

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Bull. Geol. Soc. Greece	Τομ. XVIII Vol.	σελ. 161-171 pag.	Αθήνα 1986 Athens
--	-----------------------	-------------------------	-------------------------

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ

ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

SUMMARY

Self - potential (SP) measurements may be considered as the most hopeful geoelectric method for investigating the question of earthquake prediction. The reasons for that can be attributed to following.

1) SP-changes can be detected from a long distance of the earthquake focus regardless if said changes are due to electrocinetic phenomena (dilatancy theory) or to piezostimulated currents (assumption of BAN).

2) SP - changes appear some hours or even days before the main shock.

To our opinion, if SP changes detected by BAN are actually due to telluric currents generated at the earthquake focus, it could be expected that the ratios among the intensities of the recorded electric signals, in a given group of stations, taken in combination by two, should be the same for all telluric currents, derived from this focus area, regardless the time the currents were generated.

For more accurate location of the epicenter, on the basis of the signals intensities, recorded in a given group of stations, it must be taken into consideration that signal intensity depends not only on the epicentric distance but also on the distribution of conductivity in the semi - space which includes both, the focus and the observation stations. As the conductivity distribution is unknown, the location of the epicenter of an expected earthquake can be determined by calculating the ratios of signal intensities of the various stations taken in couples by two (on the same sequence as before) and comparing them with the ratios of the signal intensities of previous earthquakes of known epicenters, recorded in the same stations.

The using of electromagnetic emission for the investigation of earthquake prediction according to the existing data, is practically disadvantageous because of the short occurrence of this phenomenon (about half to one hour) before the main shock. Besides, it is not known yet, how the epicenter and the magnitude of the earthquake will be estimated by this method, on the basis of the signal intensity.

As a general conclusion we can say that for the most possible accurate earthquake prediction it is still necessary a long time study and systematic investigation not only on the aforementioned geoelectric phenomena, but also on every other physical phenomenon, for which exists indications that it is connected with earthquakes.

ECONOMOU A. - Some remarks about the application possibility of geoelectric methods for investigation of earthquake prediction.

Ανακοινώθηκε 27.1.84.

Η πρόγνωση των σεισμών είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα, που αναφέρεται στην λύση μιας εξισώσεως με τρεις αγνώστους, χρόνο, τόπο και μέγεθος ενός μελλοντικού σεισμού, χωρίς να δίδεται τουλάχιστον ένα γνωστό στοιχείο. Ακόμη και ο τρόπος γενέσεως ενός σεισμού δεν είναι αρκετά γνωστός. Το μόνο γνωστό είναι, ότι μέχρις ότου γίνει ένας σεισμός προηγείται μία διαδικασία από φυσικά φαινόμενα, όπως ελαστική παραμόρφωση πετρωμάτων, διάρρηξη αυτών και κάποια μετακίνηση γήινων τεμαχίων, που τελικά καταλήγει σε σεισμική εκδήλωση.

Από την αρχή ο άνθρωπος είχε παρατηρήσει μερικά προσεισμικά φαινόμενα, όπως την βοή και την περιέργη συμπεριφορά των ζώων προ του σεισμού και διερωτήθη ποιά είναι τα φυσικά φαινόμενα, που επηρεάζουν τα ζώα όχι όμως τον άνθρωπο. Με τον καιρό διεπιστώθη, ότι πολλές φορές πριν ένα μεγάλο σεισμό είχαν προηγηθεί άλλοι μικρότεροι και ακόμη ότι οι σεισμοί δεν προκαλούσαν παντού καταστροφές, αλλά μερικοί τόποι υπέφεραν περισσότερο και άλλοι ολιγότερο. Επίσης, από την αρχαιότητα είχαν διπιστώσει ότι σε πολλές περιπτώσεις ο σεισμός επαναλαμβάνετο στο ίδιο μέρος. Έτσι, ο Πλίνιος είχε διατυπώσει την άποψη «όπου έσεισε θα σείσει» που αντιστοιχεί περίπου στην έννοια του «σεισμικού χάσματος» των σημερινών σεισμολόγων.

Με τις σεισμο-γεωλογικές έρευνες, που έγιναν αργότερα, διεπιστώθη ότι η αιτία των σεισμών βρίσκεται πολλές φορές σε ρήγματα και μεταπτώσεις του γήινου φλοιού, που από γεωλογική άποψη είναι πρόσφατα. Έτσι με βάση τα γεωλογικά στοιχεία και τα ιστορικά γεγονότα των σεισμών άρχισε μια προσπάθεια για την πιθανή πρόγνωση των μελλοντικών σεισμών. Μεγάλο ενδιαφέρον εδόθη στην συγκέντρωση στατιστικών στοιχείων από παλαιότερους σεισμούς και στην συσχέτιση των προσεισμών με τον κύριο σεισμό, όπως και στην μελέτη άλλων φυσικών φαινομένων, ηχητικών, μαγνητικών κ.λπ. που παρουσιάζονται στους σεισμούς. Έπειτα ετέθη το ερώτημα, αν ο άνθρωπος μπορεί να διαπιστώσει φυσικά φαινόμενα, όχι βέβαια αυτά που παράγονται κατά την εκδήλωση του σεισμού, π.χ. ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά από την τριβή στην σεισμογόνο μετάπτωση, αλλά πολύ πριν π.χ. κατά τον χρόνο συσσωρεύσεως ελαστικών τάσεων, που προκαλούν τις ελαστικές παραμορφώσεις των πετρωμάτων πριν γίνει η διάρρηξη ή τουλάχιστον στο πρώτο στάδιο αυτής.

