

# ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ ΤΗΣ ΖΑΚΥΝΘΟΥ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ\*

ΣΤΕΦΑΤΟΣ, Α. <sup>1</sup>, ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΗΣ, Μ. <sup>1</sup>, ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ, Γ. <sup>1</sup>,  
ΧΑΣΙΩΤΗΣ, Θ. <sup>1</sup> & ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ, Γ. <sup>1</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σεισμικές τομογραφίες αποτελούν την τελευταία 30-ετία κυρίαρχο μέσο για τη μελέτη ιζηματογενών διεργασιών πλήρωσης θαλασσιών λεκανών και ιδιαίτερα βαρυντικών διεργασιών μεταφοράς ιζημάτων.

Η αναγνώριση των διαφόρων τύπων διεργασιών μεταφοράς ιζημάτων καθώς και των αποθέσεων τους, στις σεισμικές καταγραφές βασίζεται στον καθορισμό i) των ακουστικών χαρακτηριστικών, των σεισμικών ακολουθιών και iii) των σεισμικών φάσεων.

Η συμμετοχή του κάθε τύπου ιζηματογενούς διεργασίας στην πλήρωση μιας θαλάσσιας λεκάνης βασίζεται μέχρι τώρα σε μία ποιοτική εκτίμηση της παρουσίας του στις σεισμικές καταγραφές χωρίς να δίνεται μία ποσοτική έκφραση αυτής της εκτίμησης. Η παρούσα εργασία προτείνει μία συγκεκριμένη μεθοδολογία που οδηγεί στην ποσοτικοποίηση της συμμετοχής κάθε διακριτής ιζηματογενούς διεργασίας φιλοδοξώντας να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό μέσο για την ακριβέστερη προσέγγιση των διεργασιών πλήρωσης μιας θαλάσσιας ιζηματογενούς λεκάνης.

## ABSTRACT

Analogue seismic data are in the last 30-years, the main tool for the study of the sedimentary infill of submarine basins. Especially analogue seismic recordings are broadly used for the study of gravitative sediment movement processes.

The present study is an effort for a quantitative approach to basin's infill processes based on the analysis of analogue seismic data. The basin under investigation is Zakynthos Channel; an active submarine basin in western Greece.

The principal of the suggested method is to distinguish different sets of reflectors according to their acoustic signature that can be attributed to specific type of sedimentary deposits. The distinguished reflectors sets have been measured in terms of thickness values. The resulted data were transformed to their respective percentages and multivariate statistical analysis (factor analysis) was applied to them. Geographical distribution maps were produced for the presentation of the results.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** λεκάνη ιζηματογένεσης, ιζηματογενείς διεργασίες, ποσοτικοποίηση, γεωστατιστική, αναλογικά σεισμικά δεδομένα, διαύλος Ζακύνθου.

**KEY WORDS:** basin, infill processes, quantitative, geostatistics, analogue seismic data, Zakynthos Channel.

\* A QUANTITATIVE APPROACH TO BASIN INFILL PROCESSES DEDUCED FROM ANALOGUE SEISMIC DATA – AN EXAMPLE FROM THE ZAKYNTHOS BASIN, W. GREECE.

<sup>1</sup> Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας, (Γ.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω.) Πανεπιστήμιο Πατρών 26110 Πτο Πάτρα, e-mail: gleren@upatras.gr.

## 1. ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η υπό μελέτη περιοχή, η οποία θα αναφέρεται ως διάυλος Ζακύνθου, εντοπίζεται στο θαλάσσιο χώρο μεταξύ Ζακύνθου και Κυλλήνης στο Ιόνιο Πέλαγος. Πρόκειται για ένα επιμήκες βύθισμα του θαλάσσιου πυθμένα το οποίο φτάνει τα 610 μέτρα βάθος νερού.

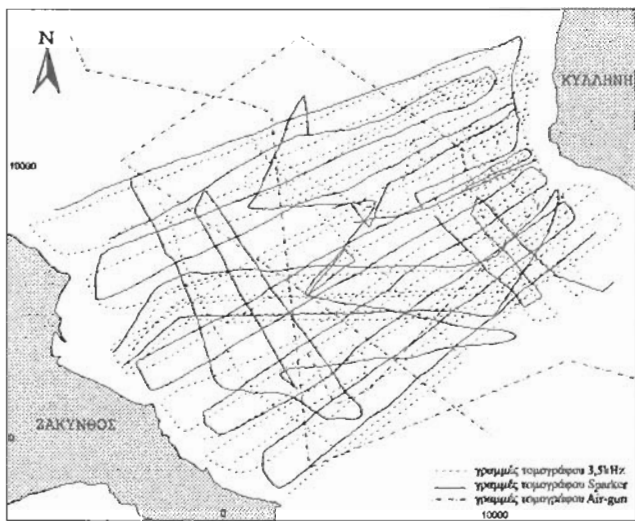
Η περιοχή αποτελεί τμήμα της στενής υφαλοκρηπίδας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της Ελληνικής Τάφρου. Η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής είναι το σύνθετο αποτέλεσμα της μετανάστευσης των Ελληνίδων ορογενετικών ζωνών προς τα δυτικά και της καταβύθισης κατά μήκος του δυτικού Ελληνικού τόξου (Brooks et al., 1988). Ο συνδυασμός της μετανάστευσης του μετώπου των επωθήσεων και της καταβύθισης κατά μήκος του Ελληνικού τόξου δημιούργησε ένα καθεστώς συμπίεσης, το οποίο πυροδότησε το διαπυριισμό των Τριαδικών βελοριτών (Monopolis & Bruneton, 1982, Brooks & Ferentinos, 1984).

Ο διαπυριισμός είναι ενεργός έως και σήμερα, ελέγχοντας τόσο τη νεοτεκτονική παραμόρφωση των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων, όσο και την ιζηματογένεση στην περιοχή (Brooks & Ferentinos, 1984).

Η κατανομή των σεισμικών επιπέντρων στον ευρύτερο χώρο πιστοποιεί ότι πρόκειται για μια περιοχή ιδιαίτερα ενεργή, με πολλή έντονη σεισμικότητα. (κατάλογος Εργαστηρίου Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, 1997).

