

<b>Πρακτικά 3ου Συνέδριου Μάιος 1986</b>			
<b>Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.</b>	<b>Τομ.</b> <b>XX/3</b>	<b>σελ.</b> <b>321-331</b>	<b>Αθήνα</b> <b>1988</b>
<b>Bull. Geol. Soc. Greece</b>	<b>Vol.</b>	<b>pag.</b>	<b>Athens</b>

## ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΟΡΥΚΤΟΥ ΑΛΑΤΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ: ΜΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΗΠΕΙΡΟ

Τ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ\*, Ι. ΛΟΥΗΣ\*

### Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Η ανίχνευση και ο εντοπισμός ορυκτού αλατιού με γεωφυσικές μεθόδους παρουσιάζει δυσκολίες και πολλές φορές είναι αδύνατη. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος σεισμικής διάθλασης για να διερευνηθεί η δυνατότητα εντοπισμού του μέσα στο έλυση για βάθος έως 150m από την επιφάνεια του εδάφους. Η έρευνα αυτή έλαβε χώρα στην περιοχή "Μονολίθι" των Ιωαννίνων. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής ήταν ικανοποιητικά και όπως προέκυψε η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και εντοπισμό αλατιού σε παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σεισμικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό αλατούχων δόμων από τα αρχικά στάδια της σεισμικής διασκόπησης. Η βελτίωση της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης, όσον αφορά τη λήψη και επεξεργασία των σεισμικών αναγραφών, βοήθησε έτσι ώστε να χρησιμοποιείται κατ' αποκλειστικότητα για τον εντοπισμό αλατούχων δόμων, οι οποίοι συνδέονται με την παρουσία κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για τον καθορισμό του βάθους και της μορφολογίας του μητρικού πετρώματος σε θέσεις υδατοφραγμάτων και άλλων τεχνικών κατασκευών. Επειδή η ταχύτητα διάδοσης των επιμήκων σεισμικών κυμάτων δια μέσου κοιτάσματος ορυκτού αλατιού είναι αρκετά μεγάλη, ~4500m/sec, θα ήταν δυνατή η χρησιμοποίηση της μεθόδου σεισμικής διάθλασης για τον εντοπισμό αυτού, δεδομένου ότι το κίτasma έχει σημαντική ανάπτυξη ώστε να εξασφαλιστούν αφίξεις σεισμικών κυμάτων στα γεώφωνα κατά την κανονική και αντίστροφη έκρηξη (εκρήξεις στα άκρα του αναπτύγματος). Η δυνατότητα ανίχνευσης και εντοπισμού κοιτάσματος ορυκτού αλατιού οπωσδήποτε εξαρτάται από το βάθος και την έκταση του. Προσπάθειες που είχαν γίνει κατά το παρελθόν από το ΙΓΜΕ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1978, ΠΑΠΑΣΤΑΥΡΟΥ 1978, ΟΑΝΑΣΟΥΛΑΣ 1984) στην περιοχή "Μονολίθι" Ιωαννίνων, για τον εντοπισμό κοιτάσματος ορυκτού αλατιού, με την εκτέλεση σειρικών γεωφυσικών μεθόδων (βαρυτικές, μαγνητικές και γεωηλεκτρικές) έδωσαν μάλλον αρνητικά αποτελέσματα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι με την εφαρμογή της σει-

\* Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσια.

σμικής μεθόδου διάθλασης στην ευρύτερη περιοχή του χωριού Μονολίθι Ιωαννίνων, να διερευνηθεί η δυνατότητα έντοπισμού ορυκτού αλατιού, που βρίσκεται είτε υπό μορφή φλέβας σημαντικού πλάτους και υπό κλίση είτε έχει μικρή ανάπτυξη αλλά βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για την αναγραφή των παραγομένων σεισμικών κυμάτων κατά την εκτέλεση των γεωσεισμικών εργασιών υπαίθρου, χρησιμοποιήθηκε σειсмоγράφος 24 καναλιών τύπου ES 2415 του οίκου GEOMETRICS, με όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό σεισμικών καλωδίων και γεωφώνων. Τα μήκη των σεισμικών αναγραφών ήταν 250 και κατά περίπτωση 500msec με σημάνσεις χρόνου (timing lines) ανά 10 και 20msec αντίστοιχα, με αποτέλεσμα η ακρίβεια ανάγνωσης των πρώτων αφίξεων των επιμήκων κυμάτων να είναι καλύτερη από 0.1msec.

