

# ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣ

ΥΠΟ

ΔΗΜΗΤΡ. Α. ΚΙΣΚΥΡΑ \*

Ἀπὸ τὴ μικροσεισμικὴ ἔρευνα πολλῶν σεισμῶν πιστοποιήθηκε, ὅτι ὑπάρχει μίᾳ στενὴ σχέση μετὰ τῆς μεταδόσεως τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας σὲ μίᾳ περιοχῇ καὶ τῆς γεωλογικῆς κατασκευῆς τῆς περιοχῆς αὐτῆς. Πολλὰς φορὲς ἡ σχέση αὐτὴ ἦταν τόσο ἐκδηλῆ, ὥστε ἔκανε μερικοὺς νὰ νομίζουν, ὅτι μίᾳ περιοχῇ πορουσιάζει πάντοτε ὅμοια γεωγραφικὴ διανομὴ τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας καὶ στὴν περίπτωσιν ἀκόμη σεισμῶν μὲ διαφορετικὴ ἐστία (10 καὶ 15). Στὶς σεισμολογικὰς μελέτας γίνεται συνήθως προσπάθεια γὰρ νὰ συμφωνήσουν οἱ ἰσόσειστες καμπύλεις μὲ τὴν τεκτονικὴ τῆς περιφερείας,

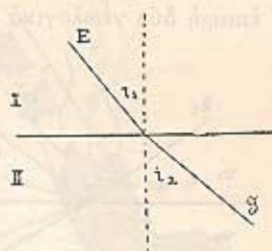
---

\* D. KISKYRAS. Sur la propagation de l'énergie sismique dans la croûte terrestre, ses rapports avec la tectonique et la place du foyer sismique.

Ψηφιακὴ Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμῆμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

πού υπέφερεν από τὸ σεισμό, ὅπου δὲ τοῦτο δὲν εἶναι δυνατό, ἐποδεικνύεται ἀναθεώρηση τῶν γνωστῶν γεωλογικῶν στοιχείων. Ἐπειτα ἀπ' αὐτό, ἀναγκάζεται ὁ ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ (18) νὰ γράψῃ, ὅτι οἱ ἰσόσειστες καμπύλες διαφόρων ἑλληνικῶν σεισμῶν παρουσιάζουν «μᾶλλον καλλιτεχνικὴν ἐπεξεργασίαν». Ὅταν ὅμως ἡ μακροσεισμικὴ ἔρευνα γίνεται κατ' αὐτὸν τὸν τρόπο, τότε ὄχι μόνον δὲν συμβάλλει στὴν ἐπίλυση σεισμικῶν προβλημάτων, ἀλλὰ καὶ ὁδηγεῖ σὲ ἐσφαλμένα συμπεράσματα σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν τεκτονικὴν. Σ' αὐτὴ τὴ μελέτῃ θὰ δρῖξουμε, ὅτι ἐκτὸς ἀπὸ τὴν τεκτονικὴν, ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι παράγοντες, πού ἐπηρεάζουν τὴν ἐξάπλωση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας καὶ πού πρέπει ἀπαραίτητα νὰ λαμβάνονται ὑπ' ὄψη στὴ σεισμολογικὴ ἔρευνα, γιὰ νὰ μὴν ὑποπέσουμε σὲ ἀνάλογα σφάλματα<sup>1</sup>.

Ἡ ἐνέργεια τοῦ σεισμοῦ, πού πιστοποιοῦμε μακροσεισμικῶς σὲ μιὰ τοποθεσίᾳ, εἶναι ἀποτέλεσμα σειρᾶς σεισμικῶν κυμάτων, τῶν ὁποίων τὰ κύρια χαρακτηριστικὰ εἶναι τὸ πλάτος καὶ τὸ μῆκος κύματος (ταχύτης, περίοδος). Τόσον τὸ πλάτος, ὅσον καὶ τὸ μῆκος κύματος τῶν σεισμικῶν κυμάτων, πού ἔρχονται σὲ ἓνα ὁρισμένο μέρος, ἐξαρτῶνται ὄχι μόνον ἀπὸ τὴ φύση τῶν σωμάτων, τὰ ὁποῖα ἔχουν διατρέξει, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὴ σχετικὴ θέση μεταξὺ τους. Ὅταν τὰ σεισμικὰ κύματα μεταβαίνουν ἀπὸ ἓνα σῶμα σ' ἓνα ἄλλο μὲ διαφορετικὴς ιδιότητες, τότε θὰ παρουσιασθοῦν, ὅπως καὶ στὴν ὀπτική, φαινόμενα διαθλάσεως καὶ ἀνακλάσεως (Σχ. 1). Καὶ ἐδῶ ἰσχύει ἡ ἀρχὴ τοῦ FERMAT, ὅτι τὸ σεισμικὸ κύμα μεταβαίνει ἀπὸ τὴ μιὰ θέσιν στὴν ἄλλη στὸ ἐλάχιστο χρονικὸ διάστημα,



$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Σχ. 1.

ὁπότε  $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2}$

Ἡ διαφορὰ μεταξὺ ὀπτικῶν καὶ ἐλαστικῶν φαινομένων εἶναι, ὅτι ἐδῶ παράγονται, ἀντὶ δύο, τέσσαρα νέα κύματα, δύο ἐπιμήκη (ἀνακλῶμενο καὶ διαθλῶμενο) καὶ δύο ἐγκάρσια, ἐπίσης ἀνακλῶμενο καὶ διαθλῶμενο. Μόνον στὴν περίπτωσι προσπτώσεως ἐγκαρσίων κυμάτων μὲ ὀριζοντίους κραδασμούς, δηλ. κάθετα πρὸς τὸ ἐπίπεδο προσπτώσεως, θὰ παραχθοῦν δύο κύματα Σχ. 2. Ἐκτὸς ἀπὸ τὰ κύματα ἀνακλάσεως καὶ διαθλάσεως, πού ἀναφέραμε, παράγονται στὴν περίπτωσι προσπτώσεως ἐγκαρσίων κυμάτων καὶ ἐπιφανειακὰ κύματα· αὐτὰ ἐμφανίζονται στὴ διαχωριστικὴ ἐπιφάνεια τῶν δύο σωμάτων μὲ διαφορετικὴς ἐλαστικὴς ιδιότητες καὶ διαδίδονται πάνω σ' αὐτή. Στὴν περίπτωσι προσπτώσεως ἐπιφανειακῶν κυμά-

1. Τὴ γνώμη αὐτὴ τοῦ συγγραφέως ἔφερε γιὰ πρώτη φορὰ σὲ δημοσιότητα ὁ ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ (*Πρακτικὰ τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν 1945*). Ἡ μελέτῃ αὐτή, μαζὶ μὲ μιὰν ἄλλην, εἶχαν κατατεθεῖ στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν τὸ 1945. Μέχρι τὸ 1947 δὲν ἔγινε ἡ σχετικὴ ἀνακοίνωσις, ἴσως καὶ ἐπειδὴ ἐκείνῃ τὴν ἐποχὴ δὲν ὑπῆρχεν εἰδικὸς Ἀκαδημαϊκός.

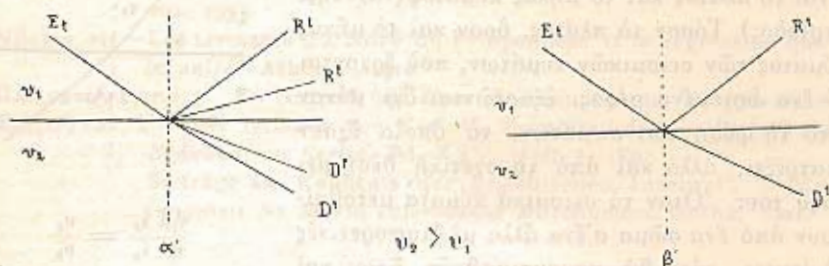


των, παράγονται μόνον επιφανειακά κύματα ανακλάσεως και διαθλάσεως· ο αριθμός των νέων αυτών κυμάτων ανακλάσεως και διαθλάσεως θα εξαρτηθεί από τη διεύθυνση κραδασμού.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, τα διαθλώμενα κύματα μπορούν να υποστούν ολική ανάκλαση, όταν  $\frac{v_2}{v_1} \sin i > 1/2$ .

