

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 25^{ΗΣ} ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1990

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΒΛΑΧΟΥ

ΓΙΑΤΙ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΙΝΑΙ ΑΔΥΝΑΤΗ
Η ΕΓΚΑΙΡΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΕΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ Κ. Α. Γ. ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

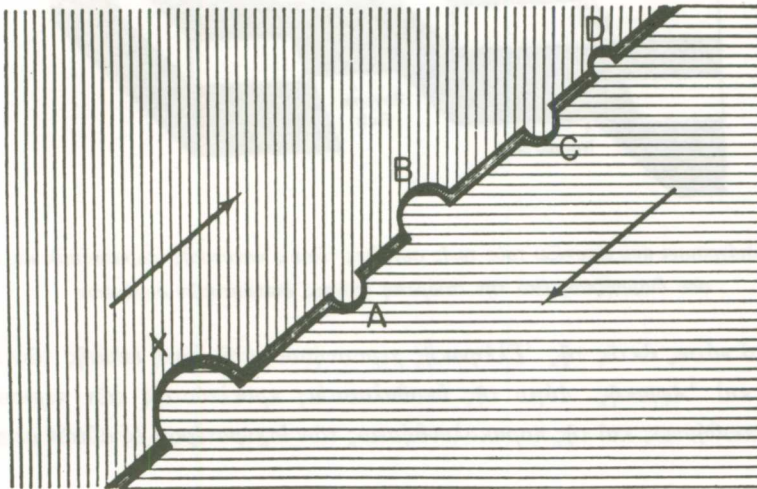
Τὰ τελευταῖα χρόνια τὸ θέμα τῆς προβλέψεως τῶν σεισμῶν ἔχει διεγείρει τὸ ἐνδιαφέρον τοῦ εὐρύτερου κοινοῦ, λόγω τῶν συχνῶν ἰσχυρῶν σεισμῶν ποὺ συμβαίνουν στὸν Ἑλληνικὸ ὥρο, καὶ ἰδίως λόγω τῆς αὐξήσεως τῆς ἐπικινδυνότητος αὐτῶν. Τὸ τελευταῖο ὀφείλεται στὴν αὐξηση τοῦ πληθυσμοῦ καὶ στὴν ἐπέκταση τῶν οἰκισμῶν σὲ χαλαρὰ καὶ ἀσταθῆ ἐδάφη ποὺ εἶναι σεισμικῶς ἐπικίνδυνα, καὶ στὴ λαθραία, ἀνεξέλεγκτη καὶ ἐπισφαλῆ ἀνοικοδόμησις πολλῶν οἰκιῶν, κυρίως στὰ ἀστικά κέντρα. Γι' αὐτὸ ἐθεώρησα ὑποχρέωση, λόγω τῆς εἰδικότητάς μου, ὅπως ἐνημερώσω τὰ μέλη τῆς Ἀκαδημίας, καὶ ἐμμέσως τὸ κοινό, γιὰ τὶς ἀληθεῖς διαστάσεις τοῦ προβλήματος τῆς προβλέψεως τῶν σεισμῶν, καὶ κυρίως γιὰ τὶς περισσότερες περιπτώσεις δὲν εἶναι δυνατὴ ἡ ἐγκαιρὴ πρόβλεψη τῶν βλαβερῶν σεισμῶν.

Οἱ σεισμοὶ εἶναι παλμικὲς κινήσεις ἐπιφανειακῶν στρωμάτων τοῦ γήινου φλοιοῦ μικρᾶς περιόδου καὶ μικρᾶς διάρκειας. Οἱ παλμικὲς αὐτὲς κινήσεις παράγονται λόγω βραδείας παραμορφώσεως γεωλογικῶν στρωμάτων ἀπὸ ἐσωτερικὲς δυνάμεις –ἐπὶ τὸ πλεῖστον– κατὰ τὴ διάρρηξιν καὶ μικρὴ μετατόπισιν τῶν πλευρῶν τῆς, ὅταν ἡ παραμόρφωσις ὑπερβεῖ σὲ ὀρισμένο ἀσθενὲς σημεῖο τὸ ὄριο ἀντοχῆς διαρρήξεως τῶν πετρωμάτων ποὺ τ' ἀπαρτίζουν.

Στὴν ἐστιακὴ περιοχὴ ἡ ἀντοχὴ διαρρήξεως τῶν πετρωμάτων ὑπολογίζεται ὅτι εἶναι τῆς τάξεως τῶν 30-100 ἀτμοσφαιρῶν (bars). Ἡ ἀντοχὴ τῶν πετρωμάτων σὲ τάση

έφελκυσμοῦ εἶναι μικρότερη τῆς ἀντοχῆς σὲ τάση διατμήσεως, καὶ αὐτὴ μικρότερη τῆς ἀντοχῆς σὲ τάση συμπίεσεως. Ὁ λόγος των εἶναι κατὰ μέσον ὄρο 1:10:30.

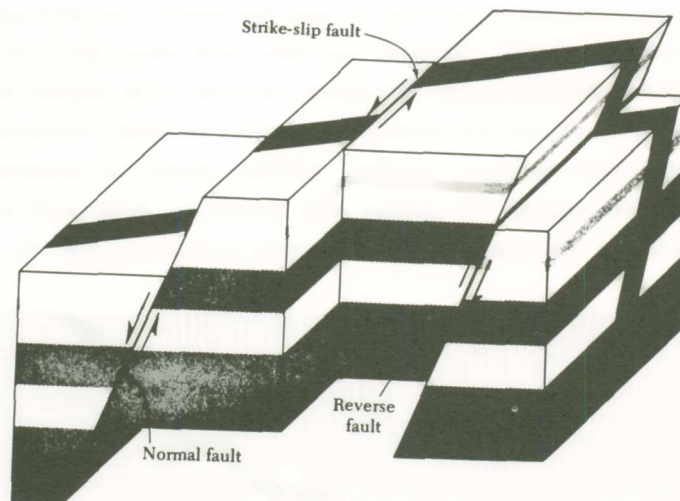
Οἱ ἐπιφάνειες διαρρήξεως δὲν εἶναι ὁμαλές καὶ λεῖες, ἀλλὰ τραχεῖες ἐπιφάνειες μὲ ἀλλεπάλληλες προεξοχές καὶ ἐγκολπώσεις (*asperities*), οἱ ὁποῖες ἐμπλέκονται μεταξύ των καὶ σχηματίζουν διαφόρου μεγέθους κλειθρα (*locks*) μὲ μικρότερη ἀντοχὴ διαρρήξεως (ἀσθενῆ σημεῖα). Τὰ κλειθρα αὐτὰ ἐμποδίζουν προσωρινὰ τὴν ἀμοιβαία κίνηση τῶν πλευρῶν τῶν τεμαχῶν ποὺ ἐφάπτονται μεταξύ των (εἰκ. 1).



