

Αρ. 66 628

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΧΘΥΟΚΟΜΙΑΣ & ΑΛΙΕΙΑΣ

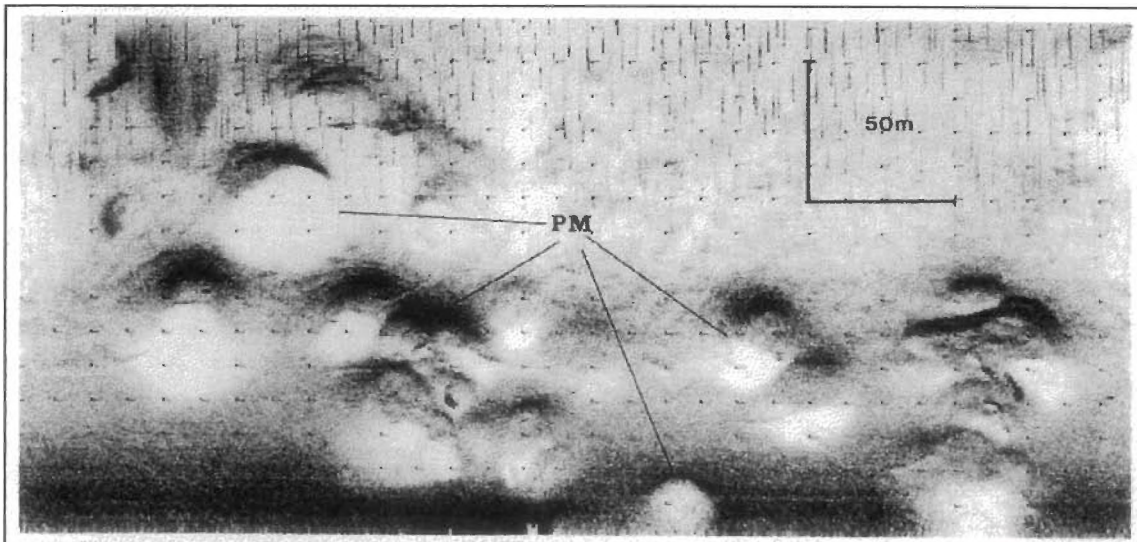
ΛΑΥΡΕΝΤΑΚΗ Δ. ΜΑΡΙΑΝΘΗ

ΜΑΣΤΟΡΑΚΗ Γ. ΜΑΡΙΑ

Διπλωματική Έργη

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΡΟΚΚΜΑΡΚΣ ΤΟΥ ΠΑΤΡΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

ΜΕΡΟΣ Α!



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 1998

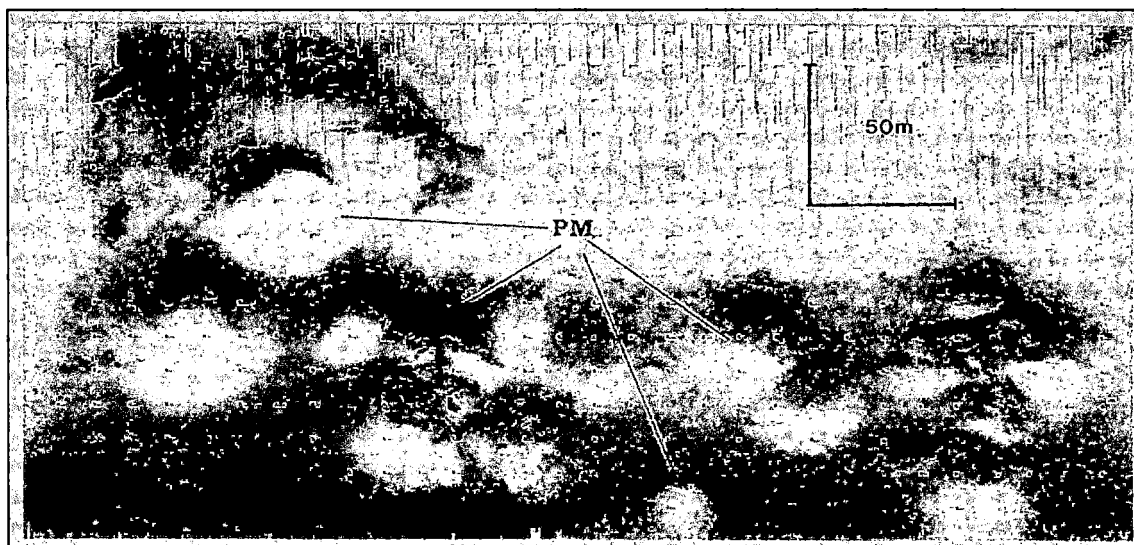
TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF MESSOLONGI
SCHOOL OF AGRICULTURE TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF AQUACULTURE & FISHERIES

LAVRENTAKI D. MARIANTHI

MASTORAKI G. MARIA

GEOPHYSICS AND SEDIMENTOLOGY OF THE POCKMARKS IN PATRAIKOS GULF GREECE

PART A1



THESIS

MESSOLONGI 1998

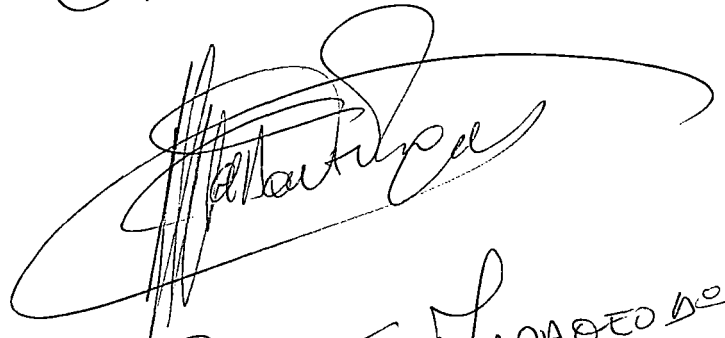
Οι Άνθρωποι της Δράσης είναι Συνειδητοί Ονειροπόλοι

Κατάθεση Αγάπης

*Προς την Επιστήμη
και*

Προς Εκείνους που Αγαπούμε και Μας Αγαπούν

ΕΥΧΡΙΝ ΕΣΤΙ.

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read 'Μαθασόπουλος'.

Γεωργιος Σ. Μαθασόπουλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς απευθύνουν ευχαριστίες στον υπεύθυνο του Εργαστηρίου Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας του Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, καθηγητή Φερεντίνο Γεώργιο για τη διάθεση των εγκαταστάσεων και της υλικοτεχνικής υποδομής του εργαστηρίου, όπως διεκπεραιωθεί το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας. Επίσης, τους υποψήφιους διδάκτορες και μέλη της ερευνητικής ομάδας του εργαστηρίου Γεραγά Μαρία, Λυμπέρη Ευριβιάδη και Χασιώτη Θωμά για την ποικιλόμορφη υποστήριξη που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια των αναλύσεων των δειγμάτων, την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την ερμηνεία ορισμένων δεδομένων.

Θερμές ευχαριστίες στον Γενικό Γραμματέα Πολιτικής Προστασίας ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α. κ. Λαυρεντάκη Δημήτριο, στους συνεργάτες του κ.κ. Βαφειάδη Χαράλαμπο και Χρυσοχοϊδή Απόστολο καθώς και στο λοιπό εκλεκτό προσωπικό της Γενικής Γραμματείας για την επιστημονική και τεχνική βοήθεια που μας παρείχαν.

Ειδικές ευχαριστίες στους κ.κ. Μωρόγιαννη Γεώργιο και τον υιό του Ευστάθιο για τη διάθεση του φοιτητικού τους σπιτιού στην Πάτρα, κατά την εκεί διαμονή μας για τη διεξαγωγή του πειραματικού τμήματος της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστίες επίσης στο φίλο και συνάδελφο Παπαμιχάλη Βασίλειο για τη βοήθεια που μας παρείχε σε φάση της επεξεργασίας των δεδομένων και στη φίλη Σαρλή Ιωάννα Γεωλόγο ΑΠΘ για τη διάθεση της σχετικής βιβλιογραφίας.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνουμε στη δάσκαλο και φίλη Παπανικολάου Σουζάνα και την οικογένειά της, στη φίλη και συνάδελφο Λαζογεώργου Νέλλη και στη φίλη Καπέλα Αναστασία, η συμβολή των οποίων κατάστησε δυνατή τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Πολλά και θερμά ευχαριστώ στον δάσκαλο και φίλο Μαρκούλη Βασίλειο και στην παιδική φίλη Καπασά Εβίτα για τις πολύτιμες ώρες από το χρόνο τους που αφιέρωσαν στο υπολογιστή μαζί μας και τη διάθεση των γνώσεών τους επί της επιστήμης των υπολογιστών.

Ιδιαίτερη μνεία για την αμέριστη συμπαράσταση, στήριξη και βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια των αναλύσεων, θα πρέπει να γίνει στο φίλο και συνάδελφο Ραβασόπουλο Ιωάννη, η συμβολή του οποίου ήταν καθοριστική για την πορεία του όλου πονήματος.

Τέλος, θα θέλαμε να απευθύνουμε ειδικές ευχαριστίες στον εισηγητή της διπλωματικής αυτής και καθηγητή μας Παπαθεοδώρου Γεώργιο για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος και τις πολύτιμες υποδείξεις του επί του σχολιασμού των αποτελεσμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ & ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ix

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

> ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι: ΠΕΡΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (MARINE SEDIMENTS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΧΕΡΣΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	3
2.1 Βαρυτικές αποθέσεις	4
2.1.1 Τουρβιδίτες	4
2.2 Παγετώδη ιζήματα	5
2.3 Ηφαιστειακές αποθέσεις	6
3. ΒΙΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	6
4. ΠΕΛΑΓΙΚΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ	8
5. ΥΔΡΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	9
6. ΚΟΣΜΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	10
7. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ	10
8. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΗ ΑΠΟΘΕΣΗΣ	11

> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ: ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ (THE ORIGIN OF SHALLOW GAS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	13
2.1 Εισαγωγή	13
3. ΒΙΟΓΕΝΕΣ ΑΕΡΙΟ	16
3.1 Εισαγωγή	16
3.2 Ο βακτηριακός μεταβολισμός στο θαλάσσιο περιβάλλον	18
3.3 Προϋποθέσεις παραγωγής βιογενούς μεθανίου (CH ₄)	20
4. ΘΕΡΜΟΓΕΝΕΣ ΑΕΡΙΟ	21
5. ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΑ	22
6. Η ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	23
6.1 Εισαγωγή	23
6.2 Η πρωτογενής μετανάστευση	23
6.3 Η δευτερογενής μετανάστευση	24
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	27

> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (TECHNIQUES FOR STUDING, OBSERVING AND SAMPLING THE SEAFLOOR)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
2. ΟΡΓΑΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	28
2.1 Εισαγωγή	28
2.2 Τομογράφοι υποδομής πυθμένα	30
2.2.1 Αρχή λειτουργίας	30

2.2.2 Χαρακτηριστικά τομογράφων υποδομής πυθμένα	30
2.2.3 Εφαρμογές των τομογράφων υποδομής πυθμένα)	32
2.2.4 Τύποι τομογράφων υποδομής πυθμένα	33
2.2.4.1 Τομογράφοι μεγάλης διακριτικής και μικρής διεισδυτικής ικανότητας	33
2.2.4.2 Τομογράφοι μικρής διακριτικής και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας	33
2.3 Ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης (Side scan sonars)	34
2.3.1 Αρχή λειτουργίας	34
2.3.2 Σχηματισμός ηχογραφίας	36
2.3.3 Ανάλυση και ερμηνεία ηχογραφιών	38
2.3.4 Εφαρμογές ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης	39
3. ΟΡΓΑΝΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	40
3.1 Επανδρωμένα ερευνητικά βαθυσκάφη	40
3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των βαθυσκαφών	40
3.3 Κατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα (Remote-Operated Vehicles, ROVs)	41
4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	42
4.1 Εισαγωγή	42
4.1.1 Snappers ή Δράγες	43
4.1.2 Πυρηνολήπτες	43
4.1.3 Βυθοκόροι	45

➤ ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV:

ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (GAS CHARGED SEDIMENTS)

1. Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΣΤΙΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	47
1.1 Σεισμοκονιασμένη καταγραφή	47
1.2 Λαμπερές κηλίδες	49
1.3 Έντονες σεισμικές ανακλάσεις	50
1.4 Διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη	51
1.5 Μικρές συγκεντρώσεις αερίων	56
1.6 Θύλακες αερίων	58
1.7 Στηλοειδείς διαταράξεις	58
1.8 Δόμοι αερίων στα ιζήματα και αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα	60
1.9 Παρουσία δόμων στα ιζήματα	62
Ζώνες ακουστικής σκιάς ή ακουστικής διαφάνειας ή λευκές ζώνες	63
1.11 Δομές «παγόδας»	65
2. Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΣΤΙΣ ΗΧΟΓΡΑΦΙΕΣ	68

➤ ΚΕΦΑΛΑΙΟ V:

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (CHARACTERISTICS OF THE SEAFLOOR INDICATING SEEPAGES)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	69
2. ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΚΡΑΤΗΡΕΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (Rockmarks)	69
2.1 Εισαγωγή	69
2.2 Μορφολογία των rockmarks	71
2.3 Η θεωρία της δημιουργίας των rockmarks	74
2.4 Η Γένεση των rockmarks	80
3. ΔΙΑΠΥΡΑ	82
4. ΛΑΣΠΟΥΧΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑ	84
5. ΓΙΓΑΝΤΙΑΙΑ ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ	85

> ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI:**Η ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ROCKMARKS ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΦΥΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΙΝΗ ΣΤΗΛΗ****(THE ECOLOGY OF ROCKMARKS AND SEEPAGES)**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	89
2. ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ	89
2.1 Εισαγωγή	89
2.2 Χημειοσυνθετικά και συμβιωτικά βακτηρίδια	90
3. ΔΙΘΥΡΑ ΚΑΙ ΠΩΓΩΝΟΦΟΡΑ	93
4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΟΣΤΡΑΚΩΝ	94
5. ΚΡΙΑ, ΓΑΡΙΔΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΑΚΟΓΑΡΙΔΕΣ	95
6. ΙΧΘΕΙΣ	95
7. ΑΛΛΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ	97

> ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII:**ΠΑΤΡΑΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ (PATRAS GULF)****A. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ- ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ
(GEOGRPHIC AND GEOLOGICAL SETTING- PHYSICAL OCEANOGRAPHY)**

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	98
2. ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ	99
3. ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΑΤΡΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ	100
3.1 Ανεμογενή κύματα	100
3.2 Θερμοκρασία	100
3.3 Αλατότητα	100
3.4 Παλίρροιες	101
3.5 Ρεύματα	101
4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ	102
4.1 Κρημνώδεις ακτές	102
4.2 Ακτές απόθεσης- Προσχωματικές ακτές	103

**B. ROCKMARKS ΣΤΟΝ ΠΑΤΡΑΪΚΟ ΚΟΛΠΟ
(THE ROCKMARK FIELD IN PATRAIKOS GULF)**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	103
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	104

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ
(RESEARCH METHODS AND METHODS OF SAMPLE
ANALYSIS)**

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ- ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ	108
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	111
2.1 Κοκκομετρική ανάλυση ιζημάτων	111
2.1.1 Λήψη δειγμάτων - Οξείδωση (κάυση) οργανικού υλικού	111
2.1.2 Μέθοδος υγρού κοσκνίσματος	114
2.1.3 Κοκκομετρική ανάλυση αδρόκοκκου κλάσματος (ξηρό κοσκνίσμα)	116
2.1.4 Κοκκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου κλάσματος (μέθοδος πιπέττας)	118

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Α. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥΣ 3,5kHz ΚΑΙ SPARKER (INTERPRETATION OF THE 3,5kHz AND SPARKER PROFILES)

1. ΠΟΡΕΙΑ 9-10	121
2. ΠΟΡΕΙΑ 36-43	121
3. ΠΟΡΕΙΑ 60-65	122
4. ΠΟΡΕΙΑ 66-70	123
5. ΠΟΡΕΙΑ 88-92	124
6. ΠΟΡΕΙΑ 98-110	125
7. ΠΟΡΕΙΑ 120-130	127
8. ΠΟΡΕΙΑ 201-208	128
9. ΠΟΡΕΙΑ 338-345	129
10. ΠΟΡΕΙΑ 359-366	130
11. ΠΟΡΕΙΑ 409-414	132
12. ΠΟΡΕΙΑ 416-423	134
13. ΠΟΡΕΙΑ 528-531	137

Β. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΑΤΡΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ (SEDIMENTOLOGY)

1. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΥΡΗΝΩΝ	138
1.1 Εισαγωγή	138
1.2 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων	138
1.2.1 Πυρήνας Π14	138
1.2.1 Πυρήνας Π24	141
1.2.1 Πυρήνας Π26	143
2. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	145
2.1 Εισαγωγή	145
2.2 Επιφανειακές κατανομές κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων	150
2.2.1 Επιφανειακή κατανομή άμμου	150
2.2.2 Επιφανειακή κατανομή πηλού	150
2.2.3 Επιφανειακή κατανομή αργίλου	151
2.2.4 Επιφανειακή κατανομή μέσου μεγέθους (Mz)	151
2.2.5 Επιφανειακή κατανομή σταθερής απόκλισης (σ)	151
2.2.6 Επιφανειακή κατανομή λοξότητας (Sk)	152
2.2.7 Επιφανειακή κατανομή κύρτωσης (Ku)	152
2.3 Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους	153
2.3.1 Πυρήνας Π14	153
2.3.2 Πυρήνας Π24	156
2.3.3 Πυρήνας Π26	158
2.3.4 Πυρήνας Π19	160
2.3.5 Πυρήνας Π20	163
2.3.6 Πυρήνας Π21	165

Γ. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΣ

1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ R-ΤΥΠΟΥ	168
1.1 Παραγοντική ανάλυση R- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων σε όλους τους πυρήνες	168
1.2 Παραγοντική ανάλυση R- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων στον Πυρήνα Π14	175

2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ Q-ΤΥΠΟΥ	179
2.1 Παραγοντική ανάλυση Q- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων σε όλους τους πυρήνες	179
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	187
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΕΝΥΔΑΤΩΜΕΝΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (GAS HYDRATES, CLATHRATES)	192
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ STOKES	193
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ (GRAIN SIZE ANALYSIS)	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	196
2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	198
2.1 Παράμετροι κεντρικής θέσης ή μέτρα θέσης	198
2.1.1 Κορυφή ή Πιθανότερη τιμή ή Επικρατούσα τιμή (Mode) X_k	198
2.1.2 Διάμεσος (Median) $X_{1/2}$ ή X_{50}	199
2.2. Μέσοι κεντρικής τάσης	200
2.2.1 Εισαγωγή (Introduction)	200
2.2.2 Αριθμητικός μέσος ή μέση τιμή (Mean) x	200
3. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	201
3.1 Εισαγωγή (Introduction)	201
3.2 Εύρος διασποράς ή Πλάτος διασποράς (Range) E_x	203
3.3 Δειγματική διακύμανση (Sample variance) s^2	203
3.4 Δειγματική τυπική απόκλιση (Sample standard deviation) s	203
4. ΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	204
4.1 Συντελεστής ασυμμετρίας ή λοξότητα (Skewness) $(Sk) \alpha_3$	204
4.2 Συντελεστής κύρτωσης (Kurtosis) $(Ku) \alpha_4$	205
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (FACTOR ANALYSIS)	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	208
2. ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ	209
2.1 Διαχείριση δεδομένων	209
2.2 Ανάλυση Κύριων Συνθετητών και Παραγοντική Ανάλυση	209
2.3 Υπολογισμός παραγόντων από τους αντίστοιχους Κύριους Συνθετητές	210
2.4 Διατήρηση ορισμένου αριθμού παραγόντων	211
2.5 Περιστροφή παραγόντων	211
2.6 Παραγοντικές τιμές	212
3. ΤΥΠΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	213

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Πίνακας 1: Κοκκομετρικές Κλίμακες Wentworth (1922) ^a και Krumbein (1934) ^b .	σελ.2
Table 1: The Wentworth (1922) and Krumbein (1934) scales of sediment grain size.	p.2
Πίνακας 2: Ταχύτητες καθίζησης κόκκων.	σελ.8
Table 2: Settling velocities of certain grain sizes.	p.8
Πίνακας 3: Απαιτούμενος χρόνος για τη συσσώρευση 1cm (0,4 in) ιζήματος στον θαλάσσιο πυθμένα.	σελ.8
Table 3: Approximate time needed for 1cm (0,4 in) of sediment to accumulate on the seafloor.	p.8

ΚΑΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Πίνακας 4: Πηγές του φυσικού αερίου.	σελ.12
Table 4: Sources of natural gas.	p.12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

Πίνακας 5: Είδη που απαντώνται μέσα σε rockmarks της Βορείου Θάλασσας.	σελ.95
Table 5: Species found inside rockmarks located in the North Sea.	p.95
Πίνακας 6: Είδη που βρέθηκαν πάνω και μέσα σε λιθοποιημένα ιζήματα από τον πυθμένα ενός rockmark του Νορβηγικού block 25/7.	σελ.97
Table 6: Species found on and inside a carbonate-cemented sediment from a rockmark of the Norwegian block 25/7.	p.97

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Πίνακας 7: Πυρήνας Π14, Μήκος: 164cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.	σελ.113
Table 7: Core Π14, Length: 164cm. Number of samples and the depth of each sample.	p.113
Πίνακας 8: Πυρήνας Π24, Μήκος: 94cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.	σελ.113
Table 8: Core Π24, Length: 94cm. Number of samples and the depth of each sample.	p.113
Πίνακας 9: Πυρήνας Π26, Μήκος: 158cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.	σελ.113
Table 9: Core Π14, Length: 164cm. Number of samples and the depth of each sample.	p.113
Πίνακας 10: Χημική σύσταση του Calgon.	σελ.116
Table 10: Chemical synthesis of Calgon.	p.116
Πίνακας 11: Καταγραφή των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος.	σελ.117
Table 11: Screens used in the size analysis by sieving.	p.117
Πίνακας 12: Χρονοδιάγραμμα λήψης δειγμάτων με πιπέττα (Folk, 1974).	σελ.119
Table 12: Time Program of withdrawals used in pipette analysis (Folk, 1974).	p.119

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 13: Αποτελέσματα της κοκκομετρικής και στατιστικής ανάλυσης των πυρήνων Π14, Π24, Π26.	σελ.147
Table 13: Results obtained from the grain size and statistical analysis of the cores Π14, Π24, Π26.	p.147
Πίνακας 14: Αποτελέσματα της κοκκομετρικής και στατιστικής ανάλυσης των πυρήνων Π19, Π20, Π21.	σελ.148
Table 14: Results obtained from the grain size and statistical analysis of the reference cores Π19, Π20, Π21.	p.148
Πίνακας 15: Κατανομή κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων.	σελ.150

Table 15: Distribution of grain size and statistical parameters.	p.150
Πίνακας 16: Ταξινόμηση των επιφανειακών ιζημάτων της περιοχής μελέτης και των πυρήνων αναφοράς, ανάλογα με τις τιμές της σταθερής απόκλισης κατά Folk and Ward, 1957.	σελ.152
Table 16: Classification of the surface sediments of the study area and the reference cores, according the values presented by Folk and Ward, 1957.	p.152
Πίνακας 17: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή Πυρήνα Π14.	σελ.154
Table 17: Grain size and statistical analysis of Core Π14.	p.154
Πίνακας 18: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π24.	σελ.156
Table 18: Grain size and statistical analysis of Core Π24.	p.156
Πίνακας 19: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π26.	σελ.158
Table 19: Grain size and statistical analysis of Core Π26.	p.158
Πίνακας 20: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π19.	σελ.161
Table 20: Grain size and statistical analysis of Core Π19.	p.161
Πίνακας 21: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π20.	σελ.163
Table 21: Grain size and statistical analysis of Core Π20.	p.163
Πίνακας 22: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π21.	σελ.165
Table 22: Grain size and statistical analysis of Core Π21.	p.165
Πίνακας 23: Πενταπλό μοντέλο για όλους τους πυρήνες.	σελ.170
Table 23: Eigenvalues and commulative percentage of variance of all cores.	p.170
Πίνακας 24: Πίνακας περυστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του πενταμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες (περιστροφή Varimax).	σελ.170
Table 24: Varimax rotated factor loadings of all cores.	p.170
Πίνακας 25: Παραγοντικές τιμές πενταμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες.	σελ.171
Table 25: Factor scores for all cores.	p.171
Πίνακας 26: Τετραπλό μοντέλο για τον πυρήνα Π14. σελ.176	
Table 26: Eigenvalues and commulative percentage of variance of core Π14.	p.176
Πίνακας 27: Πίνακας περυστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του τετραμελούς μοντέλου (Varimax περιστροφή).	σελ.176
Table 27: Varimax rotated factor loadings of core Π14.	p.176
Πίνακας 28: Παραγοντικές τιμές τετραμελούς μοντέλου για τον πυρήνα Π14.	σελ.177
Table 28: Factor scores of core Π14.	p.177
Πίνακας 29: Τετραπλό μοντέλο για όλους τους πυρήνες.	σελ.180
Table 29: Eigenvalues and Commulative percentage of variance of all cores.	p.180
Πίνακας 30: Πίνακας περυστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του τετραμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες (Varimax περιστροφή).	σελ.181
Table 30: Varimax rotated factor loadings of all cores.	p.181
Πίνακας 31: Παραγοντικές τιμές τετραμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες.	σελ.182
Table 31: Factor scores of all cores.	p.182

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Πυρήνας Π14: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους.

Core Π14: Vertical distributions of grain size according to depth.

Διαγράμματα (Diagrams):

Π14/1, Π14/2, Π14/3

p.154

Πυρήνας Π14: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους.

Core Π14: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.

Διαγράμματα (Diagrams):

Π14/4, Π14/5, Π14/6, Π14/7

p.155

Πυρήνας Π24: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους.

Core Π24: Vertical distributions of grain size according to depth.

Διαγράμματα (Diagrams):

Π24/1, Π24/2, Π24/3

p.157

Πυρήνας Π24: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους.

Core Π24: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.

Διαγράμματα (Diagrams):

Π24/4, Π24/5	σελ.157
Π24/6, Π24/7	p.158
Πυρήνας Π26: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους. Core Π26: Vertical distributions of grain size according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π26/1, Π26/2, Π26/3	p.159
Πυρήνας Π26: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους. Core Π26: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π26/4, Π26/5, Π26/6, Π26/7	p.160
Πυρήνας Π19: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους. Core Π19: Vertical distributions of grain size according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π19/1, Π19/2, Π19/3	p.162
Πυρήνας Π19: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους. Core Π19: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π19/4, Π19/5	p.162
Π19/6, Π19/7	p.163
Πυρήνας Π20: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους. Core Π20: Vertical distributions of grain size according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π20/1, Π20/2, Π20/3	p.164
Πυρήνας Π20: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους. Core Π20: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π20/4, Π20/5	p.164
Π20/6, Π20/7	p.165
Πυρήνας Π21: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων συναρτήσει του βάθους. Core Π21: Vertical distributions of grain size according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π21/1, Π21/2, Π21/3	p.166
Πυρήνας Π21: Κατακόρυφες κατανομές στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους. Core Π21: Vertical distributions of the statistical parameters according to depth.	
Διαγράμματα (Diagrams):	
Π21/4, Π21/5, Π21/6, Π21/7	p.167

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

- Εικ. 1:** Η παραγωγή των υδρογονανθράκων συναρτίζεται του βάθους (Τροποποίηση από Floodgate and Judd, 1992). σελ.15
- Fig. 1:** Generation of hydrocarbons according to depth (Modified from Floodgate and Judd, 1992). p.15
- Εικ. 2:** Απεικόνιση κάθετης τομής ενός πλούσιου σε οργανική ύλη θαλασσίου περιβάλλοντος, η οποία δείχνει τη διαδοχή των μικροβιακών οικοσυστημάτων που οδηγούν σε παραγωγή μεθανίου (Τροποποίηση από Rice and Claypool, 1981). σελ.19
- Fig. 2:** Figure which illustrates a cross section of an organic rich marine environment, and the succession of microbial ecosystems that lead to methane generation (Modified from Rice and Claypool, 1981). p.19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

- Εικ. 3:** Τρισδιάστατη απεικόνιση του θαλάσσιου πυθμένα στο οποίο παρουσιάζονται τα συστήματα σεισμικής διασκόπησης που χρησιμοποιούνται στις γεωφυσικές έρευνες (Τροποποίηση από Judd and Hovland, 1992). σελ.29
- Fig. 3:** 3-dimentional picture of the seabed which illustrates the seismo- acoustic equipment used in a geophysical survey (Modified from Judd and Hovland, 1992). p.29
- Εικ. 4:** Σχηματική παράσταση μίας τορπίλης ηχοβολιστού πλευρικής σάρωσης. Οι πομποδέκτες είναι προσανατολισμένοι προς τα πλάγια και εκπέμπουν δύο κωνικού σχήματος ηχητικές δέσμες (Hovland and Judd, 1988). σελ.35
- Fig. 4:** Figure showing a side scan sonar towfish. The transducers are orientated at its sides emitting two cone shaped beams that strike the seabed (Hovland and Judd, 1988). p.35
- Εικ. 5:** Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου δημιουργίας ηχητικής σκιάς από έξαρση στην επιφάνεια του πυθμένα (Προσαρμογή από Παπαθεοδώρου, 1995). σελ.37
- Fig. 5:** Schematic presentation of the way an acoustic shadow is produced from a depression in the seabed surface (Redrawn and partly modified from Papatheodorou, 1995). p.37
- Εικ. 6:** Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου δημιουργίας ηχητικής σκιάς από ύβωμα στην επιφάνεια του πυθμένα (Προσαρμογή από Παπαθεοδώρου, 1995). σελ.37
- Fig. 6:** Schematic presentation of the way an acoustic shadow is produced from a depression in the seabed surface (Redrawn and partly modified from Papatheodorou, 1995). p.37
- Εικ. 7 a, b:** Κατευθυνόμενο υποβρύχιο όχημα Benthos MiniRover MKII (a) και η μονάδα τηλεχειρισμού του (b) (Φωτογραφικό αρχείο Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω.). σελ.42
- Fig. 7 a, b:** Remote- Operated Vehicle Benthos MiniRover MKII (a) and its remote control unit (b) (Photographs courtesy of Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography). p.42
- Εικ. 8:** Σχηματική απεικόνιση πυρηνολήπτη βαρύτητας (Τροποποίηση από Ross, 1995). σελ.44
- Fig. 8:** Figure demonstrating a gravity corer (Redrawn and modified from Ross, 1995). p.44
- Εικ. 9:** Βυθοκόρος (Ross, 1995). σελ.45
- Fig. 9:** Chain bag dredge (Ross, 1995). p.45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

- Εικ. 10:** Τομογραφία 3,5kHz από το πεδίο των rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου στην οποία παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) κάτω από έναν κρατήρα διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (PM). Τα τοιχώματα του κρατήρα εμφανίζουν περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία). σελ.48
- Fig. 10:** 3,5kHz profile from the pockmark field of the Patras Gulf showing acoustically turbid zone (ATZ) underneath a pockmark (PM). The walls of the depression are acoustic transparent (AT) (Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography, Unpublished data). p.48
- Εικ. 11:** Τομογραφία στην οποία παρατηρούνται τοπικής έκτασης έντονες ανακλάσεις (λαμπερές κηλίδες) που υποδηλώνουν την ύπαρξη αερίων στα ιζήματα (Τροποποιημένη από τον Φερεντίνο, 1985). σελ.49
- Fig. 11:** Seismic profile showing enhanced reflections extending locally (bright spots), indicating gas charged sediments (Modified from Ferentinos, 1985). p.49

Εικ. 12: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στην οποία παρατηρείται ένα ενεργό ρήγμα (F), έντονη ανάκλαση (ER) λόγω της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα και ελαφρά αναθόλωση στην επιφάνεια του πυθμένα (D) που προκαλείται από την ανοδική κίνηση των αερίων (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

σελ.50

Fig. 12: 3,5kHz profile from the Patras Gulf showing an active fault (F), enhanced reflection (ER) verifying the presence of gas hydrocarbons in the sediments and seabed doming (D) caused by the up- dip movement of gas (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, unpublished data).

p.50

Εικ. 13: Καταγραφή βυθομέτρου η οποία δείχνει ένα rockmark πάνω από το οποίο διαπιστώνεται ανάκλαση η οποία πιθανά οφείλεται σε διαφυγή αερίων στην υδάτινη στήλη (Hovland and Judd, 1988).

