

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 15^{ΗΣ} ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1992

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΙΧΑΗΛ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ

ΕΠΙΜΕΤΡΟ : ΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΣΤΟΧΑΣΜΟΙ
ΤΥΧΑΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΤΙΚΟΥ Κ. ΑΓΓΕΛΟΥ Γ. ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

Σὲ προηγούμενη ὁμιλία μου μὲ τὸν τίτλο: «Γιατί στίς περισσότερες περιπτώσεις εἶναι ἀδύνατη ἡ ἔγκαιρη πρόβλεψη τῶν βλαβερῶν σεισμῶν» (Γαλανόπουλος, 1990) εἶχα τονίσει ὅτι στὴν Γεωφυσικὴ ὅπως καὶ στὴν Ἰατρική, οἱ στατιστικὲς συσχετίσεις σὲ πολυπαραγοντικὰ φαινόμενα δὲν εἶναι ἀπόδειξη αἰτίας καὶ αἰτιατοῦ. Κατὰ τὸν Leon Knopoff (1990), οἱ συσχετίσεις φαινομένων δὲν εἶναι τίποτα περισσότερο ἀπὸ ταίριασμα καμπύλης (curve-fitting). Σὰν κλασικὸ παράδειγμα ἀστοχίας τέτοιων στατιστικῶν συσχετίσεων, ἀναφέρεται προσφάτως (Savage, 1991) ἡ ἀνωμαλία τοῦ λόγου τῶν σεισμικῶν ταχυτήτων τῶν ἐπιμήκων, V_p , καὶ ἐγκαρσίων, V_s , κυμάτων, V_p/V_s . Ἡ ἀνωμαλία τοῦ λόγου αὐτοῦ χρησιμοποιήθηκε ἐπὶ 30 περίπου ἔτη ὡς μέθοδος προβλέψεως τοῦ χρόνου, τῆς θέσεως καὶ τοῦ μεγέθους ἐπικείμενου σειμοῦ.

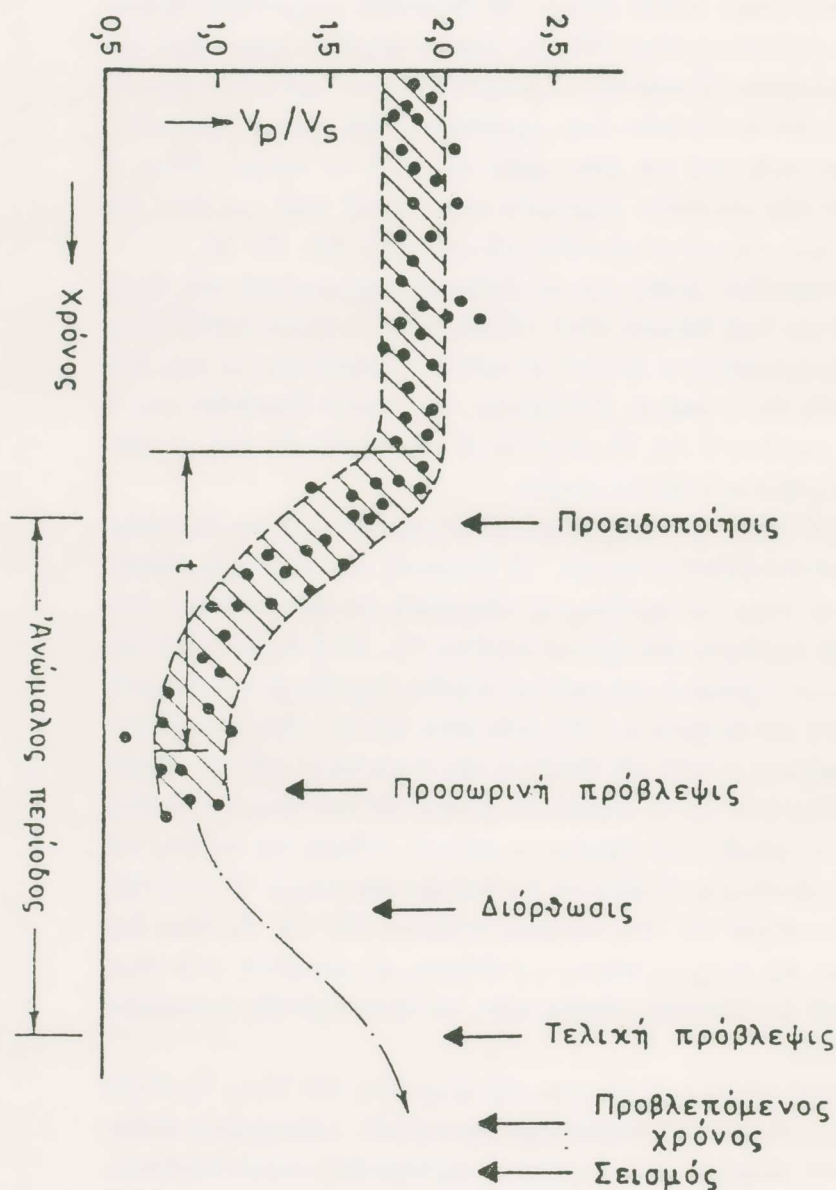
Σοβιετικοὶ σεισμολόγοι εἶχαν εὑρεῖ ἀπὸ τὸ 1960, ὅτι ἡ τοπικὴ μείωση τῶν σεισμικῶν ταχυτήτων ἐφαίνετο νὰ ἦταν πρόδρομο φαινόμενο τῶν σεισμῶν. Τὰ ἐπιμήκη κύματα, P , εἶναι ταχύτερα καὶ φθάνουν πρώτα. Τὰ ἐγκάρσια κύματα, S , φθάνουν ἀργότερα ἀλλὰ ἔχουν γενικῶς μεγαλύτερο πλάτος στὸ σεισμόγραμμα καὶ εἶναι σχετικῶς εὐδιάκριτα. Ὁ χρόνος ἀφίξεως τῶν δύο αὐτῶν κυμάτων μετρεῖται γιὰ τοὺς τοπικοὺς σειμοὺς κάθε ἡμέρα. Ἡ χαρτογράφηση τῆς διαφορᾶς τῶν χρόνων ἀφίξεως τῶν ἐπιμήκων καὶ ἐγκαρσίων κυμάτων σὲ συνάρτηση πρὸς τὸν χρόνο ἀφίξεως τῶν πρώτων κυμάτων σὲ εὐάριθμους τοπικοὺς σεισμολογικοὺς σταθμοὺς καθορίζει εὐθεῖα γραμμὴ. Ἡ κλίση τῆς γραμμῆς αὐτῆς εἶναι ἴση μὲ τὸ λόγος V_p/V_s