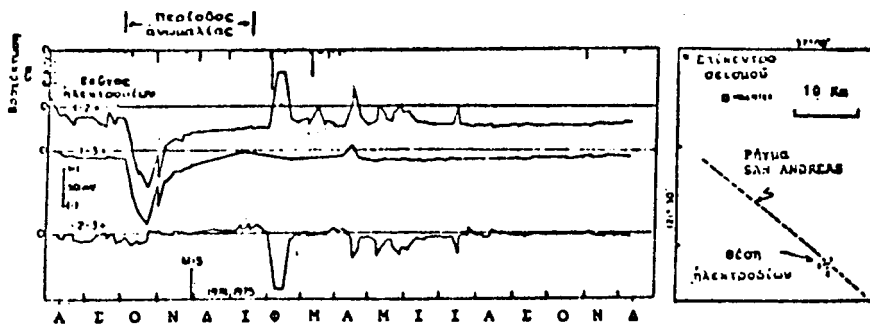
Από τον περασμένο αιώνα ήταν γνωστό, ότι μερικές φορές προ του σεισμού είχε παρατηρηθεί στέρευμα του νερού σε πηγές, ανυψώσεις εδάφους, όπως και ανωμαλίες του γήινου μαγνητικού πεδίου. Αργότερα διαπιστώθηκαν διαφορές στο φυσικό δυναμικό και στην ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων, τις οποίες κατόπιν ακολούθησαν σεισμικές δονήσεις. Τα στοιχεία αυτά απετέλεσαν την βάση για την απαρχή της γεωφυσικής στην έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών. Πρώτος στόχος της έρευνας αυτής ήταν η αναγνώριση φαινομένων ή ακόμη και η διαπίστωση μεταβολών σ' αυτά, που ενδεχομένως έχουν κάποια σχέση με τις ελαστικές τάσεις των πετρωμάτων που προκαλούν τον σεισμό, οπότε θα μπορούσαν να θεωρηθούν σαν προμήνυμα εκδηλώσεως ενός προσεχούς σεισμού. Ανάλογα με το είδος του μελετουμένου φυσικού φαινομένου εφαρμόζονται στην έρευνα προβλέψεως των σεισμών και διάφορες γεωφυσικές μέθοδοι.

Η μελέτη αυτή θα περιορισθεί μόνον σε ότι αφορά γεωηλεκτρικά φαινόμενα, όπως μεταβολές στο φυσικό δυναμικό και σε φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής.

1. Μεταβολές φυσικού δυναμικού

Την πρώτη ώθηση στην γεωηλεκτρική αυτή έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών έδωσαν οι παρατηρήσεις, ότι στην Κίνα, στη Σοβιετική ένωση (13) και στις Η.Π.Α. (9) πριν τους σεισμούς παρουσιάστηκαν μεταβολές του φυσικού ή ιδίου δυναμικού (S.P.). Οι μεταβολές αυτές του S.P., που αρχίζουν μερικές ώρες ή και μήνες ακόμη πριν τον σεισμό, φθάνουν ολίγα mV/Km μέχρι εκατοντάδες mV/Km και παρατηρούνται σε αποστάσεις μέχρι 150 Km από τα σεισμικά επίκεντρα (1). Αν υπάρχει συσχέτιση των μεταβολών αυτών του S.P. με σεισμικά φαινόμενα, τότε τα αίτια αυτών θα πρέπει να αναζητηθούν σε τεκτονικά κυρίως γεγονότα και να αποκλεισθούν οι μεταβολές του S.P. που οφείλονται σε αλλαγές της θερμοκρασίας, υγρασίας και χημικής συστάσεως του υπεδάφους.

Τούτο διαπιστώθηκε π.χ. στην ριζιγενή ζώνη της περιοχής San Andreas της κεντρικής Καλιφόρνιας (Σχ. 1), όπου οι παρατηρηθείσες μεταβολές του S.P. δεν



Σχ. 1. Μεταβολή φυσικού δυναμικού και ύψος βροχής στην ριζιγενή ζώνη SAN ANDREAS κατά την περίοδο Αυγ. 74 — Δεκ. 75. Η ταυτόχρονη «ανωμαλία», στα ζεύγη ηλεκτροδίων 1-2 και 1-3 της τάξεως 90 mV προηγήθη κατά 55 ημέρες από τον σεισμό της 24 Νοεμ. 75, μεγέθους 5 R (40 km ΒΔ της θέσεως των ηλεκτροδίων). Η «ανωμαλία» του Φεβ. 75 οφείλεται σε έντονη βροχοπτώση (CORWIN & MORRISON 1977).