σελ.52

Fig. 13: Echo-sounder record showing a reflection above a rockmark which most probably is created by gas seepage (Hovland and Judd, 1988).

p.52

Εικ. 14: Καταγραφή βυθομέτρου στην οποία διακρίνεται διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη από rockmark της Βορείου Θάλασσας. Τα αέρια που διαφεύγουν παρασύρονται από τα ρεύματα της παλίρροιας. Οι γειτονικές ανακλάσεις προέρχονται πιθανόν από κοπάδια ψαριών ή μεδουσών (Τροποποιημένη από Hovland and Judd, 1988).

σελ.52

Fig. 14: Echo-sounding image showing gas seepage from a rockmark in North Sea. Escaping gas is being dispersed by the tide. The nearby reflections are caused probably by fish shoals or jellyfish (Partly modified from Hovland and Judd, 1988).

p.52

Εικ. 15: Καταγραφές βυθομέτρων από συναθροίσεις (πάνω) και μεγάλα κοπάδια (κάτω) από ενήλικες ρέγγες (FAO, 1980).

σελ.54

Fig. 15: Echo- sounder records of schools (above) and layers (below) of adult herring (FAO, 1980).

p.54

Εικ. 16: Καταγραφή βυθομέτρου που δείχνει μικρές συναθροίσεις ψαριών στη Βόρειο Θάλασσα, κάθε μία από τις οποίες έχει δώσει ανακλάσεις ανεστραμμένου V (FAO, 1980).

σελ.54

Fig. 16: Echo-sounder record showing sprat schools in the North Sea, each one's reflection having the form of an inverted V (FAO, 1980).

p.54

Εικ. 17: Τομογραφία 3,5kHz από τον πυθμένα του Θερμαϊκού Κόλπου, στην οποία καταγράφονται κοπάδια ψαριών, οι ανακλάσεις των οποίων έχουν τη μορφή ανεστραμμένου V (Τροποποιημένη από τον Φερεντίνο, 1985).

σελ.55

Fig. 17: 3,5kHz profile from Thermaikos Gulf in which shoals of fish are recorded. The reflective character is that of an inverted V (Modified from Ferentinos, 1985).

p.55

Εικ. 18: Τομογραφία στην οποία παρατηρούνται στηλοειδούς μορφής ανακλάσεις στην υδάτινη στήλη από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων (Φερεντίνο, 1985).

σελ.55

Fig. 18: Shallow seismic profile showing columnar shaped reflections in the water column, coming from gas seepage (Ferentinos, 1985).

p.55

Εικ. 19: Τομογραφία 3,5kHz από τον Αμβρακικό Κόλπο στην οποία παρατηρούνται: μία πλούμα αερίων (GPI), έντονες ανακλάσεις (ER), στηλοειδείς διαταράξεις (CD), το όριο Ολόκαινου/Πλειστοκαινού (HOL/PL) και θαμμένα rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

σελ.56

Fig. 19: 3,5kHz profile from the Amvrakikos Gulf showing: gas plumes (GPI), enhanced reflections (ER), columnar disturbances (CD), Holocene/Pleistocene boundary (HOL/PL) and buried rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

p.56

Εικ. 20: Τομογραφία στην οποία καταγράφονται πλούμες αερίων (gas plumes) μέσα στα ιζήματα στη βορειοανατολική Ιρλανδική Θάλασσα. Έχουν χαρακτηριστική μορφή ανακλάσεων, οξύλικτα, ευδιάκριτα άκρα και επαφή με τη μητρική συγκέντρωση των αερίων (Taylor, 1992).

σελ.57

Fig. 20: Shallow seismic profile showing gas plumes in the northeast Irish Sea. Their reflections are characteristic: sharp- edged, distinct edges and have apparent connection to source (Taylor, 1992).

p.57

Εικ. 21: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται πλούμες αερίων στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής έξω από την πόλη Frederikshavn, στη Βόρεια Δανία. Η ανάκλαση που υποδεικνύεται από το βέλος αποτελεί είτε διαφυγή αερίων, είτε κάποιον λιθοποιημένο σχηματισμό στα ιζήματα (Laiier, 1992).

σελ.57

Fig. 21: 3,5kHz profile showing gas plumes in sediments offshore Frederikshavn in Northern Denmark. The arrow points out either a gas seep or a carbonate- cemented pillar (Laiier, 1992).

p.57

Εικ. 22: Τομογραφία 3,5kHz από τον Αμβρακικό Κόλπο στην οποία παρατηρούνται: θύλακες αερίων (GP), σεισμικοκονιασμένες περιοχές (ATZ), έντονες ανακλάσεις (ER), ακουστική σκιά (WPO) το όριο Ολόκαινου/Πλειστόκαινου (HOL/PL) και θαμμένα rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

σελ.58

Fig. 22: 3,5kHz profile from the Amvrakikos Gulf showing: gas pockets (GP), acoustic turbid zones (ATZ), enhanced reflections (ER), wipe outs (WPO) the Holocene/Pleistocene boundary (HOL/PL) and buried rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

p.58

Εικ. 23: Τομογραφία 3,5kHz από τον πυθμένα του Πατραϊκού Κόλπου στην οποία παρατηρείται ενεργό ρήγμα (F) στο οποίο έχει δημιουργηθεί rockmark (PM), σεισμικοκονιασμένη περιοχή (ATZ) και μία 'gas chimney' (GC) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

σελ.59

Fig. 23: 3,5kHz profile from the rockmark field of the Patras Gulf showing: an active fault (F) in which a rockmark (PM) has formed, acoustic turbid zone (ATZ) and a gas chimney (GC) (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

p.59

Εικ. 24: Τομογραφία από Airgun στην κρηπίδα των Σποράδων στην οποία παρατηρούνται ρήγματα (F), σεισμικοκονιασμένες περιοχές (ATZ), στηλοειδείς διαταράξεις (CD) και η παρουσία της ψευδανάκλασης του πυθμένα (M) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

σελ.60

Fig. 24: Airgun seismic profile taken from the Sporades shelf showing faults (F), acoustic turbid zone (ATZ), columnar disturbances (CD) and a seabed multiple (M) is present also (Papatheodorou *et al.*, 1993).

p.60

Εικ. 25: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στην οποία παρατηρείται σεισμικοκονιασμένη περιοχή (ATZ) κάτω από δόμο αερίων (GD), ενώ παρατηρείται επίσης και ελαφρά αναθλόωση της επιφάνειας του πυθμένα (D) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

σελ.61

Fig. 25: 3,5kHz profile of the Patras Gulf showing acoustic turbid zone (ATZ) underneath a gas dome (GD) which causes seabed doming (D) (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

p.61

Εικ. 26: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται δύο δόμοι αερίων (D) και σεισμικοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ). Το μέτωπο των ανερχόμενων αερίων (gas front) είναι ευδιάκριτο (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

σελ.61

Fig. 26: 3,5kHz profile in which are recorded two gas domes (D) and acoustic turbidity (ATZ). The rising 'gas front' is easy to note (Modified from Hovland and Judd, 1988).

p.61

Εικ. 27: Δύο rockmarks στην τάφρο της Νορβηγίας που σχετίζονται με παρουσία δόμων στα ιζήματα (ID), ακουστικά παράθυρα (AW), σεισμικοκονιασμένες περιοχές (ATZ) και έντονες ανακλάσεις (ER) (Hovland and Judd, 1988).

σελ.62

Fig. 27: Two rockmarks in the Norwegian trench which appear in relation with intra- sedimentary doming (ID), acoustic windows (AW), acoustic turbid zones (ATZ) and enhanced reflections (ER) (Hovland and Judd, 1988).

p.62

Εικ. 28 a, b, c: Τομογραφίες 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στις οποίες έχουν καταγραφεί rockmarks (PM). Παρατηρούνται: περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) και ακουστικής σκιάς (AS), έντονες ανακλάσεις (ER), διαφυγή αερίων στην υδάτινη στήλη (GPI), μορφή σύγκλινου ή papillion (P), περιστροφική κατολίσθηση (RB), αποκολληθέν τέμαχος (DB). Το rockmark στην (c), έχει δημιουργηθεί σε ενεργό ρήγμα (F) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

σελ.64

Fig. 28 a, b, c: 3,5kHz profiles from the Patras Gulf showing rockmarks (PM), acoustic transparency (AT) under their side walls, acoustic shadow (AS), enhanced reflections (ER), gas plumes (GPI), papillion structure (P), a rotated block (RB), a detached block (DB). The rockmark in (c) has formed on an active fault (F) (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

p.64

Εικ. 29: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο στην οποία παρατηρείται μαζική διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη (GPI), ακουστικές σκιές (AS) κάτω από τις ανακλάσεις που δίνουν τα διαφεύγοντα αέρια και έντονες ανακλάσεις (ER) ένδειξη της παρουσίας συγκεντρώσεων αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

σελ.65

Fig. 29: 3,5kHz profile from the Patras Gulf showing massive seepage of gas hydrocarbons in the water column (GPI), the acoustic shadow areas they create (AS) and enhanced reflections (ER) indicating the presence of gas in the sediments (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

p.65

Εικ. 30: Διάφοροι τύποι δομών παγόδας που απαντώνται στα μεγάλα βάθη του ωκεανού και έχουν αναφερθεί από τον Emery (1974) (Hovland and Judd, 1988).

σελ.66

Fig. 30: Types of pagoda structures that are observed in deep ocean depths and have been reported by Emery (1974) (Hovland and Judd, 1988). p.66

Εικ. 31 a, b: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται δομές παγόδας από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης Ζακύνθου- Κυλλήνης (Λαμπροπούλου, 1996). σελ.67

Fig. 31 a, b: 3,5kHz profile showing pagoda structures from the central block of the Zakynthos-Kyllini Basin (Lambropoulou, 1996). p.67

Εικ. 32 a, b: Καταγραφές ηχοβολιστού πλευρικής σάρωσης οι οποίες παρουσιάζουν πλούμεις αερίων (GS) να υψώνονται στην υδάτινη στήλη από ενεργά rockmarks (PM) (Hasiotis *et al.*, 1996). σελ.68

Fig. 32 a, b: Side scan sonar image showing gas plumes (GS) rising in the water column over active pockmarks (PM) (Hasiotis *et al.*, 1996). p.68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Εικ. 33: Δύο σύνθετα rockmarks στη Βόρειο Θάλασσα. Το ένα αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις κρατήρες (Hovland and Judd, 1988). σελ.72

Fig. 33: Two composite pockmarks in the North Sea. One of them consists of at least four craters (Hovland and Judd, 1988). p.72

Εικ. 34: Ασύμμετρα rockmarks όπως εμφανίζονται στις ηχογραφίες (a) και στις τομογραφίες (b) (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988). σελ.73

Fig. 34: Asymmetric pockmarks as they appear on a side scan sonar image (a) and on a deep towed boomer profile (Modified from Hovland and Judd, 1988). p.73

Εικ. 35: Μικρού και μεγάλου μεγέθους rockmarks τοποθετημένα σε σειρές αποτελούμενα από μεμονωμένους κρατήρες. Οι σειρές αυτές συνδέονται με μεγάλα rockmarks (Hovland and Judd, 1988). σελ.74

Fig. 35: Strings of small and large pockmarks consisting of numerous unit pockmarks. These strings are connected to the large pockmarks (Hovland and Judd, 1988). p.74

Εικ. 36: Ένα γενικό πρότυπο για το σχηματισμό ενός rockmark: (Α) Οι συγκεντρώσεις των αερίων ή του νερού των πόρων που υπάρχουν στα ιζημάτα, ασκούν πίεση στο πορώδες στρώμα το οποίο βρίσκεται κάτω από ένα άλλο, αδιαπέραστο και συνεκτικό. Η αυξανόμενη πίεση εκτονώνεται με την παραμόρφωση των υπερκείμενων στρωμάτων των ιζημάτων και την αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα. (Β) Όταν ο δόμος υποστεί ρήγματα, δεν μπορεί να συγκρατήσει την αυξανόμενη πίεση των αερίων οπότε αυτά απελευθερώνονται εκρηκτικά μέσα από τα ρήγματα του δόμου. Η στήλη των ιζημάτων που υπέρκειται του αποθέματος των αερίων, υγροποιείται στιγμιαία, ενώ αέρια, νερό των πόρων και ιζημάτα εκτοξεύονται στην υδάτινη στήλη. (Γ) Τα λεπτόκοκκα ιζημάτα διασκορπίζονται στο νερό και μεταφέρονται από τα ρεύματα οπότε και αποτίθενται σε άλλες περιοχές, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων και την ταχύτητα των ρευμάτων. Τα αδρόκοκκα υλικά θα πέσουν είτε μέσα στο νεοσχηματισμένο rockmark, είτε πλησίον αυτού (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988). σελ.78

Fig. 36: A general pattern for pockmark formation: (A) Gas or pore water pressure is build up in a porous layer below an impermeable and cohesive one. Excess pressure is relieved by the deformation of the overlying strata and the doming of the seabed surface. (B) As soon as the dome is fractured and is unable to seize the excessive pressure of gas, its pressure is released by eruption through the fractures of the dome. The sediment column overlying the gas reservoir is fluidized instantly, while gas, pore water and sediments eject into the water column. (Γ) The fine- grained sediments are suspended in the water and are transported by currents and deposited elsewhere depending on grain size and current speed. Coarser material will fall either into or nearby the newly formed pockmark (Redrawn and partly modified from Hovland and Judd, 1988). p.78

Εικ. 37: Όταν εξακολουθήσει η παραγωγή αερίων υδρογονανθράκων από τα βαθύτερα στρώματα των ιζημάτων, θα μετακινηθούν προς τα προσωρινά αποθέματα προτού μεταναστεύσουν διαμέσου κάθετων ζωνών αδυναμίας (υποδεικνύονται στην εικόνα) και σταδιακά διαφύγουν εκρηκτικά ή μη από τον πυθμένα του rockmark, είτε περιοδικά, είτε διαρκώς (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988). σελ.79

Fig. 37: When gas production continues from below, it will reach for the temporary reservoirs before migrating through vertical weakness zones (indicated on figure) and eventually seep by eruption or not (Redrawn and partly modified from Hovland and Judd, 1988). p.79

Εικ. 38: Σχηματική ταξινόμηση της γένεσης των rockmarks (Τροποποίηση από Pickrill, 1993). σελ.82

Fig. 38: Classification of the stages in pockmark formation (Redrawn and partly modified from Pickrill, 1993). p.82

Εικ. 39: Διαπυρισμός από αλατούχο δόμο με μαζική διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη: α) τομογραφία του δόμου η οποία φανερώνει την επίδραση των αερίων στα στρώματα πάνω από αυτόν, β) ερμηνεία της τομογραφίας στην ίδια κλίμακα με το (α) (Τροποποιημένη από Hovland and Judd, 1988). σελ.83

Fig. 39: A salt piercement diapir with abundant hydrocarbon seepage to the water column: a) seismic section of the structure showing the effect of gas in the strata above the salt (b) an interpretation of the seismic section to the same scale as (a) (Modified from Hovland and Judd, 1988). p.83

Εικ. 40: Ηχογραφία παρμένη από την κρηπίδα των Σποράδων η οποία δείχνει λασπούχα ηφαίστεια (MV) και διαφυγές αερίων στην υδάτινη στήλη (GS) (Papatheodorou *et al.*, 1993). σελ.84

Fig. 40: Side scan sonar image taken from the Sporades shelf showing mud volcanoes (MV) and gas seeps (GS) (Papatheodorou *et al.*, 1993). p.84

Εικ. 41: (α) Χαμηλού ανάγλυφου γιγαντιαίο ανάχωμα στην κατώφλεια Τέξας- Λουιζιάνα, στον Κόλπο του Μεξικού (βάθος νερού: 600-700m). Η τομογραφία δείχνει χαμηλής πυκνότητας, διογκωμένη από τα αέρια λάσπη η οποία ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα, διαμέσου μίας «τροφοδοτικής οδού» ('feeder pipe'). (β) Υψηλού ανάγλυφου γιγαντιαίο ανάχωμα στην ίδια περιοχή όπως το (α). Η διάθλαση πιθανότατα προέρχεται από μία σειρά κατολισθήσεων ή ρωγματογενείς πλευρές. Οι δύο ανακλάσεις χαμηλής συχνότητας που παρατηρούνται στα 20m και τα 60m κάτω από την κορυφή του αναχώματος αντιπροσωπεύουν ίσως την παρουσία ενυδατωμένων υδρογονανθράκων (Hovland and Judd, 1988). σελ.86

Fig. 41: (a) A low relief 'giant gas dome' on Texas- Louisiana slope, Gulf of Mexico (600- 700m water depth). The interpretation shows low density, gas expanded mud flowing up to the seabed surface through a 'feeder pipe'. (b) A high relief 'giant gas dome' from the same area as (a). The diffraction pattern is probably originating from a series of slump or fault scarps. The low frequency reflectors from about 20m and 60m below the dome summit probably represent the presence of gas hydrates (Hovland and Judd, 1988). p.86

Εικ. 42: Σχηματική παράσταση που παρουσιάζει τον τρόπο που ένα γιγαντιαίο ανάχωμα ενεργοποιείται από έναν αλατούχο δόμο που ανέρχεται από μεγάλο βάθος. Η κάθετη μετανάστευση αερίων και χαμηλής πυκνότητας υγρών που περιβάλλουν τον αλατούχο δόμο θα υποβοηθήσουν στην κινητοποίηση της λάσπης (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988). σελ.87

Fig. 42: This figure shows how a 'giant gas mount' is activated by salt diapir rising from deeper strata. The vertical migration of gas and low density liquids which surround the salt diapir help the buoyancy and mobilization of the mud (Redrawn and partly modified from Hovland and Judd, 1988). p.87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

Εικ. 43: Βακτηριακές κηλίδες, ασβεστολιθικά πετρώματα και ένδειξη υψηλής βιολογικής δραστηριότητας σε pockmark του block 25/7, στην κεντρική Βόρεια Θάλασσα. Αστακογαρίδες του είδους *Munida sarsi* σημειώνονται με κύκλους και οι βακτηριακές κηλίδες με διακεκομμένες γραμμές (Hovland and Judd, 1988). σελ.90

Fig. 43: Bacterial patches, carbonate rocks and evidence of biological activity inside a pockmark, block 25/7, central North Sea. Squat lobsters (*Munida sarsi*) are encircled and bacterial mats are shown by broken lines (Hovland and Judd, 1988). p.90

Εικ. 44: Σχηματική παράσταση Παγωνοφόρου, όπως βρίσκεται τοποθετημένο στα ιζήματα του πυθμένα. Ζει μέσα σε σωλήνα του οποίου η κορυφή εξέχει πάνω από την επιφάνεια του πυθμένα. Η μαύρη περιοχή περιέχει βακτηρίδια. Τα βέλη υποδεικνύουν τις διόδους πρόσληψης τροφής και ενέργειας. Το αίμα, πλούσιο σε αιμογλοβίνη κυκλοφορεί από την κεραία προς το οπισθόσωμα μέσω από δύο κύρια αιμοφόρα αγγεία. Το οπισθόσωμα βρίσκεται τοποθετημένο σε τέτοιο βάθος μέσα στα ιζήματα όπου απαντώνται και τα περισσότερα δίθυρα (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988). σελ.92

Fig. 44: A pogonophoran in its assumed seabed position. It lives inside a tube the top of which projects above the seabed surface. The black region contains bacteria and the arrows indicate nourishment and energy uptake routes. The haemoglobin-rich blood circulates from the tentacle to

the opisthosoma through two principal blood vessels. The opisthosoma is located in such depth where bivalves are found (Modified from Hovland and Judd, 1988). p.92

Εικ. 45: Φωτογραφία παρμένη από rockmark της Βορείου Θάλασσας, στον πυθμένα του οποίου παρατηρούνται δίθυρα μαλάκια, κελύφη οστράκων και άλλα ζώα (Hovland and Judd, 1988). σελ.94

Fig. 45: Picture taken from a rockmark of the North Sea, showing bivalves, shell debris and other animals (Hovland and Judd, 1988). p.94

Εικ. 46: Το ψάρι που εικονίζεται στην φωτογραφία ανήκει στο είδος *Brosme brosme* (Torsk). Η φωτογραφία έχει ληφθεί στον πυθμένα ενός rockmark από το block 25/7, στην κεντρική Βόρεια Θάλασσα. Το αλουμινένιο κουτάκι αποτελεί ένδειξη ρύπανσης της περιοχής και κλίμακα μεγέθους (Hovland and Judd, 1988). σελ.96

Fig. 46: The fish seen in the picture is a Torsk (*Brosme brosme*). This picture is taken from a rockmark in block 25/7, central North Sea. The beverage can illustrates general seabed litter and can be used as scale (Hovland and Judd, 1988). p.96

Εικ. 47: Φωτογραφία παρμένη από rockmark της Βορείου Θάλασσας όπου διακρίνεται συνάθροιση από ψάρια των ειδών *Brosme brosme* (Torsk) και *Molva molva* (Ling), τα οποία έχουν βρει καταφύγιο σε μία εσοχή εύρους 1,5m και ύψους 1m (Hovland and Judd, 1988). σελ.96

Fig. 47: Picture taken from a rockmark in the North Sea showing fish from the species *Brosme brosme* (Torsk) and *Molva molva* (Ling) which have found refuge in a cavern 1,5m wide and 1m in height (Hovland and Judd, 1988). p.96

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Εικ. 48 a, b: Τομογράφος υποδομής πυθμένα 3,5kHz (Φωτογραφικό αρχείο Ε.ΘΑ.ΓΕ.Φ.Ω.) σελ.109

Fig. 48 a, b: Sub-bottom profiler 3,5kHz (Photograph courtesy Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography). p.109

Εικ. 49: Τομογράφος υποδομής πυθμένα Sparker (Φωτογραφικό αρχείο Ε.ΘΑ.ΓΕ.Φ.Ω.). σελ.110

Fig. 49: Sparker sub- bottom profiler (Photograph courtesy Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography). p.110

Εικ. 50: Στιγμιότυπο από την πυρηνοληψία που διεξήχθη μεταξύ 4-5/4/1997. σελ.111

Fig. 50: Picture from the core sampling which took place between 4-5/4/1997. p.111

Εικ. 51: Λήψη δειγμάτων από πυρήνα για ιζηματολογικές και γεωχημικές αναλύσεις. σελ.111

Fig. 51: Sampling from a core retrieved from the rockmark field in the Patras Gulf. p.111

Εικ. 52: Οξειδωση οργανικού υλικού με προσθήκη H_2O_2 50% (Perydrol). σελ.114

Fig. 52: Oxidation of organic matter by adding H_2O_2 50% in solution (Perydrol). p.114

Εικ. 53: Η αντίδραση του H_2O_2 με την οργανική ουσία είναι έντονη και προκαλεί τη δημιουργία φουσαλίδων. σελ.114

Fig. 53: The reaction between H_2O_2 and the organic matter produces bubbles. p.114

Εικ. 54 a, b: Υγρό κόσκινισμα: τοποθέτηση δείγματος ελεύθερου από οργανικό υλικό σε κόσκινο No. 250 (a) και υποβοήθηση της διέλευσης του 4ϕ κλάσματος από τις οπές του με τη χρήση υδροβολέα (b). σελ.115

Fig. 54 a, b: Wet sieving: The sample -free of organic matter- is put in a sieve of mesh No. 250 (a) and is sieved with the use of water (b). p.115

Εικ. 55: Ένα εκ των δύο υδρόλουτρων που χρησιμοποιήθηκαν και στο οποίο είναι τοποθετημένοι 8 ογκομετρικοί κύλινδροι. σελ.116

Fig. 55: The aquarium seen in the picture carries in it 8 cubic cylinders and it was used as a bath for the samples. p.116

Εικ. 56: Ηλεκτρικό κόσκινο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το ξηρό κόσκινισμα των δειγμάτων. σελ.117

Fig. 56: Electric tap machine which was used for the dry sieving of the samples. p.117

Εικ. 57 a, b: Συλλογή κλάσματος από κόσκινο (a) και ζύγισή του σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας 0,0001g (b). σελ.118

Fig. 57 a, b: Selection of a fraction from the screen seen in the picture (a), which was weighted into a chemical balance of 0,0001g accuracy. p.118

Εικ. 58: Κάθε δείγμα των 20ml που λαμβάνεται με σιφόνιο πλήρωσης από το εναιώρημα του εκάστοτε ογκομετρικού κυλίνδρου, φέρεται σε προζυγισμένα ποτήρια ζέσεως των 50ml. σελ.119

Fig. 58: Each sample of volume 20ml withdrawn with a pipette from the suspension of each cylinder, is expelled into a weighed 50ml beaker. **p.119**

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εικ. 59: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής δειγματοληψίας.	σελ.139
Fig. 59: Bathymetric map of the survey area.	p.139
Εικ. 60 a, b, c, d: Πυρήνας Π14	σελ.140
Fig. 60 a, b, c, d: Core Π14	p.140
Εικ. 61 a, b: Πυρήνας Π24	σελ.142
Fig. 61 a, b: Core Π24	p.142
Εικ. 62 a, b, c, d: Πυρήνας Π26	σελ.144
Fig. 62 a, b, c, d: Core Π26	p.144
Εικ. 63: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1974).	σελ.146
Fig. 63: Triangle diagram of grain size classification according to Folk (1974).	p.146
Εικ. 64: Χάρτης στον οποίο αποτυπώνονται οι συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας των πυρήνων αναφοράς Π19, Π20, Π21.	σελ.149
Fig. 64: Map demonstrating the coordinates of the sampling sites of the reference cores Π19, Π20, Π21.	p.149
Εικ. 65a: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π14.	σελ.172
Fig. 65a: Vertical variation of factor scores for the core Π14.	p.172
Εικ. 65b: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π24.	σελ.173
Fig. 65b: Vertical variation of factor scores for the core Π24.	p.173
Εικ. 65c: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π26.	σελ.174
Fig. 65c: Vertical variation of factor scores for the core Π26.	p.174
Εικ. 66: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του τετραμελούς μοντέλου για τον πυρήνα Π14	σελ.178
Fig. 66: Vertical variation of factor scores of core Π14.	p.178
Εικ. 67: Διαγραμματική απεικόνιση της κάθετης κατανομής των παραγοντικών τιμών στους πυρήνες Π14, Π24, Π26.	σελ.183
Fig. 67: Vertical variation of factor scores of cores Π14, Π24, Π26.	p.183

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΠΕΡΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (MARINE SEDIMENTS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Ένα ίζημα μπορεί να περιγραφεί με πολλούς τρόπους- από την πηγή του, τον τρόπο μεταφοράς του, τη χημική του σύσταση και το μέγεθος των κόκκων του. Η γνώση του μεγέθους των κόκκων που συνιστούν ένα ίζημα είναι πολύ χρήσιμη και καλείται κοκκομετρία. Η πλέον γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα κοκκομετρίας είναι αυτή που πρότεινε ο Wentworth (1922) (Πιν. 1).

Γενικά, χονδρόκοκκα υλικά απαντώνται εκεί όπου υπάρχει η ανάλογη ενέργεια για να τα μεταφέρει- π.χ. όπου κυριαρχούν ισχυρά ρεύματα ή κυματισμός. Λεπτόκοκκα υλικά όπως η άργιλος καθιζάνουν όπου το ενεργειακό επίπεδο είναι πολύ χαμηλό ώστε να τα διατηρεί σε κίνηση, πράγμα που συμβαίνει μακριά από την παραλιακή ζώνη. Το φαινόμενο αυτό καλείται **διαβάθμιση**. Τα *μη διαβαθμισμένα* ιζήματα είναι ένα μείγμα από σωματίδια ποικίλου μεγέθους. Αν κυριαρχούν κόκκοι του ίδιου μεγέθους, τότε το ίζημα θεωρείται *καλώς διαβαθμισμένο*. Για παράδειγμα, οι άμμοι των ακτών είναι καλώς διαβαθμισμένες, ενώ οι παγετώδεις αποθέσεις (glacial deposits) είναι κακώς διαβαθμισμένες διότι γενικά περιέχουν υλικά από μεγάλους λίθους μέχρι και άργιλο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι όροι *άμμος, ιλύς ή μεγάλοι λίθοι* αναφέρονται μόνο στο μέγεθος των κόκκων και όχι στην σύνθεσή τους ή την προέλευσή τους (Folk, 1974).

Μετά την απόθεσή του, ένα ίζημα μπορεί με την επίδραση των ρευμάτων του πυθμένα ή των κυμάτων, να αποκτήσει καλύτερη διαβάθμιση. Αυτό συμβαίνει με την αφαίρεση των λεπτόκοκκων υλικών. Γι αυτόν τον λόγο

οι αποθέσεις των ακτών έχουν καλή διαβάθμιση: υφίστανται τη συνεχή επίδραση των κυμάτων και των ρευμάτων κοντά στην ακτή. Έντονη επανακατεργασία (reworking) των ιζημάτων από τις υδροδυναμικές συνθήκες, μπορεί να οδηγήσει στην μετακίνηση μίας απόθεσης και τη μεταφορά της σε άλλη περιοχή. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ένα υλικό, τόσο πιο μακριά μπορεί αυτό να μεταφερθεί από το νερό ή τον άνεμο.

Πίνακας 1: Κοκκομετρικές Κλίμακες Wentworth (1922)^a και Krumbein (1934)^b.

Table 1: The Wentworth (1922)^a and Krumbein (1934)^b scales of sediment grain size.

ΤΑΞΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ		ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm) ^a	phi ϕ ^b
Μέγας Λίθος	Boulder	256	(-10)-(-8)
Λίθος	Cobble	64	(-8)-(-6)
Χάλικας	Pebble	4	(-6)-(-2)
Ψηφίδα	Granule	2	(-2)-(-1)
ΑΜΜΟΣ		SAND	
Πολύ Χονδρή Άμμος	Very Coarse Sand	1	(-1)-(0)
Χονδρή Άμμος	Coarse Sand	1/2	(0)-(1)
Μεσαία Άμμος	Medium Sand	1/4	(1)-(2)
Λεπτή Άμμος	Fine Sand	1/8	(2)-(3)
Πολύ Λεπτή Άμμος	Very Fine Sand	1/16	(3)-(4)
ΙΛΥΣ		SILT	
Χονδρή Ιλύς	Coarse Silt	1/32	(4)-(5)
Μεσαία Ιλύς	Medium Silt	1/64	(5)-(6)
Λεπτή Ιλύς	Fine Silt	1/128	(6)-(7)
Πολύ Λεπτή Ιλύς	Very Fine Silt	1/256	(7)-(8)
ΑΡΓΙΛΟΣ		CLAY	
Χονδρή Άργιλος	Coarse Clay	1/640	<10
Μεσαία Άργιλος	Medium Clay	1/1024	
Λεπτή Άργιλος	Fine Clay	1/2360	
Πολύ Λεπτή Άργιλος	Very Fine Clay	1/4096	
Κολοειδές	Colloid	<1/4096	

Πηγή: Προσαρμογή από Τουραμπίδη (1987), Παπαθεοδώρου (1994) και Ross (1995).

