

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΩΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Είναι γνωστό από γεωφυσικές και γεωλογικές μελέτες ότι η Γη αποτελείται από τον πυρήνα, το μανδύα και τον εξωτερικό φλοιό. Ο φλοιός και το επάνω μέρος του μανδύα συντίθεται από σκληρά πετρώματα με συνολικό πάχος 80 km περίπου από



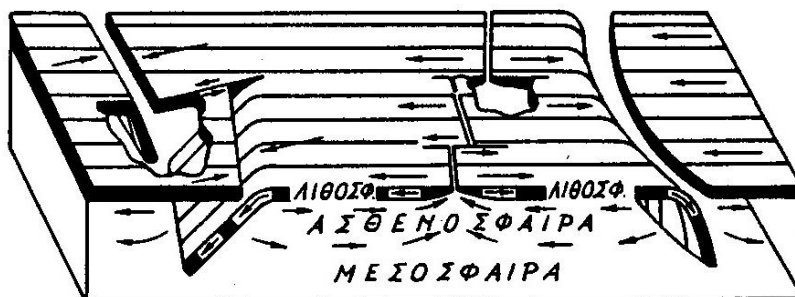
την λεγόμενη λιθόσφαιρα, κάτω από την οποία βρίσκεται ένα παχύρρευστο στρώμα υλικού που αποτελεί την ασθενόσφαιρα. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία, αλλά διαχωρίζεται σε μερικότερα τμήματα από δυο συστήματα ζωνών διαρρήξεως: το ηπειρωτικό σύστημα και το μεσοωκεάνιων ράχων. Τα τμήματα αυτά λέγονται λιθοσφαιρικές πλάκες.

Η γένεση των σεισμών αποδίδεται στις σχετικές κινήσεις και συγκρούσεις των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι κινήσεις αυτές οφείλονται σε εφαπτομενικές πιέσεις που ασκούν στους πυθμένες των πλακών. Οι κινήσεις αυτές οφείλονται σε εφαπτομενικές πιέσεις που ασκούν στους πυθμένες

των πλακών τα ρεύματα μετα-φοράς του μανδύα, λόγο των ποικίλων φυσικών διεργασιών που γίνονται στο εσωτερικό του. Έτσι ανάλογα με την κατεύθυνση των ρευμάτων, οι λιθοσφαιρικές πλάκες μπορεί να συγκλίνουν (στις ωκεάνιες τάφρους), να αποκλίνουν (στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις), ή τέλος, να βυθίζεται πλάγια η μία κάτω από την άλλη και να φθάνει σε βάθος 700 km μέσα στο μανδύα, όπου τελικά διαλύεται.

Με την παραπάνω θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, που γίνεται σήμερα αποδεκτή από τους Σεισμολόγους, ερμηνεύεται πλήρως η γένεση των τεκτονικών σεισμών, οι οποίοι αποτελούν και το σύνολο σχεδόν των σεισμών. Ένας μικρός αριθμός άλλων σεισμών, οι λεγόμενοι ηφαιστειογενείς σεισμοί, οφείλονται σε έκρηξη ηφαιστειών. Τέλος υπάρχουν και οι σεισμοί εγκατακρημνίσεως, που οφείλονται στην κατακρήμνιση βράχων σε υπόγειες στοές.

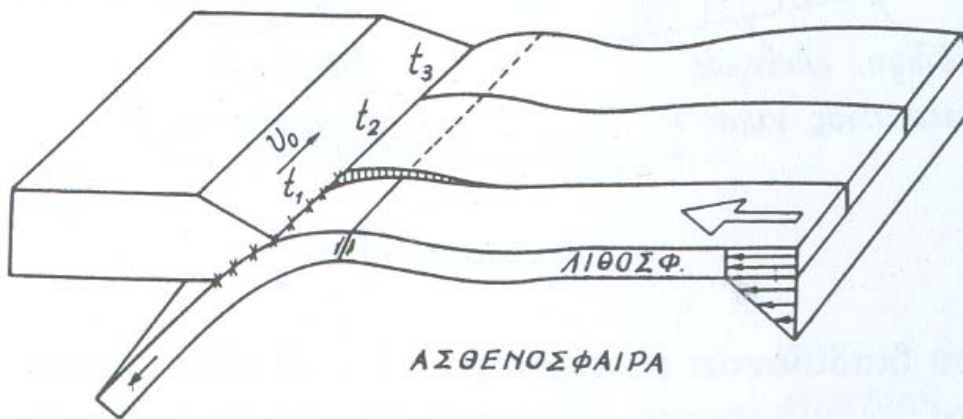
Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται μεταξύ άλλων, η περίπτωση των πλακών που αποκλίνουν εκατέρωθεν της μεσοωκεάνιας ράχως, όπου αναδύεται θερμό υλικό από το μανδύα και στη συνέχεια ψύχεται και δημιουργεί τις πλάκες αντίθετα, στα απέναντι σύνορα των πλακών αυτών (ηπειρωτικό σύστημα διαρρήξεως) έχουμε σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και ειδικότερα διολίσθηση της πυκνότερης ωκεάνιας πλάκας κάτω από την ηπειρωτική και καταβύθισή της στο εσωτερικό του μανδύα. (1)



Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών

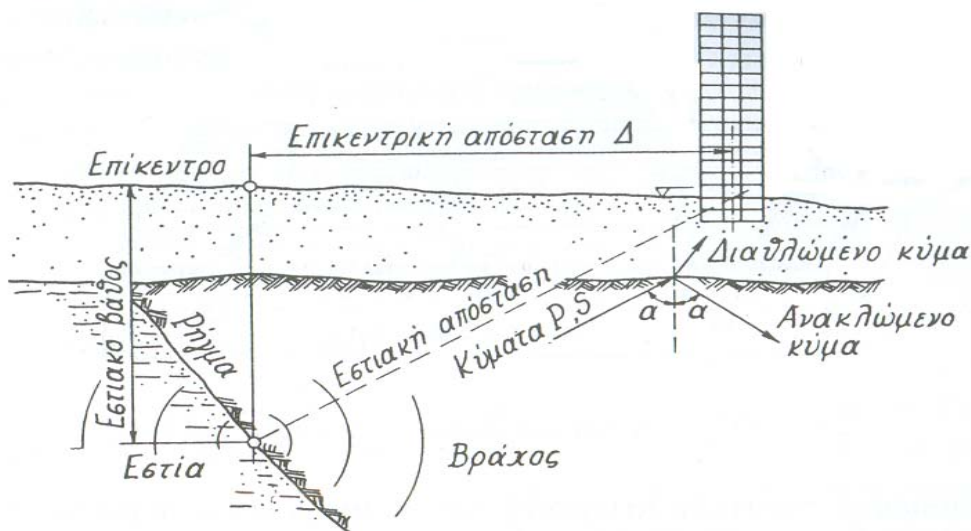
Οι προηγούμενες σχετικές κινήσεις των πλακών συνεπάγονται την προοδευτική αύξηση των τάσεων και παραμορφώσεων στις περιοχές επαφής τους και στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας παραμορφώσεως. Έτσι, όταν οι αναπτυσσόμενες τάσεις υπερβούν την αντοχή των πετρωμάτων, επέρχεται απότομη θραύση και δημιουργία του πρώτου σεισμικού ρήγματος. Η ενέργεια που απελευθερώνεται θέτει σε παλμική κίνηση τα εκατέρωθεν του ρήγματος πετρώματα, που διαδίδονται στη συνέχεια στο χώρο με την μορφή σεισμικών κυμάτων.

Ο μηχανισμός θραύσεως των πετρωμάτων εμφανίζει μεγάλη ποικιλία μορφών και δεν είναι εύκολο προς το παρόν να περιγραφεί με ακρίβεια και πληρότητα. Στο παρα κάτω σχήμα φαίνεται το μοντέλο Anderson, με το οποίο ερμηνεύεται η κατεύθυνση και η ταχύτητα διαδόσεως των τάσεων στο ρήγμα σε διαδοχικούς σεισμούς. Η υπό-ψη κατεύθυνση έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί έχει παρατηρηθεί ότι συμπίπτει με αύξηση των προκαλούμενων βλαβών.



Το μοντέλο του Anderson

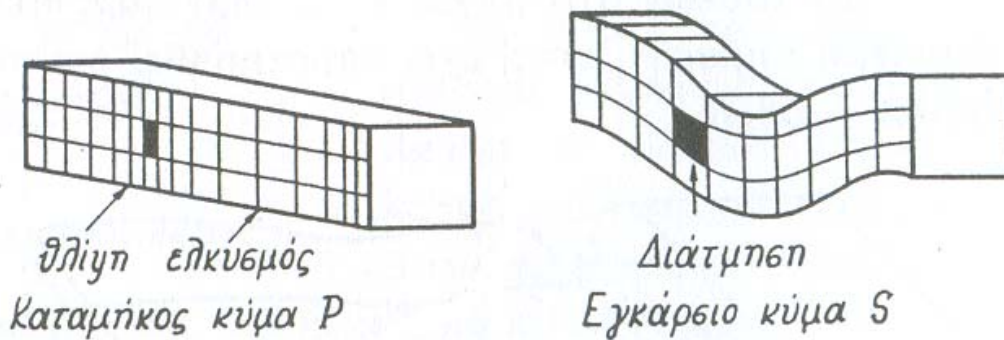
Η περιοχή ενάρξεως της ρήξεως- που στη συνέχεια επεκτείνεται- λέγεται εστία του σεισμού ή υπόκεντρο, ενώ το μικροσεισμικό επίκεντρο βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφο επάνω στην επιφάνεια της Γης (παρακάτω σχήμα). (1) Ανάλογα με το



Γεωμετρικά στοιχεία σεισμού.

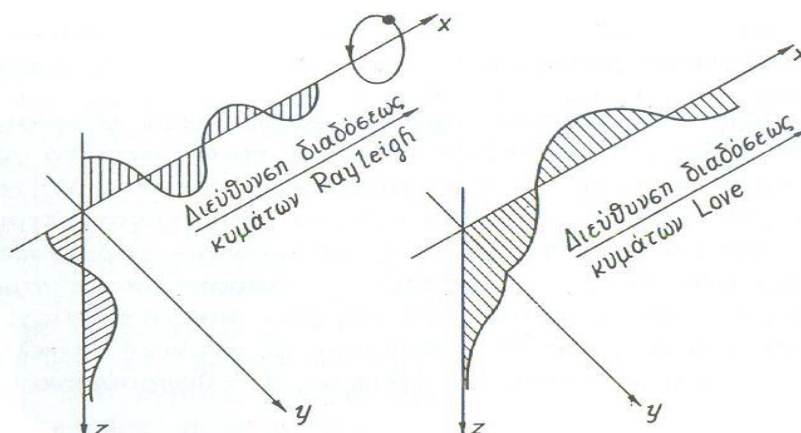
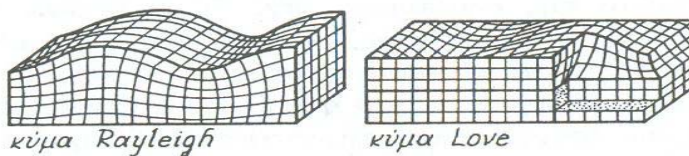
1. Κ.ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ, "ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Ι", ΕΚΔΟΣΕΙΣ: COMPUTER TECHNICS, 1989

εστιακό βάθος h οι σεισμοί λέγονται επιφανειακοί ($h < 60$ km), ενδιάμεσου βάθους ($h = 60 - 300$ km) και σεισμοί βάθους ($h > 300$), οι οποίοι δεν γίνονται αισθητοί στην επιφάνεια της Γης. Οι επιφανειακοί σεισμοί εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή μιας σεισμικής ακολουθίας, δηλαδή υπάρχουν μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα με έντονη σεισμική δράση. Ο μεγαλύτερος σεισμός της ακολουθίας λέγεται κύριος σεισμός, οι προηγούμενοι από αυτόν σεισμοί λέγονται προσεισμοί και οι επόμενοι μετασεισμοί. Με κέντρο την εστία η ταλάντωση διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή κυμάτων χώρου (επόμενο σχήμα). Τα κύματα αυτά διακρίνονται στα



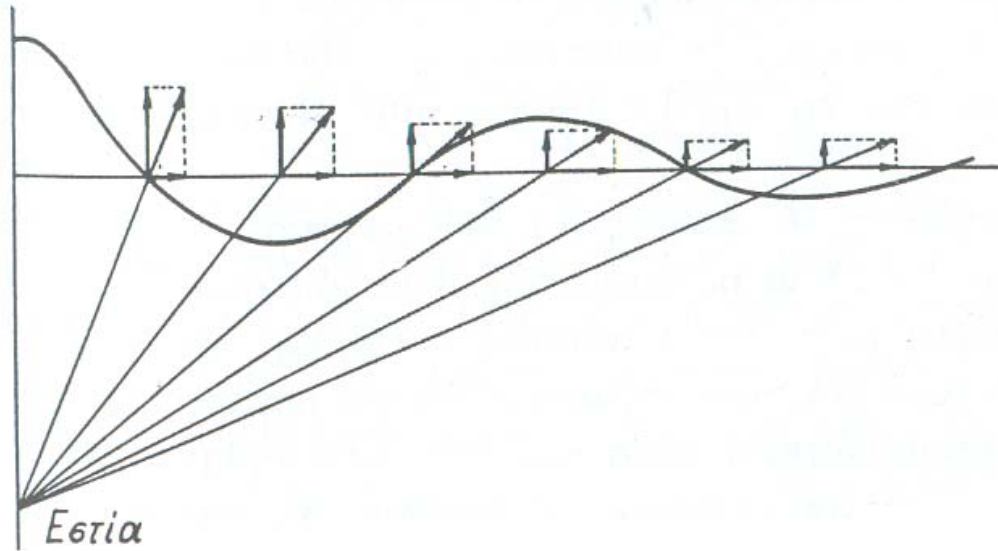
Τα κύματα χώρου.

επιμήκη P, που διαδίδονται με ταχύτητα (7-8) km/s περίπου και στα εγκάρσια S, που διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα (4-5) km/s. Τα πρώτα είναι κύματα πίεσης-ελκυσμού, προκαλούν μεταβολή του όγκου και έχουν μικρή περίοδο και μικρό πλάτος ταλαντώσεως, τα δεύτερα είναι διατμητικά με πολύ μεγαλύτερη περίοδο και πλάτος ταλαντώσεως, προκαλούν μεταβολή του σχήματος και για το λόγο αυτό δεν διαδίδονται σε ρευστά μέσα.



Τα επιφανειακά κύματα.

Στις περιοχές ασυνεχειών των εδαφικών στρωμάτων τα παραπάνω κύματα ανακλώ-
νται και διαθλώνται και φθάνοντας στην επιφάνεια της Γης δημιουργούνται
επιφανειακά κύματα (L-κύματα) (προηγούμενο σχήμα). Αυτά διαδίδονται με μικρότερη
ταχύτητα από τα χωρικά, έχουν μεγάλο πλάτος ταλαντώσεως και διακρίνονται σε
κύματα Rayleigh (R-κύματα) και σε κύματα Love (Q-κύματα). Όπως φαίνεται στο
προηγούμενο σχήμα κατά τη διάδοση των κυμάτων Rayleigh τα υλικά σημεία
διαγράφουν κατακόρυφες ελλείψεις, ενώ κατά τη διάδοση των κυμάτων Love



(σε στρωματοποιημένο πάντοτε μέσο) τα υλικά κινούνται παράλληλα προς την
επιφάνεια και κάθετα προς την επιφάνεια διαδόσεως.

Από τη σύνθεση όλων των προηγούμενων κυμάνσεων προκύπτει η τελική κίνηση σε
τυχόν σημείο της επιφάνειας (προηγούμενο σχήμα). Η υπόψη κίνηση μπορεί να
αναλυθεί σε τρεις ανεξάρτητες συνιστώσες, δύο οριζόντιες και μία κατακόρυφη. Οι δύο
οριζόντιες συνιστώσες είναι περίπου ισότιμες και σαφώς μεγαλύτερες από την
κατακόρυφη, εκτός από την περιοχή του επίκεντρου. Είναι, τέλος, αξιοσημείωτο ότι σε
δεδομένη θέση δεν υπάρχει χαρακτηριστική διεύθυνση του σεισμού. (1)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Για τη μέτρηση των σεισμών και τις επιπτώσεις στον άνθρωπό και των περιβάλλοντα χώρο χρησιμοποιούνται δυο ποσότητες: το μέγεθος M και η ένταση I του σεισμού. Επίσης οι σεισμικές δονήσεις καταγράφονται και με ειδικά όργανα στην επιφάνεια της Γης. Τα όργανα αυτά μετράνε απευθείας την επιτάχυνση του εδάφους οριζόντια και κατακόρυφα.