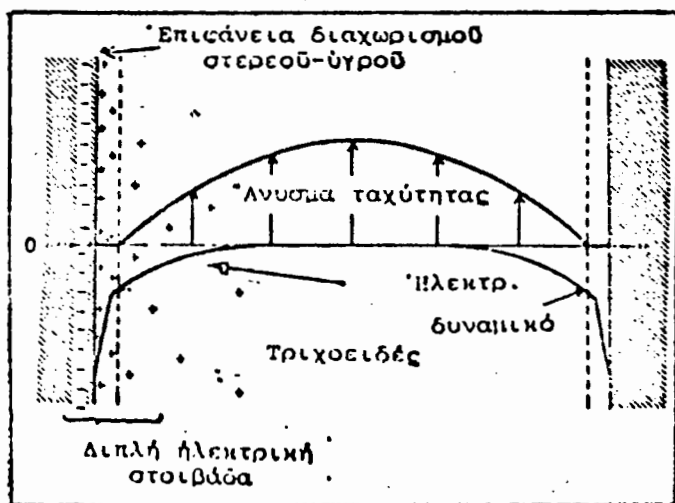
φαίνεται να οφείλονται σε αλλαγές θερμοκρασίας, υγρασίας λόγω βροχοπτώσεων ή χημικής συστάσεως του υπεδάφους. Το πλάτος δε και η διάρκεια των παρατηρηθεισών μεταβολών S.P. ήταν πολύ μεγαλύτερες από την συνήθη στάθμη θορύβου τελλουρικών ρευμάτων.

Για την ερμηνεία γενέσεως των ανωτέρω ανωμαλιών S.P. έγιναν διάφοροι υποθέσεις από τις οποίες πλέον ενδιαφέρουσα είναι η υπόθεση της διασταλτικότητας (dilatancy).

Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, όταν σε μία περιοχή εξασκείται τεκτονική πίεση, τότε τα πετρώματα διαστέλλονται κάθετα στην πίεση, με αποτέλεσμα να ελαττωθεί η πίεση στους πόρους των πετρωμάτων κατά την διεύθυνση του

εφελκυσμού, οπότε το περιεχόμενο υπόγειο νερό διαχέεται και πληρεί τα μικρορήγματα στη ζώνη του εφελκυσμού. Έτσι το πέτρωμα παρουσιάζει ανισοτροπία στην διαπερατότητα, δηλ. μεγαλύτερη κάθετα στην πίεση, με αποτέλεσμα τη ροή υπόγειου νερού στη ζώνη διαστολής, όπως και κατά μήκος των μεταπτώσεων.

Όπως όμως είναι γνωστό, στα πορώδη μέσα, στην επιφάνεια διαχωρισμού στερεού - υγρού δημιουργείται ηλεκτρική διπλή στιβάδα (Σχ. 2) η οποία αποτελείται από ένα στρώμα αρνητικών ιόντων που συγκρατούνται σταθερά στο στερεό και από ένα πλέον διάχυτο ευκίνητο στρώμα θετικών ιόντων, εκτεινομένων στην υγρά φάση (τριχοειδή, ηλεκτρική ώσμωση).



Σχ. 2. Σχηματική απεικόνιση διπλής ηλεκτρικής στοιβάδας και κατανομή του ηλεκτροκινητικού δυναμικού και της ταχύτητας υγρού σε ένα τριχοειδές (MIZUTANI — ISHIDO 1976).

Η κίνηση του νερού μέσα στους πόρους του πετρώματος στην ζώνη διαστολής συνεπάγεται και μετακίνηση των προφαναφερθέντων ιόντων της υγρής φάσεως. Αποτέλεσμα των ηλεκτροκινητικών αυτών φαινομένων είναι η δημιουργία «ηλεκτρικού δυναμικού ροής» (streaming potential).

Οι μεταβολές του δυναμικού αυτού, που εξαρτώνται από τις μεταβολές της πίεσης στους πόρους, εκτιμώνται της τάξεως 10^2 - 10^3 V/Kb.

Το προκαλούμενο κατά τα ανωτέρω ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να επιφέρει διακυμάνσεις του γήινου μαγνητικού πεδίου της τάξεως 0,2-200 γ. (10). Υποτίθεται μάλιστα ότι οι γεωμαγνητικές διακυμάνσεις, που συνδέονται με σεισμούς, πρέπει να αποδοθούν σε ηλεκτροκινητικά φαινόμενα και όχι σε πιεζομαγνητικά (6).

Ανωμαλίες φυσικού δυναμικού παρουσιάζονται και στις μεταπτώσεις, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου πρόκειται για την επαφή δύο διαφορετικών πετρωμά-

των. Η κίνηση του νερού στην γειτονία των μεταπτώσεων μπορεί, ως προαναφέρθη, να προκαλέσει ροή ρεύματος («ηλεκτρικό δυναμικό ροής»).

Στην περίπτωση μάλιστα κατακορύφων μεταπτώσεων, η κίνηση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο γήινο μαγνητικό πεδίο, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από την διαφορά των συντελεστών δυναμικού ροής στις δύο πτέρυγες της μεταπτώσεως. Η μεγαλύτερη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου διευθύνεται παραλλήλως προς την διεύθυνση της μεταπτώσεως.

Λόγω της συγχρόνου φύσεως της εκροής νερού από το έδαφος και της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου οι Mizutani - Ishido υπολογίζουν το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου δεχόμενοι ότι το κυκλοφορούν ρεύμα κινείται σε κυκλικούς δρόμους στην γειτονία κατακορύφων ρηγμάτων, που σχετίζονται με ροή νερού.

