



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

## **Διπλωματική Εργασία**

***Μελέτη και κατασκευή ηλεκτρονικών  
διατάξεων/συσκευών σε εφαρμογές σεισμικών και  
βαρυτικών φαινομένων***

***Κουμεντάκης Θεοφάνης***

***70147626***

***Επιβλέπων καθηγητής:  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Χ. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ***

ΑΙΓΑΛΕΩ 2022



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών  
Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής

## Διπλωματική Εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ/ΣΥΣΚΕΥΩΝ  
ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΥΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Κουμεντάκης Θεοφάνης  
70147626

### ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1) Ε.Χ. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ	
2) Ν. ΛΑΣΚΑΡΗΣ	
3) Ε. ΣΥΜΕΩΝΑΚΗ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κουμεντάκης Θεοφάνης του Μανούσου, με αριθμό μητρώου 70147626, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

A handwritten signature in blue ink, consisting of the Greek letters ΦΚ (Phi Kappa) enclosed within a large, loopy oval shape.

Κουμεντάκης Θεοφάνης

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τους μεθόδους πρόγνωσης των σεισμών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει μία σειρά τόσο από μεθόδους όσο και από τρόπους που έχουν χρησιμοποιηθεί ή χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τους επερχόμενους σεισμούς. Αρχικά, η εργασία διαχωρίζεται σε δέκα ενότητες. Η πρώτη ενότητα αφορά μια παλαιότερη έρευνα, διάφορους ισχυρισμούς σχετικά με τις χρονικές αλλαγές στην ταχύτητα αλλά και διάφορες οδηγίες για την εγκυρότητα της πρόγνωσης. Στη συνέχεια, η δεύτερη ενότητα σχετίζεται με το IASPEL, με τους υδρολογικούς και γεωχημικούς προαγγέλους. Επίσης, σε αυτή την ενότητα πραγματοποιείται μια αναφορά στο φαινόμενο του Κρόνου. Η τρίτη ενότητα αφορά μια νεότερη έρευνα στην οποία αναφέρεται το VLF και ο διαχωρισμός του ενεργού καναλιού. Επιπρόσθετα, στην επόμενη ενότητα αναφέρεται η μέθοδος BAN, καταγράφεται η κριτική, η μεθοδολογία, η επιλεκτικότητα αλλά και διάφορα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια, έχουν καταγραφεί διάφορες άλλες περιπτώσεις όπως είναι τα κύματα VLF, ο σεισμός TOKAI όπως επίσης και ο σεισμός PARKFIELD. Ακόμη, έχουν αναφερθεί πληροφορίες σχετικά με τους ραδιοθορύβους, συγκεκριμένα με το κύκλωμα και την εγκυρότητα. Ωστόσο, στις επόμενες ενότητες αναφέρεται το Global Scaling και τα σήματα βαρύτητας. Τέλος, η δέκατη και τελευταία ενότητα της παρούσας εργασίας περιγράφει τον ανιχνευτή του Lawton.

## STUDY AND CONSTRUCTION OF ELECTRONIC DEVICES / APPLIANCES IN APPLICATIONS OF SEISMIC AND GRAVITY PHENOMENA

### **Summary**

This thesis concerns earthquake forecasting methods. The purpose of this paper is to present a series of both methods and ways that have been used or are being used to predict upcoming earthquakes. The work is divided into ten sections. The first section deals with some earlier research, various claims about temporal changes in velocity and various guidelines for the validity of the prediction. Then the second section is related to IASPEL, with hydrological and geochemical forecasters. Also, in this section a reference is made to the Saturn phenomenon. The third section deals with a newer research, addressing VLF and active channel separation. In addition, in the next section the VAN method is mentioned, the criticism recorded, the methodology, the selectivity as well as various results obtained through the preparation of this work. Subsequently, various other cases have been recorded such as the VLF waves, the TOKAI earthquake as well as the PARKFIELD earthquake. Also, radio noise information, specifically circuit and validity, has been reported. However, the following sections cover Global Scaling and gravity signals. Finally, the tenth and last section of this paper describes the Lawton detector.

## Αναγνωρίσεις

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κύριο επιβλέποντα Ευάγγελο Παπακίτσο για τη συνεχή υποστήριξη της διπλωματικής μου διατριβής και για την υπομονή καθώς και για τα κίνητρα που μου έδωσε. Με τις διαρκείς συζητήσεις, ο δρ. Ευάγγελος Παπακίτσος με βοήθησε να καταλάβω ποια βήματα έπρεπε να ακολουθήσω για να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διατριβή μου. Τα διορατικά σχόλια και οι δύσκολες ερωτήσεις του δρ. Παπακίτσου με βοήθησαν να διευρύνω την έρευνά μου από διάφορες οπτικές γωνίες. Εκτός από τον κύριο επιβλέποντά μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Επ. Καθηγητή Νικόλαο Λάσκαρη και την κα Ελένη Συμεωνάκη, μέλη της επιτροπής εξέτασης της διατριβής μου, για την ουσιαστική καθοδήγησή τους η οποία με βοήθησε σε όλο το χρόνο της έρευνας και συγγραφής αυτής της εργασίας. Η ουσιαστική γνώση στο ερευνητικό θέμα της διατριβής μου ήταν πολύ σημαντική. Πάνω από όλα, οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και πάνω από όλα οφείλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές για την άριστη συνεργασία που είχαμε.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμηση στους συναδέλφους μου που διάβασαν και σχολίασαν τη διατριβή μου.

Ευχαριστώ τους γονείς μου που με στήριξαν πνευματικά και οικονομικά για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου διατριβής. Επίσης για την υπομονή, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη.

Ειδικότερα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου Ευάγγελο Παπακίτσο γιατί πίστεψε ότι μπορούσα να ολοκληρώσω αυτή τη διατριβή και με στήριξε όταν ένιωθα απογοητευμένος, όπως και τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής κ. Ηλία Χρυσόχερη, για την πολύτιμη καθοδήγησή του στην κατασκευή και χρήση των ηλεκτρονικών συσκευών της διπλωματικής εργασίας.

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και κριτική επισκόπηση .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Παλαιότερες έρευνες .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1 Έρευνα μέχρι το 1960 .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2 Μετά το 1960 .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.3 Δεκαετία του '70 .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.4 Ισχυρισμοί για χρονικές αλλαγές στην ταχύτητα .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.5 Ειδικά συνέδρια μέχρι το 2000 .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Οδηγίες για εγκυρότητα πρόγνωσης .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1 IASPEI .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2 Υδρολογικοί και γεωχημικοί προάγγελοι .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.3 Το φαινόμενο του Κρόνου .....</b>	<b>18</b>
<b>Κεφάλαιο 2: Τεχνικές πρόγνωσης .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Νεότερες έρευνες .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1 VLF/LF .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2 Διαχωρισμός του Ενεργού Διαύλου .....</b>	<b>21</b>

<b>2.2 Μέθοδος BAN</b> .....	25
<b>2.2.1</b> Εισαγωγή και κριτική .....	25
<b>2.2.2</b> Μεθοδολογία .....	26
<b>2.2.3</b> Συσκευές .....	27
<b>2.2.4</b> Επιλεκτικότητα .....	27
<b>2.2.5</b> Αποτελέσματα κι ελλείψεις .....	29
<b>2.3 Άλλες περιπτώσεις</b> .....	30
<b>2.3.1</b> Κύματα VLF .....	30
<b>2.3.2</b> Izu-Oshima-Kinkai, Ιαπωνία 1978.....	30
<b>2.3.3</b> Σεισμός TOKAI .....	31
<b>2.3.4</b> Ο σεισμός PARKFIELD .....	32
<b>2.4</b> Ραδιοθόρυβοι .....	33
<b>2.4.1</b> Το κύκλωμα .....	33
<b>2.4.2</b> Εγκυρότητα .....	34
<b>2.5</b> Global Scaling .....	37
<b>2.5.1</b> Εισαγωγικά στη Θεωρία .....	37
<b>2.5.2</b> Νέες τεχνολογίες και Βαρυτικά Κύματα .....	39
<b>2.5.3</b> Οι αρνητές της θεωρίας .....	41
<b>2.6</b> Σήματα Βαρύτητας / Βαρυτικά Κύματα .....	42
<b>2.6.1</b> Εισαγωγικά .....	42
<b>2.6.2</b> Πρώτο κύμα .....	43
<b>2.6.3</b> Μοντελοποίηση .....	44
<b>2.7</b> Ελαστο-Βαρυτικά Κύματα .....	44
<b>2.8</b> Ο ανιχνευτής του Lawton .....	51



<b>Κεφάλαιο 3: Πειραματικά δεδομένα και αποτελέσματα .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Κατασκευή αισθητήρα ραδιοθορύβου .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Εγκατάσταση αισθητήρα ραδιοθορύβου στο πεδίο .....</b>	<b>58</b>
<b>3.3 Καταγραφή μετρήσεων ραδιοθορύβου στο πεδίο .....</b>	<b>62</b>
<b>Κεφάλαιο 4: Συζήτηση-Συμπεράσματα .....</b>	<b>63</b>
<b>Κατάλογος Αναφορών.....</b>	<b>65</b>

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή και κριτική επισκόπηση

### 1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο

Ο Milne (1880) σημείωσε ότι «Από τότε που μελετήθηκε η σεισμολογία, ένας από τους κύριους στόχους των σπουδαστών της ήταν να ανακαλύψουν κάποια μέσα που θα τους επέτρεπαν να προβλέψουν την έλευση ενός σεισμού...». Ο Milne συζήτησε πιθανούς πρόδρομους, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, της συμπεριφοράς των ζώων, των ηλεκτρικών επιδράσεων, του σεισμού, των παλιρροιών της γης, των αλλαγών στη θερμοκρασία των θερμών πηγών και των μικροσεισμών.

Αυτό που θα ήθελαν όλοι, περισσότερο από οτιδήποτε αφορά τα χαρακτηριστικά του, να μάθουν για έναν σεισμό είναι η στιγμή που μπορεί να συμβεί. Εάν μπορούσε να δηλωθεί αυτό, και ταυτόχρονα κάτι για τον χαρακτήρα της αναμενόμενης διαταραχής στις περιοχές του σεισμού, τότε η σεισμολογία σαν κλάδος θα υποστηριζόταν με μεγάλη θέρμη.

Μετά τον σεισμό Nobi της Ιαπωνίας του 1891, ιδρύθηκε η Αυτοκρατορική Επιτροπή Ερευνών Σεισμών. Τα μέλη της αντιμετώπισαν με κάθε πόρο που διέθεταν τα διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την πρόβλεψη σεισμών, όπως οι κλίσεις της γης και οι παλμοί της γης, οι διακυμάνσεις των στοιχείων του επίγειου μαγνητισμού, οι διακυμάνσεις στις υπόγειες θερμοκρασίες, οι διακυμάνσεις στο γεωγραφικό πλάτος, η κοσμική διακύμανση στην τοπογραφία, κ.λπ., αλλά δεν επιτεύχθηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα» (Imamura, 1937).

Ο Imamura (1937) δήλωσε ότι: «Υπάρχουν κάποιοι που δηλώνουν ότι η πρόβλεψη των σεισμών είναι αδύνατη, αλλά ο συγγραφέας δεν συμμερίζεται μια τέτοια ιδέα. Συγκρίνοντας την κατάσταση της σημερινής μας γνώσης με αυτήν, ας πούμε, πριν από 30 ή 40 χρόνια, δεν μπορούμε να αρνηθούμε ότι είμαστε πιο κοντά στο να κάνουμε πρακτικές προβλέψεις από ό,τι ήμασταν τότε. Νομίζουμε ότι μπορεί τουλάχιστον να ειπωθεί ότι, αν και πολύ απομακρυσμένοι, προχωράμε σταθερά προς αυτό το επιθυμητό τέλος.»

Οι περισσότεροι σεισμολόγοι συμφωνούν ότι δεν έχουμε κανένα μέσο προς το παρόν να

καταλήξουμε σε μια αξιόπιστη πρόβλεψη οποιουδήποτε σεισμού οπουδήποτε. Το πρόβλημα της πρόβλεψης σεισμών βρίσκεται υπό εντατική έρευνα στην Καλιφόρνια και αλλού και δεν φαίνεται να βρισκόμαστε πιο κοντά στη λύση του προβλήματος από ό,τι στην αρχή.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει μία σειρά από μεθόδους και τρόπους που έχουν χρησιμοποιηθεί ή χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν επερχόμενους σεισμούς.

## **1.2 Παλαιότερες έρευνες**

### **1.2.1 Έρευνα μέχρι το 1960**

Ο Reid (1910) συζήτησε τις προοπτικές πρόβλεψης: «Καθώς οι παραμορφώσεις πάντα προηγούνται της ρήξης και καθώς οι παραμορφώσεις είναι αρκετά μεγάλες ώστε να ανιχνεύονται εύκολα πριν συμβεί η ρήξη, για να προβλεφθούν τεκτονικοί σεισμοί είναι απλώς απαραίτητο να επινοηθεί μια μέθοδος του προσδιορισμού της ύπαρξης των *παραμορφώσεων*. Για να μετρήσουμε την ανάπτυξη των στελεχών, θα πρέπει να φτιάξουμε μια σειρά από προβλήτες, ας πούμε σε απόσταση ενός χιλιομέτρου μεταξύ τους, σε ορθή γωνία. Εάν η επιφάνεια ταλαντωθεί σε γωνία περίπου  $1/2000$ , θα πρέπει να περιμένουμε ισχυρό σοκ.»

Ο Imamura (1937) δήλωσε ότι: «Υπάρχουν κάποιοι που δηλώνουν ότι η πρόβλεψη των σεισμών είναι αδύνατη, αλλά ο συγγραφέας δεν συμμερίζεται μια τέτοια ιδέα. Συγκρίνοντας την κατάσταση της σημερινής μας γνώσης με αυτήν, ας πούμε, πριν από 30 ή 40 χρόνια, δεν μπορούμε να αρνηθούμε ότι είμαστε πιο κοντά στο να κάνουμε πρακτικές προβλέψεις από ό,τι ήμασταν τότε. Νομίζουμε ότι μπορεί τουλάχιστον να ειπωθεί ότι, αν και πολύ απομακρυσμένοι, προχωράμε σταθερά προς αυτό το επιθυμητό τέλος.»

Ωστόσο, ο Macelwane (1946) δήλωσε: «Είναι δυνατόν, στην παρούσα κατάσταση της επιστημονικής γνώσης, να προβλέψουμε τους σεισμούς; Δυστυχώς όχι!» Στην πραγματικότητα η προοπτική είναι πολύ λιγότερο ελπιδοφόρα. Κατά την περίοδο 1910-1960 αρκετές γεωδαιτικές έρευνες προσπάθησαν να ανιχνεύσουν προκαταρκτική τάση. Ισχυρισμοί φωτεινών φαινομένων που σχετίζονται με σεισμούς, πιθανοί ή υποθετικοί γεωδαιτικοί προάγγελοι και η πρόδρομη ανώμαλη συμπεριφορά των συζητήθηκαν επίσης. Ο Geller (1991) δεν γνώριζε την παραπάνω έρευνα όταν έγραψε: «Η εμπειρική προσέγγιση [στην πρόβλεψη σεισμών] εξαρτάται από την ύπαρξη αξιόπιστα μετρήσιμων και αναμφισβήτητα αναγνωρίσιμων προδρόμων. Θα μπορούσαν αναμφισβήτητα να υπήρχαν λόγοι για να

υποθεθεί, το 1962, ότι υπήρχαν τέτοιοι προάγγελοι, αλλά δεν υπάρχει πλέον χώρος για τέτοιους.»

### 1.2.2 Μετά το 1960

Το «Blueprint» (Tsuboi et al., 1962), η βάση για το πρόγραμμα πρόβλεψης της Ιαπωνίας, παρέθετε: «φαίνεται πολύ πιθανό ότι θα μπορούσαμε να βρούμε κάποια σημαντική συσχέτιση μεταξύ της εμφάνισης σεισμών και των παρατηρούμενων φαινομένων απλώς με τη συσσώρευση δεδομένων για αρκετά χρόνια.»

Μια Ad-Hoc Επιτροπή στις Ηνωμένες Πολιτείες (Press et al., 1965) πρότεινε μια μεγάλης κλίμακας εμπειρική αναζήτηση προδρόμων: «Είναι πιθανό ότι κάποιος βαθμός πρόβλεψης σεισμών μπορεί να επιτευχθεί με ατελή κατανόηση του φυσικού μηχανισμού (η πρόβλεψη του καιρού, της παλίρροιας και των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι παραδείγματα). Για το λόγο αυτό ένα σημαντικό πρόγραμμα «εργαλειοποίησης» σεισμικών ζωνών είναι ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό του προτεινόμενου προγράμματος. Η απόλυτη τάση θα προσδιοριστεί και οι περιφερειακές και τοπικές παραμορφώσεις, οι κλίσεις, η μικροσεισμικότητα (δηλαδή, οι στατιστικές των πολυάριθμων μικρών σεισμών) και τα βαρυτικά και μαγνητικά πεδία θα παρακολουθούνται συνεχώς σε πολλές θέσεις της σεισμικής ζώνης. Η συνοχή μεταξύ των παραλλαγών σε αυτές τις διαδικασίες θα εξεταστεί μαζί με πιθανές συσχετίσεις με την εμφάνιση μεγαλύτερων σεισμών. Υπάρχει αρκετή εμπειρία που δείχνει ότι μία ή περισσότερες από αυτές τις τεχνικές θα μπορούσαν να είναι σημαντικές σε ένα σχήμα πρόβλεψης.»

Οι Press & Brace (1966) περιέγραψαν τις προτάσεις της Ad-Hoc Επιτροπής: «Φαίνεται προφανές ότι ένα κύριο χαρακτηριστικό ενός τέτοιου προγράμματος θα ήταν η παρακολούθηση, με τη μεγαλύτερη δυνατή ευαισθησία, όλων των πιθανών δεικτών που προμηνύουν την εμφάνιση σεισμών. Δίκτυα οργάνων θα αναπτύσσονται σε σεισμικές ζώνες και θα λειτουργούν συνεχώς για μεγάλες χρονικές περιόδους με τέτοιον τρόπο ώστε να παρέχουν τη μεγαλύτερη δυνατή πιθανότητα ότι πολλοί σεισμοί θα «παγιδευθούν» εντός των συστοιχιών. Αν και αυτή είναι ουσιαστικά μια εμπειρική και κάπως σπάταλη προσέγγιση, η απουσία επιβεβαιωμένης θεωρίας για τον μηχανισμό του σεισμού το δικαιολογεί.»

Ο Κ. Μόγκι, Πρόεδρος της Επιτροπής Αξιολόγησης Σεισμών της Ιαπωνίας, είπε: «Η πρόβλεψη σεισμών είναι ένα εθνικό έργο 100 ετών. Σε μια μικρή και σεισμικά ενεργή χώρα όπως η

Ιαπωνία, δεν υπάρχει μέρος για να ξεφύγεις από τους σεισμούς. Ακόμα κι αν δεν υπάρχουν άμεσα αποτελέσματα, το πρόγραμμα πρόβλεψης σεισμών δεν πρέπει να διακοπεί.»

Μια ομάδα του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας των ΗΠΑ (Allen et al., 1976) έκανε την ακόλουθη σύσταση: «Οι Ηνωμένες Πολιτείες θα πρέπει τώρα να προβούν σε μια εθνική δέσμευση για ένα μακροπρόθεσμο πρόγραμμα με στόχο την ανάπτυξη μιας αξιόπιστης και αποτελεσματικής επιχειρησιακής ικανότητας πρόβλεψης σεισμών. Με βάση μια αξιολόγηση παγκόσμιων παρατηρήσεων και ευρημάτων τα τελευταία χρόνια, είναι ομόφωνη γνώμη της επιτροπής ότι η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής ικανότητας πρόβλεψης σεισμών είναι ένας εφικτός στόχος. Τα τελευταία χρόνια αρκετοί μεμονωμένοι σεισμοί έχουν προβλεφθεί επιτυχώς με επιστημονικά κριτήρια. Αυτά τα αποτελέσματα και άλλες μελέτες υποδεικνύουν ότι με την κατάλληλη δέσμευση και το επίπεδο προσπάθειας, η τακτική ανακοίνωση αξιόπιστων προβλέψεων μπορεί να είναι δυνατή εντός δέκα ετών σε καλά εξοπλισμένες περιοχές, αν και οι πολύ μεγάλοι σεισμοί μπορεί να παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα. Ένα πραγματικά αποτελεσματικό εθνικό πρόγραμμα θα απαιτήσει σημαντική αύξηση σε πολλές φορές της τρέχουσας ετήσιας δαπάνης για την έρευνα πρόβλεψης.

Αντίθετα, ο Jordan (1997), ο πρόεδρος μιας επιτροπής συγκρίσιμης με αυτή των Allen et al. (1976), έγραψε πρόσφατα: «... εξακολουθούμε να μην ξέρουμε πώς να απαντήσουμε στην ερώτηση, "Ποιοι τύποι σεισμών, εάν υπάρχουν, είναι βραχυπρόθεσμα προβλέψιμοι;" Τούτου λεχθέντος, δύσκολα μπορούμε να διατηρήσουμε μια αισιόδοξη στάση ως προς τη σκοπιμότητα μιας ντετερμινιστικής πρόβλεψης, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα».

### **1.2.3 Δεκαετία του '70**

Οι Alsop & Oliver (1969) έγραψαν: «Τα τελευταία χρόνια επιστήμονες σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα στην Ιαπωνία, τη Σοβιετική Ένωση, και ίσως σε μικρότερο βαθμό τις Ηνωμένες Πολιτείες, έχουν αυξήσει τις προσπάθειές τους να κατανοήσουν τον μηχανισμό του σεισμού με τους στόχους της πρόβλεψης σεισμών και ακόμη και πρόληψη ή έλεγχος σεισμών, μεταξύ άλλων. Προς το παρόν η κατάσταση είναι πολλά υποσχόμενη.»

Οι Pakiser et al. (1969), γράφοντας στο Science, ήταν αισιόδοξοι τόσο για την πρόβλεψη όσο και για τον έλεγχο των σεισμών: «Φαίνεται λογικό να ελπίζουμε ότι η πρόβλεψη μικρής εμβέλειας των σεισμών (της τάξης των ωρών ή ημερών) μπορεί να επιτευχθεί μέσω της

συνεχούς παρακολούθησης της κλίσης του εδάφους, της καταπόνησης (strain), ή με τη σεισμική δραστηριότητα και πιθανώς διακυμάνσεις στο μαγνητικό πεδίο της γης. Ωστόσο, η ικανότητα πρόβλεψης μικρής εμβέλειας δεν μπορεί να επιτευχθεί απουσία επιταχυνόμενης έρευνας για την πρόβλεψη σεισμών σύμφωνα με τις γενικές γραμμές. Μπορούμε νηφάλια να συμπεράνουμε ότι μπορεί να είναι δυνατό να αναπτυχθεί μια πρακτική μέθοδος για την τεχνητή απομάκρυνση κλειδωμένων τμημάτων ενός μεγάλου ρήγματος και να προκληθεί σταθερός ερπυσμός ή περιοδική απελευθέρωση της συσσωρευμένης ελαστικής ενέργειας παραμόρφωσης κατά μήκος του ρήγματος για την αναστολή της φυσικής συσσώρευσης επαρκούς ενέργειας που μπορεί να προκαλέσει έναν καταστροφικό σεισμό (King, 1969).»

