

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 2^{ΑΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1995

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΑΝΟΥΣΟΥ ΜΑΝΟΥΣΑΚΑ

ΚΡΙΣΗ ΣΤΟΥΣ ΙΣΧΥΟΝΤΑΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥΣ
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ Κ. ΑΓΓΕΛΟΥ Γ. ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

Our thinking that we can
outsmart Mother Nature has
always proved to be disastrous
Richard Hurlbut

Μετά τὸν πρόσφατο σεισμὸ τῶν Γρεβενῶν, μεγέθους 6,6, τῆς 13ης Μαΐου 1995, ἀναφέρθηκε ἀπὸ ἀρμοδίους καὶ μὴ ὅτι, μετὰ τὴν εἰσαγωγή τοῦ Νέου Ἀντισεισμικοῦ Κανονισμοῦ, δὲν θὰ ὑφίσταται πλέον σεισμικὸς κίνδυνος στὴν Ἑλλάδα. Οἱ ὁμιλητὲς παρέλειψαν νὰ ἀναφέρουν ὅτι αὐτὸ ἰσχύει, ἐνδεχομένως, γιὰ τὰ νέα κτίρια ποὺ θὰ κατασκευασθοῦν μὲ τὶς προδιαγραφὲς τοῦ νέου κανονισμοῦ, καὶ ὅχι γιὰ τὶς συνεχιζόμενες αὐθαίρετες κατασκευές, καὶ πολὺ περισσότερο γιὰ τὸν ὑφιστάμενο οἰκοδομικὸ πλοῦτο τῆς Χώρας.

Ἐπειτα ἀπὸ τὶς δηλώσεις αὐτὲς θεωρήθηκε ὅτι θὰ ἦταν ἴσως χρήσιμο νὰ γίνουν εὐρύτερον γνωστὲς οἱ ἀπόψεις τῶν Ἀμερικανῶν καὶ Ἰαπῶνων σεισμολόγων καὶ σεισμολόγων μηχανικῶν ἰδίως, μετὰ τὶς ἐμπειρίες ποὺ ἀπέκτησαν, ἀπὸ τοὺς πρόσφατους καταστρεπτικὸς σεισμοὺς στὴν Ἀμερική καὶ Ἰαπωνία, γιὰ τὴν ἀποτελεσματικότητά τῶν χρησιμοποιουμένων μέχρι τοῦδε ἀντισεισμικῶν κανονισμῶν στὶς προηγμένες αὐτὲς χώρες, ποὺ ἔχουν καὶ τὴν μεγαλύτερη σεισμικὴ ἐμπειρία.

Ἡ πληροφόρηση αὐτὴ ἴσως καὶ νὰ ἐπιβάλλεται. Ὅπως λέγει καὶ ὁ πολὺ γνωστός Ἀμερικανὸς ποιητὴς Thomas S. Eliot: Τί νὰ τὴν κάνεις τὴν σοφία, ἐὰν δὲν ὑπάρχει γνώση, καὶ τί νὰ τὴν κάνεις τὴν γνώση, ἐὰν δὲν ὑπάρχει πληροφόρηση (where is the wisdom we have lost in knowledge? where is the knowledge we have lost in information).

Στὸ τέλος τῆς δεκαετίας τοῦ 60 οἱ κατασκευαστικὲς ἐταρεῖες εἶχαν μεγάλη ἐμπιστοσύνη στοὺς ἀντισεισμικοὺς κανονισμοὺς τοὺς καὶ εἶχαν ἀναρτήσει σ' ὅλες τὶς εἰσόδους τοῦ Los Angeles (Γαλανόπουλος, 1971) μεγάλες διαφημιστικὲς ἀγγελίες μὲ τὸ σύνθημα: «Ἐλάτε στὸ Los Angeles ν' ἀπολαύσετε τοὺς σεισμούς!» (Come to Los Angeles to enjoy the earthquakes!).

Ἡ Σεισμολογικὴ Ἑταιρεία τῆς Ἀμερικῆς ἀφιέρωσε τὸ 1991 ὁλόκληρο τὸ 5ο τεῦχος τοῦ 85ου τόμου τοῦ Δελτίου τῆς γιὰ 33 ἐρευνητικὲς ἐργασίες μὲ μόνον ἀντικείμενο τὸν σεισμό, μεγέθους 6,9, τῆς Loma Prieta τῆς 18ης Ὀκτωβρίου 1989. Οἱ γνωστοὶ σεισμολόγοι Hanks καὶ Krawinkler ἀναφέρουν στὸ ἴδιο τεῦχος, στὰ εἰσαγωγικά τους σχόλια γιὰ τὸ σύνολο τῶν ἐργασιῶν αὐτῶν, ὅτι ὁ σεισμὸς τῆς Loma Prieta «ἦταν ἓνα μάθημα καὶ μιὰ καλὴ ὑπόμνηση ὅτι οἱ σεισμοὶ δὲν εἶναι ἀπαραίτητο νὰ συμβοῦν ἐκεῖ πού θέλουμε ἢ προβλέπουμε νὰ συμβοῦν» καὶ ὅτι οἱ γνώσεις μας κατὰ μῆκος καὶ κοντὰ στὸ ρῆγμα τοῦ Ἀγίου Ἀνδρέα, τὴν καλυτέρα, ἀπὸ ὅλο τὸν κόσμος, μελετημένη ἐνεργὸ ζώνη τοῦ γήινου φλοιοῦ, εἶναι στοιχειώδεις καὶ ἀτελεῖς. Τὸ ἴδιο ἰσχύει καὶ γιὰ τὶς πολὺ περίπλοκες σχέσεις πού ὑπάρχουν μετὰ τοῦ ἰσχυροτέρου μέρους τῆς ἐδαφικῆς κινήσεως καὶ τῶν σεισμικῶν βλαβῶν, δηλαδή, «οἱ γνώσεις μας καὶ σ' αὐτὸ τὸ πεδίο εἶναι ὑποτυπώδεις, ἀνκριβεῖς καὶ ἀσαφεῖς».

Ὁ οἰκοδομικὸς κανονισμὸς πού ἰσχύει στὴν Καλιφόρνια ἀπαιτεῖ τὰ κτίρια νὰ ὑφίστανται τὸ πολὺ ἐπισκευάσιμες βλάβες ἀπὸ τὴν ἰσχυρότερη δόνηση πού προβλέπεται, μὲ πιθανότητα ὑπερβάσεως (probability of exceedence) 10%, νὰ συμβεῖ μέσα σὲ 50 χρόνια. Ἐὰν τὸ κτίριο εἶναι σημαντικόν, ὅπως ἓνα νοσοκομεῖο, ὑφίσταται ἡ ἴδια ἀπαίτηση γιὰ τὴν ἰσχυρότερη δόνηση πού μπορεῖ μὲ πιθανότητα 90% (probability of occurring) νὰ συμβεῖ, δηλαδή μὲ πιθανότητα ὑπερβάσεως 10%, μέσα σὲ 100 χρόνια. Ἐπὶ πλέον, τὰ κτίρια καὶ τῶν δύο κατηγοριῶν δὲν πρέπει νὰ καταρρέουν ἀπὸ τὴν ἰσχυρότερη δόνηση πού μπορεῖ νὰ προσδοκᾶται στὰ διαστήματα αὐτὰ στὴν θέση τοῦ κτιρίου.

Ἄν καὶ εἶναι παρηγορητικὸ νὰ γνωρίζουμε ὅτι τὰ κτίρια σχεδιάζονται οὕτως, ὥστε νὰ μὴ καταρρέουν ἀπὸ τὴν ἰσχυρότερη δόνηση πού μπορεῖ νὰ ἀναμένεται σὲ ὀρισμένη θέση, εἶναι ὡσαύτως ἀνησυχητικὸ ὅτι ἔχουμε παρατηρήσει σημαντικὰ ἐλαττώματα στὶς συνήθειες κατασκευῆς τῶν κτιρίων, ἔπειτα ἀπὸ κάθε ἰσχυρὸ σει-

σμού που ήταν κοντά σε αστικές περιοχές. Παραδείγματος χάριν, ο σεισμός του San Fernando το 1971, μεγέθους 6,7, απεκάλυψε βασικές ελλείψεις σε εύηλατα στοιχεία κατασκευών με ενισχυμένο σκελετό από σιδηροπαγές σκυροκονίαμα. Κατά τον Thomas H. Heaton, σεισμολόγο μηχανικό, πρόεδρο της Σεισμολογικής Έταιρείας της Αμερικής το 1995, κτίρια με σκελετό από σιδηροπαγές σκυροκονίαμα που φαίνονταν τελείως έπαρκη στους σχεδιαστές πριν από 25 χρόνια, σήμερα θεωρούνται ότι είναι δυνατόν να καταρρεύσουν, και διάφορες κατασκευαστικές εταιρείες ασχολούνται με το πολύπλευρο πρόβλημα πώς να έντοπίσουν και να ενισχύσουν τα κτίρια αυτά.