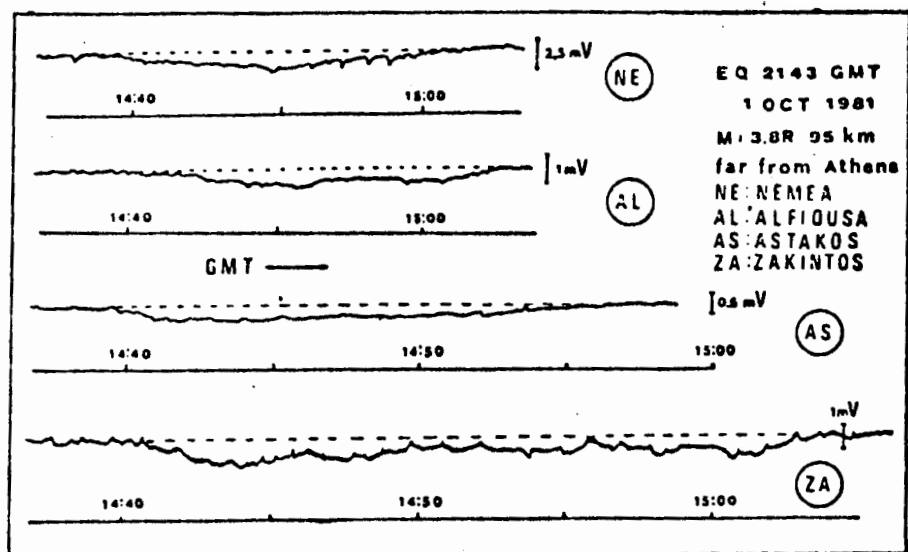
Επειδή οι μεταβολές αυτές του μαγνητικού πεδίου προέρχονται από όμοιες χρονικές μεταβολές ηλεκτρικού πεδίου μπορούν έτσι να διακριθούν από μαγνητικές ανωμαλίες που οφείλονται σε πιεζομαγνητικά φαινόμενα, τα οποία προκαλούν μεταβολές στην τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας και της μόνιμου μαγνητίσεως και δεν συνοδεύονται από ηλεκτρικά πεδία. (3).

Ανεξάρτητα από την παραδοχή ή όχι της ερμηνείας, που δίδει η υπόθεση της διασταλτικότητας για την γένεση του φυσικού δυναμικού που σε μερικές περιοχές εμφανίζεται προ του σεισμού, το γεγονός και μόνον ότι οι μεταβολές του S.P. παρουσιάζονται στις σεισμογόνες περιοχές και ιδίως στον χώρο των μεταπτώσεων, που συνδέονται με τους σεισμούς, αποτελεί θετικό στοιχείο στην έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών. Γι' αυτό θα πρέπει να γίνει συστηματική έρευνα στην περιοχή ρηγμάτων μεταπτώσεων και παρακολούθηση των μεταβολών του φυσικού δυναμικού.

Στην έρευνα αυτή προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στα ρήγματα - μεταπτώσεις, που συνδέονται με παλαιότερους σεισμούς. Έτσι γίνεται συνδυασμός της μεθόδου του φυσικού δυναμικού με την μέθοδο του «σεισμικού χάσματος», σύμφωνα με την οποία περιοχές, που παλαιότερα είχαν υποφέρει από σεισμούς, όχι όμως τα τελευταία τουλάχιστον 30 χρόνια, εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους για την επανεμφάνιση ισχυρών σεισμών.

Μεταβολή στο φυσικό δυναμικό προ της εκδηλώσεως σεισμών διεπίστωσαν και οι Βαρώτσος, Αλεξόπουλος και Νομικός, που αποτελούν την λεγόμενη ερευνητική ομάδα BAN. Στην πρώτη τους ανακοίνωση (15) στην Ακαδημία Αθηνών αναφέρουν ότι κατέγραψαν λίγα λεπτά πριν κάθε σεισμό μεταβολή του φυσικού δυναμικού μερικών mV, που την απέδωσαν στην παραγωγή γεωρευμάτων, λόγω αποπλώσεως, στην περιοχή της σεισμικής εστίας, κατά την ανακατανομή του πεδίου των ελαστικών τάσεων.

Στην δεύτερη ανακοίνωσή τους, οι ίδιοι ερευνητές (16) προσθέτουν ότι διεπίστωσαν και άλλα ηλεκτρικά σήματα, τα οποία (Σχ. 3) παρουσιάζονται περίπου 7 ώρες πριν τους σεισμούς, ενώ σε άλλη μεταγενέστερη εργασία τους αναφέρουν ότι στην περίπτωση μερικών σεισμών διεπιστώθηκαν σήματα 15, 32 και 75 ώρες πριν την εκδήλωση των δονήσεων.



Σχ. 3. Ηλεκτρικά σήματα που κατεγράψαν ταυτόχρονα σε τέσσερις σταθμούς 7 περίπου ώρες πριν από ένα σεισμό, μεγέθους 3,8 R, που έγινε την 1η Οκτ. 81, 21:43 GMT, 95 km από την Αθήνα, πιθανώς κοντά στο Δίστομο (Varotsos et al, Πρακτ. Ακαδημίας Αθηνών 26.11.81).

