

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΠΑΝΟΜΗΣ

Γρηγορίου, Ι.Α., Ζαφειρόπουλος, Γ.Α., Κουρής, Π.Σ.

ΔΕΠ-ΕΚΥ Α.Ε., Κηφισσίας 199, Μαρούσι 151 24

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Στην περιοχή της Επανομής η ΔΕΠ-ΕΚΥ έχει διεξάγει εκτεταμένες σεισμικές διασκοπήσεις χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές πηγές ενέργειας (υδραυλικούς δονητές, δυναμίτη, αεροπυροβόλα). Μετά τον εντοπισμό φυσικού αερίου σε Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και το ιδιαίτερο ενδιαφέρον της περιοχής, δημιουργήθηκαν μία σειρά ερωτημάτων που αφορούν στον σχεδιασμό και την εκτέλεση περαιτέρω σεισμικών διασκοπήσεων. Στην εργασία γίνεται μία συγκριτική μελέτη των πηγών ενέργειας και επιλογή παραμέτρων με σκοπό την βελτίωση της διακριτικής ικανότητας των σεισμικών καταγραφών ανάκλασης ενώ παράλληλα θα συγκρατείται το κόστος σ' ένα επιθυμητό ύψος. Η μελέτη βασίστηκε σε δοκιμές επιλογής παραμέτρων, επεξεργασμένες σεισμικές τομές και σε συνθετικό σεισμόγραμμα.

COMPARISON OF ENERGY SOURCES AND OPTIMIZATION OF SEISMIC
ACQUISITION PARAMETERS IN EPANOMI AREA

Grigoriou, Y.A., Zafiropoulos, G.A. and Kouris, P.S.

A B S T R A C T

An extensive seismic reflection campaign has been carried out by DEP-EKY in Epanomi area. The energy sources used were dynamite, Vibrators and airguns. After the discovery of a gas field in Jurassic limestones, there is a great interest in the acquisition of higher resolution seismic reflection data. Having studied seismic tests, processed seismic sections and synthetic seismogram, a proposal for optimizing the acquisition parameters will be done, in such a way that a higher resolution seismic section will be obtained while the cost will be controlled at a sufficient level.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή Επανομής η ΔΕΠ-ΕΚΥ έχει διεξάγει εκτεταμένες σεισμικές διασκοπήσεις ανάκλασης χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές πηγές ενέργειας (υδραυλικούς δονητές, δυναμίτη, αεροπυροβόλα). Μετά τον εντοπισμό φυσικού αερίου και το ιδιαίτερο ενδιαφέρον της περιοχής δημιουργήθηκαν μία σειρά ερωτήματα που

αφορούν στον σχεδιασμό και την εκτέλεση των περαιτέρω σεισμικών διασκοπήσεων, έτσι ώστε να επιλεγεί η πηγή ενέργειας και οι παράμετροι καταγραφής με σκοπό την βελτίωση της διακριτικής ικανότητας των σεισμικών καταγραφών ανάκλισης και παράλληλα την διατήρηση ενός ρυθμού παραγωγής που θα συγκρατεί το κόστος σε ένα επιθυμητό ύψος. Στην συγκριτική μελέτη που ακολουθεί έγιναν οι εξής βασικές παραδοχές:

- α. Οι στόχοι είναι: ο υπαλογενής ασβεστόλιθος (γεώτρηση ΕΠ-1Α) διατηρήσιμος πάχους 17 μ. και ο υποκείμενος Ιουρασικός ασβεστόλιθος.
- β. Οι στόχοι βρίσκονται σε βάθος 1.2-1.9 sec (διπλός χρόνος διαδρομής).
- γ. Η μέγιστη γεωλογική κλίση είναι 40°.

Για την απάντηση στα ερωτήματα που τέθηκαν χρησιμοποιήθηκαν δοκιμές επιλογής παραμέτρων σεισμικών καταγραφών με υδραυλικούς δονητές και αεροπυροβόλα και τελικές σεισμικές τομές με πηγή ενέργειας υδραυλικούς δονητές, δυναμίτη και αεροπυροβόλα. Επίσης, κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε συνθετικό σεισμόγραμμα της γεώτρησης ΕΠ-1Α.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι δοκιμές επιλογής παραμέτρων με πηγή ενέργειας υδραυλικούς δονητές ήταν: ανάλυση θορύβου (noise test), επιλογής συχνοτήτων χρόνου δόνησης, αριθμού δονήσεων ανά σημείο και επιλογής offset (Ongkiehong, 1987). Στο σχήμα 1 φαίνεται η ανάλυση θορύβου χωρίς κανένα φίλτρο. Από την επεξεργασία αυτής της ανάλυσης (Morgan, 1984) και την εφαρμογή φίλτρων αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων, καθώς και την απεικόνισή της σε χώρο F/K προκύπτουν τα πιά κάτω συμπεράσματα:

- α. Δεν έχει καταγραφεί συχνότητα μεγαλύτερη από 35 Hz
- β. Οι συχνότητες του σήματος δεν ξεπερνούν τα 28 Hz
- γ. Τα κύρια χαρακτηριστικά της καταγραφής είναι:

Vap = 500 m/sec f = 8-10 Hz λ = 25- 62.5μ. (γραμμικός θόρυβος)
VaP = 1500 m/sec f = 20-25 Hz λ = 60- 75 μ. (διαθλάσεις)
Vap = 2300 m/sec f = 10-35 Hz λ = 65-230 μ. (διαθλάσεις)
Vap = 4800 m/sec f = 20-28 Hz λ = 170-240 μ. (σήμα)

Με βάση τα παραπάνω έγιναν array stimulations (Anstey, 1986) στην ανάλυση θορύβου με μήκη διάταξης γεωφώνων 63μ., και 94μ., οι οποίες όμως εξασθενούν τόσο τον γραμμικό θόρυβο όσο και το σήμα, ενώ διάταξη μήκους 34.5μ. διατηρεί το σήμα, αλλά μειονεντεί στην εξασθένιση του θορύβου. Στο σχήμα 2 φαίνεται ότι η πλήρης εξασθένιση του γραμμικού θορύβου επιτυγχάνεται με χρησιμοποίηση F/K φίλτρου.

