

Πρακτικά	6ου	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/3	σελ.	213-222
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	
			Αθήνα	1993
			Athens	

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ-ΑΘΗΝΑΣ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ RAYLEIGH

Ι.Σ.ΚΑΛΟΓΕΡΑΣ*, Ι.Κ.ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ*, Ρ.Υ.ΒΥΡΤΟΝ**

ABSTRACT

Ten records of Rayleigh waves, generated by earthquakes in the area SE of Carpathos Island (Greece) and recorded by the vertical component of the long period seismograph of the station ATH (Athens) were used to obtain the dispersion curves for a propagating path crossing the Hellenic Arc at 90°.

The signals were analyzed in the frequency domain for periods within the range of 8 to 80 seconds. Analysis for each seismogram includes digitization, interpolation and baseline correction, removal of the instrument response, determination of the spectral Fourier amplitude as well as the calculation of the group velocity. Spectral amplitude and group velocities were estimated using a computer program written by Burton and Blomey (1972) and based on the multiple filter technique of Dziewonsky, Bloch and Landisman (1969). The dispersion curve was determined for each seismogram and the mean curve for the propagating path was obtained with a statistical uncertainty for each period.

Group velocity varies between 2.2 and 4.2 km/sec and generally increases with increasing period. The "average" curve was compared to the summarized curves given by Oliver (1962) and could characterize a surface sedimentary layer, rather thick, overlaying a continental structure, which at its deepest part shows a possible contamination by oceanic material. This description is in agreement with the results obtained by other investigators.

* National Observatory of Athens, Seismological Institute, P.O.Box 20048, GR 118 10 Athens, Greece.

** University of East Anglia, School of Environmental Sciences, NR4 7TJ Norwich, England.

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Τ.Θ. 20048, 11810 Αθήνα.

** University of East Anglia, School of Environmental Sciences, NR4 7TJ Norwich, England.
 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται δέκα εγγραφές κυμάτων Rayleigh που προέρχονται από επιφανειακούς σεισμούς στην περιοχή ΝΑ της Καρπάθου και που αναγράφηκαν στην κατακόρυφη συνιστώσα του πρότυπου σειсмоγράφου μακράς περιόδου της Αθήνας (ΑΤΗ), με σκοπό τον υπολογισμό των καμπύλων σκέδασης για τη διαδρομή Κάρπαθος - Αθήνα, η οποία τέμνει το Ελληνικό Τόξο με γωνία 90°.

Η ανάλυση κάθε εγγραφής περιλαμβάνει ψηφιοποίηση, γραμμική παρεμβολή και διόρθωση της γραμμής βάσης, απομάκρυνση της επίδρασης του οργάνου, προσδιορισμό του φασματικού πλάτους Fourier και υπολογισμό της ταχύτητας ομάδας για ένα εύρος περιόδων 8 μέχρι 80 sec.

Από τις δέκα καμπύλες σκέδασης λαμβάνεται τελικά η μέση καμπύλη για τη συγκεκριμένη διαδρομή καθώς και η στατιστική αβεβαιότητα (διάστημα εμπιστοσύνης) για κάθε τιμή της περιόδου.

Βρέθηκε ότι για τη συγκεκριμένη περιοχή περιόδων η ταχύτητα ομάδας κυμαίνεται μεταξύ 2,2 και 4,2 km/s και ότι γενικά αυξάνεται με την περίοδο. Η μέση καμπύλη σκέδασης συγκρινόμενη με τις μέσες καμπύλες σκέδασης του Oliver (1962) δείχνει την ύπαρξη ενός επιφανειακού ιζηματογενούς στρώματος πιθανώς σημαντικού πάχους που υπέρκειται του ηπειρωτικού φλοιού, ο οποίος στο κατώτερο τμήμα του δείχνει περισσότερο ωκεάνιο χαρακτήρα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σεισμικά επιφανειακά κύματα, που παράγονται από σεισμούς ή εκρήξεις, κατά τη διάδοσή τους υφίστανται συνήθως σκέδαση, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία μεταδίδεται η ενέργεια, η ταχύτητα ομάδας, είναι συνάρτηση της συχνότητας. Το αποτέλεσμα της γεωμετρικής σκέδασης είναι το εντονότερο, δηλαδή τα πλάτη των επιφανειακών κυμάτων των μεγαλύτερων περιόδων φθίνουν με το βάθος σε μικρότερο βαθμό απ' ό,τι τα πλάτη των κυμάτων των μικρότερων περιόδων.

Κατά την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων, ο προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ ταχύτητας ομάδας και συχνότητας (ή περιόδου) έχει μεγάλη σημασία γιατί από μια τέτοια σχέση είναι δυνατός ο προσδιορισμός της ταχύτητας των κυμάτων χώρου, και επομένως της πυκνότητας, σε συνάρτηση με το βάθος για τη διαδρομή που ακολούθησε το επιφανειακό κύμα μεταξύ εστίας και σταθμού.