Εἰκ. 1. Σεισμογόνον ρῆγμα ὑπὸ διάτμηση. Οἱ προεξοχές καὶ ἐγκολπώσεις A, B, C καὶ D εἰκονίζουν τὰ κλειθρα, ὅπου ἐμπλέκονται οἱ ἐπιφάνειες διαρρήξεως.

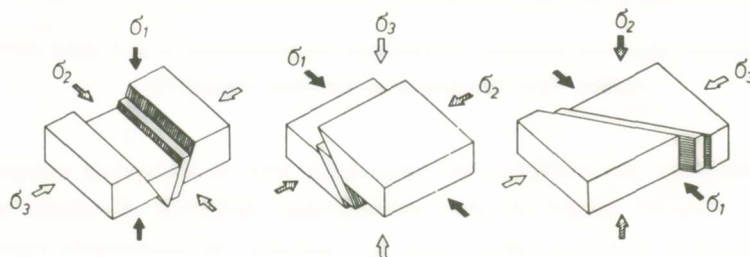
Ἡ διάρρηξη τῶν κλειθρῶν ποὺ προκαλεῖται ἀπὸ τὴ διατμητικὴ παραμόρφωση γειτονικῶν τεμαχῶν μπορεῖ νὰ εἶναι κατακόρυφος, ὀριζοντί, ἢ πλάγια, κατὰ τὴ διεύθυνση μεγίστης κλίσεως, κάθετα πρὸς τὴ παράταξη τῶν γεωλογικῶν στρωμάτων. Ἡ μετατόπιση τῶν ἐκατέρωθεν πλευρῶν ἢ πτερύγων ποὺ ἀκολουθεῖ τὴ διάρρηξη μπορεῖ νὰ εἶναι κανονικὴ ἢ ἀνάστροφος (ἐπώθηση), παραταξικὴ (*strike-slip-fault*) ἢ διαμήκης (*transcurrent* ἢ *wrench-fault*). Στὴν κανονικὴ μετατόπιση ἢ μετάπτωση (*Verwerfung*), ἡ ἐπάνω πτέρυγα κινεῖται πρὸς τὰ κάτω, καὶ στὴν ἀνάστροφο (ἀριστερόστροφο) ἡ ἄνω πτέρυγα κινεῖται πρὸς τὰ ἐπάνω (εἰκ. 2). Στὴν παραταξικὴ μετάπτωση οἱ δύο πτέρυγες κινοῦνται ἀντίθετα, κατὰ τὴ διεύθυνση τῆς παρατάξεως τῶν στρωμάτων.

Οἱ σεισμοὶ ἐπωθήσεως ποὺ ὀφείλονται σὲ ἀνάστροφο μετάπτωση (*thrust fault*) παρατηροῦνται κατὰ κανόνα στὴν ὑποθαλάσσια τεκτονικὴ τάφρο ποὺ περιβάλλει τὴς



Είκ. 2. Σχεδιάγραμμα που εικονίζει τούς τρεῖς συνήθεις τύπους κανονικῆς, παραταξικῆς καὶ ἀναστρόφου διαρρήξεως ὑπὸ τὴν ἐπίδραση ζεύγους διατμητικῶν δυνάμεων.

δυτικὲς καὶ νότιες ἀκτὲς τῆς Ἑλληνικῆς χερσονήσου, στὴ ζώνη ἐπαφῆς τῶν πλακῶν Εὐρασίας καὶ Ἀφρικῆς. Λόγω τῆς ὑποθαλασσίας προελεύσεως τῶν περισσότερων σεισμῶν ἐπωθήσεως καὶ τῆς παρακολουθήσεως τῶν ἰσχυροτέρων ἐξ αὐτῶν μὲ πελώρια

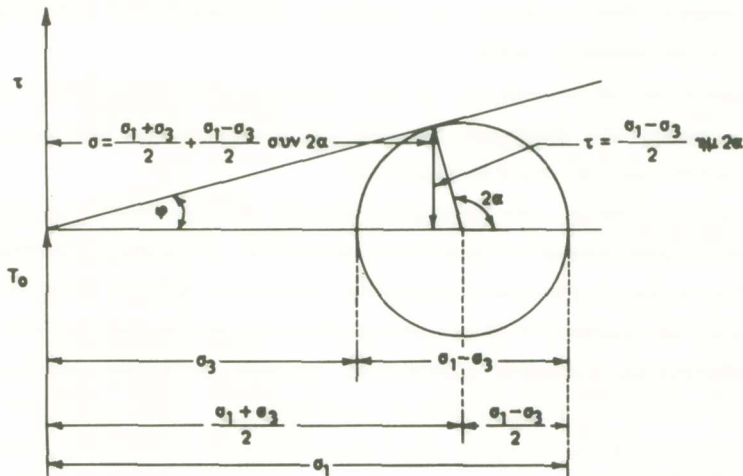


Είκ. 3. Διάταξη τῶν ἀξόνων τῶν τριῶν κυρίων τάσεων συμπίεσεως (μεγίστης, σ_1) διατμήσεως (μεσαίας, σ_2) καὶ ἐφελκυσμοῦ (ἐλαχίστης, σ_3) καὶ ὁ διαμελισμὸς καὶ οἱ μεταθέσεις τῶν τεμαχῶν ποὺ προκαλοῦνται ἀνάλογα πρὸς τὸν προσανατολισμὸ τῶν τάσεων: πρὸς τὰ κάτω (κανονικῇ), πρὸς τὰ ἐπάνω (ἀνάστροφος) καὶ πλαγίως (παραταξικῇ).

θαλάσσια κύματα βαρύτητας, οἱ ἀρχαῖοι πρόγονοί μας πίστευαν ὅτι οἱ σεισμοὶ ὀφείλονταν στὴν τρίαίνα τοῦ Ποσειδῶνα σὲ στιγμὲς ὀργῆς του. Οἱ σεισμοὶ ποὺ ὀφείλονται σὲ κανονικὴ μετάπτωση παρατηροῦνται συνήθως στὶς ἐνδοηπειρωτικὲς ἐγκατακρημνισιογενεῖς λεκάνες καὶ ὑποθαλάσσιες τεκτονικὲς τάφρους τῆς ὑποπλάκας τοῦ Αἰγαίου.

Στὴν κανονικὴ μετάπτωση ἡ μεγίστη τάση (τάση συμπίεσεως), σ_1 , εἶναι κατακόρυφος, ἡ μεσαία (τάση διατμήσεως), σ_2 , ὀριζοντία καὶ παράλληλος πρὸς τὴ διάρρηξη, καὶ ἡ ἐλαχίστη (τάση ἐφελκισμοῦ), σ_3 , ὀριζοντία καὶ κάθετος πρὸς τὴ διάρρηξη. Στὴν ἀνάστροφο μετάπτωση, ἡ ἐλαχίστη τάση εἶναι κατακόρυφος, ἡ μεγίστη ὀριζοντία καὶ κάθετος πρὸς τὴ διάρρηξη, ἡ δὲ μεσαία ὀριζοντία καὶ παράλληλος πρὸς τὴ διάρρηξη. Στὴν ὀριζοντία ἢ παραταξικὴ μετάπτωση ἡ μεγίστη τάση εἶναι ὀριζοντία καὶ παράλληλος πρὸς τὴ διάρρηξη, ἡ ἐλαχίστη ὀριζοντία καὶ κάθετος πρὸς τὴ διάρρηξη, καὶ ἡ μεσαία κατακόρυφος (εἰκ. 3).