Δηλαδή η ολική ανάκλαση ευνοείται περισσότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία προσπτώσεως και όσο πιο ελαστικώτερο το δεύτερο σώμα. Για μεγάλες τιμές του  $\frac{v_2}{v_1}$  μπορεί να ισχύει  $\tan i > 1$ , όπου  $1$  η ταχύτης του προσπίπτοντος επιμήκους και  $\tan i$  η ταχύτης του διαθλωμένου εγκάρσιου, οπότε η ολική ανάκλαση των κυμάτων χώρου είναι πληρέστερη.

Επομένως μια γεωλογική μετάπτωση, χάρις στην οποία έρχονται σε έπαφή δύο γεωλογικά σώματα με διαφορετικές ελαστικές ιδιότητες. π. χ.

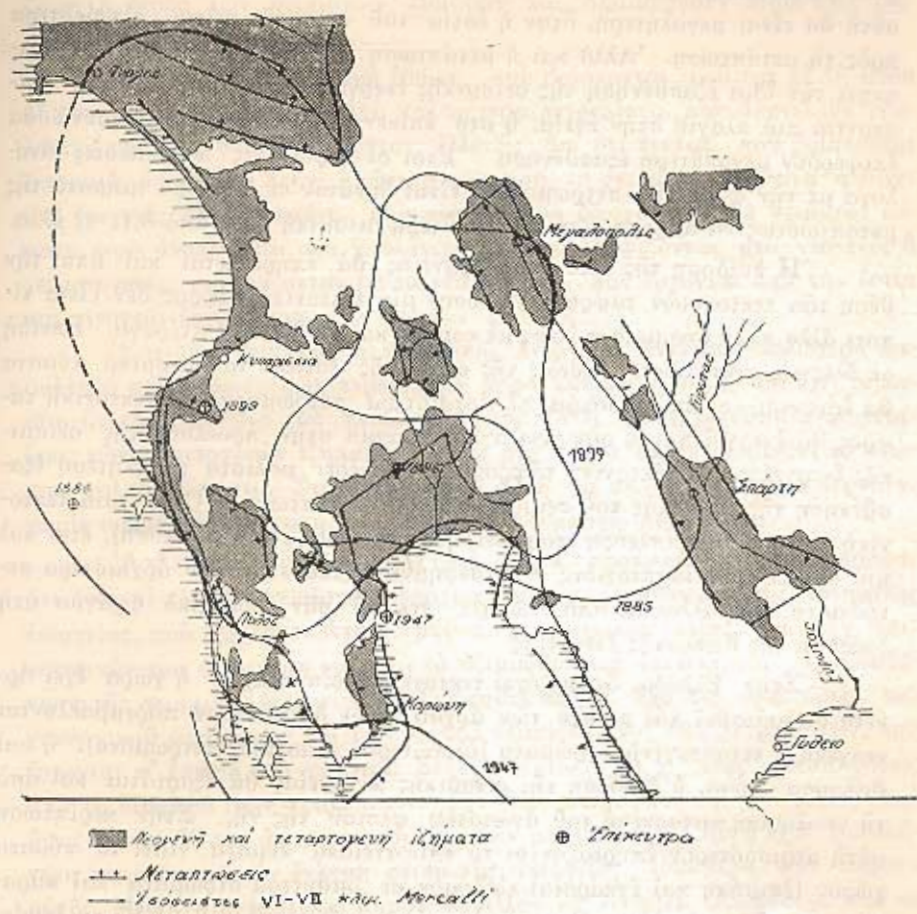


**Σχ. 2.** Πρόπτωση εγκάρσιου κύματος σε ελαστικώτερο σώμα :

α' οι κραδασμοί γίνονται πάνω στο επίπεδο προσπτώσεως.

β' οι κραδασμοί γίνονται κάθετα στο επίπεδο προσπτώσεως.

αργύλλομαργαλά του νεογενούς με κρητιδικούς άσβεστολίθους, θα επιφέρει εξασθένιση της σεισμικής ενέργειας λόγω ανακλάσεως των σεισμικών κυμάτων. Έτσι στην απέναντι πλευρά της μεταπτώσεως θα μεταφέρεται ελαττωμένη σεισμική ενέργεια, ενώ κατά μήκος της μεταπτώσεως ενισχυμένη, λόγω της εμφάνισης των επιφανειακών κυμάτων. Στην περίπτωση μεταπτώσεως εντός της αυτής διαπλάσεως, π. χ. εντός του νεογενούς, μπορεί να παρατηρηθεί μια ένταση της σεισμικής ενέργειας στην επιφάνεια της μεταπτώσεως, αλλά κανένα σοβαρό εμπόδιο στη διάδοση της σεισμικής ενέργειας στην απέναντι πτέρυγα της μεταπτώσεως, γιατί τώρα δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στις ελαστικές ιδιότητες των δύο πτερύγων της μεταπτώσεως. Η αξία μιας μεταπτώσεως απ' αυτή την άποψη θα εξαρτηθεί από τη θέση της σεισμικής εστίας. Η μεγαλύτερη εξασθένιση της σεισμικής ενέργειας παρουσιάζεται, όταν η σεισμική εστία είναι προς το μέρος της μεταπτώσεως, που έχει καταβυθισθεί γιατί τότε τα σεισμικά κύματα έρχονται σε αρχειότερα πετρώματα, που συνήθως είναι και πιο ελαστικώτερα. Με τη γεωλογική ήλικία των πετρωμάτων, όπως παρατηρεί ο REICH (13, σ. 113),



Σχ. 3. Γεωλογικός Χάρτης της Πελοποννήσου κατά Α. ΡΗΙΛΙΡΡΣΟΝ  
 με συμπληρωματικά στοιχεία από Δ. ΚΙΣΚΥΡΑ. Τά επίκεντρα  
 και ισόσειστες κατά Α. ΓΑΛΛΑΝΟΠΟΥΛΟΝ.



οὐξάνει ἡ πιθανότης νὰ ἔχουν αὐτὰ ὑποστῇ μιὰ πτύχωση ἢ ὠρισμένα φαινόμενα διαγενέσεως μὲ ἀποτέλεσμα τὴν αὕξησιν τοῦ μέτρου ἐλαστικότητος. Ἐπειδὴ, σύμφωνα μὲ τὸν τύπο 2, ἡ ἐξασθένησις τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας (ὀλικὴ ἀνάκλασις) ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὴ γωνία προσπτώσεως, ἡ ἐξασθένησις αὐτὴ θὰ εἶναι μεγαλύτερη, ὅταν ἡ ἐστία τοῦ σειсмоῦ κεῖται πλησιέστερα πρὸς τὴ μετάπτωσιν. Ἀλλὰ καὶ ἡ μετάπτωσις στὸ σύνολό της δὲν θὰ ἐπιφέρει τὴν ἴδια ἐξασθένησις τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας· τὰ τμήματα ποὺ βρίσκονται πιὸ πλάγια στὴν ἐστία, ἢ στὸ ἐπίκεντρο δηλ. τὰ πιὸ μακρυνὰ θὰ ἐπιφέρουν μεγαλύτερη ἐξασθένησις. Ἔτσι σὲ ὠρισμένες περιπτώσεις ἀνάλογα μὲ τὴν φύσιν τῶν πετρωμάτων, εἶναι δυνατόν σὲ διάφορα τμήματα τῆς μεταπτώσεως νὰ παρουσιάζεται ἐντονώτερη σεισμικὴ σκιά ἀπὸ ὅ,τι σὲ ἄλλα.