Με την περιγραφή της δομής της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου, έτσι όπως προκύπτει από την ανάλυση των επιφανειακών σεισμικών κυμάτων, έχουν ασχοληθεί προηγούμενοι ερευνητές, των οποίων τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψισθούν ως εξής: Ο Ρayo (1967, 1969) καταλήγει ότι το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό φλοιό, που όμως καλύπτεται από ένα ιζηματογενές στρώμα μάλλον μεγάλου πάχους. Οι Παραζαχος et al (1967) και ο Παραζαχος (1969) υπολογίζουν το μέσο πάχος του φλοιού της περιοχής μεταξύ 35 και 45 km. Οι Calcaignile et al (1982) δείχνουν αβεβαιότητα για την ύπαρξη μεταβατικής ζώνης φλοιού - μανδύα στην περιοχή του Αιγαίου, της οποίας ζώνης δέχονται την ύπαρξη σε άλλες περιοχές της ανατολικής Μεσογείου, και προτείνουν περαιτέρω έρευνα. Ο Ezen (1983) μελέτησε την επίδραση της μεταβολής του πάχους του φλοιού και της ύπαρξης ή όχι ζώνης χαμηλής ταχύτητας πάνω σε κυματομορφές κυμάτων Rayleigh σεισμών του βόρειου και νότιου Αιγαίου. Τέλος ο Ezen (1991a,b) υπολογίζει ένα μοντέλο ταχυτήτων για τη Δυτική Τουρκία από αμιγώς ηπειρωτικές διαδρομές.

Στην μελέτη αυτή επιχειρείται ο προσδιορισμός της ταχύτητας ομάδας σε συνάρτηση με την περίοδο για μια διαδρομή μεταξύ ΝΑ Αιγαίου και Αθήνας που τέμνει το ίχνος του Ελληνικού Τόξου με γωνία 90°, και κατόπιν μια προσπάθεια για χαρακτηρισμό της δομής των λαμβανόμενων υπόψη των συμπερασμάτων προηγούμενων ερευνητών για τη συγκεκριμένη περιοχή.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Χρησιμοποιήθηκαν εγγραφές κυμάτων Rayleigh από σεισμούς στη θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά της Καρπάθου όπως καταγράφηκαν στην κατακόρυφη συνιστώσα μακράς περιόδου του σταθμού της Αθήνας (ATH) του WWSSN. Στον Πίνακα I παρουσιάζονται οι παράμετροι των σεισμών που μελετήθηκαν, ενώ η εικόνα 1 δείχνει τα επίκεντρα αυτών των σεισμών και η εικόνα 2 τις ψηφιοποιημένες εγγραφές του σταθμού. Η επιλογή των σεισμών για μία περιοχή γίνεται με κριτήριο τον καθορισμό ομοιογενούς κατά το δυνατόν διαδρομής εστίας - σταθμού.

Σαν πρώτο βήμα στην επεξεργασία των δεδομένων είναι η ψηφιοποίηση των εγγραφών με χειροκίνητο ψηφιοποιητή και κατόπιν, με χρήση προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, γραμμική παρεμβολή με βήμα 0.5 sec και διόρθωση της γραμμής βάσης.

Για την ανάλυση του σήματος οι παράμετροι που απαιτούνται είναι: ο χρόνος γένεσης του σεισμού και ο χρόνος του πρώτου σημείου ψηφιοποίησης, η επικεντρική απόσταση, ο αριθμός των σημείων του ψηφιοποιημένου σήματος και το βήμα ψηφιοποίησης, ο αριθμός των σημείων από την αρχή και το τέλος του σήματος που πρέπει να σβηστούν, η περιοχή συχνοτήτων εντός της οποίας θα γίνει η ανάλυση και το βήμα μεταβολής της συχνότητας και οι παράμετροι του φίλτρου. Χρησιμοποιείται πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή των Burton & Blomey (1972) που βασίζεται στην τεχνική πολλαπλού φιλτραρίσματος των Dziewonski, Bloch & Landismar (1969). Γίνεται επεξεργασία των ψηφιοποιημένων σειсмоγραμμάτων κατά διακεκριμένες χρονικές περιόδους (Cosine Taper Window) και βρίσκεται το φάσμα χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό FFT (Fast Fourier Transform). Για το φιλτράρισμα, το σήμα διέρχεται μέσα από μια σειρά από φίλτρα μικρού εύρους συχνοτήτων κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική κεντρική συχνότητα (φίλτρα τύπου Gauss). Η χρονική στιγμή κατά την οποία το πλάτος του φιλτραρισμένου σήματος είναι μέγιστο για κάθε εγγραφή λαμβάνεται σαν χρόνος άφιξης για την ομάδα των συχνοτήτων του σήματος που περιβάλλουν την κεντρική συχνότητα του φίλτρου. Γνωρίζοντας την επικεντρική απόσταση και το χρόνο γένεσης του σεισμού μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα ομάδας για κάθε συχνότητα. Η δυσκολία για τον καθορισμό του φίλτρου (ένα στενό φίλτρο κατακρατεί το μεγαλύτερο μέρος του σήματος και επομένως το μέγιστο πλάτος δε μπορεί να προσδιοριστεί, ενώ ένα ευρύ φίλτρο αφήνει να περάσουν και οι υψηλές συχνότητες που κυριαρχούν στο φιλτραρισμένο σήμα) αίρεται με τη χρήση της συνάρτησης Gauss ως φίλτρο. Για να υπολογιστεί το φάσμα του πλάτους, η εγγραφή μετασχηματίζεται με μετασχηματισμό Fourier χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που βασίζεται στον αλγόριθμο Cooley - Tukey (1965).