Γιὰ νὰ συμβεῖ μετατόπιση τῶν παρεῶν ἐνεργοῦ ρήγματος, ἐμφόρτου ὠρίμων ἐλαστικῶν τάσεων, πρέπει κατὰ τὸν νόμον τοῦ Coulomb ἡ τάση διατμήσεως νὰ ὑπερβεῖ τὴν κρίσιμο τιμὴ: $\tau = \tau_0 + \sigma \varphi$, ὅπου σ ἡ κάθετος τάση, καὶ τ_0 ἡ ἀρχικὴ ἀντοχὴ τοῦ πετρώματος σὲ διάτμηση ὅταν $\sigma = 0$. Ἡ φ εἶναι ἡ γωνία ἐσωτερικῆς τριβῆς καὶ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ποιότητα τοῦ πετρώματος. Ἡ φ ($= \tau_0 / \sigma$) ὀνομάζεται συντελεστὴς



Εἰκ. 4. Ἀπεικόνιση στὸ διάγραμμα Mohr τῆς τάσεως ποὺ εἶναι κάθετος στὴν ἐπιφάνεια διαρρήξεως, σ , καὶ τῆς διατμητικῆς τάσεως, τ , ποὺ εἶναι παράλληλος πρὸς τὴν ἐπιφάνεια αὐτή. Ἐπίσης εἰκονίζονται ἡ ἐφαπτομένη τοῦ κύκλου τοῦ Mohr καὶ οἱ συνθήκες ἀσταθείας ποὺ προκύπτουν σὲ περίπτωση μεταβολῶν τῆς μεγίστης, σ_1 , καὶ ἐλαχίστης τάσεως, σ_3 , ἀπὸ διάφορα ἐνδογενῆ ἢ καὶ ἐξωγενῆ αἷτια.

ἐσωτερικῆς τριβῆς. Ἡ φ εἶναι ἡ γωνία ποὺ σχηματίζει ὁ ἄξων τῶν τάσεων (συμπίεσεως καὶ ἐφελκυσμοῦ) κάθετος πρὸς τὴν ἐπιφάνεια διαρρήξεως μὲ τὴν εὐθεία ποὺ διέρχεται ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τῶν ἀξόνων τῆς καθέτου, σ , καὶ παραλλήλου τάσεως, τ , πρὸς τὴν ἐπιφάνεια διαρρήξεως καὶ ἐφάπτεται τοῦ γνωστοῦ κύκλου τοῦ Mohr. Ὁ κύκλος τοῦ Mohr χαράσσεται ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς διαφορᾶς μεγίστης καὶ ἐλαχίστης τάσεως, $\sigma_1 - \sigma_3$, μὲ ἀκτίνα τὸ μισὸ τῆς διαφορᾶς αὐτῆς. Ἡ ἐφαπτομένη τοῦ κύκλου τοῦ Mohr ἀποτελεῖ τὸν γεωμετρικὸ τρόπο τῶν κρίσιμων τάσεων διατμήσεως (βλ. εἰκ. 4).

Σε περίπτωση κανονικής ή και παραταξικής διαρρήξεως ή ελάττωση της τάσεως έφελκυσμού, σ_3 , που είναι κάθετος πρὸς τὴν ἐπιφάνεια διαρρήξεως, ἄγει σὲ αὐξηση τῆς τάσεως διατμήσεως, $\tau(=\sigma_1-\sigma_3/2 \cdot \eta\mu 2\alpha)$, καὶ προσέγγιση τοῦ κύκλου τοῦ Mohr στὸν γεωμετρικὸ τόπο τῶν κρισίμων τάσεων διατμήσεως. Σε περίπτωση ἀναστροφῆς διαρρήξεως (ἐπωθήσεως), ελάττωση τῆς τάσεως συμπίεσεως, σ_1 , που είναι κάθετος πρὸς τὴν ἐπιφάνεια διαρρήξεως, ἄγει, ἀντιθέτως, σὲ μείωση τῆς τάσεως διατμήσεως καὶ ἀπομάκρυνση τοῦ κύκλου τοῦ Mohr.

Ἡ προσέγγιση τοῦ κύκλου τοῦ Mohr στὸν γεωμετρικὸ τόπο κρισίμων τάσεων διατμήσεως ἢ ἡ ἀπομάκρυνσή του ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἐπίσπωση ἢ ἀναστολή, ἀντιστοίχως, τοῦ χρόνου γενέσεως τοῦ ἐπικείμενου σεισμοῦ. Αὐξηση τῆς λιθοστατικής ἢ τῆς πορικῆς πίεσεως καὶ λίπανση (lubrication) τῶν παρειῶν τοῦ ρήγματος μπορεῖ νὰ προκαλέσει ἐπιτάχυνση τῆς αὐτοδιοργανώσεως κρισίμου καταστάσεως (self-organized criticality*) καὶ μετάθεση τῶν πλευρῶν τοῦ ρήγματος. Ἀντιθέτως, ελάττωση αὐτῶν μπορεῖ νὰ ἐπιφέρει ἀποδιοργάνωση τῆς κρισίμου καταστάσεως καὶ καθυστέρηση τῆς μεταθέσεως ἢ καὶ ματαίωση αὐτῆς.

Ἡ πρόγνωση τῶν σεισμῶν γιὰ νὰ εἶναι χρήσιμος πρέπει νὰ προβλέπει ἐγκαίρως τὸ χρόνο γενέσεως τῶν βλαβερῶν σεισμῶν καὶ μόνον, ὡς καὶ τὴν περιοχὴ προετοιμασίας αὐτῶν καὶ τὴν ἐπικινδυνότητά των.

Ὁ χρόνος γενέσεως τῶν βλαβερῶν σεισμῶν δύναται, ἐνίοτε, νὰ προβλεφθεῖ ἐγκαίρως ἀπὸ συρροὴ διαφόρων προδρόμων φαινομένων. Τὰ πρόδρομα φαινόμενα τῶν σεισμῶν εἶναι σεισμικά, ἠλεκτρικά, μαγνητικά, ραδιενεργά, ἡχητικά, ἐλαστικά, παλιρροϊκά, ὑδρολογικά, γεωδαιτικά, βιολογικά καὶ ἄλλα σπανιότερα. Μερικὰ ἀπὸ τὰ δέκα αὐτὰ προειδοποιητικὰ φαινόμενα ἐμφανίζονται σχετικῶς συχνότερα. Πάντως, ὃ ἐν εὐρέθῃ ἦκε οὕτε ἓνα σεισμικὸ πρόδρομο, τὸ ὁποῖο νὰ ἐμφανίζεται ὅπως δῆποτε πρὶν ἀπὸ σεισμὸ καὶ νὰ μὴ ἐμφανίζεται σὲ περίπτωση ποὺ δὲν συνέβηκε σεισμὸς. Συνεπῶς ὅλα τὰ μέχρι τοῦδε εὑρεθέντα σεισμικὰ πρόδρομα πρέπει νὰ θεωροῦνται ἀπλῶς καὶ μόνον ὡς πιθανὰ σεισμικὰ συμπτώματα.