Ο Hammond (1971) συζήτησε επίσης τις προοπτικές για τον έλεγχο των σεισμών. Η έλευση της θεωρίας των τεκτονικών πλακών αναφέρθηκε ως λόγος αισιοδοξίας σχετικά με την πρόβλεψη: «Η αισιοδοξία μας για την πιθανότητα πρόβλεψης σεισμών δεν πηγάζει από την κατασκευή κάποιου νέου οργάνου ή συστήματος που θα μας πει τον ακριβή χρόνο και τόπο κάποιου μεγάλου μελλοντικού σεισμού, αλλά μάλλον από τις εκπληκτικές εξελίξεις στη σεισμολογία και τις σχετικές επιστήμες. Η ολοένα και στενότερη σχέση μεταξύ της σεισμολογίας, της μηχανικής των πετρωμάτων και της γεωλογίας και η τεράστια πρόσφατη επίδραση που είχε η έννοια της *τεκτονικής πλακών* στις επιστήμες της γης είναι οι πραγματικές βάσεις για αισιοδοξία σχετικά με την πρόβλεψη σεισμών. Εάν οι ιδέες που περιγράφονται παραπάνω είναι βασικά σωστές (τα στοιχεία τις υποστηρίζουν), το πρόβλημα της πρόβλεψης σεισμών στην Καλιφόρνια έχει σχεδόν λυθεί, παρόλο που μπορεί να υπάρχουν μεγάλες τεχνικές και μηχανικές δυσκολίες στην εφαρμογή ενός χρήσιμου συστήματος πρόβλεψης.»

«Η πρόβλεψη σεισμών, ένας παλιός και άπιαστος στόχος των σεισμολόγων και των αστρονόμων, φαίνεται να βρίσκεται στα πρόθυρα της πρακτικής πραγματικότητας ως αποτέλεσμα των πρόσφατων προόδων στις επιστήμες της γης και των υλικών» και: «Μια ποικιλία επιπτώσεων που προαναγγέλλουν σεισμούς όπως π.χ. οι κινήσεις του φλοιού και οι ανώμαλες αλλαγές σε φαινόμενα όπως η κλίση, η πίεση του ρευστού, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, η εκπομπή ραδονίου, η συχνότητα εμφάνισης μικρών τοπικών σεισμών και η αναλογία του αριθμού των μικρών προς μεγάλες κρούσεις έχουν παρατηρηθεί πριν από διάφορους σεισμούς. Ισχυρά προγράμματα για την παρακολούθηση των προκαταρκτικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα εκείνων στην Ιαπωνία και την ΕΣΣΔ τα τελευταία 5 έως 10 χρόνια, δεν αφήνουν καμία αμφιβολία ότι αυτά τα φαινόμενα είναι αληθινά.»

Ο Brace (1975) είπε: «... η πρόβλεψη σεισμών είναι πλέον ένα πεδίο με μεγάλη επιστημονική ορμή, και όσοι εμπλέκονται είναι αισιόδοξοι όχι μόνο για πρόβλεψη αλλά και έλεγχο των σεισμών. Πρόσφατα, μάλιστα, οι Η.Π.Α. και οι Ρώσοι σεισμολόγοι έχουν προβλέψει αθόρυβα -και σωστά- αρκετούς άλλους σεισμούς. Στην Κίνα, όπου η κατανόηση των σεισμών έχει γίνει ένας σημαντικός εθνικός στόχος, δέκα σεισμοί λέγεται ότι έχουν προβλεφθεί με ακρίβεια τα τελευταία δέκα χρόνια. Πριν από δύο μεγάλους πρόσφατους σεισμούς, η κυβέρνηση εξέδωσε με αυτοπεποίθηση δημόσιες προειδοποιήσεις και εκκένωσε ευάλωτες περιοχές. Ενθαρρυσμένοι από την ταχεία πρόοδό τους στις προβλέψεις, οι επιστήμονες μιλούν ήδη για μια ακόμη πιο συναρπαστική πιθανότητα: να δαμάσουν στην πραγματικότητα τους πιο καταστροφικούς σπασμούς της γης».

#### **1.2.4 Ισχυρισμοί για χρονικές αλλαγές στην ταχύτητα**

Οι Wesson et al. (1977), μεταξύ άλλων, ισχυρίστηκαν ότι οι ταχύτητες σεισμικών κυμάτων μειώθηκαν κατά 10-20 τοις εκατό και στη συνέχεια ανακτήθηκαν, και ότι αυτή η ανάκαμψη σηματοδότησε έναν επικείμενο σεισμό. Οι Griggs et al. (1975) πρότειναν ότι η διαστολή (αύξηση του όγκου πριν από την αποτυχία-failure) θα μπορούσε να εξηγήσει τις παραπάνω αναφορές.

Οι Scholz et al. (1973) είπαν: «Η διαστολή που είναι υπεύθυνη για την ανωμαλία των ΗΠΑ που παρατηρήθηκε πριν από τους σεισμούς θα εκδηλωθεί από τη φύση της σε άλλες αλλαγές στην περιοχή πηγής, πολλές από τις οποίες μπορεί να είναι εύκολα παρατηρήσιμες. Τα τελευταία χρόνια έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για την εύρεση προδρόμων των σεισμών και έχουν παρατηρηθεί πολλά διαφορετικά φαινόμενα.» Οι Robinson et al. (1974) πρότειναν ότι «μια απότομη αύξηση» της ταχύτητας του κύματος P περίπου δύο μήνες πριν από έναν σεισμό  $M = 5,0$  Ρίχτερ οφειλόταν σε διαστολή.

Ο Whitcomb (1976) ανέφερε μια ανωμαλία της ταχύτητας κάτω από τις εγκάρσιες περιοχές στη νότια Καλιφόρνια. Αυτό αναφέρθηκε στο Science ως πρόβλεψη ενός γεγονότος με  $M = 5,5-6,5$ . Δεν συνέβη τέτοιο γεγονός. Ωστόσο, ο Scholz (1997) πρότεινε ότι η απόρριψη του μοντέλου διαστολής-διάχυσης μπορεί να ήταν πρόωρη: «... έγιναν αρκετές δοκιμές [στην Καλιφόρνια] για την ανίχνευση ενός από τους προάγγελους που προβλέπονται από τη θεωρία διαστολής-διάχυσης. Αυτές οι δοκιμές που έγιναν σε σεισμούς μεγέθους 5 βαθμών και

πραγματοποιήθηκαν, κατά την άποψή μου, είχαν μάλλον αρνητικά αποτελέσματα. Αν και δεν ήταν πολύ πειστικά, αυτά τα αποτελέσματα έγιναν δεκτά με συναίνεση ως αποτυχία τόσο της θεωρίας όσο και αυτής της συγκεκριμένης μορφής πρόδρομου σεισμού, κανένα από τα οποία δεν έχει ερευνηθεί σοβαρά έκτοτε.»

### **1.2.5 Ειδικά συνέδρια μέχρι το 2000**

Πολλά συνέδρια, με ειδικά θέματα ή ενότητες, κ.λπ., έχουν αφιερωθεί εξ ολοκλήρου ή εν μέρει στην πρόβλεψη ή στους προάγγελους. Το συνέδριο της Μόσχας του 1971, «Προάγγελοι των ισχυρών σεισμών», είχε ισχυρό αντίκτυπο. «Το εύρος του σοβιετικού προγράμματος στην έρευνα πρόβλεψης σεισμών, που δεν ήταν ευρέως γνωστό προηγουμένως, ήταν εντυπωσιακό για πολλούς που παρακολούθησαν το συνέδριο» (Jordan, 1997).

Ένα συνέδριο χρηματοδοτούμενο από την Εθνική Ακαδημία Επιστημών των ΗΠΑ, «Πρόβλεψη σεισμών: η επιστημονική πρόκληση (Knapoff et al., 1996), παρέχει ένα σημείο αναφοράς για την τρέχουσα έρευνα. Ο Πρόεδρος (Knapoff, 1996) είπε: «Είναι βέβαιο ότι τα προβλήματα της κοινωνικής απόκρισης και της μηχανικής απόκρισης στις προβλέψεις σεισμών δεν πρόκειται να λυθούν μέχρι να τεθούν υπό έλεγχο τα επιστημονικά προβλήματα. Αυτά δεν είναι πιο δύσκολα από ό,τι πριν από αρκετές δεκαετίες, μόνο σαφέστερα ορίζονται σήμερα. Αναγνωρίζουμε σήμερα ότι τα επιστημονικά προβλήματα δεν είναι απλά.»

## **1.3 Οδηγίες για εγκυρότητα πρόγνωσης**

### **1.3.1 IASPEI**

Η Υποεπιτροπή IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) για την Πρόβλεψη Σεισμών δημοσίευσε οδηγίες για τους πιθανούς προάγγελους σεισμών. Ο Πρόεδρος της Υποεπιτροπής (Wyss, 1991) δηλώνει ότι τα κύρια κριτήρια είναι:

- (1) Η παρατηρούμενη ανωμαλία πρέπει να έχει σχέση με την τάση, την ανοιγμένη παραμόρφωση ή κάποιον μηχανισμό που οδηγεί σε σεισμούς.
- (2) Η ανωμαλία θα πρέπει να παρατηρείται ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα όργανα ή σε περισσότερες από μία θέσεις.
- (3) Το πλάτος της ανωμαλίας θα πρέπει να σχετίζεται με την απόσταση από το ενδεχόμενο κύριο σοκ.



(4) Δεδομένα: Θα πρέπει να υπάρχει μια πειστική απόδειξη ότι η βαθμονόμηση του οργάνου είναι γνωστή και ότι το όργανο μετρά ένα τεκτονικό σήμα.

(5) Ανίχνευση: Οι ορισμοί των ανωμαλιών πρέπει να είναι ακριβείς.

(6) Συσχέτιση ανωμαλιών με επακόλουθους σεισμούς: Οι κανόνες για τη συσχέτιση μιας ανωμαλίας με έναν σεισμό πρέπει να αναφέρονται επακριβώς.

(7) Ο ορισμός μιας ανωμαλίας και ο κανόνας συσχέτισης θα πρέπει να προέρχονται από ένα σύνολο δεδομένων διαφορετικό από αυτό για το οποίο αξιώνεται μια πρόδρομη ανωμαλία.

Τριάντα μία (31) υποψηφιότητες προδρόμου υποβλήθηκαν στην Υποεπιτροπή. Καμία δεν ικανοποιούσε πλήρως τις κατευθυντήριες γραμμές, αλλά τρεις τοποθετήθηκαν σε έναν «προκαταρκτικό κατάλογο σημαντικών πρόδρομων σεισμών».

Ο Wyss (1991) εξήγησε: «Η τοποθέτηση ενός προδρόμου, μιας μεθόδου ή ενός ιστορικού περιπτώσεως σε αυτήν τη Λίστα δεν εγγυάται ότι η αναφερόμενη ανωμαλία ήταν στην πραγματικότητα ένας γνήσιος προάγγελος, ότι η μέθοδος λειτουργεί γενικά ή ότι το ιστορικό περιπτώσεων είναι χωρίς ελαττώματα. Μια μέθοδος περιλαμβάνεται στη Λίστα, εάν η πλειονότητα των κριτών και των συμμετεχόντων στην επιτροπή θεώρησε ότι είναι πιο πιθανό ότι η μέθοδος μπορεί να είναι χρήσιμη για την πρόβλεψη σεισμών. Ένα μεμονωμένο ιστορικό περιπτώσεων καταχωρείται στη Λίστα, εάν η πλειοψηφία θεώρησε ότι ήταν πιο πιθανό η ισχυριζόμενη ανωμαλία να ήταν πραγματική και να σχετίζεται φυσικά με τον κύριο σεισμό. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αξιολόγησης δείχνουν ότι η έρευνα πρόβλεψης σεισμών έχει ακόμη πολύ δρόμο να διανύσει για να γίνει χρήσιμη.

Μόνο τρεις υποθέσεις έγιναν δεκτές για την Προκαταρκτική Λίστα και όλες αυτές με πολλές επιφυλάξεις. Στο έργο του Matsuura (1986) προβλέπονται μόνο μετασεισμοί και αυτό δεν έχει γίνει ακόμα σε πραγματικό χρόνο. Στη σωστή πρόβλεψη του σεισμού Haicheng με βάση τους προκαταρκτικούς κραδασμούς που αναφέρθηκαν από τους Wu et al. (1978) υπήρχαν πολλοί ψευδείς συναγερμοί, αλλά το ποσοστό ψευδών συναγερμών δεν έχει αξιολογηθεί και δεν υπάρχουν μέθοδοι για την αναγνώριση των προκαταρκτικών σοκ σε πραγματικό χρόνο. Στην περίπτωση των ανωμαλιών των υπόγειων παραμένουν επίσης πολλά ερωτήματα, ειδικά ερωτήματα που αφορούν τον φυσικό μηχανισμό. Έτσι, αυτή τη στιγμή, δεν έχουμε ούτε μία μέθοδο στον Κατάλογο που θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι αποδεκτή παγκοσμίως και με

την οποία οι σεισμοί μπορούν να προβλεφθούν αξιόπιστα.»

Ο Wyss (1991) δήλωσε ότι τα στοιχεία του Προκαταρκτικού Καταλόγου δεν πρέπει να θεωρηθούν ότι έχουν εγκριθεί είτε από το IASPEI είτε από την Υποεπιτροπή και ότι δεν είναι απαραίτητα γνήσιοι προάγγελοι. Ωστόσο, η Προκαταρκτική Λίστα αναφέρεται μερικές φορές με τρόπους που μπορεί να οδηγήσουν ορισμένους αναγνώστες να συμπεράνουν ότι έχει γίνει έγκριση. Ο Aoki (1996) χαρακτήρισε τα στοιχεία της Προκαταρκτικής Λίστας ως «αναγνωρισμένα ως ουσιαστικά», «ορισμένα πρόδρομα» και «προτεινόμενα από το IASPEI».

Οι Silver & Wakita (1996) δήλωσαν: «Από σαράντα προτεινόμενους προάγγελους που εξετάστηκαν από την Υποεπιτροπή της Διεθνούς Ένωσης Σεισμολογίας και Φυσικής του Εσωτερικού της Γης (IASPEI) για την Πρόβλεψη Σεισμών, μόνο πέντε κρίθηκαν ως σημαντικοί. Από αυτά τα δύο βασίστηκαν ... σε υδρογεωχημικούς δείκτες.»

### **1.3.2 Υδρολογικοί και γεωχημικοί προάγγελοι**

Ο Turcotte (1991) σχολίασε: «Χωρίς καμία φυσική βάση για τη συσχέτιση των μεταβολών της στάθμης του νερού με τα επίπεδα τάσης, είναι δύσκολο να θεωρηθούν τέτοιες επιδράσεις ως αξιόπιστοι προάγγελοι. Ορισμένες από τις αναφορές για προκαταρκτικές εκπομπές ραδονίου προέρχονται από τοποθεσίες που απέχουν δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόμετρα από τους επόμενους σεισμούς. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να καταλάβουμε πώς το ραδόνιο μπορεί να μεταφερθεί σε αυτές τις αποστάσεις στις απαιτούμενες 10 ημέρες ή λιγότερο.»

Ο Wakita (1981) ισχυρίζεται ότι έχουν παρατηρήσει υδρολογικούς και γεωχημικούς προάγγελους του σεισμού του 1978 Izu-Oshima-Kinkai, Ιαπωνία. «Υπάρχει ένα άλλο πρόβλημα. Ακόμα κι αν ένας σεισμός έχει σαφείς προάγγελους, ο επόμενος σεισμός που συμβαίνει στην ίδια περιοχή μπορεί να μην έχει προάγγελο. Ένα παράδειγμα είναι οι περιπτώσεις του σεισμού Izu-Oshima-Kinkai του 1978 ( $M = 7,0$ ) και του σεισμού Izu-Hanto-toho-oki του 1980 ( $M = 6,7$ ) που συνέβη σχεδόν στην ίδια περιοχή με διαφορά περίπου ενάμιση έτους.

Αν και πολλοί προφανείς πρόδρομοι παράγοντες παρατηρήθηκαν για τον σεισμό Izu-Oshima-Kinkai του 1978, ουσιαστικά δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλλαγή για τον σεισμό Izu-Hanto-toho-oki του 1980. Η απουσία ανωμαλιών πριν από μεταγενέστερα γεγονότα υποδηλώνει ότι

οι παρατηρήσεις των Wakita et al. (1980) δεν σχετίζονταν αιτιολογικά με τον σεισμό του 1978.

### **1.3.3 Το φαινόμενο του Κρόνου**

Ο Gribben (1971) πρότεινε ότι οι σεισμοί συσχετίστηκαν με ηλιακές κηλίδες ή πλανητικές ευθυγραμμίσεις. Ο Gribben, μέχρι τότε μέλος του συντακτικού προσωπικού του Nature, δημοσίευσε ένα δημοφιλές βιβλίο, The Jupiter Effect (Gribben & Plagemann, 1974). Η διατριβή αυτού του βιβλίου είναι: «Μια αξιοσημείωτη αλυσίδα αποδεικτικών στοιχείων, πολλά από τα οποία είναι γνωστά για δεκαετίες αλλά ποτέ πριν δεν συνδέονταν μεταξύ τους, δείχνει το 1982 ως το έτος κατά το οποίο η περιοχή του Λος Άντζελες του ρήγματος του San Andreas θα υποβληθεί στον πιο ισχυρό σεισμό που έγινε γνωστός στις κατοικημένες περιοχές της γης αυτόν τον αιώνα. Στο τελικό σημείο αυτής της αλυσίδας, που προκαλεί άμεσα αυτή την καταστροφή, βρίσκεται μια σπάνια ευθυγράμμιση των πλανητών στο Ηλιακό Σύστημα.»

Το Λος Άντζελες δεν «υποβλήθηκε σε τεράστιο σεισμό» το 1982 (Geller, 1991).

# Κεφάλαιο 2

## Τεχνικές πρόγνωσης

### 2.1 Νεότερες έρευνες

Οι μελέτες για τα προβλήματα σεισμών στον κόσμο εντάθηκαν ιδιαίτερα από το δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα, αφού παράλληλα με τις θεωρητικές μελέτες κατέστη δυνατή η διεξαγωγή εργαστηριακών και δορυφορικών πειραμάτων υψηλού επιπέδου. Χάρη σε αυτά, έχουν αποκαλυφθεί διάφορες ανώμαλες αλλαγές των γεωφυσικών πεδίων στη λιθόσφαιρα καθώς και στην ατμόσφαιρα και την ιονόσφαιρα κατά την περίοδο προετοιμασίας του σεισμού (Biagi, 1999).

#### 2.1.1 VLF/LF

Τα γεωφυσικά πεδία που σχετίζονται με την προετοιμασία και την εμφάνιση σεισμών μπορούν υπό όρους να χωριστούν σε παράγοντες πυροδότησης σεισμών, δείκτες σεισμών και πρόδρομους σεισμούς. Επειδή το γεωφυσικό πεδίο που μελετάται από τους επιστήμονες κατά την αναζήτηση σεισμών πρέπει να εκφράζει επακριβώς το προαναφερθέν γεωλογικό μοντέλο και σε σύνδεση με αυτό θα πρέπει να περιγράφει αναλυτικά τη σύνθετη διαδικασία σχηματισμού ρηγμάτων από την αρχή των μικρορωγμών που εμφανίζονται μέχρι τον κύριο σχηματισμό ρήγματος και επαναφορά της ισορροπίας στην εστίαση.

Είναι ακριβώς ένα τέτοιο γεωφυσικό πεδίο που πρέπει να θεωρηθεί ως πρόδρομος σεισμός. Όλα τα άλλα πεδία, που εκφράζουν μόνο ποιοτικά τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο επίκεντρο και διαταράσσονται χάρη σε αυτά, μπορούν να θεωρηθούν ως δείκτες. Μελέτες έχουν δείξει ότι στην επιφάνεια της Γης κατά την περίοδο πριν έναν σεισμό παρατηρείται ακτινοβολία VLF/LF. Τις τελευταίες δεκαετίες σε ορισμένες σεισμικά ενεργές χώρες του κόσμου έχει οργανωθεί το δίκτυο ανίχνευσης ραδιοσημάτων VLF/LF.

Ο ρόλος των προαναφερθέντων δικτύων ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών είναι πολύ σημαντικός γιατί εμπλούτισε την επιστήμη με ανεκτίμητες πληροφορίες και έκανε την αναζήτηση του προβλήματος πρόγνωσης σεισμών πολύ πιο ευρεία και ολοκληρωμένη. Πειραματικές μελέτες προς την κατεύθυνση αναζήτησης της ακτινοβολίας EM VLF/LF που υπήρχε πριν από τον

σεισμό έδειξαν ότι (Tramutoli et al., 2013):

- 1) Στην περίοδο προετοιμασίας μεγάλου σεισμού, η σημειωμένη ακτινοβολία ξεκινά λίγες εβδομάδες πριν από τον σεισμό.
- 2) Για το φάσμα των υφιστάμενων ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών είναι χαρακτηριστική η επόμενη ακολουθία συχνοτήτων: MHz, KHz.
- 3) Και οι δύο αυτές εκπομπές από την αρχή μέχρι το τέλος συνοδεύονται από ακτινοβολία ULF.
- 4) Στις περισσότερες περιπτώσεις, λίγες μέρες πριν τον σεισμό, γίνεται η λεγόμενη «σιωπή» των εκπομπών. Κατά τη διάρκεια της «σιωπής» η ακτινοβολία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σχεδόν δεν υπάρχει ή μειώνεται.
- 5) Η «σιωπή» των εκπομπών HM ακολουθείται από σεισμό.

Η ύπαρξη αυτού του τύπου πεδίου VLF/LF στην περιοχή του επίκεντρου κατά την περίοδο προετοιμασίας του σεισμού και η τάση του να αλλάζει υποδηλώνει ότι (Kachakhidze et al., 2015):

- 1) Το εκπεμπόμενο σώμα των εκπομπών VLF/LF EM θα πρέπει να βρίσκεται στο επίκεντρο.
- 2) Η κανονικότητα των αλλαγών των εκπομπών VLF/LF EM στην επικεντρική περιοχή θα πρέπει να προκαλούνται από αλλαγές στο μήκος αυτού του σώματος. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις, αναπτύχθηκε το μοντέλο παραγωγής εκπομπών HM που καθορίστηκε πριν από τον σεισμό.

Στο έργο της επιστημονικής ομάδας του Kachakhidze et al. (2019), η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που υπάρχει κατά την περίοδο προετοιμασίας του σεισμού συνδέεται αναλυτικά με το μήκος του ρήγματος που προέρχεται από την εστία του εισερχόμενου σεισμού (1):

$$l = \beta \frac{c}{\omega}$$

όπου  $\omega$  είναι η συχνότητα των υφιστάμενων ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών,  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,  $\beta$  είναι ο χαρακτηριστικός συντελεστής του γεωλογικού μέσου (ισούται περίπου με 1).