Ο πρόσφατος σεισμός του Northridge, μεγέθους 6,7, παρέσχε το 1994 ένα άλλο ενοχλητικό παράδειγμα. Σε κτίρια με σιδερένιο σκελετό παρατηρήθηκαν ρωγμές σε πολλές συγκολλήσεις. Πριν από τον σεισμό ήταν γενικώς αποδεκτό ότι οι σιδηροδοκοί θα άντεχαν σε πολλούς κύκλους αιώρησης, πριν υποχωρήσουν κάποιες από τις συνδέσεις αυτές. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται στα κτίρια πιστεύεται γενικώς ότι είναι εξαιρετικά εύηλτος. Η εύχερης θραύση των συγκολλημένων συνδέσεων στα κτίρια με χαλύβδινο σκελετό, συχνότερα δέ στις συνδέσεις των δοκών με τις κολώνες, οι οποίες προσδίδουν σεισμική αντίσταση στις πλευρές του κτιρίου, είναι ένδεχόμενο να έχει μεγάλες οικονομικές συνέπειες. Φαίνεται ότι οι τρόποι συγκολλήσεως που χρησιμοποιούνται γενικώς δεν επιτυγχάνουν την επιθυμητή συμπεριφορά. Δυστυχώς δεν είναι ακόμη σαφές τί πρέπει να γίνει για να επισκευασθούν τα βλαβέντα κτίρια, ή να εμποδίσουν παρόμοια συμπεριφορά σε μελλοντικούς σεισμούς στις χιλιάδες κτίρια με χαλύβδινο σκελετό στην Καλιφόρνια.

Αλλά παραδείγματα είναι ή γενικώς μικρή άνοχη των κατασκευών σταθμεύσεως αυτοκινήτων, ακόμη και των καινούργιων, που παρατηρήθηκαν κατά τον σεισμό του Northridge, και ή κατάρρευση των γεφυρών οδών ταχείας κυκλοφορίας τόσο στον πρόσφατο σεισμό του Northridge, όσον και στον σεισμό της Loma Prieta, μεγέθους 6,9, το 1989 (Heaton, 1995).

Δυστυχώς, δεν είναι μόνον ή κοινότης των μηχανικών που δοκίμασε δυσάρεστες εκπλήξεις. Ο σεισμός του Northridge απεκάλυψε ελλείψεις και στην κατανόηση των σεισμικών φαινομένων. Παραδείγματος χάριν, πόσον καλά μπορούμε να καθορίσουμε το μέγεθος των σεισμών που είναι ένδεχόμενο να συμβούν σε δοθείσα θέση; Εάν το πρόβλημα αυτό αναγνωρίζεται ότι υφίσταται στην Καλιφόρνια, είναι εύνοητο ότι είναι πολύ μεγαλύτερο σε χώρες που έχουν μικρότερη έμπειρία σε μεγάλους σεισμούς, και μάλιστα κοντά σε αστικές περιοχές, από κρυφά ρήγματα, που δεν έχουν επιφανειακές ένδείξεις. Ακόμη και αν μπορούμε να προβλέψουμε τους σεισμούς

πού πρόκειται νά συμβοῦν, πόσον καλὰ μπορούμε νά γνωρίζουμε τίς ἐδαφικές κινήσεις πού θά προκύψουν;

Στὴν περίπτωση τοῦ σεισμοῦ τοῦ Northridge, οἱ ἐδαφικές κινήσεις ἦσαν γενικῶς μεγαλύτερες ἀπὸ αὐτὲς πού προβλέπονταν ἀπὸ τοὺς οἰκοδομικοὺς κανονισμούς· ἰδίως, γιὰ τίς θέσεις πού εὐρίσκονταν στὸ βόρειο μέρος τῆς ρηξιγενοῦς ζώνης, ὅπου οἱ περίοδοι τῶν ἐδαφικῶν κινήσεων ἦσαν ἰδιαιτέρως μεγάλες, ἴσες ἢ μεγαλύτερες ἀπὸ 1 δευτερόλεπτο. Εὐτυχῶς ὑψηλὰ κτίρια, πού εἶναι εὐπαθῆ στὸν τύπο τῆς κινήσεως αὐτῆς, δὲν ὑπῆρχαν σ' αὐτὴ τὴν περιοχὴ τῆς ἰσχυρᾶς αἰωρήσεως μακρᾶς περιόδου. Ἴσως εἶναι ἀτυχία ὅτι δὲν ὑπῆρχαν ὑψηλὰ κτίρια στὴν περιοχὴ αὐτή. Ἐὰν ὑπῆρχαν, θά μπορούσαμε νά μάθουμε πάρα πολλὰ γιὰ τὴν συμπεριφορὰ τῶν ὑψηλῶν κτιρίων σὲ τέτοιες περιπτώσεις (Heaton, 1995).

Ἀκόμη καὶ μὲ τίς σημαντικὲς νέες ἀναγραφὲς ἀπὸ τὸν σεισμὸ τοῦ Northridge, οἱ ἀναγραφὲς μεγάλων σεισμῶν ἀπὸ γεωτονικὲς ἐστῖες εἶναι σχετικῶς ὀλίγες. Ἐχουν ἀκουσθεῖ παραξενεὲς ἱστορίες γιὰ τὴν ἔνταση τῶν ταλαντώσεων τοῦ ἐδάφους σὲ περιπτώσεις μεγάλων σεισμῶν πολὺ γειτονικῶν, ὅπως λ.χ. ἀνατίναξη ἀντικειμένων σὲ μεγάλες ἀποστάσεις. Γνωρίζουμε πραγματικὰ πόσον ἰσχυρὴ θά εἶναι ἡ μεγίστη ταλάντωση τοῦ ἐδάφους σὲ δοθεῖσα θέση, ἀκόμη καὶ ἐὰν μπορούσαμε νά προβλέψουμε τὸ μέγεθος τοῦ ἀναμενομένου σεισμοῦ; Οἱ οἰκοδομικοὶ κανονισμοὶ ὑποτίθεται ὅτι μποροῦν νά διασφαλίσουν τὰ κτίρια γιὰ τὴν χειρότερη δόνηση πού μπορεῖ νά προβλεφθεῖ σὲ ὀρισμένη θέση, ἀλλὰ μέσα σὲ ὀλίγες δεκαετίες μεταβάλλονται οἱ γνώσεις μας γιὰ τοὺς τύπους τῶν σεισμῶν πού μποροῦν νά συμβοῦν σὲ συγκεκριμένη θέση, καὶ γιὰ τὴν ἀνταπόκριση τοῦ κτιρίου στὸν ἀντίστοιχο τύπο δονήσεως τοῦ ἐδάφους.