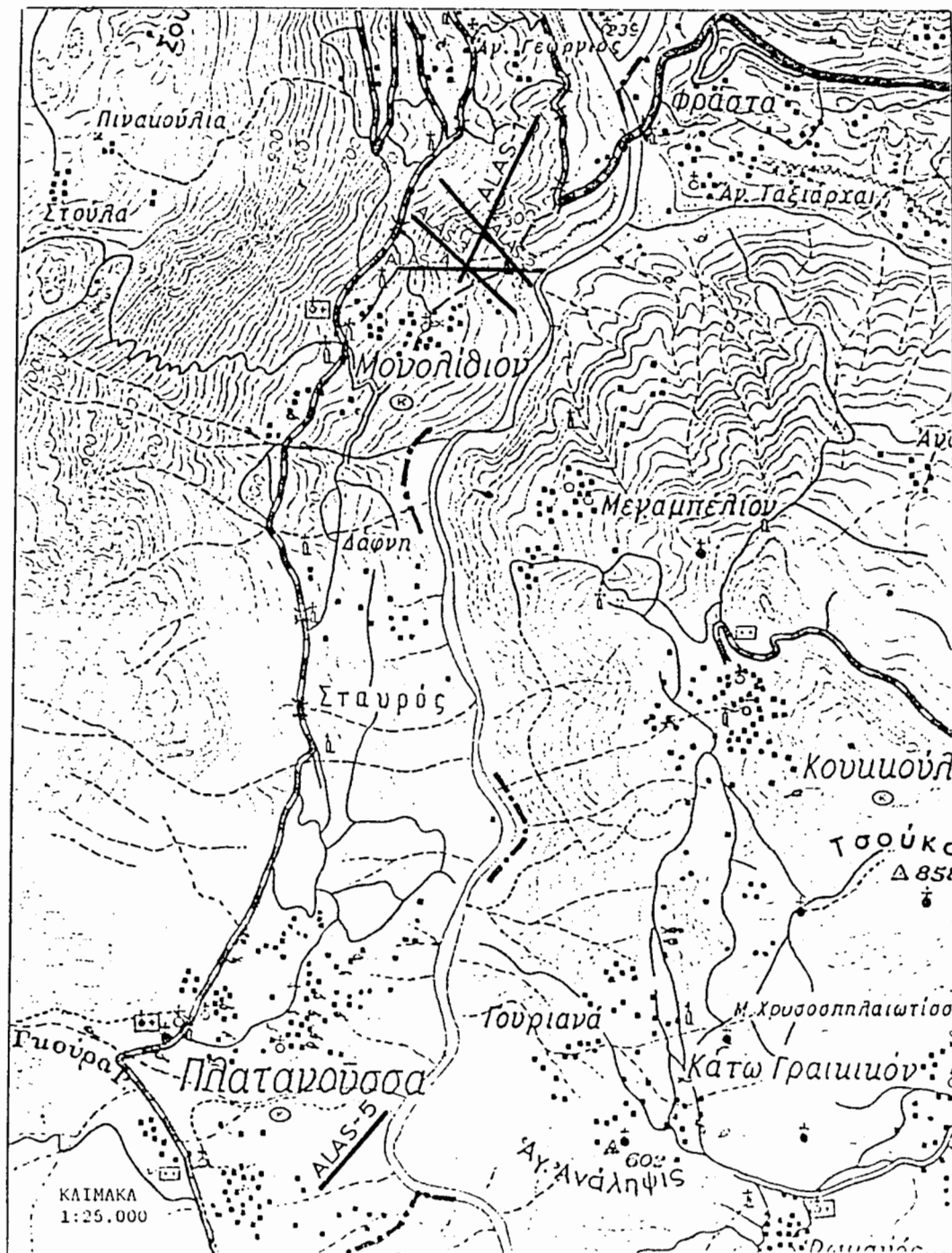
Η ανάγνωση των πρώτων αποκλίσεων έγινε με ειδικό μεγεθυντικό φακό που είχε γραμμική βαθμονομημένη κλίμακα με πυκνές υποδιαίρεσεις, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η παραπάνω ακρίβεια ανάγνωσης (1 υποδιαίρεση = 0.1mm).