## 2. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Η παρούσα εργασία βασίζεται στα γεωφυσικά στοιχεία, τα οποία συλλέχθηκαν τον Ιούνιο του 1994, στη διάρκεια μιας γεωφυσικής-γεωτεκτονικής μελέτης για την ασφαλή πόντιση υποβρυχίων ενεργειακών καλωδίων της Δ.Ε.Η. (Ferentinos et al., 1997). Η συνολική έκταση της περιοχής που μελετήθηκε φτάνει τα 190 km<sup>2</sup>. 450 km σεισμικών καταγραφών υψηλής διακριτικής ικανότητας (τομογράφος υποδομής πυθμένα 3,5 kHz) και 325 km σεισμικών καταγραφών μεγαλύτερης διεσδυτικής ικανότητας (τομογράφος sparker) χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 40 πυρήνες βαρύτητας οι οποίοι συλλέχθηκαν σε θέσεις επιλεγμένες από την ερμηνεία των σεισμικών τομογραφιών. Ο προσδιορισμός θέσης έγινε με τη βοήθεια συστήματος G.P.S. με ακρίβεια 50 μέτρων. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν, βοηθητικά, 82,5 km σεισμικών καταγραφών από τομογράφο air-gun, παλιότερης έρευνας.



**Εικ.1:** Πορείες κατά μήκος των οποίων έγινε η συλλογή των γεωφυσικών δεδομένων.

**Fig.1:** Seismic lines of the geophysical survey.

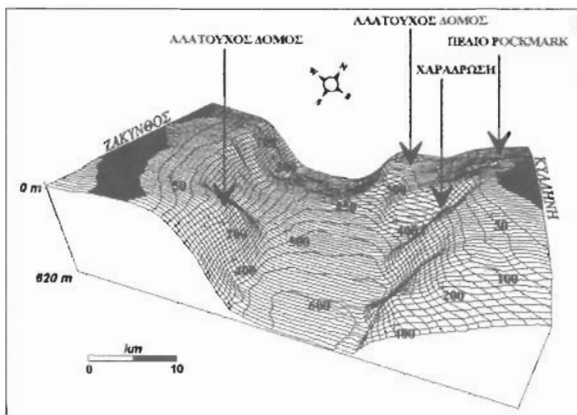
(Σύλλογος Γ. Φερεντίνος) (Εικ.1).

## 3. ΣΕΙΣΜΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ανάλυση και ερμηνεία των σεισμικών καταγραφών έδειξε ότι, φυσιογραφικά ο θαλάσσιος χώρος του διαύλου χωρίζεται σε πέντε ενότητες :

1) στην υφαλοκρηπίδα της Κυλλήνης, 2) στην πλαγιά της Κυλλήνης, 3) στη λεκάνη Κυλλήνης - Ζακύνθου, 4) στην πλαγιά της Ζακύνθου, και 5) στην υφαλοκρηπίδα της Ζακύνθου. Πιο συγκεκριμένα το βόρειο τμήμα της υφαλοκρηπίδας της Κυλλήνης χωρίζεται σε εσωτερική και εξωτερική κρηπίδα. Η εσωτερική κρηπίδα εκτείνεται από την ακτογραμμή έως την ισοβάθη των 200 μέτρων και περιλαμβάνει

ένα πεδίο με κορητές διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (rockmarks). Η εξωτερική κορητίδα αποτελεί ένα ανιψομένο επίπεδο, αποτέλεσμα της παραμόρφωσης του ανώτερου τμήματος της πλάγιάς της Κυλλήνης. Η παραμόρφωση αυτή οφείλεται στη διαχυτική άνοδο αλατούχου δόμου. Η επεξεργασία και ερμηνεία σεισμικών καταγραφών μεγαλύτερου βάθους (sparkler & air-gun) έδωσε στοιχεία που υποστηρίζουν τη διαχυτική άνοδο αλατούχων δόμων, όπως η προς τα πάνω κύρτωση παράλληλων και συνεχών ανακλαστήρων που σχηματίζουν αντικλινικές δομές και η θραύση των στρωμάτων περιφερειακά του αντικλίνου από κανονικά ρήγματα. Αντίστοιχος διαχωρισμός σε εσωτερική και εξωτερική κορητίδα μπορεί να γίνει στο νότιο τμήμα της υψοκορητίδας της Ζακύνθου. Εξεί παρατηρείται παρόμοια παραμόρφωση της πλάγιάς που επίσης αποδίδεται σε διαχυτική άνοδο. Στο κάτω τμήμα της πλάγιάς της Ζακύνθου και στο κέντρο αυτής αναπτύσσεται η μορφολογική ενότητα βάση πλάγιάς (slope apron) ενώ απέναντί του, η πλάγιά της Κυλλήνης διατέμνεται από μία μεγάλη υποθαλάσσια χαράδρωση (canyon), η οποία αποτελεί την προέκταση ενός χειμάζουρου στη χέρσο (Εικ. 2).

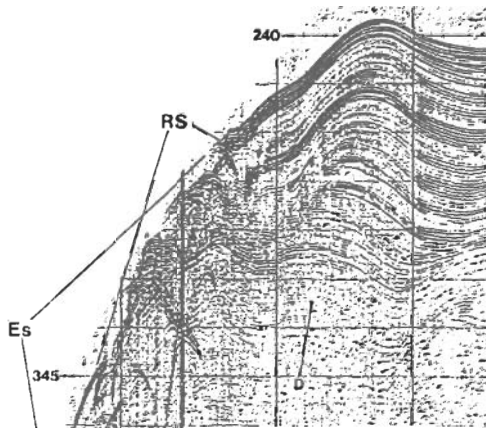
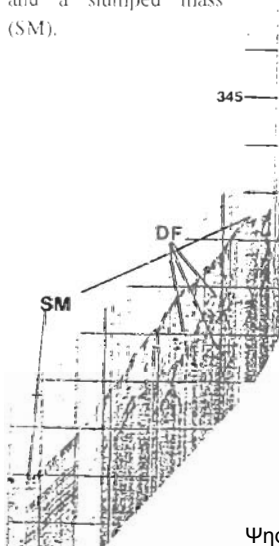


**Εικ.2:** Τριδιάστατη απεικόνιση της βυθομετρίας του διαύλου της Ζακύνθου.

**Fig.2:** 3-D view of the Zakynthos Channel bathymetry.

**Εικ.3:** Τομογραφία 3,5kHz που δείχνει περιστροφικές κατολισθήσεις (RS), αποθέσεις υφών κορημάτων (DF) και μια κατολισθείσα μάζα (SM).

**Fig.3:** 3.5kHz profile showing rotational slides (RS), debris flow deposits (DF) and a slumped mass (SM).



**Εικ.4:** Καταγραφή τομογράφου Sparkler που δείχνει περιστροφικές κατολισθήσεις (RS), ένα μεγάλο μέτωπο αποκόλλησης (Es), αποθέσεις υφών κορημάτων (DF), ενώ επίσης διακρίνεται παραμόρφωση των ανακλαστήρων σε μορφή αντικλίνου (D), η οποία οφείλεται στη διαχυτική άνοδο αλατούχου δόμου.