Εὐτυχῶς, οἱ συντάκτες τῶν σεισμικῶν κανονισμῶν χρησιμοποιοῦν τὸν κοινὸ νοῦ γιὰ νά παρακάμψουν τίς ἐντελῶς ἀτελεῖς γνώσεις μας γιὰ τὴν φυσικὴ συμπεριφορὰ τῶν σεισμῶν καὶ τῶν κτιρίων· δηλαδή, οἱ κανονισμοὶ βασίζονται, κατὰ μέγα μέρος, στὴν πείρα τοῦ παρελθόντος. Σχεδιαστικὲς συνήθειες πού ἐδειξαν ἀπαράδεκτη συμπεριφορὰ σὲ σεισμοὺς τοῦ παρελθόντος τροποποιήθηκαν. Ἀλλὰ πόσο καλὴ εἶναι ἡ ἐμπειρία μας; Ὁ σεισμὸς τοῦ Northridge, μεγέθους 6,7, εἶναι ὁ μεγαλύτερος πού συνέβηκε κάτω ἀπὸ σύγχρονη ἀστικὴ περιοχὴ στὶς Ἡνωμένες Πολιτεῖες, καὶ στὴν περίπτωση αὐτὴ δὲν ὑπῆρχαν ὑψηλὰ κτίρια στὴν περιοχὴ τῆς ἰσχυροτέρας ταλαντώσεως μακρᾶς περιόδου. Ὁ σεισμὸς Northridge προῆλθε ἀπὸ ἀνάστροφη ὀλίσθηση, μεγαλύτερη ἀπὸ 3 μέτρα, σὲ μιὰ ἀφανὴ ἀνάστροφη μετάπτωση (concealed thrust fault), μὲ κλίση πρὸς Νότον, μήκους 15 χιλιομέτρων· ἡ ὀλίσθηση αὐτὴ ἀνύψωσε τὰ ὄρη Santa Susana κατὰ 70 ἑκατοστόμετρα περίπου (Scientists of the USGS and SCEC, 1994). Ὁ σεισμὸς Northridge ἔχει χαρακτηριθεῖ ὡς ἡ δαπανηρότερη

φυσική καταστροφή (18-20 δισεκατομμύρια δολάρια) στην ιστορία των Ήνωμένων Πολιτειών (Stewart et al., 1995).

Ο Thomas Heaton είναι πολύ σκεπτικός για την άντοχή των συγχρόνων κτιρίων από σκελετό. Είναι εύκαμπτα κτίρια, τα οποία κατασκευάζονται συνήθως με όρθογώνιο σκελετό από χάλυβα, ή από κολώνες και δοκούς με ενισχυμένο σκυροκονίαμα. Τα κτίρια αυτά είναι περισσότερο ευαίσθητα σε μεγάλες έδαφικές μετατοπίσεις σε σχέση προς τα άκαμπτα. Έφόσον όμως τα κτίρια με εύκαμπτο σκελετό δεν εُρέθησαν ακόμη πολύ κοντά στο επίκεντρο πολύ μεγάλων σεισμών, δεν μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι τα κτίρια αυτά έχουν δοκιμασθεί στο πεδίο. Όταν μεγάλοι σεισμοί, μεγέθους 7 1/2 και επάνω, με μεγάλες έδαφικές κινήσεις 3 μέτρων επί αρκετά δευτερόλεπτα, ή ακόμη και 6 μέτρων, συμβούν κάτω από μεγάλα άστικά κέντρα, μπορούμε να πληρώσουμε πάρα πολλά για τους οικοδομικούς κανονισμούς που βασίζονται στην έμπειρία μας από μικρότερους σεισμούς.

Ο Thomas Heaton αναφέρει ότι είναι ειλικρινά έκπληκτος για την τόλμη εκείνων που σχεδιάζουν ύψηλα κτίρια με τέτοια μερική κατανόηση των σεισμών και των ανταποκρίσεων των κτιρίων. Το Πολιτειακό Νοσοκομείο στο Sylmar, που είχε κτισθεί το 1971, μετά τον σεισμό του Αγίου Βερνάνδου, μια εξαιρετικά ισχυρή, 6/όροφος κατασκευή με χαλύβδινους διατμητικούς τοίχους, αναγκάστηκε να κλείσει προσωρινά, όπως και μερικά άλλα νοσοκομεία, λόγω μεγάλων βλαβών που υπέστη από τον σεισμό Northridge στα μη φέροντα στοιχεία της. Στην όροφή του κτιρίου αυτού αναγράφηκε μεγίστη όριζοντία επιτάχυνση 2,3 g από την δόνηση που στην βάση του είχε μεγίστη επιτάχυνση 0,9 g (Scientists of the USGS and SCEC (1994). Εάν ένας μεγάλος σεισμός κάτω από άστική περιοχή, καταστήσει άχρηστα μεγάλο αριθμό κτιρίων, ή ακόμα χειρότερα, εάν σημαντικός αριθμός από αυτά καταρρεύσουν, τότε είναι σχεδόν βέβαιον ότι η κοινωνία θα ζητήσει δραστικές μεταβολές στα κριτήρια σχεδιάσεως.

Μεγίστη έδαφική επιτάχυνση 80% g και μεγίστη έδαφική ταχύτης 100 cm/sec είναι οι μέσες τιμές 30 περίπου αναγραφών ισχυρής κινήσεως σε έστιακές αποστάσεις μικρότερες από 5 χιλμ. από σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου από 6,5. Οι τιμές αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπονται στους ύφιστάμενους αντισεισμικούς κανονισμούς. Οι αντισεισμικοί κανονισμοί δεν βασίζονται στην κατανόηση των έδαφικών κινήσεων και στην αντίστοιχη ανταπόκριση των κτιρίων· βασίζονται, κατά μέγα μέρος, μάλλον σε έμπειρικά δεδομένα. Κρίσιμες δοκιμασίες δεν έχουν γίνει, και οι προσπάθειες σε μαθηματικά πρότυπα είναι σχετικώς μέτριες (Heaton, 1995b).

Οί μέγιστες έδαφικές έπιταχύνσεις σέ πολύ μεγάλους σεισμούς ($M_s \geq 7$) είναι πιθανόν νά διαρκοῦν περισσότερο, καί νά εμφανίζονται σέ μεγαλύτερη περιοχή. Οί μέγιστες έδαφικές μετατοπίσεις, 2 μέτρων καί ἄνω, πού εμφανίζονται σέ πολύ μεγάλους σεισμούς, υπερβαίνουν τά ἀνεκτά ὅρια μετατοπίσεως τῶν κτιρίων πού είναι ἀπομονωμένα ἀπό τήν βάση τους (base-isolated buildings).

Ὁ Heaton (1995) ἔχει τήν γνώμη, ὅτι θά ἔπρεπε νά κτίζονται κτίρια, τὸ πολὺ μέχρι 5 ὀρόφους, μὲ τοίχους ἀπὸ σιδηροπαγές σκυροκονίαμα, χωρίς οἰκονομίες σέ κονίαμα καί σιδηρένιο ὀπλισμός, ὥστε νά ἀντέχουν σέ διατμητικές τάσεις, καί ἡ κατασκευὴ ὑψηλῶν κτιρίων νά ἀνασταλεῖ προσωρινῶς, μὲ εἰδικὴ διακήρυξη (moratorium), μέχρις ὅτου μὲ τέλεια πειραματικὰ πρότυπα καί περισσότερες δοκιμὲς ἀποκτήσουμε μεγαλύτερα ἐμπιστοσύνη γιὰ τήν ικανότητά τους νά ἀνθέξουν σέ διαφόρους τύπους δονήσεων, συμπεριλαμβανομένων καί ἐδαφικῶν κινήσεων μὲ μεγάλες μετατοπίσεις ἢ ταλαντεύσεις μακροῦς διαρκείας.

Κατὰ τὸν πρόεδρο τῆς ἐπιστημονικῆς ἐπιτροπῆς τῶν Κοινοβουλευτικῶν ἀντιπροσώπων τῆς Ἀμερικῆς George F. Brown, Jr., οἱ σεισμολόγοι εἶναι τώρα πεπεισμένοι ὅτι ὁ τρόπος ἐκδηλώσεως τοῦ σεισμοῦ τοῦ Northridge εἶναι πρωτοφανής, καί οἱ σεισμολόγοι μηχανικοὶ ἀμφισβητοῦν τήν ἀντοχὴ τῶν κτιρίων μὲ χαλύβδινο σκελετό. Ἐπίσης, ἡ κατάρρευση τῶν διαμερισμάτων Meadows ἀπὸ τὸν σεισμὸ τοῦ Northridge ἀπεκάλυψε προβλήματα στοὺς οἰκοδομικοὺς κανονισμοὺς καί γιὰ τὰ μικρὰ κτίρια ἐνὸς ἕως τριῶν ὀρόφων (News & Notes, 1995).