Σε αυτή τη φάση, τα φάσματα του πλάτους και της φάσης δε διορθώνονται ως προς την επίδραση των οργάνων εγγραφής, διόρθωση που γίνεται αργότερα κατά τη διαδικασία με χρήση προγράμματος βασισμένου στην τεχνική των Espinoza et al (1965) για τους σειсмоγράφους του WWSSN.

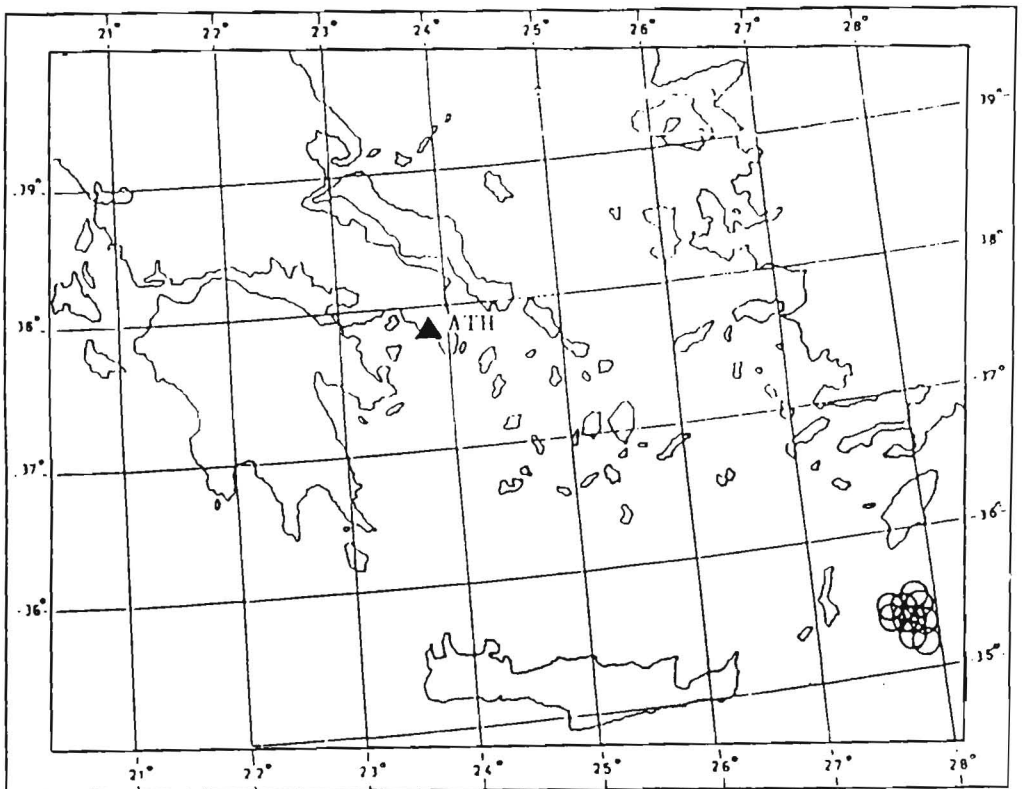
Οι ταχύτητες ομάδας υπολογίστηκαν για περιόδους 8-80 sec (συχνότητες 0.125 - 0.0125 Hz) που βρίσκονται μέσα στα όρια απόκρισης των οργάνων του WWSSN. Τα επιφανειακά κύματα σε αυτό το εύρος διεξδύουν και στον ανώτερο μανδύα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι : Κατάλογος των σεισμών των οποίων οι εγγραφές των κυμάτων Rayleigh μελετήθηκαν.

