαφές και ξεκάθαρο, όχι μόνον υποκειμενικά (δηλαδή στο Μελετητή Μηχανικό που το επέλεξε και θα κληθεί να το αναλύσει και να το διαστασιολογήσει), αλλά και αντικειμενικά. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αποτελείται από έναν αριθμό επιπέδων πλαισίων ή τοιχωμάτων ή συνδυασμό τους, σε κάθε μία από τις δύο κάθετες μεταξύ τους (κύριες) οριζόντιες διευθύνσεις του δομικού συστήματος. Σε κάτοψη τα επίπεδα πλαίσια πρέπει να είναι κατά το δυνατόν πλήρη και συνεχή από το ένα άκρο (της κάτοψης) μέχρι το άλλο, χωρίς σπασίματα ή διακοπές (δηλ. χωρίς απουσία δοκών μεταξύ κάποιων υποστυλωμάτων) και χωρίς έμμεσες στηρίξεις κάποιων δοκών σε άλλες (οι οποίες αχρηστεύουν εν μέρει τις έμμεσα στηριζόμενες δοκούς ως μέλη του πλαισίου και δημιουργούν σημαντική αβεβαιότητα ως προς τη συμπεριφορά των δοκών που τις στηρίζουν). Επίσης τα τοιχώματα πρέπει να έχουν σχήμα και διαστάσεις διατομής που να ανταποκρίνονται στην προσομοίωση και στη διαστασιολόγησή τους ως γραμμικών στοιχείων (αποφυγή περίπλοκων σύνθετων διατομών, καθώς και ανοιγμάτων, ιδιαίτερα με ακανόνιστη διάταξη σε όψη).

Αν η γενική διάταξη του συστήματος ανάληψης των κατακορύφων φορτίων (όπως αυτή πιθανόν καθορίζεται από την αρχιτεκτονική λύση) δεν προσφέρεται για τη

διαμόρφωση ενός σαφούς και ξεκάθαρα συστήματος ανάληψης των σεισμικών δράσεων (αν π.χ. τα υποστυλώματα είναι σε ακανόνιστες θέσεις που δεν σχηματίζουν ορθογωνικό κάναβο), τότε πρέπει η δυσκαμψία του συστήματος των στοιχείων αυτών έναντι οριζοντίων δράσεων να διατηρείται χαμηλή (π.χ. με επιλογή μικρών διαστάσεων διατομής, ή με αποφυγή διάταξης δοκών μεταξύ των ακανόνιστα τοποθετημένων υποστυλωμάτων – πλάκα χωρίς δοκούς) και η ανάληψη της σεισμικής δράσης να ανατίθεται σ' ένα σαφές και ξεκάθαρο δομικό σύστημα, με δυσκαμψία και αντοχή επαρκή για την ανάληψη του συνόλου σχεδόν των οριζοντίων δράσεων. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αποτελείται από κατάλληλα σε διάταξη και σε αριθμό τοιχώματα, ή και από ισχυρά πλαίσια κατά την περίμετρο του κτιρίου. Όμως για τη δεύτερη λύση υπενθυμίζεται ότι, λόγω των μικρών κατακορύφων φορτίων και της υψηλής σεισμικής τους καταπόνησης, οι δοκοί ισχυρών πλαισίων στην περίμετρο της κάτοψης μπορεί να υπόκεινται σε υψηλή διατμητική σεισμική ένταση και να χρειάζονται δισδιαγώνιους οπλισμούς, ιδίως αν τα υποστυλώματα είναι σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις.

Σαφής και ξεκάθαρος πρέπει να είναι και ο μηχανισμός ανελαστικής απόκρισης, δηλαδή οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων. Οι θέσεις αυτές πρέπει γενικά να περιορίζονται στη σύνδεση των κατακορύφων στοιχείων με το σύστημα θεμελίωσης και στα άκρα σύνδεσης των δοκών με κατακόρυφα στοιχεία. (Χρειάζεται προσοχή στη σύνδεση των κατακορύφων στοιχείων με το σύστημα θεμελίωσης, όπου αν η δυσκαμψία και η αντοχή των συνδετηρίων δοκών ή πεδιλοδοκών είναι μικρή, οι πλαστικές αρθρώσεις μπορεί να αναπτυχθούν σ' αυτές αντί στο κατακόρυφο στοιχείο). Βεβαίως για την ανάπτυξη των πλαστικών αρθρώσεων στις θέσεις αυτές μεριμνούν οι κανόνες των κανονισμών για τον ικανοτικό σχεδιασμό υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων σε κάμψη (βλ. 1.3.2, Κεφάλαιο 1). Όμως ο μελετητής δεν πρέπει να επαφίεται απλώς στον υπολογισμό των οπλισμών των στοιχείων με βάση αυτούς τους κανόνες. Για να είναι βέβαιο ότι θα αναπτυχθούν οι πλαστικές αρθρώσεις στις επιθυμητές θέσεις, πρέπει και οι διαστάσεις διατομής των υποστυλωμάτων να επιλεγούν από την αρχή μεγάλες σε σχέση με αυτές των δοκών.

Τονίζεται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις (σε δυαδικά συστήματα πλαισίων και ισχυρών τοιχωμάτων, ή σε κάποια εσωτερικά υποστυλώματα πλαισίων πολλών ανοιγμάτων, κ.α.) μπορεί να επιτρέπεται σχηματισμός των πλαστικών αρθρώσεων σε υποστυλώματα αντί στις δοκούς. Οι περιπτώσεις αυτές και οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων θα πρέπει να είναι σαφείς και ξεκάθαρες από τη φάση της αρχικής δομικής σύλληψης.

3.1.4 ΑΠΛΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΣΤΗ ΔΟΜΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Το χαρακτηριστικό της απλότητας και ομοιομορφίας σχετίζεται και συνάδει με αυτό της σαφήνειας (Υποενότητα 3.1.3) και με τα επόμενα της κανονικότητας (Υποενότητες 3.1.5, 3.1.7). Αν σε κάθε μία από τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις το δομικό σύστημα αποτελείται από ομοιόμορφα επίπεδα πλαίσια σε κανονικές μεταξύ τους αποστάσεις, με ίσα ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων και με ομοιομορφία στις διατομές των στοιχείων, θα υπάρχει σχεδόν πλήρης ομοιομορφία της σεισμικής έντασης και παραμόρφωσης σ' όλον τον όροφο, με ελαχιστοποίηση του ενδεχομένου τοπικής και απρόβλεπτης συγκέντρωσης των απαιτούμενων παραμορφώσεων σε κάποιες θέσεις και συνακόλουθης αστοχίας. (Σημειώνεται ότι η επιλογή των διαστάσεων εσωτερικών υποστυλωμάτων ενός πλαισίου έτσι ώστε να έχουν διπλάσια ροπή αδράνειας I και καμπτική αντοχή M_{Rd} από τα εξωτερικά, είναι ιδανική διότι οδηγεί σε περίπου ισότητα των σεισμικών ροπών και των απαιτούμενων γωνιών στροφής χορδής μεταξύ των δύο άκρων των δοκών των ακραίων ανοιγμάτων και επιπλέον συνάδει με τον ικανοτικό σχεδιασμό των υποστυλωμάτων σε κάμψη – όπου η αντοχή των ακραίων υποστυλωμάτων έχει αντιμετωπίσει την αντοχή μίας δοκού, αντί δύο). Το ίδιο ισχύει και αν το δομικό σύστημα συνίσταται ανά διεύθυνση αποκλειστικά από όμοια και κανονικά διατεταγμένα (μή συνεπίπεδα) τοιχώματα.

Το αντίτιμο βεβαίως είναι ότι όλες οι αναμενόμενες πλαστικές αρθρώσεις θα αναπτυχθούν σχεδόν ταυτόχρονα, οπότε το δομικό σύστημα δεν θα διαθέτει σημαντική υπεραντοχή ως προς την πρώτη εμφάνιση διαρροής μέλους, ούτε δυνατότητα ανακατανομής της έντασης μεταξύ των στοιχείων του, γεγονός που αντιστρατεύεται τους στόχους που αναπτύσσονται στην υποενότητα 3.1.9.

3.1.5 ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΛΟΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ

Αν το δομικό σύστημα και η κατανομή των μαζών χαρακτηρίζονται σε κάθε όροφο από απόλυτη συμμετρία ως προς τους δύο ορθογωνικούς κύριους άξονες της κάτοψης, τότε δεν αναμένεται στρεπτική σεισμική απόκριση περί κατακόρυφο άξονα (εκτός αν η σεισμική διέγερση έχει και στρεπτική περί κατακόρυφο άξονα συνιστώσα, η οποία μπορεί να δημιουργείται και από διαφορές στη μεταφορική συνιστώσα του σεισμού σε απέναντι πλευρές της κάτοψης). Η στρεπτική απόκριση προκαλεί ανομοιόμορφη

κατανομή των οριζοντίων μετακινήσεων στην κάτοψη του ορόφου. Έτσι επιβαρύνει περισσότερο κάποια στοιχεία της περιμέτρου, οδηγώντας τα σε πρόϊμη διαρροή. Η μονόπλευρη σε κάτοψη διαρροή των στοιχείων μεταβάλλει περαιτέρω την κατανομή της ενεργού δυσκαμψίας σε κάτοψη, επιτείνοντας την ασυμμετρία και τη στρεπτική απόκριση, με απρόβλεπτες συνέπειες για την ακεραιότητα και ασφάλεια του συνόλου.

Η συμμετρία σε κάτοψη σ' όλους τους ορόφους οδηγεί σ' αυτό που αναφέρεται συνήθως ως ταύτιση του κέντρου μάζας (ή βάρους) των υπερκείμενων ορόφων (ΚΜ) με το κέντρο δυσκαμψίας (ΚΔ) και/ή το κέντρο αντίστασης (ΚΑ) του ορόφου. Το κέντρο δυσκαμψίας ορίζεται συμβατικά ως το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης τέμνουσας ορόφου σε περίπτωση ομοιόμορφης επιβεβλημένης οριζόντιας μετάθεσής του, ή χονδροειδώς προσεγγιστικά ως το κέντρο βάρους των ροπών αδρανείας των κατακορύφων στοιχείων του ορόφου. Το κέντρο δυσκαμψίας ορόφου είναι σημαντικό κατά την ελαστική σεισμική απόκριση. Όταν όμως η απόκριση γίνει έντονα ανελαστική και το μεγαλύτερο μέρος ή και όλα τα δομικά στοιχεία του ορόφου λειτουργούν μετά τη διαρροή τους, μεγαλύτερη σημασία έχει το κέντρο αντίστασης, το οποίο ορίζεται ως το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των τεμνουσών δυνάμεων των κατακορύφων στοιχείων όταν αυτά, ή οι δοκοί με τις οποίες συνδέονται – όποιο είναι πιο κρίσιμο – έχουν αναπτύξει την αντοχή τους. Αν η ανά όροφο σύμπτωση του ΚΜ με το ΚΔ (ή το ΚΑ) είναι συμπτωματική, δεν οφείλεται δηλ. σε απόλυτη συμμετρία του δομικού συστήματος ως προς άξονα, τότε το ενδεχόμενο ανάπτυξης στρεπτικής απόκρισης από τυχαίους λόγους είναι μεγάλο (εξ ου και η απαίτηση των κανονισμών να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό τυχηματική εκκεντρότητα ίση, π.χ., με 5% ή 10% των διαστάσεων της κάτοψης). Τέτοιος λόγος μπορεί να είναι η διαταραχή της κατανομής της (ελαστικής) δυσκαμψίας στον όροφο λόγω διαρροής κάποιων (μεμονωμένων) στοιχείων του δομικού συστήματος.

Είναι προφανές ότι στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων της πράξης είναι ανέφικτη η σχεδόν απόλυτη συμμετρία σε κάτοψη και η σύμπτωση του ΚΜ με τα ΚΔ και ΚΑ. Η απόκλιση είναι μέγιστη σε γωνιακά κτίρια του συνεχούς συστήματος δόμησης στις πόλεις, γεγονός στο οποίο μπορεί να οφείλεται και η υψηλότερη συχνότητα σεισμικών βλαβών σε τέτοια κτίρια. Ευτυχώς όμως η ελαστική ανάλυση στο χώρο, που απαιτούν οι αντισεισμικοί κανονισμοί όταν η έλλειψη συμμετρίας και κανονικότητας σε κάτοψη ξεπερνά κάποια όρια, είναι σε θέση να συλλάβει αρκετά ικανοποιητικά τα βασικά χαρακτηριστικά και τις επιπτώσεις της στρεπτικής απόκρισης και να παράσχει τον απαιτούμενο βαθμό ασφάλειας.

Τα ανωτέρω ισχύουν για κτίρια με περίπου ορθογωνική κάτοψη. Αν η κάτοψη ξεφεύγει πολύ από το ορθογώνιο (π.χ. κατόψεις μορφής Γ, Τ, Π, Η, κ.α.), τότε μπορεί να υπάρχουν προβλήματα ακόμα και σε περίπτωση πλήρους σύμπτωσης του ΚΜ με τα ΚΔ και ΚΑ σε κάτοψη. Το πρόβλημα αυτά σχετίζονται σε σημαντικό βαθμό με τη λειτουργία των πατωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος σαν διαφράγματα που συνδέουν οριζόντια τα στοιχεία του δομικού συστήματος και μεταφέρουν σ' αυτά τις αδρανειακές δυνάμεις. Όταν τα (ορθογωνικά) επιμέρους σκέλη πατωμάτων με κάτοψη μορφής Γ, Τ, Π, Η κ.λ.π. έχουν σχετικά μεγάλη λυγηρότητα (λόγο μεγάλης προς μικρή διάσταση), τότε κατά τη λειτουργία τους ως τμήμα του οριζοντίου διαφράγματος δεν παραμένουν απαραμόρφωτα αλλά κάμπτονται σε οριζόντιο επίπεδο, γεγονός που ακυρώνει τη συνήθη υπόθεση της ανάλυσης για διαφράγματα που παραμένουν απαραμόρφωτα σε οριζόντιο επίπεδο. Επιπλέον, αναπτύσσονται συγκεντρώσεις οριζοντίων εφελκυστικών τάσεων στις εισέχουσες γωνίες πατωμάτων με τέτοια κάτοψη, που μπορεί να οδηγήσουν σε τοπική ρηγμάτωση ή και αστοχία (βλ. Υποενότητα 3.1.11).

Η σεισμική απόκριση κτιρίων με κάτοψη σχήματος Γ είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, καθότι οι δύο πτέρυγες του κτιρίου μπορεί να έχουν την τάση να ταλαντώνονται διαφορετικά και ασύμβατα, με αποτέλεσμα έντονα στρεπτική απόκριση περί κατακόρυφο άξονα (πρβλ. τη μεγάλη απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και του κέντρου διάτμησης μίας διατομής Γ).

Λόγω των ανωτέρω, αν οι διαστάσεις των (ορθογωνικών) σε κάτοψη πτερυγών μιας μή-ορθογωνικής κάτοψης είναι σημαντικές, είναι καλύτερα να χωρίζεται το κτίριο μέσω αρμών ικανού πλάτους σε επιμέρους μονάδες ορθογωνικής κάτοψης (π.χ. σε δύο κτίρια για κατόψεις Γ ή Τ, σε τρία για κατόψεις Π ή Η, κ.λ.π.), τα οποία σχεδιάζονται ως σεισμικώς ανεξάρτητα γειτονικά κτίρια.

Οι αρμοί μεταξύ των επιμέρους (σεισμικώς) ανεξαρτήτων μονάδων πρέπει να έχουν επαρκές πλάτος ώστε να αποφεύγεται σύγκρουσή τους υπό το σεισμό σχεδιασμού. Κατά τον Ευρωκώδικα 8, το ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος ενός τέτοιου αντισεισμικού αρμού υπολογίζεται ως η ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των μετακινήσεων των δύο μονάδων που χωρίζει ο αρμός, στην οριζόντια διεύθυνση την κάθετη στον αρμό. Οι μετακινήσεις αυτές θεωρούνται ίσες με τις ελαστικές μετακινήσεις που προκαλεί ο σεισμός σχεδιασμού για απόσβεση 5% της κρίσιμης (δηλαδή με εφαρμογή του κανόνα των ίσων μετακινήσεων ελαστικού και αναλαστικού συστήματος). Εάν τα πατώματα των δύο σεισμικώς ανεξαρτήτων μονάδων που διαχωρίζονται από τον αρμό βρίσκονται στις ίδιες οριζόντιες στάθμες – συνήθως περίπτωση για τμήματα του ίδιου κτιρίου – τότε

επιτρέπεται μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου πλάτους αρμού κατά 30%. Και τούτο διότι στην περίπτωση αυτή η σύγκρουση θα επηρεάσει τη σεισμική απόκριση της κάθε μίας από τις ανεξάρτητες μονάδες ως σύνολο. Αντίθετα, η σύγκρουση μιας πλάκας στο ενδιάμεσο του ύψους ενός κατακορύφου στοιχείου μπορεί να έχει πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στην ακεραιότητά του, προκαλώντας ακόμη και πλήρη αστοχία του. Επισημαίνεται, τέλος, ότι αντισεισμικός αρμός χρειάζεται και μεταξύ γειτονικών κτιρίων, που δεν ανήκουν στην ίδια ιδιοκτησία. Ομως τότε, επειδή η οριζόντια μετακίνηση του γειτονικού κτιρίου είναι άγνωστη και ανεξέλεγκτη, ο Μηχανικός υποχρεούται κατά τον Ευρωκώδικα 8 να αφήσει απόσταση του κτιρίου από τη μεσοτοιχία προς το γειτονικό τουλάχιστον ίση με την οριζόντια μετακίνηση του κτιρίου που μελετά. (Η κατά 30% μείωση εξακολουθεί να ισχύει στην περίπτωση ισοσταθμίας πατωμάτων). Επισημαίνεται ότι, για να είναι αποτελεσματικός ο αντισεισμικός αρμός, πρέπει να μείνει κενός ή να πληρούται με ευσυμπιέστο υλικό.

Οι Κανονισμοί θέτουν κριτήρια για το χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως “κανονικό σε κάτοψη”. Αν το κτίριο παραβιάζει τουλάχιστον ένα από τα κριτήρια αυτά, τότε χαρακτηρίζεται ως μη-κανονικό σε κάτοψη και πρέπει να αναλυθεί στο χώρο. Διαφορετικά, επιτρέπονται δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κατακόρυφο επίπεδο (δηλαδή αγνοώντας τις οριζόντιες μετακινήσεις κάθετα στο επίπεδο αυτό και τη στροφή περί κατακόρυφο άξονα), μία για κάθε οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής δράσης. Τα κριτήρια κανονικότητας σε κάτοψη που θέτει ο Ευρωκώδικας 8 αναφέρθηκαν ήδη στην Υποενότητα 1.4.3, μαζί με τις τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q . Και τούτο διότι, κατά τον Ευρωκώδικα 8, όταν ένα κτίριο είναι μη-κανονικό σε κάτοψη, όχι μόνον υποχρεωτικά αναλύεται στο χώρο, αλλά επιπλέον δεν δικαιούται τις πλήρεις ενδεικτικές τιμές του συντελεστή a_R επαύξησης του συντελεστή συμπεριφοράς q , αλλά μόνον το μέσο όρο των ενδεικτικών αυτών τιμών και του 1.0.

Είναι αξιοσημείωτο ότι για τον έλεγχο των κριτηρίων κανονικότητας σε κάτοψη του Ευρωκώδικα 8 δεν απαιτούνται μακροί και κοπιώδεις υπολογισμοί. Έτσι τα κριτήρια αυτά μπορούν να ελεγχθούν εύκολα, πριν τη φάση της ανάλυσης του κτιρίου για τη σεισμική δράση. Οι περισσότεροι κοπιώδεις από αυτούς τους ελέγχους είναι:

- ο περιορισμός της εκκεντρότητας μεταξύ ΚΜ και ΚΔ στο 30% της "ακτίνας δυστρεψίας" r (ρίζας λόγου της περί κατακόρυφο άξονα δυστρεψίας προς μεταφορική δυσκαμψία στην εγκάρσια προς την εκκεντρότητα οριζόντια διεύθυνση) και
- η απαίτηση ελάχιστης ακτίνας δυστρεψίας ορόφου μεγαλύτερης από την ακτίνα

αδρανείας της μάζας του σε κάτοψη.

Αντίθετα με τον Ευρωκώδικα 8, οι αντισεισμικοί Κανονισμοί των ΗΠΑ βασίζουν τον έλεγχο της κανονικότητας σε κάτοψη στο λόγο της μέγιστης προς τη μέση οριζόντια μετάθεση στον όροφο, εξαιτίας οριζόντιας σεισμικής δράσης με τυχηματική εκκεντρότητα 5% της κάθετης διάστασης της κάτοψης. Η άνω οριακή τιμή του λόγου αυτού για θεώρηση του κτιρίου ως κανονικού είναι 1.2. Το κριτήριο όμως αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση της διαμόρφωσης, καθότι η εφαρμογή του απαιτεί να γίνει πρώτα ανάλυση της κατασκευής, ενώ αντίθετα, από το αποτέλεσμα του κριτηρίου εξαρτάται το είδος της ανάλυσης που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί.

Τα όρια των Κανονισμών για την κανονικότητα σε κάτοψη χρησιμεύουν και σαν “καμπανάκι” που επισημαίνει στο μελετητή ότι, ανεξάρτητα του τρόπου ελαστικής ανάλυσης που πρέπει να εφαρμόσει, η δομική μορφολογία της κατασκευής του δεν είναι ευνοϊκή από απόψεως κανονικότητας σε κάτοψη. Ιδιαίτερα σημαντικά από την άποψη αυτή είναι τα κριτήρια που αφορούν την εκκεντρότητα σε κάτοψη μεταξύ ΚΜ και ΚΔ και την ευστρεψία του κτιρίου.



Σχήμα 3.1 Κατάρρευση κτιρίου κατά τη στρεπτική απόκριση περί το δύσκαμπτο πυρήνα κλιμακοστασίου, κ.λ.π. στη γωνία (Σεισμός Πάρνηθας, 1999).

Η στρεπτική περί κατακόρυφο άξονα απόκριση που μπορεί να προκληθεί από μεγάλη εκκεντρότητα μεταξύ ΚΜ και ΚΔ (ή ΚΑ) προκαλεί συνήθως μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις του τμήματος της κάτοψης που βρίσκεται στην αντίθετη πλευρά του ΚΔ (ή ΚΑ) ως προς το ΚΜ, δηλαδή στο τμήμα της κάτοψης όπου συγκεντρώνονται τα σχετικά πιο εύκαμπτα στοιχεία του δομικού συστήματος. Η συγκέντρωση των βλαβών σε ένα τμήμα της κάτοψης μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευσή του, όπως φαίνεται από τα

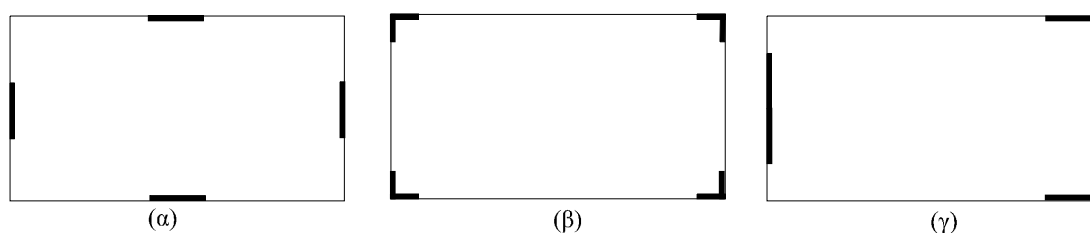
παραδείγματα του Σχ. 3.1: η στρεπτική απόκριση περί το κλιμακοστάσιο και τα τοιχώματα ανελκυστήρα στην αριστερή γωνία του κτιρίου - όπως αυτό φαίνεται στην αριστερή φωτογραφία - προκάλεσε αστοχία των υποστυλωμάτων στις απέναντι γωνίες των πλευρών του κτιρίου.