Οι δοκιμές επιλογής παραμέτρων σεισμικών καταγραφών ρηχών νερών με πηγή ενέργειας αεροπυροβόλα ήταν ανάλυσης θορύβου και διαφοράς φάσης γεωφώνων-υδροφώνων. Στο σχήμα 3 φαίνεται η δοκιμή ανάλυσης θορύβου χωρίς κανένα φίλτρο. Από την επεξεργασία της δοκιμής προκύπτουν τα πιά κάτω συμπεράσματα.

- α. Έχουν καταγραφεί συχνότητες μέχρι 45 Hz.

β. Τα κύρια χαρακτηριστικά της καταγραφής είναι:

Vap = 350 m/sec	f = 10-14 Hz	λ = 25-35 μ.
Vap = 650 m/sec	f = 10-14 Hz	λ = 46-65 μ.
Vap = 1900 m/sec	f = 15-45 Hz	λ = 42-126μ.
Vap = 5000 m/sec	f = 20-40 Hz	λ = 125-250μ.

Ο θόρυβος εξασθενεί σημαντικά με την χρησιμοποίηση φίλτρου αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων και F/K φίλτρου (σχ.4), ενώ διατηρείται και το σήμα ικανοποιητικά.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στους πίνακες 1 και 2 φαίνονται οι παράμετροι καταγραφής και η ροή επεξεργασίας των προς σύγκριση σεισμικών γραμμών (Lindseth, 1978).

Η σύγκριση των καταγραφέντων σεισμικών δεδομένων έγινε από τις τρεις σεισμικές γραμμές σε επίπεδο stack χωρίς φίλτρα και ενίσχυση. Μελετήθηκε το φάσμα των καταγραφέντων συχνοτήτων στις περιοχές 0-8 Hz, 8-15 Hz, 15-30 Hz, 30-60 Hz, 60-120 Hz, και αναλυτικότερα στις περιοχές 30-40 Hz, 40-50 Hz, 50-60 Hz. Επίσης έγιναν σε ολόκληρα σεισμικά ίχνη φασματικές αναλύσεις (Kanasewich, 1973).

Από την λεπτομερέστερη μελέτη της περιοχής 30-60 Hz, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι υδραυλικοί δονητές δεν έχουν καταγράψει καθόλου σήμα στην περιοχή 50-60 Hz, ενώ έχει καταγραφεί σήμα στους Μειοκαινικούς σχηματισμούς στην περιοχή 40-50 Hz, και στην περιοχή 30-40 Hz έχει καταγραφεί σήμα σ' όλους τους σχηματισμούς.
- Οι καταγραφές με πηγή ενέργειας δυναμίτη έχουν σήμα στην περιοχή 50-60 Hz (κύρια στους Μειοκαινικούς σχηματισμούς), ενώ οι περιοχές 30-40 Hz και 40-50 Hz περιέχουν σήμα από όλους τους σχηματισμούς.
- Οι καταγραφές με πηγή ενέργειας air-gun σε ρηχά νερά παρουσιάζουν μία ενδιάμεση κατάσταση, όπου στην περιοχή 30-40 Hz έχει καταγραφεί καλό σήμα στους Μειοκαινικούς και Ιωκαινικούς σχηματισμούς και φτωχό στους ασβεστόλιθους, ενώ στην περιοχή 50-60 Hz έχει καταγραφεί σήμα μόνο από τους Μειοκαινικούς σχηματισμούς, καθώς και έντονος θόρυβος.

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΥ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΕΠ-1Α

Για την παραγωγή του συνθετικού σειсмоγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι ηχητικές διαγραφίες και οι διαγραφίες πυκνότητας (Claerbout, 1986). Για το επάνω τμήμα της γεώτρησης (μέχρι βάθος 8450 ft) που δεν έγινε καταγραφή διαγραφίας πυκνότητας, χρησιμοποιήθηκε η γενικά παραδεκτή εξίσωση σύνδεσης ταχύτητας-πυκνότητας.

$$\text{Πυκνότητας} = A + BV$$

$$A = 0, B = 0.23, C = 0.25 \text{ (όπου } V \text{ σε ft/sec)}$$

Έγινε διόρθωση των διαγραφιών σε περιοχές με θορυβώδη

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά καταγραφής.