Κατὰ τὸν Ἰάπωνα Hiroo Kanamori, καθηγητὴ τοῦ Τεχνολογικοῦ Ἰνστιτούτου τῆς Καλιφόρνιας, καί Διευθυντὴ τοῦ Σεισμολογικοῦ Ἐργαστηρίου στὴν Πασαντένα, τὰ ἴδια παρατηρήθηκαν καί κατὰ τὸν πρόσφατο πολύνεκρο σεισμὸ τῆς Ἰαπωνίας, τῆς 16ης Ἰανουαρίου 1995, πού εἶχε τὸ ἐπίκεντρό του κοντὰ στὴν πόλη Kobe (Hyogo-ken Nanbu), μὲ πληθυσμὸ 1,4 ἑκατομμύρια περίπου. Τὴν 29 Ἰανουαρίου 1995 εἶχαν μετρηθεῖ 5094 νεκροί, 13 ἀγνοούμενοι καί 26.798 τραυματίες. Οἱ νεκροὶ ἀνῆλθαν τελικῶς σέ 6279· ἐξ αὐτῶν 4512 στὴν Kobe. Περισσότεροι ἀπὸ 96000 κάτοικοι τῆς Kobe μεταφέρθηκαν ἄλλοῦ.

Τὸ μέγεθος ροπῆς τοῦ σεισμοῦ ὑπολογίσθηκε σέ 6,9. Καίτοι εἶχε τήν ἐστία του σέ βάθος 8 χλμ., δὲν παρατηρήθηκε καμιά ἐπιφανειακὴ διάρρηξη. Οἱ παράμετροι τῆς ἐστίας τοῦ σεισμοῦ Kobe ἦταν πολὺ ὅμοιες μὲ αὐτὲς τοῦ σεισμοῦ Loma Prieta, στὴν Καλιφόρνια. Ἡ ἐπιτάχυνση στὸ ἰσχυρότερο μέρος τῆς ἐδαφικῆς κινήσεως κατὰ τὸν σεισμὸ Kobe ἔφθασε στὰ 80% τῆς τιμῆς τῆς βαρύτητας, γ. Ἡ ταχύτης τῆς μεγίστης ἐδαφικῆς κινήσεως κοντὰ στὴν Kobe υπερέβηκε τὰ 50 cm/sec. Ὁ σεισμὸς τῆς Kobe (Hyogo-ken Nanbu) τῆς 16 Ἰανουαρίου 1995, 30 χλμ. δυτικῶς τῆς Osaka, θεωρεῖται ὡς ὁ πλέον ἐρημωτικὸς σεισμὸς πού κτύπησε τὸ Kwanto

τῆς Ἰαπωνίας, μετὰ τὸν πολύνεκρο (143.000 νεκροὶ) σεισμὸ τοῦ Tokyo, μεγέθους 8,0, τῆς 1ης Σεπτεμβρίου 1923 (Seism. Res. Letters, Vol. 66, No. 3, p. 36. 1995).

Τὰ περισσότερα ἀπὸ τὰ μεγάλα ἐμπορικὰ καταστήματα, τὰ διαμερίσματα σὲ ὑψηλὰ κτίρια, καὶ οἱ κατασκευές ποὺ στήριζαν ἀνυψωμένους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας καὶ σιδηροδρόμους ὑπέστησαν βλάβες, καίτοι εἶχαν κατασκευασθεῖ μετὰ τὸν 2ον παγκόσμιον πόλεμο, καὶ εἶχαν χρησιμοποιήσει τρόπους σχεδιάσεως καὶ κατασκευῆς ὅμοιες μὲ αὐτὰς τῆς Καλιφόρνιας. Ἡ ὅλική ζημία ἐκτιμᾶται σὲ 200 δισεκατομμύρια δολλάρια, σχεδὸν 10 φορές μεγαλύτερη ἀπὸ αὐτὴ ποὺ σημειώθηκε στὴν Καλιφόρνια τὸ 1994 ἀπὸ τὸν σεισμὸ Northridge (Kanamori, 1995).

Κατὰ τὸν Hiroo Kanamori (1995), οἱ ἐντυπωσιακὲς σ' ἔκταση καὶ μέγεθος σεισμικὲς βλάβες στὴν πόλη Kobe ὀφείλονται, πιθανῶς, στὴν συνδρομὴ τῶν κάτωθι παραγόντων: Στὴν μεγάλη γειτονία ρηξιγενοῦς ζώνης σὲ πυκνοκατοικημένη περιοχὴ, στὴν διεύθυνση διαρρήξεως, στὴν ἀνοικοδόμησι ἐπὶ χαλαρῶν ἐδαφῶν, στὴν παλαιότητα τῶν κατασκευῶν μὲ βαρεῖες στέγες, στὶς πυρκαϊὲς καὶ στὴν διάρρηξη τῶν συστημάτων παροχῆς ὕδατος, ὡς καὶ στὴν ἀνεπάρκεια κατασκευῆς καὶ ὑποδομῆς. Ἐπειδὴ ὁ συνδυασμὸς αὐτὸς ὑπάρχει σὲ πολλὰς κατοικημένες θέσεις τῆς Γῆς, τὰ μαθήματα ποὺ θὰ προκύβουν ἀπὸ τὸν σεισμὸ τῆς Kobe θὰ ἔχουν σημαντικὰ ἐπιπτώσεις στὶς στρατηγικὲς τοῦ μέλλοντος γιὰ τὴν μείωσι τῆς σεισμικῆς ἀπειλῆς σὲ πολλὰς περιοχὰς τῆς Γῆς.

Συνοψίζοντας: Οἱ πρόσφατες ἐμπειρίες ἀπὸ τὸν σεισμὸ Northridge καὶ ἀπὸ τὸν σεισμὸ Kobe μάς ἐδειξαν ὅτι οἱ σεισμοὶ σὲ ἀστικὲς περιοχὰς (urban earthquakes) μπορεῖ νὰ εἶναι πολὺ βλαπτικοὶ καὶ πολὺ ἐπικίνδυνοι. Ἐπὶ πλεόν, μποροῦμε νὰ προσδοκοῦμε ὅτι ἀκόμη μεγαλύτεροι σεισμοὶ караδοκοῦν σὲ κάποιες ἀστικὲς περιοχὰς γιὰ τὸ μέλλον μας¹. Τὸ παρήγορο εἶναι ὅτι οἱ πολὺ μεγάλοι σεισμοὶ εἶναι σπάνιοι, καὶ συγκριτικῶς πρὸς τὸν χρόνον ἐπαναλήψεώς τους ἡ ζωὴ μας εἶναι πολὺ σύντομη, καὶ κατὰ πᾶσα πιθανότητα δὲν θὰ ἔχομε τὴν τύχη νὰ ἰδοῦμε τὰ δεινὰ ποὺ ἀναμένουμε ἀπὸ τὴν ἐπίσκεψιν πολὺ μεγάλου σεισμοῦ σὲ κάποια ἀπὸ τὶς μεγαλύτερες πόλεις μας. Πάντως, αὐτὸ δὲν σημαίνει ὅτι τὸ κακὸ αὐτὸ δὲν μπορεῖ νὰ γίνῃ ἀπροσδόκητα μέσα σὲ λίγες δεκάδες δευτερολέπτων, ὥρων ἢ καὶ ἡμερῶν (Heaton, 1995b).

1. It's a truism in Archaeology that the absence of evidence is not evidence of absence (Time, December 18, 1995, p. 49).