Το μέγεθος του σεισμού: Η μονάδα μέτρησης του σεισμού είναι κλίμακα Richter. Ο Richter μετά από μελέτες διαφόρων σεισμικών δονήσεων, όρισε το τοπικό μέγεθος ενός σεισμού από το παρακάτω τύπο:

$$M = \text{Log } A(\Delta)/A_0(\Delta) = \text{Log } A(\Delta) - \text{Log } A_0(\Delta)$$

Όπου Δ η επίκεντρη απόσταση και A, A_0 τα μέγιστα πλάτη αναγραφής σε σεισμόμετρο Wood-Anderson, του θεωρούμενου σεισμού και ενός πρότυπου σεισμού αντίστοιχα. Ως πρότυπος σεισμός ή σεισμός μηδενικού μεγέθους ορίστηκε ο σεισμός που γράφεται με πλάτος 1μικρό σε απόσταση $\Delta=100$ Km. Η κλίμακα του τοπικού μεγέθους M στηρίζεται στη μέτρηση του μέγιστου πλάτους των εγκάρσιων κυμάτων S από τα σεισμόμετρα Wood-Anderson με περίοδο 0,8 sec και είναι κατάλληλη μόνο για κοντινούς σεισμούς. Για τον υπολογισμό του μεγέθους σεισμών με διάφορα εστιακά βάθη και μεγάλες επίκεντρες αποστάσεις επινοήθηκε αργότερα από τον Gutenberg η κλίμακα του επιφανειακού μεγέθους M_s και η κλίμακα του ενιαίου μεγέθους M_b για εστιακά βάθη > 60 Km. Η πρώτη κλίμακα στηρίζεται σε μετρήσεις πλατών επιφανειακών κυμάτων, ενώ η δεύτερη σε μετρήσεις χωρικών P -κυμάτων. Με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ο τύπος:

$$M = \text{Log } a + 1,41 \text{ Log } \Delta + 0,2$$

Όπου a είναι το ημίθροισμα των μέγιστων πραγματικών πλατών των δυο οριζοντίων συνιστωσών της μέγιστης κίνησης σε m και Δ η επίκεντρη απόσταση σε Km.

Οι σεισμοί με μέγεθος $M > 2$ γίνονται αισθητοί από τον άνθρωπο, ενώ με μέγεθος $M > 5$ προκαλούν διάφορες βλάβες σε κατοικημένες περιοχές.

Το μέγεθος του σεισμού αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης μικρών και μεγάλων σεισμών και όχι ένα ποσοτικό δείκτη των φυσικών ιδιοτήτων της πηγής παραγωγής τους. Η παραπάνω ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Log } E = 12,24 + 1,44 M$$

Η σχέση αυτή δηλώνει ότι αύξηση του μεγέθους κατά μια μονάδα συνεπάγεται αύξηση της ενέργειας κατά 28 φορές περίπου. Αυτά ισχύουν για μεγέθη μέχρι $M=7$.

Η ένταση του σεισμού: Η σεισμική δόνηση είναι δυνατόν να είναι καταστροφική για τις δύσκαμπτες κατασκευές και ελάχιστα βλαπτική για τις εύκαμπτες ή αντίστροφα. Για την ένταση του σεισμού έχουν επινοηθεί ορισμένες εμπειρικές κλίμακες μακροσεισμικών εντάσεων με καθορισμένη βαθμονόμηση. Οι κλίμακες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Η δωδεκαβάθμια κλίμακα Mercalli.
- Η δωδεκαβάθμια κλίμακα Medvedev - Sponheur - Karnik (MSK).

•Η επταβάθμια Ιαπωνική κλίμακα (JMA).

Η κλίμακα Mercalli χωρίζεται στους παρακάτω βαθμούς εντάσεως:

- Βαθμός I : Δεν γίνεται αντιληπτός από τον άνθρωπο.
- Βαθμοί II-III :Γίνεται αντιληπτός από μικρό αριθμό ανθρώπων.
- Βαθμοί IV-V: Γίνεται αντιληπτός από μεγάλο αριθμό ανθρώπων.
- Βαθμός VI: Γίνεται αντιληπτός από το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού και οι καμπάνες των εκκλησιών χτυτούν.
- Βαθμός VII: Ελαφρές ζημιές σε κτίσματα.
- Βαθμοί VIII-IX : Σοβαρές ζημιές σε κτίσματα και εμφάνιση ρωγμών στο έδαφος.
- Βαθμός X: Γενική κατάρρευση των οικοδομών.
- Βαθμός XI-XII: Καταστροφή.

Η πιο ακριβέστερη κλίμακα είναι η κλίμακα MSK, γιατί λαμβάνει υπόψη το είδος και το ποσοστό των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες.

Εδαφικές κινήσεις: Η εδαφική κίνηση προσδιορίζεται με τη βοήθεια τριών επιταχυνσιογραφήματων, τα οποία δίνουν τις επιταχύνσεις του σημείου στο έδαφος συναρτήσει του χρόνου. Τα δυο επιταχυνσιογραφήματα αναφέρονται στις οριζόντιες συνιστώσες της κίνησης του εδάφους, ενώ το τρίτο στην κατακόρυφη συνιστώσα. Η καταγραφή κατά τη διάρκεια του σεισμού γίνεται σε φιλμ και στη συνέχεια διορθώνεται από ορισμένες παρασιτικές επιρροές. Καθώς αυξάνονται οι επιταχύνσεις του σεισμού, υπολογίζονται οι ταχύτητες και οι μετατοπίσεις του σημείου.

Στο επιταχυνσιογράφημα διακρίνουμε τρεις περιοχές. Η πρώτη με τις μικρές συντεταγμένες όπου αντιστοιχεί στα ταχύτερα διαδιδόμενα επιμήκη P κύματα, η δεύτερη με την άφιξη των εγκάρσιων S κυμάτων που προκαλούν απότομη αύξηση των τεταγμένων από τη διαφορά των χρόνων αφίξεως και η Τρίτη με την άφιξη των επιφανειακών L κυμάτων. (1)

ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ, Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η περιοχή των Ιονίων νήσων αποτελεί μια ζώνη με την υψηλότερη σεισμι- κότητα σε όλη τη δυτική Ευρασία, δηλαδή από το Γιβραλτάρ μέχρι την Κίνα. Η ιδιαι- τερότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί το όριο όπου συγκρούονται η Αδριατική λιθοσφαιρική μικρόπλακα με τη λιθοσφαιρική μικρόπλακα της ηπειρωτικής Ελλάδας (Κέρκυρα έως και βόρεια της Λευκάδας), στην ύπαρξη του ενεργού ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς (περιοχή Λευ- κάδας- Κεφαλονιάς), καθώς και στην κατάδυση της λιθοσφαιρικής πλάκας της Ανα- τολικής Μεσογείου κάτω από την μικρόπλακα του Αιγαίου, δηλαδή το βορειοδυτικό τμήμα του γνωστού Ελληνικού τόξου (από τη Ζάκυνθο και νοτιότερα). Η σχετική κίνηση όλων των προαναφερόμενων λιθοσφαιρικών πλακών έχουν ως αποτέλεσμα τη συχνή γένεση ισχυρών σεισμών στην περιοχή.

Ισχυροί σεισμοί στα Ιόνια νησιά στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα

- 24 Ιανουαρίου 1912, M=6.8 μέγιστη ένταση 10 στον Ασπρογέρακα Κεφαλονιάς
Ο σεισμός αυτός ερήμωσε μερικώς την Κεφαλονιά και την Ζάκυνθο
- 27 Νοεμβρίου 1914, M=6.3 μέγιστη ένταση 9 στη Λευκάδα
Ο σεισμός προκάλεσε σημαντικές βλάβες στο δυτικό τμήμα της Λευκάδας. 12 χωριά σχεδόν καταστράφηκαν, ενώ σε άλλα 6 κατέρρευσαν πάρα πολλά σπίτια και άλλα έπαθαν σοβαρές ζημιές.
- 27 Ιανουαρίου 1915, M=6.6 μέγιστη ένταση 9 στην Εξαγωγή Ιθάκης
Στα χωριά Εξαγωγή και Κολιέρη πολλά σπίτια κατέρρευσαν και όλα τα άλλα έπαθαν σοβαρές ζημιές.
- 7 Αυγούστου 1915, M=6.7 μέγιστη ένταση 9 στην Ιθάκη
Στην Ιθάκη και σε 6 χωριά, αλλά και στην Σάμη της Κεφαλονιάς από τα 350 κατέρρευσαν τα 50, 100 έγιναν ακατοίκητα και περισσότερα από 100 ρηγματώ- θηκαν έντονα.
- 19 Αυγούστου 1915, M=6.1 μέγιστη ένταση=7 στους Παξούς
Ο σεισμός προκάλεσε στους Παξούς ρωγμές στους τοίχους μερικών σπιτιών.
- 20 Σεπτεμβρίου 1939, M=6.3 Κεφαλονιά
- 22 Απριλίου 1948, M=6.5 μέγιστη ένταση=9 στη Βασιλική Λευκάδας
Οι σημαντικότερες ζημιές προκλήθηκαν στη ΝΔ Λευκάδα, όπου 244 κτίρια κατέρρευσαν εντελώς, 998 βλάφτηκαν σοβαρά, 2 άνθρωποι σκοτώθηκαν και 45 τραυματίστηκαν.
- 30 Ιουνίου 1948, M=6.4 Λευκάδα
Ο σεισμός αυτός κατέστρεψε το ΒΔ τμήμα της Λευκάδας και γκρέμισε 280 σπίτια στην πρωτεύουσα του νησιού, ενώ 880 έπαθαν σοβαρές ζημιές και 150 ελαφρές ρωγμές. Σε ολόκληρο το νησί καταστράφηκαν 1209 σπίτια και 1869 έπαθαν σημαντικές ζημιές.
- 12 Αυγούστου 1953, M=7.2 μέγιστη ένταση=10+ στο Αργοστόλι
Πρόκειται για μια σειρά καταστρεπτικών σεισμών ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε στις 12 Αυγούστου και είχε μέγεθος 7.2 Ρίχτερ. Προηγήθηκαν πολλοί σεισμοί από τους οποίους δύο ήταν καταστρεπτικοί. Ο ένας ήταν στις 9 Αυγούστου(M=6.4) και ο άλλος στις 11 Αυγούστου(M=6.3). Ακολουθήθηκε από πολλούς μετασεισμούς από τους οποίους ο μεγαλύτερος(M=6.3) έγινε με τον κύριο σεισμό. Οι σεισμοί προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές στα Ιόνια νησιά και κυρίως στην Κεφαλονιά, Ζάκυνθο και Ιθάκη, τα οποία έπαθαν σχεδόν ολική κα-

ταστροφή. Έτσι από τα 33.000 σπίτια των νησιών αυτών καταστράφηκαν εντελώς τα 27.659.

- 27 Αυγούστου 1958, M=6.4 μέγιστη ένταση=5 στη Ζάκυνθο
Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός στη Ζάκυνθο και ακολουθήθηκε από σημαντικό αριθμό μετασεισμών, ο μεγαλύτερος από τους οποίους έγινε στις 2 Σεπτεμβρίου.
- 15 Νοεμβρίου 1959, M=6.8 μέγιστη ένταση =7 στις Βολιβές Ζακύνθου
- 10 Απριλίου 1962, M=6.3 μέγιστη ένταση 6 στις Βολιβές Ζακύνθου
- 17 Σεπτεμβρίου 1972, M=6.3 μέγιστη ένταση =7 στα Χαβριάτα Κεφαλονιάς
Ο σεισμός προκάλεσε βλάβες στο ΝΔ τμήμα της Κεφαλονιάς. Έπαθαν επισκευάσιμες βλάβες 108 παλιά σπίτια και ρηγματώθηκαν 57 κτίρια και 2 γέφυρες.
- 11 Μαΐου 1976, M=6.5 μέγιστη ένταση =5 στους Αμπελόκηπους Ζακύνθου
- 17 Ιανουαρίου 1983, M=7.0 μέγιστη ένταση =6 στο Αργοστόλι
- 18 Νοεμβρίου 1997, M=6.6 Ζάκυνθος

Λόγο της εντονότατης σεισμικότητας της περιοχής, τα Ιόνια νησιά, στην πλειοψηφία τους εντάσσονται στις υψηλότερες προβλεπόμενες ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας, σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό του 2000.

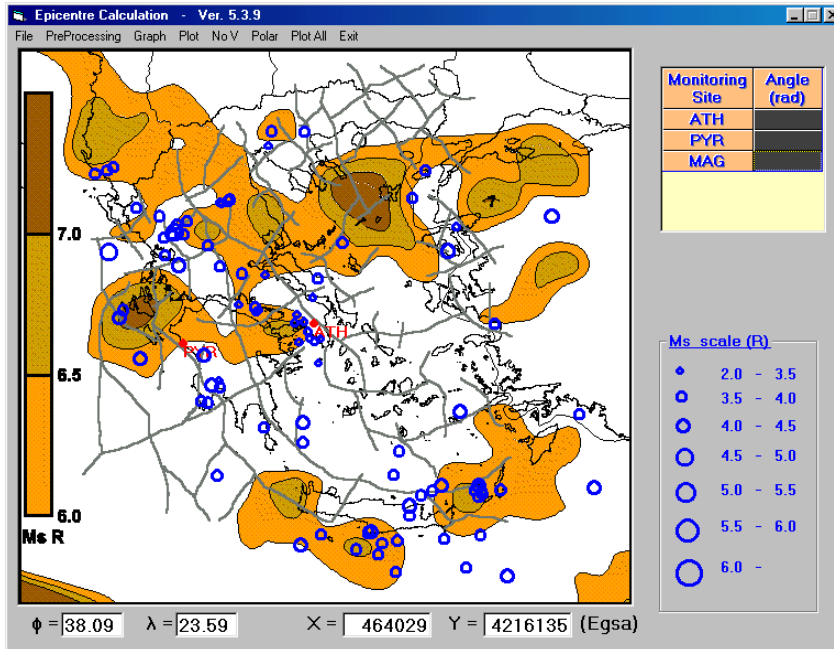
Ειδικότερα οι ΖΣΕ κλιμακώνονται από I έως IV(υψηλότερη) και τα νησιά του Ιονίου εντάσσονται ως εξής:

- Αργοστόλι Κεφαλονιάς IV
- Ζάκυνθος IV
- Ιθάκη IV
- Λευκάδα IV
- Σάμη Κεφαλονιάς IV
- Κέρκυρα IV
- Γάιος Παξών IV

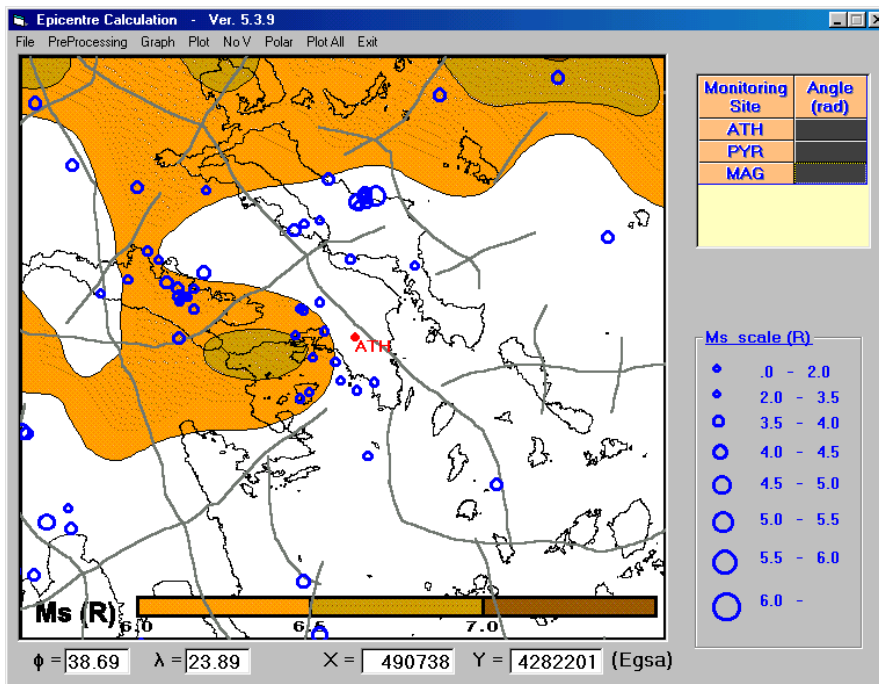
Να σημειωθεί ότι καμία άλλη περιοχή στην Ελλάδα, πλην των ανωτέρω 5 περιοχών στο Ιόνιο, δεν εντάσσονται στην Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας IV.. (2)

ΜΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΣΗΜΕΡΑ

ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ, ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΓΑΛΩΝ ΒΑΘΙΩΝ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΤΗΣ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟ. (τελευταία ενημέρωση 2/5/05)



Ο ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ ($0 < M_s < 6$ R) ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΚΤΙΝΑ 170 km ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΣΤΑΘΜΟ (ΑΤΗ) ΤΙΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ 15 ΗΜΕΡΕΣ. (3)



3. ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΑ ΤΟΥ ΝΟΑ.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΕΙ

Είναι αυτονόητο ότι ο ρόλος του μηχανικού για την συμπεριφορά τη κατασκευής στη διάρκεια του σεισμού και επομένως για τα προβλήματα που θα προκύψουν ή όχι μετά, είναι καθοριστικός. Αυτό γιατί ο μηχανικός είναι εκείνος που συνολικά μελετάει την κατασκευή αλλά και αναλαμβάνει μέρος της ευθύνης για την σωστή εφαρμογή της μελέτης. Με την ονομασία μηχανικός θεωρούμε όλες τις ειδικότητες που συμμετέχουν στον σχεδιασμό-μελέτη του έργου έτσι ώστε να φτάσουμε στον επιδιωκόμενο σκοπό, που είναι η βέλτιστη λειτουργία του έργου σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.