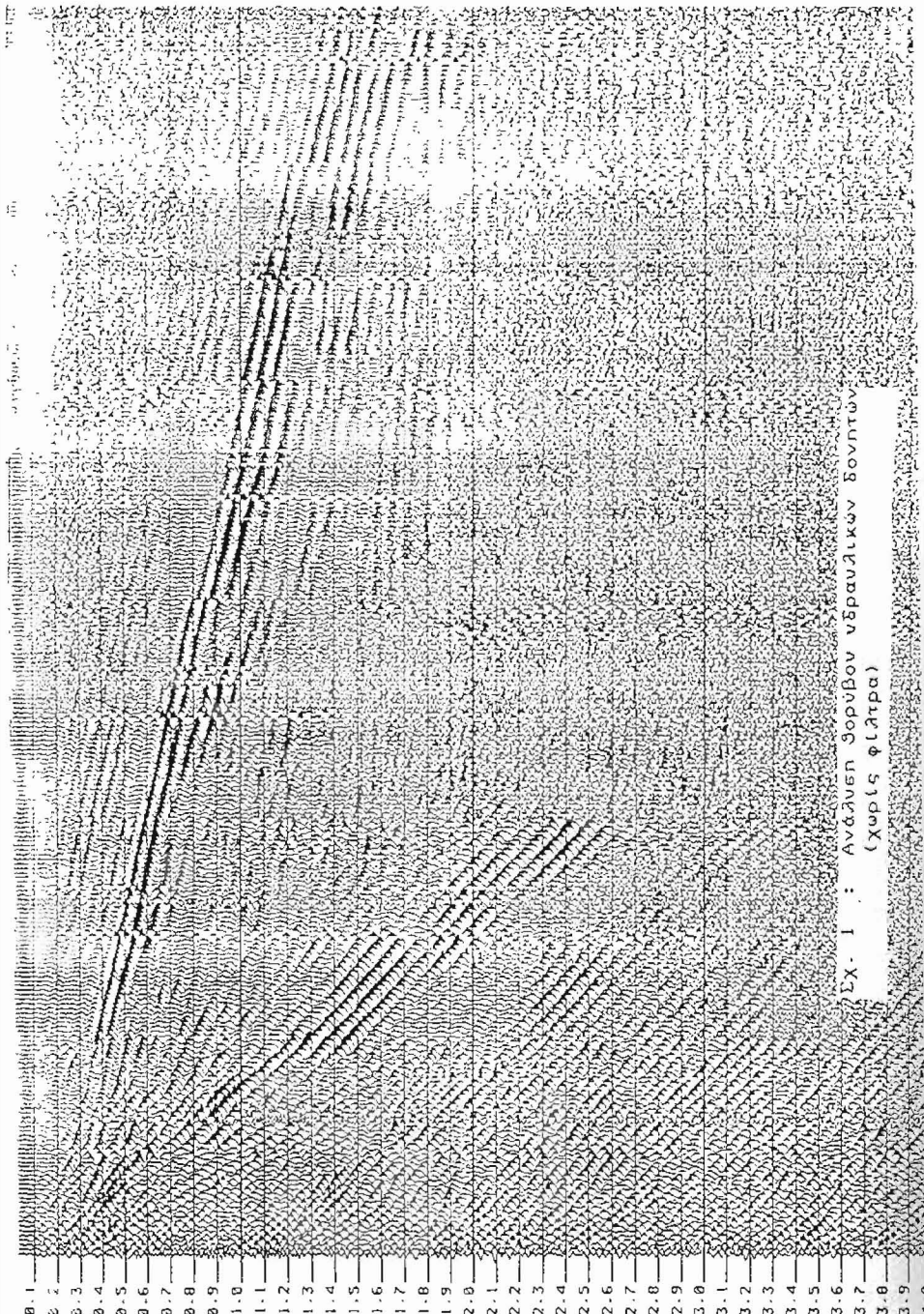
	EPV-102	EPD-113	EPS-113
Χαρακτηριστικά	Vibroscis	Δυναμίτης	Air-gun
Πηγή ενέργειας	απόσταση επμ. δονησης 25 μ., 4 δονητες, Μηκος διάταξης 50μ., αριθμός sweeps/sp 8, διάρκεια sweep 11sec ευχρότητες διαχυσης 10-60 Hz, Drive level 80% Linear sweep	απόσταση επμ. εκρ.50μ. Βάθος γεώτρησης 50μ. Φορτίο:11-16kgf δυναμίτη	απόσταση επμ.εκρ.25μ. 4 airgun σε τετραγωνική διάταξη (300c.in. 2X140 c.inc., 90 c.inc.) πίεση 5000psi; Βάθος 3-5μ. αριθμός εκρ/sp:4
Χαρακτηριστικά φωρατών	Γεωφωνα απόσταση ιχνών:25μ. αρ.γεωφ./ιχν.:36 Διάταξη: 3X12 112233333332211 μήκος διάταξης:62.4/ 93.75μ.	Γεωφωνα απόστ.ιχνών:25μ. αρ.γεωφ./ιχν.24 Διάταξη: 1-24 γραμμική μήκος διάταξης 69 μ.	Υδροφωνα/ Γεωφωνα απόσταση ιχνών 25μ. αρ.υδροφώνων /ιχν. 1 αρ.γεωφώνων /ιχν. 24 Διάταξη γεωφώνων 1X24 γραμμική μήκος διάταξης 69μ αριθμός ιχνών 48 off-end offset:150μ υπεδοφική καλύψη:2400%
Ανάπτυξη γραμμής	αριθμός ιχνών:76 split : 60-36 offset: 137.5 μ. υπεδοφική κάλυψη 4800% crooked line	αριθμός ιχνών:60 off-end : offset :150μ. υπεδοφική κάλυψη 1500%	αριθμός ιχνών 48 off-end offset:150μ υπεδοφική καλύψη:2400%
Καταγραφή	DFS-V δειγματοληψία 4 msec φίλτρο :8-40Hz Correlation: min. phase	DFS-V δειγματοληψία 2 msec φίλτρο:8-128Hz	DFS-V δειγματοληψία 2 msec φίλτρο:8-12Hz
Υπεύθυνος γεωφυσικός	Χ. Τζιόλας	Α. Σκιαδάς	Α. Σκιαδάς

Πίνακας 2. Ροή επεξεργασίας.