**Fig.4:** Sparkler profile showing rotational slides (RS), a large escarpment (Es), debris flow deposits (DF) and a deformation of the reflectors in an anticlinal form (D) due to diapiric rise of a salt dome.

Η περιοχή κυριαρχείται από μία ποικιλία βαρυτικών μετακινήσεων μάζων όπως έχουν παρατηρήσει και οι Ferentinos et al.(1985). Τα κατολισθητικά αυτά φαινόμενα είναι ενεργά και φαίνονται να ελέγχουν την ιζηματογένεση της περιοχής. Η αύξηση της γλίσης των πλαγίων πάνω από μια κρίσιμη γωνία λόγω της απόδοσης του διάτρυου είτε η πολλή έντονη σεισμικότητα είτε ένας συνδυασμός των δύο θεωρούνται οι μηχανισμοί πυροδότησης των παρατηρούμενων φαινομένων αστάθειας (κατολισθήσεων).

Χαρακτηριστικά φαινόμενα που αναγνωρίστηκαν είναι (Εικ. 3.4): i) κυκλικές κατολισθήσεις (μη κυκλικές) (non-circular slumps), ii) επίπεδες ολισθήσεις τεμαχίων (translational block slides), iii) στρωματοειδείς επίπεδες ολισθήσεις (translational slab slides) iv) ροές κορμημάτων (debris flows) και v) τουρβιδιτικά ρεύματα (turbidity currents).

Η φωτογράφιση των κατολισθητικών φαινομένων υποδηλώνει τη σημασία τους καθώς παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα στο χώρο και υψηλή συχνότητα στο χρόνο. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί με ασφάλεια στο συμπέρασμα ότι οι βαρυτικές μετακινήσεις μάζων αποτελούν τον κύριο παράγοντα ιζηματογένεσης στο δίκτυο της Ζαζώνθου.

Οι ίδιες σεισμικές καταγραφές (sparker) παρουσιάζουν μεγάλες μάζες βαρυτικών αποθέσεων να καλύπτουν σημαντικό μέρος της λεκάνης. Οι αποθέσεις αυτές φαίνεται να επαναλαμβάνονται συχνά σε διαφορετικά στρωματογραφικά επίπεδα διατηρώντας πάντα το σημαντικό πάχος που τις χαρακτηρίζει. Οι βαρυτικές αποθέσεις διαχωρίζονται κατακόρυφα από διαδοχικά διαστήματα καλά στρωμένων αζολουθιών (Εικ.5). Οι καλά στρωμένες αζολουθίες αποδίδονται συνήθως σε ημιτελαρική ή και σε τουρβιδιτική ιζηματογένεση. Η μελέτη των πυρήνων που συλλέχθηκαν έδειξε ότι η παρουσία των τουρβιδιτικών αποθέσεων στα ιζήματα της λεκάνης είναι σημαντικότερη από την παρουσία ημιτελαρικών αποθέσεων. Το γεγονός αυτό υποστηρίζει ότι οι καλά στρωμένες αζολουθίες ~~οφ~~ είνονται κυρίως σε **αποθέσεις τουρβιδιτικών ρευμάτων**.

Έχοντας υπόψη αυτά τα στοιχεία προκύπτει το συμπέρασμα ότι από το Πλειόκαινο ~~έως~~ σήμερα η λεκάνη στο δίκτυο Κηλίνης - Ζαζώνθου χαρακτηρίζεται από ένα μοντέλο διαδοχικών εναλλεξών ροών κορμημάτων και τουρβιδιτικών ρευμάτων. Για το λόγο αυτό η προσπάθεια εστιάζεται στον υπολογισμό της σημασίας των διαφορετικών διεργασιών ιζηματογένεσης στη λεκάνη.

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

##### 4α. Μέτρηση μεταβλητών

Η ποσοτικοποίηση των δεδομένων από τις σεισμικές καταγραφές κρίθηκε αναγκαία. Ανάλυση των δεδομένων με παρόμοιο τρόπο δεν έχει αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, συνεπώς η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτική.

Για τη μελέτη αυτή επιλέχθηκε ένα κομμάτι της λεκάνης, το οποίο καλύπτεται από ένα πυκνό δίκτυο σεισμικών καταγραφών Sparker, καθετόν στον άξονα της λεκάνης και παράλληλων ή σχεδόν παράλληλων μεταξύ τους, με ικανοποιητική ποιότητα καταγραφής. Η έκταση της περιοχής που καλύφθηκε είναι 5,5 km επί 6,7 km. Κατά μήκος κάθε καταγραφής, επιλέχθηκαν σημεία δειγματοληψίας σε σταθερές περίπου αποστάσεις των 250 m. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 140 θέσεις μετρήσεων.

Σε κάθε θέση διακρίθηκαν οι διαφορετικοί τύποι σεισμικών ανακλαστών και μετρήθηκε το πάχος τους. Ο διαχωρισμός των ανακλαστών έγινε με βάση τον αζουριστό τους χαρακτήρα. Έτσι διακρίθηκαν τελικά 4 διαφορετικοί τύποι:

- I. Τ τύπος: πρόκειται για ααφείς συνεχείς σεισμικές ανακλάσεις, οι οποίες μορφούν εύκολα να διαχωριστούν λόγω του έντονου χαρακτήρα τους.
- II. Π τύπος: πρόκειται για αααφείς και τοπικά συνεχείς σεισμικές ανακλάσεις, οι οποίες δεν είναι πολύ έντονες.
- III. Ο τύπος: πρόκειται για αζανόνιστου σχήματος σεισμικές ανακλάσεις, χαοτικού χαρακτήρα (chaotic), οι οποίες τοπικά εμφανίζουν περιορισμένου μήκους λοχρούς, σημειακούς ανακλαστές.

IV. **D τύπος**: προέχεται για αζανόνιστου σχήματος αναζλαστήρες με σειμοζονιασμένο (seismic smearing) και εν μέρει χαοτικό χαρακτήρα (chaotic).

Η γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών καταγραφών αποδίδει ως εξής τον κάθε τύπο σεισμικού αναζλαστήρα:

I. Ο **τύπος T** αποδόθηκε κυρίως σε τουρβιδιτική και λιγότερο σε ημιπελαγική ιζηματογένεση.

II. Ο τύπος **TI** ερμηνεύθηκε ως παρωμορφωμένα στρώματα T τύπου. (Η παρωμορφωση ερμηνεύεται κυρίως ως μεταιζηματογενής και μπορεί να αποδοθεί στη φρότιση από ροές ζορημάτων (debris flow).