Με βάση αυτή την εργασία δημιουργήθηκαν οι θεωρητικές μέθοδοι πρόβλεψης σεισμών. Τα σχετικά αποτελέσματα αναφέρθηκαν στη συνέλευση της EGU το 2016. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, η θεωρία που δημιουργήθηκε βασίζεται στην ανάλυση των συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που υπάρχουν στην περίοδο προετοιμασίας του σεισμού. Επειδή το δίκτυο INFREP καθορίζει κάθε λεπτό πλάτη 10 διαφορετικών συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με βάση τα δεδομένα INFREP, υπολογίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν κάθε λεπτό αριθμητικές τιμές συχνότητας που μετασχηματίστηκαν από την κανονική κατανομή του Gauss (Kachakhidze, 2019).

### **2.1.2 Διαχωρισμός του Ενεργού Διαύλου**

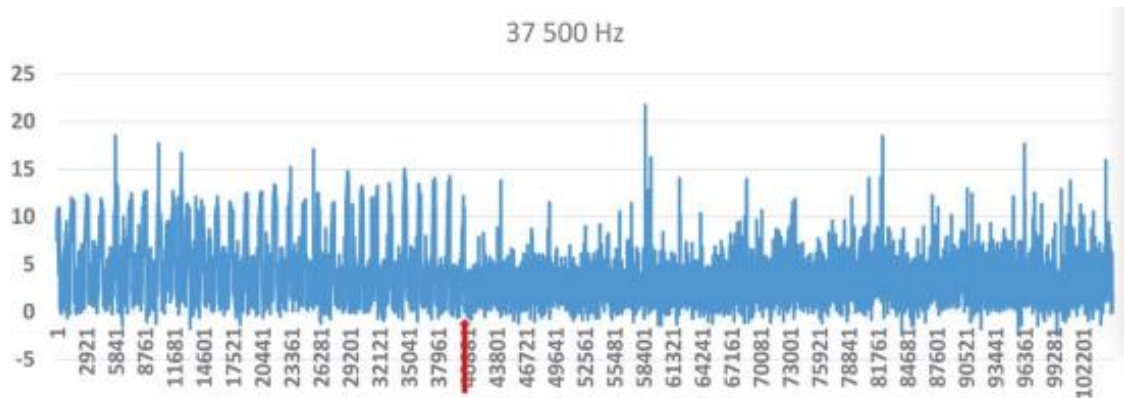
Για την πιθανή προβλεψιμότητα των μεγάλων σεισμών, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες για σεισμό στην Κρήτη με  $M = 5,6$  (25/05/2016, 08:36:13 UTC) για την περίοδο 04.04.00:00-16.06.23:59:00 (73 ημέρες). Ως γνωστόν, η ασταθής διαδικασία σχηματισμού ρηγμάτων είναι σημαντικό στάδιο στην περίοδο προετοιμασίας του σεισμού. Η ασταθής διαδικασία κατολισθήσεων («χιονοστιβάδων» avalanches - όρος που βρίσκεται σε αναλογία με το μοντέλο σωρού άμμου που ακολουθεί νόμο δύναμης) είναι ακριβώς η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιούνται στο επίκεντρο οι σημαντικές αλλαγές των γεωφυσικών πεδίων.

Λόγω του συστήματος σύζευξης LAI (λιθόσφαιρα-ατμόσφαιρα-ιονόσφαιρα), αυτές οι αλλαγές αποκαλύπτονται ως προάγγελοι σεισμού ή δείκτες στην επιφάνεια της γης, την ατμόσφαιρα και την ιονόσφαιρα. Η διάρκεια της διαδικασίας χιονοστιβάδας σχηματισμού ρηγμάτων ποικίλλει κυρίως από 10-14 ημέρες έως 1 μήνα πριν από τον σεισμό και εξαρτάται από τις γεωλογικές ιδιαιτερότητες της περιοχής.

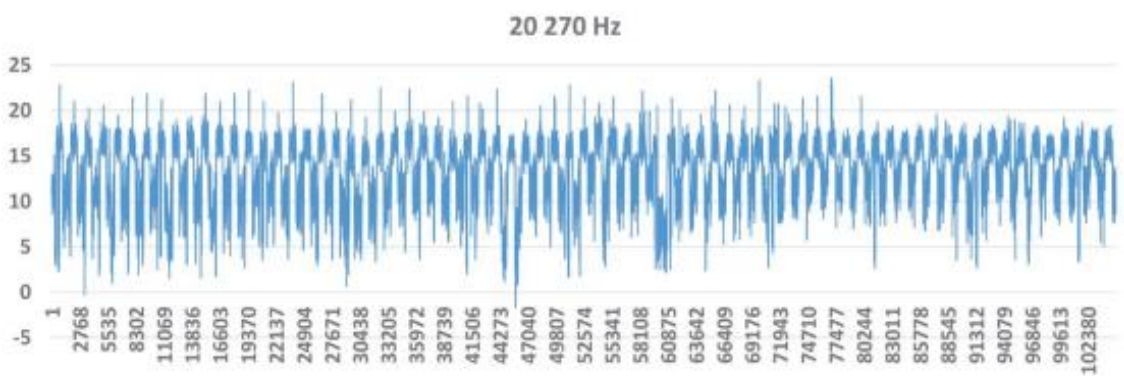
Σύμφωνα με τη θεωρία των Kachakhidze et al. (2019), η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ο κύριος προάγγελος του σεισμού. Επομένως, η διαδικασία προετοιμασίας του σεισμού θα πρέπει να αντικατοπτρίζεται στα αρχεία INFREP. Επειδή ερεύνησαν τον σεισμό της Κρήτης με βάση αναδρομικά δεδομένα, είχαν την ευκαιρία να μελετήσουν την πλήρη εικόνα της προετοιμασίας του σεισμού κατά την περίοδο που εξετάστηκε.

Για την εξεταζόμενη περίοδο, γραφήματα πλάτους και συχνότητες έχουν δημιουργηθεί ξεχωριστά για όλους τους διαύλους του δέκτη. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα γραφήματα για αυτές τις δύο παραμέτρους είναι αναμφισβήτητα πανομοιότυπα, επειδή αντιπροσωπεύουν τα

γραφήματα πλάτους για δύο ισχυρά κανάλια: F (37.500 Hz) και C (20.270 Hz) (Σχήμα 2.1, 2.2, \* Η ροπή του σεισμού σημειώνεται με το ερυθρό βέλος).



**Σχήμα 2.1:** Γραφήματα πλάτους και συχνότητας στον διάλυλο F (Πηγή: Kachakhidze et al., 2019).

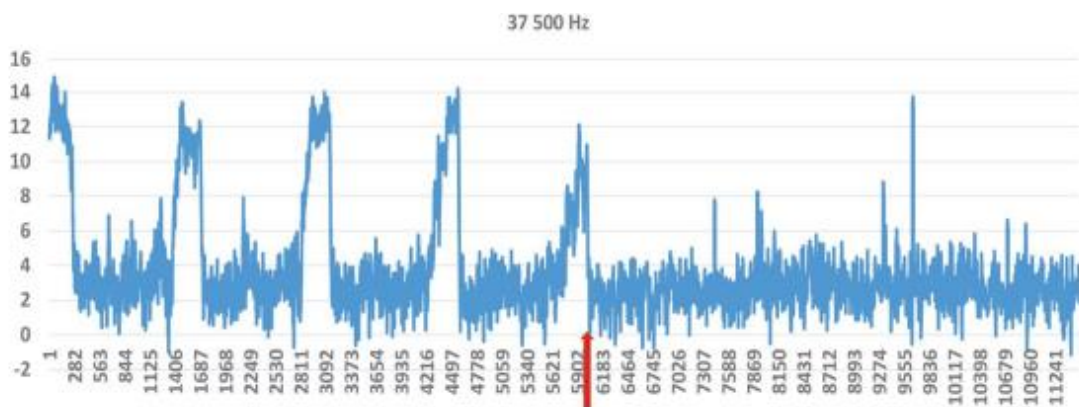


**Σχήμα 2.2:** Γραφήματα πλάτους και συχνότητας στον διάλυλο C (Πηγή: Kachakhidze et al., 2019).

Με τη μελέτη των γραφημάτων εντόπισαν το γενικό χαρακτηριστικό τους γνώρισμα και στους 10 διαύλους, εκτός από τον F (37.500 Hz), κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, όπου οι ημερήσιες περιοδικές διακυμάνσεις εκφράζονται ξεκάθαρα. Τέτοιες διακυμάνσεις έχουν και στις εγγραφές του διαύλου F, αλλά μέχρι κάποια περίοδο, συγκεκριμένα, μέχρι τις 02.05, μετά την οποία ξεκινά η ανώμαλη διαδικασία, υποδεικνύοντας ότι η ασταθής διαδικασία avalanche σχηματισμού ρήγματος ξεκίνησε ήδη στην περίοδο προετοιμασίας του σεισμού.

Για να κάνουν πιο ορατές τις τρέχουσες διαδικασίες, επιπλέον δημιούργησαν γραφήματα πολλών ημερών και για τα δεδομένα των 10 διαύλων. Το Σχήμα 2.3 και το 2.4 δείχνουν τα γραφήματα των δεδομένων ακριβώς 8 ημερών που αποτελούνται από τη στιγμή έναρξης της

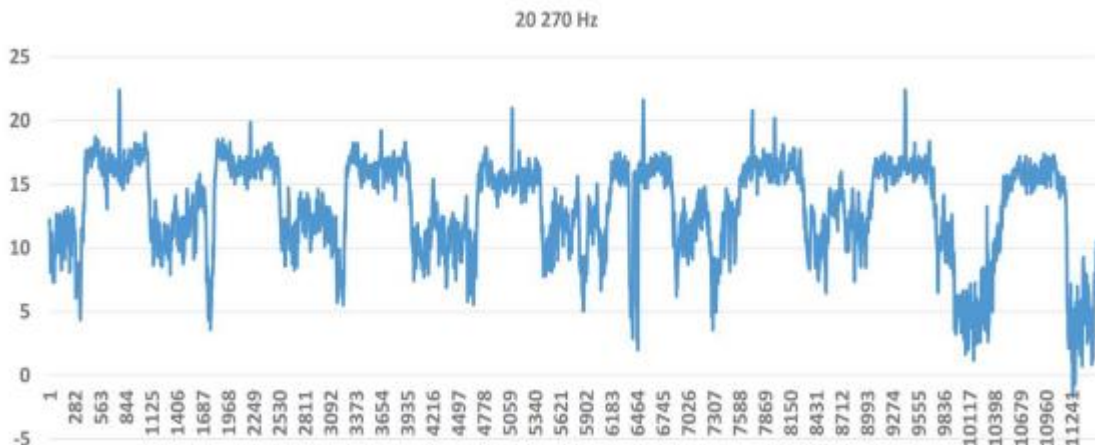
ασταθούς διαδικασίας *avalanche* στους ίδιους διαύλους των 37.500 Hz και 20.270 Hz. Η γενική ανάλυση των γραφημάτων 8 ημερών έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου προετοιμασίας του μεγάλου σεισμού, δεν μπορεί κάθε διάυλος, μεταξύ αυτών και ο ισχυρός, να «δώσει» τη διαδικασία προετοιμασίας του σεισμού. Θα πρέπει να υποτεθεί ότι αυτή η διαδικασία αντανάκλαται στον διάυλο, στην περίπτωσή μας τον «ενεργό» διάυλο F (37.500 Hz), στον οποίο εκφράζονται τα στάδια της διαδικασίας χιονοστιβάδας σχηματισμού ρήγματος και με βάση τα δεδομένα του οποίου θα πρέπει να εξαχθούν προβλέψιμα συμπεράσματα στο μέλλον.



**Σχήμα 2.3:** Γραφήματα δεδομένων 8 ημερών στον διάυλο F (Πηγή: Kachakhidze et al., 2019).

Επειδή ο στόχος τους είναι να βρουν μεθόδους πρόβλεψης μεγάλων σεισμών (στο παράδειγμα του σεισμού της Κρήτης), χρησιμοποίησανε δεδομένα μόνο των λεγόμενων «ισχυρών» διαύλων. Όπως φαίνεται παραπάνω, ο «ενεργός» διάυλος F (37.500 Hz) ανιχνεύθηκε αναλύοντας τα πλήρη αναδρομικά δεδομένα 73 ημερών. Ωστόσο, στην περίπτωση της διαδικασίας παρακολούθησης του σεισμού, όταν τα συμπεράσματα θα πρέπει να γίνουν εκ των προτέρων, πριν από τον σεισμό, είναι προφανές ότι μια τέτοια προσέγγιση δεν θα λειτουργήσει.





**Σχήμα 2.4:** Γραφήματα δεδομένων 8 ημερών στον διάυλο C  
(Πηγή: Kachakhidze et al., 2019).

Εάν οποιοσδήποτε διάυλος συχνότητας αντανακλά πραγματικά την προετοιμασία του σεισμού, είναι φυσικό η σχετική γεωλογική διαδικασία να αντανακλάται στα δεδομένα συχνότητας, καθώς υπάρχει μια αναλυτική σύνδεση μεταξύ της συχνότητας της ακτινοβολίας EM και του μήκους του ρήγματος στην εστία του σεισμού. Για τον λόγο αυτό, υπολόγισαν χωριστά τα συνολικά μήκη κάθε λεπτού ρωγμών που αντιστοιχούν στους διαύλους συχνότητας C-G προς το μήκος που σχετίζεται με τη βασική συχνότητα διαύλου.

Αποδείχθηκε ότι ο διάυλος F (37.500 Hz) είναι πιο ενεργός και ο διάυλος G (45.900 Hz) είναι λιγότερο ενεργός στη διαδικασία προετοιμασίας του σεισμού, καθώς η μέση ημερήσια τιμή των συνολικών μηκών των ρωγμών (σε ποσοστά) ήταν η μέγιστη γι' αυτούς τους δύο διαύλους. Αυτό σημαίνει ότι από τους 5 διαύλους που συζητήθηκαν, μόνο δύο, με τις προαναφερθείσες συχνότητες, περιέγραψαν τη διαδικασία προετοιμασίας του σεισμού.

Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος του εισερχόμενου σεισμού θα πρέπει να είναι μεταξύ 5,5 και 5,7 Ρίχτερ (το μέγεθος του σεισμού της Κρήτης υπολογίζεται πραγματικά ως  $M = 5,6$ ). Έτσι, σε περίπτωση σεισμού στην Κρήτη, περίπου 50 ημέρες πριν από τον σεισμό, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η ενεργή «λωρίδα του ρήγματος» στην οποία σχηματίζεται το κύριο ρήγμα στο μέλλον και εμφανίζεται ο σεισμός.

Αυτή η μέθοδος αποκάλυψης του ενεργού διαύλου θα είναι κατάλληλη για την

παρακολούθηση της διαδικασίας προετοιμασίας του σεισμού, επειδή ένα τέτοιο πλεονέκτημα συνολικού μήκους ρωγμών εμφανίζεται μόλις από τις πρώτες καταγραφές. Κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης, βήμα προς βήμα, υπάρχει επίσης η δυνατότητα να ελεγχθεί ξανά το ληφθέν αποτέλεσμα, στον ενεργό διάυλο, πριν από τον σεισμό, η διαδικασία *avalanche* σχηματισμού ρήγματος που περιγράφεται από το γεωλογικό μοντέλο θα πρέπει να εμφανίζεται στα δεδομένα συχνότητας.

Εφόσον, στην περίπτωση του σεισμού που συζητήθηκε, μόνον ο διάυλος συχνότητας F (37.500 Hz) εκπληρώνει και τις δύο προϋποθέσεις: γι' αυτόν τον διάυλο η μέση ημερήσια τιμή των συνολικών μηκών των ρωγμών είναι μέγιστη επί τοις εκατό και μια διαδικασία σχηματισμού ρήγματος *avalanche* εμφανίζεται μόνο στον διάυλο F (37.500 Hz).

Προφανώς, για να προβλέψουμε τον σεισμό, πρέπει να βασιστούμε μόνο στα δεδομένα αυτού του διαύλου. Στην περίπτωση του συζητούμενου σεισμού, αναμένεται να σχηματιστεί το κύριο ρήγμα με μήκος κατάλληλο για συχνότητα F (37.500 Hz). Σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο (1), το αναμενόμενο μήκος του κύριου ρήγματος θα πρέπει να είναι 8000 μέτρα, αλλά σε περίπτωση παρακολούθησης, είναι δυνατή η προσαρμογή αυτής της αριθμητικής τιμής σύμφωνα με τις σημαντικές συχνότητες. Η γνώση του μήκους του κύριου ρήγματος μάς επιτρέπει να προσδιορίσουμε εκ των προτέρων το μέγεθος του εισερχόμενου σεισμού, περίπου 50 ημέρες πριν από τον σεισμό.

## **2.2 Μέθοδος BAN**

### **2.2.1 Εισαγωγή και κριτική**

Ο Π. Βαρώτσος και οι συνεργάτες του (η ομάδα «BAN») ισχυρίζονται ότι μπορούν να προβλέψουν τους σεισμούς στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας γεωηλεκτρικές παρατηρήσεις (Varotsos et al., 1996). Ωστόσο, ο Stiros (1997) επεσήμανε ότι το έργο του VAN δεν αποτελεί μέρος της εθνικής πολιτικής και φαίνεται αβάσιμο από την άποψη της τεκτονοφυσικής. Οι Gruszow et al. (1996) έδειξε ότι ορισμένα ηλεκτρικά σήματα που ισχυρίζονται ως πρόδρομοι από το VAN ήταν τεχνουργήματα. Οι Bernard et al. (1997) καταλήγουν επίσης στο συμπέρασμα ότι οι πηγές βρίσκονταν κοντά στο παρατηρητήριο και όχι στα επίκεντρα, τα οποία βρίσκονταν σε αποστάσεις άνω των 100 km. Δεν φαίνεται να υπάρχει πειστική απόδειξη ότι οποιοδήποτε από τα ηλεκτρικά σήματα που παρατηρούνται από το VAN είναι πρόδρομοι σεισμοί.

Ο Βαρώτσος διατύπωσε έναν σημαντικό ισχυρισμό, ότι «κάθε σημαντικού σεισμού προηγείται ένα σεισμο-ηλεκτρικό σήμα, και αντιστρόφως κάθε τέτοιο σήμα ακολουθεί πάντα ένας σεισμός, το μέγεθος και το επίκεντρο του οποίου μπορούν να προβλεφθούν αξιόπιστα». Οι υποστηρικτές του ισχυρίστηκαν ότι πέτυχαν μια σειρά από αξιοσημείωτες επιτυχίες, και ως αποτέλεσμα είχαν ένα ολόκληρο τεύχος περιοδικού αφιερωμένο σε αυτούς (Tectonophysics, 1993).

Αυτή η μέθοδος, η οποία έχει μεγάλο αριθμό συμπαθούντων, έχει επίσης μια τεράστια ποικιλία σκεπτικιστών. Ο Geller (1996) προτείνει ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τη μέθοδο VAN δεν είναι στατιστικά σημαντικά.

### **2.2.2 Μεθοδολογία**

Η μέθοδος BAN (όπως αυτή περιγράφεται στο: Geller, 1999) χρησιμοποιεί μια σειρά από αγωγία σύρματα και ηλεκτρόδια, τα οποία είναι θαμμένα υπόγεια. Αυτά τα καλώδια, και οι διαφορές δυναμικού, που παράγονται, παρακολουθούνται στη συνέχεια σε έναν αριθμό μόνιμων σταθμών παρακολούθησης.

Η υπόθεση των Βαρώτσος κ.ά., δηλώνει ότι εάν ανιχνευτεί μια παροδική αλλαγή ή διαταραχή στο ηλεκτρικό πεδίο από έναν ή περισσότερους από τους σταθμούς παρακολούθησης κι εάν αυτό το σήμα είναι μεγαλύτερο από το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος, τότε αυτό μπορεί να είναι προάγγελος ενός μεγάλου σεισμού.

Ένα σήμα ορίζεται ως μια παροδική αλλαγή, AV, στη διαφορά δυναμικού που καταγράφεται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια χωρίζονται σε μικρή απόσταση. Πολλές ώρες πριν συμβεί ένας σεισμός, ένα σήμα, όπως ορίζεται παραπάνω, καταγράφεται από τη συσκευή. Αυτή η διακύμανση έχει μια πεπερασμένη διάρκεια, μήκους  $x$ , πριν η τάση ανακτήσει την αρχική της τιμή. Εάν αυτά τα σήματα είναι αρκετά μεγάλα και μπορούν να διακριθούν από τον συνηθισμένο θόρυβο του περιβάλλοντος, τότε θα συμβεί σεισμός εντός της περιοχής ευαισθησίας του σταθμού και μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται χρόνος παράδοσης.

Η μέθοδος χρησιμοποιεί την προηγούμενη εμπειρία για την πρόβλεψη του σεισμού, με τα

μεγέθη των σεισμών που προβλέπονται να είναι  $M > 5,0$ . Κάθε πρόβλεψη προβλέπει το επίκεντρο και το μέγεθος του επικείμενου σεισμού καθώς και ένα χρονικό παράθυρο εντός του οποίου αναμένεται ο σεισμός.

### 2.2.3 Συσκευές

Η μέθοδος BAN χρησιμοποιεί ένα ζεύγος μη πολωμένων ηλεκτροδίων μολύβδου/χλωριδίου μολύβδου (Pb/PbCl<sub>2</sub>), αν κι έχουν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως ηλεκτρόδια χαλκού ή ορείχαλκου. Τα ηλεκτρόδια μολύβδου έχουν επιλεγεί λόγω του χαμηλού θορύβου και της μακροχρόνιας σταθερότητάς τους. Το ηλεκτρόδιο μολύβδου περιβάλλεται από μια μάζα που δημιουργείται από την ανάμιξη ενός διαλύματος χλωριούχου μολύβδου. Στη συνέχεια, το ηλεκτρόδιο στερεώνεται στην οπή βάζοντας ένα επιπλέον κονίαμα από γύψο. Τα ηλεκτρόδια είναι θαμμένα στη γη σε βάθος 2 μέτρων.

Έχει σημειωθεί ότι ο θόρυβος που παράγεται από διαφορετικούς τύπους ηλεκτροδίων μπορεί να ποικίλλει. Τα ηλεκτρόδια χωρίζονται με απόσταση,  $L$ , μεταξύ 30 και 200 μέτρων (Varotsos & Lazaridou, 1999). Το ηλεκτρικό πεδίο προσδιορίζεται με τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ αυτών των δύο ηλεκτροδίων. Χρειαζόμαστε τουλάχιστον δύο κάθετες γραμμές για τον προσδιορισμό του ηλεκτρικού πεδίου σε έναν συγκεκριμένο σταθμό. Στο πείραμα BAN, σε κάθε σταθμό, μια γραμμή ήταν προσανατολισμένη στην κατεύθυνση Ανατολή - Δύση, ενώ μια άλλη στην κατεύθυνση Βορρά - Νότου.

Η διαφορά δυναμικού,  $V$ , μετράται μετά από ενίσχυση και φιλτράρισμα συχνοτήτων άνω των 0,3 Hz. Τα ληφθέντα αποτελέσματα εμφανίζονται σε συσκευή εγγραφής λωρίδων. Η θέση ενός συγκεκριμένου σταθμού εγγραφής είναι ζωτικής σημασίας, καθώς θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την ποσότητα του «θορύβου» στο κύκλωμα (Varotsos et al., 1996).