Ὁ ἀπρόβλεπτος σεισμός, μεγέθους 6, τῆς 14ης Ἀπριλίου 1992, στὴν καρδιά τῆς Εὐρώπης, κοντὰ στὰ κοινὰ σύνορα Γερμανίας, Ὁλλανδίας καὶ Βελγίου, ἀνάμεσα σὲ ἑκατοντάδες σειсмоγράφους, ἡλεκτρονικοὺς ὑπολογιστὲς καὶ καθηγητὲς Σεισμολογίας, ἐπέφερε ἀπρόσμενες βλάβες ἐνὸς δισεκατομμυρίου μάρκων περίπου. Ὁ σεισμός αὐτός, ὁ ἰσχυρότερος στὴν κεντρικὴ Εὐρώπη ἀπὸ τὸ 1755, εἶναι ἀκριβῶς μιὰ ἄλλη ὑπόμνηση ὅτι, παρ' ὅλες τὶς συγκεντρωθεῖσες γνώσεις ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τοῦ σεισμοῦ τῆς Λισσαβώνας, τῆς 1ης Νοεμβρίου 1755, ἐκπλησσομεθα ἀκόμη ἀπὸ ἀπροσδόκητους σεισμοὺς ὅπως καὶ τότε (Ben-Menahem, 1995). Οἱ ἐλπίδες γιὰ ἀκριβὴ πρόβλεψη σεισμῶν εἶναι ἀκόμη καὶ τώρα λιγοστές, ὅπως ἦσαν καὶ καθ' ὅλη τὴν διάρκεια τοῦ λήγοντα αἰῶνα (Scrivner and Helmberger, 1995).

Οὕτως, ἀντιθέτως πρὸς αὐτὰ ποὺ οἱ ἀντισεισμικοὶ κανονισμοὶ μᾶς ἀφήνουν νὰ πιστεύουμε, ἐξαπατοῦμε τοὺς ἑαυτοὺς μας, ἐὰν νομίζουμε ὅτι μπορούμε νὰ νικήσουμε ὀριστικῶς τὶς φυσικὲς δυνάμεις. Τὸ αὐτὸ ἰσχύει καὶ γιὰ τὶς Δελφικὲς, περυστασιακὲς καὶ ὀρίστες σεισμικὲς προβλέψεις μικροῦ χρόνου ἀναμονῆς¹, τὴν διανομὴ φυλλαδίων, ἢ ἄλλων ἐντύπων μὲ ὁδηγίες προφυλάξεως τῶν ἀνθρώπων κατὰ τὴν διάρκεια τοῦ σεισμοῦ, καὶ τὶς σποραδικὲς ἀσκήσεις λήψεως μέτρων προστασίας τῶν κατοίκων περιοχῶν ἀπειλουμένων ἀπὸ μελλοντικοὺς σεισμούς.

Οἱ περίοδοι ἐπαναλήψεως τῶν ἰσχυρῶν σεισμῶν εἶναι ἄλλοτε βραχεῖες καὶ ἄλλοτε μακρὲς ἢ καὶ πολὺ μακρὲς, καὶ εἶναι ἀφέλεια νὰ πιστεύουμε ὅτι μπορούμε στὰ ὀλίγα δευτερόλεπτα, ποὺ διαρκεῖ τὸ ἰσχυρότερο μέρος τῆς σεισμικῆς δονήσεως, νὰ ἀντιδράσουμε ἀμέσως, συμφώνως πρὸς αὐτὰ ποὺ κάποτε εἶχαμε ἀκούσει, διαβάσει ἢ μάθει. Χρειάζεται αὐτοματισμός, ποὺ ἀποκτᾶται μόνον μὲ συχνές, αἰφνιδιαστικὲς καὶ ἀπρογραμματίστες, ὀλιγόλεπτες ἀσκήσεις στὰ σχολεῖα καὶ στοὺς στρατῶνες, καθ' ὅλη τὴν διάρκεια τῆς παραμονῆς μας σ' αὐτά. Ἐὰν δὲν ἔχουμε ἀποκτήσει αὐτοματισμὸ στὴν ἀντιμετώπιση τῶν σεισμικῶν φαινομένων, θὰ ἔχουμε, δίχως ἄλλο, τὴν τύχη ποὺ ἔχουν οἱ ἄπειροι ἢ μικρῆς πείρας ὁδηγοὶ αὐτοκινήτων, οἱ ὁποῖοι γνωρίζουν τί πρέπει νὰ κάμουν σὲ περιπτώσεις αἰφνίδιας ἐμφάνισεως ἀπειλῆς συγκρούσεως, ὥστόσο δὲν ἀντιδροῦν ἀμέσως, ὅπως οἱ ἔμπειροι ὁδηγοὶ ποὺ ἀντιδροῦν αὐτομάτως.

1. «Yet, an ultimate goal of Seismology, namely, the prediction of earthquakes, is not forthcoming. In spite of vast deployment of instruments and manpower, especially in the United States and Japan, no substantial progress has been made in this direction».«The present state of knowledge of earthquake phenomena precludes the reliable prediction of the time of occurrence of the next major earthquake in any given location». (Ben-Menahem, 1995).

Μετὰ ἀπὸ κάθε βλαβερὸ σεισμὸ ἀκούεται ἡ συμβουλὴ ὅτι, «οἱ Ἕλληνες πρέπει νὰ μάθουν νὰ ζοῦν μὲ τοὺς σεισμούς». Ὁ μέσος χρόνος ἐπαναλήψεως βλαβερῶν σεισμῶν ἀπὸ τὴν ἴδια θέσση, στὸν ἴδιο τόπο εἶναι κατὰ κανόνα, μεγαλύτερος ἀπὸ τὴν μέση χρονικὴ διάρκεια κάθε ἀνθρώπινης γενεᾶς. Μὲ αὐτὸ τὸ δεδομένο, γεννᾶται εὐλόγως τὸ ἐρώτημα: «Πῶς μπορεῖ νὰ μάθει ὁ ἄνθρωπος νὰ ζεῖ μὲ τοὺς σεισμούς;»

Εἶναι ὀξύμωρο, καὶ ὅμως εἶναι ἀπολύτως ἀληθές, ὅτι ἡ ἀνθρωπότης θὰ ἀπαλλάσσετο, ἴσως, ἀπὸ τὶς σεισμικὲς καταστροφές, ἐὰν οἱ καταστρεπτικοὶ σεισμοὶ ἦσαν περισσότερο συχνοί.

Συγκρίνοντας, τώρα, τὰ ἀποτελέσματα τῶν σεισμῶν τῆς 30ῆς Μαΐου 1909 καὶ τῆς 15ης Ἰουνίου 1995, ποὺ εἶχαν τὸ ἴδιο ἐπίκεντρο, τὸ ἴδιο μέγεθος, καὶ τὴν ἴδια μεγίστη ἔνταση, ἀκουσίως ἀναπολῶ τὰ σοφὰ λόγια ἀπὸ τὴν Ὀδύσσεια τοῦ Ὀμήρου (Α, 32-34):

«ὦ πόποι, οἶον δὴ νῦ θεοὺς βροτοὶ αἰτιόωνται.
Ἐξ ἡμέων γὰρ φασὶ κάκ' ἔμμεναι· οἱ δὲ καὶ αὐτοὶ
σφῆσιν ἀτασθαλίῃσιν ὑπὲρ μόνον ἄλγε' ἔχουσιν».

Καὶ σὲ μετάφραση Ζήσιμου Σίδερη:

«ὦ κρίμα ἀλήθεια, οἱ ἄνθρωποι μὲ τοὺς θεοὺς νὰ τάχουν,
γιατὶ θαρροῦν πῶς ἀπὸ μᾶς οἱ συμφορὲς τοὺς βρίσκουν,
γιατὶ παθαίνουν μόνοι τους ἀπ' ἀσυλλογισιὰ τους,
χωρὶς νὰ φταίει ἡ μοίρα τους».

Ἡ ἀποψη αὐτὴ διατηρεῖται, δυστυχῶς, καὶ στοὺς Χριστιανικοὺς χρόνους μὲ τὸν ὅρον «Θεομηνία», ποὺ ἀκούεται, ὡς μὴ ὦφειλε, ἀκόμη καὶ σὲ ἐκκλησιαστικὲς παρακλήσεις.