III. Ο **τύπος DI** αποδίδεται σε λιγότερο ομογενοποιημένες αποθέσεις ροών ζορημάτων. (debris flow deposits).

IV. Ο **τύπος D** ερμηνεύθηκε ως αποθέσεις ροών ζορημάτων (debris flow deposits).

Μετά το διαχωρισμό των τύπων των αναζλαστήρων, μετρήθηκε το πάχος κάθε ξεχωριστού οριζόντα έως το βάθος όπου η ποιότητα της καταγραφής ήταν ικανοποιητική (τα ανώτερα 8-10 μέτρα δεν χρησιμοποιήθηκαν γιατί επικαλύπτονται από αζονοτικό θόρυβο που δημιουργεί το φαινόμενο του "bubble effect"). Η μέτρηση του πάχους των επιμέρους οριζόντων σε μέτρα έγινε μετά τη μετατροπή των κατακόρυφων άξονα διπλών χρόνων διαδρομής σε άξονα βάθους. Για τη μετατροπή αυτή έγινε παραδοχή ότι η ταχύτητα του ήχου στην υδάτινη στήλη και στα ετιμ αντιστά ιζήματα είναι σταθερή στα 1500 m/sec.

Προκειμένου οι μετροημένες τιμές (πάχη αναζλαστήρων) να αποκτήσουν το χαρακτήρα ανεξαρτητών μεταβλητών με γεωλογική σημασία, θα πρέπει να είναι απαλλαγμένες από τεχνητούς παράγοντες, όπως είναι η ποιότητα της καταγραφής και το βάθος διεύθυνσης σε κάθε θέση.

Για το λόγο αυτό έγινε μετατροπή των παχών που μετρήθηκαν σε αντίστοιχες τιμές ποσοστών συμμετοχής. Ως τιμές ποσοστιαίας συμμετοχής κάθε τύπου, ορίσθηκε το πηλίκο που προκύπτει αν διαφερθεί το αθροιστικό πάχος όλων των αναζλαστήρων ίδιου τύπου σε μία θέση μέτρησης με το συνολικό πάχος των ιζημάτων στη θέση αυτή.

Για παράδειγμα:

$$z = \frac{X_1 + X_m}{S}$$

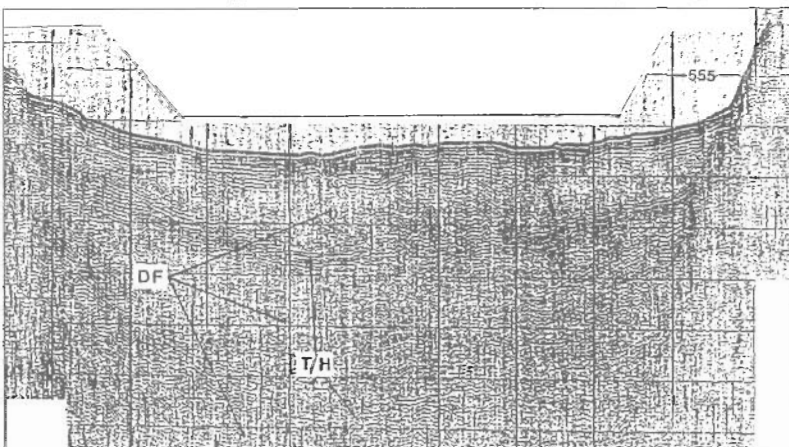
όπου:  $T_p$  = ποσοστιαία συμμετοχή αναζλαστήρων T τύπου

$T_1, \dots, T_n$  = πάχη αναζλαστήρων ίδιου τύπου

$Pd$  = βάθος διεύθυνσης με καλή ποιότητα καταγραφής

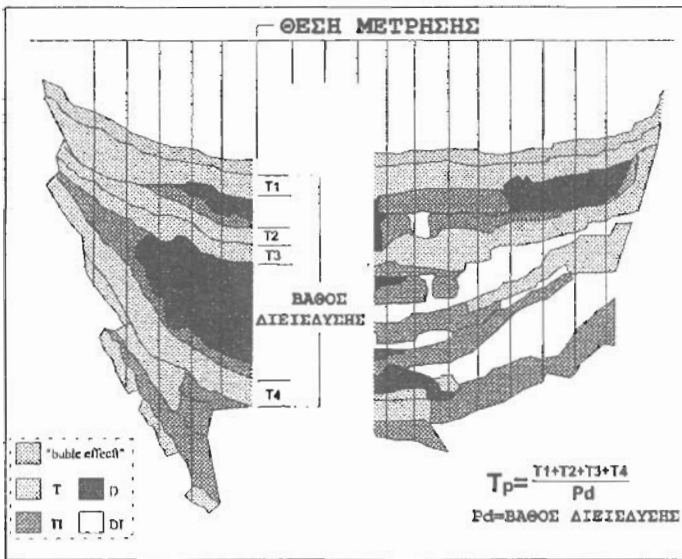
Με αυτόν τον τρόπο προέζησαν μεταβλητές οι οποίες αντιπροσωπεύουν το επί της εκατό ποσοστό με το οποίο συμμετέχει κάθε τύπος αναζλαστήρων στην ιζηματογενή στήλη (Εικ. 5.6). Εξτός από τις

ποσοστιαίες τιμές συμμετοχής κάθε τύπου αναζλαστήρων, υπολογίσθηκε και το μέσο πάχος των επεισοδίων για κάθε τύπο αναζλαστήρων. Έτσι για κάθε θέση μέτρησης υπολογίσθηκαν τέσσερις τιμές που αντιπροσωπεύουν το μέσο πάχος των διαφορετικών επεισοδίων που διαχωρίζονται ανάλογα του τύπου των αναζλαστήρων ( $T_{AST}$ ,  $TI_{AST}$ ,  $DI_{AST}$ ,  $D_{AST}$ ).



Εικ.5: Τομογραφία Sparker από τη λεκάνη, η οποία δείχνει τις εναλλαγές των αποθέσεων ροών ζορημάτων (DF) και των τουρβιδιτικών/ημιπελαγικών (T/H) αποθέσεων.

Fig.5: Sparker pro- file of the basin area showing the alternation of debris flow (DF) deposits and turbidite/semi-pelagic (T/H) deposits.



