

## Πλήρης και μερική αντισεισμική προστασία κτηρίων

### 1. Η ισχύουσα φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού και οι λόγοι που την καθιέρωσαν

Η ιδιαιτερότητα της σεισμικής δράσης έναντι των υπόλοιπων επιπονήσεων στις οποίες πρέπει να αντέξει μια κατασκευή συνίσταται στα εξής :

(α) Οι πολύ υψηλές σεισμικές επιταχύνσεις (δυνάμεις) που ενδέχεται να δεχθεί μια κατασκευή έχουν σχετικά μικρή πιθανότητα εκδήλωσης κατά τη συμβατική διάρκεια ζωής της κατασκευής λόγω της γενικώς μεγάλης γεωγραφικής διασποράς των υψηλών σεισμικών εντάσεων.

(β) Οι συντελεστές που καθορίζουν τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών είναι πολυάριθμοι και εν μέρει πιθανοτικού χαρακτήρα (άγνωστη η διεύθυνση του σεισμού, άγνωστο το ακριβές περιεχόμενο συχνοτήτων της σεισμικής διέγερσης, άγνωστη η διάρκειά της, κ.ά.).

Στον *τυχηματικό* αυτό χαρακτήρα της σεισμικής δράσης οφείλεται το γεγονός, ότι οι καταστρεπτικοί σεισμοί αποτελούν μία μάλλον σπάνια επιπόνηση ενός πολύ μικρού ποσοστού του συνολικού αριθμού κτηρίων μιας χώρας. Για τον λόγο αυτό, η απαίτηση να κατασκευάζονται όλα τα κτήρια έτσι ώστε να αντέχουν *χωρίς καμιά βλάβη* στον αναμενόμενο σεισμό σχεδιασμού (με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια), δηλαδή η απαίτηση κατασκευής κτηρίων με **πλήρη αντισεισμική προστασία**, θεωρείται οικονομικά επαχθής, διότι θα απαιτούσε υπερβολική μεταφορά πόρων από άλλους τομείς ζωτικής σημασίας για το κοινωνικό σύνολο. Πέραν τούτου, η πλήρης αντισεισμική προστασία πιστεύεται ότι θα οδηγούσε σε υπερβολικά ογκώδεις και άρα αντιαισθητικές κατασκευές με ενδεχομένως μειωμένη λειτουργικότητα.

Για τους λόγους αυτούς επιδιώκεται ένας συγκερασμός οικονομίας και ηθικής (προστασία ανθρώπινης ζωής) και η επίτευξη ενός οικονομικά και ψυχολογικά αποδεκτού επιπέδου ασφάλειας, στα πλαίσια του οποίου εγκαταλείπεται για τις συμβατικές κατασκευές «κανονικού» κινδύνου η επιδίωξη πλήρους αντισεισμικής προστασίας και γίνεται αποδεκτή η εμφάνιση βλαβών (**μερική αντισεισμική προστασία**). Η διεθνώς ισχύουσα αυτή στρατηγική ή φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού, που θεωρείται γενικώς ως κοινωνικά και ηθικά αποδεκτή και αποτελεί τη βάση των σύγχρονων Αντισεισμικών Κανονισμών, συνοψίζεται στις εξής θεμελιώδεις απαιτήσεις (βλ. ΕΑΚ 2000, παράγρ. 1.2) :

- Για μικρής έντασης σεισμούς η κατασκευή πρέπει να παραμείνει *ελαστική* (ανυπαρξία βλαβών).
- Για μέσης έντασης σεισμούς γίνονται αποδεκτές βλάβες, αλλά μόνο σε μη φέροντα στοιχεία.
- Για ισχυρούς σεισμούς (μέγιστος αναμενόμενος *σεισμός σχεδιασμού* με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη) γίνονται αποδεκτές περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό, αλλά η πιθανότητα μερικής ή ολικής κατάρρευσης πρέπει να είναι επαρκώς μικρή.

Με την υπό τον σεισμό σχεδιασμού αποδοχή βλαβών, οι οποίες θεωρούνται ελέγξιμες ως προς το είδος τους (πλάστιμες, όχι φαθυρές) και την κατανομή τους στον φέροντα σκελετό (αξιόπιστοι ελαστοπλαστικοί μηχανισμοί κατέρρευσης), πιστεύεται ότι καταναλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης στην

κατασκευή σεισμικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτόν, επιτρέπεται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό για συνήθεις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα η μείωση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής επιπόνησης (επιταχύνσεις σχεδιασμού, σεισμικά φορτία) κατά τριετήμιση φορές (διαίρεση διά του συντελεστή συμπεριφοράς  $q=3.5$ ). Αυτό σημαίνει αντίστροφα, ότι αν θέλουμε πλήρη αντισεισμική προστασία (δηλ., η κατασκευή να παραμένει ελαστική, χωρίς βλάβες), θα πρέπει να την μελετήσουμε και υπολογίσουμε για φορτία αυξημένα κατά 350% (τριακόσια πενήντα τοις εκατό) έναντι εκείνων του Κανονισμού.

## 2. Λόγοι αμφισβήτησης της ισχύουσας φιλοσοφίας αντισεισμικού σχεδιασμού

Οι καταστροφικότεροι σε ανθρώπινα θύματα και οικονομικές ζημιές σεισμοί των τελευταίων ετών (*Northridge / Καλιφόρνια* 1994, *Kobe / Ιαπωνία* 1995, Αθήνα 1999), αλλά και παλαιότερα, προβλημάτισαν τη διεθνή επιστημονική κοινότητα ως προς την επάρκεια της παραπάνω σκιαγραφηθείσας ισχύουσας φιλοσοφίας αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών (βλ. Δ. Μπαϊρακτάρης, “Οι αντισεισμικοί κανονισμοί:μετεξέλιξη ή τομή;”, Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ, τεύχ. 1607, 12 Μαρτίου 1990, σελ. 16-39, καθώς και Ο. G. de Pineres, “A safer earthquake design approach”, Civil Engineering, ASCE, May 1987, pp. 52-54). Διότι η επιτυχία της στρατηγικής αυτής, ιδιαίτερα όσον αφορά το κρίσιμο ζήτημα αποκλεισμού της κατάρρευσης, είναι φανερό ότι στηρίζεται σε δύο βασικές προϋποθέσεις:

- (α) Στην αξιοπιστία των σεισμολογικών δεδομένων, όσον αφορά τις μέγιστες αναμενόμενες σεισμικές δράσεις (δηλ. τον σεισμό σχεδιασμού), και
- (β) Στην υψηλή και ελεγχόμενη ποιότητα όλων των «κρίκων» της αλυσίδας παραγωγής κτηριακών έργων (υλικά-μελέτη-επίβλεψη-κατασκευή-συντήρηση).

Όσον αφορά στον ελληνικό χώρο, οι καταστροφικοί σεισμοί της τελευταίας 20ετίας (Θεσσαλονίκη 1978, Αλκυονίδες 1981, Καλαμάτα 1986, Κοζάνη 1995, Αίγιο 1995, Αθήνα 1999) κατέστησαν ηλίου φαεινότερον, ότι οι προϋποθέσεις αυτές δεν υφίστανται :

- (Α) Οι προβλεπόμενες από τους σεισμολόγους μέγιστες αναμενόμενες επιταχύνσεις φαίνεται ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης πολύ μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη 10% στα 50 έτη, πιθανώς επειδή ουσιαστικά στηρίζονται σε δεδομένα του παρελθόντος και έτσι η αξιοπιστία τους για το μέλλον είναι μικρή.
- (Β) Η απαιτούμενη υψηλή ποιότητα κατασκευής του φέροντα «αντισεισμικού» σκελετού των κτηρίων δεν είναι διασφαλισμένη και οι κακοτεχνίες είναι - ελλείψει ουσιαστικού ελέγχου κατά την κατασκευή - συχνότερες.

Λόγω του (Β), αλλά και της ουσιαστικής αδυναμίας αξιόπιστης εκτίμησης των αναμενόμενων πλαστικών παραμορφώσεων, κλονίζεται σοβαρότατα το επιχείρημα της ελεγχιμότητας των βλαβών που εμφανίζονται κατά τον σεισμό σχεδιασμού, κατά τον οποίο η κατασκευή θα έχει «καταναλώσει» όλα σχεδόν τα αποθέματα αντοχής της (προκειμένου να μειωθούν τα σεισμικά φορτία κατά τριετήμιση φορές σύμφωνα με την ισχύουσα στρατηγική αντισεισμικού σχεδιασμού). Το γεγονός αυτό, συνδυαζόμενο λόγω του (Α) με σεισμικές εντάσεις μεγαλύτερες των αναμενόμενων, μπορεί να αποβεί μοιραίο για την κατασκευή – και έχει αποβεί ήδη μοιραίο για πάμπολλα κτήρια στη χώρα μας, αλλά και αλλού.