Ἡ διάδοσις τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας θὰ ἐπηρεάζεται καὶ ἀπὸ τὴν θέσιν τῶν τεκτονικῶν τάφρων, ἐφ' ὅσον μιὰ τεκτονικὴ τάφρος δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο παρὰ δύο μεταπτώσεις μὲ κοινὴν καταβυθισμένη πτέρυγα. Ἐπειδὴ σὲ ὅλες τὶς περιπτώσεις θέσεως τῆς σεισμικῆς ἐστίας, τὰ σεισμικὰ κύματα θὰ ἔρχονται καὶ ἀπὸ νεώτερα σὲ ἀρχαιότερα πετρώματα, ἡ τεκτονικὴ τάφρος θὰ ἐνεργεῖ πάντα σὰν γεωλογικὸ φράγμα στὴν προέλασιν τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας. Ἡ τεκτονικὴ τάφρος θὰ ἐπιφέρει μάλιστα μεγαλύτερη ἐξασθένησις τῆς ἐνεργείας τοῦ σειсмоῦ παρὰ ἡ μετάπτωσις. Ὅπως μιὰ τεκτονικὴ τάφρος, ἀμφίπλευρη ταφροειδὴς ἐγκατακρήμνισις (Graben), ἔτσι καὶ μιὰ ἀμφίπλευρη κερατοειδὴς ἐγκατακρήμνισις (Horst), ὅπου ἀρχαιότερα πετρώματα περιβάλλονται ἀπὸ νεώτερα, ἐνεργεῖ σὰν γεωλογικὸ φράγμα στὴ διάδοσιν τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας.

Στὴν Ἑλλάδα, ὅπου λόγῳ τεκτονικῶν διαταραχῶν ἡ χώρα ἔχει ἀρκετὰ διαμελισθῇ καὶ μεταξὺ τῶν ἀρχαιότερων διαπλάσεων παρεμβάλλονται νεογενὴ ἢ τεταρτογενὴ στρώματα (ὀλιγώτερον ἐλαστικὰ πετρώματα), ἡ καὶ θάλασσα ἀκόμα, ἡ διάδοσις τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας θὰ ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ τὴ γεωλογικὴ κατασκευὴ τοῦ ἀνωτάτου φλοιοῦ τῆς γῆς. Στὴν περίπτωσιν αὐτὴ περισσότερον ἐπηρεάζονται τὰ ἐπιφανειακὰ κύματα, γιατί τὰ κύματα χώρου (ἐπιμήκη καὶ ἐγκάρσια) εἰσδύουν σὲ βαθύτερα στρώματα καὶ παρακάμπτουν ἔτσι τὶς ἀνωμαλίες τοῦ ἀνωτέρου γήινου φλοιοῦ. Ἐδῶ τὰ ἐγκάρσια κύματα ἐπηρεάζονται περισσότερον ἀπὸ τὰ ἐπιμήκη, γιατί, σὲ ὠρισμένες περιπτώσεις, τὰ πρῶτα μποροῦν νὰ ὑποστοῦν ὀλικὴ ἀνάκλασις καὶ ὅταν ἔρχονται σὲ ὀλιγώτερον ἐλαστικὰ πετρώματα.

Ἡ ἐπίδρασις τῆς τεκτονικῆς στὴ διάδοσιν τῶν ἐπιφανειακῶν κυμάτων εἶναι μεγαλύτερη, ὅταν τὰ γεωλογικὰ φράγματα (μαῖζαι συμπαγῶν πετρωμάτων, μεταπτώσεις, τάφροι κλπ.) προβάλλουν μεγαλύτερη ἐπιφάνεια στὰ σεισμικὰ κύματα. Στὴν περίπτωσιν αὐτὴ, τὸ μῆκος κύματος τῶν σεισμικῶν κυμάτων, ποὺ ἔρχονται στὰ φράγματα, εἶναι μικρότερα ἀπὸ τὶς διαστάσεις τῶν κ' ἔτσι δὲν μποροῦν νὰ παρουσιασθοῦν ἐδῶ φαινόμενα παραθλάσεως, ὁπότε, πίσω ἀπὸ τὰ φράγματα αὐτά, θὰ εἴχαμε ἐμφάνισιν ἐντονης σεισμικῆς δράσεως. Ὅταν ἡ ἀπόστασις τῆς σεισμικῆς ἐστίας ἀπὸ τὸ φράγμα



είναι μεγάλη, ή ή έστία έχει μεγάλο βάθος, τότε τὰ σεισμικά κύματα έχουν μεγάλο μήκος κύματος (μακρά περίοδος) και μπορούν, χωρίς σέ φαινόμενα παραθλάσεως, νά περάσουν από μερικά γεωλογικά φράγματα. Στην περίπτωση σεισμού μέ έστία μικρού βάθους, τὰ γεωλογικά φράγματα εμποδίζουν τή δίοδο των σεισμικών κυμάτων και δημιουργούν πίσω τους σεισμική σκιά.

Νεογενή ή τεταρτογενή έδάφη, που βρίσκονται ανάλογα μέ τή θέση τής σεισμικής έστίας πίσω από παλαιότερα πετρώματα, που αποτελούν γεωλογικό φράγμα, συμπεριφέρονται άλλοιώς απ' ότι εκείνα, που βρίσκονται μπροστά απ' αυτό. Στην πρώτη περίπτωση, ή σεισμική ενέργεια φθάνει στο νεογενές εξασθενημένη, ενώ στη δεύτερη ενισχυμένη. Τά σεισμικά κύματα, που ανακλώνται στο γεωλογικό φράγμα γυρίζοντας στο νεογενές ή τεταρτογενές, συνδυάζονται μέ τὰ νέα κύματα, που έρχονται από τήν έστία και γίνονται ισχυρότερα.

Επειδή ή διάδοση τής σεισμικής ενέργειας γίνεται ευκολώτερα παράλληλα στη στρώση των στρωμάτων παρά κάθετα σ' αυτή, θα έχει σημασία, αν το άξιμούθιο του επίκεντρου συμπίπτει μέ τή διεύθυνση παρατάξεως των προνεογενών ιζημάτων, πάνω στα όποια έχουν αποθεθεί τὰ νεώτερα χαλαρά ιζήματα. Στην περίπτωση αυτή τὰ σεισμικά κύματα περνούν, χωρίς σοβαρά εξασθένηση, τὰ παλαιότερα συμπαγή πετρώματα.

Απ' αυτά, που αναφέραμε πιο πάνω, προκύπτει τò συμπέρασμα, ότι ένα και τò αυτό γεωλογικό φράγμα επιφέρει εξασθένηση τής σεισμικής ενέργειας, που εξαρτάται από τò βάθος τής σεισμικής έστίας, από τήν επίκεντρικήν του απόσταση και από τò άξιμούθιο του επίκεντρου. Η εξασθένηση τής σεισμικής ενέργειας θα εξαρτηθεί άκόμα από τις διαστάσεις του γεωλογικού φράγματος και τή διαφορά ελαστικότητας των πετρωμάτων, που έρχονται σ' έπαφή στο φράγμα. Στην περίπτωση π. χ. μιας μεταπτώσεως από τή διαφορά των πετρωμάτων των δύο πτερύγων και τò μήκος και ύψος αυτής. Όσον άφορā τήν ήλικία των μεταπτώσεων, αυτή έχει μεγαλύτερη σημασία για τήν έκλυση σεισμικής ενέργειας, ιδιαίτερα στα πέρατα αυτής. Μία νέα μετάπτωση μπορεί έξ άλλου νά κινηθεί ευκολώτερα και νά δώσει άκόμη γένεση σέ μιā δευτερογενή έστία σεισμού.

Επειτα απ' αυτά, δέν πρέπει ή μορφή των ισοσειστών σεισμών μέ διαφορετικά επίκεντρα, αλλά τής αυτής περιοχής, νά παραμένει ή ίδια, (10 και 15). Πολύ περισσότερο οι σεισμοί τής Αττικής και τής Πελοποννήσου, που, λόγω τεκτονικής κατασκευής τὰ τμήματά τους είναι διαφορετικά μεταξύ τους, δέν μπορούν νά παρουσιάζουν τήν ίδια εικόνα ισοσειστών, ανεξάρτητα από τή θέση τής έστίας του σεισμού. Θα παρουσιάζουν όπωσδήποτε διαφορές κι' αυτές οι διαφορές μάς ενδιαφέρουν, γιατί θα μάς δώσουν στοιχεία, χρήσιμα για τόν προσδιορισμό του βάθους τής έστίας του σεισμού, για τή διαπίστωση του είδους των κινήσεων στην έστία και των διευθύνσεων των κινήσεων αυτών. Επίσης μπορούν νά μάς βοηθήσουν και



στην ανακάλυψη μεταπτώσεων, που δὲν ἔχουν ἀκόμα διαπιστωθεῖ γεωλογικῶς.