πλήν 1 ($V_p/V_s - 1$), όπου V_p και V_s , ως αναφέρθηκε είναι οι τοπικές ταχύτητες των επιμήκων και εγκάρσιων κυμάτων. Ούτως, ο λόγος V_p/V_s μπορεί να καθορίζεται καθημερινῶς για κάθε μικρὸ τοπικὸ σεισμό. Οἱ Σοβιετικοὶ σεισμολόγοι εὐρήκαν ὅτι ὁ λόγος V_p/V_s μειώνονταν μέχρι 20% για περίοδο εὐαριθμῶν μηνῶν πρὶν ἀπὸ μετρίους τοπικοὺς σεισμούς. Ἡ περίοδος μειώσεως τοῦ λόγου V_p/V_s εἶναι μεγαλύτερη, ὅταν ὁ σεισμός πὸν ἀκολουθοῦσε ἦταν μεγαλύτερος. Ἐπὶ πλέον ὁ λόγος αὐτὸς ἐπανήρχετο στὴν κανονικὴ τιμὴ του ὀλίγο χρόνο πρὶν ἀπὸ τὸ σεισμό. Οὕτως ἡ ἐπάνοδος τοῦ λόγου τῶν σεισμικῶν ταχυτήτων στὴν ἀρχικὴ τιμὴ του ἦταν μία προειδοποίηση γενέσεως σεισμοῦ σὲ σχετικῶς σύντομο χρόνο (βλ. εἰκ. 1).

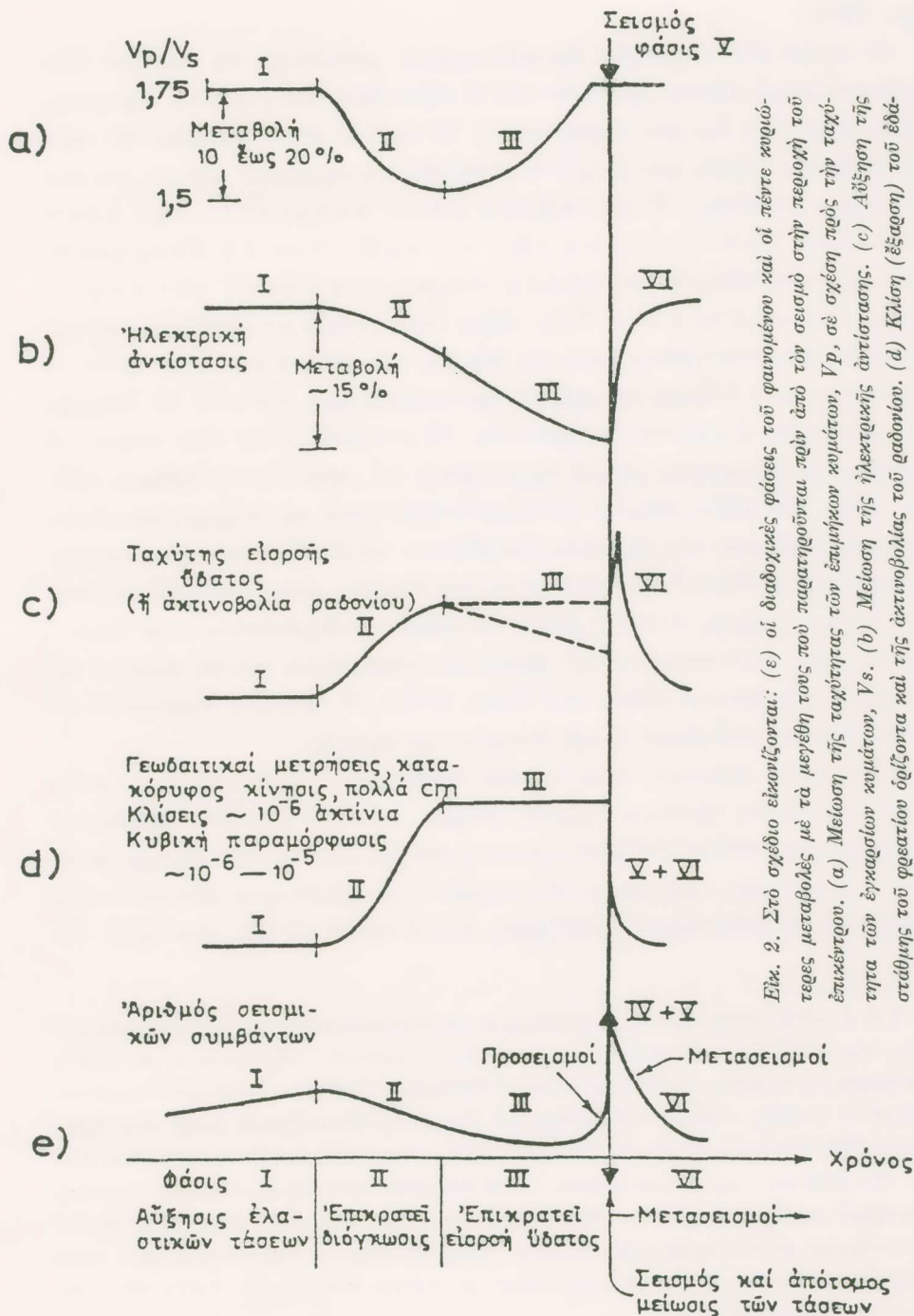
Ἄμερικανοὶ σεισμολόγοι ἔμαθαν γιὰ τὶς Σοβιετικὲς παρατηρήσεις στὶς ἀρχὲς τοῦ 1970, καὶ γρήγορα ἐπιβεβαίωσαν αὐτές. Οἱ δύο πλέον πειστικὲς ἐπαληθεύσεις ἐγέννησαν μεγάλη ἐμπιστοσύνη γιὰ πραγματικὴ πρόβλεψη μικροῦ σεισμοῦ στὴν Νέα Ὑόρκη, καὶ ἀπόδειξε ὅτι ὁ σεισμός Καλιφορνίας, τοῦ Ἁγίου Φερνάνδου στὶς 9 Φεβρουαρίου 1971, μεγέθους 6 1/2, θὰ μπορούσε νὰ εἶχε προβλεφθεῖ ἀπὸ τὰ δεδομένα πὸν εἶχαν ἀναγραφεῖ πρὶν ἀπὸ τὸ συμβάν.