Οἱ σεισμοὶ —σὰν ἓνα εἶδος κωλικοῦ τῆς Γῆς¹, λέγει ὁ Σαίξπηρ στὸν Ἑρρίκο τὸν IV— ἀπλῶς ὑποδεικνύουν τὶς ἀσθενεῖς θέσεις τοῦ ἐξωτερικοῦ φλοιοῦ τῆς Γῆς, ποὺ ἔχουν ἰσχυρῶς παραμορφωθεῖ ἢ διαρρηχθεῖ ἀπὸ τὴν δράση τῶν ὀρογενετικῶν δυνάμεων, ἀκριβῶς ὅπως οἱ πόντοι τοῦ ἀνθρώπου ποὺ ὑποδεικνύουν, κατὰ καιροὺς, τὰ ἀσθενῆ μέρη τοῦ ἀνθρωπίνου σώματος. Συγχρόνως, ὅμως, οἱ σεισμοὶ ἔρχονται, μὲ τὶς καταστροφές ποὺ προκαλοῦν ἐπὶ τῶν κτιρίων, νὰ ὑπενθυμίσουν, ἀπὸ καιροῦ

-
1. «Deseased nature oftentimes breaks forth
in strange eruptions; oft the teeming earth
is with a kind of colic pinch'd and vex'd...»

(Will Shakespeare, in Henry IV, Part 1 (III-1)). Earthshaking experiences in Shakespeare's life (on April 6, 1580).

σὲ καιρό, τὴν ἀφροσύνη τῶν ἀνθρώπων· εἶναι μωρός, κατὰ τὸν Εὐαγγελιστὴ Ματθαῖον (Ζ. 26), «ὅστις ᾠκοδόμησε τὴν οἰκίαν αὐτοῦ ἐπὶ ἄμμου». Παραλλήλως, οἱ σεισμοὶ ἀποκαλύπτουν τὴν κακοτεχνία τῶν οἰκοδομῶν καὶ τὴν κερδοσκοπία τῶν ἐργολάβων, ὡς ἀπέδειξαν, καὶ πάλιν, ἡ κατάρρευση τῆς πολυκατοικίας στὸ Αἶγιο, καὶ ἡ καταστροφή τοῦ ξενοδοχείου στὰ Βαλημύτικα, καὶ κυρίως οἱ 26 νεκροὶ ποὺ θρηνήσαμε, ἀπὸ αὐτὸν καὶ μόνο τὸν λόγο, τὴν 15ην Ἰουνίου 1995.

Συμπληρωματικὴ Ἑνμέρωση

Κάθε ἐστία οἰασθῆποτε μορφῆς καὶ μεγέθους, ἀπὸ ἀποστάσεως μερικῶν μη-κῶν κύματος καὶ ἐφεξῆς, δύναται νὰ θεωρηθεῖ ὡς στιγμοειδῆς πηγὴ ἐλαστικῶν σφαιρικῶν κυμάτων. Ἡ ἀποδοχὴ τοῦ στιγμοειδοῦς ὑποκέντρου δικαιολογεῖται ἀκόμη καὶ ὁσάκις ἡ ἐστία ἀποτελεῖται ἀπὸ ρῆγμα μήκους ἑκατοντάδων χιλιομέτρων, ἢ ἀπὸ τέμαχος ἐπιφανείας πολλῶν τετραγωνικῶν χιλιομέτρων. "Ὅπως καὶ κατὰ τὸ θραύσιμο διαφόρων σωμάτων, τὸ σχίσιμο τοῦ χάρτου, τῶν ὑφασμάτων κ.λπ. ἀρχίζει ἀπὸ ὀρισμένο σημεῖο ποὺ ὑφίσταται τὴν μεγαλύτερη πίεση, οὕτω καὶ κατὰ τὸν σεισμό, ἡ διάρρηξη τῶν πετρωμάτων τῶν γεωλογικῶν στρωμάτων ἀρχίζει πάντοτε ἀπὸ ὀρισμένην θέσιν τοῦ σεισμογόνου ρήγματος (Γαλανόπουλος, 1971).

Στὰ ἐνεργὰ ρήγματα οἱ ἐπιφάνειες διαρρήξεως δὲν εἶναι ὁμαλές καὶ λεῖες, ἀλλὰ τραχεῖες ἐπιφάνειες μὲ ἀλλεπάλληλες, μικρὲς καὶ μεγάλες, προεξοχές καὶ ἐγκολπώσεις (asperities), οἱ ὁποῖες ἐμπλέκονται μεταξὺ τους καὶ σχηματίζουν διαφόρου μεγέθους κλειθρα (locks) ἢ ἐμπόδια (barriers), τὰ ὁποῖα ἐνεργοῦν ὡς συλλέκτες ἐλαστικῶν τάσεων (stress concentrators), ποὺ ἔχουν μικρότερη ἀντοχὴ διαρρήξεως (Galanopoulos, 1985). Τὰ κλειθρα αὐτὰ ἐμποδίζουν προσωρινὰ τὴν ἀμοιβαία κίνηση τῶν πλευρῶν τῶν τεμαχῶν ποὺ ἐμπλέκονται μεταξὺ τους. Ἡ διάρρηξη τῶν κλειθρων, ποὺ προκαλεῖται ἀπὸ τὴν διατμητικὴ παραμόρφωση τῶν ἐφαπτομένων τεμαχῶν, ἀρχίζει συνήθως ἀπὸ τὸν μεγαλύτερο πυρήνα συγκεντρώσεως ἐλαστικῶν τάσεων, ποὺ ἀποτελεῖ εὐλόγως καὶ τὸ ἀσθενέστερο ἐμπόδιο διαρρήξεως (Γαλανόπουλος, 1990).

Ἡ κάθετος προβολὴ στὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς τοῦ μεγαλύτερου πυρήνα συγκεντρώσεως ἐλαστικῶν τάσεων (nucleation point) ἀποτελεῖ τὴν πλειόσειστο περιοχὴ τοῦ σειсмоῦ, ὅπου παρατηροῦνται καὶ οἱ μεγαλύτερες βλάβες¹. Τὸ μέγεθος τῆς περιοχῆς αὐτῆς δὲν μπορεῖ νὰ ἔχει ὀριζόντιες διαστάσεις μεγαλύτερες ἀπὸ αὐτὲς τοῦ μεγαλύτερου συλλέκτου ἐλαστικῶν τάσεων, ποὺ ἀποτελεῖ καὶ τὴν κυριότερη πι-

1. «The short-period components of the radiation are coherent only over distances considerably smaller than the total fault length» (Ben-Menahem, 1995).

θανή πηγή έκπομπής, ένδεχομένως, άξιολόγων πιεζοηλεκτρικών ρευμάτων πριν από την γένεση του σεισμού. Η πηγή αυτή έχει πάντοτε πολύ μικρές διαστάσεις, σε σχέση προς το μήκος του σεισμογόνου ρήγματος, ώστε να δικαιολογούν την άποδοχή του κέντρου βάρους της προβολής της στην επιφάνεια της Γης ως τόπου έξορμής του μεγαλύτερου ποσοϋ ένεργείας που εκλύεται κατά τον κύριο σεισμό.

Μετά την θραύση του μεγαλύτερου κλείθρου οι έλαστικές τάσεις που είχαν συγκεντρωθεί σ' αυτό μεταφέρονται διαδοχικώς στα γειτονικά κλείθρα, προς την μία ή και προς τις δύο κατευθύνσεις του ρήγματος (unilateral or bilateral)· ή έπακολουθοϋσα θραύση και των υπόλοιπων κλείθρων του ένεργου ρήγματος έπιτρέπει την μετάθεση των παρειών του μέχρι συναντήσεως κάποιου άλλου ισχυροτέρου έμποδίου ή έξαντλήσεως των συσσωρευμένων έλαστικών τάσεων. Σε μερικές περιπτώσεις μεγάλου μήκους ένεργων, και ιδίως, άντιθετικών ρηγμάτων, υπάρχουν δύο ή περισσότερα μεγάλα έμπόδια. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ή διαδοχική θραύση των σε βραχύτατο χρονικό διάστημα, συνήθως όλγων δευτερολέπτων, άποτελοϋν πηγή διπλών, τριπλών ή πολλαπλών συμβάντων (double-, triple- or multiple-event source).