### 2.2.4 Επιλεκτικότητα

Μια αμφιλεγόμενη πτυχή της μεθόδου VAN είναι η «επιλεκτικότητα». Αυτό επιτρέπει μια εύκολη εξήγηση εάν υπάρχει αποτυχία αναγνώρισης ή πρόβλεψης ενός σεισμού. Δεδομένου ενός συγκεκριμένου σταθμού παρακολούθησης, SA, που βρίσκεται στη θέση A, αυτός ο σταθμός μπορεί να ανιχνεύει SES από τη σεισμική περιοχή B, αλλά όχι από την περιοχή C, ακόμα κι αν η απόσταση AC είναι μικρότερη από την AB. Ο Βαρώτσος (1996) δηλώνει επίσης ότι αυτή η «επιλεκτικότητα» δεν είναι αναστρέψιμη και ότι, παρόλο που η SA μπορεί να

καταγράφει συμβάντα στο B, ένας σταθμός στο B μπορεί να μην μπορεί να καταγράφει σήματα στο A. Ο Βαρώτσος προχωρά ακόμα παραπέρα, και δηλώνει ότι ακόμη και αν και τα 3 σημεία βρίσκονται σε μια ευθεία γραμμή, τότε ο σταθμός SA μπορεί να καταγράφει σήματα από το B, αλλά όχι από το C. Αυτό ισχυρίζεται συμβαίνει γιατί η επιλεκτικότητα δεν είναι μόνο ένα κατευθυντικό φαινόμενο, αλλά εξαρτάται από άλλους παράγοντες. Αυτή η επιλεκτικότητα εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες της διαδρομής μεταξύ της τοποθεσίας του SES και του σταθμού παρακολούθησης. Για παράδειγμα, ισχυρίζεται ότι η αγωγιμότητα της Γης μεταξύ των δύο θέσεων καθορίζει αν θα λάβουμε σήμα.

Ο Βαρώτσος ισχυρίζεται επίσης ότι η πηγή του σήματος επηρεάζει την ανιχνευσιμότητα του σήματος. Για παράδειγμα, οι κατευθυντικές ιδιότητες του εκπεμπόμενου ρεύματος επηρεάζουν την ανίχνευση. Ισχυρίζεται επίσης ότι τυχόν ανομοιογένειες στον φλοιό της γης στην περιοχή του σταθμού καταγραφής έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές τιμές αντίστασης κατά μήκος διαφόρων αζιμουθίων, και θα καθορίσουν εάν μπορούμε ή όχι να ανιχνεύσουμε ένα σεισμικό ηλεκτρικό κύμα.

Σε μια έντονα ανομοιογενή περιοχή, υπάρχουν «ευαίσθητες τοποθεσίες», δηλαδή μικρές υποπεριοχές που ενισχύουν το σήμα. Αυτή η τοπική επίδραση υπερτίθεται στα τοπικά χαρακτηριστικά. Ο Βαρώτσος κάνει έναν τελευταίο ισχυρισμό σχετικά με αυτή την επιλεκτικότητα. Προτείνει ότι από τη στιγμή που ένας σταθμός έχει αποδειχθεί ότι είναι ευαίσθητος σε μια συγκεκριμένη σεισμική περιοχή, τότε θα είναι ευαίσθητος σε όλα τα μελλοντικά γεγονότα σε αυτήν την περιοχή.

Ο Utada (1993) δίνει μια πιθανή εξήγηση του φαινομένου της επιλεκτικότητας. Το μοντέλο απαιτεί να υπάρχει μια επίπεδη διαδρομή μεταξύ της περιοχής πηγής και της ευαίσθητης θέσης παρακολούθησης, μέσω της οποίας μπορεί να κινείται το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η διαδρομή πρέπει να έχει υψηλότερη αγωγιμότητα από το περιβάλλον, γεγονός που επιτρέπει τη συγκέντρωση του ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτή τη διαδρομή. Εάν υπάρχει μια ανωμαλία υψηλής αντίστασης σε αυτό το μονοπάτι, τότε το ηλεκτρικό πεδίο θα ενισχυθεί περαιτέρω εδώ, και αυτή θα είναι η ευαίσθητη περιοχή μας. Αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει και τις 3 ιδιότητες που υποθέτει ο Βαρώτσος.

### 2.2.5 Αποτελέσματα κι ελλείψεις

Ο Βαρότσος (1996) δεν ανέφερε τους σεισμούς τους οποίους δεν «προέβλεψαν». Υπάρχει ένας αριθμός σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο των 5 βαθμών για τους οποίους δεν έλαβαν σεισμικά ηλεκτρικά σήματα ως προάγγελους. Για παράδειγμα, ένας σεισμός με  $M = 5,8$  σημειώθηκε στις 19 Μαρτίου 1989, με επίκεντρο  $39,3^\circ \text{ B}, 23,6^\circ \text{ A}$ . Απέτυχαν να θεωρήσουν αυτούς τους απρόβλεπτους σεισμούς και δεν φάνηκαν να θεωρούν αυτά τα «χαμένα» γεγονότα ως σημαντικά ή να πιστεύουν ότι μείωσαν την αξιοπιστία της μεθόδου πρόβλεψης (Geller, 1997).

Επίσης, σε πολλές από τις προβλέψεις που εκδόθηκαν από το BAN υπήρχαν δύο πιθανές λύσεις για κάθε σήμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εκδοθούν δύο προβλέψεις για πολλά από τα σήματα, με μία πρόβλεψη να θεωρείται η κύρια. Αυτές οι «διπλές» προβλέψεις θα αυξήσουν σαφώς την πιθανότητα σωστής πρόβλεψης του σεισμού.

Ως γνωστόν, οι σεισμοί δεν συμβαίνουν παντού, αλλά συγκεντρώνονται κυρίως κατά μήκος ρηγμάτων. Επομένως, υπάρχει μια σειρά από περιοχές όπου η πιθανότητα εμφάνισης σεισμού είναι σχετικά υψηλή. Με την πρόβλεψη δύο επικεντρικών τοποθεσιών, σε αυτές τις «ενεργές» περιοχές, οι πιθανότητες επιτυχίας μπορούν να αυξηθούν σημαντικά (Geller, 1997).

Επομένως, η στατιστική σημασία αυτών των πολλαπλών προβλέψεων πρέπει να αμφισβητηθεί. Πράγματι, εάν έχουμε μια διπλή πρόβλεψη που προβλέπει έναν σεισμό, θα πρέπει να τις αντιμετωπίσουμε ξεχωριστά ως δύο διαφορετικές προβλέψεις. Θα πρέπει να μετρήσουμε τη μία από αυτές ως σωστή και την άλλη ως λανθασμένη, όταν πραγματοποιούμε τη στατιστική μας αξιολόγηση. Αμέσως, αυτό μειώνει δραστικά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου του Βαρότσου (Geller, 1997).

Η σεισμικότητα στην Ελλάδα είναι σχετικά υψηλή και όπως αναφέρθηκε παραπάνω γνωρίζουμε ότι οι σεισμοί τείνουν να συμβαίνουν σε επίπεδα ρηγμάτων. Αυτοί οι δύο παράγοντες υποδηλώνουν ότι απλώς επιλέγοντας μια εξαιρετικά ενεργή περιοχή σε ένα επίπεδο ρήγματος και προβλέποντας έναν σεισμό σε αυτό το σημείο, έχουμε μια λογική πιθανότητα να προβλέψουμε το συμβάν. Αυτό που πρέπει να ληφθεί υπόψη δεν είναι μόνον ο αριθμός των σωστών προβλέψεων, αλλά ο αριθμός των προβλέψεων πέρα από την τύχη.

Στην ανάλυσή του, ο Βαρώτσος αδυνατεί να το λάβει υπόψη του, ισχυριζόμενος απλώς ότι αν προβλέψει σωστά το γεγονός, τότε πρέπει να είναι αποτέλεσμα της μεθόδου του. Στους Mulargia & Gasperini (1992), αυτά τα θέματα συζητούνται πληρέστερα, αν και η ανάλυσή τους έχει αποδειχθεί σχεδόν τόσο αμφιλεγόμενη όσο και η ίδια η μέθοδος BAN.

## **2.3 Άλλες περιπτώσεις**

### **2.3.1 Κύματα VLF**

Το Omega είναι ένα σύστημα ραδιοπλοήγησης στη ζώνη 10-15 kHz. Όπως εξηγήθηκε από τον Michael (1996): «Έχει προταθεί ότι οι ανωμαλίες φάσης στη διάδοση των ραδιοφωνικών σημάτων VLF που εκπέμπονται από το σύστημα Omega των ΗΠΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη σεισμών. Αυτή η ιδέα από τον A.P. Reuton, μέλος της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών, έχει προταθεί για περαιτέρω εργασία σε αυτό το θέμα, ως κοινό έργο ΗΠΑ-Ρωσίας υπό την αιγίδα της Περιβαλλοντικής Ομάδας Εργασίας της Επιτροπής Gore-Chernomyrdian (Gokhberg et al., 1995) που ισχυρίστηκε ότι τέτοιες παραλλαγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη σεισμών. Ισχυρίστηκαν ότι έχουν παρατηρηθεί περισσότερες από 250 παραλλαγές πριν από σεισμούς μεγέθους 4 Ρίχτερ, σε αποστάσεις έως και αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων από τη διαδρομή του μεγάλου κύκλου μεταξύ πομπού και δέκτη. Λαμβάνεται μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ της εμφάνισης του σεισμού και των διακυμάνσεων του πλάτους και της φάσης από ό,τι για την τυχαία εμφάνιση σεισμού Poissonian. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι σεισμοί είναι ομαδοποιημένοι, μια τέτοια μηδενική υπόθεση είναι ακατάλληλη (Michael, 1996; 1997). Ο Michael κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι ανωμαλίες πιθανότατα δεν είναι πρόδρομοι σεισμού.

### **2.3.2 Izu-Oshima-Kinkai, Ιαπωνία 1978**

Τον Ιανουάριο του 1978 έλαβε χώρα έντονη ακολουθία μικροσεισμών κοντά στη χερσόνησο Izu της Ιαπωνίας. Μετά από 18 αισθητούς σεισμούς ( $M = 4,9$ ) σε τρεις ώρες, η Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (JMA) εξέδωσε μια ανακοίνωση: «Τα σημερινά γεγονότα σμήνους (swarm), τα οποία είναι κάπως μεγαλύτερα από τα τυπικά γεγονότα σμήνους, είναι τα μεγαλύτερα από τα γεγονότα του 1964 που προκάλεσαν μια μικρή ζημιά. Επειδή υπάρχει πιθανότητα ο σεισμός (ή οι σεισμοί) του παρόντος σμήνους να προκαλέσει ζημιά, μπορείτε να εξετάσετε το ενδεχόμενο να λάβετε προφυλάξεις» (μετάφραση από τα Ιαπωνικά: Geller, 1991). Καθώς η παραπάνω δήλωση δεν κάνει καμία αναφορά στον χρόνο, τον τόπο ή το μέγεθος ενός πιθανού μελλοντικού σεισμού, δεν αποτελεί πρόβλεψη σεισμού.

Περίπου 90 λεπτά μετά την έκδοση της δήλωσης, ένας σεισμός  $M = 7,0$  (ο σεισμός Izu-Oshima-Kinkai, 14 Ιανουαρίου 1978) σημειώθηκε κοντά. Η JMA δεν ισχυρίστηκε και δεν διεκδικεί μια «επιτυχή πρόβλεψη». Ο Hamada (1991) ισχυρίστηκε λανθασμένα ότι: «Μερικοί σεισμοί έχουν πράγματι προβλεφθεί με επιτυχία. Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη για τον σεισμό  $M = 7,0$  Izu-Oshima το 1978 εκδόθηκε από την Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία 1,5 ώρα πριν από το γεγονός».

Ο Geller (1991) παρουσίασε την παραπάνω μετάφραση για να αποδείξει ότι ο ισχυρισμός του Hamada ήταν ψευδής. Ο εσφαλμένος ισχυρισμός για μια «επιτυχή πρόβλεψη» του γεγονότος του 1978 επαναλήφθηκε από τους Roeloffs & Langbein (1994), οι οποίοι δήλωσαν: «Η έρευνα για την πρόβλεψη σεισμών φαινόταν στα πρόθυρα μιας σημαντικής ανακάλυψης το 1975, όταν Κινέζοι σεισμολόγοι ειδοποίησαν επιτυχώς την πόλη Haicheng για έναν επικείμενο σεισμό 7,3 Ρίχτερ.

«Δημόσιες προειδοποιήσεις επιτεύχθηκαν επίσης στο παρελθόν ... ο σεισμός του 1978 Izu-Oshima, Ιαπωνία» (N. Nishide, προφορική επικοινωνία, 1992). Η δήλωση JMA αναφερόταν σε ένα σμήνος γεγονότων με  $M = 5$ . Είναι ακατάλληλο να ισχυριστεί κανείς αυτό ως δημόσια προειδοποίηση για ένα συμβάν με  $M = 7,0$ . Η παραπληροφόρηση διαδόθηκε περαιτέρω από το Office of Technology Assessment (1995, σελ. 62) του Κογκρέσου των ΗΠΑ, το οποίο δήλωσε ότι «Στην Ιαπωνία επιτεύχθηκε δημόσια προειδοποίηση για τον σεισμό Izu-Oshima του 1978 ( $M7$ )», επικαλούμενος τους Roeloffs & Langbein (1994) ως πηγή.

### **2.3.3 Σεισμός TOKAI**

Οι προβλέψεις «Tokai» και «Parkfield» βασίστηκαν στην έννοια του «χαρακτηριστικού σεισμού». Ο Aki (1989) είπε: «Μπορούμε να συγκρίνουμε την πρόβλεψη σεισμού με την πρόβλεψη του θανάτου ενός ατόμου. Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη είναι συγκρίσιμη με την εκτίμηση του προσδόκιμου ζωής για ένα άτομο μιας ορισμένης ηλικίας. Για το σκοπό αυτό, πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε έναν χαρακτηριστικό σεισμό που σχετίζεται με ένα δεδομένο τμήμα ρήγματος και να προσδιορίσουμε τη στατιστική κατανομή του χρόνου επανάληψης του χαρακτηριστικού σεισμού με παλαιοσεισμολογικές μελέτες παλαιότερων σεισμών. Τα συμπτώματα του θανάτου θα μπορούσαν εύκολα να εντοπιστούν λίγο πριν από το θάνατο ενός ατόμου, αλλά θα ήταν δύσκολο να διαγνωστούν πολύ πριν από τη στιγμή του θανάτου. Έτσι,



η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη είναι ευκολότερη από την ενδιάμεση πρόβλεψη».

Ο Aki (1995) είπε επίσης ότι: «Μόλις εντοπιστεί ένας χαρακτηριστικός σεισμός για ένα δεδομένο τμήμα ρήγματος, γίνεται ένα άτομο, όπως ένας άνθρωπος, στο οποίο το προσδόκιμο ζωής σε μια ορισμένη ηλικία μπορεί να αξιολογηθεί και να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του ασφάλιστρου για την ασφάλιση ζωής». Αυτή η παρομοίωση φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με τα γεγονότα.

Οι Davis et al. (1989) έδειξαν ότι εκτός κι αν εμφανιστεί άλλη σεισμικότητα κοντά, η ετήσια πιθανότητα ενός σεισμού μπορεί να μειωθεί όσο αυξάνεται ο χρόνος από τον προηγούμενο σεισμό.

### **2.3.4 Ο σεισμός PARKFIELD**

Οι Bakun & McEvilly (1984) πρότειναν ότι οι χαρακτηριστικοί σεισμοί  $M = 6$  συμβαίνουν στο ρήγμα San Andreas στο Parkfield της Καλιφόρνια, σε διαστήματα περίπου 22 ετών. Ωστόσο, η κανονικότητα των γεγονότων του Parkfield αμφισβητήθηκε από τον Topozada (1985; 1992). Επίσης, μια επανεξέταση των γεωδαιτικών δεδομένων (Segall & Du, 1993) πρότεινε ότι τα γεγονότα του Parkfield του 1934 και του 1966 μπορεί να μην ήταν σχεδόν πανομοιότυπα. Ο τελευταίος σεισμός  $M = 6$  στο Parkfield σημειώθηκε το 1966. Με βάση την πιθανότητα 95% ότι «ο επόμενος χαρακτηριστικός σεισμός Parkfield» θα συνέβαινε μέχρι το 1993, η USGS και οι συνεργαζόμενες υπηρεσίες καθιέρωσαν το «Parkfield Earthquake Prediction Experiment» (Bakun & Lindh, 1985). Μέχρι τον Ιούλιο του 1997, ο «χαρακτηριστικός σεισμός  $M = 6$  Parkfield» δεν είχε ακόμη συμβεί.

Η πρόβλεψη Parkfield αξιολογήθηκε και εγκρίθηκε από το Εθνικό Συμβούλιο Αξιολόγησης Πρόβλεψης Σεισμών των ΗΠΑ (NEPEC) και άλλους γνωστούς φορείς (Kerr, 1985). Η ακόλουθη ανακοίνωση εκδόθηκε στις 5 Απριλίου 1985 από τον Διευθυντή του USGS, «Η πρόβλεψη ότι ένας σεισμός μεγέθους 5,5 έως 6 είναι πιθανό να συμβεί στην περιοχή Parkfield, Καλιφόρνια, μέσα στα επόμενα αρκετά χρόνια (1985-1993) ...»

Οι Wyss et al. (1990a) ανέφεραν σεισμική ηρεμία και οι Wyss et al. (1990) ανέφεραν μείωση του ρυθμού παραμόρφωσης (αλλά βλ. Langbein, 1991). Ο Stuart (1991) παρουσίασε ένα μοντέλο για να εξηγήσει αυτές τις παρατηρήσεις. Ο Wyss (1990) ανέφερε μεταβολή του μέσου

μεγέθους, ο Wyss (1991c) ανέφερε αυξημένο μέσο υποκεντρικό βάθος, όπως και οι Wyss et al. (1992).

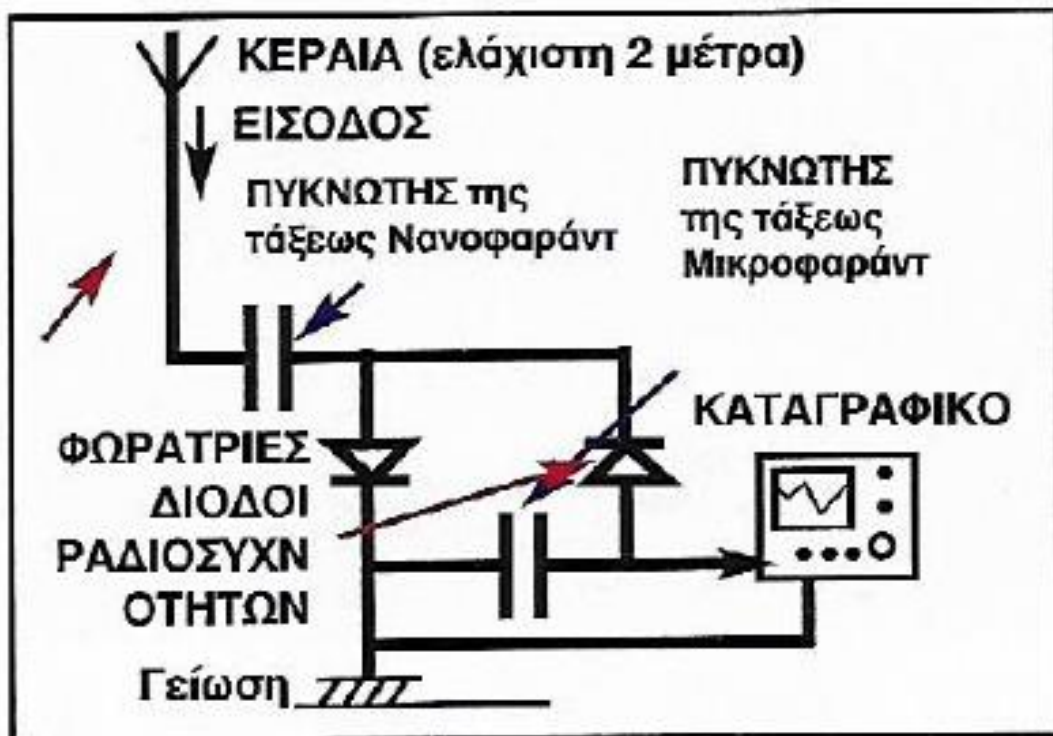
Οι Segall & Harris (1988) ερμήνευσαν τα γεωδαιτικά δεδομένα ως υποστήριξη της υπόθεσης ενός σεισμού  $M = 6$  κοντά στο Parkfield εντός πέντε ετών από το 1988. Οι Sung & Jackson (1988) διαφώνησαν. Οι Segall & Harris (1988) είπαν ότι ο επόμενος «σεισμός Parkfield» θα μπορούσε να είναι τόσο μεγάλος όσο  $M = 7,2$ . Οι Stuart et al. (1985) και Stuart & Tullis (1995) παρουσίασαν σενάρια για προσεισμική παραμόρφωση. Ο Miller (1996) υπέθεσε ότι η «μη εμφάνιση» του «σεισμού Parkfield» οφειλόταν σε ρήγμα κατά την περίοδο 1982-1985 στις περιοχές New Idria, Coalinga και Kettleman Hills. Το πείραμα Parkfield έχει λάβει εκτεταμένη κάλυψη.

Το Earthquakes and Volcanoes δημοσίευσε ένα ειδικό τεύχος: 'Parkfield: The prediction ... και η υπόσχεση'. Δημιουργήθηκε σύστημα για την έκδοση συναγερμών. Η υψηλότερη κατηγορία είναι μια ειδοποίηση επιπέδου A, που σημαίνει ότι η εκτιμώμενη πιθανότητα ενός σεισμού  $M = 6$  μέσα στις επόμενες 72 ώρες υπερβαίνει το 37 % (Langbein, 1993). Οι ειδοποιήσεις επιπέδου A εκδίδονται με βάση πιθανούς προσεισμούς, σεισμικό ερπυσμό ή συνδυασμό των δύο. Οι ειδοποιήσεις επιπέδου A εκδόθηκαν στις 20 Οκτωβρίου 1992 και στις 14 Νοεμβρίου 1993. Και οι δύο ήταν ψευδείς συναγερμοί. Ο Savage (1993) είπε ότι η βασική πλάνη της πρόβλεψης των Bakun & Lindh ήταν ότι δεν ελήφθησαν υπόψη εναλλακτικές λύσεις στην υπόθεση του «χαρακτηριστικού σεισμού».