3.1.6 ΔΥΣΤΡΕΨΙΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΞΟΝΑ

Οι στρεπτικές περί κατακόρυφο άξονα ταλαντώσεις είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για την ακεραιότητα των περιμετρικών στοιχείων της κάτοψης. Τέτοιες ταλαντώσεις μπορεί να αναπτυχθούν από τυχαίες αφορμές, με μεταφορά ενέργειας από τις μεταφορικές ταλαντώσεις στη στρεπτική, αν η ιδιοπερίοδος της πρώτης στρεπτικής ιδιομορφής του κτιρίου είναι μεγαλύτερη από αυτές των βασικών μεταφορικών ιδιομορφών στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις. Αυτό συμβαίνει αν τα στοιχεία ανάληψης της σεισμικής δράσης είναι συγκεντρωμένα πιο κοντά στο κέντρο της κάτοψης παρά στην περίμετρο. Ως άμυνα στο ενδεχόμενο αυτό, πρέπει αρκετά από τα κύρια στοιχεία δυσκαμψίας να τοποθετούνται στην περίμετρο ή κοντά της. Έτσι αντί (ή επιπλέον) ενός πυρήνα τοιχωμάτων κοντά στο κέντρο της κάτοψης, πρέπει τα τοιχώματα να τοποθετούνται στην περίμετρο, κατά προτίμηση ανά ζεύγη στο κεντρικό τμήμα δύο απέναντι πλευρών, Σχ. 3.2(α). Τοιχώματα κοντά στις γωνίες, που μπορεί να φαίνονται πλεονεκτικά από απόψεως δυστρεψίας περί κατακόρυφο άξονα αν έχουν διατομή Γ (Σχ. 3.2β), παρεμποδίζουν τη συστολή του διαφράγματος μέσα στο επίπεδό του λόγω θερμοκρασίας ή ξήρανσης και προκαλούν σημαντικές εφελκυστικές τάσεις και ενδεχόμενα διαμπερή ρηγμάτωση των πατωμάτων. Επιπλέον, η αποτελεσματική πάκτωσή τους στη θεμελίωση στη γωνία του κτιρίου είναι πιο δύσκολη. Τέλος, ενώ η διάταξη τριών περιμετρικών τοιχωμάτων κατά το Σχ.3.2(γ) είναι θεωρητικά επαρκής για τη δυστρεψία περί κατακόρυφο άξονα, είναι ευαίσθητη έναντι απώλειας της δυστρεψίας περί κατακόρυφο άξονα και ανάπτυξης εκκεντρότητας του ΚΔ ως προς το ΚΜ, σε περίπτωση διαρροής ενός από τα τρία τοιχώματα. Γι' αυτό συνιστάται να τοποθετούνται τουλάχιστον δύο ζεύγη τοιχωμάτων (Σχ. 3.2α).

Οι κανονισμοί περιλαμβάνουν ποσοτικούς κανόνες για την εξασφάλιση στο κτίριο της απαραίτητης δυστρεψίας περί κατακόρυφο άξονα. Επί παραδείγματι, αν η "ακτίνα δυστρεψίας" r του ορόφου (που ορίστηκε στην Υποενότητα 1.4.2 και αναφέρθηκε και στην Υποενότητα 3.1.5) ξεπερνά την "ακτίνα αδρανείας" I_s της μάζας του ορόφου σε κάτοψη (ρίζα του αθροίσματος των δευτεροβάθμιων ροπών της μάζας της κάτοψης ως

προς τους δύο κεντροβαρικούς οριζόντιους άξονες X και Y, δια της συνολικής μάζας ορόφου), η βασική μεταφορική ιδιοπερίοδος σε κάθε μία από τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις της κάτοψης θα ξεπερνά σε τιμή την ιδιοπερίοδο της στρεπτικής περί κατακόρυφο άξονα ιδιομορφής. Αν δεν ισχύει το κριτήριο αυτό, ο Ευρωκώδικας 8 επιβάλλει εξαιρετικά μειωμένες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q . Οι μειωμένες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q εύστρεπτων κτιρίων αφορούν πρακτικώς κτίρια με τοιχώματα στο κέντρο και εύκαμπτα πλαίσια στην περίμετρο.



Σχήμα 3.2 Διατάξεις τοιχωμάτων σε κάτοψη: (α) ιδανική, (β) προβληματική για τα πατώματα και για τη θεμελίωση/πάκτωση των τοιχωμάτων, (γ) ευαίσθητη σε αστοχία του ενός τοιχώματος.

3.1.7 ΚΑΘ' ΎΨΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ, ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΚΑΙ ΜΑΖΑΣ

Όταν σ' ένα κτίριο αλλάζει 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), τότε το σχήμα της πρώτης μεταφορικής ιδιομορφής στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις διαφέρει ουσιαστικά από την ευθεία γραμμή. Έτσι 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%).

Ακραίες αλλά όχι ασυνήθεις καθ' ύψος μεταβολές της γεωμετρίας συνιστούν η ύπαρξη μεσοπατωμάτων σε τμήμα κάποιων ορόφων, η μείωση διαστάσεων κάτοψης στους ανώτερους ορόφους ("εσοχή"), τα δώματα στην κορυφή του κτιρίου, η διακοπή κάποιων τοιχωμάτων στους ανώτατους ορόφους, κ.α. Οι συνέπειες τέτοιων μεταβολών καλύπτονται από τις ανωτέρω απαιτήσεις των κανονισμών για καθ' ύψος μη-κανονικές κατασκευές. Αντίθετα, η μείωση των διαστάσεων κάτοψης, ή διαστάσεων διατομών στοιχείων προς τα κάτω, και κυρίως η μή συνέχιση κατακορύφων στοιχείων προς τους κατώτερους ορόφους (φυτευτά υποστυλώματα ή τοιχώματα), έχουν εξαιρετικά δυσμενείς επιρροές στη σεισμική συμπεριφορά του συνόλου, οι οποίες δεν καλύπτονται από τις ειδικές διατάξεις των κανονισμών για μή-κανονικά καθ' ύψος κτίρια.

Τα κριτήρια των κανονισμών για το χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως μη κανονικού καθ' ύψος μπορούν να χρησιμεύσουν και σαν "καμπανάκι" για μια ενδεχόμενη δυσμενή δομική μορφολογία.

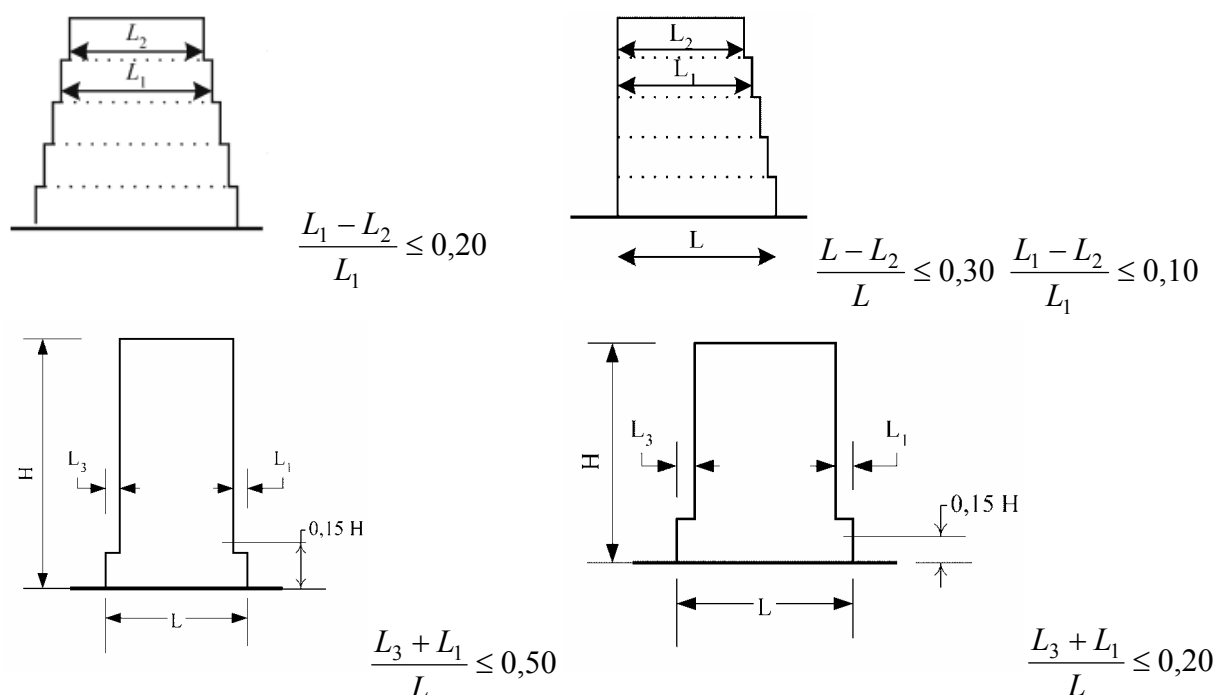
Κατά τους Αμερικανικούς Κανονισμούς ένα κτίριο θεωρείται μη-κανονικό καθ' ύψος αν έχει ένα ή περισσότερα από τα εξής:

- διαφορά μάζας από έναν όροφο στο γειτονικό μεγαλύτερη από 50% της μικρότερης από τις μάζες αυτών των δύο ορόφων,
- διαφορά διαστάσεων κάτοψης γειτονικών ορόφων μεγαλύτερη από το 30% της μικρότερης από τις δύο αυτές διαφορετικές διαστάσεις,
- οριζόντια δυσκαμψία μικρότερη από το 70% αυτής του υπερκείμενου ορόφου, ή από το 80% της μέσης δυσκαμψίας των τριών ανωτέρων ορόφων.

Διαφορές στην οριζόντια δυσκαμψία μπορούν να εκτιμηθούν με βάση το άθροισμα των λόγων EI/h των κατακορύφων στοιχείων, ή καλύτερα με βάση τις σχετικές μετακινήσεις διαδοχικών ορόφων από την (έστω ισοδύναμη στατική) ανάλυση για τις σεισμικές δράσεις. Μάλιστα οι Αμερικανικοί Κανονισμοί επιτρέπουν να θεωρείται ένα κτίριο ως καθ' ύψος κανονικό ανεξάρτητα των δύο πρώτων ανωτέρω κριτηρίων, αν η ανηγμένη στο ύψος ορόφου σχετική μετακίνηση διαδοχικών ορόφων δεν ξεπερνά σε κανέναν όροφο κάτω του προτελευταίου το 130% της αντίστοιχης τιμής στον υπερκείμενο όροφο.

Τα κριτήρια που θέτει ο Ευρωκώδικας 8 για την κανονικότητα καθ' ύψος αναφέρθηκαν στην Υποενότητα 1.4.2. Το Σχ. 3.3 δίνει γραφικά τους γεωμετρικούς περιορισμούς εσοχών του Ευρωκώδικα 8 για την κανονικότητα καθ' ύψος. Αν ένα τουλάχιστον από τα κριτήρια μη-κανονικότητας δεν ικανοποιείται, ο Ευρωκώδικας 8

επιβάλλει δυναμική (φασματική) ανάλυση του κτιρίου – και μάλιστα με μειωμένο κατά 20% συντελεστή συμπεριφοράς q . Επισημαίνεται ότι, επειδή ακριβώς η κανονικότητα καθ' ύψος καθορίζει την επιτρεπόμενη μέθοδο ανάλυσης, τα κριτήρια που θέτει γι' αυτήν ο Ευρωκώδικας 8 είναι ποιοτικά, ώστε να μπορούν να ελεγχθούν μακροσκοπικά χωρίς ανάλυση του δομικού συστήματος για τη σεισμική δράση. Αντίθετα, κριτήρια κανονικότητας που στηρίζονται στην καθ' ύψος μεταβολή της σχετικής μετακίνησης ορόφων (όπως αυτά των Αμερικανικών Κανονισμών), χρειάζονται αποτελέσματα ανάλυσης για την εφαρμογή τους.



Σχήμα 3.3 Κριτήρια Ευρωκώδικας 8 για καθ' ύψος κανονικότητα κτίριων με εσοχές



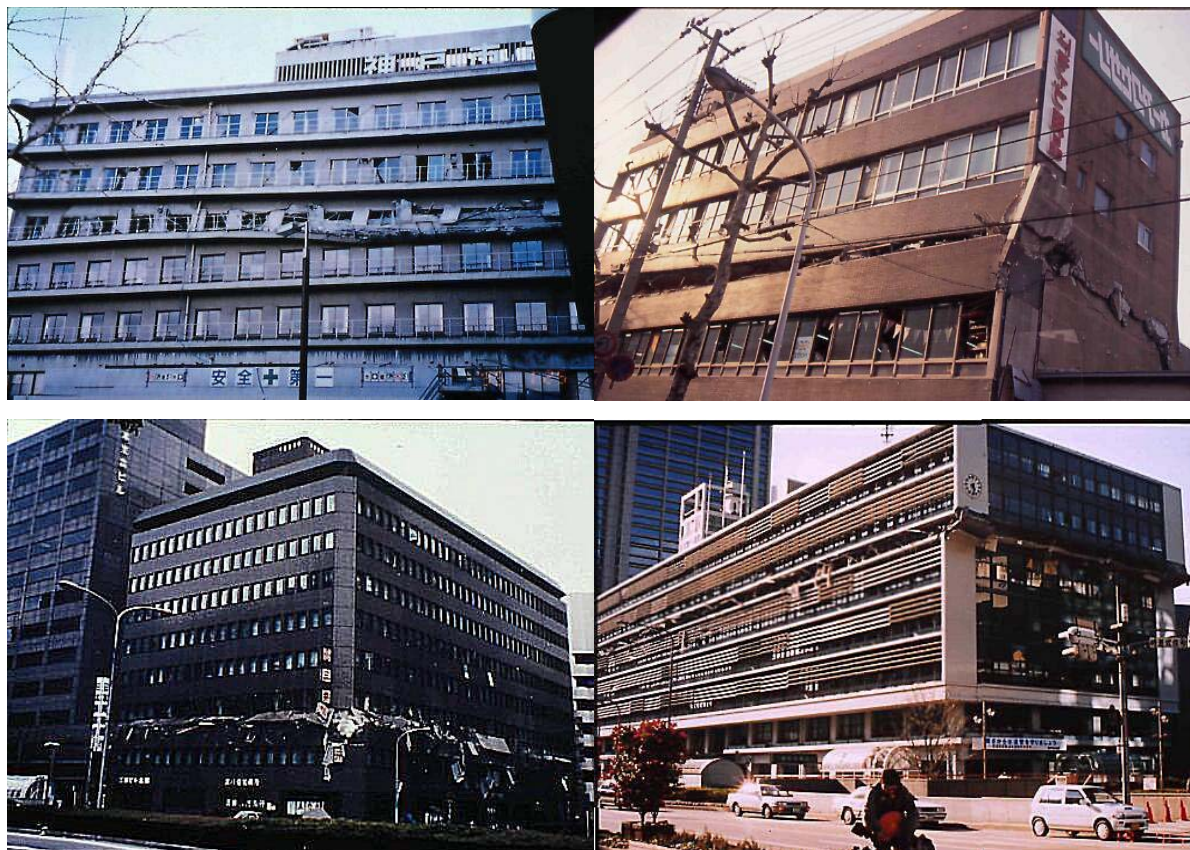
Σχήμα 3.4 Καταρρεύσεις ανώτερων ορόφων γιά καθ' ύψος μεταβολή των διαστάσεων κάτοψης (Αριστερά: Καλαμάτα, 1986. Δεξιά: σεισμός Κοτζέλι, Τουρκία, 1999).

Το Σχ. 3.4 δείχνει καταρρεύσεις ανωτέρων ορόφων ή δώματος, λόγω δραστικής

μεταβολής των διαστάσεων κάτοψης προς τα πάνω.

3.1.8 ΚΑΘ' ΥΨΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Πολύ σημαντικότερες δυσμενείς επιπτώσεις στη σεισμική συμπεριφορά και ασφάλεια απ' αυτές της μή-κανονικότητας καθ' ύψος της μάζας, της δυσκαμψίας ή της γεωμετρίας, μπορεί να έχει η μή-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 (πρβλ. 1.2 και 1.3.1 στο Κεφάλαιο 1), 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.



Σχήμα 3.5 Καταρρεύσεις ενδιάμεσων ορόφων στο Kobe (1995), λόγω απότομης μεταβολής κατακορύφων στοιχείων.

Υπεραντοχή που ενοχλεί είναι και αυτή των άκρων των δοκών σε κάμψη ως προς τις απαιτήσεις της σεισμικής δράσης. Τέτοιες υπεραντοχές μπορεί να εμφανισθούν στους ανώτερους ορόφους, αν εκεί οι δοκοί οπλίζονται με τους ελάχιστους οπλισμούς. Γι' αυτό οι διατομές των δοκών πρέπει να επιλέγονται σχετικά μικρές, ώστε οι διαμήκεις οπλισμοί να προκύπτουν από τις ροπές σχεδιασμού και όχι από τους ελάχιστους οπλισμούς. Η βέλτιστη μάλιστα επιλογή ύψους δοκών στους ανώτερους ορόφους είναι αυτή που δίνει ροπές στηρίξεων λόγω του συνδυασμού των κατακορύφων φορτίων ($1.35G+1.5Q$) – οι οποίες είναι σχεδόν ανεξάρτητες του ύψους των δοκών – παρόμοιες με αυτές του σεισμικού συνδυασμού, ($E+G+\psi_2Q$) – οι οποίες αυξάνονται με το ύψος της δοκού.

Το πιο επικίνδυνο είδος υπεραντοχής είναι αυτό που μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό σε κάποια στάθμη πλαστικού μηχανισμού ορόφου, προτού αναπτυχθεί πλαστικός μηχανισμός δοκών στο σύνολο του φορέα από τη στάθμη αυτή και πάνω (“μαλακός όροφος”). Το ενδεχόμενο αυτό είναι πιθανό σε πλαισιακούς φορείς που δεν ικανοποιούν σε κάποια στάθμη τη συνθήκη ικανοτικού ελέγχου για το σύνολο των κόμβων της στάθμης: $\sum(\sum M_{Rb}) < \sum(\sum M_{Rc})$. Ομως το μόνο που μπορεί να γίνει στο στάδιο της διαμόρφωσης του δομικού συστήματος για την ικανοποίηση της συνθήκης αυτής, είναι η επιλογή μεγαλύτερων διαστάσεων διατομής για τα υποστυλώματα παρά για τις δοκούς.

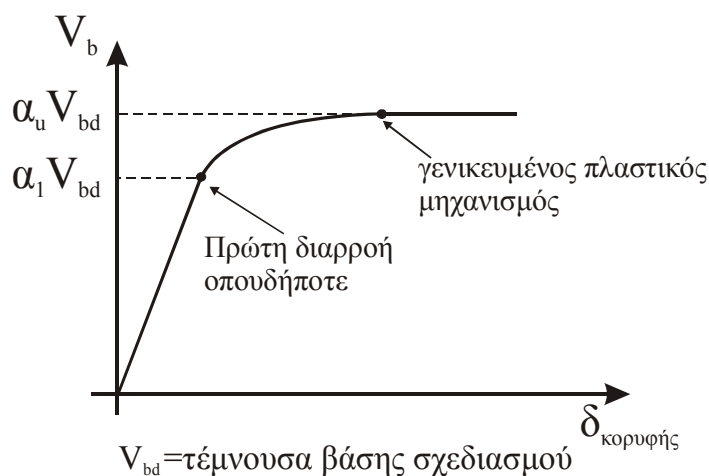
Οι κανονισμοί τονίζουν τη μεγάλη σημασία της καθ' ύψος κατανομής της αντοχής και τον κίνδυνο σχηματισμού “μαλακού ορόφου”. Οι Αμερικανικοί Κανονισμοί θεωρούν τον κίνδυνο αυτό μεγάλο ή εξαιρετικό, αν η αντοχή ορόφου είναι μικρότερη του 80% ή του 65%, αντίστοιχα, αυτής του αμέσως ανωτέρου και θέτουν τον περιορισμό ύψους σε δύο ορόφους το πολύ ή σε 9m για το σύνολο του κτιρίου, στην περίπτωση εξαιρετικού κινδύνου μαλακού ορόφου. Πάντως ο κίνδυνος “μαλακού ορόφου” είναι ιδιαίτερα μεγάλος σε κτίρια με ανομοιόμορφη κατανομή των τοιχοπληρώσεων στους ορόφους (βλ. 3.1.13).

3.1.9 ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΟΤΗΤΑ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Τα τελευταία χρόνια, λόγοι αρχιτεκτονικής λειτουργικότητας και οικονομίας στην κατασκευή, σε συνδυασμό με την ευρεία χρήση σκυροδέματος και χάλυβα με υψηλές

αντοχές, έχουν οδηγήσει σε αύξηση των ανοιγμάτων μεταξύ υποστυλωμάτων στα κτίρια, στη χρήση λίγων αλλά ισχυρών τοιχωμάτων, κ.λ.π.

Αν το σύνολο της αντοχής σε σεισμό ανατεθεί σε λίγα φέροντα στοιχεία, π.χ. σε δύο μεγάλα παράλληλα τοιχώματα, ή σε λίγα υποστυλώματα σε μεγάλες μεταξύ τους αποστάσεις, η τυχόν πρώιμη αστοχία ενός στοιχείου μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για τη σεισμική ασφάλεια του συνόλου. Πέραν της αποτροπής τέτοιων ενδεχομένων και της δημιουργίας πολλαπλών εναλλακτικών διαδρομών για τη μεταφορά των αδρανειακών δυνάμεων στο έδαφος, η συμμετοχή πολλών κατακορύφων στοιχείων στην ανάληψη της σεισμικής δράσης προσφέρει στο σύστημα μία σημαντική υπεραντοχή μεταξύ της σεισμικής τέμνουσας (V_1) που αντιστοιχεί στην πρώτη διαρροή και την εμφάνιση της πρώτης πλαστικής άρθρωσης στο σύστημα, και αυτής (V_u) που το μετατρέπει σε πλαστικό μηχανισμό. Η υπεραντοχή αυτή λαμβάνεται υπόψη υπολογιστικά στον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα κατά τον Ευρωκώδικα 8, καθότι αυτός επιτρέπει να πολλαπλασιάζεται ο συντελεστής συμπεριφοράς q επί το λόγο $\alpha_R = \alpha_u / \alpha_1 = V_u / V_1$, όπως αναφέρθηκε και αναλύθηκε στην Υποενότητα 1.4.2 (βλ. Σχ. 3.6).

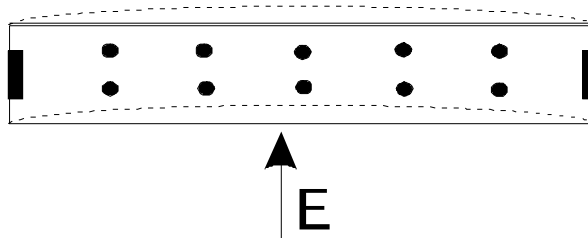


Σχ. 3.6 Ορισμός τέμνουσας αντοχής και τέμνουσας 1^{15} διαρροής συστήματος από ανελαστική στατική ανάλυση.

