

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
(Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ)

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ (ΦΡΑΓΜΑΤΑ) ΩΣ ΠΑΡΑΓΩΝ  
ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ  
ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία των φοιτητών:

- Ντούρο Ελιάν – Α.Μ. : 25954
- Χατζηστεφάνου Σταύρο –Α.Μ. : 23221

Υπό την εποπτεία της καθηγήτριας:  
κας Βαρελίδου Καλλιόπης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.</b>	
Τα φράγματα ως πηγή εξηλεκτισμού .....	5
1.1. Φράγματα – φραγμοί .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.</b>	
Σύντομη ιστορική ανασκόπηση .....	9
2.1. Υδροηλεκτρικά έργα .....	11
2.2. Σκοπός κατασκευής φραγμάτων- ταξινόμηση αυτών .....	12
2.2.1. Ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν .....	12
2.2.2. Ανάλογα με τον σκοπό εκμετάλλευσης .....	12
2.2.3. Ανάλογα με το ύψος .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.</b>	
Επίδραση των Υ/Η έργων στην αισθητική του φυσικού τοπίου .....	14
3.1. Τα φράγματα .....	14
3.1.1. Φράγματα από σκυρόδεμα .....	14
3.1.2. Χωμάτινα φράγματα .....	15
3.2. Τεχνητές λίμνες .....	16
3.3. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί – σήραγγες .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.</b>	
Θεωρητική λειτουργία πρόκλησης σεισμών .....	19
4.1. Αριστοτέλης (384 π.Χ – 323 π.Χ.) .....	19
4.2. Σεισμοί – Αριστοτέλειος θεωρία .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.</b>	
Γεωγραφία των σεισμών στην Ελλάδα .....	29
5.1. Τα αίτια των σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές .....	29
5.2. Οι τύποι των σεισμών .....	33
5.3. Άλλες πηγές σεισμικών δονήσεων .....	39
5.4. Παραδείγματα ελλαδικού χώρου .....	44
5.4.1. Επίδραση της φόρτωσης των τεχνητών λιμνών στη σεισμικότητα .....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.</b>	
Ο ρόλος του νερού στη γένεση των σεισμών και των ηφαιστειακών εκρήξεων .....	47
6.1. Γενικά .....	47
6.1.1. Κατακρημνίσματα και σεισμοί .....	54
6.1.2. Νησιώτικα τόξα, ωκεάνιες τάφροι και εκρήξεις – σεισμοί .....	61
6.2. Διέγερση σεισμών από νερό .....	77
6.2.1. Η επίδραση του νερού στα πετρώματα κάτω από την επιφάνεια της Γης .....	77
6.2.2. Σεισμοί και ασφάλεια φραγμάτων .....	81
6.3. Παραδείγματα Εξωτερικού .....	87

6.3.1. Ο σεισμός στην Όροβιλ της Καλιφόρνιας το 1975 .....	87
6.3.2. Σεισμικότητα που προκλήθηκε από την δημιουργία της τεχνητής λίμνης Νάσερ στον ποταμό Νείλο .....	92
6.4. Οι σεισμοί στη Σελήνη .....	96

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.

Συμπεράσματα .....	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 (Τεχνικά Χρονικά) .....	103
1.1. Η πλήρωση τεχνητών λιμνών (φραγμάτων) και η συμπαρομαρτούσα σεισμική δράσις .....	104
1.2. Διέγερσις σεισμικής δράσεως υπό τεχνητών λιμνών (φραγμάτων) και προτάσεις των Διεθνών Επιστημονικών Ενώσεων .....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 (Φωτογραφίες) .....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	127
Έντυπη .....	127
Ηλεκτρονική .....	130



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή με θέμα : «ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ (ΦΡΑΓΜΑΤΑ) ΩΣ ΠΑΡΑΓΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ» πραγματοποιήθηκε από τους φοιτητές του τμήματος Π.Δ.Ε. ΝΤΟΥΡΟ ΕΛΤΙΑΝ και ΧΑΤΖΗΣΤΕΦΑΝΟΥ ΣΤΑΥΡΟ, ύστερα από έρευνα για την συγκέντρωση όλων των σχετικών πληροφοριών και πάντα σε συνεργασία με την καθηγήτρια μας κα ΒΑΡΕΛΙΔΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ την οποία και ευχαριστούμε θερμά.

Παρακάτω παραθέτουμε τις σχετικές αναφορές από βιβλία αξιόλογων Ελλήνων αλλά και ξένων συγγραφέων – επιστημόνων, που μέσα από έρευνες μετρήσεις, πειράματα, καταγραφές, αλλά και προσωπικές εμπειρίες, εξάγουν αποτελέσματα – συμπεράσματα για το μηχανισμό με τον οποίο η μισή μερίδα του λέοντος υποστηρίζει ότι οι τεχνητές λίμνες - φράγματα όντως προκαλούν σεισμούς, ενώ η άλλη μερίδα ακριβώς το αντίθετο.

Σκοπός μας είναι να εμβαθύνουμε στο σοβαρό θέμα δημιουργίας φραγμάτων για εξηλεκτρισμό και πως λειτουργούν θεωρητικά και πρακτικά (ενδεχομένως) ώστε να προκαλούν σεισμό. Αυτό το πετυχαίνουμε ύστερα από την έρευνα που κάναμε και για το λόγο αυτό συγκεντρώσαμε το υλικό που σας παραθέτουμε παρακάτω, ως μια μικρή συμμετοχή για να δοθούν οι απαραίτητες προωθήσεις περαιτέρω έρευνας του μηχανισμού του φαινομένου.

*Σας ευχαριστούμε θερμά.*



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΩΣ ΠΗΓΗ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Όπως όλοι γνωρίζουμε κύρια δύναμη στον χώρο της παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μετρώντας πενήντα τέσσερα (54) χρόνια, από την ίδρυσή της, είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Ιδρύθηκε τον Αύγουστο 1950 με τον ιδρυτικό νόμο Ν1468/50 που προέβλεπε τη λειτουργία της με ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια και όριζε ως κύρια αποστολή της την παραγωγή και μεταφορά ενέργειας σε ολόκληρη την Ελλάδα με τη χαμηλότερη δυνατή τιμή.

Στα χρόνια που ακολούθησαν έγιναν τεράστια έργα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής σε ολόκληρη τη χώρα και επετεύχθη ο εξηλεκτρισμός της Ελλάδας. Στη συνέχεια θα δούμε στοιχεία από πηγές της ΔΕΗ που αφορούν το θέμα μας και την θέση που καταλαμβάνουν τα φράγματα στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας μας.

Η ΔΕΗ κινείται πολύ δυναμικά και με γοργά βήματα προς την εντατικότερη εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων της χώρας. Τα υδροηλεκτρικά έργα της, πέρα από το ότι συνεισφέρουν το 6% περίπου της συνολικής ενέργειας, επιτελούν και ένα σημαντικό κοινωνικό έργο.



Συγκεκριμένα, τα φράγματα της ΔΕΗ συγκρατούν τα νερά των ποταμών και δημιουργούν τεράστιους ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες) που με τα αποθέματά τους αρδεύονται εκατομμύρια στρέμματα γεωργικών εκτάσεων και υδροδοτούνται πόλεις και χωριά. Επιπλέον, τα φράγματα έχουν συνεισφέρει στην αξιοποίηση των περιοχών, δημιουργώντας λίμνες και υδροβιότοπους απaráμιλλης ομορφιάς που έχουν αξιοποιηθεί ως τόποι αναψυχής, τουριστικής εκμετάλλευσης και ανάπτυξης δραστηριοτήτων όπως ιχθυοκαλλιέργειες, ψάρεμα, θαλάσσια σπορ κ.λ.π.

Τα φράγματα της ΔΕΗ δημιουργούν τεράστιους ταμιευτήρες νερού ( τεχνητές λίμνες ) και με τα αποθέματά τους αρδεύονται εκατομμύρια γεωργικών εκτάσεων στις πεδινές περιοχές της ηπειρωτικής χώρας.

- Πεδινές εκτάσεις της Πρέβεζας και της Άρτας αρδεύονται απ' το φράγμα του ποταμού Λούρου που κατασκευάστηκε το 1954.
- Η πεδιάδα της Δ. Αρκαδίας απ' το φράγμα του Λάδωνα (1955 ) στη Γορτυνία.

- Της Έδεσσας απ' τα φράγματα του Άγρα και Εδεσσαίου (1954 και 1969 αντίστοιχα).
- Της Καρδίτσας και της Λάρισας απ' το φράγμα του Πλαστήρα ( 1962 ) στον Ταυρωπό.
- Η εύφορη πεδιάδα του νομού Αιτωλοακαρνανίας απ' τα φράγματα του ποταμού Αχελώου στα Κρεμαστά (1969 ) στο Καστράκι ( 1969) και στο Στράτο (1989).
- Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις των νομών Ημαθίας, Πέλλης και Θεσσαλονίκης απ' τα νερά του ποταμού Αλιάκμονα μέσω των φραγμάτων Πολυφύτου (1975), Σφηκιάς (1985) και Ασωμάτων ( 1986).
- Ο κάμπος της Άρτας απ' το φράγμα του ποταμού Άραχθου στο Πουρνάρι (1981).
- Ο κάμπος της Χρυσοβίτσας απ' το φράγμα των Πηγών Αώου (1991).
- Μεγάλο μέρος των πεδιάδων στους νομούς Δράμας , Ξάνθης και Καβάλας απ' τα φράγματα του Νέστου στο Θησαυρό(1998) και στην Πλατανόβρυση (1999).

## 1.1.Φράγματα-φραγμοί

Τα φράγματα δίνουν το 19% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, ενώ 24 χώρες παίρνουν πάνω από το 90% της ενέργειάς τους από φράγματα. Εμπλέκονται στο 14% της παγκόσμιας παραγωγής τροφής, παρέχουν έλεγχο πλημμύρων σε 70 χώρες, ενώ τα μισά φράγματα του κόσμου είναι αρδευτικά.

Τα φράγματα έχουν λοιπόν οφέλη σε περισσότερες από 140 χώρες, έχουν όμως κοστίσει ακριβά σε ανθρώπινη δυστυχία και οικολογικές καταστροφές. Αν οι χρηματοδότες και οι κατασκευαστές των 45.000 μεγάλων φραγμάτων του κόσμου έκαναν καλύτερο προγραμματισμό, λιγότεροι άνθρωποι θα έφευγαν από τον τόπο τους, περισσότερες περιουσίες θα είχαν σωθεί και οι απώλειες σε ψάρια, πουλιά, εξαφανισθέντα είδη, βιότοπους και οικοσυστήματα θα ήταν μικρότερες.

Ο Achim Steiner, γενικός γραμματέας της Παγκόσμιας Επιτροπής για τα Φράγματα, είπε ότι η έλλειψη σωστού προγραμματισμού οδηγεί σε πολλά απρόβλεπτα κόστη, οικονομικά, πολιτικά και οικολογικά. Μια αναφορά της επιτροπής, που θεωρείται ένα σχετικά ανεξάρτητο σώμα με χρηματοδότηση και από την Παγκόσμια Τράπεζα, αποτελεί και την πρώτη απόφαση αξιολόγησης για τα φράγματα.

Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι για πολλά φράγματα η προεργασία δεν έγινε ποτέ! "Το πιο χτυπητό εύρημά μας ήταν η στρεβλή και συστηματική αποτυχία να λάβουν υπόψη τους όσο θα έπρεπε το κοινωνικό κόστος των φραγμάτων στις τοπικές κοινωνίες, τόσο για όσους ξεσπιτώθηκαν όσο και για όσους τοποθετήθηκαν πιο κάτω από τα φράγματα", είπε ο Steiner. Εκτιμάται ότι 40-80 εκατομμύρια άνθρωποι ξεσπιτώθηκαν από φράγματα. Πέρα από την ανθρώπινη τραγωδία, η 12μελής επιτροπή, που αποτελείται από εκπροσώπους της βιομηχανίας, διαχειριστών φραγμάτων, κυβερνήσεων και οικολογικών οργανώσεων, βρήκε πως πολλά φράγματα δε λειτουργούν σωστά, παρουσιάζουν υπερβάσεις κόστους και οδήγησαν σε ατυχήματα και την απώλεια πεδιάδων, δασών, αλιευτικών πεδίων και άγριας ζωής.

Η επιτροπή θέτει ότι τα φράγματα πρέπει να εγκρίνονται μόνο αν πληρούν κάποιες προδιαγραφές, οι οποίες και τίθενται στην αναφορά, με τη συνεκτίμηση των δικαιωμάτων και των κινδύνων όλων των ενδιαφερομένων μερών. Η αναφορά δικαιώνει τους επικριτές των μεγάλων φραγμάτων, που καλούν τους χρηματοδότες της βιομηχανίας φραγμάτων, κυρίως την Παγκόσμια Τράπεζα και με ετήσιους προϋπολογισμούς της τάξης των 42 δισεκ. δολαρίων, να πάψουν τις χρηματοδοτήσεις

ώσπου να εξασφαλιστεί η πλήρωση των επίμαχων κριτηρίων, ενώ κάνουν λόγο και για αποζημιώσεις για κοινωνικά και οικολογικά κόστη.

Αν υπήρχε σωστός προγραμματισμός, τα περισσότερα φράγματα δεν θα είχαν κατασκευαστεί. Το μέλλον των μεγάλων φραγμάτων δεν πρέπει να αποτελέσει προέκταση του παρελθόντος τους, όπως αυτό των Τριών Φαραγγιών στην Κίνα, τα φράγματα του ποταμού Ναρμάντα στην Ινδία, του Ιλισού στην Τουρκία, του San Roque στις Φιλιππίνες, του Bujagali στην Ουγκάντα, του Ralco στη Χιλή. "Θέλουμε να δώσουμε σε αυτούς που αποφασίζουν και στους πολίτες τα κριτήρια των επιλογών" εξήγησε ο Steiner, τόνισε ωστόσο ότι η αναφορά προσφέρει μόνο συστάσεις και η συμμόρφωση προς αυτές είναι ζήτημα των κυβερνήσεων, όπως και των πολιτών.

Δυστυχώς η ίδια αρνητική κατάσταση βρίσκει εφαρμογή και για φράγματα στον ελλαδικό χώρο. Οι οικολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις αντιμετωπίζονται από τους αποφασίζοντες ως εμπόδια, που "παρακάμπτονται" με Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που... βγάζουν μάτια. Μια από τις πιο τραγικές ίσως περιπτώσεις είναι η διαβόητη εκτροπή του άνω ρου του Αχελώου. Οι οικολογικές οργανώσεις πρωτοστάτησαν από την αρχή ώστε να καταδειχθεί ο οικολογικός και οικονομικός παραλογισμός, αφού η όλη περίπτωση αποτελούσε μια καθαρά πολιτική επιλογή για ένα έργο που από την αρχή δεν ήταν ούτε καν οικονομικά βιώσιμο. Είναι προφανές ότι το περιβάλλον θυσιάστηκε στο βωμό του... Άγιου Εργολάβου και κάποιων παρατρεχάμενων, που τσέπωσαν ό,τι πρόλαβαν και μην τους είδατε...

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα πρώτα φράγματα που κατασκεύασε η ΔΕΗ, ήταν του Λούρου το 1954, του Λάδωνα το 1955 και του Ταυρωπού το 1959. Και τα τρία ήταν από σκυρόδεμα, βαρύτητας του Λούρου, τοξωτό του Ταυρωπού και βαρύτητας μετά διακένων στοιχείων του Λάδωνα. (Μπορεί να χαρακτηριστεί και αντηριδωτό).

Τα φράγματα αυτά μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν από ξένες μελετητικές και κατασκευαστικές εταιρίες, με εξαίρεση το φράγμα Λούρου, όπου συμμετείχε από Ελληνικής πλευράς η εταιρία ΕΤΕΡ Α.Ε.

Έξι (6) χρόνια αργότερα, το 1965, με Αμερικάνικες πιστώσεις, κατασκευάστηκε το χωμάτινο φράγμα Κρεμαστών, ένα από τα μεγαλύτερα της Ευρώπης, που αποτέλεσε και την πρώτη καινοτομία της εποχής αυτής σχετικά με τον τύπο αυτού. Ήταν το πρώτο χωμάτινο φράγμα. Την μελέτη και κατασκευή πραγματοποίησαν οι, *Αμερικάνικες εταιρίες Engineering Consultant και Kaiser engineering and constructor*, αντίστοιχα. Το φράγμα αυτό αποτέλεσε την αρχή κατασκευής των μετέπειτα χωμάτινων ή λιθόρριπτων φραγμάτων.

Στην κατασκευή του φράγματος Κρεμαστών απασχολήθηκαν πολλοί Έλληνες μηχανικοί καθώς και εργατοτεχνικό προσωπικό, που απέκτησαν εμπειρίες και εξειδίκευση, με φυσικό επακόλουθο να χρησιμοποιηθούν από τη ΔΕΗ στις Μελέτες και Κατασκευές φραγμάτων που κατασκευάστηκαν στη συνέχεια.

Μετά το φράγμα Κρεμαστών κατασκευάστηκε το φράγμα Καστρακίου (1969), το οποίο παρουσίασε σημαντικό ενδιαφέρον, από την άποψη ότι ήταν το πρώτο φράγμα, που κατασκευάστηκε από Ελληνικές κατασκευαστικές εταιρίες (**ΟΛΩΝ - ΟΛΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ, ΔΟΜΙΚΗ, ΕΛΟΚ - ΕΤΕΡ Α.Ε.**).

Η Μελέτη πραγματοποιήθηκε από την Εταιρία Μελετών Ebasco Services Inc (U.S.A.) με ευρύτερη όμως συμμετοχή και Ελλήνων μηχανικών. Με την αποπεράτωση του φράγματος αυτού, τελείωσε και η εξάρτηση της ΔΕΗ από ξένες Μελετητικές και Κατασκευαστικές εταιρίες. Οι επόμενες κατασκευές φραγμάτων πέρασαν σε χέρια Ελληνικά.

Μετά το φράγμα Καστρακίου οι Ελληνικές εμπειρίες επικεντρώθηκαν στις Μελέτες και Κατασκευές χωμάτινων και λιθόρριπτων φραγμάτων. Κατασκευάστηκαν τα

φράγματα: Πολυφύτου το 1974, Πουρναριού το 1978, Σφηκιάς και Ασωμάτων το 1985, Στράτου το 1985, Π. Αώου το 1986, ενώ συνεχίζεται η κατασκευή των φραγμάτων θησαυρού στο ποταμό Νέστο και Μεσοχώρας Τρικάλων.

Από τα φράγματα αυτά καινοτομία παρουσιάζει το λιθόρριπτο φράγμα Μεσοχώρας, του οποίου το στεγανό στοιχείο αποτελεί ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα, η κατασκευή της οποίας απαιτεί ειδική τεχνική και εξειδικευμένο επιστημονικό και εργατοτεχνικό προσωπικό.

Η μεγάλη όμως αλλαγή στον τύπο φράγματος φαίνεται ότι αρχίζει στην Ελλάδα με την κατασκευή του φράγματος βαρύτητας, στην θέση Πλατανόβρυση του ποταμού Νέστου, με κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (R.C.C.).

Το μεγάλο πλεονέκτημα του φράγματος αυτού, είναι η χρησιμοποίηση ιπτάμενης τέφρας στην σύνθεση του σκυροδέματος. Η εξοικονόμηση της τέφρας αυτής θα γίνει από τα λιγνιτοφόρα πεδία της Πτολεμαΐδος και θα έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του κόστους κατασκευής του Έργου.

Η ανάθεση κατασκευής του φράγματος αυτού από την ΔΕΗ έγινε στην κοινοπραξία "**ΑΕΓΕΚ – HIDROGRANJIA – ASI - RCC**" με την υπογραφή της σύμβασης PLH-Z (1221801) στις 9.10.92, συμβατικού προϋπολογισμού σε τρέχουσες τιμές 12.471.888.450 δρχ.

Πέρα από τα φράγματα αυτά, η ΔΕΗ έχει προγραμματίσει την κατασκευή και άλλων σε διάφορες θέσεις, τα οποία βρίσκονται σε διάφορα στάδια μελέτης. Στην συνέχεια αναφέρονται τα φράγματα που έχουν κατασκευαστεί και οι κυριότερες θέσεις φραγμάτων που μελετώνται.

## 2.1. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

<u>ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ</u>	<u>ΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΡΕΥΝΗΘΕΙ ΣΕ ΣΤΑΔΙΟ ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ Η ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ</u>	
Λούρος Άγρας Λάδων Ν.Πλαστήρας Κρεμαστά Καστράκι Εδεσσαίος Πολύφυτο Πουρνάρι Ασώματα Σφηκιά Στράτος Πηγές Αώου	Στενό Καλαρίτικο Πιστιανά  Μινίνα Βροσίνα Σουλόπουλο Γλύζιανη  Αρματα Βωβούσα Ελεύθερο Αγία Βαρβάρα Πυρσόγιαννη Επταχώρι	(Άραχθος)   (Καλαμάς)   (Αώος)
<b><u>ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</u></b>	Νεστόριο Κορομηλιά Σπήλαιο Μετόχι  Τρίκωμο Περίστα Δενδροχώρι  Τρικεριώτης Μαρκόπουλο Βίνιανη Αυλάκι	(Αλιάκμων)   (Εύηνος)   (Αχελώος)
<b><u>ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΑ</u></b>	Είναι συνδεδεμένα με το έργο εκτροπής Αχελώου στην Θεσσαλία.	
Τέμενος Αρκουδόρεμα Πύλη Μουζάκι Μαυρομάτι		

## 2.2. Σκοπός της κατασκευής φραγμάτων. Ταξινόμηση αυτών

Η κατασκευή φραγμάτων έχει μεγάλη σημασία, αν ληφθούν υπόψη οι αυξημένες ανάγκες νερού για ύδρευση, άρδευση και μάλιστα σε χώρες Μεσογειακές όπως είναι η Ελλάδα.

Η σημασία γίνεται ακόμη μεγαλύτερη αν στις παραπάνω ανάγκες προστεθεί και εκείνη της υδροηλεκτρικής αξιοποίησης του νερού.

Γενικά η κατασκευή φραγμάτων έχει σκοπούς οικονομικούς, αναπτυξιακούς και κοινωνικούς.

Τα φράγματα μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως.

### 2.2.1. Ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν

- α. Σε φράγματα αποθήκευσης νερού
- β. " " εκτροπής : μόνιμης ή προσωρινής
- γ. " " ανάσχεσης
- δ. " " ρύθμισης

### 2.2.2. Ανάλογα με τον σκοπό εκμετάλλευσης:

α. Φράγματα απλής σκοπιμότητας

- Υδροηλεκτρικά
- Άρδευτικά
- Ύδρευτικά
- Αντιπλημμυρικά
- Ανασχετικά

β. Διπλής σκοπιμότητας

Συνδυασμός ανά 2 των προηγούμενων.

γ. Πολλαπλής σκοπιμότητας

Συνδυασμός ανά 3 ή περισσότερα των προηγούμενων.

### 2.2.3. Ανάλογα με το ύψος

- α. Χαμηλά με ύψος 6-30 m (Ο διαχωρισμός αυτός σε χαμηλά και ψηλά αμφισβητείται τελευταία).



β. Ψηλά " " > 30 m

Τα χαμηλά περιλαμβάνουν φράγματα ορεινής υδρονομίας του Υπ. Γεωργίας με σκοπό την προστασία των εδαφών από την διάβρωση, αλλά και τις λιμνοδεξαμενές για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς.

Τέτοια φράγματα έχει κατασκευάσει το Υπ. Γεωργίας στη Λήμνο, τη Χίο, την Ρόδο και τώρα κατασκευάζονται δύο στη Μύκονο στη θέση "Μαράθι" για την ύδρευση της πόλης και την Άνω Μερά.

Η ΔΕΗ χαμηλά φράγματα, με την ονομασία "μικρά υδροηλεκτρικά", έχει κατασκευάσει στα Ανώματα Βέροιας, τον Στράτο Αιτωλοακαρνανίας (Αχελώο) και κατασκευάζεται ήδη το Πουρνάρι II στον Άραχθο. Πολλά άλλα βρίσκονται σε διάφορα στάδια μελέτης. Τα φράγματα αυτά είναι ενεργειακά ή ρυθμιστικά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.**

### **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ Υ/Η ΕΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΤΟΠΙΟΥ**

Θα μπορούσε να δεχθεί κανείς ότι κάθε ανθρωπογενές κατασκεύασμα επηρεάζει την αισθητική του τοπίου σε βαθμό που εξαρτάται από την έκταση της κατασκευής, το είδος κατασκευής, τα υλικά αυτής και την οπτική αξία και ποιότητα του τοπίου.

Τα φράγματα ως μεγάλης κλίμακας εγκάρσια έργα αναρίθμησης της ροής των ποταμών καθώς και οι τεχνητές λίμνες που συνεπακόλουθα δημιουργούνται, θεωρούνται από τη φύση τους ως οι μεγαλύτερες ανθρώπινες επεμβάσεις, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν ριζικά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και συνεπώς τη φυσιογνωμία του τοπίου. Ο όγκος των φραγμάτων, η έκταση της λίμνης, οι αυστηρά γεωμετρικές γραμμές που χαρακτηρίζουν τα έργα αυτά, έρχονται σε πλήρη αντίθεση με την ελεύθερη γραμμική απλότητα του φυσικού τοπίου.

Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική περιγραφή της επίδρασης στο τοπίο κάθε οπτικού στοιχείου ενός ΥΗ Έργου (φράγμα, ταμιευτήρας, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κλπ.).

#### **3.1. Τα φράγματα**

Ο βαθμός αλλοίωσης του τοπίου από την κατασκευή ενός φράγματος εξαρτάται αφενός από τις διαστάσεις αυτού και των συναφών έργων που επηρεάζουν, το μέγεθος των επιφανειακών εκσκαφών και αφετέρου τα ιδιαίτερα φυσιογνωμικά χαρακτηριστικά του τοπίου μέσα στον οπτικό χώρο του οποίου κατασκευάζεται.

##### **3.1.1. Φράγματα από σκυρόδεμα**

Τα φράγματα αυτά με τα συναφή έργα λόγω του είδους των υλικών κατασκευής και των αυστηρά γεωμετρικών γραμμών που το συνθέτουν, κάνουν έντονα αισθητή την επέμβαση του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον. Από τις τρεις κατηγορίες των φραγμάτων από σκυρόδεμα κάθε μια παρουσιάζει και ορισμένες ιδιαιτερότητες αισθητικής στο τοπίο.

### ***α. Τοξωτά φράγματα***

Η ορατή όψη των φραγμάτων αυτών αποτελεί ένα πολύ αξιόλογο και επιβλητικό οπτικό στοιχείο του τοπίου, επειδή ορθώνεται ως μια κατακόρυφη καμπύλη (απλή, διπλή ή πολλαπλή) με λεία επιφάνεια και κατακόρυφο άξονα, η οποία δημιουργεί μια ευχάριστη έντονη αντίθεση με την άγρια φυσιογνωμία των απότομων ορεινών όγκων, τους οποίους γεφυρώνει. Τα τοξωτά φράγματα θεωρούνται ως τα πλέον κομψά και λιτά.

### ***β. Φράγματα βαρύτητας***

Ως οπτικό στοιχείο, τα φράγματα αυτά με μια τεράστια κεκλιμένη επιφάνεια, προσδίδουν μια ήρεμη μεγαλοπρέπεια μέσα στο τοπίο στο οποίο και συνήθως κυριαρχούν.

### ***γ. Αντηριδωτά φράγματα***

Η ορατή τους όψη εμφανίζεται εντονότατα ανάγλυφη λόγω των διακένων που υπάρχουν στο σώμα τους και τα οποία εναλλάσσονται διαδοχικά με τις αντηρίδες στήριξης του φράγματος. Αντηριδωτά φράγματα συνήθως κατασκευάζονται σε κοίτες ποταμών μεγάλου εύρους, έχουν χαμηλό ύψος και μάλιστα όταν ο όγκος των διακένων του σώματος τους βρίσκεται σε αρμονική συσχέτιση με τις διαστάσεις των εκλεπτυσμένων αντηρίδων του φράγματος, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για μια ιδιαίτερα ευχάριστη αντίθεση του τεχνικού έργου με την γύρω περιβαλλοντική αισθητική.

## **3.1.2. Χωμάτινα φράγματα**

Τα φράγματα αυτά λόγω του είδους του υλικού κατασκευής, ιδιαίτερα των βραχωδών τεμαχίων αντιδιαβρωτικής προστασίας των πρανών της ορατής πλευράς, εναρμονίζονται καλύτερα με τους γύρω ορεινούς όγκους σε σχέση με τα φράγματα από σκυρόδεμα.

Η όλη οπτική αίσθηση που δημιουργεί ένα χωμάτινο φράγμα, είναι εκείνη που κάνει αποδεκτή την ένταξη και προσαρμογή του συνόλου του έργου στο ευρύτερο τοπίο και αυτό ανεξάρτητα από το ύψος και τον όγκο του φράγματος.

### 3.2. Τεχνητές λίμνες

Με την κατάκλυση, τόσο της κοίτης του ποταμού, όσο και των παραποτάμιων περιοχών από τα νερά της τεχνητής λίμνης, επιτελείται μια σημαντική αλλαγή στο τοπίο της ευρύτερης περιοχής. Η αποτίμηση του τοπίου που θα χαθεί σε σύγκριση με το νέο λιμναίο το οποίο θα δημιουργηθεί, αποβαίνει στην συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων υπέρ του δευτέρου, παρά την ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών που συγκρίνονται. Έτσι με την δημιουργία της τεχνητής λίμνης εμφανίζεται μια ριζικά νέα εικόνα, όπου σε ξηρές και άνυδρες κυρίως περιοχές κυριαρχεί ο υδάτινος όγκος της λίμνης. Το σχήμα της λίμνης ακολουθεί γραμμές που επιβάλλει η μορφολογία των γύρω ορεινών όγκων. Κοντά στο φράγμα ή στο κεντρικό σημείο η λίμνη παρουσιάζει την μεγαλύτερη έκταση, ενώ περιφερειακά απολήγει σε διάφορους κλάδους, εν είδη Σκανδιναβικών φιόρδ, οι οποίοι ακολουθούν τις γραμμές διάβρωσης του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Το κυρίαρχο φυσιογνωμικό χαρακτηριστικό του νέου τοπίου είναι η ήρεμη πράσινη-μπλε υγρή επιφάνεια της λίμνης, πάνω στην οποία αντικατροπτίζονται οι γύρω ορεινοί όγκοι. Η τεχνητή λίμνη πέρα από την αναβάθμιση της αισθητικής του αρχικού τοπίου, επηρεάζει το μικροκλίμα της γύρω περιοχής, τους υδροφόρους ορίζοντες, αυτής με αποτέλεσμα την αύξηση της χαμηλής και ψηλής βλάστησης και την ως εκ τούτου βελτίωση ακόμα περισσότερο της εικόνας των παραλιμνίων περιοχών. Στα παραλίμνια σημεία συνήθως εμφανίζεται το στοιχείο της γραφικότητας, το οποίο πολλές φορές αξιοποιείται τουριστικά.

Επίσης οι τεχνητές λίμνες συνιστούν νέους θαυμάσιους υδροβιότοπους στους οποίους βρίσκουν καταφύγιο και ήρεμα διαβιούν πολλοί φτερωτοί επισκέπτες. Δεν είναι δε σπάνιο το φαινόμενο να παρατηρείται η δημιουργία μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας, όπως για παράδειγμα στην λίμνη Κρεμαστών.

Στα φράγματα της Ελλάδας, οι περιοχές που καλύφθηκαν από τα νερά των τεχνητών λιμνών δεν παρουσίαζαν γνωρίσματα ιδιαίτερου φυσικού κάλους. Στις λίμνες των φραγμάτων Κρεμαστών, Καστρακίου, Στράτου, Πουρναριού, Πολυφύτου, Σφηκιάς, Ασωμάτων, οι περιοχές που κατακλύστηκαν ήταν στην πλειονότητα τους αισθητικά αδιάφορες, με πλαγιές διαβρωμένες όπου επικρατούσε χλωρίδα με χαμηλή βλάστηση από σκληρόφυλλους θάμνους και άνυδρα ρέματα κατά την ξηρά περίοδο. Ακόμη και στην λίμνη του φράγματος Π.Αώου, στο υψίπεδο μεταξύ Μετσόβου - Φλαμπουράρι (υψομ. 1.300 m) η περιοχή που κατακλύστηκε χαρακτηριζόταν από

λοφοειδείς εξάρσεις των ιζηματογενών σχηματισμών του φλύσχη με αραιή χαμηλή βλάστηση. Αποτελούσε στο σύνολο της χορτολιβαδική έκταση.

Τα τραύματα του φυσικού τοπίου που προκλήθηκαν από τις χωματοουργικές εργασίες για τις ανάγκες κατασκευής του φράγματος αυτού, μετά την περίοδο 4 - 5 χρόνων δεν ήταν πλέον ορατά, διότι τα περισσότερα καλύφθηκαν από τα νερά της λίμνης, ενώ τα υπόλοιπα δενδροφυτεύτηκαν με εκατοντάδες δενδρύλλια από το προσωπικό της ΔΕΗ και του Δασαρχείου Ιωαννίνων.

Σήμερα η λίμνη του φράγματος Π. Αώου είναι μία από τις ωραιότερες της Ελλάδας, βρίσκεται σε υψόμετρο 1.300 m και περιβάλλεται από μια πλούσια χλωρίδα όπου επικρατούν οι οξυές η εντυπωσιακή μαύρη πεύκη της Πίνδου το ρόπαλο και οι σημύδες. Αποτελεί ένα θαυμάσιο υδροβιότοπο και προσφέρεται για τουριστική αξιοποίηση. Πρόκειται για μια λίμνη χαρακτηριστική του Αλπικού τοπίου.

Αρνητικά φυσιογνωμικά χαρακτηριστικά του τοπίου μιας τεχνητής λίμνης, επιφέρει η διακύμανση της στάθμης αυτής, ιδιαίτερα η κάθοδος της, όπου πέρα από την εμφάνιση της αντιαισθητικής περιμετρικής παρόχθιας ζώνης, εμφανίζονται μέσα από την υδάτινη επιφάνεια ορισμένα, ήδη κατακλυσμένα, τεχνητά ή φυσικά στοιχεία του προϋπάρχοντος περιβαλλοντικού χώρου (π.χ. κτίσματα του χωριού Κάλιον στο φράγμα Μόρνου).

Πέρα από την αισθητική του χώρου, αρνητικό στοιχείο ενός ταμιευτήρα μπορεί να χαρακτηριστεί και η κατάκλυση τυχόν αρχαιολογικών χώρων ή ιστορικών μνημείων, όπως για παράδειγμα η κατάκλυση της Βυζαντινής Εκκλησίας του 10ου αιώνα, στην παλαιά κοινότητα Επισκοπής Ευρυτανίας που κατακλύστηκε από τα νερά της λίμνης Κρεμαστών και του Μοναστηρίου Αγ.Γεωργίου (14ος αιώνας) της κοινότητας Μυρόφυλλου Τρικάλων, που πιθανώς θα κατακλυσθεί από τα νερά του φράγματος Συκιάς.

### **3.3. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί – Σήραγγες**

Τα εργοστάσια (σταθμοί) που στεγάζουν τις στροβιλογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όταν δεν είναι υπόγειες κατασκευές, κατασκευάζονται στην βάση του σώματος του φράγματος ή στα κατώτατα σημεία τοποθεσιών οι οποίες κυριαρχούνται οπτικά από τους γύρω ορεινούς όγκους οι οποίοι και επιβάλλονται στο τοπίο.

Τόσο η κτιριολογική διάρθρωση των υδροηλεκτρικών σταθμών, όσο και το είδος της λειτουργίας τους, δεν απαιτούν μεγάλο εξωτερικό όγκο, γι' αυτό σε γενικές γραμμές θεωρούνται ως κατασκευές διακριτικές και εντάξιμες στο παραπάνω αναφερόμενο τοπιακό περιβάλλον. Παρά ταύτα όταν η θέση των ΥΗ Σταθμών γίνεται ορατή από πολυσύχναστα σημεία παρατήρησης, θα πρέπει αυτή να βελτιώνεται αισθητικά με την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου, την επιλογή και τον τονισμό δομικών στοιχείων που θα εναρμονίζονται καλύτερα με το περιβάλλον, την δενδροφύτευση κλπ.

Μία σοβαρή επιβάρυνση στην αισθητική του τοπίου προκαλεί η κατασκευή του απαραίτητου Υποσταθμού κοντά στο Σταθμό Παραγωγής με τον μεγάλο αριθμό πυλώνων και ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται να γίνουν προσπάθειες χωροταξικής διάταξης του Υποσταθμού σε περιοχή με την καλύτερη δυνατή οπτική κάλυψη, έστω και αν απαιτηθεί να επιλεγεί σε κάποια σχετική απόσταση από τον Σταθμό Παραγωγής.

Οι σήραγγες προσαγωγής του νερού το οποίο κινεί τις στροβιλογεννήτριες και όταν αυτές δεν κατασκευάζονται εξ' αρχής υπογείως, θα πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια μερικής κάλυψης τους με φυτική βλάστηση, εφόσον γίνονται ορατές από μεγάλη απόσταση.

Στο ΥΗΕ Πηγών Αώου που το συγκρότημα του Εργοστασίου είναι υπόγειο, αν και έχουν εκσκαφθεί 200.000 m<sup>3</sup> περίπου βράχων τόσο για την διάνοιξη του χώρου του συγκροτήματος, όσο και 10 Km μήκους σηράγγων, το περιβάλλον έχει παραμείνει αμετάβλητο. Η τοποθέτηση των κτιριακών εγκαταστάσεων ελέγχου και του υποσταθμού σε περιοχή ελάχιστα ορατή καθώς και η κεραμοσκεπής στέγη των κτιρίων, ελάχιστη επίδραση έχουν στην αισθητική του τοπίου της περιοχής.

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΗ Α.Ε. (31/12/2003)							
ΘΗΣ							
	Λιγνιτικές Μονάδες	Πετρελαϊκές Μονάδες	Μονάδες Φυσικού Αερίου	Σύνολο ΘΗΣ*	ΥΗΣ**	ΑΠΕ***	Σύνολο
Διασυνδεδεμένο	5.287	750	1.581	7.618	3.060	7	10.685
Κρήτη, Ρόδος & λοιπά αυτόνομα νησιά	-	1.422	-	1.422	1	30	1.453
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	9.040				3.061	37	12.138

\* Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί

\*\* Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

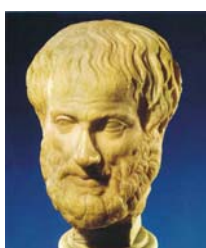
\*\*\* Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ.

Υπάρχουν πολλές απόψεις που αναφέρονται στην πρόκληση των σεισμών και τα αίτια που τους δημιουργούν. Μια τέτοια και ίσως από τις αρχαιότερες φαίνεται να έχει ο Αριστοτέλης.

#### 4.1. Αριστοτέλης 384π.Χ - 323π.Χ.



Ο Αριστοτέλης γεννήθηκε το 384 π.Χ. στα Στάγिरα της Χαλκιδικής. Η μητέρα του Φαιστιάδα καταγόταν από την Χαλκίδα και ο πατέρας του Νικόμαχος ήταν φίλος και ιατρός του βασιλέως των Μακεδόνων Αμύντα Β, που ήταν παππούς του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Μετά τον θάνατο των γονέων του την ανατροφή και αγωγή του Αριστοτέλους ανέλαβε ο Πρόξενος, ένας συγγενής της οικογένειας από τον Αταρνέα της Μυσίας. Ο Αριστοτέλης αφού έλαβε όλη την παραδοσιακή μουσική, γυμναστική και λοιπή παιδεία, εισήλθε στην ακαδημία του Πλάτωνος το 367 π.Χ. σε ηλικία 18 ετών. Στην Ακαδημία ο Αριστοτέλης έμεινε είκοσι χρόνια, δηλαδή μέχρι το έτος του θανάτου του Πλάτωνος το 347 π.Χ. και γνώρισε τη φιλοσοφία και την επιστήμη.

Το 348 π.Χ. μαζί με το Ξενοκράτη τον Χαλκηδόνιο εγκαταστάθηκε στην Άσσο, η οποία βρισκόταν νότια της Τρωικής ακτής, απέναντι από τη Λέσβο και μερικά χρόνια αργότερα πέρασε απέναντι στη Μυτιλήνη. Το 342 π.Χ. προσκλήθηκε από τον βασιλιά της Μακεδονίας Φίλιππο για να αναλάβει τη διαπαιδαγώγηση του νεαρού τότε Αλέξανδρου. Το 335 π.Χ. ο Αριστοτέλης εγκαταστάθηκε στην Αθήνα και ίδρυσε την **Περιπατητική Σχολή**. Στην Αθήνα έμεινε διδάσκοντας και συγγράφοντας μέχρι το 323 π.Χ.. Η θέση του κατέστη πολύ δυσχερής όπου εκτός των άλλων κατηγορήθηκε για προσβολή των θεών. Έτσι αναγκάστηκε να φύγει από την Αθήνα και κατέφυγε στη Χαλκίδα όπου και πέθανε το επόμενο έτος.

Ο Αριστοτέλης κάλυψε με το έργο του όλες τις φιλοσοφικές έννοιες και αναζητήσεις: φύση, ον, αρετή, ηθική κι όλα αυτά σε συνδυασμό με την κριτική έρευνα της πολιτικής εξέλιξης των Ελληνικών πόλεων-κρατών. Με τη συστηματική και πρακτική σκέψη του καθόρισε μέχρι σήμερα τη δημιουργία και εξέλιξη των

φιλοσοφικών συστημάτων, όπως και την εφαρμογή τους. Για τον Αριστοτέλη δεν υπάρχει "ιδανική" αλλά "άριστη πολιτεία" μέσα στα ανθρώπινα μέτρα. Παιδεία και αγωγή είναι τα καλύτερα εφόδια για να επιβιώσει και να προοδεύσει ο άνθρωπος.

Τα **Μετεωρολογικά** κατέχουν ιδιαίτερη θέση στο έργο του Αριστοτέλη τόσο λόγω της μορφής όσο και του περιεχομένου τους. Το σύγγραμμα αυτό ασχολείται με ποικίλους τομείς όπως η αστρονομία, η γεωγραφία, η φυσική, η γεωμετρία, η οπτική, η χημεία, η μετεωρολογία, η ηφαιστειολογία, η γεωλογία και η σεισμολογία. Ανεξάρτητα από το αν η ερμηνεία των φυσικών φαινομένων αυτών είναι αποδεκτή η όχι σήμερα, η θεμελίωση και η ανάπτυξη της σκέψης τόσο στο συγκεκριμένο σύγγραμμα όσο και γενικότερα στο έργο του, αποτελεί πρότυπο και καμιά μελέτη δεν μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη χωρίς αναφορά στον μεγάλο φιλόσοφο.

Σχετικά με το φαινόμενο των σεισμών ο Αναξιμένης ο Μελήσιος, ο Αναξαγόρας ο Κλαζομένιος και ο Δημόκριτος ο Αβδηρίτης είχαν αναπτύξει διάφορες θεωρίες. Ο Αριστοτέλης όμως ήταν αυτός που θεμελίωσε την πρώτη "επιστημονική" θεωρία για τη γένεση των σεισμών. Μπορεί αυτή η θεωρία σήμερα να μην είναι αποδεκτή, αποτελεί όμως ένα σημαντικό γεγονός γιατί είναι η πρώτη θεωρία που περιγράφει και ερμηνεύει τα αίτια γένεσης των σεισμών. Ας μην ξεχνάμε ότι η ερμηνεία της σεισμικής διάρρηξης έγινε μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 1960! Στη συνέχεια παραθέτουμε το κείμενο σχετικά με τους σεισμούς, πιστεύοντας ότι η προσέγγιση του θέματος, η ανάπτυξη, τα στοιχεία που παρεμβάλει και ο τρόπος σκέψης αποτελούν απαραίτητα εφόδια για την σύγχρονη σκέψη.

## 4.2. Σεισμοί - Αριστοτέλιος Θεωρία

Μετά από αυτά θα πρέπει να μιλήσουμε για τους σεισμούς και τις κινήσεις της γης, διότι η αιτία του φαινομένου αυτού συνδέεται με τα γεγονότα που μόλις μελετήσαμε. Μέχρι τώρα έχουν δοθεί τρεις εξηγήσεις από τρεις διαφορετικούς συγγραφείς: ο Αναξαγόρας ο Κλαζομένιος και νωρίτερα ο Αναξιμένης ο Μελήσιος εξέθεσαν τη γνώμη τους, και μετά απ' αυτούς ο Δημόκριτος ο Αβδηρίτης.

Ο Αναξαγόρας, λοιπόν, ισχυρίζεται ότι ο αιθέρας, που από τη φύση του φέρεται προς τα άνω, όταν πέφτει και εγκλωβίζεται στα βάθη της γης, την κινεί. Διότι τα ανώτερα στρώματα του εδάφους έχουν διαβρωθεί από τις βροχές (αφού μάλιστα είναι σπογγώδης η φύση της γης), κάτι που προϋποθέτει πως υπάρχει πάνω και κάτω μέρος



της σφαίρας και πως εμείς κατοικούμε στο πάνω μέρος, ενώ το κάτω είναι το άλλο. Κατά της εξήγησης τούτης δεν έχουμε να πούμε τίποτα, καθότι υπερβολικά απλοϊκή. Πράγματι, είναι ανοησία να πιστεύει κάποιος ότι το πάνω και το κάτω έχουν μια τέτοια διάταξη, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν ότι όλα τα βαριά σώματα έλκονται προς τη γη και τα ελαφρά και η φωτιά προς τα πάνω, και αυτή τη στιγμή που βλέπουμε τον ορίζοντα της οικουμένης, που εμείς γνωρίζουμε, να μεταβάλλεται συνεχώς όσο προχωρούμε, κάτι δείχνει πως η Γη είναι κυρτή και σφαιρική. Είναι επίσης αφέλεια να λέμε πως η Γη παραμένει στον αέρα λόγω του μεγέθους της και να ισχυριζόμαστε ότι σείεται ολόκληρη, όταν πλήττεται από τα κάτω προς τα πάνω. Εκτός τούτων, ο Αναξαγόρας δεν δίνει καμιά λεπτομέρεια για τις περιστάσεις που προκαλούνται οι σεισμοί, δεδομένου ότι το φαινόμενο αυτό δεν συναντάται σε όλες αδιακρίτως τις χώρες και εποχές.

Ο Δημόκριτος ισχυρίζεται πως η γη είναι γεμάτη νερό και ότι, δέχεται κι άλλο πολύ βρόχινο νερό, κινείται από την επίδραση αυτού. Όταν η μάζα του αυξηθεί πολύ, επειδή οι κοιλότητες της γης δεν μπορούν να τη χωρέσουν, ανοίγει βίαια κάποιο δρόμο και προκαλεί σεισμό αλλά και όταν η γη ξηραθεί και έλκει το περίσσειμα ενός τόπου εκεί όπου έχει κενές κοιλότητες, προκαλείται και πάλι σεισμός από τα νερά που πέφτουν, αλλάζοντας θέση.

Όσον αφορά τον Αναξιμένη, αυτός διατείνεται ότι η βρεγμένη γη ραγίζει όταν ξηραίνεται, και η πτώση των σπασμένων τοιχωμάτων την κάνει να τρέμει. Για τον λόγο τούτο, κατ' αυτόν σεισμοί γίνονται στις περιόδους ανομβρίας, καθώς επίσης και στις υπερβολικές βροχοπτώσεις. Διότι κατά την ανομβρία, σύμφωνα με τη θεωρία του, η γη ξηραίνεται και σκάζει, ενώ, όταν είναι πολύ βρεγμένη, κατακρημνίζεται. Αν συνέβαιναν τούτα, όμως, θα έπρεπε να βλέπουμε τη γη να κατακαθίζει σε πολλά σημεία. Επί πλέον για ποιο λόγο το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συχνά σε μέρη που δεν γνωρίζουν καμιά από τις ως άνω υπερβολές σε σχέση με άλλα πλην όμως θα έπρεπε, να γένει, να προστεθεί ως προς αυτή την υπόθεση πως οι σεισμοί θα γίνονταν αναγκαστικά συνεχώς λιγότεροι και ότι κάποτε θα κατέπαυαν, διότι ότι συσσωρεύεται το έχει αυτό στη φύση του. Κατά συνέπεια, αν αυτό είναι αδύνατον, είναι προφανές ότι και η εξήγηση αυτή είναι αδύνατη.

Επειδή ωστόσο είναι φανερό ότι πρέπει αναγκαστικά να προκύπτει αναθυμίαση και λόγω υγρασίας και λόγω ξηρασίας, όπως είπαμε νωρίτερα, είναι αναπόφευκτο, υπό

τις συνθήκες αυτές, να γίνονται σεισμοί. Η γη είναι ξηρή από μόνη της. Λόγω των βροχών, αποθηκεύει πολλή υγρασία, έτσι ώστε, όταν θερμανθεί από τον Ήλιο και την εσωτερική θερμότητα, σχηματίζει πολλά αέρια τόσο στον έξω χώρο όσο και στο εσωτερικό της. Τα αέρια τούτα ρέουν άλλοτε όλα έξω από το έδαφος και άλλοτε όλα μέσα σε αυτό, ενώ κάποτε διαμοιράζονται μεταξύ των δύο .

Αφού λοιπόν, δεν μπορεί να γίνει αλλιώς, το πρόβλημα που τίθεται μετά από τούτα είναι το ποιο θα ήταν το σώμα με τη μεγαλύτερη κινητήρια δύναμη. Το σώμα, που από τη φύση του έχει τη μεγαλύτερη εμβέλεια, έχει αναγκαστικά και τη μεγαλύτερη δύναμη απ' όλα τα άλλα. Αυτό που έχει εξ' άλλου τη μεγαλύτερη δύναμη είναι αναγκαστικά αυτό που κινείται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, διότι προκαλεί τον μεγαλύτερο κλονισμό λόγω της ταχύτητας.

Πλην, αυτό που από τη φύση του είναι το ικανότερο να διέρχεται μέσα απ' όλα είναι εκείνο που δύναται μέσα από κάθε άλλο να πηγαίνει μακρύτερα, και τέτοιο είναι το ελαφρύτερο σώμα. Κατά συνέπεια, αν η φύση του αερίου έχει όντως αυτό τον χαρακτήρα, τότε το σώμα με τη μεγαλύτερη κινητήρια δύναμη θα είναι αυτό. Η φωτιά, πράγματι, όταν συνοδεύεται από αέριο, γίνεται φλόγα και κινείται γρήγορα. Δεν είναι, λοιπόν, το νερό ούτε η γη αυτό που μπορεί να είναι αιτία των σεισμών, αλλά το αέριο, όταν το υγρό που εξατμίζεται προς τα έξω, συρρέει στο εσωτερικό της γης.

Γι' αυτό οι περισσότεροι και μεγαλύτεροι σεισμοί γίνονται σε νημεμία. Διότι η συνεχώς παρούσα αναθυμίαση ακολουθεί κατά κανόνα την ώθηση που της δίνει η πηγή της έτσι ώστε όλη μαζί εισορμά προς στα μέσα η εξορμά προς τα έξω. Το γεγονός ότι μπορεί μερικοί σεισμοί συμπίπτουν με άνεμο δεν έχει τίποτε το αφύσικο, διότι βλέπουμε κάποτε να πνέουν ταυτόχρονα πολλοί άνεμοι. όταν ένας από αυτούς εισορμήσει στη γη, ο σεισμός θα γίνει, παρά την παρουσία ανέμου. Οι σεισμοί αυτοί έχουν πάντως μικρή ένταση, επειδή αυτό που συνιστά την πηγή και την αιτία τους διασπάται. Οι περισσότεροι και μεγαλύτεροι σεισμοί γίνονται τη νύχτα. Εκείνοι της ημέρας γύρω στο μεσημέρι. Το μεσημέρι υπάρχει κατά κανόνα μεγαλύτερη νημεμία (διότι όταν ο ήλιος έχει τη μεγαλύτερη ισχύ καταχωνιάζει την αναθυμίαση στη γη, και έχει τη μεγαλύτερή του δύναμη το μεσημέρι), οι νύχτες έχουν μεγαλύτερη νημεμία από τη μέρα, λόγω της απουσίας του Ηλίου, ως εκ τούτου η αναθυμίαση εισρέει εκ νέου μέσα στη γη, όπως ακριβώς η άμπωτης, κατ' αντίθετη έννοια προς την εξωτερική παλίρροια, και αυτό σημειώνεται κυρίως τα ξημερώματα. Διότι εκείνη ακριβώς τη

στιγμή είναι που αρχίζουν να πνέουν και οι άνεμοι. Αν, λοιπόν, συμβαίνει η πηγή τους να αλλάζει κατεύθυνση, όπως ο Εύριπος, και κατευθύνεται προς το εσωτερικό, επειδή αυξάνεται η ποσότητα του υγρού, το αποτέλεσμα θα είναι ένας ισχυρότερος σεισμός.

Εξ άλλου, οι πιο ισχυροί σεισμοί γίνονται σε περιοχές όπου η θάλασσα παρουσιάζει ρεύματα ή η γη είναι σπογγώδης και σπηλαιώδης. Γι' αυτό και γίνονται στις ακτές του Ελλησπόντου, στην Αχαΐα, στη Σικελία και στην Εύβοια σε περιοχές αυτού του είδους, καθότι θεωρείται ότι η θάλασσα σχηματίζει υπόγεια αυλάκια. Τα θερμά νερά της Αιδηψού προέρχονται από μια αιτία αυτής της φύσης. Όσον αφορά τις περιοχές που αναφέραμε, οι σεισμοί προκαλούνται κυρίως λόγω της στενότητας των περασμάτων. Πράγματι, εκεί σηκώνεται ισχυρός άνεμος και λόγω της μεγάλης ποσότητας θαλασσίου νερού που καταποντίζεται, απωθείται και πάλι προς τη γη, ενώ το φυσικό θα ήταν να πνέει από αυτήν. Οι περιοχές με σπογγώδες υπέδαφος γνωρίζουν πολλούς σεισμούς, επειδή συσσωρεύουν μέσα τους πολύ μεγάλη ποσότητα αερίων.