Ἀλλὰ καὶ στὴν περίπτωση ἀκόμα, ὅπου δύο σεισμοὶ ἔχουν τὸ ἴδιο ἐπίκεντρο, ἡ μορφή τῶν ἰσοσειστών θὰ εἶναι διαφορετική. Ἡ θέση τῆς σεισμικῆς ἐστίας καὶ ἡ σεισμικὴ ἔνταση θὰ εἶναι τώρα διαφορετικὲς, πρῶγμα, πού θὰ τροποποιήσῃ τὴ μορφή τῶν ἰσοσειστών. Δύο σεισμοὶ μὲ τὸ ἴδιο ἐπίκεντρο δίδουν ἐντούτοις ὅμοια σειсмоγραφήματα. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸ γεγονός, ὅτι τὸ μεγαλύτερο τμήμα τῶν σεισμογραφημάτων κοντινῶν σεισμῶν (ἐπιφανειακὰ κύματα) καθορίζεται ἀπὸ τὴν ἰδιοκυνάνσεις τοῦ ὑπεδάφους, πού καὶ στίς δύο περιπτώσεις εἶναι ὅμοιες. Ἀλλὰ καὶ τὰ ἄλλα μέρη τοῦ σεισμογραφήματος, σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὰ Pn, Sn, P, S, ἀκόμα καὶ P καὶ S κύματα, παρμένουν τὰ ἴδια, γιατί καὶ στίς δύο περιπτώσεις τὰ κύματα αὐτὰ διέρχονται τοὺς ἴδιους ὀρίζοντας τοῦ γηίνου φλοιοῦ. Γιὰ τὸ λόγο αὐτό, τὰ ἴδια σεισμογραφήματα μπορεῖ νὰ παρουσιάζουν καὶ σεισμοὶ τῆς αὐτῆς περιοχῆς, ἀλλὰ μὲ διάφορα ἐπίκεντρα, δηλ. κάθε περιοχὴ δίνει ἰδιαίτερο καὶ πάντοτε τὸν ἴδιο τύπο σεισμογραφημάτων, ἐφ' ὅσον δὲν ὑπάρχει μεγάλη διαφορὰ βάθους τῆς σεισμικῆς ἐστίας. Αὐτὸ ὅμως δὲν ἰσχύει γιὰ τὴ μορφή τῶν ἰσοσειστών.

Σὲ μεγάλες ἐπικεντρικὲς ἀποστάσεις, ἡ ἐπίδραση τῆς τεκτονικῆς τοῦ ἀνωτάτου φλοιοῦ στὴ διάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας εἶναι πολὺ μικρὴ (μεγάλου μήκους κύματος καὶ μικρὴ γωνία προσπτώσεως). Θὰ πρέπει λοιπὸν ἡ μορφή τῆς ἐξωτερικῆς ἰσοσειστὸν νὰ μὴν παρουσιάζει τὴν ἀνωμαλίαν τῶν ἄλλων. Τὸ ὅτι στὴ βιβλιογραφία ἀναφέρεται συχνὰ τὸ ἀντίθετο, αὐτὸ ὀφείλεται πιθανῶς στὴν ἔλλειψη στοιχείων ἀπὸ τὰ μέρη, ὅπου ἡ ἔνταση τοῦ σεισμοῦ ἦταν χαμηλὴ, ἢ ἀκόμα καὶ στὸ γεγονός, ὅτι ἡ χάραξη τῶν ἰσοσειστών γίνεται μ' ἓνα σφάλμα στὸν ὑπολογισμό τῆς σεισμικῆς ἐπιταχύνσεως, πού πολλὰς φορὲς κυμαίνεται μεταξὺ  $-50\%$  καὶ  $+100\%$  τῆς πραγματικῆς τιμῆς.

Ἡ ἐπιβεβαίωση τῶν θεωρητικῶν συμπερασμάτων τῆς μελέτης αὐτῆς μακροσεισμικῶς ἢ μικροσεισμικῶς παρουσιάζει δυσκολίες, ἐπειδὴ στὴν Ἑλλάδα δὲν ἔχουμε καλὸ μακροσεισμικὸ ἢ μικροσεισμικὸ δίκτυο. Γιὰ τὸ λόγο αὐτό, θὰ περιορισθοῦμε σὲ μερικὰ μόνον παραδείγματα, ἀρκετὰ ὅμως γιὰ νὰ πιστοποιήσουν τὴν ἐξάφηση τῆς διαδόσεως τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας ἀπὸ τὴν τεκτονικὴ τῆς περιοχῆς καὶ τὴ σχετικὴ θέση τῆς σεισμικῆς ἐστίας.

Στὴν ξένη βιβλιογραφία, σπάνια ἀναφέρονται παραδείγματα, σχετικὰ μὲ τὰ πραγματευόμενα θέματα. Ὁ REICH (12, σ. 717) ἀναφέρει, ὅτι ρήγματα μεταπτώσεων κοντὰ στὸ σταθμὸ παρατηρήσεως ἐπηρεάζουν τὴ διανομὴ τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας ἀνάλογα μὲ τὴ θέση αὐτῶν ὡς πρὸς τὰ κύματα. Ἐστὶ αὐτὰ πότε ἐνισχύουν, πότε ἐξασθενοῦν καὶ πότε ἀπομονώνουν τὴ σεισμικὴ ἐνέργεια. Ὁ ISHIMOTO (11) ἀναφέρει, ὅτι μιὰ μετάπτωση ἐπιφέρει ἐξασθένηση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας, ὅταν τὰ σεισμικὰ κύματα ἐρχονται κάθετα πρὸς αὐτή. Ὁ WONG WEN HAO (19) ἀναφέρει δύο σει-



σμούς της Κίνας, της 24-1-1917 και της 22-2-1917, που έχουν το ίδιο μέγεθος, αλλά διαφορετική ένταση στην περιοχή αυτού και που παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα ισοσειστών. Στον πρώτο σεισμό, με ένταση IX βαθμού στο επίκεντρο, οι πρώτες ισοσειστικές είναι κανονικές γύρω από την πλειόσειστο και από την ισοσειστον VII βαθμού αρχίζουν να εμφανίζονται οι πολύπλοκες καμπύλες. Στο δεύτερο σεισμό, με ένταση VIII βαθμού στο επίκεντρο, οι πολύπλοκες καμπύλες αρχίζουν από την ισοσειστο IV βαθμού και μάλιστα όχι τόσο έντονα, όπως στην πρώτη. Ο IMAMURA (7, σ. 43) αναφέρει, ότι όταν τα σεισμικά κύματα προσπίπτουν από ένα στερεό σώμα στον αέρα, τότε ολόκληρη σχεδόν η σεισμική ενέργεια ανακλάται στο πρώτο σώμα, οπότε δεν μεταδίδεται η σεισμική κίνηση από την πλευρά του σώματος, που βλέπει προς τον αέρα. Έτσι, μία ευρεία κοιλάδα, που κείται μεταξύ δύο έξογκωμάτων του φλοιού της γης, π. χ. δύο λόφων, ενεργεί σαν φράγμα και εμποδίζει την προχώρηση των σεισμικών κυμάτων στο δεύτερο λόφο πίσω από τον πρώτο λόφο σχηματίζεται «σεισμική σκιά». Οι κοιλάδες, που ενεργούν σαν γεωλογικά φράγματα, πρέπει, όπως αναφέρει πιο κάτω, να έχουν διαστάσεις μεγαλύτερες από το μήκος κύματος των σεισμικών κυμάτων, γιατί αλλιώς παρουσιάζονται φαινόμενα παραθλάσεως και, χωρίς σ' αυτά, τα σεισμικά κύματα φθάνουν στο αντίπαλο μέρος των φραγμάτων. Στην περίπτωση καταστρεπτικών σεισμών με  $T=1,55$  sec και  $v=3,2$  km., θα πρέπει οι κοιλάδες να έχουν βάθος και έκταση πάνω από 4,8 km. για να δράσουν σαν σεισμικά φράγματα. Στις περιπτώσεις όμως, που αναφέρει ο IMAMURA, η σεισμική σκιά δεν οφείλεται μόνο στην ανάκλαση της σεισμικής ενέργειας κατά την μετάβαση των σεισμικών κυμάτων από τον πρώτο λόφο στον αέρα, αλλά περισσότερο στην απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας των διαθλωμένων κυμάτων μέσα στον αέρα και στην ανάκλαση των εξασθενημένων ή σεισμικών κυμάτων στο δεύτερο λόφο.