Όπως δείχνει το Σχ. 3.6, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ τέμνουσας στην $1^{\text{η}}$ διαρροή και τελικής αντοχής του κτιρίου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς με τον οποίο μπορεί να σχεδιασθεί το δόμημα. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η δυνατότητα ανακατανομής της έντασης μεταξύ των στοιχείων του δομήματος. Γι' αυτό και οι ενδεικτικές τιμές του συντελεστή $\alpha_R = \alpha_u / \alpha_1$ που

δίνει ο Ευρωκώδικας 8 αυξάνονται από 1.0 σε κτίρια με μόνο δύο ασύζευκτα τοιχώματα στην υπόψη διεύθυνση, σε 1.3 σε πολυόροφα πλαίσιακα συστήματα με περισσότερα του ενός ανοίγματα.

Η σημασία της πολλαπλότητας και υπερστατικότητας του δομικού συστήματος επιτείνεται από το γεγονός ότι οι αδρανειακές δυνάμεις αναπτύσσονται στις μάζες, οι οποίες είναι κατά κανόνα κατανομημένες στο σύνολο της επιφάνειας της κάτοψης των ορόφων, και μεταφέρονται στα κατακόρυφα στοιχεία του συστήματος ανάληψης των σεισμικών δράσεων μέσω των πατωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία κατά κανόνα προσομοιώνονται στην ανάλυση ως απόλυτα άκαμπτα σε οριζόντιο επίπεδο διαφράγματα. Αν λοιπόν τοποθετούνται, π.χ., δύο ισχυρά τοιχώματα σε δύο απέναντι πλευρές της κάτοψης για να αναλάβουν το σύνολο σχεδόν της σεισμικής δράσης, η μεταφορά των αδρανειακών δυνάμεων σ' αυτά προκαλεί κάποια κάμψη του διαφράγματος μέσα στο επίπεδο του, σαν αυτό να ήταν αμφίεραστη δοκός που στηρίζεται στα δύο παράλληλα τοιχώματα (Σχ. 3.7). Αν η απόσταση των δύο τοιχωμάτων (δηλ. το μήκος της κάτοψης) είναι μεγάλη και το πάχος του διαφράγματος (δηλ. της πλάκας) μικρό, το βέλος κάμψης του διαφράγματος στο κεντρικό τμήμα της κάτοψης είναι σημαντικό, γεγονός που επιβαρύνει τις σεισμικές τέμνουσες των υποστυλωμάτων του κεντρικού τμήματος, σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από την ανάλυση με βάση την υπόθεση του απόλυτα άκαμπτου διαφράγματος. Επειδή λοιπόν η αξιόπιστη προσομοίωση της εντός επιπέδου δυσκαμψίας των πατωμάτων είναι δυσχερής και επιπλέον η αύξηση του πάχους του, για να μειωθεί η ευκαμψία του, κοστίζει και αυξάνει τις αδρανειακές δυνάμεις, σε επιμήκη σε κάτοψη κτίρια συνιστάται να χρησιμοποιείται μεγαλύτερος από τον ελάχιστο αριθμό (των δύο) τοιχωμάτων ανά διεύθυνση, ώστε να μειώνεται το άνοιγμα του διαφράγματος.



Σχήμα 3.7 Κάμψη διαφράγματος σε επιμήκη κάτοψη με δύο ακραία τοιχώματα

Για τους ανωτέρω λόγους οι πρόσφατοι Αμερικανικοί Κανονισμοί απαγορεύουν να ξεπερνά η σεισμική τέμνουσα οποιουδήποτε τοιχώματος (αγνοώντας την επιρροή της περί κατακόρυφο άξονα στρέψης του κτιρίου) το 60% της συνολικής τέμνουσας ορόφου.

Επιπλέον, εισάγουν έναν εμπειρικό συντελεστή $\rho \leq 1.5$ ο οποίος πολλαπλασιάζει τη σεισμική δράση (δηλαδή μειώνει το συντελεστή συμπεριφοράς q). Η τιμή του συντελεστή ρ εξαρτάται από:

- τη μέγιστη σεισμική τέμνουσα, V_{\max} , μεταξύ των στοιχείων στον ορόφο, ως ποσοστό της συνολικής τέμνουσας ορόφου, V_{story} ,
- και από τη χαρακτηριστική διάσταση της κάτοψης, $L_{\text{plan}}^{(m)} = (\text{επιφάνεια κάτοψης (m}^2\text{)}^{1/2}$.

Για καθαρά τοιχωματικά συστήματα είναι:

$$\rho_{\text{wall}} = 2 \left(1 - \frac{V_{\text{story}}}{V_{\max, \text{wall}}} \frac{L_w}{L_{\text{plan}}} \right) \quad (3.1)$$

όπου $V_{\max, \text{wall}}$ και L_w είναι η σεισμική τέμνουσα και η οριζόντια διάσταση του τοιχώματος με τη μεγαλύτερη τέμνουσα στον όροφο. Αν $V_{\max, \text{wall}}/V_{\text{story}} < 2L_w/L_{\text{plan}}$ (που δίνει $L_w > L_{\text{plan}}/4$ στην ακραία περίπτωση στην οποία είναι: $V_{\max, \text{wall}} = 0.5V_{\text{story}}$), η τιμή του ρ ισούται με 1.0 και δεν υπάρχει επιβάρυνση. Αν $V_{\max, \text{wall}}/V_{\text{story}} > 4L_w/L_{\text{plan}}$ (π.χ. αν $L_w < L_{\text{plan}}/8$ για $V_{\max, \text{wall}} = 0.5V_{\text{story}}$) έχουμε τη μέγιστη τιμή της επιβάρυνσης, δηλαδή $\rho = 1.5$.

Σε καθαρά πλαίσιακα συστήματα ο συντελεστής ρ ισούται με:

$$\rho_{\text{frame}} = 2 \left(1 - \frac{V_{\text{story}}}{V_{\max, \text{col}}} \frac{3.05}{L_{\text{plan}} \text{ (m)}} \right) \quad (3.2)$$

όπου ως $V_{\max, \text{col}}$ λαμβάνεται το μέγιστο άθροισμα τεμνουσών δύο γειτονικών υποστυλωμάτων στον όροφο, με την τέμνουσα εσωτερικών υποστυλωμάτων πλαισίων πολλαπλασιασμένη επί 0.7. Απαιτείται μάλιστα να διατίθεται επαρκής αριθμός υποστυλωμάτων ώστε $\rho_{\text{frame}} < 1.25$, που σημαίνει $V_{\max, \text{col}}/V_{\text{story}} < 8.1/L_{\text{plan}} \text{ (m)}$. Ικανοποιητικός αριθμός υποστυλωμάτων είναι αυτός που δίνει: $V_{\max, \text{col}}/V_{\text{story}} < 6.1/L_{\text{plan}} \text{ (m)}$, οπότε προκύπτει $\rho_{\text{frame}} = 1$.

Δυαδικά συστήματα (εγγενώς εύκαμπτων) πλαισίων και (εγγενώς δύσκαμπτων) τοιχωμάτων θεωρούνται ότι διαθέτουν υψηλότερη συνολική υπεραντοχή και μεγαλύτερες εφεδρείες σεισμικής αντοχής σε περίπτωση αστοχίας κάποιων στοιχείων. Έτσι, με την προϋπόθεση ότι τα πλαίσια μπορούν να αναλάβουν μόνα τους το 25% της σεισμικής δράσης, οι Αμερικανικοί Κανονισμοί επιτρέπουν να ληφθεί η τιμή του ρ σε δυαδικά συστήματα ίση με το 80% της μεγαλύτερης από τις δύο τιμές που δίνουν οι εξ. (3.1) και (3.2) για τα επιμέρους τμήματα του δομικού συστήματος. Στους κατώτερους ορόφους, όπου τα τοιχώματα αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής τέμνουσας, δεν

υπάρχει επιβάρυνση (δηλαδή είναι $\rho=1$) αν $V_{\max,wall}/V_{\text{story}} < 4/3 L_w/L_{\text{plan}}$. Η μέγιστη επιβάρυνση ($\rho=1.5$) προκύπτει αν $V_{\max,wall}/V_{\text{story}} > 8 L_w/L_{\text{plan}}$. Στους ανώτερους ορόφους, όπου τα πλαίσια αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής δράσης, η μέγιστη και η ελάχιστη επιβάρυνση ($\rho=1.5$ ή $\rho=1$) αντιστοιχούν σε $V_{\max,col}/V_{\text{story}} < 49/L_{\text{plan}}(m)$, ή σε $V_{\max,col}/V_{\text{story}} > 8.1/L_{\text{plan}}(m)$, αντίστοιχα.

3.1.10 ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΧΩΡΙΣ ΤΟΠΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Το δομικό σύστημα πρέπει να εξασφαλίζει συνεχή και ομαλή ροή των δυνάμεων, από τις μάζες, όπου οι δυνάμεις δημιουργούνται ως αδρανειακές, προς τη θεμελίωση. Η μονολιθικότητα των δομημάτων οπλισμένου σκυροδέματος, που σκυροδετούνται εξ ολοκλήρου επιτόπου, ευνοεί τη συνεχή και ομαλή ροή των δυνάμεων αυτών. Από την άποψη αυτή το οπλισμένο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως υλικό αντισεισμικών έργων έναντι των υλικών που έρχονται σε προκατασκευασμένα στοιχεία τα οποία συνδέονται επιτόπου, όπως ο χάλυβας ή το ξύλο, καθότι για τα υλικά αυτά οι συνδέσεις αποτελούν από τη φύση τους σημεία ασυνέχειας και διακοπής της ροής των δυνάμεων. Το ίδιο βέβαια πρόβλημα έχει και το σκυρόδεμα στην προκατασκευή.

Σε μονολιθικά δομήματα οπλισμένου σκυροδέματος η απαίτηση συνεχούς και ομαλής ροής των δυνάμεων σημαίνει πρωτίστως ότι τα πατώματα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή για τη μεταφορά των αδρανειακών δυνάμεων στο δομικό σύστημα και να συνδέονται επαρκώς μ' αυτό. Οι συνήθεις συμπαγείς πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος διαθέτουν γενικά την απαιτούμενη αντοχή και δυσκαμψία μέσα στο επίπεδό τους. Προβληματικά από την άποψη αυτή θεωρούνται πατώματα από προκατασκευασμένα στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους το πολύ μέσω μίας επιτόπου σκυροδετούμενης και ελαφρά οπλισμένης στρώσης πάχους λίγων εκατοστών (topping), καθώς και πλάκες με νευρώσεις σε δύο διευθύνσεις με λεπτή και ελαφρά οπλισμένη πάνω πλάκα. (Το Σχ. 3.8 δείχνει καταρρεύσεις στο σεισμό της Αρμενίας 1988, λόγω ανεπαρκούς σύνδεσης των προκατασκευασμένων πατωμάτων με τα τοιχώματα). Προβλήματα δημιουργούν επίσης τυχόν κενά στο διάφραγμα σε κάτοψη, λόγω φωταγωγών, εσωτερικών αιθρίων, ανελκυστήρων, κλιμακοστασίων, κ.λ.π. Αν τέτοια κενά είναι κοντά ή σε επαφή με ισχυρά τοιχώματα (π.χ. στα κλιμακοστάσια ή τους ανελκυστήρες), δυσχεραίνουν τη μεταφορά των οριζοντίων δυνάμεων από το διάφραγμα στο τοίχωμα και δημιουργούν κίνδυνο απόσχισης του διαφράγματος από το τοίχωμα, ιδίως αν το τελευταίο βρίσκεται κοντά

στην περίμετρο της κάτοψης.

Τα ανωτέρω αφορούν κυρίως τη ροή των αδρανειακών δυνάμεων από την πηγή τους προς το δομικό σύστημα μέσω των πατωμάτων-διαφραγμάτων. Ανωμαλίες στη ροή των δυνάμεων μέσω του ίδιου του δομικού συστήματος εμφανίζονται:

- στις έντονα έκκεντρες συνδέσεις δοκών με υποστυλώματα στους κόμβους,
- στις έμμεσες στηρίξεις δοκών επί άλλων δοκών (αντί απευθείας στα κατακόρυφα στοιχεία),
- στις περιπτώσεις που ο άξονας ενός υποστυλώματος ή δοκού δεν είναι συνευθειακός με αυτούς των υποστυλωμάτων ή δοκών, των αμέσως γειτονικών ορόφων ή ανοιγμάτων, αντίστοιχα, αλλά μετατεθειμένος,
- στις στηρίξεις “φυτευτών” υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων σε δοκούς,
- στις στηρίξεις τοιχωμάτων που συνεχίζονται προς τα κάτω ως δύο υποστυλώματα, κ.α.

Η αξιόπιστη εκτίμηση της τοπικής έντασης σε θέσεις όπως οι παραπάνω και γύρω απ’ αυτές, δεν είναι μέσα στις σημερινές πρακτικές δυνατότητες της επιστήμης μας. Δεδομένου δε ότι οι συνδέσεις μεταξύ στοιχείων είναι τα πιο κρίσιμα και σημαντικά σημεία του συστήματος ανάληψης των σεισμικών δράσεων, συνδέσεις όπως οι ανωτέρω πρέπει να αποφεύγονται σε κάθε περίπτωση. Δηλαδή, η καθαρότητα και η απλότητα είναι ακόμα πιο σημαντική στη μικρο-γεωμετρία (δηλ. στις συνδέσεις των στοιχείων) απ’ ότι στη μακρο-γεωμετρία του συνολικού συστήματος. Αν μή τι άλλο, ενώ είναι τεχνικά δυνατή η μελέτη και διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς δομικών συστημάτων με περίπλοκη συνολική γεωμετρία, οι σημερινές γνώσεις της επιστήμης για τη σεισμική συμπεριφορά συνδέσεων στοιχείων περιορίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε απλές γεωμετρίες κεντρικών συνδέσεων. Εξ αυτού προκύπτει και ο περιορισμός της εκκεντρότητας μεταξύ αξόνων δοκού και υποστυλώματος στο 1/4 του πλάτους του υποστυλώματος (1/6 κατά Αμερικανικούς Κανονισμούς) που θέτει ο Ευρωκώδικας 8 για κτίρια Κατηγορίας Πλαστιμότητας Μέσης ή Υψηλής (Μ και Η) και ο ΕΚΟΣ 2000 για κτίρια “με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας”.



Σχήμα 3.8 Καταρρεύσεις κτιρίων με προκατασκευασμένα πατώματα, λόγω ελλιπούς σύνδεσης με τα κατακόρυφα στοιχεία (Spitak, Αρμενία, 1988).

3.1.11 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Σ' ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ

Τα κατακόρυφα στοιχεία του συστήματος ανάληψης της σεισμικής δράσης πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους μέσω συνδυασμού πατωμάτων/διαφραγμάτων και δοκών σ' όλες τις οριζόντιες στάθμες όπου υπάρχουν σημαντικές μάζες, καθώς και στη θεμελίωση. Και τούτο όχι μόνον για την ομαλή μεταφορά των αδρανειακών δυνάμεων στο δομικό σύστημα ανάληψης της σεισμικής δράσης μέσω της πιο άμεσης και σύντομης διαδρομής, αλλά και για λόγους λειτουργίας του ανωτέρω δομικού συστήματος ως σύνολο.

Η ζωτική σημασία της λειτουργίας των πατωμάτων ως πρακτικά άκαμπτα μέσα στο επίπεδό τους διαφράγματα τονίσθηκε ήδη παραπάνω. Η παρουσία τους διευκολύνει την προσομοίωση και την ανάλυση και κάνει πιο σαφή και καθαρή τη δυναμική απόκριση του κτιρίου ως σύνολο. Με τον τρόπο αυτό τα πατώματα/διαφράγματα εξυπηρετούν το βασικό στόχο της διαμόρφωσης για μείωση των αβεβαιοτήτων σεισμικής συμπεριφοράς. Για να παίζουν όμως καλά το ρόλο τους, τα πατώματα πρέπει να έχουν σημαντική δυσκαμψία μέσα στο επίπεδό τους, αλλά και επαρκή αντοχή ώστε να παραμείνουν ελαστικά και – αν είναι δυνατόν – αρηγμάτωτα κατά τη διάρκεια της ανελαστικής σεισμικής απόκρισης. Συμπαγείς πλάκες πάχους τουλάχιστον 120mm, οπλισμένες και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (έστω και με τον ελάχιστο οπλισμό πλακών) είναι από την άποψη αυτή επαρκείς, εφόσον δεν έχουν αναβαθμούς ή μεγάλες οπές και κενά σε κάτοψη (π.χ. για φωταγωγούς ή δίοδο εγκαταστάσεων) και εφόσον η δυσκαμψία των κατακορύφων στοιχείων κατανέμεται παρόμοια σε κάτοψη στους διάφορους ορόφους.

Αν σε κάποια στάθμη κάποια κατακόρυφα στοιχεία διακόπτονται προς τα πάνω ή προς τα κάτω, τότε το διάφραγμα καλείται να μεταφέρει οριζόντια, όχι μόνον τις αδρανειακές δυνάμεις του ορόφου, αλλά και κάποιες τέμνουσες (ή διαφορές τεμνουσών) μεταξύ κατακορύφων στοιχείων με διαφορετική θέση σε κάτοψη. Επί παραδείγματι, λόγω της δυσκαμψίας τους τα περιμετρικά τοιχώματα υπογείων αναλαμβάνουν μεγάλο μέρος ή και το σύνολο της σεισμικής τέμνουσας βάσης από τη στάθμη οροφής υπογείου και κάτω. Έτσι, στη στάθμη οροφής υπογείου η σεισμική τέμνουσα ισχυρών κατακορύφων στοιχείων του εσωτερικού της κάτοψης πρέπει να μεταφερθεί στα περιμετρικά τοιχώματα μέσω του διαφράγματος της οροφής υπογείου, το οποίο χρειάζεται να έχει αυξημένη αντοχή και πάχος.

Αν το διάφραγμα στο σύνολό του, ή τα σκέλη-πτέρυγες μη-ορθογωνικών σε κάτοψη διαφραγμάτων (μορφής Γ, Τ, Π κ.α.), έχουν πολύ μακρόστενο σχήμα (με λόγο απόστασης μεταξύ δύσκαμπτων κατακορύφων στοιχείων προς την κάθετη οριζόντια διάσταση του διαφράγματος μεγαλύτερο του 2) θα χρειασθεί να αναπτύξουν σημαντική κάμψη μέσα στο επίπεδό τους. Το ίδιο ισχύει και σε διαφράγματα με μεγάλα εσωτερικά κενά (π.χ. για αίθριο). Αντίδοτο στην κάμψη αυτή είναι η αύξηση πάχους της πλάκας του πατώματος.

Πατώματα/διαφράγματα αναπτύσσουν στο εσωτερικό της κάτοψης κυρίως διατμητική ένταση, κατά την οριζόντια μεταφορά αδρανειακών δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία αλλά και (διαφοράς) τεμνουσών μεταξύ κατακορύφων στοιχείων διαφορετικών ορόφων. Γι' αυτό χρειάζεται να είναι οπλισμένα και στις δύο διευθύνσεις, κατά προτίμηση και στην πάνω και στην κάτω επιφάνειά τους. Η τυχόν κάμψη του διαφράγματος ως σύνολο σε οριζόντιο επίπεδο (Σχ. 3.7) προκαλεί ορθές τάσεις παράλληλες στην περίμετρο, εφελκυστικές και θλιπτικές. Οι τάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε εισέχουσες γωνίες διαφραγμάτων με μή-ορθογωνική κάτοψη (Γ, Τ, Π, Η, κ.λ.π.), ή με μεγάλα εσωτερικά κενά (π.χ. για αίθρια, φωταγωγούς ή κλιμακοστάσια). Για τον περιορισμό της τυχόν ρηγμάτωσης του διαφράγματος στις θέσεις αυτές χρειάζεται οπλισμός παράλληλα στην περίμετρο. Ο διαμήκης οπλισμός δοκών, που κατά κανόνα διατρέχουν την περίμετρο της κάτοψης, είναι επαρκής για το σκοπό αυτό. Αν το πάτωμα συνεχίζεται σε πρόβολο πέραν από τις περιμετρικές δοκούς, δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα, ιδίως αν ο πρόβολος έχει τους ελάχιστους οπλισμούς στη δευτερεύουσα διεύθυνση και στο ελεύθερο άκρο του: η ρηγμάτωση του προβόλου θα σταματήσει στη δοκό, χωρίς να επηρεάσει τη συνολική λειτουργία του διαφράγματος. Πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί από την απουσία δοκών στο σύνολο ή σε τμήμα της περιμέτρου μεγάλων εσωτερικών

κενών της κάτοψης (για αίθρια, φωταγωγούς, κλιμακοστάσια, κ.λ.π.), ή σε τμήμα της εξωτερικής περιμέτρου του ίδιου του δομικού συστήματος (λόγω τριερείστων πλακών με ελεύθερο άκρο στην εξωτερική περίμετρο).

Η αποτελεσματική οριζόντια σύνδεση των στοιχείων της θεμελίωσης είναι ουσιαστική για τη μείωση των αβεβαιοτήτων της σεισμικής συμπεριφοράς. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι, ενώ κατά κανόνα αντιλαμβανόμαστε και αντιμετωπίζουμε τη σεισμική δράση ως ένα σύνολο (αδρανειακών) δυνάμεων που αναπτύσσονται στην ανωδομή και μεταφέρεται μέσω της θεμελίωσης στο έδαφος, στην πραγματικότητα η σεισμική δράση είναι μία επιβεβλημένη δυναμική μετακίνηση της βάσης της κατασκευής. Αν λοιπόν τα στοιχεία θεμελίωσης δεν είναι καλά συνδεδεμένα μεταξύ τους ώστε να μετακινούνται ως ένα ενιαίο σύνολο, μπορεί στο σεισμό να μετακινούνται διαφορετικά, με απρόβλεπτες επιπτώσεις στη σεισμική απόκριση του συνόλου. Στη θεμελίωση αναφέρεται αναλυτικά η Ενότητα 3.2 παρακάτω.

3.1.12 ΜΙΚΡΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΑΖΑ

Καθοριστική της μέγιστης ελαστικής τέμνουσας βάσης και της μέγιστης ελαστικής ή ανελαστικής μετακίνησης στην κορυφή είναι, ως γνωστόν, η ιδιοπερίοδος T της πρώτης μεταφορικής ιδιομορφής στη διαρροή της κατασκευής ως σύνολο. Στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος η τιμή της T καθορίζεται από τη δυσκαμψία της πλήρως ρηγματωμένης κατασκευής, βρίσκεται δε, είτε στο οριζόντιο τμήμα του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων, είτε συνηθέστερα στον κλάδο όπου η επιτάχυνση είναι περίπου ανάλογη του $1/T$ (κλάδος σταθερής ψευδοταχύτητας). Η μέγιστη ελαστική τέμνουσα βάσης και η μέγιστη ελαστική ή ανελαστική συνολική μετακίνηση της κατασκευής είναι, στη μεν πρώτη περίπτωση ανάλογη της συνολικής μάζας M του κτιρίου, στη δε δεύτερη ανάλογη του \sqrt{M} . Ετσι συμφέρει η μείωση της συνολικής μάζας M .

Το ίδιο το δομικό σύστημα ανάληψης της σεισμικής δράσης δεν αποτελεί σημαντικό ποσοστό της συνολικής μάζας. Κριτήρια για την επιλογή του τύπου του δομικού συστήματος και των διαστάσεων των μελών του είναι η δυσκαμψία, η αντοχή και η ικανότητα παραμόρφωσης/πλαστιμότητά του, και όχι η συμβολή του στη συνολική μάζα. Ετσι η μείωση της μάζας μπορεί να επιτευχθεί με:

- μείωση του βάρους των διαχωριστικών και των εξωτερικών τοίχων,
- αποφυγή χρήσης βαρειών επιστρώσεων και επικαλύψεων πατωμάτων, δωματίων,

- τοιχών, και οροφών και,
- μείωση του πάχους των πλακών στο ελάχιστο που χρειάζεται για την αντοχή, την ανθεκτικότητα σε πυρκαγιά και τη δυσκαμψία τους.