## **2.4 Ραδιοθόρυβοι**

### **2.4.1 Το κύκλωμα**

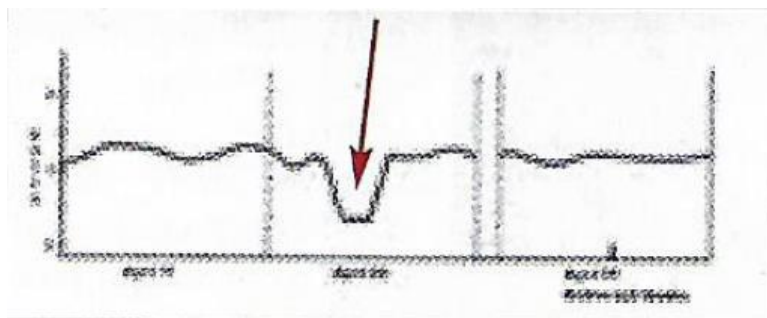
Στο περιοδικό Τρίτο Μάτι (Κασιμάτης, 2006) αναφέρεται ένα απλό κύκλωμα μέτρησης ραδιοθορύβου (Σχήμα 2.5) που υποστηρίζεται ότι έχει τη δυνατότητα να καταγράψει κανείς αυξομειώσεις του ραδιοθορύβου που λαμβάνεται μέσω της γης. Είναι ένα κύκλωμα πολλαπλασιασμού τάσης που περιλαμβάνει δύο πυκνωτές και δύο κρυσταλλοδιόδους. Μέσω αυτών μπορεί να συλλαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα που έχουν τεχνητές ή φυσικές πηγές. Τα κύματα αυτά μετατρέπονται σε συνεχή τάση που ανάλογα με την ένταση τους μεταβάλλεται αργά ή γρήγορα.



Σχήμα 2.5: Κύκλωμα καταγραφής ραδιοθορύβων – σχεδιάγραμμα (Πηγή: Κασιμάτης, 2006).

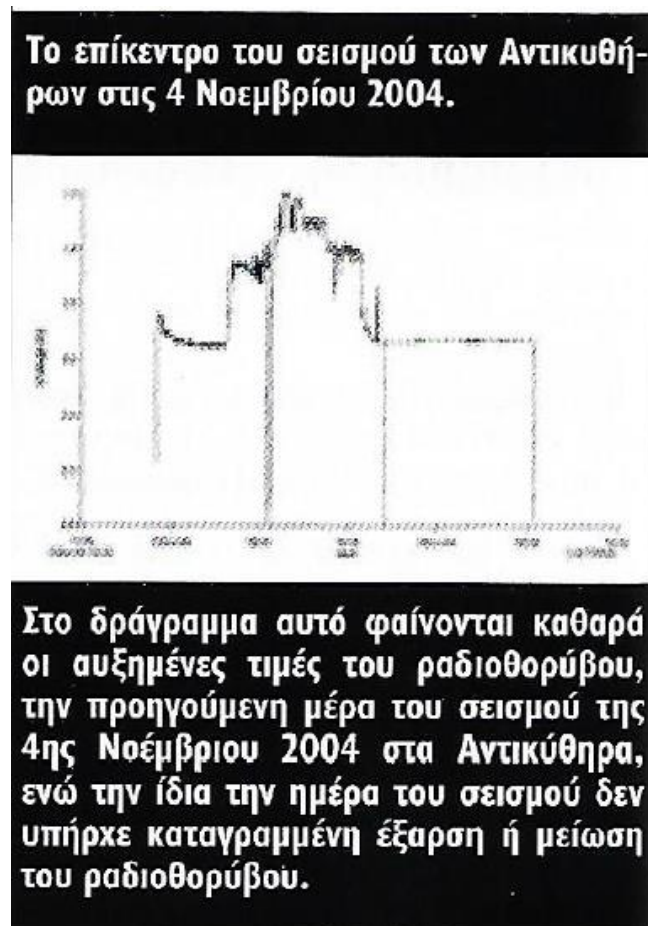
#### 2.4.2 Εγκυρότητα

Ως απόδειξη για την εγκυρότητα και αποτελεσματικότητα αυτού του κυκλώματος παρουσιάζεται η βύθιση του ραδιοθορύβου που καταγράφηκε από έναν ερασιτέχνη το 2004 (Σχήμα 2.6), 4 ημέρες πριν σημειωθεί σεισμός. Πράγματι από το 1920 και μετά πολλοί ερασιτέχνες έκαναν υποθέσεις για τις διακυμάνσεις του ραδιοθορύβου, παρατηρώντας ανά διαστήματα εξάρσεις και συνδέοντας τέτοιου είδους εξάρσεις με μετέπειτα ισχυρούς σεισμούς. Άλλες φορές παρατηρούσαν εξαφάνιση του ραδιοθορύβου πριν από σεισμούς.



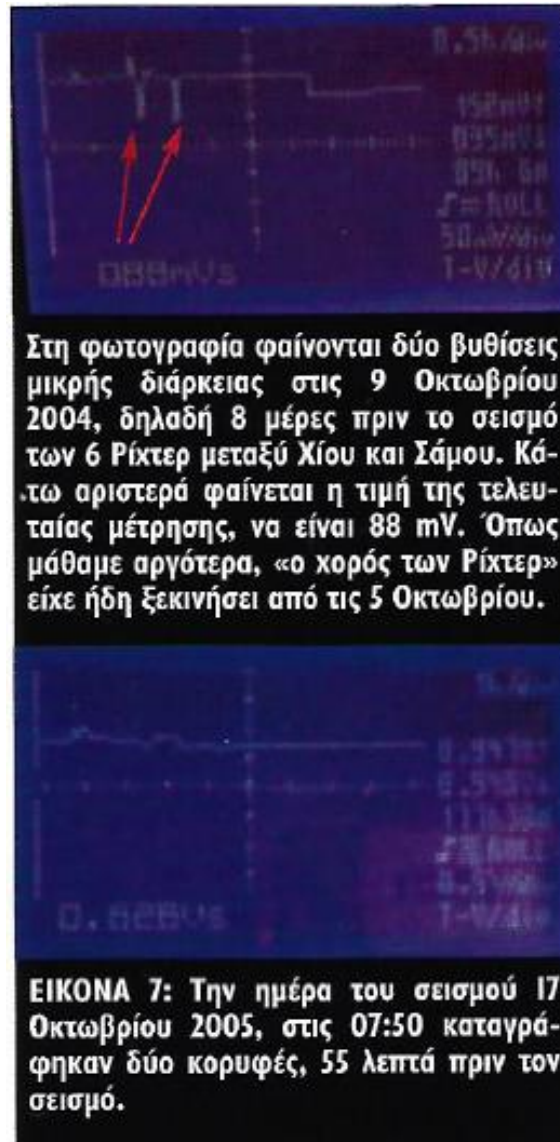
Σχήμα 2.6: Παρατηρήσεις πτώσης του ραδιοθορύβου (Πηγή: Κασιμάτης, 2006).

Ο δέκτης με τον οποίο πειραματίστηκε ο Κασιμάτης ήταν ένας δέκτης ευρείας ζώνης συχνότητας, προκειμένου να περιλαμβάνει τις περισσότερες δυνατές συχνότητες. Η ηλεκτρονική διάταξη που δημιούργησε είχε τη δυνατότητα να απεικονίζει την ένταση των ραδιοσυχνοτήτων σε μία καμπύλη καρτεσιανών συντεταγμένων. Συνέδεσε ένα πολύμετρο στον Η/Υ του για να μετρά την ένταση ανά 30 δευτερόλεπτα και υπήρχαν μεγάλες διακυμάνσεις. Έπειτα σύνδεσε τον δέκτη με ένα αυτόνομο καταγραφικό HOB0H8-4V και το ρύθμισε για να καταγράφει τις τιμές στην έξοδο του δέκτη ανά χρονικό διάστημα 5 λεπτών στα Κύθηρα. Ενώ στα αποτελέσματά του δεν υπήρξε τίποτα παράξενο για την ημέρα του σεισμού, παρατήρησε απότομη άνοδο βολτ στην έξοδο του δέκτη κατά την προηγούμενη ημέρα (Σχήμα 2.7). Από την επόμενη χρονιά και με την βοήθεια οθόνης είχε τη δυνατότητα να παρατηρεί ζωντανά τα αποτελέσματα του δέκτη του.



**Σχήμα 2.7:** Διάγραμμα τιμών ραδιοθορύβου – Αντικύθηρα 2004  
(Πηγή: Κασιμάτης, 2006).

Αντίστοιχες αυξήσεις παρατήρησε κατά τη 16η Οκτωβρίου του 2005, με τη γραφική παράσταση του πεδίου να ανεβαίνει από τα 600 στα 900mV. Την επόμενη ημέρα συμβαίνει σεισμός 6 Ρίχτερ μεταξύ Χίου και Σάμου (Σχήμα 2.8).



**Σχήμα 2.8:** «Εικόνα 7» τιμών ραδιοθορύβου μεταξύ Χίου και Σάμου 2005 (Πηγή: Κασσιμάτης, 2006).

Αντίστοιχες μετρήσεις επιβεβαιώθηκαν ξανά και ξανά με αυξήσεις στο ραδιοθόρυβο να προμηνύουν μετέπειτα σεισμούς. Η μέθοδος, ωστόσο, δεν είναι ακόμα αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα, αλλά οποιοσδήποτε με μικρή γνώση ηλεκτρολογίας και ηλεκτρονικής θα μπορούσε να κατασκευάσει ένα αντίστοιχο κύκλωμα.

## 2.5 Global Scaling

### 2.5.1 Εισαγωγικά στη Θεωρία

Από την ιστοσελίδα της Global Scaling ([lege.net/globalscaling](http://lege.net/globalscaling)):

«Οι περισσότερες από τις σύγχρονες τεχνολογικές συσκευές μας αναπτύχθηκαν μόνο μετά από προηγούμενη μακροχρόνια εντατική έρευνα εμπειρικών δεδομένων και σχετικών παραμέτρων. Πολλά από τα μεγέθη και τις κλίμακες που χρησιμοποιούνται τώρα έχουν βρεθεί μέσω της ‘εμπειρίας’ και έχουν παραμείνει σταθεροί παράγοντες για πάνω από εκατό χρόνια. Γιατί; Η απάντηση βρίσκεται στο Global Scaling.

Μάς αρέσει να σκεφτόμαστε σε γραμμικές κλίμακες και χρησιμοποιούνται για μετρήσεις σε ωραία και τακτικά διαστήματα. Άλλες ζυγαριές μας είναι άγνωστες. Όλη η ίδια η φυσική επιστήμη χρησιμοποιεί γραμμικά μέτρα στις μαθηματικές περιγραφές πολλών από τα μοντέλα της. Σοβαρές αμφιβολίες σχετικά με την πραγματική χρησιμότητα αυτών των απλών ζυγαριών για τη μέτρηση των φυσικών δομών προέκυψαν με την ανακάλυψη των διαστάσεων φράκταλ.

Η έλευση και η μαζική παραγωγή προσωπικών υπολογιστών κατέστησαν δυνατή τη δημιουργία όμορφων και εκπληκτικά φυσικών σχημάτων χρησιμοποιώντας μόνο πολύ απλούς αλγόριθμους. Ωστόσο, ήδη πριν από 30 χρόνια βιολόγοι είχαν ανακαλύψει ότι οι οργανισμοί των οποίων τα μεγέθη σώματος αποδεικνύονταν ότι ήταν εντός ορισμένων ορίων μέτρησης φαινόταν να έχουν πολύ καλύτερες πιθανότητες επιβίωσης και αναπαραγωγής. Παραδόξως, αυτό φαίνεται να είναι ανεξάρτητο από τον τύπο του είδους που ερευνάται.

Η αποφασιστική ανακάλυψη ήρθε από τον Ουκρανό βιολόγο Σισλένκο. Το 1981 δημοσίευσε τα αποτελέσματα 23 ετών έρευνας που έδειξαν κατηγορηματικά ότι τα βιολογικά ευνοϊκά μέτρα βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος μιας μακροαριθμητικής κλίμακας. Ο Σισλένκο μπόρεσε να αποδείξει αυτό το γεγονός για 4727 διαφορετικά είδη θηλαστικών, περισσότερα από 5000 διαφορετικά είδη ερπετών, 452 είδη πουλιών, περίπου 1900 είδη αμφιβίων, 381 είδη ψαριών γλυκού νερού, 218 ψαριών της βόρειας πολικής θάλασσας, περισσότερα από 21.000 είδη έντομα, καθώς και πολυάριθμα φυτά, μύκητες και βακτήρια.

Στις μέρες μας, αυτό το φαινόμενο αναγνωρίζεται ως λογαριθμική κλιμάκωση στην κατανομή συχνοτήτων των βιολογικών ειδών με αναφορά στο μέγεθος σώματος και τη μάζα σώματος των οργανισμών.»

Την ίδια περίπου εποχή οι φυσικοί ανακάλυψαν ένα παρόμοιο φαινόμενο κλιμάκωσης (λογαριθμική αναλλοίωτη κλίμακα) στην κατανομή συχνότητας των στοιχειωδών σωματιδίων με βάση τη μάζα ηρεμίας των σωματιδίων (Bjorken, Feinmann, Müller). Το 1982 ο Hartmut Müller μπόρεσε να το δείξει αυτό για όλα τα γνωστά σωματίδια, πυρήνες και άτομα, αλλά και για αστεροειδείς, φεγγάρια, πλανήτες και αστέρια. Η κλιμάκωση είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο, στην πραγματικότητα, μπορεί να είναι το ίδιο το σχέδιο του ίδιου του σύμπαντος.

Σε μια σειρά άρθρων (1982 – 1989, Ινστιτούτο Επιστημονικής-Τεχνικής Πληροφόρησης της Ρωσικής Ακαδημίας Επιστημών) ο Müller δημοσίευσε για πρώτη φορά τις θεμελιώδεις αρχές μιας θεωρίας του Global Scaling που σήμερα μπορεί να θεωρηθεί ως μία από τις καλύτερα επιβεβαιωμένες υποθέσεις εντός του φυσικού επιστήμης. Βασίζεται στη στατιστική ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων και εφαρμόζεται με επιτυχία στην επιστήμη και την τεχνολογία σήμερα (Muller, 2018).

Η σε βάθος μαθηματική διερεύνηση του φαινομένου έδειξε ότι η έννοια των διεργασιών στάσιμων κυμάτων είναι το πιο πιθανό και κατάλληλο μοντέλο για την απόδοση αυτών των δομών. Στο κάτω μέρος του φαινομένου Global Scaling υπάρχουν διεργασίες στάσιμων κυμάτων στη λογαριθμική (και όχι στη γραμμική) κλίμακα μετρήσεων. Μιλώντας μαθηματικά, αυτές οι κυματικές διεργασίες δεν συμβαίνουν πουθενά αλλού παρά μόνο κατά μήκος της ίδιας της αριθμογραμμής (Muller, 2018). Οι αντανάκλασεις θα σχηματίσουν περαιτέρω υποδομές. Το σύνολο φράκταλ που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία είναι υπεύθυνο, μεταξύ άλλων, για την κατανομή των πρώτων αριθμών. Όσον αφορά τις πραγματικές φυσικές κλίμακες, όπως η κατανομή των μαζών στο σύμπαν, μπορεί να εφαρμοστεί ένα μοντέλο κυμάτων κενού και κυμάτων ύλης. Τέτοιες διεργασίες κυμάτων στην πραγματικότητα εκδηλώνονται στη φύση και μπορούν να αξιοποιηθούν τεχνολογικά.

Η Global Scaling Theory (GST) είναι η πρώτη του είδους της που περιγράφει μαθηματικά την κατανομή των προτιμώμενων τιμών παραμέτρων στη φύση και είναι επίσης σε θέση να εξηγήσει την αιτία αυτής της κατανομής. Το άθροισμα των πιθανοτήτων που κάνει μια συγκεκριμένη φυσική τιμή να εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη θέση κατά μήκος της λογαριθμικής κλίμακας μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά μέσω του λεγόμενου φράκταλ Müller (2018).

Η γνώση μόνο αυτού του συνόλου φράκταλ σε συνδυασμό με πρόσθετη κατανόηση του τρόπου χρήσης του φράκταλ σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή επιτρέπει στον μηχανικό Global Scaling να προβλέψει γρήγορα και αποτελεσματικά τιμές και παραμέτρους που διαφορετικά θα είχαν βρεθεί μόνο μέσω μιας κουραστικής διαδικασίας δοκιμής και λάθους. Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι εφαρμογές που έχουν λειτουργήσει με σταθερό τρόπο για αρκετές δεκαετίες θα εμφανίζουν μέτρα απολύτως συμβατά με το Global Scaling (Müller, 2018). Μερικά παραδείγματα (όπως αναφέρονται στην ιστοσελίδα του Global Scaling) είναι: ένσφαιρα ρουλεμάν, οδοντωτοί ιμάντες, βλήματα πυροβόλων όπλων, οδοντώσεις γραμματοσήμων.

«Επί του παρόντος αναλαμβάνονται έργα βελτιστοποίησης σύμφωνα με τη θεωρία του Global Scaling σε διάφορους τομείς», υπόσχεται η ιστοσελίδα. «Ορισμένες από αυτές έχουν προχωρήσει αρκετά ώστε να αποφέρουν θετικά αποτελέσματα σε συγκριτικές μετρήσεις που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που εφαρμόζεται. Φυσικά, οι πελάτες που ζητούν τη βελτιστοποίηση των προϊόντων τους θα έχουν συμφέρον να προστατεύσουν τα πρόσφατα αποκτηθέντα αποτελέσματα, γεγονός που είναι ο λόγος για τον οποίο δεν μπορούν να δημοσιευτούν περαιτέρω λεπτομέρειες αυτήν τη στιγμή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχαν τα έργα βελτιστοποίησης Global Scaling σε έναν ευρωπαϊκό συνδυασμό που κατάφερε να εξοικονομήσει τεράστια χρηματικά ποσά λόγω νέων παραμέτρων. Μια άλλη μεγάλη εταιρεία εφάρμοσε ένα νέο σχέδιο βελτιστοποιημένο σύμφωνα με το Global Scaling σε ένα προϊόν που θεωρούνταν σταθερό και ώριμο για δεκαετίες. Το αποτέλεσμα ήταν μια σημαντική αύξηση της αποτελεσματικότητας και της αντοχής του! Μπορεί κανείς να φανταστεί πόσο αδιανόητο φαινόταν αυτό στους ειδικούς που εργάζονταν στην εταιρεία που δεν είχαν καμία γνώση του Global Scaling.»

### **2.5.2 Νέες τεχνολογίες και Βαρυτικά Κύματα**

Η μαθηματική συνειδητοποίηση ότι η κατανομή των φυσικών μέτρων καθορίζεται από διεργασίες στάσιμων κυμάτων στην πραγματικότητα εκδηλώνεται στον φυσικό κόσμο. Ως αποτέλεσμα, για παράδειγμα, μπορούν να σχηματιστούν κύματα χώρου (κενού) που μπορούν να διαφοροποιηθούν σαφώς από το γνωστό ηλεκτρομαγνητικό κύμα των ραδιομεταδόσεων (Müller, 2018).



Στο Global Scaling, ο γενικός όρος για αυτό το είδος κύματος είναι το κύμα G (σε αναλογία με το βαρυτικό κύμα), όπου το κύμα G, ωστόσο, πρέπει επίσης να διαφοροποιείται από τα βαρυτικά κύματα του Αϊνστάιν. Η σημαντική διαφορά μεταξύ των κυμάτων G και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή των κυμάτων Αϊνστάιν έγκειται στο γεγονός ότι τα κύματα G δεν διαδίδονται στο χώρο και στο χρόνο αλλά υπάρχουν - σε μακροσκοπική αναλογία με το γνωστό φαινόμενο της μη τοπικότητας στην κβαντική φυσική - παντού ταυτόχρονα (Müller, 2018).

Χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνολογίες, αυτές οι διεργασίες κυμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν τεχνικά και θα ανοίξουν το δρόμο για εντελώς νέες εφαρμογές. Μια προφανής εφαρμογή είναι η μετάδοση πληροφοριών χρησιμοποιώντας τα κύματα G ως ήδη υπάρχοντα κανάλια (φορείς) επικοινωνίας. Μια πρώτη δημόσια επίδειξη ασύρματων γλωσσικών μεταδόσεων χωρίς τεχνητά παραγόμενη συχνότητα φορέα πραγματοποιήθηκε μεταξύ της Μόσχας και του Bad Tölz (Γερμανία) στις IT & MediaDays στις 27 Οκτωβρίου 2001.

Εν τω μεταξύ, αρκετά ευρωπαϊκά πανεπιστήμια έχουν δείξει ενδιαφέρον για αυτήν την πρωτότυπη μέθοδο ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, η οποία μπορεί να ξεπεράσει μεγάλες αποστάσεις τόσο μέσω του αέρα, του κενού, ακόμη και των στερεών σωμάτων σε εξαιρετικά χαμηλές ενέργειες. Όταν εκτελείται σωστά, αυτή η μορφή ανταλλαγής δεδομένων λαμβάνει χώρα χωρίς καμία από τις γνωστές βιολογικές παρενέργειες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (Müller, 2018).

Ένα αυστριακό πανεπιστήμιο προωθεί αυτήν τη στιγμή την τεχνολογία G-Com® μαζί με την εφευρετική ομάδα του Ινστιτούτου Διαστημικής-Ενέργειας-Έρευνας στο Wolfratshausen της Γερμανίας. Μια άλλη δημόσια επίδειξη της τεχνολογίας G-Com® πραγματοποιήθηκε στις 21 Φεβρουαρίου 2004 στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Εδώ έχει αποδειχθεί η μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο φορητών υπολογιστών.

Το μόνο που απαιτείται είναι ένα συγκεκριμένο κομμάτι λογισμικού. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η διαδικασία μπορεί να επιδειχθεί σε υπολογιστή από το κοινό. Είναι εύκολα κατανοητό ότι αυτή η μορφή τεχνολογίας G-Com® απέχει πολύ από τη μόνη δυνατή εφαρμογή της θεωρίας του Global Scaling ([globalscaling.net](http://globalscaling.net)) – η οποία παρεμπιπτόντως χρησιμοποιήθηκε επίσης με επιτυχία για βελτιστοποίηση ωφέλιμου φορτίου στο πλαίσιο του

διαστημικού προγράμματος Energija/Buran της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Εκτός από τη δυνατότητα βελτιστοποίησης προσοδοφόρων παραμέτρων διεργασίας, το GlobalScaling® προσφέρει επίσης δυνατότητες νέων και θεμελιωδών καινοτομιών που θα είναι τόσο συναρπαστικές και εκτεταμένες όσο ήταν παλαιότερα οι εφευρέσεις της ατμομηχανής, του εναλλασσόμενου ρεύματος ή του ημιαγωγού.

### 2.5.3 Οι αρνητές της θεωρίας

Τον Οκτώβριο του 2012 ο Müller συνελήφθη στη Βραζιλία, αναφέρει το BBC (<https://www.bbc.com/>): «Η αστυνομία της Βραζιλίας συνέλαβε έναν Γερμανό απατεώνα που ισχυρίστηκε ότι είχε αναπτύξει ένα σχέδιο που του επέτρεπε να προβλέπει αριθμούς λαχειοφόρου αγοράς, να μεταδίδει δεδομένα και να βελτιώνει την ασφάλεια των τραπεζικών συναλλαγών στο Διαδίκτυο.» Ο Müller, ο οποίος είχε καταδικαστεί για απάτη πολλών εκατομμυρίων δολαρίων στη Γερμανία, έπεισε τους ανθρώπους να επενδύσουν στο σχέδιο που βασιζόταν σε βαρυτικά κύματα. Κατέφυγε στη Βραζιλία όταν άρχισαν να πληθαίνουν τα στοιχεία εναντίον του. Οι πράκτορες της Ιντερπόλ συνέλαβαν τον Müller, 58 ετών τότε, στη νότια πόλη Φλωριανόπολη, όπου είχε μετακομίσει τον Ιανουάριο, δραπετεύοντας από δικαστική υπόθεση στη γερμανική πόλη της Δρέσδης, όπου μαζί με τρεις από τους συντρόφους του δικάζονταν για απάτη.