Όμως πέραν των παραπάνω, τίθενται και τα ακόλουθα ερωτήματα :

1. Είναι πράγματι οικονομικά επαχθής ο σχεδιασμός κτηρίων με πλήρη αντισεισμική προστασία; Ποιες μελέτες στηρίζουν μια τέτοια άποψη; Και εν πάση περιπτώσει, πόση είναι η οικονομική επιβάρυνση έναντι της σήμερα εφαρμοζόμενης μερικής αντισεισμικής προστασίας;
2. Οδηγεί πράγματι σε ογκώδεις, δυσλειτουργικές και αντιαισθητικές κατασκευές η εφαρμογή της πλήρους αντισεισμικής προστασίας; Ποιες μελέτες στηρίζουν μια τέτοια άποψη;
3. Το προαναφερθέν επιχείρημα, ότι λόγω του *τυχηματικού του* χαρακτήρα ο ισχυρός σεισμός αποτελεί μία μάλλον σπάνια επιπρόσβαση ενός πολύ μικρού ποσοστού του συνολικού αριθμού κτηρίων μιας χώρας, έχει χάσει μερικώς την βαρύτητά του. Διότι η σημερινή υπερσυγκέντρωση πληθυσμού και δραστηριοτήτων σε μεγάλα αστικά κέντρα με πυκνότατη δόμηση και τεράστιες επενδεδυμένες αξίες στις κατασκευές συνεπάγεται σε περίπτωση ισχυρού σεισμού αντίστοιχα μεγάλες καταστροφές.
4. Άσχετα από το ύψος της εξοικονόμησης πόρων που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή της μερικής αντισεισμικής προστασίας έναντι της πλήρους, η Πολιτεία ή το κοινωνικό σύνολο ουδέποτε απαίτησε ρητώς από το σώμα των μηχανικών αυτήν την εξοικονόμηση. Εξάλλου η Πολιτεία, όπως άλλωστε και ο κοινός μη ειδικός πολίτης, ούτε γνωρίζει το πρόβλημα ούτε αντιλαμβάνεται ότι αυτό που σήμερα οι μηχανικοί αποκαλούν «αντισεισμική» κατασκευή είναι «μερικώς αντισεισμική» κατασκευή. Γιατί, λοιπόν, το σώμα των μηχανικών πήρε την αφελή πρωτοβουλία για μια τέτοια εξοικονόμηση (όχι δικών του) πόρων, με αντάλλαγμα μάλιστα τις ευθύνες χωρίς παραγραφή και την δια βίου ποινικοποίηση του επαγγέλματός του ;

### 3. Πρόταση ενός νέου πλαισίου θεώρησης της αντισεισμικής προστασίας κτηρίων

Οι γράφοντες πιστεύουν τα εξής :

- Για τους προαναφερθέντες λόγους (Α) και (Β), η ισχύουσα φιλοσοφία μερικής αντισεισμικής προστασίας των κτηρίων «κανονικού» κινδύνου είναι αναξίοπστη, δυνητικώς επικίνδυνη και τελικώς μη ρεαλιστική.
- Με αυτό ως δεδομένο, η σημειωθείσα κατά τις τελευταίες δεκαετίες άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η δημιουργία μεγάλων αστικών και βιομηχανικών κέντρων με τεράστια οικονομική σημασία για το σύνολο της χώρας και η μη ανοχή από το κοινωνικό σύνολο θυμάτων από σεισμό επιβάλλουν την αναθεώρηση της ισχύουσας φιλοσοφίας αντισεισμικού σχεδιασμού.
- Επιπλέον, όπως μπορεί να τεκμηριωθεί με αριθμητικά παραδείγματα, η πλήρης αντισεισμική προστασία ούτε οικονομικά επαχθής είναι ούτε σε αντιαισθητικές και δυσλειτουργικές κατασκευές οδηγεί κατά κανόνα.
- Τέλος, εν πάση περιπτώσει, το σώμα των μηχανικών ουδένα λόγο έχει να εγκλωβίζεται σε έναν αφελή κοινωνικό αλτρουισμό δήθεν εξοικονόμησης κοινωνικών πόρων εισπράττοντας ως αντίδωρο την δια βίου ποινικοποίηση.

Για τους λόγους αυτούς προτείνεται το παρακάτω νέο πλαίσιο θεώρησης του αντισεισμικού σχεδιασμού κτηρίων, το οποίο διακρίνει δύο επίπεδα αντισεισμικής προστασίας :

(Α) την πλήρη αντισεισμική προστασία, και

(Β) την μερική αντισεισμική προστασία.

Το επίπεδο Β περιλαμβάνει δύο επιλογές :

α. αποδοχή βλαβών μόνο σε μη φέροντα στοιχεία, και

β. αποδοχή βλαβών και σε φέροντα στοιχεία σύμφωνα με την κρατούσα πρακτική, αλλά υπό ορισμένους πρόσθετους όρους.

Η προτεινόμενη αυτή στρατηγική αντισεισμικού σχεδιασμού με δυνατότητες περισσότερων εναλλακτικών επιλογών εκ μέρους του κυρίου του έργου για την επιθυμητή συμπεριφορά της κατασκευής υπό ισχυρό σεισμό εμπίπτει στη λογική ενός αντισεισμικού σχεδιασμού με βάση την «αντισεισμική επίδοση» του κτηρίου, δηλαδή με βάση την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων μηχανικής συμπεριφοράς του κτηρίου, οι οποίοι τίθενται από τον κύριο του έργου και πρέπει να επιτευχθούν μέσα από κατάλληλο σχεδιασμό και υπολογισμό της κατασκευής (performance based design).

### A. Πλήρης αντισεισμική προστασία

Για τον σεισμό σχεδιασμού (όπως αυτός, έστω με μερική μόνο αξιοπιστία, ορίζεται σήμερα) απαιτείται η διασφάλιση ελαστικής ή σχεδόν ελαστικής συμπεριφοράς του κτηρίου (υπολογισμοί με συντελεστή συμπεριφοράς  $q=1$ ). Δεκτές είναι μόνον οι συνήθεις τριχοειδείς ρωγμές σε φέροντα ή μη φέροντα στοιχεία.

Η θεμελιώδης αυτή απαίτηση οδηγεί σε μία σειρά κατασκευαστικών επιλογών με τις εκάστοτε συνέπειές τους. Επιγραμματικά απαριθμούνται οι σημαντικότερες εξ αυτών :

- Η ελαστική συμπεριφορά επιτυγχάνεται με την κατασκευή ικανού αριθμού και μεγέθους τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με ή χωρίς οπές, τα οποία θα κάνουν δυνατή την παραλαβή των κατά 350% αυξημένων σεισμικών φορτίων. Τα τοιχώματα αυτά μπορεί να βρίσκονται στην περίμετρο του κτηρίου (πλην προσόψεων καταστημάτων), να περιβάλλουν το κλιμακοστάσιο και τον ανελκυστήρα (ισχυροί πυρήνες), και ενδεχομένως να αποτελούν εσωτερικά τοιχώματα (π.χ. διαχωρισμού διαμερισμάτων) καθ' όλο το ύψος του κτηρίου.
- Η εμπειρική πύκνωση των συνδετήρων στις κρίσιμες ζώνες (περίσφιξη) είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση, όπως επίσης και η τήρηση των γενικών κανόνων ορθής σύλληψης και σύνθεσης του αντισεισμικού σκελετού (βλ. και παρακάτω παράγραφο 4).
- Η τοποθέτηση πολλών ισχυρών τοιχωμάτων συνεπάγεται βέβαια, λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας τους, σημαντική μείωση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής. Αυτό, σε συνδυασμό και με τη θεώρηση  $q=1$ , οδηγεί σε αντίστοιχα μεγάλη αύξηση των σεισμικών φορτίων της κατασκευής. Εν τούτοις, δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι ακριβώς λόγω των πολλών και ισχυρών τοιχωμάτων αυξάνει πολύ περισσότερο η αντοχή (ή αντίστροφα, μειώνονται τα φορτία διατομής παρά την αύξηση των σεισμικών φορτίων). Προκειμένου να αποκτηθεί μία ποσοτική αίσθηση, ας θεωρήσουμε ένα πλάστιμο ( $q=3.5$ ) κτήριο με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο  $T=0.8$  sec. Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 θα έχουμε :

$$R_{d \text{ μερική}}(T) = \frac{2.5A}{3.5} \left( \frac{0.4}{0.8} \right)^{2/3} \approx 0.45 A$$