Από τις εργασίες του SCHMIDT (17) έγινε γνωστό, ότι στην Ελλάδα σπάνια γίνονται αισθητοί σεισμοί που έχουν την έστια στην Ελλάδα και Μ. Ασία. Οι σεισμοί της Σάμου και της Μυτιλήνης προσβάλλουν μόνο ένα μέρος των Κυκλάδων, ενώ οι σεισμοί της Ελλάδος δεν φθάνουν στην Μ. Ασία. Αυτό εξηγείται εύκολα αν λάβει κανείς υπ' όψη του, ότι οι χώρες αυτές χωρίζονται από την Ελλάδα με τεκτονικές τάφρους, που, όπως είπαμε πιο πάνω, εξασθενούν κατά ένα μέρος τα σεισμικά κύματα, που έρχονται προς τα εκεί. Μεγαλύτερη ακόμη εξασθένιση υφίστανται τα σεισμικά κύματα, που έρχονται από το Ιόνιο προς τη Μ. Ασία. Στην περίπτωση αυτή η σεισμική ενέργεια πριν φθάσει την τάφρο του Αιγαίου έχει υποστεί σοβαρά εξασθένιση στην ρηξιγενή ελληνική χερσόνησο. Έτσι μόνο σεισμοί μεγάλου βάθους της περιοχής του Ιονίου, όπως αυτός της 27. VIII. 1886, μπορούν να γίνουν αισθητοί στην Μ. Ασία. Θα μπορούσε κανείς να αναφέρει άφθονα παραδείγματα συμφωνίας ισοσειστών και τεκτονικής της Ελληνικής χώρας. Έδω όμως θα περιορισθούμε μονάχα σε



μερικά από κείνα, στα οποία δεν φαίνεται άμέσως από την άρχή ότι υπάρχει τέτοια συμφωνία, γιατί ή διάδοση της σεισμικής ενεργείας έχει επηρεασθεί από τὸ βάθος καὶ τὴ θέση της σεισμικής ἐστίας σχετικά με τὰ τεκτονικά στοιχεία.

Κατὰ τὸ σεισμὸ της Ναυπάκτου (Δεκέμβριος 1917), ή διάδοση της σεισμικής ενεργείας, ὅπως δείχνουν οἱ ισόσειστες, έχει εὐνοηθεῖ κατὰ τὴν κατεύθυνση Α-Δ, ἐνῶ, σύμφωνα με τὴν τεκτονική της Δυτ. Ἑλλάδος, θὰ ἔπρεπε οἱ ισόσειστες νὰ παρουσιάζουν μιὰ ἐπιμήκυνση ἀπὸ ΒΔ πρὸς ΝΑ. Ἐνας ἄλλος σεισμός, τοῦ Αἰγίου τῆς 30-5-1909, με γειτονικὸ ἐπίκεντρο, ἔδωκε ισόσειστες, ποὺ συμφωνοῦν με τὴν τεκτονική της περιοχῆς, ἔχουν δηλ. ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση. Στὴν πρώτη περίπτωση, ή ἐστία τοῦ σεισμοῦ εἶχε μικρὸ βάθος καὶ τὰ σεισμικά κύματα, ἰδιαίτερα τὰ ἐπιφανειακά, ποὺ ἦταν ἔντονα καὶ σὲ μεγάλες ἐπικεντρικὲς ἀποστάσεις, λόγω της μικρότερης ἐξασθενήσεως ποὺ ὑφίστανται αὐτὰ ἀπ' ὅτι τὰ κύματα χώρου, ἐπηρεάσθησαν ἀπὸ τὴν τεκτονική της ἐπιφανείας. Κατὰ μήκος τῶν ἀκτῶν της Στερεᾶς, παρήχθησαν ἐπιφανειακά κύματα, ποὺ ἐξαπλώθησαν κατὰ τὴ διεύθυνση Α-Δ καὶ διεμόρφωσαν ἔτσι τὴ μορφή τῶν ἰσοσειστών τοῦ σεισμοῦ τούτου. Τουναντίον, ὁ σεισμός τοῦ 1909 εἶχε βαθύτερη ἐστία καὶ τὰ κύματα χώρου, ποὺ τώρα περνοῦν βαθύτερους ὀρίζοντας, μπόρεσαν νὰ φθάσουν μεγαλύτερες ἀποστάσεις, χωρὶς νὰ ἐξασθενήσουν<sup>1</sup>. Ἐτσι, ἀφοῦ τὰ σεισμικά κύματα δὲν ἐπηρεάσθησαν πολὺ ἀπὸ τὴν ἐπιφανειακὴ τεκτονική, ἀκολούθησαν τὴ ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση καὶ οἱ ισόσειστες παρουσιάζουν συμφωνία με τὴν τεκτονική.

Τὸ ἴδιο συνέβη καὶ κατὰ τοὺς σεισμοὺς της Κορίνθου (1928 καὶ 1931). Ὁ πρῶτος μετεδόθη ἐνκολώτερα κατὰ τὴ ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση, ἐνῶ ὁ δεύτερος κατὰ τὴν Α-Δ (9). Καὶ ἐδῶ βλέπει κανεὶς τὴν ἐπίδραση τοῦ βάθους της ἐστίας. Ὁ σεισμός τοῦ 1928, με ισόσειστες, ποὺ συμφωνοῦν πρὸς τὴν τεκτονική, εἶχεν ἐστία μεγαλύτερου βάθους ἀπὸ τὸ σεισμὸ τοῦ 1931. Ἐνα τρίτο παράδειγμα εἶναι ὁ σεισμός τοῦ Σαρωνικοῦ τῆς 17-4-1930. Οἱ ισόσειστες τοῦ σεισμοῦ τούτου δὲν συμφωνοῦν με τὴν τεκτονική της περιοχῆς. Ὁ ΚΡΗΤΙΚΟΣ (8) νομίζει, ὅτι ή μορφή τῶν ἰσοσειστών τοῦ σεισμοῦ αὐτοῦ θὰ μπορούσε νὰ αποτελέσει θέμα «ἰδίας μελέτης εἰς ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν τεκτονικὴν κατασκευὴν τῶν περιοχῶν, ποὺ ἐσεῖσθησαν ἀπὸ τὸν σεισμὸν αὐτόν». Ἐν τούτοις ή ἐξήγησις εἶναι ἀπλή. Λόγω τοῦ μικροῦ βάθους της σεισμικής ἐστίας, παρουσιάσθησαν ἐδῶ ἀνάλογα φαινόμενα με αὐτὰ τοῦ σεισμοῦ της Ναυπάκτου. 1917.

Καὶ στὶς τρεῖς περιπτώσεις, ποὺ ἀναφέραμε πρὸ πάνω, ἀσυμφωνίας μεταξύ διευθύνσεως τῶν ἰσοσειστών καὶ της τεκτονικῆς, ή ἐσωτερικὴ ισόσειστος, ή πλειόσειστος, διαφέρει τῶν ἄλλων καὶ ή μορφή της συμφωνεῖ με τὴν τεκτονική της περιοχῆς, παρουσιάζει δηλ. ΒΔ - ΝΑ ἐπιμήκυνση.

1. Τουναντίον, τὰ ἐπιφανειακά κύματα με αὐξανόμενο βάθος της σεισμικῆς ἐστίας ἀποκομίζουν μικρότερες πλάτες καὶ δὲν περνοῦν τὰ σημαντικὰ ὅρια.



Αυτό εξηγείται από το γεγονός, ότι στην κυρίως επικεντρική ζώνη δεν εμφανίζονται τὰ επιφανειακά κύματα, πού επηρεάζονται, όπως είδαμε, πάρα πολύ από την τεκτονική τῆς επιφανείας τοῦ γήινου φλοιοῦ καὶ ἀλλοιώνουν τὴ μορφή τῶν ἐξωτερικῶν ἰσοσειστών.