**Εκτ. 6 :** Λιγνισματιστή απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού των τιμών ποσοστιαίας συμμετοχής.

**Fig. 6:** Simplified diagrammatic sketch for the calculation of the presence percentages values.

#### 4β. Στατιστική επεξεργασία

Για επιπλέον επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόστηκε παραγοντική ανάλυση R-τύπου (R-mode factor analysis) (Davis, 1986) στις 140 θέσεις μετρήσεων. Η παραγοντική ανάλυση R-τύπου εφαρμόστηκε στα σεισμικά δεδομένα, σε πέντε στάδια : i) υπολογισμός συντελεστών συσχέτισης, ii) επίλυση του πίνακα συντελεστών και υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, iii) αποκοπή των μη ουσιωδών παραγόντων, iv) περιοριστική των παραγοντικών φορτίσεων (factor loadings) με το κριτήριο περιοριστικής της μεγιστοδυσχύμανσης (varimax rotation) και v) υπολογισμός των παραγοντικών τιμών (factor scores). Για την επιλογή του αριθμού των ουσιωδών παραγόντων εφαρμόστηκαν όλα τα κριτήρια επιλογής συνδυαστικά με τον έλεγχο της γεωλογικής ή μη σημασίας των αποτελεσμάτων.

#### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

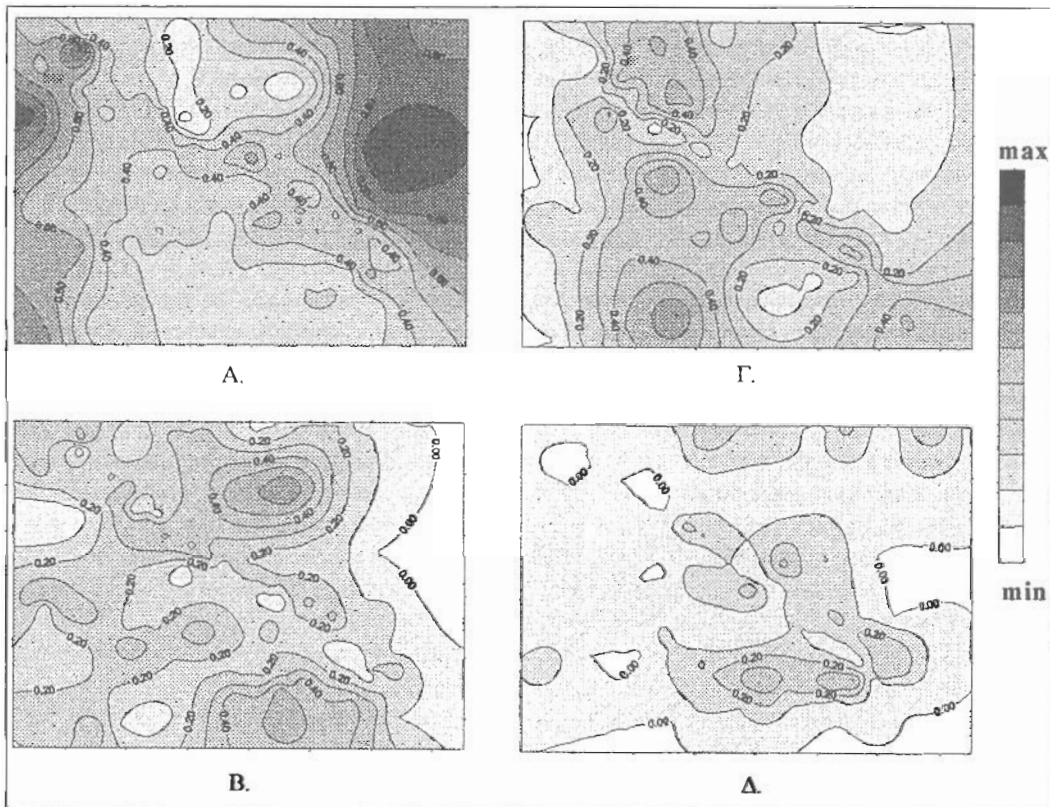
Οι μεταβλητές που προέκυψαν ( $T_p$ ,  $T_I$ ,  $D_I$  και  $D_p$ ) αποτιμήθηκαν σε αντίστοιχες επιφανειακές κατανομές (Εκτ.7). Η κατανομή της μεταβλητής  $T_p$  παρουσιάζει υψηλές τιμές (μέγιστο >0.9) στα περιθώρια της λεκάνης στη βάση των πλαγιών ενώ η κεντρική περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές (0.3-0.1). Η περιοχή υψηλών τιμών στη βάση της πλαγιάς της Κυλλήνης είναι περισσότερο εκτεταμένη και εμφανίζει μεγαλύτερη βαθμίδα μεταβολής τιμών.

Η επιφανειακή κατανομή των τιμών της μεταβλητής  $T_I$  παρουσιάζει δύο πόλους υψηλών τιμών. Οι δύο πόλοι αναπτύσσονται μπροστά από το μέτωπο των υψηλών τιμών της  $T_p$  που καλύπτουν την βάση της πλαγιάς της Κυλλήνης. Ο ένας εντοπίζεται βόρεια και κεντρικά στη λεκάνη ενώ ο άλλος νότια και κεντρικά και παρουσιάζουν μέγιστες τιμές 0.6 και 0.5 αντίστοιχα. Οι περιοχές της λεκάνης που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές  $T_p$  εμφανίζουν χαμηλές τιμές  $T_I$  που κυμαίνονται μεταξύ 0.1 και 0.0.

Η μεταβλητή  $D_p$  παρουσιάζει τρεις πόλους υψηλών τιμών οι οποίοι διατάσσονται στο κέντρο της λεκάνης κατά μήκος ενός άξονα παράλληλου με τον άξονα της λεκάνης μετατοπισμένον ελαφρά προς την πλευρά της πλαγιάς της Ζακύνθου. Ο βόρειος και ο κεντρικός πόλος εμφανίζουν μέγιστες τιμές > 0.5 ενώ ο νότιος πόλος ο οποίος είναι και ο περισσότερο εξαπλωμένος ξεπερνά το 0.6.

Η κατανομή των τιμών της μεταβλητής  $D_I$  παρουσιάζει ένα επιμήκη πόλο με μέγιστες τιμές της τάξης του 0.3. Ο πόλος εντοπίζεται στο νότιο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης και περιορίζεται γεωγραφικά σε μία περιοχή όπου η μεταβλητή  $D_p$  παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές. Γενικά η κατανομή

των τιμών της μεταβλητής  $DI_p$  εμφανίζεται αρκετά ομοιόμορφη καθώς η διακύμανση των τιμών της είναι μικρή (0.0 - 0.3). Οι μεταβλητές  $D_p$  και  $TI_p$  αντίθετα παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών τους με τιμές από 0.0 έως 0.6. Τέλος η μεταβλητή  $T_p$  εμφανίζει την μεγαλύτερη διακύμανση τιμών από 0.1 έως 0.9.