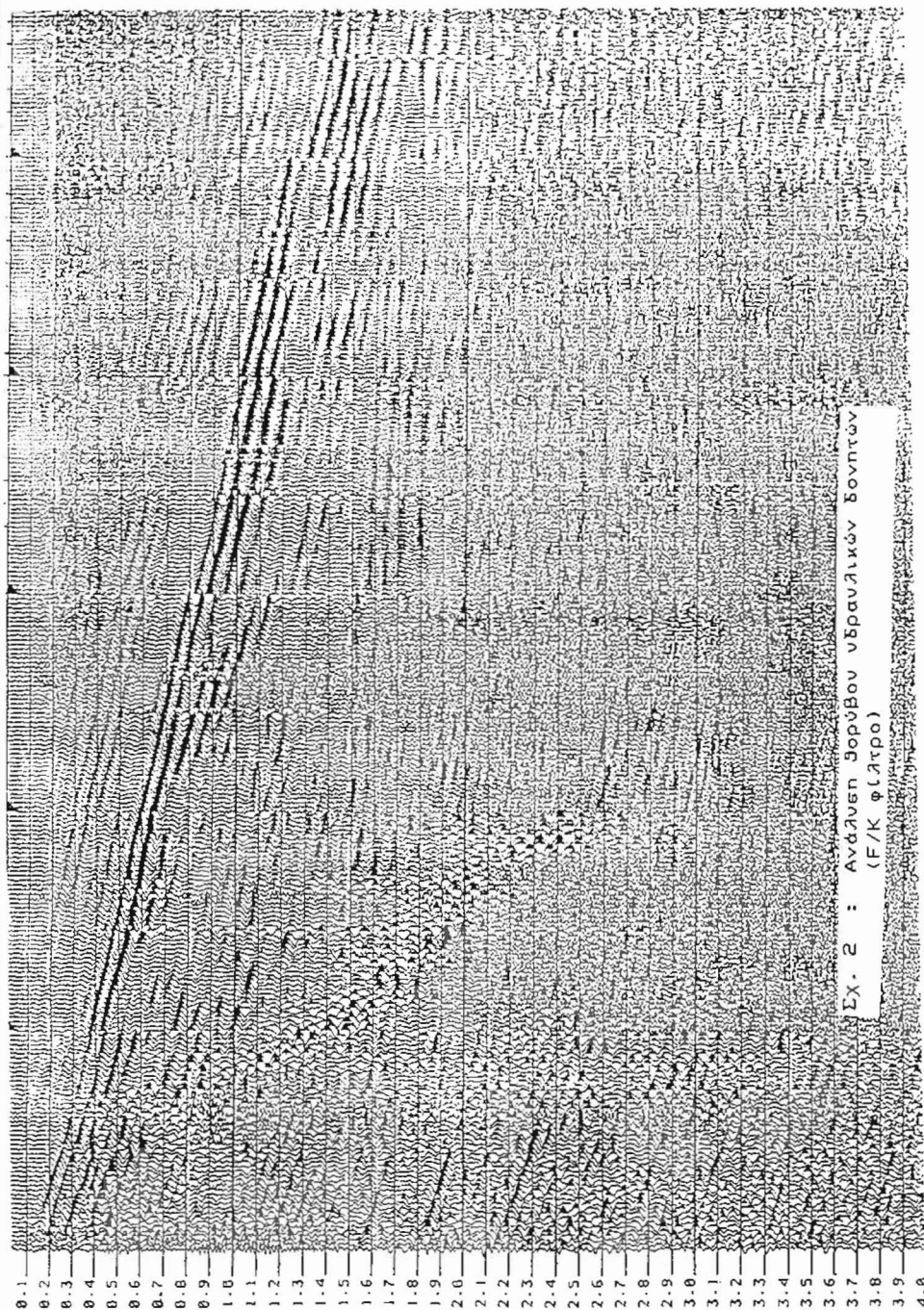
	EPV-102	EPD-113	EPS-113
- Resample	-	4 msec	4 msec
- F/K filter	Noise reject	Noise reject	-
- Deconvolution	200-2200msec 4/180 2200-4200msec 4/180	200-2600msec 16/260 2600-5000msec 16/140	200-2000msec 2/120 2000-3800msec 8/140
- Sort			
- Crooked profile adjustment	Accpt. radius 150 u.	-	-
- Velocity analysis	VELAN	VELAN	VELAN
- Residual statics	MISER	MISER	MISER
- Velocity analysis (2 and pass)	VELAN	VELAN	VELAN
- Stack			
- F/K filter	-	-	Signal pass
- TV Filter	EL 18-50/36 LF 18-40/24 H 18-30/18 L 18-20/18	18/24-60/48 15/18-55/36 12/18-50/36 10/18-40/36 10/18-30/36	18/24-60/48 15/18-55/36 12/18-50/36 10/18-40/36 10/18-30/36
- Gain	RMS 200/200	RMS 200/200	RMS 200/200
- Migration	Finite Difference	Finite Difference	Finite Difference
Υπεύθυνος γεωφυσικός επεξεργασίας	Γ. Σαφειρόπουλος	Π. Κουρής	Π. Κουρής