Για τον ίδιο λόγο προξενούνται σεισμοί κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο, όπως και κατά τη διάρκεια μεγάλων ανομβριών και μεγάλων βροχών. Τις εποχές τούτες υπάρχει περισσότερο αέριο. Το καλοκαίρι, λόγω ζέστης και ο χειμώνας λόγω πάγου, είναι περίοδοι ηρεμίας: τον χειμώνα κάνει πολύ κρύο, ενώ το καλοκαίρι υπάρχει πολλή ξηρασία. Κατά τις περιόδους ξηρασίας, ο αέρας είναι γεμάτος αέριο, διότι ξηρασία υπάρχει, όταν η ξηρή αναθυμίαση υπερισχύει της υγρής. Κατά τις περιόδους μεγάλων βροχών, η εσωτερική αναθυμίαση γίνεται σημαντικότερη και καθώς η έκκριση τούτη εγκλωβίζεται σε πολύ στενό χώρο και συμπιέζεται μεγάλη δύναμη σε περιορισμένο χώρο, δεδομένου ότι οι κοιλότητες είναι γεμάτες νερό, όταν ο αέρας αρχίσει να ισχυροποιείται από τη συμπίεση της τεράστιας μάζας σε μικρό χώρο, πέφτει με δύναμη πνέοντας πάνω στη γη και την κινεί βίαια. Θα πρέπει να κατανοήσουμε ότι, όπως ακριβώς τα ρίγη και οι σπασμοί προκαλούνται στον οργανισμό μας λόγω της δύναμης της αναπνοής που εγκλωβίζεται μέσα μας, έτσι και ο άνεμος λειτουργεί μέσα στη γη και προκαλεί παραπλήσια αποτελέσματα, και ο ένας σεισμός μοιάζει με ρίγος, ο άλλος με σπασμό και ότι γίνεται μπορεί να συγκριθεί με αυτό που συμβαίνει συχνά μετά την ούρηση (το σώμα διατρέχεται από ένα ρίγος, που οφείλεται στο ότι το εξωτερικό αέριο εισδύει μαζικά στο εσωτερικό. το ίδιο συμβαίνει στη γη. Για να κατανοήσουμε όλη τη δύναμη της πνοής, πρέπει να θεωρήσουμε όχι μόνο όσα γίνονται στον αέρα (θα μπορούσαμε να πούμε πως ο όγκος του εξηγεί τα σημαντικά αποτελέσματα που

παράγονται εδώ), αλλά και όσα γίνονται μέσα στο σώμα των ζώων. Οι συσπάσεις και οι σπασμοί είναι, πράγματι, κινήσεις της πνοής και είναι τόσο ισχυροί, που ταυτοχρόνως προσπάθειες πολλών ανθρώπων να τους αποτρέψουν είναι ανίκανες να ελέγξουν τις κινήσεις των αρρώστων. Πρέπει να φαντασθούμε παρόμοια φαινόμενα μέσα στη γη, για να συγκρίνουμε κάτι μεγάλο με κάτι μικρό.

Ενδείξεις γι' αυτά υπάρχουν σε πολλά μέρη και έχουν υποπέσει στην αντίληψή μας. Έχουμε ήδη διαπιστώσει ότι ένας σεισμός, που εκδηλώθηκε σε κάποιο τόπο, δεν σταμάτησε, προτού άνεμος, που ήταν η αιτία του ξεσπάσει και φτάσει στην περιοχή πάνω από τη Γη σαν λαίλαπα. Τούτο συνέβη, για παράδειγμα, πρόσφατα στην Ηράκλεια του Πόντου και λίγο νορίτερα στην Ιερά Νήσο, η οποία είναι μια από τις καλούμενες Αιολικές. Εκεί φούσκωσε ένα μέρος του εδάφους και υψώθηκε ένας λόφος με πάταγο. Τέλος εξερράγη και εξήλθε πολύς αέρας, πετώντας σπίθες και στάχτες, που σκέπασαν όλη τη γειτονική πόλη των Λιπαραιών, αλλά επεκτάθηκαν και σε άλλες πόλεις της Ιταλίας. Ακόμη και σήμερα είναι ορατό το σημείο όπου έγινε η έκρηξη. Πρέπει, λοιπόν, να παραδεχθούμε ότι και η φωτιά, που σχηματίζεται μέσα στη γη, οφείλεται στη σύγκρουση που αναφλέγει τον αέρα, ο οποίος έχει προηγουμένως κατακερματισθεί σε μικρά κομμάτια.

Απόδειξη του ότι οι άνεμοι κυκλοφορούν κάτω από τη γη, είναι το φαινόμενο που εκδηλώνεται στα νησιά που ήδη αναφέραμε. Όταν πρόκειται να φυσήξει νότιος άνεμος, υπάρχει ένα είδος προαγγελίας, ακούγονται ήχοι στις περιοχές που εκδηλώνονται οι εκρήξεις, επειδή η θάλασσα έχει ήδη απωθηθεί μακριά, και, όσο αυτή προχωρεί, αυτό, που θα προκαλέσει στην έκρηξη έξω από το έδαφος, συμπιέζεται προς το εσωτερικό του εδάφους. Αν ακούγεται ήχος χωρίς σεισμό, οφείλεται άλλοτε στην έκταση των τόπων (ο αέρας ξεχειλίζει προς τον αχανή εξωτερικό χώρο) και άλλοτε στη μικρή ποσότητα του απωθουμένου από τη θάλασσα αέρα.

Το γεγονός, άλλωστε, ότι ο Ήλιος γίνεται θολός και σκοτεινότερος χωρίς να υπάρχουν νέφη, επίσης το γεγονός ότι με τους πρωινούς σεισμούς παρατηρούμε νηνεμία και ισχυρό κρύο, αποτελούν επιπρόσθετες ενδείξεις για την ορθότητα της εξήγησής μας. Διότι ο Ήλιος είναι κατ' ανάγκην θολός και σκοτεινός, όταν ο άνεμος, που διαλύει και αποσυνθέτει τον αέρα, αρχίζει να εισχωρεί στο έδαφος. Πρέπει επίσης να επικρατεί νηνεμία και ψύχος κατά την αυγή και τη στιγμή που ανατέλλει ο Ήλιος. Πράγματι, κατά κανόνα η νηνεμία, όπως είπαμε και πιο πάνω, εκδηλώνεται, όταν ο

άνεμος πραγματοποιεί ένα είδος άμπωτης στο εσωτερικό της γης, κυρίως πριν από τους βιαιότερους σεισμούς: κατ' εκείνη τη στιγμή δεν διασπάται σε ένα μέρος προς τα έξω και ένα προς τα μέσα, αλλά κινείται μαζικά, πράγμα που αναγκαστικά τον ενισχύει ακόμη περισσότερο. Όσο για το ψύχος, αυτό οφείλεται στο ότι η αναθυμίαση, που είναι αυτή καθ' αυτή εκ φύσεως θερμή, στρέφεται προς τα μέσα. Οι άνεμοι δεν φαίνονται ζεστοί, επειδή ο αέρας που τους θέτει σε κίνηση περιέχει μεγάλη ποσότητα ψυχρού υδρατμού, όπως η αναπνοή που βγαίνει από το στόμα μας: τούτη είναι ζεστή από κοντά, όπως όταν εκπνέουμε με ανοιχτό στόμα, αλλά η θερμότητα δεν γίνεται αισθητή επειδή είναι μικρή, και από μακριά η αναπνοή φαίνεται ψυχρή για την ίδια αιτία όπως και οι άνεμοι. Όταν, λοιπόν, η θερμή αναθυμίαση αποσύρεται μέσα στη γη, η εκροή του υδρατμού δημιουργεί λόγω της υγρασίας συμπύκνωση και ψύχος, σε όσα μέρη σημειώνεται αυτό το φαινόμενο. Η ίδια αιτία μπορεί να εξηγήσει επίσης και το σημάδι που προαναγγέλλει συνήθως τους σεισμούς. Κατά τη διάρκεια της μέρας ή αμέσως μετά τη δύση του Ηλίου, ενώ ο καιρός είναι αίθριος, εμφανίζεται ένα ελαφρύ νέφος, που εκτείνεται σε μήκος όπως μια τέλεια ευθεία γραμμή, συνεπεία της εξαφάνισης του μετατοπισμένου ανέμου. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη θάλασσα, κατά μήκος των ακτών, όταν σηκώνονται μεγάλα κύματα: τα σημάδια που αφήνει το κύμα σκάζοντας είναι βαθιά και ανώμαλα, όταν αντίθετα επικρατεί γαλήνη, είναι ρηχά και ίσια. Ότι η θάλασσα κάνει κατά μήκος των ακτών, ο άνεμος το κάνει στην καταχνιά που βρίσκεται στον αέρα, έτσι ώστε, όταν γίνεται νηνεμία, το νεφέλωμα που απομένει, είναι τελείως ίσιο και λεπτό σαν να είναι σημάδι που άφησε ο κυματισμός του αέρα.

Για τον ίδιο λόγο γίνονται κάποτε σεισμοί κατά τις εκλείψεις της Σελήνης. Όταν, πράγματι, επίκειται η παρεμβολή της Γης, το φως και η θερμότητα από τον Ήλιο, χωρίς να έχουν εκλείψει εντελώς από τον αέρα, εξαφανίζονται σιγά σιγά, γίνεται νηνεμία, καθώς ο άνεμος μετατοπίζεται και εισχωρεί στο έδαφος, με αποτέλεσμα να γίνεται σεισμός πριν από την έκλειψη. Διότι σηκώνονται άνεμοι πριν από τις εκλείψεις, κατά το σούρουπο πριν από τις εκλείψεις του μεσονυκτίου, κατά τα μεσάνυχτα πριν από τις πρωινές εκλείψεις. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης της θερμότητας που απορρέει από τη Σελήνη, όταν η περιστροφή της τη φέρνει κοντά στο σημείο όπου, όταν φτάσει, θα γίνει έκλειψη. Μόλις εξαφανιστεί αυτό που κρατούσε και διατηρούσε σε ηρεμία τον αέρα, ξαναρχίζει αυτός να κινείται και γίνεται άνεμος, με κάποια καθυστέρηση σε σχέση με την έκλειψη.

Όταν γίνει ισχυρός σεισμός, δεν καταπαύει αμέσως και μετά από μια μόνο δόνηση, αλλά σε μία πρώτη φάση παρατείνεται πολλές φορές μέχρι σαράντα μέρες και εν συνεχεία γίνεται αισθητός από καιρού εις καιρόν στις ίδιες τοποθεσίες επί ένα ή δύο χρόνια. Το μέγεθός του καθορίζεται από την ποσότητα του ανέμου και τη διαμόρφωση των εδαφών, μέσω των οποίων ρέει. Εκεί όπου συναντάει αντίσταση και δυσκολεύεται να περάσει, προκαλούνται οι μεγαλύτερες δονήσεις, και κατ' ανάγκην αναχαιτίζεται σε δύσκολες περιοχές, όπως το νερό που δεν βρίσκει διέξοδο. Επίσης, όπως μέσα στο σώμα οι σπασμοί δεν σταματούν απότομα ούτε γρήγορα, αλλά ηρεμούν σταδιακά όσο υποχωρεί η αιτία που τους προκάλεσε, είναι προφανές ότι η πηγή από την οποία απέρρευσε η αναθυμίαση και η οποία έδωσε στην ώθηση στον άνεμο, δεν μπορούσε να αναλώσει αμέσως ολόκληρη την ύλη, από την οποία παρήγαγε τον άνεμο, τον οποίο αποκαλούμε σεισμό. Όσπου να αναλωθούν και τα τελευταία υπολείμματα της ύλης τούτης, συνεχίζονται κατ' ανάγκην οι δονήσεις, λιγότερο βίαιες, μέχρις ότου μειωθεί αισθητά η αναθυμίαση ώστε να μην προκαλείται αισθητή κίνηση.

Ο άνεμος προκαλεί επίσης και τους υπογείους θορύβους, καθώς και όσους προηγούνται των σεισμών. Σε μερικά μέρη έχουν εκδηλωθεί, χωρίς να ακολουθούνται από σεισμούς. Διότι όπως ακριβώς ο αέρας, όταν πλήττεται, παράγει διαφόρους ήχους, έτσι συμβαίνει και όταν αυτός ο ίδιος πλήττει. Δεν υπάρχει καμιά διαφορά, διότι ότι πλήττει, πλήττεται ταυτόχρονα και το ίδιο. Ο θόρυβος όμως προηγείται της κίνησης, επειδή αποτελείται από σωματίδια που είναι λεπτότερα από τον άνεμο και διέρχονται καλύτερα μέσα απ' όλα τα σώματα. Όταν ο άνεμος είναι λόγω της ελαφρότητάς του, πολύ λεπτός για να σείσει το έδαφος, η μεγάλη διεισδυτική του ικανότητα τον καθιστά ανίκανο να προκαλέσει σεισμό, επειδή όμως πέφτει πάνω σε στερεές και κοίλες επιφάνειες κάθε σχήματος, βγάζει διαφόρους ήχους, έτσι ώστε, όπως λέγουν οι τερατολόγοι, να δημιουργείται κάποτε η εντύπωση ότι η γη μουγκρίζει.

Είδαμε επίσης κατά τη διάρκεια σεισμών να αναβρύζει νερό. Δεν είναι όμως λόγος αυτός να θεωρούμε υπεύθυνο το νερό για το σεισμό. Ο άνεμος επενεργεί στην επιφάνεια και ανοίγει λόγω της δύναμης, κάποιο άνοιγμα προς τα πάνω, αυτό είναι η κινητήρια δύναμη, όπως ακριβώς και των κυμάτων αίτια είναι οι άνεμοι και όχι τα κύματα των ανέμων, αλλιώς θα μπορούσε να επικαλούμαστε ως αιτία τη γη για να εξηγήσουμε το φαινόμενο, διότι όταν σείεται η γη αναποδογυρίζει, όπως ακριβώς το

νερό (διότι η έκχυση είναι ένα είδος ανατροπής). Στην πραγματικότητα το νερό και η γη είναι οι υλικές αιτίες, ενώ ο άνεμος δρα ως κινητήρια αρχή.

Όπου ο σεισμός συνοδεύεται από παλιρροιακό κύμα αιτία είναι ο σχηματισμός αντιθέτων ανέμων. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν ο άνεμος, που σείει τη γη, ενώ δεν είναι ικανός να απωθήσει ολοσχερώς τη θάλασσα που την οδηγεί κάποιος άλλος άνεμος, προωθώντας την και πιέζοντάς τη, τη συγκεντρώνει σε μεγάλη ποσότητα στο ίδιο σημείο. Όταν, λοιπόν, ο άνεμος αυτός θα έχει κοπάσει εντελώς, κατ' ανάγκη η μάζα του νερού, σπρωγμένη από τον αντίθετο άνεμο, θα ξεχυθεί και θα προκαλέσει την πλημμύρα. Τούτο συνέβη στην Αχαΐα. Υπήρχε, πράγματι, έξω νοτιάς και εκεί βοριάς. Όταν έγινε νηνεμία και ο άνεμος εισχώρησε στη γη, προκλήθηκε ταυτόχρονα παλίρροια και σεισμός, τόσο πιο ισχυρός, όσο η θάλασσα δεν άφηνε να περάσει ο άνεμος που είχε καταφύγει υπό τη γη, αλλά του έφραζε τη δίοδο. Παλεύοντας το ένα με το άλλο, ο άνεμος προκάλεσε τον σεισμό και το κατακάθισμα του κύματος την πλημμύρα.

Οι σεισμοί είναι τοπικοί και κατά κανόνα πλήττουν μικρές εκτάσεις, ενώ οι άνεμοι δεν είναι τοπικοί. Οι σεισμοί είναι τοπικοί, όταν οι αναθυμιάσεις που εκδηλώνονται στον συγκεκριμένη τόπο και στα γειτονικά μέρη ενώνονται σε μια μάζα, όπως είπαμε ότι συμβαίνει στις ανομβρίες και στις άφθονες τοπικές βροχοπτώσεις. Οι σεισμοί προξενούνται με αυτόν τον τρόπο, οι άνεμοι όμως όχι τα προαναφερθέντα φαινόμενα έχουν την αρχή τους μέσα στη γη, με την έννοια πως όλες οι αναθυμιάσεις από τις οποίες αποτελούνται κινούνται προς ένα σημείο. Ο Ήλιος δεν μπορεί να το κάνει αυτό, επενεργεί μάλλον στις αναθυμιάσεις που αιωρούνται στον αέρα, έτσι ώστε, όταν αυτές δεχθούν την ώθηση από την κίνηση του Ηλίου, η οποία κυμαίνεται ανάλογα με τις διάφορες θέσεις του, ρέουν προς μία κατεύθυνση.

Όταν λοιπόν, ο άνεμος είναι πολύς, κινεί τη γη με οριζόντια δόνηση, που μοιάζει με ρίγος. Σε σπάνιες περιπτώσεις και σε κάποιες περιοχές, παρουσιάζεται ένα είδος παλμού, μια κίνηση από πάνω προς τα κάτω και από κάτω προς τα πάνω. Για τον λόγο αυτόν είναι σπανιότερο αυτό το είδος των σεισμών, δεδομένου ότι δεν είναι εύκολο να συγκεντρωθεί έτσι σε τόσο μεγάλη ποσότητα το αρχικό αίτιο, διότι η ποσότητα αναθυμιάσης είναι πολύ μεγαλύτερη σε μήκος απ' ότι σε βάθος. Όπου όμως γίνεται σεισμός αυτού του είδους, μια μεγάλη ποσότητα λίθων ανέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους, όπως ακριβώς συμβαίνει όταν αναταράζουμε το κόσκινο. Ένας σεισμός του

είδους αυτού ερείπωσε την περιοχή της Σιπύλου, την καλούμενη Φλεγραία πεδιάδα και τις χώρες της Λιγυρίας.

Τα νησιά στα ανοιχτά της θάλασσας υποφέρουν λιγότερο από σεισμούς απ' όσα βρίσκονται κοντά στην ξηρά. Διότι η μεγάλη ποσότητα της θάλασσας καταψύχει τις αναθυμιάσεις, τις εμποδίζει, λόγω του βάρους της, να ανέβουν και στις αναχαιτίζει. Εξ άλλου, η θάλασσα ρέει, αλλά δεν σείεται, όταν επικρατούν άνεμοι. Καθώς, πάλι, καλύπτει μεγάλη έκταση, οι αναθυμιάσεις δεν πηγαίνουν προς αυτήν αλλά παράγονται από αυτήν, και οι αναθυμιάσεις της ξηράς ακολουθούν τις θαλάσσιες. Τα νησιά που βρίσκονται κοντά στην ξηρά, αποτελούν μέρος της ξηράς, επειδή το διάστημα που τα χωρίζει είναι πολύ μικρό για να ασκεί κάποια επίδραση. Τα νησιά στα ανοιχτά της θάλασσας δεν μπορούν να δονηθούν χωρίς να δονηθεί ολόκληρη η θάλασσα στην οποία συμβαίνει να περιέχονται.

Για τους σεισμούς, λοιπόν, για το ποια είναι η φύση τους, για το ποια αιτία τους προκαλεί και για όλα τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς, εκθέσαμε εδώ όλα σχεδόν τα κύρια σημεία.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.**

### **ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

#### **5.1. Τα αίτια των σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές**

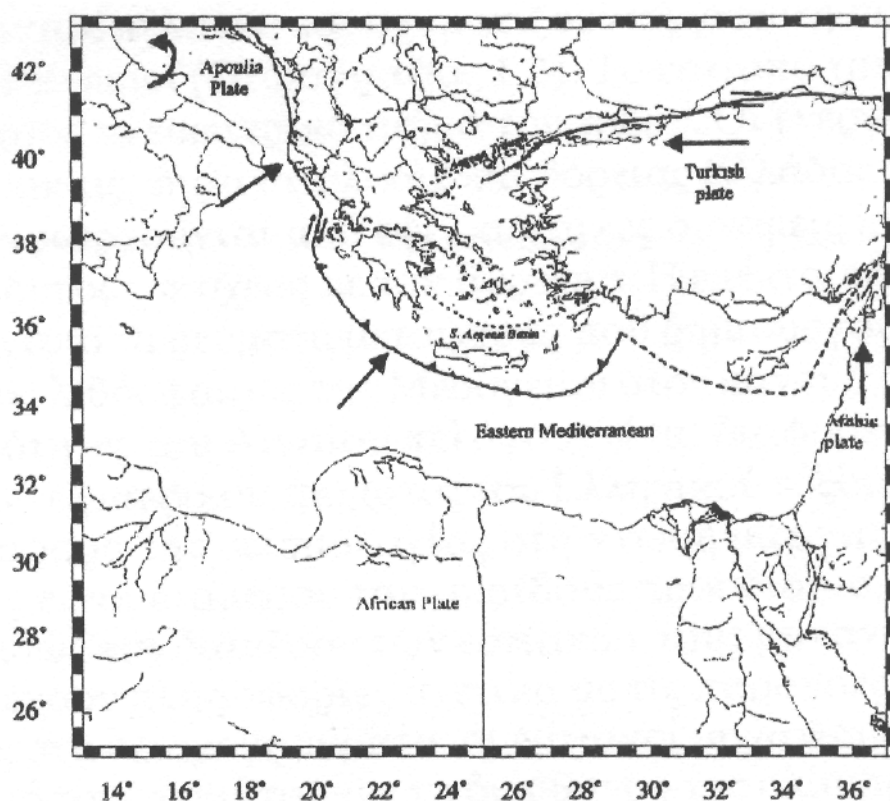
Είναι ευρέως αποδεκτό σήμερα ότι, η θεωρία των Τεκτονικών Πλακών μπορεί να εξηγήσει ικανοποιητικά τα αίτια των σεισμών καθώς και που αυτοί κατά προτίμηση εκδηλώνονται. Τεκτονική ονομάζεται η μελέτη των ευρείας κλίμακας κινήσεων και των παραμορφώσεων των επιφανειακών στρωμάτων της Γης (της λιθόσφαιρας). Η θεωρία των Τεκτονικών Πλακών συσχετίζει αυτές τις παραμορφώσεις με την ύπαρξη και κίνηση μεγάλων δύσκαμπτων πλακών (των λιθοσφαιρικών πλακών) που κινούνται πάνω σ' ένα παχύρρευστο υλικό του άνω μανδύα, την ασθενόσφαιρα. Οι αιτίες των σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές θα αναζητηθούν στα πλαίσια αυτής της θεωρίας.

#### **Τεκτονικό υπόβαθρο**

Η ανατολική Μεσόγειος θάλασσα και οι γύρω παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας και της δυτικής Τουρκίας είναι από τις πλέον ενεργές, σεισμικά, περιοχές των ηπείρων. Οι περιοχές αυτές κυριαρχούνται τεκτονικά από τη σχετική κίνηση μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών της Ευρασίας και της Αφρικής καθώς και από τη σχετική κίνηση των μικρότερων λιθοσφαιρικών πλακών που σχηματίστηκαν απ' αυτές, βλέπε σχήμα 5.1. Η Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα, ανατολικά του Γιβραλτάρ, κινείται βόρεια προς τη λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρασίας. Το βόρειο όριο αυτής της πλάκας διασχίζει τη βόρειο Αφρική και συνεχίζει διαμέσου της Σικελίας, από κει συνεχίζει γύρω από την Αδριατική μέσω της Ιταλίας και της Γιουγκοσλαβίας προς την Αλβανία και τη βορειοδυτική Ελλάδα. Επικρατεί η άποψη ότι, η Αδριατική, η οποία είναι μέρος της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας, σχηματίζει μια μικρή λιθοσφαιρική πλάκα που ονομάζεται Απουλία.

Η Απουλία λιθοσφαιρική πλάκα έχει ηπειρωτική σύσταση, δηλαδή, η μέση πυκνότητά της είναι ανάλογη με αυτή της Ευρασιατικής και συνεπώς η μεταξύ τους αλληλεπίδραση καταλήγει σε σύγκρουση (δηλαδή, δεν δύναται να βυθιστεί η μία κάτω από την άλλη και δεν ευνοείται η παράλληλη μεταξύ τους κίνηση). Αυτή, η μικρή

σχετικά λιθοσφαιρική πλάκα, στρέφεται αριστερόστροφα (δηλαδή αντίθετα από την περιστροφή των δεικτών του ωρολογίου) και η αλληλεπίδρασή της με την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα θεωρείται υπεύθυνη για τους σεισμούς, μικρού εστιακού βάθους, που γίνονται στη Γιουγκοσλαβία, στην Αλβανία και στη βορειοδυτική Ελλάδα. Ανατολικά της Απουλίας μικροπλάκας η κίνηση μεταξύ των πλακών της Ευρασίας και της Αφρικής χρεώνεται στη σχετικά γρήγορη κίνηση των λιθοσφαιρικών μικροπλακών, του Αιγαίου και της Τουρκικής, που και οι δύο ανήκουν στην Ευρασιατική. Τη λιθοσφαιρική πλάκα του Αιγαίου αποτελούν το Αιγαίο πέλαγος, μέρος της Ελληνικής χερσονήσου, η Κρήτη και μέρος των δυτικών ακτών της Μικράς Ασίας.



Σχήμα 5.1. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες που επιδρούν στην τεκτονική δυναμική της Ελλάδας και των γύρω περιοχών. Τα έντονα βέλη υποδηλώνουν συμπίεση, ενώ , τα ανοικτά βέλη υποδηλώνουν εφελκυσμό. Τα μικρά ζεύγη βελών δείχνουν τα ρήγματα διεύθυνσης.

Η δε Τουρκική λιθοσφαιρική πλάκα αποτελείται από το μεγαλύτερο μέρος της Μικράς Ασίας και την Κύπρο. Λόγω της σύγκρουσης, ανάμεσα στις λιθοσφαιρικές πλάκες της Αραβίας και της Ευρασίας στην περιοχή του Καυκάσου και της ανατολικής Τουρκίας, η Τουρκική λιθοσφαιρική πλάκα εξαναγκάζεται να κινηθεί προς δυσμάς, σε σχέση με την Ευρασία. Αποτέλεσμα της κίνησης αυτής είναι η συσσώρευση τάσεων κατά μήκος του ρήγματος διεύθυνσης (ή μετασχηματισμού) της βόρειας Ανατολίας

(δηλαδή, οι απέναντι πλευρές του ρήγματος ανήκουν σε διαφορετικές λιθοσφαιρικές πλάκες και κινούνται οριζόντια προς αντίθετες κατευθύνσεις), όπου γίνονται μεγάλοι και καταστρεπτικοί σεισμοί. Το βόρειο όριο της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας, νοτίως της Αδριατικής, καθορίζει την ωκεάνια λιθόσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου. Καθώς η μέση πυκνότητα της ωκεάνιας λιθόσφαιρας είναι μεγαλύτερη της μέσης πυκνότητας, της ηπειρωτικής σύστασης-λιθόσφαιρας, της πλάκας του Αιγαίου, βυθίζεται κάτω από αυτή, με μέση γωνία περίπου  $38^\circ$ , και σχηματίζει το ελληνικό τόξο (ξεκινάει από τα Δ-ΝΔ της Κεφαλονιάς, συνεχίζει νότια της Πελοποννήσου, κατεβαίνει νότια της Κρήτης και φθάνει έως νότια της Ρόδου).

Η καταβύθιση συσσωρεύει τάσεις κατά μήκος του ελληνικού τόξου με αποτέλεσμα τη γένεση επιφανειακών σεισμών κυρίως στο εξωτερικό μέρος του τόξου. Σεισμοί ενδιάμεσου βάθους περιορίζονται κυρίως στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο πέλαγος και σχηματίζουν τη γνωστή σεισμική ζώνη που ονομάζεται Wadati-Benioff. Το εστιακό τους βάθος αυξάνει από το εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα του τόξου. Οι ενεργές σεισμικά περιοχές της δυτικής Τουρκίας, της ανατολικής και βόρειας Ελλάδας και του βόρειου Αιγαίου πελάγους, κυριαρχούνται από εφελκυστικές δυνάμεις, καθώς το νότιο Αιγαίο κινείται νοτιοδυτικά σε σχέση με την Ευρασία. Η επέκταση αυτή του Αιγαίου μπορεί να εξηγηθεί από τα ρεύματα μεταφοράς που δημιουργούνται κατά την κατάδυση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας της Μεσογείου στον μανδύα (Mc Kenzie, 1978). Οι γεωφυσικές ιδιότητες του Αιγαίου πελάγους είναι διαφορετικές από τις γεωφυσικές ιδιότητες του εξωτερικού τμήματος του ελληνικού τόξου.

Η συνεισφορά της σεισμολογίας στη γνώση μας για τις παρούσες τεκτονικές διαδικασίες, είναι διαμέσου του ακριβούς προσδιορισμού των υποκέντρων των σεισμών, καθώς επίσης και διαμέσου των εστιακών τους μηχανισμών. Οι εστιακοί μηχανισμοί παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις παρούσες λιθοσφαιρικές κινήσεις. Βασισμένες στα σειсмоγράμματα, οι εστιακοί μηχανισμοί προσδιορίζουν το προσανατολισμό του ρήγματος και τη διεύθυνση της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος. Επιπροσθέτως, οι λύσεις αυτές καθορίζουν τις διευθύνσεις των αξόνων των τάσεων, δηλαδή, τις διευθύνσεις συμπίεσης και εφελκυσμού.

Ο Taymaz κ.α. , 1991, συνδύασαν τέτοιους εστιακούς μηχανισμούς μεγάλου αριθμού σεισμών, που έγιναν στο Αιγαίο πέλαγος και τις γύρω περιοχές, με άλλες

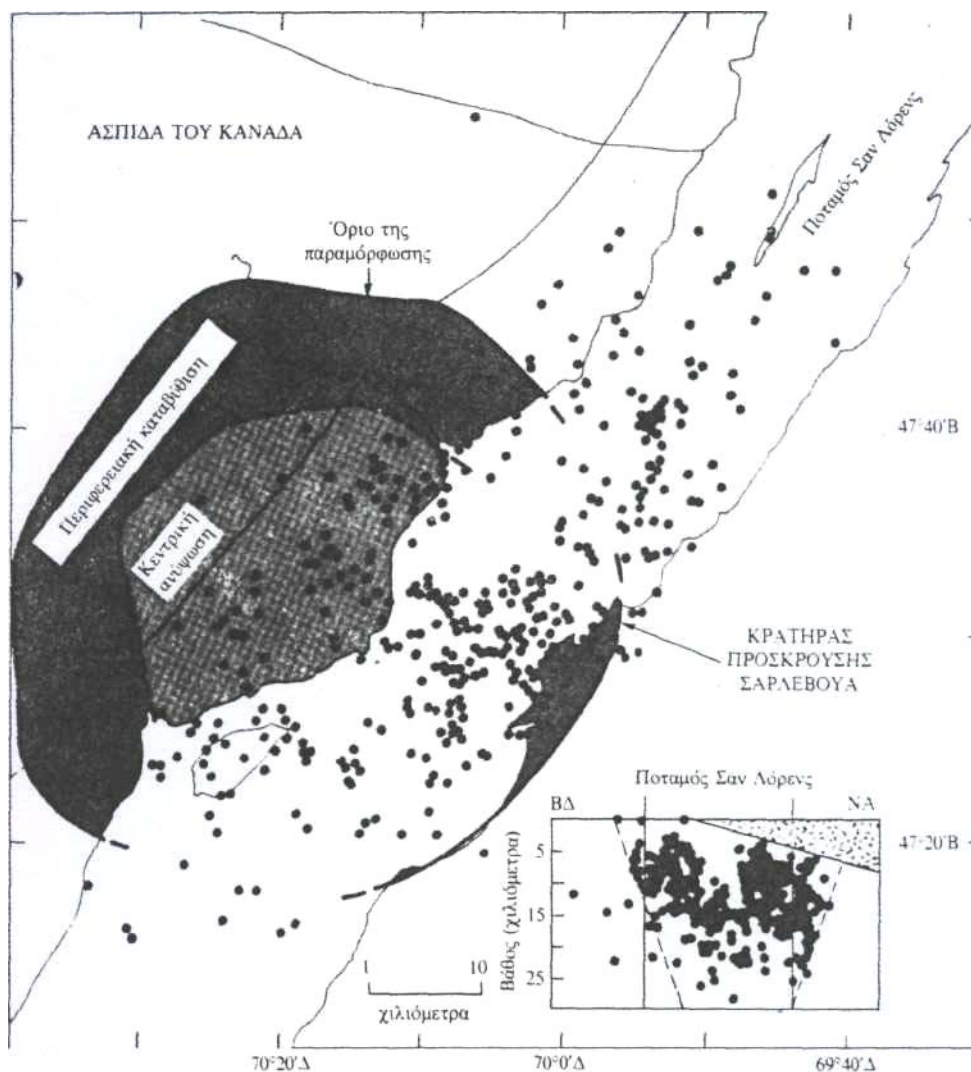
σχετικές πληροφορίες προερχόμενες από γεωλογικές και θαλάσσιες γεωφυσικές παρατηρήσεις. Η προσπάθειά τους, ήταν να αυξήσουν τις γνώσεις μας σχετικά με το πώς, η προς δυσμάς κίνηση της τουρκικής λιθοσφαιρικής πλάκας και η νοτιοδυτική κίνηση της λιθοσφαιρικής πλάκας του Αιγαίου (σε σχέση με την Ευρασία), συσχετίζονται όταν η παραμόρφωση αλλάζει από εντοπισμένη (ανατολικά των 31° Α) σε διαχεόμενη (δυτικά των 31° Α).

## 5.2. Οι τύποι των σεισμών

Δεν έχει περάσει πολύς καιρός από τότε που οι άνθρωποι πίστευαν πως τα αίτια των σεισμών θα παρέμεναν κρυμμένα στην αβεβαιότητα που τα σκεπάζει, αφού προέρχονται από βάθος τέτοιο που δεν καλύπτεται από την άμεση ανθρώπινη παρατήρηση. Για μεγάλο χρονικό διάστημα η άποψη που κυριαρχούσε ήταν ότι οι σεισμοί έρχονταν σαν τιμωρίες για τα ανθρώπινα σφάλματα. Οι στίχοι του ποιήματος «Ο σεισμός», που γράφτηκε γύρω στα 1750, συνοψίζουν αυτήν την άποψη:

*«Ποιο χέρι πες μου τώρα ποιο με τόση  
δύναμη ισχυρό Προκαλεί κινήσεις κι απανωτές  
δονήσεις; Μήπως βογκάνε οι ατμοί στου  
καζανιού τη φυλακή; Ή μήπως τρέμουν οι ακτές  
στις τρίαίνες τις θρυλικές; Όχι! Των ασεβών το  
βήμα, αυτό σηκώνει κύμα Και η Γη με νου που  
καρτερεί, συνέχεια ανυπομονεί Με ένοχο το  
βάρος τρέμει, δεν έχει θάρρος Προετοιμάζει τον  
κοινόν τάφο του γένους των θνητών.»*

*(Ανωνύμου, 1750)*



Τα επίκεντρα και οι εστίες (ένθετο) των πρόσφατων σεισμών πάνω σε χάρτη που απεικονίζει τη θέση του κρατήρα πρόσκρουσης κατά μήκος του ποταμού Αγίου Λαυρεντίου στον Καναδά. Η ακτίνα του μετεωρίτη, που έπεσε 360 εκατομμύρια χρόνια πριν, ήταν ένα χιλιόμετρο. Η ενέργεια της πρόσκρουσης επανενεργοποίησε (παραμόρφωσε ξανά) τα προϋπάρχοντα ρήγματα. [Ευγενική παραχώρηση του H.S. Hasegawa, Γεωλογική Εταιρεία του Καναδά.]

Σήμερα, οι σεισμοί και οι περισσότερες από τις παρατηρούμενες ιδιότητες τους εξηγούνται με όρους των φυσικών επιστημών. Η σύγχρονη άποψη κηρύττει πως οι σεισμοί είναι αναμενόμενο φαινόμενο, λόγω της συνεχούς γεωλογικής αναδιαμόρφωσης του πλανήτη μας. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, ας εξετάσουμε τη σύγχρονη θεωρία της γένεσης των σεισμών και τον τρόπο με τον οποίο αυτή μας

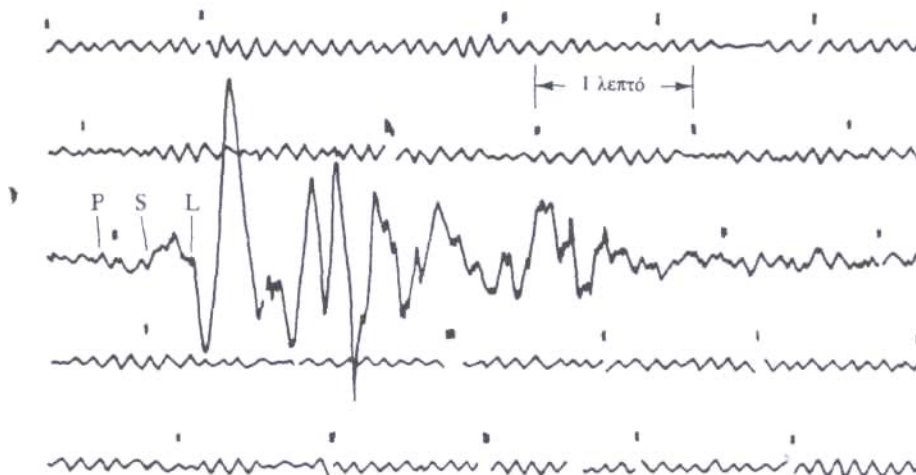
επιτρέπει να βαθύνουμε την κατανόηση των σεισμών, αλλά και θα μας βοηθήσει ακόμη και στο να τους προβλέπουμε.

Το πρώτο βήμα για την κατανόηση της σύγχρονης άποψης είναι η αναγνώριση της στενής σχέσης μεταξύ εκείνων των περιοχών του κόσμου που είναι επιρρεπείς σε σεισμούς (παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 1, Εικόνα 1) και των περιοχών που είναι γεωλογικά νέες και ενεργές, σε ολόκληρο τον κόσμο (Κεφάλαιο 1, Εικόνα 4). Οι περισσότεροι σεισμοί εκδηλώνονται κοντά στα όρια των πλακών και, επομένως, οι γεωλόγοι συμπεραίνουν ότι οι παγκόσμιες γεωλογικές και τεκτονικές δυνάμεις που δημιουργούν βουνά, κοιλάδες, μεσωκεάνιες ράχες και ωκεάνιες τάφρους είναι, επίσης, κατά βάση, οι αιτίες των μεγάλων σεισμών. Οι παγκόσμιες αυτές δυνάμεις, αν και δεν είναι πλήρως κατανοητές προς το παρόν, είναι συνέπεια των θερμοκρασιακών διαφορών, που οφείλονται στην απώλεια θερμότητας, λόγω διάδοσης στο χώρο, και στη δημιουργία θερμότητας από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων των πετρωμάτων. Πρόσφατα ρήγματα στην επιφάνεια της Γης σχετίζονται πολλές φορές με τους σεισμούς (βλ. Κεφάλαιο 3). Οι περισσότεροι καταστροφικοί σεισμοί όπως του 1906 στον Άγιο Φραγκίσκο, του 1891 στις Μίνο-Οουάρι της Ιαπωνίας και του 1976 στη Γουατεμάλα— προκλήθηκαν από τεράστιες επιφανειακές διαρρήξεις σε ρήγματα.

Είναι χρήσιμο, λοιπόν, να διακρίνουμε τους σεισμούς με βάση τον τρόπο δημιουργίας τους. Οι τεκτονικοί σεισμοί είναι με μεγάλη διαφορά οι συχνότεροι. Αυτοί προκαλούνται όταν τα πετρώματα σχίζονται απότομα, αποκρινόμενα στις ποικίλες γεωλογικές δυνάμεις. Οι τεκτονικοί σεισμοί είναι επιστημονικά ενδιαφέροντες για τη μελέτη του εσωτερικού της Γης, και είναι και μέγιστης κοινωνικής σημασίας, επειδή αποτελούν τον μεγαλύτερο σεισμικό κίνδυνο. Συνεπώς, στο μεγαλύτερο τμήμα του βιβλίου μας θα ασχοληθούμε με αυτόν τον τύπο σεισμών.

Ένας δεύτερος γνωστός τύπος σεισμών συνοδεύει τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Στην πραγματικότητα, η ιδέα ότι οι σεισμοί συνδέονται κυρίως με την ηφαιστειακή δραστηριότητα αποδίδεται στους Έλληνες φιλοσόφους, οι οποίοι είχαν εντυπωσιαστεί από την ταυτόχρονη παρουσία σεισμών και ηφαιστειών σε πολλές περιοχές της Μεσογείου. Σήμερα, ο ηφαιστειακός σεισμός ορίζεται —ακόμη— ως εκείνος που εμφανίζεται συνδεδεμένος με την ηφαιστειακή δραστηριότητα, αλλά πιστεύουμε ότι και οι εκρήξεις και οι σεισμοί είναι αποτέλεσμα των τεκτονικών δυνάμεων και, βέβαια, δεν είναι απαραίτητο να εκδηλώνονται μαζί. Στην πραγματικότητα, οι μηχανισμοί

δημιουργίας των κυμάτων στους ηφαιστειακούς σεισμούς είναι μάλλον οι ίδιοι με εκείνους των τεκτονικών σεισμών. (Οι ηφαιστειακοί σεισμοί παρουσιάζονται λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.)



Εικόνα 1: Σειсмоγράφημα που δείχνει ανατολική - δυτική εδαφική κίνηση στον σεισμολογικό σταθμό Νάνα του Περού, που δημιουργήθηκε από την κατολίσθηση του Ρίο Μαντάρο, σε απόσταση 240 χιλιομέτρων. Ο υπεύθυνος του σταθμού έχει σημειώσει τις αφίξεις των (P), (S), και των επιφανειακών (L) κυμάτων. Ο χρόνος αυξάνει από αριστερά προς τα δεξιά σε κάθε σειρά.

Οι **εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί** είναι μικροί και προκαλούνται σε περιοχές των υπόγειων σπηλαίων ή ορυχείων. Η άμεση αιτία της εδαφικής δόνησης είναι η κατάρρευση της οροφής του ορυχείου ή του σπηλαίου. Μια συχνά παρατηρούμενη παραλλαγή αυτού του φαινομένου καλείται «έκρηξη ορυχείου». Αυτό συμβαίνει όταν η επαγόμενη τάση στην περιοχή των εργασιών του ορυχείου είναι η αιτία εκτίναξης μεγάλων μαζών πετρωμάτων, με αποτέλεσμα η «έκρηξη» να δημιουργεί σεισμικά κύματα. Εκρήξεις ορυχείου παρατηρήθηκαν, για παράδειγμα, στον Καναδά και είναι ιδιαίτερα συχνές στη Νότια Αφρική.

Οι σεισμοί κατάρρευσης προκαλούνται μερικές φορές και από ογκώδεις κατολισθήσεις. Για παράδειγμα, μια εντυπωσιακή κατολίσθηση, στις 25 Απριλίου 1974, κατά μήκος του ποταμού Μαντάρο του Περού, δημιούργησε σεισμικά κύματα ισοδύναμα με αυτά ενός σεισμού μικρού προς το μέτριο.\* Ο όγκος της περιοχής που κατολίσθησε ήταν  $1,6 \times 10^9$  κυβικά μέτρα εδάφους και είχε αποτέλεσμα να σκοτωθούν περίπου 450 άτομα. Όσο είναι δυνατόν να γνωρίζουμε, αυτή η κατολίσθηση δεν προκλήθηκε από κάποιο κοντινό τεκτονικό σεισμό, όπως συχνά συμβαίνει. Μέρος της

\* Καταγράφηκε μέγεθος 4,5 της κλίμακας Ρίχτερ.



μηχανικής (βαρυτικής) ενέργειας που αναλώθηκε στην ταχεία κίνηση του εδάφους και των πετρωμάτων, προς τα κάτω, μετατράπηκε σε σεισμικά κύματα, που καταγράφηκαν ευκρινώς από σειсмоγράφους, εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Η διάρκεια της δόνησης, που μετρήθηκε από σειсмоγράφο σε απόσταση 80 χιλιομέτρων, ήταν 3 λεπτά. Ο χρόνος αυτός είναι συμβατός με την ταχύτητα της κατολίσθησης, που ήταν περίπου 140 χιλιόμετρα την ώρα, στην περιοχή που παρατηρήθηκε η κατολίσθηση, μήκους 7 χιλιομέτρων. (Η Εικόνα 1 παρουσιάζει ένα σειсмоγράφημα αυτού του φαινομένου, από τον σεισμολογικό σταθμό Νάνα του Περού.)

Ένας παρόμοιος σεισμός κατάρρευσης προήλθε από τη μεγαλύτερη κατολίσθηση που συνέβη στη σύγχρονη ιστορία —στο Ουσσί των βουνών Παμίρ, στη Ρωσία, το 1911. Ο πρίγκιπας Γκαλίτζιν, ένας από τους ιδρυτές της σύγχρονης σεισμολογίας, κατέγραψε κύματα σεισμού στο σειсмоγράφο του, κοντά στην Αγία Πετρούπολη (σήμερα Λένινγκραντ), που πρέπει να προήλθαν από την περιοχή της κατολίσθησης. Συνέκρινε την ενέργεια των σεισμικών κυμάτων με αυτή της κατολίσθησης και συνεπέρανε ότι ένας σεισμός θα έπρεπε να είχε προκαλέσει την κατολίσθηση. Πρόσφατες εργασίες —που αμφισβητούν τα συμπεράσματα του Γκαλίτζιν— οδήγησαν τελικά σε τρόπους υπολογισμού της ενέργειας που απελευθερώνεται σε ένα σεισμό από το ίδιο το σειсмоγράφημα. Μόνο το 1915, όταν πια μια αποστολή εστάλη για να ερευνήσει την κατολίσθηση στο Ουσσί, υπολογίστηκε ότι το υλικό που κατολίσθησε έφτανε τα 2,5 κυβικά χιλιόμετρα!

Οι άνθρωποι προκαλούν σεισμούς εκρήξεων, που προέρχονται, κυρίως, από την εκτόνωση χημικών ή πυρηνικών μέσων. Οι υπόγειες πυρηνικές δοκιμές που έγιναν τις τελευταίες δεκαετίες, σε αρκετά πεδία δοκιμών ανά τον κόσμο, προξένησαν σημαντικούς σεισμούς. Όταν ένας πυρηνικός μηχανισμός εκτονωθεί σε μια υπόγεια κατακόρυφη στοά απελευθερώνεται τεράστια ενέργεια. Σε εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου η πίεση αυξάνει κατά χιλιάδες φορές την πίεση της γήινης ατμόσφαιρας και η θερμοκρασία αυξάνει τοπικά σε εκατομμύρια βαθμούς. Τα περιβάλλοντα πετρώματα εξατμίζονται, δημιουργώντας μια σφαιρική κοιλότητα διαμέτρου πολλών μέτρων. Η κοιλότητα μεγαλώνει ακτινικά, καθώς τα πετρώματα που βράζουν εξατμίζονται από την εσωτερική επιφάνεια και είναι κατακερματισμένα από την έκρηξη.

Η συμπίεση των πετρωμάτων στην περιοχή που έχει επέλθει διάρρηξη (μια περιοχή ίσως πολλών χιλιομέτρων), δημιουργεί σεισμικά κύματα που ταξιδεύουν από το κέντρο της έκρηξης προς τα έξω και προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν το πρώτο συμπιεστικό σεισμικό κύμα φτάνει στην επιφάνεια, τότε το έδαφος καμπυλώνεται προς τα επάνω και αν η ενέργεια είναι αρκετή, θα εκτινάξει το χώμα και τους βράχους μακριά, σκορπώντας κομμάτια πετρωμάτων στον αέρα και δημιουργώντας κρατήρα. Αν η κατακόρυφη στοά είναι μεγάλου βάθους, τότε στην επιφάνεια θα δημιουργηθούν μόνο ρωγμές και τα πετρώματα θα ανασηκωθούν στιγμιαία και μετά θα «ραπίσουν» τα υποκείμενα στρώματα.

Ορισμένες υπόγειες εκρήξεις ήταν αρκετά μεγάλες ώστε να προκαλέσουν τη μετάδοση σεισμικών κυμάτων διαμέσου του εσωτερικού της Γης. Κύματα με πλάτος ισοδύναμο με αυτό των σειμών μετρίου μεγέθους έχουν καταγραφεί από απομακρυσμένους σεισμολογικούς σταθμούς. Κάποιες από αυτές τις εκρήξεις προκάλεσαν κύματα που δόνησαν κτίρια σε πόλεις απομακρυσμένες από το πεδίο δοκιμών. Στις 26 Απριλίου 1968, ένας πυρηνικός μηχανισμός, που ονομαζόταν Μποξ-καρ, δοκιμάστηκε στο Πεδίο Πυρηνικών Δοκιμών της Νεβάδας.\* Πριν τη δοκιμή οι κάτοικοι του Λας Βέγκας —και ειδικά ο πολυεκατομμυριούχος κτηματίας αείμνηστος Χάουαρντ Χιους— εξέφρασαν τις επιφυλάξεις τους ότι ένας τόσο ισχυρός μηχανισμός μπορεί να προκαλούσε ζημιές σε κατασκευές, ίσως και θανάτους. Αλλά η δοκιμή έγινε και οι κάτοικοι της γύρω περιοχής αισθάνθηκαν τη δόνηση, η οποία στο Λας Βέγκας, που βρίσκεται σε απόσταση 50 χιλιομέτρων, διήρκεσε 10 έως 12 δευτερόλεπτα. Ευτυχώς, δεν προκλήθηκαν αξιοσημείωτες καταστροφές.

Φυσικά, άνθρωποι και ζώα προκαλούν μερικές φορές σεισμούς (συνήθως μικρούς), με άλλους τρόπους. Μια διασκεδαστική απόχρωση δίνεται στο «Λίγες ερωτήσεις για τους σεισμούς», στο τέλος του βιβλίου.

---

\* Η έκρηξη ήταν ενεργειακά ισοδύναμη με 1.200 χιλιάδες τόνους TNT (τρινιτροτολουόλης).

### 5.3. Άλλες πηγές σεισμικών δονήσεων

Οι σεισμοί που περιγράφηκαν ανωτέρω, δηλαδή αυτοί που προκαλούνται από την απότομη απελευθέρωση της συσσωρευμένης ενέργειας – παραμόρφωσης λόγω της αλληλεπίδρασης δύο ή και περισσότερων λιθοσφαιρικών πλακών, χαρακτηρίζονται σαν τεκτονικοί σεισμοί (στα ελληνικά, τεκτονικός σημαίνει => γενεσιουργός). Άλλες κατηγορίες σεισμών είναι οι ηφαιστειακοί και οι εγκατακρημνισιγενείς (collapse). Οι ηφαιστειακοί σεισμοί ανακαλύφθηκαν από τον L. Palmieri στο εργαστήριο του Βεζούβιου το 1855 και συνδυάζονται με απότομα ανοίγματα καναλιών σε πετρώματα του φλοιού, με γρήγορες μεταβολές της κίνησης του μάγματος, με υπερβολική αύξηση της πίεσης αερίων στο φλοιό, με κατάρρευση καναλιών καθώς αδειάζουν από το μάγμα, κλπ.

Σύμφωνα με τον Minakami (1959) ή τους Tazieff και Sabroux (1983), οι ηφαιστειακοί σεισμοί χωρίζονται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

A - τύπου σεισμοί που τα υπόκεντρά τους βρίσκονται μεταξύ 1 και 10 km, B – τύπου σεισμοί που τα εστιακά τους βάθη είναι μικρότερα του 1 km και τύπου – έκρηξης σεισμοί οι οποίοι λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης. Άλλη κατηγοριοποίηση των ηφαιστειακών σεισμών μπορεί να βρεθεί κάπου αλλού. Κοντά σε ενεργά ηφαίστεια παρατηρούνται συνήθως ηφαιστειακοί μικροσεισμοί οι οποίοι οφείλονται σε μεγάλης διάρκειας, σχεδόν συνεχών, ηφαιστειακών δονήσεων. Λαμβανομένου υπόψη ότι οι ηφαιστειακοί σεισμοί είναι απομονωμένα γεγονότα διακριτά στο χρόνο το ένα από το άλλο, οι ηφαιστειακοί μικροσεισμοί δείχνουν μάλλον σπασμοδική ή αρμονική συμπεριφορά του μάγματος, εκρήξεις των ηφαιστειακών αερίων, κλπ.

Μία άλλη πηγή των δονήσεων της Γης είναι οι μεγάλης κλίμακας κατολισθήσεις. Καθώς οι σεισμοί σε ορεινές περιοχές δημιουργούν συνήθως κατολισθήσεις, είναι συνήθως δύσκολο να διαχωριστούν οι αιτίες από τα αποτελέσματα. Πιθανώς, η μεγαλύτερη κατολίπηση στη σύγχρονη ιστορία έλαβε χώρα στα βουνά του Pamir το 1991 στη Ρωσία. Προκάλεσε σεισμικά κύματα τα οποία καταγράφηκαν κοντά στην Αγία Πετρούπολη, σε μία απόσταση μεγαλύτερη των 3000 km (Bolt, 1993). Εκτεταμένες κατολισθήσεις επίσης συνόδευσαν τον καταστροφικό σεισμό στο Spitak της Αρμενίας, το 1988.

Πιο σπάνια, μεγάλοι μετεωρίτες προσκρούουν στην επιφάνεια της Γης και δημιουργούν τους **σεισμούς πρόσκρουσης** (impact earthquakes). Μια τέτοια

περίπτωση είναι αυτή του γνωστού μετεωρίτη Tunguska που ανατινάχθηκε στις 30 Ιουνίου του 1908, σ' ένα ύψος μικρότερο πιθανών των 10 km πάνω από την περιοχή της Σιβηρίας. Οι σειсмоγράφοι στην Uppsala (σε λειτουργία από το 1904) δεν κατέγραψαν το γεγονός παρά τις ανακοινώσεις σεισμολογικών σταθμών σε Ρωσία και Ευρώπη, που βρίσκονταν σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 5000 km.

Ένα άλλο ιδιαίτερα ενδιαφέρον φαινόμενο είναι οι ονομαζόμενοι **σεισμοί των πάγων** (icequakes). Αυτοί είναι σεισμοί μικρού μεγέθους στους πάγους που συνήθως συνδέονται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας (αύξηση) στους πάγους. Παρατηρήσεις από σεισμούς των πάγων έχουν ανακοινωθεί από τον Καναδά, την Γροιλανδία, την Ανταρκτική, καθώς επίσης και από άλλα μέρη. Ένα χαμηλού κόστους πείραμα πεδίου που συμπεριλάμβανε καταγραφές ενός μεγάλου αριθμού σεισμών των πάγων, πραγματοποιήθηκε στο Storglaciaren στον ορεινό όγκο Kebnekaise της βόρειας Σουηδίας το 1989 (Bakstrom, 1989).