Ἐνα ἄλλο παράδειγμα ἐπιδράσεως τῆς τεκτονικῆς ἐπὶ τῆς διαδόσεως τῶν σεισμικῶν κυμάτων μᾶς παρέχει ἡ περιοχὴ τοῦ Ἰσθμοῦ τῆς Κορίνθου. Ὁ ΚΡΗΤΙΚΟΣ (8) ἀναφέρει, ὅτι ὁ Ἰσθμὸς τῆς Κορίνθου δὲν υπέστη καμμιὰ ζημίαν κατὰ τοὺς σεισμοὺς τῆς Κορίνθου (1928) καὶ τοῦ Σαρωνικοῦ (1930), παρὰ τὴ μικρὴ ἀπόσταση ἀπὸ τὰ ἐπίκεντρα τῶν δύο αὐτῶν σεισμῶν καὶ ὅτι ὁ Ἰσθμὸς αὐτὸς ἐξασθενεῖ τὴ σεισμικὴ κίνηση, ἀφοῦ κατὰ τὸ σεισμό τῆς Κορίνθου ἡ Ἰσθμία δὲν υπέστη καμμιὰ βλάβη καὶ ἡ Κόρινθος ἐσείσθη μέτρια κατὰ τὸ σεισμό τοῦ Σαρωνικοῦ. Γιὰ τὴν ἐξήγηση αὐτῶν ὁ ΚΡΗΤΙΚΟΣ δέχεται, ὅτι ἡ περιοχὴ τοῦ Ἰσθμοῦ ἀποτελεῖ ἓνα οὐδέτερο ἐνδιάμεσο τμήμα μεταξὺ δύο τεμαχῶν τοῦ φλοιοῦ, βυθισμένων κατ' ἀντιθέτους διευθύνσεις (τοῦ Κορινθιακοῦ καὶ Σαρωνικοῦ). Πιὸ κάτω γράφει, ὅτι τὸ τμήμα αὐτὸ «ἐδράζεται ἐπὶ μεσοζωϊκῶν στρωμάτων καί, ὡς φαίνεται, ἐκτείνεται ἀρκούντως ἐκατέρωθεν πρὸς τὴν Πελοπόννησον καὶ τὴν Στερεάν. Τοῦτο σείεται μὲν καὶ μεταβιβάζει περαιτέρω τὴν κίνησιν κατὰ τοὺς ἐκατέρωθεν συμβαίνοντας ἐκάστοτε σεισμοὺς ἐκ περιτροπῆς εἰς τὰ ρήγματα τοῦ Κορινθιακοῦ καὶ Σαρωνικοῦ, ἀλλ' ὡς ἐνιαῖον καὶ ἀνεξάρτητον σύνολον καὶ χωρὶς νὰ ἐμφανίζει ἰδίᾳ ἀποτόμους κατακορύφους κινήσεις». Ἡ ἐξήγηση τοῦ φαινομένου αὐτοῦ εἶναι ἐντούτοις ἀπλή. Ὁ Ἰσθμὸς τῆς Κορίνθου ἀποτελεῖ ἀμφίπλευρὴ κλιμακωτὴ ἐγκατακρήμνιση, ὅπου τὸ κεντρικὸ καὶ ὑψηλότερο τμήμα (Horst) ἀποτελεῖται ἀπὸ νεογενῆ πετρώματα, πού ἔχουν ἐπικαθῆσαι ἀπ' εὐθείας πάνω σὲ μεσοζωϊκοὺς ἀβεστολίθους, ἐνῶ τὰ χαμηλότερα ἀπὸ ἀλλουβιακὰ στρώματα καὶ σὲ συνέχειαν ἔρχεται ἡ θάλασσα. Ἐτσι ὁ Ἰσθμὸς θὰ ἀποτελεῖ φράγμα γιὰ τὰ κύματα σεισμῶν, μὲ ἐπίκεντρα στὸν Κορινθιακὸ ἢ Σαρωνικὸ κόλπο. Δὲν πρόκειται ὁμως γιὰ ἰσχυρὸ φράγμα λόγῳ τῆς μικρῆς διαφορᾶς στὶς φυσικὰς ιδιότητες τῶν πετρωμάτων αὐτῶν καὶ τῶν μικρῶν τούτων διαστάσεων.

Συμφωνία μεταξὺ μορφῆς ἰσοσειστών καὶ τεκτονικῆς παρατηρεῖται στοὺς σεισμοὺς Μεσσηνίας. Οἱ ἰσόσειστες π.χ. τοῦ σειсмоῦ τῆς 27-8-1886 παρουσιάζουν μιὰ ἐπιμήκυνση κατὰ ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση (4) ἐνῶ πρὸς ἀνατολὰς, κάθετα δηλ. στὴ διεύθυνση τοῦ πτυχωσιγενοῦς συστήματος τῆς Δυτ. Ἑλλάδος, ἡ διάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας δὲν ἔγινε μὲ τὴν ἴδια εὐκολία, ἀλλὰ καὶ δὲν ἐμποδίστηκε ἀρκετὰ λόγῳ τοῦ μεγάλου βάθους τῆς σεισμικῆς ἐστίας. Ὁ σεισμός τῆς 29-1-1889, μὲ γειτονικὸ ἐπίκεντρο, ἀλλὰ πάνω στὴν Πελοπόννησο, παρουσιάζει διαφορετικὴ εἰκόνα ἰσοσειστών (5). Ἐδῶ ἡ διάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας εὐνοήθηκε πρὸς ἀνατολὰς περισσότερο ἀπ' ὅ,τι στὸν προηγούμενο σεισμό, ὅπου ἡ ἐστία ἔκειτο στὸ Ἰόνιο πέλαγος, δηλ. πρὸς τὴν πλευρὰ τῶν καταβυθισμένων τμημάτων. Ἀλλὰ καὶ στὴν περίπτωσιν τῶν σεισμῶν τῆς Μεσσηνιακῆς λεκάνης παρατηρεῖται μὲ



εὐνοϊκὴ διάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας πρὸς ἀνατολάς. Ὁ σεισμὸς π. χ. τῆς 28-3-1885 ἦταν περισσότερο αἰσθητὸς στὴ λεκάνη τοῦ Εὐρώτα, παρὰ στὴ Δυτικὴ καὶ Νότιο Μεσσηνίᾳ (3). Ἐδῶ φαίνεται, ὅτι ἡ δυτικὰ τοῦ Εὐρώτα μετάπτωση δὲν ἐμπόδισε τὴν προέλαση τῶν σεισμικῶν κυμάτων, ποὺ ἔρχονται ἀπὸ ἀρχαιότερα πετρώματα σὲ νεώτερα, δηλ. σὲ σώματα λιγώτερο ἐλαστικά. Τουναντίον ἡ μετάπτωση, ποὺ ὑπάρχει δυτικὰ τῆς Μεσσηνιακῆς λεκάνης ἐμπόδισε τὴ μετάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας πρὸς τὰ δυτικὰ, γιατί, στὴν περίπτωσιν αὐτῇ, τὰ σεισμικὰ κύματα ἔρχονται ἀπὸ τὰ νεογενῆ στὰ μεσοζωϊκά, δηλ. σὲ πιὸ ἐλαστικά σώματα. Ἀπ' αὐτὰ μπορεῖ κανεὶς νὰ συμπεράνει, ὅτι ἡ ἐστία τοῦ σειμοῦ τούτου πρέπει νὰ συνδέεται μὲ τὴ ΒΒΔ μετάπτωση τῆς Ἀνατολικῆς Μεσσηνίας, χάρις στὴν ὁποία τὸ νεογενὲς εἶναι σὲ ἐπαρῇ μὲ τὸν κρητιδικό-ἠώκαινο ἀσβεστόλιθο τῆς ὑποζώνης Τριπόλεως. Ἐτσι μονάχα ἐξηγεῖται γιατί οἱ ἀσβεστόλιθοι Τριπόλεως δὲν ἐμπόδισαν τὴ μετάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας πρὸς τὰ ἀνατολικά. Ἐνδιαφέρουσα ἀπ' αὐτὴ τὴν ἄποψιν εἶναι καὶ ἡ περίπτωση τοῦ σειμοῦ τῆς 6-1947 μὲ ἐστία μέσα στὴν τάφρον τοῦ Μεσσηνιακοῦ κόλπου (6).