Τούτο ενισχύει την άποψη (8) ότι ο χρόνος προγνώσεως σεισμών από το γεωρεύματα BAN δεν μπορεί να είναι σταθερός, αλλά θα εξαρτάται από τις γεωδυναμικές συνθήκες, που διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή.

Η διαπίστωση ότι τα γεωρεύματα αποπολώσεως παρουσιάζονται ώρες πριν την εκδήλωση του σεισμού δείχνει, κατά την γνώμη μας, ότι αυτά οφείλονται σε μηχανικά αίτια, που προηγούνται της κυρίας θραύσεως των πετρωμάτων και της λειτουργίας των μεταπτώσεων, που συνδέονται με την γένεση των σεισμών.

Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι η ένταση του γεωρεύματος σε ένα σταθμό παρατηρήσεως ελαττώνεται με την αύξηση της επικεντρικής αποστάσεως και είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος προς αυτήν. Με βάση την σχέση αυτή θεωρούν ότι είναι δυνατόν να προσδιορισθεί το επίκεντρο ενός σεισμού από την ένταση του σήματος σε τρεις τουλάχιστον σταθμούς.

Οι προσδιορισθείσες όμως με βάση την σχέση αυτή θέσεις των επικέντρων διαφέρουν σημαντικά από τις θέσεις των πραγματικών επικέντρων. Κατά την άποψή μας, οι διαφορές αυτές οφείλονται στο ότι, όπως είναι γνωστόν, η κατανομή στο υπέδαφος της πυκνότητας ενός γεωρεύματος δεν είναι μονοσήμαντη συνάρτηση της αποστάσεως του σημείου παρατηρήσεως από το σημείον εκπομπής του, αλλά συνάρτηση και της κατανομής της αγωγιμότητας στο υπέδαφος. Η κατανομή αυτή καθορίζεται από την γεωλογική δομή (είδος πετρωμάτων, τεκτονική) του υπεδάφους στον ημιχώρο, που περιλαμβάνει την πηγή του γεωρεύματος και τα σημεία παρατηρήσεως.

Οι διαφορές στην αγωγιμότητα προς τις διάφορες διευθύνσεις είναι συχνά

τόσο σημαντικές, ώστε να αντισταθμίζουν αισθητά την επίδραση της αποστάσεως στην κατανομή της πυκνότητας του γεωρεύματος, συνεπώς και στη διαμόρφωση των εντάσεων των ηλεκτρικών σημάτων στα διάφορα σημεία παρατηρήσεως. Επομένως, για ένα ακριβέστερο προσδιορισμό του σημείου εκπομπής ενός γεωρεύματος, με βάση τις εντάσεις του στα σημεία παρατηρήσεως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και οι δύο παράγοντες που επιδρούν στην κατανομή της πυκνότητας του γεωρεύματος, δηλαδή η απόσταση και η κατανομή της αγωγιμότητας. Επειδή όμως η κατανομή της αγωγιμότητας στο υπέδαφος είναι άγνωστη, αφετηρία για την προσέγγιση του προβλήματος μπορεί ίσως να αποτελέσει η ακόλουθη σκέψη:

Σε ένα γεωλογικώς δεδομένο υπέδαφος, η σχετική κατανομή της πυκνότητας γεωρεύματος, στα διάφορα σημεία του, είναι η αυτή για όλα τα γεωρεύματα που προέρχονται από το ίδιο σημείο του υπεδάφους. Συνεπώς, η σχέση μεταξύ των εντάσεων των ηλεκτρικών σημάτων που παρατηρούνται στους σταθμούς ενός δεδομένου δικτύου πρέπει να είναι η αυτή για όλα τα γεωρεύματα που προέρχονται από την ίδια θέση του υπεδάφους, ανεξάρτητα από το χρόνο και τρόπο γενέσεώς τους.

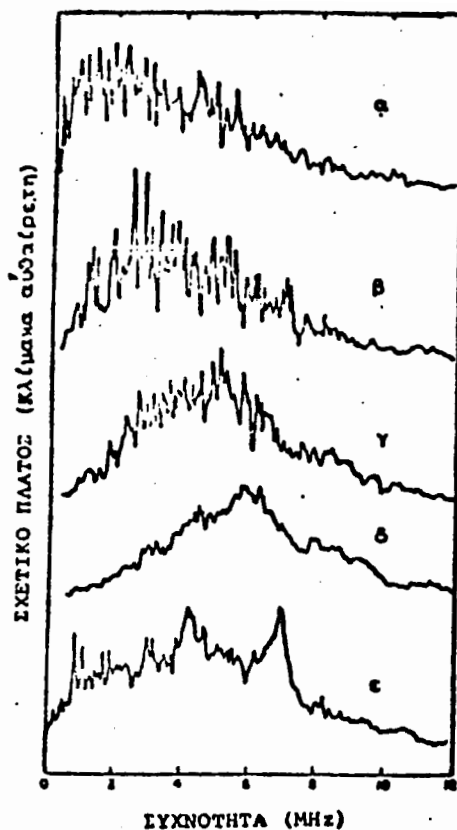
Εάν αποδειχθεί στην πράξη, ότι η αρχή αυτή, που όπως είναι γνωστόν ισχύει για όλα τα τεχνητά και φυσικά γεωρεύματα (διαφορετικής προελεύσεως) ισχύει και για τα ηλεκτρικά σήματα που διαπίστωσε η ερευνητική ομάδα ΒΑΝ, τούτο θα αποτελέσει σημαντική επιβεβαίωση, ότι τα σήματα αυτά είναι πρόδρομα φαινόμενα εκδηλώσεως σεισμού και θα δώσει την δυνατότητα για ένα ακριβέστερο προσδιορισμό του σεισμογόνου χώρου προελεύσεως κάθε μελλοντικού σεισμού, εφ' όσον βεβαίως για τον χώρο αυτόν έχει ήδη προσδιορισθεί, από προηγούμενο σεισμό, η σχέση μεταξύ των εντάσεων των ηλεκτρικών σημάτων στους σταθμούς ενός μονίμως εγκατεστημένου δικτύου.

2. Φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής

Όπως είναι γνωστόν (11) με την θραύση χαλαζιακών πετρωμάτων καθώς και άλλων σκληρών πιεζοηλεκτρικών υλικών εκπέμπονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ραδιοφωνικής συχνότητας, τα οποία μπορούν να συλληφθούν με κατάλληλες συσκευές (δέκτες). Τα σήματα, που έχουν σχέση με την θραύση των πετρωμάτων αυτών, είναι ισχυρότερα από εκείνα που προξενούνται από ραδιοφωνικό θόρυβο, ενώ το πλάτος τους αυξάνει όσον η συσκευή πλησιάζει την πηγή.

Η πιο πιθανή αιτία για την εμφάνιση των σημάτων αυτών είναι η ταχεία πτώση στο πιεζοηλεκτρικό πεδίο, που συνοδεύει την απότομη απελευθέρωση των τάσεων κατά την θραύση των πετρωμάτων.

Το φάσμα συχνοτήτων της εκπομπής εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση των πετρωμάτων αυτών και μάλιστα ελαττούμενου του μεγέθους των κόκκων το φάσμα εκπομπής μετατοπίζεται προς υψηλότερες συχνότητες (Σχ. 4). Το πλάτος των σημάτων αυτών είναι ανεξάρτητο του μεγέθους του φορτίου, που προκαλεί την θραύση του πετρώματος.



Σχ. 4. Φάσμα συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής κατά την θραύση: α. Χονδρόκοκκου γρανίτου (μέσο μέγεθος κόκκων 15 mm). β. Γρανодиορίτου (2 mm). γ. Λεπτόκοκκου γρανίτου (0,5 mm). δ. Λεπτόκοκκου χαλαζίτου (0,1 mm). ε. Μονοκρυστάλλου τουρμαλίνου (2x1x0,5 cm) με εφαρμογή πιέσεως κατά τον άξονα c.

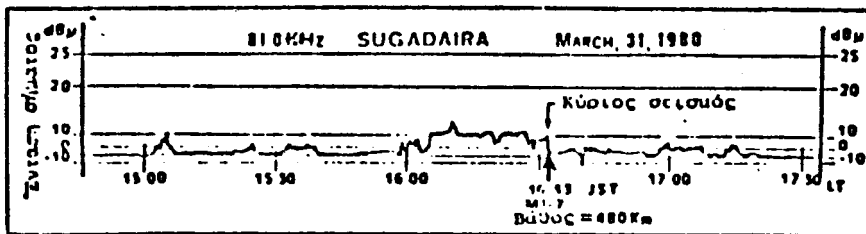
Σημαντικό χαρακτηριστικό του φαινομένου αυτού είναι, ότι η ηλεκτρομαγνητική εκπομπή που σχετίζεται με τη θραύση χαλαζιακών πετρωμάτων παρατηρείται ανεξάρτητα εάν το πέτρωμα είναι ξηρό ή υγρό, ενώ το πιεζοηλεκτρικό δυναμικό, που προκαλείται από βραδεία μεταβολή αξονικής πιέσεως σε χαλαζιακό πέτρωμα, παρατηρείται μόνον όταν το πέτρωμα είναι ξηρό.

Το φαινόμενο εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κατά την θραύση των χαλαζιακών πετρωμάτων, θα μπορούσε να βοηθήσει στην έρευνα της προσεισμικής δράσεως και ενδεχομένως στην εξήγηση της περιεργής συμπεριφοράς μερικών ζώνων πριν τον σεισμό. Επίσης θα μπορούσε να έχει εφαρμογή και στην έγκαιρη πρόγνωση καταπτώσεων σε μεταλλεία.

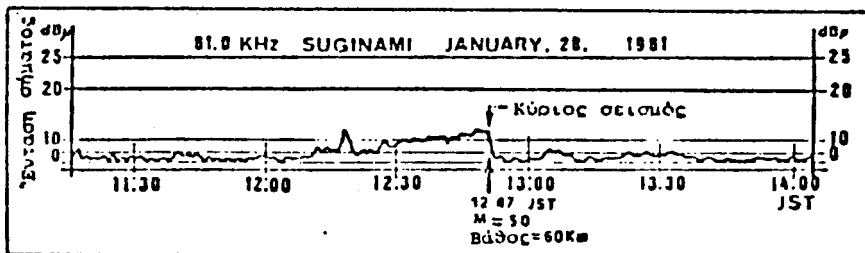
Εκτός από τις εργαστηριακές έρευνες υπάρχουν και σχετικές μαρτυρίες περι

της ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής, που συνδέεται με σεισμούς. Πρόσφατες παρατηρήσεις στην Σοβιετική Ένωση ενισχύουν την άποψη, ότι συμβαίνει ευρέου φάσματος ηλεκτρομαγνητική εκπομπή προ των σεισμών.