Ἡ ἀνωμαλία τοῦ λόγου V_p/V_s ἐξηγήθηκε μὲ τὸ μηχανικὸ πρότυπο διογκώσεως-διαχύσεως (dilatancy-diffusion model). Ἡ διογκώση, δηλαδή ὁ σχηματισμὸς μικρῶν ρωγμῶν σὲ πέτρωμα πὸν εὐρίσκεται σὲ τάση κοντὰ στὸ ὄριο θραύσεως, ἐξηγοῦσε τὴ μείωση τῆς ταχύτητας τῶν πρῶτων κυμάτων, V_p , καὶ ἡ ἀκολουθοῦσα ἐπιφανορὰ τοῦ λόγου τῶν ταχυτήτων στὸ κανονικὸ μέγεθος ἐξηγεῖτο μὲ τὴν πλήρωση τῶν ρωγμῶν μὲ ὕδωρ πὸν διαχέετο ἀπ' ἔξω στὸν χῶρο τοῦ ὑπὸ τάση πετρώματος. Ὁ χρόνος καθυστέρησεως μεταξὺ τῆς ἐνάρξεως τῆς διογκώσεως καὶ τῆς πληρώσεως τῶν ρωγμῶν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ διογκωμένο μέγεθος τοῦ ὑπὸ τάση πετρώματος, καὶ ἐπομένως ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ ἐπικείμενου σεισμοῦ. Αὐξηση τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος στὶς ρωγμὲς ἐξασθενίζει τὸ πέτρωμα καὶ διεγείρει τὸν σεισμό. Ἡ ἀκολουθία αὐτὴ τῶν συμβάντων ἐξηγεῖ καὶ ἄλλα σεισμικὰ πρόδρομα (βλ. εἰκ. 2), ὅπως λ.χ. τὴν σεισμικὴ ἠρεμία, τὴν ἀνώμαλη ἔξαρση τοῦ ἐδάφους, τὶς μεταβολὲς στὴν ἠλεκτρικὴ ἀντίσταση καὶ τὴν ἐκπομπὴ ραδονίου κ.λπ., τὰ ὁποῖα εἶχαν ἤδη διαπιστωθεῖ (Γαλανόπουλος, 1977).

Παρὰ τὴν ἀρχικὴ φαινομενικὴ ἐπιτυχία τῆς ἀνωμαλίας τοῦ λόγου V_p/V_s ὡς σεισμικοῦ προδρόμου, οἱ ἐπόμενες περισσότερο προσεχτικὲς παρατηρήσεις ἀπέτυχαν νὰ διακρίνουν τὴν ἀνωμαλία αὐτή. Τὸ μηχανικὸ πρότυπο διογκώσεως-διαχύσεως, ὅπως ἀνέφερε τὸ 1972 ὁ δημιουργὸς του ἀπὸ τὸ Stanford, Amos Nur, φαίνεται νὰ εἶναι μιὰ κομψὴ ἐξήγηση ὑπόπτων παρατηρήσεων. Ὡς μέθοδος προβλέψεως ἦταν κυριολεκτικὰ πολὺ καλὴ γιὰ νὰ εἶναι ἀληθινὴ. Ἐὰν ἡ ἀνωμαλία τοῦ λόγου V_p/V_s δὲν ἔχει πλέον ἐνδιαφέρον γιὰ τοὺς σεισμο-



Εικ. 1. Στο σχέδιο εικονίζονται οι διάφορες φάσεις εξέλιξεως του φαινομένου της μεταβολής της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων πριν από τον σεισμό. Το μέγεθος του σεισμού είναι άνω του της διαρκείας της ανώμαλης περιόδου. Ο χρόνος γενέσεως του σεισμού λογίζεται από την στιγμή που αρχίζει ν' αυξάνει η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων. Ο χρόνος αυτός είναι 15-25% μεγαλύτερος από τον χρόνο που έπερασε από την στιγμή που άρχισε η ελάττωση της ταχύτητας των κυμάτων μέχρι της στιγμής που αρχίζει η ταχύτητά τους ν' αυξάνει. Ο σεισμός γίνεται μετά την επάνοδο της ταχύτητας των κυμάτων στην αρχική τους στάθμη (National Academy of Sciences 1976)