Για τον εργαστηριακό προσδιορισμό της σεισμικής ταχύτητας σε δείγματα ορυκτού αλατιού, που λήφθηκαν από γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας, χρησιμοποιήθηκε το όργανο NEW SONICVIEWER (μοντέλο-15217A) της OYO. Το όργανο αυτό παράγει υπέρηχα κύματα για τον προσδιορισμό της σεισμικής ταχύτητας σε μικρά δείγματα πετρωμάτων.

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις σεισμικές αναγραφές, έγινε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή τύπου PDP-11. Για την ανάλυση των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων και τον προσδιορισμό του πλήθους των σεισμικών στρωμάτων με τις αντίστοιχες ταχύτητες διάδοσης, χρησιμοποιήθηκε μία σειρά προγραμμάτων που απαιτούν υπολογιστές μεγάλης ταχύτητας και μνήμης και ταυτόχρονη απασχόληση εκτυπωτή (printer) και plotter. Οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων προσδιορίστηκαν με την εφαρμογή της μεθόδου GRM (Generalized Reciprocal Method), η οποία είναι μία γενικευμένη θεώρηση της μεθόδου Plus-minus του Hagedoorn (HAGEDOORN, 1959). Η μέθοδος GRM είναι μία τεχνική που εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία στη μελέτη σεισμικών οριζόντων με μεγάλο σχετικά ανάγλυφο (με κλίση μέχρι 20° (PALMER, 1974)) και χρησιμοποιείται μόνο σε γραμμικές διατάξεις γεωφώνων εκεί όπου υπάρχουν πληροφορίες από εκρήξεις και στα δύο άκρα του αναπτύγματος των γεωφώνων.

#### ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή που ερευνηθήκε (βλ. χάρτη σχήματος 1) ανήκει στη γεωτεκτονική Αδριατικοϊόνιο ζώνη, η οποία περιλαμβάνει ασβεστολιθικούς σχηματισμούς διαφορετικών υλικών, παχεία στρώματα φλύσχη, εβαποριτές και κορήματα που καλύπτουν τους



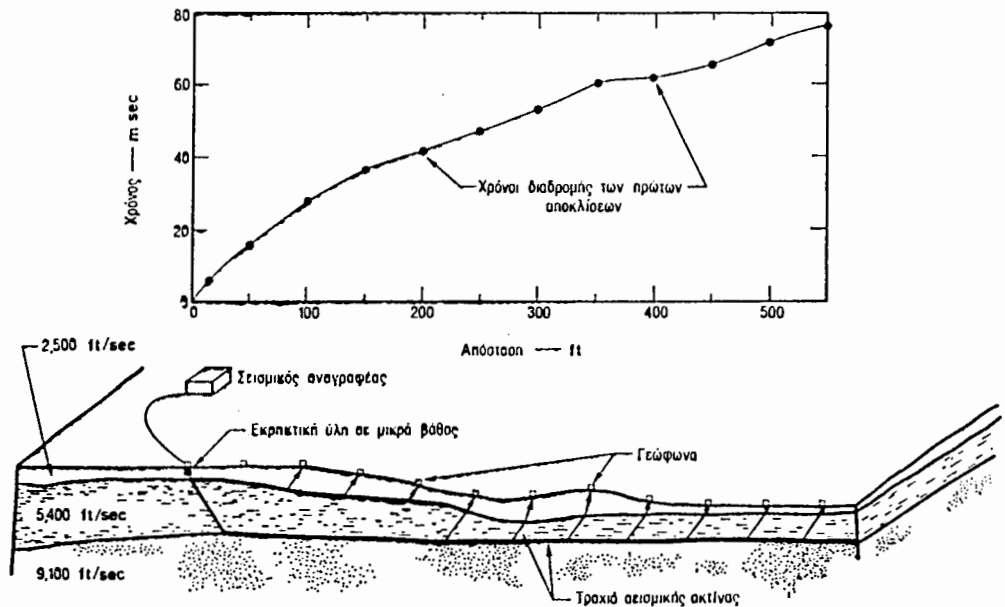
Σχ. 1 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας που δείχνει τις θέσεις των γεωσεισμικών διατομών που εκτελέστηκαν.