Ο Müller ελάφρυνε περίπου 3.000 επενδυτές από περίπου πέντε εκατομμύρια ευρώ (6,5 εκατομμύρια δολάρια ή 4 εκατομμύρια λίρες), είπε το δικαστήριο. Είχε εφεύρει μια θεωρία που ονόμασε «global scaling», η οποία είπε ότι του επέτρεπε να χρησιμοποιήσει βαρυτικά κύματα για να αποτρέψει την ηλεκτρονική αιθαλομίχλη, να χρησιμοποιήσει νέες μεθόδους σάρωσης που θα εφαρμοστούν στην ιατρική και να μεταδώσει «πληροφορίες χωρίς περιορισμούς σε ποσότητα, ποιότητα ή χρόνο». Το δικαστήριο είπε ότι ο Müller έπεισε τους επενδυτές με το εντυπωσιακό, και κυρίως πλασματικό, βιογραφικό του, το οποίο περιελάμβανε προχωρημένα πτυχία στα εφαρμοσμένα Μαθηματικά και τη Φυσική από το Πανεπιστήμιο της Αγίας Πετρούπολης και «το μετάλλιο Vernadski πρώτης τάξης για τα επιστημονικά του επιτεύγματα».

«Ο Müller χρησιμοποίησε την ψεύτικη θεωρία του για να αναπτύξει μια πληθώρα προϊόντων, από *συσκευές ευεξίας* που φέρεται να προστατεύουν τον αγοραστή από την ηλεκτρονική αιθαλομίχλη έως *γεννήτριες ζωτικότητας* για να βελτιώσουν τη ζωή κάποιου», γράφει το BBC.

Τα βραζιλιάνικα μέσα ενημέρωσης αναφέρουν ότι συνέχισε τις απάτες του ακόμη και αφού διέφυγε εκεί, πουλώντας λογισμικό το οποίο, όπως είπε, χρησιμοποιούσε τη θεωρία του για να βελτιώσει την ασφάλεια των τραπεζικών υπηρεσιών στο Διαδίκτυο. Ένας ειδικός μάρτυρας που εμφανίστηκε στη δίκη στη Δρέσδη απέρριψε τη θεωρία της «παγκόσμιας κλιμάκωσης» του Müller, λέγοντας: «Δεν έχει καμία επιστημονική βάση: είναι σαν την αστρολογία, εντελώς επινοημένη». Το δικαστήριο της Δρέσδης καταδίκασε τον Müller σε τεσσεράμισι χρόνια φυλάκιση. Η βραζιλιάνικη αστυνομία λέει ότι θα κρατήσει τον Müller μέχρι να λάβει αίτημα έκδοσης από τη Γερμανία.

## **2.6 Σήματα Βαρύτητας / Βαρυτικά Κύματα**

### **2.6.1 Εισαγωγικά**

Το ότι τα σήματα της βαρύτητας τρέχουν στο έδαφος με την ταχύτητα του φωτός θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους σεισμολόγους να αντιμετωπίσουν καλύτερα το μέγεθος των μεγάλων, καταστροφικών σεισμών αμέσως μετά τον χτύπημα τους, προτείνει μια μελέτη. Οι μικροσκοπικές αλλαγές στο βαρυτικό πεδίο της Γης, που δημιουργούνται όταν το έδαφος μετατοπίζεται, φτάνουν σε σταθμούς σεισμικής παρακολούθησης πολύ πριν από τα σεισμικά κύματα (Heaton, 2017). «Το καλό που μπορούμε να κάνουμε με αυτά τα σήματα είναι να έχουμε γρήγορες πληροφορίες για το μέγεθος του σεισμού», λέει ο Martin Vallée (2017), σεισμολόγος στο Ινστιτούτο Φυσικής της Γης του Παρισιού.

Τα σεισμόμετρα στην Κίνα και τη Νότια Κορέα έλαβαν σήματα βαρύτητας αμέσως μετά τον σεισμό 9,1 Ρίχτερ στο Τοχόκου που κατέστρεψε περιοχές της Ιαπωνίας το 2011, αναφέρουν ο Vallée και οι συνεργάτες του στο Science την 1η Δεκεμβρίου. Τα σήματα εμφανίζονται ως μικροσκοπικές επιταχύνσεις στον εξοπλισμό σεισμικής καταγραφής, περισσότερο από ένα λεπτό πριν εμφανιστούν τα σεισμικά κύματα. «Μπορούμε να κοιτάξουμε πριν φτάσουν τα σεισμικά κύματα», λέει ο Vallée (2017). «Αν δεν δούμε τίποτα, μπορούμε να πούμε ότι ο σεισμός που τα έκανε ήταν ίσως μεγάλος, αλλά όχι τεράστιος. Αν δούμε τα σήματα, σημαίνει ότι έχουμε πραγματικά έναν πολύ μεγάλο σεισμό».

Αν οι σεισμολόγοι παρακολουθούσαν τις αλλαγές της βαρύτητας, θα μπορούσαν να είχαν συνειδητοποιήσει νωρίτερα πόσο μεγάλος ήταν ο σεισμός στο Τοχόκου. Το Αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο (USGS) χρειάστηκε 40 λεπτά για να ενημερώσει την αρχική του εκτίμηση μεγέθους 7,9 σε 8,8, πολύ πιο κοντά στο πραγματικό μέγεθος του σεισμού, και 3

ώρες για να κάνει το ίδιο η Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Heaton, 2017). Μια μικρή αύξηση στο μέγεθος ενός σεισμού σημαίνει μεγάλη αλλαγή στην ενέργεια που απελευθερώνεται από τον σεισμό — και την αναμενόμενη καταστροφή. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για τους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης καθώς αποφασίζουν ποιους πόρους θα αναπτύξουν. «Θα είναι μια σημαντική συνεισφορά εάν τα βαρυτικά κύματα μπορούν να νικήσουν τον χρόνο που απαιτείται για να γνωρίζουμε ότι ένας μεγάλος σεισμός είναι μεγάλος», λέει η Σούζαν Χου, σεισμολόγος του USGS στην Πασαντένα της Καλιφόρνια (Witze, 2017).

Ωστόσο, απομένει πολύ δουλειά προτού τα σήματα της βαρύτητας θεωρηθούν αξιόπιστο εργαλείο στα κρίσιμα λεπτά μετά από έναν μεγάλο σεισμό, λέει ο Gavin Hayes, σεισμολόγος του USGS στο Γκόλντεν του Κολοράντο. «Δεν το βλέπω να αλλάζει το παιχνίδι», λέει.

### **2.6.2 Πρώτο κύμα**

Η πιο πρόσφατη εργασία προέκυψε όταν μια ομάδα Ευρωπαίων και Αμερικανών ερευνητών άρχισε να διερευνά πώς οι δονήσεις από μικρούς σεισμούς επηρεάζουν τους ανιχνευτές βαρυτικών κυμάτων, όπως η European Virgo και το Παρατηρητήριο Βαρυτικών Κυμάτων Συμβολομετρική Λείζερ των ΗΠΑ (LIGO). Πολλοί από τους επιστήμονες εργάστηκαν επίσης σε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών και άρχισαν να σκέφτονται αν οι σεισμοί δημιουργούσαν βαρυτικές διαταραχές και πώς θα μπορούσαν να ανιχνευθούν (Harms, 2015).

Η πρόκληση έγκειται στην ανάληψη της βαρυτικής δόνησης, η οποία είναι πολύ πιο αδύναμη από αυτή των σεισμικών κυμάτων. Το 2016, οι επιστήμονες δημοσίευσαν μια μελέτη απόδειξης της ιδέας που δείχνει ότι ένα όργανο μέτρησης της βαρύτητας στο υπόγειο Παρατηρητήριο Kamioka της Ιαπωνίας είχε ανιχνεύσει σήματα από τον σεισμό του 2011, ο οποίος συνέβη περίπου 500 χιλιόμετρα μακριά. Αλλά άλλοι αμφισβήτησαν πόσο ισχυρά και αξιόπιστα μπορεί να είναι τα σήματα (Witze, 2017).

Στην τελευταία δημοσίευση, ο Vallée (2017) και οι συνεργάτες του αναφέρουν πολλές ακόμη παρατηρήσεις σημάτων βαρύτητας αμέσως μετά τον σεισμό του Τοχόκου. Το σήμα ήταν πιο εμφανές σε σταθμούς παρακολούθησης μεταξύ περίπου 1.000 και 2.000 χιλιομέτρων από το επίκεντρο του σεισμού. Σε αυτή την απόσταση, τα γρήγορα σήματα είχαν αρκετό χρόνο για να φτάσουν και να καταγραφούν ξεκάθαρα πριν τα κατακλύσουν τα σεισμικά κύματα.

### **2.6.3 Μοντελοποίηση**

Η μοντελοποίηση προτείνει ότι η μέθοδος θα πρέπει να λειτουργεί για τη μέτρηση σεισμών μεγέθους 8,5 ή μεγαλύτερου, οι οποίοι είναι αρκετά μεγάλοι για να παράγουν ανιχνεύσιμα σήματα βαρύτητας. Η ομάδα τώρα αναζητά σήματα που μπορεί να είχαν καταγραφεί μετά από άλλους μεγάλους σεισμούς, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος μεγέθους 9,1 στη Σουμάτρα το 2004 και του μεγέθους 8,8 βαθμών στη Χιλή το 2010 (Witze, 2017).

Λίγα επιπλέον λεπτά προειδοποίησης μπορούν να σώσουν ζωές, ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές όπου οι άνθρωποι μπορούν να απομακρυνθούν πριν από ένα επερχόμενο τσουνάμι, λέει ο Jean-Paul Ampuero, σεισμολόγος στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καλιφόρνια στην Πασαντένα: «Αυτό είναι φρούτο που κρέμεται χαμηλά».

## **2.7 Ελαστο-Βαρυτικά Κύματα**

Μετά από έναν σεισμό, τα πρώτα σήματα παραμόρφωσης δεν αναμένεται να μεταφερθούν από τα ταχύτερα (P) ελαστικά κύματα αλλά από τις αλλαγές ταχύτητας φωτός του βαρυτικού πεδίου. Ωστόσο, αυτές οι διαταραχές είναι αδύναμες και, μέχρι στιγμής, η ανίχνευσή τους δεν ήταν ακριβής αρκετά για να κατανοήσουμε πλήρως την προέλευσή τους και να τα χρησιμοποιήσουμε για μια εξαιρετικά πολύτιμη ταχεία εκτίμηση του μεγέθους του σεισμού. Στη μελέτη τους οι Valee et al. (2017) δείχνουν ότι οι διαταραχές της βαρύτητας παρατηρούνται ιδιαίτερα καλά με τα ευρυζωνικά σεισμόμετρα σε αποστάσεις μεταξύ 1000 και 2000 χιλιομέτρων από την πηγή του σεισμού Τοχόκου του 2011, μεγέθους 9,1 ρίχτερ. Ισχυρίζονται μάλιστα ότι μπορούν να τα μοντελοποιήσουν με ακρίβεια με έναν νέο φορμαλισμό, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις αλλαγές της βαρύτητας όσο και την κίνηση που προκαλείται από τη βαρύτητα. Αυτά τα άμεσα σήματα ελαστοβαρύτητας ανοίγουν το παράθυρο για τον προσδιορισμό του μεγέθους σε χρονική κλίμακα για μεγάλους σεισμούς.

Οι σεισμοί περιλαμβάνουν τη μετατόπιση μεγάλων ποσοτήτων μάζας, η οποία τροποποιεί το πεδίο βαρύτητας. Αυτό το φαινόμενο δεν περιορίζεται σε μια μόνιμη αλλαγή βαρύτητας λόγω της τελικής ανακατανομής μάζας, αλλά προκαλούνται επίσης από τις παροδικές διαταραχές πυκνότητας που μεταφέρονται από τα σεισμικά κύματα (Valee et al., 2017). Κατά τη διάδοση του κύματος, ένας παρατηρητής αισθάνεται έλξη από τα συμπιεσμένα μέρη του μέσου και απωθείται από τα διεσταλμένα μέρη του, με ένα παγκόσμιο καθαρό αποτέλεσμα που εξαρτάται από τον μηχανισμό του σεισμού. Οι διαταραχές της βαρύτητας μεταδίδονται με την ταχύτητα

του φωτός (3.105 km/s), πολύ πιο γρήγορα από την πρώτη άφιξη (P) ελαστικών κυμάτων που ταξιδεύουν με 6 έως 10 km/s στον ανώτερο μανδύα. Επιπλέον, σε αποστάσεις κοντά σε μεγάλο σεισμό, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί το μέγεθος του γεγονότος από τις πληροφορίες που παρέχουν τα ελαστικά κύματα, ακόμη και όταν η περιοχή είναι πυκνά οργανωμένη με σεισμόμετρα.

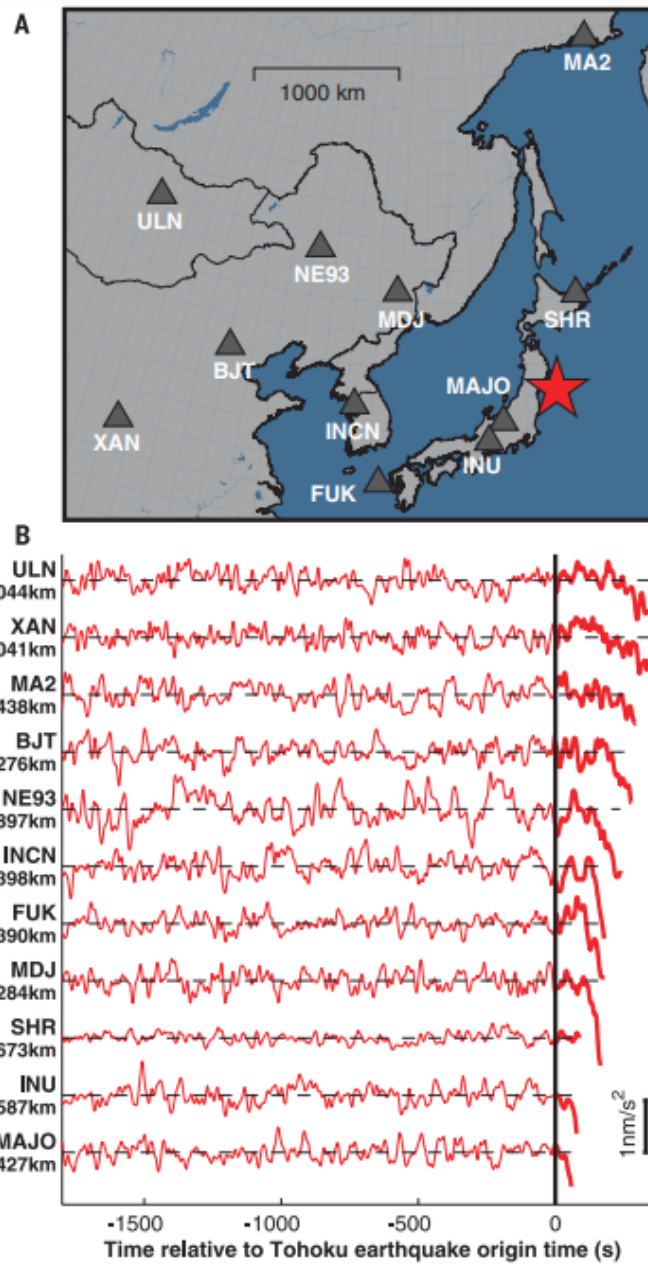
Στην περίπτωση του σεισμού του 2011, στιγμιαίου μεγέθους (Mw) 9,1, του σεισμού Τοχόκου, το μέγεθος σχεδόν σε πραγματικό χρόνο που παρείχε η έγκυρη Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ήταν 7,9 και διορθώθηκε μόλις 3 ώρες αργότερα σε 8,8. Αυτή η υποεκτίμηση οφείλεται στο γεγονός ότι τα τοπικά μεγέθη σε πραγματικό χρόνο προέρχονται γενικά από τα πλάτη αιχμής των οργάνων, τα οποία συσχετίζονται ελάχιστα με το μέγεθος της ροπής όταν ο σεισμός είναι μεγάλος (Okada, 2011). Η ανίχνευση των διαταραχών της βαρύτητας θα παρείχε μια πολύ πιο γρήγορη μέθοδο για τον υπολογισμό του μεγέθους των ρήξεων ρήγματος.

Οι θεωρητικές σχέσεις μεταξύ του ελαστικού και του βαρυτικού πεδίου είναι πολύ γνωστές και οι αναλυτικοί υπολογισμοί προέβλεψαν την αναμενόμενη αλλαγή βαρύτητας DgP πριν από την άφιξη των κυμάτων P σε πλήρες διάστημα και μισό διάστημα. Το πλάτος του DgP αυξάνεται με την αύξηση της ελαστικής παραμόρφωσης του μέσου και αυτή η ανάπτυξη είναι ταχύτερη όταν η σεισμική ροπή του σεισμού αυξάνεται γρήγορα (Dahlen, 1998). Επομένως, οι σεισμοί μεγάλου μεγέθους και μικρής διάρκειας προσφέρουν το καλύτερο δυναμικό παρατήρησης. Οι βέλτιστες αποστάσεις για την ανίχνευση DgP δεν είναι οι πλησιέστερες στον σεισμό. Όσο ο σεισμός βρίσκεται στη φάση επιτάχυνσής του, με τη σεισμική ροπή να αυξάνεται ταχύτερα από ό,τι τετραγωνικά με το χρόνο, η επιτάχυνση της βαρύτητας που αναμένεται λίγο πριν την άφιξη του υποκεντρικού κύματος P αυξάνεται με την απόσταση από τον σεισμό (Okada, 2011).

Για έναν πολύ μεγάλο σεισμό μεγέθους 9, για τον οποίο η φάση επιτάχυνσης έχει διάρκεια της τάξης των 100 δευτερολέπτων, το σήμα βαρύτητας αναμένεται να αυξηθεί ως συνάρτηση της απόστασης τουλάχιστον έως και 800 km από τον σεισμό. Αυτή η επίδραση προέρχεται από το γεγονός ότι μια πηγή σεισμού δεν είναι στιγμιαία και από την αυξανόμενη διάρκεια του παραθύρου παρατήρησης πριν από το P με την απόσταση. Ωστόσο, δεν είναι ο μόνος λόγος που οι κοντινές αποστάσεις μπορεί να είναι δυσμενείς για την παρατήρηση των πρώιμων σημάτων βαρύτητας με σεισμόμετρα ή βαρύμετρα συνδεδεμένα με το έδαφος.

Ένα φαινόμενο που αγνοήθηκε προηγουμένως προκύπτει από τις ίδιες τις επιταχύνσεις του εδάφους που προκαλούνται από τις αλλαγές της βαρύτητας, οι οποίες τείνουν να μειώνουν την παρατηρησιμότητα του σήματος στις αρχές του σεισμού («πρώιμες εποχές»). Ο σεισμός του Τοχόκου στην Ιαπωνία (11 Μαρτίου 2011,  $M_w = 9,1$ ) ήταν ένα κατάλληλο γεγονός για την αναζήτηση τέτοιων άμεσων σημάτων που προκαλούνται από τη βαρύτητα. Ο σεισμός έχει παρόμοιο μέγεθος με τον σεισμό της Σουμάτρας της 26ης Δεκεμβρίου 2004, αλλά επωφελείται από μικρότερη διάρκεια πηγής και καλύτερη κάλυψη σεισμικών σταθμών. Οι Velee et al. (2017) ανέκτησαν όλα τα περιφερειακά ευρυζωνικά σεισμικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα στο κέντρο δεδομένων Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) σε αποστάσεις έως και 3000 km από τον σεισμό, καθώς και τα ευρυζωνικά δεδομένα από το δίκτυο F-net Japan.

Οι κάθετες κυματομορφές κόβονται στον χρόνο άφιξης του κύματος P, αποσυνελίσσονται από την απόκριση επιτάχυνσης του οργάνου και φιλτράρονται με διέλευση ζώνης μεταξύ 0,002 και 0,03 Hz, προκειμένου να απαλλαγούμε από τον περισσότερο θόρυβο των ωκεανών. Επέλεξαν επιπλέον κυματομορφές με βάση ένα κριτήριο σήματος προς θόρυβο, που απαιτεί το  $azP$  να παραμένει στο εύρος  $\pm 0,8$  nm/s<sup>2</sup> στο παράθυρο μήκους 30 λεπτών που προηγήθηκε ο σεισμός. Οι περισσότεροι από τους εννέα περιφερειακούς σταθμούς που επιλέχθηκαν με αυτόν τον τρόπο (βλ. Σχήμα 2.9) είναι σταθμοί από τα παγκόσμια δίκτυα IRIS και GEOSCOPE γνωστοί για την υψηλή ποιότητά τους. Αυτό το σύνολο δεδομένων συμπληρώνεται από δύο σταθμούς από το δίκτυο F-net [Fukue, Japan (FUK) και Shari, Japan (SHR)], που επιλέχθηκαν για τη βελτίωση της αξιωματικής κάλυψης και της απόστασης χωρίς προσθήκη πλεονασμού. Το εύρος των αποστάσεων που εξετάζονται εδώ είναι από 400 έως 3000 km. Στο χρονικό πλαίσιο μεταξύ της ώρας έναρξης του σεισμού και της άφιξης του κύματος P, οι περισσότεροι σταθμοί εμφανίζουν μια σταθερή καθοδική τάση επιτάχυνσης, ιδιαίτερα έντονη σε σταθμούς που βρίσκονται 1000 έως 2000 km δυτικά του σεισμού [Mudanjiang, Κίνα (MDJ) FUK; Incheon, Κορέα (INCN); Zhalaiteqi Badaerhuzhen, Κίνα (NE93); και Baijiatuan, Κίνα (BJT)], όπου φτάνει τα 1,6 nm/s<sup>2</sup>. Ακόμα κι αν αυτή η καταγεγραμμένη επιτάχυνση είναι μικρότερη κατά περισσότερο από 105 από το ακόλουθο ελαστικό συρμό κυμάτων P (Σχήμα 2.9), παραμένει πάνω από τον σεισμικό θόρυβο λόγω του μεγάλου σεισμού.