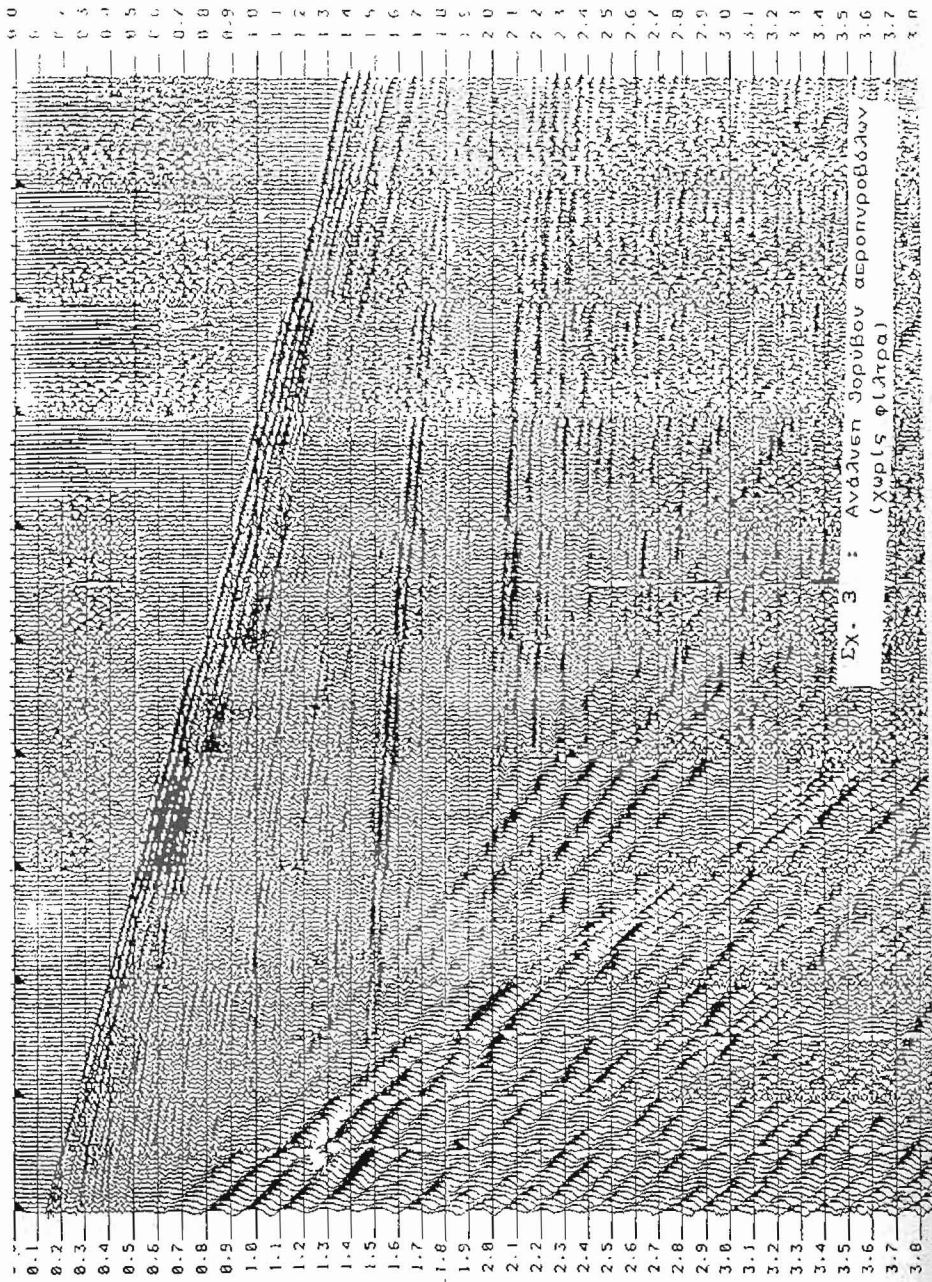
αναξιόπιστα δεδομένα και συμπλήρωση των περιοχών όπου δεν έχει γίνει καταγραφή δεδομένων. Στη δεύτερη περίπτωση υπάγεται και η περιοχή της κορυφής του υφαλογενούς ασβεστολίθου. Τέλος, η ηχητική διαγραφή βαθμονομήθηκε με βάση check-shots που είχαν καταγραφεί.