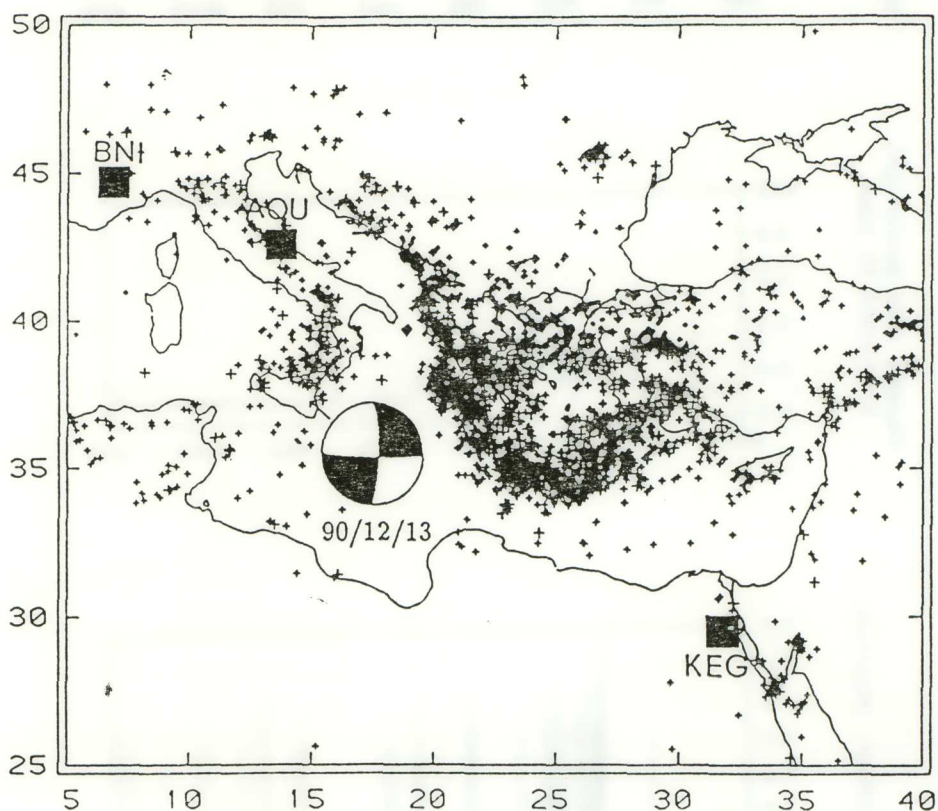
Ο Άλεούτιος σεισμός της 9ης Μαρτίου 1957 θεωρήθηκε ως ο τρίτος μεγαλύτερος σεισμός του 20ου αιώνα· είχε την μεγαλύτερη σε μήκος μετασεισμική ζώνη, περίπου 1200 χιλιομ., μέγεθος σεισμικής ροπής $M_w=8,6$ και μέγεθος έπιφανειακών κυμάτων $M_s=8,1$.

Συχνά ή περιοχή που περιέχει τους μετασεισμούς θεωρείται ως έστιακή περιοχή του σεισμού (source area). Η μετασεισμική περιοχή στον σεισμό της 9ης Μαρτίου 1957 έκτείνεται, έκαστέρωθεν του επικέντρου του κύριου σεισμού ($51,63^\circ N$, $175,41^\circ E$), κατά μήκος της Άλεουτίου τάφρου, 360 χιλμ. δυτικά και 850 χιλμ. άνατολικά (Johnson et al., 1994).

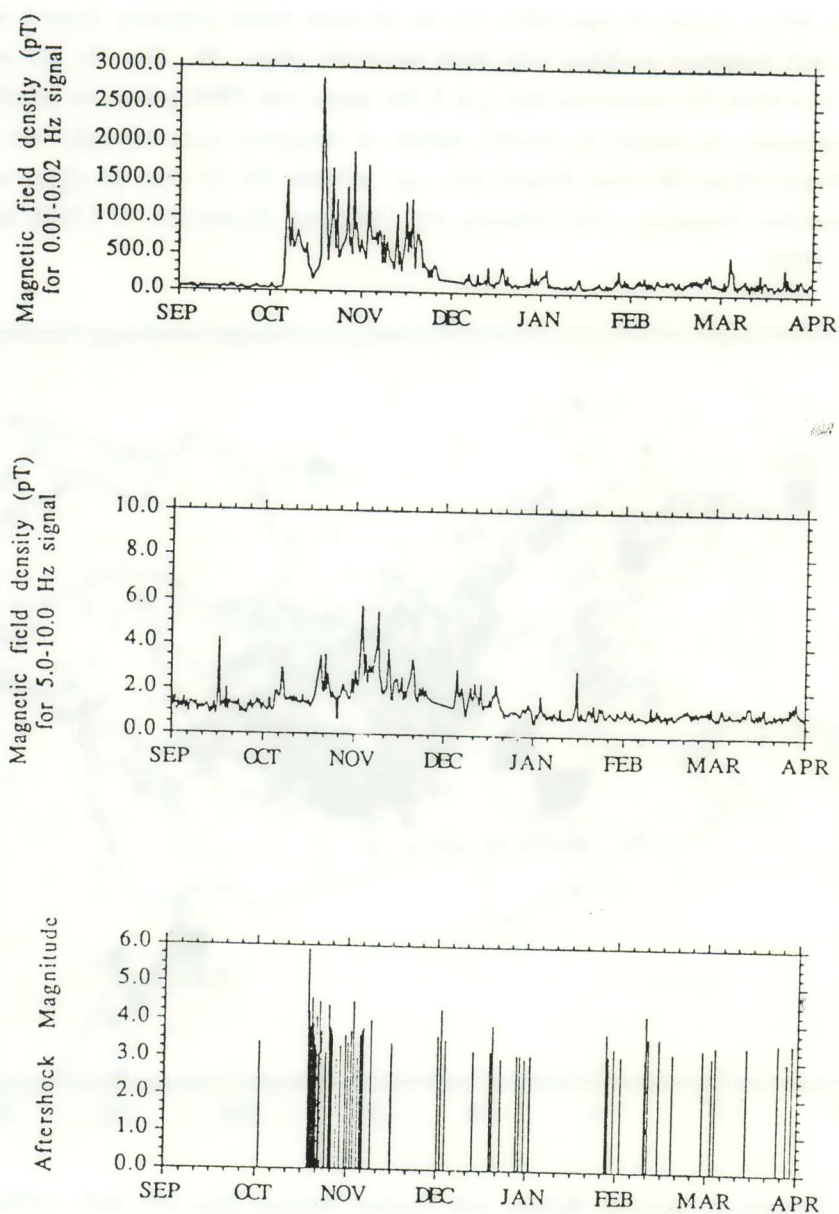
Την 7ην Μαΐου 1986 συνέβηκε ένας νέος σεισμός, στις νήσους Andreanof, με επίκεντρο μέσα στην ρηξιγενή ζώνη του μεγάλου σεισμού του 1957 ($51,41^\circ N$, $174,83^\circ E$), και μέγεθος έπιφανειακών κυμάτων $M_s=7,7$. Το 1981 ή περιοχή αυτή είχε θεωρηθεί, λόγω του σεισμού του 1957, ότι είχε το χαμηλότερο σεισμικό δυναμικό για μερικές άκόμη δεκαετίες. Ο σεισμός του 1986 απέδειξε πόσο έσφαλμένη είναι ή υπόθεση του σεισμικού διακένου (seismic gap hypothesis). Ο σεισμός του 1986 παρυσιάζει έπαναδιάρρηξη της μεγαλύτερης προεξοχής του 1957 (Johnson et al., 1994).

Τέλος, ο πρόσφατος σεισμός Landers της 28ης Ιουνίου 1992, με μέγεθος σεισμικής ροπής $M_w=7,3$, έδειξε ότι μποροϋν να συμβοϋν συγχρόνως διαρρήξεις (co-seismic ruptures) κατά μήκος τμημάτων ρηγμάτων που δέν συνδέονται πλήρως μεταξύ τους· συνεπώς το μήκος του ρήγματος, μόνο του, δέν είναι άξιόπιστος δείκτης των σεισμικών διαρρήξεων του μέλλοντος (Spotila and Sieh, 1995).