Εικ. 2. Στο σχέδιο εικονίζονται: (ε) οι διαδοχικές φάσεις του φαινομένου και οι πέντε κυριότερες μεταβολές με τα μεγέθη τους που παρατηρούνται πριν από τον σεισμό στην περιοχή του επικέντρου. (α) Μείωσις της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων, V_p , σε σχέση προς την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων, V_s . (b) Μείωσις της ηλεκτρικής αντίστασης. (c) Αύξησις της στάθμης του φρεσάτου όριζοντα και της ακτινοβολίας του ραδονίου. (d) Κλίση (έξαρση) του εδάφους. (e) Μικρά περιόδους σεισμικής ηρεμίας. Όλες οι διαταραχές αυτές αποδίδονται στην διόγκωσις του έστιου πετρώματος και είσοδή σ' αυτό ύδατος από τον σεισμό (National Academy of Sciences, 1976).

λόγους, θα πρέπει ίσως να έχει ενδιαφέρον για τους ιστορικούς της επιστήμης (Savage, 1991).

Θα πρέπει εδώ να τονισθεί ότι κάθε σεισμός μεταβάλλει τον έστιακό όγκο — κάποτε ελαφρά, κάποτε δραστικά— και η άλλοιωθεΐσα έστία γίνεται ισχυρότερη ή ασθενέστερη από ό,τι ήταν προηγουμένως. Η ταχύτης μεταναστεύσεως των πορικων ύγρων και ο όγκος των μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά από τον ένα στον άλλο κόκκο φορτίσεως. Η μεταβολή αυτή επηρεάζει την κανονικότητα επαναλήψεως των σεισμών που θα αναμένετο από μια σταθερά ταχύτητα παραμορφώσεως των έσωτερικών στρωμάτων της Γης. Λόγω διαφορετικών μεταβολών στην άντοχή διαρρήξεως των πετρωμάτων κατά την διάρκεια των κόκλων φορτίσεως πρέπει να αναμένονται πολύ διαφορετικοί ρυθμοί συμπεριφορής πριν και μετά τη διάρρηξη στις αναστροφές ή κανονικές μεταπτώσεις. Οι μεταβολές αυτές είναι έπόμενο να συνεπάγονται διαφορετικές μορφές προσεισμικής και μετασεισμικής δράσεως (Sibson, 1991). Έπί πλέον, διάχυση των πορικων ύγρων μετά τη διάρρηξη μεταβάλλει την τριβή κατά μήκος των ρηγμάτων, έμποδίζουσα την δλίσθηση σε μερικά και προωθοΐσα αυτήν σ' άλλα. Τέλος, σε βάθη 12 έως 15 χιλμ., όπου γίνονται οι περισσότεροι ισχυροί σεισμοί, ο φλοιός μπορεί να φθάσει σε θερμοκρασία στην οποία ο χαλαζίας, που είναι συστατικό των γρανιτικών πετρωμάτων, γίνεται εδήλατος και διευκολύνει τον έρπυσμό (Stein and Yeats, 1989). Ο έρπυσμός ανακουφίζει τον έστιακό όγκο και καθυστερεί ή και άποτρέπει τη διάρρηξη.

Η σεισμική πρόγνωση είναι έγγενως στατιστική (Lindh, 1991). Συνεπώς, οιαδήποτε σεισμική πρόβλεψη βραχείας, μετρίας ή μακρής περιόδου αναμονής και πολύ περισσότερο πιθανολογούμενη πρόγνωση, που βασίζεται σε στατιστικούς μέσους όρους ή προηγούμενη συμπεριφορά των σεισμών¹, όσονδήποτε προηγμένη και αν είναι ή εφαρμοσθεΐσα πιθανολογική προσέγγιση, μπορεί τελικά να μὴν είναι όρθή. Κα-

1. It is worth noting the notorious fallacy in the Parkfield prediction. The Parkfield prediction was based on an extrapolation of five of the six moderate (~6) events in the 1857 to 1966 earthquake sequency. In 1985 the National Earthquake Prediction Evaluation Council had predicted at the 95% confidence level that the next Parkfield earthquake would occur before January 1993. The fallacy in the Parkfield prediction is that it did not take account of the 1937 event. The 1934 event was omitted because it did not fit the regularity of earthquake occurrence at Parkfield exhibited by the other data, roughly every 20yr since 1857. As a matter of fact, the problem with predicting the next Parkfield earthquake from the sequence of six prior events is that there is no unique hypothesis, upon which to base the prediction (Savage, 1993).

θώς αδξάνουν μὲ τὸ χρόνο οἱ πιέσεις καὶ ἔλαστικές τάσεις καὶ ἡ παραμόρφωση τοῦ ἔστιακοῦ ὄγκου προσεγγίζει τὴν προηγούμενη κρίσιμη στάθμη, ἡ ἀντοχὴ διαρρηξέως τῶν πετρωμάτων πὸν ὀδηγεῖ σὲ ἄλλο σεισμό ἢ σμῆνος σεισμῶν μπορεῖ νὰ ἔχει μεταβληθεῖ, καὶ τοῦτο θὰ καταστεῖ φανερὸ μόνον ἐκ τῶν ὑστέρων!... Πρόσφατα ὁ Lomnitz (1989), σχολιάζοντας νέο προηγμένο πρότυπο ἐπαναλήψεως σεισμῶν, παρατηρεῖ τελικῶς ὅτι «ὁ σεισμικὸς κίνδυνος εἶναι μᾶλλον τυχερὸ παιχνίδι, τοῦ ὁποίου δὲν γνωρίζομεν ἀκόμη ὅλους τοὺς κανόνες».