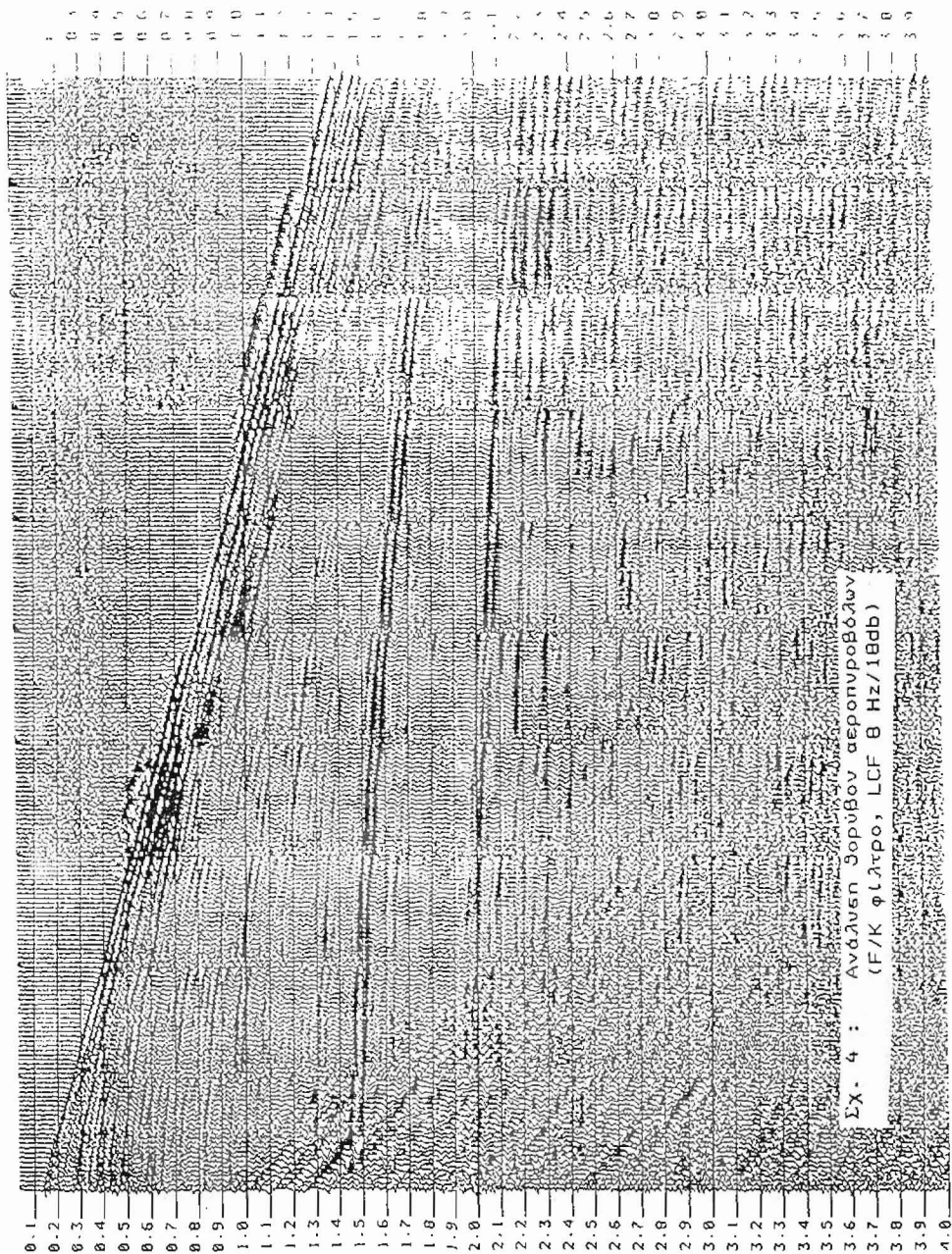
Από το σχήμα 5 και σχήμα 6 είναι φανερό ότι υπάρχει μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων τόσο στην επαφή νεογενών ιζημάτων-ηφαιικών υφαλογενών ασβεστολίθων όσο και μέσα στον υφαλογενή ασβεστόλιθο, καθώς και στην επαφή υφαλογενούς με Ιουρασικού ασβεστόλιθου.



Σχ. 1 : Ανάλυση θορύβου υδραυλικών δομητών
(Χερσίν φάτρα)

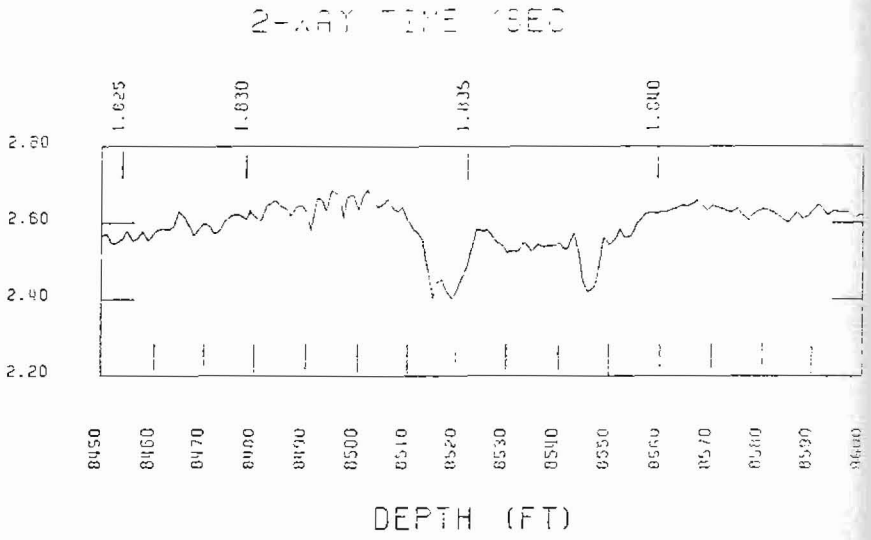




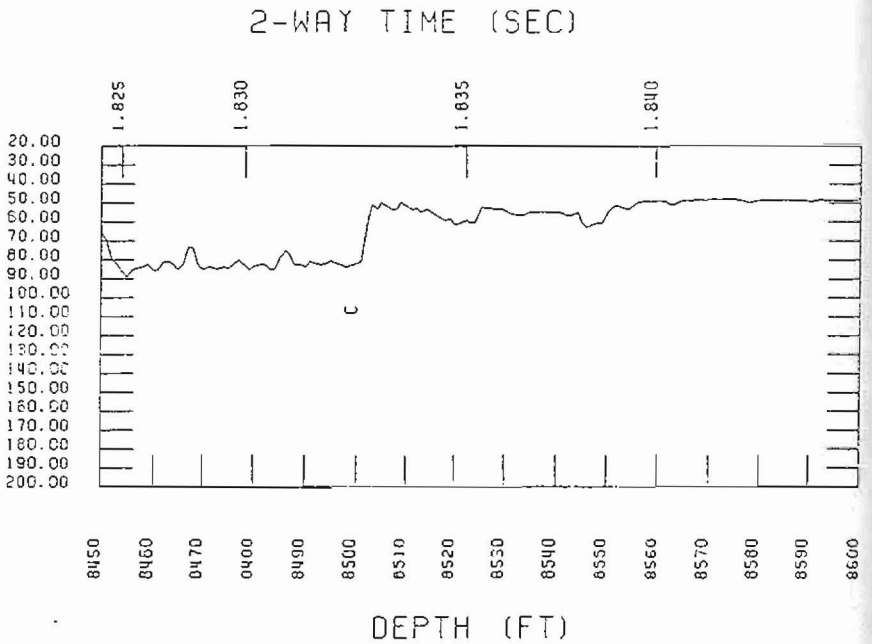


ΣΧ. 4 : Ανάλυση θορύβου αεροπυροβόλων
(F/K φίλτρο, LCF θ Hz/18db)