3.1.13 ΑΠΟΦΥΓΗ ΔΥΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΡΡΟΩΝ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

Η συσσωρευμένη πειραματική και αναλυτική έρευνα και η εμπειρία από σεισμούς έχουν δείξει ότι οι τοιχοπληρώσεις έχουν κατά το πλείστον θετική επιρροή στη σεισμική συμπεριφορά και ασφάλεια των κατασκευών. Εφόσον είναι καλά εγκιβωτισμένες από τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος που τις περιβάλλουν, συμβάλλουν, χάρις στη διατμητική δυσκαμψία και στην αντοχή τους σε τέμνουσα, στον περιορισμό των σεισμικών μετακινήσεων του συνόλου, στην ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων και στη συνολική απορρόφηση ενέργειας. Έτσι γενικά οι τοιχοπληρώσεις αποτελούν αντισεισμική εφεδρεία και πηγή σεισμικής υπεραντοχής για το κτίριο. Όμως, οι τοιχοπληρώσεις μπορεί να έχουν δυσμενή επιρροή στη συνολική σεισμική συμπεριφορά, αν η κατανομή τους καθ' ύψος ή σε κάτοψη είναι τόσο ανομοιόμορφη, ώστε να ακυρώσει την ευρεία και ομοιόμορφη διασπορά της ανελαστικής συμπεριφοράς σ' όλη την έκταση του δομικού συστήματος, στην οποία στοχεύει ο αντισεισμικός του σχεδιασμός.

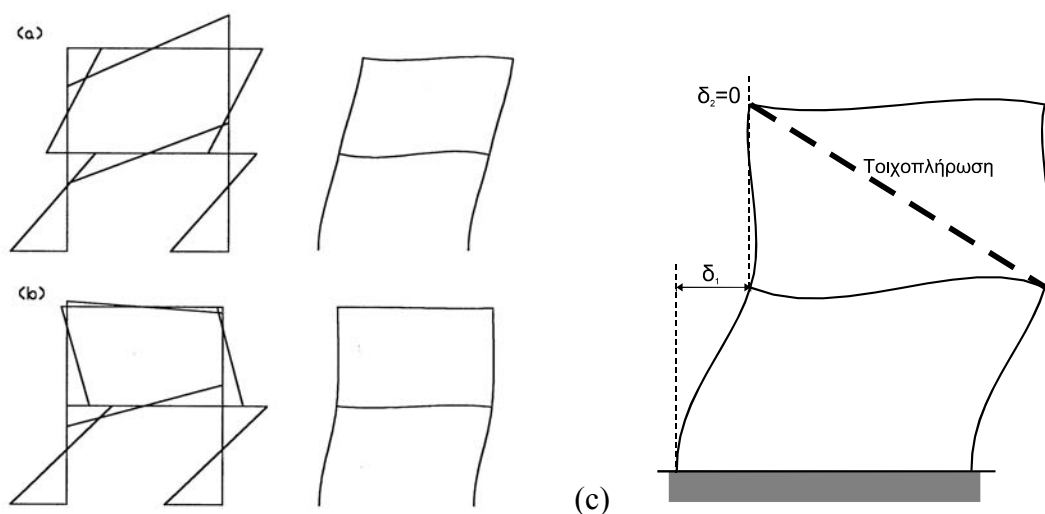
Αν η κατανομή των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη είναι ασύμμετρη και έντονα ανομοιόμορφη, τότε δημιουργεί εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου μάζας και του ενεργού κέντρου δυσκαμψίας (αυτού δηλαδή που λαμβάνει υπόψη και την ενεργό δυσκαμψία των τοιχοπληρώσεων), με αποτέλεσμα στρεπτική περί κατακόρυφο άξονα απόκριση. Ιδιαίτερα έντονο είναι το πρόβλημα σε κτίρια του συνεχούς συστήματος δόμησης, τα οποία έχουν συνεχείς μεσοτοιχίες σε μία ή δύο συνεχόμενες πλευρές (π.χ. γωνιακά κτίρια) και τοιχοπληρώσεις με μεγάλα ανοίγματα στις λοιπές. Η εκκεντρότητα και η εξ αυτής στρεπτική απόκριση επιβαρύνουν προφανώς τα στοιχεία του δομικού συστήματος στην πλευρά της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι, επειδή οι έκκεντρες τοιχοπληρώσεις συμβάλλουν στη συνολική αντοχή και δυσκαμψία και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, η ένταση και οι σεισμικές μετακινήσεις και παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων στο τμήμα της κάτοψης με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις δεν ξεπερνούν κατά κανόνα αυτές που θα αναπτύσσονταν στο γυμνό δομικό σύστημα από την ίδια σεισμική δράση. Έτσι, ο αντισεισμικός σχεδιασμός του δομικού συστήματος σαν να μην υπήρχαν οι τοιχοπληρώσεις, αρκεί γενικά για την ασφάλειά του στην περίπτωση έκκεντρων τοιχοπληρώσεων.

Πρόσθετη μέριμνα φαίνεται να χρειάζεται σε κτίρια με δις-έκκεντρες τοιχοπληρώσεις (π.χ. γωνιακά κτίρια με μεσοτοιχίες σε δύο συνεχόμενες πλευρές). Σ' αυτά το κέντρο δυσκαμψίας και ο άξονας ως προς τον οποίο στρέφεται το κτίριο βρίσκονται κοντά στη μια γωνία της κάτοψης, οπότε και οι δύο οριζόντιες συνιστώσες του σεισμού προκαλούν στρεπτική απόκριση. Τα κατακόρυφα στοιχεία που βρίσκονται κοντά στην απέναντι γωνία της κάτοψης αναπτύσσουν ένταση και σεισμικές μετακινήσεις κάθετα στην ακτίνα που τα ενώνει με το περίπου αντιδιαμετρικό κέντρο στροφής, λόγω του συνδυασμού των δύο οριζοντίων συνιστωσών και της εξ αυτών στρεπτικής απόκρισης. Έτσι τα στοιχεία αυτά χρειάζεται να διαστασιολογηθούν για σχεδόν ταυτόχρονη δράση της σεισμικής έντασης και παραμόρφωσης στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Αν σε κτίριο με πλαισιακό δομικό σύστημα οι τοιχοπληρώσεις είναι δις-έκκεντρες, ο Ευρωκώδικας 8 απαιτεί για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (H) – και συνιστά για Μέση (M) ή Χαμηλή (L) – να συμπεριλαμβάνονται οι τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα του δομικού συστήματος για την ανάλυση στο χώρο. Στο προσομοίωμα αυτό οι τοιχοπληρώσεις μπορούν να περιληφθούν ως διαγώνιοι θλιπτήρες κατάλληλης επιφάνειας διατομής. Συνιστάται επίσης από τον Ευρωκώδικα 8 να εξετάζεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων αυτών στην επιλεκτική αφαίρεση των τοιχοπληρώσεων από ένα ποσοστό (π.χ. του 25%) των τοιχοπληρωμένων φατνωμάτων, κυρίως από την πλευρά του κτιρίου με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις. Αν η ανομοιομορφία της κατανομής των τοιχοπληρώσεων σε κάτοψη δεν είναι έντονη (π.χ. αν δεν πρόκειται για δις-έκκεντρες τοιχοπληρώσεις), ο Ευρωκώδικας 8 δέχεται την υποκατάσταση της προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση του δομήματος στο χώρο, με διπλασιασμό της τυχηματικής εκκεντρότητας (δηλαδή από 5% της κάθετης διάστασης του ορόφου σε κάτοψη, σε 10%).

Πολύ δυσμενέστερες από τα ανωτέρω μπορεί να είναι οι επιπτώσεις τυχόν ανομοιομορφίας κατανομής των τοιχοπληρώσεων μεταξύ των ορόφων του κτιρίου. Η προσθήκη της διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων στην τέμνουσα αντοχής των ορόφων καθυστερεί ή και εμποδίζει την ανελαστική συμπεριφορά στους περισσότερους τοιχοπληρωμένους ορόφους και οδηγεί σε συνθήκες “μαλακού” ορόφου στους υπόλοιπους. Οι συνθήκες αυτές επιτείνονται από το ότι αν ένας όροφος είναι (πολύ) λιγότερο τοιχοπληρωμένος από τους γειτονικούς του (τον πάνω και τον κάτω, αν υπάρχει), η αυξημένη διατμητική δυσκαμψία των (περισσότερο) τοιχοπληρωμένων γειτονικών ορόφων και η ανάληψη από τις τοιχοπληρώσεις τους μεγάλου ποσοστού της τέμνουσας ορόφου, μειώνει την κάμψη των δοκών που παρεμβάλλονται μεταξύ του

λιγότερο και των περισσότερων τοιχοπληρωμένων ορόφων. Έτσι καθυστερεί ή εμποδίζεται η ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων σ' αυτές. Περαιτέρω, οι ροπές κάμψης των υποστυλωμάτων των πιο τοιχοπληρωμένων ορόφων περιορίζονται σε μέγεθος ή και αλλάζουν πρόσημο, οπότε η βοήθεια που προσφέρουν στη ροπή του υποστυλώματος του λιγότερο τοιχοπληρωμένου ορόφου για την αποφυγή σχηματισμού πλαστικής άρθρωσης μειώνεται και μετατρέπεται σε επιβάρυνση (Σχ.3.9). Ως αποτέλεσμα, έχουμε πλαστικές αρθρώσεις σε κορυφή και βάση των υποστυλωμάτων του λιγότερο τοιχοπληρωμένου ορόφου και σχηματισμό “μαλακού ορόφου”.



Σχήμα 3.9 Επιρροή τοιχοπλήρωσης ορόφου στις σεισμικές ροπές και παραμορφώσεις διορόφου τύπου Pilotis: (a) ροπές κάμψης και παραμόρφωση γυμνού πλαισίου, (b), (c): ροπές και παραμόρφωση κτιρίου με τοιχοπλήρωση στον όροφο.



Σχήμα 3.10 Αστοχίες σε κτίρια με λιγότερες τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο. Αριστερά: Olive View Hospital, σεισμός San Fernando, Καλιφόρνια, 1971. Δεξιά: Αίγιο, 1995.

Οι δυσμενείς επιπτώσεις των ανωτέρω είναι μέγιστες αν ο λιγότερο (έως καθόλου) τοιχοπληρωμένος όροφος είναι ο κατώτατος (κτίρια με ανοικτό ισόγειο - Pilotis - ή με καταστήματα, χώρους εκθέσεων, κ.λ.π., μόνο στο ισόγειο). Η συγκέντρωση των ανελαστικών παραμορφώσεων στα υποστυλώματα αυτού του ορόφου οδηγεί συχνά σε κατάρρευση (βλ. Σχ. 3.10 για παραδείγματα).

Οι κανονισμοί προσπαθούν να θεραπεύσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της ανομοιόμορφης καθ' ύψος κατανομής των τοιχοπληρώσεων με αύξηση της αντοχής των δομικών στοιχείων των λιγότερο τοιχοπληρωμένων ορόφων. Ο Ευρωκώδικας 8 (ορθά) αυξάνει τη σεισμική ένταση σχεδιασμού των στοιχείων αυτών τόσο ώστε να καλύψει το έλλειμμα στη συνολική τέμνουσα αντοχής του ορόφου από την παρουσία περισσότερων τοιχοπληρώσεων στον αμέσως ανώτερο. Η προσαύξηση υλοποιείται με πολλαπλασιασμό των σεισμικών ροπών, τεμνουσών και αξονικών δυνάμεων από την ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού, επί ένα συντελεστή η που ισούται με 1 συν το λόγο του ελλείματος συνολικής διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων του ορόφου ως προς τον ακριβώς από πάνω, δια της σεισμικής τέμνουσας ορόφου από την ανάλυση. Η προσαύξηση αυτή της σεισμικής έντασης σχεδιασμού χρειάζεται να γίνεται μόνο στα κατακόρυφα στοιχεία του λιγότερο τοιχοπληρωμένου ορόφου και όχι και στις δοκούς, καθότι αυτές προστατεύονται από το σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων λόγω του περιορισμού της κάμψης τους που επιβάλλει η μικρότερη γωνιακή παραμόρφωση των γειτονικών τοιχοπληρωμένων ορόφων (πρβλ. εικόνα κάμψης δοκών μεταξύ (α) και (β) στο Σχ. 3.9). Η προσαύξηση επιβάλλεται μόνο στα πλαίσιακά δομικά συστήματα Κατηγορίας Πλαστιμότητας Η και συνιστάται για τα Μ ή L. Αν η προσαύξηση προκύπτει μικρότερη από 10% (συντελεστής η έως 1.1), ο Ευρωκώδικας 8 επιτρέπει να αγνοείται.

Το καλύτερο μέσο προστασίας του δομικού συστήματος από τις δυσμενείς επιπτώσεις της καθ' ύψος ανομοιόμορφης κατανομής των τοιχοπληρώσεων είναι η παρουσία τοιχωμάτων αρκετά ισχυρών και δύσκαμπτων που να επισκιάζουν τις διαφορές αντοχής και δυσκαμψίας των τοιχοπληρώσεων από όροφο σε όροφο. Γι αυτό οι ανωτέρω υπολογιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 για προσαύξηση της σεισμικής έντασης σχεδιασμού κατακορύφων στοιχείων μέσω του συντελεστή η που να ισοφαρίζει τη διαφορά αντοχής των τοιχοπληρώσεων στον όροφο, δεν ισχύουν αν το κτίριο διαθέτει τοιχώματα δυσκαμψίας που αναλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% της σεισμικής τέμνουσας βάσης στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση. Επίσης ο ΕΑΚ 2000 επιβάλλει ως υποχρεωτικά τα τοιχώματα σε κτίρια άνω των τεσσάρων ορόφων, αν οι τοιχοπληρώσεις ενός ορόφου είναι λιγότερες απ' ότι στους υπόλοιπους, ή μπορεί να μειωθούν μελλοντικά.



Σχήμα 3.11 Διατμητικές αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων (Πάνω: Σεισμός Πάρνηθας, 1999. Κάτω: Αριστερά:Κυλήνη, 1988, Δεξιά: Αίγιο, 1995).

Μια άλλη σοβαρότατη δυσμενής επίπτωση των τοιχοπληρώσεων είναι η δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων μεταξύ δοκού οροφής και ποδιάς παραθύρων ή φεγγιτών που είναι (σχεδόν) σε επαφή με το υποστύλωμα (βλ. Σχ. 3.11 για παραδείγματα). Οι θέσεις και οι διαστάσεις ανοιγμάτων των τοιχοπληρώσεων πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να αποφεύγονται απολύτως τέτοιες περιπτώσεις. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν, τότε, δεδομένου ότι οι κανονισμοί και η σημερινή κατάσταση της γνώσης δεν καλύπτουν ικανοποιητικά τα στοιχεία μικρής λυγηρότητας (κοντά), συνιστάται τα κατακόρυφα στοιχεία που βρίσκονται (πρακτικά) σε επαφή με μικρού ύψους ανοίγματα τείχων να διαμορφώνονται με μεγάλη οριζόντια διάσταση στο επίπεδο του τοίχου, ώστε η αντοχή και η δυσκαμψία τους να είναι τέτοια που να μην τα "ενοχλεί" η τοιχοπλήρωση. Στην Ιαπωνία αυτό γίνεται συνήθως με την προσθήκη στη διατομή του υποστυλώματος

περυγών με πάχος ίδιο με το πάχος του τοίχου και πλάτος (μέσα στο επίπεδο του τοίχου) μεγαλύτερο ως πολλαπλάσιο των διαστάσεων διατομής του υποστυλώματος. Ομως, η διαστασιολόγηση και κατασκευαστική διαμόρφωση υποστυλωμάτων διατομής Γ ή Τ με κοντό κορμό (το κυρίως υποστύλωμα) και πλατύ πέλμα δεν είναι προφανής ή εύκολη.

Όσα αναφέρονται ανωτέρω για τα κοντά υποστυλώματα που δημιουργούνται από ανοίγματα σε τοίχους, ισχύουν ακόμη περισσότερο στις περιπτώσεις χαμηλών φεγγιτών σε περιμετρικά τοιχώματα υπογείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (βλ. περίπτωση κάτω δεξιά στο Σχ. 3.11).

Ο Ευρωκώδικας 8 επιβάλλει σειρά υπολογιστικών-κατασκευαστικών μέτρων για την αποφυγή διατμητικής αστοχίας των κοντών υποστυλωμάτων που δημιουργούνται από την επαφή με τοιχοπλήρωση σε μικρότερο από το πλήρες ύψος του υποστυλώματος.

Συγκεκριμένα:

- Απαιτεί τον ικανοτικό υπολογισμό της τέμνουσας σχεδιασμού, με θεώρηση ως ύψους του υποστυλώματος του καθαρού ύψους μεταξύ ποδιάς ανοίγματος και κάτω πέλματος δοκού (ή πλάκας) και με υπόθεση ότι αναπτύσσεται στις ακραίες διατομές αυτού του καθαρού ύψους η καμπτική αντοχή του υποστυλώματος (τιμή σχεδιασμού, επί $\gamma_{Rd}=1.1$ για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μ ή $\gamma_{Rd}=1.3$ για Η).
- Απαιτεί την ανάληψη της σεισμικής τέμνουσας με δισδιαγώνιο οπλισμό, αν το ως άνω μειωμένο καθαρό ύψος του υποστυλώματος είναι μικρότερο του $1.5h_c$ (h_c = διάσταση διατομής υποστυλώματος στο επίπεδο του τοίχου), που αντιστοιχεί σε λόγο διάτμησης μικρότερο του 0.75.
- Απαιτεί την τοποθέτηση του οπλισμού κρίσιμων περιοχών σ' όλο το πλήρες καθαρό ύψος του υποστυλώματος μεταξύ ορόφων, και όχι μόνον στις ακραίες περιοχές του. Αν ο εγκάρσιος οπλισμός που προκύπτει από τον υπολογισμό σε τέμνουσα είναι περισσότερος από τον ελάχιστο εγκάρσιο οπλισμό κρίσιμων περιοχών, ο οπλισμός αυτός πρέπει να τοποθετείται όχι μόνον στο καθαρό ύψος του υποστυλώματος που δεν είναι σε επαφή με τον τοίχο, αλλά να προχωρεί και στο τμήμα που είναι σε επαφή μ' αυτόν μέχρι απόστασης h_c κάτω από την ποδιά του ανοίγματος.

Ο Ευρωκώδικας 8 επιβάλλει επίσης τη θεώρηση του συνόλου του ύψους των υποστυλωμάτων ισογείου τοιχοπληρωμένων πλαισίων ως κρίσιμου και την τοποθέτηση σ' αυτό των ελάχιστων οπλισμών που απαιτούνται στην κρίσιμη περιοχή της βάσης του. Και τούτο για τη βελτίωση της ικανότητας ανελαστικής παραμόρφωσης των υποστυλωμάτων ισογείου έναντι του ενδεχομένου πρώιμης σεισμικής αστοχίας των

τοιχοπληρώσεων στον όροφο αυτό και μετατροπής του ισογείου σε Pilotis. (Επειδή οι τοιχοπληρώσεις αστοχούν διατμητικά, κρίσιμος γι' αυτές είναι ο κατώτατος όροφος, όπου η διατμητική καταπόνηση είναι μέγιστη).

Τοιχοπληρώσεις με υψηλή αντοχή και δυσκαμψία σε σύγκριση με τα υποστυλώματα προσφέρουν μεν το σύνολο σχεδόν της σεισμικής αντοχής και δυσκαμψίας του ορόφου, αλλά μπορεί να προκαλέσουν τοπική αστοχία στα σχετικά αδύνατα υποστυλώματα. Το Σχ. 3.12 παρουσιάζει αριστερά ένα υποστύλωμα που αστόχησε διατμητικά ως τμήμα του πεσσού μεταξύ γειτονικών παραθύρων – το υποστύλωμα ήταν τόσο αδύνατο σε σχέση με τον τοίχο που ο σεισμός φαίνεται σαν να μην το είδε. Παρουσιάζει επίσης δεξιά τη διατμητική αστοχία της κορυφής ενός ελαφρά οπλισμένου ακραίου υποστυλώματος και του υπερκείμενου κόμβου, λόγω της δύναμης του διαγωνίου θλιπτήρα της σχετικά βαρειάς τοιχοπλήρωσης.



Σχήμα 3.12 Διατμητικές αστοχίες ασθενών υποστυλωμάτων λόγω ισχυρών τοιχοπληρώσεων

Για την αποτροπή διατμητικής αστοχίας των υποστυλωμάτων υπό την επενέργεια της λοξής θλιπτικής δύναμης της τοιχοπλήρωσης, ο Ευρωκώδικας 8 επιβάλλει πρόσθετα μέτρα:

- Σε υποστυλώματα που βρίσκονται σε επαφή με τοιχοπλήρωση στο σύνολο του ύψους τους αλλά από τη μία μόνο πλευρά, οι ειδικοί κανόνες διαστασιολόγησης και λεπτομερειών όπλισης εφαρμόζονται στο σύνολο του ύψους του υποστυλώματος.
- Το μήκος l_{cl} του υποστυλώματος στο οποίο θεωρείται ότι ασκείται τμήμα της δύναμης του διαγωνίου θλιπτήρα της τοιχοπλήρωσης, διαστασιολογείται σε διάτμηση για τέμνουσα που υπολογίζεται ως η μικρότερη από τις εξής δύο δυνάμεις:
 - (α) Την ικανοτική τέμνουσα, $2\gamma_{Rd}M_{Rc,d}/l_{cl}$, που προκύπτει με θεώρηση του μήκους l_{cl} ως κοντού υποστυλώματος, στα άκρα του οποίου το υποστύλωμα αναπτύσσει

ροπή ίση με $\gamma_{Rd}M_{Rc,d}$ όπου $\gamma_{Rd}=1.1$ για την Κατηγορία Πλαστιμότητας M (Μέση) και $\gamma_{Rd}=1.3$ για την H (Υψηλή) – πρβλ. με τον κανόνα για κοντά υποστυλώματα που δημιουργούνται από την επαφή με τοιχοπλήρωση σε τμήμα του ύψους τους, π.χ. σε φεγγίτες, κ.λ.π.

(β) Την οριζόντια συνιστώσα της αντοχής του λοξού διαγώνιου θλιπτήρα που αναπτύσσεται στην τοιχοπλήρωση, θεωρούμενη ίση – η οριζόντια συνιστώσα – με τη διατμητική αντοχή των οριζοντίων αρμών του τοίχου.

Το σκεπτικό των ανωτέρω διατάξεων φαίνεται ενδεικτικά στα διαγράμματα τέμνουσας και ροπής κάμψης του υποστυλώματος, V_c και M_c , λόγω της επαφής με τη θλιβόμενη διαγώνιο του φατνώματος της τοιχοπλήρωσης (Σχ. 3.13). Επισημαίνεται ότι, ενώ ιδανικά η διαγώνια δύναμη του θλιπτήρα θα έπρεπε να κατευθύνεται προς το σημειακό θεωρητικό κόμβο δοκού-υποστυλώματος, στην πράξη δρα έκκεντρα σε σχέση με τον κόμβο αυτό. Μάλιστα στην κορυφή ασκείται περισσότερο στο υποστυλώμα παρά στη δοκό, επειδή ο οριζόντιος αρμός μεταξύ κορυφής τοιχοπλήρωσης και κάτω πέλματος δοκού είναι συνήθως ανοικτός, λόγω της ερπυστικής καθίζησης του κονιάματος της τοιχοποιίας. Γι' αυτό η δυσμενέστερη για το υποστυλώμα περίπτωση είναι αυτή που φαίνεται στο Σχ. 3.13, δηλαδή να μεταφέρεται μέσω της κορυφής του υποστυλώματος το σύνολο της οριζόντιας (σεισμικής) δύναμης της τοιχοπλήρωσης.