Η ταξινόμηση των θαλασσίων ιζημάτων βασίζεται στην προέλευση των υλικών τους και, σε μικρότερο βαθμό, στη μέθοδο απόθεσής τους. Τα ιζήματα, σύμφωνα με την προέλευσή τους ταξινομούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: χερσογενή, βιογενή, υδρογενή και κοσμογενή ιζήματα.

2. ΧΕΡΣΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ (Terrigenous sediments)

Τα χερσογενή ιζήματα παράγονται από τα ήδη υπάρχοντα πετρώματα της χέρσου. Το πέτρωμα αποσαθρώνεται, διαβρώνεται και το ίζημα που προκύπτει μεταφέρεται στη θαλάσσια λεκάνη. Κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης, μερικά τμήματα του πετρώματος διαλύονται και εισέρχονται στην υδάτινη στήλη υπό τη μορφή διαλύματος μέσω των ποταμών. Άλλα, ποικίλου μεγέθους, συστατικά του πετρώματος μεταφέρονται στο υδάτινο περιβάλλον από τον άνεμο, τον πάγο, ή το ρέον νερό.

Οι ποταμοί είναι οι κύριοι προμηθευτές χερσογενούς ύλης στα στόμιά τους (estuaries), στα δέλτα τους, ή τις γειτονικές προς αυτούς θάλασσες του ηπειρωτικού περιθωρίου: αυτές είναι και οι περιοχές όπου το μεγαλύτερο τμήμα του μεταφερόμενου ιζήματος αποτίθεται κυρίως. Έτσι, τα χερσογενή ιζήματα είναι άφθονα κοντά στην πηγή τους, την ξηρά και επικρατούν στην ηπειρωτική κρηπίδα, κατωφέρεια και το ηπειρωτικό ύψωμα.

Σε μερικές περιοχές, τα χερσογενή ιζήματα μπορούν να μετακινηθούν και να αποτεθούν εκ νέου. Ένα παράδειγμα του μηχανισμού αυτού είναι η βαρυτική μετακίνηση των ιζημάτων προς τα κατάντη, ή η μετακίνηση ως τουρβιδιτικά ρεύματα (turbidity currents). Και στις δύο περιπτώσεις τα ιζήματα μεταφέρονται σε μεγάλα βάθη, μακριά από την στεριά και την περιοχή προέλευσής τους. Ο άνεμος επίσης μπορεί να μεταφέρει μεγάλα ποσά ιζημάτων στον ωκεανό, ειδικότερα από τις έρημους οι οποίες δεν καλύπτονται από την προστατευτική, κατά της διάβρωσης, βλάστηση.

Ο πηλός είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει ιζήματα που περιέχουν ιλύ ή άργιλο. Οι χερσογενείς πηλοί ποικίλουν σε χρωματισμούς ανάλογα με την πηγή τους και τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή απόθεσης. Για παράδειγμα, οι μαύροι πηλοί είναι κοινοί σε περιοχές όπου υπάρχει παροχή οργανικής ύλης και ανεπαρκές οξυγόνο για την οξείδωσή της, ενώ κόκκινοι ή καφέ πηλοί είναι οι χαρακτηριστικοί καλά οξυγονούμενων περιοχών.

Οι χερσογενείς πηλοί περιέχουν κατά κανόνα ορυκτά, κοινά στα χερσαία πετρώματα και μεταφέρονται στον ωκεανό κυρίως από τους ποταμούς και, σε

μικρότερο ποσοστό, από τον άνεμο. Ο ρυθμός απόθεσης στο θαλάσσιο περιβάλλον ποικίλει και εξαρτάται από την εγγύτητα της πηγής και το ποσό που μετακινείται. Οι ρυθμοί απόθεσης στα μεγάλα βάθη είναι πολύ αργοί απ' ότι στα μικρότερα. Κοντά στους μεγάλους ποταμούς, ένας ρυθμός απόθεσης 100cm (40in.) και περισσότερο, είναι αναμενόμενος κάθε 1,000 χρόνια. Στα μεγάλα βάθη ο ρυθμός απόθεσης είναι μερικά εκατοστά κάθε 1,000 χρόνια.

2.1 Βαρυτικές αποθέσεις (Slump deposits)

Αποθέσεις αυτής της μορφής έχουν μετακινηθεί ή καταπέσει από μία τοπογραφικά υψηλότερη περιοχή. Αν και δύσκολο να διακριθούν με τις συμβατικές μεθόδους δειγματοληψίας, μπορούν να αναγνωριστούν ως κατολισθήσεις (slumps) από καταγραφές οργάνων γεωφυσικής διασκόπησης. Επίσης είναι κοινές στην ηπειρωτική κατωφέρεια και το ηπειρωτικό ύψωμα, όπου απαντώνται μεγάλα τεμάχια παραμορφωμένων ιζημάτων τα οποία έχουν κατολισθήσει προς τα κατόντη, από περιοχές μικρότερου βάθους. Υπό ορισμένες συνθήκες, η ύλη που ολισθαίνει μπορεί να σχηματίσει τουρβιδιτικά ρεύματα και το ίζημα να μετακινηθεί ως μεμονωμένα σωματίδια παρά ως μία ενιαία μάζα. Τα ιζήματα που έχουν προέλθει από αποθέσεις κατολισθήσεων ή τουρβιδιτικά ρεύματα μπορεί να είναι οποιασδήποτε προέλευσης, αλλά γενικά είναι χερσογενή.

2.1.1 Τουρβιδίτες (Turbidites)

Τα στρώματα από χονδρή άμμο που βρίσκονται ενστρωμένα μεταξύ των λεπτόκοκκων πηλών της βαθιάς θάλασσας, γενικά αποδίδονται σε τουρβιδιτικά ρεύματα. Αυτές οι αποθέσεις καλούνται τουρβιδίτες και απαντώνται σε μεγάλα βάθη.

Οι τουρβιδίτες δεν μπορούν να εντοπιστούν με βεβαιότητα στις τομογραφίες. Αντίθετα, στις ηχογραφίες μπορεί να εντοπισθούν γεωμορφές διάβρωσης ή μεταφοράς ιζημάτων όπως ημισεληνοειδείς αμμόδεις θίνες (dunes) και αυλοειδούς σχήματος γλυφές (flute marks), οι οποίες μπορεί να

δηλώνουν τη δράση τουρβιδιτικών ρευμάτων πάνω στον πυθμένα. Η παρουσία τουρβιδιτικών ρευμάτων εντοπίζεται με πυρηνοληψία ιζήματος και μελέτη των πυρήνων. Η ύπαρξή τους στα ιζήματα διαπιστώνεται από την υφή και τις ιζηματογενείς δομές των αποθέσεών τους στον πυθμένα (Παπαθεοδώρου και συν., 1995).

Τα τουρβιδιτικά στρώματα ποικίλουν σε πάχος από μερικά εκατοστά έως 3m (10ft.) και περισσότερο. Συνήθως έχουν ποικίλο μέγεθος κόκκων με χονδρόκοκκο υλικό στη βάση του στρώματος και λεπτομερές στην κορυφή του. Αυτός ο διαχωρισμός προκαλείται από υδραυλική διαβάθμιση κατά την οποία τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν πρώτα.

Οι τουρβιδίτες μπορεί να περιέχουν τεμάχια ξύλου, κελύφη ή οργανισμούς που ζουν στα ρηγά νερά, και άλλα υλικά που υποδηλώνουν την προέλευση του ιζήματος. Σε πολλές περιπτώσεις, ειδικότερα έξω από μεγάλα υποθαλάσσια φαράγγια, μεγάλα τμήματα του πυθμένα καλύπτονται από αυτά τα ιζήματα, τα οποία συμβάλουν στην πλήρωση των αβυσσικών πεδιάδων.

Τουρβιδίτες έχουν εντοπιστεί σε όλες της θαλάσσιες λεκάνες του Αιγαίου και Ιονίου πελάγους, ενώ στις πλαγιές που τις περιβάλλουν έχουν αναπτυχθεί συστήματα χαραδρώσεων και καναλιών τα οποία διατρέχονται από τουρβιδιτικά ρεύματα. (Παπαθεοδώρου και συν., 1995).

2.2 Παγετώδη ιζήματα (Glacial sediments)

Τα παγετώδη ιζήματα έχουν προέλθει από την αποσάθρωση παγετώνων. Είναι κοινά σε πολλά τμήματα της ηπειρωτικής κρηπίδας σε περιοχές μέσου και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Παγετώδη ιζήματα απαντώνται, σπάνια όμως, σε μεγάλα βάθη, όπου μπορούν να αναγνωριστούν από την υψηλή περιεκτικότητά τους σε άμμο, ιλύ και ψηφίδες. Είναι γνωστό ότι τα ιζήματα που κυριαρχούν σε τέτοια περιβάλλοντα συνίστανται από άργιλο. Ο μηχανισμός μεταφοράς των ιζημάτων αυτών σε αυτά τα βάθη, είναι απλός: τα ιζήματα αυτά αρχικά μεταφέρονταν από παγετώνες. Καθώς αυτοί εισέρχονται στον ωκεανό, τμήματά τους σπάζουν και σχηματίζουν παγόβουνα. Τα παγόβουνα μετακινούνται από τα ρεύματα και όταν σταδιακά λιώνουν, όποιο ίζημα ή

αποσαθρωμένο υλικό είναι εγκλωβισμένο μέσα σε αυτά, απελευθερώνεται και καταλήγει στον πυθμένα.

2.3 Ηφαιστειακές αποθέσεις (Volcanic deposits)

Ιζήματα ηφαιστειακής προέλευσης όπως είναι η ηφαιστειακή σκόνη, απαντώνται συχνά σε ορισμένες περιοχές του ωκεανού. Τα ηφαίστεια-πηγές μπορεί να είναι χερσαία ή υποθαλάσσια. Σε κάθε περίπτωση τα σωματίδια μεταφέρονται από τον άνεμο και τα θαλάσσια ρεύματα και καθιζάνουν στον ωκεάνιο πυθμένα. Σε ορισμένες περιοχές η απόθεση της ηφαιστειακής σκόνης είναι τόσο έντονη, ώστε να σχηματίζεται στον πυθμένα ένα λεπτό αλλά ευδιάκριτο στρώμα. Αν ένα στρώμα προκύψει από μία ιστορική ηφαιστειακή έκρηξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χρονικό σημείο αναφοράς για τη χρονολόγηση των στρωμάτων που υπέρκειται ή υπόκειται αυτού. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι οι εκρήξεις του ηφαιστείου της Σαντορίνης οι οποίες έχουν σχηματίσει σαφείς ενστρώσεις ηφαιστειακής υάλου στον πυθμένα της Ανατολικής Μεσογείου.

Σύγχρονες ηφαιστειακές εκρήξεις, όπως αυτή του Κρακατόα στην Ινδονησία το 1883, του ηφαιστείου της Αγ. Ελένης στην Πολιτεία Ουάσιγκτον το 1980 και του Πινατούμπο στις Φιλιπίνες το 1991, σχημάτισαν μεγάλα σύννεφα ηφαιστειακής σκόνης. Στην περίπτωση του Κρακατόα, σύννεφα ηφαιστειακής σκόνης κάλυψαν ολόκληρη σχεδόν την υφήλιο. Σύμφωνα με τους κανόνες της διαβάθμισης, τα βαρύτερα υλικά συσσωρεύτηκαν και αποτέθηκαν κοντά στην περιοχή της έκρηξης. Τα στρώματα σκόνης που αποτέθηκαν αποτελούνταν από θραύσματα ηφαιστειακής ύλης και μικρότερα τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων. Σε μεγαλύτερη απόσταση βρίσκονται και λεπτομερή ηφαιστειακά ορυκτά.

3. ΒΙΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ (Biogenous sediments)

Τα βιογενή ιζήματα παράγονται από βιολογικές διαδικασίες και αποτελούνται από τα κελύφη και τα σκελετικά περιβλήματα νεκρών

οργανισμών. Τα κελύφη και τα εξωτερικά καλύμματα των οργανισμών συνίστανται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ή διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και κατ' επέκταση, αυτά είναι τα συστατικά που συνήθως συσσωρεύονται ως λεπτόκοκκο βιογενές ίζημα.

Συνεπώς, τα βιογενώς παραγόμενα ιζήματα στην ανοικτή θάλασσα καλούνται *βιογενείς πελαγικές αποθέσεις*. Αν περιέχουν περισσότερο από 30% σκελετική ύλη, χαρακτηρίζονται «*λάσπες*» (oozes). Οι «*λάσπες*» αυτές μπορεί να περιέχουν ύλη μη βιογενούς προέλευσης όπως σωματίδια αργίλου και ονομάζονται σύμφωνα με τον οργανισμό που επικρατεί σε αυτά.

Συνίστανται από φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς, όπως είναι οι κοκκόλιθοι (coccoliths) και τα διάτομα (diatoms) και από ζωοπλαγκτονικούς οργανισμούς, όπως είναι τα τρηματοφόρα (foraminifera), τα πτερόποδα (pteropoda), τα ακτινόζωα (radiolaria). Τα διάτομα και τα ακτινόζωα έχουν σκελετικό περίβλημα από πυρίτιο, ενώ οι υπόλοιποι οργανισμοί από ασβέστιο.

Οι περισσότεροι από τους οργανισμούς που σχηματίζουν βιογενή ιζήματα ζουν στα επιφανειακά νερά του ωκεανού. Όταν καταστραφούν τα οργανικά συστατικά του κυττάρου τους, το κέλυφος που απομένει, πέφτει στον πυθμένα, όπου διατηρείται λόγω των ανόργανων στοιχείων από τα οποία συνίσταται. Έτσι, δημιουργούνται αποθέσεις αυτού του υλικού, οι οποίες, στην περίπτωση των διατόμων είναι γνωστές ως «γη διατόμων» (Καλιφόρνια) (Τσελεπή-Τσουκαρέλλα, 1993) και στην περίπτωση των ακτινοζώων ως «γη ραδιολαρίων» (radiolaria earth) (Τσιραμπίδης, 1987).

Η γη διατόμων είναι λευκό, κίτρινο ή τεφρό χαλαρό πυριτικό υλικό που αποτελείται από τα κελύφη οπαλίου των διατόμων. Συσσωρεύεται στους πυθμένες θαλασσών, λιμνών ή ελών και περιέχει πολλές ξένες προσμίξεις όπως σκελετικά στοιχεία σπόγγων και ακτινοζώων, αργιλικά ορυκτά, πυριτική άμμο και αλκαλικές γαίες. Το πέτρωμα που προκύπτει έπειτα από τη συμπαγοποίηση των παραπάνω στοιχείων καλείται διατομίτης (diatomite) (Τσιραμπίδης, 1987).

Η γη ραδιολαρίων είναι χαλαρό πυριτικό υλικό που αποτελείται από τα σκελετικά στοιχεία ακτινοζώων. Το πέτρωμα που προκύπτει από τη συμπαγοποίηση των υλικών αυτών λέγεται ραδιολαρίτης (radiolarite) (Τσιραμπίδης, 1987).

Τα βιογενή ιζήματα απαντώνται συχνά σε περιοχές μεγάλης βιολογικής παραγωγικότητας, όπως στις περιοχές του ισημερινού και όπου άλλοι τύποι ιζημάτων απουσιάζουν ή αποτίθενται με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς. Ο ρυθμός ιζηματογένεσης (sedimentation rate) ενός βιογενούς ιζήματος είναι από 1cm έως 5cm (0,4 έως 2 in.) κάθε 1,000 χρόνια, περίπου 10 φορές ταχύτερος από το ρυθμό καθίζησης αργλικών αποθέσεων ανόργανης προέλευσης (Πιν. 2).

Πίνακας 2: Ταχύτητες καθίζησης κόκκων.

Table 2: Settling velocities of certain grain sizes.

ΓΑΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ & ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ (cm/sec)	Απαιτούμενος Χρόνος για τη Βύθιση του Κόκκου κατά 1Km
Άμμος 100μm	2,5	10,8 ώρες
Ιλός 10μm	0,025	46,25 ημέρες
Αργίλος 1μm	0,00025	12,25 χρόνια

Πηγή: Προσαρμογή από Cross (1995).

4. ΠΕΛΑΓΙΚΕΣ ΑΡΓΙΛΟΙ (Pelagic clays)

Ο όρος πελαγική άργιλος έχει εφαρμογή στους λεπτόκοκκους πηλούς που απαντώνται στις περισσότερες ωκεάνιες λεκάνες. Οι πηλοί αυτοί περιέχουν λιγότερο από 30% βιογενούς ύλης, άρα είναι ανόργανοι. Είναι γενικά καφέ χρώματος, λόγω της οξείδωσης που έχουν υποστεί και ελάχιστα είναι γνωστά για την προέλευση και την πηγή τους. Τα σωματίδια της αργίλου μεταφέρονται από τον άνεμο και τα ρεύματα του ωκεανού. Άλλες πιθανές πηγές τους είναι η μετεωρική σκόνη ή η ηφαιστειακή στάχτη. Ο ρυθμός ιζηματογένεσης των πελαγικών αργίλων είναι εξαιρετικά αργός, συνήθως 1 με 2mm (0,04 έως 0,08 in.) κάθε 1,000 χρόνια, ή 1m κάθε ένα εκατομμύριο χρόνια (Πιν. 3).

Πίνακας 3: Απαιτούμενος χρόνος για τη συσσώρευση 1cm (0,4 in) ιζήματος στον θαλάσσιο πυθμένα.

Table 3: Approximate time needed for 1cm (0,4 in) of sediment to accumulate on the seafloor.

Χερσόγενείς Αποθέσεις		Πελαγικές Αποθέσεις	
Μεγάλοι Ποταμοί	1-10 χρόνια	Βιογενή ιζήματα	200-1,000 χρόνια
Ηπειρωτική κρηπίδα	30 χρόνια	Πελαγικές άργιλοι	2,000-10,000 χρόνια
Ηπειρωτική ανύψωση	100 χρόνια		

Πηγή: Προσαρμογή από Ross (1995).

Με τόσο αργούς ρυθμούς ιζηματογένεσης, οι πελαγικές άργιλοι διαλύονται και οι αποθέσεις τους είναι αμελητέες σε περιοχές όπου σχηματίζονται και συσσωρεύονται πιο ραγδαία, άλλοι τύποι ιζημάτων. Έτσι, οι πελαγικές άργιλοι είναι σημαντικές μόνο στις βαθιές περιοχές του ωκεανού, απομονωμένες από κάθε χερσογενές ίζημα. Ακόμα και κάτω από αυτές τις συνθήκες, μεγάλο τμήμα του ωκεανού έχει αποθέσεις πελαγικών αργίλων.

5. ΥΔΡΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ (Hydrogenous sediments)

«Υδρογενής» σημαίνει παραγόμενος από το νερό. Τα υδρογενή ιζήματα σχηματίζονται ακριβώς στα σημεία στα οποία βρίσκονται, συχνά έχοντας καθιζήσει από το ωκεάνιο νερό. Οι υδρογενείς αποθέσεις περιλαμβάνουν κόνδύλους (ή σφονδύλους ή όζους) σιδήρου και μαγγανίου. Αυτές οι αποθέσεις έχουν παρατηρηθεί σε μεγάλες περιοχές του ωκεανού, στον πυθμένα μεγάλων λιμνών και είναι από τις οικονομικής αξίας αποθέσεις του πυθμένα. Είναι αποτέλεσμα βραδείας ιζηματογένεσης και αποτελούν μικρές, ανώμαλες έως σφαιρικές, μαύρες έως καστανές, εύθρυπτες και φυλλώδεις συμπυκνωμένες μάζες. Το μέγεθός τους ποικίλει από μερικά μικρά έως 25cm (συνήθως 3-5cm), με μέσο βάρος 115g (Τσιραμπίδης, 1987). Μπορούν να φτάσουν και τα δύο μέτρα (Ξένος, 1993). Συναντώνται μέσα σε ερυθρές αργίλους και μέσα σε οργανική ύλη με πλακώδη μορφή, αλλά και ως επιστρώσεις πετρωμάτων και ορυκτών (Τσιραμπίδης, 1987). Κόνδυλοι σχηματίζονται γύρω από μικρά αντικείμενα του πυθμένα, όπως είναι το δόντι ενός καρχαρία ή ο ωτόλιθος ενός ψαριού και η αύξηση της διαμέτρου τους είναι της τάξεως των μερικών εκατοστών κάθε εκατό χρόνια.

Εφόσον οι αποθέσεις σχηματίζονται μέσω καταβύθισης από το θαλασσινό νερό, η απόθεσή τους σταματάει όταν ο κόνδυλος ή ο βράχος καλυφθεί με ίζημα, η οποία ποικίλει αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν στο βυθό. Η κατανομή των κόνδυλων σιδήρου-μαγγανίου περιορίζεται σε περιοχές που έχουν χαμηλό ρυθμό ιζηματογένεσης ή σε περιοχές όπου ισχυρά ρεύματα αποτρέπουν την απόθεση άλλων ιζημάτων. Οι κόνδυλοι συνίστανται

από διάφορα οξείδια πυριτίου, σιδήρου, αργιλίου καθώς και από ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου (Ξένος, 1993).

Ένα άλλο υδρογενές ίζημα επίσης οικονομικής σημασίας είναι ο φωσφορίτης. Ο φωσφορίτης βρίσκεται συνήθως με τη μορφή χαλίκων και αποτελείται από φωσφορικά ορυκτά. Οι αποθέσεις του φωσφορίτη περιορίζονται σε βάθη μέχρι και τα 500m (1,054 ft.). Αυτό το ορυκτό φαίνεται να σχηματίζεται σε λεκάνες ή περιοχές που χαρακτηρίζονται ως αναερόβια περιβάλλοντα. Η απουσία του οξυγόνου μπορεί να προκληθεί όταν μεγάλα ποσά οργανικής ύλης βυθίζονται και οξειδώνονται στα βαθιά νερά.

6. ΚΟΣΜΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ (Cosmogenous sediments)

Τα κοσμογενή ιζήματα είναι σωματίδια που προέρχονται από το διάστημα. Μπορεί να είναι τεμάχια από μετεωρίτες, κομήτες, ή ακόμα τμήματα μεγάλων αστεροειδών που έχουν συγκρουστεί με τη Γη στο παρελθόν. Μερικά από αυτά τα γεγονότα έχουν προταθεί ως μηχανισμοί παρελθουσών εξαφανίσεων. Τα κοσμογενή ιζήματα είναι πολύ σπάνια στον ωκεανό, αλλά μερικές φορές μπορούν να ανιχνευθούν στις αργά αποτιθέμενες πελαγικές αποθέσεις αργίλου, όπου η πιθανότητα της διάλυσης είναι μικρή σε σχέση με τα άλλα ιζήματα.

7. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ (Rocks on the seafloor)

Τα πετρώματα που είναι εκτεθειμένα στον θαλάσσιο πυθμένα είναι από βασάλτη και όχι από γρανίτη, ο οποίος επικρατεί στα πετρώματα της χέρσου. Ο βασάλτης είναι ένα ηφαιστειακό πυριγενές πέτρωμα το οποίο βρίσκεται σε πολλές ωκεάνιες νήσους, στις μεσοωκεάνιες ράχεις και κατά μήκος μερικών ρωγματογενών ζωνών (fracture zones). Τα πετρώματα στο θαλάσσιο πυθμένα μπορεί να είναι ιζήματα που έχουν συμπυκνωθεί (cemented) ή να είναι οι προαναφερθέντες κόνδυλοι μαγγανίου.

8. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΗ ΑΠΟΘΕΣΗΣ (Nondeposition arias)

Υπάρχουν περιοχές στον ωκεάνιο πυθμένα στις οποίες δεν υφίσταται ίζηματογένεση, διότι επικρατούν σε αυτές έντονα ρεύματα πυθμένα. Σε περιοχές του Ειρηνικού και του Ατλαντικού δεν συναντώνται σύγχρονες αποθέσεις και τα επιφανειακά ιζήματα έχουν ηλικία πολλών εκατομμυρίων ετών. Υπό αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να υποτεθεί ότι είτε δεν έχει λάβει χώρα καμία απόθεση για αρκετά εκατομμύρια χρόνια, είτε ότι η όποια πρόσφατη απόθεση έχει μετακινηθεί λόγω διάβρωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Π

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ (THE ORIGIN OF SHALLOW GAS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Τα αέρια που απαντώνται στα ανώτερα στρώματα των θαλασσίων ιζημάτων περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, αιθάνιο και μεθάνιο. Όλα αυτά τα αέρια τα οποία και συνιστούν το φυσικό αέριο, προέρχονται είτε από βιογενείς, είτε από αβιογενείς διαδικασίες (Πιν. 4). Απ' αυτά τα αέρια, το μόνο που συναντάται σε μεγάλες ποσότητες είναι το μεθάνιο και βρίσκεται σε συγκεντρώσεις που μπορεί να είναι εκτεταμένες.

Ως ανώτερα στρώματα των θαλασσίων ιζημάτων θεωρούνται τα 1000 πρώτα μέτρα βάθους και το αέριο που απαντάται σε αυτά ονομάζεται επιφανειακό αέριο. Οι πηγές του μπορεί να είναι οργανικές ή ανόργανες. Συγκεκριμένα, το μεθάνιο που προέρχεται από οργανική ύλη με βακτηριακή δραστηριότητα στα ανώτερα στρώματα των ιζημάτων αναφέρεται ως «βιογενές», ενώ το μεθάνιο που δημιουργείται σε μεγαλύτερα βάθη και θερμοκρασίες μέσα στα ιζηματογενή πετρώματα από οργανική ή μη, ύλη, αναφέρεται ως «θερμογενές».

Πίνακας 4: Πηγές του φυσικού αερίου.

Table 4: Sources of natural gas.

Οργανικές πηγές	Μικροβιακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης των ιζημάτων	Βιογενής
	Θερμική αποσύνθεση της οργανικής ύλης των ιζημάτων	Θερμογενής
	Αποσταθεροποίηση των ενυδατωμένων υδρογονανθράκων	?
Ανόργανες πηγές	Ηφαιστειακές και Υδροθερμικές	Αβιογενής
	Πρωτογενή αέρια από τα έγκατα της Γης	

Πηγή: Προσαρμογή από Floodgate and Judd (1992).

Ανεξάρτητα όμως με τη προέλευση και το βάθος δημιουργίας ενός αερίου αυτό μπορεί να μεταναστεύσει και να ανέλθει στην επιφάνεια του πυθμένα αποτελώντας επιφανειακό αέριο.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το μεθάνιο είναι ο κυριότερος και πιο συχνά απαντώμενος αέριος υδρογονάνθρακας. Σαν υδρογονάνθρακας λοιπόν, η διαδικασία της παραγωγής του, περιλαμβάνεται στη γενικότερη διαδικασία παραγωγής υδρογονανθράκων.

Οι υδρογονάνθρακες είναι οργανικές ενώσεις, που αποτελούνται αποκλειστικά από άνθρακα και υδρογόνο.

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Τα φυσικά αέρια
2. Το πετρέλαιο ή υγρά προϊόντα
3. Την ασφαλτική άμμο και τους βιτουμενούχους σχιστόλιθους ή στερεά προϊόντα.

Η διάκριση αυτή γίνεται κατά προσέγγιση και κατά ένα μέρος είναι ανακριβής, αφού στη φύση υπάρχει συνέχεια μεταξύ των τριών φάσεων και οι υδρογονάνθρακες αποτελούν μία αλυσίδα.

2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

2.1 Εισαγωγή (Introduction)

Η οργανική ύλη από την οποία ξεκινά η διαδικασία παραγωγής υδρογονανθράκων, περιλαμβάνει οργανισμούς του υδάτινου περιβάλλοντος όπως φύκη, ζωοπλαγκτόν, βακτηρίδια αλλά και ανώτερα φυτά. Η οργανική αυτή ύλη αποτελείται από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, λιγνίνη και τανίνη. Μετά το θάνατο των οργανισμών η οργανική αυτή ύλη βρίσκεται διασκορπισμένη ή διαλυμένη μέσα στο νερό. Αν η ταχύτητα καταβύθισής της είναι μικρή, ή το ίζημα που θα τη σκεπάσει, πορώδες, οξειδώνεται και δε συμμετέχει στη διαδικασία παραγωγής υδρογονανθράκων. Αν όμως τα ιζήματα που θα την δεχτούν είναι αργιλικά, την προφυλάσσουν από την οξείδωση διότι δεν επιτρέπουν στο οξυγόνο να εισχωρήσει.

Έτσι, η οργανική ύλη σταδιακά ενταφιάζεται στα ιζήματα, όλο και βαθύτερα. Αμέσως μετά την απόθεση της οργανικής ύλης, αρχίζουν τα πρώτα στάδια της μετατροπής της σε υδρογονάνθρακες. Η μετατροπή αυτή ακολουθεί τρία στάδια (Εικ. 1):

α) Διαγένεση ή ανώριμο στάδιο (Diagenesis).

Κατά το πρώτο αυτό στάδιο της διαγένεσης τα ιζήματα υφίστανται τη δράση βακτηριδίων. Η βιολογική αυτή δραστηριότητα είναι πολύ έντονη σε μικρά βάθη και ελαττώνεται όσο το βάθος αυξάνεται. Σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας, η δράση των βακτηριδίων επεκτείνεται μέχρι τα 1000-2000 μέτρα.

Τα βακτηρίδια διασπούν την οργανική ύλη δίνοντας H_2S , CO_2 και CH_4 (βιογενές), ενώ απομένει ένα πολύπλοκο αδιάλυτο υπόλειμμα που υπεισέρχεται στη σύνθεση του κηρογόνου. Το κηρογόνο αποτελεί την αφετηρία μιας μακράς εξέλιξης που μπορεί να οδηγήσει στους υδρογονάνθρακες.

Ως κηρογόνο χαρακτηρίζονται τα οργανικά συστατικά των ιζηματογενών πετρωμάτων που είναι αδιάλυτα στους οργανικούς διαλύτες και αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή οργανικής ύλης στη Γη (Γεωργακόπουλος, 1990).

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι κηρογόνου ανάλογα με την οργανική ύλη από την οποία προήλθε. Έτσι, οι υδρογονάνθρακες που δημιουργούνται είναι ανάλογοι του τύπου του κηρογόνου από το οποίο δημιουργήθηκαν. Χαρακτηριστικό επομένως του σταδίου της διαγένεσης είναι η παραγωγή κηρογόνου και ο μόνος υδρογονάνθρακας που δημιουργείται σε σημαντικές ποσότητες είναι το βιογενές μεθάνιο.

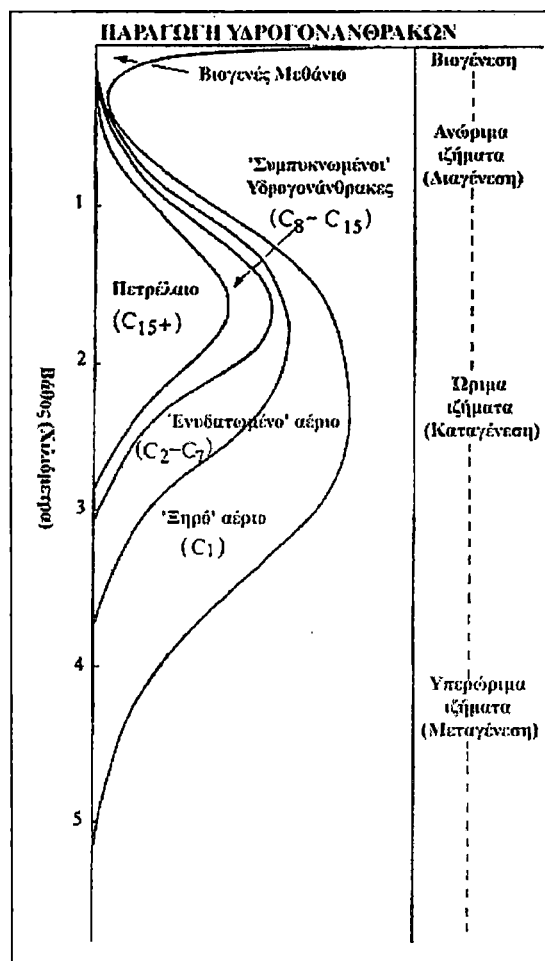
β) Καταγένεση ή ώριμο στάδιο (Katagenesis).