Πρόδρομες μεταβολὲς στὴ σεισμικὴ δράση περιοχῶν προετοιμασίας βλαβερῶν σεισμῶν μὲ ἐπιφανειακὸ μέγεθος $M \geq 5$ ἢ μεγαλύτερο τοῦ $5 \frac{1}{4}$ ($m_b=5.8$) παρατηροῦνται μόνον σὲ 30% τῶν περιπτώσεων γενέσεως κυρίων σεισμῶν, καὶ πάντως μὲ πολὺ ἀσθενῆ τάση ὁμοιομορφίας στὴ διαδικασία προετοιμασίας τῆς ἐστιακῆς

* As the proverbial straw broke the camel's back, large interactive systems, as complicated as the earth's crust, evolve toward a critical state in which a minor event can lead to a catastrophe (Per Bak and Kan Chen, 1991).

περιοχής. Ἐκτὸς τούτου, οἱ προσεισμοὶ πολὺ δύσκολα διακρίνονται ἀπὸ τοὺς συνήθεις ἀσθενεῖς σεισμοὺς τῆς κανονικῆς σεισμικῆς στάθμης διαταράξεως τῆς περιοχῆς (*seismic background*), ὡς ἐπίσης ἀπὸ τοὺς σμηνοσεισμούς, οἱ ὅποιοι εἶναι συρροὲς σεισμῶν ποὺ δὲν ἀκολουθοῦνται ἀπὸ σεισμὸ μεγέθους δυναμένου νὰ προκαλέσει ζημιές.

Στὴν ἴδια περίπου συχνότητα (30% τῶν περιπτώσεων σεισμῶν δυναμένων νὰ προκαλέσουν βλάβες) ἢ καὶ μικρότερη παρατηροῦνται καὶ τὰ ἄλλα προειδοποιητικὰ σήματα ποὺ ἀναφέρθηκαν προηγουμένως. Ὡς τόσο, τὰ προειδοποιητικὰ σήματα δύο σεισμῶν δὲν εἶναι ποτὲ ἀκριβῶς ὅμοια, καὶ μερικὰ ἀπὸ αὐτὰ μπορεῖ νὰ εἶναι παραπλανητικά, ὅπως συμβαίνει καὶ μὲ μερικὰ συμπτώματα ἀσθενειῶν. Στὴ Γεωφυσική, ὅπως καὶ στὴν Ἱατρική, οἱ στατιστικὲς συσχετίσεις δὲν εἶναι ἀπόδειξη αἰτίας καὶ αἰτιατοῦ. Οἱ σεισμοὶ καὶ οἱ ἀσθένειες εἶναι πολυπαραγοντικὰ φαινόμενα. Τὰ ἴδια συμπτώματα μπορεῖ νὰ ὀφείλονται σὲ διάφορα αἷτια, ὅπως τοῦτο παρατηρεῖται καὶ στὶς ἀσθένειες. Κατὰ τὸν C. Lomnitz (1989), «ὁ σεισμικὸς κίνδυνος εἶναι τυχερὸ παιχνίδι, τοῦ ὁποίου δὲν γνωρίζομεν ἀκόμη ὅλους τοὺς κανόνες». Γι' αὐτὸ ἡ ἔγκαιρη πρόβλεψη τοῦ χρόνου γενέσεως βλαβεροῦ σεισμοῦ ἀπὸ ἓνα καὶ μόνο προειδοποιητικὸ σῆμα δὲν εἶναι ποτὲ ἀσφαλές. Χρειάζεται ἡ συνδρομὴ ποικίλων προειδοποιητικῶν σημάτων – ὅπως καὶ συμπτωμάτων στὶς ἀνθρώπινες ἀσθένειες – μὲ αὐξοῦσα συχνότητα σὲ σαφῶς διαγραφόμενη περιοχὴ, γιὰ νὰ μπορεῖ νὰ γίνῃ μὲ ἐπαρκῆ ἀκρίβεια, ὀλίγων ὥρων ἢ ἡμερῶν, ὁ καθορισμὸς τοῦ χρόνου γενέσεως βλαβεροῦ σεισμοῦ, ὅπως συνέβηκε στὴν περίπτωση τοῦ καταστρεπτικοῦ σεισμοῦ Haicheng, στὴν ἐπαρχία Liaoning τῆς Κίνας (40,6°N, 122,6°E) τῆς 4ης Φεβρουαρίου 1975, μεγέθους 7,3. Ἐν τούτοις, τοιαύτη συρροὴ προειδοποιητικῶν σημάτων δὲν παρατηρήθηκε στὸν πολύνεκρο σεισμὸ Tangshan (περίπου 250.000 νεκροὶ καὶ 500.000 τραυματίες) στὶς 28 Ἰουλίου 1976, ποὺ ἔγινε σὲ γειτονικὴ ἐπαρχία (Kebei) τοῦ προηγούμενου σεισμοῦ (39,6°N, 118,05), μεγέθους 7,8.

Βραχείας διαρκείας μεταβολὲς τῆς ἐντάσεως τῶν γηϊνῶν ἠλεκτρικῶν ρευμάτων, ποὺ ρέουν σὲ φύλλα παράλληλα πρὸς τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς, δύνανται νὰ προκαλοῦνται ἀπὸ τεχνικὰ καὶ ἄλλα φυσικὰ αἷτια, ὅπως λ.χ. ἀπὸ μαγνητικοὺς παλμοὺς διαρκείας ὀλίγων δευτερολέπτων μέχρι τριῶν λεπτῶν περίπου. Δὲν ὑπάρχουν φυσικὰ κριτήρια γιὰ τὴ διάκριση τῶν μεταβολῶν αὐτῶν ἀπὸ τὶς διαταράξεις ποὺ προκαλοῦνται ἀπὸ ἐπιπρόσθεση πιεζοηλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ παράγεται ἐνδεχομένως κατὰ τὴν παραμόρφωση γρανιτοειδῶν πετρωμάτων ὀλίγον πρὸ τῆς διαρρήξεώς των. Θεωρητικῶς, δὲν πρέπει ν' ἀναμένεται παραγωγὴ ἀξιολόγου πιεζοηλεκτρικοῦ ρεύματος ἱκανοῦ νὰ διαταράξῃ τὸ δυναμικὸ τῶν γηϊνῶν ἠλεκτρικῶν ρευμάτων, ὅταν ἡ ἐστιακὴ περιοχὴ εἶναι σὲ βάθος μεγαλύτερο τῶν 20 χιλμ. περίπου, ὅπου ἐπικρατοῦν βασικὰ καὶ ὑπερβα-

σικά πετρώματα που είναι πτωχά σε χαλαζία. Ἡ ἴδια παρατήρηση ισχύει καὶ ὅταν ἡ ἐστία εὐρίσκεται στὸν ἰζηματογενῆ τομέα.