Οἱ σειμοὶ τῆς Μεσσηνίας μεταδίδονται, ὅπως ἀναφέρει ὁ ΓΑΛΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ (2, σ. 106), στὴν Ἡλιδα μέχρι Κατακόλου-Πύργου, καὶ Ὀλυμπία μὲ ἔνταση VIII-IX τῆς κλίμακος MERCALLI-SIEBERG. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι οἱ μεταπτώσεις τῆς περιοχῆς αὐτῆς, μὲ διεύθυνση Α-Δ, δὲν ἐμποδίζουν ἀρκετὰ τὴ μετάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας πρὸς βορρᾶ. Τοῦτο ὀφείλεται στὸ γεγονὸς, ὅτι οἱ μεταπτώσεις αὐτὲς εἶναι μέσα στὸ νεογενὲς καὶ δὲν ἐκτείνονται σὲ βάθος. Ἐτσι δὲν μποροῦν νὰ ἐπιφέρουν σοβαρὴ ἑξασθένηση στὰ σεισμικὰ κύματα. Γιὰ τὸν ἴδιον λόγον δὲν μποροῦν νὰ ἐμποδίσουν καὶ τὴ σεισμικὴ ἐνέργεια, ποὺ πηγαίνει ἐκεῖ ἀπὸ τὴ Στερεὰ Ἑλλάδα καὶ Ἰονίους Νήσους.

Οἱ παραλιακὲς περιοχὲς τοῦ Πατραϊκοῦ, Κορινθιακοῦ καὶ Μεσσηνιακοῦ κόλπου, ποὺ ἀποτελοῦνται ἀπὸ τεταρτογενῆ ἢ τριτογενῆ ἐδάφη, ὑποφέρουν πολλὰ κατὰ τοὺς σεισμοὺς μὲ ἐπικέντρα στοὺς κόλπους αὐτοὺς ὄχι μόνο γιατί ἔχουν κτισθεῖ σὲ χαλαρὰ ἐδάφη μὲ μικρὸ πάχος, ἀλλὰ καὶ γιὰ τὸ λόγο, ὅτι τὰ σεισμικὰ κύματα προσβάλλουν πρῶτα αὐτὰ καὶ ἔπειτα τὰ παλαιότερα συμπαγῆ ἰζήματα (περίπτωση, ὅπου τὰ χαλαρὰ ἰζήματα βρίσκονται μπροστὰ στὸ γεωλογικὸ φράγμα). Τὸ ἴδιο συμβαίνει στὶς παραλιακὲς περιοχὲς τῆς Πελοποννήσου καὶ Στερεᾶς, ὅταν τὰ ἐπικέντρα τῶν σεισμῶν βρίσκονται στὸ Ἰόνιο Πέλαγος.

Ἀπὸ ὅλα αὐτὰ βλέπουμε, ὅτι τὰ σεισμικὰ φαινόμενα, ποὺ παρατηροῦνται στὴν Ἑλλάδα, μποροῦν νὰ ἐρμηνευθοῦν μὲ τὰ γνωστὰ γεωλογικὰ στοιχεῖα, ἂν ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν καὶ οἱ ἄλλοι παράγοντες, ποὺ ἐπηρεάζουν τὴ μετάδοση τῆς σεισμικῆς ἐνεργείας. Ἀντίστροφα, ἡ μελέτη τῶν σεισμικῶν φαινομένων θὰ μποροῦσε νὰ συμβάλει στὴν ἐπίλυση πολλῶν γεωλογικῶν καὶ σεισμοτεχνικῶν προβλημάτων. Αὐτὸ ὅμως στὴν Ἑλλάδα δὲν εἶναι καὶ τόσο ἐύκολο, γιατί στὴ σεισμολογικὴ ἔρευνα ἐφαρμόζεται μονάχα ἡ μα-



κροσεισμική μέθοδος κ' ή ύπαρξη ενός σεισμολογικοῦ σταθμοῦ πολὺ λίγο ὠφελεί. Θὰ πρέπει λοιπὸν πρῶτα νὰ ἐξασφαλισθῇ ἡ ἀκρίβεια τῶν μακροσεισμικῶν παρατηρήσεων καὶ κατόπιν νὰ δοθῇ ἡ σωστή τους ἐρμηνεία. Τὸ θέμα αὐτὸ πραγματεύεται μιὰ ἄλλη μελέτη μας.

## R É S U M É

Au point de vue physique, l'absorption de l'énergie des ondes sismiques, produits par une faille, dépend de la différence lithologique des deux compartiments de la faille. Si  $v_1$  et  $v_2$ , étant des vitesses de propagation dans les milieux 1 et 2 et si  $\frac{v_2}{v_1} \sin i > 1$  (1), les ondes sismiques ne peuvent passer du milieu 1 dans le milieu 2; elles subissent une reflexion totale, une partie de l'énergie sismique se propageant le long de la faille sous forme d'ondes superficielles. Si  $v_2$  est plus grand que  $v_1$ , il est possible d'avoir  $t_{v_2} > l_{v_1}$ , où  $l_{v_1}$  est la vitesse de propagation de l'onde longitudinale incidente et  $t_{v_2}$  la vitesse de propagation de l'onde transversale réfractée. La réflexion totale des ondes sismiques sera dans ce cas plus complète. Notre attention sera attirée alors par les failles, où des roches très différentes au point de vue physique viennent en contact les unes avec les autres. Les ondes provenant d'un compartiment effondré sont fortement amorties par le compartiment élevé par rapport au premier. C'est souvent le cas dans le second compartiment, où  $v_2 > v_1$ . Par contre, lorsque le foyer sismique se trouve du côté du compartiment élevé les ondes sismiques, passant du milieu 2 dans le milieu 1, seront faiblement absorbées. D'après la formule (1), l'absorption (amortissement) de la faille est plus forte si le foyer sismique en est plus rapproché parce que dans ce cas l'angle d'incidence est plus grande.

En général, on peut dire que l'amortissement de l'énergie sismique, transportée par les ondes superficielles, amortissement produit par une faille, comme par un massif de couches compactes, est plus fort quand les dimensions de leur surface faisant face au foyer sismique sont plus grandes. Dans ce cas, la longueur d'onde des ondes sismiques est plus courte comparée aux dimensions des massifs considérés et, par conséquent, les phénomènes de diffraction ne peuvent pas se produire. C'est une des raisons pour lesquelles l'absorption de l'énergie sismique, produite par un massif, qui se compose de couches plissées, est plus grande perpendiculairement à la direction des couches; les couches stratifiées sont plus étendues dans ce sens. Quand le foyer sismique s'éloigne de la faille ou du massif, la longueur d'onde des ondes sismiques qui rencontrent la



faille augmente et l'angle d'incidence diminue de sorte que l'absorption devient faible. Pour la même raison l'influence de la tectonique sur la propagation de l'énergie sismique est très faible dans le cas de foyers sismiques profonds.

Il découle de ce qui précède que la même faille ou le même massif géologique produisent un amortissement de l'énergie sismique qui dépend de la distance épacentrale, de l'azimuth de l'épicentre, de la profondeur du foyer sismique et des dimensions des massifs ou des failles. De manière analogue la même faille ne produit pas une absorption égale dans toutes ses parties. Ses parties présentent un amortissement de l'énergie sismique d'autant plus fort qu'elles sont plus éloignées de l'épicentre.

Il est intéressant d'étudier l'influence des «Graben» (fossés d'effondrement) sur la propagation de l'énergie sismique. L'absorption de l'énergie sismique, produite par un «Graben», ne dépend pas de la place du foyer sismique par rapport à l'un ou l'autre côté de la faille, mais seulement de sa distance épacentrale et des autres facteurs, mentionnés ci-dessus dans le cas des failles. On sait que la Grèce souffre très rarement de tremblements de terre dont l'épicentre se trouve en Italie ou en Asie Mineure. Cela s'explique par le fait que la Mer Ionienne et la Mer Egée sont des fosses d'effondrement. C'est à cause de cette tectonique que seuls les séismes profonds de la région ionienne sont ressentis en Asie Mineure.