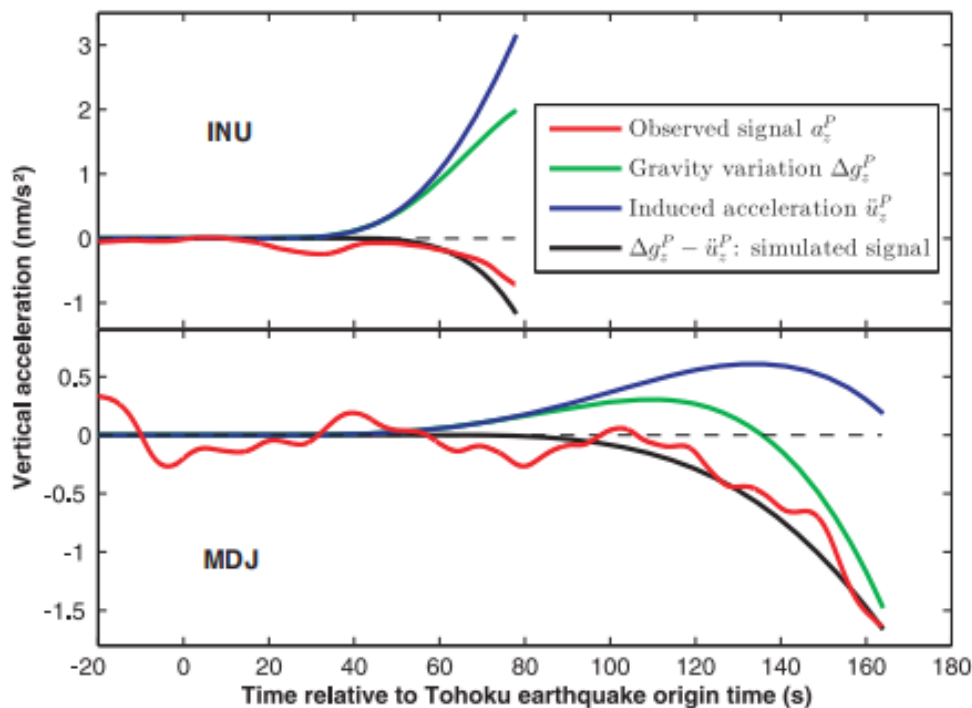
**Σχήμα 2.9:** Προ-σήματα σεισμού που παρατηρήθηκαν από τους Veleo et al., 2017.

Η μοντελοποίηση τέτοιων σημάτων απαιτεί πρώτα την αποσαφήνιση της σχέσης μεταξύ του  $a_{Pz}$  και των φυσικών πεδίων. Μετά τη διόρθωση από την απόδοσή του στην επιτάχυνση, ένα σεισμόμετρο είναι ουσιαστικά ευαίσθητο στη διαφορά μεταξύ της διαταραχής της βαρύτητας και της επιτάχυνσης του εδάφους (Veleo et al., 2017). Συνδυάζοντας τη σύμβαση ανοδικής σεισμομετρίας για το  $a_{Pz}$  με την καθοδική σύμβαση για τη διαταραχή βαρύτητας πριν από την  $P\Delta g_{Pz}$  και την επιτάχυνση του εδάφους  $u_{Pz}$ , αυτό οδηγεί σε

$$a_z^P = \Delta g_z^P - \ddot{u}_z^P.$$



Παραμελούνε τις πρόσθετες εισφορές από το free air και η βαρύτητα Bouguer αλλάζει με βάση τα μικρότερα πλάτη τους σε σύγκριση με τους δύο άλλους όρους. Το  $\Delta g^P$  προέρχεται από τη χωροχρονική εξέλιξη της μετατόπισης που δημιουργείται από τον σεισμό κι επομένως μπορεί να μοντελοποιηθεί σε ένα ρεαλιστικό γήινο μοντέλο με μια προσομοίωση ελαστικής διάδοσης κυμάτων. Εδώ χρησιμοποιούν τον κώδικα AXITRA με βάση ένα διακριτό άθροισμα κυματαριθμού, όπως περιγράφεται περαιτέρω στα συμπληρωματικά υλικά. Στο Σχήμα 2.10, το  $\Delta g^P$  εμφανίζεται για δύο σταθμούς σε διαφορετικές αποστάσεις, τον Inuyama (INU) στην Ιαπωνία και τον MDJ στη βορειοανατολική Κίνα. Και στις δύο περιπτώσεις, η διαταραχή είναι αρχικά θετική, επειδή σε πρώιμους χρόνους οι συνεισφορές στο  $\Delta g^P$  προέρχονται από τα στοιχεία όγκου που βρίσκονται κάτω από τον σεισμό, τα οποία συμπιέζονται από τα κύματα P.



**Σχήμα 2.10:** Ελαστοβαρυντικά κύματα κατά τον σεισμό Tohoku (Velez et al., 2017).

Στο σταθμό MDJ, το πρόσημο της διαταραχής αλλάζει λόγω της αυξανόμενης επίδρασης των στοιχείων όγκου που βρίσκονται πιο κοντά στο σταθμό, τα οποία διαστέλλονται από τα κύματα P (Σχήμα 2.10). Το ίδιο αποτέλεσμα εξηγεί τη μικρή κάμψη που παρατηρείται στον σταθμό INU όταν πλησιάζει η άφιξη του κύματος P. Η ασυμφωνία μεταξύ  $\Delta g^P$  και  $a_z^P$ , ιδιαίτερα στον σταθμό INU, δείχνει ότι η επιτάχυνση εδάφους δεν μπορεί να παραμεληθεί. Τέτοια επιτάχυνση εδάφους πριν από το P υπάρχει επειδή η βαρυντική διαταραχή  $\Delta g^P$ , που συμβαίνει

ταυτόχρονα με τη ρήξη του σεισμού, λειτουργεί ως δευτερεύουσα πηγή ελαστικής παραμόρφωσης σε ολόκληρη τη Γη. Αρχικά υπολόγισαν το  $Dg^P$  όχι μόνο στον σταθμό αλλά σε όλες τις τοποθεσίες όπου αυτή η δευτερεύουσα πηγή μπορεί να δημιουργήσει κύματα που φτάνουν στον σταθμό πριν από την άφιξη του υποκεντρικού κύματος P (σε ένα ομοιογενές μέσο, αυτή θα ήταν μια μπάλα με επίκεντρο τον σταθμό με ακτίνα ίση με την απόσταση μεταξύ σταθμού και υποκέντρου).

Στη συνέχεια εφάρμοσαν σε καθεμία από αυτές τις δευτερεύουσες θέσεις πηγής μια δύναμη σώματος ίση με  $rDg^P$  (όπου  $r$  είναι η πυκνότητα) και υπολόγισαν τα ακτινοβολούμενα ελαστικά κύματα τους με μια μέθοδο προσομοίωσης σεισμικών κυμάτων. Το συνολικό τους πεδίο κύματος παρέχει  $uz^P$ . Αυτή η νέα προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τόσο τις αλλαγές της βαρύτητας όσο και την κίνηση που προκαλείται από τη βαρύτητα και προσφέρει μια συγκεκριμένη μέθοδο ικανή να αναπαράγει το  $az^P$ . Εξηγεί επίσης γιατί το  $az^P$  μπορεί να αναφέρεται ως το σήμα ελαστοβαρύτητας που προηγείται της άφιξης του κύματος P. Βρήκαν ότι το  $uz^P$  τείνει να αντισταθμίζει το  $Dgz^P$  στους πρώιμους χρόνους, για τους σταθμούς INU και MDJ. Αυτό το φαινόμενο, που προβλέφθηκε από τον Heaton, μπορεί επίσης να γίνει κατανοητό από τη διορατική διαμόρφωση άπειρου μέσου στην οποία υπάρχει μια θεωρητική πλήρης ακύρωση του  $Dg^P$  από το  $uz^P$  (12). Πιο κοντά στον σεισμό, το χρονικό διάστημα πριν από το P είναι μικρό σε σχέση με τη διάρκεια του σεισμού και τα φαινόμενα ακύρωσης μεταξύ  $Dg^P$  και  $uz^P$  (Σχήμα 2.10) μειώνουν ακόμη περισσότερο το παράθυρο όπου μπορεί να παρατηρηθεί το σήμα. Σε περαιτέρω αποστάσεις [π.χ. σταθμοί Ulaanbaatar, Mongolia (ULN) και Xi'an, China (XAN)], όπου τα δύο τελευταία φαινόμενα επηρεάζουν οριακά το σήμα, το ασθενέστερο πλάτος οφείλεται απλώς στην εξάρτηση από την απόσταση του  $Dgz^P$ .

Τέλος, ανεξάρτητα από την απόσταση, παρατηρήθηκε και μοντελοποιήθηκε το ισχυρό αζιμουθιακό φαινόμενο λόγω του εστιακού μηχανισμού του σεισμού. Επειδή ο σεισμός του Τοχόκου είναι ένα συμβάν ώθησης που συμβαίνει στη διεπαφή καταβύθισης που χτυπά βορρά-νότο, με ρηχή βύθιση, το  $Dg^P$  είναι πολύ μικρό για τους σταθμούς στα βόρεια [Magadan, Ρωσία (MA2) και SHR]. Αυτές οι παρατηρήσεις των σημάτων ελαστοβαρύτητας που προηγούνται των κυμάτων P, και η επιτυχής ποσοτική μοντελοποίησή τους, παρακινούν έντονα τη χρήση τους για μια πρώιμη εκτίμηση μεγέθους των σεισμών. Με βάση την αναλογικότητα στον άπειρο χώρο μεταξύ του  $Dgz^P$  και του δεύτερου χρονικού ολοκληρώματος της χρονικής στιγμής συνάρτησης  $m$  του σεισμού, αναμένεται μια ισχυρή

εξάρτηση του  $az^P$  από το μέγεθος του σεισμού.

Όλες αυτές οι εκτιμήσεις μπορούν να βελτιωθούν όταν έχει εντοπιστεί ένας μεγάλος σεισμός και το επίκεντρό του έχει εντοπιστεί με τοπικά δεδομένα (κάτι που μπορεί να γίνει σε δεκάδες δευτερόλεπτα μετά την ώρα έναρξης). Σε αυτήν την περίπτωση, βάσει του θεωρητικού ή εμπειρικού (με κλασικές τεχνικές ενεργοποίησης) χρόνου άφιξης κύματος P σε περιφερειακούς σταθμούς, είναι εύκολο να εξαχθεί το παράθυρο χρόνου άφιξης πριν από το κύμα P. Σε σύγκριση με το συνηθισμένο χρονικό παράθυρο μετά το κύμα P που καταγράφει το σύνθετο περιφερειακό ελαστικό κυματοπεδίο, το προηγούμενο παράθυρο παρέχει τόσο έναν παλαιότερο όσο και έναν απλούστερο τρόπο αξιολόγησης του μεγέθους του σεισμού.

Εάν ακολουθούνταν μια τέτοια προσέγγιση για τον σεισμό του Τοχόκου, χρησιμοποιώντας αυτούς τους σταθμούς όπου οι χρόνοι άφιξης P είναι μικρότεροι από 180 δευτερόλεπτα, ένα κατώτερο όριο του τεράστιου μεγέθους του θα είχε ανιχνευθεί αξιόπιστα 3 λεπτά μετά τον χρόνο έναρξης. Η χρήση πρόσθετων σημάτων ελαστοβαρύτητας που καταγράφονται σε περαιτέρω αποστάσεις (όπως οι σταθμοί ULN ή XAN) καθυστερεί το χρόνο κατά τον οποίο μπορεί να παρασχεθεί ένα πρώτο μέγεθος, αλλά προσφέρει τη δυνατότητα παροχής ακριβούς προσδιορισμού μεγέθους. Τέτοια δεδομένα μπορούν πράγματι να ανιχνεύσουν καλύτερα ότι ο σεισμός έχει σταματήσει να αναπτύσσεται, μια απαραίτητη προϋπόθεση για τη μετάβαση από μια εκτίμηση κατώτερου ορίου σε έναν ακριβή προσδιορισμό. Η δυνατότητα ανίχνευσης, 3 λεπτά μετά την ώρα έναρξης, ότι ο σεισμός του Τοχόκου είχε μέγεθος μεγαλύτερο από 9 πρέπει να συγκριθεί με την τρέχουσα ικανότητά να ποσοτικοποιούμε τα μεγέθη μεγάλων σεισμών. Ο προσδιορισμός του μεγέθους της στιγμής στα λεπτά μετά από έναν σεισμό είναι δυνατός με τοπικά δεδομένα, αλλά για γεγονότα μεγάλου μεγέθους, αυτό περιπλέκεται από φαινόμενα πεπερασμένων πηγών.

Επί του παρόντος, τα μεγέθη ροπών προσδιορίζονται πιο αποτελεσματικά σε αποστάσεις μακριά από την πηγή, με έναν θεμελιώδη περιορισμό που επιβάλλεται από τον χρόνο που απαιτείται για τη διάδοση του ελαστικού κύματος. Ακόμη και οι πιο γρήγορες διαθέσιμες μέθοδοι είναι απίθανο να παρέχουν αξιόπιστη εκτίμηση μεγέθους εντός των πρώτων 20 λεπτών μετά τον σεισμό. Τα συνθετικά σήματα του σεισμού  $M_w = 8,5$  δείχνουν ότι τα μέγιστα πλάτη είναι μικρότερα από  $0,5 \text{ nm/s}^2$  παντού, καθιστώντας δύσκολη την ατομική ανίχνευση, ακόμη και με εξαιρετικά ευρυζωνικά σεισμόμετρα που βρίσκονται σε ήσυχες τοποθεσίες. Ως εκ

τούτου, τονίζουμε το ισχυρό πλεονέκτημα της εγκατάστασης και συντήρησης αισθητήρων υψηλής ποιότητας σε περιφερειακές αποστάσεις από πιθανούς μεγάλους σεισμούς, όπου οι τεχνικές πρόσφυσης ή συνοχής μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση πρώιμων σημάτων βαρύτητας από σεισμούς στην περιοχή 8 έως 9 Ρίχτερ.

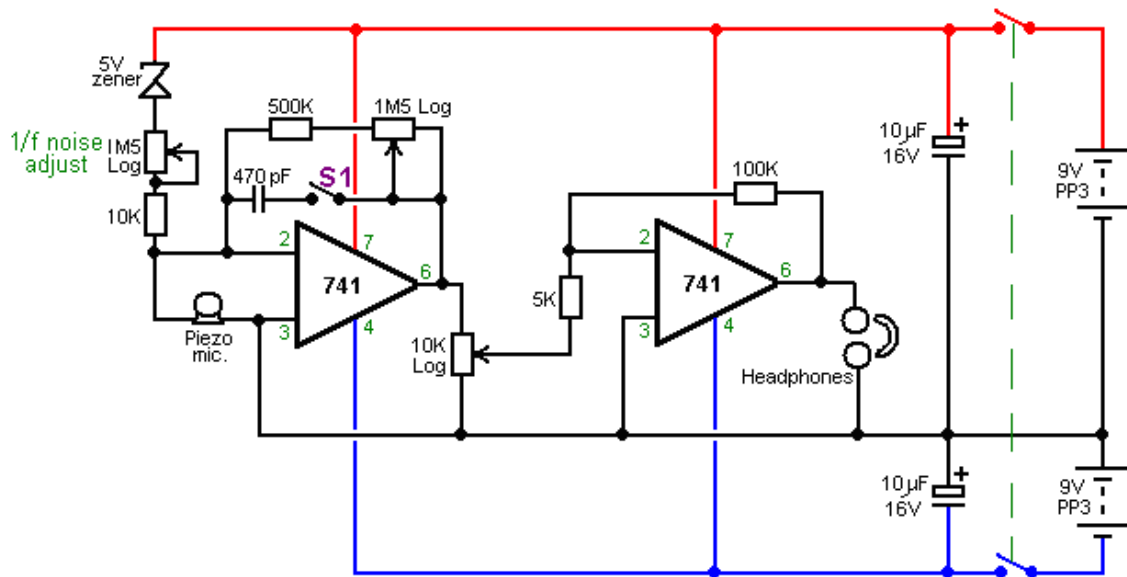
Σε χαμηλότερα μεγέθη, η πιθανή ανίχνευση τέτοιων σημάτων εξαρτάται από την ικανότητά μας να διαχωρίζουμε το σήμα βαρύτητας από τον σεισμικό θόρυβο του περιβάλλοντος. Αυτό μπορεί να γίνει κατ' αρχήν μετρώντας τη βαθμίδα της διαταραχής της βαρύτητας μεταξύ δύο ή περισσότερων σεισμικά απομονωμένων μαζών δοκιμής. Αναπτύσσονται σχετικές τεχνολογίες στο πλαίσιο ανιχνευτών βαρυτικών κυμάτων χαμηλής συχνότητας, με έννοιες όπως κεραίες με ράβδους στρέψης, βαθμιδόμετρα βαρύτητας, υπεραγώγιμα και ατομικά συμβολόμετρα. Στις δύο πρώτες έννοιες, οι μάζες δοκιμής συνδέονται με το έδαφος με ένα κοινό πλαίσιο. Οι μετατοπίσεις που προκαλούνται από τον σεισμικό θόρυβο και που επηρεάζουν τη μέτρηση της βαρύτητας μπορούν να γίνουν πολύ παρόμοιες για τις δύο μάζες, και ως εκ τούτου απορρίπτονται από τη διαφορική μέτρηση. Σε ένα ατομικό συμβολόμετρο, η φάση μιας δέσμης λέιζερ ανιχνεύεται από την αλληλεπίδρασή της με δύο ή περισσότερα ατομικά νέφη, δίνοντας μια ενδογενή μερική ανοσία στον σεισμικό θόρυβο του περιβάλλοντος. Η κλίση της βαρύτητας είναι, ωστόσο, πολύ πιο αδύναμη από την ίδια τη βαρύτητα και καθιστώντας τη μέτρησή της εφικτή, θα πρέπει να παρακινήσει περαιτέρω έρευνα για να ξεπεραστούν πρόσθετες προκλήσεις, εκτός από την καταστολή του σεισμικού θορύβου.

## **2.8 Ο ανιχνευτής του Lawton**

Ο Dave Lawton έφτιαξε μια συσκευή που του επέτρεπε να ακούει ήχους σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ήχοι από εκείνη την απόσταση περνούσαν επίσης μέσα από έναν συμπαγή πέτρινο τοίχο πάχους περίπου τριών ποδών. Η συσκευή δεν λαμβάνει σήματα ήχου με τον τρόπο ενός συμβατικού μικροφώνου όπου τα κύματα της πίεσης του αέρα δονούν έναν μορφοτροπέα, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο στη συνέχεια ενισχύεται. Το ενδιαφέρον είναι ότι είναι ευδιάκριτα πιθανό κάποιος άλλος μηχανισμός να παίζει εδώ. Αυτή η άποψη υποστηρίζεται από το γεγονός ότι το κύκλωμα του Lawton είναι μια αναβαθμισμένη έκδοση ενός μονοπολικού ανιχνευτή κυμάτων βαρύτητας (Kelly, 2013).

Το κύκλωμα που φαίνεται εδώ (Σχήμα 2.11) είναι αρκετά συμβατικό ηλεκτρονικά, αποτελούμενο από δύο λειτουργικούς ενισχυτές συνδεδεμένους ως ενισχυτής δύο σταδίων.

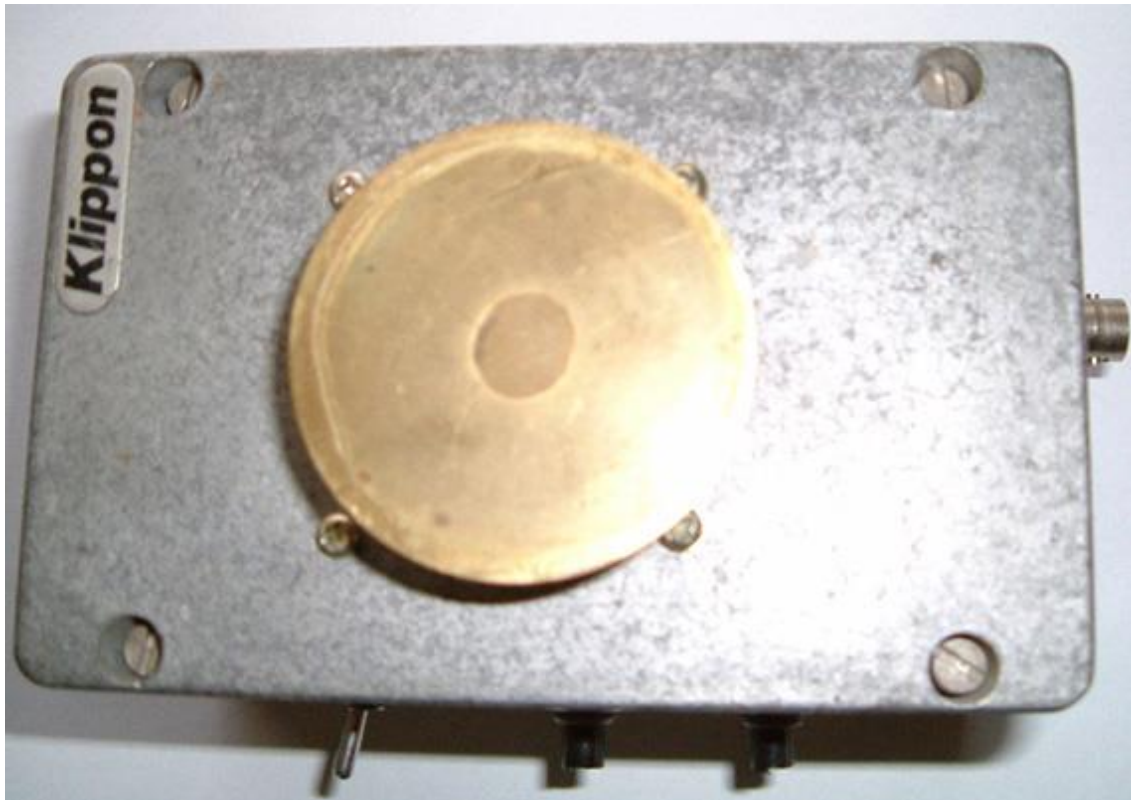
Το ασυνήθιστο χαρακτηριστικό είναι όταν μια μικρή ποσότητα λευκού θορύβου τροφοδοτείται στην είσοδο του μικροφώνου:



**Σχήμα 2.11:** 1ο κύκλωμα ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων (Πηγή: Kelly, 2013).

Ο λευκός θόρυβος δημιουργείται από τη δίοδο zener 5 volt. Το επίπεδο αυτού του στοιχείου λευκού θορύβου ελέγχεται από τη μεταβλητή αντίσταση 1,5 megohm συν τη σταθερή περιοριστική αντίσταση 10K. Ενώ το εύρος αυτών των δύο συστατικών είναι 10K έως 1.501 Meg, η ρύθμιση εργασίας είναι συνήθως πολύ υψηλή και έτσι μόνο μια πολύ μικρή ποσότητα λευκού θορύβου τροφοδοτείται στην είσοδο του πρώτου 741 op. άμπεραζ. για να τροποποιήσετε την είσοδο μικροφώνου (Gravity Detector, 2019). Η προσαρμογή αυτής της έγχυσης λευκού θορύβου είναι ο κύριος έλεγχος αυτού του πιο ασυνήθιστου κυκλώματος κι έχει βρεθεί ότι όταν η ρύθμιση είναι ακριβώς σωστή, το κύκλωμα έχει την αίσθηση ενός συστήματος δημόσιων ανακοινώσεων που πρόκειται να γίνει ασταθές από τη θετική ανάδραση.

Εξωτερικά η κατασκευή της μονάδας μοιάζει με τη συσκευή του Σχήματος 2.12.