Εάν το ίδιο κτήριο το κατασκευάσουμε με ισχυρά τοιχώματα, έτσι ώστε η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του να κυμαίνεται μεταξύ  $T=0.1$  sec και  $T=0.4$  sec, τότε :

$$R_{d \text{ πλήρης}}(T) = 2.5 A$$

Αυτό σημαίνει, ότι για συνήθη πολυώροφα κτήρια μέχρι 10 ορόφους θα έχουμε για πλήρη αντισεισμική προστασία μία μέγιστη αύξηση των σεισμικών φορτίων κατά

$$R_{d\text{ πλήρης}}(T) / R_{d\text{ μερική}}(T) = 5.56 \approx 6$$

δηλαδή περίπου κατά 6 φορές έναντι των σεισμικών φορτίων της σήμερα εφαρμοζόμενης μερικής αντισεισμικής προστασίας. Όμως : Η αντοχή των τοιχωμάτων είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μήκους τους L :

$$R_{d\text{ πλήρης}} / R_{d\text{ μερική}} = (L_{\text{πλήρης}} / L_{\text{μερική}})^2 \approx 6$$

και άρα  $L_{\text{πλήρης}} \approx \sqrt{6} L_{\text{μερική}} = 2.5 L_{\text{μερική}}$

Δηλαδή, για την παραλαβή των αυξημένων φορτίων της πλήρους αντισεισμικής προστασίας αρκεί να αυξήσουμε το μήκος των τοιχωμάτων που προβλέπονται για την μερική αντισεισμική προστασία κατά 2.5 φορές περίπου, απαίτηση που επιτυγχάνεται πολύ εύκολα.

- Σε περίπτωση πάρα πολύ δύσκαμπτων κατασκευών (αρχή του φάσματος σχεδιασμού), η επιτάχυνση εδάφους θα πρέπει να λαμβάνεται ίση με 2A και όχι με A, διότι : (α) λόγω των αναπόφευκτων μικρορηγματώσεων αυξάνει η ιδιοπερίοδος και (β) σε περίπτωση σχεδόν απολύτως στερεάς ανωδομής επί μαλακού εδάφους θα ισχύσει η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης στερεού σώματος επί ελαστικού εδάφους ( $T > 0.20 \text{ sec}$ ).
- Λόγω της εξασφαλιζόμενης ελαστικής συμπεριφοράς του σκελετού οπλισμένου σκυροδέματος, είναι σαφές ότι οι τοιχοποιίες συμμετέχουν πλέον στην παραλαβή του σεισμού, όχι μόνο στο πρώτο στάδιο σεισμικής επιπόνησης ως “πρώτη γραμμή άμυνας”, αλλά καθ’όλη τη διάρκεια της ταλάντωσης του κτηρίου. Η ενεργός συμμετοχή των τοιχοποιϊών μπορεί πλέον να λαμβάνεται προσεγγιστικά υπόψη κατά τον υπολογισμό του κτηρίου με κατάλληλα προσομοιώματα, επαυξάνοντας έτσι την αντοχή του.
- Σε περίπτωση σχετικά υψηλών κτηρίων (δύσκαμπτων όμως λόγω ικανού αριθμού ισχυρών τοιχωμάτων) επί σκληρού εδάφους απαιτείται έλεγχος έναντι ανατροπής και ενδεχομένως λήψη μέτρων αγκύρωσης, ενώ για σχετικά μαλακό εδάφος επιβάλλεται ειδικός έλεγχος θεμελίωσης προς αποφυγή συγκέντρωσης παραμορφώσεων στο έδαφος.
- Το ενδεχόμενο επιχείρημα, ότι τα λόγω των ισχυρών τοιχωμάτων δύσκαμπτα κτήρια που θεμελιώνονται σε σκληρό έδαφος είναι επιρρεπή σε φαινόμενα συντονισμού, δεν έχει περαιτέρω σημασία, διότι τα όποια φαινόμενα τοπικού ή γενικότερου συντονισμού εμπεριέχονται στο φάσμα σχεδιασμού.

Όπως προκύπτει από εκτιμήσεις των υπογραφομένων και όπως άλλωστε σχετικά εύκολα μπορεί να εκτιμηθεί από έμπειρους μηχανικούς-κατασκευαστές, η αύξηση του συνολικού κόστους κατασκευής για πλήρη αντισεισμική προστασία με εκτεταμένη χρήση τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος είναι της τάξης του 5% έναντι της σήμερα υφιστάμενης μερικής αντισεισμικής προστασίας, χωρίς να ληφθεί υπόψη το κόστος των μετασεισμικών επισκευών, η προκύπτουσα κοινωνική αναστάτωση κτλ. . Το ποσοστό αυτό πιστεύουμε ότι είναι άνευ συζητήσεως αποδεκτό από το κοινωνικό σύνολο, δεδομένης της σημασίας του έτσι επιτυγχανόμενου στόχου.

## **B. Μερική αντισεισμική προστασία**

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες λόγω αρχιτεκτονικών ή άλλων δεσμεύσεων (ιδιαίτερα στη ζώνη III και IV) δεν είναι δυνατή η κατασκευή επαρκούς αριθμού τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος για την επίτευξη ελαστικής συμπεριφοράς, μπορούν να επιλέγονται οι εξής εναλλακτικές λύσεις :

*α. Ημιπλάσιμη κατασκευή με  $q \leq (1/2)q_{max}$*

- Στην περίπτωση αυτή επιτρέπονται βλάβες μόνον σε μη φέροντα στοιχεία (τοιχοποιίες).

*β. Πλάσιμη κατασκευή με  $q > (1/2) q_{max}$*

- Στην περίπτωση αυτή, που ουσιαστικά εκφράζεται από την ισχύουσα φιλοσοφία σχεδιασμού, επιτρέπονται βλάβες και σε φέροντα στοιχεία, με αποκλεισμό όμως της κατάρρευσης του κτηρίου, αποδεικνυόμενου π.χ. με υπερωθητική (pushover) ανάλυση και όχι αναπόδεικτα όπως ισχύει σήμερα.
- Οποσδήποτε θα απαιτείται εδαφοτεχνική μελέτη στις περιπτώσεις μέτριων ή προβληματικών εδαφών και θα λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα των μικροζωνικών μελετών.
- Οποσδήποτε θα απαιτείται προς έκδοση της οικοδομικής άδειας *υπεύθυνη δήλωση του ιδιοκτήτη* ότι συμφωνεί με την επιλεγείσα στάθμη αντισεισμικής προστασίας και ότι είναι ενήμερος των σχετικών προβλέψεων του Αντισεισμικού Κανονισμού για την υπόψη στάθμη (εμφάνιση βλαβών με μικρή πιθανότητα μη επισκευασιμότητας ή κατάρρευσης).

#### 4. Πλεονεκτήματα της πλήρους αντισεισμικής προστασίας

Ακολούθως συνοψίζονται επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα της πλήρους αντισεισμικής προστασίας :

- Η πλήρης αντισεισμική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα στην πράξη, διότι αφενός καλύπτεται από τις διατάξεις του ισχύοντος Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (βλ. π.χ. ΕΑΚ 2000, παράγρ. 2.3.5[3] και ιδιαίτερα παράγρ. 4.1.4[5]) και αφετέρου δεν δημιουργεί κανένα ειδικό πρόβλημα στην πλειονότητα των συμβατικών κτηρίων που κατασκευάζονται στη χώρα μας.
- Η πλήρης αντισεισμική προστασία ικανοποιεί το αίτημα του κοινωνικού συνόλου για πλήρη αντισεισμική ασφάλεια με πολύ μικρό πρόσθετο κόστος.
- Η ελαστικά σχεδιασμένη κατασκευή, με επαρκή αριθμό τοιχωμάτων και αυξημένη κατά 350% αντοχή ( $q=1$ ), κάθε άλλο παρά ψαθυρή είναι. Αντίθετα, ικανοποιεί απόλυτα την βασική απαίτηση αποφυγής σχηματισμού πλαστικού μηχανισμού ορόφου και διαθέτει πάντοτε έναν συντελεστή πλαστιμότητας της τάξης του 1.5 έως 2 (ο οποίος μπορεί και να αυξηθεί αυξάνοντας την απαραίτητη πάντοτε πύκνωση των συνδετήρων στα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων). Ο παραπάνω **διαθέσιμος** συντελεστής πλαστιμότητας δεν "καταναλώνεται" προκαταβολικά, όπως στην περίπτωση του  $q=3.5$ , αλλά κρατείται ως **εφεδρεία** για την αντιμετώπιση :

(α) πιθανών υπερβάσεων (μέχρι διπλασιασμού) του σεισμού σχεδιασμού του ΕΑΚ 2000,

(β) εδαφικών αβεβαιοτήτων (με ευρεία ή στενή έννοια),

(γ) πιθανών κακοτεχνιών,

(δ) πιθανής αλληλεπίδρασης γειτονικών κτηρίων (κρούσεις) και

(ε) διαφόρων άλλων παραγόντων (κακή συντήρηση, επεμβάσεις ηλεκτρολόγων και υδραυλικών, διαρρυθμίσεις κτλ.)