**Ειζ. 7:** Χάρτες επιφανειακών κατανομών των τιμών ποσοστιαίας συμμετοχής Α- $T_p$ , Β- $TI_p$ , Γ- $D_p$  και Δ- $DI_p$ .

**Fig.7:** Areal distribution maps of the presence percentages values Α- $T_p$ , Β- $TI_p$ , Γ- $D_p$  and Δ- $DI_p$ .

Για καλύτερη προβολή και σύγκριση των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν οι επιφανειακές κατανομές των μέσων πάχων (Ειζ. 8). Οι κατανομές των  $D_{AST}$  και  $DI_{AST}$  γενικά είναι σύμφωνες με τις αντίστοιχες κατανομές των ποσοστιαίων τιμών τους. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι για τις ροές κορημάτων οι περιοχές νότια απόθεσης τους (περιοχές νηριασχίας) ταυτίζονται με τους χώρους απόθεσης των παχύτερων επεισοδίων. Τα μέσα πάχη των αποθέσεων των ροών κορημάτων στη λεκάνη κυμαίνονται από 0 μέτρα σε περιοχές που απουσιάζουν και ξεπερνούν τα 36 μέτρα στις περιοχές που νηριασχούν. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα οι κατανομές των  $T_{AST}$  και  $TI_{AST}$  παρατηρούμε ότι είναι ασύμφωνες με αυτές των ποσοστιαίων τιμών τους ( $T_p$  και  $TI_p$ ), παρουσιάζοντας μία γεωγραφική διαφοροποίηση δύο νότιων περιοχών. Στη μία περιοχή οι κατανομές είναι σύμφωνες, ενώ στην άλλη παρουσιάζουν σχέση "ειδώλου-αντιειμένου". Πιο συγκεκριμένα η κατανομή του  $T_{AST}$  στο κεντρικό και το ανατολικό τμήμα της λεκάνης παρουσιάζει σχέση "ειδώλου-αντιειμένου" με την κατανομή  $T_p$ . Οι υψηλές τιμές μέσων πάχους εμφανίζονται στο κέντρο όπου η ποσοστιαία συμμετοχή των επεισοδίων  $T$  στην ιζηματογενή στήλη είναι μικρή και αντίστοιχα εμφανίζει μικρές τιμές μέσων πάχους στο ανατολικό περιθώριο όπου η ποσοστιαία συμμετοχή των επεισοδίων  $T$  είναι μεγάλη. Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αντίθετα με τις ροές κορημάτων, τα παχύτερα επεισόδια τύπου  $T$  δεν αποτίθενται στο χώρο όπου αυτά κυμαίνονται. Έτσι παρατηρείται στη βάση της πλειρίας της Κωλλήνης όπου τα επεισόδια τύπου  $T$  δεσπόζουν στην ιζηματογενή στήλη, με ποσοστά

συμμετοχής σε αυτή της τάξης του 80% και 90% να παρουσιάζουν ένα μέσο πάχος 10 μέτρων. Αντιθέτως ελαφρά παχύτερα επεισόδια μέσου πάχους 12 μέτρων διαπιστώνονται στο βαθύτερο νότιο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπου η παρουσία των Τ επεισοδίων στην ιζηματογενή στήλη είναι της τάξης του 30%. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης όπου οι κατανομές των μέσων παχών και των ποσοστών συμμετοχής παρουσιάζονται σύμφωνες. Η παρουσία των παχύτερων (16 μέτρα) επεισοδίων Τ στη βάση της πλαγιάς της Ζακύνθου όπου και κυριαρχούν με ποσοστά εμφάνισης 60-70% έρχεται σε αντίθεση με την προηγούμενη παρατήρηση. Η ταύτιση αυτή της περιοχής κύριας απόθεσης με την περιοχή απόθεσης των παχύτερων επεισοδίων μπορεί να αποδοθεί είτε σε διαφορετικές συνθήκες ιζηματογένεσης είτε σε τεχνητό αποτέλεσμα της μεθόδου μέτρησης. Το πιθανό τεχνητό αποτέλεσμα μπορεί να οφείλεται στην υποτίμηση του πραγματικού αριθμού ξεχωριστών επεισοδίων λόγω της υπάρχουσας μορφολογίας της λεκάνης που κάνει προβληματική τη διάκριση τους. Αυτό συμβαίνει λόγω ενός κύριου ρήγματος στη βάση της πλαγιάς της Ζακύνθου που έχει ως αποτέλεσμα τον απότομο τεματισμό των αποθέσεων της λεκάνης. Τέλος η κατανομή των μέσων παχών  $\Pi_{AST}$  συγκριτικά με την κατανομή των ποσοστών συμμετοχής  $\Pi_p$  έχει και αυτή ένα σύνθετο χαρακτήρα δύο κύριων περιοχών. Στην ανατολική και νότια-κεντρική περιοχή οι δύο κατανομές εμφανίζονται σύμφωνες, ενώ στην υπόλοιπη δυτική και βόρειο-κεντρική περιοχή της λεκάνης οι δύο κατανομές παρουσιάζονται ασύμφωνες. Ο διαχωρισμός της λεκάνης σε δύο διαφορετικές περιοχές πιθανά να οφείλεται στο ότι η δυτική και βόρειο-κεντρική περιοχή επηρεάζεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την απόθεση ροών κορμημάτων από ότι η υπόλοιπη λεκάνη. Μία πιο λεπτομερής παρατήρηση της κατανομής των μέσων παχών  $\Pi_{AST}$  και της κατανομής των ποσοστών  $D_p$  αποκαλύπτει ότι τα παχύτερα επεισόδια τύπου Τ αναπτύσσονται περιφερειακά των πόλων μέγιστων ποσοστών εμφάνισης των επεισοδίων D (Ειζ. 9). Η γεωγραφική αυτή διάταξη των μεγαλύτερων μέσων παχών  $\Pi_{AST}$  περιφερειακά του χώρου εμφάνισης των αποθέσεων τύπου D συνηγού υπέρ της αρχικής ερμηνείας των οριζόντων Τ ως μεταποθετικώς παρωμορφωμένους οριζόντες αρχικά Τ τύπου. Η αποδοχή αυτής της ερμηνείας μπορεί να δικαιολογηθεί εν μέρει και τη διαφορά των κατανομών μέσων πάχους  $\Pi_{AST}$  και ποσοστού συμμετοχής  $\Pi_p$  που παρατηρείται στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης καθώς όπως προαναφέρθηκε στο χώρο αυτό τα επεισόδια τύπου Τ εμφανίζονται σημαντικά παχύτερα.