Με την αύξηση του βάθους και συνεπακόλουθα της θερμοκρασίας, αρχίζει το στάδιο της καταγένεσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει χημικές ανακατατάξεις, που έχουν σκοπό να οδηγήσουν σε ένα προϊόν σταθερό, αφού προηγουμένως εξουδετερωθούν όλοι οι ασταθείς δεσμοί. Σε θερμοκρασία 50° - $60^{\circ}C$, οι πρώτες χημικές αντιδράσεις οδηγούν στο σπάσιμο των πιο αδύνατων δεσμών του οργανικού οικοδομήματος και απελευθέρωση αρχικά NH_3 και κατόπιν CO_2 , H_2S και H_2O . Οι υδρογονάνθρακες εμφανίζονται κάποια στιγμή ως ένα αναγκαίο στάδιο της μετατροπής της οργανικής ύλης υπό την επίδραση της θερμοκρασίας προς αναζήτηση μεγαλύτερης χημικής σταθερότητας. Η δράση του

παράγοντα θερμοκρασία αρχίζει ουσιαστικά στο στάδιο της καταγένεσης το οποίο διαχωρίζεται επίσης σε δύο επί μέρους στάδια:

Το στάδιο της ασθενούς καταγένεσης κατά το οποίο έχουν παραγωγή υγρών υδρογονανθράκων, δηλαδή πετρελαίου, όπως και 'συμπυκνωμένων' υδρογονανθράκων (condensate hydrocarbons).

Το στάδιο που χαρακτηρίζεται από περαιτέρω διάσπαση των δεσμών μεταξύ των ατόμων άνθρακα του κηρογόνου, καθώς και από τη διάσπαση του ήδη σχηματισθέντος πετρελαίου, που δίδει το λεγόμενο 'υγρό φυσικό αέριο' (wet gas) (Floodgate and Judd, 1992; Χριστίδης, 1997).



Εικ. 1: Η παραγωγή των υδρογονανθράκων συναρτήσει του βάθους (Τροποποίηση από Floodgate and Judd, 1992).

Fig. 1: Generation of hydrocarbons according to depth (Modified from Floodgate and Judd, 1992).

γ) Μεταγένεση ή υπερώριμο στάδιο (Metagenesis).

Στο στάδιο αυτό το κηρογόνο έχει αποκτήσει χημική σταθερότητα και ο κύριος υδρογονάνθρακας που παράγεται είναι το μεθάνιο που στην περίπτωση

αυτή καλείται ‘ξηρό’ αέριο (dry gas) (Floodgate and Judd, 1992), ή θερμογενές μεθάνιο.

Το βάθος και ο χρόνος ενεργοποίησης του κάθε σταδίου ωριμότητας, ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του κηρογόνου και τη γεωθερμική βαθμίδα. Οι περιοχές στις οποίες οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και τα μητρικά πετρώματα είναι ώριμα, ονομάζονται «κουζίνες» (oil kitchens).

3. ΒΙΟΓΕΝΕΣ ΑΕΡΙΟ (Biogenic gas)

3.1 Εισαγωγή (Introduction)

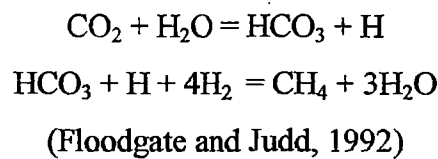
Το βιογενές αέριο προέρχεται από βακτηριακή δραστηριότητα στα ανώτερα στρώματα των ιζημάτων και σε βάθος λίγων μέτρων. Βακτηριακή όμως, δραστηριότητα έχει διαπιστωθεί και εκατοντάδες μέτρα μέσα στα ιζήματα. Αν και τα βακτηρίδια αναπτύσσονται και μεταβολίζουν πολύ αργά, μετά την παρέλευση μεγάλου χρονικού διαστήματος, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι πολύ σημαντικά.

Το βιογενές αέριο αποτελεί το 20% περίπου της συνολικής ποσότητας του φυσικού αερίου και σχηματίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και βάθη. Προκύπτει από την αναερόβια μετατροπή διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο και σχηματίζεται σε περιβάλλοντα με υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης, όπου η οργανική ύλη καλύπτεται από μεγάλες ποσότητες ιζημάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα δέλτα μεγάλων ποταμών όπως είναι ο Μισισσιπής, ο Αμαζόνιος, ο Νείλος, ο Νίγηρας (Χριστίδης, 1997).

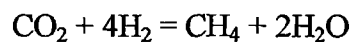
Μεθάνιο υπό αναερόβιες συνθήκες, μπορούν να συνθέσουν μερικά μόνο είδη βακτηριδίων, τα οποία ανήκουν σε μία αρχαία ομάδα που ονομάζεται Αρχαιοβακτήρια (Archæbacteria). Αυτά ενσωματώνουν ειδικά χαρακτηριστικά, όπως μεμβράνες που περιέχουν φυτανυλαιθέρες (phytanylethers), αντί για φωσφολιπίδια ενωμένα με εστέρες (ester linked phospholipids) που συναντώνται σε άλλους οργανισμούς. Αυτό το χαρακτηριστικό των βακτηριδίων, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συγκέντρωσής τους στα θαλάσσια ιζήματα, ενώ το μεθάνιο που παράγουν αντικατοπτρίζει την βιομάζα που

περιέχεται σε αυτά (Smith and Floodgate, 1992). Τα Αρχαιοβακτήρια είναι ποικιλόμορφα περιλαμβάνοντας σχηματισμούς σφαιρικούς, λοβώδεις, κυκλικούς, ραβδοειδείς και νηματοειδείς. Τα κύτταρά τους ποικίλουν σε μέγεθος από 0,1μm σε μεγαλύτερα από 15μm. Πολλαπλασιάζονται με εγκάρσια διχοτόμηση του κυττάρου τους. Το χρώμα της αποικίας τους μπορεί να είναι κόκκινο, ροζ, μωβ, πορτοκαλί, καφέ, κίτρινο ή πρασινόμαυρο. Τα μεθανογενή Αρχαιοβακτήρια απαντώνται σε πολλά εδάφη όπως σε βάλτους, ορυζάνες, στα ιζήματα γλυκών και θαλασσιών νερών, καθώς και στο έντερο των ζώων, ειδικά των μηρυκαστικών, σε εργοστάσια βιολογικού καθαρισμού και χωματερές (Rice and Claypool, 1981; Floodgate and Judd, 1992). Είναι όλα αυστηρώς αναερόβια.

Χαρακτηριστικό των μεθανογενών βακτηριδίων είναι ότι μπορούν να συνθέσουν υδρογονάνθρακες από περιορισμένο αριθμό ουσιών, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το οξικό άλας, το μυρμηγκικό άλας, η μεθανόλη και οι μεθυλαμίνες. Πολλά είδη μπορούν να αναγάγουν το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο χρησιμοποιώντας υδρογόνο, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



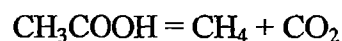
ή



(McCarty, 1964; In: Barnes and Goldberg, 1976)

Αν και η αναερόβια αυτή διαδικασία δεν είναι αποδοτική από πλευράς ενέργειας, δίνει την απαραίτητη ενέργεια που σαν ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη) συμβάλει στην αύξηση του βακτηριδίου (Large, 1983; In: Floodgate and Judd, 1992).

Μεθάνιο μπορεί να παραχθεί και με την οξείδωση του οξικού οξέως (McCarty, 1964; In: Barnes and Goldberg, 1976), σύμφωνα με την αντίδραση:



Η οικογένεια Methanosarcinaceae έχει την ιδιότητα να συνθέτει μεθάνιο από πολλά είδη υποστρωμάτων όπως είναι το οξικό άλας, η μεθανόλη και οι μεθυλαμίνες (Floodgate and Judd, 1992).

Η παραγωγή μεθανίου με διαγενετικές διαδικασίες χαμηλών θερμοκρασιών σε οργανικά υποστρώματα ανοξικών περιβαλλόντων, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές συγκεντρώσεις αυτού, όταν τα ιζήματα είναι κατάλληλα. Εν τούτοις, η συγκέντρωση του μεθανίου στα θαλάσσια ιζήματα και το θαλασσινό νερό διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα μέχρι το διαλυμένο θείο να αναχθεί πλήρως από βακτηρίδια, όπως είναι τα *Desulfovibrio* (Atkinson and Richards, 1967; Lamontagne *et al.*, 1973; Martens and Berner, 1974; In: Barnes and Goldberg, 1976).

3.2 Ο βακτηριακός μεταβολισμός στα θαλάσσια ιζήματα (Microbial metabolism in marine sediments)

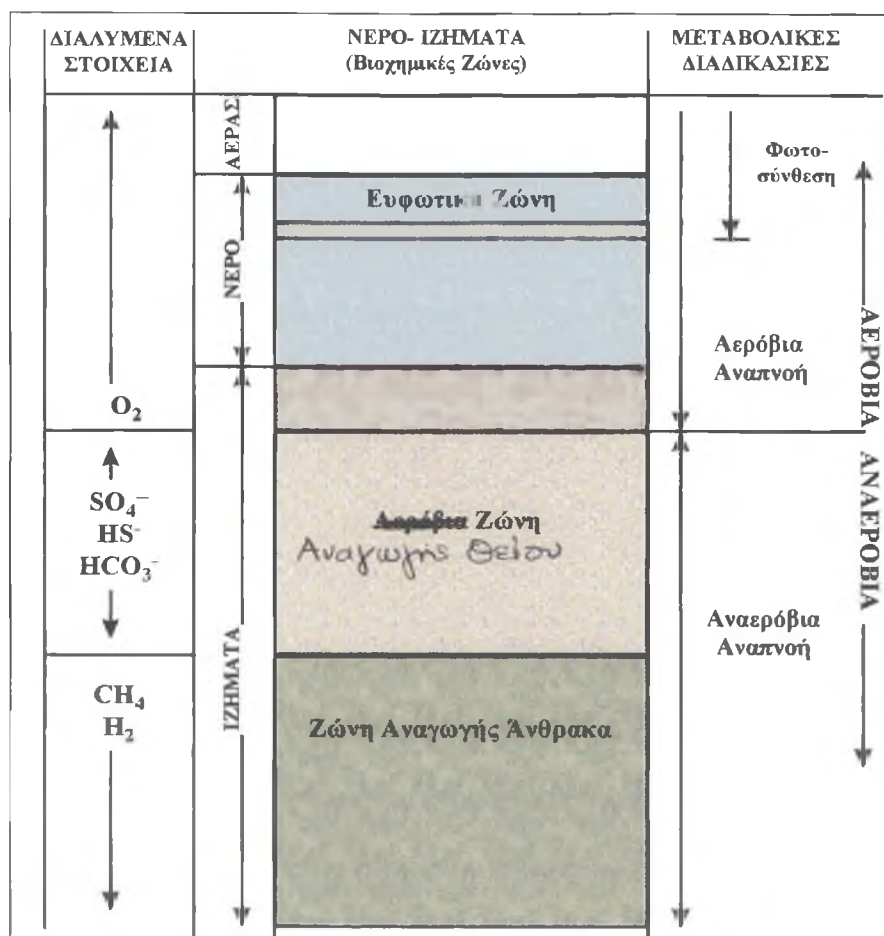
Η κάθετη τομή πλούσιων σε οργανική ύλη θαλασσιών ιζημάτων, παρουσιάζει μία εναλλαγή μικροβιακών οικοσυστημάτων. Οι αλληλεπιδράσεις ιζηματολογικών και οικολογικών παραγόντων, διαμορφώνουν τρία ξεχωριστά βιοχημικά περιβάλλοντα, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από μία κυρίαρχη μορφή αναπνοής. Οι τρεις ζώνες που διαμορφώνονται είναι οι εξής (Εικ. 2):

- α) Η αερόβια ζώνη.
- β) Η αναερόβια ζώνη αναγωγής θείου.
- γ) Η αναερόβια ζώνη αναγωγής άνθρακα (και μεθανογένεσης).

Η παρουσία των ζωνών αυτών χαρακτηρίζεται από διαδοχικά λιγότερο αποτελεσματικές αναπνευστικές διαδικασίες. Σε κάθε ζώνη, ο κυρίαρχος μικροβιακός πληθυσμός εκμεταλλεύεται στο έπακρο τις υπάρχουσες συνθήκες του περιβάλλοντος που βρίσκεται και σταδιακά δημιουργεί ένα νέο περιβάλλον που προτιμάται από κάποιον άλλο πληθυσμό. Δηλαδή, η διαδοχή των ζωνών είναι αποτέλεσμα μιας γεωχημικής αλληλουχίας περιβαλλοντικών αλλαγών, που δημιουργούν οι μικροοργανισμοί. Όταν η οικολογική διαδοχή των ζωνών εδραιωθεί, οι βιοχημικές ζώνες μεταφέρονται προς τα άνω, με το πέρασμα του χρόνου, συγχρονιζόμενες με το ρυθμό απόθεσης καινούριων ιζημάτων.

Η αερόβια αναπνοή που χρησιμοποιεί την οργανική ύλη, είναι η πιο αποδοτική διαδικασία παραγωγής ενέργειας για τους μικροοργανισμούς. Η αερόβια ζώνη στο θαλάσσιο περιβάλλον, αποτελείται από την υδάτινη στήλη και

το ανώτερο τμήμα των ιζημάτων. Όταν το οξυγόνο καταναλωθεί, οι υποχρεωτικά αερόβιοι οργανισμοί δεν μπορούν να αναπτυχθούν. Οι προαιρετικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί, μπορούν να αλλάζουν την λειτουργία τους σε αναερόβια, όμως αυτοί οι οργανισμοί δεν αφθονούν στα θαλάσσια ιζήματα και δεν προσφέρουν πολλά στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης.



Εικ. 2: Απεικόνιση κάθετης τομής ενός πλούσιου σε οργανική ύλη θαλάσσιου περιβάλλοντος, η οποία δείχνει τη διαδοχή των μικροβιακών οικοσυστημάτων που οδηγούν σε παραγωγή μεθανίου (Τροποποίηση από Rice and Claypool, 1981).

Fig. 2: Figure which illustrates a cross section of an organic rich marine environment, and the succession of microbial ecosystems that lead to methane generation (Redrawn and modified from Rice and Claypool, 1981).

Τότε, παρουσία ανοξικών συνθηκών στο θαλάσσιο περιβάλλον, η κατανάλωση του θείου γίνεται η κυρίαρχη μορφή αναπνοής, λόγω της σχετικά υψηλής συγκέντρωσής του στο νερό (0,028M). Λίγα μόνο βακτηριακά είδη ανέχονται την ύπαρξη του H_2S που είναι το τελικό προϊόν της αναγωγής του θείου. Τα μεθανογενή βακτηρίδια θα έπρεπε να είναι ενεργά στη ζώνη αναγωγής

του θείου, αλλά η συγκέντρωση του μεθανίου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της οξειδωσής του από βακτηρίδια του γένους *Desulfonivbrio*, τα οποία και το καταναλώνουν (Barnes and Golberg, 1976).

Κάτω από τη ζώνη αναγωγής του θείου, η αναγωγή του CO_2 γίνεται η κυρίαρχη διαδικασία αναγωγής και οδηγεί στην παραγωγή μεθανίου, αφού η αναγωγή θείου έχει σχεδόν ολοκληρωθεί και η συγκέντρωσή του τείνει να μηδενιστεί.

Έρευνες αποκαλύπτουν ότι το μεθάνιο που παράγεται στη ζώνη αυτή, καταναλώνεται στην υπερκείμενη ζώνη αναγωγής θείου, έτσι ώστε η ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση του μεθανίου, να αποτελεί σημαντικό παράγοντα ελέγχου της κατανομής του μεθανίου στα θαλάσσια ιζήματα (Barnes and Goldberg, 1976; Rice and Claypool, 1981). Η αναγωγή του CO_2 , είναι ενεργειακά ο πιο ικανοποιητικός μηχανισμός παραγωγής μεθανίου και πιθανόν αντιπροσωπεύει το μέγιστο της παραγωγής του, αν και άλλοι μηχανισμοί είναι επίσης διαθέσιμοι.

3.3 Προϋποθέσεις παραγωγής βιογενούς μεθανίου (CH_4) (Requirements for biogenic methane production)

Η παραγωγή βιογενούς αερίου ελέγχεται από ορισμένους παράγοντες, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την έναρξη της παραγωγής του μεθανίου αλλά και για τη διατήρησή της για κάποιο χρονικό διάστημα, ώστε να σχηματιστούν σημαντικές ποσότητες αερίου. Οι προϋποθέσεις αυτές της παραγωγής μεθανίου είναι οι εξής:

α) Το ανοξικό περιβάλλον

Τα μεθανογενή βακτήρια είναι αυστηρώς αναερόβια και δεν ανέχονται ούτε ίχνη O_2 .

β) Απουσία θείου

Στα περιβάλλοντα όπου η συγκέντρωση του θείου στο νερό είναι χαμηλή, όπως στο υφάλμυρο ή γλυκό νερό, η παραγωγή μεθανίου ξεκινά αμέσως μετά την κατανάλωση του O_2 . Έτσι, η παραγωγή μεθανίου παρατηρείται εύκολα σε έλη,

λίμνες και βάλτους, όπου λαμβάνει χώρα κοντά στην επιφάνεια των ιζημάτων και φυσαλίδες ελευθερώνονται αμέσως από το ιζημα.

Στο θαλάσσιο περιβάλλον όμως, όπου η συγκέντρωση του θείου είναι σχετικά υψηλή (0,028M), πρέπει μετά την κατανάλωση του O₂ να καταναλωθεί και όλο σχεδόν το θείο, για να παραχθεί μεθάνιο. Για να μειωθεί η συγκέντρωση του θείου σημαντικά, πρέπει πρώτα τα ιζήματα να ταφούν σε βάθος δεκάδων μέτρων. Συνεπακόλουθα, είναι δύσκολο να παρατηρηθεί η μεθανογένεση στο θαλάσσιο περιβάλλον.

γ) Θερμοκρασία

Παραγωγή μεθανίου από βακτηρίδια μπορεί να πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασίες 0°C-75°C. Παρά το μεγάλο αυτό εύρος θερμοκρασιών, το βέλτιστο εύρος κάθε είδους βακτηριδίων είναι κατά πολύ περιορισμένο. Για παράδειγμα, οι βέλτιστες θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του *Methanobacterium thermoautotrophicus*, το οποίο είναι ιδιαίτερα θερμοφίλο, είναι 65°C με 70°C. Στα ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα του Βορρά, οι εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας έχουν ως αποτέλεσμα να πραγματοποιείται το μέγιστο της παραγωγής μεθανίου, το καλοκαίρι. Σε μεγαλύτερα βάθη, οι θερμοκρασίες και οι ρυθμοί μεθανογένεσης είναι πιο σταθεροί και διαρκείς, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

γ) Παρουσία οργανικής ύλης

Η παρουσία οργανικής ύλης είναι απαραίτητη για την παραγωγή μεθανίου και συνήθως συγκεντρώνεται σε λεπτόκοκκα ιζήματα.

δ) Χώρος

Ένας ελάχιστος χώρος απαιτείται ώστε να δράσουν τα βακτηρίδια, ειδικά στα λεπτόκοκκα ιζήματα όπου συγκεντρώνεται η οργανική ύλη. Οι τυπικοί πόροι σχιστόλιθου έχουν μέσο μέγεθος 1-3nm. Τα βακτηρίδια έχουν μέσο μέγεθος 1-10nm, που σημαίνει ότι αδυνατούν να λειτουργήσουν σε ένα συμπαγοποιημένο σχιστόλιθο. Η μεθανογένεση λαμβάνει χώρα σε βάθη από λίγα εκατοστά έως και εκατοντάδες μέτρα. Ο μεγαλύτερος όγκος του βιογενούς αερίου παράγεται σε βάθη 1000 μέτρων.

4. ΘΕΡΜΟΓΕΝΕΣ ΑΕΡΙΟ (Thermogenic gas)

Το θερμογενές αέριο παράγεται από οργανική αρχική ύλη στο στάδιο της μεταγένεσης, σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας από τη διάσπαση του κηρογόνου (kerogen), δηλαδή σε μεγάλα βάθη. Περιέχει μεθάνιο και συγκεντρώσεις βαρύτερων αερίων υδρογονανθράκων όπως είναι το προπάνιο και το βουτάνιο. Αυτό το αέριο, όπως και τα άλλα πετρελαιοειδή, μπορεί να ανέλθει προς την επιφάνεια και να παγιδευτεί σε συγκεντρώσεις αερίων στα ανώτερα στρώματα του πυθμένα.

Όπως και στη δημιουργία του βιογενούς μεθανίου, οι περισσότεροι θερμογενείς υδρογονάνθρακες δημιουργούνται σε λεπτόκοκκα ιζήματα (πηλόλιθους, αργιλόλιθους, σχιστόλιθους και ορισμένους ασβεστόλιθους). Αντίθετα, ελάχιστη οργανική ύλη απαντάται σε αδρόκοκα ιζήματα (άμμοι, αμμόλιθους κ.λπ.), γιατί εναποτίθενται σε περιβάλλοντα υψηλότερης ενέργειας, όπου το οργανικό υλικό έχει ελάχιστες πιθανότητες να συσσωρευτεί.

Η θεωρία της παραγωγής του θερμογενούς αερίου από οργανική ύλη είναι η επικρατέστερη, όμως υπάρχει και το ενδεχόμενο δημιουργίας του και από ανόργανη ύλη.

5. ΆΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΑ (Other sources of gas hydrocarbons in general)

Υπάρχουν αποδείξεις ότι το μεθάνιο απαντάται σε υδροθερμικές εκροές και περιοχές ηφαιστειακής δραστηριότητας. Θεωρείται ότι μεγάλες ποσότητες μεθανίου, δεν έχουν χαθεί στα πρώτα στάδια της ανθρώπινης ιστορίας, αλλά συνεχίζουν μέχρι και σήμερα να αναδύονται από τον μανδύα, ειδικά κατά μήκος βαθιών ρηγμάτων (Gold and Soter, 1980; In: Floodgate and Judd, 1992).

Υδροθερμικά ή ηφαιστειακά ή αέρια από τα έγκατα της γης (deep earth gas), επίσης μπορούν να παγιδευτούν στα ανώτερα στρώματα των ιζημάτων, σχηματίζοντας συγκεντρώσεις «επιφανειακών αερίων» (shallow gas).

Άλλη πιθανή πηγή δημιουργίας αερίων στα ανώτερα στρώματα του πυθμένα, είναι η αποσταθεροποίηση των ενυδατωμένων υδρογονανθράκων (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι). Αυτοί είναι κρυσταλλικές ενώσεις προερχόμενες από την

ένωση νερού και φυσικού αερίου (κυρίως μεθανίου), οι οποίες δημιουργούνται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (υψηλές πιέσεις και χαμηλές θερμοκρασίες) (Hovland, 1984; Hovland and Judd, 1988; Floodgate and Judd, 1992). Έχουν αναφερθεί στα ρηχά αρκτικά και στα βαθιά ωκεάνια ιζήματα και συνήθως απαντώνται σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη.

6. Η ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (Hydrocarbon migration)

6.1 Εισαγωγή (Introduction)

Η μετανάστευση λαμβάνει χώρα σε δύο φάσεις την πρωτογενή (primary) και τη δευτερογενή (secondary) μετανάστευση. Αυτές οι φάσεις διαχωρίζονται όχι λόγω διαφορών στους μηχανισμούς μετανάστευσης, αλλά από τις διαφορετικές πετροφυσικές ιδιότητες των στρωμάτων που διασχίζουν οι υδρογονάνθρακες κατά τη μετανάστευσή τους. Επομένως, η μετανάστευση των υδρογονανθράκων εξαρτάται από τα ιζηματολογικά, τα δομικά, τα παλαιογεωγραφικά και τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά μιας ιζηματογενούς λεκάνης (Γεωργακόπουλος, 1990).

Έτσι, η πρωτογενής μετανάστευση αναφέρεται στην μετακίνηση του πετρελαίου μέσα και έξω από τα συμπαγοποιημένα μητρικά πετρώματα, ενώ η δευτερογενής μετανάστευση αναφέρεται στην κίνηση των υδρογονανθράκων που έχουν απομακρυνθεί από το μητρικό πέτρωμα και κινούνται προς και δια μέσω πορωδών και διαπερατών αποθηκευτικών πετρωμάτων.

Και στις δύο περιπτώσεις η μετακίνηση πραγματοποιείται δια μέσω μικροσκοπικών ρωγμών, πόρων και τριχοειδών, κορεσμένων με το θερμό, αλατούχο και υπό πίεση νερό των πόρων. Η διαφορά μεταξύ των δύο ειδών μετανάστευσης των υδρογονανθράκων βρίσκεται στο μέγεθος των πόρων των πετρωμάτων μέσα από τα οποία θα περάσουν: στην πρωτογενή μετανάστευση η μετακίνηση γίνεται δια μέσω των μικροσκοπικών πόρων του μητρικού πετρώματος, ενώ στη δευτερογενή δια μέσω ιζημάτων μεγάλου σχετικά πορώδους (Χριστίδης, 1997).

6.2 Η πρωτογενής μετανάστευση (Primary migration)

Η πρωτογενής μετανάστευση διακρίνεται σε δύο φάσεις:

- Την απελευθέρωση των υδρογονανθράκων από το κηρογόνο ή το μητρικό πέτρωμα.
- Τη μετακίνησή τους δια μέσου του μητρικού πετρώματος μέχρι να συναντήσουν περισσότερο πορώδη και διαπερατά στρώματα.

Θεωρητικά η μετανάστευση των υδρογονανθράκων γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Ως μοριακά διαλύματα μέσα στο νερό.
- Ως κολλοειδή διαλύματα, υπό τη μορφή γαλακτώματος.
- Σε ελεύθερη αιώρηση ως ανεξάρτητο πετρέλαιο.

Δεν υπάρχει συγκεκριμένος μηχανισμός που να περιγράφει την πρωτογενή μετανάστευση, αλλά πολλά στάδια που αλληλοσυμπληρώνονται και των οποίων η σημασία εξαρτάται από τη φύση των υδρογονανθράκων και το βάθος που αυτοί απαντώνται (Γεωργακόπουλος, 1990).

Ο Χριστίδης (1997) υποστηρίζει ότι η πρωτογενής μετανάστευση στα πρώτα της στάδια γίνεται με διάχυση, η οποία σταδιακά αντικαθίσταται με ροή, κατευθυνόμενη από την πίεση. Ο ίδιος αναφέρει ότι η μετακίνηση μεμονωμένων φυσαλίδων, σταγονιδίων και κολλοειδών μορίων είναι απίθανο να λαμβάνει χώρα ως κύριος μηχανισμός μετανάστευσης. Επίσης αναφέρει ότι η αυτοτελής μετακίνηση των υδρογονανθράκων είναι δύσκολη διότι στις περισσότερες των περιπτώσεων βρίσκονται στα μητρικά πετρώματα αναμεμειγμένοι με νερό των πόρων.

6.3 Η δευτερογενής μετανάστευση (Secondary migration)

Δευτερογενής μετανάστευση καλείται η κίνηση των υδρογονανθράκων δια μέσω πορωδών και διαπερατών αποθηκευτικών στρωμάτων και διαφέρει από την πρωτογενή ως προς την πυκνότητα, τη διαπερατότητα και το πορώδες των πετρωμάτων μέσω των οποίων διέρχονται οι υδρογονάνθρακες. Η μετανάστευση αυτή δε, περατώνεται με την παγίδευση των υδρογονανθράκων στα αποθηκευτικά

πετρώματα ή ταμιευτήρες (reservoirs), και τη δημιουργία συγκεντρώσεων οι οποίες αποτελούν τα κοιτάσματα. Τεκτονικά φαινόμενα όπως είναι τα ρήγματα, οι ρωγμές και οι πτυχώσεις, μπορούν να αποτελέσουν αιτία αναδιανομής και εκ νέου μετανάστευσης του πετρελαίου εισάγοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, μία επιπλέον φάση στη δευτερογενή μετανάστευση (Γεωργακόπουλος, 1990), που χαρακτηρίζεται **τριτογενής μετανάστευση** ή επανα-μετανάστευση (Χριστίδης, 1997).

Το πέρας ή όχι της δευτερογενούς μετανάστευσης εξαρτάται από την σχέση που θα υπάρξει ανάμεσα στην κινητήρια δύναμη και την τριχοειδή πίεση που τείνει να σταματήσει την κίνηση των υδρογονανθράκων. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η κίνηση ή μη, του ύδατος που περιέχεται μέσα στα αποθηκευτικά πετρώματα (Γεωργακόπουλος, 1990).

Η δευτερογενής μετανάστευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάχυση ή συσσωρευμένη ροή και ελέγχεται από τους παρακάτω παράγοντες (Γεωργακόπουλος, 1990; Χριστίδης, 1997):

- ◆ Την άνοδο και, κατά συνέπεια, τη διέλευση του πετρελαίου και των αερίων εξαιτίας της άνωσης, μέσα από πορώδη πετρώματα κορεσμένα με νερό.
- ◆ Την ύπαρξη πίεσης λόγω τριχοειδών φαινομένων.
- ◆ Την υδροδυναμική ροή των ρευστών.

Αν το νερό του αποθηκευτικού πετρώματος είναι στατικό, η μόνη κινητήρια δύναμη της δευτερογενούς μετανάστευσης είναι η άνοση. Εφόσον υπάρχει ροή νερού, η άνοση του πετρελαίου και του αερίου μπορεί να μεταβάλλεται από τη ροή αυτή.

Η τριχοειδής πίεση αποτελεί αιτία παγίδευσης υδρογονανθράκων στους πόρους των πετρωμάτων. Σφαιρίδια πετρελαίου ή φυσαλίδες αερίου με διάμετρο μεγαλύτερη από τους πόρους πρέπει να παραμορφωθούν προτού τους διαπεράσουν.

Η άνοση ωθεί το πετρέλαιο να διέλθει από τους πόρους, ενώ η τριχοειδής πίεση το παρεμποδίζει. Η δύναμη της άνωσης είναι ποσοτικά ανάλογη του βάθους και της διαφοράς του ειδικού βάρους μεταξύ νερού και πετρελαίου. Ανάλογα φαινόμενα συμβαίνουν και στους αέριους υδρογονάνθρακες με τη

διαφορά ότι η άνωση είναι πολύ μεγαλύτερη. Όταν η τριχοειδής πίεση είναι πολύ υψηλή, οι πόροι των πετρωμάτων πολύ στενοί και η πίεση των τριχοειδών υπερβεί τη δύναμη της άνωσης, το μεταναστεύον πετρέλαιο ή αέριο παγιδεύεται και συσσωρεύεται (Γεωργακόπουλος, 1990; Χριστίδης, 1997).