Contrairement à l'opinion de certains auteurs, nous admettons que la distribution géographique de l'action sismique ne peut pas rester la même dans une région donnée quand les foyers sismiques sont différents. Egalement dans le cas, où deux séismes présentent le même épicentre, la forme des isoséistes ne doit pas être la même. Pourtant les sismogrammes d'une station peuvent être pareils pour les tremblements de terre différents dans la même région, et ce parce que la plus grande partie du sismogramme (ondes superficielles) est déterminée par les ondes propres du sous-sol qui restent les mêmes.

En Grèce, où à cause de dislocations fortes les couches néogènes sont placées entre les couches secondaires ou plus anciennes encore, la propagation de l'énergie sismique dépend de la tectonique supérieure de l'écorce terrestre. La distribution géographique de l'activité sismique de quelques tremblements de terre de ce pays s'explique ici par la situation spéciale des foyers sismiques par rapport à certaines failles. Les isoséistes du séisme de Naupacte (1917) ne sont pas en concordance avec la tectonique, tandis que celles du séisme d'Aegion (1909), avec un épicentre voisin du premier, sont en concordance avec la tectonique. Ceci s'explique par le fait que le



foyer sismique du premier séisme est moins profond que celui du deuxième séisme. Les ondes sismiques et spécialement les ondes superficielles, qui se font sentir plus loin que les ondes longitudinales et transversales par suite de l'absorption plus grande de ces derniers, subissent l'influence de la tectonique de la surface de l'écorce terrestre. De même, le long des côtes de la Grèce continentale se produisent des ondes superficielles qui se propagent dans cette direction et donnent l'aspect principal des couches isoséistes. On voit le rôle de la profondeur du foyer sismique sur la propagation de l'énergie sismique dans le cas des séismes de Corinthe de 1928 et de 1931. Le second séisme, avec un foyer moins profond, a donné des isoséistes qui ne sont pas en concordance avec la tectonique au contraire du premier séisme. Également le séisme du golfe Saronique avec un foyer peu profond, a donné des isoséistes différentes à celles qu'on attendait de la tectonique. Dans ces trois cas, où l'on a noté une discordance entre la forme des isoséistes et celle de la tectonique, on peut voir que l'isoséiste interne, ou pleisoséiste, est différente des autres; elle est en concordance avec la tectonique. Cela s'explique par le fait que dans la région épiscopentrale les ondes superficielles, qui sont influencées par la tectonique de surface ne se produisent pas; donc elle est en accord avec la tectonique du fond.

Un autre exemple de l'influence de la tectonique sur la propagation de l'énergie sismique est fourni par la région du Canal de Corinthe. CRITIKOS note que cette région est presque stable pendant les tremblements de terre de Corinthe et du golfe Saronique. Au point de vue tectonique, cette région est un «Horst», avec les couches néogènes au centre reposant directement sur les calcaires mésozoïques. À côté de ces couches on voit des couches alluviales et, plus loin, la mer. Ainsi l'Isthme de Corinthe est un écran géologique pour les ondes sismiques qui viennent du golfe de Corinthe et du golfe Saronique.

Une concordance frappante entre la forme des isoséistes et de la tectonique se présente dans les tremblements de terre de la Messénie des années 1886, 1889 et 1885. Dans le cas du deuxième tremblement de terre, la propagation de l'énergie a été favorisée un peu vers l'est parce que l'épicentre est situé dans le continent et non pas dans la Mer Ionienne, comme dans le cas du premier séisme. Dans le cas du troisième séisme on voit que l'influence des failles locales sur la propagation de l'énergie sismique dépend de la situation du foyer sismique. La faille située à l'ouest d'Eurotas n'empêche pas la propagation des ondes sismiques provenant de la Messénie, parce qu'elles viennent des couches mésozoïques vers les couches néogènes



qui, ici, comme souvent, sont moins compactes que les premières. Par contre, une faille située à l'ouest de la plaine messénienne empêche la propagation des ondes sismiques vers l'ouest, parce que, dans ce cas, les ondes viennent des couches néogènes vers les couches mésozoïques.

Les failles de l'Elide Méridionale n'empêchent pas la propagation de l'énergie des tremblements de terre de Messénie vers le nord parce qu'elles sont formées dans la formation néogène elle-même.

Les régions littorales de la Grèce Occidentale souffrent beaucoup de tremblements de terre, dont les épicentres se trouvent dans la Mer Ionienne. C'est le cas des ondes sismiques qui atteignent d'abord les couches quaternaires et pliocènes, puis les couches paléogènes et secondaires, en y subissant une réflexion totale. C'est l'addition de ces ondes réfléchies sur les nouvelles ondes incidentes qui fait qu'ici les secousses soient ressenties plus fortement.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ, Α. — Σεισμικότης τῆς Ἀχαΐας καὶ τῶν γειτονικῶν ταύτης περι-  
σχῶν Μεσολογγίου καὶ Ναυπάκτου. *Διδασκ. Διατριβή*. Ἀθῆ-  
ναι, 1937.
2. GALANOPOULOS, A. — Die Seismizität von Elis, Gerlands Beiträge z. Geo-  
physik. Bd. 56, Heft I, p. 92. 1940.
3. » — Das Schadenbeben Messeniens vom 28 März 1885.  
*Praktika de l'Acad. d'Athènes*, 4, p. 469. 1940.
4. » — Das Riesenbeben der messenischen Küste vom 27 Au-  
gust 1836. Ebenda XVI, p. 120. 1941.
5. » — Das Erdbeben von Messenien vom 22 Januar 1899.  
Ebenda XVI, p. 127. 1941.
6. » — The Koroni (Messinia) earthquake of October 6, 1947.  
*Bull. Seism. Soc. Amer.* (39) 1949.
7. IMAMURA, A. — Practical and Theoretical Seismology. Tokyo, 1937.
8. ΚΡΗΤΙΚΟΥ, Ν. — Ἡ νέα ἔντονος σεισμικὴ δραστηριότης ἐν τῇ ἀνατολικῇ Ἑλλάδι  
καὶ τῇ Κρητικῇ πελάγει καὶ ὁ σεισμός τοῦ Σαρανικοῦ κόλ-  
που τῆς 17 Ἀπριλίου 1930. *Πρακτικὰ Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*,  
σελ. 166. 1933.
9. CRITIKOS, N. — La nouvelle recrudescence de l'activité sismique dans  
la région de Corinthe et le tremblement de terre du  
4 Janvier 1931. *Prak. de l'Acad. d'Athènes*, p. 29. 1931.
10. » — Rapport sur la sismicité de l'Attique. *Union Géol. et  
Géophysique Intern. Ass. de séism.* Washington, 1939.
11. ISHIMOTO, M. — Sur le mécanisme de la production des ondes sismi-  
ques. *Bull. Earth. Res.* VI, p. 127. Tokyo.
12. REICH, H. — Versuch einer Anwendung der Seismometrie auf die  
Geologie. *Jahrb. Preuss. Geolog. Landesanstalt*, Bd. XLII  
Heft 2, p. 697. Berlin, 1923.
13. » — Über die elastischen Eigenschaften von Gesteinen und



- damit zusammenhängende geologische Fragen. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*. Bd. XVII, S. 113. 1927.
14. SIEBERG, A. — Handbuch der Geophysik. Bd. IV (2): Berlin, 1930.
15. » — Versuch und Erfahrung über Entstehung, Verhütung und Beseitigung von Erdbebenschäden (Veröffentl. Reichsamt für Erdbebenforschung, Jena, Heft 39). Berlin, 1941.
16. » — Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeergebiet. Jena, 1932.
17. SCHMIDT, J. — Studien über Vulkane und Erdbeben. Leipzig, 1831.
18. ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΥ, Ι. — Συμβολή εις τὴν διερεῦνησιν τῆς τεκτονικῆς δομῆς τῆς Ἑλλάδος. Περὶ ὑπαρχούσης ἀμοιβαίας σχέσεως μεταξὺ τῆς τεκτονικῆς δομῆς καὶ τῶν σεισμῶν τῆς Ἑλλάδος. *Πρακτικὰ Ἀκαδ. Ἀθηνῶν*, σελ. 360. 1945.
19. WONG WEN HAO. — L'influence sismologique de certaines structures géologiques de la Chine, *Congrès Géol. Intern.* 13 (1922).

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.