Πολλοί τεκτονικοί και μερικοί ηφαιστειακοί σεισμοί καταγράφονται σε τηλεσεισμικές αποστάσεις (1000 km). Οι εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί (δηλαδή, αυτοί που οφείλονται σε δόνηση λόγω κατακρήμνισης κοιλοτήτων, π.χ. σε μεταλλεία), οι σεισμοί των πάγων και πολλές από τις δονήσεις που συνδέονται με κατολισθήσεις μεγάλης κλίμακας, είναι γενικά τοπικής σημασίας και πρακτικά σχεδόν πάντοτε μικρά γεγονότα. Οι τεκτονικοί, οι ηφαιστειακοί, οι εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί καθώς και οι σεισμοί πρόσκρουσης, οι σεισμοί των πάγων, οι σεισμοί λόγω μεγάλης κλίμακας κατολίπησης και οι ωκεάνιοι μικροσεισμοί (που οφείλονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων, των ωκεανών και των ηπειρωτικών τμημάτων της Γης) ανήκουν στην κατηγορία των **φυσικών σεισμικών πηγών**. Υπάρχει ακόμη μία κατηγορία σεισμών, οι **σεισμοί λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας**, όπως οι βιομηχανικές ή στρατιωτικές εκρήξεις και διάφορα είδη πολιτισμικών θορύβων (κυκλοφορία οχημάτων, βιομηχανία, κατασκευαστικές εργασίες), τα οποία είναι παραδείγματα ελεγχόμενων σεισμικών πηγών, όπου ο τόπος, ο χρόνος έναρξης και η ισχύς της πηγής, καθορίζονται εκ των προτέρων ή είναι τουλάχιστον προβλέψιμα. Ένα άλλο είδος σεισμικών πηγών ανθρώπινης δραστηριότητας, είναι **τα επαγόμενα ή εξ' αφορμής (triggered) σεισμικά γεγονότα**. Γενικά, υπάρχουν τουλάχιστον δύο πιθανοί μηχανισμοί, ικανοί να εξηγήσουν τα διάφορα είδη των εξ' αφορμής γεγονότων. Ο πρώτος συνδέεται με τις αλλαγές, σε τοπική κλίμακα, των ελαστικών τάσεων (φόρτωση

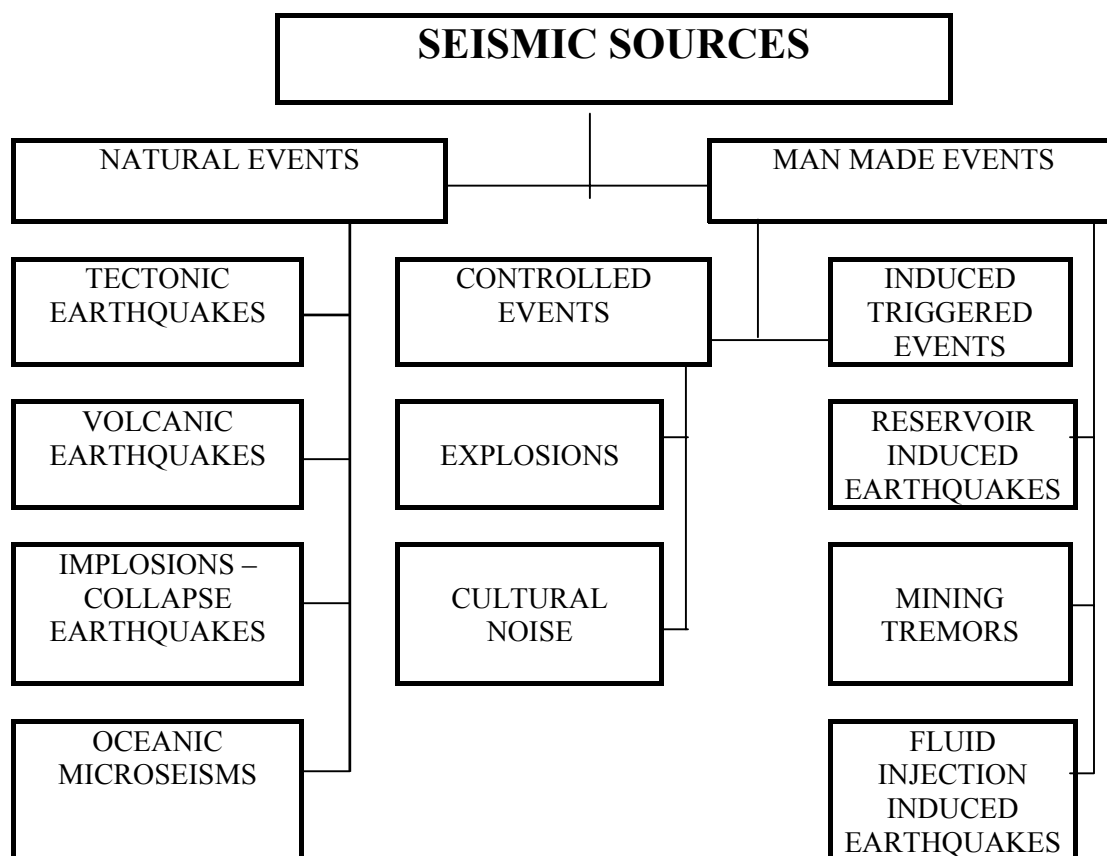
– εκφόρτωση) που προκαλούνται από την αφαίρεση μεγάλων όγκων πετρωμάτων, όπως συμβαίνει στα ορυχεία, στα λατομεία, ή ακόμα και στα φράγματα. Ο δεύτερος συνδέεται με την αύξηση της πίεσης στους πόρους και στις ρυγματώσεις, π.χ. οφειλόμενη στην πλήρωση με νερό τεχνητών λιμνών ή φραγμάτων, το οποίο καταλήγει στη μείωση της αντοχής των πετρωμάτων (συμπεριφέρεται σαν λιπαντικό) και έτσι πιθανώς να οδηγεί σε μία αύξηση της τοπικής σεισμικότητας. Οι πλέον τεκμηριωμένες περιπτώσεις σεισμικότητας εξ' αφορμής, είναι αυτές που συνδέονται με έγχυση υγρών υπό υψηλή πίεση σε πέτρωμα του φλοιού. Η φυσική εξήγηση της επαγόμενης σεισμικότητας από την πλήρωση τεχνητών λιμνών ή φραγμάτων (RIS) είναι διαφιλονικούμενη, αλλά η πλήρωση μεγάλων δεξαμενών μπορεί προφανώς να επηρεάσει και τις τοπικές ελαστικές τάσεις και την πίεση των υγρών. Με αρκετή ακρίβεια, οι θέσεις των υποκέντρων των επαγόμενων σεισμών είναι προβλέψιμες. Εντούτοις, το μέγεθος και ο χρόνος έναρξής τους, δεν είναι. Πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι, ανεξάρτητα από τους διαφόρους μηχανισμούς που τα προκαλούν, τα εξ' αφορμής γεγονότα, απελευθερώνουν τις τεκτονικές τάσεις που έχουν συσσωρευτεί κατά την διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων και ως εκ τούτου θα μπορούσαν να συμβούν ούτως ή άλλως. Ένας μεγάλος αριθμός γεγονότων που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένων πολλών από τις υπόγειες πυρηνικές εκρήξεις που έγιναν στο παρελθόν, καθώς και μερικά από εξ' αφορμής γεγονότα συνδεδεμένα με την πλήρωση τεχνητών λιμνών ή φραγμάτων, είχαν καταγραφεί σε μεγάλες αποστάσεις από εκατοντάδες σεισμολογικούς σταθμούς ανά τον κόσμο.

**Πίνακας 5.1** Παραδείγματα τεχνητών λιμνών που προκάλεσαν σεισμούς.

Όνομασία	Χώρα	Βάθος νερού (m)	Όγκος νερού (km <sup>3</sup> )	Έτος αποθήκ.	Έτος μέγα σεισμού	Μέγεθος σεισμού (M)
Koyna	Ινδία	103	2,30	1964	1967	6.5
Κρεμαστά	Ελλάδα	165	4,80	1965	1966	6.3
Hsifeng Kiang	Κίνα	105	10,50	1959	1962	6.1
Oriville	Η.Π.Α.	236	4,30	1968	1975	5.9
Kariba	Ζάμπια	128	160,30	1959	1963	5.8
Assuan	Αίγυπτος	110	160,00	1962	1981	5.2

Η συμπεριφορά της επαγόμενης σεισμικότητας από την πλήρωση τεχνητών λιμνών ή φραγμάτων είναι εμφανής για πολύ μεγάλες δεξαμενές που ξεπερνούν τα 100 m βάθος ύδατος και το 1 km<sup>3</sup> σε όγκο ύδατος. Ο πίνακας 5.1 συνοψίζει μερικές από τις πλέον συναρπαστικές περιπτώσεις. Σημειώνεται ότι μόνο το 20% των μεγαλύτερων δεξαμενών παγκοσμίως δημιουργούν σεισμούς εξ' αφορμής.

Μια συνοπτική απεικόνιση των μεγαλύτερων ειδών σεισμικών πηγών, δίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Βασικές κατηγορίες σεισμικών πηγών (Kulhanek, 1990).

Συνήθως το κοινό στρέφει την προσοχή του μόνο στα μεγάλα και καταστροφικά σεισμικά γεγονότα. Στην πραγματικότητα, ο πραγματικός αριθμός των σεισμών είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που οι άνθρωποι συνειδητοποιούν. Μικρά γεγονότα και σεισμοί σε απομακρυσμένες ακατοίκητες περιοχές (π.χ. κάτω από ωκεανούς) συνήθως συμβαίνουν χωρίς να γίνουν αντιληπτοί. Ο αριθμός των σεισμών (N) σαν συνάρτηση του μεγέθους (M) ακολουθεί την σχέση των Gutenberg και Richter (GR)

$$\text{Log}N = a - bM$$

Όπου (a) και (b) είναι θετικές σταθερές. Η κατανομή (GR) έχει μελετηθεί λεπτομερώς από πολλούς σεισμολόγους και δείχνει μια απότομη αύξηση του αριθμού των σεισμών καθώς το μέγεθός τους μειώνεται. Λαμβάνοντας τη Γη ενιαία ( $b \gg 1$ ) συμβαίνουν κατά μέσον όρο περίπου, δύο γεγονότα το χρόνο με μεγέθη 8.0 – 8.9, περίπου 15 με 20 γεγονότα με μεγέθη 7.0 – 7.9, περίπου 100 με 150 γεγονότα με μεγέθη 6.0 – 6.9 κλπ. Μερικοί ερευνητές, (Bath, 1979) υποστηρίζουν ότι συμβαίνουν περίπου 1 εκατομμύριο σεισμοί το χρόνο στη Γη, το οποίο σημαίνει περίπου 2 σεισμικά γεγονότα ανά λεπτό. Οι καταστροφικοί σεισμοί έχουν σημαδέψει την ιστορία. Ετήσια, πολλές δεκάδες σεισμών προκαλούν απώλειες ανθρώπινων ζώων, οικονομική καταστροφή και περιβαλλοντική υποβάθμιση. Κατά μέσον όρο, 10.000 – 15.000 άνθρωποι χάνουν την ζωή τους λόγω των σεισμών ετησίως και η παγκόσμια ετήσια οικονομική ζημιά είναι περίπου 7 δισεκατομμύρια δολάρια (Η.Π.Α.). Σε αυτό το κείμενο (Ιούνιος, 2000) η μεγαλύτερη οικονομική καταστροφή που προκλήθηκε από ένα και μόνο σεισμικό γεγονός, είναι πιθανώς ο σεισμός στο Kobe της Ιαπωνίας το 1995. Όπως προαναφέρθηκε, οι συνολικές ζημιές αποδιδόμενες σε αυτό το γεγονός εκτιμούνται περίπου σε 150 δισεκατομμύρια δολάρια (Η.Π.Α.).

## 5.4. Παραδείγματα ελλαδικού χώρου.

### 5.4.1. Επίδραση της φόρτωσης των τεχνητών λιμνών στη σεισμικότητα

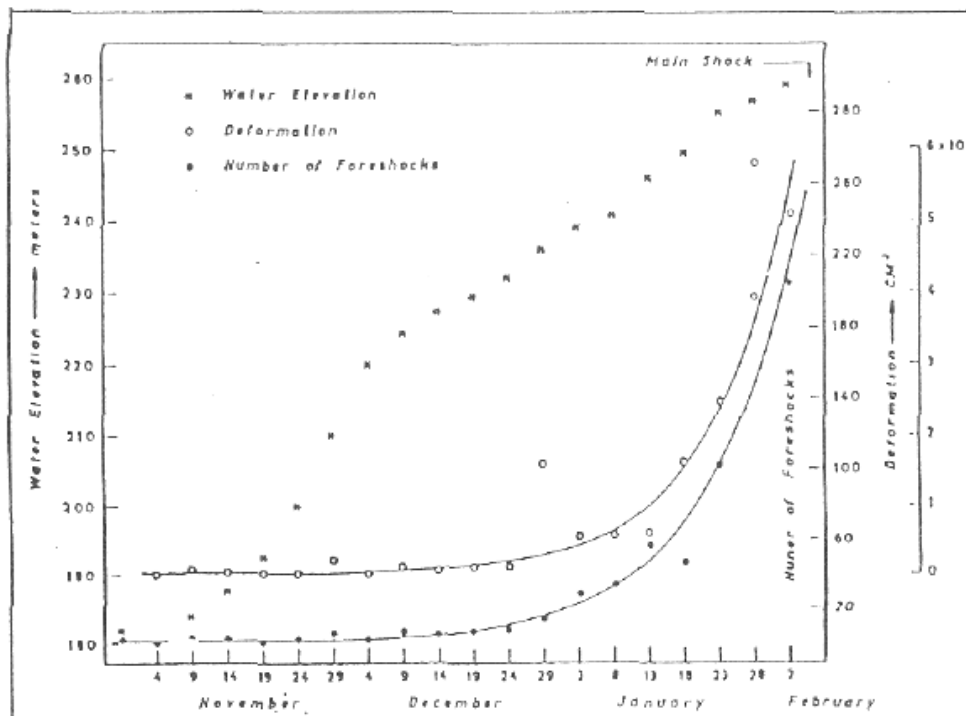
Θεωρείται σήμερα αναμφισβήτητος ο ρόλος του νερού στη γένεση των σεισμών. Αν δεν υπήρχε το νερό, τα πετρώματα που βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα από 5 km μέσα στη Γη, δεν θα άντεχαν στις πιέσεις που ασκούνται σ' αυτά τα βάθη και θα παραμορφώνονταν πλαστικά, δηλαδή θα συμπεριφερόντουσαν σαν παχύρρευστα υγρά. Θα ήταν έτσι αδύνατη η ελαστική τους παραμόρφωση και θραύση τους, η οποία προκαλεί τους ισχυρούς σεισμούς. Η έλλειψη νερού στα πετρώματα της Σελήνης, είναι ο λόγος για τον οποίο δεν γεννιούνται μεγάλοι σεισμοί σ' αυτή. Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας του νερού, είναι η και η επίδραση τη φόρτωσης με νερό τεχνητών λιμνοδεξαμενών στη σεισμικότητα που έχει παρατηρηθεί σε 40 περίπου περιπτώσεις τεχνητών λιμνών σε διάφορα μέρη της Γης.

Παρατηρήσεις σχετικά με την επίδραση της φόρτωσης τεχνητών λιμνών στη σεισμική δράση του ελληνικού χώρου, έχουν γίνει για τις τεχνητές λίμνες των Κρεμαστών (Comninakis et al, 1968 – Papazachos, 1973 – Δρακόπουλος, 1974) και του Μαραθώνα (Γαλανόπουλος, 1967). Η πιο ενδιαφέρουσα και περισσότερο σαφής περίπτωση συσχέτισης φόρτωσης τεχνητής λίμνης, με τη σεισμική δράση στην Ελλάδα, είναι αυτής της τεχνητής λίμνης των Κρεμαστών. Αυτή δημιουργήθηκε το 1965 με τεχνητό φράγμα στον ποταμό Αχελώο και αποτελεί, σε παγκόσμια κλίμακα, μία από τις τρεις περιπτώσεις που διενεργήθηκαν μεγάλοι σεισμοί ( $M > 6$ ), από την φόρτωση τεχνητών λιμνών με νερό (οι άλλες δύο είναι, η λίμνη Kariba στην Αφρική και το φράγμα Kouya στις Ινδίες). Το γέμισμα του ταμιευτήρα της λίμνης, άρχισε στις 21 Ιουλίου 1965 και οι πρώτες σεισμικές δονήσεις, άρχισαν τον Αύγουστο. Το Δεκέμβριο του ίδιου έτους, το ύψος του νερού άρχισε να αυξάνεται έντονα και συνεχίστηκε η αύξηση αυτή παράλληλα με την αύξηση της συχνότητας των σεισμών, μέχρι τη γένεση του ισχυρού σεισμού στις 5 Φεβρουαρίου 1966 ( $M = 6.2$ ). συνεχίστηκε κατόπιν η μετασεισμική δράση με ελάττωση της συχνότητας των σεισμών σύμφωνα με τη γνωστή σχέση:

$$n = n_1 t^{-p}$$



ενώ το ύψος του νερού συνέχισε να αυξάνεται αλλά με μικρότερο ρυθμό, μέχρις ότου απέκτησε το μέγιστο ύψος του (120 m από τον πυθμένα της λίμνης ) τον Απρίλιο του 1966 σχήμα 5.3.



Η επαγόμενη από τις τεχνητές λίμνες σεισμική δράση, έχει ορισμένες ιδιότητες που τη χαρακτηρίζουν σε σχέση με την κανονική (συνηθισμένη) σεισμική δράση. Έτσι, η παράμετρος  $b$  της σχέσης:

$$\text{Log}N_t = a_t - bM$$

για την επαγόμενη σεισμικότητα (από τεχνητές λίμνες, κλπ) έχει τιμή μεγαλύτερη από την τιμή της για τη συνηθισμένη σεισμική δράση της περιοχής. Ο αριθμός και η διάρκεια των επαγόμενων προσεισμών και μετασεισμών, είναι μεγαλύτερα απ' ό τι στις κανονικές σεισμικές ακολουθίες. Επίσης, η μέση διαφορά μεγέθους, μεταξύ του κύριου σεισμού και του μέγιστου μετασεισμού μιας επαγόμενης μετασεισμικής ακολουθίας, είναι σχετικά μικρή ( $D_1 = 0.5$ ) σε σχέση με τη διαφορά αυτή για μια συνηθισμένη μετασεισμική ακολουθία ( $D_1 = 1.2$ ).

Όσον αφορά το μηχανισμό με τον οποίο το νερό των τεχνητών λιμνών επηρεάζει τη σεισμική δράση, διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις, οι οποίες μπορούν να συνοψισθούν σε δύο γενικές κατηγορίες. Σύμφωνα με την πρώτη κατηγορία απόψεων, η είσοδος του νερού μέσα στα πετρώματα έχει ως συνέπεια τη μεταβολή του πεδίου των τεκτονικών τάσεων. Ανακατανέμονται έτσι οι τάσεις και συγκεντρώνονται σ'

ορισμένα σημεία τα οποία αποτελούν εστίες επαγόμενων από τη φόρτωση της λίμνης σεισμών, ενώ κάτω από κανονικές συνθήκες δεν θα γεννιόνταν εκεί σεισμοί. Σύμφωνα με την δεύτερη κατηγορία απόψεων, η είσοδος του νερού έχει ως συνέπεια την ελάττωση των τριβών μεταξύ των πλευρών του ρήγματος, λόγω ελάττωσης της κάθετης δύναμης στις πλευρές του ρήγματος (αύξηση της πίεσης των πόρων) ή ελάττωσης του συντελεστή τριβής (λίπανση των πλευρών του ρήγματος). Πραγματοποιείται έτσι διάρρηξη πριν αποκτήσει η τεκτονική τάση την κανονική τιμή διάρρηξης, δηλαδή, εκείνη την τιμή για την οποία συνήθως πραγματοποιείται η διάρρηξη των πετρωμάτων.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, για να επηρεαστεί η σεισμική δράση από το νερό των τεχνητών λιμνών, πρέπει να υπάρχουν στην περιοχή ενεργά ρήγματα τα οποία να διαποτιστούν με νερό. Δηλαδή, πρέπει η περιοχή να είναι τεκτονικά ενεργή και η πίεση του νερού να είναι ισχυρή, ώστε να διαποτιστούν τα πετρώματα στο βάθος του σεισμικού ρήγματος. Για να είναι αυτό δυνατό, πρέπει το ύψος του νερού στη λίμνη, να είναι σημαντικό. Από τις παρατηρήσεις προκύπτει ότι, μόνο στις περιπτώσεις των φραγμάτων στα οποία η επιφάνεια του νερού πέρασε το ύψος των 100 m παρατηρήθηκε ασυνήθιστη σεισμική δράση. Υπολογίζεται ότι ένα φράγμα που δημιουργεί τεχνητή λίμνη με βάθος μεγαλύτερο από 90 m έχει πιθανότητα μόνο 3% να διεγείρει ισχυρό σεισμό ( $M > 5.7$ ). Επειδή ένας τέτοιος σεισμός μπορεί να έχει ως συνέπεια την καταστροφή του φράγματος, πρέπει να γίνει δεκτή η περισσότερο συντηρητική άποψη, σύμφωνα με την οποία, οποιοδήποτε φράγμα κατασκευάζεται σήμερα για την δημιουργία τεχνητής λίμνης με βάθος μεγαλύτερο από 100 m, πρέπει να γίνεται με αντισεισμικές προδιαγραφές που να βασίζονται στην υπόθεση ότι ένας σεισμός με μέγεθος ( $M = 6.5$ ) θα γίνει στην περιοχή του φράγματος μόνο για απόσταση 40 – 50 km (Allen, 1979). Η έντονη τεκτονική διάρρηξη των πετρωμάτων στον ελληνικό χώρο αποτελεί πρόσθετο λόγο αποδοχής αυτής της άποψης για την Ελλάδα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

### Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

#### 6.1. Γενικά

Από πολλούς και από αρκετά χρόνια πριν, διαπιστώθηκε μία τοπογραφική σύμπτωση σεισμών και ηφαιστείων κοντά σε θάλασσες και ωκεανούς, χωρίς να έχει δοθεί ποτέ καμία ικανοποιητική εξήγηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίφημη Περιειρηνική ζώνη, όπου γίνονται τα 80% των σεισμών τη Γης. Ελάχιστες περιοχές φαίνεται να μην υπακούουν σε αυτή την παρατήρηση, όπως π.χ. η περιοχή των Ιμαλαίων. Κι αυτές όμως έχουν νερά, διότι γειτονεύουν ή βρίσκονται σε περιοχές λιμνών ή ποταμών. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε και το μετεωρικό νερό, που φθάνει στις σεισμογόνες εστίες διαμέσου ρηγμάτων.

Ακόμα και αυτή η σύμπτωση σεισμών και ηφαιστείων θεωρήθηκε ανεξήγητη και συνεπώς τυχαία και μόνο ύστερα από τη θεωρία των "τεκτονικών πλακών" δόθηκε κάποια εξήγηση -λανθασμένη όμως- στην κοινή παρουσία τους. Αυτό επιδιώχθηκε σαν απόλυτη ανάγκη να συνδυασθούν δύο ούτως ή άλλως συγγενή (σεισμοί και ηφαίστεια) και μη ομολογούμενα έτσι, γεωδυναμικά φαινόμενα.

Πρόσφατα, διατυπώθηκαν απόψεις, όπως αυτή που επιλέγει ο Β. Παπαζάχος, δηλαδή ότι το νερό διευκολύνει τη ολίσθηση ρηγμάτων, άρα τη γένεση σεισμών, διότι πιστεύεται ότι το νερό ενεργεί σαν "λιπαντικό" ανάμεσα στις δύο επιφάνειες ενός ρήγματος. Στη σκέψη αυτή οδηγήθηκαν οι γεωλόγοι, γεωφυσικοί και σεισμολόγοι, μετά από τις παρατηρήσεις που έγιναν στις περιοχές φραγμάτων για το σχηματισμό τεχνητών λιμνών, σχετικά με τη σημαντική αύξηση της σεισμικότητας των περιοχών αυτών, μετά από την κατασκευή των προηγούμενων.

*"Όσον αφορά το μηχανισμό με τον οποίο ο νερό των τεχνητών λιμνών επηρεάζει τη σεισμική δράση, διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις, οι οποίες μπορούν να συνοψισθούν σε δύο γενικές κατηγορίες. Σύμφωνα με την πρώτη κατηγορία απόψεων, η είσοδος του νερού μέσα στα πετρώματα έχει σαν συνέπεια τη μεταβολή του πεδίου των τεκτονικών τάσεων. Ανακατανέμονται έτσι οι τάσεις και συγκεντρώνονται σε ορισμένα σημεία τα οποία*

αποτελούν εστίες επαγόμενων από τη φόρτωση της λίμνης σεισμών, ενώ κάτω από κανονικές συνθήκες δεν θα γεννιούνταν εκεί σεισμοί. Σύμφωνα με τη δεύτερη κατηγορία απόψεων η είσοδος του νερού έχει ως συνέπεια την ελάττωση των τριβών μεταξύ των πλευρών του ρήγματος (αύξηση της πίεσης των πόρων) ή ελάττωσης τον συντελεστή τριβής (λίπανση των πλευρών του ρήγματος). Πραγματοποιείται έτσι διάρρηξη πριν αποκτήσει η τεκτονική τάση την κανονική τιμή διάρρηξης, δηλαδή, εκείνη την τιμή για την οποία συνήθως πραγματοποιείται διάρρηξη των πετρωμάτων". (B. Παπαζάχος).

Σήμερα, χωρίς να γίνει αναφορά σε λεπτομέρειες, θεωρείται βέβαιο ότι πράγματι μετά από την κατασκευή αυτών των φραγμάτων αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των σεισμών ή έγιναν για πρώτη φορά σεισμοί σε τελείως -σχεδόν- "ασεισμικές" περιοχές. Στην πραγματικότητα τέτοιες περιοχές δεν υπάρχουν πουθενά. Παντού μπορεί να γίνουν σεισμοί, έστω και μετά από χιλιάδες χρόνια.

Αυτή η διαπίστωση σεισμών στις περιοχές τεχνητών φραγμάτων και λιμνών δεν πρέπει να θεωρηθεί σαν επίτευγμα της σχετικής επιστήμης, διότι έπρεπε να είχε γίνει από πολύ πριν. Σεισμοί γίνονταν και ηφαίστεια υπήρχαν κοντά στη θάλασσα (π.χ. στα νησιωτικά τόξα) όπως και σε άλλες περιοχές με νερό (π.χ. σε ποταμούς, λίμνες, οάσεις κλπ.), χωρίς κανείς ειδικός να δώσει καμία ερμηνεία ή εξήγηση. Το είχαν παρατηρήσει (π.χ. ο Ι. Μελέντης), αλλά δεν είχαν πει, προηγουμένως, ότι το νερό ... "λιπαίνει" τα ρήγματα, διότι αυτή η ερμηνεία σε καμία περίπτωση δεν είναι ορθή. Έπρεπε λοιπόν να είχαν οδηγηθεί πολύ νωρίτερα στη σκέψη, ότι το νερό παίζει ουσιαστικό ρόλο στη γένεση των σεισμών, αλλά και των εκρήξεων των ηφαιστειών, όπως θα υποστηριχθεί αναλυτικά. Αγνοούσαν όμως την αιτία, η οποία δεν μπορεί να είναι άλλη από αυτή που προτείνουμε. Δηλαδή την "οξυγόνωση" των υπόγειων εκρήξεων από το νερό.

Μετά από τις διαπιστώσεις αυτές, που έγιναν στις τεχνητές λίμνες, απέδωσαν την απουσία σεισμών στη Σελήνη -ανάλογων με αυτών της Γης- στην εκεί έλλειψη νερού. (B. Παπαζάχος κ.ά.). Αυτό, δηλαδή η απόλυτη συσχέτιση τεκτονικών σεισμών και νερού με μόνη προϋπόθεση την ύπαρξη ρηγμάτων, δεν πρέπει να ευσταθεί, διότι δεν στηρίζεται σε αρκετά πραγματικά και διασταυρωμένα στοιχεία. Τώρα, τι θα πουν, μετά την πρόσφατη διαπίστωση ύπαρξης νερού στο εσωτερικό της Σελήνης;

Στη Σελήνη, εκτός από τους σεισμούς τους οφειλόμενους στις πτώσεις διαφόρων σωμάτων επάνω στην επιφάνειά της, υπάρχει ουσιαστικά, μία μόνο κατηγορία σεισμών με εστιακά βάθη, που αντιστοιχούν περίπου με το ήμισυ της σεληνιακής ακτίνας,

δηλαδή 800 km περίπου. Οι σεισμοί αυτοί σε αντίθεση με τους σεισμούς της Γης είναι πολύ μικρής έντασης (2-3 R) και συμβαίνουν λόγω των παλιρροϊκών δυνάμεων της Γης, όπως με βεβαιότητα έχει εξακριβωθεί.

Εκείνο το οποίο δεν είναι καθόλου βέβαιο, είναι ο ακριβής ρόλος του νερού στη γένεση ενός σεισμού. Η διατυπωμένη και επικρατούσα σήμερα άποψη, ότι αυτό δρα σαν "λιπαντικό", δεν είναι καθόλου πειστική και κατά πάσα πιθανότητα αληθινή. Αυτό πιθανόν να ίσχυε, όταν οι δύο επιφάνειες του ρήγματος ήταν απόλυτα λείες. Η περίπτωση όμως αυτή, πρέπει να αποκλεισθεί, διότι έρχεται σε αντίθεση με τη θεωρία των "κλείθρων" που πιστεύεται ότι υπάρχουν και "κλειδώνουν" τις επιφάνειες των ρηγμάτων, δηλαδή των ανωμαλιών που παρεμποδίζουν την ολίσθηση. Κατά την θεωρία των "κλείθρων", που είναι γενικά αποδεκτή σήμερα, η θραύση του; προκαλεί νέους σεισμούς, μετά την αρχική δημιουργία του ρήγματος.

Το πιθανότερο λοιπόν είναι, η ύπαρξη, του νερού ανάμεσα στις επιφάνειες του ρήγματος να προκαλεί ένα είδος τσιμεντοποίησης, δηλαδή να συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Να. παρεμποδίζει έως και να μην επιτρέπει καθόλου την ολίσθηση των πλευρών του ρήγματος, αντί να. τη διευκολύνει με τη συνεκτική λάσπη, που θα δημιουργείται από τη σίγουρη παρουσία χώματος. Το τελευταίο προήλθε από την τριβή των δύο επιφανειών του ρήγματος, αλλά και τη μερική διάλυση εξαιτίας των διαβρωτικών ιδιοτήτων του νερού.

Η πραγματική αιτία, που δεν γίνονται ουσιαστικά ισχυροί σεισμοί στη Σελήνη, αλλά και στον Άρη, είναι, κατά κύριο λόγο, η απουσία κεραυνών, διότι αυτοί προκαλούν τις εκρήξεις-σεισμούς. Η τελευταία αυτή κατηγορία των σεισμών -που είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία σεισμών στη Γη είναι ανύπαρκτη στη Σελήνη.

Οι παραπάνω σεισμοί της Σελήνης μεγέθους 2-3 R, οι οποίοι προκαλούνται από τις παλιρροϊκές δυνάμεις της Γης είναι τεκτονικοί-εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί. Τέτοιοι σεισμοί, είναι και οι μεγάλου βάθους σεισμοί της Γης, οι οποίοι οφείλονται η καλύτερα "πυροδοτούνται" από τις παλιρροϊκές δυνάμεις της Σελήνης και του Ηλίου, κατά τις συζυγίες, όπως θα γίνει αναφορά σε ξεχωριστή ενότητα.

Η πτώση κεραυνών σ' ένα τόπο και η "αποθήκευση", στη συνέχεια, των θετικών φορτίων τους στα μονωτικά εκρηξιγενή και άλλα πετρώματα, δεν είναι η μόνη προϋπόθεση γενέσεως εκρήξεως-σεισμού. Όπως γράφτηκε και σε προηγούμενη θέση, είναι απαραίτητη και η παρουσία οξυγόνου, για να γίνει η έκρηξη. Η προϋπόθεση αυτή

εκπληρώνεται και με την παρουσία νερού στη σειсмоγόνο εστία της μελλοντικής έκρηξης, διότι ως γνωστό στο θαλάσσιο, αλλά και στο μετεωρικό νερό και κάθε άλλο νερό, λόγω του ατμοσφαιρικού αέρα, υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο.

Πολύ μεγαλύτερες όμως ποσότητες οξυγόνου εξάγονται από το νερό με ηλεκτρόλυση, που γίνεται στις περιοχές των εκρήξεων-σεισμών. Οι θέσεις των "αποθηκευμένων" θετικών φορτίων των κεραυνών στα μονωτικά πετρώματα αποτελούν την άνοδο, και οι θέσεις των αρνητικών φορτίων στα ιζηματογενή πετρώματα, την κάθοδο. Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα, είναι το νερό το οποίο συγκεντρώνεται εκεί με τις διαλυμένες ουσίες- χημικά στοιχεία που περιέχει (Ca, Na, Mg, κ.α.).

Αυτός λοιπόν, είναι ο λόγος της προκλήσεως σεισμών σε ορισμένες περιοχές, μετά από την κατασκευή τεχνητών λιμνών ή άλλων παρόμοιων αιτίων, όπως η απόρριψη μολυσμένων νερών στο Εσωτερικό της Γης από μία πολεμική βιομηχανία στις ΗΠΑ. Εκεί υπήρχαν "αποθηκευμένα" θετικά φορτία κεραυνών, γινόντουσαν ενδεχομένως ηλεκτρικές εκκενώσεις, αλλά δεν γινόντουσαν εκρήξεις, εξαιτίας απουσίας οξυγόνου από έλλειψη νερού.

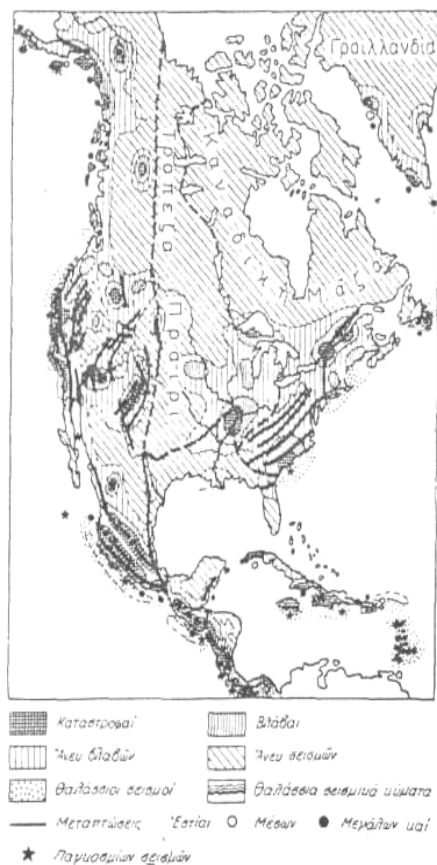
Στην προηγούμενη (φράση πρωτοδιατυπώνεται η έννοια ηλεκτρικής εκκένωσης, χωρίς έκρηξη-σεισμό. Αυτό είναι κάτι πολύ σημαντικό, διότι σε αυτό οφείλονται πολλά ανεξήγητα μέχρι σήμερα φαινόμενα, όπως θα εξηγηθεί σε ξεχωριστή ενότητα.

Τέλος, είναι εμφανής και η σχέση "γλυκού" νερού και σεισμών:

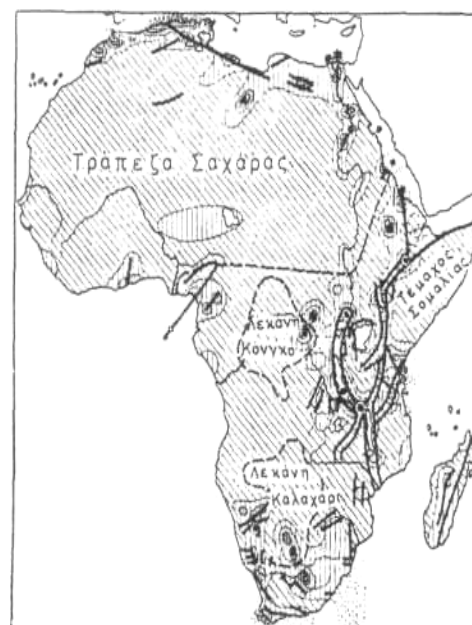
1) Στις παραποτάμιες περιοχές των μεγαλύτερων ποταμών:

α) Β. Αμερικής: Μισσισιπή (στη συμβολή των παραποτάμων: Μισούρι και Οχάιο), Κολοράντο (Γιούτα), Κουλούμπια (Πολιτείες Όρεγκον και Ουάσιγκτων) και Αγ. Λαυρεντίου (Μόντρεαλ). Στις περιπτώσεις των ποταμών: Μισσισιπή και Αγ. Λαυρεντίου, η σχέση νερού και σεισμών είναι ολοφάνερη και αδιαμφισβήτητη (βλ. Εικ. 6.1.).

β) Αφρικής: Νείλου, Ζαμβέζη (Νοτιοανατολική Αφρική) και Οράγγη (Νοτιοδυτική Αφρική). Στην περίπτωση του Νείλου, η ως άνω σχέση είναι επίσης ολοφάνερη (βλ. Εικ. 6.2.)



Εικ. 6.1 «Σεισμικός χάρτης της Βορείου και Κεντρικής Αμερικής (Sieberg, 1933, Α. Γαλανόπουλος, 1971)



6.2 «Σεισμικός χάρτης της Αφρικής

γ) Ν. Αμερικής: Ρίου ντε Λα Πλάτα (βλ. Εικ. 6.3.).

δ) Ευρώπης: Ρήνου, Δούναβη, Αξιού κ.ά. (βλ. Εικ. 6.4).

ε) Ασίας: Βραχμαπούρτα (Ιμαλαία), Ινδού και Γάγγη (Ινδία), Γιανκ-Τσε και Χουάνγκ-Χο η Κίτρινου ποταμού (Κίνα), Μεκόνγκ (Ν. Κίνα), Αμούρ, στα σύνορα Κίνας και πρώην ΕΣΣΔ. (βλ. Εικ. 6.5). Η παραποτάμια περιοχή του τελευταίου ποταμού, ο οποίος χύνεται στην Οχοϊσκή θάλασσα στο ύψος της Σαχαλίνης, είναι ιδιαίτερα σεισμογόνος. Τα δήθεν όρια της Ευρασιατικής με την Αφρικανική "πλάκα" στην περιοχή της Ασίας, είναι οι παραποτάμιες περιοχές των προηγούμενων μεγάλων ποταμών της Ασίας. Οι σεισμοί εκεί, οφείλονται -εκτός από τα θετικά φορτία των κεραυνών- στις ποσότητες των υδάτων των ποταμών που εισχωρούν στις σεισμογόνες εστίες και δίδουν το απαραίτητο οξυγόνο, και δεν οφείλονται στις δήθεν συγκρουόμενες και ανύπαρκτες "τεκτονικές πλάκες".



Εικ. 6.3 "Σεισμικός χάρτης της Νοτίου Αμερικής (Sieberg, 1933)", Α. Γαλανόπουλος, 1971.



Εικ. 6.4 "Σεισμικός χάρτης της Ευρώπης (Sieberg, 1933)", Α. Γαλανόπουλος, 1971.



Εικ. 6.5. "Σεισμικός χάρτης της Ασίας, (Sieberg, 1933)". Α. Γαλανόπουλος, 1971.

2) Στις παραλίμνιες περιοχές:

α) Β. Αμερικής: Ανάμεσα στις μεγάλες λίμνες και στη Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη του Σώλτ Λέικ Σίτυ των ΗΠΑ.

"... Πάντως, αι όχθαι των μεγάλων λιμνών, καθώς και ο ρους των ποταμών Οχάιο και Κάνσας παρουσιάζουν ελαφρώς ζωηράν σεισμικήν δράσιν...". (Α. Γαλανόπουλος).

β) Αφρικής: Των λιμνών Αλβέρτου και Εδουάρδου (Κεντρική Αφρική και ανατολικά της λεκάνης του Κόνγκο). Η σχέση νερού-σεισμών στην προηγούμενη



περίπτωση είναι πολύ εμφανής, όταν γίνει παραβολή με το χάρτη της Αφρικής (της εγκυκλ. Μπριτάνικα, λήμμα: Αφρική). Επίσης, στις λίμνες της Ανατολικής Αφρικής, κατά μήκος της μεγαλύτερης ρηξιγενούς κοιλάδας της Γης. Χαρακτηριστική είναι επίσης και η περίπτωση σεισμών που συνδέονται με τη λίμνη Τάνα, αλλά και τις άλλες λίμνες της Αιθιοπίας. Μία άλλη ανάλογη περίπτωση είναι και η περιοχή της λίμνης Τσαντ και του ποταμού που εκβάλλει σε αυτή (Ν. Σαχάρα). Τέλος ιδιαίτερα σεισμογόνος είναι και η περιοχή της λίμνης Βόλτα στη Γκάνα.

*"... Ζωηροτάτην σεισμικήν δράσιν με μεγάλους και ενίοτε, παγκοσμίους σεισμούς αναπτύσσουν η Αβησσυνία και τα μεγάλα ταφροειδή ρήγματα της κεντρικής και Ανατολικής Αφρικής που απαντούν, ιδίως, εις τας λίμνας Ταγκανίκα και Νυάσα..."*.(Α. Γαλανόπουλος).

γ) Ν. Αμερικής: Των λιμνών κατά. μήκος της οροσειράς των Άνδεων (π.χ. Τιχιτάκα κ.ά.).

δ) Ασίας: Της λίμνης Βαϊκάλης.

Η παραπάνω τεκμηρίωση, ίσως, δεν είναι αρκετή να πείσει για το αληθές των ισχυρισμών του συντάκτη, διότι δεν μπορεί, αλλά και δεν πρέπει, να στηριχθεί και να αποδειχθεί μια τόσο σοβαρή ερμηνεία σε μία και μόνο σειρά συσχετισμών νερού και σεισμών.

Σε παρακάτω θέσεις και ενότητες, θα παρατεθεί μία άλλη σειρά επιχειρημάτων, που θα τεκμηριώνουν ακόμα περισσότερο την άποψη ότι το νερό είναι απαραίτητο για τη γένεση των κυριότερων σεισμών.

Εξαίρεση στον παραπάνω κανόνα αποτελούν ορισμένοι τεκτονικοί-ενκατακρημνισιγενείς σεισμοί, ως και μία κατηγορία εκρήξεων-σεισμών, η οποία "οξυγονώνεται" κυρίως από ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Το οξυγόνο διεισδύει στις σεισμογόνες θέσεις από διάφορες ρωγμές του εδάφους ως και τα γνωστά ρήγματα. Φυσικά, από τις ίδιες ρωγμές εισχωρεί και μετεωρικό νερό. Επομένως, δεν υπάρχει σχεδόν περίπτωση, που το νερό να μη συμμετέχει και να μην είναι απαραίτητο σε όλους τους σεισμούς.

### 6.1.1. Κατακρημνίσματα και σεισμοί

Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια της προηγούμενης, αλλά διαχωρίστηκε για να γίνει σύγκριση με τις σημερινές απόψεις σχετικά με το ρόλο των βροχών και γενικότερα των κατακρημνισμάτων με τους σεισμούς.

Εάν ανατρέξει κάποιος στο περισπούδαστο βιβλίο: "Περί σεισμών" του Αθανάσιου Γεωργιάδη (εκδόσεως : 1904), θα διαβάσει για διάφορες αναφορές σεισμών, ακόμα και από την κλασική περίοδο, οι οποίοι συνοδεύτηκαν με διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως βροχές, ομίχλες, ισχυρούς ανέμους, καταιγίδες, φωτεινά φαινόμενα κ.ά.

Χάριν συντομίας θα γίνει αναφορά μόνο σε πιο πρόσφατα σχετικά περιστατικά, όπως:

1) *"Κατά τον αξιοσημείωτον σεισμόν της Λισσαβώνας (1755) παρατηρήθη, ότι οι θερινοί μήνες, οίτινες προηγήθησαν του σεισμού, υπήρξαν βροχερώτατοι".*

2) *"..Κατά τας μετεωρολογικός παρατηρήσεις, ας εποιησάμεθα εν Καλάμαις κατά τα έτη 1886 και 1887, είδομεν, ότι μετά τον σεισμόν του 1886 συνέβησαν όλως έκτακτα φαινόμενα, οίον μεγάλοι νετοί, βίαιοι άνεμοι και ιδίως ο πνεύσας θερμός λιψ, (λίβας), εξάρσεις και καταπτώσεις της βαρομετρικής στήλης, εκλείψεις ηλίου κλπ."*

3) *"...Εν Ελλάδι αι μεγάλοι και συνεχείς βροχαί απεργάζονται συν τοις άλλοις και σεισμούς, αλλ' ούτοι προκύπτουσιν εκ των υπογείων μηχανικών και φυσικών ενεργειών των υδάτων, ήτοι εισίν οι επικληθέντες σεισμοί εγκατακρημνίσεων, και συμβαίνουσι κατά τόπους, δήλα δη εκεί ένθα γίνονται αι βροχαί, τα δε εδάφη εισίν ευνοϊκά προς τούτο, και δια τούτο, οσάκις πίπτουσιν εν τισί περιοχαίς της Ελλάδος μεγάλαι και συνεχείς βροχαί παρά το σύνηθες, συμβαίνουσι και σεισμοί. Αυτό τούτο παρατηρείται και εις το Περού και τους Μουλούκους χώρας σεισμικός, όπου οι κάτοικοι, ως και εν Ελλάδι συνηθισμένοι όντες εις τους σεισμούς, οσάκις έχουσι βροχερόν έτος, αναμένουσι και σεισμούς- ένεκα τούτου εγκαταλείπουσι τας μονίμους κατοικίας των, όπως εύρωσιν αλλαχού ασφάλειαν εν μικροίς οικίσκοις αντισεισμικοίς".*

Ο καθηγητής Α. Γαλανόπουλος (1961) αναφέρει τα εξής σχετικά:

*"Τα κατακρημνίσματα και αι πλυμμυρίδες, και γενικώς τα μετεωρολογικά φαινόμενα, δύνανται να προκαλέσουν, διά μονοπλεύρων φορτώσεων, διατάραξιν της ισορροπίας των γήινων τεμαχών που ευρίσκονται εις ασταθή ισορροπία. Ούτω λ.χ. εις*

την επαρχίαν Κουάντο η σεισμική δράσις αναζει, όταν αυξάνη η ποσότης των κατακρημνισμάτων, και ιδία της χιόνος, παρά την δυτικήν ακτήν της νήσου Χόνδο. Πάντως αι φορτώσεις που προκαλούνται από τα κατακρημνίσματα είναι εξαιρετικώς ασήμαντοι, εν συγκρίσει προς τας ελαστικές τάσεις που προκαλούν τους σεισμούς. Η πίεσις λ.χ. της στήλης ύδατος 1 m ανέρχεται εις 100 gr\*/cm<sup>2</sup>. Αντιθέτως, η αντοχή διαρρήξεως των πετρωμάτων έχει τάξιν μεγέθους μερικών εκατομμυρίων gr\*/cm<sup>2</sup>."

Η τελευταία, ως άνω πρόταση, παραλήφθηκε, στη νεώτερη έκδοση του 1971, για ευνόητους λόγους. Κατάλαβε προφανώς ότι, αυτή, δεν βοηθούσε καθόλου στην υποστήριξη της ως άνω απόψεώς του, έστω και πιθανολογούμενης ("Τα κατακρημνίσματα... δύνανται να προκαλέσουν... διατάραξιν της ισορροπίας...").

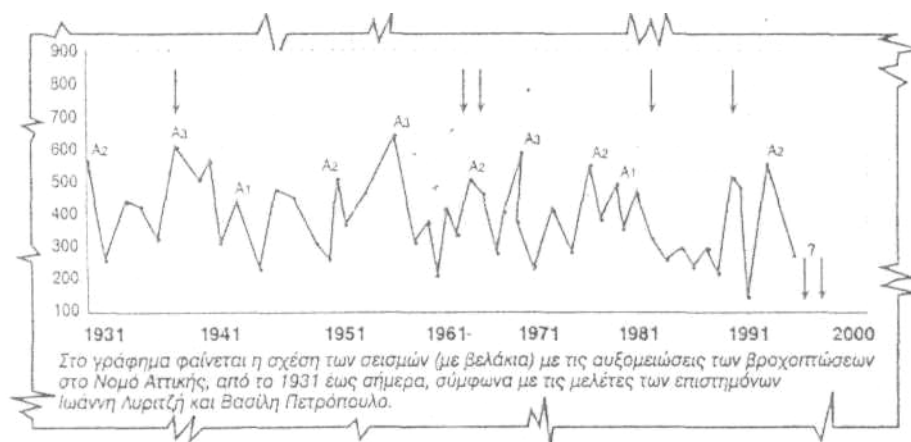
Ο ίδιος καθηγητής, 6 μόλις χρόνια μετά το 1961, δηλαδή το 1967, γράφει στα Γεωλογικά Χρονικά:

"... Ως εδείχθη από αναλόγους ερευνας (GUHA et al., 1956), από όλα τα αίτια εκλύσεως σεισμών, το ,πλέον εμφανές είναι η ταχύτης μεταβολής φορτώσεως του εδάφους εις περιοχάς που είναι σεισμικώς ενεργοί. Τούτο πιθανώς να οφείλεται είτε εις το μέγεθος επβαρύνσεως, είτε εις τον τρόπον που ασκείται αυτή. Εάν λόγου χάριν η υδροστατική πίεσις ασκείται επί σφηνοειδούς ρηξιγενούς τεμάχους εκτεινομένου μέχρι της επιφάνειας τον βασालτοειδούς στρώματος, και το εύρος της κάτω επιφάνειας είναι 10% τον εύρους της άνω επιφάνειας τούτου, η πρόσθετος πίεσις που ασκείται επί της βάσεως στηρίζεως της άνω επιφάνειας τούτου, η πρόσθετος πίεσις που ασκείται επί της βάσεως στηρίζεως τον τεμάχους είναι 10/πλασία αυτής που ασκείται επί της άνω επιφανείας τον σφηνοειδούς τεμάχους. Εκτος τούτου, το ύδωρ διεισδύον υπό σημαντικώς μεγαλύτεραν της συνήθους πίεσιν κατά μήκος των πλευρών τον ρηξιγενούς τεμάχους δύναται ν' αυξήση και επεκτείνη την λίπανσιν ( fault - plane lubrication), και να ελαττώση ούτω τον συντελεστήν τριβής κατά μήκος τον ρήγματος εις σημαντικόν βάθος".

Την παραπάνω τελευταία άποψη τον Λ. Γαλανόπουλου περί ... λιπάνσεως και ελαττώσεως της τριβής κατά μήκος του ρήγματος ασπάζεται, όπως ειπώθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, και ο Β. Παπαζάχος.

Πολύ ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι απόψεις δύο Ελλήνων ερευνητών των Ι. Λυριτζή και Β. Πετρόπουλου του κέντρου Αστρονομίας και εφαρμοσμένων μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών, σχετικά με τη σχέση βροχών και σεισμών, οι

οποίες δημοσιεύθηκαν σε ρεπορτάζ της Ε. Γκόλια στο φύλλο της Κυριακάτικης Βραδινής στις 30/11/1997 (βλ. Εικ. 6.6):



Εικ. 6.6. Σχέσεις βροχών - σεισμών (Ι. Λυριτζή και Β. Πετρόπουλο. 1997).

Απόψεις Ι. Λυριτζή:

"Εξετάσαμε την πιθανή σχέση που μπορεί να έχουν οι μεταβολές της βροχόπτωσης με τους μελλοντικούς σεισμούς τα τελευταία 130 χρόνια και ανακαλύψαμε ότι αναφέρεται σε κάποια έντονη μεταβολή στο ύψος της βροχής, πάνω από τη μέση τιμή της, πριν γίνει ο σεισμός... Πρόκειται για κάποιες αυξομειώσεις στο ύψος της βροχής με την πάροδο του χρόνου... Πρώτα παρουσιάζεται χαμηλή βροχόπτωση, πολύ κάτω της μέσης τιμής, μετά ακολουθούν αυξήσεις των βροχών συγκεκριμένου ύψους, οι οποίες διαρκούν μέχρι δυο χρόνια, και αυτές οι αυξήσεις, κατόπιν, οδηγούν σε μεγάλο σεισμό..."

Παρακάτω οι δύο ερευνητές αναλύοντας το φαινόμενο εξηγούν ότι:

"...Η δράση τον νερού δεν είναι εύκολα κατανοητή στην έκλυση των σεισμών. Ίσως το φαινόμενο διαστολής των πετρωμάτων σε πολύ ρηχά ρήγματα -βάθους λίγων χιλιομέτρων όπου μπορούν να φθάσουν τα υπόγεια νερά- να δημιουργεί μικρούς σεισμούς, εις μεγαλύτερα βάθη περισσότερων χιλιομέτρων. Ίσως πάλι, το βάρος τον φορτίου από την βροχόπτωση να προκαλεί τέτοιες συσσωρευτικές τάσεις που να εκδηλώνονται σε σεισμό ποικίλου μεγέθους. Τέτοιες παρατηρήσεις έχουμε κάνει για τη λίμνη Μαραθώνα."

Από τις παραπάνω παραθέσεις απόψεων των διαφόρων επιστημόνων, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

Έχουν αναφερθεί δύο διαφορετικές σχέσεις βροχών και σεισμών. Στην πρώτη, οι βροχές προηγούνται, κατά κάποιο χρονικό διάστημα, των σεισμών. Στη δεύτερη, οι

βροχές ή άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα (ομίχλη, άνεμοι κλπ.) ταυτίζονται χρονικά με τους σεισμούς.

Στην πρώτη περίπτωση ο ρόλος της βροχής ερμηνεύεται με διαφορετικές απόψεις, που διαφοροποιήθηκαν στο πέρασμα του χρόνου ακόμα και από τον ίδιο επιστήμονα, χωρίς να εκφράζεται βεβαιότητα για την ακριβή σχέση τους με τους σεισμούς, η οποία όμως τελικά δεν αμφισβητείται.

Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση της ταυτόχρονης παρουσίας των βροχών, αλλά και άλλων μετεωρολογικών φαινομένων με τους σεισμούς, δεν αναφέρεται καν από τους σύγχρονους επιστήμονες. Είναι η γνωστή περίπτωση, που ξανασυναντήσαμε. Ότι δεν μπορεί να εξηγηθεί καθόλου, απουσιάζει, αποσιωπάται, ακόμα και διαψεύδεται.

Η ταυτόχρονη παρουσία των άλλων μετεωρολογικών φαινομένων, θα εξηγηθεί αναλυτικά σε άλλη ενότητα. Επί του παρόντος, αναφέρεται ότι οφείλεται στις διάφορες ηλεκτρικές εκκενώσεις, οι οποίες συμβαίνουν στο εσωτερικό της Γης, κατά την διάρκεια των εκρήξεων-σεισμών, και των οποίων οι συνέπειες εκδηλώνονται και στην ατμόσφαιρα κατά αντίστροφη πορεία από αυτήν των συνήθων κεραυνών.

Αυτές οι ενδογήινες ηλεκτρικές εκκενώσεις παράγουν δέσμες θετικών φορτίων, οι οποίες εξέρχονται στην ατμόσφαιρα και προκαλούν μεγάλη ποικιλία φαινομένων, όπως: Φωτεινά φαινόμενα δηλαδή αστραπές, κεραυνούς- έντονους ιονισμούς, συμπυκνώσεις υδρατμών γύρω από τους παραγόμενους πυρήνες συμπυκνώσεως - δηλαδή ομίχλη ή βροχή- ισχυρούς ανέμους από τα ποσά θερμότητας, που εκλύονται κατά τις προηγούμενες συμπυκνώσεις κ.ά.

Το βάρος των διαφόρων κατακρημνισμάτων (βροχής, χιονιού κλπ.) αποκλείεται λοιπόν να παίζει τον παραμικρό ρόλο στη γένεση των σεισμών, διότι είναι ποσοτικά ασήμαντο συγκρινόμενο με τις αντοχές των πετρωμάτων, που είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερες. Το παράξενο, εάν μη τι άλλο, είναι ότι ενώ το ξέρουν (Α. Γαλανόπουλος), εξακολουθούν να μιλούν και να υποστηρίζουν την ίδια λανθασμένη άποψη. Αυτή η εμμονή τους σε λανθασμένες παλιές, μερικές φορές, απόψεις και η ανελαστικότητα τους σε νέες (απόψεις) είναι σχεδόν ακατανόητη. Ζητούν πλήρη επιστημονική τεκμηρίωση από τον απέναντι τους, ενώ οι ίδιοι υποστηρίζουν, μερικές φορές, εντελώς αβάσιμες απόψεις, όπως αυτή με το βάρος των κατακρημνισμάτων, ότι δηλαδή αυτά με το βάρος τους προκαλούν σεισμούς. Τέτοιες ατεκμηρίωτες και σχεδόν παράλογες

απόψεις είδαμε αρκετές μέχρι στιγμής. Για παράδειγμα αναφέρουμε την άποψη ότι, ενώ τα πετρώματα -ύστερα από ένα βάθος στο οποίο δεν συμφωνούν ποιο είναι- έχουν κατ' αυτούς "πλαστική συμπεριφορά", ταυτόχρονα ... παραμορφώνονται ελαστικά, θραύονται -όταν ξεπεράσουν το όριο ελαστικότητας τους- και... προκαλούν σεισμούς!!

Υπάρχουν όμως, πάρα πολλά αντιφατικά και άλλα παρόμοια στη θεωρία των "τεκτονικών πλακών", αλλά και σε όλα τα θέματα, όπως θα δούμε παρακάτω με κάθε λεπτομέρεια.

Τέλος, για το ίδιο θέμα, το νερό των βροχών δεν διευκολύνει τις ολισθήσεις των ρηγμάτων με το να ... λιπαίνει τις ... τριβόμενες επιφάνειες τους ή για κάποια άλλη αιτία, που ακόμα αναζητάται. Το νερό παίζει ένα τελείως διαφορετικό ρόλο, που κανείς άνθρωπος, ποτέ δεν φαντάστηκε.

Το νερό μέσα από τα ρήγματα και τις κάθε είδους ρωγμές, διεισδύει με μεγαλύτερη ευκολία, σε πολύ μεγαλύτερη ποσότητα και σε πολύ μεγαλύτερα βάθη στις σεισμογόνες εστίες και "οξυγονώνει" τις εκρήξεις-σεισμούς.

Τα ρήγματα λοιπόν, παίζουν ένα πολύ σημαντικό και τελείως διαφορετικό ρόλο από αυτόν που πιστεύεται:

Επιτρέπουν τη διείσδυση του μετεωρικού, αλλά και κάθε είδους, νερού σε μεγάλες ποσότητες στις σεισμογόνες εστίες, ιδιαίτερα στις πολυρηγματωμένες περιοχές.

Αυτή είναι η αιτία, που εκεί, δηλαδή στα ρήγματα, γίνονται επιφανειακοί σεισμοί και όχι αυτά τα ίδια τα ρήγματα, που προκαλούνται δήθεν από υπέρβαση του ορίου ελαστικότητας, εξαιτίας αγνώστων ενδογήινων δυνάμεων κατά ορισμένους η λόγιο των "υπογείων ρευμάτων μεταφοράς θερμότητας" κατά τους περισσότερους.

Από τα ρήγματα και γενικά τις διάφορες ρωγμές του εδάφους, εισέρχεται επίσης και ατμοσφαιρικός αέρας, το οξυγόνο, του οποίου παίζει τον ίδιο ακριβώς ρόλο. Αυτή είναι η αιτία που ορισμένα ηφαίστεια, όπως της Χαβάης βγάζουν άζωτο και αργό σε αναλογίες που προσεγγίζουν τις αναλογίες του ατμοσφαιρικού αέρα. ο οποίος "οξυγονώνει" τις σεισμογόνες εστίες με τα ίδια αποτελέσματα. Περισσότερα γι' αυτό θα παρατεθούν στο Δ' Μέρος (Τα ηφαίστεια).

Το νερό λοιπόν, είναι κατά κανόνα απαραίτητο για τη γένεση όλων των σεισμών. Αφενός δίνει το απαραίτητο οξυγόνο για τις εκρήξεις-σεισμούς, και αφετέρου με τις

διαβρωτικές ικανότητες του, παράγει τους εγκατακρημνισιγενείς σεισμούς, όπως θα εξηγηθεί σε άλλη θέση.

Έτσι, μπορούμε να πούμε απερίφραστα ότι:

*Χωρίς νερό, δεν γίνονται σχεδόν ποτέ σεισμοί.*

Παρακάτω, θα εκτεθεί μία σειρά σχετικών επιχειρημάτων:

1) Πουθενά, εκτός ίσως ελαχίστων εξαιρέσεων, δεν γίνονται σεισμοί, όπου για διάφορους λόγους το νερό δεν εισχωρεί στους πιθανούς χώρους σεισμικών εστιών, όπως:

α) Στις ερήμους: Αφρικής (π.χ. Σαχάρα), Αυστραλίας και άλλων ηπείρων, ελλείπει φυσικά βροχών.

*"... Η τράπεζα της Σαχάρας είναι τελείως ασεισμική, εκτός ίσως εις τας μικράς σειράς των Οάσεων..." (Α. Γαλανόπουλος).*

β) Σε όλες τις, μεγάλου γεωγραφικού πλάτους, παγωμένες περιοχές (π.χ. Σιβηρίας, Ρωσίας, Σκανδιναβίας, Καναδά, Αρκτικής Ανταρκτικής κλπ.). Στις χώρες αυτές η ασθενής ηλιακή θερμότητα δεν μπορεί να εισχωρήσει σε βάθος πάνω από ελάχιστα μέτρα με συνέπεια το έδαφος να είναι μονίμως παγωμένο για μερικές εκατοντάδες μέτρα, όπως έχει διαπιστωθεί, οπότε η διείδυση του μετεωρικού νερού καθίσταται αδύνατη.

Βαθύτερα, σε βάθη μεγαλύτερα από μερικές εκατοντάδες μέτρα, το έδαφος παύει να είναι παγωμένο, διότι θερμαίνεται από τη γηγενή θερμότητα. Η μέση θερμική ροή της Γης δεν είναι ικανή από μόνη της να αποτρέψει το πάγωμα του εδάφους.

Οι όποιοι σεισμοί γίνονται σε μερικές βόρειες περιοχές (π.χ. στη Σουηδία), οφείλονται στο θαλάσσιο νερό. η ενδεχόμενα σε "γλυκό" νερό από βαθιές λίμνες, θερμοκρασίας 4 Κελσίου, που εισχωρεί μέχρι τις μελλοντικές σεισμικές εστίες.

γ) Στους ωκεανούς η τις θάλασσες, όπου δεν υπάρχουν ανοικτά ρήγματα (π.χ. ρήγμα της Ανατολίας, το οποίο διασχίζει και το Βόρειο Αιγαίο), ρηξιγενείς κοιλάδες (στις μεσοωκεάνιες ράχεις). και αβυσσαίες η ωκεάνιες τάφροι (π.χ. στην Περιειρηνική ζώνη η δακτυλίδι, στο Πουέρτο Ρίκο στον Ατλαντικό ωκεανό κλπ.).

Στις υπόλοιπες ωκεάνιες ή θαλάσσιες περιοχές της Γης, δεν γίνονται κατά κανόνα σεισμοί, διότι το θαλάσσιο νερό δεν μπορεί να εισχωρήσει εξαιτίας των μεγάλου πάχους των ιζημάτων, που υπάρχουν στους ωκεανούς και στις θάλασσες, πλην των ανωτέρω περιοχών. Όπου, στις θάλασσες και στους ωκεανούς, γίνει σεισμός, σίγουρα

υπάρχει δίοδος νερού προς το εσωτερικό της Γης (π.χ. από παλιά ηφαίστεια, που καταποντίστηκαν).

δ) Τέλος, δεν γίνονται σεισμοί στις περιοχές των ηπειρωτικών ασπίδων. Τέτοιες περιοχές υπάρχουν σε πολλά μέρη της Γης, όπως στον Καναδά, στη Ν. Αμερική (Αμαζόνιο ασπίδα), Ινδία κ.α. Αυτές, είναι μεγάλες ηπειρωτικές περιοχές, σταθερές τεκτονικά με χαμηλό επιφανειακό ανάγλυφο, που αποτελείται από Προκάμβια κρυσταλλικά πετρώματα ηλικίας μεγαλύτερης από 500 εκατομμύρια χρόνια. Σε αυτές τις περιοχές, λόγω απουσίας ρηγμάτων και κενών στο εσωτερικό της γης, το βρόχινο νερό δεν μπορεί να εισχωρήσει σε βάθος μεγαλύτερο από λίγα μέτρα, δηλαδή δεν μπορεί να φθάσει μέχρι εκεί που υπάρχουν τα "αποθηκευμένα" θετικά φορτία των κεραυνών στα μονωτικά πετρώματα, (ώστε να οξυγονώσει τις ενδογήινες ηλεκτρικές εκκενώσεις ή κεραυνούς, δηλαδή να προκαλέσει εκρήξεις-σεισμούς. Αυτές οι περιοχές (ηπειρωτικές ασπίδες) δεν έχουν ρήγματα και εσωτερικά κενά, λόγω του χαμηλού επιφανειακού ανάγλυφου και της πολύ μεγάλης ηλικίας τους. Στα πολλά εκατομμύρια χρόνια, που μεσολάβησαν χωρίς σεισμούς, τα πάντα συμπίεστηκαν και ισοπεδώθηκαν. Όλες οι ρωγμές και τα κενά που υπήρχαν εξαφανίστηκαν. Είναι όμως επίσης πολύ πιθανό, το αρνητικό δυναμικό της Γης να είναι εκεί ασθενές, λόγω της υπάρξεως μεγάλης ποσότητας κρυσταλλικών (μονωτικών) πετρωμάτων ως και της μικρής αντίστοιχα υπάρξεως αρνητικών αγωγίμων πετρωμάτων. Αυτό έχει σαν συνέπεια να υπάρχει περιορισμένος αριθμός πτώσεως κεραυνών στις περιοχές αυτές, διότι όπως αναφέρθηκε οι κεραυνοί (τα θετικά φορτία τους) έλκονται από το αρνητικό φορτίο της Γης. Αυτό το γεγονός δεν αποκλείει οι κεραυνοί εκεί να είναι, κατά την διάρκεια των καταιγίδων, ενδονεφικοί και όχι μεταξύ των νεφών και του εδάφους.

- Πώς λοιπόν, μπορούν καλύτερα και πιο σωστά οι υποστηρικτές των ρηγμάτων να εξηγήσουν αυτή την απουσία σεισμών από τις παραπάνω περιοχές; Μήπως μπορούν να ισχυρισθούν ότι εκεί δεν υπάρχουν "υπόγεια ρεύματα μεταφοράς θερμότητας" ή άλλες ενδογήινες δυνάμεις, οι οποίες να παραμορφώνουν ελαστικά τα πετρώματα και να προκαλούν, στη συνέχεια, σεισμούς, όταν αυτές οι παραμορφώσεις ξεπερνούν τα όρια ελαστικότητάς των πετρωμάτων αυτών; Μια τέτοια όμως εξαίρεση δεν δικαιολογείται. Απλούστατα ο μηχανισμός των σεισμών είναι διαφορετικός από αυτόν που νομίζουν.



Πριν από τη θεωρία των "τεκτονικών πλακών" (το 1965 περίπου), δεν έλεγαν τίποτε. Μετά από αυτή, είπαν απλά ότι οι σεισμοί γίνονται στα όρια των "τεκτονικών πλακών", χωρίς να εξηγήσουν το πώς. Φρόντισαν όμως ... να μην περάσουν τα όρια καμιάς "τεκτονικής πλάκας" από τις παραπάνω περιοχές.

Και εδώ όμως, βρέθηκε η λύση! Τα όρια των "επινοηθέντων" και "επιπλεόντων τεκτονικών πλακών" ... περνούν από τα ρήγματα (π.χ. του Βορείου Αιγαίου), τις μεσοωκεάνιες ράχεις και παράλληλα με τις ωκεάνιες ή παρόμοιες τάφρους (π.χ. του Ελληνικού τόξου).

2) Όπου, κατά κανόνα, έχουμε πολλές βροχές, πέφτουν και πολλοί κεραυνοί, διότι οι περισσότερες βροχές πέφτουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Οι κεραυνοί δίδουν τα θετικά φορτία, για να γίνουν οι "πυροδοτήσεις" των εκρήξεων-σεισμών και οι βροχές το απαραίτητο οξυγόνο.

3) Είναι ολοφάνερη η σχέση σεισμών-ηφαιστείων και βροχών στη Δυτική Νότιο Αμερική, αλλά και σε πολλές άλλες περιοχές της υδρογείου. Στο μέσον της Δυτ. Νότιας Αμερικής, που υπάρχει η έρημος Ατακάμα και απουσιάζουν σχεδόν παντελώς οι βροχές, απουσιάζουν τα ηφαίστεια και οι μικρού βάθους (λιγότερο από 100 km) σεισμοί. Οι μεγάλοι βάθους σεισμοί (Χιλής), που γίνονται εκεί, είναι εγκατακρημνισιγενείς και οφείλονται στις διαβρωτικές ιδιότητες του θαλάσσιου νερού, που εισχωρεί από την ωκεάνιο τάφρο της Χιλής (περισσότερες λεπτομέρειες σε επόμενη ενότητα).

4) Τέλος, είναι απόλυτα βεβαιωμένη σήμερα η συσχέτιση νερού και σεισμών, μετά την αύξηση της σεισμικότητας σε περιοχές κατασκευής τεχνητών λιμνών, με τη διαφορά, βέβαια, ότι αυτή δεν ερμηνεύεται σωστά.

Κυριότερη όμως απόδειξη της πιο πάνω απόψεως, δηλαδή ότι το νερό είναι απαραίτητο για τη γένεση σεισμών, είναι η εξίσου απαραίτητη παρουσία ωκεάνιων τάφρων ή βαθιών θαλασσών στα νησιωτικά τόξα, στην περιοχή των οποίων, ως γνωστόν, γίνονται οι περισσότεροι και οι ισχυρότεροι σεισμοί του κόσμου (βλ. Εικ. 6.12).

### **6.1.2. Νησιωτικά τόξα, ωκεάνιες τάφροι και εκρήξεις – σεισμοί**

Τα νησιωτικά τόξα είναι κατά κανόνα μία μακριά τοξοειδής αλυσίδα ωκεάνιων συνήθως νησιών, που παρουσιάζει έντονη ηφαιστειακή και σεισμική δραστηριότητα

και συνδέονται με πρόσφατες τεκτονικές διεργασίες. Τα περισσότερα νησιωτικά τόξα βρίσκονται στη λεκάνη του Ειρηνικού ωκεανού και κυρίως στη δυτική πλευρά της.

Νησιωτικό τόξο, ονομάζεται κατ' εξαίρεση, και κάθε τοξοειδής γεωγραφική διάταξη ηπειρωτικών περιοχών της Γης. η οποία παρουσιάζει έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Ένα τέτοιο, είναι και το Ελληνικό νησιωτικό τόξο, όπου γίνονται οι περισσότεροι και ισχυρότεροι σεισμοί της Ευρώπης (βλ. Εικ. 6.7.). Αυτό συμβαδίζει παράλληλα με μια σειρά θαλάσσιων τάφρων, που είναι οι πιο βαθιές της Μεσογείου (βλ. Εικ. 6.8.). Είναι πολύ εμφανής η σχέση βαθιών τάφρων και σεισμών, όπως φαίνεται ολοκάθαρα στις σχετικές εικόνες (βλ. Εικ. 6.7, Εικ. 6.8 και την τριπλή Εικ. 6.12).

- Μήπως αυτό είναι τυχαίο;

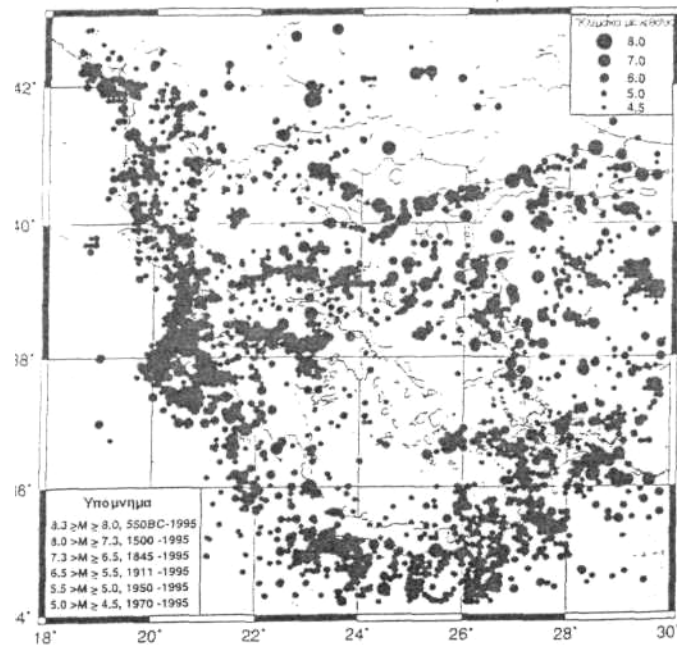
- Ασφαλώς όχι, εκτός εάν συνέβαινε μόνο στη δική μας περιοχή. Το φαινόμενο όμως αυτό, επαναλαμβάνεται σε όλα ανεξαιρέτως τα πραγματικά νησιωτικά τόξα (βλ. Εικ. 6.10). Γράφτηκε "πραγματικά", γιατί υπάρχει και το νησιωτικό τόξο των ... Ιμαλαίων. Πιο χαρακτηριστικά είναι τα τόξα των νησιών: Αλεούτων, Κουρίλων, Ιαπωνικών νησιών, Φιλιππίνων, Μαριάνων, Τόνγκα, του Ειρηνικού ωκεανού, Πουέρτο Ρίκο του Ατλαντικού και Ανατ. Ινδιών ή της Ιάβας του Ινδικού ωκεανού.

Όλα αυτά τα νησιωτικά τόξα έχουν ωκεάνιες τάφρους παράλληλες προς αυτά και μάλιστα στην κυρτή πλευρά τους, όπως συμβαίνει και στο Ελληνικό τόξο. Αντίθετα, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο, όπως το προηγούμενο, στην κοίλη η εσωτερική πλευρά τους υπάρχουν οι λεγόμενες περιθωριακές θάλασσες μικρότερου συγκριτικά βάθους.

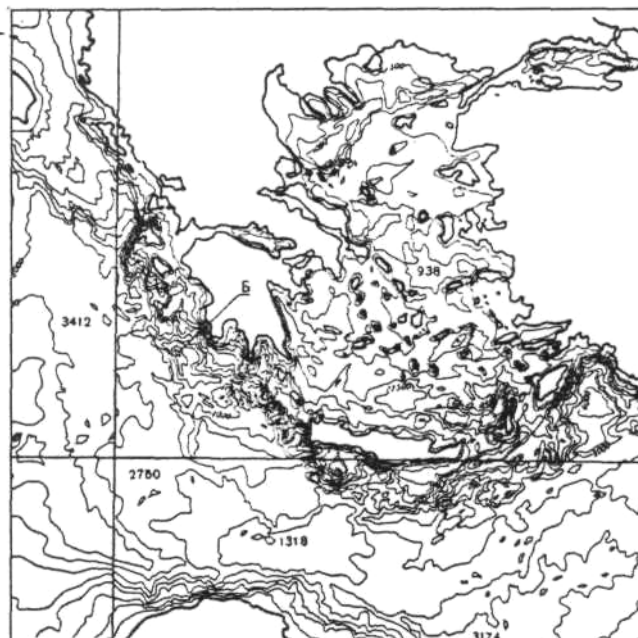
Στις παραπάνω) ωκεάνιες τάφρους υπάρχουν τα μεγαλύτερα βάθη των ωκεανών της Γης. Στην τάφρο της Ιάβας μήκους 2600 km το μεγαλύτερο βάθος είναι 7.450 m, στο Πουέρτο Ρίκο μήκους 1750 km είναι 8.380 m. Η τάφρος των Μαριάνων, που έχει μήκος: 2.550 km, έχει και το μεγαλύτερο γνωστό βάθος του Ειρηνικού ωκεανού, αλλά και της υδρογείου: 11.037 m. Το περίεργο και αξιοσημείωτο στην τελευταία περίπτωση είναι ότι κάθε νέα βυθομέτρηση έδινε και μεγαλύτερο βάθος!

Η διατομή των τάφρων αυτών είναι σχήματος V, με πολύ απότομα τοιχώματα προς την πλευρά της χέρσου (βλ. Εικ. 6.10.).

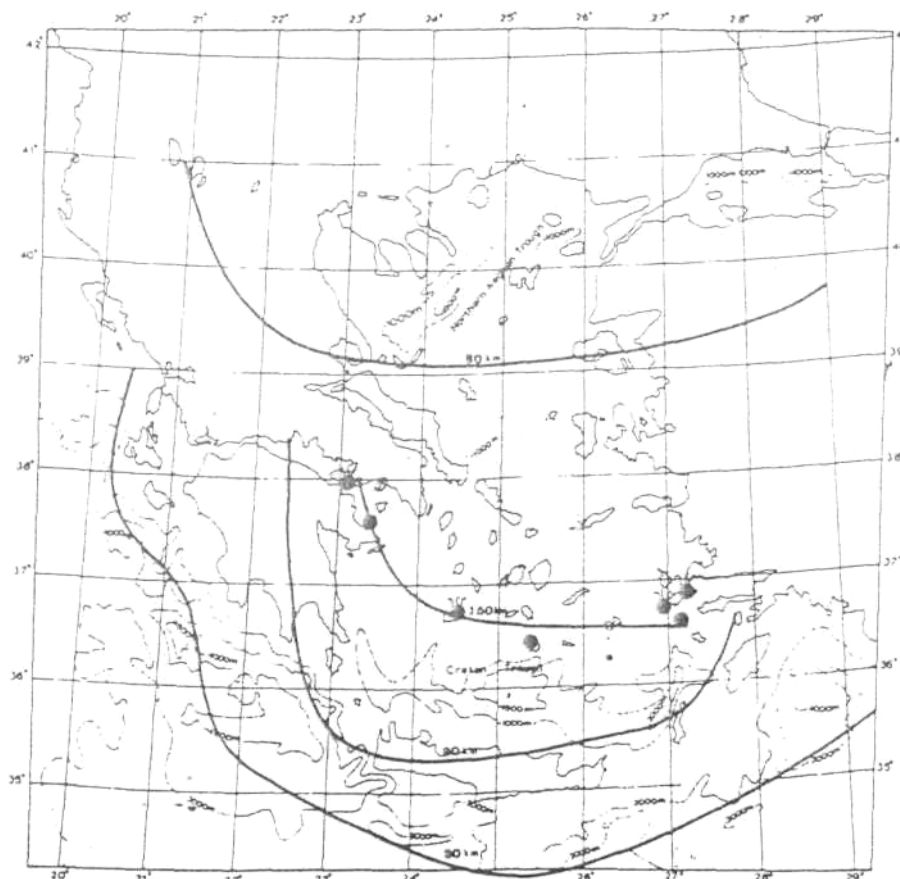
Όλες οι ωκεάνιες τάφροι συνδέονται με ζώνες σεισμικών εστιών, δηλαδή είναι τόποι, όπου γίνονται σεισμοί και μάλιστα από τους ισχυρότερους.



Εικ. 6.7 Χάρτης επικέντρων επιφανειακών σεισμών της Ελλάδας και της ευρείας περιοχής της (Παπαζάχος, 1997)



Εικ 6.8 Βυθομετρικός χάρτης της ευρείας περιοχής του Ελληνικού τόξου, που δείχνει το υποθαλάσσιο ανάγλυφο. (Michailof, 1965)



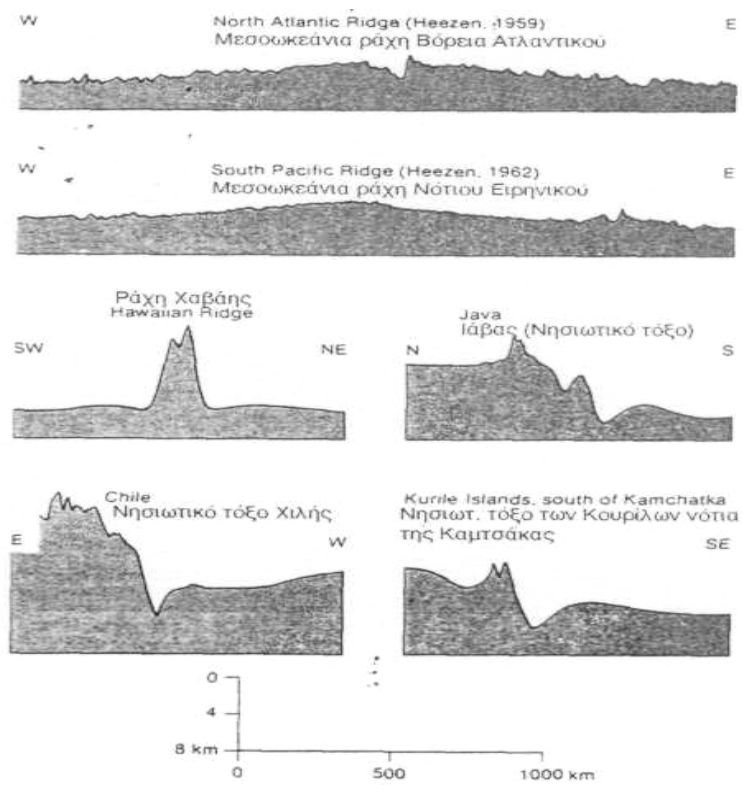
Εικ. 6.9. Το Ελληνικό τόξο. Οι τέσσερις καμπύλες, εκ των κάτω προς τα άνω δείχνουν τις μέσες θέσεις των επικέντρων των σεισμών διαφορετικού βάθους με την εξής σειρά: 30, 80, 150 και 80 km. Η κάτω καμπύλη των σεισμών, βάθους 30 km, είναι παράλληλη με τη βαθειά τάφρο, όπου υπάρχουν τα μεγαλύτερα βάθη της Μεσογείου.

Η κατανομή των σεισμών αυτών είναι χαρακτηριστική των νησιωτικών τόξων. Οι σεισμικές εστίες τους απαντούν κοντά και προς τη χερσαία πλευρά των τάφρων σε βάθη μικρότερα των 60 km μέσα στη Γη. Καθώς όμως αυξάνεται η απόσταση της χέρσου από τις τάφρους, οι σεισμοί απαντούν σε όλο και μεγαλύτερα βάθη (μέχρι και πάνω από 500 km). Έτσι οι σεισμικές εστίες καθορίζουν ζώνες πάχους περίπου 20 km με μέση κλίση 45... προς την πλευρά της χέρσου.

Οι παραπάνω, ή καλύτερα μερικές από τις παραπάνω, ιδιομορφίες ως και χαρακτηριστικά των νησιωτικών τόξων, έγιναν η αποκλειστική αιτία "επιπόνησης" των ... "καταβυθιζόμενων πλακών". Για το θέμα αυτό, θα γίνει αναφορά στην ξεχωριστή ενότητα, που θα αφορά τη θεωρία των "τεκτονικών πλακών".

Στις παρακάτω γραμμές, θα δοθεί η εξήγηση όλων των προηγούμενων και επίσης, πώς το νερό εισχωρεί από το μεγαλύτερο βάθος των ωκεανίων τάφρων, στο εσωτερικό

της Γης και πιο συγκεκριμένα στους χώρους των σεισμικών εστιών, για την "οξυγόνωση" των εκρήξεων-σεισμών, που γίνονται εκεί.



Εικ. 6.10 Σύγκριση τομών νησιωτικών τόξων, μεσοωκεάνιων ράχων και της Χαβάης. Η κατακόρυφη κλίμακα είναι 50 φορές μεγενθυμένη. (R. and B. Decker, 1998).

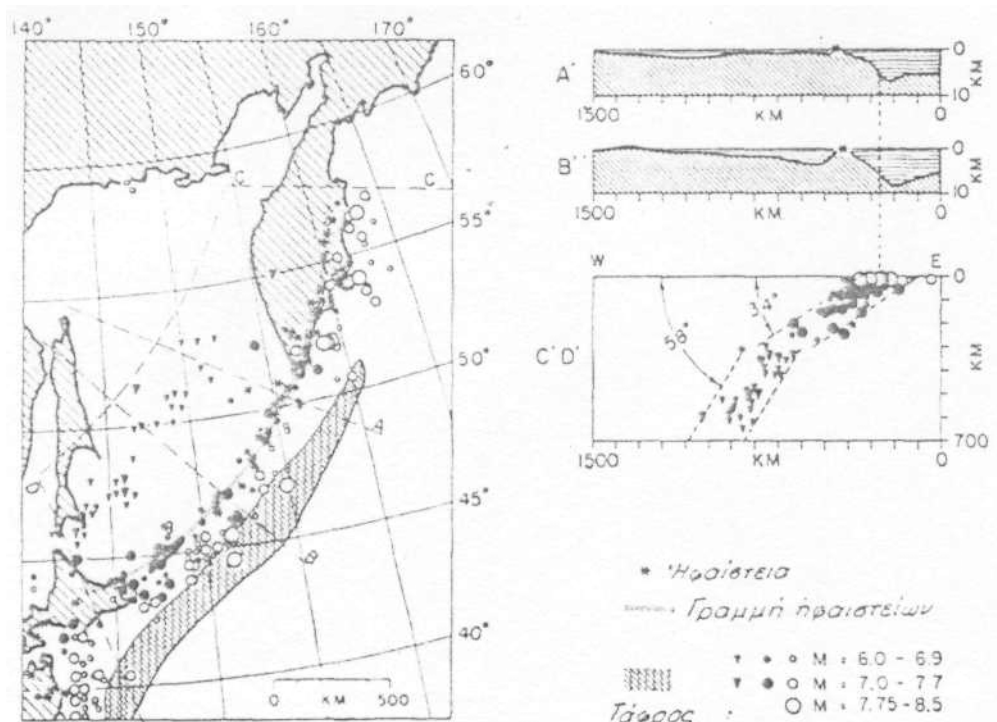
Κανένας, απ' ό,τι είναι γνωστό στο συντάκτη, δε συνδύασε αιτιοκρατικά την παρουσία της ωκεάνιας τάφρου και των σεισμών και δεν εξήγησε το συγκεκριμένο ρόλο, που αυτή παίζει στη δημιουργία των εκεί σε σεισμών. Περιορίστηκαν μόνο να καταγράψουν την από κοινού παρουσία τους και να ερμηνεύσουν μόνο την προηγούμενη κλίση της σεισμικής ζώνης, που εμφανίζουν τα εστιακά κέντρα σε μία κάθετη τομή σχετικού σχεδίου, και να την παρουσιάσουν μάλλον αυθαίρετα ως ... καταβυθιζόμενη "τεκτονική πλάκα"!

Το θαλάσσιο λοιπόν νερό, εισχωρεί από τα κατώτερα σημεία των ωκεάνιων τάφρων στο εσωτερικό της Γης. Ακολουθεί, στη συνέχεια, το πρώτο κεκλιμένο τμήμα της ζώνης Benioff και πιο συγκεκριμένα την ασυνέχεια Moho διότι βρίσκει εύκολο δρόμο από τα κενά, που αυτή παρουσιάζει και "οξυγονώνει" όλες τις εστίες μέχρι βάθους 60 ίσως και 70 km, όσο είναι το μέγιστο βάθος της ασυνέχειας αυτής. Η εισχώρηση αυτή αποδεικνύεται κι από την απουσία πολλών ιζημάτων στον πυθμένα των τάφρων αυτών και την τέλεια απουσία τους, που πιθανότατα θα υπάρχει στα βαθύτερα σημεία τους. Εδώ γεννιέται όμως το εξής ερώτημα:

- Πώς και πότε δημιουργήθηκαν οι ωκεάνιες τάφροι, που σήμερα υπάρχουν σε αρκετά σημεία των ωκεανών και κυρίως στην περιειρηνική ζώνη;

Η απάντηση, η σωστή απάντηση, πρέπει να εξηγεί και πώς το νερό εισχωρεί στο εσωτερικό της Γης μέχρι τις σεισμογόνες εστίες από τα κατώτερα σημεία τους. Πρέπει επίσης να εξηγεί και γιατί δεν σκεπάστηκαν από τα ιζήματα του ωκεανού στις δεκάδες και ίσως και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια που, πιθανότατα, πέρασαν από την εποχή της τελευταίας δημιουργίας τους. Η απάντηση δεν πρέπει επίσης να διαφέρει από αυτή, που θα δοθεί ως εξήγηση της δημιουργίας των μεσοωκεάνιων ράχων, διότι και τα δύο γεωδυναμικά φαινόμενα έχουν τα ίδια σεισμικά αποτελέσματα, δηλαδή παράγουν και τα δύο σεισμούς σε ωκεάνιες ή σε γειτονικές προς αυτές περιοχές.

Ύστερα από την παραπάνω δρομολόγηση, η μόνη σωστή απάντηση πρέπει να είναι η εξής:



Εικ. 6.11 Οριζόντια και κατακόρυφη διανομή των σεισμικών εστιών στην περιοχή Καμτσάκας - Κουρίλων σε σχέση με τη γραμμή των ηφαιστείων και τη θέση της υποθαλάσσιας τάφρου, κατά Η. Benioff, 1955 (Α. Γαλανόπουλος, 1971).

Οι ωκεάνιες τάφροι δημιουργήθηκαν από πολλά πρωτοεμφανιζόμενα ηφαίστεια ή καλύτερα ηφαιστειακές εκρήξεις -σε γραμμική παράταξη. όπως και πρόσφατα υπήρχαν τέτοιες διατάξεις (π.χ. στην Ισλανδία), και οι οποίες πιθανότατα προέρχονται από παλαιότερα τεράστια ρήγματα. Αυτές οι ηφαιστειακές εκρήξεις, που έγιναν πιθανόν ταυτόχρονα, προκάλεσαν τα τελευταία και πιο πρόσφατα καταστροφικά αποτελέσματα στον πλανήτη μας. Κατ' αυτές, εκτοξεύτηκαν τεράστιες ποσότητες υλικού του εσωτερικού της Γης σε εκατοντάδες κυβικά χιλιόμετρα από κάθε έκρηξη ηφαιστείου. Αυτό, είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν αντίστοιχα κενά. Τα κενά αυτά δημιούργησαν, στη συνέχεια, τις γνωστές καλδέρες, που υπάρχουν και σήμερα σε πολλά ηφαίστεια από κατολισθήσεις των κρατήρων τους. Αυτή η δημιουργία των καλδέρων συνοδεύτηκε από μεγαλύτερης έκτασης αποτελέσματα. Όλη η ευρύτερη περιοχή των ηφαιστείων αυτών, καταποντίστηκε, όπως έγινε και στις μεσοωκεάνιες ράχες, σε συνδυασμό και με τις ταυτόχρονες και σε μεγάλο αριθμό και ένταση εκρήξεις-σεισμούς. Έτσι σχηματίστηκαν οι σημερινοί ωκεανοί και οι ωκεάνιες τάφροι του.

Οι πολύ μεγάλες "καλδέρες" λοιπόν, που σχηματίστηκαν τότε από τις τελευταίες αυτές εκρήξεις των παραπάνω πρωτοεμφανιζόμενων ηφαιστείων, αποτελούν τις

σημερινές ωκεάνιες τάφρους. Όπως ήταν φυσικό, τα ηφαιστεια αυτά δεν είχαν ηφαιστειακούς κώνους, όπως δεν έχει και κάθε πρωτοεμφανιζόμενο ηφαιστείο.

Αυτές οι αβυσσαίες ή ωκεάνιες τάφροι, όπως είναι φυσικό, συνδέονται με το εσωτερικό της Γης με τους πρώην ηφαιστειακούς πόρους των ηφαιστείων, που τις δημιούργησαν.

Από τις διόδους λοιπόν αυτών των ηφαιστειακών πόρων, το νερό, έκτοτε, εισχωρεί στο εσωτερικό της Γης, και προκαλεί τις σημερινές εκρήξεις-σεισμούς, αλλά και τους εγκατακρημνισιγενείς-τεκτονικούς σεισμούς σε μεγαλύτερα βάθη, στις κατάλληλες χρονικές στιγμές, που εκπληρώνονται και οι υπόλοιπες απαραίτητες προϋποθέσεις.

Έκτοτε, αυτές οι τάφροι παραμένουν ανοικτές, εξαιτίας της συνεχούς κίνησης των θαλασσίου υδάτων, που εισχωρούν, από το κατώτατο σημείο τους, στο εσωτερικό της Γης. Η διαρκής αυτή, κατά κάποιο τρόπο, κίνηση του νερού, παρεμποδίζει την εναπόθεση ιζημάτων.

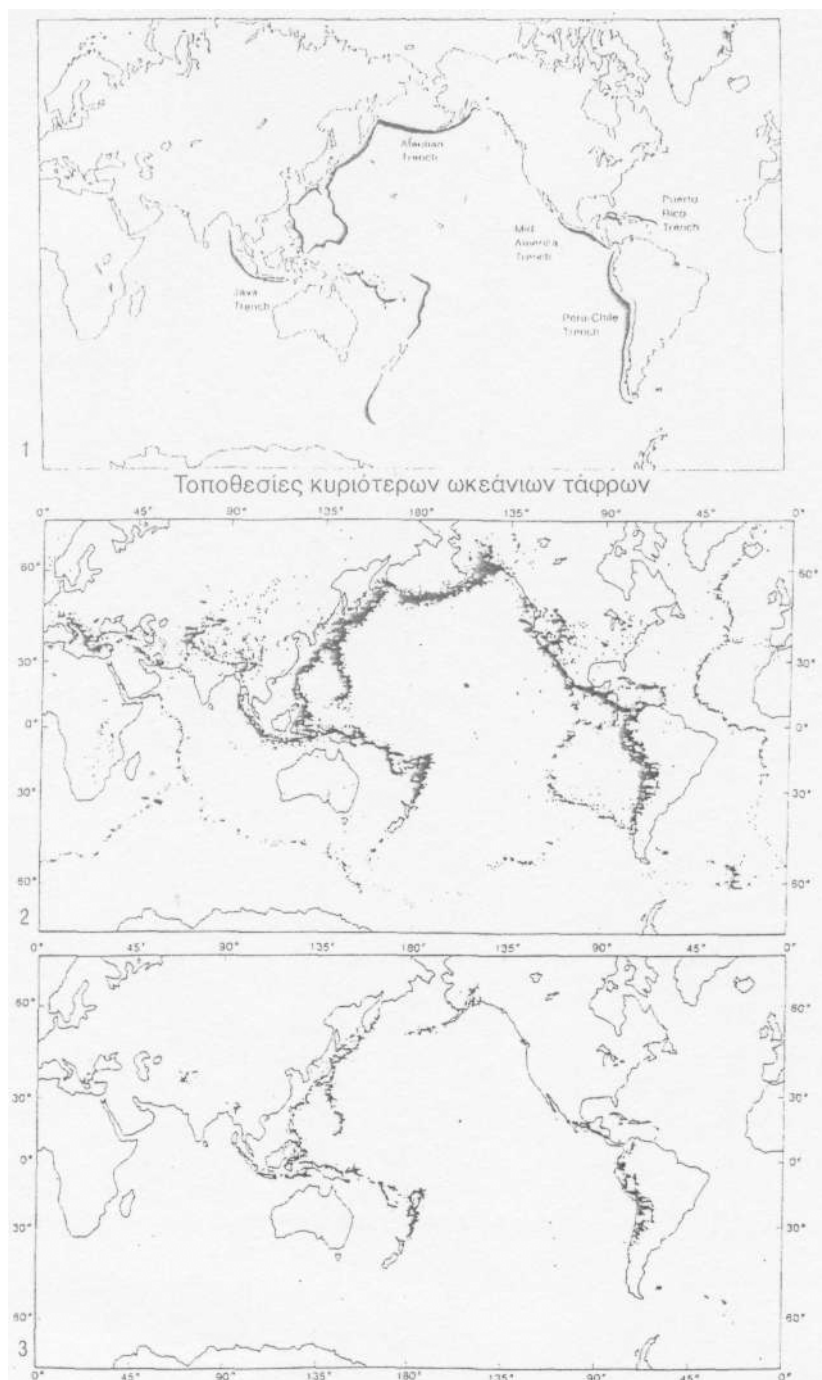
Όλα τα παραπάνω γεγονότα, όπως και οι συνεχιζόμενες από τότε διεργασίες, εξηγούν πλήρως το σχήμα τους (V) και τις απότομες κλίσεις των πλευρών τους. Εξηγούν επίσης και την αδυναμία της μετρήσεως του ακριβούς βάθους των αβυσσαίων ωκεάνιων τάφρων. Πιο συγκεκριμένα το βάθος της βαθύτερης τάφρου των Μαριάνων νήσων βρίσκεται μεγαλύτερο σε κάθε νεώτερη μέτρηση. Πιθανότατα τα βάθη των τάφρων αυτών είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά που έχουν μετρηθεί μέχρι σήμερα, διότι δεν συνυπολογίζεται -επειδή δεν γίνεται αντιληπτό με τον τρόπο που μετριέται- και το μήκος των ηφαιστειακών πόρων των ηφαιστείων, που τις προκάλεσαν και οι οποίοι φυσικά έχουν πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις από τους σημερινούς ηφαιστειακούς πόρους, αλλά και γιατί ίσως υπάρχουν συνεχείς μεταβολές του ανάγλυφου του πυθμένα των τάφρων.

Μετά από κάθε τέτοιο κοσμογονικό συμβάν, επακολούθησε και μία εποχή παγετώνων, εξαιτίας κυρίως της τεράστιας ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας και των υδρατμών, που εκτοξεύτηκαν στην ατμόσφαιρα. Τέτοια κοσμογονικά γεγονότα έγιναν τουλάχιστον τέσσερις φορές τα τελευταία 1.000.000 χρόνια, όσο διαρκεί δηλαδή ο τελευταίος γεωλογικός αιώνας (τεταρτογενής). Περισσότερα σχετικά θα γραφούν σε οικεία θέση.

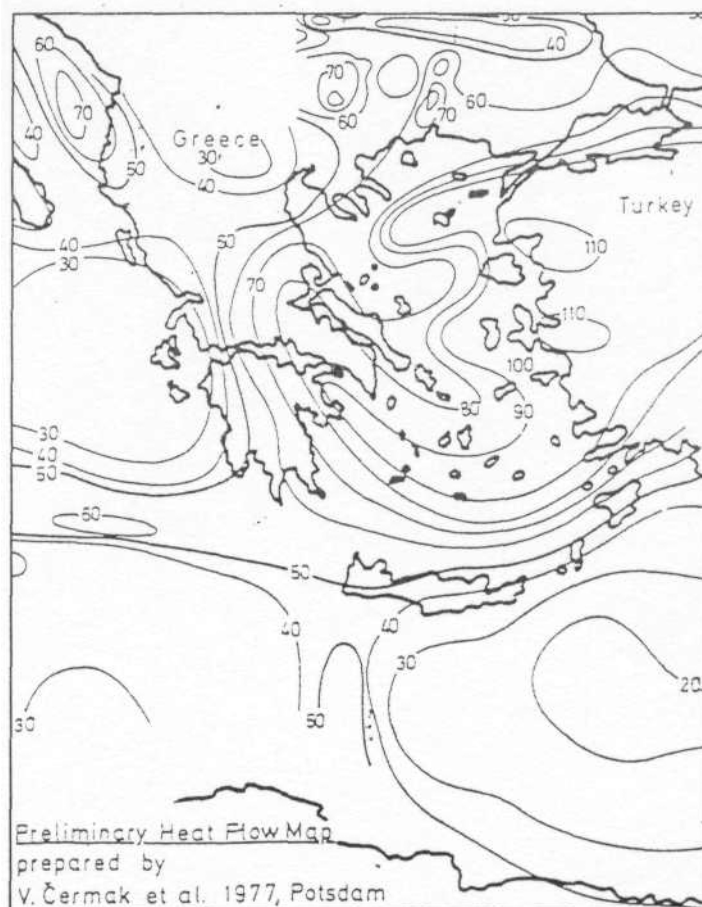


Αδιάψευστη απόδειξη για όλα τα προηγούμενα είναι, ότι υπάρχει απόλυτη ταύτιση ωκεάνιων τάφρων-νησιωτικών τόξων, δηλαδή περιοχών με έντονη σεισμικότητα, σε όλη την περιπειρηνική σεισμική ζώνη, αλλά και παντού. Όπου δηλαδή υπάρχουν οι ωκεάνιες τάφροι, εκεί απαραίτητα γίνονται και σεισμοί κάθε εστιακού βάθους και με μία ορισμένη κατανομή. Αυτό φαίνεται πολύ καθαρά σε μία απλή σύγκριση των χαρτών της (Εικ. 6.12), δηλαδή στους συνημμένους παγκόσμιους χάρτες ωκεάνιων τάφρων, όλων των σεισμών, και των σεισμών βάθους πάνω από 100 km, που είναι όλοι τους -όπως θα εξηγήσουμε- εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί. Οι τελευταίοι οφείλονται σε κατακρημνίσεις, που προκαλούνται από τις διαβρωτικές επιδράσεις των ίδιων θαλασσίων υδάτων, τα οποία προηγουμένως συντέλεσαν στη δημιουργία των προηγούμενων εκρήξεων-σεισμών μικρότερου εστιακού βάθους.

Αυτή, η στενή σχέση σεισμών και ωκεάνιων τάφρων (δηλαδή νερού), έπρεπε να είχε γίνει αντιληπτή, από τους ειδικούς νωρίτερα. Δηλαδή, πολύ πριν προκύψει η ανάγκη να ερμηνεύσουν το ρόλο του νερού στη γένεση των σεισμών, εξαιτίας της αύξησεως της σεισμικότητας σε ορισμένες περιοχές, μετά την κατασκευή εκεί τεχνητών λιμνών και υδροηλεκτρικών φραγμάτων. Δεν έγινε όμως τότε, που έπρεπε, διότι δεν μπόρεσαν να βρουν καμία λογική συσχέτιση νερού και ρηγμάτων, τα οποία (ρήγματα) κατ' αυτούς προκαλούσαν, αλλά και προκαλούν τους σεισμούς. Πρόσφατα όμως αναγκάστηκαν να κάνουν αυτή τη συσχέτιση, διότι δεν μπορούσαν πια να κάνουν διαφορετικά. Τα σημερινά επιχειρήματά τους, εάν ήταν πειστικά και σε τελευταία ανάλυση σωστά, θα τα είχαν διατυπώσει πολύ νωρίτερα. Πριν δηλαδή, αναγκασθούν να το κάνουν, κάτω από πίεση, μετά την παρατηρηθείσα, χωρίς αμφισβήτηση, αύξηση της σεισμικότητας των περιοχών, όπου κατασκευάστηκαν τεχνητές λίμνες και υδροηλεκτρικά φράγματα.



Εικ. 6.12 Τριπλός χάρτης που δείχνει καθαρά τη σχέση ωκεάνιων τάφρων και σεισμών: 1) Τοποθεσίες κυριότερων ωκεάνιων τάφρων. 2) Παγκόσμιος χάρτης σεισμών 1961-67. 3) Παγκόσμιος χάρτης σεισμών βάθους πάνω από 100 km.



Εικ. 6.13. Χάρτης θερμικής ροής της Ελλάδας. Σε αυτόν φαίνονται καθαρά οι μικρές τιμές της θερμικής ροής σε  $mV/m^2$  ( $1 mV/m^2 = 0,02388 cal/sec.cm^2$ ) στις θέσεις των βαθιών τάφρων στα Δ, ΝΔ, και Ν του χάρτη. Αντίθετα στην εσωτερική πλευρά του Ελληνικού τόξου υπάρχουν υψηλές τιμές θερμικής ροής.

Τα νησιωτικά τόξα παρουσιάζουν διάφορες ανωμαλίες ή αποκλίσεις σε διάφορα γεωφυσικά μεγέθη, που δικαιολογούνται από την καταβύθιση του θαλάσσιου νερού στο εσωτερικό της Γης και από τις εκρήξεις-σεισμούς, που γίνονται στην περιοχή τους. Τέτοιες ανωμαλίες είναι:

1) Οι αρνητικές ανωμαλίες βαρύτητας, που υπάρχουν στα νησιωτικά τόξα και είναι οι μεγαλύτερες όλων, όσων έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα σε διάφορα μέρη της υδρογείου. Αυτές, οι ανωμαλίες βαρύτητας, οφείλονται ασφαλώς στο έλλειμμα μάζας, που υπάρχει εξαιτίας των παλαιών ηφαιστειακών πόρων και μερικών άλλων κενών, που κατακλύστηκαν από θαλάσσιο νερό. Το νερό αυτό εισχώρησε και υπάρχει κάτω από τις ωκεάνιες τάφρους και, όπως είναι φυσικό, είναι ελαφρύτερο από οποιοδήποτε πέτρωμα.

2) Η θερμική ροή στις ωκεάνιες αυτές τάφρους, όπως και στη δική μας Μεσόγειο, είναι πολύ μικρότερη της μέσης τιμής, που είναι περίπου  $1,5 \mu cal./sec. cm^2$ .

Πιο συγκεκριμένα, η θερμική ροή στην τάφρο της Ρόδου είναι περίπου: 0.5  $\mu\text{cal}/\text{sec}\cdot\text{cm}^2$  και του Ιονίου περίπου 0,7  $\mu\text{cal}/\text{sec}\cdot\text{cm}^2$ , V. Cermak et al. 1977, Potsdam, (βλ. Εικ. 6.13)

Ο Β. Παπαζάχος αναφέρει (Α' Πανελλήνιο συνέδριο Φυσικής, Θεσ/νίκη 1-4 Απριλίου 1977), ότι:

*" Η γεωθερμική ροή είναι μικρή στη Μεσόγειο (0,7  $\mu\text{cal}/\text{sec}\cdot\text{cm}^2$ ) και μεγάλη στο Αιγαίο (μέχρι 2,7  $\mu\text{cal}/\text{sec}\cdot\text{cm}^2$ ). Οι μετρήσεις αυτές της γεωθερμικής ροής, η ηφαιστειακή δράση και τα γεωθερμικά φαινόμενα (θερμές πηγές κλπ.) στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου δείχνουν ότι κάτω από το χώρο αυτό υπάρχει θερμό υλικό (μάγμα)".*

- Πώς εξηγείται αυτό, δηλαδή η μικρή θερμική ροή στην κυρτή πλευρά του τόξου;

- Απαντούν ως εξής: "... από το κατέβασμα ενός ψυχρού υλικού που βρισκόταν στον πυθμένα του ωκεανού". (Δερμιτζάκης-Λέκκας).

- Τι λέει η θεωρία των "λιθοσφαιρικών πλακών" για τα προηγούμενα; - Τίποτα παραπάνω!

- Πώς λοιπόν είναι δυνατόν, "ψυχρό υλικό" το οποίο κινείται, όπως θα δούμε, με ταχύτητα ... λίγων εκατοστών του μέτρου το χρόνο (1 - 2  $\text{cm}/\text{yr}$ , να προκαλεί τόσο σημαντική μείωση της θερμικής ροής;

Αυτό το "ψυχρό υλικό", που αναφέρουν οι προηγούμενοι καθηγητές, είναι το ψυχρό νερό των 4 Κελσίου, που υπάρχει στον πυθμένα των τάφρων και το οποίο καταβυθίζεται και όχι η ... "τεκτονική πλάκα".

Η μικρή λοιπόν θερμική ροή, οφείλεται στην "ψύξη", η οποία προκαλείται από τις ποσότητες νερών, που εισρέουν και οδεύουν προς το εσωτερικό της Γης, παρά τις εκρήξεις-σεισμούς, οι οποίες φυσικά γίνονται σε μια- αρκετή απόσταση από το βαθύτερο σημείο των τάφρων. Οι εκρήξεις-σεισμοί, θα έπρεπε κανονικά να αυξάνουν την θερμική ροή από τη θερμότητα, που παράγουν και όχι αυτή να είναι μικρότερη της μέσης θερμικής ροής. όπως πραγματικά συμβαίνει από άλλα αίτια, δηλαδή την καταβύθιση του ψυχρού νερού.