Οι αποστάσεις που καλύπτονται κατά τη δευτερογενή μετανάστευση είναι της τάξεως των δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιομέτρων. Η απόσταση που διανύεται μπορεί να φτάσει και τα 100Km (Χριστίδης, 1997).

Η δευτερογενής μετανάστευση μπορεί να διακριθεί στην πλευρική και την κατακόρυφη (Γεωργακόπουλος, 1990).

Κατά την **πλευρική μετανάστευση**, οι υδρογονάνθρακες μετακινούνται στην οροφή διαπερατών στρωμάτων πλησίον στα αδιαπέραστα καλύμματα (cap rocks). Η μετακίνηση των ρευστών διευκολύνεται, όσο πιο λεία είναι η διαχωριστική επιφάνεια.

Κατά την **κατακόρυφη μετανάστευση**, η μετακίνηση των υδρογονανθράκων συνδέεται με τεκτονικά φαινόμενα όπως είναι οι ρωγμές και τα ρήγματα. Σε περίπτωση απουσίας τεκτονικών αιτιών, η κατακόρυφη μετανάστευση διενεργείται μέσω των πόρων του καλύμματος (cap rock) και συνήθως αφορά σε αέρια.

Το μετακινούμενο πετρέλαιο μπορεί να παγιδευτεί σε διάφορες γεωλογικές δομές αδιαπέραστων πετρωμάτων όπως οι σχιστόλιθοι, που παρεμποδίζουν προσωρινά την ανοδική του κίνηση.

Η ικανότητα του εκάστοτε υδρογονάνθρακα να κινείται ανοδικά εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Όσον αφορά στη συσσωρευμένη ροή, οι υδρογονάνθρακες με τη μικρότερη πυκνότητα, θα έχουν την υψηλότερη κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης (buoyancy force), ενώ όσον αφορά στην διάχυση, η διαλυτότητα στο νερό των πόρων, μειώνεται σημαντικά με την αύξηση των ατόμων άνθρακα. Και στις δύο περιπτώσεις, οι ελαφρύτεροι υδρογονάνθρακες είναι οι ικανότεροι για μετακίνηση. Το μεθάνιο είναι ο πιο κινητικός από όλους τους υδρογονάνθρακες. Στην πράξη, οι ελαφρύτεροι υδρογονάνθρακες, ειδικά το μεθάνιο, ακολουθούμενο από το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο, το πεντάνιο και το εξάνιο, είναι οι πιο κοινοί θερμογενείς υδρογονάνθρακες που απαντώνται στα επιφανειακά στρώματα του πυθμένα, ή

πλησίον αυτών. Ο ρυθμός μετανάστευσης, ειδικά στα βαθύτερα στρώματα, είναι αρκετά αργός, όπως οι περισσότερες γεωλογικές διαδικασίες. Εν τούτοις, ενώ τα πλούσια σε οργανική ύλη ιζήματα παραμένουν ώριμα, καθώς οι γεωλογικές περίοδοι περνούν, υπάρχει άφθονος χρόνος για τους θερμογενείς υδρογονάνθρακες, ειδικά τους αέριους, να μεταναστεύσουν και να δημιουργήσουν συσσωρεύσεις αερίων στα ανώτερα στρώματα του πυθμένα (shallow gas). Συν τοις άλλοις, καθώς υπάρχει μικρή πιθανότητα να διακοπεί η διαδικασία δημιουργίας υδρογονανθράκων, δεν υπάρχει λόγος να σταματήσει η μετανάστευσή τους στο προβλεπόμενο μέλλον.

Έτσι, η παροχή μεθανίου στις συσσωρεύσεις αερίων στα ανώτερα στρώματα του πυθμένα, μπορεί να θεωρηθεί συνεχής.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (Conclusions)

Συνοψίζοντας, το μεθάνιο μπορεί να παραχθεί από οργανική ύλη, με τη βοήθεια βακτηριδιακών ή θερμοχημικών διαδικασιών. Αυτές οι δύο διαδικασίες λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά βάθη κάτω από τον πυθμένα. Όμως, τα παραγόμενα από βακτηρίδια, βιογενή αέρια στα πρώτα ανώτερα στρώματα του πυθμένα, μπορούν να ταφούν σε σημαντικά μεγάλα βάθη. Αντίστοιχα, θερμογενή αέρια από μεγάλα βάθη, μπορούν να μεταναστεύσουν στην επιφάνεια.

Συνεπώς, οι συγκεντρώσεις αερίων στα ανώτερα στρώματα του πυθμένα (δηλαδή στα πρώτα 1000m των ιζημάτων του πυθμένα), μπορεί να περιέχουν μεθάνιο οποιασδήποτε προέλευσης. Γενικά όμως, ο προσδιορισμός της προέλευσης των αερίων είναι δύσκολος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (TECHNIQUES FOR STUDING, OBSERVING AND SAMPLING THE SEAFLOOR)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων (ΑΥ) στους πόρους των ιζημάτων μπορεί να εντοπιστεί με τη χρήση οργάνων διασκόπησης του θαλάσσιου πυθμένα. Αυτά τα όργανα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Όργανα σεισμικής διασκόπησης
- Όργανα οπτικής διασκόπησης
- Δειγματοληπτικές συσκευές

2. ΟΡΓΑΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ (Seismo-acoustic equipment)

2.1 Εισαγωγή (Introduction)

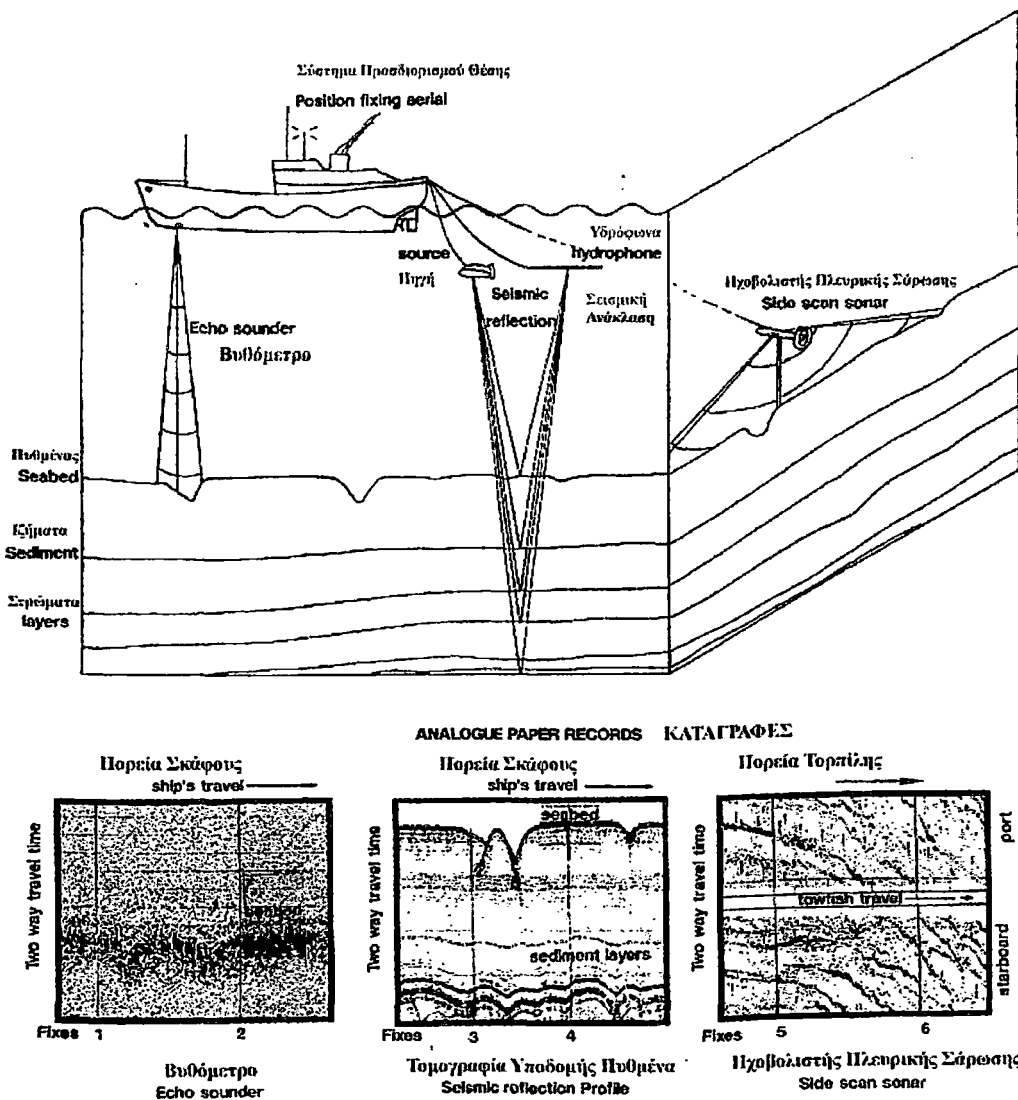
Τα όργανα αυτά αποτελούν ηχοβολιστικές συσκευές οι οποίες δίνουν πληροφορίες για τη βυθομετρία, τη μορφολογία και τη γεωλογία του πυθμένα. Απαρτίζονται από τέσσερα κύρια τμήματα: τον πομπό (transmitter), τον προβολέα (transducer), το δέκτη (receiver) και τον καταγραφέα (recorder). Η λειτουργία του πομπού είναι να παράγει ενέργεια υπό τη μορφή παλμών ηλεκτρικών ταλαντώσεων. Στον προβολέα η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε ήχο ο οποίος μεταδίδεται στο νερό και αντίστροφα τα ηχητικά κύματα των ανακλάσεων που επιστρέφουν, μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία του δέκτη είναι να ενισχύει τις ασθενείς ηλεκτρικές ταλαντώσεις που παράγονται στον προβολέα από τις επιστρέφουσες ανακλάσεις, ούτως ώστε αυτές να καταγράφονται. Η καταγραφική μονάδα ενεργοποιεί τον πομπό και υπολογίζει

το χρονικό διάστημα μεταξύ της εκπομπής του ηχητικού παλμού και της πρόσληψης της ανάκλασής του (FAO, 1980).

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης ηχητικής δέσμης (μήκος κύματος, συχνότητα, εύρος ηχητικής δέσμης, γωνία πρόσπτωσης ηχητικού παλμού) και τη μορφή της καταγραφής, διακρίνονται σε:

- ◆ Τομογράφους υποδομής πυθμένα (subbottom profilers)
- ◆ Ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης (side scan sonars)

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 3) παριστάνεται τρισδιάστατο σκαρίφημα του θαλάσσιου πυθμένα όπου παρουσιάζονται τα όργανα σεισμικής διασκόπησης του πυθμένα, καθώς και τα είδη των καταγραφών που αυτά δίδουν.



Εικ. 3: Τρισδιάστατη απεικόνιση του θαλάσσιου πυθμένα στο οποίο παρουσιάζονται τα συστήματα σεισμικής διασκόπησης που χρησιμοποιούνται στις γεωφυσικές έρευνες (Τροποποιημένη από Judd and Hovland, 1992).

Fig. 3: 3-dimentional picture of the seabed which illustrates the seismo- acoustic equipment used in a geophysical survey (Modified from Judd and Hovland, 1992).

2.2 Τομογράφοι υποδομής πυθμένα (Subbottom profilers)

2.2.1 Αρχή λειτουργίας (*Theory of operation*)

Οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα εκπέμπουν ηχητικά κύματα χαμηλών και μεσαίων συχνοτήτων, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται διείσδυση δια μέσου της επιφάνειας του πυθμένα στα βαθύτερα υποστρώματά του. Όταν τα ηχητικά κύματα αυτά συναντήσουν μια διαχωριστική επιφάνεια (επιφάνεια ασυνέχειας), ανακλώνται. Οι ανακλάσεις τους αυτές, επιστρέφουν στον πομπό/δέκτη του οργάνου και αφού ενισχυθούν, αναλυθούν και υποστούν επεξεργασία, καταγράφονται σε ηλεκτροευαίσθητο χαρτί (Ross, 1995). Ο τομογράφος διακρίνει ένα στρώμα με ηχητικά κριτήρια και δίνει καταγραφές σύμφωνα με τις λιθολογικές και μηχανικές ιδιότητες των ηχοβλούμενων στρωμάτων. Αν δύο στρώματα αποτελούνται από διαφορετικό υλικό αλλά είναι ιδίων μηχανικών ιδιοτήτων τότε καταγράφονται ως δύο. Κατά την καταγραφή γίνεται συσχετισμός των ανακλώμενων -από τα υποστρώματα του πυθμένα- κυμάτων από την καταγραφική συσκευή και έτσι προκύπτει μια **τομογραφία** η οποία παρέχει πληροφορίες για την υποδομή του πυθμένα. Η τομογραφία αυτή μοιάζει με μια γεωλογική τομή με τη διαφορά ότι τα γεωλογικά στρώματα διαχωρίζονται και καταγράφονται βάσει των ακουστικών ιδιοτήτων τους.

2.2.2 Χαρακτηριστικά τομογράφων υποδομής πυθμένα (*Technical characteristics of sub-bottom profiling systems*)

Οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα απαρτίζονται από ένα πομπό (transmitter), ένα δέκτη (receiver), έναν ενισχυτή/φίλτρο και τον καταγραφέα (recorder).

Η ποιότητα του πομπού καθορίζεται από τον χαρακτήρα των εκπεμπόμενων ηχητικών κυμάτων. Κύρια στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα πομπό είναι τα εξής:

- ◆ Ο χρόνος διάρκειας του παλμού
- ◆ Το φάσμα των συχνοτήτων που εκπέμπονται στη διάρκεια του παλμού

- ◆ Το ποσό της εκπεμπόμενης ενέργειας
- ◆ Η ταχύτητα αναπαραγωγής των ακουστικών παλμών
- ◆ Η ταυτότητα της πηγής

Δύο πολύ βασικές παράμετροι λειτουργικότητας των σεισμικών αυτών συστημάτων είναι η **διεισδυτική (penetration)** και η **διακριτική ικανότητα (resolution)**, οι οποίες επηρεάζονται: α) από τη φύση του μέσου διάδοσης των ηχητικών κυμάτων, που είναι η υδάτινη στήλη, β) τα ιζήματα και τα πετρώματα που βρίσκονται στην επιφάνεια του πυθμένα και κάτω απ' αυτή. Η διεισδυτική ικανότητα ελέγχεται κατά κανόνα από την ισχύ και τη συχνότητα του εκπεμπόμενου ηχητικού κύματος, ενώ η διακριτική ικανότητα καθορίζεται από τη διάρκεια και επομένως το εύρος των συχνοτήτων του ηχητικού παλμού (Judd and Hovland, 1992).

Διεισδυτική ικανότητα καλείται το μέγιστο βάθος κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα στο οποίο μπορεί να καταγραφεί σεισμική ανάκλαση.

Διακριτική ικανότητα καλείται η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν δύο σημεία ώστε αυτά να αναγνωριστούν και να καταγραφούν ως δύο. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση αυτή, τόσο αξιόπιστο είναι το όργανο. Εξαρτάται από παράγοντες όπως: το μήκος κύματος (ή τη συχνότητα) του ήχου, τη μορφή και το μήκος του παλμού, το εύρος της ηχητικής δέσμης καθώς και από την ταχύτητα εκτύλιξης του καταγραφικού χαρτιού και την ταχύτητα του σκάφους.

Επομένως, οριζόντια διακριτικότητα είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων σε ένα επίπεδο ώστε να αναγνωριστούν από τα ηχητικά κύματα σαν μεμονωμένα σημεία και να καταγραφούν ως τέτοια.

Κατακόρυφη διακριτικότητα είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο στρωμάτων ώστε να αναγνωριστούν και να καταγραφούν στην τομογραφία ως ξεχωριστοί ανακλαστήρες (Φερεντίνος, 1985).

Η οριζόντια διακριτική ικανότητα ελέγχεται από το εύρος της γωνίας της ηχητικής δέσμης, ενώ η κατακόρυφη από το μήκος του ηχητικού παλμού και τη συχνότητα του εκπεμπόμενου ηχητικού κύματος.

Μεγάλη διεισδυτική ικανότητα επιτυγχάνεται με την εκπομπή κυμάτων χαμηλών συχνοτήτων, καθώς οι υψηλές συχνότητες εξασθενούν σχετικά εύκολα (Judd and Hovland, 1992).

Η απορρόφηση που υφίσταται ένα κύμα σε ένα τυπικό πέτρωμα είναι 0,5 dB ανά μήκος κύματος, πράγμα που σημαίνει ότι στα 500m ένα κύμα 100 Hz υφίσταται απώλεια 24 dB, ένα κύμα 200 Hz υφίσταται απώλεια 50 dB και ένα κύμα 400 Hz υφίσταται απώλεια 100 dB (Φερεντίνος, 1985).

Η δυνατότητα διείσδυσης και διακριτικότητας εξαρτάται από τις γεωλογικές συνθήκες κάθε περιοχής και τον τύπο της ακουστικής πηγής.

Ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα διακρίνονται σε (Παπαθεοδώρου και συν., 1995):

- * Τομογράφους **υψηλών συχνοτήτων** (3,5-7kHz), οι οποίοι διεισδύουν περίπου μέχρι τα 40m κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα και η διακριτική τους ικανότητα είναι της τάξης των 50cm.
- * Τομογράφους **μεσαίων συχνοτήτων** (200-1500Hz) οι οποίοι έχουν διεισδυτική ικανότητα από 100 έως 300m και διακριτική ικανότητα περίπου 2m.
- * Τομογράφους **χαμηλών συχνοτήτων** (10-200Hz) οι οποίοι διεισδύουν έως τα 1500m και η διακριτική τους ικανότητα κυμαίνεται μεταξύ 10-20m.

2.2.3 Εφαρμογές των τομογράφων υποδομής πυθμένα (*Applications of the sub-bottom profiling systems*)

Οι τομογράφοι χρησιμοποιούνται για:

- ✦ Τον προσδιορισμό του πάχους, της συνέχειας, της έκτασης και της μορφής των υποστρωμάτων του πυθμένα.
- ✦ Την υφή των ιζημάτων που τον συνιστούν.
- ✦ Τον εντοπισμό ενεργών ρηγμάτων, περιοχών διάβρωσης και απόθεσης, κατολισθητικών φαινομένων και διαπύρων.
- ✦ Την παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα και την πιθανή διαφυγή τους στην υδάτινη στήλη.

2.2.4 Τύποι τομογράφων υποδομής πυθμένα (Types of sub-bottom profiling systems)

Οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα διακρίνονται σε δύο τύπους:

2.2.4.1 Τομογράφοι μεγάλης διακριτικής και μικρής διεισδυτικής ικανότητας.

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι τομογράφοι υψηλών και μεσαίων συχνοτήτων:

◆ *Ανιχνευτές χαλαρών ιζημάτων (Mud-probes ή Pingers)*

Οι ανιχνευτές χαλαρών ιζημάτων είναι τομογράφοι υψηλών συχνοτήτων και εκπέμπουν στα 2-7kHz, με διάρκεια ηχητικού παλμού 0,1-10ms, κατευθυντικότητα ηχητικής δέσμης 15° - 70° , ανάλογα με το μοντέλο, την επιλεγμένη συχνότητα λειτουργίας και την κατασκευάστρια εταιρεία. Η διεισδυτική τους ικανότητα κυμαίνεται από 30 έως 50m ανάλογα με την υφή του ιζήματος και η διακριτική γύρω στα 0,3m (Φερεντίνος, 1985).

◆ *Boomers*

Οι τομογράφοι αυτοί εκπέμπουν σε μεσαίες συχνότητες οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 2-200kHz, με διάρκεια παλμού 0,2-0,8ms, ανάλογα με το μοντέλο, την επιλεγμένη συχνότητα λειτουργίας και την κατασκευάστρια εταιρεία. Η διακριτική ικανότητα κυμαίνεται από 0,2-2m και η διεισδυτική φτάνει έως τα 150m. Πλεονεκτούν έναντι των Pingers, διότι επιτυγχάνουν τη διεισδυτικότητα αυτή και σε σχετικά στερεοποιημένα ιζήματα. Τα όργανα αυτά παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες για βάθη νερού από 200m (Uniboom) μέχρι τα 800m περίπου (Geopulse) (Φερεντίνος, 1985).

2.2.4.2 Τομογράφοι μικρής διακριτικής και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τομογράφοι υποδομής πυθμένα χαμηλών συχνοτήτων:

◆ *Sparker*

Στους τομογράφους αυτούς τα ηχητικά κύματα παράγονται μέσω ηλεκτρικής εκκένωσης στο θαλάσσιο νερό. Οι συχνότητες των εκπεμπόμενων κυμάτων κυμαίνονται μεταξύ 50-2000Hz, η διάρκεια του παλμού μεταξύ 4-15ms, αναλόγως της ισχύος του οργάνου, του τρόπου δημιουργίας του ηχητικού κύματος, του μοντέλου και κατ' επέκταση, της κατασκευάστριας εταιρείας. Η διεισδυτική ικανότητα των συστημάτων αυτών φτάνει μέχρι τα 1000m και η διακριτική κυμαίνεται μεταξύ 1,5-6m (Φερεντίνος, 1985).

◆ *Αεροβόλα (Airgun)*

Στους τομογράφους αυτούς η παραγωγή των ηχητικών κυμάτων γίνεται με την εκτόνωση πεπιεσμένου αέρα μέσα στο νερό. Η χωρητικότητα των συμπιεστών είναι 10-2000in³ και η δύναμη με την οποία εκτονώνεται ο αέρας κυμαίνεται από 20-3000in³/lb. Η συχνότητα εκπομπής των ηχητικών κυμάτων κυμαίνεται μεταξύ 2-500Hz, η διάρκεια του παλμού μεταξύ 5-15ms και η διεισδυτική ικανότητα από 100 έως 700m, ενώ μπορεί να επιτευχθεί διείσδυση μέχρι τα 5000m κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα (Φερεντίνος, 1985).

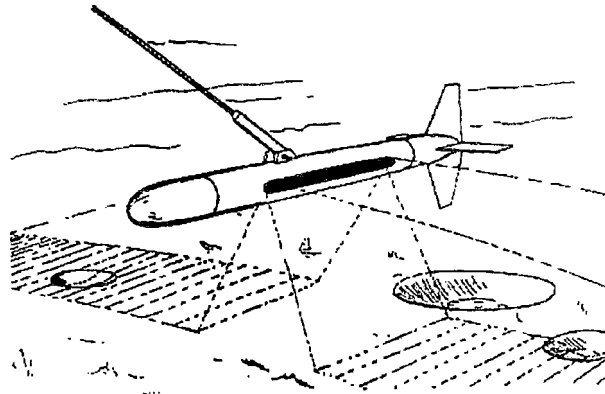
2.3 Ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης (Side scan sonar)

2.3.1 Αρχή λειτουργίας (*Theory of operation*)

Η αρχή λειτουργίας των ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης, είναι παρόμοια με αυτήν των τομογράφων με τη διαφορά ότι οι πρώτοι διασκοπούν την επιφάνεια του πυθμένα χωρίς να διεισδύουν κάτω απ' αυτήν.

Ένας ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης αποτελείται από έναν πομπό και ένα δέκτη, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα σε μια ημιπλωτή κατασκευή σχήματος τορπίλης (towfish). Η ηχοβολιστική αυτή τορπίλη σύρεται από το σκάφος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος και συνδέεται με τον καταγραφέα μέσω ηλεκτρικού καλωδίου. Έχει μήκος περίπου 1,5m και συνήθως σύρεται 10-30m από την επιφάνεια του πυθμένα (Hovland and Judd, 1988).

Οι πομποδέκτες είναι προσανατολισμένοι προς τα πλάγια της ηχοβολιστικής τορπίλης και εκπέμπουν δύο κωνικού σχήματος ηχητικές δέσμες οι οποίες σαρώνουν την επιφάνεια του πυθμένα εκατέρωθεν του επιμήκους άξονά της. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται μια ευρεία κωνική ηχητική δέσμη (Εικ. 4).



Εικ. 4: Σχηματική παράσταση μίας τορπίλης ηχοβολιστού πλευρικής σάρωσης. Οι πομποδέκτες είναι προσανατολισμένοι προς τα πλάγια και εκπέμπουν δύο κωνικού σχήματος ηχητικές δέσμες (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 4: Figure showing a side scan sonar towfish. The transducers are orientated at its sides emitting two cone shaped beams that strike the seabed (Hovland and Judd, 1988).

Η τομή της ηχητικής δέσμης με την επιφάνεια του πυθμένα αποτελεί τη ζώνη σάρωσης του συστήματος. Οι ανακλάσεις που επιστρέφουν και προσλαμβάνονται από τον πομποδέκτη, καταγράφονται σε ηλεκτροευαίσθητο χαρτί κατά τρόπο ώστε να στοιχειοθετείται μια εικόνα του πυθμένα η οποία καλείται ηχογραφία.

Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης κυμαίνονται από 20-500kHz, με διάρκεια παλμού μεταξύ 0,1-1ms, χαρακτηριστικά συσκευών που χρησιμοποιούνται για έρευνες σε βάθη μέχρι 200m. Η γωνία της ηχητικής δέσμης στον κατακόρυφο άξονα κυμαίνεται μεταξύ 20° - 57° , ενώ στον οριζόντιο κυμαίνεται μεταξύ $0,75^{\circ}$ - 2° , ανάλογα με τον τύπο και την κατασκευάστρια εταιρεία. Εν ολίγοις, στο οριζόντιο επίπεδο η ηχητική δέσμη είναι πολύ στενή, οπότε και σαρώνει τον πυθμένα σε μία κουρτίνα. Η ηχητική δέσμη που εκπέμπεται από τα όργανα αυτά σε κάθετη τομή προς τον κατακόρυφο άξονα αποτελείται από δύο κύριους και δύο δευτερεύοντες λοβούς.

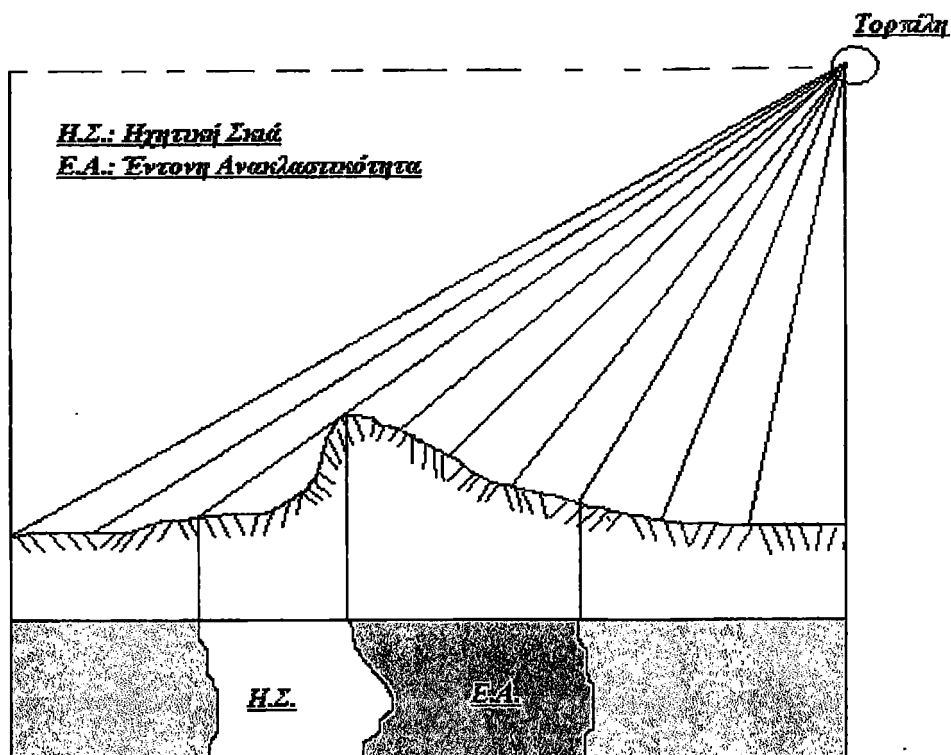
Η εμβέλεια του συστήματος ως προς τον εγκάρσιο άξονα καθορίζεται από τις απαιτήσεις της έρευνας και κυμαίνεται μεταξύ 75-1500m.

Επομένως, ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας και το εύρος της σάρωσης, οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Παπαθεοδώρου και συν., 1995):

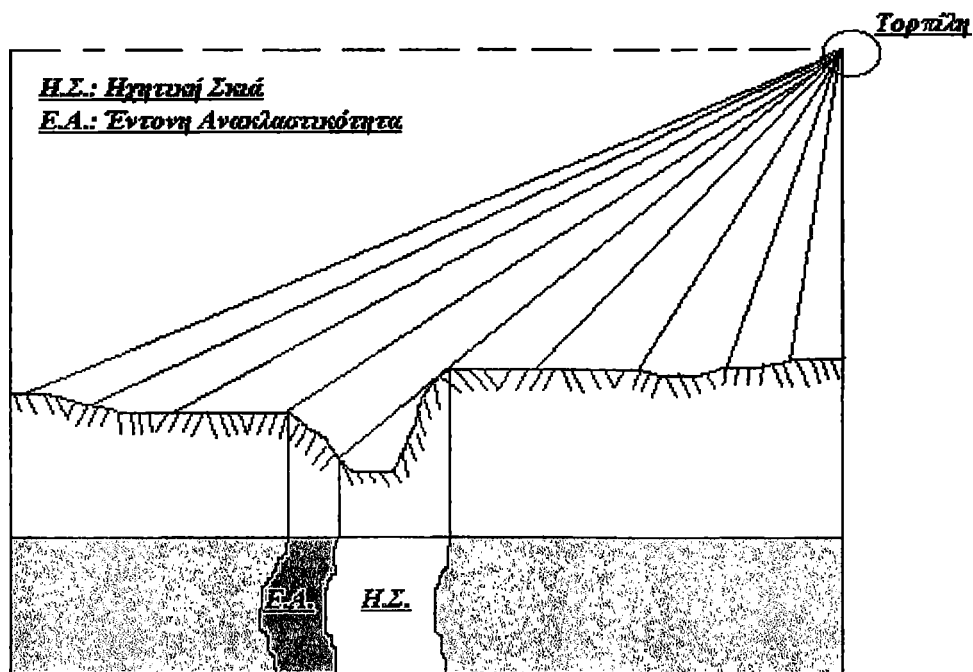
- * Ηχοβολιστές υψηλών συχνοτήτων (100-500kHz) οι οποίοι έχουν εύρος σάρωσης μέχρι τα 600m και διακριτική ικανότητα κυμαινόμενη μεταξύ 0,1-2m.
- * Ηχοβολιστές μεσαίων συχνοτήτων (20-60kHz) με εύρος σάρωσης μέχρι τα 1000m και διακριτική ικανότητα 1-4m.
- * Ηχοβολιστές χαμηλών συχνοτήτων (6,2-12kHz) οι οποίοι έχουν εύρος σάρωσης μεταξύ 5-60Km και διακριτική ικανότητα 50-250m.