Δηλαδή, η διαθέσιμη πλαστιμότητα χρησιμοποιείται όχι για την κάλυψη μεγάλου μέρους των θεσμοθετημένων σεισμικών φορτίων, αλλά για την κάλυψη της άγνοιάς μας, όπως προσφυώς επισημαίνεται και σε πρόσφατο άρθρο του καθηγητή Hugo Bachmann (Πολυτεχνείο Ζυρίχης) στο περιοδικό Beton- und Stahlbetonbau (τόμ. 97, 2002, τεύχ. 1, σελ. 47-60).

- Σε κάθε περίπτωση, λόγω του γεγονότος ότι η κατασκευή τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος είναι λιγότερο «επιρρεπής» σε κακοτεχνίες έναντι της κατασκευής υποστυλωμάτων και γενικότερα πλαισίων, το όλο κτήριο γίνεται «ανεκτικότερο» σε πρακτικώς αναπόφευκτες κατασκευαστικές απροσεξίες.
- Η απαίτηση της «μη κατάρρευσης» όχι μόνον ικανοποιείται προφανώς, αλλά επιπλέον είναι και αδύνατη λόγω του συστήματος συζευγμένων ισχυρών τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος. Η ικανότητα παραλαβής κατακόρυφων φορτίων διατηρείται ακόμη και στην περίπτωση ύπαρξης διαμπερών χιαστί ρωγμών. Ο σημαντικός ρόλος των τοιχωμάτων όσον αφορά στην πρόληψη κατάρρευσης τονίζεται ιδιαίτερω και τεκμηριώνεται με αναφορά σε μεγάλη σειρά πραγματικών περιπτώσεων στο άκρως ενδιαφέρον και διδακτικό άρθρο του M. Fintel ("Performance of Buildings with Shear Walls in Earthquakes of the Last Thirty Years", *PCI Journal*, 40(3), May/June 1995, 62-80).
- Η εκτεταμένη χρήση ισχυρών τοιχωμάτων δεν επηρεάζει, γενικά, την αισθητική των κτηρίων ούτε και την λειτουργικότητά τους. Ενδεχομένως μάλιστα αποφεύγονται και ανεπιθύμητες προεξοχές υποστυλωμάτων.
- Λόγω του γεγονότος ότι το κτήριο παραμένει ελαστικό, τα υπολογιστικά γραμμικά και επιφανειακά προσομοιώματα που χρησιμοποιούνται κατά τη μελέτη του είναι κατά πολύ πιο αξιόπιστα από ότι κατά τον σχεδιασμό με μερική αντισεισμική προστασία, όπου γίνονται χονδροειδείς παραδοχές προκειμένου να αποδοθεί μέσω ενός γραμμικού-ελαστικού προσομοιώματος η ελαστοπλαστική συμπεριφορά του πραγματικού φορέα. Βεβαίως, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αποφεύγεται η προσομοίωση δομικών στοιχείων "επιφανειακού χαρακτήρα" (π.χ., χθαμαλά τοιχώματα διατμητικού τύπου με λόγο ύψος/μήκος <math>< 1/2</math>) με ισοδύναμα πλαισιακά μοντέλα και αντ' αυτών να χρησιμοποιούνται κατάλληλα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.
- Σημειώνεται τέλος, ότι η προτεινόμενη οικονομική και απόλυτα αξιόπιστη αύξηση της αντοχής των κτηρίων κατά 350% δεν μπορεί να συγκριθεί ως προς την αποτελεσματικότητά της με άλλου είδους έντονα προβαλλόμενες και από τα ΜΜΕ παρεμβάσεις και υποδείξεις (γεωλογική μελέτη, χαρτογράφηση ρηγμάτων, μικροζωνικές μελέτες κ.λ.π.), των οποίων η αβέβαιη άλλωστε συμβολή δεν υπερβαίνει το 130% έως 150% στην καλύτερη των περιπτώσεων (ένταξη μιας περιοχής στην αμέσως δυσμενέστερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας). Εξάλλου, είναι αξιοπερίεργο και κωμικοτραγικό, ο μεν υπεύθυνος Μηχανικός να μειώνει με ευθύνη του κατά 350% την αντοχή των κτηρίων χωρίς να ρωτήσει τον ιδιοκτήτη, οι δε ανεύθυνοι για τα κτήρια Γεωλόγοι, κλπ., να "βομβαρδίζουν" τους πάντες (ιδιοκτήτες, Υπουργεία, κλπ.) με προτάσεις αμφίβολης βελτίωσης της ασφάλειας των κτηρίων.

## 5. Παράδειγμα ελαστικού υπολογισμού τυπικού γωνιακού κτηρίου

Προς διερεύνηση των πιθανών προβλημάτων κατά την υλοποίηση της πλήρους αντισεισμικής προστασίας επιλύθηκαν για  $q=1$  τα τρία τυπικά πολυώροφα γωνιακά κτήρια (καταστήματα στο ισόγειο, γραφεία ή διαμερίσματα στους ορόφους) που φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα 1 και 2 (με γεωμετρικές απλοποιήσεις, όπως π.χ. αγνόηση ανοιγμάτων θυρών, που δεν επηρεάζουν την ουσία του ζητούμενου).

Η επίλυση έγινε με τη δυναμική φασματική μέθοδο για ταυτόχρονη δράση των δύο οριζοντίων συνιστωσών του σεισμού και τα μεγέθη απόκρισης προσδιορίστηκαν βάσει του σεισμικού συνδυασμού της παραγράφου 4.1.2.1 του ΕΑΚ 2000. Το κτήριο Α (σχήμα 1) υπολογίστηκε για  $\alpha=0.16$  (ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II), το κτήριο Β για  $\alpha=0.24$  (ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας III), ενώ το κτήριο Γ για την μέγιστη προβλεπόμενη από τον ΕΑΚ 2000 ανηγμένη επιτάχυνση εδάφους  $\alpha=0.36$  (ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας IV) . Όπως φαίνεται από τα σχήματα, ακόμη και στην δυσμενέστατη περίπτωση του κτηρίου Γ η επιλογή των εκτεταμένων τοιχωμάτων δεν δημιουργεί ιδιαίτερες δεσμεύσεις στην λειτουργία του κτηρίου και αφήνει ανεπηρέαστη την γενική αισθητική του, ενώ οι διατομές των υποστυλωμάτων δεν ξεφεύγουν από τις συνήθεις διαστάσεις. Διαφαίνεται επίσης, ότι το υπερβάλλον κόστος της κατασκευής των τοιχωμάτων έναντι της κατασκευής των αντιστοίχων πλαισίων με τις τοιχοπληρώσεις τους είναι πολύ μικρό, εάν αναχθεί στο συνολικό κόστος κατασκευής του κτηρίου.

Με βάση τις επιλύσεις των τριών κτηρίων μπορούν να διαπιστωθούν τα εξής :

#### 1. Κτήριο Α (ζώνη II)

Δεν διαπιστώθηκε κανένα ουσιαστικό πρόβλημα.

Με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο  $T_{\theta\epsilon\mu}=0.552$  sec, η αντίστοιχη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού  $R_d(T_{\theta\epsilon\mu})=0.4g$  αντιστοιχεί στον οριζόντιο κλάδο του φάσματος του ΕΑΚ 2000. Ως μέγιστη στροφή και μέγιστη μετατόπιση στην κορυφή του κτηρίου προέκυψαν οι σχετικώς μικρές τιμές  $\max\theta=2.85$  mrad και  $\max u=48.57$  mm αντιστοίχως. Ανάλογα μικρές είναι και οι διαφορικές μετατοπίσεις, γεγονός που σημαίνει ότι προστατεύονται πλήρως οι τοιχοποιίες.