ALAS-1 θέση, μήκος και προσανατολισμός σεισμικής γραμμής που εκτελέσθηκε.

παραπάνω σχηματισμούς. Σχετικά με τη γένεση του ορυκτού αλατιού υπάρχουν δύο απόψεις. Κατά την πρώτη άποψη, μέσα στο παχύ στρώμα του φλύσχη διακρίνεται μία οργιλοψαμμιτική διάπλαση, πάχους 200 περίπου, η οποία είναι αλατούχος, γυψούχος και ασφαλτούχος. Το ορυκτό αλάτι αποτελεί άσπρες κηλίδες μέσα στη διάπλαση αυτή και σχηματίστηκε από λιμνοθάλασσα μετά από την αποξήρανση της. Η άλλη άποψη είναι ότι το ορυκτό αλάτι συνδέεται με το Α-Δ σύστημα ρηγμάτων και ότι αυτό ανέβηκε σε υψηλότερους ορίζοντες μέσα από τα ρήγματα με τη διαδικασία του διαφυρισμού, (ΠΑΠΑΣΤΑΥΡΟΥ, 1978), διέσχισε το φλύσχη και πλησίασε στην επιφάνεια με τη βοήθεια και της διάβρωσης.

### Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Η σεισμική μέθοδος διάθλασης μελετά τα κύματα που διαθλώνται στην άνω επιφάνεια ενός στρώματος και οδεύοντα από την επιφάνεια αυτή και μέσα σπό το υπερκείμενο στρώμα φθάνουν στην επιφάνεια της γης. Η πορεία αυτή των σεισμικών κυμάτων διάθλασης, φαίνεται στο σχέδιο του σχήματος 2.



Σχ. 2 Σχηματική διάταξη της πορείας των σεισμικών κυμάτων διάθλασης και καμπύλη χρόνου-διαδρομής αυτών.

(από Bruce B.Redpath, 1973)

Θεωρούμε ότι τα σεισμικά κύματα, κατά τη διαδρομή τους μέσα στα πετρώματα υπακούουν στους παρακάτω τρεις νόμους:

(α) ο νόμος του Snell για την ανάκλαση και διάθλαση,

- (β) η αρχή του Huyghens για τη διάδοση των μετώπων των κυμάτων και
- (γ) ο νόμος του Fermat για τις τροχιές ελάχιστου χρόνου.

Η σεισμική μέθοδος διάθλασης οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- (α) Η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων των διαδοχικά βαθύτερων στρωμάτων αυξάνει με το βάθος.
- (β) Ο λόγος της ταχύτητας ενός στρώματος προς το πάχος του πρέπει να παραμένει πάντοτε μικρότερος μιας κρίσιμης τιμής, η οποία εξαρτάται από τα πάχη και τις ταχύτητες του υπερκείμενου και υποκείμενου στρώματος.
- (γ) Η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων μέσα σε ένα στρώμα, θεωρείται ότι παραμένει σταθερή κατά μήκος του αναπτύγματος των γεωφώνων.

Σε περιπτώσεις όπου η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων μεταβάλλεται σταθερά με το βάθος, και κατά συνέπεια ο διαχωρισμός των στρωμάτων γίνεται δύσκολος, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν υπερεκτιμημένα πάχη και βάθη των στρωμάτων αυτών, λόγω της μικρής διαφοράς των σεισμικών ταχυτήτων που τα χαρακτηρίζουν. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά συνηθισμένο και αναμένεται άλλωστε όταν υπάρχει μεγάλο παχος αποσαθρωμένου μανδύα πάνω από το βραχώδες (μητρικό) υπόβαθρο. Έτσι, η ερμηνεία αυτών των περιπτώσεων γίνεται με τη μείωση των στρωμάτων ή ασυνεχειών με το συνεπακόλουθο οι ενδιάμεσες ασυνέχειες που προκύπτουν να μη μπορούν να θεωρηθούν "πραγματικές". Αυτό το φαινόμενο συναντάται συχνά όταν μελετάται ο αποσαθρωμένος μανδύας του φλύσχη.