Ο Ευρωκώδικας 8 δεν δίνει την τιμή του l_{cl} , αλλά υπαινίσσεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του η πρόταση του Mainstone (1974) για την κατακόρυφη διάσταση του διαγώνιου θλιπτήρα:

$$l_{cl} = \frac{0.175L_{bn}}{\cos^2 \theta (\lambda H)^{0.4}} \quad (3.3)$$

$$\text{με} \quad \lambda = \left(\frac{E_w t_w \sin 2\theta}{4E_c I_c H_n} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.4)$$

όπου:

L_{bn} = οριζόντια διάσταση φατνώματος τοιχοπλήρωσης (καθαρό άνοιγμα δοκού),

θ = $\arctan(H_n/L_{bn})$ =γωνία της διαγώνιου του φατνώματος ως προς την οριζόντιο,

H και H_n = θεωρητικό και καθαρό ύψος υποστυλώματος, αντίστοιχα,

E_w και E_c = μέτρα Ελαστικότητας τοιχοποιίας και σκυροδέματος, αντίστοιχα,

t_w = πάχος τοιχοπλήρωσης,

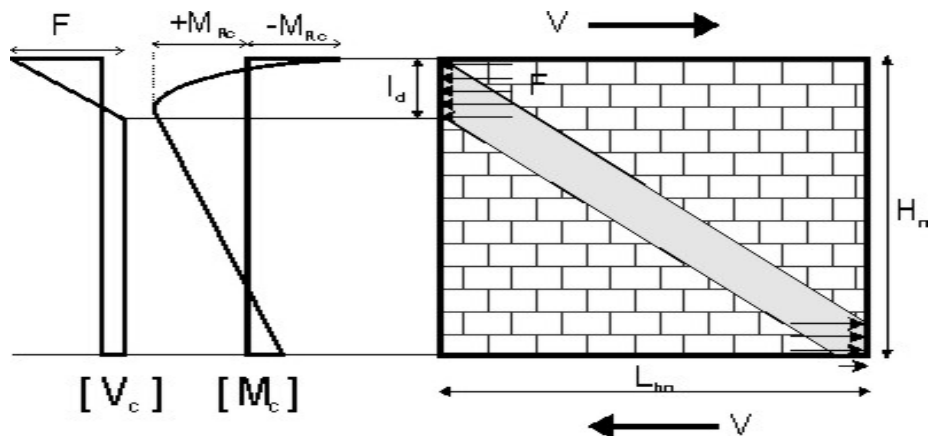
I_c = ροπή αδράνειας διατομής υποστυλώματος.

Η εξ. (3.4) προέρχεται από θεώρηση της αλληλεπίδρασης τοιχοπλήρωσης-

υποστυλώματος ως πρόβλημα δοκού επί ελαστικού εδάφους (πρβλ. με τη γνωστή σχέση του λ πεδילוδοκού, όπου το ρόλο της πεδילוδοκού παίζει το υποστύλωμα και του εδάφους – με πλάτος επαφής $b=t_w$ – η τοιχοπλήρωση).

Ο Ευρωκώδικας 8 επιτρέπει επίσης την εκτίμηση του μήκους επαφής l_{cl} με υπόθεση μίας τιμής του πλάτους του διαγωνίου θλιπτήρα (που ισούται με $l_{cl}\cos\theta$) ως κλάσμα του μήκους της διαγωνίου του φατνώματος, (που ισούται με $L_{bn}/\cos\theta$). Επί παραδείγματι, αν το κλάσμα αυτό υποτεθεί ίσο με 0.15 (που είναι αρκετά αντιπροσωπευτική τιμή), προκύπτει $l_{cl}=0.15L_{bn}/\cos^2\theta$.

Η τέμνουσα αντοχής των οριζοντίων αρμών της τοιχοπλήρωσης, που δίνει και την μέγιστη τιμή της F , ισούται με $\tau_w L_{bn} t_w$, όπου τ_w είναι η διατμητική αντοχή του κονιάματος των αρμών (τυπικές τιμές από 0.1 έως 0.3 MPa).



Σχ. 3.13 Διατμητική ένταση στην κεφαλή υποστυλώματος λόγω διαγωνίου θλιπτήρα τοιχοπλήρωσης

3.2 ΠΛΑΙΣΙΑΚΑ, ΤΟΙΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΑΔΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της σεισμικής συμπεριφοράς και τις αρχές διαμόρφωσης: α) επιπέδων πλαισίων, β) τοιχωμάτων και γ) δυαδικών δομικών συστημάτων από πλαίσια και τοιχώματα.

3.2.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Κυρίαρχη της σεισμικής συμπεριφοράς ενός πλαισίου είναι η κάμψη, ή ακριβέστερα η ορθή ένταση, από συνδυασμό κάμψης και ορθής δύναμης. Και τούτο διότι ένα πλαίσιο

αναλαμβάνει:

- τη σεισμική τέμνουσα μέσω της κάμψης των υποστυλωμάτων του (η αλγεβρική διαφορά των ροπών βάσης και κορυφής κάθε υποστυλώματος παράγει την τέμνουσά του, η οποία συμβάλλει στη σεισμική τέμνουσα ορόφου), και
- τη σεισμική ροπή (ανατροπής) μέσω των αξονικών δυνάμεων των υποστυλωμάτων, θλιπτικών στη μία πλευρά της κάτοψης, εφελκυστικών στην απέναντι.

Σ' ένα σύνηθες κανονικό επίπεδο πλαίσιο τα σημεία καμπής των υποστυλωμάτων είναι κοντά στο μέσο του ύψους των ορόφων και το μήκος διάτμησης L_s στο άκρο του υποστυλώματος όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη ροπή κάμψης ισούται κατά μέσο όρο με το 60% του καθαρού ύψους ορόφου. Έτσι στα συνήθη υποστυλώματα ο λόγος διάτμησης είναι μεγαλύτερος του 2.5 και επομένως η παραμορφωσιακή τους συμπεριφορά μέχρι και την αστοχία ελέγχεται από την κάμψη (εφόσον βεβαίως οι συνδετήρες διαστασιολογηθούν έτσι ώστε η καμπτική διαρροή των άκρων να προηγηθεί σημαντικά της διαρροής των συνδετήρων). Οι τέμνουσες των υποστυλωμάτων αυξάνονται από την κορυφή προς τη βάση μαζί με τη σεισμική τέμνουσα ορόφου, και μαζί τους αυξάνονται και οι ροπές. Έτσι, αν η διατομή των υποστυλωμάτων είναι μεγάλη στον κατώτατο όροφο, μπορεί να μειωθεί στους ανώτερους, αρκεί η μείωση να γίνεται σταδιακά και όχι απότομα σε έναν όροφο. Διαφορετικά, όπως έχει δείξει η εμπειρία από σεισμούς καθώς και πειράματα σε κατασκευές υπό φυσική ή μικρότερη κλίμακα, υπάρχει κίνδυνος αστοχίας των υποστυλωμάτων σε ενδιάμεσο όροφο (ιδίως σε ψηλά κτίρια όπου οι ανώτερες ιδιομορφές είναι σημαντικές, βλ. Σχ. 3.5 για καταρρεύσεις ενδιάμεσων ορόφων όπου μειώθηκαν σημαντικά οι διαστάσεις και η αντοχή κατακορύφων στοιχείων). Επιπλέον η κατασκευαστική λεπτομέρεια συνέχισης των οπλισμών στον επόμενο όροφο δυσχεραίνεται. Σημειώνεται σχετικά ότι, επειδή η μείωση της αξονικής δύναμης του υποστυλώματος αυξάνει την απαιτούμενη ποσότητα οπλισμού, και επειδή στον ανώτατο όροφο οι λόγω κατακορύφων δράσεων ροπές υποστυλωμάτων είναι αρκετά μεγαλύτερες απ' ότι στους λοιπούς, τα περιθώρια μείωσης της διατομής υποστυλωμάτων στους ανώτερους ορόφους δεν είναι μεγάλα.

Αν υπάρχει πλήρης ομοιομορφία ανά όροφο στις διαστάσεις διατομής και στα ανοίγματα των δοκών ενός επιπέδου πλαισίου, και αν επιπλέον τα κεντρικά υποστυλώματα έχουν διπλάσια ροπή αδράνειας από τα ακραία (που συνάδει και με την απαίτηση διπλάσιας αντοχής για την ικανοποίηση της συνθήκης ικανοτικού σχεδιασμού $\gamma_{Rd}\Sigma M_{Rb} < \Sigma M_{Rc}$ στους κόμβους), οι σεισμικές ροπές στα δύο άκρα όλων των δοκών θα

είναι ίσες, και η αναλογία των ροπών κάμψης μεταξύ υποστυλωμάτων θα ακολουθεί αυτήν των ροπών αδράνειάς τους. Η μεταβολή της διατομής ενός υποστυλώματος θα μεταβάλλει και τις σεισμικές ροπές του – καθώς και αυτές των δοκών με τις οποίες συνδέεται – λίγο λιγότερο από αναλογικά, εις βάρος ή προς όφελος των ροπών των άλλων στοιχείων του πλαισίου. Έτσι, αν στη διαστασιολόγηση η διατομή ενός στοιχείου προκύπτει ανεπαρκής, η μεμονωμένη αύξησή της συνήθως δεν λύνει το πρόβλημα, καθότι αυξάνεται και η έντασή της περίπου αναλογικά. Μπορεί τότε να χρειασθεί αύξηση της διατομής (και) άλλων στοιχείων, ή και μείωσή της, αν αυτή πρόκειται να μειώσει την ένταση στο επίμαχο στοιχείο. Επί παραδείγματι, μείωση της διατομής των δοκών (ή των υποστυλωμάτων) ενός πλαισίου μειώνει τη συνολική δυσκαμψία του πλαισίου και οδηγεί στη μεταφορά τμήματος της σεισμικής του έντασης σε παράλληλα πλαίσια.

Πρέπει να αποφεύγονται τα πολύ μικρά και τα πολύ μεγάλα ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων, είτε ομοιόμορφα, είτε μεμονωμένα (σ' ένα άνοιγμα). Στα μεγάλα ανοίγματα δοκών οι ροπές σχεδιασμού λόγω του συνδυασμού των κατακορύφων δράσεων, $1.35G+1.5Q$, οι οποίες αυξάνονται περίπου με το τετράγωνο του ανοίγματος, μπορεί να είναι μεγαλύτερες αυτών που οφείλονται στο σεισμικό συνδυασμό δράσεων, $G+\psi_2Q+E$. Αυτό επιβαρύνει υπέρμετρα τον ικανοτικό σχεδιασμό των υποστυλωμάτων σε κάμψη στους κόμβους, καθώς και αυτόν των δοκών και των υποστυλωμάτων σε διάτμηση. Επιπλέον δημιουργεί τοπικές υπεραντοχές των δοκών ως προς το σεισμό σχεδιασμού και εισάγει αβεβαιότητες στη σεισμική συμπεριφορά. Στο άλλο άκρο, μικρά ανοίγματα οδηγούν σε πολύ υψηλές τέμνουσες δοκών (τόσο από την ανάλυση, όσο και από τον ικανοτικό σχεδιασμό δοκών σε διάτμηση) και μάλιστα με πλήρη σχεδόν αλλαγή προσήμου (καθότι οι λόγω κατακορύφων φορτίων τέμνουσες είναι μικρές, ιδίως αν οι μικρού ανοίγματος δοκοί παραλαμβάνουν φορτία-αντιδράσεις από τη δευτερεύουσα διεύθυνση πλακών). Η αλλαγή προσήμου της τέμνουσας δημιουργεί κίνδυνο δισδιαγώνιας ρηγμάτωσης και ανάγκη δισδιαγωνίου οπλισμού. Επιπλέον, κοντές δοκοί έχουν σχετικά χαμηλό λόγο διάτμησης και μπορεί η παραμορφωσιακή συμπεριφορά τους να κυριαρχείται ή να επηρεάζεται από τη διάτμηση. Για συνήθη ύψη ορόφων και κατακόρυφα φορτία, ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων περί τα 4m έως 5m αποτελούν τη χρυσή τομή.

Επειδή τα πλαίσια είναι σχετικά εύκαμπτα, οι διατομές στοιχείων των πλαισίων συνήθως καθορίζονται από την απαίτηση περιορισμού των σχετικών μετακινήσεων ορόφων (για περιορισμό βλαβών) και των επιρροών 2ας-τάξεως.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των πλαισίων είναι ότι, εφόσον τηρούνται οι απαιτήσεις

ικανοτικού σχεδιασμού υποστρωμάτων σε κάμψη και όλων των στοιχείων σε διάτμηση, η καθαρά καμπτική παραμορφωσιακή συμπεριφορά των στοιχείων τους προσφέρεται για την ανάπτυξη μεγάλης συνολικής πλαστιμότητας και ικανότητας παραμόρφωσης. Έτσι, χάρις στην κατασκευαστική διαμόρφωση και στις λεπτομέρειες όπλισης των άκρων των μελών τους, τα πλαίσια είναι κατάλληλα για την ανάληψη μεγάλης σεισμικής δράσης μέσω της (συνολικής) πλαστιμότητας και όχι της αντοχής τους. Γι αυτό και χρησιμοποιούνται παραδοσιακά σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας, όπως η Καλιφόρνια. Όμως η καλή σεισμική συμπεριφορά των πλαισίων ισχύει με βεβαιότητα μόνο για σχετικά κανονικά πλαίσια και κυρίως εφόσον οι συνδέσεις (κόμβοι) των στοιχείων είναι κεντρικές. Εκκεντρες συνδέσεις και δυσμενής μορφολογία, όχι μόνον έχουν γενικά δυσμενή επιρροή στη σεισμική συμπεριφορά, αλλά είναι και εκτός των πλαισίων της σημερινής γνώσης.

Παρόλο που η σεισμική συμπεριφορά κανονικών πλαισίων έχει μελετηθεί εκτενώς, υπάρχουν ακόμη αβεβαιότητες στη συμπεριφορά τους λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας τους. Μια τέτοια αβεβαιότητα είναι αυτή που αφορά το μέγεθος του συνεργαζόμενου πλάτους δοκών (κυρίως) σε εφελκυσμό λόγω της παρουσίας και του οπλισμού της πλάκας. Το συνεργαζόμενο πλάτος επηρεάζει την καμπτική αντοχή των δοκών, M_{Rb} , που υπεισέρχεται στον ικανοτικό σχεδιασμό των υποστρωμάτων σε κάμψη και των δοκών σε διάτμηση και η υποτίμησή του (από τους κανονισμούς) οδηγεί σε ανασφαλή διαστασιολόγηση. Επιπλέον, σε στηρίξεις σε ακραίους κόμβους η εφελκυστική ή θλιπτική δύναμη στο συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού μεταφέρεται στην εγκάρσια δοκό με εκκεντρότητα ως προς το κέντρο βάρους της και προκαλεί στρεπτική ένταση. Η ένταση αυτή συχνά οδηγεί σε στρεπτική ρηγμάτωση της εγκάρσιας δοκού, η οποία επεκτείνεται μέσα στον ακραίο κόμβο. Τα φαινόμενα αυτά και οι επιπτώσεις τους δεν είναι επαρκώς γνωστά, ούτε καλύπτονται από τους κανονισμούς.

3.2.2 Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Ως τοιχώματα θεωρούνται κατά τους κανονισμούς τα κατακόρυφα στοιχεία με πεπλατυσμένη διατομή (συνήθως με λόγο πλευρών ορθογωνικής διατομής, ή ορθογωνικού τμήματός της, μεγαλύτερο του 4.0), οπότε μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ αφενός μεν των άκρων της διατομής που αναλαμβάνουν την κάμψη μέσω συγκεντρωμένου κατακορύφου οπλισμού και περισφιγμένου σκυροδέματος, αφετέρου δε

του κορμού μεταξύ των άκρων, που αναλαμβάνει τη διάτμηση. Από πλευράς λειτουργίας στο σεισμό όμως, ως τοιχώματα πρέπει να θεωρούνται τα κατακόρυφα στοιχεία που έχουν διάγραμμα ροπών χωρίς σημείο καμψής στο ενδιάμεσο του ύψους των ορόφων (με ενδεχόμενη εξαίρεση τους ανώτερους), όπως δηλαδή σε κατακόρυφο πρόβολο υπό οριζόντια φόρτιση. Με τέτοιο διάγραμμα ροπών είναι εύκολο να διαστασιολογηθούν τα τοιχώματα έτσι ώστε πλαστική άρθρωση να σχηματισθεί μόνο στη βάση τους και το υπόλοιπο του ύψους να παραμείνει ελαστικό. Επιπλέον, αν το πρόσημο της ροπής πρακτικά δεν αλλάζει στο ενδιάμεσο των ορόφων αλλά ούτε στο σύνολο του ύψους του τοιχώματος, δεν μπορούν να σχηματισθούν δύο πλαστικές αρθρώσεις σε αντίθετη κάμψη (θετική και αρνητική) στον ίδιο ή σε διαφορετικούς ορόφους. Έτσι είναι απίθανο έως αδύνατο να σχηματισθεί μαλακός όροφος (ή σύστημα ορόφων) στο τοίχωμα, και κατ' επέκταση στο κτίριο.

Βεβαίως, για να αναπτύξει το τοίχωμα ομόσημο διάγραμμα ροπών, δηλαδή για να λειτουργήσει περίπου σαν κατακόρυφος πρόβολος, πρέπει να είναι αρκετά πιο δύσκαμπτο από τις δοκούς με τις οποίες συνδέεται. Έτσι και υποστυλώματα με λόγο πλευρών διατομής μικρότερο του 4.0 μπορεί να λειτουργήσουν σαν κατακόρυφοι πρόβολοι (δηλ. σαν τοιχώματα), αν συνδέονται με πολύ εύκαμπτες δοκούς ή με πλάκες (όπως στις πλάκες χωρίς δοκούς). Όμως τέτοια υποστυλώματα δεν διαθέτουν την απαιτούμενη αντοχή για να αναλάβουν την αυξημένη ροπή στη βάση τους, ούτε την απαραίτητη δυσκαμψία για τον περιορισμό των επιρροών 2ας τάξεως (P-Δ) και των σχετικών μετακινήσεων ορόφων (για την αποφυγή βλαβών στις τοιχοπληρώσεις). Αντίθετα, κατακόρυφα στοιχεία με λόγο διαστάσεων διατομής μεγαλύτερο του 4.0 μπορεί να λειτουργούν ως υποστυλώματα πλαισίων, αν συνδέονται με ογκώδεις και δύσκαμπτες δοκούς (περίπτωση τοιχωμάτων με κανονικά διατεταγμένα ανοίγματα). Επισημαίνεται πάντως ότι ο ΕΑΚ 2000 επιτρέπει να θεωρούνται ότι λειτουργούν ως κατακόρυφοι πρόβολοι τοιχώματα με οριζόντια διάσταση, l_w , τουλάχιστον 1.5m, για κτίρια μέχρι 4 υπέργειων ορόφων, ή τουλάχιστον 2m για περισσότερο από 4 ορόφους.

Παραμένουμε λοιπόν στον ορισμό του τοιχώματος ως κατακόρυφου στοιχείου με διάγραμμα ροπών τύπου κατακόρυφου προβόλου και με διαστάσεις διατομής επαρκείς για την απαιτούμενη καμπτική αντοχή βάσης και συνολική δυσκαμψία. Όταν το δομικό σύστημα αποτελείται από τέτοια στοιχεία, η συνολική σεισμική ροπή ανατροπής αναλαμβάνεται (κυρίως) μέσω των καμπτικών ροπών των στοιχείων αυτών και όχι εμμέσως από τις αξονικές δυνάμεις τους. Το μήκος διάτμησης, L_s , στη βάση ενός τοιχώματος (λόγος ροπής M προς τέμνουσα V) είναι μεγάλο. Αν οι δοκοί έχουν μικρή

δυσκαμψία ως προς τα τοιχώματα, οπότε αυτά λειτουργούν ως κατακόρυφοι πρόβολοι υπό οριζόντια φόρτιση, το L_s ισούται με την απόσταση του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης αδρανειακής δύναμης από τη βάση, δηλαδή περίπου με τα $2/3$ του ολικού ύψους H_{tot} . Αν τα τοιχώματα συνδέονται μέσα στο επίπεδό τους με δοκούς συνήθους δυσκαμψίας, το μήκος διάτμησής τους L_s κυμαίνεται μεταξύ του 1.5-πλάσιου του ύψους ορόφου για τοιχώματα με μικρό μήκος διατομής $I_w=h$, και του μισού του ύψους από τη διατομή βάσης του ορόφου μέχρι την κορυφή του τοιχώματος (δηλ. του κτιρίου).

Η διατμητική αντοχή ενός στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος είναι κατά καλή προσέγγιση ανάλογη του ύψους h της διατομής. Έτσι η συγκέντρωσή της σε λίγα κατακόρυφα στοιχεία μεγάλου ύψους διατομής h , αντί της διάσπασής της σε πολλά μικρά, δεν προσφέρει ουσιώδες οικονομικό πλεονέκτημα. Όμως η δυσκαμψία είναι ανάλογη του h^3 , που σημαίνει ότι για την αύξηση της συνολικής δυσκαμψίας του κτιρίου συμφέρει η συγκέντρωση του σκυροδέματος σε λίγα κατακόρυφα στοιχεία με μεγάλο ύψος διατομής h . Έτσι από απόψεως δυσκαμψίας συμφέρει τα τοιχώματα να είναι λίγα και μεγάλα. Η επιλογή αυτή συμφέρει επίσης και από την άποψη του κατακόρυφου οπλισμού και της αντοχής σε κάμψη. Πράγματι, αν αδιαστατοποιήσουμε τη σχέση $M=L_s V$ με διαίρεση με $bh^3 f_{cd}$ έχουμε:

$$\text{Αδιάστατη ροπή } \mu = (L_s/h) \times \text{Αδιάστατη τέμνουσα } \nu (=V/bhf_{cd}).$$

Για την ίδια τέμνουσα βάσης V και συνολική ποσότητα σκυροδέματος ανά m ύψους του κτιρίου, bh , (δηλαδή για σταθερή αδιάστατη τέμνουσα ν) μείωση του λόγου διάτμησης L_s/h σημαίνει μείωση της αδιάστατης ροπής μ και επομένως μείωση του απαιτούμενου συνολικού ποσοστού κατακόρυφου οπλισμού στα τοιχώματα. Δεδομένου δε ότι για σχετικά μεγάλες τιμές του $h=I_w$ το μήκος διάτμησης L_s ισούται με ένα πρακτικά σταθερό ποσοστό του ύψους του κτιρίου, μείωση του λόγου διάτμησης L_s/h μπορεί να συμβεί μόνο με αύξηση του h μέσω συγκέντρωσης του σκυροδέματος σε λίγα τοιχώματα. Το πάνω συνιστώμενο όριο του h είναι αυτό που δίνει τιμή του L_s/h μικρότερη του 2.5 έως 3.0, οδηγώντας σε παραμορφωσιακή συμπεριφορά που επηρεάζεται σημαντικά από τη διάτμηση. Επιπλέον, αν και οικονομικότερα, τα λίγα (μεγάλα) τοιχώματα παρέχουν λιγότερες εναλλακτικές διαδρομές δυνάμεων και μειωμένη υπερστατικότητα, κατά παράβαση των γενικών αρχών της Υποενότητας 3.1.9.