Θὰ πρέπει ἐδῶ ν' ἀναφερθεῖ, ὅτι σὲ πολλές περιπτώσεις ἔχει παρατηρηθεῖ ἀνακούφιση ἐστιακῶν ὄγκων, σὲ στάδιο ἰσχυρᾶς παραμορφώσεως πού ἐγγίζει τὸ ὄριο ἀντοχῆς διαρρήξεως, μὲ συνεχεῖς βραδεῖες ἐρπυστικές κινήσεις (*creep*) πού ἀναστέλλουν ἢ καὶ ἀποτρέπουν τὴ γένεση μεγάλου σεισμοῦ. Στὴν περίπτωση αὕτη εἶναι δυνατὴ ἡ γένεση πιεζοηλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ ἀναγραφή σήματος χωρὶς ν' ἀκολουθήσει ἀντίστοιχος σεισμός. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ φαίνεται νὰ λαμβάνει χώραν καὶ στὴν παράκτια περιοχὴ τῆς Λοκρίδας.

Κατὰ τὴν περίοδο 1969-1984 ἔχει παρατηρηθεῖ στὴν παραλία τῆς Λοκρίδας ἐλαφρὰ ἐπικύση τῆς θάλασσας, λόγω βραδείας, κανονικῆς πρὸς τὰ κάτω μεταθέσεως τῆς ἀνω πτέρυγας τοῦ ὁμωνύμου ρήγματος, τῆς τάξεως $1,1 \pm 0,3$ χιλιοστ/τὴν ὥρα (Rondoyanni, 1988). Τὸ ρήγμα τῆς Λοκρίδας εἶναι γνωστὸ γιὰ τὶς μεγάλες ἐρημώσεις πού ἐπέφεραν οἱ σεισμοὶ τοῦ 426 π.Χ. ($38\ 3/4^\circ\text{N}$, $22\ 1/2^\circ\text{E}$) καὶ 551 μ.Χ. ($38\ 3/4^\circ\text{N}$, $22\ 3/4^\circ\text{E}$), ὡς καὶ γιὰ τὴν ἐπιφανειακὴ του ἐκδήλωση κατὰ τοὺς πρὶν ἀπὸ 100 χρόνια περίπου καταστρεπτικούς σεισμοὺς τῆς 20ῆς καὶ 27ης Ἀπριλίου 1894, μεγέθους $6\ 3/4$ καὶ 7, ἀντιστοίχως ($38,6^\circ\text{N}$, $23,2^\circ\text{E}$ καὶ $38,7^\circ\text{N}$, $23,1^\circ\text{E}$).

Τὰ ραδιενεργὰ φαινόμενα καὶ ἡ ἀνησυχία ἢ ἀνώμαλος συμπεριφορὰ διαφορῶν ζώων καὶ νευρικῶν ἀτόμων πού παρατηροῦνται ἐνίοτε πρὶν ἀπὸ μεγάλους σεισμούς*, ὅπως συνέβηκε στὸν καταστρεπτικὸ σεισμὸ τῆς Ἑλίκης ($38\ 1/4^\circ\text{N}$, $22\ 1/4^\circ\text{E}$) τὸ 373 π.Χ., εἶναι αἰσθητὰ μόνον, ὅταν ἐπάνω ἀπὸ τὴν περιοχὴ προετοιμασίας τοῦ σεισμοῦ εὐρίσκονται χαλαρὰ ἀλλουβιακὰ στρώματα.

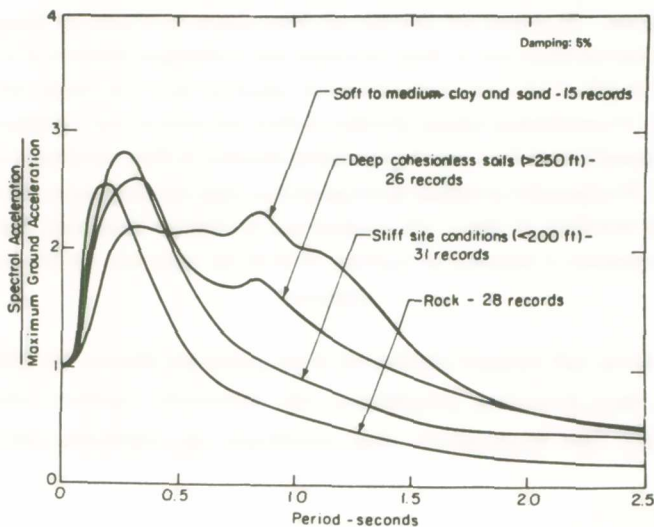
Μεταβολὲς στὴ στάθμη τοῦ φρεατίου ὀρίζοντα καὶ στὴν παροχὴ πηγῶν ὡς καὶ ἄλλα ὑδρολογικὰ φαινόμενα (λ.χ. θόλωση τῶν ὑδάτων κ.λπ.) δύναται νὰ ὀφείλονται σὲ διαδικασία προετοιμασίας σεισμικῆς διαταράξεως, ἀλλὰ καὶ σὲ ποικίλα ἄλλα αἷτια. Τὸ αὐτὸ ισχύει καὶ γιὰ ἄλλα ἔκτακτα παλιρροϊκὰ ἢ γεωδαιτικὰ πρόδρομα (λ.χ. μεταβολὴ τῆς κλίσεως ἢ καὶ διόγκωση μὲ ἔξαρση περιορισμένων ἐκτάσεων καὶ ἐλαστικά φαινόμενα, λ.χ. βραχύβια μεταβολὴ στὴν ταχύτητα μεταδόσεως σεισμικῶν κυμάτων κ.λπ.), ὡς ἐπίσης καὶ γιὰ τὰ ἡχητικὰ καὶ φωτεινὰ φαινόμενα πού παρατηροῦνται ἐνίοτε πρὶν ἀπὸ μεγάλους σεισμούς.