Όμως επειδή προϋπόθεση λειτουργικότητας μιας κατασκευής είναι η δυνατότητα της να μπορεί με "ασφάλεια" να δεχθεί τις φορτίσεις που είναι πιθανόν να ασκηθούν σ'αυτήν, είναι φανερός ο πρωταρχικός ρόλος του Πολιτικού Μηχανικού. (εδώ με τον όρο ασφάλεια δεν εννοούμε μόνο την δυνατότητα της κατασκευής να μη φθάνει στην ακραία περιοχή της "ολικής απώλειας").

Για την χώρα μας μια από τις φορτίσεις που δέχονται οι κατασκευές είναι και ο σεισμός. Η σεισμικότητα του Ελληνικού χώρου είναι τέτοια ώστε η δυνατότητα ανάλυσης με "ασφάλεια" των σεισμικών φορτίων από τις κατασκευές να είναι πρωταρχικής οικονομικής και κοινωνικής σημασίας.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΤΟΝ ΠΟΛΙΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟ

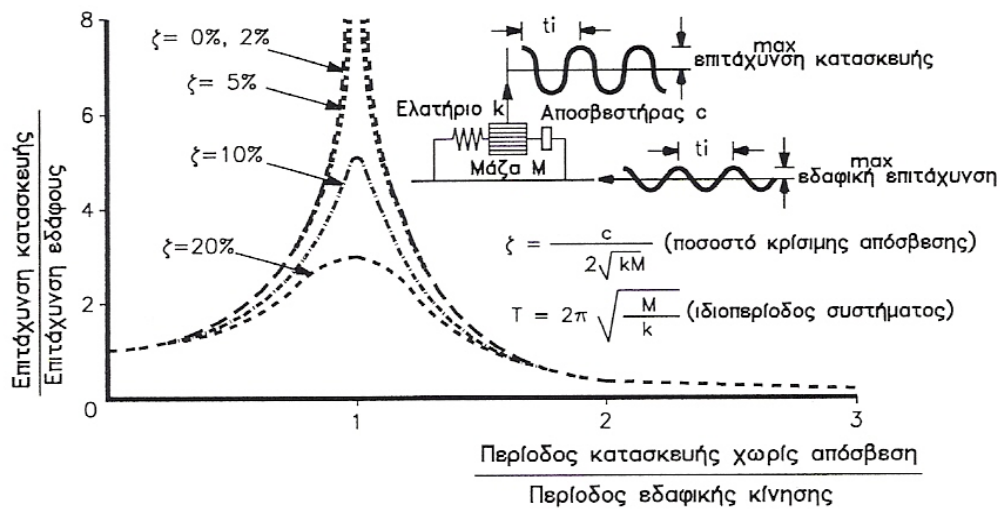
Ο Συντονισμός

Το φαινόμενο του συντονισμού είναι γνωστό στον καθένα. Σαν παράδειγμα αναφέρεται το "κοσκίνισμα" του τιμονιού που σημαίνει κατά την οδήγηση αυτοκινήτου με ένα τροχό μη ζυγостаθμισμένο, σε κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα. Συντονισμός σημαίνει όταν η περίοδος της διεγέρσεως (στο παράδειγμα ο χρόνος μιας πλήρους περιστροφής του τροχού) συμπίπτει με τη φυσική περίοδο (ιδιοπερίοδο) της κατασκευής. Το σχήμα 1α εικονίζει την απόκριση ενός συστήματος, που διεγείρεται από *ημιτονοειδή* διεγερση της οάσεως του.

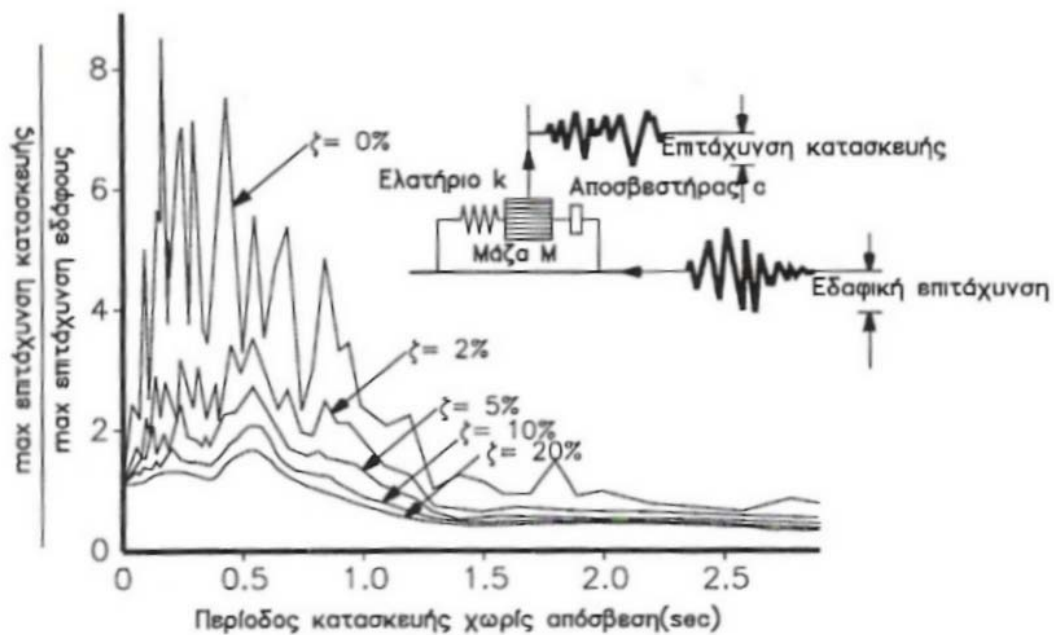
Ας εξετάσουμε τώρα την περίπτωση κατασκευών που υπόκεινται σε *σεισμική* διεγερση. Οι σεισμοί είναι έντονα τυχαία φαινόμενα και οι εξ' αυτών παραγόμενες εδαφικές κινήσεις περιέχουν όχι μία αλλά ένα εύρος περιόδων (Σχήμα 16). Όμως, μόνο ορισμένες περιόδους είναι οι επικρατούσες, εξαρτώμενες από το μέγεθος και την απόσταση του επικέντρου του σεισμού καθώς επίσης και από το είδος του εδάφους θεμελίωσης αλλά και του εδάφους που μεσολαβεί μεταξύ της κατασκευής και του επικέντρου. Ο **συντονισμός** (ψευδοσυντονισμός) μεταξύ αυτών των επικρατούσων σεισμικών περιόδων και των φυσικών περιόδων (ιδιοπεριόδων) μιας συγκεκριμένης κατασκευής είναι κρίσιμος για τον προσδιορισμό της **απόκρισης** της κατασκευής.

Οι επικρατούσες περιόδους για συνήθεις σεισμούς και ένα σκληρό έδαφος θεμελίωσης κυμαίνονται από 0.2 έως 0.4 sec, ενώ για μαλακό έδαφος μπορεί να φτάσουν μέχρι 2 sec ή περισσότερο. Αφού δε, οι κτιριακές κατασκευές παρουσιάζουν θεμελιώδεις περιόδους περίπου 0.1N (όπου N ο αριθμός των ορόφων), είναι προφανές ότι μπορεί να προκύψει συντονισμός, τουλάχιστον για σημαντικό αριθμό κύκλων ταλάντωσης (Σχήμα 2) . (4)

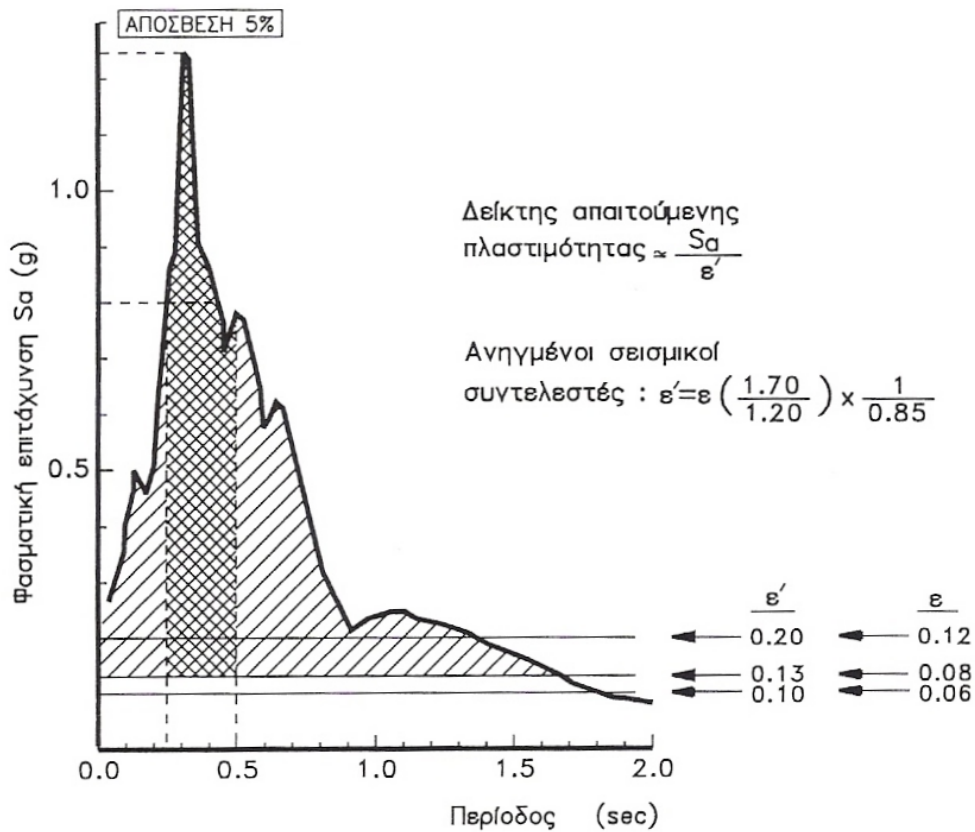
4. ΣΠΥΡΟΥ Π.ΛΙΒΙΕΡΑΤΟΥ & ΔΗΜΗΤΡΗ Κ.ΧΑΡΑΜΙΔΟΠΟΥΛΟΥ, "Ο ΝΕΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΙ Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 1995



Σχήμα 1α. Απόκριση σε ημιτονοειδή κίνηση του εδάφους



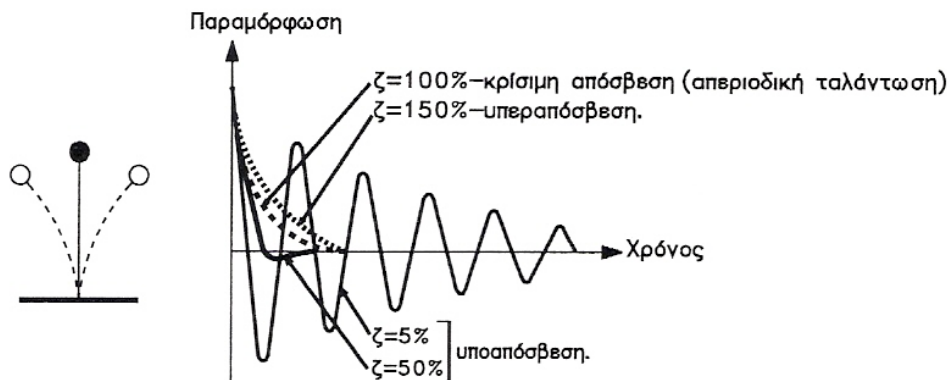
Σχήμα 16. Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων κατασκευής υπό σεισμική φόρτιση



Σχήμα 2. Σεισμός Καλαμάτας 1986 και σεισμικοί συντελεστές του παλαιού Κανονισμού. Η έντονα διαγραμμισμένη περιοχή αντιστοιχεί στις ιδιοπεριόδους των πολυκατοικιών της πόλης [ΑΝΑΓ86δ].

Η ΑΠΟΣΒΕΣΗ

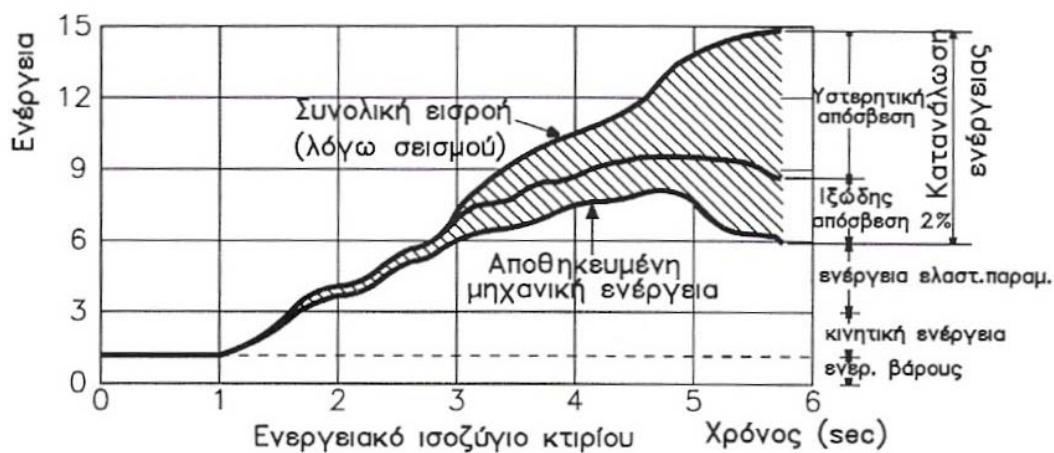
Όταν πάει η επιβαλλόμενη διέγερση σε μια κατασκευή, η απόκρισή της τείνει να σβήσει. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως απόσβεση (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Επιρροή του ποσοστού ιξώδους απόσβεσης στην απομείωση των ελεύθερων ταλαντώσεων.

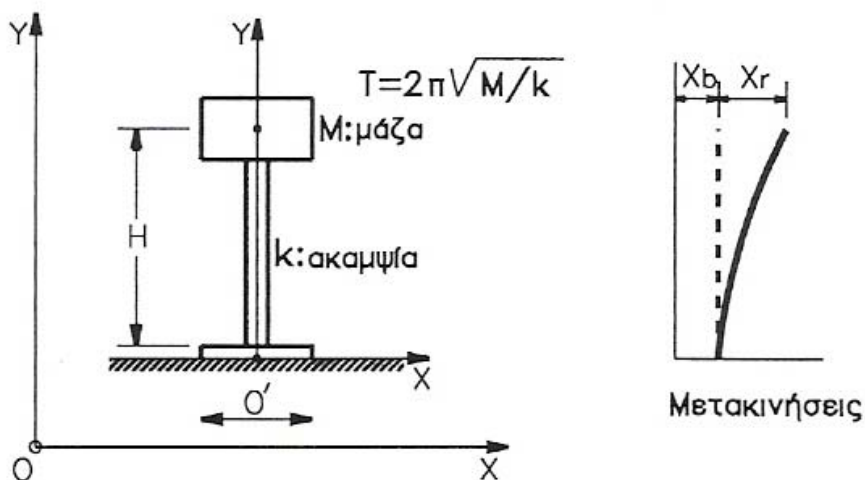
Η **απόσβεση** σε κτιριακές κατασκευές είναι αποτέλεσμα διαφόρων αιτιών όπως είναι οι τριβές στους συνδέσμους, η ύπαρξη τοίχων πληρώσεως, η συμμετοχή του εδάφους, η ολίσθηση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος, καθώς και ρηγματώσεων στο σκυρόδεμα (**ιξώδης απόσβεση**). Η απόσβεση που σχετίζεται με το έδαφος και τις θεμελιώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική σε μορφές ταλαντώσεων που περιέχουν μεγάλες παραμορφώσεις του εδάφους.