Αντίθετα στις περιθωριακές θάλασσες υπάρχει αυξημένη θερμική ροή, η οποία οφείλεται φυσικά στις εκρήξεις-σεισμούς. που γίνονται στις περιοχές αυτές βάθους μέχρι 60 km περίπου. Αυτές, οι εκρήξεις-σεισμοί, παράγουν το μάγμα, που αναφέρει ο Β. Παπαζάχος και πιθανότατα υπονοεί ότι ανέρχεται από μεγαλύτερα βάθη. Για το θέμα αυτό, θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο Δ' Μέρος, δηλαδή στα Ηφαιστεια.

3) Οι μαγνητικές ανωμαλίες, που διαπιστώνονται στα νησιωτικά τόξα οφείλονται στις μεταβολές των "αποθηκευμένων" θετικών φορτίων των κεραυνών, αλλά και εξαιτίας των νέων που παράγονται, τα οποία μεταβάλλονται μετά από κάθε έκρηξη-σεισμό, διότι όπως αναφέρθηκε στο Β' Μέρος, το γεωμαγνητικό πεδίο, άρα και κάθε μεταβολή του, εξαρτάται από τους κεραυνούς και το ποσόν των "αποθηκευμένων" θετικών φορτίων των κεραυνών στα μονωτικά πετρώματα.

Οι ωκεάνιες τάφροι παίζουν και έναν άλλο πολύ σημαντικό ρόλο. Συμβάλλουν στη διατήρηση της σταθερής μέσης στάθμης των θαλασσών και ωκεανών παρά τις όποιες κλιματολογικές μεταβολές, που προκαλούν ασυνήθεις τήξεις των πάγων στους δύο πόλους της Γης. Φυσικά τίποτα δεν γίνεται αυτόματα και από μόνο του, όπως και τίποτα δεν υπάρχει άνευ λόγου και συγκεκριμένης αιτίας.

- Διερωτήθηκε ποτέ κανένας, τι απογίνονται τελικά οι ποσότητες του νερού, που προέρχονται από την επιπέδον τήξη των πάγων του Βορείου Πόλου της Γης οι οποίοι, *"... έχουν σήμερα (1959) το ήμισυ του κατά τον 19ον αιώνα πάχους."*: (Τ. Γεωργαλάς, Συμπλήρωμα εγκυκλ. Π. Δρανδάκη, λήμμα: Γεωθερμία).

- Γιατί δεν ανυψώθηκε, ούτε κατ' ελάχιστο, η μέση στάθμη της επιφάνειας των ωκεανών-θαλασσών τα τελευταία αυτά 150 περίπου χρόνια; Οι όποιες διακυμάνσεις είναι τοπικού χαρακτήρα και μάλιστα πρόκειται μάλλον για ανυψώσεις της ξηράς παρά της θάλασσας, για τους γνωστούς λόγους, που αναφέρθηκαν. Δηλαδή, εκρήξεις-τήξεις και άνοδος υλικού, που συμπαρασύρει τα υπερκείμενα πετρώματα μέχρι την επιφάνεια της Γης.

Απλούστατα, τα πλεονάζοντα νερά, χάνονται στις ακριβείς και αναγκαίες κάθε φορά ποσότητες στις αβυσσικές ωκεάνιες τάφρους (με σκοπό να μη μεταβληθεί η μέση στάθμη των ωκεανών και θαλασσών με όλα τα δυσμενή, από το γεγονός αυτό, αποτελέσματα για την Ανθρωπότητα).

- Ποιος καθορίζει και ρυθμίζει αυτή τη διεργασία;

Η Φύση, ο Δημιουργός, η Θεία Πρόνοια, ο Θεός, ό,τι προτιμά ο καθένας. Αλήθεια αυτός ο κόσμος εξακολουθεί να υπάρχει από μόνος του και από ένα σύνολο, άπειρων σχεδόν, τυχαίων γεγονότων;

Ο καθένας, ας χάνει τις επιλογές του και ας μη πουν μερικοί: τι θέση έχουν αυτές οι μεταφυσικές απορίες και απόψεις σε ένα κείμενο όπως αυτό. το οποίο στηρίζεται ή

τουλάχιστον πρέπει να στηρίζεται στις απόψεις της φυσικής επιστήμης. Ας επανέλθουμε όμως στη φυσική και στο κυρίως θέμα μας.

Αυτή λοιπόν η "απώλεια" των υδάτων, εκτός από την προηγούμενη "τακτοποίηση", συντελεί στη δημιουργία των εκρήξεων-σεισμών, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτρέπουν την περαιτέρω μείωση της θερμικής ροής -λόγω της παραπάνω ψύξεως- με την παραγωγή θερμότητας από τις νέες εκρήξεις-τήξεις-σεισμούς. Υπάρχει όμως και η άλλη εκδοχή:

Όταν δεν υπάρχουν πλεονάζοντα ύδατα από την τήξη πάγων των πόλων, για να μη μειωθεί η μέση στάθμη των θαλασσών και ωκεανών, επιστρέφει η αναγκαία κάθε φορά ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών από τις εκρήξεις των ηφαιστείων στα νησιωτικά τόξα. Αυτή τελικά η ποσότητα των υδρατμών καταλήγει με τις βροχές στη θάλασσα. Οι ποσότητες αυτές του νερού φθάνουν, σ' ορισμένες περιπτώσεις, να είναι αρκετά κυβικά χιλιόμετρα.

Τα παραπάνω βυθιζόμενα νερά στις προαναφερθείσες αβυσσαίες τάφρους, οι οποίες λειτουργούν στο βαθύτερο σημείο τους ως καταβόθρες, όταν υπερβούν κάποιο όριο ποσότητας και υπάρχουν και οι υπόλοιπες ευνοϊκές συνθήκες (όπως π.χ. αποθηκευμένα θετικά φορτία στα μονωτικά πετρώματα προερχόμενα από κεραυνούς, όπως και οι απέναντι επιφάνειες μονωτικών και αγωγίμων πετρωμάτων) παράγουν, κατά τις εκρήξεις-σεισμούς, τεράστιες ποσότητες ατμών.

Αυτές οι ισχυρότατες εκτονωτικές δυνάμεις των ατμών, προκαλούν τα έντονα τεκτονικά φαινόμενα και είναι υπεύθυνες για τις ορογενετικές δυνάμεις και τα γεωδυναμικά φαινόμενα, που παρουσιάζονται στις περιοχές των νησιωτικών τόξων.

Οι ίδιες δυνάμεις, δεν μπορούν να συγκρατηθούν από τα υπερκείμενα πετρώματα, βρίσκουν ή δημιουργούν εκτονωτική διέξοδο, μετά από μία απόσταση, που το μήκος της εξαρτάται από τοπικές ιδιαιτερότητες. Μ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται σε παράλληλο διάταξη τα γνωστά, εκρηκτικού τύπου, ηφαίστεια με τα έντονα εκρηκτικά φαινόμενα (όπως π.χ. τα ηφαίστεια της θήρας ή Σαντορίνης, του Κρακατάου κλπ.). Όταν εξαντληθούν τα μονωτικά υλικά των πετρωμάτων από τις εστίες των εκρήξεων-σεισμών, τότε η πρώτη σειρά ηφαιστείων νεκρώνεται και έτσι δημιουργείται μακρύτερα αμέσως μετά μία νέα δεύτερη σειρά ηφαιστείων κ.ο.κ. Δεν υπάρχουν περισσότερες από τρεις σειρές ηφαιστείων, διότι μεσολαβούν, πιθανότατα, κοσμογονικά γεγονότα, που ανατρέπουν όλο το υπάρχον ανάγλυφο της Γης.

Αυτές ίσως είναι οι κυριότερες αιτίες παρουσίας, σε κάθε περίπτωση, των ηφαιστειακών τόξων και των εκρήξεων αυτών στα νησιωτικά τόξα, αλλά και γιατί σ' όλα τα νησιωτικά τόξα υπάρχουν ή υπήρχαν ηφαιστεια εκρηκτικού τύπου σε παράλληλες σειρές.

Περισσότερα για τα ηφαιστεια θα παρατεθούν στο Δ' Μέρος.

Τελικό συμπέρασμα είναι ότι η Περιειρηνική ζώνη είναι δημιούργημα αυτών των νησιωτικών τόξων και των ωκεανίων τάφρων τους -πλην της Δυτικής Βορείου Αμερικής, όπου δεν υπάρχουν ωκεάνιες τάφροι- δηλαδή της ανάγκης παρουσίας θαλάσσιου νερού στους εστιακούς τόπους των εκρήξεων-σεισμών.

Οι σεισμοί της Δυτικής Βορείου Αμερικής, είναι κι αυτοί εκρήξεις-σεισμοί και μάλιστα μικρού βάθους (15 km το ανώτερο) και οφείλονται ...στα ρήγματα και κυρίως του Αγίου Ανδρέα, αλλά από μία άλλη άποψη και αιτία. "Οξυγονώνονται" από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και το μετεωρικό νερό, τα οποία εισχωρούν από κοινού στις εστίες των σεισμών αυτών από τις διάφορες ρωγμές μέχρι τα βάθη αυτά (15 km περίπου).

Στην περιοχή της Δυτικής Βόρειας Αμερικής, στον Ειρηνικό ωκεανό, δεν υπάρχει σήμερα ωκεάνια τάφος, διότι αυτή δεν υπέστη τότε καταβύθιση μαζί με τις άλλες περιοχές του Ειρηνικού ωκεανού. Αυτό αποδεικνύεται και από τις ανεξήγητες μέχρι σήμερα αρνητικές ανωμαλίες βαρύτητας, που υπάρχουν εκεί, περίπου -20 mgal (Α. Γαλανόπουλος).

Είναι λοιπόν πολύ πιθανόν, στην επόμενη γεωλογική καταστροφή να καταποντισθεί όλη η Δυτική ακτή των ΗΠΑ, όπως έγινε σε προηγούμενο κοσμογονικό συμβάν και καταποντίστηκαν όλες οι Περιειρηνικές, αλλά και άλλες περιοχές του Ειρηνικού ωκεανού. Στη Δυτική Βόρεια Αμερική των ΗΠΑ, Δεν έγιναν τότε, για άγνωστους λόγους, εκρήξεις-σεισμοί, όπως φανερώνει η σημερινή αρνητική ανωμαλία βαρύτητας (-20 mgal), εξαιτίας των κενών υλικού, που υπάρχουν από κάτω της. Διαφορετικά, δεν θα υπήρχε σήμερα αυτή η αρνητική ανωμαλία βαρύτητας. Η ανωμαλία αυτή συνεχώς μεγαλώνει από τις συνεχείς ανυψώσεις λόγω των εκρήξεων-σεισμών, που συμβαίνουν στην περιοχή αυτή. Το τελευταίο αυτό γεγονός είναι ανησυχαστικό, διότι φαίνεται να οδηγεί στην προηγούμενη άποψη, η οποία πιθανότατα θα συμβεί με μία σειρά εκρήξεων-σεισμών κατά μήκος του "ρήγματος" του Αγίου Ανδρέα. Ο χρόνος και η αφορμή δεν μπορεί να προσδιορισθεί. Μόνον ο Θεός γνωρίζει.

Για το ίδιο θέμα έχουν γραφεί μερικά από μερικούς, παγκόσμια γνωστούς, μεταψυχικούς, αλλά δεν είναι του παρόντος να μπούμε σε τέτοιες εξωεπιστημονικές λεπτομέρειες.

Μέχρι στιγμής εξηγήθηκαν και δικαιολογήθηκαν επαρκώς, σχετικά με τα νησιωτικά τόξα, και τις ωκεάνιες τάφρους, τα εξής:

α) Η παρουσία των ωκεάνιων τάφρων στα νησιωτικά τόξα.

β) Η αιτία δημιουργίας των ωκεάνιων τάφρων.

γ) Ο μηχανισμός δημιουργίας των ωκεάνιων τάφρων

δ) Η ανυπαρξία σχεδόν ιζημάτων στους πυθμένες των ωκεάνιων τάφρων.

ε) Οι μεγάλες αρνητικές ανωμαλίες βαρύτητας επάνω από τις ωκεάνιες τάφρους.

στ) Η μικρή θερμική-ροή στα νησιωτικά τόξα και η αυξημένη στις περιθωριακές θάλασσες.

ζ) Η δημιουργία ισχυρών σεισμών στα νησιωτικά τόξα.

η) Τα έντονα γεωδυναμικά φαινόμενα (π.χ. η ορογένεση) προς την πλευρά της χέρσου των νησιωτικών τόξων.

θ) Η ύπαρξη παράλληλων τόξων ηφαιστείων εκρηκτικού τύπου με τα νησιωτικά τόξα.

ι) Η σταθερή στάθμη των θαλασσών και ωκεανών, καίτοι ολιγόστευσαν οι πάγοι της Αρκτικής τα τελευταία 150 χρόνια κατά το ήμισυ.

Ποια από αυτά μπορεί να ερμηνεύσει η θεωρία των "τεκτονικών πλακών";

Η αδυναμία της θα φανεί περισσότερο στη σχετική με αυτή ενότητα.

Τέλος, όσα γράφτηκαν μέχρι τώρα δεν αποτελούν τα μοναδικά επιχειρήματα, που αποδεικνύουν την αναγκαία παρουσία νερού στη μεγαλύτερη και κυριότερη κατηγορία των σεισμών, δηλαδή των εκρήξεων-σεισμών. Μερικά, θα παρατεθούν στις επόμενες ενότητες, και κυρίως στην ενότητα που θα περιγράψει και θα ερμηνεύει το γεωδαιτικό φαινόμενο των μεσοωκεάνιων ραχών. Τα υπόλοιπα, και ίσως τα σημαντικότερα θα παρατεθούν στο Δ' Μέρος, όπου θα διαπραγματευθούμε τα Ηφαίστεια.



*Κάτω από το νερό, είναι το κύμα τρομερό.*  
**S.T. COLERIDGE, «Το ποίημα του γερο-ναυτικού»**

## **6.2. Διέγερση σεισμών από το νερό**

### **6.2.1. Η επίδραση του νερού στα πετρώματα κάτω από την επιφάνεια της Γης**

Εάν δεν υπήρχε νερό στα πετρώματα, δεν θα υπήρχαν τεκτονικοί σεισμοί! Οι λόγοι είναι πολλοί: Κατ' αρχάς, ας υποθέσουμε ότι υπολογίζουμε την πίεση σε βάθος 5 χιλιομέτρων μέσα στο φλοιό της Γης, που οφείλεται στη βαρυτική έλξη των υπερκείμενων πετρωμάτων. Θα βρούμε ότι ισούται με την αντοχή (δηλαδή, την πίεση που μπορούν να υποστούν χωρίς να θραυστούν) των γρανιτικών ή άλλων παρόμοιων πετρωμάτων σε πίεση (1.000 bars\*) και θερμοκρασία (500 C) που αντιστοιχούν σε αυτό το βάθος. Σε μεγαλύτερο βάθος, επειδή η υδροστατική πίεση είναι ήδη μεγαλύτερη από την αντοχή των πετρωμάτων, θα έπρεπε να περιμένουμε ότι τα πετρώματα μάλλον ρέουν και υφίστανται πλαστική παραμόρφωση υπό την επίδραση διαφορικών πιέσεων και λιγότερο ότι θραύονται ρηγματούμενα (και άρα προκαλούν σεισμούς). Πράγματι, αν ένα δείγμα γρανιτικού πετρώματος υποστεί συμπίεση σε κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, γενικά, θα ρεύσει και δεν θα ρηγματωθεί. Αλλά σεισμοί συμβαίνουν και, άρα, υπάρχει κάτι το παράδοξο.

Εντούτοις, πειράματα σχετικά με την επίδραση της πίεσης σε ορυκτά που περιέχουν νερό στους κρυστάλλους τους και σε κορεσμένα με νερό πετρώματα, δείχνουν πως πράγματι είναι δυνατό να ρηγματώνονται τα πετρώματα του εσωτερικού της Γης, σε μεγαλύτερο βάθος. Το νερό ενεργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπει να λάβει χώρα μια απότομη ολίσθηση, δημιουργώντας, ίσως, κάποιου είδους λίπανση στα επίπεδα ολίσθησης. Στα πειράματα αυτά, η ολίσθηση στα δείγματα των πετρωμάτων συνοδεύεται από εκτονώσεις της πίεσης του αέρα, που πιέζει τα πετρώματα. Αυτές οι εκτονώσεις αντιστοιχούν σε απότομες μειώσεις της εξωτερικής πίεσης. Με άλλα λόγια,

---

\* 1 bar ισούται με 106 δύνες ανά τετραγωνικό εκατοστό, πίεση που είναι περίπου ίση με την πίεση μιας ατμόσφαιρας. Η αντοχή του σκυροδέματος σε διατμητική τάση είναι περίπου 10 bars

κάθε εκτόνωση δηλώνει μια, σχεδόν στιγμιαία, πτώση της τάσης στην επιφάνεια ολίσθησης (ρήγμα), μέσα στο δείγμα. Έξω από το εργαστήριο, σεισμολογικές παρατηρήσεις σε καταγραφές σεισμικών κυμάτων δείχνουν ότι, σε επιφανειακούς σεισμούς, η διατμητική πίεση (τάση) κατά μήκος των ρηγμάτων μειώνεται απότομα, κατά ποσότητες που κυμαίνονται από λίγες δεκάδες έως λίγες εκατοντάδες bars. Αυτές οι μάλλον μικρές πτώσεις τάσης είναι πολύ μικρότερες από την αντοχή των σκληρών πετρωμάτων, η οποία φτάνει και το 1 kilo bar.

Όπως φαίνεται, λοιπόν, είναι πιθανό το νερό που υπάρχει στα πετρώματα της ζώνης του ρήγματος να τα καθιστά τόσο αδύναμα, ώστε μόνο μια μικρή ποσότητα διατμητικής τάσης να αποβάλλεται από αυτά στη διάρκεια ενός σεισμού.

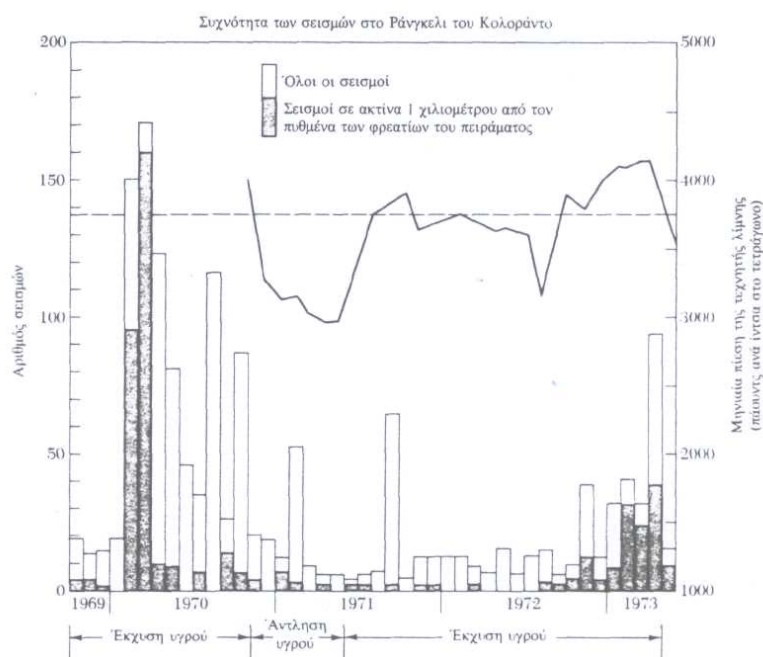
Για την επίδραση που ασκεί το νερό στο μηχανισμό του σεισμού υπάρχουν και άλλες ενδείξεις. Από το Κεφάλαιο 3 θυμηθείτε ότι η τυπική γεωλογική τομή στη ζώνη ενός ρήγματος δείχνει μια αλληλοδιαδοχή μυλωνίτη, ρηγματωμένων πετρωμάτων και αργίλων οι υδρολογικές συνθήκες στην περιοχή ενός ρήγματος δημιουργούν συχνά ένυδρα πετρώματα ή πετρώματα που περιέχουν νερό, όπως ο σερπεντίτης. Κοντά στην επιφάνεια ο μυλωνίτης και οι άργιλοι συχνά παρουσιάζουν προφανείς ενδείξεις διατμητικής ολίσθησης (η οποία συνδέεται με υγρές συνθήκες) με την ύπαρξη διαδοχικών λείων γραμμωτών στρωμάτων, που ονομάζονται λιστροπλευρές. Πράγματι, στις περισσότερες ενεργές σεισμικές ζώνες φαίνεται να υπάρχουν μεγάλες ποσότητες υπόγειων νερών και συχνά είναι φανερή η παρουσία πηγών και πηγαδιών κατά μήκος μεγάλων ρηγμάτων.

Ο ρόλος του νερού στη δημιουργία των σεισμών έγινε αντιληπτός από τους σεισμολόγους, όταν μια σειρά σεισμών άρχισε κοντά στο Ντένβερ του Κολοράντο. Μολονότι στο πέρασμα του χρόνου είχαν σημειωθεί κάποιοι σεισμοί στην περιοχή — για παράδειγμα, το 1882, είχε σημειωθεί ένας σεισμός έντασης VII της Τροποποιημένης Κλίμακας Μερκάλι—, η σεισμικότητα ήταν πάντοτε μικρή. Ξαφνικά τα πράγματα άλλαξαν από τον Απρίλιο του 1962, όταν έγινε μια σημαντική σειρά σεισμών: Από τον Απρίλιο του 1962 μέχρι το Σεπτέμβριο του 1963 οι τοπικοί σεισμολογικοί σταθμοί κατέγραψαν περισσότερα από 700 επίκεντρα στην περιοχή! Το μέγεθός τους κυμαινόταν από 0,7 έως 4,3 στην κλίμακα Ρίχτερ.

Οι περισσότεροι από αυτούς τους σεισμούς σημειώθηκαν σε ακτίνα 8 χιλιομέτρων από το οπλοστάσιο Ρόκι Μάουντεν, βορειοανατολικά του Ντένβερ, όπου ο στρατός

κατασκευάζει όπλα. Ένα από τα υποπροϊόντα αυτής της παραγωγής ήταν μολυσμένο νερό, το οποίο στην αρχή το άφηναν να εξατμίζεται από ανοιχτές δεξαμενές. Αλλά, το 1961, ο στρατός επέλεξε ένα νέο τρόπο διοχέτευσης του νερού, που εμφανιζόταν καταλληλότερος και περισσότερο αποδεκτός για το περιβάλλον, δηλαδή να ρίχνουν τα υγρά απόβλητα σε ένα βαθύ φρεάτιο που είχε ανοιχτεί, βάθους 3.670 μέτρων. Τα απόβλητα ρίχνονταν με πίεση μέσα στο φρεάτιο, από τις 8 Μαρτίου 1962 μέχρι τις 30 Σεπτεμβρίου 1963. Η διοχέτευση των αποβλήτων σταμάτησε για ένα χρόνο, ξανάρχισε, όμως, το Σεπτέμβριο του 1964 και συνεχίστηκε μέχρι το Σεπτέμβριο του 1965. Ακολούθησαν —πάλι— σεισμοί που γίνονταν αισθητοί στο Ντένβερ. Οι κάτοικοι παραπονέθηκαν για την πιθανή σχέση ανάμεσα στη διοχέτευση και την εμφάνιση των σεισμών, μέχρι που πέτυχαν να σταματήσουν αυτή τη μέθοδο διοχέτευσης των αποβλήτων.

Η σχέση που υπήρχε ανάμεσα στην ποσότητα του νερού που εισέρρεε στα πετρώματα και στον αριθμό των σεισμών ήταν πράγματι στενή: Στην αρχή του 1963 σημειώθηκε μεγάλος αριθμός τοπικών σεισμών και ακολούθησε απότομη πτώση το 1964. Στη συνέχεια, μια άλλη σειρά πολλών σεισμών σημειώθηκε το 1965, όταν η ποσότητα του νερού που διοχετευόταν αυξήθηκε, λόγω της σημαντικής αύξησης της πίεσης έκχυσης. Μια λογική εξήγηση του φαινομένου έχει δύο πλευρές: Πρώτον, η αυξημένη πίεση του νερού στο φρεάτιο δημιουργούσε ροή νερού σε σχισμές και ρωγμές ρηγμάτων που προϋπήρχαν στο υπέδαφος.



*Εικόνα 1: Η συχνότητα των σεισμών στο χώρο των πετρελαιοπηγών του Ράινγκελι στο Κολοράντο, κατά τη διάρκεια ενός πειράματος, όπου ποσότητες νερού διοχετεύονταν και αντλούνταν διαδοχικά μέσα σε και έξω από φρεάτια. Η πίεση σχεδιάζεται στο διάγραμμα με συνεχή γραμμή. Το απαραίτητο οριακό επίπεδο για την πρόκληση σεισμών είναι 3.700 πάουντ ανά τετραγωνική ίντσα (διακεκομμένη γραμμή). Οι σεισμοί που εκδηλώνονταν όταν η πίεση ήταν κάτω από αυτό το όριο, αποδίδονται σε φυσικά αίτια. Κάθε κατακόρυφη στήλη αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σεισμών που σημειώθηκαν σε έναν ημερολογιακό μήνα. [USGS.]*

Δεύτερον, λόγω της ρηγματωμένης κατάστασης των πετρωμάτων, στις προϋπάρχουσες ζώνες ρηγμάτων, η εκλεκτική ροή του νερού γινόταν κατά μήκος των μικρορροών και των επιπέδων του ρήγματος και, άρα, το ενδιαμέσο αυτό νερό ήταν ένας σημαντικός παράγοντας λίπανσης. Ωρίμαζαν τότε οι συνθήκες για να απελευθερωθεί η τεκτονική παραμόρφωση, που είχε συσσωρευτεί σε διάστημα πολλών ετών, σαν μια ακολουθία ολισθήσεων που προκαλούσαν σεισμούς. Αν δεν είχε δημιουργηθεί αυτή η επιπλέον υδροστατική πίεση, πιθανόν να μην είχε απελευθερωθεί η παραμόρφωση που υπήρχε για μεγάλο χρονικό διάστημα ή να μην είχε ελευθερωθεί σε τόσο σύντομη χρονική περίοδο.

Οι πληροφορίες, στην περίπτωση του Ντένβερ, αποκαλύφθηκαν τυχαία, τις ακολούθησε όμως ένα οργανωμένο πείραμα υπαίθρου. Η απαραίτητη προετοιμασία ξεκίνησε από τη Γεωλογική Εταιρεία των Η.Π.Α. στο χώρο των πετρελαιοπηγών του Ράινγκελι, στο δυτικό Κολοράντο. Τα φρεάτια ήταν ήδη έτοιμα από τις πετρελαιοπηγές και έτσι το νερό μπορούσε να διοχετεύεται σε αυτά και να αντλείται επίσης από αυτά, καθώς και να μετριέται η πίεση στα κρυσταλλικά πετρώματα. Ταυτόχρονα, εγκαταστάθηκε ένα ειδικά διαμορφωμένο δίκτυο σειсмоγράφων προς παρακολούθηση των διακυμάνσεων στην τοπική σεισμική δραστηριότητα. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν μια απόλυτη συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα του υγρού που διοχετεύονταν εντός των πρώην πετρελαιοπηγών και στην τοπική σεισμική δραστηριότητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Όταν η πίεση έφτανε ένα οριακό σημείο ( $1,1 \times 10^4$  Pascal\* στην περίπτωση αυτή), η σεισμική δραστηριότητα αυξανόταν. Όταν η πίεση μειωνόταν λόγω της άντλησης του νερού, η σεισμική δραστηριότητα επίσης ελαττωνόταν. Θα πρέπει να τονιστεί και πάλι ότι τα φρεάτια στο Ράινγκελι διαπερνούσαν προϋπάρχοντα ρήγματα και ότι ο φλοιός στην περιοχή βρισκόταν ήδη υπό την επίδραση κάποιων τεκτονικών παραμορφώσεων, όπως φαίνεται και από την ύπαρξη κάποιων μικρών σεισμών κατά το παρελθόν.

\* \* 3.700 psi (πάουντ ανά τετραγωνική ίντσα). Βλ. Παράρτημα ΣΤ.

Οι παρατηρήσεις που έγιναν στο Ντένβερ και το Ράνγκελι, σχετικά με τον κρίσιμο ρόλο του νερού στην πυροδότηση απότομων διαρρήξεων στο βάθος του φλοιού, μας οδηγούν επίσης στην ιδέα του ελέγχου των σεισμών. Μια πρόταση που έγινε ήταν να διοχετεύσουμε νερό διαμέσου φρεατίων, σε μεγάλο βάθος, σε περιοχές όπου οι φυσικοί σεισμοί ήταν πιθανόν να αποβούν ιδιαίτερα καταστροφικοί. Το ξέσπασμα μικρών σεισμών που θα προκαλούσε αυτή η μέθοδος, θα μείωνε την ποσότητα της παραμόρφωσης που βρισκόταν αποθηκευμένη στο φλοιό εκείνης της περιοχής, μειώνοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα ενός μεγάλου σεισμού. Αυτά τα παιχνίδια με τις δυνάμεις της φύσης είναι βέβαια επικίνδυνα: Αν γινόταν προσπάθεια ελέγχου της σεισμικής ενέργειας κατά μήκος ενός μεγάλου ενεργού ρήγματος, οι συνέπειες θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα καταστροφικές. Η «αποπαραμόρφωση», όμως, των κρυσταλλικών πετρωμάτων με διοχέτευση νερού σε μια περιοχή, που μελλοντικά θα χρησιμεύσει ως θέση ενός έργου μείζονος σημασίας (όπως είναι ένα φράγμα), μπορεί να αξίζει τον κόπο. Τέτοιες τεχνικές μέθοδοι με φαντασία μπορεί να υιοθετηθούν ως πρακτικά μέτρα στο εγγύς μέλλον.

### **6.2.2. Σεισμοί και ασφάλεια φραγμάτων**

Στο σεισμό του Σαν Φερνάντο, το 1971, απετράπη μια μεγάλη τραγωδία βορείως του Λος Άντζελες, στη νότια Καλιφόρνια. Το φράγμα Βαν Νόρμαν, που βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 10 χιλιομέτρων από το διαρρηγνυόμενο ρήγμα, είχε χτιστεί 30 χρόνια πριν το σεισμό, με τον τότε παραδοσιακό τρόπο κατασκευής, που ήταν η συσσώρευση χώματος με υδατοφράκτες. Μετά από καιρό έγινε πρόσθετη επιχωμάτωση του φράγματος.

Στο σεισμό του 1971 σημειώθηκε σημαντική κατολίσθηση στο εσωτερικό τμήμα του φράγματος, με συνέπεια να απομείνει μόνο ένα μέτρο χώματος στην εξωτερική πλευρά του φράγματος, για να συγκρατεί το νερό στην πορεία του προς τις πυκνοκατοικημένες περιοχές των προαστίων. Ευτυχώς, το νερό στο φράγμα δεν βρισκόταν στο ανώτατο επιτρεπτό όριο τη στιγμή του σεισμού και το λεπτό χείλος του φράγματος δεν διαβρώθηκε, αλλά συγκράτησε το νερό στη λίμνη μέχρι τη στιγμή που διοχετεύτηκε φυσιολογικά. Στο μεταξύ 80.000 άνθρωποι είχαν εκκενώσει τις απειλούμενες περιοχές.

Το συμβάν μας δίνει ένα παράδειγμα της αναγκαιότητας υπολογισμού του σεισμικού κινδύνου στις περιοχές φραγμάτων. Ένα φράγμα, χωμάτινο ή από σκυρόδεμα, δεν είναι μόνο μια κατασκευή υψηλού κόστους, αλλά επηρεάζει άμεσα την οικονομία της περιοχής με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα αντιπλημμυρικά έργα και την άρδευση. Καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός, η κατασκευαστική αστοχία ενός μεγάλου φράγματος δημιουργεί όλο και μεγαλύτερους κινδύνους για τους κατοίκους που βρίσκονται εκτεθειμένοι στο ενδεχόμενο πλημμύρας της πεδιάδας. Πράγματι, σε πολλές χώρες, μεγάλα φράγματα βρίσκονται σε περιοχές οι οποίες στο παρελθόν έχουν υποστεί μεγάλους σεισμούς. Η πιθανότητα καταστροφικών σεισμών πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή ώστε να εξασφαλιστεί η διαρκής ασφάλεια των κατοίκων της κοιλάδας. Είναι βέβαιο ότι οι γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή, περιλαμβανομένων και των κατολισθήσεων και των ρηγμάτων, πρέπει να μελετηθούν με προσοχή.

Αν παραβλέψουμε προς στιγμήν τον κίνδυνο των φυσικών τοπικών σεισμών, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την ενδιαφέρουσα σχέση μεταξύ φραγμάτων και σεισμών. Υπάρχουν τουλάχιστον 13 περιπτώσεις, σε διάφορες χώρες, κατά τις οποίες σμήνη σεισμών σημειώθηκαν πολύ κοντά στις λίμνες μεγάλων φραγμάτων αμέσως μετά την έναρξη της λειτουργίας τους.

Η σκέψη ότι μπορεί να «πυροδοτηθούν» σεισμοί από έγκλειστα επιφανειακά νερά δεν είναι καινούρια. Στη δεκαετία του 1870, το Σώμα Μηχανικού των Η.Π.Α. απέρριψε τις προτάσεις που είχαν γίνει για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού στο Σάλτον Σι της νότιας Καλιφόρνιας, με το σκεπτικό ότι μια τέτοια ενέργεια μπορεί να προκαλούσε σεισμούς. Η πρώτη λεπτομερής ένδειξη ενός τέτοιου αποτελέσματος προήλθε από την πλήρωση της λίμνης Μιντ —του φράγματος Χούβερ (ύψους 221 μέτρων) στα σύνορα Νεβάδα-Αριζόνας— που άρχισε το 1935. Παρότι μπορεί να προϋπήρχε μικρή σεισμικότητα στην περιοχή, οι σεισμοί έγιναν συχνότεροι μετά το 1936. Οι κοντινοί σεισμογράφοι, που βρίσκονταν σε λειτουργία από το 1940, έδειξαν ότι μετά τον μεγαλύτερο σεισμό (μεγέθους περίπου 5) το 1940, η σεισμικότητα μειώθηκε. Οι εστίες εκατοντάδων σεισμών που καταγράφηκαν συγκεντρώνονται σε ρήγματα με μεγάλη κλίση, στην ανατολική πλευρά της λίμνης, και έχουν εστιακά βάθη μικρότερα των 8 χιλιομέτρων.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, παρόμοια περιστατικά έχουν αναφερθεί για άλλα μεγάλα φράγματα, αλλά μόνο ορισμένα έχουν στοιχειοθετηθεί επαρκώς. Τα περισσότερα από αυτά τα φράγματα έχουν ύψος μεγαλύτερο των 100 μέτρων και, ενώ το γεωλογικό πλαίσιο της περιοχής ποικίλλει, τα πιο πειστικά παραδείγματα σεισμών που δημιουργούνται λόγω φραγμάτων σχετίζονται με τεκτονικές περιοχές που έχουν στο ιστορικό τους κάποιους σεισμούς. Τα περισσότερα από τα χιλιάδες μεγάλα φράγματα που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο, δεν παρουσιάζουν κανένα ίχνος συσχετισμού της πλήρωσης της λίμνης του φράγματος με τους σεισμούς. Στις Ηνωμένες Πολιτείες 500 μεγάλα φράγματα εξετάστηκαν λεπτομερώς και μια στατιστική του 1976 έδειξε ότι μόνο σε ένα ποσοστό 4% από αυτά αναφέρθηκε σεισμός με μέγεθος μεγαλύτερο του 3,0 σε ακτίνα 16 χιλιομέτρων από το φράγμα.

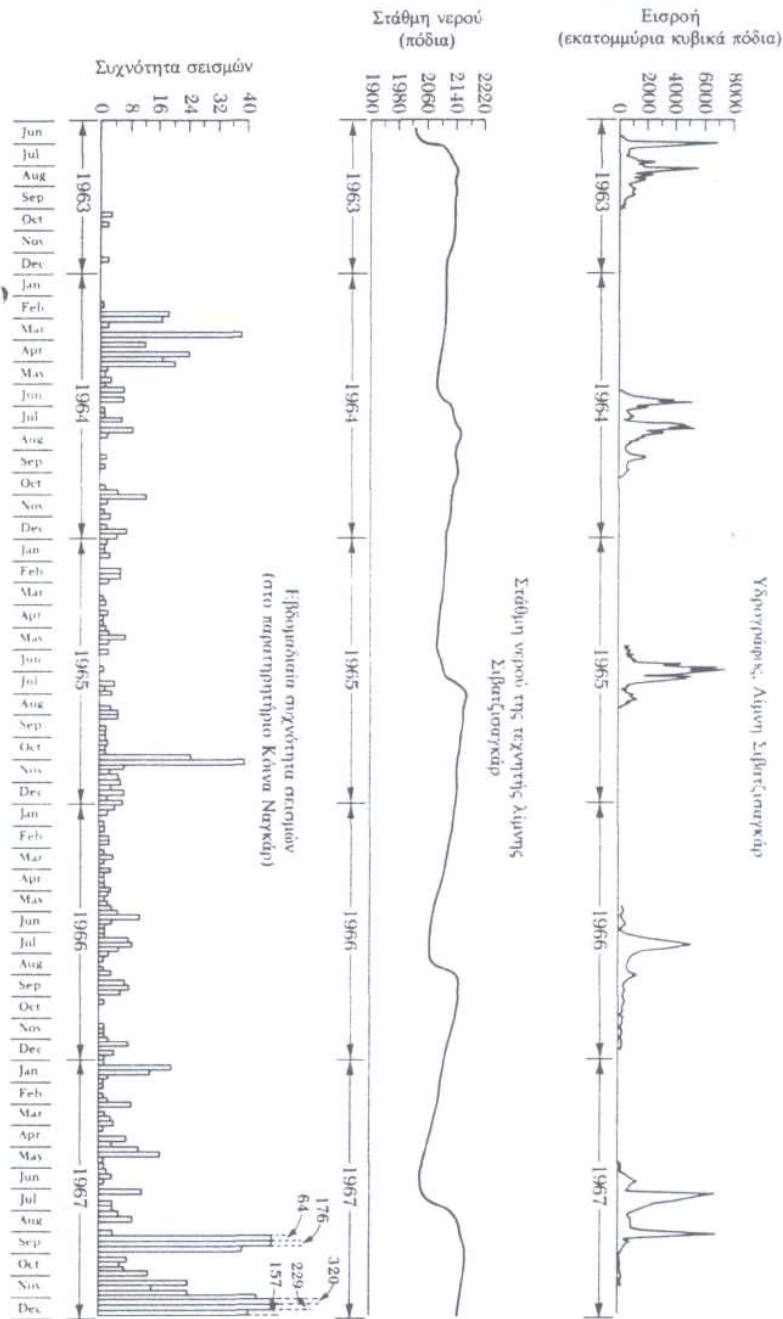
Ειδικότερα, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις σεισμών, που οφείλονται σε τεχνητές λίμνες και έχουν μελετηθεί με λεπτομέρεια. Πρώτα η περίπτωση της λίμνης Καρίμπα στη Ζάμπια, που άρχισε να σχηματίζεται το 1958, πίσω από φράγμα ύψους 128 μέτρων. Αν και υπάρχουν ενδείξεις μικρών σεισμών στην περιοχή πριν την κατασκευή του φράγματος, από το 1958 έως το 1963, όταν η λίμνη ήταν γεμάτη νερό, σημειώθηκαν πάνω από 2.000 τοπικές σεισμικές δονήσεις κάτω από τη λίμνη, που εντοπίστηκαν με τη χρήση σειсмоγράφων τοποθετημένων κοντά στο φράγμα. Ο μεγαλύτερος σεισμός έγινε το Σεπτέμβριο 1963 και είχε μέγεθος 5,8 από τότε η σεισμική δραστηριότητα μειώθηκε.

Στην Κόινα της Ινδίας ένας σεισμός (με μέγεθος 6,5) που έγινε στις 10 Δεκεμβρίου 1967 και είχε επίκεντρο κοντά στο φράγμα (ύψους 103 μέτρων), προκάλεσε σοβαρές ζημιές. Μετά την έναρξη της λειτουργίας του φράγματος, το 1962, οι αναφορές για τοπικούς σεισμούς κυριάρχησαν σε μια περιοχή που μέχρι εκείνη τη στιγμή παρουσίαζε χαμηλή σεισμικότητα. Τα σειсмоγραφήματα έδειξαν ότι οι εστίες ήταν συγκεντρωμένες σε μικρά βάθη, κάτω από τη λίμνη Σιβατζισαγκάρ. Το 1967 έγινε ένας αριθμός σεισμών υπολογίσιμου μεγέθους που οδήγησαν στον κύριο σεισμό της 10ης Δεκεμβρίου. Αυτή η δόνηση προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε κτίρια της περιοχής, σκότωσε πάνω από 200 άτομα και τραυμάτισε περισσότερα από 1.500. Ένας σειсмоγράφος ισχυρής κίνησης, στη σήραγγα του φράγματος, κατέγραψε μέγιστη επιτάχυνση 0,63g. Η ακολουθία των σεισμών που καταγράφηκαν στην Κόινα φαίνεται να συμβαδίζει με το ρυθμό της βροχόπτωσης (βλ. Εικόνα 2). Πάντως, η σύγκριση της

συχνότητας των σεισμών με τη στάθμη του νερού οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μετά από κάθε περίοδο βροχών, όταν η στάθμη της λίμνης είναι μέγιστη, η σεισμικότητα αυξάνει. Τέτοιου είδους συσχετίσεις δεν είναι τόσο ξεκάθαρες σε αντίστοιχες περιπτώσεις που είναι γνωστές σήμερα..

Μια άλλη σειρά σεισμών —που θεωρούμε ότι προκλήθηκαν από φράγμα— έγιναν στην Κίνα, βορείως της Καντώνας. Το φράγμα Χσινγκφενγκιάνγκ (ύψους 105 μέτρων) ολοκληρώθηκε το 1959. Από τότε καταγραφόταν συνεχώς αυξανόμενος αριθμός σεισμών και ο συνολικός αριθμός τους έφτασε, το 1972, σε περισσότερους από 250.000. Οι περισσότεροι σεισμοί ήταν πολύ μικροί, αλλά στις 19 Μαρτίου 1962 έγινε ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους 6,1. Η ενέργεια που απελευθερώθηκε ήταν αρκετή να προκαλέσει ζημιές στο από σκυρόδεμα φράγμα, που χρειάστηκε στη συνέχεια ενίσχυση. Οι εστίες των περισσότερων σεισμών ήταν σε βάθος μικρότερο από 10 χιλιόμετρα και κοντά στο σημείο όπου η λίμνη είχε το μεγαλύτερο βάθος. Κάποιες από τις εστίες συνέπιπταν με τις διασταυρώσεις μεγάλων ρηγμάτων της περιοχής.





Εικόνα 2: Η σχέση ανάμεσα στη στάθμη της λίμνης και στην τοπική σεισμικότητα, στο φράγμα Κόινα της Ινδίας. Τους μήνες Σεπτέμβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο 1967, η συχνότητα εμφάνισης των σεισμών υπερέβαινε τους 40 και προς το τέλος του χρόνου έφτασε τους 200 έως 300. [Από στοιχεία των H.K. Gupta, B.K. Rastogi.]

Το τελευταίο παράδειγμα είναι το τεράστιο φράγμα Νούρεκ (ύψους 317 μέτρων), στο Τατζικιστάν της Σοβιετικής Ένωσης, που είναι το υψηλότερο χωμάτινο φράγμα στον κόσμο. Από το 1972 ακόμη, πριν την ολοκλήρωσή του, αλλά ενώ είχε αρχίσει η πλήρωσή του με νερό, αναφέρθηκε αυξημένη τοπική σεισμικότητα. Το σύνολο του

φορτίου αποθηκευμένου νερού επέδρασε στο φλοιό το 1978· τα χρόνια που ακολούθησαν κανένας μεγάλος κοντινός σεισμός δεν έπληξε την κατασκευή, αλλά πολλοί μικροί σεισμοί εξακολουθούν να σημειώνονται σε αυτή την περιοχή.

Πώς είναι δυνατόν το νερό μιας μεγάλης τεχνητής λίμνης να προκαλεί σεισμούς; Είναι δύσκολο να θεωρήσουμε ότι το φαινόμενο οφείλεται αποκλειστικά στο πρόσθετο βάρος που ασκείται στα πετρώματα· στην πραγματικότητα η πρόσθετη πίεση, λίγα χιλιόμετρα κάτω από τη λίμνη, είναι ένα μικρό κλάσμα των φυσικών τεκτονικών τάσεων που προϋπάρχουν. (Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι σε βάθος λίγων χιλιομέτρων η προστιθέμενη διαφορική τάση, που επιδρά διατμητικά στα πετρώματα, είναι μόνο 1 bar.) Μια πιο αποδεκτή εξήγηση είναι ότι ο «πυροδοτικός μηχανισμός» είναι ο ίδιος με αυτόν των σεισμών του Ντένβερ και του Ράνγκελι, που παρουσιάσαμε στην αρχή του κεφαλαίου. Συνοπτικά, ο μηχανισμός είναι ο εξής: Η επιπλέον πίεση του νερού που προκαλείται από τη φόρτιση της λίμνης διαδίδεται ως κύμα πίεσης ή ως παλμός πίεσης στα κρυσταλλικά πετρώματα. Ο αργός ρυθμός διάδοσης μπορεί να απαιτήσει μήνες ή χρόνια για τη μετάδοση του παλμού σε απόσταση 5 χιλιομέτρων, ανάλογα με τη διαπερατότητα και την ποσότητα του πετρώματος που ρηγματώνεται. Αλλά όταν ο παλμός πίεσης φτάσει τελικά σε μια ζώνη μικρορωγμών, θα πιέσει το νερό που περιέχουν και, άρα, θα ελαττώσει τις δυνάμεις που εμποδίζουν τις ήδη συσσωρευμένες τεκτονικές παραμορφώσεις από την έναρξη ολίσθησης και την ελαστική επαναφορά στο ρήγμα.

Σε μια περιοχή όπου υπάρχει πιθανότητα σεισμικής δραστηριότητας πρέπει να λαμβάνονται ορισμένα προκαταρκτικά μέτρα πριν την κατασκευή ενός φράγματος. Πρώτα απ' όλα, ανεξάρτητα από το αίτιο της ανησυχίας, αν αυτό είναι φυσικός σεισμός ή σεισμός λόγω της κατασκευής του φράγματος, είναι απαραίτητο στο στάδιο του σχεδιασμού να υπολογιστεί η ένταση της εδαφικής δόνησης που θα υποστεί η κατασκευή στη διάρκεια της ζωής της. Επίσης, πριν την κατασκευή του φράγματος είναι χρήσιμες οι γεωδαιτικές μελέτες για την ανίχνευση μεταβολών στην εδαφική παραμόρφωση, σε σχέση με τη φόρτιση της λίμνης.

Επιπλέον, για να είναι δυνατό να μελετηθούν τα αποτελέσματα των σεισμών πρέπει να εγκατασταθούν σειсмоγράφοι και άλλα όργανα από τα πρώτα στάδια της κατασκευής. Επίσης, σημαντικοί είναι και οι υδρογράφοι που μετρούν τα κύματα μεγάλου μήκους (seiches) στη λίμνη. Όταν δεν υπάρχουν τα κατάλληλα όργανα

μέτρησης της έντασης των σεισμικών κινήσεων και της απόκρισης του φράγματος σε αυτές, η εκδήλωση ενός ισχυρού σεισμού στην περιοχή θα θέσει ερωτήματα που δεν θα είναι δυνατό να απαντηθούν. Αν για παράδειγμα σημειωθούν κατασκευαστικές βλάβες και δεν γίνουν αυτές οι μετρήσεις, τότε θα είναι αδύνατο να συγκριθεί η συμπεριφορά του φράγματος με τις θεωρητικά υπολογιζόμενες συνθήκες και, άρα, θα είναι αδύνατο να υπολογιστεί η συμπεριφορά του σε άλλους, ίσως και μεγαλύτερους, σεισμούς, ώστε να μπορούμε να πάρουμε αποφάσεις σχεδιασμού για επισκευές ή για ενίσχυση του φράγματος. (Βλ. Παράρτημα Ζ.)

### **6.3. Παραδείγματα εξωτερικού**

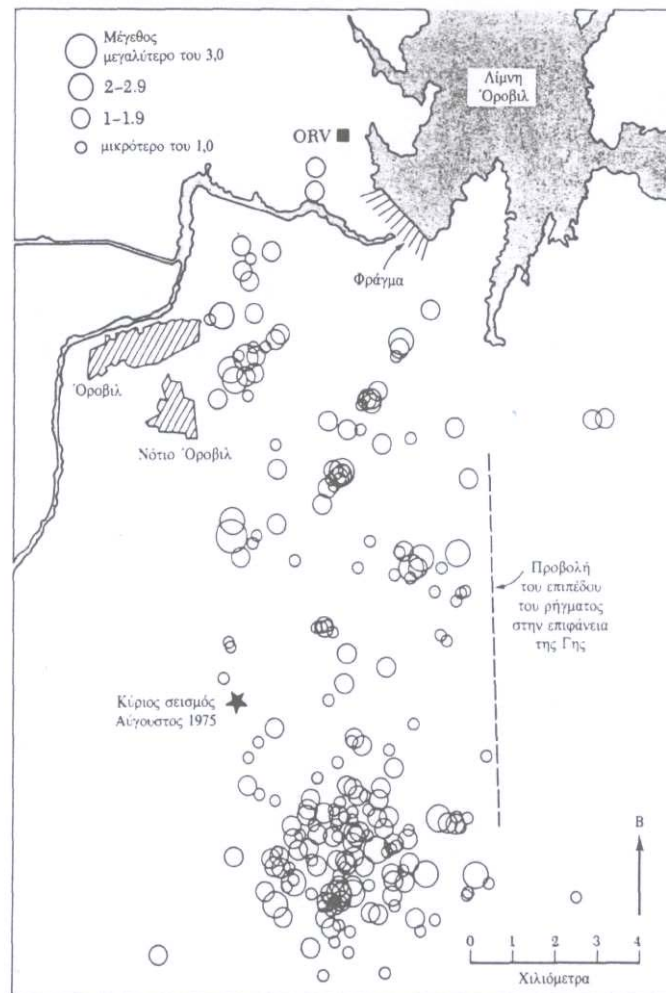
#### **6.3.1. Ο σεισμός στην Όροβιλ της Καλιφόρνιας, το 1975**

Μια περίπτωση σεισμού που ενισχύει την άποψη πρόβλεψης και πιθανής πυροδότησης του φαινομένου από τις αλλαγές της στάθμης των υπόγειων νερών, είναι η σεισμική σειρά στην περιοχή της πόλης Όροβιλ, στη νοτιοανατολική Καλιφόρνια. Ο κύριος σεισμός της σεισμικής σειράς, που έγινε το απόγευμα της 1ης Αυγούστου 1975 στη 01:20 μ.μ., δεν προξένησε σοβαρές ζημιές στην Όροβιλ και στις κοινότητες της περιοχής, αλλά προκάλεσε το μεγάλο ενδιαφέρον της κοινής γνώμης, γιατί σημειώθηκε 10 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά από το φράγμα Όροβιλ (βλ. Εικόνα 3). Αυτό το χωμάτινο φράγμα, κοντά στους δυτικούς πρόποδες της Σιέρα Νεβάδα, είναι το μεγαλύτερο στη βόρεια Αμερική, έχει ύψος 236 μέτρα και χωρητικότητα 4.365 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η πλήρωση της λίμνης άρχισε το Νοέμβριο του 1967 και ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβριο του 1968.

Η περιοχή συγκαταλέγεται σε εκείνες που παρουσιάζουν χαμηλή σεισμικότητα, αλλά γενικά κάθε χρόνο σημειώνονται σ' αυτή λίγοι μικροί σεισμοί, σε ακτίνα 50 χιλιομέτρων από το φράγμα. Τριάντα πέντε χρόνια πριν το σεισμό του 1975, σε απόσταση 50 χιλιομέτρων βορείως του Όροβιλ, στις 8 Φεβρουαρίου 1940, έγινε σεισμός μεγέθους 5,7 αλλά δεν προκάλεσε ζημιές και δεν προξένησε κάποιο ενδιαφέρον. Το 1963, όμως, πριν την κατασκευή του μεγάλου φράγματος τοποθετήθηκαν σειсмоγράφοι, σε απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου βορείως του φράγματος, για να παρακολουθηθεί η προϋπάρχουσα σεισμικότητα. Τα όργανα δεν κατέγραψαν καμιά μεταβολή στα χαμηλά επίπεδα σεισμικότητας της περιοχής, ούτε κατά τη διάρκεια της

κατασκευής ούτε κατά τη διάρκεια της πλήρωσης ούτε αφότου η στάθμη του νερού έφτασε στο ανώτατο ύψος της το 1969, αλλά ούτε και στη συνέχεια, ως τις αρχές του 1975, σε ακτίνα 30 χιλιομέτρων.

Στις 28 Ιουνίου 1975 καταγράφηκαν λίγοι μικροί σεισμοί στα νοτιοδυτικά της τεχνητής λίμνης του Όροβιλ. Δεν ήταν γνωστό αν ήταν προσεισμοί ή απλώς ένα σμήνος σεισμών μικρού μεγέθους, φαινόμενο σύνηθες για πολλές περιοχές της Καλιφόρνιας. Εγκαταστάθηκαν όμως ορισμένοι πρόσθετοι σειсмоγράφοι για να παρακολουθούν λεπτομερέστερα τις θέσεις των σεισμών. Στην ίδια ευρύτερη περιοχή καταγράφηκαν είκοσι περίπου μικροί σεισμοί, στη διάρκεια του Ιουλίου 1975, με μεγαλύτερο μέγεθος το 4,7. Στη συνέχεια, στα τέλη Ιουλίου, η σεισμικότητα μειώθηκε.



Εικόνα 3: Τα επίκεντρα των σεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Όροβιλ, από το Φεβρουάριο έως τον Ιούλιο του 1975. Το μαύρο τετράγωνο δηλώνει τη θέση του σειсмоγράφου στην Όροβιλ. Η κατακόρυφη διακεκομμένη γραμμή είναι η προβολή του επιπέδου του ρήγματος στην επιφάνεια (βλ. επίσης Εικόνα 4). [Ευγενική παραχώρηση του Τμήματος Υδάτινων Πόρων της Καλιφόρνιας.]