Μεγαλύτερα ἀδυναμία παρατηρεῖται στὸν καθορισμὸ τῆς ἐπικινδυνότητος τοῦ ἐπικείμενου σεισμοῦ. Ἡ σεισμικὴ ἐπικινδυνότης δὲν μπορεῖ νὰ καθορισθεῖ μόνον ἀπὸ

* Τὸ 373 π.Χ., 5 ἡμέρες πρὸ τοῦ καταστρεπτικοῦ σεισμοῦ τῆς Ἑλίκης «ὅσοι μύες ἐν αὐτῇ ἦσαν καὶ γαλαῖ καὶ ὄφεις καὶ σκολόπενδραι καὶ σφονδύλαι καὶ τὰ λοιπὰ ὅσα ἦν τοιαῦτα, ἀθρόα ὑπεξῆει τῇ εἰς Κερύνειαν ἐκφερούσῃ» (Αἰλιανὸς 11, σελ. 1, 95).

τὸ πιθανὸ μέγεθος τοῦ ἀναμενόμενου σεισμοῦ, ποὺ δίδεται συνήθως στὶς μέχρι τοῦδε σεισμικὲς προβλέψεις βραχείας, μικρᾶς ἢ μεγάλης διάρκειας ἀναμονῆς. Τὸ μέγεθος τοῦ σεισμοῦ εἶναι ἓνα μέτρο τοῦ συνολικοῦ ποσοῦ ἐνεργείας ποὺ ἐκλύεται κατὰ τὴ διάρρηξη τῆς ἐστιακῆς περιοχῆς. Ἡ ἐπικινδυνότητα τοῦ σεισμοῦ ὀρίζεται ἀπὸ τὴν κατὰ τόπους ἔνταση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ σεισμοῦ. Τὸ μέγεθος τοῦ σεισμοῦ εἶναι ἀνάλογο μὲ τὴν ἰσχὺ τοῦ ἐκπεμπομένου σήματος ραδιοφωνικοῦ ἢ τηλεοπτικοῦ σταθμοῦ, ἡ δὲ σεισμικὴ ἔνταση μὲ τὴν κατὰ τόπους ἰσχὺ λήψεως τοῦ σήματος. Ἡ ἰσχὺς λήψεως τοῦ σήματος δὲν ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὴν ἰσχὺ τοῦ σταθμοῦ ἐκπομπῆς τοῦ σήματος ἢ καὶ τὴν ἀπόσταση τοῦ τόπου λήψεως τοῦ σήματος. Διάφορες μορφολογικὲς ἀνωμαλίαι τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς ἢ ἄλλα ἐμπόδια (λ.χ. ὑψηλὰ κτίρια) σὲ ὀρισμένες περιοχὲς λήψεως, ὡς καὶ ἡ κατὰ τόπους καιρικὴ κατάσταση τῆς ἀτμοσφαίρας, δύνανται νὰ προκαλοῦν αὐξηση, μείωση ἢ καὶ ἀπόσβεση ἀκόμη τοῦ σήματος.

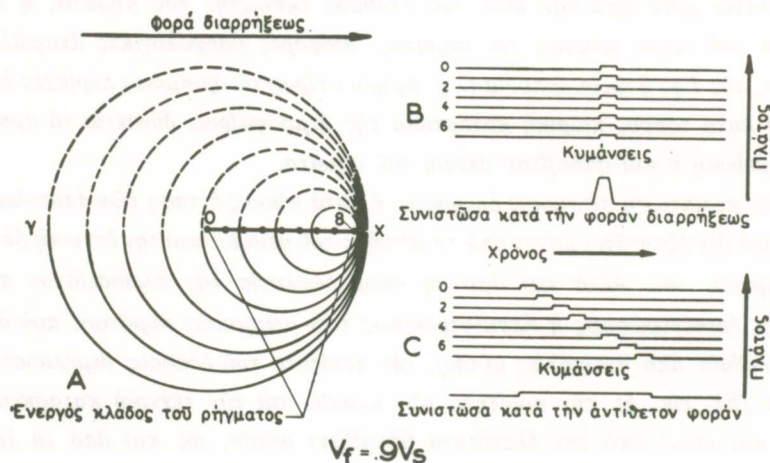
Στὴν περίπτωση σεισμικῆς δονήσεως, ἡ κατὰ τόπους ἔνταση τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ σεισμοῦ δὲν ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ σεισμοῦ καὶ τὴν ἐστιακὴ ἀπόσταση παρατηρήσεώς του, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὴ γεωμορφολογία τῆς πλειοσειστοῦ περιοχῆς (λόγω τῆς ἐπικεντρώσεως ἢ ἀποκεντρώσεως τῶν σεισμικῶν κυμάτων, ποὺ δύνανται νὰ προκληθοῦν ἀπὸ ἀνωμαλίαις αὐτῆς), τὴν ποιότητα τοῦ ἐδάφους θεμελιώσεως τῶν οἰκισμῶν (βλ. εἰκ. 5), τὴν ποιότητα τῶν ὑλικῶν καὶ τὴν τεχνικὴ κατασκευῆς τῶν κτιρίων καὶ ἰδίως ἀπὸ τὴν ἐλατότητα (*ductility*) αὐτῶν, ὡς καὶ ἀπὸ τὸ λόγο τῆς



Εἰκ. 5. Φασματικὲς μορφὲς τοῦ μέσου ὅρου μεγίστων ἐδαφικῶν ἐπιταχύνσεων ποὺ παρουσιάζονται σὲ διάφορες συνθηκὲς ἐδαφῶν θεμελιώσεως.

περιόδου του ισχυρότερου μέρους της έδαφικής κινήσεως προς την ιδιοπερίοδο αιώρησης εκάστου κτιρίου, δηλαδή από την ευπάθεια των κατασκευών (vulnerability) εκάστου οικισμού. Επίσης εξαρτάται από τη διεύθυνση διαρρήξεως, το βάθος της έστιας και τη διάρκεια του αίσθητου μέρους της έδαφικής κινήσεως*.

Εάν ο τόπος παρατηρήσεως είναι κατά τη διεύθυνση διαρρήξεως, ή ένταση του σεισμού είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτή που παρατηρείται στην ίδια απόσταση και υπό τις αυτές συνθήκες, κατά την αντίθετη διεύθυνση (βλ. εικ. 6).