Όλες οι παραπάνω αιτίες είναι σημαντικές όταν η κατασκευή βρίσκεται στην ελαστική περιοχή. Όμως, με το πέρασμα στην ελαστοπλαστική περιοχή η απορρόφηση ενέργειας είναι αποτέλεσμα άλλων αιτιών Π.χ. μεγάλες ρωγμές και πλάστιμη συμπεριφορά, βρόγχοι υστερήσεως (**υστερητική απόσβεση**) - Σχήμα 4. Για κατασκευές που σχεδιάζονται να διαρρέουν σ'ένα σεισμό, η ύπαρξη της ιξώδους απόσβεσης έχει πολύ μικρότερη επιρροή στην απόκρισή τους απ'ότι για κατασκευές που λειτουργούν στην ελαστική περιοχή.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Όπως ήδη συζητήθηκε, η φυσική περίοδος (ιδιοπερίοδος) και η απόσβεση μιας κατασκευής είναι κρίσιμα μεγέθη για τον καθορισμό της απόκρισης της κατασκευής σε μια εδαφική κίνηση λόγω σεισμού. Λίγο πιο κάτω θα δούμε πως καθορίζονται αυτά τα μεγέθη.



Η ιδιοπερίοδος απλής μάζας M επί συνδέσμου ακαμψίας K , αν αμελήσουμε την απόσβεση είναι (Σχήμα 5)

$$T = 2\pi \sqrt{M / K}$$

Διπλασιάζοντας τη μάζα η περίοδος αυξάνει κατά 40%, το ίδιο συμβαίνει υποδιπλασιάζοντας την ακαμψία. Οι κτιριακές κατασκευές είναι προφανώς πολύ πιο πολύπλοκες, από ότι ένας μονοβάθμιος ή πολυβάθμιος ταλαντωτής αλλά πάλι οι φυσικές περίοδοι καθορίζονται από τις μάζες και τις ακαμψίες (μητρώα μάζας $[M]$ και ακαμψίας $[K]$).

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Ένας πολύ χρήσιμος εμπειρικός τύπος δίνει προσεγγιστικά τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο μιας συνηθισμένης κατασκευής με σχετικά καλά κατανεμημένη μάζα και ακαμψία:

$$T_a = 0.075(h_n)^{0.75}, \text{ sec}$$

Όπου h_n είναι το συνολικό ύψος του κτιρίου σε μέτρα

Πολλά προγράμματα δίνουν καλύτερες προσεγγίσεις, εν τούτοις είναι απαραίτητη η δυνατότητα ελέγχου της τάξης μεγέθους με απλούς τρόπους. Οι τιμές των περιόδων που εξάγονται από υπολογισμούς πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν με περίσκεψη και αυτό γιατί, ενώ οι μάζες ενός κτιρίου μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια, ως αποτέλεσμα του ίδιου βάρους του και των φορτίων που φέρει, η ακαμψία του μπορεί να εκτιμηθεί με πολύ μικρότερη ακρίβεια. Τούτο συμβαίνει επειδή τοίχοι πληρώσεως και άλλα μη φέροντα στοιχεία συνήθως αυξάνουν την ακαμψία και μειώνουν τις φυσικές περιόδους (τουλάχιστον στα πρώτα στάδια της σεισμικής διέγερσης, μέχρι την έναρξη των βλαβών σ'αυτά τα στοιχεία). Αντίθετα, ρηγμάτωση του σκυροδέματος και διαρροή των οπλισμών προκαλούν έντονη μείωση της ακαμψίας και αύξηση των φυσικών περιόδων. Ο προβληματισμός αυτός γίνεται εντονότερος σε περιπτώσεις ειδικών τεχνολογιών, όπως η προκατασκευη.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Σ'αντίθεση με τις ιδιοπερίόδους, η απόσβεση (και μάλιστα η ιξώδης που αυτή και μόνο υπεισέρχεται στο σχεδιασμό) μπορεί να εκτιμηθεί μόνο εμπειρικά. Μετρήσεις σε διάφορα κτίρια δείχνουν τιμές που κυμαίνονται σε πολύ μεγάλο εύρος. Υπάρχει μία παγκόσμια αναγνωρισμένη παραδοχή σύμφωνα με την οποία η απόσβεση, για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα υποκείμενα σε σεισμική διέγερση, λαμβάνεται 5%. Σύμφωνα όμως με τα αναφερόμενα προηγουμένως, η τιμή αυτή είναι σχεδόν πάντα προς την πλευρά της ασφαλείας. (4)

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι μορφές των κτιρίων είναι άπειρες, αλλά μία κατάταξη που εξυπηρετεί τις ανάγκες του αντισεισμικού σχεδιασμού και καλύπτει κάθε δυνατή περίπτωση μπορεί να γίνει σύμφωνα με το μητρώο μορφολογίας των Arnold Reitherman [1]. Το μητρώο αυτό περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες κτιρίων, όσοι δηλαδή είναι και οι δυνατοί συνδυασμοί μιας απλής ή σύνθετης κάτοψης και τομής. Λέγοντας απλή κάτοψη (ορθογώνιο σχήμα) εννοούμε οποιαδήποτε κάτοψη με κυρτό περίγραμμα (τεθλασμένο, καμπύλο ή μικτό). Με τον όρο σύνθετη κάτοψη (σχήμα γωνίας) εννοούμε οποιαδήποτε κάτοψη με κοίλο περίγραμμα.

Η σύνθετη τομή περιλαμβάνει εσοχές ή εξοχές ορισμένων ορόφων σε μια ή περισσότερες όψεις του κτιρίου, ενώ στην απλή τομή το περίγραμμά της κατόψεως διατηρείται σταθερό σε όλους τους ορόφους. Έτσι οι τέσσερις κατηγορίες κτιρίων από μορφολογικής άποψης θα είναι:

- Απλή κάτοψη - απλή τομή
- Απλή κάτοψη - σύνθετη τομή
- Σύνθετη κάτοψη - απλή τομή
- Σύνθετη κάτοψη - σύνθετη τομή.

Η σεισμική διέγερση εξομοιώνεται με παράλληλη μεταφορά, σταθερή σε όλη την έκταση της θεμελίωσης, ενώ τα πατώματα των κτιρίων θεωρούνται σαν στερεοί δίσκοι μέσα στο επίπεδό τους.

Η πρώτη διατύπωση ικανοποιείται με ανεκτή ακρίβεια στην περίπτωση περιορισμένης και δύσκαμπτης θεμελίωσης. Όσο αυξάνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις της θεμελίωσης, τόσο αυξάνονται και οι διάφορες κινήσεις από τις μόνιμες παραμορφώσεις του εδάφους. Εκτός από τις μικρές διαστάσεις, σημαντικό ρόλο παίζει και η μονολιθικότητα της θεμελίωσης, χάρη στην οποία ομοιομορφοποιούνται οι διαφορικές κινήσεις και μετατρέπονται σε κινήσεις στερεού σώματος της θεμελίωσης (στρέψη, στροφή κ.λπ.).

Η δεύτερη περίπτωση ικανοποιείται όταν η κάτοψη του κτιρίου εμφανίζει κυρτό περίγραμμα χωρίς επιμήκη περύγια. Οι πλάκες των πατωμάτων θα εμφανίζουν πολύ μεγάλες και συγκρίσιμες μεταξύ τους ακαμψίες μέσα στο επίπεδο τους κατά τη διεύθυνση.

Η μορφή της τομής των κτιρίων αποτελεί σημαντικό παράγοντα με την κάτοψη, γιατί επηρεάζει τα δυναμικά τους χαρακτηριστικά. Το συνολικό ύψος αποτελεί ανεξάρτητο παράγοντα και δεν θα πρέπει να είναι υπερβολικά μεγάλο ~ε σχέση με το ελάχιστο πλάτος της κάτοψης. Για μεγάλες τιμές του πηλίκου ύψος προς πλάτος τα μη γραμμικά φαινόμενα είναι πιο έντονα, οι αξονικές ταλαντώσεις των στύλων και οι αδρανειακές ροπές με οριζόντιο άξονα των πατωμάτων είναι σημαντικές.

Οι εσοχές προκαλούν απότομη μεταβολή των μαζών και των ακαμψιών καθ ύψος, αλλοίωση των δυναμικών χαρακτηριστικών, όπου συνεπάγεται αδυναμία εφαρμογής στατικών μεθόδων αντισεισμικού υπολογισμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο γραμμικός δυναμικός υπολογισμός αδυνατεί να προβλέψει τη συγκέντρωση παραμορφώσεων στις στάθμες απότομης μεταβολής μαζών και ακαμψιών. Ιδιαίτερα δυσχερής είναι η περίπτωση κτιρίων με ορόφους "εν προβάλω" επάνω από το ισόγειο.

Από τα προηγούμενα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πρώτη περίπτωση κτιρίων εμφανίζει τη βέλτιστη αντισεισμική συμπεριφορά από απόψεως μορφολογίας.

Τα γωνιακά κτίρια των οικοδομικών τετραγώνων αποτελούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις δυσμενούς μορφολογίας. Τα κτίρια αυτά υπό ορισμένες προϋποθέσεις

γεωμετρικών διαστάσεων και δομής του σκελετού, είναι δυνατόν να εμφανίζουν σημαντικές ταλαντωτικές παραμορφώσεις μέσα στο επίπεδο των πατωμάτων. Αποτέλεσμα αυτών των παραμορφώσεων είναι η κατάρρευση είτε του γωνιακού τμήματος είτε της μιας πτέρυγας ή ακόμη και ολόκληρου του κτιρίου.

Από παραδείγματα γίνεται ευδιάκριτη η τάση αποχωρισμού των κτιρίων σε συμπαγή τμήματα με αυτοτελή δομή, οργάνωση και συμπεριφορά κατά τη σεισμική επιπόνηση. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη σκέψη κατασκευαστικής υλοποίησης ενός τέτοιου διαχωρισμού με τη βοήθεια αντισεισμικών αρμών, ώστε το αυτοτελές τμήμα του κτιρίου να αποκτήσει την επιθυμητή απλή κάτοψη και τομή και να αποφευχθούν οι δυσμενείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τμημάτων αυτών. Μία άλλη μέθοδος παρεμβάσεως συνίσταται στη "σύνδεση" των περυγωτών τμημάτων της κάτοψης με συνδετήριους δοκούς ώστε τελικά να προκύπτει κυρτός στερεός δίσκος πατωμάτων. Η λύση αυτή απαιτεί προσεκτικό έλεγχο των συνδετήριων δοκών σε εφελκυσμό, θλίψη και λυγισμό. Η διαμόρφωση του αντισεισμικού αρμού θα πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη ανεξαρτησία κινήσεων στα διαχωριζόμενα τμήματα, χωρίς αμοιβαία μεταβίβαση δυνάμεων. Για τη θεμελίωση δεν απαιτείται επέκταση του αντισεισμικού αρμού η οποία θα πρέπει να είναι μονολιθική. Η χρησιμότητα του αντισεισμικού αρμού είναι γενικότερη και αφορά όλα τα εν επαφή κτίρια ενός οικοδομικού τετραγώνου. Κατά το σεισμό τα κτίρια υφίστανται αμοιβαίες κρούσεις οι οποίες είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τα γωνιακά κτίρια και κτίρια με διαφορετικές στάθμες ορόφων. Η υποχρεωτική πρόβλεψη αντισεισμικού αρμού μεταξύ των κτιρίων αποτελεί το μοναδικό μέσω προστασίας τους από αμοιβαία σύγκρουση. Δεν πρέπει να υποτιμηθούν και τα τεχνολογικά προβλήματα υγραμονώσεων, θερμομονώσεων και ηχομονώσεων που δημιουργούν οι αντισεισμικοί αρμοί, ιδιαίτερα όταν βρίσκονται στο ίδιο κτιριακό συγκρότημα.

Η σπουδαιότητα των μορφολογικών παραγόντων εκδηλώνεται σε επίπεδο αντισεισμικών κανονισμών με τη διάκριση των κτιρίων σε ομαλά ή κανονικά και σε ανώμαλα ή μη κανονικά. Η διάκριση αυτή γίνεται με κριτήριο τη δυνατότητα απόδοσης της δυναμικής συμπεριφοράς με βάση τη θεμελιώδη !ιδιόμορφη ταλάντωση ς, παραλείποντας την επιρροή όλων των επόμενων ιδιομορφιών. Έτσι στα κανονικά κτίρια είναι δυνατή η εφαρμογή απλοποιημένων μεθόδων στατικού αντισεισμικού υπολογισμού, ενώ στα μη κανονικά κτίρια επιβάλλεται η θεώρηση περισσοτέρων ιδιομορφιών ταλάντωσης, δηλαδή επιβάλλεται η εφαρμογή μεθόδων δυναμικού αντισεισμικού υπολογισμού.

Οι μορφολογικές απαιτήσεις αντισεισμικότητας δεν πρέπει να ερμηνευθούν ως φραγμός στην αρχιτεκτονική δημιουργία με συνέπεια τον εγκλωβισμό της στο απλό ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο σχήμα. Η κατασκευή κτιρίων με υψηλές απαιτήσεις αισθητικής είναι δυνατή στις περιπτώσεις εκείνες που επιτυγχάνεται σύγκλιση ανάμεσα στην εκλογικευμένη αρχιτεκτονική σύλληψη και στην απλή και ορθολογική διάταξη του σκελετού για την υλοποίησή της.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Τα υποστυλώματα πρέπει να είναι συμμετρικά διατεταγμένα σε σχέση με τους κεντροβαρικούς άξονες της κατασκευής. Επίσης οι διατομές να έχουν παραπλήσιες ροπές ακαμψίας. Ένα υποστύλωμα μπορεί να έχει σχήμα τετραγωνικό, ορθογωνικό, κυκλικό (υπάρχουν και άλλα σύνθετα σχήματα, ανάλογα με την κάτοψη). Το τετραγωνικό υποστύλωμα είναι πιο λειτουργικό, γιατί έχει συγκρίσιμες ροπές ακαμψίας. (5)

ΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

Φτάνοντας το σεισμικό κύμα στην κατασκευή μας, της επιβάλλει μια μετακίνηση. Η επιβαλλόμενη μετακίνηση έχει επιτάχυνση δημιουργεί αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες καταπονούν την κατασκευή σε όλα τα στοιχεία της. Όταν αυτή η καταπόνηση ξεπεράσει το όριο αντοχής του στοιχείου, τότε αυτό ρηγματώνεται.

Αν αυτή η ρηγμάτωση γίνει με προκαθορισμένο τρόπο, τότε έχει ευμενή επίπτωση στην κατασκευή. Όταν λέμε ευμενή επίπτωση για την κατασκευή, σημαίνει ότι δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις σε συγκεκριμένα στοιχεία της κατασκευής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται περισσότερο πλάστικη, έτσι μειώνονται οι αδρανειακές δυνάμεις και κατά συνέπεια οι σεισμικές δυνάμεις.