Οι επιλεγείσες διατομές επαρκούν για την παραλαβή των εναπτικών μεγεθών χωρίς να ξεφεύγουν από τις συνήθεις διαστάσεις.

#### 2. Κτήριο Β (ζώνη III)

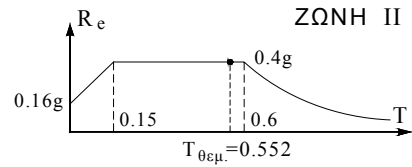
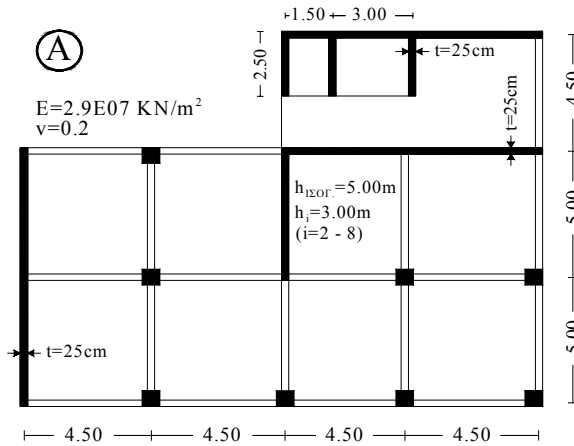
Λόγω της θέσης του κτηρίου Β στην ζώνη III, ο φέρων οργανισμός του ενισχύεται έναντι της προηγούμενης περίπτωσης με ισχυρότερα τοιχώματα. Για λόγους διερεύνησης των δυσμενέστερων συνεπειών δεν ελήφθη ιδιαίτερη μέριμνα αποφυγής ασυμμετριών και εκκεντροτήτων του σκελετού (οι δύο εξωτερικές πλευρές του κτηρίου περιλαμβάνουν μόνον υποστυλώματα).

Με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο  $T_{\theta\epsilon\mu}=0.445$  sec, η αντίστοιχη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού  $R_d(T_{\theta\epsilon\mu})=0.6g$  αντιστοιχεί στον οριζόντιο κλάδο του φάσματος του ΕΑΚ 2000. Ως μέγιστη στροφή και μέγιστη μετατόπιση στην κορυφή του κτηρίου προέκυψαν οι σχετικώς μικρές – προφανώς λόγω των ισχυρότατων τοιχωμάτων - τιμές  $\max\theta=2.87$  mrad και  $\max u=40.36$  mm αντιστοίχως. Ανάλογα μικρές είναι και οι διαφορικές μετατοπίσεις, γεγονός που σημαίνει ότι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση του κτηρίου Α προστατεύονται σχεδόν πλήρως οι τοιχοποιίες.

Οι επιλεγείσες διατομές επαρκούν για την παραλαβή των εναπτικών μεγεθών χωρίς να ξεφεύγουν από τις συνήθεις διαστάσεις.

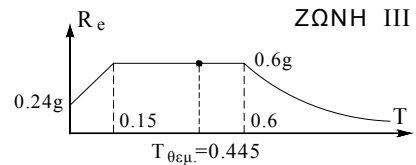
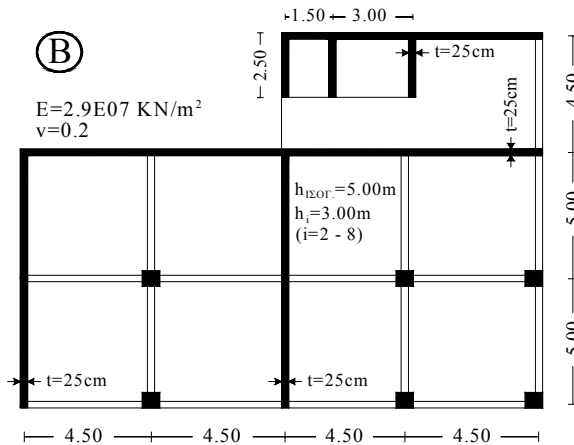
Όμως : Οι κατακόρυφες αντιδράσεις στη βάση του κτηρίου μπορούν λαμβάνουν σε πολλά στοιχεία θετικές τιμές (εφελκυσμός) και απαιτούν ιδιαίτερα μέτρα αγκύρωσης κάνοντας αναγκαίο έναν ειδικό έλεγχο θεμελίωσης.





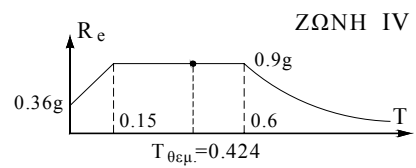
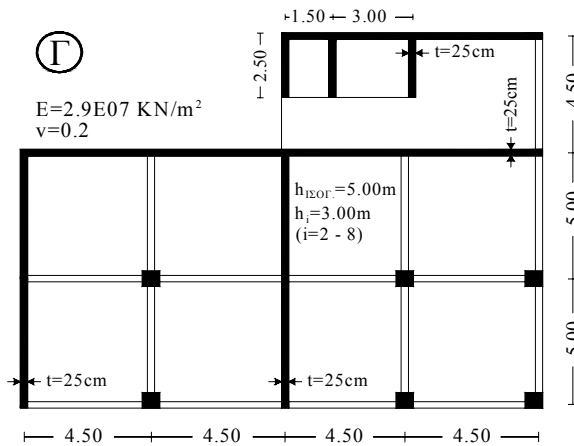
ΣΤΥΛΟΙ: 1ος - 4ος 60/60, 5ος - 8ος 40/40  
ΔΟΚΟΙ: 25/70

$\max u_x=35.88\text{mm}$   
 $\max u_y=48.57\text{mm}$   
 $\max \theta_z=2.85\text{rad}$



ΣΤΥΛΟΙ: 1ος - 4ος 60/60, 5ος - 8ος 40/40  
ΔΟΚΟΙ: 25/70

$\max u_x=36.79\text{mm}$   
 $\max u_y=40.36\text{mm}$   
 $\max \theta_z=2.87\text{rad}$



ΣΤΥΛΟΙ: 1ος 70/70, 2ος - 6ος 60/60, 7ος - 8ος 50/50  
ΔΟΚΟΙ: 1ος - 4ος 30/80, 5ος - 8ος 25/70

$\max u_x=50.35\text{mm}$   
 $\max u_y=55.54\text{mm}$   
 $\max \theta_z=3.89\text{rad}$

### 3. Κτήριο Γ (ζώνη IV)

Πρόκειται για την ακραία περίπτωση ενός 8-ορόφου (!) κτηρίου στη ζώνη IV. Έναντι της προηγούμενης περίπτωσης, ο φέρων οργανισμός περιλαμβάνει τα ίδια τοιχώματα, αλλά έχει ενισχυμένες διατομές υποστυλωμάτων και δοκών.

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτηρίου είναι  $T_{\theta\epsilon\mu}=0.424$  sec και η αντίστοιχη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού παίρνει την υψηλότερη τιμή  $R_d(T_{\theta\epsilon\mu})=0.9g$ . Ως μέγιστη στροφή και την μέγιστη μετατόπιση στην κορυφή του κτηρίου προέκυψαν οι σχετικώς μικρές τιμές  $\max\theta=3.89$  mrad και  $\max u=55.54$  mm αντιστοίχως. Ακόμη και στην ακραία αυτή περίπτωση οι διαφορικές μετατοπίσεις παραμένουν σχετικώς μικρές, προστατεύοντας έτσι σχεδόν πλήρως τις τοιχοποιίες.

Διαπιστώνεται μία σχετική έξαρση των εντατικών μεγεθών στα υποστυλώματα και στις δοκούς του τετάρτου ορόφου και των γειτονικών του, γεγονός που είναι εξηγήσιμο θεωρητικά και οφείλεται στην αλληλεπίδραση του καμπτικού με το διατμητικό υποσύστημα του κτηριακού φορέα. Ο ρόλος του δεύτερου είναι εν προκειμένω σημαντικότερος του συνήθους λόγω των πολύ ισχυρών διατμητικών τοιχωμάτων.

Οι επιλεγείσες διατομές υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων επαρκούν για την παραλαβή των εντατικών μεγεθών, ενώ σε ορισμένες δοκούς του τετάρτου ορόφου και των γειτονικών του ο απαιτούμενος οπλισμός βρίσκεται στα όρια του επιτρεπτού ή και τα υπερβαίνει ελαφρώς.