2.3.2 Σχηματισμός ηχογραφίας (*How a side scan sonar image is produced*)

Η ηχογραφία αποτελείται από δύο λωρίδες καταγραφής, κάθε μια από τις οποίες αντιπροσωπεύει τη ζώνη σάρωσης εκατέρωθεν του επιμήκους άξονα της τορπίλης και της πορείας του σκάφους. Το εύρος της ζώνης σάρωσης και η εγκάρσια κλίμακα κάθε λωρίδας καταγραφής καθορίζεται από τον ερευνητή. Ο πομποδέκτης εκπέμπει παλμούς σε τακτά χρονικά διαστήματα. Κάθε μορφολογικό στοιχείο του πυθμένα δίνει τη δική του ανάκλαση η οποία είναι, ανάλογα με τον ακουστικό χαρακτήρα του ανακλαστήρα, ισχυρή ή ασθενής. Πρώτα καταγράφονται οι ανακλάσεις που προέρχονται από μορφολογικά στοιχεία του πυθμένα που βρίσκονται πλησιέστερα στον πομπό/δέκτη (έχουν δηλαδή, μικρό χρόνο διαδρομής), ενώ ανακλάσεις με μεγάλο χρόνο διαδρομής καταγράφονται αργότερα. Η ομάδα των ανακλάσεων που προέρχονται από μία συγκεκριμένη εκπομπή τοποθετούνται στην καταγραφή κάθετα προς τη διεύθυνση της πορείας του σκάφους η οποία ταυτίζεται με τη διεύθυνση κίνησης της γραφίδας του καταγραφέα. Ο σχηματισμός της ηχογραφικής εικόνας βασίζεται στη διαφορετική ένταση των ανακλάσεων του πυθμένα που επιστρέφουν στον πομπό/δέκτη.



Εικ. 5: Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου δημιουργίας ηχητικής σκιάς από εξέαρση στην επιφάνεια του πυθμένα (Τροποποίηση από Παπαθεοδώρου, 1995).
Fig. 5: Schematic presentation of the way an acoustic shadow is produced from an elevation in the seabed surface (Redrawn and modified from Papatheodorou, 1995).



Εικ. 6: Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου δημιουργίας ηχητικής σκιάς από ύβωμα στην επιφάνεια του πυθμένα (Τροποποίηση από Παπαθεοδώρου, 1995).
Fig. 6: Schematic presentation of the way an acoustic shadow is produced from a depression in the seabed surface (Redrawn and modified from Papatheodorou, 1995).

Η καταγραφή στοιχειοθετείται από σκουρόχρωμες και ανοιχτόχρωμες περιοχές, οι οποίες προέρχονται από χαρακτηριστικά του πυθμένα με διαφορετική ανακλαστικότητα. Έτσι, σκουρόχρωμη καταγραφή προκαλείται από περιοχές με έντονη ανακλαστικότητα, ενώ αντίθετα ανοιχτόχρωμη καταγραφή προκαλείται από περιοχές του πυθμένα με ασθενή ανακλαστικότητα (Παπαθεοδώρου, 1995).

2.3.3 Ανάλυση και ερμηνεία ηχογραφιών (Analysis and interpretation of side scan sonar images)

Η εικόνα μιας ηχογραφίας εξαρτάται από την ένταση των ανακλάσεων των ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από τον πυθμένα. Επομένως, ακριβή και σαφή εικόνα της επιφάνειας του πυθμένα λαμβάνεται από τη σωστή απόδοση των διαφόρων χρωματικών τόνων στο καταγραφικό χαρτί.

Μεταβολές στην ένταση των ανακλάσεων οφείλονται στην αλλαγή της κλίσης του πυθμένα και στην αλλαγή της υφής των υλικών που συνιστούν τον πυθμένα.

Η ένταση της ανακλαστικότητας εξαρτάται από:

1. Την απόσταση που απαιτείται να διανύσει το ανακλώμενο ηχητικό κύμα μέχρι αυτό να φτάσει στο δέκτη και να αποτυπωθεί από τον καταγραφέα.

Για παράδειγμα, σε έναν οριζόντιο και ομαλό πυθμένα που καλύπτεται από ομοιογενές ίζημα, η ένταση του τόνου του χρώματος στην ηχογραφία θα ελαττώνεται προς την περίμετρο της ζώνης σάρωσης εφόσον αυξάνεται η απόσταση διαδρομής των κυμάτων και επομένως η απορρόφησή τους. Το σύστημα αντισταθμίζει τις εντάσεις των ανακλάσεων ούτως ώστε, για το συγκεκριμένο παράδειγμα, ο τόνος στην ηχογραφία να είναι ο ίδιος (Φερεντίνος, 1985).

2. Τη γωνία πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων στην επιφάνεια του πυθμένα. Όταν μια περιοχή του πυθμένα σαρώνεται από τον ηχοβολιστή, τότε όποια επιφάνεια είναι προσανατολισμένη προς τον πομπό/δέκτη, προκαλεί έντονη ανάκλαση του ήχου και συνεπακόλουθα σκουρόχρωμη καταγραφή. Αντίθετα, περιοχές του πυθμένα που δεν είναι προσανατολισμένες προς τον πομπο/δέκτη δεν προκαλούν έντονες ανακλάσεις οπότε και καταγράφονται ως ανοιχτόχρωμες περιοχές.

Κατά τον ίδιο τρόπο, όταν ο πυθμένας χαρακτηρίζεται από τραχύ ανάγλυφο, η καταγραφή που δίνει είναι κατάστικτη, παρουσιάζοντας συχνές εναλλαγές σκουρόχρωμων και ανοιχτόχρωμων περιοχών. Ακόμη, είναι δυνατός ο διαχωρισμός κοιλωμάτων και εξάρσεων στην επιφάνεια του πυθμένα, από τη σχετική θέση περιοχής έντονης ανακλαστικότητας και ηχητικής σκιάς (Παπαθεοδώρου, 1995) (Εικ. 5, 6).

3. Το πορώδες των σύγχρονων επιφανειακών ιζημάτων. Όταν τα επιφανειακά ιζήματα έχουν μεγάλο πορώδες, είναι δηλαδή χονδρόκοκκα, παρουσιάζουν έντονη ανακλαστικότητα και επομένως σκουρόχρωμη καταγραφή. Αντίθετα, όταν έχουν μικρό πορώδες, είναι δηλαδή λεπτόκοκκα, παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα και επομένως ανοιχτόχρωμη καταγραφή. Μεταβολή στους χρωματικούς τόνους μιας καταγραφής μπορεί να οφείλεται και στην αλλαγή του βαθμού συμπαγοποίησης και στερεοποίησης των επιφανειακών ιζημάτων (Φερεντίνος, 1985; Παπαθεοδώρου, 1995).

2.3.4 Εφαρμογές ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης (Applications of side scan sonar systems)

Οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης χρησιμοποιούνται για:

- ✎ Την αποτύπωση της μορφολογίας του πυθμένα και του ανάγλυφού του.
- ✎ Την ανίχνευση και εντοπισμό υφάλων, βραχωδών εξάρσεων, ρηγμάτων, κατολισθητικών φαινομένων, μετακινήσεων ιζημάτων λόγω ρευμάτων και κυμάτων.
- ✎ Τη χαρτογράφηση της σύστασης και της υφής των επιφανειακών ιζημάτων του πυθμένα (άμμος, ψηφίδες) και την κατανομή τους στην εκάστοτε περιοχή μελέτης.
- ✎ Τον εντοπισμό πεδίων κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων.
- ✎ Τον εντοπισμό ναυαγίων (σκάφη, αεροσκάφη), αγκύρων, αρχαιολογικών χώρων.
- ✎ Τον έλεγχο καλωδίων, αγωγών και άλλων υποθαλάσσιων εγκαταστάσεων όπως είναι οι εξέδρες άντλησης πετρελαίου.

3. ΟΡΓΑΝΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.1 Επανδρωμένα ερευνητικά βαθυσκάφη (Manned submersibles)

Τα βαθυσκάφη είναι εξαιρετικής ερευνητικής αξίας συστήματα. Έχουν διάφορα σχήματα, μεγέθη και ικανότητες να εκτελούν διαφορετικές και πολύ εξειδικευμένες αποστολές. Η αξία τους έγκειται στην ευκαιρία που δίνουν για οπτική παρατήρηση και δειγματοληψία πυθμένα.

Αρχικά το ενδιαφέρον στα βαθυσκάφη ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '60 και των αρχών αυτής του '70, έπειτα από τη βύθιση των αμερικανικών υποβρυχίων Thresher και Scorpion. Το Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό έδειξε ενδιαφέρον για προγράμματα βαθείας κατάδυσης με σκοπό τη διάσωση πιθανών επιζώντων (Ross, 1995).

Σήμερα, η χρήση βαθυκαφών καθοδηγείται από την επιστημονική περιέργεια, ειδικότερα για την εξερεύνηση των ρηγμάτων που αναβλύζουν θερμό νερό κατά μήκος των μεσοωκεάνειων ραχών του Ειρηνικού και του Ατλαντικού ωκεανού.

Από τα επανδρωμένα βαθυσκάφη τα πιο γνωστά είναι τα Αμερικανικά Alvin, το δίδυμό του Sea Cliff -που χρησιμοποιείται από το Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό- και τα: Johnson Sea Link II, Argo και Nautila (Ballard, 1985; Ross, 1995). Επίσης το Ιαπωνικό Shinhai 6500, τα Ρωσικά Mir I και Mir II, χωρίς να παραβλεφθούν και τα βαθυσκάφη που χρησιμοποιούσε στις αποστολές του ο Jacques-Yves Cousteau (Κουστώ, 1973).

3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των βαθυκαφών (Pros and cons of manned submersibles)

Τα πλεονεκτήματα των βαθυκαφών συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Άμεση παρατήρηση, επιτρέποντας στον επιστήμονα να δει και να φωτογραφήσει ότι μετράται ή λαμβάνεται ως δείγμα..
- Ικανότητα ανεξάρτητης λειτουργίας από την επιφάνεια και εξερεύνησης γνωρισμάτων του πυθμένα που δεν είναι ορατά από το σκάφος επιφανείας.

- Στο βαθυσκάφος ένας επιστήμονας μπορεί να κάνει μετρήσεις in situ για πολλές ώρες, ενώ ένα μη αγκυρωμένο σκάφος θα παρασυρόταν από το σημείο της έρευνας λόγω ρευμάτων.
- Το βαθυσκάφος μπορεί να επιστρέψει στο σημείο έρευνας αν αυτό σημαδευτεί, ενώ το σκάφος περιορίζεται από δυσκολίες ναυσιπλοΐας στην εύρεση της υπό μελέτη περιοχής.

Ωστόσο τα βαθυσκάφη έχουν και μειονεκτήματα:

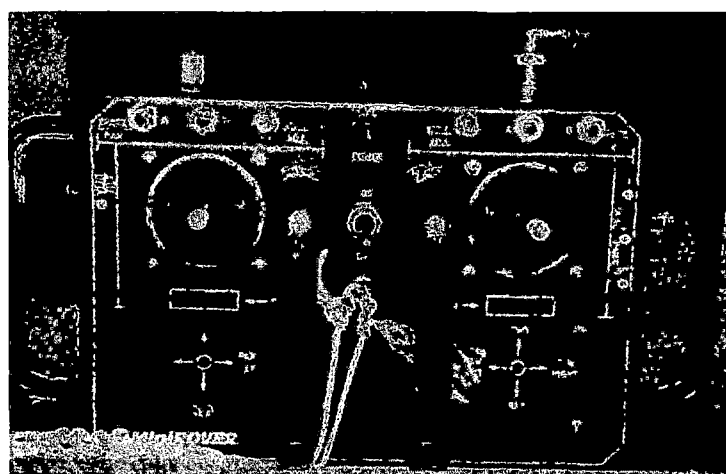
- Εξαρτώνται από τα σκάφη επιφανείας άμεσα εφόσον αυτά τα ρυμουλκούν και τα μεταφέρουν στις περιοχές κατάδυσης.
- Όταν καταδύονται, οι καιρικές συνθήκες πρέπει να είναι ομαλές.
- Έχουν περιορισμένους εσωτερικούς χώρους υποχρεώνοντας τους εργαζόμενους μέσα σε αυτά να παραμένουν σε άβολες θέσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας.

3.3 Κατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα (Remote-Operated Vehicles, ROVs)

Τα κατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα (ROVs) ανήκουν στις οπτικές τεχνικές παρατήρησης του πυθμένα, όπως και τα επανδρωμένα βαθυσκάφη (Εικ. 7 a, b). Τα ROVs αναπτύχθηκαν με σκοπό τη μείωση του κόστους των επανδρωμένων καταδυτικών αποστολών και την επίλυση των προβλημάτων που δημιουργούνταν από αυτές. Τα ROVs δε μεταφέρουν ανθρώπους και μπορούν να παραμένουν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας για μεγάλες χρονικές περιόδους και σε μεγάλα βάθη. Υπάρχουν πολλοί τύποι βαθυσκαφών ανάλογα με τον εξοπλισμό που διαθέτουν και το μέγιστο βάθος κατάδυσής τους. Ο εξοπλισμός ενός βαθυσκάφους περιλαμβάνει φωτογραφική μηχανή για υποβρύχια φωτογράφιση, βιντεοκάμερα για μαγνητοσκόπηση του πυθμένα και προβολείς, ούτως ώστε να φωτίζεται η περιοχή μελέτης. Μπορούν επίσης να διαθέτουν μηχανικό βραχίονα κοπής και συλλογής δειγμάτων (Παπαθεοδώρου και συν., 1995; Ραβασόπουλος και Παπαθεοδώρου, 1997).



a



b

Εικ. 7 a, b: Κατευθυνόμενο υποβρύχιο όχημα Benthos MiniRover MKII (a) και η μονάδα τηλεχειρισμού του (b) (Φωτογραφικό αρχείο Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω.).

Fig. 7 a, b: Remote- Operated Vehicle Benthos MiniRover MKII (a) and its remote control unit (b) (Photographs courtesy of Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography).

4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ (Sampling devices)

4.1 Εισαγωγή (Introduction)

Ένας τρόπος λήψης δειγμάτων ιζήματος και πετρωμάτων από ένα σκάφος στην επιφάνεια της θάλασσας είναι η διάτρηση (drilling) του θαλάσσιου πυθμένα.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι δειγματοληψίας οι οποίες γίνονται με:

1. Snappers ή Δράγες (grab-type samplers)
2. Πυρηνολήπτες (coring devices)
3. Βυθοκόρους (dredges)

4.1.1 Snappers ή Δράγες (*Grab-type samplers*)

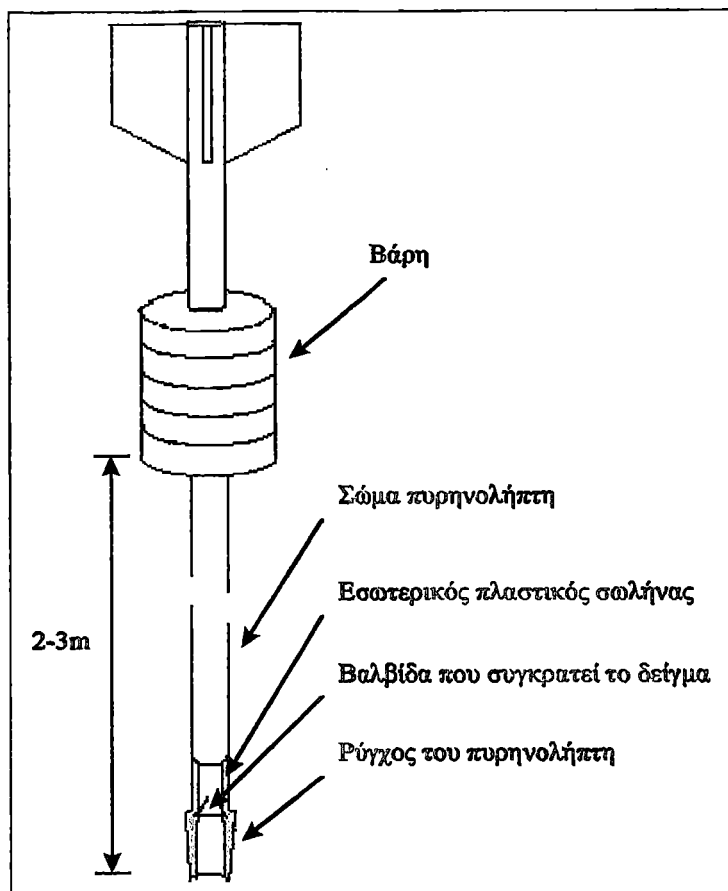
Οι *Snappers* ή *Δράγες* (*grab-type samplers*) λαμβάνουν μόνο επιφανειακό δείγμα το οποίο διαταράσσεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται σε ρηγά νερά. Εάν μία πέτρα ή κάποιο άλλο αντικείμενο σφηνωθεί στις σιαγόνες του δειγματολήπτη, δε θα κλείσει κατάλληλα και το δείγμα ιζήματος θα χαθεί.

4.1.2 Πυρηνολήπτες (*Coring devices*)

Οι *πυρηνολήπτες* (*coring devices*) λαμβάνουν ένα μακρύ κάθετο τμήμα (section) μέσα στο ίζημα. Η πιο απλή συσκευή πυρηνοληψίας είναι ο *πυρηνολήπτης βαρύτητας* (*gravity corer*), ένας σωλήνας που φέρει βάρη και διεισδύει στον πυθμένα μέσω της ροπής που έχει αποκτήσει υπό την επίδραση της βαρύτητας κατά την πτώση του. Αυτό το εργαλείο λαμβάνει μικρούς πυρήνες από 1,8 έως 3m (6 έως 10 ft.) (Εικ. 8).

Για τη λήψη μακρύτερων πυρήνων χρησιμοποιούνται *εμβολοφόροι πυρηνολήπτες* (*piston corers*). Ένα έμβολο μέσα στο σωλήνα του πυρήνα αυξάνει την διατηρητική ικανότητα της συσκευής κατά τη διάρκεια της πυρηνοληψίας. Έτσι, καθίσταται δυνατή μερικές φορές, η συλλογή πυρήνων 18m (60 ft.) και περισσότερο. Ο εμβολοφόρος πυρηνολήπτης πυροδοτείται από έναν πυρηνολήπτη βαρύτητας. Αυτοί οι δειγματολήπτες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω από τον πυθμένα με τη βοήθεια ενός ανιχνευτή χαλαρών ιζημάτων (*ringer*).

Ορισμένες έρευνες απαιτούν αδιατάραχτα δείγματα. Ένας τρόπος λήψης αυτών είναι με τη χρήση ενός ειδικού τύπου πυρηνολήπτη που ονομάζεται *box corer*, μια συσκευή σχήματος κουτιού με λεπτά τοιχώματα, η οποία διεισδύει μέσα στο ίζημα με τη βοήθεια βαρών. Αυτή η τεχνική γενικά δε διαταράσσει σημαντικά τα στρώματα των ιζημάτων.



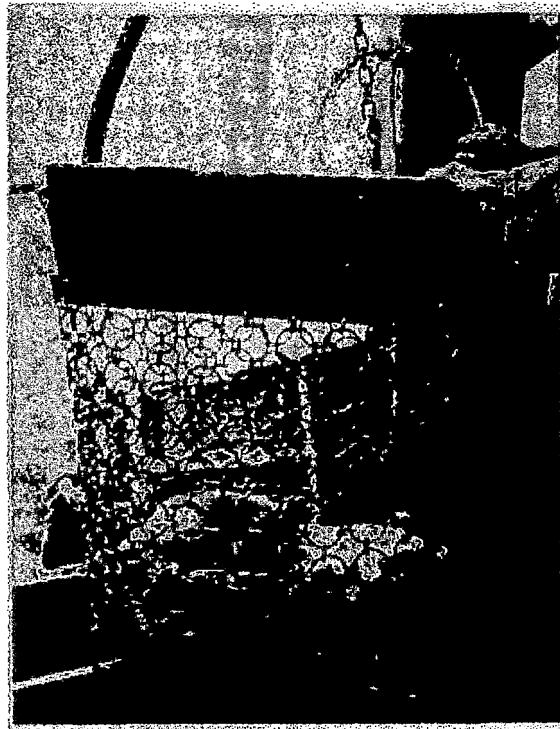
Εικ. 8: Σχηματική απεικόνιση πυρηνολήπτη βαρύτητας (Τροποποίηση από Ross, 1995).
 Fig. 8: Figure demonstrating a gravity corer (Redrawn and modified from Ross, 1995).

Μια νέα συσκευή η οποία συνδυάζει τις τεχνικές της πυρηνοληψίας με εμβολοφόρο πυρηνολήπτη και της γεώτρησης (drilling), είναι ο υδραυλικός εμβολοφόρος πυρηνολήπτης (*hydraulic piston corer*), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη συνεχών σειρών από πυρήνες 10m (περίπου 33 ft.) σε ένα βάθος πολλών δεκάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα. Η συσκευή σταματά, όταν τα ιζήματα γίνονται τόσο συμπαγοποιημένα (consolidated), ώστε ο πυρηνολήπτης δε μπορεί να προχωρήσει βαθύτερα με την πίεση του νερού.

Οι πυρήνες που λαμβάνονται με αυτήν τη διαδικασία, εκτός του γεγονότος ότι είναι συνεχείς, διατηρούνται πολύ καλά και είναι αδιατάραχτοι. Αντίθετα, η συμβατική γεώτρηση (drilling) συχνά διαταράσσει τα μαλακά συνήθως, ιζήματα.

4.1.3 Βυθοκόροι (Dredges)

Οι βυθοκόροι (*dredges*) είναι συσκευές λήψης πετρωμάτων, οι οποίες σύρονται με χαμηλή ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια του πυθμένα. Οι βυθοκόροι αποτελούνται από ένα άκαμπτο πλαίσιο στο οποίο είναι προσαρμοσμένος μεταλλικός σάκκος (συνήθως είναι κατασκευασμένος από συρματοπλέγμα) ή από έναν μεγάλης διαμέτρου σωλήνα μερικώς κλειστό στο ένα του άκρο. Είναι εξοπλισμένοι με λεπίδες και οδοντωτούς σχηματισμούς οι οποίοι αποξέουν ή σκάβουν το βυθό για τη λήψη δείγματος. Το μήκος τους μπορεί να είναι μικρότερο από ένα μέτρο έως οχτώ μέτρα ή και περισσότερο (Αβραμίδου, 1995) (Εικ. 9).



Εικ. 9: Βυθοκόρος (Ross, 1995).

Fig. 9: Chain bag dredge (Ross, 1995).

Όταν κατά την σύρση του βυθοκόρου το ανοικτό του άκρο συναντήσει ένα βράχο, η ελκτική δύναμη του σκάφους πάνω στο βράχο θα τον σπάσει και το τμήμα που θα αποκολληθεί θα εγκλωβιστεί μέσα στο σάκκο.

Η λήψη ικανοποιητικού δείγματος από τον πυθμένα είναι δύσκολη υπόθεση. Συχνά δεν αρκεί μόνο η άφεση ενός δειγματολήπτη να συλλέξει ό,τι τύχει. Απαιτείται ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης του δείγματος και για να

γίνει αυτό, απαιτείται ο προσεκτικός προσδιορισμός της θέσης του σκάφους στην συγκεκριμένη περιοχή δειματοληψίας.

Αυτό δεν είναι εύκολο, γιατί ο δειματολήπτης συχνά συνδέεται με το σκάφος μέσω συρματόσχοινου που μπορεί να μετακινηθεί από ρεύματα, τα οποία βεβαίως μπορούν να εκτρέψουν και το σκάφος από τη θέση του.

Τα προβλήματα αυτά ελαχιστοποιούνται με τη χρήση σκαφών γεώτρησης (drilling ships) και ερευνητικών βαθυσκαφών (submersibles).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (GAS CHARGED SEDIMENTS)

1. Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΣΤΙΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ (Evidence of gas hydrocarbons in seismic profiles)

Η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων εξακριβώνεται από την εμφάνιση ανώμαλων σεισμικών ανακλάσεων στις καταγραφές τομογράφων υποδομής πυθμένα. Η συγκέντρωση των αερίων και ο τύπος των ιζημάτων, σε συνάρτηση με τη συχνότητα της εκπεμπόμενης ηχητικής δέσμης των συστημάτων διασκόπησης του πυθμένα, αποτελούν τους κύριους παράγοντες ελέγχου του ακουστικού χαρακτήρα των φορτισμένων σε αέριους υδρογονάνθρακες ιζημάτων στις καταγραφές.

Τα είδη των ανώμαλων ανακλάσεων που δηλώνουν την παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα είναι τα εξής (Φερεντίνος, 1985; Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992; Papatheodorou *et al.*, 1993; Παπαθεοδώρου, 1994, 1995):

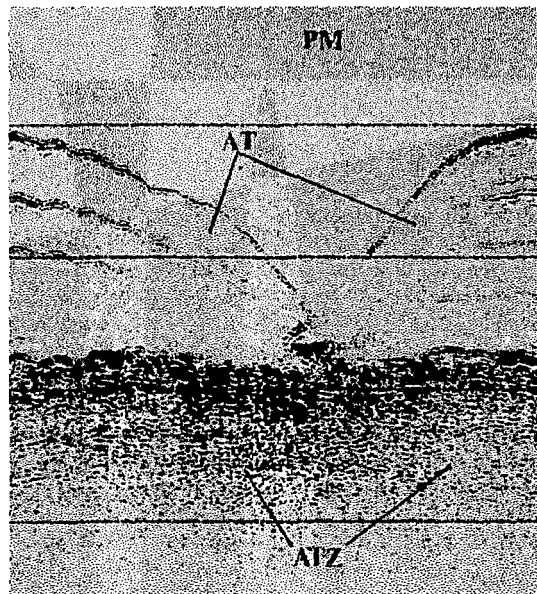
1.1 Σεισμοκονιασμένη καταγραφή

(Acoustic turbidity, Acoustic turbid zone, Acoustic masking, Acoustic blanking, Acoustic smearing, Smears, MUSH- Masking Under Seabed Horizons)

Η καταγραφή αυτή εμφανίζει χαώδη μορφή που προσδίδει στην τομογραφία κατάστικτη εικόνα, η οποία οφείλεται στη διάχυση και την απορρόφηση που υφίσταται η ακουστική ενέργεια μέσα στα ιζήματα από την παρουσία σε αυτά, αερίων υδρογονανθράκων. Μοιάζει με σκοτεινή αμμοκονιασμένη περιοχή, εμποδίζοντας την καταγραφή κάθε άλλης ανάκλασης από τα βαθύτερα στρώματα (Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992;

Pickrill, 1993) (Εικ. 10). Σεισμοκονιασμένη καταγραφή εμφανίζεται όταν ακόμα η παρουσία των αερίων στα ιζήματα είναι της τάξης του 1%.

Έχει εξακριβωθεί ότι στρώματα ψηφιδών (gravel), κελυφών (shell) και τύρφης (peat) προκαλούν σεισμοκονιασμένες καταγραφές. Οι ψηφίδες διασπείρουν την ακουστική ενέργεια, ενώ τα κελύφη και η τύρφη, είτε τη διασκορπίζουν, είτε αυτή απορροφάται από τα αέρια που κατακρατούνται στην τύρφη και τους θαλάμους των κελυφών (Hovland and Judd, 1988). Αποτελεί όμως κοινό τόπο, ότι σεισμοκονιασμένες καταγραφές προκύπτουν από την απορρόφηση της ακουστικής ενέργειας εξαιτίας της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων ή πετρελαίου στα θαλάσσια ιζήματα. Συμβαίνει συχνά οι σεισμοκονιασμένες καταγραφές να έχουν στηλοειδή μορφή που φτάνει μέχρι τα επιφανειακά στρώματα του πυθμένα, υποδηλώνοντας διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη (Hovland, 1984; Φερεντίνος, 1985; Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992).

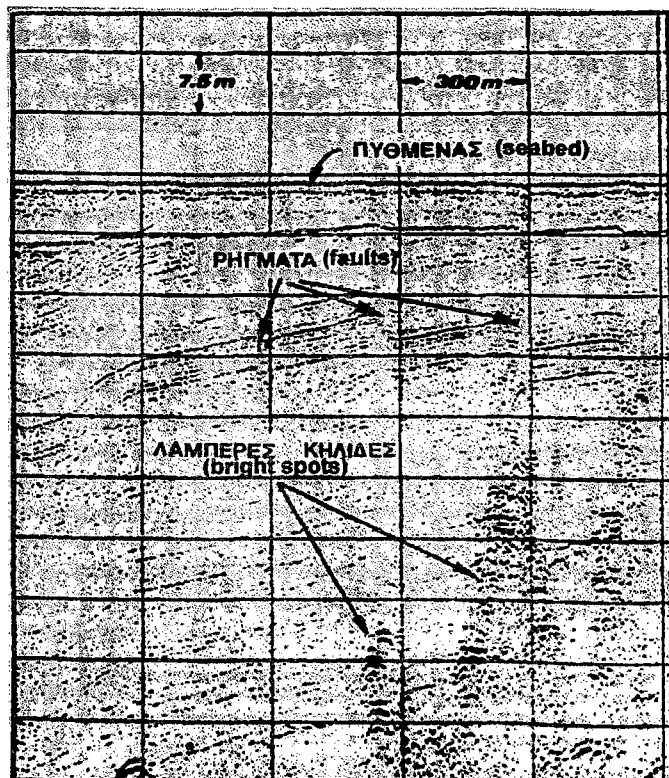


Εικ. 10: Τομογραφία 3,5kHz από το πεδίο των rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου στην οποία παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) κάτω από έναν κρατήρα διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων (PM). Τα τοιχώματα του κρατήρα εμφανίζουν περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

Fig. 10: 3,5kHz profile from the pockmark field in the Patras Gulf showing acoustically turbid zone (ATZ) underneath a pockmark (PM). The walls of the depression are acoustic transparent (AT) (Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography, Unpublished data).

1.2 Λαμπερές κηλίδες (Bright spots)

Οι λαμπερές κηλίδες είναι έντονες σεισμικές ανακλάσεις οι οποίες αντιπροσωπεύουν την κορυφή ενός στρώματος ιζημάτων με πόρους πλήρεις σε αέριους υδρογονάνθρακες, που πλευρικά εξασθενούν (Εικ. 11). Λαμπερές κηλίδες προκαλούνται από συσσωρεύσεις αερίων που συναντώνται σε βάθη μεγαλύτερα των 100m και μπορεί αυτά να βρίσκονται κάτω από υψηλή πίεση (Hovland and Judd, 1988). Γι' αυτό κυρίως απαντώνται σε καταγραφές τομογράφων μεγάλης διεισδυτικής και μικρής διακριτικής ικανότητας, όπως είναι οι Airgun και οι Sparker. Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η αιτία δημιουργίας ενός τέτοιου χαρακτηριστικού, όπως είναι η λαμπερή κηλίδα, είναι αποτέλεσμα της αντίθεσης στην ακουστική αγωγιμότητα που εμφανίζουν δύο γειτονικοί ανακλαστήρες. Στρώματα ληνίτη, κάρβουνου και ψηφίδων που παρεμβάλλονται ανάμεσα στα ιζήματα, δίνουν επίσης έντονες ανακλάσεις, προκαλώντας σύγχυση (Φερεντίνος, 1985).