Πλαστιμότητα: ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της ικανότητας μιας κατασκευής, στοιχείου κατασκευής ή υλικού να υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις σε μικρό ή μεγάλο βαθμό. Υλικά με μηδενική ή μικρή πλαστιμότητα είναι γνωστά σαν ψαθυρά υλικά, ενώ υλικά με μεγάλη πλαστιμότητα είναι γνωστά σαν συνεκτικά υλικά. Η σημασία της πλαστιμότητας για τις αντισεισμικές κατασκευές είναι μεγάλη, γιατί αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες από τους οποίους θα εξαρτηθεί αν μια κατασκευή θα αποφύγει την κατάρρευση σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού. Και τούτο γιατί οι σεισμικοί συντελεστές που καθορίζονται από τους διάφορους κανονισμούς έχουν προσδιοριστεί με την προϋπόθεση πως ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας θα εξουδετερωθεί σαν έργο πλαστικής παραμόρφωσης της κατασκευής. Έτσι αν μια κατασκευή δεν έχει πλαστιμότητα είναι άκρως επικίνδυνη, έστω και αν οι μέγιστες τάσεις από τα φορτία λειτουργίας και τα σεισμικά φορτία του κανονισμού είναι αρκετά μικρότερες των επιτρεπόμενων. Δηλαδή η ικανοποίηση σ' όλες τις διατομές μιας κατασκευής της συνθήκης $\sigma_{max} < \sigma_{επ}$, όπου σ_{max} περιλαμβάνει τάσεις από σεισμό, δεν επαρκεί για να εξασφαλίσει την ασφάλεια της κατασκευής, ακόμα και για τον σεισμό σχεδιασμού. (6)

6. ΣΤΥΡΟΣ ΑΡ. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΙΣΗΓΗΣΗ (σελ. 747) ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ "ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ", 1984

Πως πετυχαίνω μέγιστη πλαστιμότητα

Όταν η πλαστική άρθρωση γίνει στα δοκάρια και όχι στα υποστυλώματα. Αυτό έχει ως συνέπεια η κατασκευή μας να γίνεται πλάστικη. Δηλαδή να κάνει μεγάλες μετακινήσεις χωρίς να χάσει την αντοχή της, άρα απορροφάει μικρότερη καταπόνηση. Που σημαίνει ότι όσο μεγάλος και αν είναι ο σεισμός, εφόσον η κατασκευή μας είναι πλάστικη, δεν καταπονείται ανάλογα με την επιτάχυνση των σεισμικών κυμάτων διότι οι αδρανειακές δυνάμεις μειώνονται λόγω πλαστιμότητας.

Πως πετυχαίνω κατασκευαστικά τη μέγιστη πλαστιμότητα (σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.)

- Στα υποστυλώματα: με περίσφιξη του σκυροδέματος με εγκάρσιο οπλισμό.
- Στις δοκούς: με περιορισμό του ποσοστού του εφελκόμενου χάλυβα.

ΒΛΑΒΕΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (7)

Με τον όρο βλάβες χαρακτηρίζουμε τις επιπτώσεις του σεισμού στις κατασκευές

Θεωρητικά: βλάβη είναι η απομάκρυνση ενός στοιχείου από την περιοχή άψογης κατάστασης και λειτουργίας του. Στην καθημερινή πράξη, που ενδιαφέρει τον μέσο μηχανικό, βλάβη είναι κάθε αστοχία που οφείλεται σε καταπόνηση του στοιχείου πέρα από τα όρια της αντοχής του. Συνεπώς ά μ ε σ ο και προφανές αίτιο της βλάβης είναι η τοπική υπέρβαση της αντοχής. Όμως βαθύτερο και ουσιαστικό αίτιο είναι κάθε παράγοντας που επαυξάνει τη σεισμική καταπόνηση του στοιχείου πέρα από την αναμενόμενη ή που υποβιβάζει την αντοχή του.

Η συστηματική παρουσίαση βλαβών απαιτεί την κατάταξη τους σε κατηγορίες. Μπορούν να γίνουν πολλές ταξινομήσεις με διάφορα κριτήρια (π.χ. τη θέση και το είδος των έργων, το στοιχείο που παρουσιάζει την βλάβη, τα γενικά ή τα ειδικά αίτια της βλάβης κτλ), ανάλογα με τις συγκρίσεις και τις ερμηνείες που είναι επιθυμητό να γίνονται κάθε φορά.

Η ερμηνεία των βλαβών και κάποτε παρακινδυνευμένη. Κατά κανόνα μια βλάβη δεν οφείλεται σε ένα μόνο αίτιο, αλλά στη συρροή πολλών παραγόντων. Σε κάθε προσπάθεια ερμηνείας μπορούν να υπάρξουν αμφισβητήσεις ή αντιρρήσεις' πολλές φορές μάλιστα υπάρχουν περισσότερες ερμηνείες, που η κάθε μία ισχύει ως ένα βαθμό. Σε μερικές βλάβες τα αίτια είναι ολοφάνερα, ενώ άλλες είναι δύσκολο ή αδύνατο να ερμηνευθούν ικανοποιητικά. Υπάρχουν μάλιστα και περιπτώσεις όπου από την εξέταση και ανάλυση της κατασκευής επισημαίνονται ασθενείς θέσεις, όπου έπρεπε οπωσδήποτε να αναμένονται βλάβες, οι οποίες όμως- για ανεξήγητους λόγους- δεν εκδηλώθηκαν.

Προϋποθέσεις για τη σωστή ερμηνεία μιας βλάβης είναι οι ακόλουθες:

- α) η λεπτομερειακή αποτύπωση και περιγραφή όλων των βλαβών της εξεταζόμενης κατασκευής (και των ομόρων της)
- β) ο συσχετισμός όλων των σεισμών
- γ) η γνώση του ιστορικού μελέτης, κατασκευής και ενδεχόμενων μετατροπών του εξεταζόμενου έργου.
- δ) ο έλεγχος της ποιότητας και της αντοχής των υλικών
- ε) η εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών του σεισμού του εδάφους και του ελεγχόμενου έργου.
- στ) η εξέταση της συμπεριφοράς των ομόρων έργων.

Είναι φανερό ότι όλα τα παραπάνω στοιχεία είναι δύσκολο να συγκεντρώνονται σε κάθε περίπτωση και αυτό δείχνει το βαθμό αμφιβολίας που υπάρχει σε κάθε ερμηνεία.

ΓΕΝΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

Τα βαθύτερα αίτια των βλαβών μπορούν να χωριστούν στις εξής γενικές κατηγορίες:

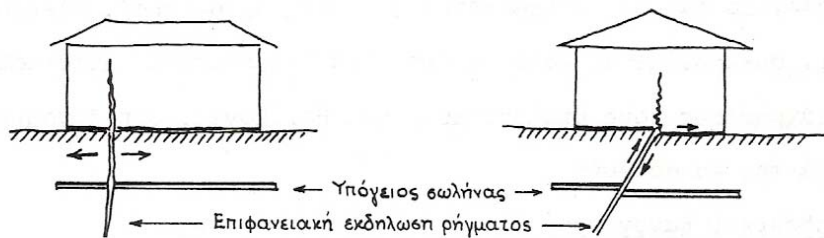
- α. εκδήλωση τοπικών φαινομένων (ρηγμάτων, κατολισθήσεων, ρευστοποιήσεων εδάφους, θαλάσσιων κυμάτων) στην περιοχή του έργου.
- β. ατέλειες των κανονισμών
- γ. ατέλειες ή λάθη των μελετών
- δ. παραλείψεις ή κακοτεχνίες κατά την κατασκευή
- ε. μεταγενέστερες βλαπτικές επεμβάσεις στην αρχική κατασκευή

Πρέπει να σημειωθεί ότι σημαντικές ή καταστροφικές βλάβες προκαλεί επίσης μια σεισμική δράση εντονότερη ή διαφορετική από την αναμενόμενη που λήφθηκε υπόψη

κατά τον σχεδιασμό. Το αίτιο αυτό είναι απρόβλεπτο και δεν εντάσσεται στις παραπάνω περιπτώσεις, οι οποίες μπορούν να μελετηθούν και με κάποιο τρόπο να αντιμετωπισθούν. Αναφέρεται, όμως, εδώ για να φανεί ότι ο αντισεισμικός σχεδιασμός γίνεται μέσα σε πλαίσια στατιστικών προβλέψεων και ότι ποτέ δεν μπορεί να υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα για πλήρη εξασφάλιση από τους σεισμούς.

ΒΛΑΒΕΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΕΣ ΣΕ "ΤΟΠΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ"

Η επιφανειακή εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος μπορεί να προκαλέσει "πρωτογενείς" βλάβες στα κτίρια, θραύσεις σε σωληνώσεις, σχετικές μετακινήσεις τμημάτων έργων κλπ οι βλάβες είναι ανάλογες της έκτασης με την οποία εκδηλώνεται το ρήγμα(σεισμός Βόλβης: Γερακάρου-Στίβος).σχ.1



Σχ.1. Επιφανειακή εκδήλωση σεισμικού ρήγματος - Πρωτογενείς βλάβες

Οι κατολισθήσεις, κατακρημνίσεις και ρευστοποιήσεις του εδάφους μπορούν να οδηγήσουν σε ολική αχρήστευση των κατασκευών χωρίς να υπάρχει δυνατότητα επισκευών(Alaska, Niigata 1964-Μαυροβούνιο 1979).

Το ίδιο συμβαίνει και με τα κύματα tsunamis.

Οι βλάβες που οφείλονται στα παραπάνω έχουν συνήθως φανερή αιτιολογία, αλλά δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν με μέτρα κατά το στάδιο της μελέτης ή της κατασκευής των έργων. Μόνη λύση είναι να αποφεύγονται οι περιοχές όπου μπορούν να εκδηλωθούν τέτοια τοπικά φαινόμενα.

ΒΛΑΒΕΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΕΣ ΣΕ "ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ"

Τη διάταξη, μελέτη και κατασκευή των έργων διέπουν οι:

- πολεοδομικοί κανονισμοί
- οικοδομικοί κανονισμοί
- κανονισμοί μόρφωσης, υπολογισμού και κατασκευής έργων
- κανονισμοί παραγωγής, έλεγχου και χρήσης οικοδομικών υλικών

Ελαστικότητα, ελλείψεις ή ατέλειες διατάξεων μπορούν να οδηγήσουν σε έργα με διαμόρφωση και κατασκευή μειωμένης αντίστασης στη σεισμική δράση. Ειδικότερα:

α. πολεοδομικοί κανονισμοί

επιτρέπουν το "συνεχές" σύστημα δόμησης και έτσι τα κτίρια, αν υπολογίζονται σαν ανεξάρτητοι φέροντες οργανισμοί, αλληλοεπηρεάζονται, συγκρουόμενα, κατά τη διάρκεια του σεισμού. Αυτό καθιστά σχεδόν άχρηστους τους υπολογισμούς που βασίζονται στη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής.

β. οικοδομικοί κανονισμοί

στις ατέλειες των οικοδομικών κανονισμών τοποθετούνται οι διατάξεις για υποχρεωτικές pilotis, πράγμα που καθιστά ευάλωτους τους "εύκαμπτους" ισόγειους ορόφους.

7. ΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΤΖΟΛΠΟΥΛΟΣ, ΕΙΣΗΓΗΣΗ (σελ.398) ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ "ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ", 1984

γ. κανονισμοί μόρφωσης

ορισμένοι κανονισμοί δεν καλύπτουν σύγχρονες αντιλήψεις σε διάφορα θέματα και σημεία, όπως είναι!

- ο δυναμικός ρόλος του φέροντα οργανισμού στη σεισμική απόκριση της κατασκευής
- ο τρόπος κατανομής των σεισμικών δυνάμεων καθ' ύψος
- οι ειδικοί έλεγχοι τοιχίων, συζεύξεων δοκών-τοιχίων κτλ
- η διαστασιολόγηση ευπαθών ορόφων και στοιχείων

δ. κανονισμοί οικοδομικών υλικών

ελαστικότητα ή κενά στους κανονισμούς αυτούς μπορούν να οδηγήσουν σε γενική υποβάθμιση της ποιότητας και της αντοχής των κατασκευών ενός τόπου.

ΒΛΑΒΕΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΕΣ ΣΤΙΣ "ΜΕΛΕΤΕΣ"

Μια βλάβη μπορεί να αποδοθεί σε κενά της μελέτης του έργου, όταν οφείλεται σε μη τήρηση των κανονισμών, σε αδόκιμη διαμόρφωση του φέροντα οργανισμού και σε υπολογιστικές ελλείψεις ή λάθη.

Ελαττώματα της μελέτης είναι:

α. στη θεμελίωση

- η μη σωστή εκτίμηση της αντοχής και της σεισμικής επικινδυνότητας του εδάφους.
- η διάταξη των πεδύλων σε πολλές ακανόνιστες θέσεις.

β. στην ανωδομή

- η απότομη καθ' ύψος μεταβολή της δυσκαμψίας της κατασκευής και η αθέλητη δημιουργία εύκαμπτων ορόφων.
- η ακανόνιστη διάταξη των φερόντων τοιχίων και ιδιαίτερα η έκκεντρη τοποθέτηση των τοιχωμάτων ακαμψίας.
- η δημιουργία υποστυλωμάτων με διάφορα ύψη και ακαμψίες.
- ο αθέλητος σχηματισμός "βραχέων" υποστυλωμάτων.
- οι έκκεντρες στηρίξεις δοκών στα υποστυλώματα.
- η στήριξη ισχυρών δοκών σε υποστυλώματα μικρής διατομής.
- η άσχημη διάταξη ανοιγμάτων σε φέρουσες ή μη τοιχοποιίες.

γ. στη διαμόρφωση και διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων

- η παράλειψη ελέγχου για εναλλασσόμενες ροπές σε θέσεις στηρίξεων δοκών, συζεύξεων δοκών με τοιχία, προβόλων κτλ.
- οι αδόκιμες διατάξεις οπλισμών, τα ανεπαρκή μήκη αγκύρωσης, η ανεπάρκεια συνδετήρων σε ευαίσθητες περιοχές.
- οι χαλαρές συνδέσεις των τοίχων με τα πατώματα και τις στέγες στα κτίρια με φέρουσες τοιχοποιίες.

δ. στους υπολογισμούς

- η κακή εκτίμηση των φορτίων και του τρόπου κατανομής και δράσεις των σεισμικών φορτίων.
- τα τυχαία υπολογιστικά λάθη.

ΒΛΑΒΕΣ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ‘ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ’

Εδώ κατατάσσονται οι βλάβες που εμφανίζονται επειδή κατά την κατασκευή του έργου δεν τηρήθηκαν οι υποδείξεις της μελέτης και των κανονισμών και έτσι δημιουργούνται τα ακόλουθα ελαττώματα:

σε φέροντες οργανισμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα

- α. μειωμένη ποιότητα της κατασκευής, λόγω κακών υλικών και μη τήρησης των κανόνων και συνθηκών εργασίας(πχ. κοκκομετρία αδρανών, ποσότητα τσιμέντου, χρόνος ανάμειξης, συνθήκες μεταφοράς, σκυροδέτησης, συμπίκνωσης κτλ).
- β. άσχημες συνδέσεις στους αρμούς διακοπής εργασίας.
- γ. ανεπάρκεια συνδετήρων είτε λόγω μείωσης του αριθμού τους είτε λόγω μετατόπισης τους κατά τη σκυροδέτηση είτε λόγω ανοικτών αγκίστρων.
- δ. ανεπαρκείς επιμηκύνσεις ή αγκυρώσεις οπλισμών.
- ε. ενσωμάτωση σωληνώσεων, υδρορροών σε φέροντα στοιχεία με αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής τους.

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εκτός από την γενική κατάταξη και παρουσίαση των βλαβών με βάση τα ‘βαθύτερα αίτια’, που τις προκαλούν, είναι ενδιαφέρον και χρήσιμο να καταγραφούν και να εξεταστούν ειδικότερα οι βλάβες που εμφανίζονται στα επιμέρους στοιχεία των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Βλάβες σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα

• Πλάκες

οι βλάβες στις πλάκες εμφανίζονται με μορφή ρηγματώσεων (συνηθέστερα παραλλήλων προς τους οπλισμούς) και οφείλονται σε διάφορα αίτια όπως:

- διαφορετικές καθιζήσεις των στοιχείων του σκελετού.
- υπερκαταπόνηση από την επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού.
- Κακή εκτίμηση των φορτίων
- Κακοτεχνίες: στη διάταξη του οπλισμού, στους αρμούς διακοπής εργασίας, στη συντήρηση του σκυροδέματος μετά τη διάστρωση, στη διαμόρφωση ανοιγμάτων.

• Δοκοί

Στις δοκούς παρουσιάζονται ρήγματα κάμψης και διάτμησης. Η θέση τους είναι σχετική με το αίτιο που τα προκαλεί.

-καμπτικά ρήγματα στις στηρίξεις (πάνω πλευρά): οφείλονται συνήθως σε κακοτεχνίες ή σε ατέλειες των μελετών. Σε συνδέσεις δοκών με ισχυρούς στύλους, αυτά οφείλονται στις απαιτήσεις πλαστιμότητας που έχει ο σεισμός από τις δοκούς.