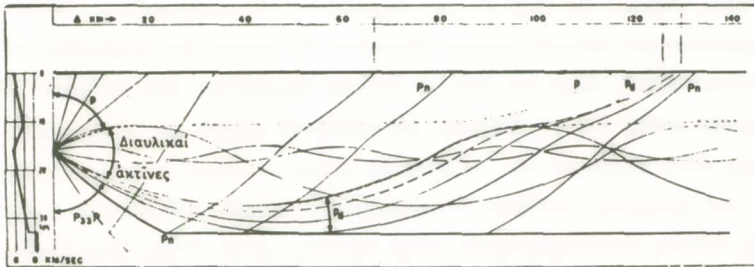


Εικ. 6. 'Ακτινοβολία της σεισμικής κυματικής ενεργείας και σχηματισμός κύματος κρούσεως κατά τη φορά της διαρρήξεως. 'Η γραμμή 0-8 εικονίζει την όλική οριζόντια έκταση της διαρρήξεως, ή οποία άρχισε από το 0 και κατέληξε στο 8. Κατά τη στιγμή που η ολίσθηση έφθασε στο 8, τα κύματα που γεννήθηκαν στα σημεία 1, 2, 3 κ.λπ. κατά μήκος του ρήγματος έχουν τη μορφή που παρουσιάζει ή ανωτέρω εικόνα. 'Ο μεγαλύτερος κύκλος εικονίζει τη θέση του κύματος που γεννήθηκε στο σημείο 0, όταν άρχισε ή διάρρηξη. 'Ο άμέσως μικρότερος κύκλος εικονίζει τη θέση του κύματος που μεταδόθηκε από το σημείο 1. Το κύμα αυτό γεννήθηκε αργότερα από το κύμα που αναχώρησε από το σημείο 0. Οί υπόλοιποι κύκλοι δεικνύουν τις θέσεις των κυμάτων που γεννήθηκαν διαδοχικώς στα σημεία 2, 3, 4 κ.λπ. καθώς προχωρούσε ή διάρρηξη με ταχύτητα τα 9/10 της ταχύτητας των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων.

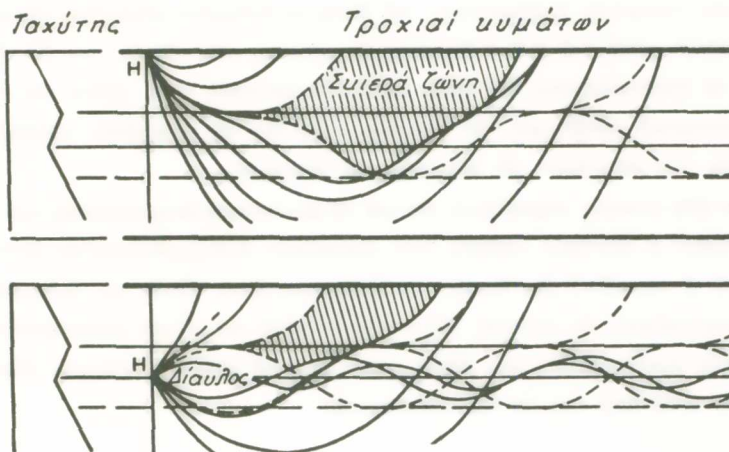
Εάν ή έστία του σεισμού εύρίσκεται στον γρανιτικό διάυλο, δηλαδή σε βάθος 10 έως 30 χιλμ., όπου ή ταχύτης μεταδόσεως των σεισμικών κυμάτων λόγω της ελατότητας (ductility) των πετρωμάτων είναι μικρότερη της ταχύτητας μεταδόσεώς των

* Any single earthquake may exhibit ground motions significantly higher or lower than predicted due to local or earthquake-specific effects not accounted for in predictions of 'average' motions (Atkinson, 1990).

στο υπερκείμενο και υποκείμενο στρώμα (βλ. εικόνα 7 και 8), μεγάλο κλάσμα της εκλυομένης σεισμικής ενέργειας, τουλάχιστον 50%, παγιδεύεται και παραμένει στο στρώμα μικρᾶς ταχύτητας μεταδόσεως. Στην περίπτωση αυτή, δηλαδή για ἑστιακὸ βάθος 10-30 χιλμ., δὲν ἰσχύει ἡ μέση μεταβολὴ τῆς μακροσεισμικῆς ἐντάσεως τῶν ἐπιφανειακῶν σεισμῶν σὲ συνάρτηση μὲ τὴν ἐπικεντρικὴ ἀπόσταση καὶ τὸ μέγεθος ἐπιφανειακῶν κυμάτων ποὺ δίδεται ἀπὸ διαφόρους τύπους γιὰ σεισμοὺς κανονικοῦ βάθους ($h \leq 60$ χιλμ.).



Εἰκ. 7. Τροχιᾶς τῶν ἐπιμήκων κυμάτων μέχρι τῆς ἀποστάσεως τῶν 140 χιλμ., ὅταν ἡ ἑστία τοῦ σεισμοῦ εὑρίσκεται στὸν «γρανιτικὸ δίαυλο». Στὸ ἀριστερὸ μέρος τῆς εἰκόνας δίδονται οἱ ταχύτητες τῶν κυμάτων σὲ συνάρτηση μὲ τὸ βάθος.



Εἰκ. 8. Μεταβολὴ τῆς θέσεως καὶ τοῦ εὗρους τῆς σκιερᾶς ζώνης τοῦ γρανιτικοῦ διαύλου γιὰ ὀρισμένη σχέση ταχύτητας βάθους σὲ συνάρτηση μὲ τὸ ἑστιακὸ βάθος.

Ἀπὸ τὴ σύγκριση τῶν μικροσεισμικῶν ἀποτελεσμάτων κανονικοῦ βάθους διατεμαχικῶν σεισμῶν, ποὺ εἶχαν μέγεθος $7-7 \frac{1}{4}$ στὴν περίοδο 1900-1978 καὶ ἐνδιαμέσου βάθους ἐνδοτεμαχικῶν σεισμῶν μεγέθους $7 \frac{1}{2}$ καὶ ἐπάνω, δὲν φαίνεται ἡ ἐπικεντρικὴ ἔντασή των, ἢ ἡ μεγίστη ἔνταση, ἢ ἐπιτάχυνση ποὺ παρατηρήθηκε κατ' αὐτοὺς νὰ ἦταν διαφόρου τάξεως μεγέθους*. Οἱ σεισμοὶ αὐτοὶ διέφεραν μεταξὺ των μόνον ὡς πρὸς τὴν ἔκταση τῆς πλειοσειστοῦ ζώνης, ἢ τῶν ἰσοβλαβῶν ἐπιφανειῶν, καὶ γενικότερα στὴν ἔκταση τῶν μακροσεισμικῶν ἀποτελεσμάτων ποὺ εἶχαν προκαλέσει. Ὅπως φαίνεται, ὑπάρχει ἓνα ὄριο στὴ μεγίστη ἔνταση τῶν μακροσεισμικῶν ἀποτελεσμάτων, ὅπως ὑπάρχει καὶ στὴν ἀντοχὴ διαρρήξεως τῶν πετρωμάτων. Ἡ ἔκταση ὅμως τῶν μακροσεισμικῶν ἀποτελεσμάτων ἐξαρτᾶται ὅχι μόνον ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ σεισμοῦ καὶ τὸ ἐστιακὸ βάθος, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὴν ἔκταση διαρρήξεως ποὺ καθορίζει τὸ μέγεθος τῆς σεισμικῆς ροπῆς καὶ τὴ διάρκεια τοῦ αἰσθητοῦ μέρους τῆς δονήσεως.