Ἡ ἄγνοια, πάντως, τῶν περισσοτέρων κανόνων πὸν διέπουν τὴν ἐκδήλωση τῶν σεισμικῶν συμβάντων δὲν σημαίνει ὅτι ὁ σεισμικὸς κίνδυνος εἶναι «τυχερὸ παιχνίδι», ὅπως τὸ πλῆθος καὶ ἡ πολυπλοκότης τῶν φαινομένων καὶ κανόνων πὸν διέπουν τὸ μυστήριον τῆς ζωῆς, καὶ γενικότερα τὴν δημιουργία τοῦ σύμπαντος, καὶ ἡ ἄγνοια ἰδίως τῶν περισσοτέρων ἐξ αὐτῶν, δὲν σημαίνει ὅτι ἡ ζωὴ καὶ τὸ σύμπαν εἶναι ἀποτέλεσμα στοχαστικῶν, χαοτικῶν ἢ τυχαίων διεργασιῶν.

Ἡ Γεωλογία εἶναι ἀκόμη ἐμπειρική ἐπιστήμη. Οἱ Γεωλογικοὶ καὶ οἱ Γεωφυσικοὶ Νόμοι διατυποῦνται γιὰ νὰ ἀναπροϋντα. Σὲ ἓνα δυναμικὸ σύστημα, σεισμικὸ ἢ ἠφαιστειακό, ὅταν συμβαίνει σεισμός ἢ ἔκρηξη, δημιουργοῦνται στὴν ὑπάρχουσα κατάσταση τῆς Γῆς νέα μόνιμα ἀποτελέσματα, τὰ ὁποῖα ἀποκλείουν κάθε δυνατότητα νὰ καθορίσουμε τίς συνθήκες πὸν θὰ διεγείρουν τὸν ἐπόμενο σεισμό ἢ ἔκρηξη. Λόγω ἀποκαταστάσεως τῆς Γῆς σὲ μοναδικές ἐκάστοτε συνθήκες, τὰ σεισμικὰ καὶ ἠφαιστειακὰ φαινόμενα δὲν εἶναι συγκεκριμένα (deterministic) ἀλλὰ στοχαστικά (Wright 1991), δηλαδή ἀπλῶς σεισμικοὶ καὶ ἠφαιστειακοὶ στοχασμοί, ἢ συλλήβδην στοχασμοὶ τῆς Γῆς (Earth's stochasticity), ὑπὸ τὴν μαθηματικὴν ἔννοια: Τυχαῖα φαινόμενα τῆς Γῆς.

Ἦδη, ἀπὸ τίς ἀρχές τῆς δεκαετίας τοῦ 40 (Galanopoulos, 1941) εἶχα διαπιστώσει ὅτι οἱ κινήσεις τῶν τεμαχῶν εἰς τὸ Ἴόνιο καὶ Αἰγαῖο πέλαγος λαμβάνουν χώρα ἀδιαφόρως, πότε ἐδῶ πότε ἐκεῖ², καὶ δὲν παρουσιάζουν καμμιά ἰδιαίτερη νομιμότητα στὴν ἀλλεπάλληλο διαδοχὴ των (*keine Eigengesetzlichkeit in ihrer Aufeinanderfolge*). Τὸ 1988 εἶχα καταλήξει στὸ συμπέρασμα ὅτι, κατὰ κανόνα, ὁ μέ-

2. Ἡ σεισμικὴ διατάραξη, ἀπὸ τὴν 6η μέχρι τὴν 21η Νοεμβρίου 1992, στὴ Σάμο μεγέθους 6,2 καὶ 5,2, στὴ Χίο 5,1, στὸ Γαλαξείδι 5,9, καὶ κοντὰ στὰ Κόθηρα 6,5, ἀποτελεῖ πρόσφατη ἐπιβεβαίωση καὶ κτυπητὸ παράδειγμα τοῦ τυχαίου τρόπου ἐκδηλώσεως τῆς σεισμικῆς δράσεως στὸν Ἑλληνικὸ χῶρο.

γιστος χρόνος επαναλήψεως για δοθέν μέγεθος σεισμού και μεγαλύτερο αποτελείται από εδάριθμους σεισμικούς κύκλους ή τάξεις παραγματικών χρόνων επαναλήψεως. Σε κάθε σεισμικό κύκλο μπορεί να συμβαίνουν μεγάλα συμβάντα οιοδήποτε δυνατού μεγέθους. Δεν υπάρχει τάση τα μεγαλύτερα συμβάντα να συμπαρομαρτούν με μεγαλύτερες τάξεις πραγματικών χρόνων επαναλήψεως (Galanopoulos, 1988).

Μακροχρόνιες παρατηρήσεις έδειξαν ότι το μέγεθος του κυρίου σεισμού (*principal or main shock*) δεν προδικάζει τη διάρκεια ενδεχόμενης μετασεισμικής σειρῆς, τούτέστι το χρόνο αποκαταστάσεως της ισορροπίας των διαταραχθέντων γεωλογικών τεμαχίων, ούτε το χρόνο εκδηλώσεως ή και το μέγεθος του ισχυρότερου μετασεισμού ή ενδεχόμενου καθυστερημένου μετασεισμού (*late aftershock*).