Μεγάλα και ισχυρά τοιχώματα αναπτύσσουν μεγάλη σεισμική ροπή κάμψης στη βάση τους, η οποία δεν μπορεί να μεταφερθεί στο έδαφος με μεμονωμένα πέδιλα. Η μέγιστη ροπή που μπορεί να μεταφερθεί στο έδαφος είναι λίγο μικρότερη από τη ροπή ανατροπής του πεδύλου (αυτήν που αντιστοιχεί σε εφαρμογή της συνισταμένης των τάσεων του

εδάφους στο άκρο του πεδίλου), η οποία ισούται περίπου με την κατακόρυφη δύναμη N επί το μισό του μήκους του πεδίλου. Για μεγάλα τοιχώματα το μήκος του πεδίλου δεν ξεπερνά σημαντικά τη διάσταση μήκους h του τοιχώματος, που σημαίνει ότι η μέγιστη αδιάστατη ροπή που μπορεί να αναπτυχθεί στο τοίχωμα είναι $m \leq 0.5v$. Επειδή δε στα μεγάλα τοιχώματα η τιμή της v είναι πολύ μικρή (γύρω στο 0.05), η μέγιστη τιμή της m είναι ασήμαντη, της τάξης του $f_{ctm}/6f_{cd} \approx 0.025$ που αντιστοιχεί στη ροπή ρηγμάτωσης του τοιχώματος. Έτσι λοιπόν ισχυρά τοιχώματα χρειάζεται:

- είτε να θεμελιώνονται σε πολύ μεγάλα πέδιλα, που είναι αντικοινομικά και εισάγουν αβεβαιότητα ως προς τη σχέση ροπής-γωνίας στροφής πεδίλου ως προς το έδαφος (καθώς συμβαίνει και μερική αποκόλληση από το έδαφος),
- είτε να πακτώνονται σε θεμελίωση τύπου κιβωτίου για το σύνολο του κτιρίου.

Όπως θα δούμε στην Υποενότητα 3.3.2, θεμελιώσεις τύπου κιβωτίου αποτελούνται:

- α) από ένα συνεχές περιμετρικό τοίχωμα που θεμελιώνεται με θεμελιολωρίδα, ή ενδεχόμενα με γενική κοιτόστρωση,
- β) από πλάκα-διάφραγμα στην κορυφή του περιμετρικού τοιχώματος (πλάκα οροφής υπογείου, αν υπάρχει υπόγειο) και
- γ) από εσχάρα συνδετηρίων δοκών ή πεδιλοδοκών, ή καλύτερα από πλάκα δαπέδου υπογείου (γενική κοιτόστρωση), για την οριζόντια σύνδεση της θεμελίωσης των εσωτερικών στοιχείων της κάτοψης (μεταξύ των οποίων και τοιχώματα) με τη βάση του περιμετρικού τοιχώματος.

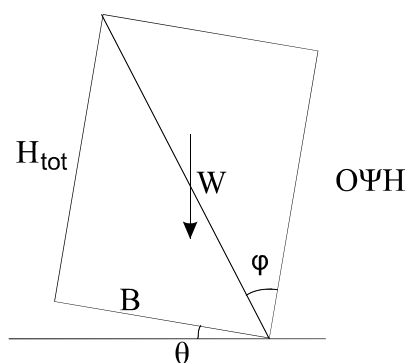
Μια τέτοια θεμελίωση πακτώνει όλα τα τοιχώματα στη βάση τους και μεγιστοποιεί την αποτελεσματικότητά τους.

Τοίχωμα με μεμονωμένο στοιχείο θεμελίωσης (δηλαδή πέδιλο) λικνίζεται ως προς το έδαφος, όταν η ροπή του στη στάθμη θεμελίωσης ξεπεράσει την τιμή που αντιστοιχεί σε έναρξη αποκόλλησής του από το έδαφος (ανάπτυξη αδρανούς περιοχής) και πλησιάζει αυτήν που αντιστοιχεί σε εφαρμογή της συνισταμένης των τάσεων εδάφους στο άκρο του πεδίλου (ροπή ανατροπής). Επειδή η σεισμική δράση είναι δυναμική και όχι στατική, η λίκνιση αποτελεί ευσταθή τρόπο σεισμικής απόκρισης, αρκεί:

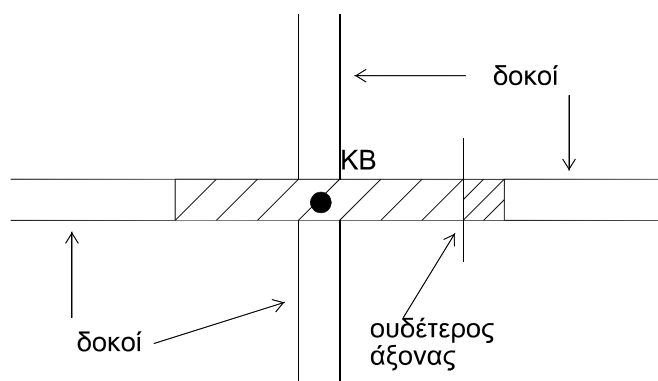
- η γωνία της λίκνισης θ να μην ξεπεράσει την τιμή $\varphi = \arctan(B/H_{tot})$ που αντιστοιχεί σε έξοδο της κατακόρυφης δια του κέντρου βάρους από την κάτοψη του πεδίλου (B = διάσταση πεδίλου στο επίπεδο του τοιχώματος και της λίκνισης, H_{tot} = ύψος τοιχώματος από τη στάθμη θεμελίωσης, Σχ. 3.14) και
- να μην προκληθεί αστοχία του εδάφους θεμελίωσης από τη συγκέντρωση των τάσεων

στο άκρο του πεδίου.

Μάλιστα, επειδή η μονοτονική σχέση οριζοντίων δυνάμεων-μετακινήσεων που χαρακτηρίζει τη λίκνιση είναι περίπου ελαστοπλαστική, θεωρείται ότι η λίκνιση αποτελεί σχεδόν εξίσου πλάστιμο τρόπο συμπεριφοράς και απόκρισης με την καμπτική διαρροή και τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στη βάση πακτωμένου τοιχώματος (ATC 1998, Japan BDPP 1977), δηλαδή με τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q αντίστοιχη αυτής της πλάστιμης καμπτικής συμπεριφοράς. Όμως, η αβεβαιότητα που συνοδεύει την απόκριση με λίκνιση – κυρίως όσον αφορά τις επιπτώσεις της στη σεισμική ένταση στο δομικό σύστημα όπου ανήκει το τοίχωμα που λικνίζεται – είναι τέτοια, που αποτρέπει τη συστηματική λογιστική αξιοποίησή της στα πλαίσια του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών με τοιχώματα.



Σχ. 3.14 Λικνιζόμενο τοίχωμα



Σχ. 3.15 Κάτοψη τοιχώματος με συντρέχουσες δοκούς

Η λίκνιση τοιχωμάτων με μεγάλο μήκος διατομής I_w αποτελεί ευσταθή και αβλαβή τρόπο σεισμικής απόκρισης, επειδή η κινητική ενέργεια του συστήματος στην έναρξη ενός ημικύκλου λίκνισης (δηλ. στην οριζόντια θέση) μετατρέπεται – με την ανύψωση του κέντρου βάρους κατά τη λίκνιση – σε αντίστοιχη διαφορά δυναμικής ενέργειας, αντί σε ενέργεια ελαστικής και ανελαστικής παραμόρφωσης η οποία συνοδεύεται από βλάβες. Μάλιστα, θεωρώντας το λικνιζόμενο τοίχωμα ως μονοβάθμιο ταλαντωτή, η μέγιστη κινητική ενέργεια της ταλάντωσης του οποίου ισούται ως γνωστόν με $MS_v^2/2$, η εξίσωση της κινητικής ενέργειας με τη διαφορά δυναμικής ενέργειας, $(Mg)\theta B/2$, δίνει για τη μέγιστη γωνία λίκνισης: $\theta = S_v^2/Bg$ (κατά κανόνα μάλιστα η περίοδος T της λίκνισης βρίσκεται στο φθίνοντα κλάδο του φάσματος επιταχύνσεων, οπότε η τιμή της S_v είναι ανεξάρτητη της περιόδου T).

Αντίστοιχες ευεργετικές επιρροές έχουμε και σε τοιχώματα με μεγάλη μήκος διατομής I_w , τα οποία είναι πακτωμένα στη βάση τους. Αυτές οφείλονται στο ότι στη ρηγματωμένη

διατομή του τοιχώματος ο ουδέτερος άξονας είναι μακριά από το γεωμετρικό κέντρο της διατομής και κοντά στο θλιβόμενο άκρο της, οπότε το κέντρο βάρους ανυψώνεται κατά την κάμψη της διατομής και του πακτωμένου τοιχώματος. Αυτή η ανύψωση (μικρότερη ασφαλώς από την περίπτωση του λικνιζόμενου τοιχώματος) ενεργοποιεί το τμήμα του βάρους του κτιρίου που στηρίζεται στο τοίχωμα για προσωρινή αποθήκευση μέρους της ενέργειας ταλάντωσης σε δυναμική ενέργεια, αντί σε ενέργεια παραμόρφωσης του τοιχώματος και του δομικού συστήματος. Επιπλέον, ενεργοποιεί σε κάμψη και διάτμηση τις δοκούς που συνδέονται με οποιοδήποτε σημείο της εφελκυόμενης ζώνης του τοιχώματος, είτε αυτές είναι συνεπίπεδες με το τοίχωμα, είτε εγκάρσιες σ' αυτό (Σχ. 3.15). Εφόσον το άλλο άκρο των δοκών αυτών δεν ανυψώνεται αντίστοιχα, οι τέμνουσές τους ασκούνται στο τοίχωμα προς τα κάτω, με αποτέλεσμα:

- να αυξάνουν την αξονική θλίψη του τοιχώματος, και
- να μειώνουν τη συνισταμένη ροπή του,

και τα δύο προς όφελος της αντοχής, της δυσκαμψίας και της ευστάθειας του τοιχώματος.

Αυτές οι ευμενείς επιρροές οφείλονται στη μεγάλη οριζόντια διάσταση του τοιχώματος. Επειδή όμως η γεωμετρική τους προέλευση (σύζευξη καμπτικών παραμορφώσεων με τις μετακινήσεις κατά τον άξονα του στοιχείου) αγνοείται στις συνήθεις γεωμετρικά-γραμμικές αναλύσεις (ακόμα και αν αυτές λαμβάνουν υπόψη τις μη-γραμμικότητες των υλικών), δεν λαμβάνονται λογιστικά υπόψη και παραμένουν ως εφεδρείες ικανοποιητικής σεισμικής συμπεριφοράς τοιχωμάτων με μεγάλη οριζόντια διάσταση.

Τοιχώματα με μεγάλη οριζόντια διάσταση δεν είναι εύκολο να πακτωθούν στη βάση τους. Γι' αυτό, αλλά και λόγω των μεγάλων τους διαστάσεων, δεν είναι εύκολη η διαστασιολόγησή τους ώστε να εξασφαλισθεί ο σχηματισμός – καμπτικής – πλαστικής άρθρωσης στη βάση τους (ιδίως αν συνδέονται ή διασταυρώνονται με εγκάρσιο τοίχωμα επίσης μεγάλων διαστάσεων). Αναγνωρίζοντας όμως την ευνοϊκή – έστω μη συμβατική – σεισμική συμπεριφορά τους, ο Ευρωκώδικας 8 προβλέπει μία ειδική κατηγορία τοιχωματικών δομικών συστημάτων: τα συστήματα “ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων”. Αυτά μπορούν να διαστασιολογηθούν ως μία ειδική περίπτωση της Μέσης Κατηγορίας Πλαστιμότητας (M), με βασική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς (δηλαδή πριν τυχόν μείωση λόγω μη-κανονικότητας καθ' ύψος) $q_0=3$, εφόσον πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

1. Τουλάχιστον 65% της τέμνουσας βάσης (στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση) να

αναλαμβάνεται από τοιχώματα.

2. Να υπάρχουν τουλάχιστον δύο τοιχώματα με οριζόντια διάσταση $l_w \geq 4m$ στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση, τα οποία να μεταφέρουν στο έδαφος συνολικά τουλάχιστον το 20% του κατακόρυφου φορτίου του κτιρίου. Κατ' εξαίρεση μπορεί σε μία από τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις να υπάρχει μόνο ένα τέτοιο τοίχωμα (πρβλ. Σχήμα 3.2(γ)), αλλά τότε στη διεύθυνση αυτή μειώνεται η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς κατά $1/3$, δηλ. σε $q_0=2$.
3. Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση, για θεώρηση πάκτωσης των κατακορύφων στοιχείων στη βάση τους, να μην ξεπερνά το 0.5sec.

Η προϋπόθεση 1 αποτελεί το γενικό ορισμό τοιχωματικών δομικών συστημάτων. Η προϋπόθεση 2 στοχεύει αφενός μεν σε μία σημαντική διατομή μεγάλων τοιχωμάτων ως ποσοστό της επιφάνειας του κτιρίου σε κάτοψη, αφετέρου δε σε ένα σημαντικό ποσοστό της μάζας/βάρους του κτιρίου που θα ανυψώνεται παροδικά, είτε με τη λίκνιση του μεγάλου τοιχώματος ως προς τη θεμελίωσή του, είτε του τμήματος ενός πακτωμένου τοιχώματος πάνω από τη διατομή κύριας καμπτικής ρηγμάτωσης-διαρροής του. Τέλος, η προϋπόθεση 3 έχει ως στόχο πάλι την αύξηση της συνολικής οριζόντιας διάστασης των τοιχωμάτων στην υπόψη οριζόντια διάσταση, αυτή τη φορά ως ποσοστό του ύψους του κτιρίου.



Σχήμα 3.16. Παραδείγματα μεγάλων τοιχωμάτων στην Ελλάδα με γεωμετρία “ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων”.

Αν πληρούνται και οι τρεις ανωτέρω προϋποθέσεις, ισχύουν για τα τοιχώματα του δομικού συστήματος που έχουν $l_w > 4m$, ειδικές διατάξεις οικονομικότερης και

απλούστερης διαστασιολόγησης και κατασκευαστικής διαμόρφωσης.

Συγκεκριμένα:

- Η ποσότητα των κατακόρυφων οπλισμών τους προσαρμόζεται ακριβώς στα μεγέθη ορθής έντασης (M και N) από την ανάλυση για το συνδυασμό δράσεων που περιλαμβάνει το σεισμό. Δηλαδή, δεν διαστασιολογείται το τοίχωμα για τη γραμμική περιβάλλουσα των σεισμικών ροπών από την ανάλυση που ισχύει για τα “πλάστιμα” τοιχώματα. Τοποθετείται ακριβώς ο οπλισμός που χρειάζεται για την αντοχή έναντι του συνδυασμού των εντατικών μεγεθών M-N από την ανάλυση και μάλιστα συγκεντρωμένος σε απόσταση από το κάθε άκρο της διατομής b_w (=πλάτος κορμού). Αυτό σημαίνει ότι στο ενδιάμεσο αυτών των ακραίων περιοχών δεν είναι υποχρεωτικό το ελάχιστο ποσοστό κατακόρυφου οπλισμού κορμού ($\rho_{v,min}=0.2\%$ στα πλάστιμα τοιχώματα). Στόχος είναι η προώθηση καμπτικής διαρροής σε όσο το δυνατόν περισσότερες οριζόντιες διατομές του τοιχώματος (σ’ όλες τις διατομές βάσης ορόφων όπου ξεπερνιέται η ροπή ρηγμάτωσης) και η ενεργοποίηση του μηχανισμού ανύψωσης των μαζών σ’ όσο γίνεται μεγαλύτερο βαθμό καθ’ ύψος του τοιχώματος.
- Εφόσον η διαστασιολόγηση των μεγάλων τοιχωμάτων γίνεται με βάση τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q μεγαλύτερη του 2, ο υπολογισμός των κατακόρυφων οπλισμών για την οριακή κατάσταση αντοχής σε κάμψη γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μία πρόσθετη αξονική δύναμη N τουλάχιστον ίση με το 50% αυτής που προκαλούν στην υπόψη διατομή τα κατακόρυφα φορτία. Η δύναμη αυτή θεωρείται και με θετικό και με αρνητικό πρόσημο. Αντιπροσωπεύει την αυξομείωση της αξονικής δύναμης λόγω της κατακόρυφης ταλάντωσης που προκαλεί στο τοίχωμα το κρουστικού τύπου κλείσιμο των οριζοντίων ρωγμών κατά την καμπτική ταλάντωση και/ή του κενού στην αδρανή περιοχή του πεδίου κατά τη λίκνιση-αποκόλληση από το έδαφος.
- Η τέμνουσα σχεδιασμού V_{Ed} λαμβάνεται ίση με τη σεισμική τέμνουσα δύναμη από την ανάλυση επί $(1+q)/2$ (δηλαδή επί 2, για τη βασική τιμή $q_0=3$). Δεν είναι υποχρεωτική η τοποθέτηση του ελάχιστου οριζόντιου οπλισμού $\rho_{h,min}=0.1\%$ που επιβάλλει ο Ευρωκώδικας 2 στα τοιχώματα. Έτσι, αν η V_{Ed} δεν ξεπερνά τη διατμητική αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης, που δίνεται από τον τύπο (b_w, d σε m, f_{ck} σε MPa, ρ_L = ποσοστό διαμήκους οπλισμού εφελκόμενου πέλματος, $V_{Rd,c}$ και N_{Ed} σε kN):

$$V_{Rd,c} = \left\{ \max \left[\frac{180}{\gamma_c} (100\rho_L)^{1/3}, 35\sqrt{1 + \sqrt{\frac{0.2}{d}}} f_{ck}^{1/6} \right] \left(1 + \sqrt{\frac{0.2}{d}} \right) f_{ck}^{1/3} + 0.15 \frac{N_{Ed}}{A_c} \right\} b_w d \quad (3.5)$$

τότε δεν τοποθετείται καθόλου οριζόντιος οπλισμός κορμού. Το σκεπτικό είναι ότι:

(α) Η ρηγμάτωση θα είναι οριζόντια και όχι λοξή, καθόσον υπάρχει περιθώριο ίσο με $(1+q)/2 \approx 2$ μεταξύ σεισμικής τέμνουσας από την ανάλυση – που αντιστοιχεί στη διαρροή των κατακορύφων ράβδων – και τιμής σχεδιασμού τέμνουσας αντοχής χωρίς οπλισμό διάτμησης. (β) Ακόμα και αν σχηματισθούν λοξές ρωγμές, το άνοιγμά τους δεν θα αυξηθεί απερίοριστα, όπως συμβαίνει υπό οιονεί-στατικές οριζόντιες δράσεις – π.χ. άνεμο – όταν δεν υπάρχει οριζόντιος οπλισμός, αλλά οι ρωγμές θα ξανακλείσουν όταν μηδενισθεί η επιβεβλημένη μετακίνηση. (γ) Επειδή η οριζόντια διάσταση του τοιχώματος ξεπερνά το ύψος ορόφου, οι τυχόν λοξές ρωγμές θα διασταυρωθούν – κατά πάσα πιθανότητα – με τα πατώματα και θα ενεργοποιήσουν ως οπλισμό διάτμησης τον οριζόντιο οπλισμό τους, ο οποίος είναι σε θέση να αναλάβει σημαντική οριζόντια – δηλαδή τέμνουσα – δύναμη παράλληλα στη μεγάλη διάσταση του τοιχώματος.

Οι περισσότεροι αντισεισμικοί κανονισμοί δίνουν μικρότερες τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q σε κτίρια με τοιχώματα, απ' ό,τι σε καθαρά πλαισιακά συστήματα (πρβλ. τις βασικές τιμές του q της περίπτωσης 3 της Υποενότητας 1.4.3 με αυτές της περίπτωσης 4). Και τούτο επειδή:

- τοιχώματα με μεγάλη οριζόντια διάσταση l_w έχουν συνήθως μικρότερο λόγο διάτμησης από τα υποστυλώματα και τις δοκούς πλαισίων. Επομένως η διάτμηση παίζει μεγαλύτερο ρόλο στην παραμορφωσιακή συμπεριφορά τους,
- η πειραματική και η αναλυτική διερεύνηση της συμπεριφοράς τοιχωμάτων είναι πρακτικά δυσκολότερη απ' αυτήν των πλαισίων. Έτσι η σεισμική συμπεριφορά τοιχωματικών δομικών συστημάτων δεν είναι τόσο γνωστή, κατανοητή και επομένως αξιόπιστη, όσο αυτή των πλαισιακών συστημάτων.

Λόγω όμως της πρόσφατης αναγνώρισης των ανωτέρω ευμενών επιρροών στη συμπεριφορά τοιχωμάτων και της συσσώρευσης εμπειριών και γνώσεων όχι μόνον από την έρευνα αλλά και από τη συμπεριφορά σε σεισμούς (Χιλή 1985, Τουρκία 1999), υπάρχει σήμερα τάση εξίσωσης των συντελεστών συμπεριφοράς q τοιχωματικών και πλαισιακών δομικών συστημάτων. Η τάση υπέρ των τοιχωμάτων είναι ισχυρότερη σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Ελλάδα, κ.α.) και στη Λατινική Αμερική, αλλά ισχυροποιείται και στις ΗΠΑ, όπου παραδοσιακά υπήρχε προτίμηση υπέρ των πλαισιακών δομικών συστημάτων. Ένα βασικό επιχείρημα της σχολής που υποστηρίζει τα τοιχώματα, είναι ότι αυτά με τη δυσκαμψία τους ελαχιστοποιούν τις σεισμικές βλάβες

στις τοιχοπληρώσεις και σε άλλα μη-φέροντα στοιχεία των κτιρίων. Το επιχείρημα αυτό έχει ενισχυθεί τα τελευταία χρόνια από τη διαπίστωση, στην Ελλάδα και διεθνώς, ότι το μεγαλύτερο μέρος του οικονομικού κόστους των σεισμών οφείλεται όχι στις βλάβες (και καταρρεύσεις) του δομικού συστήματος, αλλά σ' αυτές των τοιχοπληρώσεων και των άλλων μη-φερόντων στοιχείων.

Κλείνουμε το θέμα των τοιχωμάτων με τα τοιχώματα μη-ορθογωνικής διατομής. Το μεγαλύτερο μέρος των προαναφερθέντων, αλλά και το σύνολο σχεδόν των σημερινών μας γνώσεων, αφορούν τοιχώματα με διατομή ορθογωνική ή περίπου ορθογωνική (δηλαδή με διάταξη στα δύο άκρα της διατομής ορθογωνικών ή τετραγωνικών υποστυλωμάτων, ή πελμάτων εγκάρσιων στον κορμό, για λόγους ενίσχυσης του τοιχώματος σε κάμψη και έναντι εγκάρσιας-πλευρικής αστάθειας του θλιβόμενου πέλματος). Στην προσομοίωση και τη διαστασιολόγηση τέτοια τοιχώματα θεωρούνται ως γραμμικά στοιχεία με άξονα δια του κέντρου βάρους της διατομής του τοιχώματος. Το ίδιο γίνεται (ελλείψει καλύτερης λύσης) και στα τοιχώματα με σύνθετη διατομή από δύο ή περισσότερα ορθογώνια με μεγάλο λόγο πλευρών – Γ, Τ, Π, Η, κ.α. – συμμετρική ή όχι. Τέτοια τοιχώματα έχουν σημαντική αντοχή και δυσκαμψία και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και έτσι βρίσκονται κατά κανόνα υπό διαξονική κάμψη και διάτμηση. Παρ' όλο που εξ αυτού του λόγου εμφανίζονται ως αποδοτικότερα από το συνδυασμό των ορθογωνικών τμημάτων τους ως μεμονωμένων, δεν πρέπει να αγνοείται ότι η σεισμική τους συμπεριφορά, η διαστασιολόγηση και η κατασκευαστική τους διαμόρφωση-όπλιση, δεν βασίζονται ακόμη σε επαρκείς γνώσεις, ιδίως υπό διαξονική κάμψη και διάτμηση. Επιπλέον, η διαμόρφωση των λεπτομεριών όπλισής τους για πλαστιμότητα είναι πιο περίπλοκη. Γι' αυτό συνιστάται η χρήση τους στις κατασκευές να είναι λελογισμένη και να περιορίζεται σε σχετικά απλές γεωμετρίες (π.χ. συμμετρικό Π σε κουβούκλια ανελκυστήρων, ή Γ).