Οι Gokhberg et al (4) από διεξαχθείσες μετρήσεις ραδιοφωνικών κυμάτων διεπίστωσαν αύξηση της στάθμης του ραδιοφωνικού θορύβου μισή ώρα περίπου προ των σεισμών της 31.3.80 του ΚΥΟΤΟ και της 28.1.81 του IBARAG της Ιαπωνίας, μεγέθους $M=7$ και $5 R$ αντιστοίχως (Σχ. 5 & 6).



Σχ. 5. Αύξηση της στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου στους 81 KHz, που παρατηρήθη 1/2 ώρα πριν τον σεισμό της 31.3.80 του ΚΥΟΤΟ (250 km από τον σταθμό παρατηρήσεως SUGADAIIRA) μεγέθους 7 R. Ο θόρυβος επανήλθε στην αρχική του στάθμη ακριβώς την στιγμή του σεισμού, 16h 33' τοπική ώρα (GOKHBERG et al 1982).



Σχ. 6. Αύξηση της στάθμης του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου στους 81 KHz 45 λεπτά περίπου πριν από τον σεισμό της 28.1.81 του IBARAG (50 km BA του σταθμού παρατηρήσεως SUGINAMI) μεγέθους 5 R. Η αρχική στάθμη επανήλθε ακριβώς την στιγμή του σεισμού, 12h 47' τοπική ώρα (GOKHBERG et al 1982).

Οι ανωτέρω συγγραφείς δέχονται, ότι τα πετρώματα, που είναι πλησίον της σεισμικής εστίας, αρχίζουν να θραύονται όταν οι ελαστικές τάσεις αυξηθούν αρκετά πριν τον σεισμό, οπότε παρουσιάζεται ηλεκτρομαγνητική εκπομπή. Όταν όμως μετά τον κύριο σεισμό τα πετρώματα επανέλθουν στην αδιατάρακτη κατάσταση, τότε γίνεται διακοπή της ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής εκπομπής, που προηγείται από τους σεισμούς, διαφέρει από σεισμό σε σεισμό, εξαρτωμένη από παράγοντες, όπως μέγεθος σεισμού, βάθος εστίας, γεωλογία εστιακής περιοχής, απόσταση επικέντρου - σταθμού παρατηρήσεως, συνθήκες ιονοσφαιρικής διαδό-

σεως κ.α. Έτσι, η τιμή της εντάσεως μπορεί να κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες $\mu\text{V/m}$ μέχρι μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες V/m .

Μέχρι τώρα όμως δεν έχει προσδιορισθεί η ποσοτική σχέση που συνδέει την ένταση του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος με τον χρόνο που προηγείται του κυρίου σεισμού, με το μέγεθος του σεισμού και με την επικεντρική απόσταση του σημείου παρατήρησης, δηλαδή με τα βασικά στοιχεία για μια αξιόπιστη πρόγνωση.

Εάν η παρατηρηθείσα από τους Gokhberg et al ηλεκτρομαγνητική εκπομπή σχετίζεται με την θραύση των χαλαζιακών πετρωμάτων, τότε ειδικώς για την Ελλάδα και εφ' όσον περιορισθούμε σε σεισμούς μικρού βάθους, η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στην πρόγνωση των σεισμών προβλέπεται ότι θα είναι πολύ περιορισμένη για τον λόγο, ότι τα πετρώματα που περιέχουν πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους (χαλαζία, τουρμαλίνη) όπως γρανίτες, λιπαρίτες, γνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες και χαλαζιακοί ψαμίτες, δεν παρουσιάζονται παντού. Την μεγαλύτερη εξάπλωση εδώ παρουσιάζουν τα ανθρακικά πετρώματα (μάρμαρα, ασβεστόλιθοι, δολομίτες) οι άργιλλοι και οι οφιόλιθοι, που δεν περιέχουν κρυστάλλους χαλαζία.

Συμπεράσματα

Από τις προαναφερθείσες γεωηλεκτρικές μεθόδους στην έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού φαίνεται η πλέον ελπιδοφόρα, διότι οι μεταβολές του φυσικού δυναμικού, ανεξάρτητα εάν οφείλονται σε ηλεκτροκινητικά φαινόμενα (υπόθεση dilatancy) ή σε γεωρεύματα αποπλώσεως (υπόθεση BAN) είναι ανιχνεύσιμες σε μεγάλες αποστάσεις από τον σεισμογόνο χώρο και εκδηλώνονται αρκετές ώρες ή και ημέρες προ του σεισμού.