Οι κατακόρυφες αντιδράσεις στη βάση του κτηρίου μπορούν να λάβουν στα περισσότερα στοιχεία θετικές τιμές (εφελκυσμός), με μεγέθη που απαιτούν ιδιαίτερα μέτρα αγκύρωσης και που οπωσδήποτε κάνουν αναγκαίο έναν ειδικό έλεγχο θεμελίωσης.

Σημειώνεται, ότι στο παρόν παράδειγμα Γ, όπως και στα δύο πρώτα Α και Β, οι τοιχοποιίες δεν ελήφθησαν υπόψη, παρόλο που η μελέτη του κτηρίου για  $q=1$  (ελαστική συμπεριφορά) επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή τους στην παραλαβή του σεισμού. Σε περίπτωση που με τη βοήθεια κατάλληλων (απλών) προσομοιωμάτων ληφθούν υπόψη οι τοιχοποιίες, οι διαπιστωθείσες ανεπάρκειες ή σχεδόν ανεπάρκειες κατά την διαστασιολόγηση θα εξαλειφθούν. Το ίδιο θα συμβεί αν επιλεγεί φέρων οργανισμός με μικρές μόνον ασυμμετρίες. Θα παραμείνει βέβαια το πρόβλημα των εφελκυστικών αντιδράσεων στη βάση του κτηρίου και η αναγκαιότητα ειδικών ελέγχων θεμελίωσης και μέτρων αγκύρωσης.

Συνοψίζοντας, μπορεί να ειπωθεί, ότι η πλήρης αντισεισμική προστασία δεν φαίνεται να δημιουργεί κανένα ιδιαίτερο πρόβλημα στη ζώνη II και κατά συνέπεια και στη ζώνη I. Επίσης, φαίνεται ότι μπορεί να εφαρμοσθεί ενδεχομένως και στη ζώνη III. Αντίθετα, στη ζώνη IV εμφανίζονται προβλήματα, κυρίως όσον αφορά την παραλαβή εφελκυστικών δυνάμεων στη βάση του κτηρίου. Στις περιπτώσεις που η αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων είναι τεχνικώς δυσχερής ή ιδιαιτέρως αντισυμβατική, η πλήρης αντισεισμική προστασία μπορεί να δώσει τη θέση της στην μερική αντισεισμική προστασία (πλάστιμη ή ημιπλάστιμη κατασκευή). Εν πάση περιπτώσει, την τελική απόφαση εν προκειμένω δεν πρέπει να πάρει μόνος του ο μηχανικός, αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η βούληση του ιδιοκτήτη με τις συνακόλουθες οικονομικές επιπτώσεις.

## 6. Αντί επιλόγου

Το κοινωνικό σύνολο ζει με την ψευδαίσθηση ότι οι πολιτικοί μηχανικοί υπολογίζουν και γενικότερα μελετούν τις κατασκευές έτσι ώστε αυτές να είναι σε θέση να αντέξουν επιπονήσεις από ισχυρούς σεισμούς χωρίς να υποστούν καμία βλάβη. Οι συμπολίτες μας έχουν δηλαδή σχεδόν στο σύνολό τους την λανθασμένη πεποίθηση, ότι «αντισεισμική κατασκευή» σημαίνει «σεισμικά άτρωτη κατασκευή». Αγνοούν έτσι το ισχύον θεσμικό πλαίσιο (Αντισεισμικός Κανονισμός) και την εφαρμοζόμενη καθιερωμένη φιλοσοφία αντισεισμικού σχεδιασμού, που όχι μόνον αποδέχεται βλάβες από ισχυρό σεισμό, αλλά δεν αποκλείει ακόμη και την πιθανότητα κατάρρευσης μιας κατασκευής (NEAK 1995 και ΕΑΚ 2000, παράγρ. 1.2.1 : «Η πιθανότητα κατάρρευσης του δομήματος (ή τμημάτων του) πρέπει να είναι επαρκώς μικρή ...»). Στην λανθασμένη αυτή πεποίθηση του κοινωνικού συνόλου στηρίζεται και η ευκολία με την οποία δαιμονοποιούνται από πολιτικούς και ΜΜΕ οι μηχανικοί μετά από καταστροφικούς σεισμούς.

Η αντίληψη αυτή του κοινωνικού συνόλου, ότι δηλαδή «αντισεισμική κατασκευή» σημαίνει «σεισμικά άτρωτη κατασκευή», είναι μεν λανθασμένη, δεν είναι όμως ούτε ακατανόητη ούτε παράλογη και εν πάση περιπτώσει εκφράζει τη βούλησή του. Όταν ο κόσμος λει για κάτι ότι είναι «αδιαφανές», εννοεί ότι αυτό δεν επιτρέπει να περάσει καθόλου το φως, όσο δυνατό κι αν είναι, και όχι ότι απλώς περιορίζει τη διέλευση του φωτός σε κάποιο ποσοστό μικρό ή μεγάλο. Έτσι, όταν ο κόσμος ακούει από έναν μηχανικό ότι μια κατασκευή είναι αντισεισμική, αντιλαμβάνεται ότι η κατασκευή δεν θα πάθει τίποτε από τον σεισμό, όσο ισχυρός κι αν είναι. Και πώς να μην έχει αυτήν την αντίληψη, αφού ποτέ έως τώρα οι μηχανικοί δεν φρόντισαν μέσα από τα όργανα που τους εκφράζουν να ενημερώσουν σχετικά το ευρύ κοινό. Από την πραγματικότητα αυτή προκύπτουν δύο αναγκαιότητες :

1. Οι μηχανικοί πρέπει δια των εκπροσώπων τους να ενημερώσουν σωστά και πλήρως το κοινωνικό σύνολο για το τι σημαίνει «αντισεισμική κατασκευή» σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο και για ποιους λόγους γίνονται αποδεκτές βλάβες έως και καταρρεύσεις σε περίπτωση ισχυρών σεισμών.
2. Οι μηχανικοί οφείλουν να αναρωτηθούν, μήπως το ισχύον θεσμικό πλαίσιο, το οποίο υιοθέτησε η Πολιτεία - προφανώς χωρίς να έχει κατανοήσει τις πιθανές επιπτώσεις του - μετά από πρόταση δικών τους επιστημονικών επιτροπών, δεν είναι πλέον αποδεκτό και πρέπει να τροποποιηθεί. Είναι σημαντικό να επαναπροβληματισθούν οι μηχανικοί πάνω σε ερωτήματα όπως :
  - A. Πως θέλουμε να συμπεριφερθεί μία κατασκευή σε ισχυρό σεισμό ;
  - B. Πόσο κίνδυνο είμαστε διατεθειμένοι να αποδεχθούμε ;
  - Γ. Ποιές είναι οι εναλλακτικές επιλογές που μπορούμε να ακολουθήσουμε σε αρμονία με το κοινό αίσθημα των πολιτών ;

Τελειώνοντας, θεωρούμε χρήσιμο να παραθέσουμε ένα απόσπασμα από τον πρόλογο του Γαλλικού Αντισεισμικού Κανονισμού PS/92 (παρόμοιου του δικού μας ΕΑΚ 2000), στο οποίο διευκρινίζεται χωρίς ωραιοποιήσεις τι ακριβώς προστατεύεται και τι δεν προστατεύεται με την εφαρμογή του αντισεισμικού κανονισμού :

*L' objectif principal des règles est de protéger les vies humaines, avec une faible probabilité de ruine des bâtiments par écoulement pour un niveau d' agression nominal du séisme. Un deuxième objectif important est la limitation des dommages matériels, mais, dans la mesure où sont admises de larges incursions des matériaux dans leur domaine plastique, une proportion un peu plus importante de bâtiments peut ne pas être réparable après l' épreuve d' un séisme à l' accélération nominale. La probabilité de réparabilité s' améliore rapidement si on considère des niveaux inférieurs au niveau nominale. En revanche, la probabilité de ruine par écoulement augmente rapidement, quand le niveau d' agression dépasse le nominal.*

Σε ελεύθερη μετάφραση :