3.2.3 ΔΥΑΔΙΚΑ (ή ΜΕΙΚΤΑ) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ-ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Ως δομικά συστήματα ανάληψης σεισμικών δράσεων, τα τοιχώματα και τα πλαίσια έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτηματά τους. Παρόλο που μπορεί να θεωρηθεί ότι τα τοιχώματα έχουν καλύτερο ισοζύγιο πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων από τα πλαίσια, κατά κανόνα τα κτίρια διαθέτουν ούτως ή άλλως δοκούς και υποστυλώματα για τη μεταφορά των κατακορύφων δράσεων στο έδαφος και τα μέλη αυτά μπορούν να συμβάλουν και στην ανάληψη της σεισμικής δράσης. Επιπλέον, σε αντίθεση με τα

(συνήθη) τοιχώματα που αποδίδουν σε σεισμό μόνο σε μία οριζόντια διεύθυνση, η αντοχή και δυσκαμψία των υποστυλωμάτων είναι παρόμοια και μπορεί να αξιοποιηθεί και στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις. Τέλος, όταν η ανάληψη της σεισμικής δράσης ανατίθεται σε λίγα τοιχώματα, η μεταφορά της σεισμικής έντασης του καθενός από τα τοιχώματα αυτά στο έδαφος γίνεται προβληματική. Έτσι, ο συνδυασμός τοιχωμάτων και πλαισίων στο ίδιο δομικό σύστημα φαίνεται ότι προσφέρει οικονομικά πλεονεκτήματα. Επιπλέον όμως τα δυαδικά (ή μεικτά) συστήματα τοιχωμάτων-πλαισίων συνδυάζουν την αντοχή και δυσκαμψία των τοιχωμάτων με την πλαστιμότητα, ικανότητα παραμόρφωσης και υψηλή υπερστατικότητα των πλαισίων. Έτσι τα πλαίσια ενός δυαδικού συστήματος μπορούν να λειτουργήσουν ως δεύτερη γραμμή άμυνας, στον ίδιο σεισμό ή σε ισχυρό μετασεισμό, αν τα (εγγενώς ψαθυρότερα) τοιχώματα αστοχήσουν και χάσουν μεγάλο μέρος της αντοχής και δυσκαμψίας τους. Για το λόγο αυτό οι Αμερικανικοί Κανονισμοί απαιτούν να διαστασιολογείται το πλαίσιακό τμήμα του δομικού συστήματος για το 25% τουλάχιστον της σεισμικής δράσης, ανεξάρτητα της σχετικής δυσκαμψίας τοιχωμάτων και πλαισίων.

Στα καθαρά πλαίσιακα συστήματα οι σχετικές μετακινήσεις διαδοχικών ορόφων ακολουθούν την καθ' ύψος μεταβολή της σεισμικής τέμνουσας, δηλ. μειώνονται από τη βάση προς την κορυφή. Τοιχώματα πακτωμένα στη βάση τους έχουν γραμμή κάμψης κατακορύφου προβόλου, δηλ. οι σχετικές μετακινήσεις διαδοχικών ορόφων αυξάνονται από τη βάση προς την κορυφή. Αν πλαίσια και τοιχώματα συνδυάζονται στο ίδιο δομικό σύστημα, η διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων επιβάλλει κοινές οριζόντιες μετακινήσεις ορόφων. Αυτό σημαίνει ότι στους κατώτερους ορόφους τα τοιχώματα αναγκάζονται να συγκρατήσουν τα πλαίσια, αναλαμβάνοντας πολύ μεγάλο τμήμα (πρακτικά το σύνολο) των αδρανειακών δυνάμεων των ορόφων αυτών. Αντίθετα στους πάνω ορόφους το πλαίσιο όχι μόνον αναλαμβάνει το σύνολο των αδρανειακών δυνάμεων, αλλά επιπλέον επιφορτίζεται με τη δύναμη που χρειάζεται να ασκηθεί στο τοίχωμα για να συγκρατηθούν οι μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις του στην κορυφή. Πρακτικά είναι σαν να φορτίζονται τα τοιχώματα με το σύνολο των αδρανειακών δυνάμεων καθ' ύψος του κτιρίου και επιπλέον με συγκεντρωμένη δύναμη στην κορυφή με φορά αντίθετη αυτής των αδρανειακών δυνάμεων (δύναμη που προκαλεί αντίστροφη κάμψη και διάτμηση στους ανώτατους ορόφους). Αντίθετα τα πλαίσια είναι σαν να φορτίζονται μόνο στην κορυφή με συγκεντρωμένη δύναμη ίση και αντίθετη αυτής που επιβάλλεται στα τοιχώματα (κατά τη φορά των αδρανειακών δυνάμεων των ορόφων). Έτσι, επειδή τότε στο πλαίσιο όλοι οι όροφοι θα έχουν περίπου την ίδια τέμνουσα

ορόφου (τη συγκεντρωμένη δύναμη της κορυφής), άρα και παρόμοιες ροπές κάμψης, για σταθερή διατομή υποστυλώματος οι απαιτούμενοι οπλισμοί δοκών και υποστυλωμάτων προκύπτουν ίδιοι σ' όλους τους ορόφους ή και περισσότεροι στους ανώτερους (λόγω της ευνοϊκής επιρροής της αξονικής θλίψης στην κάμψη).

Επειδή τα δυαδικά συστήματα έχουν πιο περίπλοκη δομική γεωμετρία και λειτουργία από τα καθαρά πλαισιακά ή τα τοιχωματικά, έχουν και εγγενώς μεγαλύτερη αβεβαιότητα σεισμικής συμπεριφοράς. Έτσι η μόρφωσή τους πρέπει να συμβάλλει στη μείωση της αβεβαιότητας αυτής. Επί παραδείγματι, επειδή στα δυαδικά συστήματα τα διαφράγματα είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για την εξασφάλιση κοινών οριζοντίων μετακινήσεων των δύο διαφορετικών τύπων συστημάτων και τη μεταφορά οριζοντίων δυνάμεων από το ένα στο άλλο, πρέπει να έχουν αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία στο επίπεδό τους και να μην έχουν μεγάλα εσωτερικά ανοίγματα και εσοχές σε κάτοψη. Πιο σημαντικό, η θεμελίωση των τοιχωμάτων πρέπει να εξασφαλίζει την πλήρη πάκτωσή τους στη βάση τους, καθότι η τυχόν στροφή της βάσης τους περί οριζόντιο άξονα λόγω ελαστικής πάκτωσής τους στο έδαφος οδηγεί σε (αβέβαιου και απρόβλεπτου) μεγέθους μεταφορά οριζοντίων δυνάμεων από τα τοιχώματα στα πλαίσια. Επισημαίνεται ότι σε καθαρά τοιχωματικά ή σε καθαρά πλαισιακά δομικά συστήματα, η στροφή όλων των κατακορύφων στοιχείων στη βάση τους περί οριζόντιο άξονα δεν μεταβάλλει ουσιωδώς την κατανομή της σεισμικής έντασης και παραμόρφωσης μεταξύ των μελών του συστήματος. Απλώς αυξάνει τις οριζόντιες μετακινήσεις ορόφων. Δεν συμβαίνει το ίδιο αν συνδυάζονται στο ίδιο σύστημα εντελώς διαφορετικοί τύποι στοιχείων.

3.3 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΒΑΘΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Σκοπός της Ενότητας είναι να παρουσιάσει τις αρχές διαμόρφωσης του συστήματος αβαθών (επιφανειακών) θεμελιώσεων αντισεισμικών δομημάτων, να περιγράψει τις διαθέσιμες λύσεις και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματά τους και να δώσει τις γενικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού του συστήματος θεμελίωσης. Βαθειές θεμελιώσεις (με πασσάλους) δεν συνηθίζονται σε κτίρια και δεν καλύπτονται εδώ. Επίσης, δεν εξετάζεται το – δύσκολο – θέμα της θεμελίωσης κτιρίων πάνω σε ενεργά σεισμικά ρήγματα, τα δύο τεμάχη των οποίων μπορεί να μετατοπισθούν οριζόντια και/η κατακόρυφα κατά το σεισμό.

3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Αντισεισμικοί Κανονισμοί γενικώς, και ο αντισεισμικός σχεδιασμός μεμονωμένων δομημάτων ειδικότερα, θα πρέπει να αφιερώνουν στη θεμελίωση την αυξημένη σημασία και προσοχή που πηγάζει από:

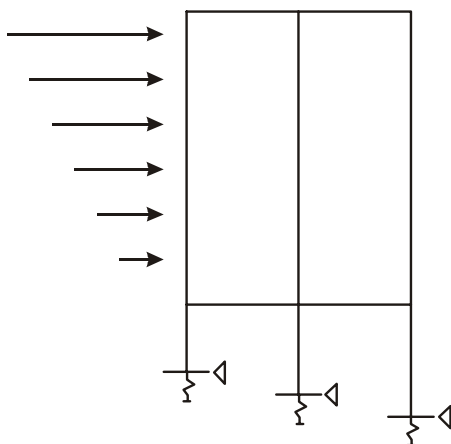
- το δυσανάλογα υψηλό κόστος της επισκευής τυχόν σεισμικών βλαβών στη θεμελίωση και της σεισμικής ενίσχυσης ανεπαρκών θεμελιώσεων, και
- το γεγονός ότι η ανωδομή στηρίζεται στη θεμελίωση και επομένως θα “αισθανθεί” τυχόν μεγάλες παραμορφώσεις ή και αστοχία του εδάφους ή των στοιχείων θεμελίωσης, ενώ αντιθέτως η θεμελίωση δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μεγάλες παραμορφώσεις ή και μερική αστοχία της ανωδομής.

Παρ’ όλα αυτά, οι Αντισεισμικοί Κανονισμοί δίνουν στη θεμελίωση δυσανάλογα μικρή προσοχή. Φωτεινές εξαιρέσεις αποτελεί ο ΕΑΚ 2000 – ο οποίος έχει ένα Κεφάλαιο για τις Θεμελιώσεις και Αντιστηρίξεις – και κυρίως ο Ευρωκώδικας 8, ο οποίος αφιερώνει ένα ολόκληρο Μέρος (το 5: “Θεμελιώσεις, Αντιστηρίξεις και Γεωτεχνικά θέματα”) στο έδαφος θεμελίωσης και σημαντικό τμήμα του Μέρους 1 (“Γενικοί Κανόνες, Σεισμική Δράση, Κανόνες για Κτίρια”) στο σχεδιασμό των θεμελιώσεων και των στοιχείων θεμελίωσης κτιρίων.

Οι Μελέτες μεμονωμένων κτιρίων δεν δίνουν αρκετή προσοχή στη θεμελίωση: παρόλο που αυτή κατασκευάζεται πρώτη, στη Μελέτη η διαμόρφωση και ο σχεδιασμός της γίνονται τελευταία και ακολουθούν/προσαρμόζονται πλήρως στις βασικές επιλογές που έγιναν στη διαμόρφωση της ανωδομής.

Η υποβάθμιση της θεμελίωσης στους αντισεισμικούς Κανονισμούς και στις συνήθεις Μελέτες μπορεί να οφείλεται και στην απουσία κτυπητών αστοχιών του εδάφους ή των στοιχείων θεμελίωσης σε σεισμούς του παρελθόντος. Αν εξαιρέσει κανείς τη ρευστοποίηση κοκκωδών εδαφών – που αφορά την επιλογή της θέσης του κτιρίου, και όχι τόσο της θεμελίωσής του – οι περιπτώσεις αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης είναι ελάχιστες: μία καθίζηση κτιρίου στο σεισμό του Μεξικού (1985) και κάποιες αμφιλεγόμενες – ως προς το μηχανισμό αστοχίας – ανατροπές κτιρίων στο Ανταπαζάρι / Σακάρεια στο σεισμό Κοτζέλι στην Τουρκία (1999). (Επισημαίνεται ότι η θεμελίωση – στοιχεία και έδαφος – δεν “καταρρέουν” στην αστοχία τους, απλώς εμφανίζουν μεγάλες παραμορφώσεις). Επίσης, δεν είναι γνωστές καταρρεύσεις ή σοβαρές βλάβες ανωδομών

που να αποδίδονται στη θεμελίωση – παρ' όλο που η θεμελίωση ασφαλώς παίζει σημαντικό ρόλο στη σεισμική απόκριση της ανωδομής. Τα ανωτέρω πιθανόν σημαίνουν ότι οι υψηλοί συντελεστές ασφαλείας έναντι απώλειας φέρουσας ικανότητας του εδάφους υπό κατακόρυφες ή οριζόντιες δράσεις, καθώς και οι συνήθως μεγάλες διαστάσεις των στοιχείων θεμελίωσης, καλύπτουν τις τυχόν ανεπάρκειες της αντισεισμικής διαμόρφωσης της θεμελίωσης και τον ελλειπή αντισεισμικό σχεδιασμό της. Κατ' επέκταση, υπάρχουν τεράστια περιθώρια βελτίωσης της οικονομικότητας του συστήματος θεμελίωσης, με παράλληλη αναβάθμιση της σεισμικής ασφάλειας που προσφέρει, μέσω ορθολογικότερης διαμόρφωσης και προσεκτικότερου σχεδιασμού του.



Σχ. 3.17 Συνήθης προσομοίωση στηρίξεων κτιρίου με διαφορετικές στάθμες θεμελίωσης.

3.3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΑΘΜΗ

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην Υποενότητα 3.1.11, επειδή για τις κατασκευές ο σεισμός συνίσταται σε επιβεβλημένες δυναμικές μετακινήσεις της βάσης τους, όλα τα κατακόρυφα στοιχεία πρέπει να θεμελιώνονται στην ίδια στάθμη και η θεμελίωσή τους να συνδέεται οριζόντια σ' ένα ενιαίο σύνολο. Έτσι εξασφαλίζεται ότι η σεισμική κίνηση που εισάγεται στη βάση είναι μία και ενιαία για το σύνολο της θεμελίωσης.

Η θεμελίωση στην ίδια στάθμη, πέραν του ότι επιτρέπει την αποτελεσματική οριζόντια σύνδεση των στοιχείων θεμελίωσης, διευκολύνει την προσομοίωση και μειώνει τις σχετικές αβεβαιότητες. Ας θεωρήσουμε το δόμημα του Σχ. 3.17, σε έδαφος σε κλίση, τα στοιχεία του οποίου θεμελιώνονται σε διαφορετικές οριζόντιες στάθμες. Στην προσομοίωση τα στοιχεία της θεμελίωσης κατά κανόνα εδράζονται σε κατακόρυφα ελατήρια, αλλά δεσμεύονται έναντι οριζόντιας μετακίνησης. Η ροπή (ανατροπή) των οριζοντίων σεισμικών δυνάμεων της ανωδομής ως προς οριζόντιο άξονα δια της θεμελίωσης προκαλεί διαφορές στις κατακόρυφες αντιδράσεις των στοιχείων θεμελίωσης

και στις αξονικές δυνάμεις των υποστυλωμάτων. Ομως, επειδή τα κατακόρυφα ελατήρια είναι εύκαμπτα σε σύγκριση με τις οριζόντιες δεσμεύσεις, οι τελευταίες αναλαμβάνουν το σύνολο της ροπής ανατροπής μέσω διαφορών στις οριζόντιες αντιδράσεις. Ετσι, η ροπή ανατροπής μεταφράζεται σε πλασματικές διαφορές τεμνουσών των υποστυλωμάτων, αντί σε διαφορές των αξονικών δυνάμεων. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα πρέπει οι οριζόντιες δεσμεύσεις να βρίσκονται όλες στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο, απαίτηση που συνάδει με τη διάταξη όλων των στοιχείων θεμελίωσης στην ίδια οριζόντια στάθμη.

3.3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Για τα συνήθη μεγέθη σεισμικών ροπών κάμψης και συνολικής κατακόρυφης δύναμης στη βάση υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων, μεμονωμένα πέδιλα είναι δύσκολο να διαστασιολογηθούν για την απαιτούμενη ασφάλεια έναντι της μεγάλης εκκεντρότητας της κατακόρυφης δύναμης του πεδύλου (θέση συνισταμένης κατακορύφων τάσεων εδάφους, μικρό μέγεθος ενεργού περιοχής επιφάνειας επαφής με έδαφος, κ.α.). Για το σκοπό αυτό χρειάζεται να συνδεθούν μεταξύ τους σε δύο οριζόντιες διευθύνσεις με δύσκαμπτες συνδετήριες δοκούς. Η στροφή του πεδύλου λόγω της σεισμικής ροπής προκαλεί την ανάπτυξη στις συνδετήριες δοκούς ροπών και τεμνουσών με φορά τέτοια που οδηγεί σε μείωση της ροπής που μεταφέρεται στο έδαφος δια της βάσης του πεδύλου. Η εκτίμηση όμως της έντασης των συνδετηρίων δοκών και αυτής που μεταφέρεται τελικά στο έδαφος απαιτεί την προσομοίωση της ελαστικότητας του εδάφους θεμελίωσης έναντι στροφής του πεδύλου. Η προσομοίωση αυτή υπόκειται σε σημαντικές αβεβαιότητες, ιδίως λόγω της μερικής αποκόλλησης του πεδύλου από το έδαφος.

Για την αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους (μείωση μήκους και αύξηση δυσκαμψίας τους) και την αποφυγή δημιουργίας κοντού υποστυλώματος πάνω από την κορυφή του πεδύλου, οι συνδετήριες δοκοί πρέπει να συνδέονται απευθείας με το σώμα του πεδύλου.

Η θεμελίωση μέσω εσχάρας πεδילוδοκών, αντί μεμονωμένων πεδύλων και εσχάρας συνδετηρίων δοκών, είναι πιο αποτελεσματική και συχνά οικονομικότερη έναντι σεισμού, επιτρέπει δε σημαντική μείωση των αβεβαιοτήτων.

Αν το επιτρέπει η διάταξη του κτιρίου, συνιστάται η θεμελίωση των περιμετρικών κατακορύφων στοιχείων (που αναλαμβάνουν κατά κανόνα μεγάλο μέρος της σεισμικής δράσης, ενώ έχουν μικρές αξονικές δυνάμεις λόγω κατακορύφων φορτίων) σε

περιμετρικό τοίχωμα με θεμελιολωρίδα, δηλ. σε μία συνεχή υψίκορμη πεδιλοδοκό. Το πάνω πέλμα της περιμετρικής πεδιλοδοκού θα πρέπει να βρίσκεται πρακτικά στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο και να συνδέεται με πλάκα-διάφραγμα οπλισμένου σκυροδέματος καθ' όλη την έκταση της κάτοψης. Η διάταξη αυτή ταιριάζει σε κτίρια με υπόγειο, ακόμα και υπερυψωμένο (το περιμετρικό τοίχωμα-πεδιλοδοκός μπορεί να έχει και ορισμένα ανοίγματα, ή μπορεί σε κάποιο τμήμα του μήκους του να μη προχωράει κατακόρυφα μέχρι την πλάκα οροφής αλλά να τερματίζεται στην ποδιά ενός φεγγίτη, χωρίς ουσιώδη μείωση της αποτελεσματικότητάς του). Πέδιλα ακριβώς κάτω από τα υποστυλώματα δεν χρειάζονται (αν κατασκευασθούν, λειτουργούν απλώς ως περιττές τοπικές διαπλατύνσεις της θεμελιολωρίδας του περιμετρικού τοιχώματος). Ακόμα όμως και σε κτίρια χωρίς υπόγειο, η διάταξη υψίκορμης περιμετρικής πεδιλοδοκού μπορεί να γίνει με ύψος αυτής της πεδιλοδοκού μικρότερο του ενός (υπόγειου) ορόφου και επίχωση κάτω από την πλάκα που κατασκευάζεται στο οριζόντιο επίπεδο του πάνω πέλματος της πεδιλοδοκού.

Τα κατακόρυφα στοιχεία στο εσωτερικό της κάτοψης μπορούν να θεμελιώνονται με πεδιλοδοκούς ή μεμονωμένα πέδιλα, αρκεί να υπάρχει οριζόντια σύνδεση με το περιμετρικό τοίχωμα. Η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει, είτε με προέκταση των πεδιλοδοκών ή των συνδετηρίων δοκών μέχρι το περιμετρικό τοίχωμα και μονολιθική σύνδεσή τους μ' αυτό, είτε με μια απλή πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος σ' όλη την έκταση της κάτοψης, μεταξύ σώματος μεμονωμένων πεδίων και περιμετρικού τοιχώματος (η πλάκα μπορεί να παίζει και το ρόλο δαπέδου υπογείου). Δεδομένου ότι τα περιμετρικά τοιχώματα αναλαμβάνουν τη μεταφορά του συνόλου σχεδόν της σεισμικής δράσης στο έδαφος, η στάθμη θεμελίωσής τους αποτελεί και την ενιαία στάθμη θεμελίωσης για τη σεισμική δράση. Στο εσωτερικό της κάτοψης η στάθμη θεμελίωσης μπορεί να είναι ψηλότερα, χωρίς ουσιαστικές δυσμενείς επιπτώσεις.

Το σύστημα θεμελίωσης που περιγράφεται ανωτέρω αποτελεί ουσιαστικά ένα κιβώτιο, στην κορυφή του οποίου πακτώνονται όλα τα κατακόρυφα στοιχεία. Τα κατακόρυφα στοιχεία του εσωτερικού της κάτοψης είναι επίσης πακτωμένα στην κορυφή του κιβωτίου, μέσω ζεύγους οριζοντίων δυνάμεων που αναπτύσσονται στην πάνω πλάκα (οροφής) του κιβωτίου αφενός, και στην κάτω πλάκα (κοιτόστρωση) ή εσωτερική εσχάρα συνδετηρίων δοκών ή πεδιλοδοκών αφετέρου. (Αυτός είναι και ο βασικός ρόλος της οριζόντιας σύνδεσης των εσωτερικών στοιχείων θεμελίωσης με το περιμετρικό τοίχωμα). Η ροπή κάμψης στη στάθμη θεμελίωσης των εσωτερικών κατακορύφων στοιχείων είναι μικρή (πρακτικά μηδενική), καθότι η περί οριζόντιο άξονα στροφή στη βάση των στοιχείων αυτών εμποδίζεται από την οριζόντια δέσμευση από την πάνω και την κάτω

στάθμη (πλάκα) του κιβωτίου. Έτσι η θεμελίωσή τους μπορεί να γίνει εύκολα με μεμονωμένα πέδιλα, τα οποία μάλιστα λειτουργούν με περίπου κεντρική κατακόρυφη δύναμη. Όμως το τμήμα των εσωτερικών κατακορύφων στοιχείων μεταξύ πάνω και κάτω στάθμης (πλάκας) του κιβωτίου καταπονείται από υψηλή τέμνουσα και χρειάζεται να διαστασιολογηθεί γι' αυτήν. Η τέμνουσα αυτή είναι ίση περίπου με τη ροπή κάμψης του κατακορύφου στοιχείου στην πάκτωσή του στην πάνω πλάκα του κιβωτίου, δια της υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα τις δύο στάθμες (βλ. διατάξεις Ευρωκώδικα 8 για τον ικανοτικό σχεδιασμό του τμήματος τοιχωμάτων μέσα στο κιβώτιο, Υποενότητα 3.3.4).