Το τετραπλό μοντέλο της παραγοντικής ανάλυσης που επιλέχθηκε, αντιπροσωπεύει το 84,6% της συνολικής διακύμανσης. Από την ερμηνεία των παραγόντων προέκυψε ότι ο πρώτος παράγοντας, με ποσοστό διακύμανσης 29,4% επί της συνολικής, είναι διπολικός και αντιπροσωπεύει τη σχέση αντιπάθειας μεταξύ των αποθέσεων ροών κορμημάτων και του βάθους νερού με τους αναζλωστές τύπου Τ. Ο δεύτερος παράγοντας, με ποσοστό διακύμανσης 22,2% επί της συνολικής, αντιπροσωπεύει τους αναζλωστές τύπου DI. Ο τρίτος παράγοντας, με ποσοστό διακύμανσης 20,4% επί της συνολικής, αντιπροσωπεύει τους αναζλωστές τύπου TI, ενώ ο τέταρτος παράγοντας, με ποσοστό διακύμανσης 12,6% επί της συνολικής, αντιπροσωπεύει το μέσο πάχος των αναζλωστών τύπου Τ (Πίνακες 1 και 2).

Παράγ.	Ιδιαιτιμές	Ποσ. Συν. Διακ.	Αθρ. Ποσ.
1	2,64328	29,4	29,4
2	2,00235	22,2	51,6
3	1,83155	20,4	72
4	1,13615	12,6	84,6
5	0,4984	5,5	90,1
6	0,42144	4,7	94,8
7	0,25492	2,8	97,6
8	0,21184	2,4	100
9	0,00006	0	100

Πίνακας 1: Στατιστικά δεδομένα παραγοντικής ανάλυσης.

Table 1: Factor analysis initial statistics.

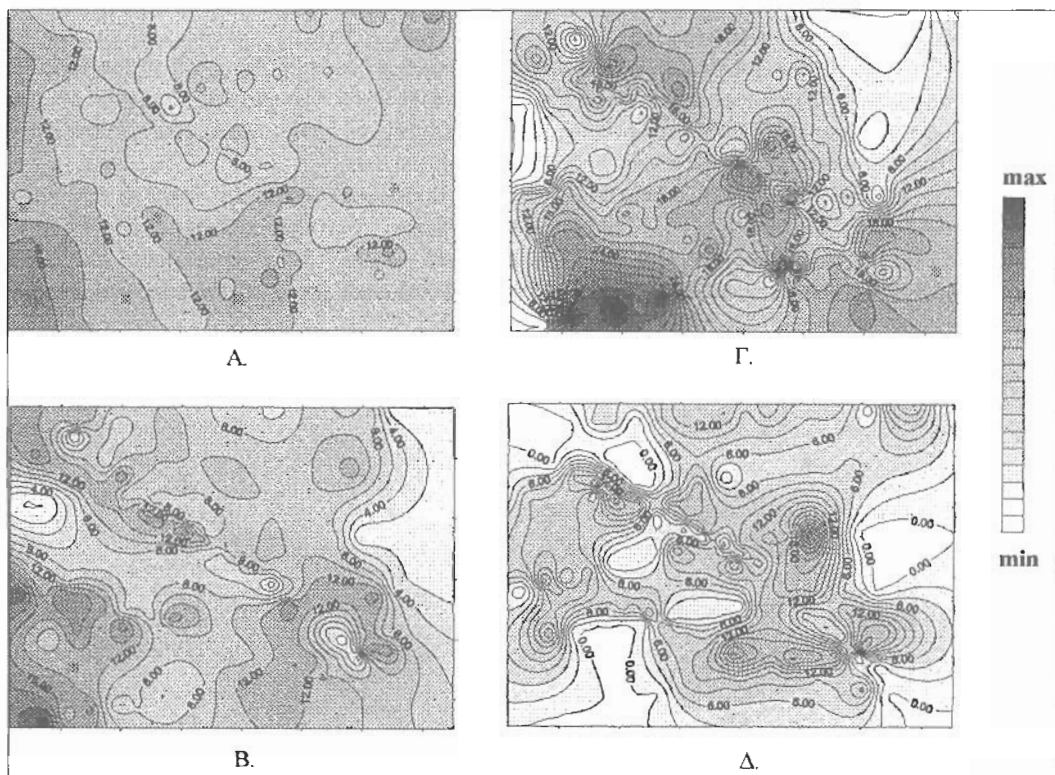


	Παράγ. 1	Παράγ. 2	Παράγ. 3	Παράγ. 4
Βάθ.Νερού	<b>0,71572</b>	0,14586	0,2276	0,38414
T p	-0,67012	-0,21018	-0,46048	0,45927
TI p	0,02513	-0,0145	<b>0,94161</b>	-0,16568
DI p	0,04397	<b>0,94712</b>	-0,07033	-0,5741
D p	<b>0,77186</b>	-0,34694	-0,23662	-0,37714
T ast	-0,09645	-0,2339	0,04239	<b>0,88719</b>
TI ast	0,06187	-0,08805	<b>0,82592</b>	0,31763
DI ast	-0,0183	<b>0,9367</b>	0,00758	0,2606
D ast	<b>0,86468</b>	0,01569	0,00284	0,09019

**Πίνακας 2:**  
Περιοστωμένες παραγοντικές φορτίσεις με το ζυγίτιο της μεγιστο-διακύμανσης.

**Table 2:**  
Varimax rotated factor loadings.

Οι επιφανειακές κατανομές των παραγοντικών τιμών του κάθε παράγοντα έδειξαν ότι η παραγοντική ανάλυση επιβεβαιώνει τις προαναφερθείσες παρατηρήσεις. Λιπιπώνεται δηλαδή η σαφής σχέση αντιπάθειας μεταξύ των κέντρων απόθεσης των T και D, καθώς επίσης επιβεβαιώνεται η σημασία και ο ανεξάρτητος χαρακτήρας των μεταβλητών TI και DI. Ο τέταρτος παράγοντας αποδίδει την πολλή ισχυρή επίδραση της κατανομής των μέσων παχών των επεισοδίων τύπου T, η οποία όπως προαναφέρθηκε μπορεί να αποδοθεί είτε σε ιδιαίτερες ιζηματογενής διεργασίες, είτε σε τεχνητό αποτέλεσμα της μεθόδου.