Κατά την υπόθεση του σεισμικού διακένου (*seismic gap hypothesis*) ή σεισμική απειλή αυξάνει με το χρόνο που πέρασε από τον τελευταίο μεγάλο σεισμό σε όρισμένα διάκενα ρηγματίων ή παρυφών πλακών. Η υπόθεση αυτή εφαρμόστηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 70 από Ρώσους και άλλους έρευνητές, ιδίως από πολλούς Αμερικανούς, για την πρόβλεψη θέσεων επικείμενων ισχυρών σεισμών. Πρόσφατες έρευνες από τον Yan Y. Kagan και David D. Jackson (1991) απέδειξαν ότι η ομαδοποίηση της σεισμικής δράσεως στο χρόνο και στο χώρο (*time-space clustering*) είναι παγκόσμιο φαινόμενο και η υπόθεση αναγνωρίσεως αυξημένου σεισμικού δυναμικού έπεται από μακρά περίοδο ήρεμίας μπορεί να απορριφθεί με μεγάλη εμπιστοσύνη, μεγαλύτερη από 95%. Κατ' αὐτούς, οι προβλέψεις θέσεων επικείμενων ισχυρών σεισμών με βάση την υπόθεση του σεισμικού διακένου παρουσιάζουν άσημαντες διαφορές από τις άπλές εκτιμήσεις Poisson. Κατά τη διαδικασία Poisson η σεισμική απειλή είναι ανεξάρτητος χρόνου και προηγούμενης σεισμικής δράσεως. Ως τυπικό παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση της Σπάρτης, (Γαλανόπουλος, 1981). Η Σπάρτη υπέστη μεγάλες σεισμικές βλάβες το 550 π.Χ., και ακόμη περισσότερες και με πολλά θύματα το 464 π.Χ. (Γαλανόπουλος, 1955). Έκτοτε δεν φαίνεται η περιοχή της τεκτονικής τάφρου του Εδρώτα, και ειδικότερα η Σπάρτη, να δοκίμασε σεισμούς παρομοίας έντάσεως (Γαλανόπουλος, 1986). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην τεκτονική τάφρο του κόλπου του Σουέζ. Ο πρόσφατος πολύνεκρος σεισμός του Καΐρου, της 12ης Οκτωβρίου 1992, μεγέθους 5,9, αποτελεί νέα αξιόλογη μαρτυρία υπέρ της διαδικασίας Poisson.

Η υπόθεση του σεισμικού διακένου δέχεται ότι η σεισμική δράση είναι ήμιπεριοδική διαδικασία (*quasi-periodic process*). Ούτω το σεισμικό δυναμικό είναι μικρό όταν ο χρόνος που πέρασε από τον τελευταίο μεγάλο σεισμό είναι μι-

κρότερος από τον μέσο χρόνο επαναλήψεως, και μεγάλο έπειτα από αυτόν το χρόνο.

Η ήμισυπεριοδική διαδικασία στη σεισμική δράση που δέχεται η υπόθεση του σεισμικού διακένου, δεν συμφωνεί με το γεγονός, ότι μεγάλο ποσοστό της ολικής σεισμικής ροπής που έλεθερώνεται σε όλοκληρη την Γη ή σε όρισμένη περιοχή, κατά την διάρκεια σχετικώς μακρᾶς περιόδου, μπορεί να προέρχεται από ένα και μόνο σεισμικό συμβάν.

Κατά τους J. F. Pacheco και L. R. Sykes (1992), η σεισμική ροπή που έλευθερώθηκε κατά το μεγαλύτερο συμβάν σ' όλοκληρο την Γη από την αρχή του 20ου αιώνα, τον σεισμό της 22ας Μαΐου 1960 στην νοτία Χιλή, αντιπροσωπεύει περίπου 30 έως 45% της ολικής ροπής 697 επιφανειακῶν συμβάντων της Γης ($h < 70$ χιλμ.), μεγέθους 7 και άνω, από το 1900 μέχρι και το 1989. Στις 3 μέγιστες σεισμικές διαταράξεις της Γης: 1952 στην Καμτσάτκα, 1960 στη νοτία Χιλή, και 1964 στην κεντρική Αλάσκα, έλευθερώθηκαν περίπου 86% της ολικής σεισμικής ροπής που παρατηρήθηκε σε 697 σεισμούς με $h < 70$ χιλμ., και $M \geq 7$ στη διάρκεια 90 ετών, 1900-1989, σ' όλοκληρο την Γη.

Η σεισμική ροπή που έλευθερώθηκε κατά το μεγαλύτερο συμβάν επιφανείας ($h < 70$ χιλμ.) στον εδρύτερο Έλληνικό χώρο ($34^{\circ}N42^{\circ}$, $18^{\circ}E30^{\circ}$), στη διάρκεια του λίγοντα αιώνα, τον σεισμό της Αμοργού της 9ης Ιουλίου 1956, μεγέθους 7,7, αντιπροσωπεύει περίπου 55% της ολικής ροπής 10 σεισμῶν επιφανείας, μεγέθους 7 και άνω, που συνέβησαν στον χώρο αυτό από το 1900 μέχρι και το 1989.