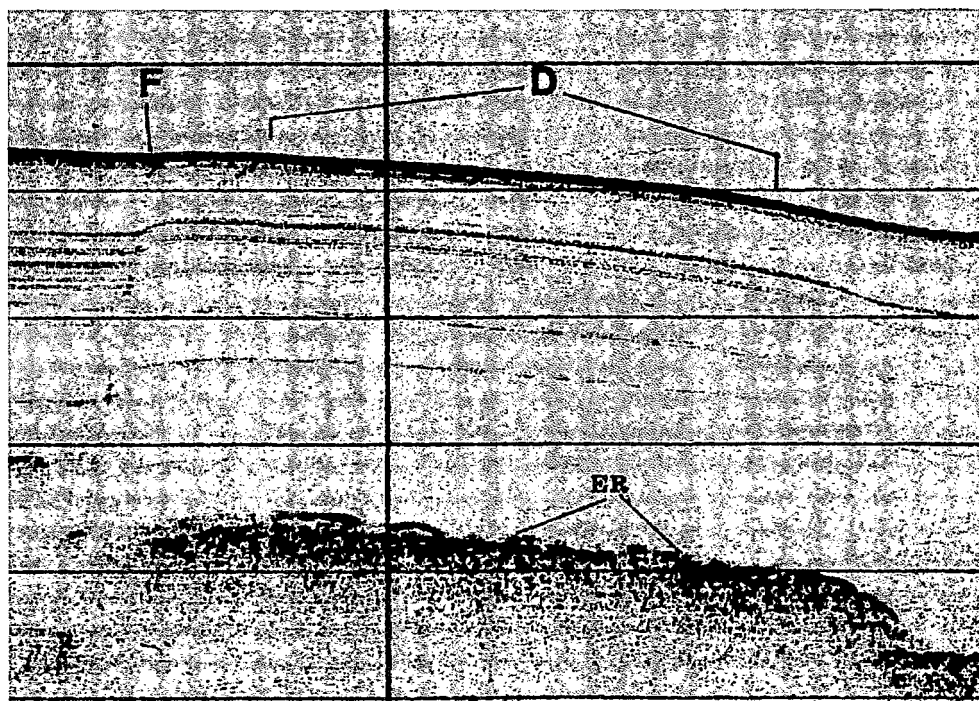
Εικ. 11: Τομογραφία στην οποία παρατηρούνται τοπικής έκτασης έντονες ανακλάσεις (λαμπερές κηλίδες) που υποδηλώνουν την ύπαρξη αερίων στα ιζήματα (Τροποποιημένη από Φερεντίνος, 1985).

Fig. 11: Seismic profile showing enhanced reflections extending locally (bright spots), indicating gas charged sediments (Modified from Ferentinos, 1985).

1.3 Έντονες σεισμικές ανακλάσεις (Enhanced reflections)

Αυτές είναι υποεπιφανειακές σεισμικές ανακλάσεις που εμφανίζονται σε τομογραφίες που προέρχονται από τομογράφους χαμηλής διεισδυτικής και μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Παρουσιάζονται ως ανακλάσεις με αυξημένο εύρος -παρατεταμένο ακουστικό χαρακτήρα- σε ένα τμήμα της έκτασής τους, ή σε όλο το μήκος της (Εικ. 12).

Θα μπορούσαν να θεωρηθούν αντίστοιχοι ακουστικοί χαρακτήρες με τις λαμπερές κηλίδες στις καταγραφές σεισμικών συστημάτων χαμηλών συχνοτήτων, όπως είναι οι Boomers και οι Pingers, όπου συνήθως και παρατηρούνται (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 12: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στην οποία παρατηρείται ένα ενεργό ρήγμα (F), έντονη ανάκλαση (ER) λόγω της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα και ελαφρά αναθόλωση στην επιφάνεια του πυθμένα (D) που προκαλείται από την ανοδική κίνηση των αερίων (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

Fig. 12: 3,5kHz profile from the Patras Gulf showing an active fault (F), enhanced reflection (ER) verifying the presence of gas hydrocarbons in the sediments and seabed doming (D) caused by the up-dip movement of gas (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

Πολύ συχνά συμβαίνει οι έντονες σεισμικές ανακλάσεις να εκτείνονται πλευρικά των σεισμοκονιασμένων περιοχών (Φερεντίνος, 1985). Στα επιφανειακά στρώματα του πυθμένα, τα αέρια απαντώνται ως συγκεντρώσεις μέσα στους

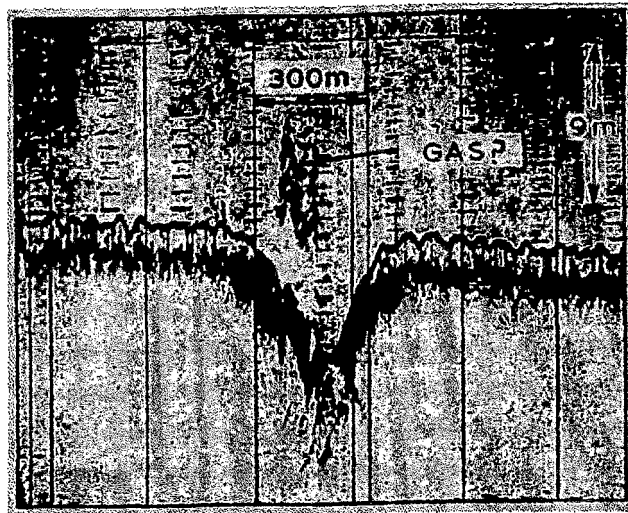
πόρους των πηλούχων και αμμούχων ιζημάτων, ή ομοιόμορφα διεσπαρμένα μέσα στα αδιαπέραστα αργιλικά ιζήματα. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι έντονες ανακλάσεις χαρακτηρίζουν την πρώτη περίπτωση και οι σεισμοκονιασμένες καταγραφές χαρακτηρίζουν τη δεύτερη. Επίσης, θα έπρεπε να αναφερθεί ότι η ύπαρξη έντονων σεισμικών ανακλάσεων σχεδόν παράλληλων προς την επιφάνεια του πυθμένα, αποτελεί ένδειξη παρουσίας ενυδατωμένων υδρογονανθράκων (gas hydrates) στα ιζήματα. Η ανάκλαση προέρχεται από τη διαχωριστική επιφάνεια της βάσης των επιφανειακών ιζημάτων, των οποίων οι πόροι πληρούνται από ενυδατωμένους υδρογονάνθρακες (Φερεντίνος, 1985).

Είναι πιθανό να αντιπροσωπεύουν αυξήσεις στην περιεκτικότητα του πορώδους των οριζόντων σε αέριους υδρογονάνθρακες, μέσα σε μια κυρίαρχη και αδιαπέραστη συνέχεια πηλούχων ιζημάτων.

1.4 Διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη (Seepages, Gas seeps, Gas plumes)

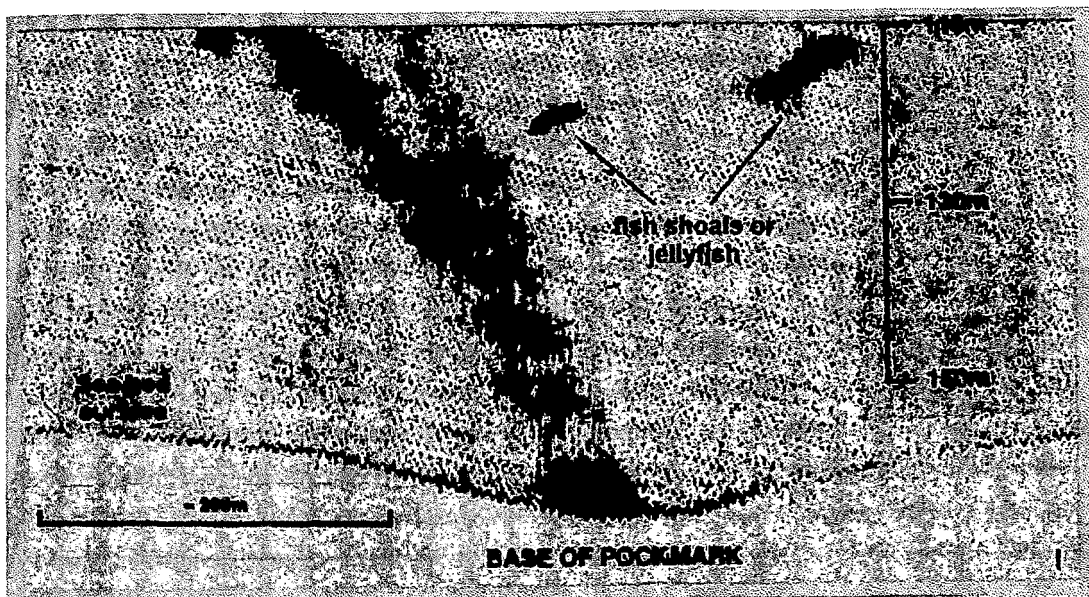
Με τον όρο «διαφυγή» (seepage) νοείται η διαρροή ρευστών (αερίων ή υγρών) από την επιφάνεια του πυθμένα ή την επιφάνεια της ξηράς. Οι διαφυγές από την επιφάνεια του πυθμένα λαμβάνουν τη μορφή **μακρο-διαφυγών (macro-seepage)**, όταν οι παραγόμενες φυσαλίδες είναι αρκετά μεγάλες ώστε να γίνονται αντιληπτές δια γυμνού οφθαλμού και **μικρο-διαφυγών (micro-seepage)**, όταν το μέγεθός τους είναι μικροσκοπικό, ή το διαρρέον ρευστό βρίσκεται σε υγρή μορφή (π.χ. αέρια και στερεά που βρίσκονται σε διάλυση στο νερό των πόρων).

Οι διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη γίνονται αντιληπτές όχι μόνο στις τομογραφίες αλλά και στις ηχογραφίες, ενώ διαπιστώνονται και σε καταγραφές βυθομέτρων (Εικ. 13, 14) (Hovland and Sommerville, 1985; Field and Jennings, 1987; Hovland and Judd, 1988; Παπαθεοδώρου, 1995; Hasiotis et. al., 1996).



Εικ. 13: Καταγραφή βυθομέτρου η οποία δείχνει ένα rockmark πάνω από το οποίο διαπιστώνεται ανάκλαση η οποία πιθανά οφείλεται σε διαφυγή αερίων στην υδάτινη στήλη (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 13: Echo-sounder record showing a reflection above a pockmark which most probably is created by gas seepage (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 14: Καταγραφή βυθομέτρου στην οποία διακρίνεται διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη από rockmark της Βορείου Θάλασσας. Τα αέρια που διαφεύγουν παρασύρονται από τα ρεύματα της παλίρροιας. Οι γειτονικές ανακλάσεις προέρχονται πιθανόν από κοπάδια ψαριών ή μεδουσών (Τροποποιημένη από Hovland and Judd, 1988).

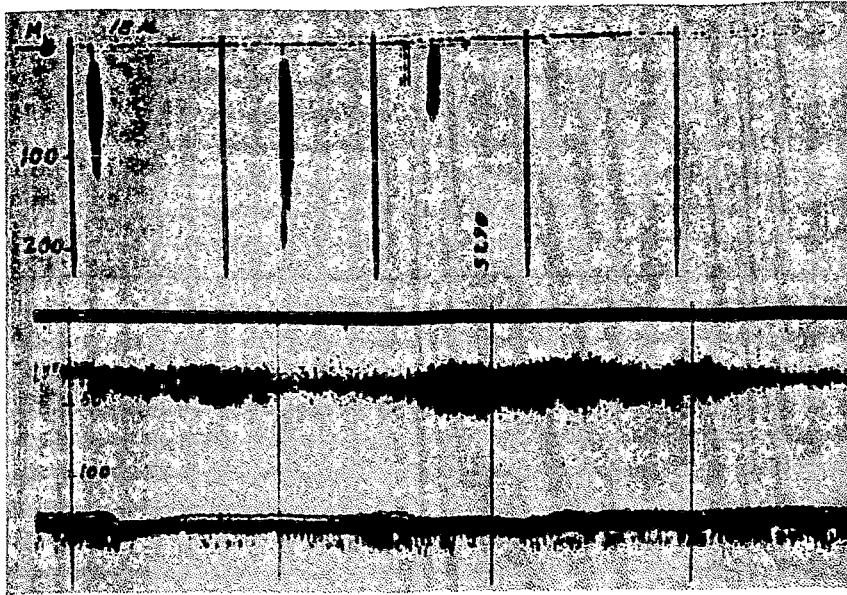
Fig. 14: Echo-sounding image showing gas seepage from a pockmark in North Sea. Escaping gas is being dispersed by the tide. The nearby reflections are caused probably by fish shoals or jellyfish (Modified from Hovland and Judd, 1988).

Η παρουσία σεισμικών ανακλάσεων στην υδάτινη στήλη οφείλεται στην ύπαρξη ανακλαστικών επιφανειών οι οποίες προκαλούνται από μεταβολές στην πυκνότητα του νερού και κατ' επέκταση στην ταχύτητα του ήχου.

Η πυκνότητα του νερού μεταβάλλεται εξαιτίας της διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη, δημιουργώντας μέτωπα-διαχωριστικές επιφάνειες πάνω στις οποίες τα ηχητικά κύματα ανακλώνται. Παρόμοιες καταγραφές εμφανίζονται όταν οι διαφυγές αυτές συμπαρασύρουν ιζήματα από την επιφάνεια του πυθμένα, δημιουργώντας ανακλαστικές επιφάνειες.

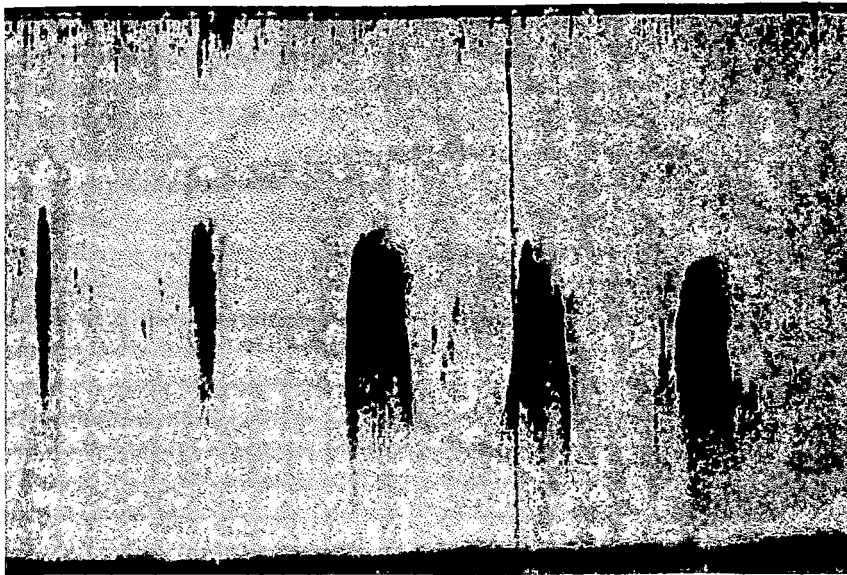
Έτσι, οι καταγραφόμενες ανακλάσεις παρουσιάζουν εικόνα παρόμοια με αυτή που εμφανίζουν στα ιχθυοανιχνευτικά οι ιχθυοπληθυσμοί. Οι αλιείς χρησιμοποιούν ηχοβολιστικά συστήματα (ιχθυοανιχνευτικά βυθόμετρα) για την ανίχνευση κοπαδιών ψαριών. Εντούτοις, τα βυθόμετρα δεν καταγράφουν τα ψάρια αυτά καθ' αυτά, αλλά τα αέρια που φέρουν στη νηκτική κύστη τους (Hovland and Judd, 1988).

Ο διαχωρισμός μεταξύ διαφυγών αερίων και κοπαδιών από ψάρια είναι σχετικά εύκολος. Τα κοπάδια των ψαριών εκτείνονται σε ευρείες και οριζόντιες περιοχές, ή δίνουν ανακλάσεις μορφής ανεστραμμένου V (FAO, 1980). Στις εικόνες 15, και 16 παρουσιάζεται ο ακουστικός χαρακτήρας που υποδηλώνει την παρουσία κοπαδιών ψαριών στην υδάτινη στήλη από ιχθυοανιχνευτικά βυθόμετρα, χαρακτήρας που δεν μεταβάλλεται στις καταγραφές τομογράφων 3,5kHz (Εικ. 17). Αντίθετα, οι διαφυγές αερίων τείνουν να υψώνονται κάθετα στην υδάτινη στήλη (Hovland and Judd, 1988), δίνοντας, είτε στηλοειδούς μορφής ανακλάσεις (Φερεντίνος, 1985; Hovland and Sommerville, 1985) (Εικ. 18), είτε υπερβολικές (Papatheodorou *et al.*, 1993) (Εικ. 19).



Εικ. 15: Καταγραφές βυθομέτρων από συναθροίσεις (πάνω) και μεγάλα κοπάδια (κάτω) από ενήλικες ρέγγες (FAO, 1980).

Fig. 15: Echo-sounder records of schools (above) and layers (below) of adult herring (FAO, 1980).



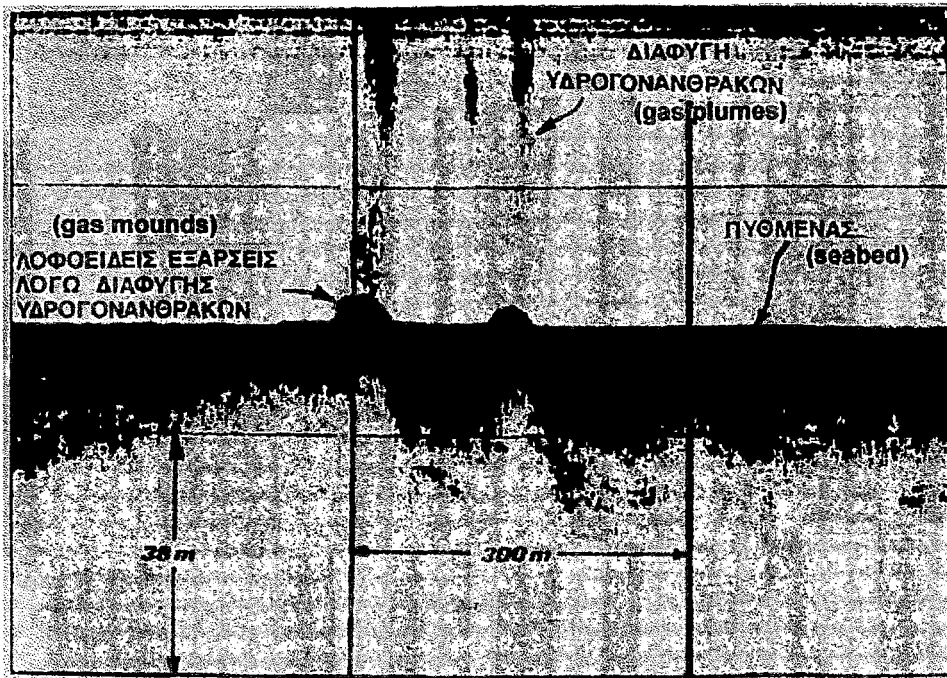
Εικ. 16: Καταγραφή βυθομέτρου που δείχνει μικρές συναθροίσεις ψαριών στη Βόρειο Θάλασσα, κάθε μία από τις οποίες έχει δώσει ανακλάσεις ανεστραμμένου V (FAO, 1980).

Fig. 16: Echo-sounder record showing sprat schools in the North Sea, each one's reflection having the form of an inverted V (FAO, 1980).



Εικ. 17: Τομογραφία 3,5kHz από τον πυθμένα του Θερμαϊκού Κόλπου, στην οποία καταγράφονται κοπάδια ψαριών, οι ανακλάσεις των οποίων έχουν τη μορφή ανεστραμμένου V (Τροποποιημένη από τον Φερεντίνο, 1985).

Fig. 17: 3,5kHz profile from Thermaikos Gulf in which shoals of fish are recorded. The reflective character is that of an inverted V (Modified from Ferentinos, 1985).



Εικ. 18: Τομογραφία στην οποία παρατηρούνται στηλοειδούς μορφής ανακλάσεις στην υδάτινη στήλη από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων (Τροποποιημένη από τον Φερεντίνο, 1985).

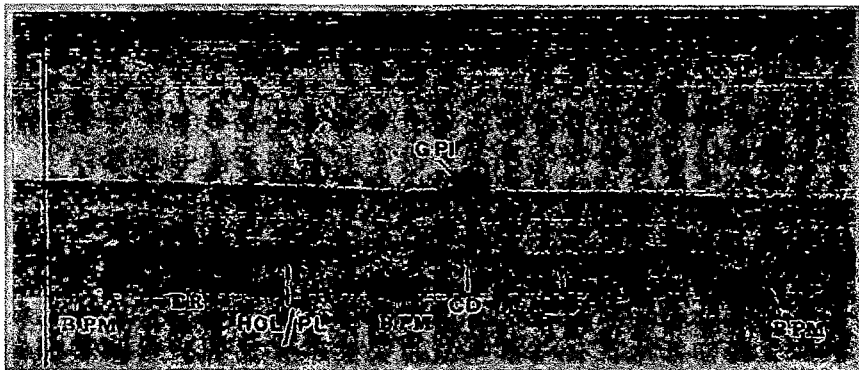
Fig. 18: Shallow seismic profile showing columnar shaped reflections in the water column, coming from gas seepage (Modified from Ferentinos, 1985).

1.5 Μικρές συγκεντρώσεις αερίων (Gas plumes)

Τα γνωρίσματα αυτά αποτελούν περιορισμένης έκτασης μεταναστεύσεις αερίων υδρογονανθράκων προς τα άνω. Αυτές εμφανίζονται:

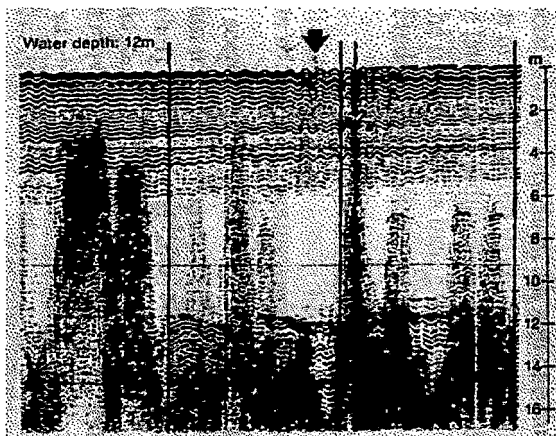
α) να υψώνονται στην υδάτινη στήλη δίνοντας είτε υπερβολικές ανακλάσεις στις καταγραφές (Papatheodorou *et al.*, 1993; Παπαθεοδώρου, 1995) (Εικ. 19), είτε στηλοειδούς μορφής ανακλάσεις (Φερεντίνος, 1985; Hovland and Sommerville, 1985), οπότε σχετίζονται σε χαρακτηριστικά με τον ακουστικό χαρακτήρα που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο (Εικ. 18),

β) ως οξύληκτα και με ευδιάκριτα άκρα εμβλώματα (patches) στα επιφανειακά ιζήματα, αποτελώντας μικρές συγκεντρώσεις αερίων οι οποίες διατηρούν την επαφή τους με τη μητρική συγκέντρωση αερίων που συχνά έχει τη μορφή σεισμοκονιασμένης καταγραφής (Laiet, 1992; Taylor, 1992; Παπαθεοδώρου, 1995) (Εικ. 20, 21).



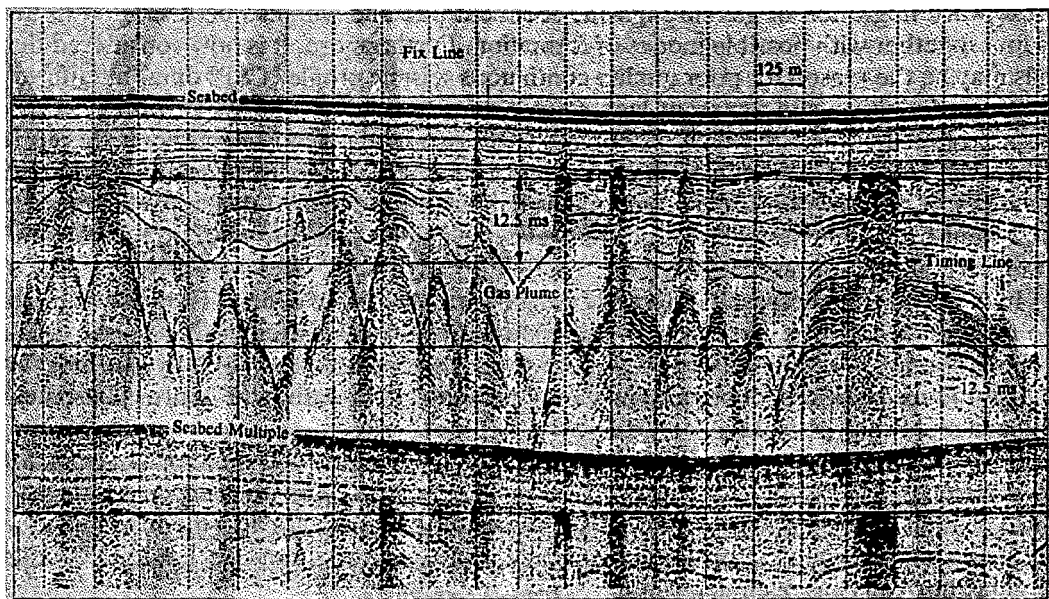
Εικ. 19: Τομογραφία 3,5kHz από τον Αμβρακικό Κόλπο στην οποία παρατηρούνται: μία πλούμα αερίων (GPI), έντονες ανακλάσεις (ER), στηλοειδείς διαταράξεις (CD), το όριο Ολόκαινου/Πλειστόκαινου (HOL/PL) και θαμμένα rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

Fig. 19: 3,5kHz profile from the Amvrakikos Gulf showing: gas plumes (GPI), enhanced reflections (ER), columnar disturbances (CD), Holocene/Pleistocene boundary (HOL/PL) and buried rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).



Εικ. 20: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται πλούμες αερίων στα ιζήματα της θαλάσσιας περιοχής έξω από την πόλη Frederikshavn, στη Βόρεια Δανία. Η ανάκλαση που υποδεικνύεται από το βέλος αποτελεί είτε διαφυγή αερίων, είτε κάποιον λιθοποιημένο σχηματισμό στα ιζήματα (Laier, 1992).

Fig. 20: 3,5kHz profile showing gas plumes in sediments offshore Frederikshavn in Northern Denmark . The arrow points out either a gas seep or a carbonate- cemented pillar (Laier, 1992).

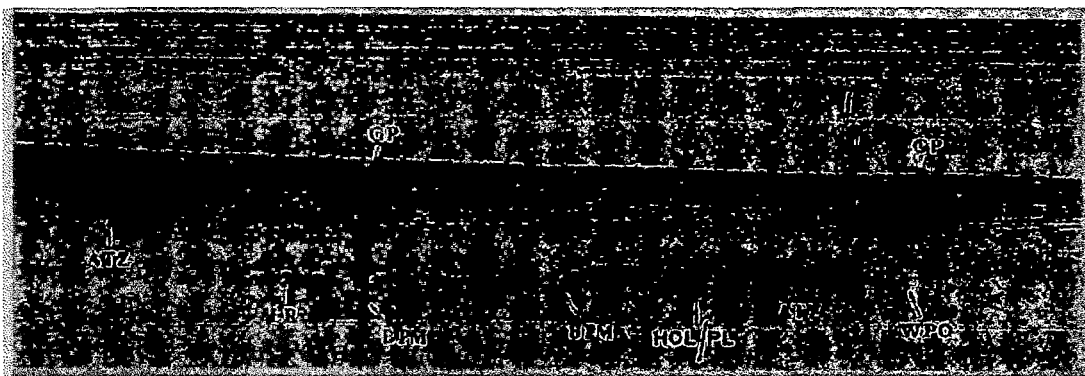


Εικ. 21: Τομογραφία στην οποία καταγράφονται πλούμες αερίων (gas plumes) μέσα στα ιζήματα στη βορειοανατολική Ιρλανδική Θάλασσα. Έχουν χαρακτηριστική μορφή ανακλάσεων, οξύληκτα, ευδιάκριτα άκρα και επαφή με τη μητρική συγκέντρωση των αερίων (Taylor, 1992).

Fig. 21: Shallow seismic profile showing gas plumes in the northeast Irish Sea. Their reflections are characteristic: sharp- edged, distinct edges and have apparent connection to source (Taylor, 1992).

1.6 Θύλακες αερίων (Gas pockets)

Οι θύλακες αερίων αποτελούν περιορισμένης έκτασης μεταναστεύσεις αερίων υδρογονανθράκων προς τα άνω, οι οποίες δεν έχουν σύνδεση με τη μητρική συγκέντρωση αερίων, που συνήθως έχει τη μορφή σεισμοκονιασμένης καταγραφής (Παπαθεοδώρου, 1995). Εμφανίζονται υπό τη μορφή εμβλωμάτων υψηλών συγκεντρώσεων αερίων καθώς τα γειτονικά ιζήματα είναι στην ουσία ελεύθερα αερίων (Papatheodorou *et al.*, 1993) (Εικ. 22).

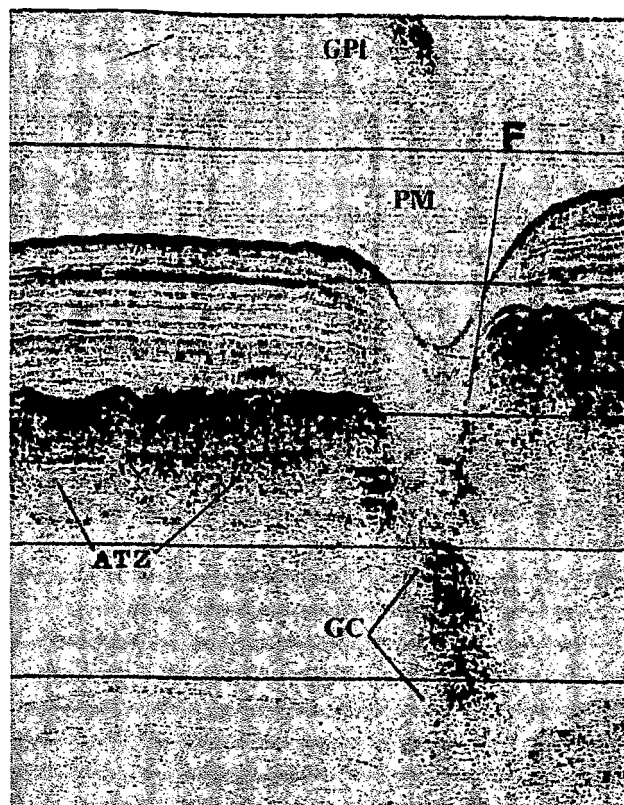


Εικ. 22: Τομογραφία 3,5kHz από τον Αμβρακικό Κόλπο στην οποία παρατηρούνται: θύλακες αερίων (GP), σεισμοκονιασμένες περιοχές (ATZ), έντονες ανακλάσεις (ER), ακουστική σκιά (WPO) το όριο Ολόκαινου/Πλειστόκαινου (HOL/PL) και θαμμένα rockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

Fig. 22: 3,5kHz profile from the Amvrakikos Gulf showing: gas pockets (GP), acoustic turbid zones (ATZ), enhanced reflections (ER), wipe outs (WPO) the Holocene/Pleistocene boundary (HOL/PL) and buried pockmarks (BPM) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

1.7 Στηλοειδείς διαταράξεις (Columnar disturbances, Gas chimneys)

Οι στηλοειδείς διαταράξεις (columnar disturbances) αποτελούν κατακόρυφες ζώνες στις οποίες η συνέχεια των σεισμικών ανακλάσεων έχει διαταραχθεί ή έχει καταστραφεί από την ανοδική μετανάστευση αερίων υδρογονανθράκων (Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992; Παπαθεοδώρου, 1995). Αυτές οι διαταράξεις μπορεί να προκαλούνται από την κάθετη μετανάστευση αερίων από βαθύτερους ορίζοντες και οι οποίες τροποποιούν την δομή των ιζημάτων καταστρέφοντας τη στρωμάτωση των ιζημάτων (Papatheodorou *et al.*, 1993) (Εικ. 23, 24).



Εικ. 23: Τομογραφία 3,5kHz από τον πυθμένα του Πατραϊκού Κόλπου στην οποία παρατηρείται ενεργό ρήγμα (F) στο οποίο έχει δημιουργηθεί rockmark (PM), σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) και μία 'gas chimney' (GC) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

Fig. 23: 3,5kHz profile from the pockmark field of the Patras Gulf showing: an active fault (F) in which a pockmark (PM) has formed, acoustic turbid zone (ATZ) and a gas chimney (GC) (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

Παρ' όλ' αυτά η προέλευσή τους εξακολουθεί να είναι αβέβαιη και διαταράσσουν τις ανακλάσεις έχοντας διαβρωσιγενή χαρακτήρα, χωρίς καμία ένδειξη ότι έχουν προσχωθεί.