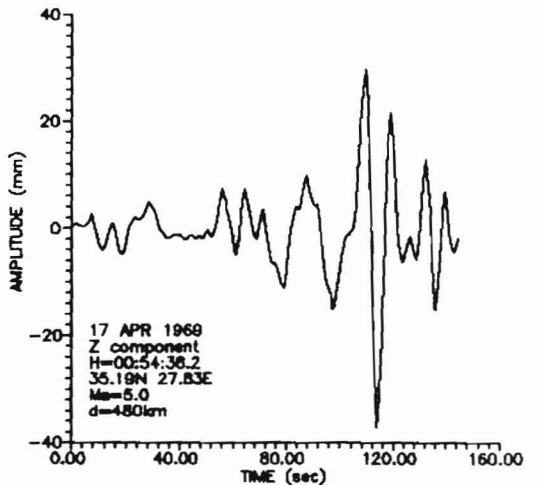
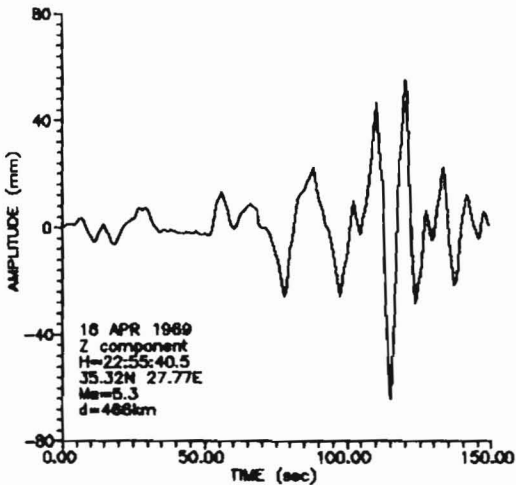
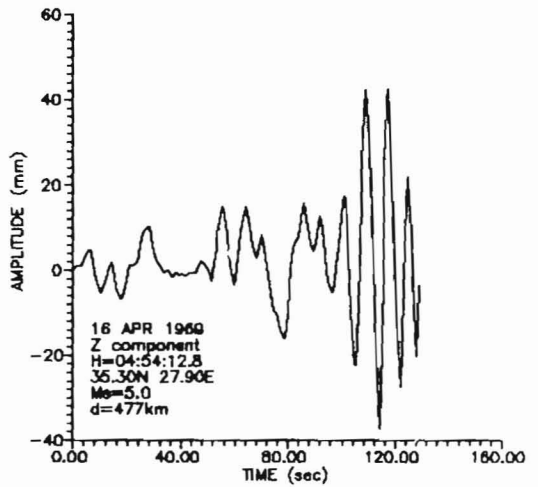
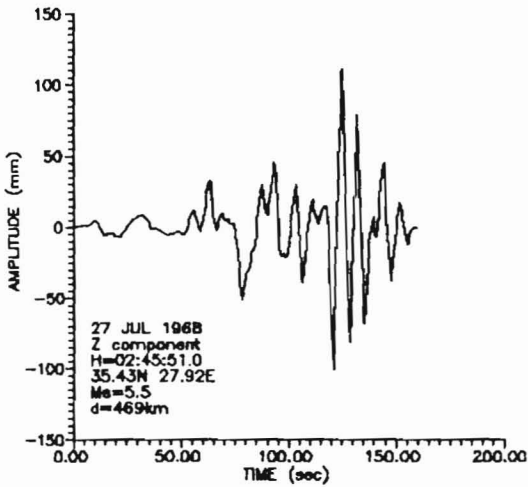
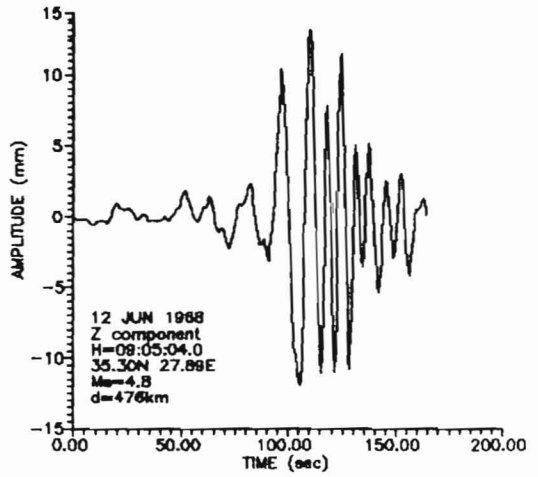
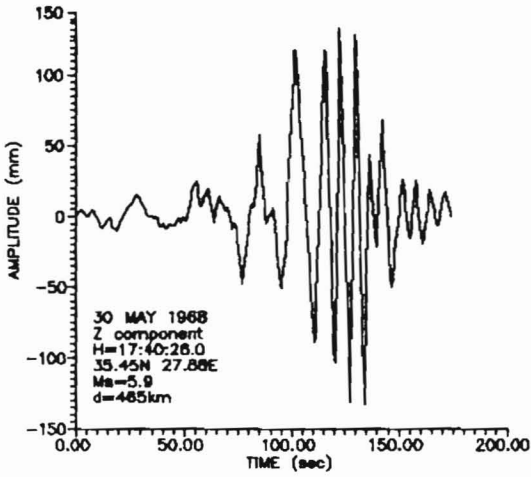
Ημερομηνία	Χρόνος Γένεσης H : M : Sec	Συντεταγμένες		Μέγεθος* M _R	Απόσταση	
		Μήκος	Πλάτος		km	deg
30/05/1968	17:40:26.0	35.45	27.88	5.9	465	4.18
12/06/1968	09:05:04.0	35.30	27.89	4.8	476	4.28
27/07/1968	02:45:51.0	35.43	27.92	5.5	469	4.22
16/04/1969	04:54:12.8	35.30	27.90	5.0	477	4.29
16/04/1969	22:55:40.5	35.32	27.77	5.3	466	4.19
17/04/1969	00:54:38.2	35.19	27.83	5.0	480	4.32
01/05/1969	18:02:16.4	35.41	27.68	5.5	453	4.08
01/05/1969	20:06:45.4	35.39	27.73	5.1	458	4.12
14/05/1969	10:05:17.1	35.33	27.72	5.3	462	4.16
03/07/1971	04:05:55.4	35.15	27.89	4.8	487	4.38