Όμως, νωρίς το πρωί της 1ης Αυγούστου 1975, το σύστημα σεισμικού συναγερμού των Σεισμολογικών Σταθμών του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας διεγέρθηκε και οι καταγραφές των σειсмоγράφων έδειξαν ένα σεισμό μεγέθους 4,7 κοντά στην Όροβιλ. Αργότερα, εκείνο το πρωί, στις 06:30, έγινε ένας άλλος μικρός σεισμός στην ίδια περιοχή.

Η προσωπική μου μαρτυρία μάλλον αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό. Επειδή ήμουν μέλος της Συμβουλευτικής Επιτροπής Σεισμικής Ανάλυσης του Τμήματος Υδάτινων Πόρων της Καλιφόρνιας, φορέας στον οποίο ανήκει το φράγμα, παρακολουθούσα την εξέλιξη της σεισμικής σειράς από κοντά. Η επανενεργοποίηση της σεισμικής σειράς, το πρωινό της 1ης Αυγούστου, με οδήγησε στο να τηλεφωνήσω στον καθηγητή G. Housner, του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας, που ήταν πρόεδρος της Συμβουλευτικής Επιτροπής. Του ανέφερα ότι η σεισμική ακολουθία είχε ενεργοποιηθεί και ότι υπήρχε μικρή αλλά πολύ πιθανή περίπτωση ενός μεγαλύτερου σεισμού και πρότεινα να ειδοποιηθεί το Τμήμα. Πράγμα που έγινε. Στη συνέχεια, οι μηχανικοί που επέβλεπαν το φράγμα έκαναν έναν έκτακτο έλεγχο στο φράγμα, στα τμήματα και στα όργανα του.

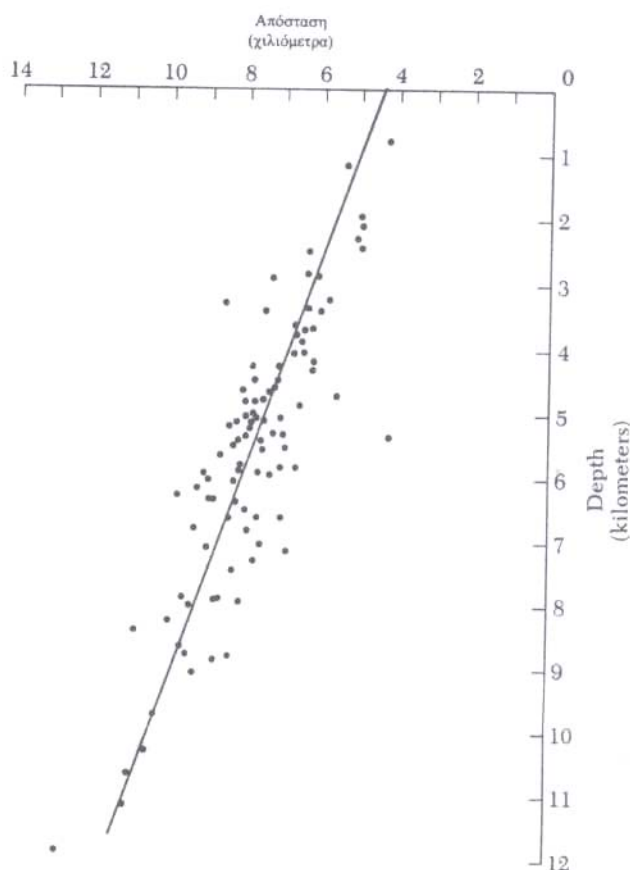
Καθώς γινόταν ο έλεγχος του φράγματος σημειώθηκε ο κύριος σεισμός της ακολουθίας, με μέγεθος 5.7, λίγο μετά το μεσημέρι της 1ης Αυγούστου. Κατά μια έννοια ο σεισμός είχε προβλεφθεί. Η πρόβλεψη βασίστηκε σε μια προσωπική υπόνοια ότι η ασυνήθιστη κατανομή των μικρών τοπικών σεισμών δήλωνε ότι μπορεί να ήταν προσεισμοί ενός μεγαλύτερου σεισμού. Το συμβάν δείχνει ότι είναι δυνατή κάποια επιτυχία —με πρακτικά αποτελέσματα— στην πρόβλεψη, σε πολύ εξειδικευμένες συνθήκες, όπως όταν υπάρχουν προσεισμοί (κάτι που δεν συμβαίνει πάντοτε — βλ. Κεφάλαιο 10). Μια απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία της πρόβλεψης, είτε αυτή επιδιώκεται για επιστημονικούς είτε για κατασκευαστικούς είτε για κοινωνικούς λόγους, είναι ότι κάποιο άτομο, ενημερωμένο γύρω από τα θέματα, θα πρέπει να γνωρίζει τις μεταβολές στις τοπικές συνθήκες και να είναι ικανό να παρακολουθεί τις μεταβολές αυτές από κοντά και συνεχώς.

Οι βλάβες από τον κύριο σεισμό στην πλειόσειστη περιοχή δεν ήταν μεγάλες. Ορισμένες καπνοδόχοι χωρίς ενίσχυση έπεσαν και κατέρρευσαν κάποια διαχωριστικά τοιχοποιίας στην πόλη Όροβιλ. Η ένταση στην Όροβιλ δόθηκε με τιμή VII της Τροποποιημένης Κλίμακας Μερκάλι. Στο φράγμα, τα όργανα που είχαν τοποθετηθεί

λίγα χρόνια πριν για μια τέτοια περίπτωση, κατέγραψαν την εδαφική κίνηση και έδειξαν ότι το ίδιο το φράγμα δεν επηρεάστηκε από τη δόνηση. Οι επιταχυνσιογράφοι στο φράγμα έδειξαν μέγιστη εδαφική επιτάχυνση περίπου 0,15g, στην οριζόντια διεύθυνση.

Έγιναν πολλοί μετασεισμοί και ο προσεκτικός προσδιορισμός των εστιών τους στη συνέχεια, που έγινε με φορητά όργανα, καθόρισε μια ζώνη κλίσης 60 μοιρών δυτικά, μέσα στην κοιλάδα. Οι εστίες είχαν βάθος κυμαινόμενο από 12 χιλιόμετρα στα δυτικά μέχρι σχεδόν την επιφάνεια στα ανατολικά (βλ. Εικόνα 4). Η κατεύθυνση των πρώτων κυμάτων P, που καταγράφηκε από τον κύριο σεισμό και τους μετασεισμούς, ήταν ενδεικτική κανονικής ρηγμάτωσης, σε ρήγμα με κατεύθυνση βόρεια-βορειοδυτική και με την πλευρά της Σιέρα Νεβάδα να κινείται προς τα επάνω, σε σχέση με αυτήν της Γκρέιτ Βόλεϊ της Καλιφόρνιας.

Εάν προβάλαμε αυτό το επίπεδο του ρήγματος στην επιφάνεια της Γης, θα συναντούσε την επιφάνεια σε σημείο νοτίως του φράγματος. Κατά συνέπεια, μπορείτε να φανταστείτε τον ενθουσιασμό των γεωλόγων όταν βρήκαν, μια-δυο ημέρες μετά, μια γραμμή επιφανειακών ρωγμών στην ύπαιθρο, στην περιοχή της προβολής. Στη συνέχεια σκάφτηκαν ορύγματα σε αρκετά σημεία κατά μήκος της γραμμής των ρωγμών, τα οποία και επιβεβαίωσαν ότι οι ρωγμές ήταν επιφανειακές εμφανίσεις μιας προϋπάρχουσας ζώνης ρηγμάτων. Στα περισσότερα ορύγματα υπήρχε μιλωνίτης και οι μετατοπίσεις στο χώμα και στα στρώματα των πετρωμάτων, που εμφανίζονταν στα τοιχώματα των ορυγμάτων, έδειχναν ότι αρκετές φορές στα τελευταία 100.000 χρόνια είχαν σημειωθεί κατακόρυφες κινήσεις με μορφή κανονικής ρηγμάτωσης-ολίσθησης κατά κλίση, προκαλώντας μετατοπίσεις λίγων εκατοστών κάθε φορά. Η χαρτογράφηση υπαίθρου, που έγινε αργότερα, επιβεβαίωσε ότι το συνολικό μήκος των επιφανειακών ρωγμών, κατά μήκος των χωραφιών, ήταν περίπου 5 χιλιόμετρα.



Εικόνα 4: Πλάγια άποψη του εσωτερικού του φλοιού της Γης, νοτιοανατολικός της Όροβιλ της Καλιφόρνιας, που δείχνει τις θέσεις των εστιών ορισμένων από τους μεγαλύτερους σεισμούς της ακολουθίας του 1975, σε ανατολική-δυτική προβολή. Η γωνία κλίσης είναι 62 μοίρες. [Ευγενική παραχώρηση των W. Savage, D. Tocher, P. Birkholm.]

Μετά τους σεισμούς της Όροβιλ έγιναν πολλές συζητήσεις για την πιθανή πρόκλησή τους, λόγω της τεχνητής λίμνης. Εντούτοις, οι ενδείξεις είναι μόνο περιστασιακές και δεν υπάρχουν άμεσα αιτιοκρατικά δεδομένα. Η θέση που ήταν αντίθετη στην πιθανότητα πυροδότησης λόγω φράγματος, υποστήριζε ότι οι μικροί έως μέτριοι σεισμοί δεν ήταν άγνωστοι στους γειτονικούς πρόποδες της Σιέρα Νεβάδα και ότι ο τοπικός γεωλογικός χάρτης δείχνει ότι τα ίχνη των ρηγματώσεων, που παρατηρήθηκαν μετά το σεισμό, ευθυγραμμίζονταν με ένα εκτεταμένο δίκτυο ρηγμάτων νοτίως της Όροβιλ. Οι γεωμορφολογικές ενδείξεις, κατά μήκος της ζώνης των ρωγμών, εμφάνιζαν την πιθανότητα να είχαν γίνει σπασμωδικές μετακινήσεις στη διάρκεια των τελευταίων χιλιετηρίδων, αφού μικρές πηγές, περιοχές υγρασίας και ελαφρές υψομετρικές μεταβολές ήταν εμφανείς στην περιοχή.

Μια επιπλέον ένδειξη που ερχόταν σε αντίθεση με την άποψη της πυροδότησης λόγω φράγματος ήταν ότι η εστία του κύριου σεισμού βρισκόταν σε απόσταση 15

χιλιομέτρων μακριά από την τεχνητή λίμνη της Όροβιλ. Πώς ήταν, λοιπόν, δυνατόν η λίμνη να επηρεάσει ένα τόσο μακρινό σημείο; Ακόμη και η κατανομή των μετασεισμών στο χώρο όριζε μια ζώνη που εμφανιζόταν στην επιφάνεια, νοτίως αυτής καθ' αυτήν της λίμνης.

Στην άλλη πλευρά του ζητήματος, στοιχεία, περισσότερο ποσοτικά άλλα εντούτοις περιστασιακά, προέρχονται από τους ρυθμούς προσεισμών και μετασεισμών που σημειώθηκαν. Ο ρυθμός εμφάνισης σεισμών επάνω από ένα δεδομένο μέγεθος, μετριέται με τον παράγοντα  $b$ , που δίνεται στο Παράρτημα Η. Στις περισσότερες περιοχές το  $b$  κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 0,7 και 1,0 στη βόρεια Καλιφόρνια η τιμή αυτή υπολογίζεται περίπου ίση με 0,8, αν ληφθεί υπόψη η μέση τιμή για μερικές δεκαετίες. Η τιμή του  $b$ , για τις ακολουθίες σεισμών λόγω φραγμάτων στην Καρίμπα και την Κόινα (που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες ενότητες), υπολογίστηκε και βρέθηκε μεγαλύτερη από την αντίστοιχη συνήθη τοπική τιμή. Όμως, για το ρυθμό εμφάνισης των μετασεισμών της Όροβιλ η τιμή του  $b$  υπολογίστηκε ίση με 0,6 — τιμή μικρότερη της τοπικής τιμής.

Τέλος, το ισχυρότερο επιχείρημα υπέρ της άποψης ότι ο σεισμός συνδεόταν με την ύπαρξη του φράγματος, σε εκείνη την περιοχή, είναι απλώς και μόνο η παρουσία της τεχνητής λίμνης σε αυτή. Αναμφιβόλως, το φράγμα έστειλε έναν παλμό πίεσης μέσω του νερού των πετρωμάτων του φλοιού. Ίσως, καθώς ο παλμός πίεσης διαδιδόταν διηθούμενος στα κρυσταλλικά πετρώματα της περιοχής έφτασε αναπόφευκτα σε ένα αδύνατο σημείο, κατά μήκος μιας προϋπάρχουσας ζώνης ρήγματος. Αν και ο παλμός εξασθενούσε, καθώς διαδιδόταν, μπορεί να ήταν αρκετός να διανοίξει τις μικρορωγμές τόσο μόνο όσο ήταν απαραίτητο ώστε να επιτρέψει την ολίσθηση — η σταγόνα που έκανε το ποτήρι να ξεχειλίσει.

### **6.3.2. Σεισμικότητα που προκλήθηκε από τη δημιουργία της τεχνητής λίμνης Νάσερ στον ποταμό Νείλο**

Ο Νείλος είναι απαραίτητο στοιχείο στη ζωή της Αιγύπτου. Η διακύμανση των νερών του, όπως αυτή μετριέται από τα νειλόμετρα (υδροδείκτες) στο Κάιρο από το 622 μ.Χ., σημειωνόταν σε τόσο τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε η Αίγυπτος να αποτελεί το «σιτοβολώνα», σε περιόδους ξηρασίας και πείνας, με εξαίρεση ορισμένες



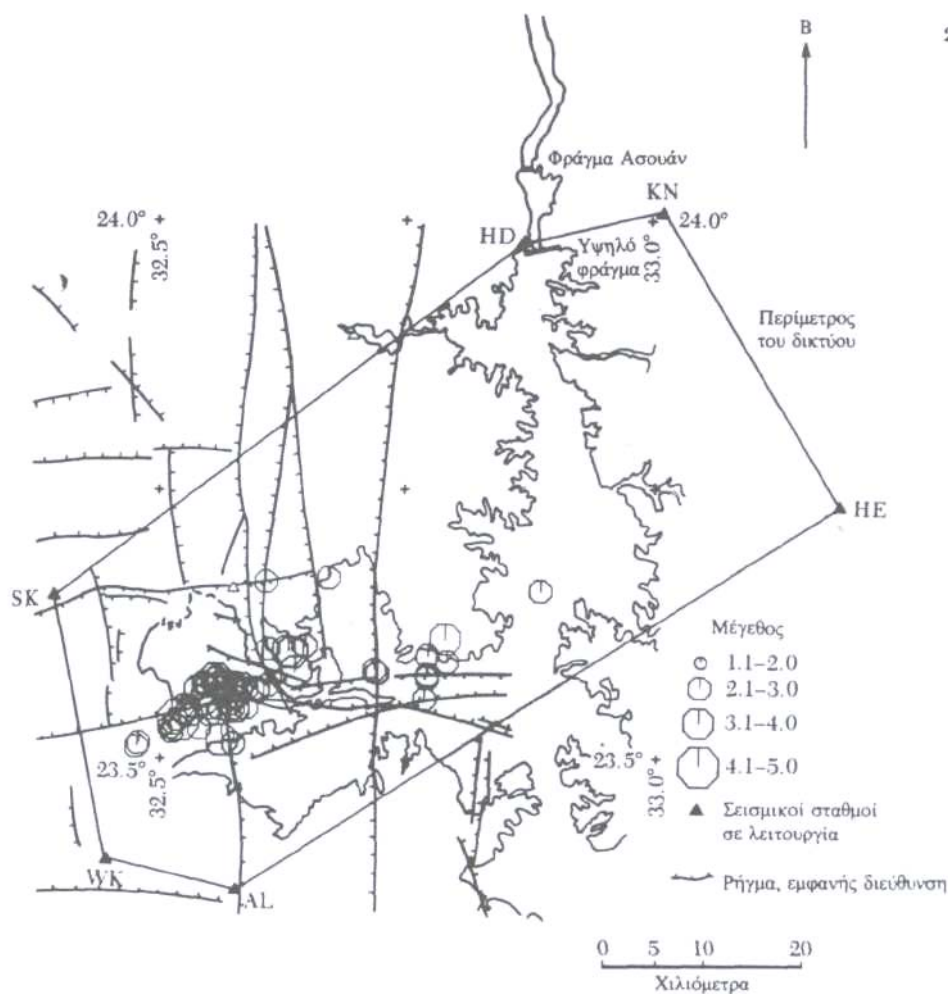
μεγάλες πλημμύρες και τις αντίστοιχες καταστροφές που κατά καιρούς προκαλούσε. Ο ποταμός έχει μήκος 16.000 χιλιόμετρα και η κύρια ροή του σχηματίζεται από τη συνένωση του Λευκού Νείλου και του Γαλάζιου Νείλου, στο Χαρτούμ, 3.080 χιλιόμετρα πριν τις εκβολές του. Μετά το Χαρτούμ ο ποταμός συναντά το Ασουάν, που βρίσκεται στους πρώτους καταρράκτες του (βλ. σελίδα 51). Το 1902 κτίστηκε στο Ασουάν ένα φράγμα από σκυρόδεμα, για τον έλεγχο της άρδευσης. Στο σημείο εκείνο το ποτάμι είναι ήρεμο και μεσολαβεί μια λωρίδα πρασίνου ανάμεσα στο ποτάμι και τους βράχους της ερήμου.

Στη δεκαετία του 1970 σημειώθηκε μια τεράστια αλλαγή στο υδάτινο σύστημα του Νείλου, όταν 10 χιλιόμετρα περίπου νοτιώς του Ασουάν κατασκευάστηκε το χωμάτινο Υψηλό Φράγμα, του οποίου το μέγιστο ύψος είναι 111 μέτρα και το μήκος της επιχωμάτωσης 3,6 χιλιόμετρα. Το φράγμα δημιούργησε μια τεχνητή λίμνη, που ονομάζεται λίμνη Νάσερ και η οποία έχει μήκος περίπου 300 χιλιόμετρα (στο μήκος την ξεπερνάει μόνο η τεχνητή λίμνη Μπρατσκ, στη Σοβιετική Ένωση). Η λίμνη Νάσερ έχει μέγιστη χωρητικότητα 164.000 x 10<sup>6</sup> κυβικά μέτρα, λίγο μεγαλύτερη από εκείνη της λίμνης Καρίμπα, λίγο νοτιότερα στην Αφρική. Η πλήρωση της λίμνης άρχισε το 1964 και η μέγιστη στάθμη νερού έφτασε τα 177,5 μέτρα το Νοέμβριο του 1978. Από τότε η λίμνη σημειώνει ένα εποχικό μέγιστο τον Οκτώβριο-Νοέμβριο και ο συνολικός ετήσιος κύκλος της στάθμης έχει πριονωτή μορφή. Μια αργή μείωση του νερού παρατηρείται από το Νοέμβριο, με ελάχιστο όγκο τον Ιούλιο, που ακολουθείται από ταχύτερη πλήρωση. Η συνήθης ετήσια μεταβολή στο επίπεδο της στάθμης του νερού είναι 4 έως 5 μέτρα.

Στις 14 Νοεμβρίου του 1981, ένας σεισμός (μεγέθους  $M_L = 5,6$ ) έγινε αισθητός, με μεγάλη ένταση, στο Ασουάν. Αν και η ακριβής θέση της εστίας είναι άγνωστη (ο κοντινότερος σεισμολογικός σταθμός που λειτουργούσε τη στιγμή εκείνη ήταν στο Χελουάν, σε απόσταση 690 χιλιομέτρων περίπου από το Ασουάν), τα δεδομένα για την ένταση και τη θέση των μετασεισμών (που καταγράφηκαν από τοπικούς σεισμολογικούς σταθμούς οι οποίοι τοποθετήθηκαν μετά τον κύριο σεισμό) δείχνουν μια εστία σε πλάτος 23,55B και μήκος 32,55A, σε μικρό βάθος. Αυτή η θέση τοποθετεί τη σεισμική πηγή κάτω από έναν μεγάλο κόλπο της λίμνης Νάσερ, περίπου 60 χιλιόμετρα νότια από το Υψηλό Φράγμα του Ασουάν.

Ο σεισμός είχε ακολουθήσει λίγους προσεισμούς, που καταγράφηκαν, και ακολουθήθηκε από χιλιάδες μετασεισμούς, στην ίδια ευρύτερη περιοχή (βλ. Εικόνα 5). Στο Ασουάν η ένταση της δόνησης υπολογίστηκε σε VI της κλίμακας Μερκάλι. Οι περισσότεροι κάτοικοι βγήκαν έξω από τα σπίτια τους και άκουσαν θορύβους που έμοιαζαν με εκρήξεις, γεγονός που συχνά αποτελεί ένδειξη πολύ μικρού βάθους. Μικρές ζημιές σημειώθηκαν σε ορισμένα παλαιά κτίρια στο Ασουάν, αλλά δεν έγιναν ζημιές στο φράγμα και στους βοηθητικούς χώρους. Η περιοχή του Ασουάν είχε θεωρηθεί απαλλαγμένη σεισμικότητας· στα ιστορικά αρχεία δεν υπάρχουν αναφορές για κανέναν σημαντικό σεισμό στην Άνω Αίγυπτο, αλλά ούτε και έχει καταγραφεί εκεί κάποιος σεισμός μετά την εμφάνιση του Παγκόσμιου Σεισμολογικού Δικτύου, στις αρχές του αιώνα. Είναι ευνόητο ότι τα ιστορικά αρχεία της Αιγύπτου, που καλύπτουν τα τελευταία 3.000 χρόνια, θα ανέφεραν κάποιον καταστροφικό σεισμό.

Είναι επομένως λογικό να υποθέσουμε ότι η περιοχή του Ασουάν δεν είναι πηγή σημαντικών σεισμών, υπό ομαλές γεωλογικές συνθήκες (τουλάχιστον με διάστημα επανάληψης τα 1.000 χρόνια). Το συμπέρασμα που συνάγεται είναι ότι θεωρείται πολύ πιθανό πως ο σεισμός της 14ης Νοεμβρίου 1981 και οι μετασεισμοί που ακολούθησαν, έχουν σχέση αιτίου-αιτιατού με το νερό της λίμνης Νάσερ. Οι νουβιανοί ψαμιτόλιθοι, κατά μήκος του Νείλου, είναι πετρώματα ιδιαίτερα πορώδη και άρα η ενεργός έκταση της λίμνης Νάσερ είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή καθ' αυτήν την επιφάνεια της, αφού τεράστιες ποσότητες νερού έχουν απορροφηθεί από το πορώδες υπόβαθρο. Το φορτίο του νερού είναι κατά συνέπεια μεγαλύτερο από αυτό που αρχικά είχε υπολογιστεί, με συνέπεια να υπάρχουν μεγαλύτερες μεταβολές στην πίεση του νερού, στα πορώδη πετρώματα. Τα υδρολογικά μοντέλα που έχουν υπολογιστεί δεν παρουσιάζουν εντούτοις ικανοποιητική ακρίβεια, ώστε να δηλώσουν αν η φόρτιση της λίμνης θα προκαλέσει στο μέλλον σεισμούς παρόμοιου μεγέθους με αυτόν της 14ης Νοεμβρίου 1981.



Εικόνα 5: Χάρτης επικέντρων των μετασεισμών της ακολουθίας του Α-σουάν, από την 7η Μαΐου έως την 11η Ιουνίου 1982, που έγινε από τις καταγραφές του σεισμολογικού δικτύου της Αιγυπτιακής Γεωλογικής Εταιρείας και της Διεύθυνσης Ορυχείων. Το ίχνος του ρήγματος Καλάμπσα διέρχεται ανατολικά-δυτικά μέσα από την πυκνή συγκέντρωση των επικέντρων. [Από τον Torrozada και άλλους, Διεύθυνση Ορυχείων και Γεωλογίας της Καλιφόρνιας, 1984.]

Στην περιοχή του Ασουάν είχαν τοποθετηθεί πριν από το σεισμό ορισμένοι σειсмоγράφοι, αλλά η λειτουργία τους ήταν πλημμελής πριν από το 1981. Εντούτοις, επέτρεψαν στους Αιγυπτίους σεισμολόγους να εντοπίσουν λίγους μικρούς σεισμούς ( $M > 2,5$ ), που δείχνουν ότι η χαμηλή σεισμικότητα στην περιοχή μπορεί να άρχισε από την έναρξη της πλήρωσης της λίμνης. Ο κύριος σεισμός ακολούθησε το εποχικό

μέγιστο της στάθμης του 1981. Μετά το σεισμό η στάθμη του νερού άρχισε να μειώνεται, λόγω της εκτεταμένης ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Νείλου.

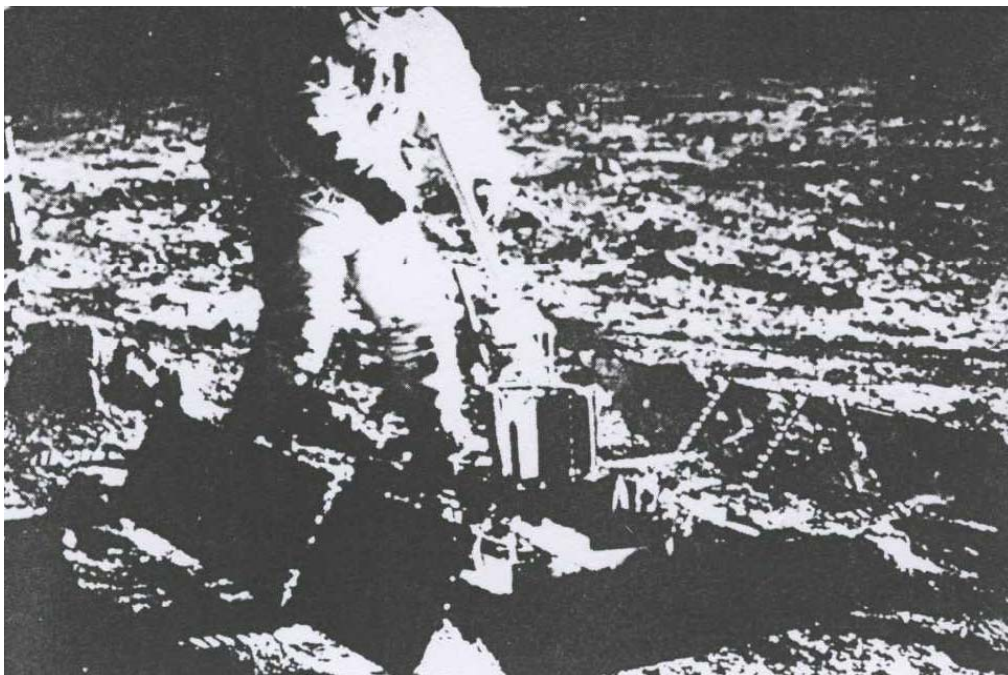
Η μελέτη της μετασεισμικής ακολουθίας έδειξε ότι μια πυκνή ζώνη μετασεισμών βρισκόταν κοντά στο επιφανειακό ίχνος του ρήγματος Καλάμπσα, που έχει διεύθυνση ανατολικά-δυτικά, διασχίζοντας την έρημο μέσα στο έδαφος της Λιβύης και σβήνοντας κοντά στη δυτική όχθη του Νείλου, περίπου 45 χιλιόμετρα νοτίως του Υψηλού Φράγματος. Οι εστίες των μετασεισμών δείχνουν δύο ανεξάρτητες συγκεντρώσεις· η μια πλησιέστερα στο Νείλο είχε μικρά βάθη μικρότερα από 10 χιλιόμετρα και η άλλη δυτικότερα είχε εστίες σε μεγαλύτερα βάθη, από 15 έως 25 χιλιόμετρα.

Τα τελευταία χρόνια έγιναν εκτεταμένες γεωλογικές και σεισμολογικές μελέτες στην περιοχή του Υψηλού Φράγματος του Ασουάν. Επειδή δεν υπήρχαν όργανα κοντά στο Υψηλό Φράγμα, για να καταγράψουν την ισχυρή εδαφική κίνηση του σεισμού του 1981, η εργασία αυτή βασίζεται έως ένα βαθμό σε προέκταση καταγραφών της ισχυρής κίνησης από άλλες χώρες. Αλλά όλες οι ενδείξεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η κατασκευή θα αντέξει σε μελλοντικούς σεισμούς, που μπορεί να οφείλονται στην πίεση του νερού.

#### **6.4. Οι σεισμοί στη Σελήνη**

Σε αντίθεση με την επιφάνεια της Γης, η επιφάνεια της Σελήνης είναι άνυδρη. Οπότε, αν το νερό είναι σημαντικό στοιχείο στη γένεση των σεισμών, μπορούμε να αναρωτηθούμε: «Γίνονται σεισμοί στη Σελήνη; Εάν ναι, μοιάζουν με αυτούς του πρωταρχικού πλανήτη, της Γης;» Απαντήσεις σ' αυτό το ερώτημα έχουν προκύψει από τα διαστημικά προγράμματα. Ήδη από το Νοέμβριο του 1969 και στη διάρκεια των προγραμμάτων προσσεληνώσεων του Απόλλωνα 12, 14, 15, 16 και 17 τοποθετήθηκαν στη Σελήνη σεισμολογικοί σταθμοί από τις Ηνωμένες Πολιτείες (βλ. Εικόνα 6). Ειδικοί σεισμογράφοι —που λειτουργούσαν με ηλιακή ενέργεια και πυρηνικές μπαταρίες— τοποθετήθηκαν σε πέντε θέσεις και λειτουργούσαν σε σταθερή βάση, στέλνοντας χωρίς διακοπή στη Γη γεωφυσικά δεδομένα για το εσωτερικό της Σελήνης. Οι σεισμολόγοι, από το 1900, χρησιμοποιούν τα σεισμικά κύματα που διασχίζουν τη Γη για να πάρουν λεπτομερέστερες πληροφορίες για τη δομή του γήινου εσωτερικού (βλ. Κεφάλαιο 8). Επίσης, από τη μελέτη των θέσεων και των μηχανισμών γένεσης των σεισμών έχουν

αποκαλυφθεί πολλά για τον τρόπο παραμόρφωσης της Γης. Άρα, από το ξεκίνημα της σεληνιακής εξερεύνησης ήταν αναμενόμενο πως οι σειсмоγράφοι που τοποθετήθηκαν στη Σελήνη, θα παρείχαν τις αντίστοιχες πληροφορίες για το σεληνιακό εσωτερικό και την παραμόρφωση του.



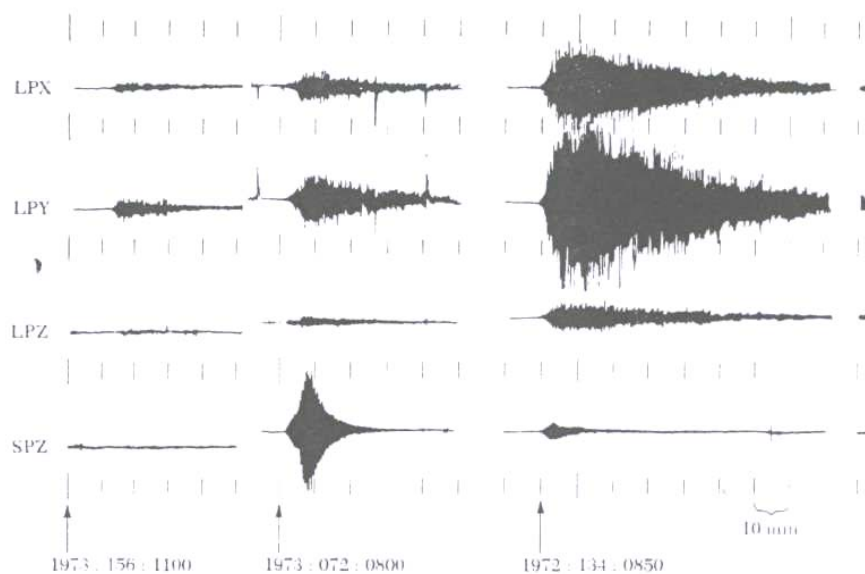
*Εικόνα 6: Φωτογραφία σειсмоγράφου που λειτουργεί στην επιφάνεια της Σελήνης. [Ευγενική παραχώρηση από τη NASA.]*

Οι περισσότεροι σεισμοί, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, είναι συνέπεια της κίνησης των τεκτονικών πλακών. Η Σελήνη, σε πλήρη αντίθεση με τη Γη, για πολλές χιλιάδες χρόνια είναι ένας πλανήτης που βρισκόταν και βρίσκεται σε δυναμική ησυχία, χωρίς κινήσεις πλακών, χωρίς ενεργά ηφαίστεια και, τέλος, χωρίς μεγάλα συστήματα ωκεάνιων ραχών. Ήταν, κατά συνέπεια, ξάφνιασμα το γεγονός ότι κάθε σεισμολογικός σταθμός στη Σελήνη κατέγραψε ετησίως 600 με 3.000 σεληνιακούς σεισμούς, κατά μέσο όρο. Οι περισσότεροι σεισμοί ήταν μικροί, δηλαδή μικρότεροι από μέγεθος 2 της κλίμακας Ρίχτερ. Ο γενικός θόρυβος ήταν πολύ μικρός και έτσι οι σειсмоγράφοι ήταν δυνατό να λειτουργήσουν σε κλίμακες πολύ μεγάλης μεγέθυνσης, τουλάχιστον 100 ως 1.000 φορές μεγαλύτερες από αυτές που θεωρούνται τυπικές για τη λειτουργία τους στη Γη. Ο μεγάλος αριθμός, λοιπόν, των σεληνιακών σεισμών, που καταγράφηκαν από τους

σχετικούς σειсмоγράφους, είναι συνέπεια των πολύ χαμηλών επιπέδων θορύβου της Σελήνης (δεν υπάρχουν άνεμοι ούτε κύματα ωκεανών ή κυκλοφοριακή κίνηση) ή μήπως αυτή η κατάσταση σηματοδοτεί την παρουσία μιας σχετικά υψηλής τεκτονικής διεργασίας;

Δείγματα τυπικών σεληνιακών σεισμών, που καταγράφηκαν στο σταθμό του διαστημοπλοίου Απόλλων 16, παρουσιάζονται στην Εικόνα 7. Εμφανίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι σεισμών: Πρώτον, είναι οι σεισμοί μεγάλου βάθους, περίπου 600 έως 900 χιλιόμετρα στο εσωτερικό της Σελήνης (που ως γνωστόν έχει ακτίνα 1.740 χιλιόμετρα). Αυτοί οι σεισμοί, σε τόσο μεγάλο βάθος, είναι εντυπωσιακοί. Φαίνεται μάλιστα να είναι συγκεντρωμένοι σε συγκεκριμένο αριθμό θέσεων μέσα στο εσωτερικό της Σελήνης. Από τις θέσεις αυτές, περισσότερες από 40 έχουν εντοπιστεί.

Σε αυτά τα σεισμικώς ενεργά κέντρα, που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, οι σεισμοί εκδηλώνονται συχνά στο διάστημα των λίγων ημερών που η Σελήνη βρίσκεται στο περίγειο, δηλαδή στο σημείο εκείνο όπου η τροχιά της Σελήνης είναι πλησιέστερα προς τη Γη. Ένας αντίστοιχος αριθμός σεισμών σημειώνεται σε αυτά τα κέντρα και κατά την αντίθετη φάση της παλιρροϊκής έλξης, που σημαίνει πως αυτές οι περιόδους υψηλής δραστηριότητας απέχουν μεταξύ τους 14 ημέρες. Η περιοδική φύση αυτών των φαινομένων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παλιρροϊκή έλξη της Σελήνης από τη Γη πυροδοτεί την απελευθέρωση σεισμικής ενέργειας σε μεγάλο βάθος. Οι αντίστοιχες συνθήκες δημιουργίας σεισμικών φαινομένων στη Γη, δηλαδή όταν η Σελήνη βρίσκεται στο περίγειο, έχουν παρατηρηθεί επί πολλά χρόνια, χωρίς όμως να έχουν οδηγήσει σε κάποια επιστημονική ανακάλυψη (βλ. Κεφάλαιο 10).



Εικόνα 7: Σεισμογραφήματα από τρεις τύπους σεληνιακών σεισμών, που καταγράφηκαν στο σταθμό του Απόλλωνα 16. LPX, LPY και LPZ είναι οι τρεις συνιστώσες μακράς περιόδου και SPZ είναι η κατακόρυφη συνιστώσα βραχείας περιόδου. Η πρώτη στήλη παρουσιάζει σεισμό μεγάλου βάθους, η κεντρική στήλη παρουσιάζει επιφανειακό σεισμό και η τρίτη στήλη δείχνει τις καταγραφές λόγω της πρόσπτωσης ενός μετεωρίτη στη σεληνιακή επιφάνεια. [Ευγενική παραχώρηση της NASA.]

Δεύτερον, ο άλλος τύπος σεληνιακών σεισμών, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, σημειώνεται σε περιοχές της Σελήνης με μικρότερο βάθος. Αυτοί οι σεισμοί δεν είναι τόσο συχνοί όσο οι προηγούμενοι, και τα επίκεντρα τους δεν παρουσιάζουν καμιά ιδιαίτερη κανονική κατανομή στην επιφάνεια της Σελήνης. Έχει υποστηριχθεί ότι, όπως και οι περισσότεροι σεισμοί στη Γη, έτσι και αυτοί στη Σελήνη οφείλονται στην απελευθέρωση της τεκτονικής ελαστικής παραμόρφωσης των πετρωμάτων του φλοιού της. Αν αυτό αληθεύει, τότε ή υπάρχει νερό στα πετρώματα της Σελήνης ή λαμβάνει χώρα κάποια ειδική άνυδρη ρηγματώση, λόγω των ασυνήθιστων θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν στην επιφάνεια της.

Τρίτον, ένας άλλος τύπος σεισμικών φαινομένων είναι αποτέλεσμα πρόσκρουσης αντικειμένων, φυσικών και τεχνητών, στην επιφάνεια της Σελήνης. Ένα παράδειγμα σεισμογραφημάτων από πτώση μετεωρίτη παρουσιάζεται στην Εικόνα 7. Οι σεισμολογικοί σταθμοί στη Σελήνη ανιχνεύουν και καταγράφουν, σε ακτίνα 1.000 χιλιομέτρων, πτώσεις μετεωριτών στην επιφάνειά της. Για να υποβοηθηθεί ο καθορισμός των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων στα σεληνιακά πετρώματα είχε

προγραμματιστεί ένα μέρος των διαστημοπλοίων να προσκρούει στην επιφάνεια της Σελήνης. Αυτές οι συγκρούσεις, με τεράστιες ταχύτητες, δημιούργησαν σεισμικά κύματα αρκετά ισχυρά ώστε να καταγραφούν από τους σεισμολογικούς σταθμούς. Επειδή το σημείο πρόσπτωσης τμημάτων των διαστημοπλοίων ήταν γνωστό εξ αρχής με ακρίβεια, γι' αυτόν το λόγο ήταν εύκολο να υπολογιστούν και οι χρονικές διαδρομές των σεισμικών κυμάτων, επίσης με ακρίβεια. Αυτοί οι υπολογισμοί αποτέλεσαν το πρώτο βήμα στην αποκάλυψη της γενικής αρχιτεκτονικής και των ιδιοτήτων του εσωτερικού της Σελήνης.

Τα κύματα που καταγράφηκαν από τις προσκρούσεις και τους σεληνιακούς σεισμούς δείχνουν ότι η Σελήνη είναι ένας στερεός βράχος. Το διαστρωματωμένο κέλυφος του φλοιού της έχει πάχος 60 χιλιόμετρα και κάτω από αυτό υπάρχει ένας στερεός μανδύας μεγάλης πυκνότητας, πάχους 1.000 χιλιομέτρων. Ο μανδύας περιβάλλει έναν κεντρικό πυρήνα, που φαίνεται να είναι κάπως αραιότερος από το μανδύα, αλλά μάλλον δεν είναι υγρός. Η εικόνα του εσωτερικού της Γης, που έχουμε σχηματίσει από προηγούμενες έρευνες, είναι σημαντικά διαφορετική από την αντίστοιχη της Σελήνης (βλ. Κεφάλαιο 8).

Οι ίδιοι οι σεληνιακοί σεισμοί είναι κατά πολύ διαφορετικοί από τους σεισμούς στη Γη. Συγκρίνετε τα σειсмоγραφήματα της Εικόνας 7 με εκείνα των σεισμών που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6, Εικόνα 4. Ένας μικρός σεισμός στη Γη μπορεί να καταγράφεται από έναν απομακρυσμένο σειсмоγράφο για χρονικό διάστημα της τάξεως του ενός λεπτού, ενώ η δόνηση που καταγράφεται στη σεληνιακή επιφάνεια, στην περίπτωση ενός σεισμού, έχει διάρκεια έως και μία ώρα. (Οι κατακόρυφες ενδείξεις χρόνου, στην Εικόνα 7, είναι τοποθετημένες σε απόσταση 10 λεπτών η μια από την άλλη.) Οι κυματομορφές είναι εκπληκτικά διαφορετικές: τα σεισμικά κύματα S και τα επιφανειακά σεισμικά κύματα που εμφανίζονται στα σεληνιακά σειсмоγραφήματα, δεν είναι τόσο καλά καθορισμένα και εμφανή όπως αυτά των σεισμών στη Γη. (Στην Εικόνα 7 το μικρό κύμα P του σεληνιακού σεισμού φαίνεται στην καταγραφή SPZ και το κύμα S μπορεί να παρατηρηθεί καλύτερα στην καταγραφή LPY.) Μετά από μια ταχεία κλιμάκωση, το σεληνιακό σειсмоγράφημα δείχνει παλινδρομήσεις με αργή ελάττωση του πλάτους, για αρκετά δεκάλεπτα. Ποια είναι η εξήγηση αυτής της συμπεριφοράς; Γενικώς, είναι αποδεκτό ότι η έλλειψη νερού μαζί με τη ρηγματωμένη φύση των πετρωμάτων της Σελήνης συμβάλλουν στην ύπαρξη του προαναφερόμενου



φαινομένου· τα ανώτερα πετρώματα είναι τόσο ξηρά, ώστε τα σεισμικά κύματα αποσβήνονται ελάχιστα, ταυτοχρόνως δε η σεισμική ενέργεια διαχέεται εύκολα προς όλες τις κατευθύνσεις, λόγω των ρωγμών των σεληνιακών πετρωμάτων.

Σεισμογράφοι τοποθετήθηκαν και στον Άρη, με τις δύο αποστολές Βίκινγκ των Ηνωμένων Πολιτειών, το 1976. Δυστυχώς, το όργανο που υπήρχε στο Βίκινγκ 1 απέτυχε να στείλει σήματα στη Γη, αλλά στο Βίκινγκ 2 ο σεισμογράφος λειτούργησε όπως είχε προγραμματιστεί και τα σήματα των εδαφικών κινήσεων στον Άρη καταγράφηκαν τηλεμετρικά στη Γη. Έως το Σεπτέμβριο του 1977, ο λεπτομερής έλεγχος των σεισμογραφημάτων από τον Άρη που είχαμε στη διάθεσή μας, παρείχε μόνο ένα σεισμικό γεγονός, που θα μπορούσε να ταυτιστεί με σεισμό του Άρη. Όμως, είναι πιθανό οι σεισμοί του Άρη να μην είναι τόσο συχνοί και σίγουρα είναι πολύ νωρίς να αποκλείσουμε την πιθανότητα αξιοσημείωτης σεισμικής δραστηριότητας εκεί.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Ύστερα από σχολαστική έρευνα και μελέτη των συγγραμμάτων που συλλέξαμε για την εργασία μας. Μπορούμε να πούμε ότι δεν μπορεί να βγει ένα συμπέρασμα απ' το οποίο να παίρνουμε μια συγκεκριμένη θέση όσον αφορά τη λειτουργία με την οποία δουλεύει και δρα αυτό το φαινόμενο. Μέσα από τη βιβλιογραφία μας διακρίνονται αξιόλογοι επιστήμονες που έχουν αφιερώσει έργο για να βγάλουν τα συμπεράσματά τους για τη δημιουργία σεισμών από τα φράγματα και τους ταμιευτήρες. Με αποτέλεσμα να μην καταλήγουν σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα, ερχόμενοι πολλές φορές σε αντιθέσεις μεταξύ τους. Πολλά από αυτά που διαβάσαμε είναι τεκμηριωμένα με αποδείξεις πραγματικών συμβάντων που εξήχθησαν ύστερα από μακροχρόνιες μετρήσεις. Όμως σε όλα αυτά έρχεται να προστεθεί η φύση του φαινομένου που δεν μας αφήνει περιθώρια αλλά μόνο αμφιβολίες.

Κατά κύριο λόγο εμμένουμε και υιοθετούμε την άποψη ότι χωρίς νερό δεν δημιουργούνται σεισμοί και πάνω σ' αυτό θεωρούμε πως το φαινόμενο που εξετάζουμε (δηλ. η δημιουργία φραγμάτων και η φόρτιση των ταμιευτήρων από την πλήρωσή τους) συμβάλλει στην πρόκληση σεισμών. Η συμβολή αυτή όμως δεν θα είχε αποτελέσματα εάν δεν υπήρχαν εκείνες οι προϋποθέσεις (ρήγματα, τεκτονικές πλάκες, τόξα, σαθρά πετρώματα) στις οποίες να έρθει και να προστεθεί το φαινόμενο που εξετάζουμε ώστε να πυροδοτήσει το φυτίλι.

Η κατασκευή ολοένα και πιο πολλών φραγμάτων στην Ελλάδα μας κάνει όμως να υποψιαστούμε ότι ίσως με την σωστή και αυστηρή τήρηση των κανόνων και των προδιαγραφών υπάρχει η δυνατότητα ασφάλειας και πάνω από όλα μη δημιουργίας λαθών που θα οδηγούσαν σε τέτοια φαινόμενα.



---

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.**  
**(ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ)**

## 1.

# Ἡ πλήρωσις τεχνητῶν λιμνῶν (φραγμάτων) καὶ ἡ συμπαρομαρτούσα σεισμικὴ δράσις

Ἰωάννου Κ. Δρακοπούλου\*

## Περίληψις

Ενταῦθα αναφέρονται ωρισμένοι χαρακτηριστικαὶ περιπτώσεις ἀπὸ τὴν διεθνή βιβλιογραφία, εἰς αὐτὴν τὴν πλήρωσιν τῶν τεχνητῶν λιμνῶν ἠκολούθηθη ἡ συνωδεύθη ὑπὸ σεισμικῆς δράσεως. Μολονότι ὁ μηχανισμὸς τῆς πλήρους κατανοήσεως τῶν φαινομένων εἶναι δύσκολος καὶ δεδομένου ὅτι ὑπάρχουν πολλὰ φράγματα εἰς τὰ ὅποια δὲν παρετηρήθη σεισμικὴ δράσις, ἐν τούτοις ὑπάρχουν βάσιμοι ἐνδείξεις συσχετίσεως τῆς πληρώσεως τῶν φραγμάτων μετὰ τὴν συμπαρομαρτούσαν σεισμικὴν δράσιν.

Πάντως τὸ φαινόμενο φαίνεται νὰ σχετίζεται μετὰ τὴν ὑπάρχουσαν σεισμολογικὴν συνθήκην τοῦ ἐδάφους (ἐνεργὰ ρήγματα, ἀποθηκευμένη ἐνέργεια κλπ.), ἀνευ τῶν ὁποίων τὸ φράγμα ἀφ' ἑαυτοῦ εἶναι ἀδύνατον νὰ δράσῃ.

Ἡ πλήρωσις τῶν φραγμάτων πιθανῶς συμβάλλει ἐν μέρει εἰς τὴν ἐνεργοποίησιν τῶν ὑπαρχόντων ρηγμάτων, εἰς τὴν ἀσκήσιν μονοπλεύρου πίεσεως καὶ εἰς τὴν ἐκ καθιζήσεως τοῦ πυθμένου συντελούμενην παραμόρφωσιν τοῦ φλοιοῦ. Ἐπίσης, τὸ ὕδωρ, διεισδύον ὑπὸ σημαντικὰς μεγαλυτέρας τῆς συνήθους πίεσιν κατὰ μῆκος τῶν πλευρῶν τοῦ ρηξιγενοῦς τεμάχου, δύναται ν' αὐξήσει καὶ νὰ ἐπεκτείνει τὴν λίπανση, καὶ νὰ ἐλαττώσῃ οὕτω τὸν συντελεστὴν τριβῆς κατὰ μῆκος τοῦ ρήματος εἰς σημαντικὸν βάθος.

## 1. Εἰσαγωγή

Λόγω τῆς συνεχοῦς δράσεως διαφόρων δυνάμεων εἰς ὠρισμένους περιοχὰς τοῦ ἐσωτερικοῦ τῆς Γῆς αὐξάνουν, μετὰ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου, λόγω καταλλήλων συνθηκῶν, αἱ ἐλαστικαὶ τάσεις.

Φυσικῶς αἱ τάσεις αὐτὴν δύνανται, εἰς περίπτωσιν διαταράξεως τῆς ἰσορροπίας τῶν, νὰ ἐπιφέρουν ἀπὸτομος μετακινήσεις μαζῶν πετρωμάτων. Οὕτως, ἐπέρχεται μεταβολὴ μέρους τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν ὑπὸ μορφήν ἢ σεισμικῶν κραδάνσεων. Εἶναι γενικῶς παραδεκτὸ ὅτι τὰ αἰτία γενέσεως τῶν σεισμῶν εἶναι ἐνδογενή. Εἰς περιοχὰς ὅμως ποὺ ὑπάρχουν ὄριμοι ἐλαστικαὶ τάσεις, δηλαδὴ εἰς περιοχὰς ποὺ ἡ παραμόρφωσις τῶν πετρωμάτων ἀπὸ τὰς ορογενετικὰς δυνάμεις εἶναι πολὺ πλησίον τοῦ ὀρίου ἀντοχῆς τούτων, εἶναι δυνατόν ὠρισμένα φυσικὰ φαινόμενα τὰ ὁποία ἐνεργοῦν ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς, νὰ ἐπιφέρουν ἀφινιδίως διατάραξιν τῆς ἰσορροπίας τῶν ἐσωτερικῶν στρωμάτων, δηλαδὴ ἐπίσπευσιν τοῦ χρόνου ἐκλύσεως τῆς ἐνεργείας. Οὕτω διατὴν γένεσιν τῶν σεισμῶν συνεργάζονται συνήθως δύο εἰδῶν αἰτία: Τὰ ἄμεσα καὶ ἔμμεσα αἰτία. Ἐξωγενὴ ἔμμεσα αἰτία τὰ ὅποια προκαλοῦν ἐπίσπευσιν τοῦ χρόνου γενέσεως τῶν σεισμῶν εἶναι τὰ κατακρημνίσματα καὶ αἱ πλημμυρίδες, ἡ μεταφορὰ τῶν προϊόντων ἀποσαθρώσεως, ἡ διαφορὰ τῶν βαρομετρικῶν πιέσεων, ἡ κύμανσις τῶν πόλων ἀδρανείας τῆς Γῆς καὶ αἱ παλιρροϊκαὶ δυνάμεις.

Τελευταίως ἔχει γίνῃ διεθνῶς παραδεκτὸ ὅτι ἡ πλήρωσις τεχνητῶν λιμνῶν (φραγμάτων) εἶναι ἐν ἀπὸ τὰ ἔμμεσα αἰτία ἐκλύσεως σεισμῶν. Αἱ τεχνητὰ λίμναι ὡς παράγων ἐκλύσεως τῶν σεισμῶν, ἀπο-

τελοῦν σήμερον ἐν λίαν ἐλκυστικῷ θέμα λόγω τῶν σοβαρῶν ἐπιπτώσεων τὰς ὁποίας συνεπάγεται ἡ τυχόν ἐπιστημονικὴ θεμελίωσις τῆς ἐν λόγω συσχετίσεως.

## 2. Περιπτώσεις ἐκ τῆς Διεθνούς Βιβλιογραφίας

### 2.1. Φράγμα Boulder τῶν Ην. Πολιτειῶν

Περὶ τὰ μέσα τοῦ 1936, ἐν ἔτος μετὰ τὴν ἐναρξιν τῆς πληρώσεως τῆς τεχνητῆς λίμνης Mead τοῦ φράγματος Boulder εἰς τὴν Ἀριζόνα τῶν Ηνωμένων Πολιτειῶν, σεισμικὴ δράσις συνόδευσε καὶ ἀκολούθησε τὴν πλήρωσιν τοῦ φράγματος. Ταῦτα παρατήρησε πρῶτος τὸ 1945 ὁ D. Carder(I) καὶ οὕτως ἐτέθη δια πρώτη φοράν ἐπὶ τάπητος τὸ ἐν θέματι πρόβλημα. Ἡ περιοχὴ τοῦ Boulder ἦτο σχετικῶς ἀδρανὴς ἐπὶ πολλοὺς αἰῶνας.

Ἐκεῖνη δὲ τὴν ἐποχὴ, σεισμοὶ σύγχρονοι πρὸς τὴν κατασκευὴν τοῦ φράγματος καὶ ἐκρήξεις ἐνεκα τοῦ συντελουμένου ἔργου ἀνεμίσχθησαν. Ἐνδιαφέρον εἶναι ὅτι ἀπὸ τοῦ 1940, ἐπὶ τὴν σκοπὴν τῆς καλυτέρας κατανοήσεως τοῦ φαινομένου, ἢ U.S. Coast and Geodetic Survey ἐγκατέστησε 4 σταθμοὺς εἰς τὴν ἐν λόγω περιοχὴν. Εἰς διάστημα 12 ἐτῶν ἀνεγράφησαν πολλοὶ χιλιάδες σεισμοὶ ὑπὸ τοῦ ὡς ἄνω σεισμολογικοῦ δικτύου, ὑπελογίσθησαν δὲ αἱ ἐστίαὶ δι' ἑκατοντάδας ἐκ τούτων. Τὰ ἐστιακὰ βάθη φαίνεται ὅτι δὲν ὑπερέβαιναν τὰ 6 km. Πρωταρχικὸς σκοπὸς τῆς ἐγκαταστάσεως τῶν ἐν λόγω σεισμικῶν ὀργάνων ἦτο νὰ προσδιορισθῇ ἡ θέσις τῶν δυναμικῶν ἐνεργῶν ρηγμάτων ἐν σχέσιν πρὸς τὸ φράγμα, δευτερευόντως δὲ νὰ ἐξετασθῇ ἡ πιθανὴ συσχέτισις τῆς πληρώσεως τῆς λίμνης μετὰ τὴν σεισμικότητα τῆς περιοχῆς.