-καμπτικά ρήγματα στις στηρίξεις (κάτω πλευρά): στις θέσεις αυτές μπορούν να εμφανιστούν θετικές ροπές κατά τον σεισμό. Όταν αυτό δεν έχει ληφθεί υπόψη κατά τη μελέτη, παρουσιάζεται έλλειψη οπλισμού ή ανεπαρκής αγκύρωση, με αποτέλεσμα να διαρρέουν ή να εξολκεύουν οι ράβδοι.

Όμοια ρήγματα μπορεί να προκληθούν και από διαφορετικές καθιζήσεις στύλων.

- Άνω και κάτω καμπτικά ρήγματα

Στην ουσία πρόκειται για δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Αυτές εμφανίζονται στις πακτώσεις δοκών επί τοιχίων, από αδυναμία των συνήθων δοκών να παραλάβουν τις πολύ μεγάλες ροπές που αναπτύσσονται καθώς ακολουθούν την κάμψη των τοιχίων. (σχ.4α) (7)

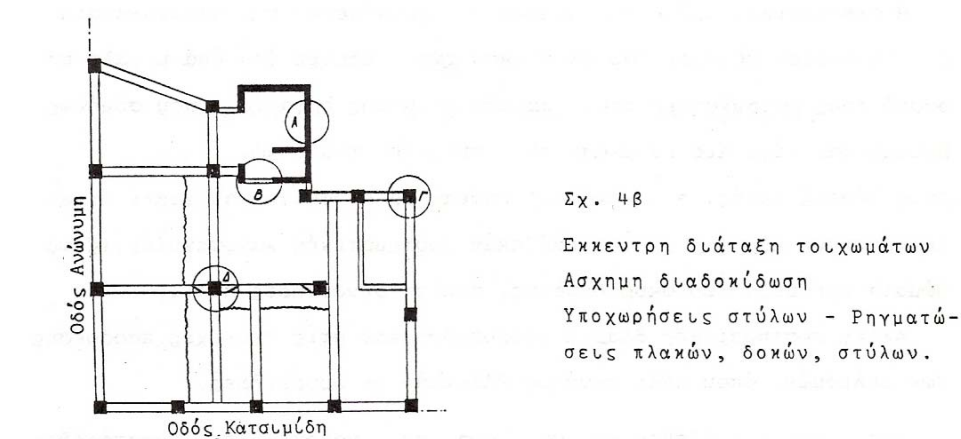
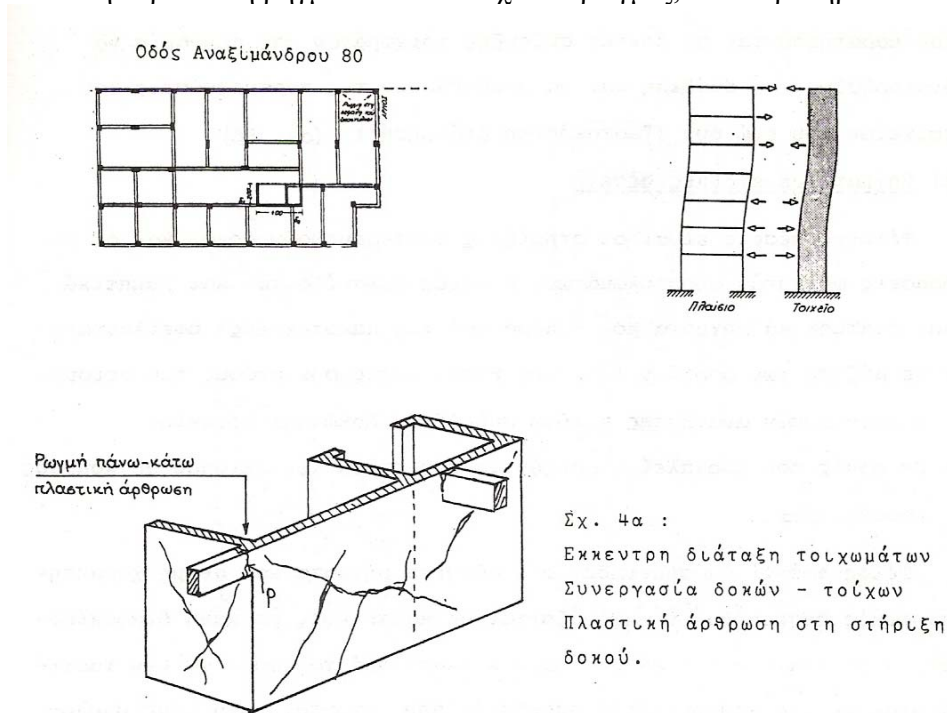
7. ΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΙΣΗΓΗΣΗ (σελ.398) ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ "ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ", 1984

- Λοξά διατμητικά ρήγματα

Εμφανίζονται συχνά και είναι πιο επικίνδυνα από τα κατακόρυφα καμπτικά ρήγματα, επειδή τα περιθώρια, από την επιπόνηση που τα κάνει, ορατά μέχρι αυτήν που θα φέρει την κατάρρευση του στοιχείου, είναι μικρά (ψαθυρή θραύση).

Δεν είναι εύκολο να διαπιστωθεί αν οφείλονται σε λάθη μελέτης, σε κακοτεχνίες ή σε ανεπάρκεια των ελέγχων που επιβάλλει ο κανονισμός.

Ειδική περίπτωση ρηγματών είναι οι χιαστί ρωγμές, που παρατηρούνται σε δοκούς



σύζευξης τοιχωμάτων από αδυναμία να διατηρήσουν τη σύνδεση και να συμβιβάσουν τις παραμορφώσεις των τοιχίων που ενώνουν (κατακόρυφη διάτμηση).

• Ρήγματα σε ειδικές θέσεις

Τέτοιες θέσεις είναι οι στηρίξεις δευτερευουσών δοκών και οι επιδράσεις φυτευτών υποστυλωμάτων. Σε αυτές εμφανίζονται και καμπτικά και διατμητικά ρήγματα που-πέρα από τις κακοτεχνίες- οφείλονται:

- σε αύξηση των φορτίων λόγω της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού ή λόγω ροπών ανατροπής ή λόγω συζεύξεων δοκών με τοιχία.
- Σε ροπές που προκαλεί η οριζόντια συνιστώσα του σεισμού σε κόμβους μορφής ταυ.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι σύνθετα ρήγματα και σε μη χαρακτηριστικές θέσεις δοκών εμφανίζονται σε κατασκευές με κακή διαδοκίδωση, στις οποίες η τελική μεταφορά και κατανομή των φορτίων δεν ταυτίζονται με τις χονδροειδείς παραδοχές που γίνονται κατά τους υπολογισμούς.(σχ.4β)

• Υποστυλώματα

εκτός από τις βλάβες που οφείλονται στις κακοτεχνίες, παρατηρήθηκαν και οι ακόλουθες αστοχίες:

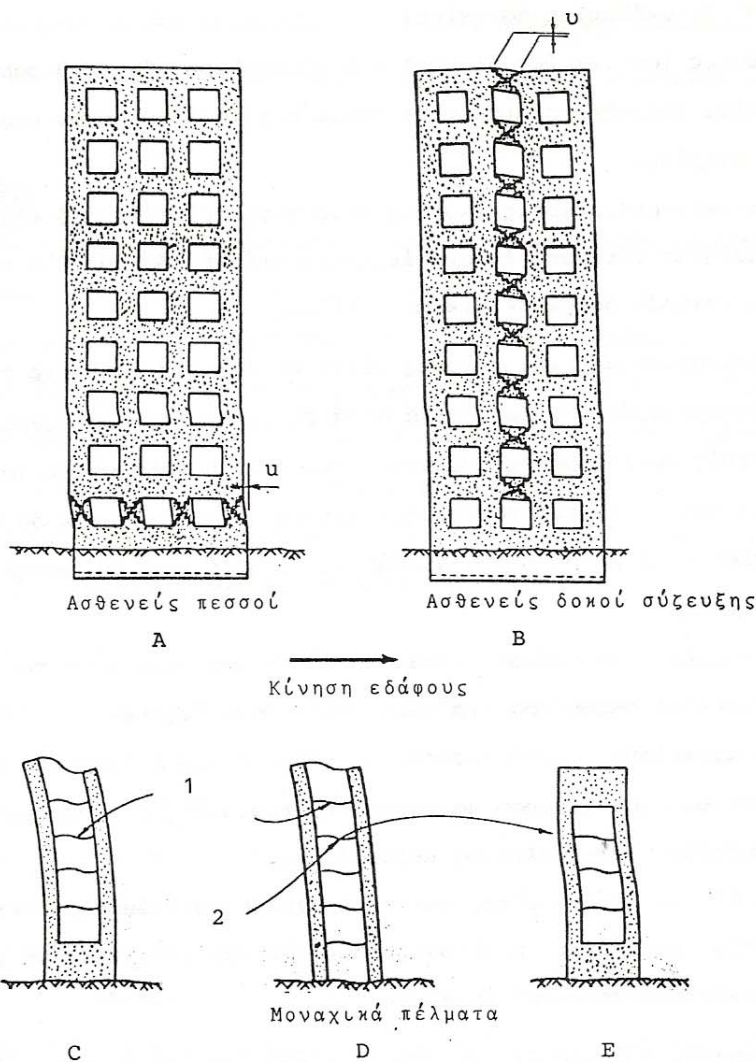
- θραύσεις (σε τυχαίες θέσεις) από αύξηση του αξονικού φορτίου, είτε λόγω σύζευξης πλαισίων με τοιχία, είτε λόγω ροπών ανατροπής του κτιρίου.
- Καμπτικές ρηγματώσεις (κυρίως στις κεφαλές) είτε από έλλειψη πλαστιμότητας, είτε από έντονα έκκεντρα στήριξη δοκών, είτε από στήριξη ισχυρών δοκών με μικρούς στύλους.

Χαρακτηριστικές και έντονες είναι οι ψαθυρές-θραύσεις των "βραχέων υποστυλωμάτων". Τα δομικά αυτά στοιχεία δημιουργούνται στις κατασκευές πολλές φορές αθέλητα (πχ. όταν μεταξύ υποστυλωμάτων υπάρχουν καλοχτισμένοι τοίχοι που αφήνουν ανοίγματα μικρού ύψους, όταν οι πλάκες με μικρή διαφορά στάθμης στηρίζονται σε κοινά υποστυλώματα κλπ).

Τα βραχέα υποστυλώματα είναι πολύ άκαμπτα και κατά τον σεισμό καταπονούνται υπέρμετρα για τους ακόλουθους λόγους:

- όταν αποτελούν μικρό ποσοστό στο σύνολο των στύλων του ορόφου προκαλούν ανομοιόμορφη κατανομή της τέμνουσας του σεισμού και αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο της.
- Όταν όλο το κτίριο εδράζεται σε βραχέα υποστυλώματα γίνεται πιο άκαμπτο, μειώνεται η ιδιοπερίοδος του και είναι πιθανό να έχει δυσμενέστερη σεισμική απόκριση.

Επικρατεί η άποψη ότι οι αστοχίες των βραχέων υποστυλωμάτων οφείλεται σε διατμητικά ρήγματα λοξού εφελκυσμού, γι' αυτό άλλωστε χρησιμοποιήθηκε ο όρος "διατμητική έκρηξη". Νεότερες έρευνες δείχνουν ότι η θραύση κατά τις διαγωνίους οφείλεται σε διάρρηξη τους μπορεί να επιτευχθεί μόνο με πυκνούς συνδετήρες. (7)



Σχ. 5: Α: αστοχία από οριζόντια διάτμηση
 Β: αστοχία από κατακόρυφη διάτμηση
 Δ: οι βλάβες μπορεί να προκληθούν μόνο από τη στροφή των πεδύλων
 u: απόκλιση οφειλόμενη στην οριζόντια διάτμηση
 υ: απόκλιση οφειλόμενη στην κατακόρυφη διάτμηση
 1: δοκού σύζευξης και πατώματα
 2: ασθενείς δοκού μπορεί να θραυστούν

Τέλος πρέπει να αναφερθούν και οι ρηγματώσεις υποστυλωμάτων από κρούσεις των γειτονικών οικοδομών.

• Κόμβος

Οι κόμβοι είναι οι κρίσιμότερες θέσεις των πλαισιωτών κατασκευών και οι αστοχίες τους οδηγούν σε κατάρρευση.

Παρατηρούνται πολλές βλάβες και αποδιοργανώσεις κόμβων, αλλά οι περισσότερες σε τοπικές κακοτεχνίες και σε άσχημη διάταξη των οπλισμών. Έτσι δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί πόσο ευθύνονται οι ατελείς υπολογισμοί για τις ρηγματώσεις.

Είναι πάντως διαπιστωμένη η ανάγκη ενίσχυσής τους με συνδετήρες. (7)

ΚΑΠΟΙΑ ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ Ν.Ε.Α.Κ.

Στις παρακάτω γραμμές σχολιάζονται οι βασικότερες ίσως έννοιες του Ν.Ε.Α.Κ., η πλαστιμότητα και ο συντελεστής συμπεριφοράς q , στο πλαίσιο κυρίως των αντίστοιχων διατάξεων του κανονισμού. Κυρίαρχη έννοια από την οποία διαπνέεται ο Ν.Ε.Α.Κ. όπως και όλοι οι σύγχρονοι Αντισεισμικοί Κανονισμοί άλλων προηγμένων χωρών είναι η πλαστιμότητα (μ) (ductility). Είναι έννοια αντίθετη προς την έννοια της ψαθρότητας και της αντοχής και δεν πρέπει βέβαια να συγχέεται με την έννοια της ευκαμψίας ή παραμοφωσιμότητας (f_i) (flexibility), η οποία είναι το αντίστροφο της δυσκαμψίας (k_i) ($f_i=1/k_i$) και ορίζεται στην ελαστική περιοχή συμπεριφοράς του δομικού στοιχείου. Η σεισμική ενέργεια που εισέρχεται στην κατασκευή αποσβήνεται από μηχανισμούς του ίδιου του δομήματος. Οι κυριότεροι μηχανισμοί απόσβεσης είναι η θεμελίωση, τοπική πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων καθώς και η συνολική πλαστιμότητα του κτιρίου που αποτελεί μια από τις βασικότερες απαιτήσεις μηχανικής συμπεριφοράς για τα επιμέρους δομικά του στοιχεία. Πλάστικη συμπεριφορά των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σημαίνει ρηγματώση των δομικών στοιχείων και μετάβαση του χάλυβα στην πλαστική περιοχή λειτουργίας του. Η έννοια της πλαστιμότητας (ductility) και των πλαστικών αρθρώσεων (plastic hinges) δε σχετίζεται μόνο με την ανακατανομή της έντασης (stress or moment redistribution) και την αύξηση του οριακού φορτίου, αλλά κυρίως με τη δυνατότητα σχηματισμού μεγάλων παραμορφώσεων (στροφών και μετατοπίσεων) **χωρίς κατάρρευση**.

Πλαστιμότητα άρα, είναι η ιδιότητα μιας κατασκευής να απορροφά ενέργεια, δηλαδή να υφίσταται μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις υπό σταθερή περίπου απόκριση (δύναμη) πριν από τη θραύση, χωρίς σημαντική απώλεια της συνοχής και της αντοχής της. Στην έννοια αυτή, όπως ήδη αναφέρθηκε, βασίζεται το μεγαλύτερο μέρος των σύγχρονων κανονισμών όπως και του παρόντος Ν.Ε.Α.Κ. (plastic design). Έτσι, μια παραμορφώσιμη και μία πλάστικη κατασκευή απορροφούν προσωρινά την ίδια περίπου σεισμική ενέργεια (κατά τη διάρκεια σεισμού ίσου μεγέθους). Ενώ η πρώτη όμως επιστρέφει την ενέργεια αυτή στην κατασκευή σχεδόν ολόκληρη με τη μορφή κινητικής ενέργειας, αντίθετα, η δεύτερη καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής με τη μορφή θερμότητας, γεγονός που έχει ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια έναντι κατάρρευσης στο σεισμό σχεδιασμού ή στο μεγάλο πιθανό καταστρεπτικό σεισμό. Θα πρέπει δε η πλαστιμότητα να νοηθεί σε δύο συγχρόνως επίπεδα, αυτό της ικανότητας για μεγάλες μεταλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς μάλιστα πτώση της αντοχής, και αυτό της αντίστοιχης ικανότητας για απορρόφηση και έλκυση της σεισμικής ενέργειας μέσα από σταθερού πλάτους βρόχους υστέρησης. Ως αποτέμνουσα αντοχή κατ'επέκταση χαρακτηρίζεται το εντατικό μέγεθος που οριακά μπορεί να παραληφθεί από μία διατομή, αφού αυτή υποστεί την καταπόνηση που αντιστοιχεί στη δεδομένη σεισμική διέγερση που επεβλήθη στο κτίριο με το συγκεκριμένο φάσμα σχεδιασμού του Ν.Ε.Α.Κ.