*Ο κύριος στόχος των διατάξεων είναι η προστασία της ανθρώπινης ζωής, με μικρή πιθανότητα κατάρρευσης των κτιρίων για τον σεισμό σχεδιασμού. Ένας δεύτερος σημαντικός στόχος είναι ο περιορισμός των βλαβών, αλλά, στο μέτρο που επιτρέπονται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις των υλικών, ένα σημαντικότερο ποσοστό κτιρίων δεν θα επιδέχεται επισκευή μετά την δοκιμασία τους από τον σεισμό σχεδιασμού. Η πιθανότητα επισκευασιμότητας βελτιώνεται γρήγορα, εάν θεωρήσει κανείς μικρότερο σεισμό σχεδιασμού. Αντίθετα, η πιθανότητα κατάρρευσης αυξάνει γρήγορα, όταν το επίπεδο της σεισμικής δράσης υπερβεί το επίπεδο σχεδιασμού.*

## Παρατηρήσεις - Επισημάνσεις επί του άρθρου

### 1. Η πλήρης αντισεισμική προστασία και η απόλυτη προστασία κατά παντός σεισμού

Από την ανάγνωση του άρθρου μας (βλ. π.χ. παράγραφο 3Α και αλλού) προκύπτει με σαφήνεια ότι η πλήρης αντισεισμική προστασία (με  $q=1$ ) ορίζεται για τον σεισμό σχεδιασμού (όπως αυτός καθορίζεται στον Αντισεισμικό Κανονισμό) και όχι για οποιονδήποτε σεισμό, ούτε πολύ περισσότερο για την τοπική αιχμή του πρωτογενούς φάσματος οποιουδήποτε σεισμού (που άλλωστε δεν θα είχε και ουσιαστική φυσική σημασία). Επίσης, η υπόψη αντισεισμική προστασία ορίζεται ως πλήρης σε αντιδιαστολή από την ισχύουσα σήμερα μερική αντισεισμική προστασία (με  $q>1$ ), διότι η τελευταία προϋποθέτει (για τον σεισμό σχεδιασμού πάντοτε) την ύπαρξη ελεγχόμενων (;) βλαβών στα κτίρια. Πλήρης αντισεισμική προστασία δεν σημαίνει απόλυτη αντισεισμική προστασία, δηλαδή προστασία κατά παντός σεισμού! Τέτοια προστασία είναι, προφανώς, ανέφικτη.

### 2. Βλάβες υπό τον σεισμό σχεδιασμού

Η επιλογή  $q=1$  εξασφαλίζει ελαστική συμπεριφορά και άρα ανυπαρξία βλαβών για τον σεισμό σχεδιασμού, σε αντίθεση με την επιλογή  $q=3,5$  για την οποία, υπό τον σεισμό σχεδιασμού, θα έχουμε βλάβες στον φέροντα οργανισμό των κτιρίων, ελέγξιμες εφ' όσον ληφθούν τα προβλεπόμενα κατασκευαστικά μέτρα (αν δεν ληφθούν τα μέτρα αυτά θα έχουμε μεγάλη πιθανότητα κατάρρευσης). Προς αποφυγήν παρεξηγήσεων για το κρίσιμο αυτό θέμα παραθέτουμε από την παράγραφο 1.2 του ΕΑΚ 2000 τις σχετικές διατάξεις:

- «Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χρήση ενός δομήματος θεωρούνται ότι αντιμετωπίζουν επαρκώς το σεισμικό κίνδυνο, δηλαδή εξασφαλίζουν περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού υπό το σεισμό σχεδιασμού...»
- «Η πιθανότητα καταρρεύσεως του δομήματος (ή τμημάτων του) πρέπει να είναι επαρκώς μικρή...»,

και το αντίστοιχο σχόλιο του κανονισμού:

«Κατά το νόημα του άρθρου αυτού, γίνεται αποδεκτό ότι ο φέρων οργανισμός του δομήματος θα υποστεί βλάβες κατά τη δράση του σεισμού σχεδιασμού...»

Επομένως, είναι φανερό ότι τα κατασκευαστικά μέτρα, οι ικανοτικοί έλεγχοι, ο σχεδιασμός με βάση τις μετακινήσεις, οι μη γραμμικές αναλύσεις, κ.τ.λ. έχουν ως στόχο την κατά το δυνατόν πιο αξιόπιστη πρόληψη της κατάρρευσης και όχι την μη εμφάνιση βλαβών στον φέροντα οργανισμό των κτιρίων. Οι τελευταίες, ανεξάρτητα από την τελειότητα των μεθόδων υπολογισμού, αποτελούν αναπόσπαστο και οργανικό στοιχείο της υπόψη φιλοσοφίας σχεδιασμού, διότι χωρίς αυτές δεν θα έχουμε είσοδο της κατασκευής στην πλαστική περιοχή και η διαίρεση των επιταχύνσεων (δηλ. των σεισμικών φορτίων) με το  $q$  δεν θα είναι επιτρεπτή. Και ναι μεν η έξοδος από τη γραμμική περιοχή ελαστική περιοχή δεν σημαίνει οπωσδήποτε κατάρρευση, σημαίνει όμως σίγουρα την έξοδο των πολιτών κατά χιλιάδες από τα σπίτια τους, διότι κανένας δεν κάθεται σε σπίτι με ραγισμένες κολώνες, ούτε εμείς οι μηχανικοί το συνιστούμε. Έτσι, λοιπόν, ακόμη κι αν δεχτούμε ότι η τρέχουσα αντισεισμική φιλοσοφία και πρακτική ως συμβιβασμός μεταξύ οικονομίας και ηθικών αρχών (προστασία ανθρώπινης ζωής) είναι "επιστημονικά υγιής", είναι σίγουρα αμφισβητήσιμο κατά πόσον είναι και "κοινωνικά υγιής".

### **3. Απαιτούμενη και διαθέσιμη πλαστιμότητα**

Προκειμένου να μην δημιουργούνται παρανοήσεις, καλό είναι να γίνεται πάντα σαφής διάκριση μεταξύ απαιτούμενης από τον σεισμό πλαστιμότητας και διαθέσιμης πλαστιμότητας της κατασκευής. Το γεγονός ότι η κατασκευή υπολογίζεται για  $q_{\text{υπολ}}=1$  (απαιτούμενος δείκτης συμπεριφοράς) δεν σημαίνει ότι και ο διαθέσιμος δείκτης συμπεριφοράς  $q_{\text{διαθ}}$  (η διαθέσιμη πλαστιμότητά της) είναι ίσος με 1. Το  $q_{\text{διαθ}}$  μπορεί να είναι μεγαλύτερο του  $q_{\text{υπολ}}$ . Σε κάθε περίπτωση το  $q_{\text{διαθ}}$  οφείλει να είναι (αν όχι μεγαλύτερο) τουλάχιστον ίσο με το  $q_{\text{υπολ}}$ , διότι διαφορετικά η κατασκευή είναι επισφαλής.

Επίσης σαφές πρέπει να είναι, ότι αν η κατασκευή υπολογισθεί μεν για  $q_{\text{υπολ}}=3,5$  αλλά στη συνέχεια λόγω υπερδιαστασιολόγησης (οφειλόμενης σε διάφορες πηγές) δεν υπεισέλθη υπό τον σεισμό σχεδιασμού στην ανελαστική περιοχή (δηλ., δεν σχηματισθούν πλαστικές αρθρώσεις), τότε η όλη διαδικασία (ανάλυση και διαστασιολόγηση) είναι αφενός ασυνεπής (υπολογισμός για μειωμένα σεισμικά φορτία, που όμως στην πραγματικότητα δεν μειώνονται λόγω μη πραγματοποίησης των ανελαστικών παραμορφώσεων) και αφετέρου επισφαλής (η ιεράρχηση πιθανών βλαβών γίνεται αναξίοπιστα).