Στοὺς πέντε σεισμοὺς τοῦ Ἑλλαδικοῦ χώρου μεγέθους $5 \frac{1}{2}$ καὶ ἐπάνω, ποὺ θὰ ἠδύναντο ὑπὸ ὀρισμένες συνθήκες νὰ προκαλέσουν βλάβες VII βαθμοῦ καὶ ἐπάνω, γιὰ ὅλους τοὺς λόγους ποὺ ἀναφέρθηκαν προηγουμένως, μόνον ὁ ἓνας εἶναι βλαβερός. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι στὶς 5 ἀναγγελίες βλαβερῶν σεισμῶν οἱ 4 θὰ εἶναι σὰν τὶς κραυγὲς τοῦ βοσκοῦ τοῦ γνωστοῦ μύθου περὶ λύκου (*cry-wolf forecasts*).

Ἐὰν παραβλέψουμε τὶς ποικίλου εἴδους τρομερὲς παρενέργειες στὴν Ἑθνικὴ καὶ ἰδιωτικὴ οἰκονομία, στὴν κυκλοφορίαν τῶν μέσων συγκοινωνίας καὶ στὴν ὑγείαν (σωματικὴ καὶ ψυχολογικὴ) τῶν κατοίκων ποὺ θὰ ἔχει ἡ προαναγγελία μιᾶς τοιαύτης ἀορίστου σεισμικῆς ἀπειλῆς, στὶς 5 ἐκκενώσεις οἰκισμῶν μόνον ἡ μία θὰ ἦταν ἐπωφελής, καὶ αὕτῃ μόνον γιὰ τοὺς κατοίκους ποὺ δὲν διαμένουν σὲ κτίριο ἱκανὸ ν' ἀνθέξει τὶς ἀναμενόμενες σεισμικὲς ἐπιβαρύνσεις. Μὲ βάση τὰ δεδομένα αὐτὰ εἶναι μᾶλλον βέβαιο ὅτι οἱ κάτοικοι μετὰ 2 ἢ 3 ἢ 4 ἄσκοπες ἐκκενώσεις τῶν οἰκιῶν των δὲν θὰ δεῖξουν προθυμία νὰ ἐγκαταλείψουν καὶ ἄλλη φορὰ τὴν κατοικίαν τους. Οὕτω καὶ ἐνδεχόμενη ἐπιτυχὴς σεισμικὴ πρόβλεψη τὴν ἐπόμενη φορὰ δὲν θὰ ὠφελήσῃ, τουλάχιστον τὴν πλειονότητα τῶν κατοίκων τῆς ἀπειλούμενης περιοχῆς.

Εἶναι ἤδη γενικῶς παραδεκτό, ὅτι γιὰ τὴ ρεαλιστικὴ ἀντιμετώπιση τοῦ σεισμικοῦ κινδύνου ἀρκεῖ ἡ αὐστηρὴ τήρηση τῶν διατάξεων ἐκσυγχρονισμένου ἀντισεισμικοῦ κανονισμοῦ, ἢ περιοδικὴ βελτίωσή του, λόγῳ νεωτέρων ἰδεῶν καὶ δεδομένων, καὶ ἡ ἐνίσχυση συγχρόνως τῆς ἀντοχῆς ὅλων τῶν κτιρίων ποὺ ἔχουν κατασκευασθεῖ χωρὶς ἀντισεισμικὲς προδιαγραφές, καὶ ἰδίως χωρὶς ἐπαρκῆ εὐήλατα στοιχεῖα (*ductile components*) σὲ εὐαίσθητα σημεῖα τῆς κατασκευῆς.

* Πρόσφατα εὐρέθηκε στὴν Ἰαπωνία (Fukushima and Tanaka, 1990), ὅτι: ἀνεξαρτήτως σεισμικοῦ μεγέθους, ἡ μέση τιμὴ τῆς μεγίστης ὀριζοντίας ἐπιταχύνσεως στὴν ἐστιακὴ περιοχὴ εἶναι 620 cm/sec^2 . Σὲ σκληρὸ ἢ μαλακὸ ἔδαφος παρατηρεῖται μείωση ἢ αὐξηση αὐτῆς κατὰ 40%, ἀντιστοίχως.

Για όλους τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η αναζήτηση μεθόδου επιτυχοῦς προβλέψεως τῶν βλαβερῶν σεισμῶν εἶναι, ἀπὸ πρακτικῆς πλευρᾶς, καθαρὰ οὐτοπία. Ἡ πρόβλεψη ἀβλαβῶν σεισμῶν μικροτέρου μεγέθους, καὶ ἰδίως μετασεισμῶν πὺ εἶναι γνωστὸς ὁ τόπος προελεύσεώς των, λόγω τῆς μεγάλης συχνότητος αὐτῶν, πρὸ παντὸς σὲ χώρες ἐντόνως σεισμικῆς ὅπως εἶναι ἡ Ἑλλάς, εἶναι στατιστικῶς δυνατὴ μὲ ἀρκετὴ ἀκρίβεια, ἀλλὰ εἶναι ἄνευ πρακτικῆς σημασίας καὶ δὲν χρειάζεται εἰδικὲς μεθόδους προβλέψεως των.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. *Atkinson M. G., A Comparison of Eastern North American Ground Motion. Seism. Res. Letters, Vol. 61, No 3-4, pp. 171-192, 1990.*
2. *Back Per and Kan Chen, Self-Organized Criticality, Scient. Amer., pp. 26-33, 1991.*
3. *Bolt C. B., Earthquakes. New York, W. H. Freeman and Company, 1988.*
4. *Cere J. M. and H. C. Sham, Terra non Firma. New York, W. H. Freeman and Company, 1988.*
5. *Γαλανόπουλος Γ. Α., Στοιχεῖα Σεισμολογίας καὶ Φυσικῆς τοῦ ἔσωτερικοῦ τῆς Γῆς. Ἀθήνα 1971.*
6. *Γαλανόπουλος Γ. Α., Εἰσαγωγικὰ Μαθήματα Ἑφηρμοσμένης Γεωφυσικῆς, Ἀθήνα 1976.*
7. *Γαλανόπουλος Γ. Α., Οἱ βλαβεροὶ Σεισμοὶ καὶ τὸ Σεισμικὸν Δυναμικὸν τῆς Ἑλλάδος, Γεωλογικὰ Χρονικὰ τῶν Ἑλληνικῶν Χωρῶν, XXX/2, σ. 647-724, 1981.*
8. *Fukushima Y. and T. Tanaka, A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 80, No 4, pp. 758-778, 1990.*
9. *Gupta K. H., and B. K. Rastogi, Dams and Earthquakes. «Devel. in Geot. Eng., 11. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 1976.*
10. *Lomnitz C., Comment on «Temporal and Magnitude Dependence in Earthquake Recurrence Models» by C. A. Cornell and S. R. Winterstein. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 79, No 5, p. 1662, 1989.*
11. *Rondoyanni Th., Tectonique Recente et Subsidence des Sites Historiques aux Rivages de Locride, Grèce. «Proceedings of the Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites», Vol. 33, pp. 1583-1589, 1988.*