Ἡ παρατήρησις ὑπὸ τοῦ Carder ὅτι, ὁ ἀριθμὸς τῶν αἰσθητῶν καὶ ἀναγραφόμενων σεισμῶν εὐρίσκεται εἰς στενὴν σχέσιν μετὰ τὴν ἐποχιακὴν αὐξήσιν τῆς στάθμης ἢ τὴν μεγίστην φόρτωσιν τῆς λίμνης, προσέδωκεν εἰς τὸν δευτερευόντα σκοπὸν τῆς ἐγκαταστάσεως τοῦ σεισμολογικοῦ δικτύου παγκόσμιον ἐνδιαφέρον. Ἐπίσης εὐρέθη καὶ σχέσις μετὰ τῆς ἀπελευθερουμένης σεισμικῆς ἐνεργείας καὶ τοῦ ρυθμοῦ πληρώσεως τῆς λίμνης.

Ὁ Richter (2) περιγράφων ἀργότερον τὸ φαινόμενο τοῦ φράγματος Boulder, ἀναφέρει ὅτι «ἡ τεκτονικὴ ἰσορροπία ἦτο τοιαύτη ὥστε νὰ διαταραχθῇ ἀπὸ αὐτὴν τὴν συγκριτικῶς μικρὰν πρόσθετον φόρτωσιν.»

### 2.2. Φράγμα Kariba τῆς Ροδεσίας

Μέχρι τῆς κατασκευῆς τοῦ φράγματος Kariba εἰς Ροδεσίαν, τὸ φράγμα Boulder ἦτο τὸ μεγαλύτερον τοῦ κόσμου. Ἡ χωρητικότης τῆς λίμνης Kariba εἶναι  $16 \times 10^{10} \text{ m}^3$  δηλ. 4 φορές περίπου μεγαλύτερα ἀπὸ τὴν χωρητικότητα τῆς Mead (Boulder). Ἐπίσης τὸ μεγαλύτερον φορτίον ποὺ ἐναπετέθη ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς Γῆς ἀπὸ τεχνητὸ ἔργο, συναντᾶται εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς λίμνης Kariba, μῆκους 250 km καὶ βάθους 120 m.

Σεισμικαὶ ἀναγραφαὶ ἄρχισαν μετὰ τὸ 1959 καὶ ἑκατοντάδες σεισμοὶ ἀνεγράφησαν μετὰ ἐπίκεντρα εἰς τὸ Ἀνατολικὸ καὶ

\* Πτυχιούχος Φυσικὸς Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν (1961). Ἡλεκτρονικὸς -Φυσικὸς (1965). Βοηθὸς ἐργαστηρίου Σεισμολογίας Παν/μίου Ἀθηνῶν ἀπὸ 1964 καὶ ἐπιμελητὴς τοῦ αὐτοῦ ἐργαστηρίου ἀπὸ 1968 καὶ ἐντεύθεν. Τὸ 1968 ἀνηγορεύθη Διδάκτωρ τῆς Φυσικῆς Σχολῆς μετὰ τὸ βαθμὸν «Ἀριστα». 1969-70 μετέβη εἰς Τόκυο ὡς ὑπότροφος τῆς UNESCO ἐνθα ἐπεράτωσεν ἐπιτυχῶς τὸ Advance Course εἰς Intern. Institute of Seismology and Earthq. Engineering. Ἐδημοσίωσεν ἐπιστημονικὰς μελέτας εἰς διεθνή περιοδικὰ ἐπὶ θεμάτων Seismicity, Crustal Structure of the Earth, Focal Mechanism, Fore and Aftershocks, Microtremors and Microearthquakes. Ἐπιστημονικὸς Δ/ντὴς δια τὴν Ἑλλάδα τοῦ Διεθνούς Προγράμματος «Σεισμικότης τῆς Βαλκανικῆς» τὸ ὁποῖον ἐκτελεῖται ὑπὸ τὴν ἀγίδα τῆς UNESCO. Εἰσηγητὴς τῆς Ἑλληνικῆς Ἐπιτροπῆς Σεισμολογίας καὶ Ἀντισεισμικῶν Κατασκευῶν. Ἐλαβε μέρος εἰς Διεθνή Συνέδρια σχετικὰ πρὸς τὴν Σεισμολογίαν. Μέλος διαφόρων Διεθνῶν ἐπιστημονικῶν Ἐταιρειῶν.

βαθύτερο σημείο του φράγματος. Τρεις σεισμοί με μεγέθη μεταξύ 5,5 και 5,8 συνέβησαν τον Σεπτέμβριο του 1963 καθ' ην στιγμήν ή πλήρως ή του φράγματος είχε συντελεσθεί κατά περισσότερο από 50%. Κατά τον I. Gough (3) η σχέση της παρατηρούμενης σεισμικότητας με τα 5-εποχιακά μέγιστα της φορτώσεως του φράγματος είναι βεβαία. Πολλά ρήγματα, τουλάχιστον εν εκ των οποίων είναι γνωστόν ως ενεργό, κείνται εις την εν λόγω περιοχή. Η καθίζηση ην υπέστη η βάση του φράγματος ευρέθη περίπου 20-30 cm. Και άρα επήλθε παραμόρφωση του φλοιού. Συνεπώς, αι μετρήσεις χωροσταθμίσεων ίσως θα πρέπει να διεξάγονται συστηματικός εις Οπό κατασκευήν φράγματα.

### 2.3. Φράγμα Κοyna των Ινδιών

Άλλη χαρακτηριστική περίπτωση είναι ή του φράγματος εις Κοyna των Ινδιών. Η υπό θεώρηση περιοχή πιστεύεται ως σεισμικός ήρεμος. Πάντως, καθώς ή πλήρως του φράγματος συντελείτο προοδευτικώς, αριθμός σεισμών έγινε αισθητός και περί τα μέσα Σεπτεμβρίου 1967 περίπου 100 επίκεντρα εντοπίσθηκαν εις την περιοχή του φράγματος. Η σεισμική αυτή δράση απεδόθη υπό πολλών εις την φόρ-τωσιν της λίμνης. Ωσαύτως, δύο σεισμοί με μεγέθη 5 έως 5,5 προξένησαν ελαφράς ζημίας τον Σεπτέμβριο του 1967 και εις τις 10 Δεκεμβρίου 1967 σεισμός μεγέθους 6,5 πρακτικώς ισοπέδωσε την πέριξ περιοχή και προξένησαν εκτετα-μένας ζημίας εις το φράγμα (180 νεκροί, 2.200 τραυματίες). Το επίκεντρο ευρίσκει εις απόσταση ολίγων km από του φράγματος, η αναγραφείσα δε μεγίστη επιτάχυνση εις το φράγμα υπερέβη τα 0,50g εις υψηλή συχνότητα (Berg 1968)(4). Εντός των επομένων 14 ημερών συνέβησαν 6 μετασεισμοί με μεγέθη από 5,5 μέχρι 5,2 και ποικιλία εστιακών βαθών. Οι απόψεις δια την σχέση αυτών των σεισμών προς το φράγμα ποικίλουν, όλοι όμως παραδέχθηκαν ότι πιθανώς κάποια δράση (triggering) επισπεύσεως έλαβε χώρα. Ο Έλλην Χαραλαμπίκης, γεωλόγος ειδικός επί των φραγμάτων, πιστεύει ότι υπήρξε σχέση μεταξύ των σεισμών και του ύδατος της δεξαμενής εις Κοyna.

Εδημιουργήθη εις τούτον η εντύπωση δια την Κοyna ότι το ύδωρ κυκλοφορεί υπό πίεση μεταξύ των αρμών και ρηγμάτων και διέγειρε την κίνηση, και ότι ή ελαστική κυματική ενέργεια πού απελευθερώθηκε ούτως, ανεγράφη υπό μορφή σεισμών.

Πάντως, εις 11 άλλες περιπτώσεις φραγμάτων εις την χερσόνησον του Deccan δεν υπήρξε συσχέτιση της πληρώσεως τούτων με τοπική σεισμική δράση και αυτό ενισχύει την άποψη ότι δια να συνυπάρξουν τα δύο φαινόμενα (πλήρως φράγματος — σεισμική δράση) απαιτούνται πιθανώς και προϋπάρχουσες σεισμολογικές συνθήκες του εδάφους.

### 3. Άλλες περιπτώσεις

Το 1958, σειсмоγράφοι εγκαταστάθηκαν εις Snowy της Ν.Α. Αυστραλίας επί τω σκοπώ της ευρέσεως δυναμικών ενεργών ρηγμάτων πλησίον θέσεων εγκαταστάσεως υδροηλεκτρικών έργων και φραγμάτων.

Μία μέση τιμή σεισμικής δράσεως ανεγράφη, το πλείστον της οποίας οφείλεται εις επίκεντρα όχι μεγάλης αποστάσεως από τα φράγματα (5) (Jeager and Reed 1969). Πλέον σαφής είναι ή περίπτωση της πληρώσεως της λίμνης Eucumbene, ήτις ευρίσκειται επίσης εις Snowy, η αύξηση της σεισμικότητας της οποίας άρχισε την στιγμήν της σχετικώς υψηλότερας φορτώσεως. Η μεγίστη φόρτωση είναι περίπου  $2,6 \times 10^9$  τόνους.

Ο Καθηγητής Α. Γαλανόπουλος (1966) επί τη βάσει των δεδομένων του Ιταλού καθηγητού Caloi(7) δεικνύει καταφανή συσχέτιση της φορτώσεως του τυθμένου του φράγματος

Vajont ως και του χρόνου επιβαρύνσεως, προς την παρατηρηθήσαν τοπική σεισμική δράση κατά την περίοδο 1960-1963. Εξάλλου και ο ίδιος ο Caloi επί τη βάσει κλισιμετρικών και σεισμικών παρατηρήσεων αποδίδει την καταστροφήν του Vajont εις την υπό του φράγματος επελευθούσαν διατάραξη των γεωτεκτονικών συνθηκών της περιοχής. Ο Griggs παραδέχεται γενικώς, ότι εις την πλήρως φραγμάτων το ύδωρ παίζει ένα σημαντικό ρόλο εις τον τεμαχισμόν των πετρωμάτων και είναι υπεύθυνο εις τας περιπτώσεις αυτές δια την γένεση σεισμών μέχρι βάθη της τάξεως των 100 km.

Υπό την αιγίδα του Bureau of Reclamation ή Coast an Geodetic Survey παρεκλήθη να ερευνηθεί έξαρση τοπικής σεισμικής δραστηριότητας πλησίον ενός αριθμού άλλων φραγμάτων. Εις Shasta της Βορείου Καλιφόρνιας μια σηματοσειρά τοπικών σεισμών ανεγράφη κατά το πρώτον έτος της πληρώσεως της λίμνης. Μερικοί εκ των σεισμών ήσαν ασητοί. Έκτοτε όμως ολίγοι σεισμοί κατεγράφησαν. Εις τα λοιπά διερευνηθέντα φράγματα η συσχέτιση της φορτώσεως των λιμνών με τοπικούς σεισμούς ήτο μάλλον αρνητική. Εν τούτοις κατά τον Evans(8) είναι δυνατόν υπό την πίεση μιας δεξαμενής ν' ασκηθεί πίεση υγρού κατά μήκος ενεργού ρήξιγενούς ζώνης κάτωθεν του φράγματος. Μετά την βλάβη του φράγματος Baldwin Hills εις το Los Angeles τον Δ/βριον 1963, ή πολιτεία της Καλιφόρνιας άρχισε επιθεωρώντας όλα τα φράγματά της.

### 4. Περιπτώσεις από τον Ελληνικό Χώρο

Εις λεπτομερή έρευνα υπό Γαλανοπούλου(6) αναφέρει ότι η σεισμική δράση της Αττικής παρουσιάζει σαφή κ αναμφισβήτητος χρονική συσχέτιση προς την ταχύτερη φορτώσεως της λίμνης του Μαραθώνος. Η λίμνη είναι σχετικώς μικρά, χωρητικότητας  $4 \times 10^7 \text{ m}^3$  αλλά ή σχετική δυσκαμψία λόγω μεγάλης ηλικίας (Ανωπαλιοζωϊκής), της κρυσταλλοσχιστώδους μάζας της Αττικής, επί της οποίας ευρίσκεται το φράγμα, συνηγορεί εις το ότι η επίδραση των διακυμάνσεων της στάθμης της λίμνης του Μαραθώνος επί της σεισμικής δράσεως της Αττικής είναι αποφασιστικής εμβασίας.

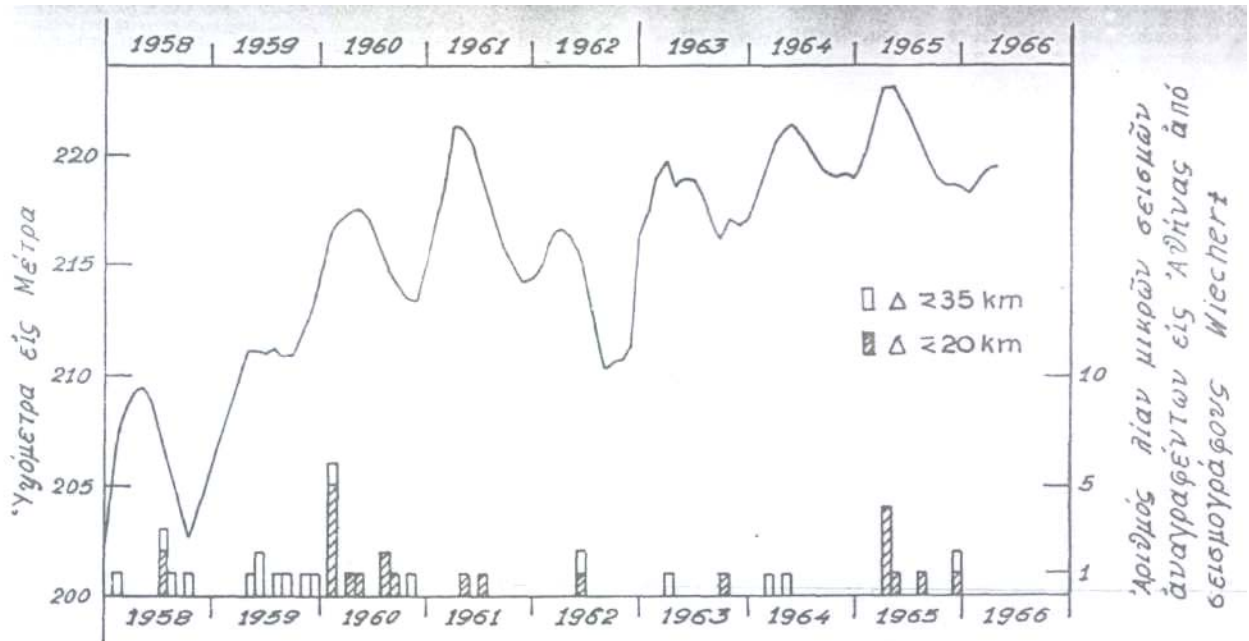
Εις το σχ. 1 φαίνεται ή συσχέτιση των μικροσεισμών του Λεκανοπεδίου Αττικής και των διακυμάνσεων της στάθμης της λίμνης του Μαραθώνος κατά την περίοδο 1958-65, όπως παρουσιάζεται υπό Α. Γαλανοπούλου.

Εξ άλλου, από τας 10 περιπτώσεις αισθητών σεισμών επιφανείας, πού παρατηρήθηκαν εις την Αττική από του 1971 μέχρι σήμερον, μόνον δύο δεν συσχετίζονται χρονικώς πριν την φόρτωση της λίμνης. Εκ των υπολοίπων 8 ενεργών ριόδων, εξ συμπίπτουν με την περίοδο φορτώσεως της μνης, οι δε άλλες δύο παρουσιάζουν σαφή συσχέτιση διαφορά φάσεως από την μεγίστη φόρτωση 4-5 μηνών. Η καθυστέρηση αυτή, ως και εις την περίπτωση του Denver ίσως να οφείλεται εις την άστατη ταχύτητα διηθήσεως των υγρών μέσω των ρηγμάτων.

Εις την ιδίαν δημοσίευση του Γαλανοπούλου γίνεται μνεία της εντυπωσιακής περιπτώσεως του φράγματος των Κρεμαστων, χωρητικότητας  $5 \times 10^9 \text{ m}^3$  εις ην η γένεσις του κυρ σεισμού συμπίπτει χρονικώς με το μέγιστο της πληρώσεως του φράγματος. Εξ άλλου, ή ποσότητα της σεισμικής ενέργειας ( $10^{21.2}$  ergs) ή οποία απελευθερώθηκε κατά τον κύριο σεισμό της 5ης Φεβρουαρίου 1966, ήτο κατά 32 φορές μεγαλύτερη

της μεγίστης ποσότητας σεισμικής ενεργείας, η οποία ει ελευθερωθεί μέχρι τούδε εις την περιοχή των Κρεμαστών  
 Εις μίαν περισσότερον λεπτομερή έρευνα, διεξάχθεισαν επιστημονική ομάδα — εις ην μετείχε και ο υποφαινό-μένος — του Αστεροσκοπείου Αθηνών(8) δια το φράγμα των Κρεμαστών, δεικνύεται, επί τη βάσει πειραματικών και θεωρητικών αποτελεσμάτων, ότι εάν ή φόρτωση του φράγματος είχε επηρεάσει την γένεση των προσεισμών, μία γραμμική σχέση θα έπρεπε να υπάρχει μεταξύ της πίεσεως της οφειλόμενης εις το ύδωρ και της συχνότητας των προσεισμών.  
 Πράγματι εις το σχ. (2) απεικονίζεται η σχέση μεταξύ συχνότητας των προσεισμών  $\log n$  και του ύψους της στάθμης του ύδατος, η οποία όντως είναι επιβεβαιωτική.

Εις την ιδίαν μελέτη πολλές άλλες ενδείξεις συνηγούν εις το ότι υπάρχει πράγματι σχέση μεταξύ της πληρώσεως του φράγματος και της παρατηρηθείσης εκπληκτικής διάρκειαν προσεισμικής περιόδου και φυσικά του όλου πρωτοφανούς σεισμικού παροξυσμού των Κρεμαστών.  
 Φυσικά, ουδαμού υπεστηρίχθη επιστημονικώς ότι άνευ πληρώσεως του φράγματος θ' απεφεύγοντο οι σεισμικές

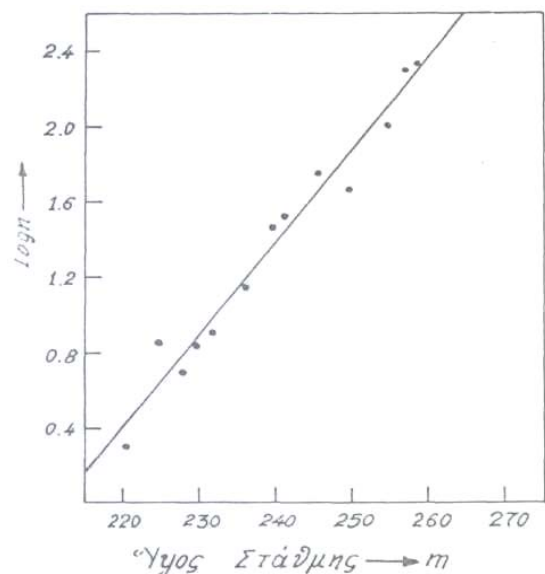


Σχ. 1 : Μικροσεισμοί του λεκανοπεδίου Αττικής (αναγραφές εκ σεισμογράφου Wiechert) και διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης του Μαραθώνα κατά την περίοδο 1958 – 1965.

βλάβες, αλλά φρονούμε ότι η πλήρωση του φράγματος επέσπευσε τον σεισμικό παροξυσμό και εν γένει εκφράζομεν επιφυλάξεις για τον ακριβή και όντως πολύπλοκο μηχανισμό του φαινομένου.

**5. Επίδρασις Παλιρροιών, Ποταμών και Πλημμύρων επί της σεισμικότητας**

Εις έρευνα δημοσιευθείσα το 1956 υπό του S. Guha και των συνεργατών του, αναφέρεται ότι εις τας Ινδίας παρουσιάζεται σαφής συσχέτιση μεταξύ της συχνότητας των τοπικών σεισμών και της ταχύτητας μεταβολής φορτώσεως του εδάφους κατά την περίοδο των πλημμύρων. Κατά τους ανωτέρω επιστήμονες, ή συχνότητα των αναγραφομένων σεισμών από τον σεισμολογικό σταθμό της Charta αυξάνει αισθητώς εις την αρχήν και το τέλος, δηλαδή κατά την αύξηση και πτώση, των πλημμύρων εκάστου έτους.



Σχ. 2: Σχέση μεταξύ της συχνότητας των προσεισμών και της στάθμης του ύδατος εις το φράγμα των Κρεμαστών.

Οι ανωτέρω επιστήμονες υποστηρίζουν ότι από όλα τα αίτια εκλύσεως σεισμών, το πλέον εμφανές είναι η ταχύτητα μεταβολής φορτώσεως του εδάφους: εις περιοχές που είναι σεισμικώς ενεργοί, τούτο πιθανώς να οφείλεται είτε εις το μέγεθος επιβαρύνσεως, είτε εις τον τρόπον πού ασκείται αυτή.

Αργότερα ο L. D. Mc Ginnis (1963)(11) παρουσίασε ενδείξεις ότι και εις την περιοχή της κοιλάδας του Mississipi ή σεισμική συχνότητα αυξάνει, αυξανομένης της ταχύτητας μεταβολής της στάθμης του ποταμού, καθώς και η ταχύτητα εκλύσεως ενεργείας αυξανομένης της μάζας του ύδατος, λόγω αυξήσεως της ταχύτητας καθιζήσεως του φλοιού από το πρόσθετο φορτίο ύδατος.

Ισχυραί σμηνοσειραί παρουσιάζονται εις τον κόλπο Sagami της Ιαπωνίας εις περιπτώσεις μικράς ωκεανίου παλιρροϊκής φορτώσεως (Matuzawa 1964)(12). Ο Berg (1968)(4) συσχετίζων παλιρροίας προς την σεισμική δράση, παρέτηρησεν ότι ο μεγάλος σεισμός της Αλάσκας και 15 εκ των 18 μετασεισμών μεγέθους μεγαλύτερου του 5,5 πού είχαν την εστία τους επί της πειρωτικής κρηπίδος, συνέβησαν κατά τον χρόνο της αμπτώιδος.

#### 6. Επίδρασις εγχύσεως υγρών εις υπόγεια φρέατα, επί της Σεισμικότητας

Από το έτος 1942 το Rocky Mountain Arsenal κατασκεύαζε δια πολεμικούς και βιομηχανικούς σκοπούς, χημικά προϊόντα εις μεγάλη κλίμακα, υπό την διεύθυνση του χημικού Σώματος του Αμερικάνικου Στρατού(13). Εν παραπροϊόν της επιχειρήσεως ταύτης είναι μολυσμένο άχρηστο ύδωρ. Τον δε Σ/βριον του 1961 το χημικό σώμα συνεπλήρωσε την κατασκευήν φρέατος, δια την έκχυση των άχρηστων υγρών. Η χρήση του φρέατος ήρξατο τον Μάρτιο του 1962 με έκχυση 4,2 εκατομμυρίων γαλονιών άχρηστου ύδατος. Οι σεισμοί του Denver ήρξαντο τον επόμενο μήνα. Αξιοσημείωτο δε είναι το γεγονός ότι εις Denver είχε να γίνει αισθητός σεισμός από του 1882.

Από του Απριλίου του 1962 μέχρι του τέλους Σ/βριου 1965 ανεγράφησαν 710 σεισμοί, μεγέθους 0,7 έως 4,3 της κλίμακας Richter. Εκ των σεισμών τούτων 75 ήσαν αρκετά έντονοι, ώστε να γίνουν αισθητοί εις την περιοχή του Arsenal. Τα επίκεντρα των σεισμών ευρίσκονταν εις απόσταση το πολύ έως 12 km από του φρέατος. Τον Νοέμβριο του 1965 ο David Evans ανακοίνωσε εις τηλεοπτική εμφάνισή του, ότι υπήρξε άμεση σχέση μεταξύ των σεισμών και της εκχύσεως του άχρηστου ύδατος. Κατόπιν του εγερθέντος θορύβου, ο Στρατός και η Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση της Πολιτείας του Colorado επιχορήγησαν διαφόρους ερευνητικούς Οργανισμούς με 150.000 και 220.000 δολάρια αντιστοίχως δια την συστηματική έρευνα του φαινομένου.

Εκ της συνδυασμένης έρευνας, η Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία κατέληξε εις το συμπέρασμα ότι, η έκχυσης άχρηστων υλικών εις το βαθύ φρέαρ εγγύς του Denver φαίνεται να είναι σημαντική αιτία σειράς μικρών σεισμών. Από την στατιστική ανάλυση της σχέσεως μεταξύ της εγχύσεως των υγρών εις το φρέαρ Arsenal και της σεισμικής συχνότητας εις την περίξ περιοχή, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η πιθανότητα η σχέση αυτή να είναι τυχαία, είναι περίπου 1 προς 1000.

Εις τις 20 Φεβρουαρίου 1966 το φρέαρ Arsenal κλείστηκε. Εν τούτοις, ορισμένοι σεισμοί συνέβησαν εις Denver έκτοτε, εκ των οποίων εις, μεγέθους 5,5, έλαβε χώρα τον Αύγουστο του 1967.

Βορειοδυτικά του Colorado ευρίσκεται πιθανώς η μόνη άλλη περιοχή όπου είναι φανερή η σχέση μεταξύ σεισμών και εγχύσεως υγρών εντός του εδάφους.

#### 7. Συγκεντρωτικά συμπεράσματα υπό Rothe

Εις άρθρον υπό του J. Rothe (1969) (14) γίνεται συζήτηση περί της αυξημένης σεισμικής δράσεως πλησίον εξ φραγμάτων εις διάφορα μέρη του κόσμου. Τα εξαχθέντα πιθανά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

1. Η σεισμική δράση είναι ιδιαιτέρως φανερά όταν το φράγμα είναι βαθύτερο των 100 m. Το ύψος του ύδατος φαίνεται να είναι περισσότερο σπουδαίος παράγων από το ολικό όγκο του φράγματος.
2. Εις το πλείστον των περιπτώσεων, αντιθέτως προς την συνήθη σεισμικότητα, του ισχυρού σεισμού προηγούνται πολλοί προσεισμοί η συχνότητα των οποίων αυξάνει προοδευτικώς. Όσον περισσότερο ήσυχος τεκτονικώς εμφανίζεται ή περιοχή τόσο μακρύτερα είναι ή περίοδος των προσεισμών.
3. Η σεισμική δράση γενικώς αυξάνει κατά τον χρόνον της πρώτης πληρώσεως και εν συνεχεία, αφού φθάσει μίαν μεγίστην τιμήν, βαθμιαίως εξαφανίζεται εις διάστημα ολίγων ετών.
4. Δέον όπως μελετάται ή ροή των υπογείων υδάτων και εν γένει ή υδρογεωλογία της περιοχής.

#### 8. Συζήτησις

Εις την προηγουμένη παρουσίαση, σχέσις μεταξύ ανθρωπίνων έργων (φράγματα, έκχυσης υγρών κλπ.) και παραμορφώσεων φλοιού πού έχουν ως αποτελέσματα έκλυσην σεισμών, φαίνεται να υφίσταται. Μολονότι υπάρχουν παραδείγματα ως τα εκτεθέντα ενταύθα, εις τα οποία δεν υπάρχει αμφιβολία της ως άνω συσχετίσεως, εν τούτοις εις πλήθος φραγμάτων η συσχέτισις — αν ύπαρξη — είναι πολύ μικρά και μη παρατηρήσιμος, αν και τα φράγματα εις τινες περιπτώσεις είναι αρκούντως μεγάλα. Με την παραδοχή ότι κάποια σχέσις υπάρχει, αι συμπαρομαρτούσαι συνθήκαι πού πρέπει να προϋπάρχουν θα συζητηθούν.

Ειδικαί γεωλογικαί συνθήκαι φαίνεται ν' απαιτούνται διό την απελευθέρωση των σεισμών (φύσις στρωμάτων, ρήγματα κλπ.).

Η ηλικία των θεωρουμένων ρηγμάτων δεν φαίνεται να είναι κρίσιμος. Ακόμη και εάν τα ρήγματα είναι ήσυχα επί μακρόν χρόνο, η δράση τους δύναται ν' αναζωογονηθεί υπό την επίδρασιν του βάρους του ύδατος πληρώσεως και των προϋπαρχουσών τάσεων.

Μετρήσεις χωροσταθμίσεων εις την περιοχή του φράγματος Boulder έγιναν το 1935 και επαναλήφθησαν το 1940. Ευρέθη ότι το κέντρο της λίμνης υπέστη καθίζηση η οποία ανήλθε εις 10cm περίπου εις το διάστημα 5 ετών. Εις το διάστημα τούτο είχε προστεθεί ένα φορτίο ύδατος και λάσπης της τάξεως των  $10^{10}$  τόνων. Η εκ της καθιζήσεως απελευθερωθείσα ενέργεια δεν επαρκεί δια την εξήγησιν του φαινομένου.

Πάντως, οι σεισμοί είναι γεγονότα και θεωρούνται αποτελέσματα φορτίσεως του φλοιού αμέσως ή εμμέσως και άλλων συμπαρομαρτούντων παραγόντων, ως η ύπαρξις εις την περιοχήν των φραγμάτων τεμαχίων φλοιού που έχουν δυναμικώς ενεργά ρήγματα. Αν η τελευταία συνθήκη υφίσταται τότε ή πρόσθετος εκ του φράγματος φόρτωσις δύναται ν ενεργοποίηση αυτά τα ρήγματα με αποτέλεσμα την απελευθέρωσιν ενεργείας υπό μορφήν σεισμών. Εκτός τούτου, το ύδωρ, διεισδύον υπό σημαντικώς μεγαλύτεραν της συνήθους πίεσιν κατά μήκος των πλευρών του ρηξιγενούς τεμάχους δύναται ν' αυξήσει και επεκτείνει την λίπανση και να ελαττώσιν ούτω τον συντελεστή τριβής κατά μήκος του ρήγματος εις σημαντικό βάθος. Η διαφορά χρόνου πού παρατηρείται ενίοτε μεταξύ της μεγίστης ταχύτητας φορτώσεως, ή των επο-



χιακών μεγίστων και των μεγίστων της σεισμικής δράσεως φαίνεται να οφείλεται, εν μέρει, εις τον χρόνο που απαιτείται δια την αύξηση και επέκταση της λιπάνσεως εις τα βαθύ-τερα μέρη της ρηξιγενούς επιφανείας. Δια τούτο και πολλά-κις παρατηρείται ότι μεγαλύτερης σπουδαιότητας είναι το ύψος του ύδατος και όχι ή όλη φόρτιση.

Άλλωστε, πλέον όπως τονισθή ότι εις τις αναφερθείσας περιπτώσεις, ο μεγαλύτερος σεισμός παρατηρήθη εις ποικίλα χρονικά διαστήματα εν σχέσει προς την φόρτωσιν. π.χ. εις Κρεμαστά, ο κύριος σεισμός συνέβη ακριβώς εις το μέ-γιστον της φορτώσεως και 4 περίπου μήνας από τους πρώτους παρατηρηθέντας σεισμούς της περιοχής. Εις την λίμνη Mead ο μέγιστος σεισμός συνέβη 1 έτος μετά την μέγιστη φόρτωσιν της λίμνης, εις Κοyna 4,3 έτη μετά την ολοκλήρωσιν της πληρώσεως της λίμνης και εις Denver ο μεγαλύτερος σεισμός έλαβε χώρα 1,5 έτος μετά την έκχυσιν των υγρών και 5,5 έτη μετά την έναρξιν της εκχύσεως.

Από εργαστηριακά πειράματα έχει δειχθεί ότι η διάρρηξη των υλικών αρχίζει πολύ ταχύτερα, εάν επί συνεχούς τάσεως προστεθεί πολύ μικρά περιοδική τάσις, με πλάτος μικρότερο και από το 1% του πλάτους της συνεχούς τάσεως (15) (Bridgman 1952).

Εάν προσθέτως λάβωμεν υπ' όψιν, ότι εις τις σεισμικές περιοχές παρουσιάζονται κατά περιόδους μικρές ερπυστικές μετατοπίσεις, οι οποίες συνεχίζονται επί εβδομάδες δίχως να συνοδεύονται από σεισμούς, είναι λογικό να δεχθούμε ότι ε τις περιόδους ταύτας, εάν εφαρμοσθεί μικρή μονόπλευρη πίεση, είναι εύκολο να προκαλέσει αύξηση της ταχύτητας ολισθήσεως η απότομη μεταβολή ταύτης, δηλαδή ένα σκίρτημα εκδηλούμενον υπό μορφή σεισμού.

## 9. Γενικά συμπεράσματα

Είναι φανερό ότι ενίοτε υφίσταται σχέσις μεταξύ της πληρώσεως φραγμάτων και της σεισμικότητας της περιοχής. Μολονότι πολλές απόπειρες εξηγήσεις του φαινομένου χουν γίνει από διαπρεπείς επιστήμονες, εν τούτοις το πρόβλημα δεν έχει πλήρως κατανοηθεί και απαιτούνται συντονισμένες έρευνες και προσπάθειες.

Ούτω, το προ ολίγων ετών τεθέν δειλά - δειλά πρόβλημα από τον Carder, έχει σήμερα παγκόσμια απήχησιν και συγκεντρώνει το απεριόριστο ενδιαφέρον των ειδικών. Οι Διεθνείς Ενώσεις Σεισμολογίας και Αντισεισμικών έργων συνέστησαν προς την UNESCO και η UNESCO κατάρτισε ομάδα εργασίας εξ εμπειρογνομόνων δια να επληφθούν του θέματος. Η έκθεσις της πρώτης Συνελεύσεως θέλει δημοσιευθεί προσεχώς αλλά ενδιαφέρον είναι ότι συνιστάται διεθνώς η συστηματική και οργανωμένη έρευνα προς την κατεύθυνση αυτήν με σεισμογράφους εις όλες τις περιπτώσεις των φραγμάτων και εις δύο στάδια.

Ενταύθα περιοριζόμεθα εις το να θίξωμεν το πρόβλημα γενικότερον και να αποτρέψουμε την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων.

Διάφορες απόψεις έχουν διατυπωθεί από τους επιστήμονες όσον αφορά εις τον ρόλο των τεχνητών λιμνών εις την γένεσιν των σεισμών. Οι απόψεις αυτές εκτείνονται μεταξύ δύο ακραίων γνωμών, τις ακραίας δε αυτές απόψεις δεν υιοθετούμε ενταύθα.

Π.χ. Την άποψη ότι εις κάθε φράγμα θα επακολουθήσουν οποσδήποτε καταστρεπτικοί σεισμοί ή την άλλως αντίθετη γνώμη ότι τυχαία σύμπτωση εις τινάς περιπτώσεις, οδήγησαν εις εσφαλμένα συμπεράσματα περί της συσχετίσεως των φραγμάτων με σεισμική δράση και ουδεμία τοιαύτη σχέση υφίσταται. Και περί της μιας και περί της άλλης ακραίας περιπτώσεως αντιτίθενται αυτά ταύτα τα γεγονότα.

Επίσης δεν εμφανίζεται αρκούντως θεμελιωμένη ουδεμία θεωρία εξηγήσεως του όλου μηχανισμού και της τοιαύτης

συσχετίσεως, διότι δεν εξηγούνται όλες οι περιπτώσεις μονοσημάντως.

Το πιθανότερο είναι να υφίσταται κάποια σχέση, αλλά δια να εκδηλωθούν σεισμοί ίσως χρειάζονται ειδικοί συνθήκες π.χ. ύπαρξης ορισμένων ελαστικών τάσεων εις την περιοχή, ύπαρξης ενεργών ρηγμάτων κλπ. ή δε παρουσία του φράγματος ίσως διευκολύνει την έκλυση σεισμών ή επιταχύνει ταύτη.

Δηλαδή φρονούμε ότι, το πλείστον σχεδόν της εκλούμενης σεισμικής ενεργείας υπάρχει εις το εσωτερικό της Γης ένεκα της δράσεως γεωτεκτονικών δυνάμεων και απλώς ή ενέργεια αυτή διεγείρεται υπό των λιμνών και απελευθερούται υπό μορφή σεισμών. Είναι δηλ. ένας τρόπος εξαναγκασμού της ενεργείας εις απελευθέρωσιν.

Άλλως είναι αδύνατος η εξήγησις του φαινομένου δι' ένα σεισμολόγο χωρίς την ύπαρξιν των ειδικών τούτων συνθηκών, οι οποίες φαίνεται ν' απουσιάζουν από το πλήθος των φραγμάτων, εις τα όποια δεν παρατηρήθη αύξησης της σεισμικής δραστηριότητος.

Μία άλλη δυσκολία εμφανίζεται εις την επιλογήν των υπό κατασκευήν φραγμάτων, εις τα όποια δέον όπως γίνει συστηματική έρευνα. Δηλ. δεν δυνάμεθα ν' αποφανθώμεν εκ των προτέρων εάν φράγμα υπό κατασκευήν εις σεισμικός ενεργόν περιοχή ή άλλο εις σεισμικός ήρεμον περιοχή, δέον όπως προτιμηθεί δια την συστηματική έρευνα. Και τούτο διότι εις τα μικράς σεισμικότητας περιοχάς πιθανόν να υπάρχουν ώριμοι ελαστικές τάσεις συσσωρευμένοι επί πολλά έτη, το δε φράγμα πιθανόν να παίξει ρόλο πυροδότη. Εις τας περιοχάς δε μεγάλης σεισμικότητας, έκτος των ελαστικών τάσεων πού ενίοτε εκτονούνται από την έκλυση των σεισμών, ή ύπαρξης των ενεργών ρηγμάτων ίσως είναι αποφασιστικός παράγον δια ν' αποφασισθεί η συστηματική έρευνα εκεί.

Πιστεύουμε δηλαδή ότι, δια να συμβάλει μία λίμνη εις την γένεσιν σεισμών, πρέπει ή ισορροπία των πετρωμάτων εις την περιοχή να είναι ευαίσθητος εις μικρές μεταβολές, πράγμα το όποιον δεν γνωρίζουμε εκ των προτέρων. Αυτός είναι και ο λόγος δια τον όποιον δεν παρατηρείται αύξηση του αριθμού των σεισμών εις όλες τις περιοχές τεχνητών λιμνών.

Ως αναφέρεται εις πρόσφατη έρευνα επί της σεισμικότητας του Ελληνικού χώρου, πρακτικώς δεν υπάρχει ελληνική επαρχία, η οποία να μη φιλοξενεί μία ή περισσότερες σεισμικές εστίες (6) (Galanopoulos 1965). Ούτως, από απόψεως σεισμικότητας, η Ελλάς έχει το θλιβερό προνόμιο να κατέχει την πρώτη θέση εις τον Ευρωπαϊκό χώρο.

Συνεπώς, λαμβανομένης υπ' όψιν και της βαρύτητας του θέματος, φρονούμε ότι, δέον όπως γίνει συστηματική έρευνα εν όψει μάλιστα της μελλοντικής κατασκευής φραγμάτων.

Το παρόν δεν σκοπεί εις την υποβολή συγκεκριμένων προτάσεων προς τους αρμοδίους, αλλά θίγει το πρόβλημα χωρίς μεγέθυνσιν και χωρίς απόκρυψη των γεγονότων.

Ίσως οι αρμόδιοι, θα έπρεπε να λάβουν περισσότερο υπ' όψιν των και να υιοθετήσουν τις εισηγήσεις και τα πορίσματα της επιτροπής εμπειρογνομόνων των διεθνών οργανώσεων συνεκέντρωσεν η UNESCO και τα όποια προτιθέμεθα να δημοσιεύσωμεν αυτούσια.

Περαίνοντες τονίζουμε, ότι οι πιθανοί πρακτικοί και επιστημονικοί επιτεύξεις αι οποίαί ήθελαν προκύψει, συνηγορούν δια την εις βάθος συστηματική έρευνα του φαινομένου. Ακόμη δέον όπως υπομνησθεί ότι ή σοβαρά έρευνα απαιτεί εγκατάστασις σεισμικών οργάνων εις τα υπό κατασκευήν φράγματα, πέραν του υπάρχοντος Εθνικού Σεισμολογικού δικτύου, και την στενή συνεργασία και τον συντονισμό των ειδικών επιστημόνων, σεισμολόγων, μηχανικών και γεωλόγων.

## Βιβλιογραφία

1. *Carder D.*, Seismic Investigations in the Boulder Dam Area, 1940-1944, and the Influence of Reservoir Loading on Local Earthquake Activity, «Bul. Seism. Soc Am.» 35, 175-192,(1945).
2. *Richter C.*, Elementary Seismology «Freeman Co» San Francisco, (1958).
3. *Gough D.*, Geophysical investigations at Lake Kariba «Intern. Symp. uber resente Erdkrustenbewegungen» Berlin (1962).
4. *Berg E.*, Triggering of the Alaskan Earthquake of March 28, 1964 and major aftershocks by low ocean tide loads. Undated report to Air Force office of Scint. Res. (1968).
5. *Jaeger J. and L. Reed* Seismicity of Southeast Australia «Am. Geoph. Un». Monograph 13, pp. 145-147, (1969).
6. *Galanopoulos A.*, The Influence of the Fluctuation of Marathon Lake Elevation on Local Earthquake Activity in the Attica Basin Area «Ann. Geol. des Pays Hel 18, 281-306, (1966).
7. *Caloi P.*, L'evento del Vajont nei suoi Aspetti Geodinamici «Ann. di Geof.» 19, 1, (1966).
8. *Evans D.*, Man-made earthquakes in Denver, «Geotimes», 10, pp. 11-18,(1966).
9. *Comninakis P., Drakopoulos J., Moumoulidis G. and B. Papazachos*, Foreshock and aftershock sequences of the Cremasta
10. Earthquake and their relation to the water loading of the Cremasta artificial lake «Ann. di Geof.» 21, 39-71, (1968).
11. *Guha S., Ram G. and G. Rao* Trigger Causes in Earth Movements «Publ. Bur. Gent. Seism. Intern., Trav. Sci.» 19, 345-355 (1956).
12. *Mc. Ginnis L.*, Earthquakes and Crustal Movement as Related to water Load in the Mississippi Valley Region, Illinois St. Geol. Survey Urbana (1963).
13. *Matuzawa T.*, Study of Earthquakes, «Tokyo Uno Shoten», (1964).
14. *Evans D.*, The Denver area earthquakes and the Rocky Mountain Arsenal disposal well «The Mountain Geologist» 3, 23-36, (1966).
15. *Rothe J.*, Earthquakes and reservoir loadings «Proc. 4<sup>th</sup> World Conf. on Earth. Eng.» Chile (1969).
16. *Bridgman P.*, Studies in Large Plastic Flow and Fracture «Mc Graw Hill Book Co» (1952).

---

**By J. Drakopoulos\***

---

**Summary**

Recent earthquake activities attributed to artificial unbalance of natural forces in various localities have revived interest in investigation for a correlation between the seismicity of a certain region and the rate of change of water loading in a dam of the region. Seismic activity and reservoir loading in some areas support the case. No significant

increase of seismic activity was observed in some other dams.

The explanation of the whole phenomenon it seems to be complex and in this paper are included some interesting points from the international literature and the opinion of the author for a better understanding of this probable correlation.

---

\* Degree in Physics and Electronics University of Athens. Doctor degree in Seismology (1968) Chief assistant in Seism. Laboratory of Athens University. 1969-70 in Advance Course of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Research work in Seismicity, Crustal Structure of the Earth, Focal Mechanism, Fore and Aftershocks. Micro tremors and Micro earthquakes. Co-Manager of the Project of UNESCO «Survey of the Seismicity in the Balkan region. Member in International Associations. Participant in some International Conferences.

## 2.

## Διέγερσις Σεισμικής Δράσεως υπό Τεχνητών Λιμνών (Φραγμάτων) και Προτάσεις των Διεθνών Επιστημονικών Ενώσεων

I. Κ. Δρακοπούλου \*

### Περίληψις

λόγω Συνεδρίου,

*Εκτίθενται ενταύθα εν συντομία τα πρακτικά Συνεδρίου οργανωθέντος υπό της UNESCO, εις το όποιον μετέσχον αντιπρόσωποι εξ' εννέα Διεθνών Επιστημονικών Ενώσεων, με αντικείμενο μελέτης την διέγερσιν σεισμικής δράσεως λόγω της πληρώσεως των τεχνητών λιμνών (Φραγμάτων). Η προτεινομένη σχετική έρευνα και αι υποδείξεις, προερχόμεναι υπό πολλούς επιστήμονας διεθνούς κύρους, πλέον όπως ληφθούν σοβαρώς υπ' όψιν. Το ενδιαφέρον τούτο φαινόμενον σχετίζεται με προϋπάρχουσας σεισμολογικάς τεκτονικάς και υδρογεωλογικάς συνθήκας του εδάφους, αίτινες αποτελούν προϋπόθεσιν δια την ένδεχομένην διέγερσιν την οποίαν πιθανόν να δημιουργήση το φράγμα. Η πλήρωσις τεχνητών λιμνών ως παράγων εκλύσεως σεισμών αποτελούν θέμα λίαν ενδιαφέρον, λόγω των σοβαρών επιπτώσεων τας οποίας συνεπάγεται ή τυχόν επιστημονική θεμελίωσις της εν λόγω συσχέτισεως, τα δε προσδοκώμενα πρακτικά και Επιστημονικά αποτελέσματα συνηγορούν δια την εις βάθος συστηματικήν σχετικήν έρευναν.*

### Εισαγωγή

Το πρόβλημα της προκλήσεως σεισμών λόγω δημιουργίας τεχνητών λιμνών απασχολεί ευρύτατα τελευταίως όχι μόνον τους ειδικούς Έπιστήμονας και τον διεθνή τύπον αλλά και διεθνείς οργανώσεις. Τούτο οφείλεται εις το γεγονός ότι το θέμα— αν πράγματι υφίσταται κάποια συσχέτισις— παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από θεωρητικής και πρακτικής πλευράς, χωρίς εν τούτοις να είμεθα εισέτι εις θέσιν να γνωρίζωμεν τον ακριβή μηχανισμόν του φαινομένου.

Εις προηγούμενον άρθρον (1) έχομεν αναφέρει όλας σχεδόν τας παρατηρηθείσας περιπτώσεις εκ τής διεθνούς Βιβλιογραφίας διεγέρσεως σεισμών υπό τεχνητών λιμνών, τας διατυπωθείσας απόψεις υπό των ειδικών, αι οποίαι δεν συμπιπτούν εις όλα των τα σημεία, ως και τας επιφυλάξεις μας εις την απόλυτον υοθέτησιν των ακραίων γνωμών εξηγήσεως του όλου μηχανισμού του φαινομένου. Η ερμηνεία του μηχανισμού αυτού εμφανίζει σημαντικός δυσχέρειας και ή περαιτέρω συστηματική έρευνα επί διεθνούς επιπέδου θέλει βοηθήσει εις την κατανόησιν του ενδιαφέροντος τούτου φαινομένου. Αποκορύφωμα πάντως του διεθνούς ενδιαφέροντος επί τής πιθανής τοιαύτης συσχέτισεως, αποτελεί το γεγονός ότι ή Διεθνής Ένωσις Σεισμολογίας και Φυσικής του Εσωτερικού της Γης, από κοινού με την Διεθνή Ένωσιν Αντισεισμικών Κατασκευών, συνέστησαν εις την UNESCO όπως καταρτίσει σχετική ομάδα εργασίας. Η UNESCO προσέκαλεσεν αντιπροσώπους εξ εννέα Διεθνών Επιστημονικών Ενώσεων και ούτοι, εις Συνέδριο, λαβόν χώρα εις Παρισίον από 13-16 Δεκεμβρίου 1970, υπό την προεδρία του Διευθυντού του τμήματος των Επιστημών του Περιβάλλοντος και των Ερευνών επί των Φυσικών Πηγών, εξήτασαν τα σεισμικά φαινόμενα που συμπαρομαρτούν με την πλήρωσιν μεγάλων τεχνητών δεξαμενών.

\* Πτυχιούχος Φυσικός Πανεπιστημίου Αθηνών (1961) Ήλεκτρονικός-Φυσικός (1965). Βοηθός εργαστηρίου Σεισμολογίας Παν/μίου Αθηνών από 1964 και επιμελητής του αυτού εργαστηρίου από 1969 και εντεύθεν. Το 1968 ανηγορεύθη Διδάκτωρ της Φυσικής Σχολής με τον βαθμόν «Άριστα». 1969-70 μετέβη εις Τόκιο ως υπότροφος τής UNESCO ένθα έπεράτωσεν επιτυχώς το Advance Course εις Intern. Institute of Seismology and Earthq. Engineering Έδημοσίευσεν επιστημονικάς μελετάς εις διεθνή περιοδικά

Εκτίθενται ενταύθα τα Πρακτικά του εν

αι υποδείξεις των Διεθνών Όργανισμών επί τω σκοπώ όπως εξετασθούν σοβαρώς από τους αρμοδίους, εν όψει τής προγραμματισθείσης δημιουργίας πολλών φραγμάτων εις την Χώρα μας.

Η σχετική προκαταρκτική μελέτη και ή πιθανή περαιτέρω έρευνα θέλει συμβάλλει εις την διασφάλισιν τής σχεδιαζομένης οικονομικής αναπτύξεως των περιοχών εις φας οποίας πρόκειται να δημιουργηθούν φράγματα, αλλά και γενικώτερον αυτού τούτου του εξηλεκτρισμού τής χώρας.

### 1. Εξέτασις των υπαρχόντων δεδομένων

Κατά την διάρκειαν της εξετάσεως του θέματος πού αναφέρετο εις σας πληροφορίας και τα υπάρχοντα δεδομένα, οι σύνεδροι ανεφέρθησαν εις πληροφορίας άφορώσας εις 30 περίπου φράγματα. Εις το ήμισυ περίπου εκ τούτων των φραγμάτων, ή πλήρωσις αυτών συνωδεύθη ή ήκολουθήθη υπό σεισμικής δράσεως δηλαδή υπό σεισμών, των οποίων ή συχνότης και ή έντασις ήσαν μεγαλύτεροι τής κανονικής δια την περιοχίν, και των οποίων αι έστία φαίνεται να έκειντο εις την άμεσον γειτονίαν των φραγμάτων (2), (3). Έν τούτοις, εις άλλα φράγματα, εις τα όποια συμπεριλαμβάνονται μερικά των οποίων ή χωρητικότητα είναι μεγαλύτερα των 20 km<sup>3</sup>, ουδεμία σεισμική δράσις παρετηρήθη (4). Έγένετο επίσης λόγος δια δύο περιπτώσεις όπου φαίνεται ότι ήλευθερώθη σεισμική δράσις δια τής εισροής ύδατος ή υγρών εντός βαθέων φρεάτων, όπως και περί φαινομένου εδαφικού λακτίσματος εις βαθέα ορυχεία (5), (6).

Άπαντες οι σύνεδροι παρεδέχθησαν ότι δεν ήδύναντο — και δεν ώφειλον — ν' αποπειραθούν να διατυπώσουν συμπεράσματα ως προς τα αίτια ή τον μηχανισμόν τής σεισμικής δράσεως εις ουδεμίαν ειδικήν περίπτωσιν. Έθεωρήθη, πάντως, χρήσιμον να συνοψίσουν την παρούσα κατάστασιν των γνώσεών μας επί των φαινομένων τούτων γενικώς και να υποδείξουν τους σκοπούς δια τους όποιους αι γνώσεις αύται θα ήδύναντο να είναι επωφελείς. Μετά αρκούντως μακράν ανταλλαγή απόψεων, ή ομάς εργασίας απεδέχθη ομοφώνως το ακόλουθο πόρισμα:

«Κατά την διάρκειαν των τελευταίων ετών, διεπιστώθη ότι ή πλήρωσις ορισμένων δεξαμενών υπήρξεν αιτία εκλύσεως σεισμικών φαινομένων, ανεξαρτήτως τής σεισμικότητας τής περιοχής όπου εύρίσκετο ή δεξαμενή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα του φαινομένου τούτου παρουσιάσθησαν όχι μόνον εις περιοχές προσφάτου τεκτονικής και υψηλής σεισμικότητας, αλλά και εις αρχαιότερη και σταθερότερη μάζα παλαιότερας τεκτονικής.

Μέχρι τούδε μικρός αριθμός των σεισμών τούτων, μερικοί των οποίων ήχαν μέγεθος περίπου 6 εις την κλίμακα Richter, υπήρξαν αρκούντως Ισχυροί ώστε να προκαλέσουν όχι μόνον ανησυχία εις τους κατοίκους ευρείας περιοχής, αλλά να

επί θεμάτων σεισμικότητας, δομής του γήινου φλοιού, εστιακών μηχανισμών, προ σεισμικών και μετασεισμικών δονήσεων, μικροσεισμών κλπ. Έπιστημονικός Δ/ντής δια την Ελλάδα του Διεθνούς Προγράμματος «Σεισμικότητας τής Βαλκανικής» το όποιον εκτελείται υπό την αιγίδα τής UNESCO. Εισηγητής τής Έλληνικής Έπιτροπής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών κατασκευών. Έλαβε μέρος εις Διεθνή Συνέδρια σχετικά προς την Σεισμολογίαν. Μέλος διαφόρων Διεθνών επιστημονικών Εταιρειών.

προκαλέσουν και βλάβες εις κατασκευάς, και μάλιστα εις μίαν φαινο-  
τουλάχιστον περίπτωση, και αυτού τούτου του φράγματος  
(7). Πάντως, εις τας πλείους των περιπτώσεων, η πλήρωσις  
δεξαμενών δεν συνδεύθη με σημαντική αύξηση της σει-  
σμικότητας μικράς ή μεγάλης κλίμακας. Ούτω, φαίνεται ότι  
πρέπει να συνδυασθούν γεωτεκτονικά και υδρογεωλογικά  
συνθήκαι ιδιαίτερα, δια να παραχθούν σεισμοί που έχουν ση-  
μασίαν δια τους μηχανικούς. Μία συστηματική και πλήρης  
μελέτη των φαινομένων τούτων θα επιτρέψη ν' άντιληφθώμεν  
και να έκτιμήσωμεν καλύτερον:

- (1) Τον μηχανισμόν των σεισμών
- (2) Τον σεισμικόν κίνδυνον εις ενδεχομένας θέσεις δεξαμενών
- (3) Τάς παραμέτρους που πρέπει να χρησιμοποιηθούν εις τας  
μελέτας κατασκευές φραγμάτων και άλλων σημαντικών  
τεχνικών έργων, που θα διασφαλίσουν την οικονομική  
ανάπτυξιν της υπό μελέτην περιοχής».