Η πάνω πλάκα θεμελίωσης τύπου κιβωτίου μεταφέρει οριζόντια τις σεισμικές τέμνουσες των εσωτερικών κατακορύφων στοιχείων στο περιμετρικό τοίχωμα. Για το λόγο αυτό πρέπει να έχει αυξημένη δυσκαμψία (πάχος) και αντοχή (οπλισμό σε δύο διευθύνσεις) και ευνοϊκή γεωμετρία (απουσία μεγάλων εσωτερικών ανοιγμάτων). Τονίζεται ότι επειδή η συστολή (ξήρανσης) της πλάκας αυτής περιορίζεται από το περιμετρικό τοίχωμα του συστήματος θεμελίωσης, είναι πολύ πιθανή η διαμπερής (δηλαδή σ' όλο το πάχος) ρηγμάτωσή της από τις εφελκυστικές τάσεις καταναγκασμού που αναπτύσσονται. Για να μη μειωθεί η εντός του επιπέδου δυσκαμψία της πλάκας αυτής από τη σχεδόν αναπόφευκτη διαμπερή ρηγμάτωση, απαιτείται ειδική μέριμνα για την ελαχιστοποίηση της διαφορικής συστολής ξήρανσης μεταξύ της πλάκας και του περιμετρικού τοιχώματος. Για τη μείωση της διαφορικής συστολής ξήρανσης πρέπει η πλάκα οροφής υπογείου να σκυροδετείται το συντομότερο δυνατόν μετά τη σκυροδέτηση των τοιχωμάτων, και το πάχος και οι επικαλύψεις της να ελαχιστοποιούν τη συστολή ξήρανσης και να την καθυστερούν, ώστε να αποφευχθεί η πρώιμη ρηγμάτωση προτού το σκυρόδεμα αναπτύξει την τελική εφελκυστική αντοχή του.

Η διαμόρφωση της θεμελίωσης σε κιβώτιο προσφέρει και άλλα πλεονεκτήματα, που δεν τα συλλαμβάνει η συνήθης ανάλυση για τις σεισμικές δράσεις:

- Τα σεισμικά κύματα φθάνουν στα διάφορα σημεία της βάσης του δομήματος με (χρονική) διαφορά φάσης και με άλλες τυχαίες διαφορές από σημείο σε σημείο. Αν το σύστημα θεμελίωσης είναι ενιαίο, τότε οι διαφορές των σεισμικών κυμάτων στη θεμελίωση διαφορετικών στοιχείων δεν εισέρχονται στην κατασκευή για να δημιουργήσουν διαφορική ένταση σ' αυτήν: η ενιαία θεμελίωση λειτουργεί ως φίλτρο που ομοιομορφοποιεί τη σεισμική διέγερση, αφαιρώντας απ' αυτήν τοπικά και χρονικά ακρότατα (αιχμές επιταχύνσεων, κ.λ.π.) και ιδιαίτερα τις υψίσυχνες συνιστώσες της. Η τελική σεισμική διέγερση που εισέρχεται στη βάση του δομήματος είναι ο μέσος όρος σε κάθε χρονική στιγμή της διέγερσης σ' όλη την (κατακόρυφη και

οριζόντια) επιφάνεια επαφής εδάφους-συστήματος θεμελίωσης. Όσο πιο ογκώδες είναι το ενιαίο σύστημα θεμελίωσης, τόσο μικρότερη η τελική σεισμική διέγερση. Γι αυτό και κτίρια με γενική κοιτόστρωση ή υπόγεια υπόκεινται σε μικρότερη σεισμική δράση, γεγονός που αντανακλά ο μειωτικός συντελεστής θ του ΕΑΚ 2000. Ο Ευρωκώδικας 8 δεν περιλαμβάνει αντίστοιχο μειωτικό συντελεστή.

- Αν το σύστημα ανωδομή-θεμελίωση είναι πιο δύσκαμπτο από τα εδαφικά στρώματα στα οποία εδράζεται (συγκεκριμένα, αν η θεμελιώδης ιδιοπερίοδός του είναι μικρότερη απ' αυτήν του εδαφικού στρώματος, που καθορίζει και την κρατούσα περίοδο της σεισμικής διέγερσης) και επιπλέον το σύστημα θεμελίωσης είναι ενιαίο και δύσκαμπτο, τότε το ταλαντούμενο δόμημα ακτινοβολεί πίσω (επανεξάγει) ένα τμήμα της σεισμικής ενέργειας που εισέρχεται μέσω της βάσης του, αντί να το εγκλωβίζει μαζί με την υπόλοιπη ενέργεια ταλάντωσής του (“απόσβεση μέσω ακτινοβολίας”). Έτσι η τελική του ταλάντωση μειώνεται.
- Αν το κτίριο θεμελιώνεται πάνω σε (άγνωστο) σεισμικά ενεργό ρήγμα, θεμελίωση μορφής κιβωτίου θα επιτρέψει στο κτίριο να ανταπεξέλθει χωρίς κατάρρευση – και ενδεχομένως με ελάχιστες σοβαρές βλάβες – τυχόν οριζόντια και/ή κατακόρυφη σχετική μετατόπιση των δύο τεμαχίων του ρήγματος κάτω από τη θεμελίωση (βλ. Σχ. 3.18 από το ρήγμα που γέννησε το σεισμό του Kobe).



Σχ. 3.18 Επιφανειακή εμφάνιση ρήγματος που γέννησε το σεισμό του Kobe (1995), διά της θεμελίωσης κτιρίου.

3.3.4 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Επειδή η θεμελίωση είναι το σημαντικότερο για την ασφάλεια και το δυσκολότερο να

ελεγχθεί μετά από ένα σεισμό και να επισκευασθεί τμήμα ενός κτιρίου ή γενικά δομήματος, κατά κανόνα διαστασιολογείται για σεισμικά εντατικά μεγέθη που προκύπτουν με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό, έτσι ώστε το έδαφος και τα στοιχεία θεμελίωσης να παραμένουν ελαστικά όταν και αφού αναπτυχθεί στην ανωδομή ο πλαστικός μηχανισμός που αντιστοιχεί στην αντοχή της.

Διατάξεις ικανοτικού σχεδιασμού της θεμελίωσης κτιρίων περιλαμβάνουν ο Ευρωκώδικας 8 και ο ΕΑΚ 2000. Κατά τους δύο αυτούς κανονισμούς, η σεισμική ένταση E_E που προκύπτει από την ανάλυση για μεμονωμένα στοιχεία θεμελίωσης πολλαπλασιάζεται επί ένα συντελεστή μεγέθυνσης ίσο με γ_{Rd} επί το λόγο της ροπής αντοχής M_{Rd} της πλησιέστερης προς τη θεμελίωση διατομής του κατακορύφου στοιχείου όπου μπορεί να αναπτυχθεί πλαστική άρθρωση (για την αξονική δύναμη από την ανάλυση), προς τη σεισμική ροπή που προκύπτει εκεί από την ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού, M_{Ed} . Ο συντελεστής υπεραντοχής γ_{Rd} προσφέρει πρόσθετο περιθώριο ασφαλείας. Στον ΕΚΟΣ 2000 και στον Ευρωκώδικα 8 έχει τιμή 1.2. (Μάλιστα, στον ΕΑΚ 2000 αφαιρείται από το $\gamma_{Rd}M_{Rd}$ η ροπή λόγω $G+\psi_2Q$, με το πρόσημό της). Η σεισμική ένταση που πολλαπλασιάζεται επί $\gamma_{Rd}M_{Rd}/M_{Ed}$ περιλαμβάνει τις λόγω σεισμού αντιδράσεις στην επιφάνεια επαφής πεδίλου-εδάφους (που υπεισέρχονται στον έλεγχο του εδάφους θεμελίωσης και στη διαστασιολόγηση του πεδίλου) και όλα τα εντατικά μεγέθη των συνδετηρίων δοκών στο άκρο σύνδεσής τους με το πέδιλο.

Στον ικανοτικό σχεδιασμό της θεμελίωσης χρησιμοποιείται η τιμή του λόγου M_{Rd}/M_{Ed} που είναι η ελάχιστη ανάμεσα από τις δύο κύριες διευθύνσεις κάμψης του στοιχείου για την υπόψη οριζόντια διεύθυνση και φορά της σεισμικής δράσης, καθώς αυτή είναι που χαρακτηρίζει την πλαστική άρθρωση που θα σχηματισθεί τότε στην κρισιμότερη διατομή του κατακορύφου στοιχείου. Πληροφοριακά αναφέρεται ότι ο ίδιος κανόνας ισχύει και για τα (μεμονωμένα) στοιχεία θεμελίωσης υποστυλωμάτων μεταλλικών ή συμμίκτων (από χάλυβα και σκυρόδεμα) πλαισίων. Σε πλαίσια από τα υλικά αυτά με κεντρικούς διαγωνίους συνδέσμους, αντί του ελάχιστου λόγου M_{Rd}/M_{Ed} στην πλησιέστερη διατομή πλαστικής άρθρωσης του πλαισίου, χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή του λόγου εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού, $N_{pl,Rd}$, προς αντίστοιχη εφελκυστική σεισμική δύναμη, N_{Ed} , ανάμεσα σ' όλες τις εφελκυσόμενες διαγωνίους του πλαισίου. Αν οι διαγώνιοι σύνδεσμοι του πλαισίου δεν είναι κεντρικοί αλλά έκκεντροι, χρησιμοποιείται, αντί του M_{Rd}/M_{Ed} ή του $N_{pl,Rd}/N_{Ed}$, η ελάχιστη τιμή του λόγου της τιμής σχεδιασμού της πλαστικής αντίστασης σε τέμνουσα, $V_{pl,Rd}$, ή σε ροπή, $M_{pl,Rd}$, προς την αντίστοιχη σεισμική ένταση, V_{Ed} ή M_{Ed} , ανάμεσα σ' όλες τις ζώνες πλάστιμες παραμόρφωσης – σε

διάτμηση ή κάμψη αντίστοιχα – του πλαισίου με τους έκκεντρους συνδέσμους.

Αν περισσότερα από ένα κατακόρυφα στοιχεία θεμελιώνονται σε κοινό στοιχείο θεμελίωσης (π.χ. κοινό πέδιλο, πεδιλοδοκό ή σύστημα θεμελίωσης μορφής κιβωτίου για το σύνολο του κτιρίου) τότε κατά τον Ευρωκώδικα 8 εφαρμόζεται κοινός μεγεθυντικός συντελεστής ίσος με την τιμή του $\gamma_{Rd}M_{Rd}/M_{Ed}$ σε εκείνο από τα κατακόρυφα στοιχεία που θεμελιώνονται που έχει τη μεγαλύτερη σεισμική τέμνουσα για την υπόψη διεύθυνση και φορά της σεισμικής δράσης. Ο ΕΑΚ 2000 ορίζει ότι ο λόγος M_{Rd}/M_{Ed} καθορίζεται τότε από την πλαστική άρθρωση της ανωδομής που έχει την υψηλότερη τιμή M_{Ed} . Οι ίδιοι Κανονισμοί επιτρέπουν εναλλακτικά πολλαπλασιασμό της σεισμικής έντασης επί μία σταθερή τιμή, συγκεκριμένα επί 1.4 στον Ευρωκώδικα 8, ή επί 1.35 στον ΕΑΚ 2000. Ο σταθερός πολλαπλασιαστικός συντελεστής δεν καλύπτει πλήρως την ενδεχόμενη υπεραντοχή της ανωδομής, επειδή θεωρείται ότι είναι απίθανο το σύνολο των κατακορύφων στοιχείων που θεμελιώνονται από κοινού να σχηματίσουν ταυτόχρονα πλαστική άρθρωση στη βάση τους.

Εφόσον τα στοιχεία θεμελίωσης διαστασιολογούνται για ικανοτική ένταση σύμφωνα με τα παραπάνω, αναμένεται να παραμείνουν στην ελαστική περιοχή κατά την ανελαστική απόκριση της ανωδομής. Επομένως δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοσθούν σ' αυτά οι κανόνες λεπτομερειών όπλισης για πλαστιμότητα των μελών, ούτε οι κανόνες ικανοτικού σχεδιασμού μελών σε διάτμηση, κ.λ.π. Ο Ευρωκώδικας 8 απαλλάσσει από την εφαρμογή των κανόνων αυτών τις συνδετήριες δοκούς ή πεδιλοδοκούς, καθώς και τις δοκούς, τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα συστημάτων θεμελίωσης τύπου κιβωτίου (που αποτελείται από περιμετρικά τοιχώματα, πάνω πλάκα και εσχάρα δοκών ή πλάκα κοιτόστρωσης κάτω) εφόσον αυτά διαστασιολογούνται συνολικά για ικανοτική σεισμική ένταση με βάση την αντοχή της ανωδομής.

Ο Ευρωκώδικας 8 δεν απαιτεί υποχρεωτικά διαστασιολόγηση των στοιχείων του συστήματος θεμελίωσης για ικανοτική ένταση. Στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να αποκλεισθεί η ανελαστική σεισμική απόκριση του συνόλου ή τμήματος του συστήματος θεμελίωσης. Για το λόγο αυτό ο Ευρωκώδικας 8 απαιτεί να εφαρμόζονται σ' όλα τα στοιχεία θεμελίωσης που δεν διαστασιολογούνται ικανοτικά με βάση την ένταση της ανωδομής, οι κανόνες ικανοτικού σχεδιασμού σε διάτμηση, κατασκευαστικής διαμόρφωσης και λεπτομερειών όπλισης που ισχύουν για τα πλάστιμα στοιχεία της ανωδομής.

Εάν το δόμημα συνολικά σχεδιάζεται για αντοχή και όχι για πλαστιμότητα, όπως συμβαίνει στα κτίρια της Χαμηλής Κατηγορίας Πλαστιμότητας (L) του Ευρωκώδικα 8

και στα κτίρια “χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας” του ΕΚΟΣ 2000 / ΕΑΚ 2000 τα οποία σχεδιάζονται με $q \leq 1.5$, δεν εφαρμόζεται σε κανένα επιμέρους τμήμα του ικανοτικός σχεδιασμός. Επομένως ούτε και στη θεμελίωση.

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην Υποενότητα 3.3.3, σύστημα θεμελίωσης μορφής κιβωτίου από:

- περιμετρικές – ή εσωτερικές – υψίκορμες πεδιλοδοκούς καθ’ όλο το μήκος της κάτοψης,
- συνδετήρια πάνω πλάκα στην πάνω στάθμη των υψίκορμων πεδιλοδοκών καθ’ όλη την έκταση της κάτοψης, και
- συνδετήρια κάτω πλάκα ή εσχάρα εσωτερικών συνδετηρίων δοκών ή πεδιλοδοκών στην κάτω στάθμη των υψίκορμων πεδιλοδοκών,

μεταφέρει στο έδαφος το σύνολο της σεισμικής έντασης. Ετσι, ανεξάρτητα από το αν η διαστασιολόγηση αυτού του κιβωτίου γίνεται με ικανοτική ένταση (που μπορεί απλώς να σημαίνει πολλαπλασιασμό της σεισμικής του έντασης από την ανάλυση επί σταθερό συντελεστή 1.4 κατά τον Ευρωκώδικα 8, ή επί 1.35 κατά ΕΑΚ 2000), ή όχι, το τμήμα των εσωτερικών υποστλωμάτων που εμπίπτει μέσα σ’ αυτό το κιβώτιο (δηλαδή στο υπόγειο), καθώς και οι δοκοί της πάνω πλάκας του κιβωτίου (δοκοί οροφής υπογείου) δεν θα ενταθούν σημαντικά από το σεισμό, δηλαδή θα παραμείνουν στην ελαστική περιοχή. Γι’ αυτό, τόσο ο Ευρωκώδικας 8 όσο και ο ΕΑΚ 2000 απαλλάσσουν αυτά τα στοιχεία από τις απαιτήσεις κατασκευαστικής διαμόρφωσης και λεπτομερειών όπλισης για αντισεισμικότητα, καθώς και από τον ικανοτικό σχεδιασμό με διάτμηση (επιτρέπουν δηλαδή την εφαρμογή των κανόνων της Χαμηλής Κατηγορίας Πλαστιμότητας του Ευρωκώδικα 8, ή αυτών για στοιχεία “χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας” του ΕΑΚ 2000). Όμως, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη διαστασιολόγηση και κατασκευαστική διαμόρφωση και όπλιση του τμήματος τοιχωμάτων της ανωδομής που βρίσκεται μέσα στο ύψος του κιβωτίου της θεμελίωσης, καθότι τα τοιχώματα αυτά μεταφέρουν στη θεμελίωση το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής έντασης της ανωδομής, σχηματίζοντας πλαστική άρθρωση στη στάθμη της πάνω πλάκας του κιβωτίου (οροφή υπογείου). Για το λόγο αυτό, ο Ευρωκώδικας 8 απαιτεί να θεωρείται κρίσιμη περιοχή των τοιχωμάτων, ύψους h_{cr} , όχι μόνο από τη στάθμη της πάνω πλάκας του κιβωτίου και πάνω, αλλά και από την ίδια στάθμη και κάτω και να εφαρμόζονται εκεί οι ειδικοί κανόνες για την τοπική πλαστιμότητα τοιχωμάτων σε κάμψη. Και τούτο, ανεξάρτητα του αν το τμήμα του ύψους του τοιχώματος μέσα στο υπόγειο ενσωματώνεται στην περιμετρική (ή σε

ενδιάμεση) υψίκορμη πεδילוδοκό του κιβωτίου θεμελίωσης, ή εκτείνεται ελεύθερα μεταξύ πάνω και κάτω πλάκας (ή εσχάρας δοκών) του κιβωτίου. Στην περίπτωση που εσωτερικό τοίχωμα διατρέχει ελεύθερα το ύψος του κιβωτίου θεμελίωσης, το ύψος του αυτό θα πρέπει να διαστασιολογηθεί σε διάτμηση για ικανοτική τέμνουσα, που αντιστοιχεί σε ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης στη στάθμη της πάνω πλάκας του κιβωτίου και μηδενική ροπή στη στάθμη της κάτω πλάκας – επί συντελεστή $\gamma_{Rd}=1.1$ για Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (M) κατά τον Ευρωκώδικα 8, ή $\gamma_{Rd}=1.2$ για Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή (H).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 3

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, “Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός”, ΦΕΚ 2184 Β/20-12-1999 & ΦΕΚ Β/18-6-2003.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2000. “Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Εργων από Σκυρόδεμα”, ΦΕΚ 1329Β/6-11-2000.

BSSC, 2000. NEHRP "Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary". Building Seismic Safety Council for Federal Emergency Management Agency (FEMA Reports 368 & 369), Washington, D.C.

CEN, 2004. European Standard EN 1998-1: “Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, Seismic actions and rules for buildings”, Comite Europeen de Normalisation, Bruxelles, 2004.

CEN, 2004. European Standard EN 1998-5: “Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 5: Foundations, Retaining Structures, Geotechnical Aspects”, Comite Europeen de Normalisation, Bruxelles, 2004.

ATC, "Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. FEMA 306: Basic Procedures Manual. FEMA 307: Technical Resources", Prepared by: Applied Technology Council for Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C., 1998.

Japan Building Disaster Prevention Association, 1977: "Standard for evaluation of seismic capacity and guidelines for seismic retrofit design of existing reinforced concrete buildings". (revised 1990).

SEAOC, "Recommended lateral force requirements and commentary", Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, Sacramento, Ca, 1999.

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΟΡΩΝ (συμπληρωματικός αυτού Κεφ. 1 και 2)

Ακτίνα αδρανείας μάζας ορόφου, I_s (radius of gyration of floor mass): Τετραγωνική ρίζα του λόγου της δευτεροβάθμιας ροπής της μάζας του ορόφου ως προς το γεωμετρικό της κέντρο, δια της μάζας του ορόφου.

Ακτίνα δυστρεψίας ορόφου κατά την οριζόντια διεύθυνση X (ή Y), r_x (ή r_y) (torsional radius of stiffness): Τετραγωνική ρίζα του λόγου του αθροίσματος των $y^2I_x + x^2I_y$ των κατακορύφων στοιχείων ορόφου ως προς το κέντρο τους (κέντρο ελαστικής στροφής), προς το άθροισμα των I_y (ή I_x αντίστοιχα). Ακριβέστερα, ρίζα του λόγου της μετακίνησης κατά X (ή Y αντίστοιχα) του κέντρου ελαστικής στροφής του ορόφου κατά την εφαρμογή στο δομικό σύστημα του συνόλου των οριζοντίων σεισμικών δυνάμεων, προς τη γωνία στροφής περί κατακόρυφο άξονα δια του σημείου αυτού που προκαλείται από την εφαρμογή στο δομικό σύστημα ροπών περί τον άξονα αυτόν αριθμητικά ίσων με τις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις.

Διάφραγμα (diaphragm): Οριζόντιο ή περίπου οριζόντιο σύστημα, εύκαμπτο ή δύσκαμπτο, που συνδέει μεταξύ τους τα στοιχεία του συστήματος ανάληψης της σεισμικής δράσης και μεταφέρει σ' αυτά τις αδρανειακές δυνάμεις. Σε κτίρια ρόλο διαφραγμάτων παίζουν τα πατώματα και το δώμα.

Δομικό σύστημα ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων (system of large lightly reinforced walls): Κατά τον Ευρωκώδικα 8, Μέρος 1: Σύστημα στο οποίο το σύνολο σχεδόν της σεισμικής δράσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα με μεγάλη διάσταση στην οριζόντια διεύθυνση που μας ενδιαφέρει (συμβατικά $l_w \geq 4m$), τα οποία σχεδιάζονται όχι για απορρόφηση σεισμικής ενέργειας σε μία πλαστική άρθρωση στη βάση τους, αλλά για προσωρινή μετατροπή της σε δυναμική ενέργεια μέσω ανύψωσης των μαζών που στηρίζονται στα τοιχώματα, κατά τη λίκνιση των τελευταίων ως προς το έδαφος και/ή την κάμψη τους ως κατακόρυφοι πρόβολοι με ρηγμάτωση και διαρροή στις διατομές του τοιχώματος στις στάθμες των ορόφων.

Κέντρο αντίστασης ορόφου (storey centre of resistance): Σημείο στην κάτοψη του ορόφου απ' όπου διέρχεται η συνισταμένη των τεμνουσών των κατακορύφων στοιχείων του ορόφου όταν αυτά (ή τα οριζόντια στοιχεία με τα οποία συνδέονται) έχουν φθάσει τη διαρροή τους, λόγω σεισμικής δράσης που δρα χωριστά κατά τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις της κάτοψης.

Κέντρο δυσκαμψίας ορόφου (storey stiffness centre): Σημείο στην κάτοψη του ορόφου απ' όπου διέρχεται η συνισταμένη των κατακορύφων στοιχείων του ορόφου κατά

την ελαστική φάση της απόκρισης σε σεισμική δράση που δρα χωριστά κατά τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις της κάτοψης, προκαλώντας μόνον παράλληλη μετάθεση (χωρίς στροφή περί κατακόρυφο άξονα).

Κέντρο μάζας ορόφου (storey mass centre): Γεωμετρικό κέντρο μαζών ορόφου, μέσω του οποίου δρα η συνισταμένη των αδρανειακών δυνάμεων λόγω παράλληλης μετάθεσης του ορόφου (χωρίς στροφή περί κατακόρυφο άξονα).