**Εικ. 8 :** Χάρτες επιφανειακών κατανομών των μέσων παχών A-T<sub>AST</sub> , B-TI<sub>AST</sub> , Γ-D<sub>AST</sub> και Δ-DI<sub>AST</sub>.

**Fig.8 :** Areal distribution maps of the average thickness values A-T<sub>AST</sub> , B-TI<sub>AST</sub> , Γ-D<sub>AST</sub> and Δ-DI<sub>AST</sub>.



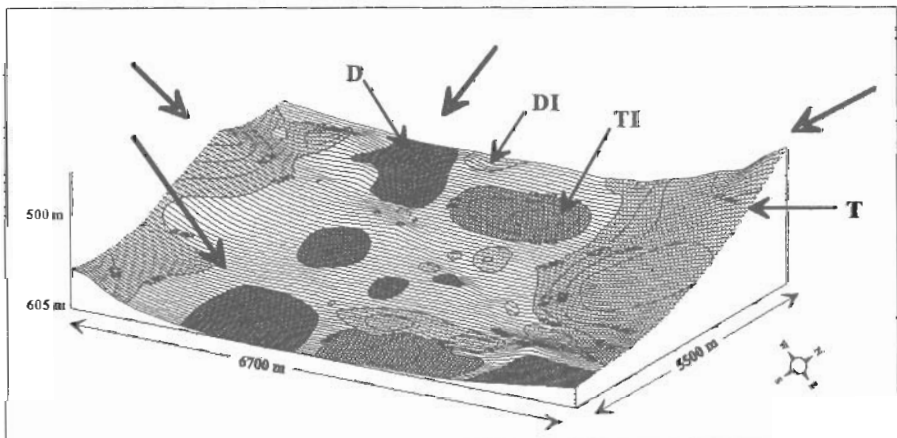
**Εικ.9:**  
Συνδυαστικός χάρτης με τις επιφανειακές κατανομές των μεγίστων τιμών των παραμέτρων  $D_p$  και  $TI_{AST}$ .

**Fig.9 :**  
Combined map of the maximum values areal distribution for the variables  $D_p$  and  $TI_{AST}$ .

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης ορισμένων δεδομένων στο διάλυο Ζακύνθου προκύπτει ότι :

- ◆ Οι υψηλές τιμές της μεταβλητής  $T_p$ , οι οποίες αντιπροσωπεύουν την κυριαρχία τουβιδιτιζών αποθέσεων (τύπος T) στην ιζηματογενή στήλη, βρίσκονται στα περιθώρια της λεκάνης **μπροστά** από τις πλαγιές. Οι αποθέσεις αυτές φαίνεται να προέρχονται από τις πλαγιές, ενώ κύρια πηγή τροφοδοσίας αποτελεί η υποθαλάσσια χαράδρωση που βρίσκεται στην πλαγιά της Κυλλήνης (Εικ. 10).
- ◆ Για τον τύπο D, ο οποίος αντιπροσωπεύει αποθέσεις ροών κορημάτων, δύο φαίνεται να είναι οι πηγές τροφοδοσίας. Μία κατά μήκος του άξονα της λεκάνης, με τροφοδοσία από τα βόρεια και μία από τα δυτικά, από την υφαλοζρηπίδα-πλαγιά της Ζακύνθου, οι οποίες παραμορφώνονται λόγω της διατμητικής ανόδου ενός αλατούχου δόμου (Εικ. 10).
- ◆ Ο τύπος TI, ο οποίος αντιπροσωπεύει κυρίως παραμορφωμένους τουβιδίτες (ή όχι καλά σχηματισμένους) και ο τύπος DI, ο οποίος αντιπροσωπεύει όχι καλά ομογενοποιημένες ροές κορημάτων, περιορίζονται σε μια περιοχή η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ τουβιδιτιζών και ροών κορημάτων, όπου κανένας από τους δύο τύπους απόθεσης δεν κυριαρχεί (Εικ. 10).



**Εικ. 10 :** Τρισδιάστατο μοντέλο της ιζηματογενούς λεκάνης, το οποίο απεικονίζει τα κέντρα απόθεσης των τεσσάρων τύπων ιζηματογενών αποθέσεων για τους κύριους άξονες τροφοδοσίας.

**Fig 10:** 3-D model of the sedimentary basin, which presents the depositional centers for the four types of sedimentary deposits and the main axis of sedimentary influx.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των ιζηματολογικών διεργασιών από αναλογιζές σεισμικές καταγραφές δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στη θαλάσσια περιοχή του διαύλου Ζακύνθου, η δε αποτελεσματικότητά της πιστεύεται ότι θα αυξηθεί αν συνδυαστεί και με άλλες πολυμεταβλητές μεθόδους στατιστικής ανάλυσης και ιδιαίτερα αυτής της Ανάλυσης Επιφανειών Τάσης (trend surface analysis).

Επιπλέον η εφαρμογή της σε άλλες θαλάσσιες λεκάνες του Ελληνικού χώρου με ποικιλία ιζηματολογικών διεργασιών πλήρωσης κρίνεται απορροαίτη για την τεκμηρίωση και πιθανή βελτίωση της μεθόδου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- BROOKS, M. & FERENTINOS, G. (1984) Tectonic and sedimentation in the gulf of Corinth and the Zakynthos and Kefallinia channels, western Greece. *Tectonophysics*, vol. 101, pp. 25-54.
- BROOKS, M., CLEWS, E., MELIS, N. S. & UNDRHILL, J. R. (1988) Structural development of Neogene basins in western Greece. *Basin Research*, vol. 1, pp. 129-138.
- DAVIS, J. C. (1986) *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley & Sons, New York.
- FERENTINOS, G., COLLINS, M. B., PATTIARATCHI, C. B. & TAYLOR, P. G. (1985) Mechanisms of sediment transport and dispersion in a tectonically active submarine valley/canyon system: Zakynthos straits, NW Hellenic trench. *Marine Geology*, vol. 65, pp. 243-269.
- FERENTINOS, G., PΑΡΑΤΗΟΔΟΡΟΥ, G. & ΗΑΣΙΟΤΙΣ, T. (1997) Marine geophysical/geotechnical survey between Killini and Zakynthos island for the laying of submarine power cables. Technical report.
- MONOPOLIS, D. & BRUNETON, A. (1982) Ionian Sea (western Greece): its structural outlines deduced from drilling and geophysical data. *Tectonophysics*, vol. 83, pp. 227-242.