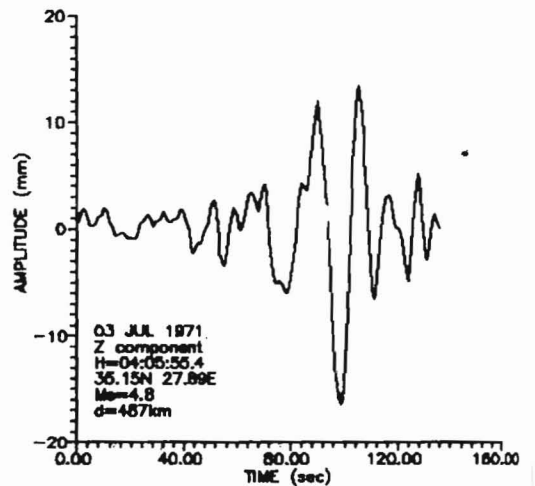
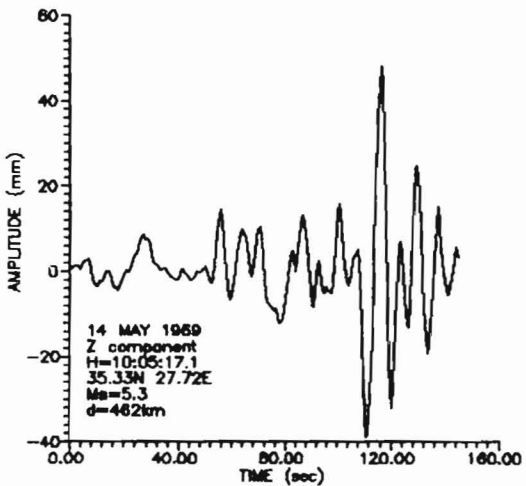
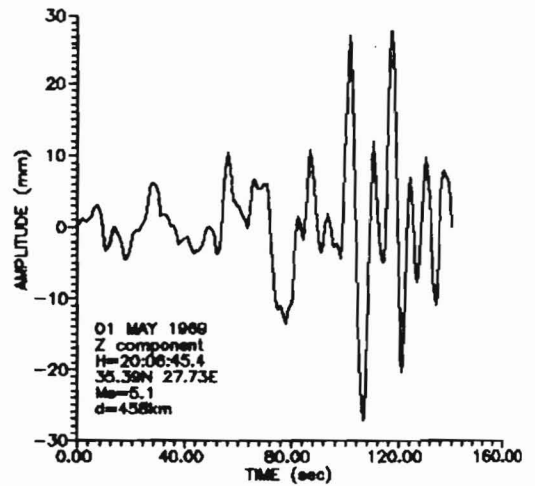
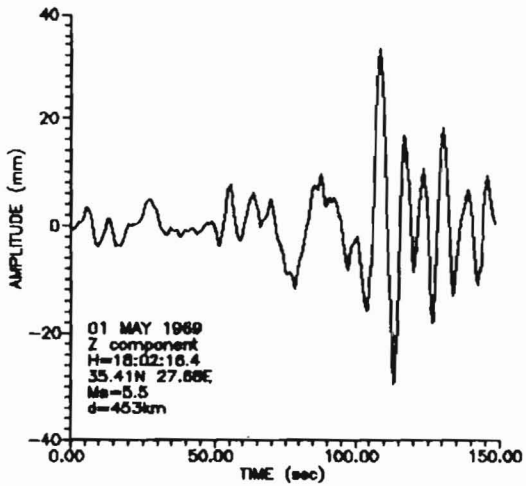
Πηγή : Μηνιαία Δελτία ISC

* Από τον κατάλογο σεισμών των Κουμνηνάκη & Παπαζάχου (1986)



Εικόνα 1. Χάρτης στον οποίο σημειώνονται τα επίκεντρα των σεισμών των οποίων οι εγγραφές χρησιμοποιήθηκαν στη Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