Η πλαστιμότητα αποτρέπει την απροειδοποίητη ψαθρή θραύση και στη συνέχεια την πιθανή κατάρρευση, ελαττώνει σημαντικά τα σεισμικά φορτία και στις περισσότερες των περιπτώσεων μειώνει το κόστος της κατασκευής απαλλάσσοντάς την από περιττά πρόσθετα φορτία.

Λόγω των παραπάνω δικαιολογείται και η χρησιμοποίηση του συντελεστή συμπεριφοράς (behavior factor- $q=3.5,3,2$) με τον οποίο διαιρείται το ελαστικό φάσμα για να πάρουμε στο τέλος το ελαστοπλαστικό φάσμα σχεδιασμού, σύμφωνα με το Ν.Ε.Α.Κ. Μετά αρχή του σταδίου διαρροής μάλιστα, η πρόσθετη παραμόρφωση τείνει να συγκεντρώνεται στις περιοχές του κτιρίου που διαρρέουν, από ότι σε αυτές που παραμένουν στην ελαστική περιοχή. Έτσι, εάν η συνολικά εισαχθείσα ενέργεια έχει

προκαλέσει παραμορφώσεις που υπερβαίνουν το διαθέσιμο επίπεδο πλαστιμότητας, τότε επέρχονται θραύσεις με αποτέλεσμα την αστοχία του φορέα.

Σε διαφορετική διατύπωση: η απαιτούμενη από τη σεισμική διέγερση πλαστιμότητα είναι μεγαλύτερη της διαθέσιμης από το φορέα. Είναι σαφές ότι όσο μεγαλύτερες πλαστικές παραμορφώσεις μπορεί να υποστεί ο φορέας χωρίς να αστοχήσει, τόσο μεγαλύτερη η δυνατότητα κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας και άρα τόσο ισχυρότερους σεισμούς μπορεί να αντέξει χωρίς αστοχία. Ως εκ τούτου πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη στην όπλιση των δομικών στοιχείων, ιδιαίτερα εκείνων που ανήκουν στους ευπαθείς-μαλακούς ορόφους, με τρόπο που να αυξάνει την τοπική πλαστιμότητα τους, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (εγκάρσιο και διαμήκη όπλισμό).

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΙ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ⁽⁸⁾

Είναι αναμφισβήτητο ότι οι γνώσεις μας για την σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών δοκιμάζονται κάθε φορά που συμβαίνει ένας ισχυρός σεισμός. Κάποιες παλαιότερες θεωρήσεις επιβεβαιώνονται και κάποιες άλλες αμφισβητούνται. Τα "μάθηματά" από κάθε σεισμό σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες και την συνεχή έρευνα στο αντίστοιχο επιστημονικό πεδίο έχουν οδηγήσει σε αλλαγές των Κανόνων Δόμησης και των Κανονισμών. Έτσι γίνεται φανερό ότι για κάθε κατασκευή υπάρχει η δυνατότητα ενός ορθότερου και ασφαλέστερου σχεδιασμού.

Όμως την ίδια στιγμή εύλογα τίθεται το ερώτημα: τι πρέπει να γίνει με τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί στο παρελθόν; Μελέτες εκτίμησης της αντοχής κτιρίων με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν πριν από την εφαρμογή των πρόσθετων άρθρων του Αντισεισμικού Κανονισμού (1985), δείχνουν ότι ένα μεγάλο μέρος από τις παραπάνω κατασκευές κινδυνεύουν να πάθουν σοβαρές ζημιές σε ένα επόμενο ισχυρό σεισμό. Τα αποτελέσματα των καταστροφικών σεισμών των τελευταίων χρόνων στην Ελλάδα επιβεβαιώνουν τις παρακάτω εκτιμήσεις.

Αρκεί κανείς να αναλογιστεί ότι στα προ του 1995 (έστω 1985) κτίρια ισχύουν τα εξής:

- έχουν σχεδιαστεί για σεισμικές δράσεις που ανταποκρίνονται χοντρά-χοντρά στο 50% των αντίστοιχων δράσεων των νέων κτιρίων
- η μόρφωση του φέροντος οργανισμού ακολουθούσε συχνά αρχιτεκτονικές υπερβολές χωρίς όρια, αδιαφορώντας για θέματα κανονικότητας (γεωμετρίας ή αντοχής) σε επίπεδο ορόφου ή σε επίπεδο κτιρίου.
- Ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών στα μέλη ακολουθούσε απλοποιητικές παραδοχές λόγω έλλειψης υπολογιστικών μέσων. Η χωρική ανάλυση ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί, ενώ σπάνια λαμβάνονταν υπόψη η διδιάστατη πλαισιακή λειτουργία.
- Η διαστασιολόγηση των μελών του φορέα ακολουθούσε διαδικασίες που σήμερα έχουν στο μεγαλύτερο μέρος τους αναθεωρηθεί (ανακριβή προσομοιώματα, απουσία της λογικής του ικανού σχεδιασμού και της έννοιας της πλαστιμότητας, ανεπαρκείς κατασκευαστικές διατάξεις για ελάχιστα και μέγιστα)

Ως εκ τούτου δεν υπερβολική η θέση που, με βάση τα παραπάνω διατυπώνεται (ΤΕΕ 2001) ότι αποτελεί συνταγματική ανισότητα το γεγονός ότι από άποψη προσδόκιμου ζωής, οι Έλληνες πολίτες διαχωρίζονται σε 2 κατηγορίες, ανάλογα με το έτος κατασκευής του κτιρίου που διαμένουν, δεδομένου ότι η δυνητική δυσμένεια των προ του 1995 (έστω 1985) κτιρίων θα μπορούσε να εκτιμηθεί κατ'ελάχιστον σε 1 προς 2, και πιθανόν 1 προς 3 (Τάσσιος 2000).

Είναι λοιπόν προφανές ότι ο προβληματισμός για την ενίσχυση των κατασκευών πρέπει να τεθεί έγκαιρα για το σύνολο των κατασκευών που έχουν σχεδιαστεί με παλαιότερους κώδικες και όχι, όπως συνήθως γίνεται, μόνο για τις κατασκευές που έπαθαν ζημιές σε μια συγκεκριμένη περιοχή μετά από έναν ισχυρό σεισμό.

Όμως όσο εύκολη είναι η διαπίστωση του προβλήματος, τόσο δύσκολη είναι η αντιμετώπιση του. Και αν κανείς απαντήσει εύκολα ότι η αντισεισμική ενίσχυση όλων προ του 1995 κτιρίων είναι ανέφικτη, οι απαντήσεις στα ερωτήματα που επιγραμματικά έπονται δεν είναι τόσο προφανείς.

- ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν, και πως θα προσδιοριστούν σε μεμονωμένη βάση;
- μπορούν (ή αξίζει τον κόπο) να ενισχυθούν και μέχρι ποιο σημείο; Μήπως η λύση της κατεδάφισης και ανακατασκευής είναι προτιμότερη;
- τι μέσα (υλικά, μέθοδοι, τεχνικές) διατίθενται για να επέμβει κανείς και κάτω από ποιες προδιαγραφές αυτά εφαρμόζονται;
- ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσης ενός δεδομένου κτιρίου;
- ποιο είναι το υπολογιστικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο στο μηχανικό για να τεκμηριώσει τις επιλογές του, και ποιες οι διαδικασίες ποιοτικού έλεγχου των εργασιών;

Το θέμα είναι σύνθετο και προϋποθέτει ότι παράγοντες όπως η σπουδαιότητα και ο αριθμός χρηστών της κατασκευής, το κόστος επέμβασης, η ηλικία, καθώς και ο υπόλοιπος χρόνος ζωής της επισκευής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των κριτηρίων αποδοχής στον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής. Τα κριτήρια αυτά είναι λογικό να είναι χαμηλότερα από αυτά που ισχύουν για τις καινούργιες κατασκευές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στις λίγες περιπτώσεις, που για τον σχεδιασμό των παλαιών κτιρίων θεσπίστηκαν κριτήρια αποδοχής ίδια με των νέων κτιρίων, υπήρξε σημαντικά μικρός αριθμός επεμβάσεων λόγω του αυξημένου κόστους και της δυσκολίας της επέμβασης, και κάποιες φορές σταμάτησε η όλη διαδικασία αναβάθμισης του δομημένου περιβάλλοντος.

Απαιτείται, λοιπόν, μία νέα στρατηγική ευρείας κλίμακας για τον ανασχεδιασμό των κατασκευών, που θα συμπεριλαμβάνει όλες τις συνιστώσες του ζητήματος και θα καταλήγει σε προτεραιότητες για επεμβάσεις. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η τεχνο-επιστημονική διάσταση του ζητήματος, που αφορά τον σχεδιασμό των απαιτούμενων επεμβάσεων για επισκευή ή ενίσχυση είναι ένα θέμα δυσκολότερο και περισσότερο περίπλοκο από το ο σχεδιασμός νέων κατασκευών. Αποτελεί μοναδική πρόκληση για τον μηχανικό απαιτώντας υψηλό βαθμό κρίσης και σύνεσης δεδομένου ότι: i) οι γνώσεις μας, για το αντικείμενο είναι λίγες και όχι επαρκώς τεκμηριωμένες, ii) δεν υπάρχει κανονισμός, iii) η μόρφωση του υφιστάμενου φορέα μπορεί να είναι απαράδεκτη, είναι όμως εκεί, iv) τα βασικά δεδομένα που εκτιμώνται στην αρχική φάση τεκμηρίωσης της υπάρχουσας κατάστασης αποδεικνύονται στην εξέλιξη της επέμβασης συχνά λανθασμένα, v) νέα υλικά προωθούνται στην αγορά η συμπεριφορά των οποίων είναι υπό διερεύνηση vi) η εξειδίκευση και η εμπειρία συνεργείων για την εκτέλεση των εργασιών είναι μικρή και μερικές φορές αρνητική.

Πάντως ανεξάρτητα από την έλλειψη θεσμοθετημένων κριτηρίων ανασχεδιασμού των κατασκευών στην χώρα μας, φαίνεται να είναι εντελώς απαραίτητη τουλάχιστον η έγκαιρη ενίσχυση των κτιρίων προσφοράς υπηρεσιών επείγουσας ανάγκης (όπως π.χ. τα νοσοκομεία και τα κτίρια τηλεπικοινωνιών) ή άλλων ειδικών χρήσεων (όπως π.χ. τα σχολεία), έτσι ώστε να παραμείνουν σε λειτουργία μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Θα πρέπει μάλιστα ο ανασχεδιασμός να μην αποβλέπει απλώς στην αποφυγή κατάρρευσης αλλά και στον περιορισμό των μετακινήσεων, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι βλάβες στα

αρχιτεκτονικά και μηχανολογικά στοιχεία του κτιρίου που θα εμποδίσουν την προσφορά των αντίστοιχων υπηρεσιών.

Ο παραπάνω προβληματισμός που ξεκίνησε στη χώρα μας εδώ και πολλά χρόνια (Τάσσιος 1984) έχει δρομολογήσει πρόσφατα, μια σειρά από ενέργειες όπως, το σχέδιο ANTYK του Τ.Ε.Ε., τη σύνταξη του Κανονισμού Επεμβάσεων και τον έλεγχο των δημοσίων κτιρίων που συντονίζεται από τον ΟΑΣΠ και το ΥΠΕΧΩΔΕ, καθώς και τη σύνταξη Τεχνικών Προδιαγραφών για τις εργασίες επεμβάσεων που περιλαμβάνεται στο έργο του ΙΟΚ.

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρία κύρια στάδια μπορούν να διακριθούν στη συνολική διαδικασία που απαιτείται για τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής.

Το πρώτο είναι η **αποτίμηση**, δηλαδή η εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης, η τεκμηρίωση του υφιστάμενου φορέα και τελικά η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής. Το δεύτερο αφορά τη **λήψη της απόφασης** και περιλαμβάνει την εξέταση πιθανών σχημάτων επέμβασης και την επιλογή λύσης, συμπεριλαμβανόμενης και της κατεδάφισης. Το τρίτο αφορά τον **σχεδιασμό της λύσης** που επελέγη και περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση των μελών του επισκευόμενου/ενίσχυμένου φορέα, την τεχνική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών και το κόστος λύσης.

Στο **πρώτο στάδιο** περιλαμβάνεται η αποτύπωση του φέροντα οργανισμού, η καταγραφή των βλαβών, καθώς και η εκτίμηση των συνοριακών συνθηκών, των κατακόρυφων φορτίων και των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών της κατασκευής. Η αξιολόγηση των βλαβών και των ατελειών σε μεμονωμένα στοιχεία, δεν θα ωφελήσει αν τελικά δεν εκτιμηθεί η πιθανότερη παθολογική εικόνα του συνόλου της κατασκευής που θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης που θα αποτιμά τη σεισμική της ικανότητα. Ανεξάρτητα από την ειδικότερη μέθοδο που θα επιλεγεί για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, είτε επιλεγεί μια προσεγγιστική μέθοδος είτε χρησιμοποιηθούν προχωρημένες μέθοδοι ανελαστικών αναλύσεων, στις οποίες θα εκτιμηθεί η παραμορφωσιακή ικανότητα των μελών του φορέα, στο τέλος αυτού του σταδίου αποφασίζεται αν υπάρχει ανάγκη για ενίσχυση της κατασκευής.

Προφανώς για την απόφαση αυτή προαπαιτείται η επιλογή της "στάθμης επιτελεστικότητας", δηλαδή της επιθυμητής συμπεριφοράς της κατασκευής, σε συνάρτηση με τον (τους) σεισμό (ους) σχεδιασμού, που μπορεί να εκφραστεί μέσω της πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής της κατασκευής που θεωρείται 50 έτη. Με βάση το σημερινό Κανονιστικό πλαίσιο, ως στάθμη επιλεκτικότητας υποχρεωτικά πρέπει να επιλεγεί τουλάχιστον "η προστασία ζωής και περιουσίας των ενοίκων" ενώ η πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10%. Όμως για τα υφιστάμενα κτίρια θα ήταν λογικό να μπορεί να ρυθμιστεί και διαφορετικά. Το ίδιο θα μπορούσε να ισχύει μετά από οποιαδήποτε επέμβαση, εξασφαλίζοντας κατ'ελάχιστον την αρχική (προ της επέμβασης) ικανότητα του φορέα.

Το **δεύτερο στάδιο** που αφορά την λήψη απόφασης για την επέμβαση, αποτελεί το δυσκολότερο ίσως τμήμα της όλης διαδικασίας, επειδή σ' αυτό το στάδιο εμπλέκεται ένα πλήθος παραγόντων που δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν.

Κατ'αρχάς θα πρέπει να έχουν αξιολογηθεί όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση προς κάθε μια από τις παρακάτω τρεις κρίσιμες δυνατές επιλογές:

- επισκευή της κατασκευής (αν υπάρχουν βλάβες) ή καμία επέμβαση
- ενίσχυση της κατασκευής

- κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερση νέας

Ως επισκευή ορίζεται η διαδικασία επέμβασης σε μία κατασκευή με βλάβες, η οποία αποκαθιστά τα προ της βλάβης χαρακτηριστικά των στοιχείων της και επαναφέρει την κατασκευή στην αρχική της κατάσταση.

Ως ενίσχυση ορίζεται η διαδικασία επέμβασης, σε μία κατασκευή, με ή χωρίς βλάβες, η οποία επαυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό του αρχικού σχεδιασμού.

Η απόφαση για την κρίσιμη επιλογή, μεταξύ επισκευής, ενίσχυσης και κατεδάφισης/ ανακατασκευής και της ειδικότερης διαδικασίας επέμβασης που τελικά θα προταθεί, είναι προφανώς αποτέλεσμα μιας διαδικασίας επαναληπτικής εξέτασης εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης, με στόχο την αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής ως σύνολο.