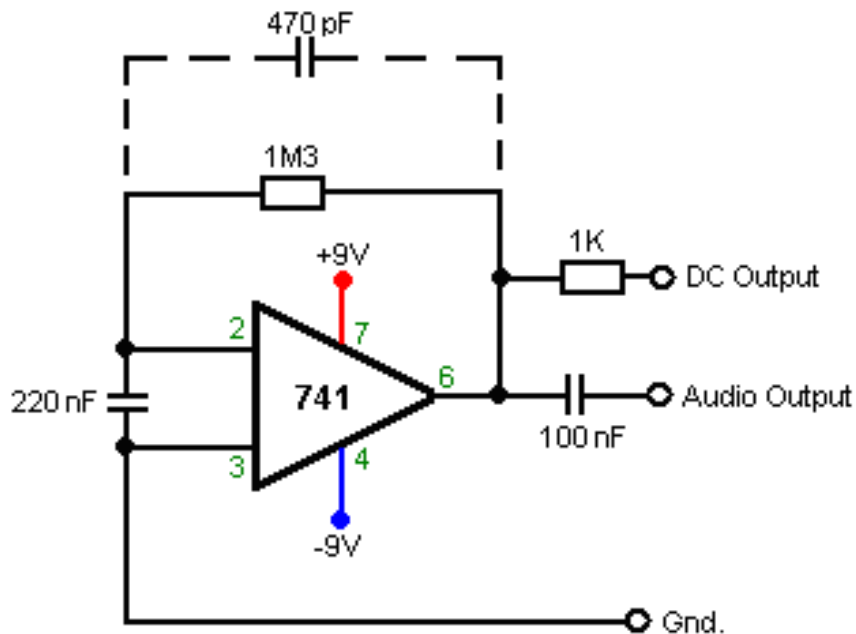


**Σχήμα 2.12:** Συσκευή ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων  
(Πηγή: Kelly, 2013).

Η θεωρία του Gregory Hodowanec είναι ότι η πηγή του θορύβου στις ηλεκτρονικές συσκευές προκαλείται από βαρυτικά κύματα και προτείνει ότι υπάρχουν μονοπολικά κύματα βαρύτητας. Αυτό δεν αντιτίθεται στα κύματα βαρύτητας που είχε προβλέψει ο Αϊνστάιν. Ο Hodowanec θεωρεί ότι αυτά τα μονοπολικά κύματα βαρύτητας είναι πολύ ισχυρότερα από αυτά που προτείνει ο Αϊνστάιν, και κατά συνέπεια, είναι πολύ πιο εύκολο να ανιχνευθούν. Βλέπει το σύμπαν ως ένα πεπερασμένο, σφαιρικό, κλειστό σύστημα, δηλαδή ένα μαύρο σώμα. Τα μονοπολικά κύματα βαρύτητας διαδίδονται στον χρόνο Planck, έτσι τα αποτελέσματά τους εμφανίζονται παντού σχεδόν ταυτόχρονα. Η ενέργεια των κυμάτων βαρύτητας μπορεί να μεταδοθεί σε συνηθισμένα αντικείμενα. Προτείνεται λοιπόν ότι το γεγονός ότι ένας πλήρως αποφορτισμένος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής μπορεί να αναπτύξει φορτίο όταν αποσυνδεθεί από όλα τα κυκλώματα, οφείλεται στην αλληλεπίδραση του πυκνωτή με τα μονοπολικά κύματα βαρύτητας.

Ο Lawton πήρε αυτό το κύκλωμα (Σχήμα 2.11) και το επέκτεινε (Σχήμα 2.13) ουσιαστικά για να δώσει πρόσθετο κέρδος συν μια ελεγχόμενη τροφοδοσία λευκού θορύβου, χωρίς να

βασίζεται στα χαρακτηριστικά ενός πυκνωτή, καθώς οι πυκνωτές είναι εμφανώς μεταβλητοί σε ακριβή χαρακτηριστικά.



### *Gravity Wave Detector*

**Σχήμα 2.13:** 2ο κύκλωμα ανίχνευσης βαρυτικών κυμάτων (Πηγή: Kelly, 2013).

Η μονάδα λειτουργεί γυρνώντας το κέρδος προς τα πάνω μέχρι το κύκλωμα να φτάσει σε αυτοταλάντωση και, στη συνέχεια, σβήνοντας πολύ ελαφρά το κέρδος. Στη συνέχεια, η πηγή λευκού θορύβου ρυθμίζεται έως ότου η μονάδα παράγει μια κάπως ηχητική ποιότητα στον ήχο. Το αποτέλεσμα είναι μια συσκευή που έχει ασυνήθιστα χαρακτηριστικά. Το κύκλωμα είναι τόσο απλό και φθηνό.

## Κεφάλαιο 3

### Πειραματικά δεδομένα και αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από την κατασκευή της συσκευής ανίχνευσης και καταγραφής γήινων ραδιοθορύβων (βλ. εδάφιο 2.4). Η συσκευή είναι τοποθετημένη σε περιοχή της Βορειο-ανατολικής Αττικής και λειτουργεί καταγράφοντας τον ραδιοθόρυβο της γης. Η μικρή διάρκεια λειτουργίας της συσκευής (περίπου ένας μήνας μέχρι την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας) δεν επέτρεψε να επαληθευτούν οι ισχυρισμοί του εφευρέτη της για πρόγνωση σεισμών. Εντούτοις, η καταγραφές συνεχίζονται και θα διαρκέσουν για όσο το επιτρέψει η αντοχή των υλικών της συσκευής, ώστε να γίνουν συγκρίσεις σε επόμενο χρόνο.

#### 3.1 Κατασκευή αισθητήρα ραδιοθορύβου



**Εικόνα 3.1:** Τα τεμάχια του προστατευτικού κελύφους του αισθητήρα





**Εικόνα 3.2:** Συναρμολόγηση του κελύφους του αισθητήρα



**Εικόνα 3.3:** Κατασκευή του αισθητήρα



**Εικόνα 3.4:** Τοποθέτηση του αισθητήρα στο κέλυφος



**Εικόνα 3.5:** Προστατευτική θήκη εξωτερικών εξαρτημάτων

### 3.2 Εγκατάσταση αισθητήρα ραδιοθορύβου στο πεδίο



Εικόνα 3.6: Αρχική εγκατάσταση των συσκευών



**Εικόνα 3.7:** Τοποθέτηση του προστατευτικού κελύφους του αισθητήρα

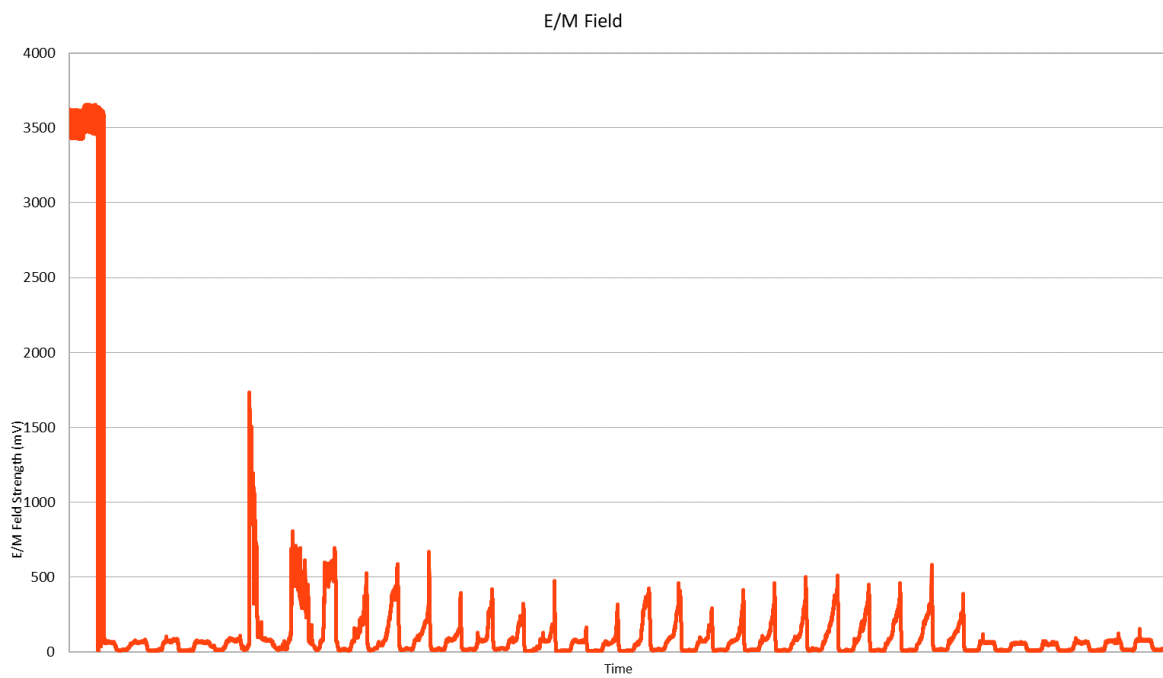


**Εικόνα 3.8:** Τοποθέτηση της κεραίας στο κέλυφος του αισθητήρα



**Εικόνα 3.9:** Τελική στερέωση της κατασκευής

### 3.3 Καταγραφή μετρήσεων ραδιοθορύβου στο πεδίο



**Διάγραμμα 3.10:** Τιμές ραδιοθορύβου από 2022-06-05 έως 2022-07-10

## Κεφάλαιο 4

### Συζήτηση-Συμπεράσματα

Από την απαρχή του χρόνου έχει παρατηρηθεί η προσπάθεια του ανθρώπου να αναζητήσει προάγγελους ενός επερχόμενου σεισμού. Κάποιες μέθοδοι βασίζονται στη δεισιδαιμονία και το φόβο, όπως φωτεινές ενδείξεις ή έκλειψη ηλίου. Κάποιες άλλες έχουν τις ρίζες τους σε επιστημονικά δεδομένα, όπως η ύπαρξη βαρυτικών κυμάτων ή οι διακυμάνσεις των κυμάτων ελαστοβαρύτητας. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συναίνεση μεταξύ της γεωφυσικής κοινότητας σχετικά με το τι αντιπροσωπεύει μια πρόβλεψη σεισμού ή πώς θα πρέπει να αξιολογούνται οι ισχυρισμοί. Δεν υπάρχει οριστική θεωρία για την εμφάνιση σεισμών και, ως εκ τούτου, οι προτεινόμενες τεχνικές πρέπει να μελετηθούν και να επικυρωθούν στατιστικά.

Στην Ελλάδα εφευρέθηκε η μέθοδος BAN, μία μέθοδος που αποπειράται να μετρήσει τα σεισμικά-ηλεκτρικά κύματα και δημιουργήθηκε από την ομάδα του Π. Βαρώτσου. Υπάρχουν μάλιστα μελετητές που υποστηρίζουν ότι μπορούν να προσφέρουν οδηγίες για τη δημιουργία οικιακών κυκλωμάτων που θα προσφέρουν στον οποιονδήποτε με ελάχιστες γνώσεις ηλεκτρολογίας την δυνατότητα πρόβλεψης ενός επερχόμενου σεισμού. Η τρέχουσα κατάσταση δείχνει ότι η μέθοδος VAN για την πρόβλεψη σεισμών δεν είναι τέλεια (Geller, 1999). Εάν, ωστόσο, περαιτέρω έρευνα κατέληγε σε μια εφαρμόσιμη και αξιόπιστη μέθοδο, τότε αυτό θα μπορούσε να είναι πολύ ωφέλιμο. Το ποσό της προειδοποίησης που δίνεται είναι αρκετό για να επιτρέψει τη λήψη έκτακτων μέτρων, τα οποία θα μπορούσαν να μειώσουν τον αριθμό των θυμάτων. Οι πολλές διαμάχες γύρω από τη μέθοδο οφείλονται κυρίως στην κακή αναφορά των αποτελεσμάτων και στη σύγχυση που αυτό συνεπάγεται. Θεωρείται ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το VAN, αν και δεν είναι ακόμη στατιστικά σημαντικά, παρέχουν μια αχτίδα ελπίδας. Αυτό που χρειάζεται είναι ένα πιο αυστηρό τεστ, με δηλώσεις των κανόνων του παιχνιδιού και όλες τις κατάλληλες παραμέτρους να γίνονται εκ των προτέρων, χωρίς να επιτρέπονται εκ των υστέρων προσαρμογές. Μέχρι να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία, δεν μπορούμε να ανακηρύξουμε τη μέθοδο VAN ως επιτυχημένη, καθώς οι «προβλέψεις» του είναι ασαφείς και διφορούμενες, όπως αναφέρει ο Geller (1997). Οι «προβλέψεις» του VAN δεν προσδιορίζουν ποτέ τα χρονικά παράθυρα και δεν αναφέρουν ποτέ



μια ξεκάθαρη ημερομηνία λήξης. Επομένως, το VAN δεν κάνει εξαρχής προβλέψεις σεισμών. Οι «επιτυχείς προβλέψεις» του VAN δεν είναι στατιστικά σημαντικές (Kagan & Jackson, 1996, και παραπομπές που αναφέρονται σε αυτό). Οι «προβλέψεις» του VAN συσχετίζονται πολύ καλύτερα με τους προηγούμενους παρά με τους επόμενους σεισμούς, καθώς εκδόθηκαν κατά προτίμηση σε περιόδους αυξημένης σεισμικής δραστηριότητας (Stavrakakis et al. 1990; Mulargia & Gasperini, 1992).

Για κάθε μία από αυτές τις τεχνικές υπάρχει πάντα ο αντίλογος και οι κριτικοί. Μέχρι στιγμής καμία μελέτη δεν χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την πρόβλεψη των σεισμών και καμία δεν είναι παγκοσμίως αποδεκτή. Ένα είναι το μόνο σίγουρο, η πρόβλεψη ενός σεισμού θα είχε τρομερά θετικά αποτελέσματα και θα έδινε τη δυνατότητα να σωθούν αμέτρητες ζωές καθώς και να αποφευχθούν μεγάλης κλίμακας τραγωδίες που συνοδεύουν σεισμούς μεγάλης έντασης. Η έρευνα για τη δημιουργία μιας επαρκούς μεθόδου θα συνεχιστεί μέχρι την εύρεση μίας λύσης.

## Κατάλογος Αναφορών

Κασιμάτης, Γ. (2006). Έρχεται σεισμός; *Τρίτο Μάτι*, 139 (Φεβρουάριος): 36-40.

Aki, K. (1995). Earthquake prediction, societal implications. *Rev. Geophys. Suppl.*, 33: 243-247.

Allen, C.R. (Chairman), Edwards, W., Hall, W.J., Knopoff, L., Raleigh. C.B., Savit. C.H, Toksoz, M.N., & Turner, R.H. (1976). *Predicting Earthquakes: A Scientific and Technical Evaluation—With Implications for Society*. Panel on Earthquake Prediction of the Committee on Seismology, Assembly of Mathematical and Physical Sciences, National Research Council, U.S. National Academy of Sciences, Washington, DC.

Bakun, W.H., & McEvelly, T.V. (1979). Earthquakes near Parkfield, California: Comparing the 1934 and 1966 sequences. *Science*, 205: 1375-1377.

Bakun, W.H., & Lindh, A.G. (1985). The Parkfield, California, earthquake prediction experiment. *Science*, 229: 619-624.

BBC News; <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-20076791>

Bernard, P., Pinettes, P., Hatzidimitriou, P.M., Scordilis, E.M., Veis, G., & Paraskevas, M. (1997). From precursors to prediction: A few recent cases from Greece. *Geophys. Journal*, 131: 467-477.

Biagi, P.F. (1999). Seismic Effects on LF Radiowaves. In M. Hayakawa (Ed.), *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes* (pp. 535-542). Tokyo: TERRAPUB.

Davis, P.M., Jackson, D.D., & Kagan, Y.Y. (1989). The longer it has been since the last earthquake, the longer the expected time until the next? *Bull. seism. Soc. Am*, 79: 1439 - 1456.

- Geller, R.J. (1991). Shake-up for earthquake prediction. *Nature*, 352: 275-276.
- Global Scaling Website; <http://lege.net/GlobalScaling>
- Grihhen, J. (1971). Relation of sunspot and earthquake activity. *Science*, 173: 558.
- Hammond, A.L. (1971). Earthquake prediction and control. *Science*, 173: 316.
- Harms, J., Ampuero, J.-P., Barsuglia, M., Chassande-Mottin, E., Montagner, J.-P., Somala, S. N., & Whiting, B.F. (2015). Transient gravity perturbations induced by earthquake rupture. *Geophysical Journal International*, 201(3): 1416–1425. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv090>
- Heaton, T.H. (2017). Correspondence: Response of a gravimeter to an instantaneous step in gravity. *Nature Communications*, 8: 966. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01348-z>
- Imamura, A. (1937). *Theoretical and Applied Seismology*. Tokyo: Marwen.
- Ip, W.H. (1976). Chinese records on the correlation of heliocentric planetary alignments and earthquakes activities. *Icarus*, 29: 435-436.
- Jordan, T H. (1997). Is the study of earthquakes a basic science? *Seism. Rex. Let.*, 1(68): 259-261.
- Kachakhidze, M., Kachakhidze-Murphy, N., Khvitia, B., & Ramishvili, G. (2019). Large Earthquake Prediction Methods. *Open Journal of Earthquake Research*, 8: 239-254. doi: 10.4236/ojer.2019.84014.
- Kachakhidze, M.K., Kachakhidze, N.K., & Kaladze, T.D. (2015). A Model of the Generation of Electromagnetic Emissions Detected Prior to Earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 85-86: 78-81. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.010>
- Kelly P.J. (2013). *Other Devices and Theories: Dave Lawton's Gravity-Wave Detector*. In “A Practical Guide to Free-Energy Devices” (Chapter 11). eBook: Version 22.9.
- Kerr, R.A. (1985). Earthquake forecast endorsed. *Science*, 228(4697): 311. doi: 10.1126/science.228.4697.311

- King, C.-Y. (1969). Seismic efficiency. *J. geophys. Res.*, 74: 1702-1703.
- Knopof, L., Aki K., Allen, C.R., Rice, J.R., & Sykes, L.R. (eds.) (1996). Earthquake prediction, Ciilloquium Proceedings. *Science*, 93: 3719-3837.
- Langbein, J. (1993). Parkfield: First short-term warning. *Em. Trans. Am. geophys. Un.*, 74: 152-153.
- Michael, A.J. (1997). Testing prediction methods Earthquake clustering versus the Poisson model. *Geophi. Re. Lett.*, 24: 1891-1894.
- Miller, S.A. (1996). Fluid-mediated influence of adjacent thrusting on the seismic cycle at Parkfield. *Nature*, 382: 799-802.
- Milne, J. (1880). Seismic science in Japan. *Trans. Seism. Jpn.*, 1: 3-33.
- Mulargia, F., & Gasperini, P. (1992). Evaluating the statistical validity beyond chance of VAN earthquake precursors. *Geophysical Journal International*, 111(1): 32-44.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1992.tb00552.x>, 32-44
- Muller, H. (2018). *Global Scaling*. New York: Heritage Publishing.
- Okada, Y. (2011). Preliminary report of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Available at: [https://www.bosai.go.jp/news/pdf/https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiG06Sk6M33AhUxRfEDHavGAXEQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bosai.go.jp%2Fe%2Fsp%2Fnews%2F2010%2Fpdf%2FPreliminary\\_report110328.pdf&usg=AOvVaw2Q40eLIG\\_AshIKpIVT3KSo](https://www.bosai.go.jp/news/pdf/https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiG06Sk6M33AhUxRfEDHavGAXEQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bosai.go.jp%2Fe%2Fsp%2Fnews%2F2010%2Fpdf%2FPreliminary_report110328.pdf&usg=AOvVaw2Q40eLIG_AshIKpIVT3KSo)
- Pakiser, L.C., Eaton, J.P., Hedly, J.H., & Raleigh, C B. (1969). Earthquake prediction and control. *Science*, 166: 1467-1474.
- Press, F., & Brace, W.F. (1966). Earthquake prediction. *Science*, 152: 1575-1584.
- Reid, H.F. (1910). *The California Earthquake of April 18, 1906* (vol. 11). Rept. State Earthquake Investigation Commission, Carnegie Institution of Washington, Washington,

DC.

- Robinson, R., Wesson, R.L., & Ellsworth, W.L. (1974). Variation of P-wave velocity before the Bear Valley, California, earthquake of 24 February (1972). *Science*, 184: 1281-1283.
- Roeloffs, E., & Langhein, J. (1994). The earthquake prediction experiment at Parkfield, California. *Rev. Geophys.*, 32: 315-336.
- Scholz, C.H., Sykes, L.R., & Aggarwal, Y.P. (1973). Earthquake prediction: A Physical Basis. *Science*, 181(4102): 803-810.
- Segall, P., & Harris, R. (1988). Earthquake deformation cycle on the San Andreas Fault near Parkfield, California. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 92: 10511-10525.
- Silver, P., & Wakita, H. (1996). A search for earthquake precursors. *Science*, 273: 77-78.
- Stavrakakis, G.N., Drakopoulos, J., & Latoussakis, J. (1990). *Evaluation of correlation SES with earthquake* (Publ. no. I). Athens: National Observatory.
- Tramutoli, V., Aliano, C., Corrado, R., Filizzola, C., Genzano, N., Lisi, M., Martinelli, G., & Pergola, N. (2013). On the Possible Origin of Thermal Infrared Radiation (TIR) Anomalies in Earthquake-Prone Areas Observed Using Robust Satellite Techniques (RST). *Chemical Geology*, 339: 157-168.
- Tsuhoi, C., Wadati, K., & Haglwala, T. (1962). Earthquake Prediction. Earthquake Prediction Research Group, Tokyo University (English translation).
- Turcotte, D.L. (1991). Earthquake prediction. *Ann. Res. Earthplanet Science*, 19: 263-281.
- Utada, H. (1993). On the physical background of the VAN earthquake prediction method. *Tectonophysics*, 224: 153-160.
- Vallée, M., Ampuero, J.P., Juhel, K., Bernard, P., Montagner, J.-P., & Barsuglia, M. (2017). Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves. *Science*, 358(6367): 1164–1168. doi:10.1126/science.aao0746
- Varotsos, P.A., & Alexopoulos, K.D. (1986). *Thermodynamics of Point*. Amsterdam: North-

Holland.

- Varotsos, P., & Lazaridou, M. (1991). Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals. *Tectonophysics*, 188: 321-347.
- Varotsos, P. et al. (1996). Recent earthquake prediction results in Greece based on the observation of seismic electric signals. *Acta Geophysica Polonica*, 44: 301-327.
- Wakita, H., Nakamura, Y., Notsu, K., Noguchi, M., & Asada, T. (1980). Radon anomaly: a possible precursor of the 1978 Izu-Osbima-Kinkai earthquake. *Science*, 207: 882-883.
- Wesson, R.L., Rohinson, R., Bufe, C.G., Ellsworth, W.L., Pfluke, J.H., Steppe, J.A., & Seekins, L.C. (1977). Search for seismic forerunners to earthquakes in central California. *Tectonophysics*, 42(2-4): 111-126.
- Witze, A. (2017). Gravity signals could speedily warn of big quakes and save lives. *Nature*, 30 November 2017. <https://doi.org/10.1038/nature.2017.23045>
- Wyss, M. (ed.) (1991). Special issue: earthquake prediction. *Tectonophysics*, 193: 253-410.