Καμμιά μέθοδος σεισμικής προβλέψεως δεν μπορεί ν' αξιολογηθεῖ σωστά εάν λαμβάνομεν υπ' όψη μόνον επιτυχίες (Kagan and Jackson, 1991). Πρέπει να γνωρίζομεν ακόμη τους σεισμούς που έγιναν χωρίς προβλέψεις (missing forecasts), και τους σεισμούς που έγιναν με άτυχες προβλέψεις (false forecasts), σε έκταση τουλάχιστον 4 τετραγωνικῶν μοιρῶν (περίπου 40.000 τετραγωνικῶν χιλιομέτρων) και σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από το μέσο χρόνο επαναλήψεως τῶν προβλεπομένων σεισμῶν όρισμένου μεγέθους και άνω. Στην Καλιφόρνια έχει συσταθεῖ από το 1977 ad hoc 10/μελής επιστημονική επιτροπή αξιολογήσεως τῶν εκάστοτε υποβαλλομένων εἰς αὐτήν σεισμικῶν προβλέψεων (The California Earthquake Prediction Evaluation Council).

Όπως αναφέρεται σε εισαγωγικά σχόλια για το σύνολο ειδικῶν τεύχους με 33 σχετικῆς εργασίες (BSSA., Vol. 85, No. 5, 1991) ο σεισμός της Καλιφόρνιας Loma Prieta, της 18ης Οκτωβρίου 1989, μεγέθους 7,0, ἦταν ένα μάθημα και μιὰ καλή υπόμνηση, ότι σεισμοὶ δὲν εἶναι ἀπαραι-

τητο να συμβοῦν ἐκεῖ πού θέλουμε ἢ προβλέπουμε να συμβοῦν, καὶ ὅτι οἱ γνώσεις μας κατὰ μῆκος καὶ κοντὰ στὸ ρῆγμα τοῦ ἙΑγίου Ἐνδρέα, στὴν καλύτερα, ἀπὸ ὄλο τὸν κόσμο, μελετημένη ἐνεργὸ ζώνη τοῦ γήινου φλοιοῦ, εἶναι στοιχειώδεις καὶ ἀτελεῖς. Τὸ ἴδιο ἰσχύει καὶ γιὰ τὶς πολὺ περίπλοκες σχέσεις πὺν ὑπάρχουν μεταξὺ τοῦ ἰσχυροτέρου μέρους τῆς ἐδαφικῆς κινήσεως καὶ τῶν σεισμικῶν βλαβῶν, δηλαδὴ οἱ γνώσεις μας καὶ σ' αὐτὸ τὸ πεδίο εἶναι ὑποτυπώδεις, ἀνακριβεῖς καὶ ἀσαφεῖς (Hanks and Krawinkler (1991). Στὴν ἴδια γνώμη ἄγουν καὶ οἱ πρόσφατοι σεισμοὶ Landers καὶ Big Bear τῆς 28 Ἰουνίου 1992 μεγέθους 7,5 καὶ 6,6, ἀντιστοίχως. Οἱ σεισμοὶ αὐτοὶ συνέβησαν σὲ γειτονικὲς διακλαδώσεις μὲ τὸ μεγάλο ρῆγμα τοῦ ἙΑγίου Ἐνδρέα δύο μικροτέρων ρηγμάτων πὺν σχηματίζον διαταραγμένο «τρίγωνο Βερμούδων» στὴ νότιο Καλιφόρνια.

Ὁ σεισμικὸς κίνδυνος δὲν ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ σεισμοῦ, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ πολλοὺς ἄλλους παράγοντες, ὅπως εἶναι ὁ μηχανισμὸς γενέσεως τοῦ σεισμοῦ, ἡ ἐστιακὴ ἀπόσταση καὶ τὸ ἐστιακὸ βάθος, ἡ χερσαία ἢ ὑποθαλασσία προέλευση τῆς σεισμικῆς δονήσεως, ἡ μορφολογία τοῦ ἐδάφους στὴ πλειοσειστο περιοχὴ (basin effects), τὸ ἔδαφος θεμελιώσεως, ἡ ἰδία περίοδος τῶν κατασκευῶν καὶ ἡ ἐπικρατοῦσα στάθμη δομικοῦ πολιτισμοῦ σὲ κάθε σεισμοπαθὴ περιοχὴ, δηλαδὴ ἀπὸ τὴν εὐπάθεια τῶν τεχνικῶν κατασκευῶν. Ὡς ἐδείχθη, ἡ τελευταία ὀρίζεται, προσθέτως, ἀπὸ ἓνα ἀφανὲς καὶ ἀκαθόριστο ἐλάττωμα τῶν εὐήλατων στοιχείων στὶς περισσότερες κατασκευές, τὸ ὁποῖο κατὰ τὸ πλεῖστον εἶναι ἄγνωστο πρὶν ἀπὸ τὴ σεισμικὴ καταστροφή.

Ὁὗτως, ἀντιθέτως πρὸς αὐτὰ πὺν οἱ ἀντισεισμικοὶ κανονισμοὶ μας ἀφήνουν να πιστεῦνουμε³, ἐξαπατοῦμε τοὺς ἑαυτοὺς μας, ἐὰν νομίζουμε ὅτι μποροῦμε να νικήσουμε τὶς φυσικὲς δυνάμεις!.. ὅταν μάλιστα εἶναι γνωστὸν, ὅτι ὄλοι οἱ κανονισμοὶ προβλέπουν «ἀποδεκτὲς» βλάβες στὰ μὴ φέροντα στοιχεῖα τῆς κατασκευῆς (Gere and Shaw, 1984). Πάντως, ἂν καὶ εἴμαστε ἀνίκανοι να ὑπολογίσουμε τὴ σεισμικὴ δύναμη πὺν παράγεται, τουλάχιστον γνωρίζουμε πῶς συμπεριφέρεται (Huber, 1985). Σὲ κάθε σεισμικὴ καταστροφή, πολλὰ κτίρια ἢ ἄλλες τεχνικὲς κατασκευές δὲν θὰ εἶχαν καταρρεῦσει ἐὰν εἶχαν κτισθεῖ σὲ ἀντισεισμικὰ θεμέλια ἢ σὲ στερεὰ ἐδάφη σεισμικῶς ἀσφαλῆ. Κατὰ τὸν Huber (1985), τὰ ἀντισεισμικὰ θεμέλια τῶν κατασκευῶν προορίζονται ν' ἀπορροφήσουν τὸ 90% τῆς σεισμικῆς ἐπιβαρύνσεως. Ὁ σεισμὸς τῆς Loma Prieta, ὅπως καὶ οἱ πρόσφατοι σεισμοὶ Landers καὶ Big Bear,

3. There is no such thing as an earthquake-proof-building. As Dr. John Blume used to say, «Don't say 'proof, unless you' re talking about whiskey».