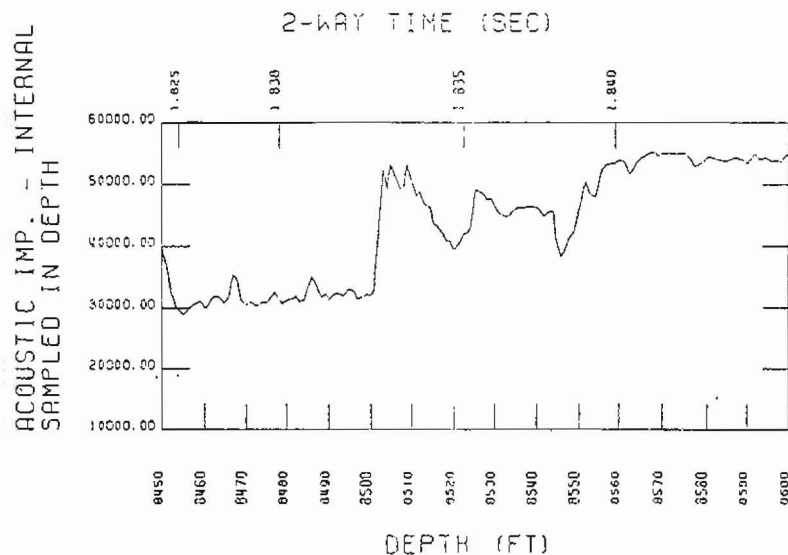
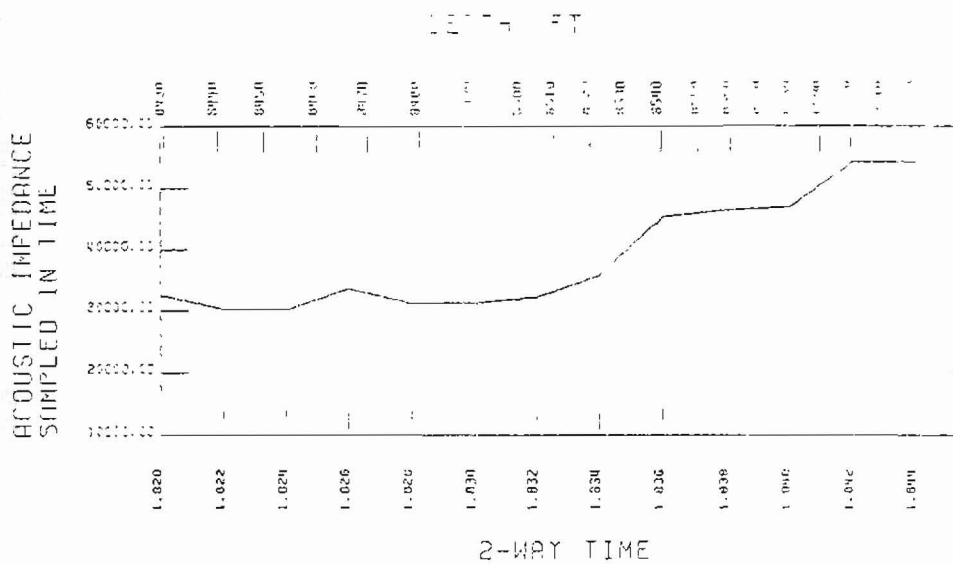
FILLED IN DENSITY SAMPLED IN DEPTH