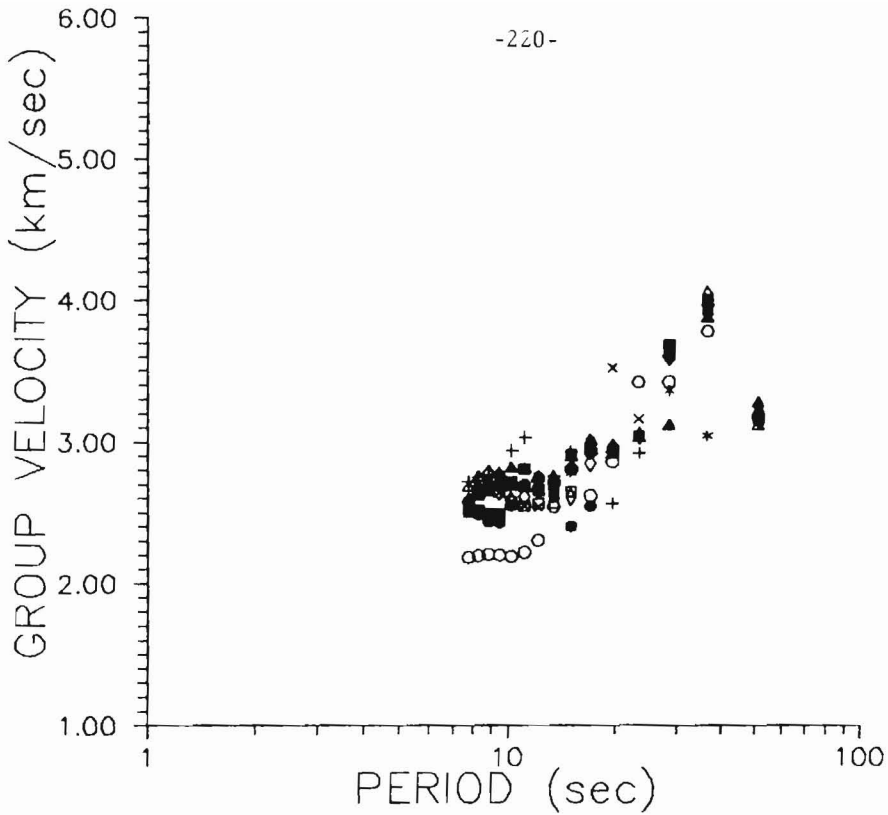


Εικόνα 2. Οι ψηφιοποιημένες εγγραφές των σεισμών μετά τη γραμμική παρεμβολή και τη διόρθωση της γραμμής βάσης.

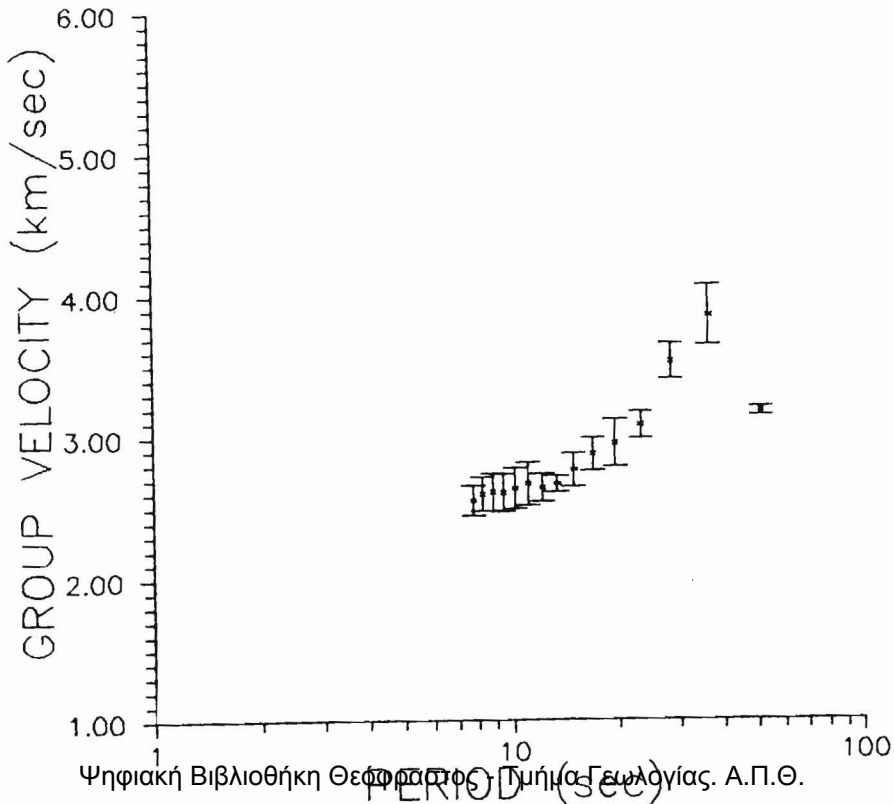
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Στην εικόνα 3 παρουσιάζονται συνολικά οι καμπύλες σκέδασης που προκύπτουν από την επεξεργασία κάθε εγγραφής, ενώ στην εικόνα 4 παρουσιάζεται η μέση καμπύλη σκέδασης για την εξεταζόμενη διαδρομή καθώς και το τυπικό σφάλμα σε κάθε τιμή της περιόδου. Από τις δύο εικόνες παρατηρούμε ότι για το εξεταζόμενο εύρος περιόδων η ταχύτητα ομάδας κυμαίνεται μεταξύ 2.2 και 4.2 km/sec και γενικά αυξάνεται με την περίοδο. Η μέση αυτή καμπύλη συγκρίνεται με τις μέσες καμπύλες του Oliver (1962, εικ. 5) για τη σκέδαση των κυμάτων Rayleigh σε ηπειρωτική και ωκεάνια διαδρομή, λαμβάνοντας συγχρόνως υπόψη και τα συμπεράσματα προηγούμενων ερευνητών για τον τύπο της δομής της περιοχής. Έτσι παρατηρούμε ότι για περιόδους 8 - 10 sec η μέση ταχύτητα ομάδας είναι περίπου 2.6 km/sec που στις καμπύλες του Oliver χαρακτηρίζει την ύπαρξη ιζηματογενούς στρώματος. Η ύπαρξη αυτού του στρώματος στο φλοιό της περιοχής NA της Καρπάθου και μάλιστα με σημαντικό πάχος αναφέρεται από τους Payo (1967, 1969), Lort et al (1974) και Malovitzkiy et al (1975). Για μεγαλύτερες περιόδους που αντιστοιχούν σε διεύθυνση των κυμάτων Rayleigh σε μεγαλύτερα βάθη, η μέση ταχύτητα ομάδας φθάνει ένα μέγιστο 3.9 km/sec για περίοδο 40 sec με ελάττωση στα 3.0 km/sec για περίοδο 50 sec. Οι τιμές αυτές στις καμπύλες του Oliver αντιστοιχούν σε ηπειρωτικό φλοιό, ωστόσο η μορφή της καμπύλης σκέδασης της εικόνας 4 ομοιάζει περισσότερο με τη μορφή της καμπύλης του ωκεάνιου φλοιού της εικόνας 5. Οι παρατηρήσεις αυτές πιθανολογούν ότι ναι μεν η λιθόσφαιρα στην περιοχή έχει κύρια ηπειρωτικό χαρακτήρα, όμως ο χαρακτήρας αυτός δέχεται την επίδραση ωκεάνιου υλικού που επηρεάζει την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Για ηπειρωτικό φλοιό στην περιοχή του Αιγαίου έχουν μιλήσει πολλοί ερευνητές (Parazachos et al., 1966; Payo, 1967, 1969; Parazachos, 1969; Makris, 1978; Calcagnile et al, 1982; κά), όλοι όμως δέχονται την ωκεανοποίησή του, κύρια στα μεγαλύτερα βάθη, η οποία οφείλεται στη σύγκλιση των δύο ηπειρωτικών πλακών, της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής. Η ύπαρξη μαγματικού υλικού στον ηπειρωτικό φλοιό αποδίδεται είτε στην καταβύθιση της Αφρικανικής λιθόσφαιρας και τη συνακόλουθη τήξη της (Parazachos & Comninakis 1969, 1971, 1978; Le Pichon & Angelier, 1979) είτε σε άνοδο μάγματος που είναι ανεξάρτητη από την καταβύθιση της Αφρικανικής λιθόσφαιρας (Makris, 1976; Tassos, 1983; Tassos et al, 1989).