καὶ ὁ σεισμὸς τοῦ Μεξικοῦ, τὸ 1985, ἐνίσχυσαν τὴν ἄποψη ὅτι οἱ συνθήκες τοῦ ἐδάφους θεμελιώσεως (*site effects*) εἶναι ὁ κριώτερος παράγων ποὺ καθορίζει τὴν ἔκταση τῶν ζημιῶν στὶς τεχνικὲς κατασκευές.

Κύριοι Συνάδελφοι, ἡ σημερινὴ σύντομος ὁμιλία ἐλπίζω νὰ ἐπέτυχε, μὲ τὰ θιγέντα θέματα, νὰ δείξει τὴν ἀληθινὴ στάθμη τῶν γνώσεών μας στὸ πεδίο τῶν σεισμικῶν προβλέψεων (*the state-of-the-art*), καὶ ἐπὶ πλέον ὅτι στὴν πραγματικὴ ἐπιστήμη δὲν ὑφίσταται τὸ φημολογούμενο «ἐπιστημονικὸ κατεστημένο».

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Galanopoulos G. A., *Gleichzeitige Erdbebentätigkeit im Ionischen und Agäischen Gebiet. Gerl. Beitr., z. Geoph., Bd. 57, Heft 2, pp. 117-131, 1941.*
- Γαλανοπούλου Α., *Σεισμικὴ Γεωγραφία τῆς Ἑλλάδος. Γεωλογικὰ χρονικὰ τῶν Ἑλληνικῶν χωρῶν. Τόμ. 6, σελ. 83-121, 1955.*
- Γαλανοπούλου Α., *Σεισμικὴ περιβαλλοντολογία - Πρακτικαὶ μέθοδοι μειώσεως τῶν σεισμικῶν βλαβῶν. Μεταλλειολογικὰ - Μεταλλουργικὰ Χρονικὰ. Νο. 33-34, σελ. 29-32, 1977.*
- Γαλανοπούλου Α., *Οἱ βλαβεροὶ σεισμοὶ καὶ τὸ σεισμικὸν δυναμικὸν τῆς Ἑλλάδος. Γεωλογικὰ Χρονικὰ τῶν Ἑλληνικῶν Χωρῶν. Τομ. XXX/2, σελ. 647-724, 1981.*
- Galanopoulos G. A., *Difference in the transition pattern from brittle to ductile deformation in northern and southern half of the greater area of Greece. Pract. Acad. Athens, Vol. 62, pp. 262-287, 1986.*
- Galanopoulos G. A., *A new version of earthquake recurrence model. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 78, No. 3, pp. 1375-1379, 1988.*
- Γαλανοπούλου Α., *Γιατὶ στὶς περισσότερες περιπτώσεις εἶναι ἀδύνατη ἡ ἔγκαιρη πρόβλεψη τῶν βλαβερῶν σεισμῶν. Πρακτ. Ἀκαδ. Ἀθηνῶν, τόμ. 60, σελ. 318-329, 1990.*
- Gere M. J. and H. C. Shah, *Terra Non Firma; Understanding and Preparing for Earthquakes. W. H. Freeman and Co., New York, 1984.*
- 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.*
- Huber G. F., *Explanations and observations concerning the earthquake in Mexico the 19 Septembre 1985. Centre de recherche de technologies appliquées (CRTA) pp. 1-5, 1985.*
- Kagan Y. Y. and D. D. Jackson, *Seismic gap hypothesis: Ten years after. Jour. Geoph. Res., Vol. 96, N. B13, pp. 21, 419-21, 431, 1991.*
- Knopoff L., *Intermediate-term earthquake prediction. Earthquakes & Volcanoes, Vol. 22, No. 5, pp. 206-208, 1990.*
- Lindh G. A., *The nature of earthquake prediction. Earthquakes & Volcanoes, Vol. 22, No. 3, pp. 117-119, 1991.*

- Lomnitz C., Comment on «Temporal and magnitude dependence in earthquake recurrence models» by C. A. Cornell and S. R. Wintestein. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 79, No. 5, pp. 1662, 1989.
- Pacheco F. J. and L. R. Sykes. Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 82, No 3, pp 1306-1342, 1992.
- Savage C. J., The Paradigm that failed. *Earthquakes & Volcanoes*. Vol. 22, No. 3, pp. 113-114, 1991.
- Savage C. J., The Parkfield prediction fallacy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 83, No. 1, pp. 1-6, 1993.
- Sibson H. R., Loading of faults to failure. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 81, No. 6, pp. 2493-2497, 1991.
- Stein S. R. and S. R. Yeats, Hidden earthquakes. *Scient. American*, pp. 30-39, 1989.
- Wright L. T., Earth's stochasms-Limitations on the prediction of earthquakes and volcanic eruptions. *Earthquakes & Volcanoes*. Vol. 22, No. 3, pp. 103-105, 1991.