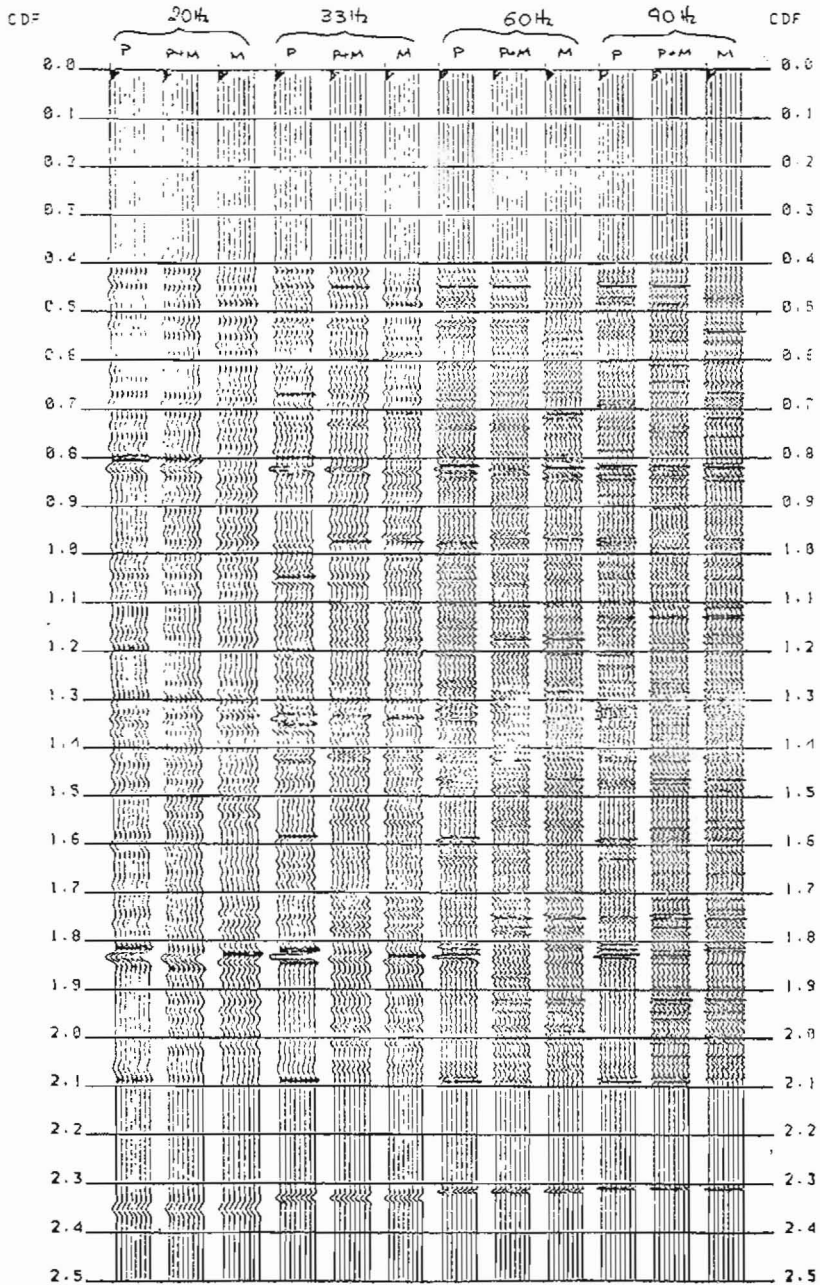
CALIBRATED SONIC SAMPLED IN DEPTH



Σχ.5. Βαθμονομημένη ηχητική διαγραφή (2590-2460μ).



Σχ.6. Ακουστική εμπέδηση (2590-2640μ).



Σχ.7. Συνθετικά σειсмоγράμματα.

Πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι όταν η δειγματοληψία ακουστικής εμπέδησης είναι σε βάθος ανά ft, τότε οι επαφές του υφαλογενούς ασβεστολίθου είναι διακριτές. Αντίθετα, μετά την εφαρμογή μεθόδων ολοκληρωτικού λογισμού με μετατροπή των διαγραφιών βάθους σε δειγματοληψία χρόνου και δειγματοληψία ανά 2 msec (μέγιστη επικτη δειγματοληψία καταγραφικού εξοπλισμού της ΔΕΠ-ΕΚΥ) γίνεται φανερό ότι η διακριτική ικανότητα των επαφών του υφαλογενούς ασβεστολίθου έχει ελαττωθεί σημαντικά.

Στο σχήμα 7 φαίνονται τα συνθετικά σειсмоγράμματα, τα οποία έχουν προέλθει από συνέλιξη των σειρών ανακλαστικότητας με θεωρητικές κυματομορφές μηδενικής φάσης συχνοτήτων 20, 33, 60 και 90 Hz. Γίνεται φανερό ότι για την διάκριση των επαφών του υφαλογενούς ασβεστολίθου σε χρόνους 1.8-1.85 sec, απαιτείται καταγραφή συχνοτήτων τέτοιων, ώστε η επικρατούσα συχνότητα να υπερβαίνει τα 60 Hz.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα μέχρι τώρα αναφερθέντα προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η καλύτερη πηγή ενέργειας για την καταγραφή των ήδη τεθέντων στόχων και με βάση τις μέχρι σήμερα δοκιμές, είναι ο δυναμίτης. Βασική προϋπόθεση όμως για την βελτίωση της ποιότητας καταγραφών είναι η αύξηση της υπεδαφικής κάλυψης τουλάχιστον σε 3000%.
2. Η διάταξη των γεωφώνων και των δονητών θα επιλεγεί σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της πηγής ενέργειας που θα έχει επιλεγεί και μετά από την δοκιμή θορύβου. Πρέπει να μην επηρεαστεί καθόλου η καταγραφή του σήματος, ενώ ο θόρυβος που θα απομείνει θα ελαττωθεί κατά την επεξεργασία με φίλτρο F/K πριν από την υπέρθεση (stack).
3. Η απόσταση μεταξύ των ιχνών πρέπει να είναι μικρότερη από 28 m. και η ανάπτυξη της γραμμής 72-48 ή 60-60 (split-spread).
4. Το φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 8 Hz και μικρότερο των 12 Hz. Το φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων εξαρτάται από την δειγματοληψία σε χρόνο.
5. Η δειγματοληψία σε χρόνο έχει νόημα να είναι 2 msec μόνο στην περίπτωση που επιτευχθεί η καταγραφή υψηλών συχνοτήτων. Είναι ευνόητο ότι μόνο σε αυτή την περίπτωση και κατά την επεξεργασία θα γίνει δειγματοληψία 2 msec.
6. Στην περίπτωση που η καταγραφή εκπληρώσει τις πύ πάνω προϋποθέσεις και επακολουθήσει η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων η εικόνα των σεισμικών τομών θα βελτιωθεί σημαντικά και θα είναι καταλληλότερη για στρωματογραφική ερμηνεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anstey, N.A., (1986). Whatever Happened to Ground Roll, The Leading Edge 5(3), 40-45.
- Claerbout, J., (1986). Synthesis of a layered medium from its acoustic impedance transmission response, Geophysics, V33, 264-269.

- Kanasewich, E.R., (1973). Time sequence analysis in Geophysics, Univ. Alberta Press.
- Lindseth, R.P., (1978). Digital processing of seismic data, SEG, continuing education program.
- Morgan, N.A., (1984). Quality control of reflection seismic data, IHRDC, Course notes.
- Ongkiehong, K. and Huizer, W., (1987). Dynamic range of the seismic System, First Break, 5., 435-439.
- Ongkiehong, K. and Askin, H.J., (1988). Towards the universal seismic acquisition technique, First Break, 6, 46-63.