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης με εφαρμογή διαφόρων μεθόδων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό μοντέλου ταχυτήτων των επιμήκων και εγκάρσιων κυμάτων συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην εξαγωγή νέων συμπερασμάτων ή στην ισχυροποίηση παλαιότερων σχετικά με την περιγραφή της πολύπλοκης δομής στην περιοχή του Αιγαίου.

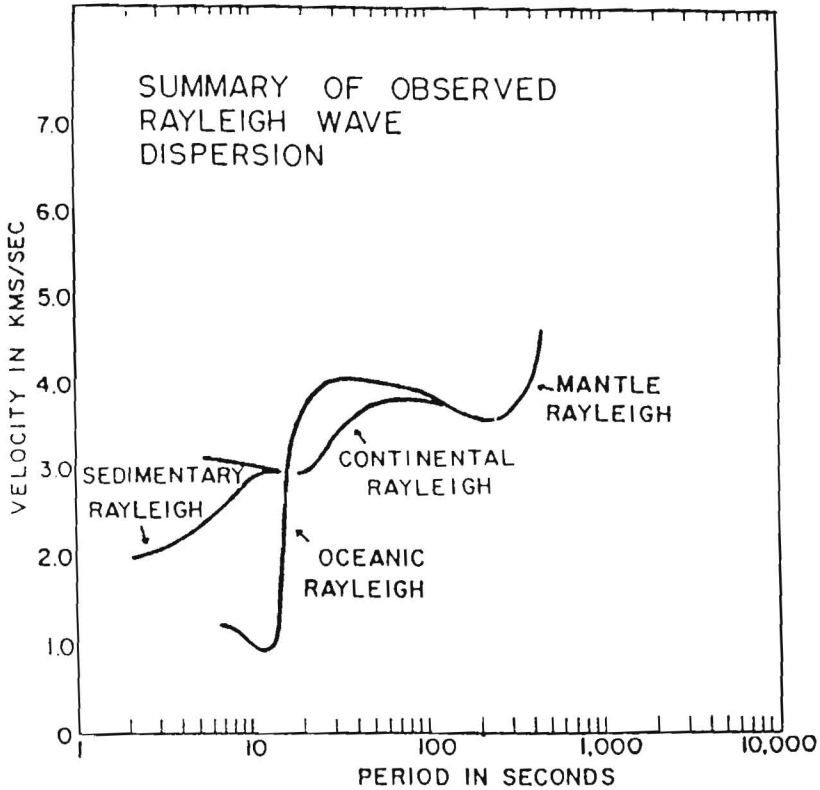


Εικόνα 3. Η ταχύτητα ομάδας σε συνάρτηση με την περίοδο. Κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε μια εγγραφή.