## 2. Εξέτασης θεωρητικών Προβλημάτων

Το δεύτερον θέμα ημερησίας διατάξεως έδωσε αφορμή εις  
μακράς άνταλλαγάς απόψεων επί ώρισμένου αριθμού θεω-  
ρητικών θεμάτων. Ό σχετική σημασία της τεκτονικής  
δομής εις μεγάλην κλίμακα και των τοπικών γεωλογικών συν-  
θηκών δια την πρόβλεψιν εάν ή πλήρωσις μιας λεκάνης δύ-  
ναται να προκαλέση την έκλυσιν σεισμικής δράσεως, ή σχε-  
τική σημασία του βάθους και του ολικού φορτίου του ύδατος,  
ο μηχανισμός της διηθήσεως του ύδατος εντός των βραχωδών  
μαζών υπό πίεσιν, ή ανάγκη διακρίσεως μεταξύ των παρά-  
γόντων που αναφέρονται εις τα πεδία ελαστικών τάσεων και  
εκείνων που αναφέρονται εις την αντοχή των βραχωδών  
μαζών κλπ.  
Κατόπιν της συζητήσεως ταύτης, ή ομάς εργασίας υιοθέτησε  
ομοφώνως το ακόλουθο πόρισμα:

Με τα σημερινά δεδομένα πλείονες παράγοντες δύνανται να  
θεωρούνται ότι εξηγούν την σχέσιν μεταξύ των σεισμικών  
δονήσεων και την δι' ύδατος πλήρωσιν μεγάλων δεξαμενών  
φραγμάτων. Ό σχετική σπουδαιότης εκάστου των παραγόν-  
των τούτων δύναται να ποικίλλη αναλόγως της περιπτώσεως,  
θα ήτο όμως φρόνιμον όπως ουδείς άποκλεισθή.

Δοθέντος ότι αι τάσεις που προκαλούνται από το ύδωρ μιας  
να γί-  
δεξαμενής είναι ασθενείς, συγκρινόμεναι προς τας φυσικάς  
τάσεις που ασκούνται εις τα βάθη όπου έχουν καθορισθεί  
σεισμικά εστία, θα πρέπει να υποθέσωμεν ότι αι βραχώδεις  
μάζαι ήσαν εγγύς του σημείου υποχωρήσεως προ της πλη-  
ρώσεως των δεξαμενών.  
Το βάρος του ύδατος δεξαμενής είναι ενίοτε επαρκές δια να  
εξηγήσει την έκλυσιν της συσσωρευμένης ενεργείας. Η  
έκλυσιν αυτή ευνοείται από την ύπαρξιν στρωμάτων που δεν  
έχουν την αυτήν πλαστικότητα.  
Το ύψος της στάθμης του ύδατος μιας δεξαμενής δύναται, αφ'  
ετέρου, να τροποποίηση το πεδίο των ενεργών τάσεων εις μίαν  
βραχώδη μάζα λόγω της αυξήσεως της υδατικής πίεσεως  
πόρων, και εκ της τροποποιήσεως ταύτης δύναται να παραχθεί  
διάρρηξις. Η τροποποίησις αυτή τείνει να παραχθεί κυρίως  
κατά μήκος των ρωγμών, των μεταπτώσεων ή άλλων ζωνών  
ήσσονος αντοχής που επιτρέπουν την ροήν της υδατικής πίε-  
σεως -όρων. Λόγω της αυξήσεως της υδατικής πίεσεως πό-  
ρων αι ενεργοί τάσεις ελαττούνται και εκ της ελαττώσεως  
ταύτης δύναται να προκληθεί έκλυσις σεισμικών δονήσεων.

Εν τοιαύτη περιπτώσει, ή διαφορά μεταξύ της στάθμης του  
ύδατος της δεξαμενής και της στάθμης του φυσικού φρεατι-  
κού ορίζοντος είναι σημαντικός παράγων. Εις άμφοτέρας  
τάς περιπτώσεις (της άνεργείας του βάρους του ύδατος ή των  
ηύξημένων υδατικών πιέσεων πόρων), αύξησις της έπιφα-  
νείας που υφίσταται το φορτίο του ύδατος της τεχνητής λί-  
μνης αυξάνει την πιθανότητα δονήσεων, δοθέντος ότι αυ-  
ξάνεται ή μάζα που υφίσταται ώρισμένην τάσιν.

## 3. Προτάσεις δια τας μελλοντικές εργασίας

Η ομάς εργασίας εξέφρασε την ευχή όπως αι Διεθνείς όρ-  
γανώσεις αι ενδιαφερόμενοι δια το ζήτημα συμβουλευόνται

Λαμβανομένου υπ' όψιν ότι η μελέτη των σεισμικών

μένων εν συνδυασμό με τα φράγματα ευρίσκεται ακόμη εις  
τας αρχάς, είναι δύσκολο να λεχθεί μετά βεβαιότητος εάν  
αυτά ή εκείνα τα δεδομένα θα μας επιτρέψουν να βελτιώσω με-  
τας επί του θέματος γνώσεις μας. Κατά συνέπεια, θα έπρεπε  
να συγκεντρώσωμεν πληροφορίας από όλες τις πηγές δια  
τας όποιας υπάρχει υποψία ότι πιθανόν να σχετίζονται με  
το υπό μελέτη θέμα. Η καλύτερα μέθοδος συγκεντρώσεως  
των δεδομένων συνίσταται εις την σύνταξιν μονογραφιών επί  
των φραγμάτων καλώς θεμελιωμένων. Αι μονογραφίαι αύται  
παρουσιάζουν την μεγαλύτεραν χρησιμότητα οσάκις στηρί-  
ζονται επί ποσοτικών δεδομένων ευχερώς συγκρισίμων. Τα  
δεδομένα ταύτα δεν δύνανται να ληφθούν παρά μόνον επί  
φραγμάτων εφοδιασμένων δια καταλλήλων οργάνων. Δεδο-  
μένου ότι η εγκατάστασις και ή συντήρησις συγχρόνων σει-  
σμολογικών συσκευών είναι μάλλον δαπανηρά, θα πρέπει να  
εγκαθίστανται όργανα μόνον κατόπιν καταλλήλου μελέτης  
των αποτελεσμάτων των προκαταρκτικών ερευνών. Επίσης  
προσοχή θα πρέπει να δοθή εις την εκλογή οργάνων τοιού-  
των ώστε να παρέχουν σεισμολογικά δεδομένα ακριβή τα ο-  
ποία να προσφέρονται δι' έρευναν και πιθανήν συσχέτισιν.

Η ομάς εργασίας συνιστά εις πρώτη φάσιν τας ακόλουθους  
έρευνας:

- (1) Μίαν ιστορική μελέτη επί της σεισμικότητας της πε-  
ριοχής όπου προβλέπεται ή δεξαμενή, δηλαδή εντός του τε-  
κτονικού πλαισίου ταύτης.
- (2) Μίαν γεωλογικήν και γεωμορφολογικήν προμελέτην της  
περιοχής της δεξαμενής και της γειτονικής περιοχής, ήτις  
αποβλέπει εις την άναγνώρισιν των γεωλογικών δομών που  
είναι δυναμικώς ενεργοί.
- (3) Δειγματοληψία του σεισμικού κλίματος. Η εργασία

αυτή δύναται να διεξαχθεί δι' ενός δικτύου εκ των τριών φο-  
ρητών βαθμών συνδεδεμένων άσυρμάτως εις υψηλή συχνό-  
τητα. Αυτή αποβλέπει εις τον έλεγχο της σεισμικότητας  
προ της πληρώσεως και εις τον καθορισμόν των ζωνών ελα-  
χίστου θορύβου προ της ενάρξεως της κατασκευής.

Εάν αι πληροφορία που θα ληφθούν από την πρώτην φάσιν  
επιτρέπουν να συμπεράνωμεν ότι θα έπρεπε να δραστηριοποιη-  
θουν αι μελέται επί της δεξαμενής, αύται θα ηδύναντο

νουν κατά την δευτέραν φάσιν, η όποια οφείλει ν' αρχίσει  
ένα ή δύο έτη προ της πληρώσεως και να περιλαμβάνει:

- (1) Μίαν γεωλογικήν και νεοτεκτονικήν μελέτην, περισσό-  
τερον λεπτομερή, της περιοχής της δεξαμενής και της γειτο-  
νικής ταύτης.
- (2) Την εγκατάστασιν μονίμων σεισμολογικών οργάνων.
- (3) Ένδεχομένως άλλας εργασίας, όπως  
(α) πρόγραμμα ακριβούς χωροσταθμίσεως.  
(β) την εγκατάστασιν οργάνων δια την φώρασιν της ένεργη-  
τικότητος των μεταπτώσεων.

(γ) μελέτας επί της σταθερότητος των κλιτύων της δεξαμενής.  
Το προβλεπόμενον υλικόν δια τον εξοπλισμόν μιας δεξαμενής

με τον λογικώς ελάχιστον αριθμόν σεισμικών οργάνων, μη  
περιλαμβανομένων των οργάνων που θα πρέπει να εγκατα-  
σταθούν επ' αυτού τούτου του φράγματος περιλαμβάνει:

(1) Ένα κύριον σταθμόν εξοπλισμένον με μίαν πλήρη σειράν  
οργάνων βραχείας περιόδου με τρεις συνιστώσας, ένα έπιτα-  
χυνσιογράφων δια τας μεγάλας εντάσεις και ένα σεισμοσκό-  
πιον.

(2) Δύο επικουρικούς σταθμούς, έκαστος των όποιων εξο-  
πλίζεται με ένα όργανον κατακόρυφου συνιστώσεως βραχείας  
περιόδου και ένα σεισμοσκόπιον.

Θα ήτο σκόπιμο όπως εξέτασθή σοβαρός ή δυνατότης εντά-  
ξεως των διατάξεων τούτων εις το έθνικόν σεισμολογικόν  
δίκτυον.

## 4. Προβλήματα Ερεύνης

Έντασις και φασματικά χαρακτηριστικά των έντονων κινήσεων του εδάφους εν συνδυασμό προς τους πλησιέστατους σεισμούς. Αποτέλεσμα των υψηλών συχνοτήτων των κινήσεων τούτων επί της συμπεριφοράς των υλικών κατασκευής και των τεχνικών έργων.

Αποτέλεσμα της πίεσεως των, εντός των ρωγμών, υγρών επί της παραμορφώσεως και της θραύσεως των βραχωδών μαζών. Χρησιμοποίησης των δεδομένων της εντάσεως της βαρύτητας, και των εις βάθος σεισμικών δειγματοληψιών. Σεισμικότης των επιπέδων σχηματισμών.

Αποτέλεσμα της εισροής υγρών, επί της σεισμικότητας.

##### 5. Συλλογή και ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων και Προτάσεις δια Διεθνείς Συσκέψεις

Όπως είδομεν ανωτέρω, αι εις τον τομέα αυτόν πραγματοποιητέαι πρόοδοι θα εξαρτηθούν, κατά μέγα μέρος, εκ της συγκεντρώσεως και μελέτης των μονογραφιών των σχετικών προς τα σεισμικά φαινόμενα εν συνδυασμό προς την πλήρωσιν των δεξαμενών.

Τα δεδομένα ταύτα θα έπρεπε να ανταλλάσσονται μεταξύ των Ιδρυμάτων και να επαληθεύονται. Απαιτείται συντονισμός δια την δημοσίευσιν αυτών των πληροφοριών.

Προβλέπεται ότι ή αυξημένη αύτη ποσότης δεδομένων θα επιτρέψει τελικώς την τελειοτέραν ερμηνεία των συνθηκών αι οποία διέπουν τα σεισμικά φαινόμενα τα συνδεόμενα με την πλήρωσιν μεγάλων τεχνητών λιμνών φραγμάτων. Τα μετέχοντα ιδρύματα θα έπρεπε να συνεργασθούν εις αυτήν την εργασίαν ερμηνείας.

Η ομάς εργασίας εξέτασε την πρότασιν της μικτής επιτροπής Σεισμολογίας και Αντισεισμικής Μηχανικής περί οργανώσεως μιας διεθνούς συσκέψεως επί των σεισμικών φαινομένων συνδεδασόμενων με την πλήρωσιν μεγάλων δεξαμενών.

Πολλά μέλη της ομάδος επέστησαν την προσοχή επί του γεγονότος ότι διάφοροι όψεις του ζητήματος τούτου θα εξετάζοντο κατά την διάρκειαν συνελεύσεων ήδη προβλεπομένων υπό Διεθνών επιστημονικών Ενώσεων. Ανεγνωρίσθη, εν τούτοις, ότι ουδεμία εκ των προβλεπομένων συνελεύσεων θα κάλυπτε όλες τις απόψεις του ζητήματος και ότι θα ήτο κατά συνέπειαν χρήσιμο όπως προβλεφθεί ή δυνατότητα οργανώσεως κατά το 1973 μιας συσκέψεως αφιερωμένης ειδικώς εις αυτό το θέμα.

Ετέθη κατόπιν το ζήτημα εάν η ομάς εργασίας θα έπρεπε να συγκαλέσει και δεύτερη συνέλευσιν. Κατόπιν μερικόν ανταλλαγών απόψεων, απεφασίσθη όπως ή ομάς συνέλθει, ει δυνατόν εκ νέου, κατά το τέλος του 1971 ή αρχάς 1972.

Κατά την συνέλευσιν ταύτη, ή ομάς θα ηδύνατο ιδιαιτέρως να εξετάσει τα μέτρα τα ληφθέντα δια να δοθεί συνέχεια εις τις συστάσεις τις διατυπωθείσας κατά την παρούσαν σύνοδον, δια να εξετάσει εκ νέου την πρότασιν την σχετική με την διοργάνωσιν Διεθνούς συσκέψεως, και δια την υποβολή επιστημονικών Εκθέσεων.

##### 6. Συμπεράσματα

Εις πρόσφατο δημοσίευσιν (1), είχομεν αναφέρει χαρακτηριστικά, τινας περιπτώσεις εκ της διεθνούς βιβλιογραφίας, εις ας ή πλήρωσις των τεχνητών λιμνών ακολουθήθηκε ή συνωδευθή υπό σεισμικής δράσεως. Επίσης είχαμε παραθέσει γνώμες διαφόρων ερευνητών, ως και τις προσωπικός απόψεις του συγγραφέως δια την πληρεστέραν κατανόησιν του φαινομένου.

Ανεφέρθησαν ακόμη και τα ελάχιστα εκείνα σημεία, τα οποία δεν φαίνεται να συνηγορούν υπέρ της συσχετίσεως με-

ταξύ πληρώσεως φραγμάτων και συμπαρομαρτούσεως σεισμικής δράσεως.

Η σοβαρά εν τούτοις αντιμετώπιση της πιθανής τοιαύτης συσχετίσεως από όλους τους Διεθνείς Οργανισμούς, υποδεικνύει ότι ή άποψη κατά την οποίαν δεν είναι δυνατόν αι λίμναι να επηρεάζουν την σεισμική δράσιν, φαίνεται αβάσιμος. Φυσικά, ουδαμού υπεστηρίχθη ότι την πλήρωσιν κάθε φράγματος θα συνοδεύσει οπωσδήποτε έξαρσις της σεισμικής δράσεως της περιοχής. Και περί της μιας και της άλλης ακραίας απόψεως αντιτίθενται αυτά ταύτα τα γεγονότα. Το πιθανότερον είναι ότι δια να συμβάλει μια λίμνη εις την δημιουργίαν σεισμών δέον όπως προϋπάρξουν εις την περιοχή ειδικές σεισμολογικές, τεκτονικές και υδρογεωλογικές συνθήκες (ύπαρξις ωρίμων ελαστικών τάσεων, ενεργά ρήγματα, λίπανσις υπό του ύδατος ρηξιγενών τεμαχίων κλπ.) άνευ των οποίων το (φράγμα α) εαυτού είναι αδύνατον να δράσει. Δηλαδή, δέον όπως ή περιοχή του φράγματος είναι ευαίσθητος εις μικρός μεταβολάς, οπότε ή πλήρωσις του φράγματος, ενδέχεται να παίξει ρόλο πυροδότη και να συμβάλει εις την ενεργοποίησιν των υπαρχόντων ρηγμάτων και, επομένως, εις την διέγερσιν της σεισμικής δράσεως.

Το θέμα εμφανίζεται πολύπλοκο και παρουσιάζει ακόμη τεραστίαν δυσκολίαν, απαιτείται δε συντονισμός της όλης έρευνας.

Πάντως, λαμβανομένης υπ' όψιν της σοβαρότητας του θέματος και των πιθανών πρακτικών και επιστημονικών αποτελεσμάτων τα όποια θέλουν προκύψει, απαιτείται ή εις βάθος συστηματική έρευνά του φαινομένου.

Κρίνεται, όθεν, σκόπιμο όπως συνεργασθούν επί του θέματος οι αρμόδιοι, βάσει ενός συγκεκριμένου προγράμματος και βάσει των υποδείξεων και εισηγήσεων των εμπειρογνομόνων των Διεθνών Οργανισμών, αι όποιοι εξετέθησαν ενταύθα. Οφείλει, ούτω, να εξετασθεί σοβαρά ή δυνατότητα εγκαταστάσεως σεισμικών οργάνων εις τα διάφορα φράγματα εν Ελλάδι και εις τα υπό κατασκευήν τοιαύτα κατά το πρότυπον των εκθεσιών υποδείξεων.

Τα Κρεμαστά και το Πολύφυτον ενδείκνυνται δια εγκατάστασιν οργάνων εις πρώτον στάδιον και, πιθανώς, αι διατάξεις αύται θα έπρεπε να ενταχθούν εις το Εθνικό Σεισμολογικό δίκτυον.

Αι δαπάναι εγκαταστάσεως και λειτουργίας των υπό ίδρυσιν εις φράγματα σταθμών, θα ηδύνατο ενδεχομένως να αναληφθούν υπό της ΔΕΗ, ή δε αξιολόγησις των δεδομένων, υπό του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών ή του Σεισμολογικού εργαστηρίου του Πανεπιστημίου.

Ούτω, τα μέτρα, τα όποια προτείνονται εις διεθνή κλίμακα θα βοηθήσουν εις την πληρεστέραν ερμηνείαν και αντιμετώπισιν των συνθηκών αι όποιοι διέπουν τα σεισμικά φαινόμενα τα συνδεόμενα με την πλήρωσιν μεγάλων φραγμάτων. Θα συμβάλωμεν δε ως χώρα και εις την διεθνή προσπάθειαν αντιμετώπισεως του προβλήματος, το όποιο εμφανίζει οξύ ενδιαφέρον δια την χώρα μας, εν όψει της σχεδιαζόμενης κατασκευής πολλών φραγμάτων υπό της ΔΕΗ.

##### Βιβλιογραφία

1. Δρακόπουλος Ι. : Η πλήρωσις Τεχνητών Λιμνών (φραγμάτων) και ή συμπαρομαρτούσα Σεισμική Δράσις «Τεχν. Χρονικά» Νοέμβριος 1971.
2. Rothe J.. Earthquakes and reservoir loadings 'Proc. 4th World Conf. on Earth. Eng. Chile (1969).
3. Comninakis P., Drakopoulos J., Moutoulidis G. and B. Papazachos, Foreshock and aftershock sequences of the Cremasta earth quake and their relation to the water loading of the Cremasta artificial lake Ann. di Geof. 21, 39-71. (1968).
4. Berg E., Triggering of the Alaskan Earthquake of March 28, 1964 and major aftershocks by low ocean tide loads. Undated report to Air Force office of Scen. Res. (1968).
5. Evans D.. The Denver area earthquakes and the Rocky Mountain Arsenal disposal well "The Mountain Geologist" 3. 23-36, (1960).
6. Jaeger J. and L.. Read Seismicity of Southeast Australia «Am. Geoph. Un. Monograph 13, pp. 145-147, (1969).
7. Caloi P., L'evento del Vajont nei suoi Aspetti Geodinamici "Ann. di Geof. 19. 1-74, (1966).

---

## Reservoir Loading and Local Earthquakes

By John Drakopoulos\*

---

### Summary

In many papers the circumstances surrounding increased earthquake activity near reservoirs in different parts of the world have been discussed. A symposium was organized by UNESCO in which many

members from 9 International associations participate: and examined carefully the relation between Reservoir Loading and Local Seismicity. The explanation of the whole phenomenon it seems to be complex. The research, activities suggested officially by the participating members are included in this paper.

---

\* Degree in Physics and Electronics University of Athens. Doctor degree in Seismology (1968) Chief assistant in Seism. Laboratory of Athens University. 1969-1970 in Advance Course of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Research work in Seismicity. Crustal Structure of the Earth, Focal Mechanism,

Fore and Aftershocks. Microtremors and Micro earthquakes. Co—Manager of the Project of UNESCO "Survey of the Seismicity in the Balkan region. Member in International Associations. Participant in some International Conferences.

---

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.**  
**(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ)**

## ΛΙΜΝΕΣ (ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ)



Αναρρυθμιστική λίμνη.



Λίμνη στο Εξωτερικό.





*Πετώντας πάνω από την λίμνη της Δοιράνης, κατευθυνόμενος προς την Κερκίνη, έχει κανείς πολλές φορές να περάσει μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και 40 - 50 km χωρίς θερμικά.*



*Η λίμνη των κρεμαστών, είναι ένα από τα μέρη, που λίγες φορές θα αντικρύσουν τα μάτια των Ελλήνων ανεμοπόρων. Το σύνολο της γειτονικής της περιοχής είναι απόλυτα μη προσγειώσιμο, ένω οι ορεινοί όγκοι εκτείνονται προς κάθε κατεύθυνση.*



*Λίμνη του Λάδωνα.*



*Αρδευτικά φράγματα.*



*Αρδευτικό φράγμα.*



*Υδροηλεκτρικός σταθμός.*





*Φράγμα Θεσσαλονίκης.*



*Φράγμα Θεσσαλονίκης.*



*Φράγμα Μαραθώνα.*



*Φράγματα Εξωτερικού, από αριστερά προς τα δεξιά: Mujib και Wala.*



*ΑΠΟΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΕΖΙ ΡΑΧΩΝ, Ν. ΙΚΑΡΙΑΣ*



*ΦΡΑΓΜΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΣΤΟΝ Π. ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ*

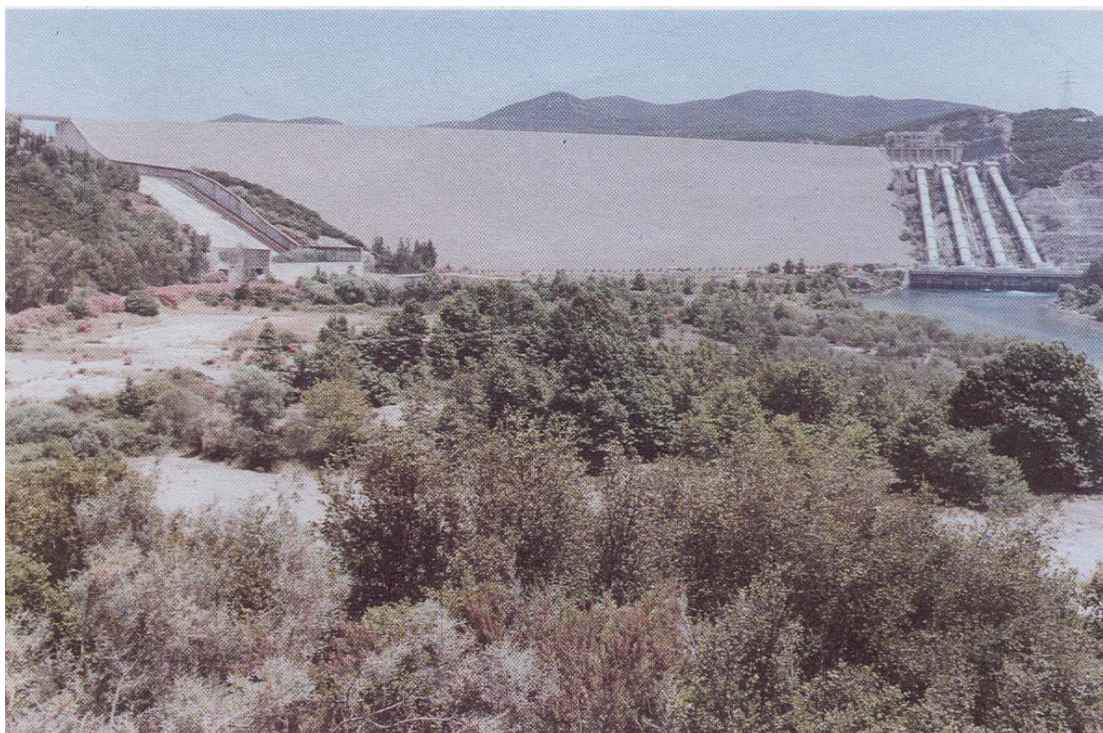


*ΚΑΤΟΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ*



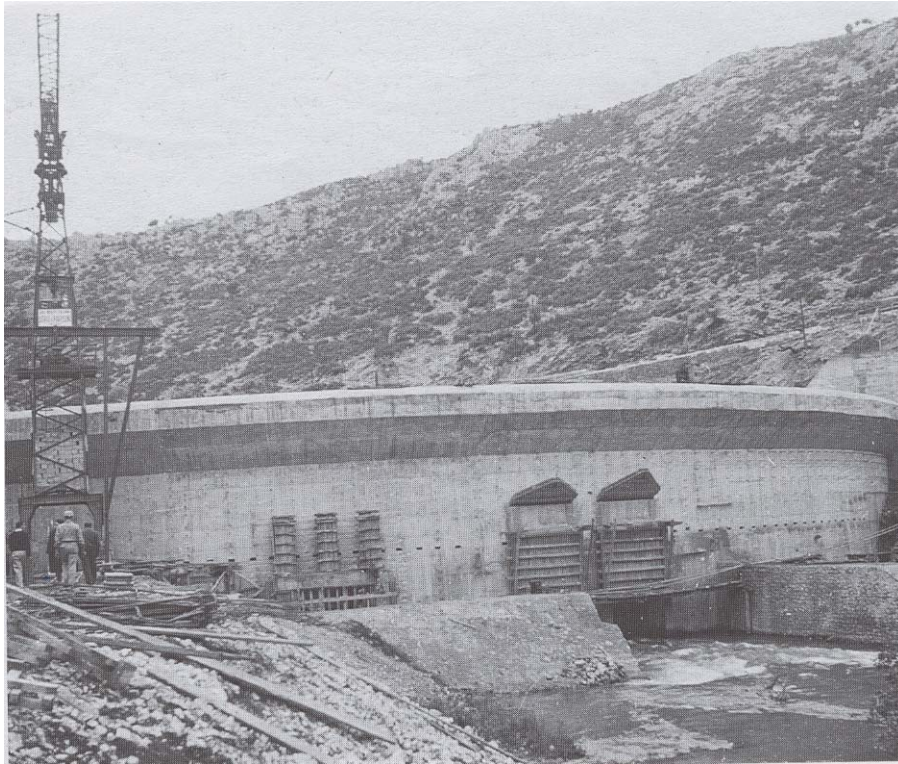


*ΥΗΕ Π. ΑΩΟΥ. Μερική άποψη της λίμνης από ανάντη.*

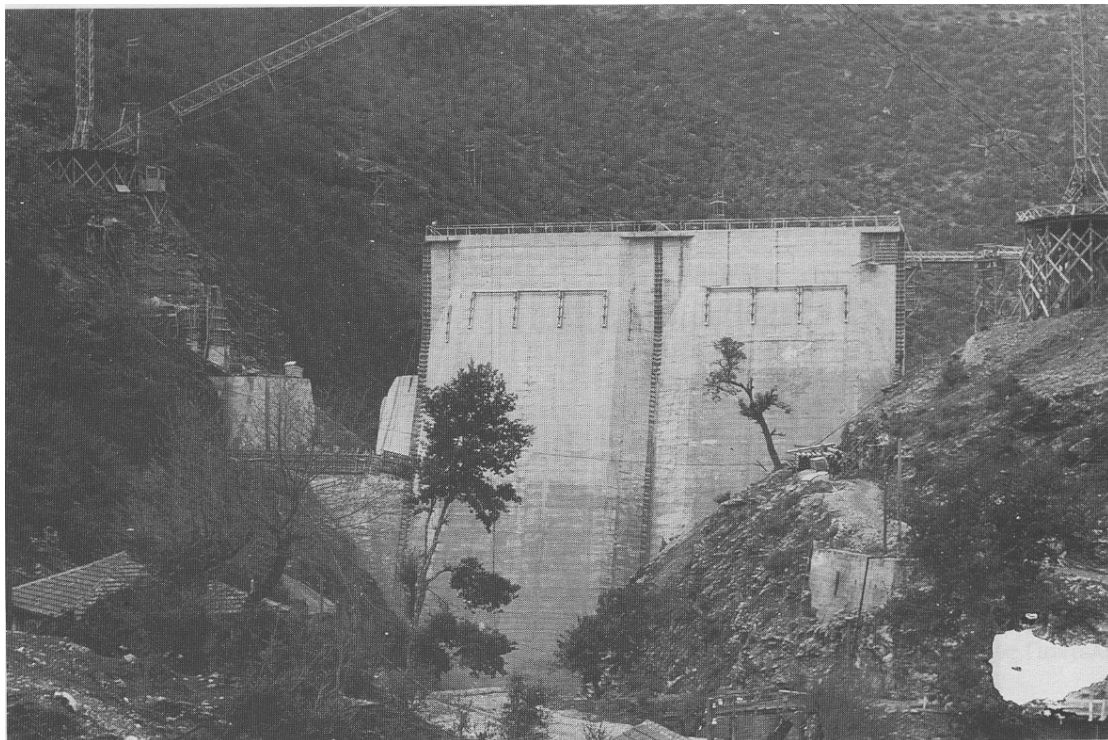


*ΥΗΕ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ. Γενική άποψη του φράγματος, διακρίνονται οι αγωγοί προσαγωγής και ο εκχειλιστής.*



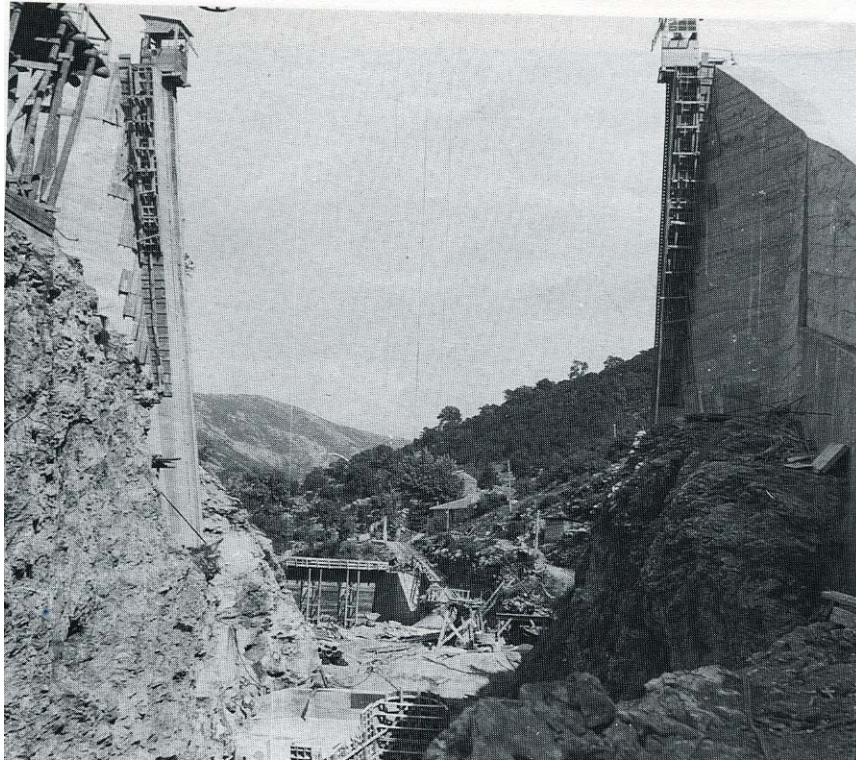


*ΥΦΕ ΛΟΥΡΟΥ. Από την κατασκευή του φράγματος (όψη από ανάντι).*

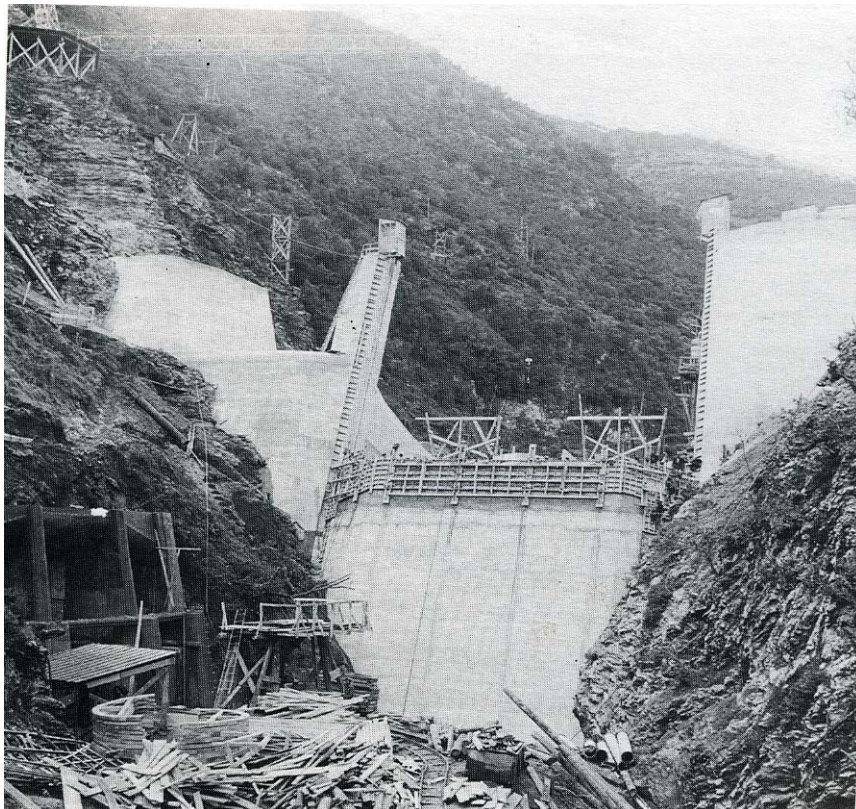


*ΥΦΕ ΛΑΔΩΝΑ. Άποψη κατασκευής των στοιχείων από κατόντη.*



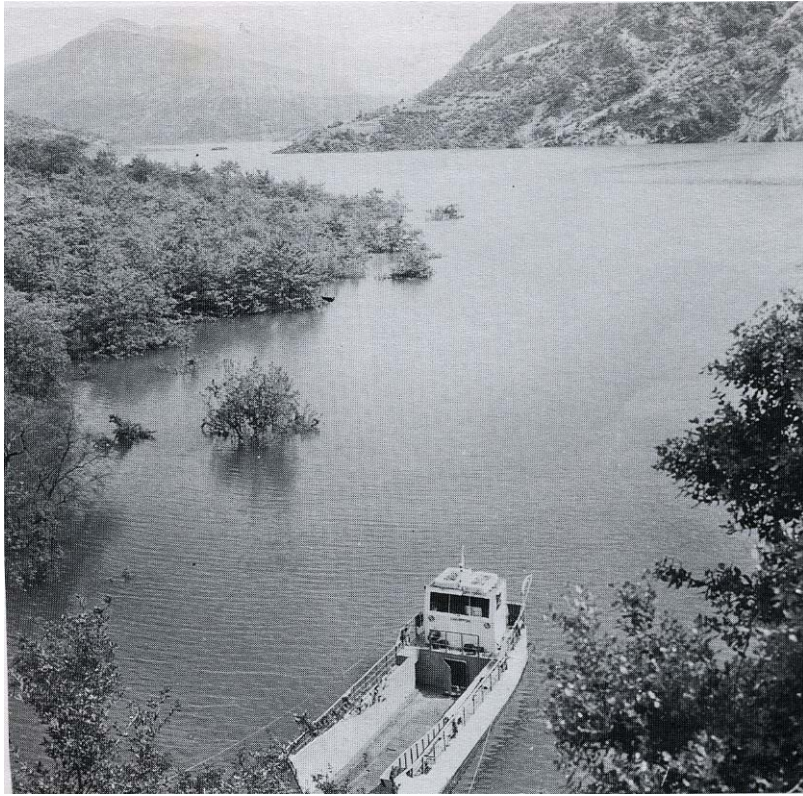


*ΥΗΕ ΛΑΔΩΝΑ. Γενική άποψη κατασκευής του φράγματος (από κατάντη).*



*ΥΗΕ ΛΑΔΩΝΑ. Κατασκευή στοιχείων Νο. 2 (από κατάντη).*





*ΥΠΕ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ. Το ferry boat της λίμνης για την εξυπηρέτηση των παραλίμνιων κοινοτήτων.*



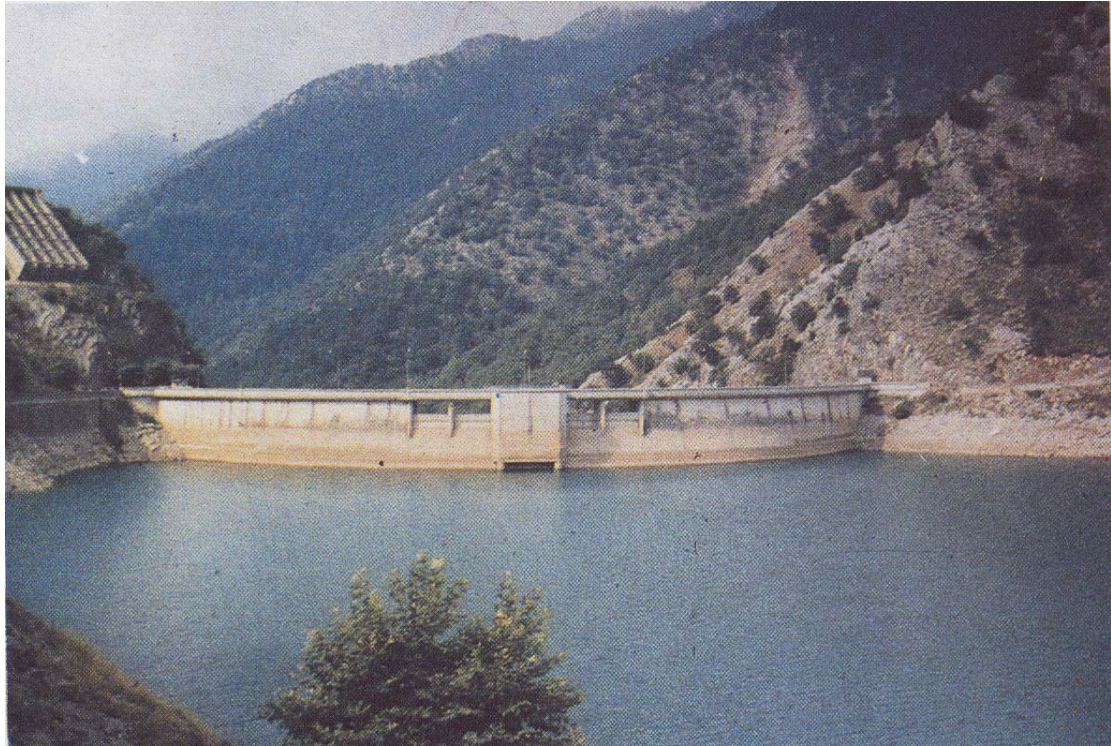




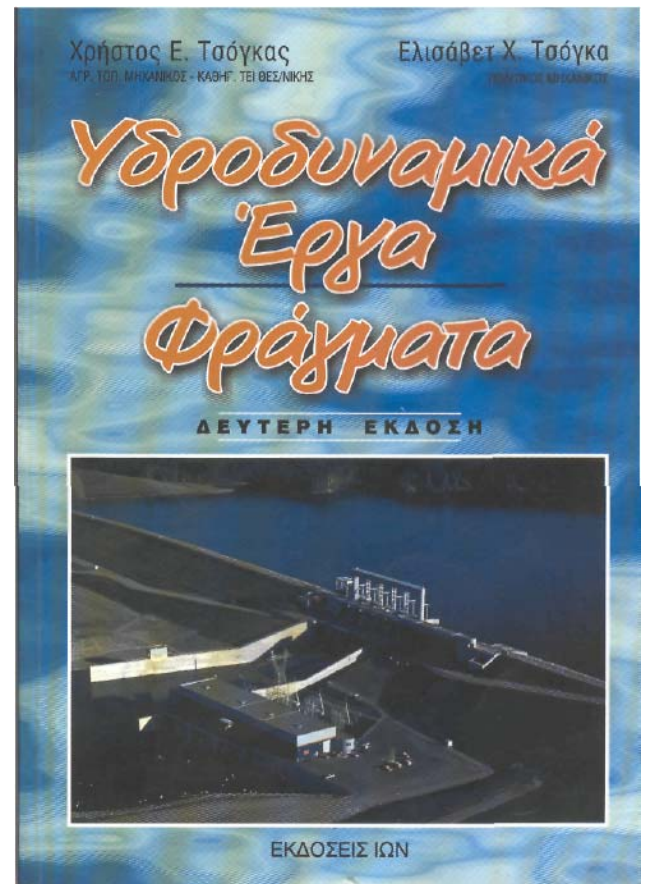
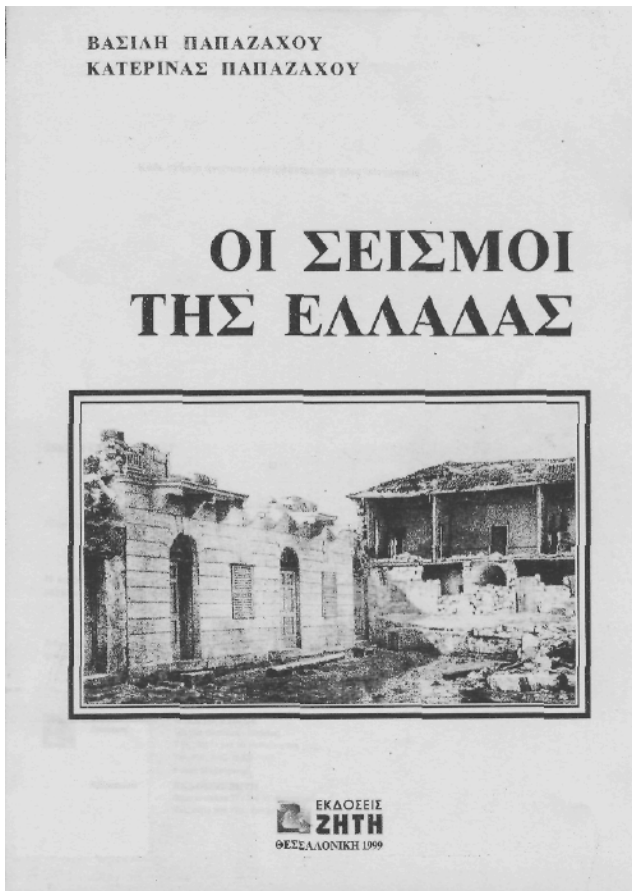


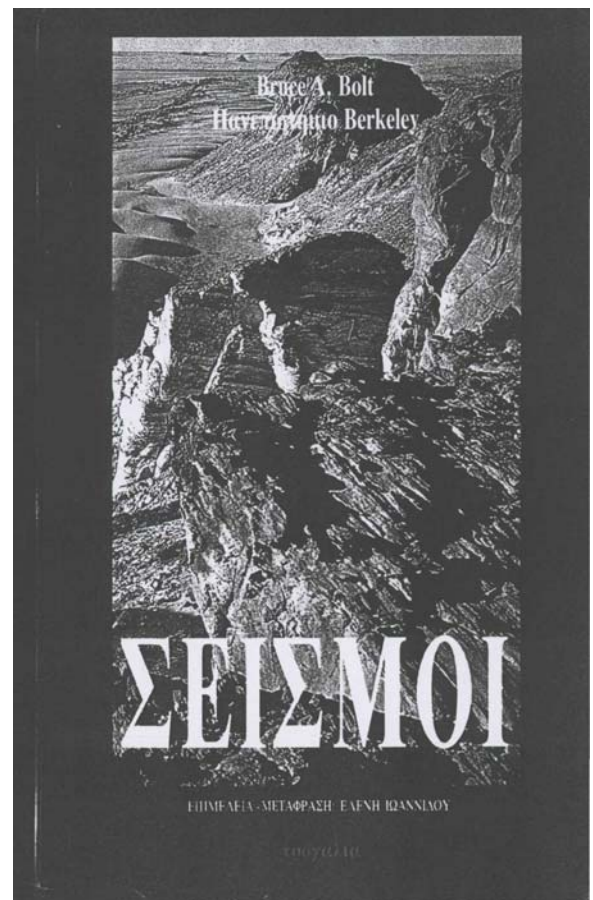
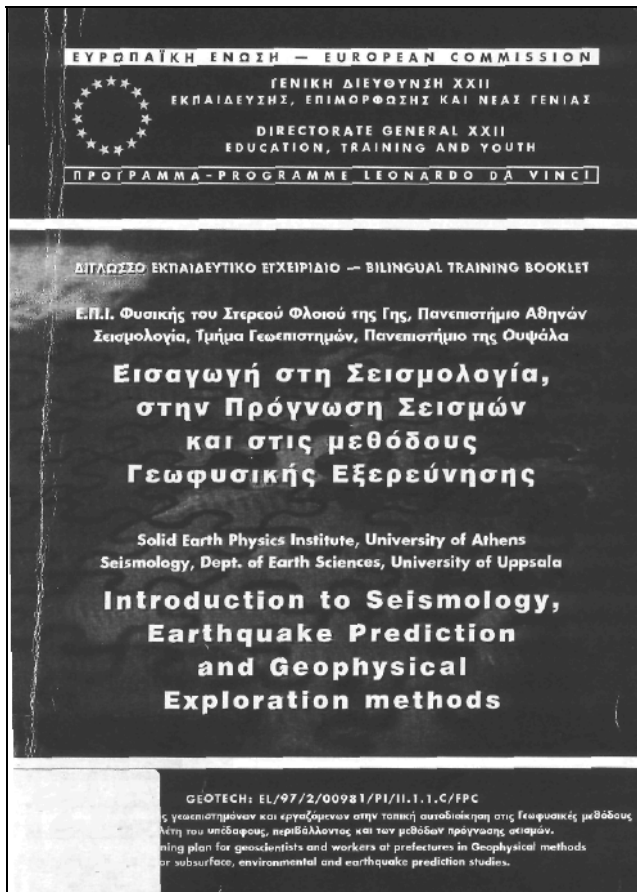




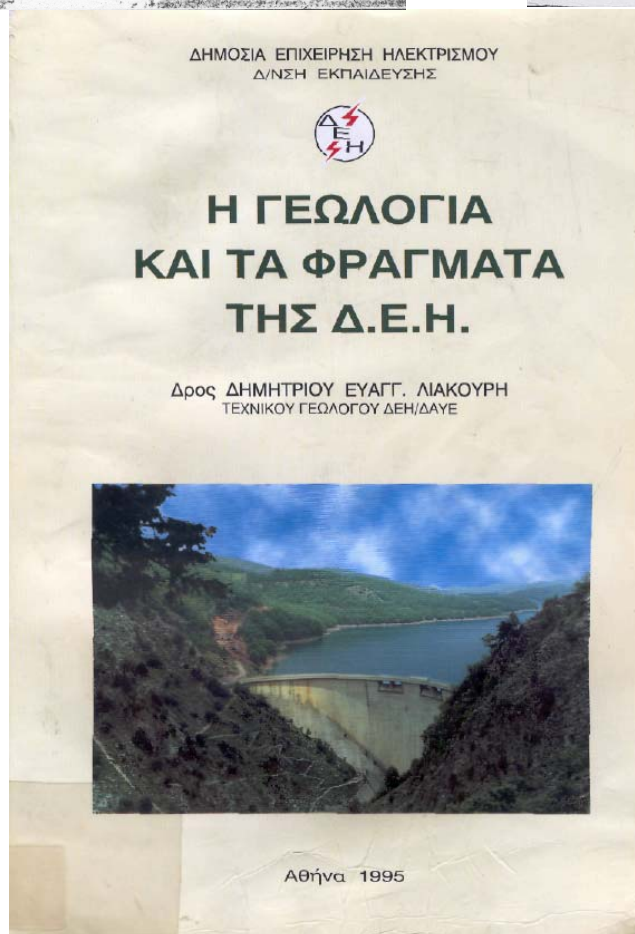
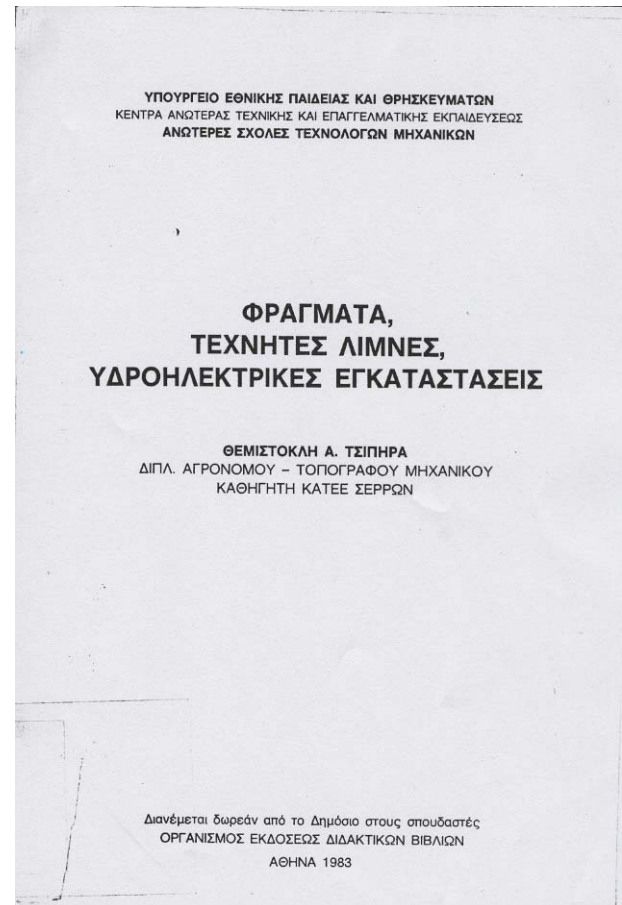
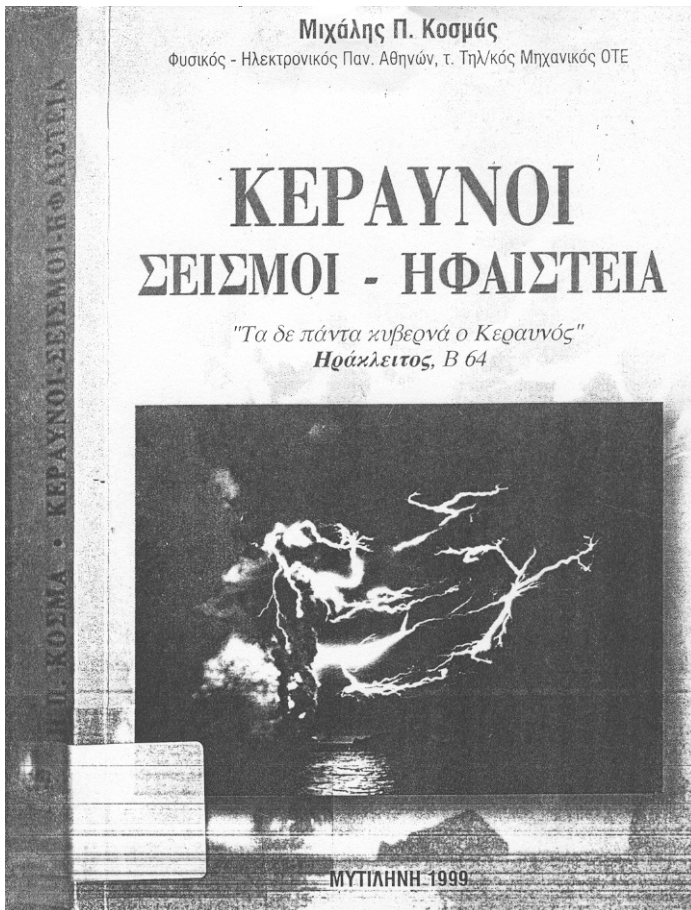


## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**ΕΝΤΥΠΗ**







Τεχνικά Χρονικά, Έτος 40<sup>ο</sup> (τεύχη 1/535 – 12/546) Ιανουάριος – Δεκέμβριος 1971, τεύχος 12, σελ. 907.

Τεχνικά Χρονικά, Έτος 41<sup>ο</sup> (τεύχη 1/ - 12/558) Ιανουάριος – Δεκέμβριος 1972, τεύχος 6, σελ. 591.

## ***ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ***

ΔΕΗ Α.Ε. Σάββατο, 16 Οκτωβρίου 2004, 10:54:17 πμ  
<http://www.dei.gr.html>

Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας Δευτέρα, 6 Δεκεμβρίου 2004, 12:51:08 πμ  
[http://www.geophysics.geol.uoa.gr/frame\\_gr/histo/aristo\\_gr.html](http://www.geophysics.geol.uoa.gr/frame_gr/histo/aristo_gr.html)

Φράγματα – φραγμοί Πέμπτη, 2 Δεκεμβρίου 2004, 1:49:20 πμ  
<http://www.oikoen.gr/selides-dams.htm>

Μηχανή αναζήτησης Google Σαββάτο, 13 Νοεμβρίου 2004, 18:01:12 μμ <http://www.google.com.gr./>>

Η ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (ICAP / Δήλος) Σάββατο, 27 Νοεμβρίου 2004, 12:03:09 μμ [http://www.energia.gr/Meleti\\_icap/kef4.php](http://www.energia.gr/Meleti_icap/kef4.php)

Foto Πέμπτη, 2 Δεκεμβρίου 2004, 2:09:25 πμ [www.cromemco.gr/gliding/Greek/Edessa94.htm](http://www.cromemco.gr/gliding/Greek/Edessa94.htm)