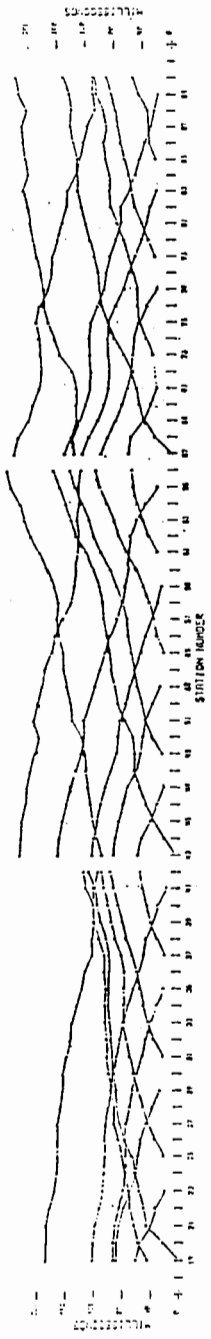
#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανίχνευσης και εντοπισμού κοιτάσματος ορυκτού αλατιού, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει βαθμονόμηση των γεωσεισμικών αποτελεσμάτων σε περιοχές που είχε εντοπιστεί το κοίτασμα από γεωτρητικές εργασίες. Έτσι, γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί από το ΙΓΜΕ και τη ΔΕΗ στην περιοχή "Μονολίθι" Ιωαννίνων, είχαν δείξει την παρουσία ορυκτού αλατιού μέχρι βάθους 180m. Σύγκριση των γεωσεισμικών αποτελεσμάτων με τα στοιχεία που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις του ΙΓΜΕ έδειξαν καλή συσχέτιση όσον αφορά το βάθος της ασυνέχειας μεταξύ του επιφανειακού φλύσχη και του ορυκτού αλατιού (βλ. Σχ. 3,4,5). Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα, η παρουσία ορυκτού αλατιού γίνεται φανερή εκεί όπου παρατηρούνται περιοχές υψηλής σεισμικής ταχύτητας (>4500m/sec) και διαπιστώνεται από τα στοιχεία των γεωτρήσεων που βρίσκονται κοντά στις σεισμικές διατομές που εκτελέστηκαν. Ο φλύσχη παρουσιάζει σημαντική διακύμανση τιμών σεισμικής ταχύτητας με κατώτερο και ανώτερο όριο 2100 και 3000m/sec αντίστοιχα. Η σημαντική διαφορά στις σεισμικές ταχύτητες του φλύσχη και του ορυκτού αλατιού, καθώς επίσης