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου Πυρήνα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Εικόνα 4. Η μέση καμπύλη σκέδασης με 97.5% διαστήματα



Εικόνα 5. Σύνοψη των καμπυλών σκέδασης των κυμάτων Rayleigh κατά Oliver (1962) για ηπειρωτικό και ωκεάνιο φλοιό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BURTON, P.W., and BLAMEY, C., (1972). A computer program to determine the spectrum and a dispersion characteristic of a transient signal. HMSO, AWRE Report No 4-48/72.
- CALCAGNILE, G., D'INGEO, F., FARRUGIA, P., and PANZA, G.F., (1982). The lithosphere in the central - eastern Mediterranean area. *Pure appl. Geophys.*, 120, 389-406.
- COMNINAKIS, P.E., and PAPAΖΑΧΟΣ, B.C., (1986). A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901 - 1985. Univ. of Thessaloniki, Geophys. Lab., Publ. No 1, 165 pp.
- COOLEY, J.W. and TUKEY, J.W., (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. Comput.*, 19, 297-301.
- DZIEWONSKI, A., BLOCH, S., and LANDISMAN, M., (1969). A technique for the analysis of transient seismic signals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 1, 427-444.
- ESPINOZA, A.F., SUTTON, G.H., and MILLER, H.J., (1965). A transient technique for seismograph calibration - Manual and standard set of theoretical transient responses. Geophys. Lab., Inst. of Sci. and Tech., Univ. of Michigan.
- EZEN, U., (1983). An interference phenomenon in Rayleigh wave trains associated with the earthquakes in and around the Aegean Sea. *Bull. Intern. Inst. Seism. Earthq. Engin.* 20, 33-62.

- EZEN, U., (1991a). Crustal structure of western Turkey from Rayleigh wave dispersion. *Bull. Intern. Inst. Seism. Earthq. Engin.*, 25, 1-21.
- EZEN, U., (1991b). Surface wave dispersion and upper crustal structure along N - S direction in western Turkey from Burdur earthquake of 12 May 1971. *Bull. Intern. Inst. Seism. Earthq. Engin.*, 25, 39-59.
- Le PICHON, X. and ANGELIER, J., (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- LORT, J.M, LIMOND, W.Q. and GRAY, F., (1974). Preliminary seismic studies in the eastern Mediterranean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 21, 355-366.
- MAKRIS, J., (1976). A dynamic model of the Hellenic Arc deduced from geophysical data. *Tectonophysics*, 36, 339-346.
- MAKRIS, J., (1978). The crust and upper mantle of the Aegean region from deep seismic soundings. *Tectonophysics*, 46, 269-284.
- MALOVITZKIY, Ya.P., EMELYANOV, E.M., KAKAKOV, O.V., MOSKALENKO, V.N., OSIPOV, G.V., SHIMKUS, K.M. and SHUMAKOV, I.S., (1975). Geological structure of the Mediterranean sea floor (based on geological - geophysical data). *Mar. Geol.*, 18, 231-261.
- OLIVER, J., (1962). A summary of observed seismic surface wave dispersion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 52, 1, 81-86.
- PAPAZACHOS, B.C., (1969). Phase velocities of Rayleigh waves in southeastern Europe and east Mediterranean sea. *Pure Appl. Geophys.*, 75, 4, 47-55.
- PAPAZACHOS, B.C., and COMNINAKIS, P.E., (1969). Geophysical features of the Greek island arc and Eastern Mediterranean ridge. *Com. Ren. Seances de la Conference Reunie a Madrid*, 16, 74-75.
- PAPAZACHOS, B.C., and COMNINAKIS, P.E., (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.*, 76, 8517-8533.
- PAPAZACHOS, B.C. and COMNINAKIS, P.E., (1978). Geotectonic significance of the deep seismic zones in the Aegean area. 2nd Internat. Sci. Congress, Santorini, Greece, Vol I, 121-129.
- PAPAZACHOS, B.C., COMNINAKIS, P.E. and DRAKOPOULOS, J.C., (1966). Preliminary results of an investigation of crustal structure in southeastern Europe. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 56, 1241-1268.
- PAPAZACHOS, B., POLATOU, M. and MANDALOS, N., (1967). Dispersion of surface waves recorded in Athens. *Pure Appl. Geophys.*, 67, 95-106.
- PAYO, G., (1967). Crustal structure of the Mediterranean Sea by surface waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 57, 2, 151-172.
- PAYO, G., (1969). Crustal structure of the Mediterranean Sea. Part II: Phase velocity and travel times. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 1, 23-42.
- TASSOS, S.T., (1983). The Hellenic arc and earth expansion. In : Carey, S.W. (ed.): *Expanding Earth Symposium*, Sydney, Australia (1981), 161-164.
- TASSOS, S.T., KALOGERAS, I.S., and KUZIN, I.P., (1989). 2-D Velocity structure in the axial plane of the Benioff zone in the south Aegean Sea. *Proc. 4th Internat. Symp. on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk*, Prague 1989, Vol. .., 222-230.