### **4. Υπέρβαση σεισμού σχεδιασμού και η εγγενής πλαστιμότητα της κατασκευής**

Στην κρίσιμη περίπτωση της υπέρβασης του σεισμού σχεδιασμού, η οποία όπως επισημάνθηκε στην παράγραφο 2 του άρθρου κάθε άλλο παρά σπάνια είναι, ο σχεδιασμός με  $q_{\text{υπολ}}=1$  παρέχει ασφάλεια (βλ. παράγραφο 4 του άρθρου) μέχρι διπλασιασμού του σεισμού σχεδιασμού. Η άποψη αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι το σπλισμένο σκυρόδεμα δεν είναι ψαθυρό υλικό, αλλά διαθέτει και χωρίς τη λήψη ειδικών μέτρων (ικανοτικός σχεδιασμός) μια εγγενή πλαστιμότητα ( $q_{\text{διαθ}}$ ) της τάξης του 1,5 έως 2, με μόνη προϋπόθεση την εμπειρική πύκνωση των συνδετήρων στα άκρα των δομικών στοιχείων. Επιβεβαίωση του γεγονότος αυτού αποτελεί η καλή συμπεριφορά της πλειοψηφίας των κτιρίων των δεκαετιών του '50, '60 και '70 σε πολλούς ισχυρούς σεισμούς (Θεσσαλονίκη, Αθήνα, Καλαμάτα, κ.τ.λ.), ενώ είχαν υπολογισθεί με  $\epsilon=0.04$  έως 0.08 και χωρίς πύκνωση των συνδετήρων στα άκρα των στύλων (μερικές φορές και με ... αραίωση!). Τα στοιχεία αυτά νομίζουμε ότι είναι αρκετά αντικειμενικά και πειστικά και δεν αφήνουν περιθώριο για τον ισχυρισμό ότι κατασκευές σχεδιασμένες με  $q_{\text{υπολ}}=1$  δεν εμφανίζουν πλάσιμη συμπεριφορά σε περίπτωση απρόβλεπτα μεγάλης σεισμικής δράσης. Αντίθετα, σε περίπτωση σχεδιασμού με  $q_{\text{υπολ}}=3,5$  δεν είναι καθόλου βέβαιο ότι τα πιθανώς υπάρχοντα πρόσθετα περιθώρια διαθέσιμης πλαστιμότητας είναι αρκετά για την κάλυψη των απαιτήσεων πλαστιμότητας του διπλάσιου σεισμού.

Εν πάση περιπτώσει, όταν κατά τον Αντισεισμικό Κανονισμό, υποτιθεμένου ότι εφαρμόζεται πιστά, για τον σεισμό σχεδιασμού προβλέπονται βλάβες στον φέροντα οργανισμό (δηλ. στις πλαστικές αρθρώσεις παραμορφώσεις σκυροδέματος της τάξης του 4‰ και του χάλυβα της τάξης του 10‰), τότε για τον διπλάσιο σεισμό θεωρητικά τουλάχιστον είναι πολύ αμφίβολη η πρόληψη της κατάρρευσης (στην πραγματικότητα βέβαια επεμβαίνουν και άλλοι παράγοντες, όπως π.χ. συχνή υπερδιαστασιολόγηση (οπότε  $q_{\text{διαθ}} \ll 3,5$ ), τοιχοποιίες, ποικίλες αποσβέσεις, κ.τ.λ.). Το βέβαιο, λοιπόν, είναι ότι από τον διπλάσιο σεισμό κινδυνεύουν περισσότερο τα κτίρια που υπολογίσθηκαν με  $q_{\text{υπολ}}=3,5$  παρά τα κτίρια με  $q_{\text{υπολ}}=1$ , εκτός αν λόγω μη πιστής εφαρμογής του Κανονισμού (υπερδιαστασιολόγηση) το πραγματικό  $q_{\text{διαθ}}$  είναι πιο κοντά στο 1 παρά στο 3,5.

Έτσι, στην περίπτωση σημαντικής υπέρβασης του σεισμού σχεδιασμού, το κτίριο που υπολογίσθηκε για  $q_{\text{υπολ}}=1$  διασώζεται, ενώ με  $q_{\text{υπολ}}=3,5$  το κτίριο δεν έχει καμία ελπίδα διάσωσης άσχετα από την εφαρμογή οποιωνδήποτε κατασκευαστικών μέτρων, ικανοτικών ελέγχων, κ.τ.λ. Γενικότερα, όταν η σύγκριση γίνεται με ίσους όρους, η απαίτηση πλαστιμότητας για  $q_{\text{υπολ}}=1$  είναι πάντοτε τρισημίσι φορές μικρότερη από την αντίστοιχη για  $q_{\text{υπολ}}=3,5$ .

Επίσης, στην περίπτωση των πολύ άκαμπτων κατασκευών λόγω πολλών τοιχωμάτων, η ιδιοπερίοδος τείνει οριακά στο μηδέν, ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης  $\beta_0$  τείνει στο 1, η αντοχή των τοιχωμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη και, εκτός από τα πιθανά προβλήματα θεμελίωσης, δεν τίθεται καθόλου ζήτημα απαίτησης πλαστιμότητας (η κατασκευή ακολουθεί την κίνηση του εδάφους σαν στερεό σώμα). Ο σχεδιασμός των κατασκευών με  $q_{\text{υπολ}}=1$  σε καμία περίπτωση δεν είναι λιγότερο ασφαλής από τον σχεδιασμό με  $q_{\text{υπολ}}>1$ .

### 5. Η ευθύνη των μηχανικών

Η άποψη ότι με την επιλογή  $q_{\text{υπολ}}=1$  μειώνεται η ευθύνη των μηχανικών είναι λανθασμένη. Η παρερμηνεία οφείλεται στη σύγχυση μεταξύ της πλήρους ή μερικής αντισεισμικής προστασίας για τον σεισμό σχεδιασμού και της απόλυτης αντισεισμικής προστασίας κατά παντός σεισμού (βλ. παραπάνω παράγραφο 1.). Η δεύτερη είναι ουτοπική και ανέφικτη, ενώ η πρώτη όμως, με βάση το συγκεκριμένο σεισμό σχεδιασμού, θεσπίζει επιθυμητούς στόχους μηχανικής συμπεριφοράς των κτιρίων, οι οποίοι θα πρέπει να επιτευχθούν μέσα από κατάλληλο σχεδιασμό και υπολογισμό της κατασκευής (σχεδιασμός με βάση την επίδοση, performance based design). Οι στόχοι καθορίζονται από τον κύριο του έργου (ιδιοκτήτη), ενώ την επίτευξη τους αναλαμβάνει να φέρει σε πέρας ο μηχανικός.

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο καθορισμού επιθυμητών στόχων εντάσσεται η υπεύθυνη δήλωση του ιδιοκτήτη (βλ άρθρο, παράγρ. 3.Β.β). Αν λοιπόν ο ιδιοκτήτης επιλέξει μερική αντισεισμική προστασία, τότε ασφαλώς θα πρέπει να είναι ενήμερος των πιθανών βλαβών που προβλέπει ο ίδιος ο Κανονισμός με την ισχύουσα φιλοσοφία του. Σε καμία περίπτωση δεν τίθεται θέμα μείωσης της ευθύνης των μηχανικών αναφορικά με την επίτευξη των επιθυμητών από τον ιδιοκτήτη στόχων. Άλλωστε, δεν τίθεται καν θέμα ευθυνών μηχανικού για «θεσμοθετημένες» από τον ίδιο τον Κανονισμό και την φιλοσοφία του βλάβες. Αντίθετα, στο άρθρο επισημαίνεται η αύξημένη ευθύνη των μηχανικών με τον αποκλεισμό της κατάρρευσης για τον σεισμό σχεδιασμού, ενώ για το θέμα αυτό ο Κανονισμός δέχεται ότι η πιθανότητα κατάρρευσης πρέπει να είναι «επαρκώς μικρή».

### 6. Συμπερασματικά

Η απόλυτη αντισεισμική προστασία κατά παντός σεισμού είναι ουτοπική και ανέφικτη. Αντίθετα, η πλήρης αντισεισμική προστασία ( $q_{\text{υπολ}}=1$ ) έναντι του θεσμοθετημένου από την Πολιτεία σεισμού σχεδιασμού αποτελεί ρεαλιστικό και εφικτό στόχο με κατά κανόνα αμελητέα οικονομική επιβάρυνση για την πλειονότητα των συμβατικών κατασκευών και με αποφυγή των πιθανών μελλοντικών αρνητικών συνεπειών της μερικής αντισεισμικής προστασίας ( $q_{\text{υπολ}}>1$ ).

Σε κάθε περίπτωση, ο υπεύθυνος μηχανικός οφείλει να επιστήσει την προσοχή του ιδιοκτήτη του έργου στο γεγονός, ότι ειδικά το καθιερωμένο ακόμη σήμερα στην πράξη  $q_{\text{υπολ}}=3,5$  μπορεί μελλοντικά να βλάψει σοβαρά την υγεία του κτιρίου και των ενοίκων του (και βέβαια την τσέπη του ιδιοκτήτη), και να του

καταστήσει σαφές, ότι ενώ η απόλυτη αντισεισμική προστασία συνιστά ψευδαίσθηση, η πλήρης αντισεισμική προστασία είναι ο μόνος τρόπος που μέσα στα προδιαγεγραμμένα πλαίσια μπορεί να του εξασφαλίσει την επιθυμητή αίσθηση ασφάλειας.