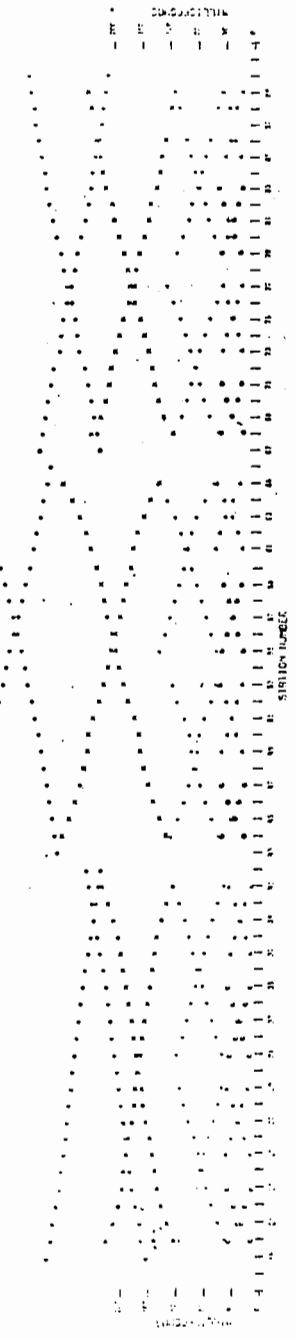
# SEISMIC LINE ALAS-1

SCALE  
 HORIZONTAL 1:1000 METERS  
 VERTICAL 1:1000 METERS

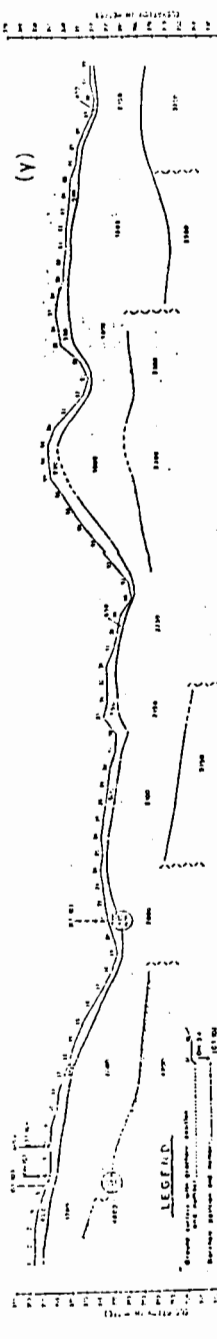
## TRAVEL TIME CURVES



## VELOCITY ANALYSIS

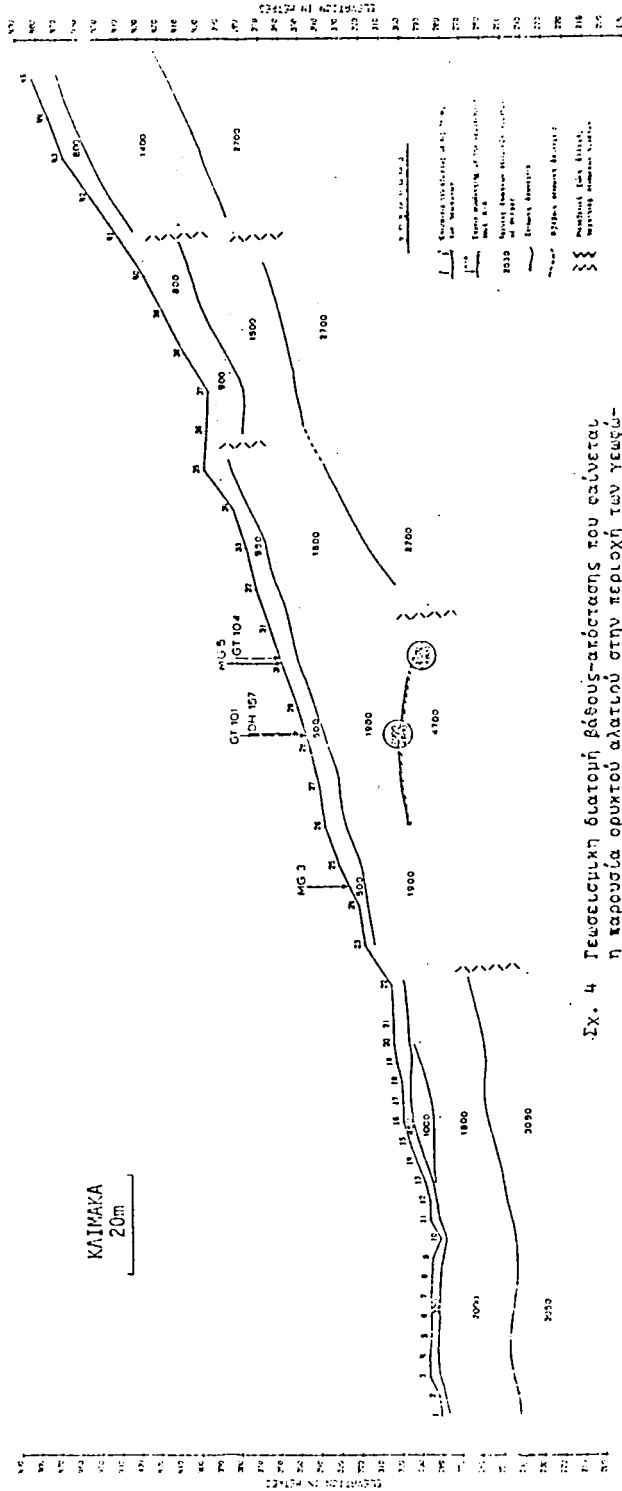


## DEPTH SECTION



Σχ. 3 Ανάλυση σεισμικών δεδομένων της διατομής ALAS-1 όπως προέκυψε μετά την επεξεργασία με H/V (α) και τριών διεσπασμένων τριών ανακτινημάτων της διατομής ALAS-1 (β). Η γλυψή δείχνει κλάση των επιταχύνσεων που εφάρμοσαν για την ανάλυση των δεδομένων. Η όπως προέκυψε μετά την επεξεργασία και τριμήνου των γεωμετρικών δεδομένων.

ΓΕΩΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ALAS-3

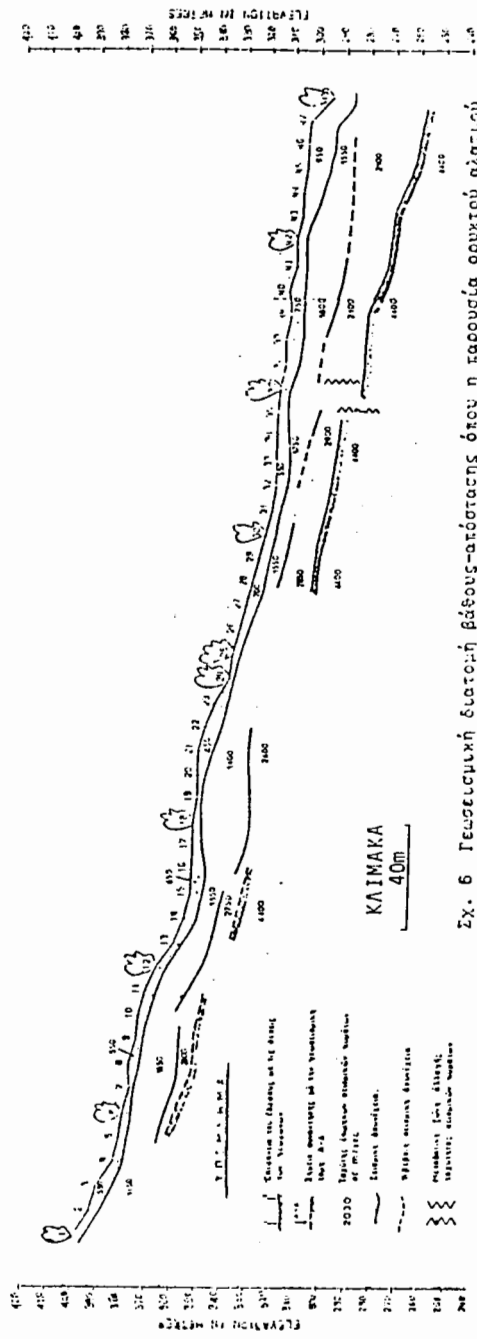


Εξ. 4 Γεωσεισμική διατομή βάθους-απόστασης που εαίνετα  
 η καρυσία ορυκτού αλατού στην περιοχή των γεωφώ-  
 νων 26-30.





ΓΕΩΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ALAS-5



Σχ. 6 Γεωσεισμική διατομή βάθους-απόστασης όπου η παρούσα ορυκτού αλάτιου διασπάζεται από το υψηλής σεισμικής ταχύτητας στρώμα (4400m/sec) που αποτελεί το υπέρβαρο στο μεγαλύτερο μήκος της διατομής.