Θά πρέπει ακόμη νά προστεθεῖ, ὅτι μὲ τὰ πάρα πολλὰ ρήγματα, ἐμφανή καὶ ἀφανή, ποὺ ὑπάρχουν συνήθως στὶς πολὺ σεισμικὲς χῶρες (βλ. Εἰκ. 1), καὶ ποὺ κάθε ἓνα κινεῖται ὄχι συχνότερα ἀπὸ μιὰ ἢ δύο φορές στὰ 1000 χρόνια, τὸ μέγεθος ἢ ὁ μετριασμός τῆς σεισμικῆς ἀπειλῆς πρέπει νὰ ἐκτιμᾶται κατὰ περιοχές· καὶ τὸ πλέον ἐνεργὸ ρῆγμα δὲν εἶναι ἀπαραίτητο, καὶ πιθανῶς δὲν θὰ εἶναι τὸ ρῆγμα ποὺ θὰ προκαλέσει διαρρήξεις στὴν διάρκεια τῆς ζωῆς μας (Scientists of USGS and USEC, 1994).



Εἰκ. 1: Σύγκριση τῆς σεισμικῆς δράσεως στὸν εὐρύτερο Ἑλληνικὸ χῶρο (24°N 32° , 19°E 29°) πρὸς αὐτὴ στὶς ὑπόλοιπες παραμεσόγειες χῶρες. Χαρτογράφηση τῶν ἐπικέντρων ὕλων τῶν σεισμῶν ἐνιαίου μεγέθους $M_b \geq 4$ ἀπὸ τοὺς καταλόγους τοῦ Διεθνoῦς Σεισμολογικοῦ Κέντρου (ISC), στὴν περίοδο 1964-1990. Ἀναπαράγωγη ἀπὸ τοὺς Domenico Giardini, Barbara Palombo and Nicola Alessandro Pino (Ann. di Geof., Vol. 39, No2, p. 268, 1995).



Είλ. 2: Έπτάμηνη χαρτογράφηση τών μετασεισμών τής Loma Prieta ($ML > 3,0$) και τών τιμών τοῦ γεωμαγνητικοῦ πεδίου ἀπὸ τὸν Σεπτέμβριο 1989 ἕως τὸν Ἀπρίλιο 1990, κατὰ ἀναπαραγωγή ἀπὸ τὴν μελέτη τοῦ M. A. Fenoglio καὶ τῶν συνεργατῶν του, 1993.

13 περίπου ημέρες πριν από τον καταστρεπτικό σεισμό της Loma Prieta μεγέθους 6,9, της 18ης Οκτωβρίου 1989, άρχισαν να αναγράφονται κοντά στο επίκεντρο του σεισμού ισχυρές διακυμάνσεις του γεωμαγνητικού πεδίου στις περιοχές συχνότητας 0,01- έως 0,02- Hz και 5,0-μέχρι 10- Hz (βλ. Εικ. 2). Η αύξημένη διατάραξη του γεωμαγνητικού πεδίου συνεχίσθηκε μέχρι τον κύριο σεισμό, και επί 6 περίπου εβδομάδες, μετά από αυτόν, παρέμεινε ύψηλότερη από την προσεισμική στάθμη των ημερησίων διακυμάνσεων του μαγνητικού πεδίου.

Κατά τον Fenoglio και τους συνεργάτες του (1993), οι παρατηρήσεις αυτές υποδεικνύουν αιτιώδη σχέση μεταξύ της διαδικασίας της σεισμικής διαταράξεως και των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Αναζήτηση προδρόμων ηλεκτρομαγνητικών σημάτων που να σχετίζονται με μετασεισμούς κατέληξε σε άρνητικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένως, από την αναζήτηση αυτή δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής δράσεως και της συχνότητας ή του μεγέθους των μετασεισμών που ακολούθησαν τον κύριο σεισμό. Επίσης, σύγκριση των μαγνητικών σημάτων στις περιοχές συχνότητας 0,01- έως 0,02- Hz και 5,0- μέχρι 10- Hz κατά τον μήνα Ιούλιο 1989, όταν δεν υπήρχε δράση αίσθητων σεισμών, έδειξε ότι οι τιμές του Ιουλίου 1989 ήταν πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες του Οκτωβρίου 1989, και παρούσιν ημερήσια μεταβολή.

Παρόμοιες αναγραφές ηλεκτρομαγνητικών σημάτων δεν έχουν αναφερθεί για τους καταστρεπτικούς σεισμούς Landers και Big Bear της 28ης Ιουνίου 1992, μεγέθους 7,3 και 6,2 αντίστοιχως, και τον πρόσφατο σεισμό Northridge, μεγέθους 6,7 της 17ης Ιανουαρίου 1994 στην νότιο Καλιφόρνια.

Τα ανωτέρω δεδομένα, από πρόσφατες μελέτες, δεν φαίνεται να αφήνουν περιθώρια για άμφιβολίες: τί είναι μύθος και τί πραγματικότητα στις σεισμικές προγνώσεις μικρού χρόνου άναμονής που γίνονται στην Ελλάδα. Earthquake predictions without offering any concrete proof, a bane to Seismology, are like the predictions of impending doom issued from time to time by street-corner prophets.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ben-Menahem A.: Review. A concise History of Mainstream Seismology: Origins, Legacy, and Perspectives. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 85, No. 4, pp. 1202-1225, August 1995.
- Fenoglio, M.A., Fraser-Smith, A. C. and M. J. S. Johnston: Comparison of Ultra-Low Frequency Electromagnetic Signals with Aftershock Activity During the 1989 Loma Prieta Earthquake Sequence. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 83, No 2, pp. 347-357, 1993.
- Γαλανοπούλου, Γ. Α.: Στοιχεία Σεισμολογίας καὶ Φυσικῆς τοῦ Ἑσωτερικοῦ τῆς Γῆς. Ἀθήναι. 1971.
- Galanopoulos, G. A.: On the Earthquake Activity Occurring per Month in Greece. *Pract. Acad. Athens*, Vol 60, pp. 152-180, 1985.
- Γαλανοπούλου, Γ. Α.: Γιατί στίς Περισσότερες Περιπτώσεις εἶναι Ἀδύνατη ἡ Ἐγκαιρὴ Πρόβλεψη τῶν Βλαβερῶν σεισμῶν. *Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, Τόμ. 65, σ. 318-329, 1990.
- Hanks, C. T. and H. Krawinkler: The 1989 Loma Prieta Earthquake and its Effects. Introduction to the Special Issue. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 81, No 5, pp. 1415-1421, 1991.
- Heaton, H. T.: Looking back from the Year 3.000. *Seism. Res. Letters*. Vol. 66, No 2, pp. 3-4, 1995a.
- Heaton H. I.: Urban Earthquakes. 1995 Presidential Address. *Seism. Res. Letters*, Vol. 66, No. 5, pp. 37-40, 1995b.
- Johnson M. Jean, Tanioka Yuichiro, Ruff J. Larry, Satake Kenji, Kanamori Hiroo and Lynn R. Sykes: The 1957 Great Aleutian Earthquake. *PAGEOPH*, Vol. 142, No. 1, pp. 3-28, 1994.
- Kanamori, H.: The Kobe (Hyogo-Ken Nanbu), Japan, Earthquake of January 16, 1995. *Seism. Res. Letters*. Vol. 66, No 2, pp. 6-10, 1995.
- News & Notes: House Passes Earthquake Hazards Reduction Act. *Seism. Res. Letters*. Vol. 66, No 1, p. 4, 1995.
- ✧ Scientists of the U. S. Geological Survey and the Southern California Earthquake Center: The Magnitude 6,7 Northridge, California, Earthquake of 17 January 1994. *Science*, Vol. 266, pp. 389-397, 1994.
- Scrivner W. Craig and Donald V. Helmberger: Preliminary Work on an Early Warning and Rapid Response Program for Moderate Earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 85, No. 4, pp. 1257-1265, August 1995.
- Spotila A. James and Kerry Sieh: Geologic Investigations of a «Slip Gap» in the Surficial Ruptures of the 1992 Landers Earthquake, Southern California. *Journ. Geoph. Res.*, Vol. 100, No B1, pp. 543-559, 1995.

Εὐχαριστίες

Θερμές εὐχαριστίες ὀφείλονται στὴν Κκ Εὐα Βλάχου-Βλαβιανοῦ γιὰ τὴν ἐξάαιρετη δακτυλογράφηση τοῦ κειμένου τῆς ὥς ἄνω ὁμιλίας μου.