Κατά την αποψη μας, εάν πράγματι οι παρατηρούμενες υπό της ομάδος BAN μεταβολές του φυσικού δυναμικού οφείλονται σε γεωρεύματα που παράγονται στην σεισμική εστία, τότε οι λόγοι των εντάσεων των σημάτων αυτών, στους σταθμούς ενός δεδομένου δικτύου, θα πρέπει να είναι οι αυτοί για όλα τα γεωρεύματα που προέρχονται από την αυτήν εστιακή περιοχή, ανεξάρτητα από τον χρόνο και τον τρόπο γενέσεώς τους.

Για τον ακριβή προσδιορισμό του επικέντρου, με βάση τις εντάσεις των σημάτων στα σημεία παρατήρησης (κατά BAN) θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη, ότι η ένταση αυτή εκτός της αποστάσεως εξαρτάται και από την κατανομή της αγωγιμότητας στον ημιχώρο, που περιλαμβάνει την σεισμικήν εστία και τους σταθμούς ενός μονίμου δικτύου σταθμών παρατήρησης. Επειδή όμως η κατανομή αυτή της αγωγιμότητας είναι άγνωστη, ο προσδιορισμός της θέσεως του επικέντρου ενός μελλοντικού σεισμού θα μπορούσε να γίνει με βάση την ομοιότητα των σχέσεων των εντάσεων των ηλεκτρικών σημάτων αυτού, με τις αντίστοιχες σχέσεις των εντάσεων των σημάτων, που προσδιορίσθηκαν εις το αυτό δίκτυο, από προηγούμενως μελετηθέντα σεισμό, γνωστού επικέντρου.

Το φαινόμενο εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, σαν πρακτικό στοι-

χειό προγνώσεως σεισμού, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα γνωστά, έχει το μειονέκτημα ότι η εκδήλωσή του προηγείται ολίγο μόνον χρόνο του κυρίου σεισμού (1/2-1 ώρα περίπου). Επίσης, δεν είναι ακόμη γνωστόν αν με βάση την ένταση του μπορούν να προσδιορισθούν το επίκεντρο και το μέγεθος του σεισμού.

Σαν γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι απαιτείται ακόμη μακρόχρονη συστηματική έρευνα όχι μόνον πάνω στα προαναφερθέντα γεωηλεκτρικά φαινόμενα, αλλά και σε κάθε φυσικό φαινόμενο, που υπάρχουν ενδείξεις ότι συνδέεται με τους σεισμούς, ώστε με την διασταύρωση όλων των ενδείξεων να προκύπτει μία κατά το δυνατόν μονοσήματη πρόγνωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. CORWING F. R. and H. F. MORRISON 1977. — Self - potential variations preceding earthquakes in Central California. Geoph. Res. Letters. V4/4, 171-174.
2. FITTERMAN V. D. 1978. — Electrokinetic and magnetic anomalies associated with dilatant regions in a layered earth. J. G. R. 83/12, 5923-5928.
3. FITTERMAN V. D. 1979. — Theory of electrokinetic - magnetic anomalies in a faulted half space. J. G. R. 84/11, 6031-6040.
4. GOKHBERG B. M., MORGOUNOV A. V., YOSHINO T., TOMIZAWA I. 1982. — Experimental measurements of electromagnetic emissions probably related to earthquakes in Japan. J. G. R. 87/9, p. 7824-7828.
5. HANKS C. TH. 1974. — Constraints on the dilatancy diffusion model of earthquake mechanism. J. G. R. 79/10, 3023-3025.
6. ISHIDO T. and H. MIZUTANI 1976. — A new interpretation of geomagnetic variation associated with the Matsushiro earthquake swarm J. Geomagn. Geoelectr. 27.
7. KELLER V. G. 1971. — Electrical studies of the crust and upper mantle. Geophysical monograph 14, Amer. Geoph. Union 107-125.
8. KISKYRAS D. 1981. — Μια τρίτη άποψη στο θέμα της προβλέψεως σεισμών. «Καθημερινή» 23-24 Αυγούστου 1981.
9. MAZZELA A. and H. F. MORRISON 1974. — Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas Fault Science 185, 855-857.
10. MIZUTANI H., ISHIDO T., YOKOKYRA Y., CHNISHI S. 1976. — Electrokinetic phenomena associated with earthquakes. Geoph. Res. Letters 3/7, 365-368.
11. NITSAM U. 1977. — Electromagnetic emission accompanying fracture of quartz - bearing rocks., Geoph. Res. Letters 4/8, 333-336.
12. SCHOLZ H. C. and KRANZ R. 1974. — Notes on dilatancy recovery J. G. R. 79/14, 2132-2135.
13. SOBOLEV G. A., MOROZOV V. N. and MIGUNOV N. J. 1972. — The electrotelluric field and a strong earthquake in Kamchatka Insvestia. Earth Physics 2, 73-80.
14. STUART D. W. 1974. — Diffusionless dilatancy model for earthquake precursors. Geoph. Res. Letters 1/6, 261-264.
15. VAROTSOS P., ALEXOPOULOS K., NOMIKOS K. 1981. — Seismic Electric currents. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 56, 277-286.
16. VAROTSOS P. 1981. — Seven hours precursors to earthquakes determined from telluric currents. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 56, 417-433.
17. WEERTMAN J. 1974. — Water flow paths around a dislocation on an earthquake fault. J. Geoph. Res. 79/23, 3291-3293.