και η ανάπτυξη του κοιτάσματος, δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την ανίχνευση και εντοπισμό του. Μία γεωσεισμική διατομή που εκτελέστηκε στην ευρύτερη περιοχή "Μονολίθι" Ιωαννίνων, έδειξε ότι οι υψηλές σχετικά τιμές σεισμικής ταχύτητας (~4400m/sec) μπορούν να αποδοθούν στην παρουσία κοιτάσματος ορυκτού αλατιού (βλ. Σχ. 6) το οποίο μάλιστα έχει σημαντική ανάπτυξη.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωσεισμική έρευνα που διεξήχθη στην ευρύτερη περιοχή "Μονολίθι" Ιωαννίνων, όπως είναι φανερό, έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον αφορά τη δυνατότητα ανίχνευσης και εντοπισμού ορυκτού αλατιού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα αρνητικά αποτελέσματα άλλων αναγνωριστικών γεωφυσικών μεθόδων που διεξήχθησαν στην παραπάνω περιοχή, καθιστούν τη μέθοδο σεισμικής διάθλασης, τη μόνη προσιτή μέθοδο ανίχνευσης και εντοπισμού ορυκτού αλατιού σε παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η χρησιμοποίηση της μεθόδου σεισμικής διάθλασης εκεί όπου δεν είναι εφικτή η εφαρμογή της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης. Επί πλέον η σπουδαιότητα της μεθόδου διαφαίνεται εκεί όπου πρόκειται να σκιαγραφηθεί η έκταση και το βάθος κοιτάσματος ορυκτού αλατιού που προορίζεται για εκμετάλλευση, ή όταν πρόκειται η ανίχνευση και ο εντοπισμός του να βοηθήσουν στην αποτροπή δημιουργίας γεωτεχνικών προβλημάτων κατά την κατασκευή π.χ. φραγμάτων. Στο σχήμα 6 η παρουσία ορυκτού αλατιού στο μεγαλύτερο τμήμα της γεωσεισμικής διατομής θα μπορούσε να δημιουργήσει γεωτεχνικά προβλήματα κατά την κατασκευή και πλήρωση του ταμειυτήρα φράγματος στη θέση αυτή.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- GENDZWILL, D.J. 1969. Underground applications of seismic measurements in a saskatchewan potash mine. *Geophysics*, Vol. 34, No. 6 (December 1969), p.906-915, 11 Figs., 3 Tables.
- HAGEDOORN, J.G. 1959. The Plus-Minus method of interpreting seismic refraction sections. *Geophysical Prospecting* 7, 158-182.
- HATHERLY, P.J. 1980 Computer processing of seismic refraction data. *Bulletin of Australian Society of Exploration Geophysicists*, v.11, p.69-74.
- LANGSTROTH, WARD, T. 1971. Seismic study along a portion of the Devonian salt front in North Dakota. *Geophysics*, Vol. 36, No. 2 (April 1971), p.330-338, 9 Figs.
- LOUIS, J. and PAPADOPOULOS, T 1984. Report on a seismic refraction survey carried out in Monolithi area, P.P.C.
- ΛΟΥΗΣ, Ι., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Τ. και ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, Κ., 1984. Σεισμικές έρευνες στο Μονολίθι Ιωαννίνων για τον εντοπισμό ορυκτού άλατος, Ι.Γ.Μ.Ε.

- MOONEY, HAROLD, 1973. Handbook of Engineering Geophysics. *Bison Instruments*, Minneapolis, MN.
- Operational Manual of EG and G, ES 2415-F Seismograph.
- PALMER, D. 1980. The Generalized Reciprocal Method (GRM) of seismic refraction interpretation. *Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Η. 1978. Γεωφυσική αναγνωριστική έρευνα για ανζήτηση ορυκτού άλατος στις περιοχές: α. "Μονολίθι"-Ιωαννίνων, β. "Καρυδέα"-Αρτας. Αθήνα, ΙΓΜΕ (αδημοσίευτη έκθεση).
- ΠΑΠΑΣΤΑΥΡΟΥ, Σ. 1978. Απολογισμός των ερευνητικών εργασιών που έγιναν το 1977 στο έργο "Ορυκτό αλάτι Μονολιθίου". Πρέβεζα, ΙΓΜΕ (αδημοσίευτη έκθεση).
- REDPATH, B. BRUCE, 1973. Seismic refraction exploration for Engineering site investigations. *National Technical Information Service*. U.S. Department of Commerce.
- ΓΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, Κ. 1984. Εφαρμογή της γεωηλεκτρικής μεθόδου στην έρευνα για ορυκτό αλάτι στην περιοχή "ΜΟΝΟΛΙΘΙ" Ιωαννίνων. Αθήνα, ΙΓΜΕ (αδημοσίευτη έκθεση).