Αν επιλεγεί η λύση της ενίσχυσης, η αναζήτηση του σχήματος επέμβασης μπορεί να γίνει σε δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη κατεύθυνση θα αναζητηθεί η λύση με την οποία η κατασκευή ενισχύεται ως σύνολο έτσι ώστε να μειωθεί η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια ικανότητας τους. Στη δεύτερη κατεύθυνση θα αναζητηθεί η λύση με την οποία ενισχύονται τα αδύναμα σημεία της κατασκευής προσδίδοντας πρόσθετη ικανότητα (αντοχή, πλαστιμότητα) ή άλλα ελλείποντα χαρακτηριστικά σε μεμονωμένα στοιχεία. Η πρώτη κατεύθυνση ακολουθείται συνήθως όταν τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής είναι πολλά και επομένως χρειάζεται μία συνολική αντιμετώπιση του θέματος, ενώ η δεύτερη κατεύθυνση ακολουθείται όταν αξιολογείται ότι πρέπει να εξαλειφθούν μόνο κάποιες τοπικές αδυναμίες της κατασκευής.

Πάντως, για τις κατασκευές που έχουν υποστεί βλάβες από έναν ισχυρό σεισμό, ανεξάρτητα από το παραπάνω αποτέλεσμα, η εικόνα των βλαβών αποτελεί αδιάψευστο στοιχείο της σεισμικής ικανότητας που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόφαση. Έτσι σε κατασκευές με εκτεταμένες και βαριές βλάβες, η επέμβαση πρέπει να στοχεύει στην ενίσχυση της κατασκευής.

Το **τρίτο στάδιο** που αφορά τον σχεδιασμό της λύσης επέμβασης, περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση των επισκευασμένων/ενισχυμένων μελών του. Η χρήση νέων στοιχείων σε συνεργασία με τα παλαιά δημιουργεί νέα πολυφασικά, σύνθετα στοιχεία, η διαστασιολόγηση των οποίων ξεφεύγει συχνά από τις συνήθεις διαδικασίες διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εξάλλου η χρήση νέων υλικών (υφασμάτων ή ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή) για την ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων, δημιουργεί ένα ενδιαφέρον πεδίο εφαρμογής που όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, λόγω έλλειψης εμπειρίας και του συχνά υπερβολικού ενθουσιασμού που πηγάζει από την ευκολία εφαρμογής στην πράξη. Η αναδιαστασιολόγηση του φορέα καταλήγει πάντα στα σχέδια λεπτομερειών της οριστικής μελέτης επέμβασης και κοστολόγηση των εργασιών. Η επιλογή πρέπει τελικά να κριθεί οικονομικά ωφέλιμη. Γιατί, δυστυχώς, έχει παρατηρηθεί συχνά να επιλέγονται λύσεις εξοργιστικά αντιοικονομικές χωρίς ουσιαστικό λόγο.

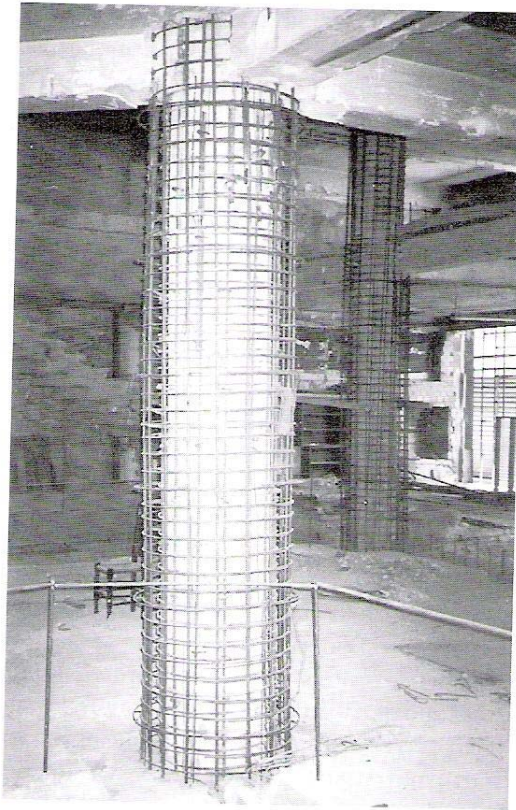
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

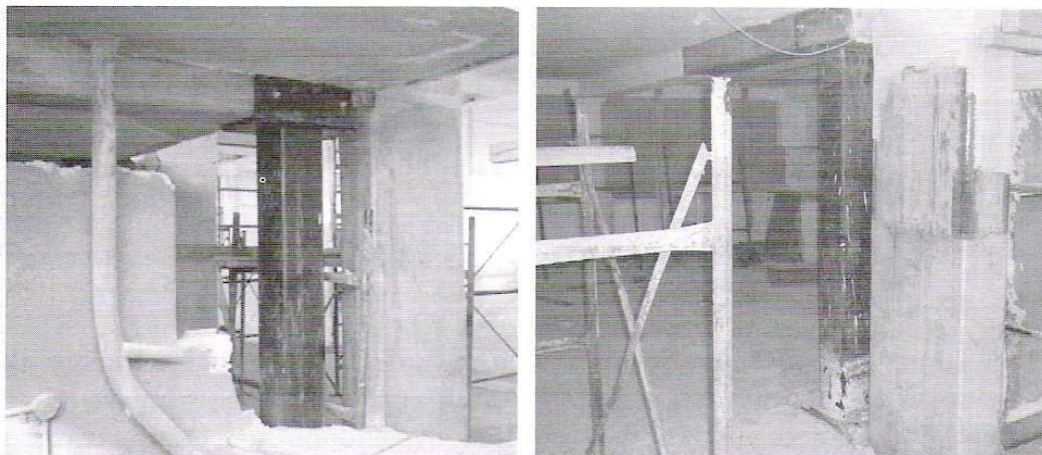
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

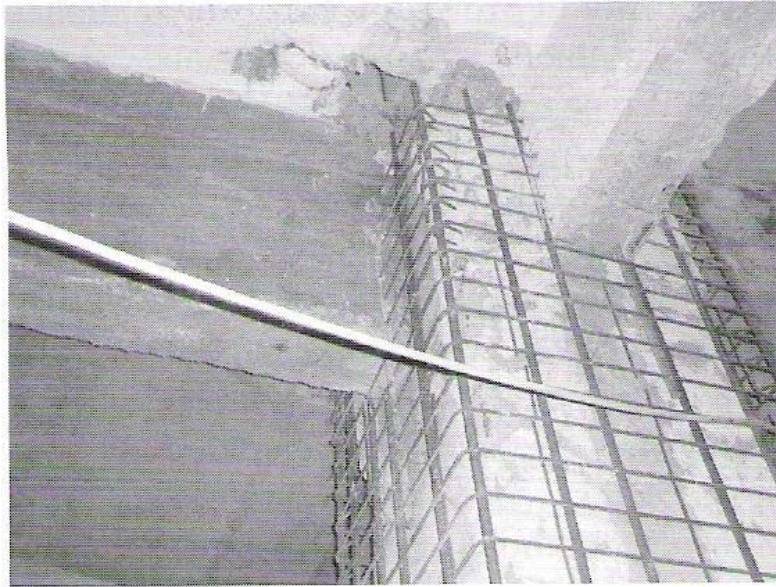
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ/ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥΣ



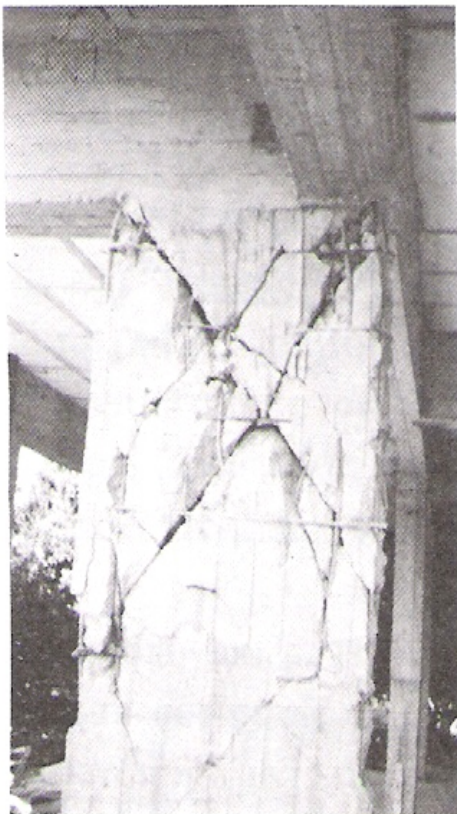
Ενίσχυση υποστύλωματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.



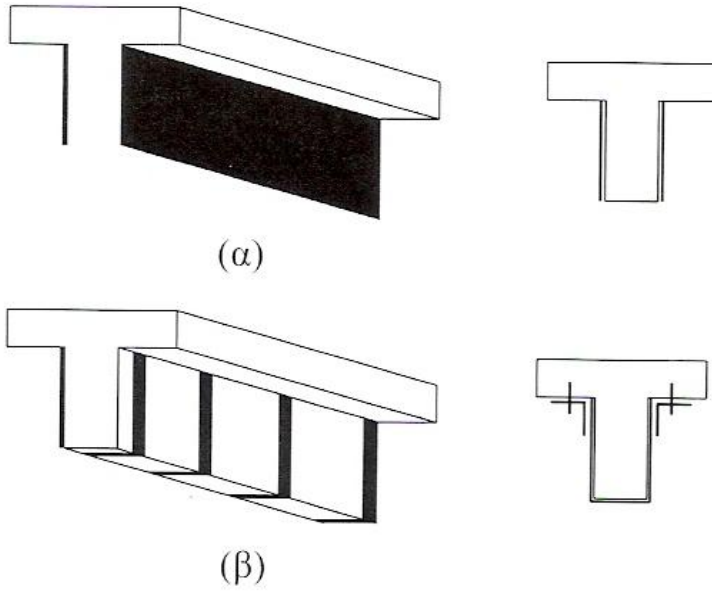
Μείωση του ανοίγματος δοκού με χρήση μεταλλικού υποστύλωματος.



Όπλιση μανδύα στην περιοχή του κόμβου δοκού – υποστυλώματος.



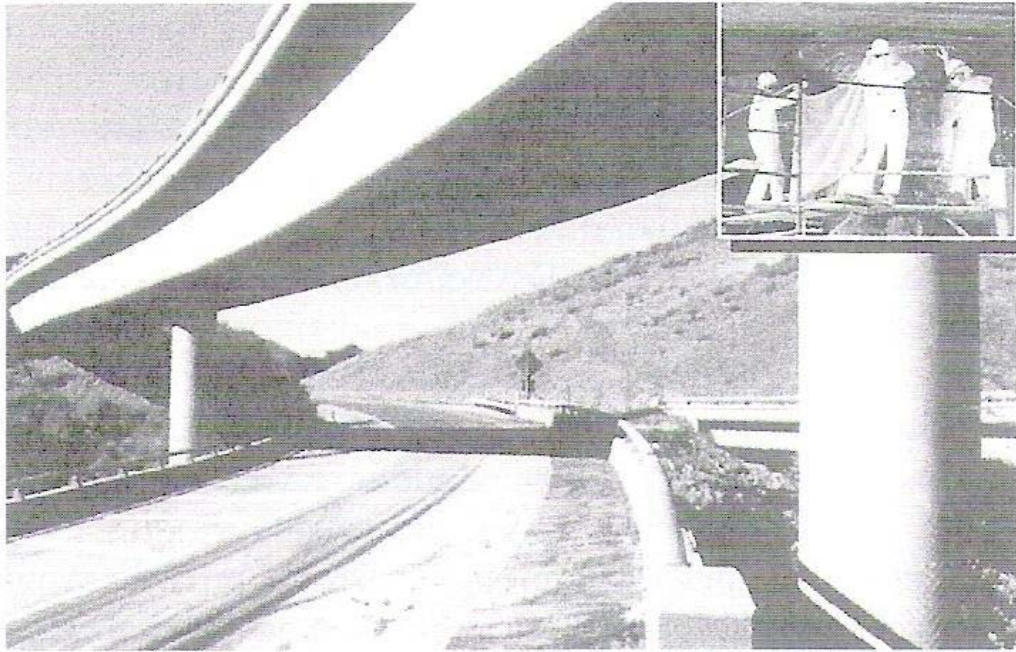
Φωτ. 36. Καλαμάτα, 1986.



Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με μανδύα σύνθετων υλικών. (α) Ολόσωμοι μανδύες. (β) 'Κολάρα'.



Αγκύρωση μανδύα σύνθετου υλικού για ενίσχυση πλακοδοκού.



Ενίσχυση της γέφυρας Γαϊότα στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ με 'υφάσματα' ινοπλισμένων πολυμερών.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΜΕ ΚΤΙΡΙΑ-ΓΕΦΥΡΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΕΙ



*Αστοχία λόγω απώλειας
στήριξης.*



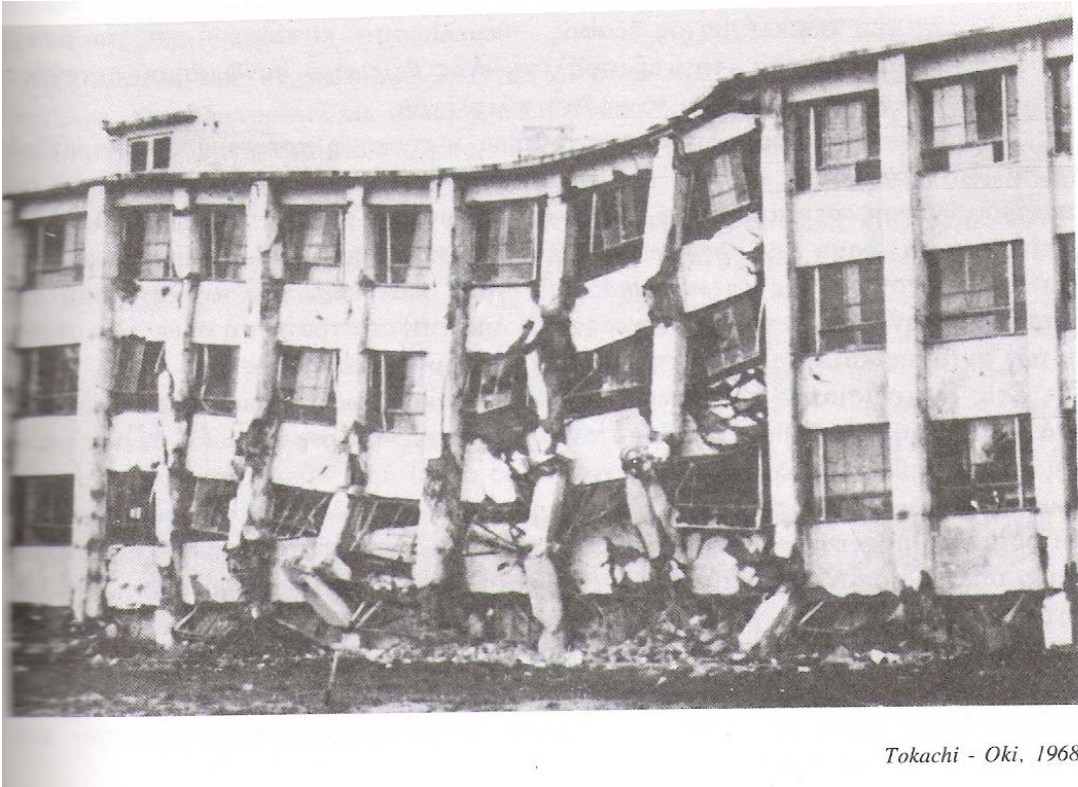
Αστοχία καμπτικού τύπου.



Αστοχία διατμητικού τύπου.



*Αστοχία ακρόβαθρου λόγω
ρευστοποίησης εδάφους
θεμελίωσης.*



Tokachi - Oki, 1968



(φωτογραφία από το σεισμό των Αλκυονίδων. 1981)



Καθολική κατάρρευση πενταώροφου κτήριου στο Ε1
Asnam

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **“Ο Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός και η Δυναμική Μέθοδος”**, Σπύρου Π.Λιβιεράτου Δημήτρη Κ.Χαραμιδόπουλου, Εκδόσεις “κλειδάριθμος” .
- **Πρακτικά συνεδρίου “Σεισμοί και Κατασκευές” 20-24 Φεβρουαρίου 1984.**
- **“Αντισεισμικές κατασκευές Ι”**, Κ.Αναστασιάδη
- **“Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία”** Κωνσταντίνος Σπυράκος, Τ.Ε.Ε. 2004.
- **“Οι σεισμοί της Ελλάδος”**, Β.Παπαζάχου & Κ.Παπαζάχου.

ΠΗΓΕΣ

- **“Μέθοδοι και στρατηγικές Αντισεισμικής Ενίσχυσης Κτιρίων”**, Στέφανος Η.Δρίτσος, Σεμινάρια στην Κρήτη, Απρίλιος 2004.
- **Νίκος Χατζηβασιλείου,**
Αρχιτέκτων – Πολιτικός Μηχανικός.