Η πιο διαδεδομένη άποψη υποστηρίζει ότι είναι ζώνες στις οποίες έχουν διευθετηθεί μεμονωμένα ορυκτά σωματίδια, διαταράσσοντας την ακουστική ακολουθία. Εικάζεται ακόμα, ότι για τη δημιουργία των στηλοειδών διαταράξεων μπορεί να ευθύνονται ρευστά που μεταναστεύουν προς τα άνω, κατακόρυφα, διαμέσου των ιζημάτων (Hovland and Judd, 1988).



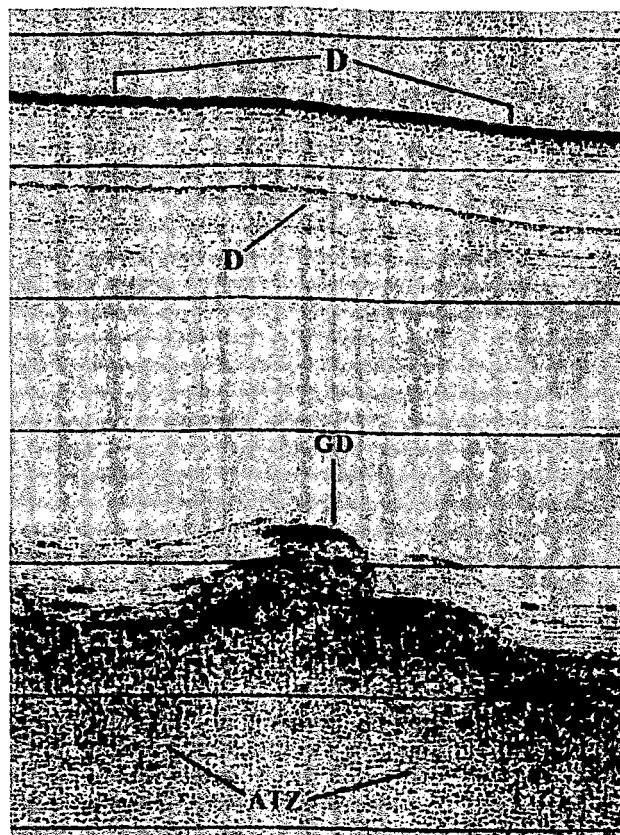
Εικ. 24: Τομογραφία από Airgun στην κρηπίδα των Σποράδων στην οποία παρατηρούνται ρήγματα (F), σεισμικονιασμένες περιοχές (ATZ), στηλοειδείς διαταράξεις (CD) και η παρουσία της ψευδανάκλασης του πυθμένα (M) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

Fig. 24: Airgun seismic profile taken from the Sporades shelf showing faults (F), acoustic turbid zone (ATZ), columnar disturbances (CD) and a seabed multiple (M) is also present (Papatheodorou *et al.*, 1993).

1.8 Δόμοι αερίων στα ιζήματα και αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα (Gas domes & Doming)

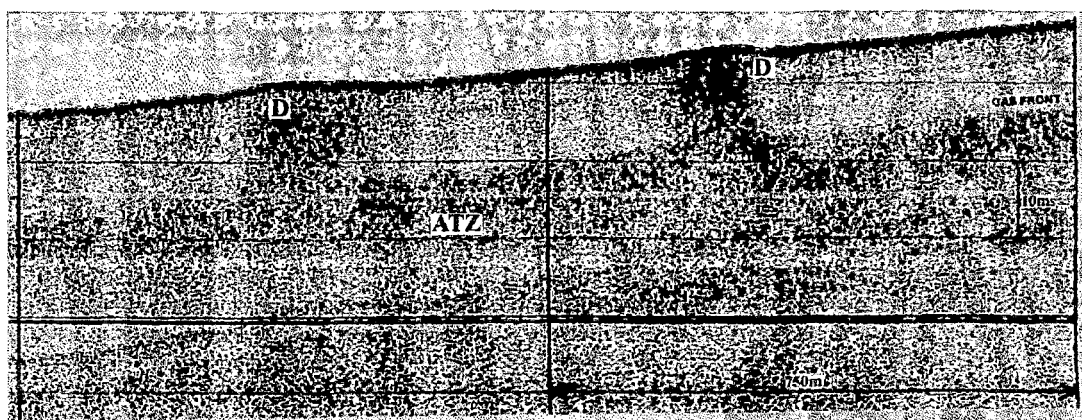
Οι αέριοι υδρογονάνθρακες κατά την κατακόρυφη μετανάστευσή τους σχηματίζουν δόμους μέσα στα ιζήματα οι οποίοι διατηρούν την επαφή τους με τη μητρική συγκέντρωση των αερίων. Οι δόμοι αερίων αποτελούν μεγάλης έκτασης μεταναστεύσεις αερίων προκαλώντας παραμορφώσεις στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων. Οι παραμορφώσεις αυτές οφείλονται πιθανότατα στην διαστολή των παγιδευμένων στα ιζήματα, αερίων υδρογονανθράκων και βρίσκουν έκφραση στην επιφάνεια του πυθμένα προκαλώντας αναθόλωση (doming) (Hovland and Judd, 1992; Papatheodorou *et al.*, 1993; Παπαθεοδώρου, 1995) (Εικ. 25, 26).

Οι δόμοι αερίων δεν πρέπει να συγχέονται με τους θύλακες αερίων (gas rockets), καθώς στη περίπτωση των θυλάκων αερίων, δεν υφίσταται παραμόρφωση των υπερκείμενων στρωμάτων των ιζημάτων, κάτι που απεναντίας συμβαίνει, όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση των δόμων.



Εικ. 25: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στην οποία παρατηρείται σεισμικοκονιασμένη περιοχή (ATZ) κάτω από δόμο αερίων (GD), ενώ παρατηρείται επίσης και ελαφρά αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα (D). Ο δόμος αυτός έχει εύρος 155m και ύψος περί τα 7m (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Δημοσίευτα στοιχεία).

Fig. 25: 3,5kHz profile of the Patras Gulf showing acoustic turbid zone (ATZ) underneath a gas dome (GD) which causes seabed doming (D). The gas dome observed is 7m of height and 155m wide (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).



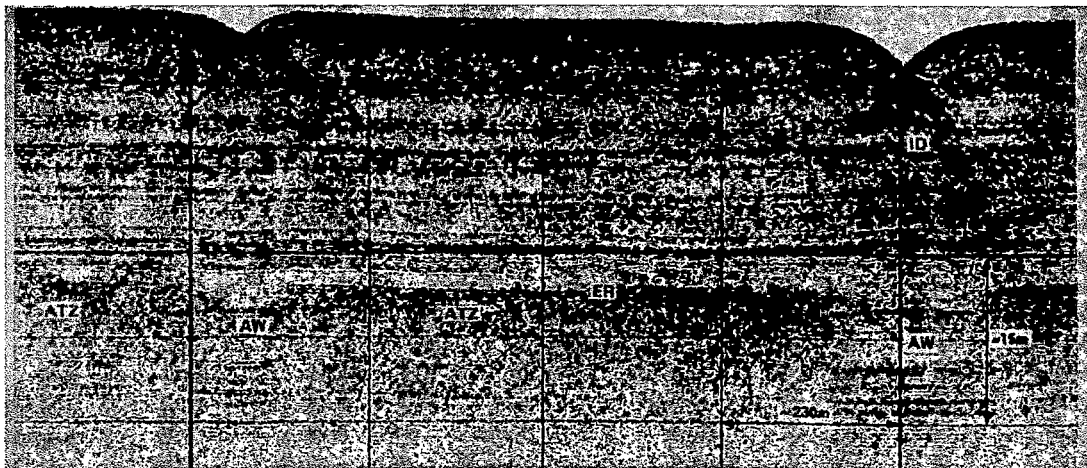
Εικ. 26: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται δύο δόμοι αερίων (D) και σεισμικοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ). Το μέτωπο των ανερχόμενων αερίων (gas front) είναι ευδιάκριτο (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 26: 3,5kHz profile in which are recorded two gas domes (D) and acoustic turbidity (ATZ). The rising 'gas front' is easy to note (Modified from Hovland and Judd, 1988).

1.9 Παρουσία δόμων στα ιζήματα (Intra-sedimentary doming)

Κάτω από ορισμένα rockmarks μεμονωμένες ανακλάσεις λαμβάνουν τη μορφή δόμων. Θεωρείται ότι αυτά τα γνωρίσματα είναι τεχνουργήματα (artifacts) που προκαλούνται από τη διάθλαση των ηχητικών κυμάτων, λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα του ήχου στο νερό και στα υπερκείμενα των γνωρισμάτων αυτών, ιζήματα. Πιθανότατα όμως και να προκαλούνται λόγω της αυξημένης πίεσης των αερίων που βρίσκονται στους πόρους των ιζημάτων (Εικ. 27).

Συχνά οι ανακλάσεις παραμένουν ανεπηρέαστες από την παρουσία rockmarks πάνω απ' αυτές. Η παρουσία των δόμων αυτών θα πρέπει να θεωρηθεί μοναδικό χαρακτηριστικό. Καθώς άλλωστε απαντώνται παράλληλα με στηλοειδείς διαταράξεις, θεωρούνται ότι σχετίζονται με την κατακόρυφη μετανάστευση αερίων υδρογονανθράκων (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 27: Δύο rockmarks στην τάφρο της Νορβηγίας που σχετίζονται με παρουσία δόμων στα ιζήματα (ID), ακουστικά παράθυρα (AW), σεισμοκονιασμένες περιοχές (ATZ) και έντονες ανακλάσεις (ER) (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 27: Two rockmarks in the Norwegian trench which appear in relation with intra-sedimentary doming (ID), acoustic windows (AW), acoustic turbid zones (ATZ) and enhanced reflections (ER) (Hovland and Judd, 1988).

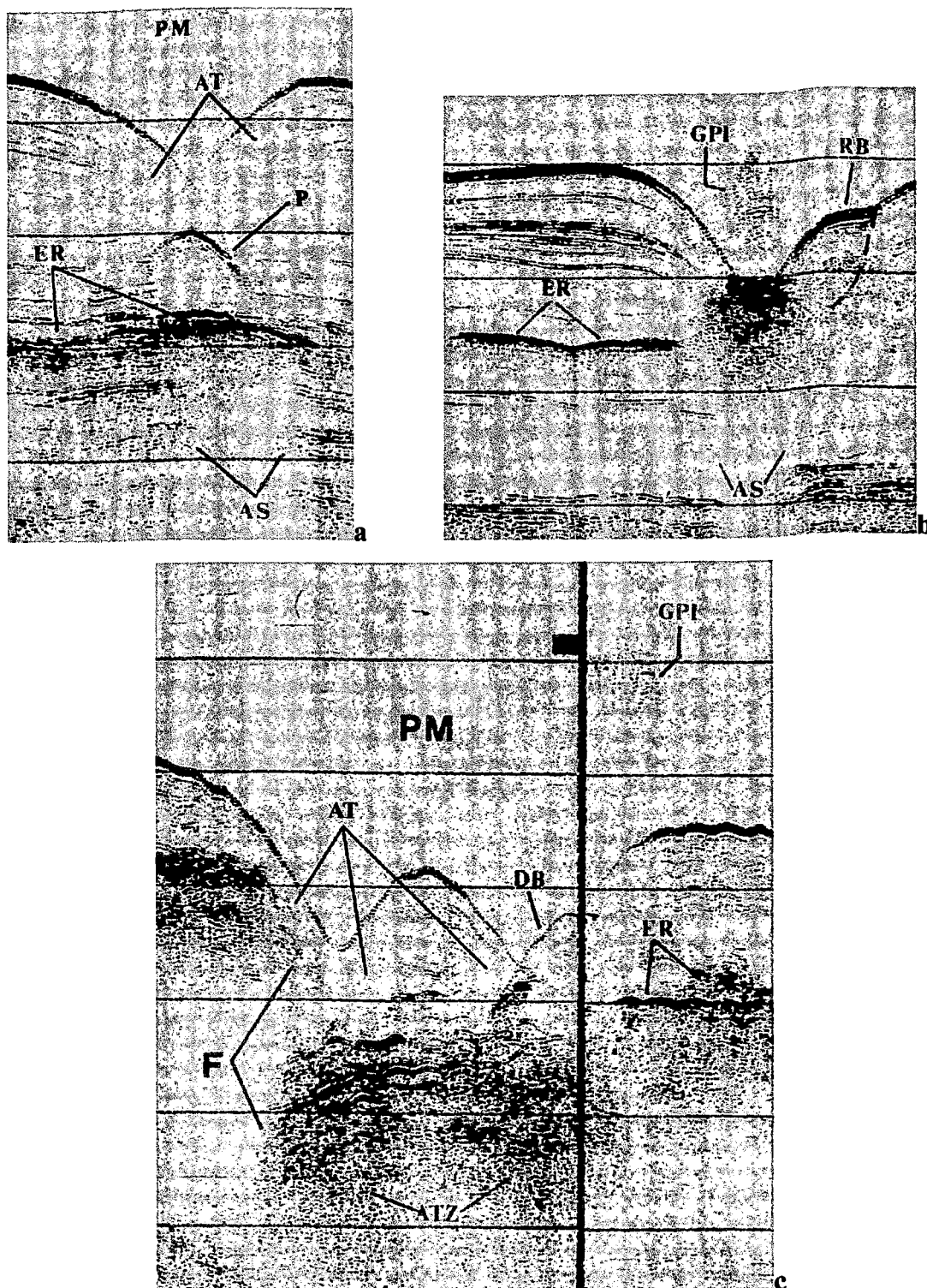
1.10 Ζώνες ακουστικής σκιάς ή ακουστικής διαφάνειας ή λευκές ζώνες (Acoustic shadow, Acoustic transparency, Wipe-out, Acoustic voids, White zones)

Οι ζώνες ακουστικής σκιάς εμφανίζονται ως λευκές περιοχές στις οποίες οι σεισμικές ανακλάσεις είναι, είτε πολύ ασθενείς, είτε απουσιάζουν. Είναι το αποτέλεσμα της διάρρηξης της στρωμάτωσης των ιζημάτων από τη μετανάστευση ρευστών από τους πόρους τους ή μπορεί να προκαλείται από την απορρόφηση της ακουστικής ενέργειας από τα υπερκείμενα, φορτισμένα σε αέριους υδρογονάνθρακες, ιζήματα (Εικ. 28 a, b). Οι ζώνες αυτές μπορούν να σχετιστούν με τις λαμπερές κηλίδες και τις έντονες σεισμικές ανακλάσεις, χωρίς απαραίτητα αυτό να αποτελεί ένδειξη παρουσίας αερίων στους πόρους των ιζημάτων. Θα μπορούσαν να σχετιστούν επίσης με τις στηλοειδείς διαταράξεις, την παρουσία δόμων στα ιζήματα (intra-sedimentary doming) και τις δομές παγόδας (Hovland and Judd, 1988).

Στις τομογραφίες η ακουστική σκιά εμφανίζεται συνήθως ακριβώς κάτω από τη σεισμοκονιασμένη περιοχή, εξαιτίας της διάχυσης που υφίσταται η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων. Τα συμπαγοποιημένα, λόγω διαφυγής αερίων, ιζήματα στο δάπεδο των rockmarks εμφανίζουν ακουστική σκιά κάτω από την καταγραφή τους.

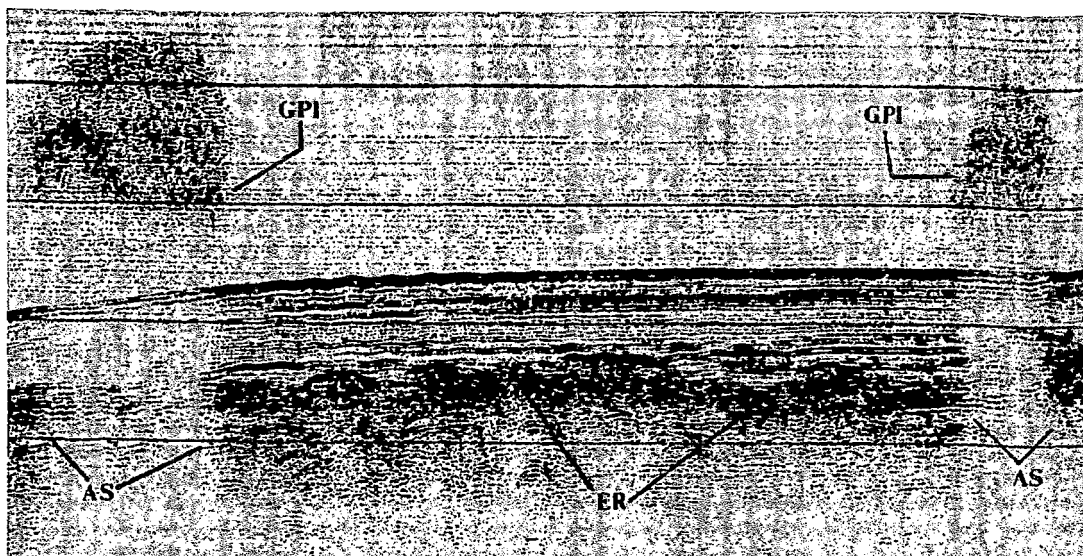
Ακόμα, πλούμες (plumes) από μεταναστεύουσες φυσαλίδες αερίων εμφανίζονται ως περιοχές υψηλής ανακλαστικότητας, ακολουθούμενες από ακουστική σκιά (Hovland, 1984).

Επίσης, ακουστική σκιά προκαλείται και από διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη, είτε επειδή τα διαρρέοντα αέρια έχουν μεγάλη πυκνότητα, είτε, έχοντας υψηλή πυκνότητα, κατά τη διαφυγή τους συμπαρασύρουν επιφανειακά ιζήματα, οπότε δημιουργούνται μέτωπα έντονης ανακλαστικότητας που δεν επιτρέπουν τη διείσδυση των ηχητικών κυμάτων μέσα απ' αυτά (Φερεντίνος, 1985; Judd and Hovland, 1992; Παπαθεοδώρου, 1995; Hasiotis *et al*, 1996) (Εικ. 26). Η ζώνη ακουστικής σκιάς που ακολουθεί αυτά τα μέτωπα, είναι συνήθως στηλοειδούς μορφής και σχετίζεται πολύ συχνά με rockmarks (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 28 a, b, c: Τομογραφίες 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο, στις οποίες έχουν καταγραφεί rockmarks (PM). Παρατηρούνται: περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) και ακουστικής σκιάς (AS), έντονες ανακλάσεις (ER), διαφυγή αερίων στην υδάτινη στήλη (GPI), μορφή σύγκλιου ή papillion (P), περιστροφική κατολίθωση (RB), αποκολληθέν τέμαχος (DB). Το rockmark στην (c), έχει δημιουργηθεί σε ενεργό ρήγμα (F) (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).

Fig. 28 a, b, c: 3,5kHz profiles from the Patras Gulf showing rockmarks (PM), acoustic transparency (AT) under their side walls, acoustic shadow (AS), enhanced reflections (ER), gas plumes (GPI), papillion structure (P), a rotated block (RB), a detached block (DB). The rockmark in (c) has formed on an active fault (F) (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).



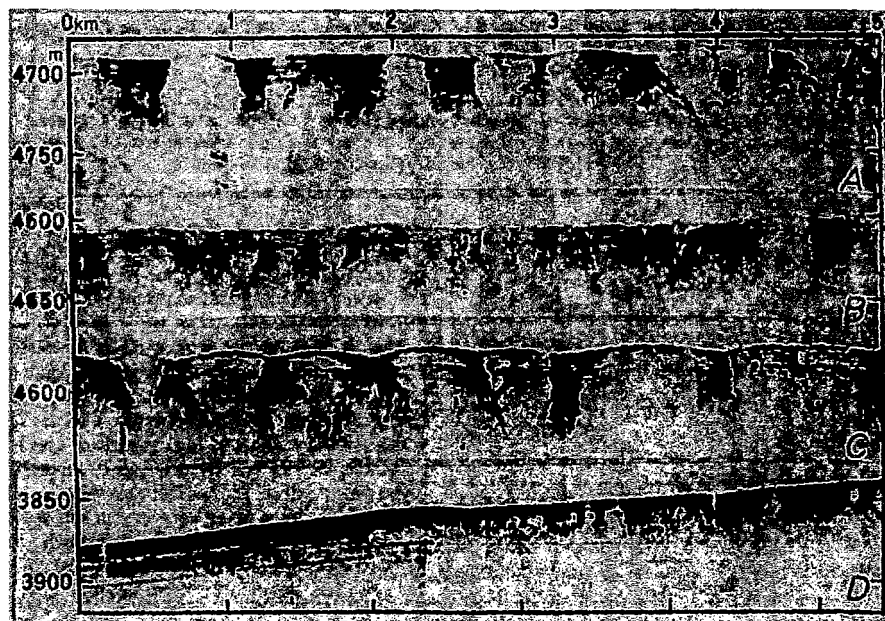
Εικ. 29: Τομογραφία 3,5kHz από τον Πατραϊκό Κόλπο στην οποία παρατηρείται μαζική διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη (GPI), ακουστικές σκιές (AS) κάτω από τις ανακλάσεις που δίνουν τα διαφεύγοντα αέρια και έντονες ανακλάσεις (ER) ένδειξη της παρουσίας συγκεντρώσεων αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα (Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω., Αδημοσίευτα στοιχεία).
Fig. 29: 3,5kHz profile from the Patras Gulf showing massive seepage of gas hydrocarbons in the water column (GPI), the acoustic shadow areas they create (AS) and enhanced reflections (ER) indicating the presence of gas in the sediments (Lab. of Marine Geology & Physical Oceanography, Unpublished data).

1.11 Δομές «παγόδας» (Pagoda structures)

Οι δομές παγόδας απαντώνται πολύ συχνά και σε βάθος νερών 2000-5000m (Hovland and Judd, 1988). Η μορφή των ανακλάσεών τους είναι κυματοειδής και εμφανίζονται όπου στα επιφανειακά στρώματα παρατηρούνται ασυνέχειες. Οι συνεχείς και σαφείς σεισμικές ανακλάσεις των επιφανειακών ιζημάτων διακόπτονται από την κατακόρυφη παρεμβολή υποκείμενων ιζημάτων μικρής ανακλαστικότητας και συχνά ακουστικά διαφανών. Δημιουργούνται είτε από την άνοδο λεπτόκοκκων ομογενοποιημένων ιζημάτων σε σημεία στα οποία τα υπερκείμενα ιζήματα εμφανίζουν χαμηλή αντοχή, είτε από τη φόρτιση που υφίστανται αυτά από υποκείμενες ροές κορρημάτων (Λαμπροπούλου, 1996).

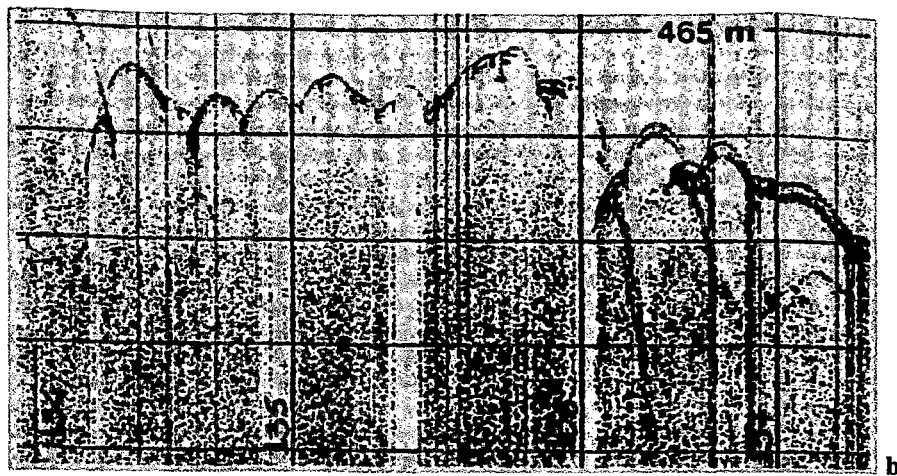
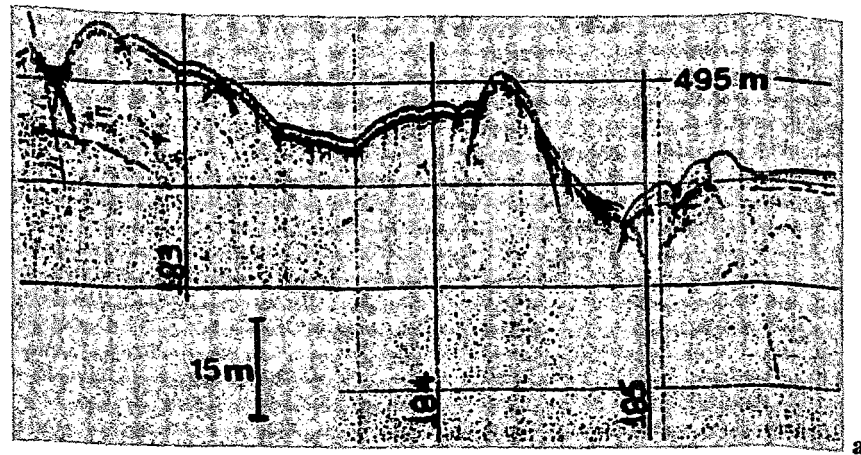
Από τους Hovland και Judd (1988), πιστεύεται ότι οι δομές αυτές είναι το αποτέλεσμα της κατακράτησης, μετανάστευσης, διόγκωσης και αποστράγγισης ρευστών (αερίων/ υγρών) στα ιζήματα, κατάσταση η οποία προκαλείται από την υδραυλική των, περιεχόμενων στα ιζήματα, ρευστών (αέρια, νερό των πόρων).

Τέτοιες δομές έχουν παρατηρηθεί στον πυθμένα του Ατλαντικού Ωκεανού από τον Emery (1974) (Εικ. 30) και στην υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ Κυλλήνης και Ζακύνθου (Λαμπροπούλου, 1996) (Εικ. 31 a, b).



Εικ. 30: Διάφοροι τύποι δομών παγόδας που απαντώνται στα μεγάλα βάθη του ωκεανού και έχουν αναφερθεί από τον Emery (1974) (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 30: Types of pagoda structures that are observed in deep ocean depths and have been reported by Emery (1974) (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 31 a, b: Τομογραφία 3,5kHz στην οποία καταγράφονται δομές παγόδας από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης Ζακύνθου- Κυλλήνης (Λαμπροπούλου, 1996).

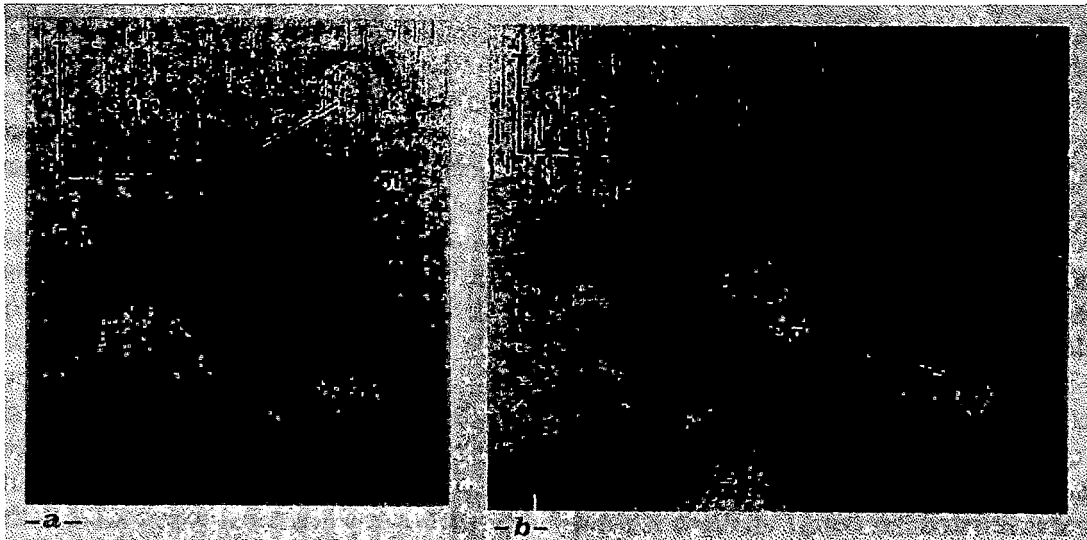
Fig. 31 a, b: 3,5kHz profile showing pagoda structures from the central block of the Zakynthos-Kyllini Basin (Lambropoulou, 1996).

2. Η ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΟΙ ΑΕΡΙΟΙ

ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΣΤΙΣ ΗΧΟΓΡΑΦΙΕΣ

(Evidence of gas hydrocarbons in side scan sonar images)

Η παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων του πυθμένα, δεν μπορεί να εξακριβωθεί μέσω καταγραφών από βυθόμετρα, ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης και γενικά, συστήματα υψηλών συχνοτήτων, τα οποία, όπως είναι γνωστό, δεν διεισδύουν κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα. Απεναντίας, μπορεί να εντοπιστεί η διαφυγή τους στην υδάτινη στήλη από το χαρακτήρα των ανακλάσεων τους, διότι εμφανίζονται ως σκοτεινοί στόχοι που υψώνονται ως πλούμες (gas plumes) πάνω από ενεργά rockmarks, λασπούχα ηφαίστεια ή ακόμα και την επιφάνεια του πυθμένα (Judd and Hovland, 1992; Hasiotis *et al*, 1996) (Εικ. 32 a, b).



Εικ. 32 a, b: Καταγραφές ηχοβολιστού πλευρικής σάρωσης οι οποίες παρουσιάζουν πλούμες αερίων (GS) να υψώνονται στην υδάτινη στήλη από ενεργά rockmarks (PM) (Hasiotis *et al*, 1996).

Fig. 32 a, b: Side scan sonar image showing gas plumes (GS) rising in the water column over active pockmarks (PM) (Hasiotis *et al*, 1996).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (CHARACTERISTICS OF THE SEAFLOOR INDICATING SEEPAGES)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Η διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων από τα ιζήματα προκαλεί στην επιφάνεια του πυθμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά διαβρωσιγενούς ή μη προέλευσης που εντοπίζονται με τομογράφους υποδομής πυθμένα. Περισσότερο όμως αξιόπιστες πληροφορίες για τη μορφή των γνωρισμάτων αυτών δίνουν οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης.

2. ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΚΡΑΤΗΡΕΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (Pockmarks)

2.1 Εισαγωγή (Introduction)

Τα pockmarks είναι καταβυθίσεις διαβρωσιγενούς χαρακτήρα στην επιφάνεια του πυθμένα που προκαλεί η μετακίνηση των επιφανειακών ιζημάτων από τη διαφυγή ρευστών στη υδάτινη στήλη.

Το μέγεθος των pockmarks ποικίλει, ανάλογα με: την περιοχή, την ένταση και τον όγκο της διαφυγής των αερίων υδρογονανθράκων, τη φύση των ιζημάτων του πυθμένα, την κατανομή και το λιθολογικό χαρακτήρα των κόκκων που τα συνιστούν, καθώς και τη διατμητική αντοχή αυτών (shear strength) (Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992; Hasiotis *et al.*, 1996).

Τα pockmarks σχηματίζονται σε μαλακά ή πολύ μαλακά, λεπτόκοκκα ιζήματα (άργιλοι, πηλοί, ιλεις). Η κοκκομετρία των ιζημάτων διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στις διαστάσεις που θα λάβει ένα pockmark. Όσο λεπτόκοκκα είναι τα ιζήματα, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το pockmark σε διάμετρο και βάθος.

Αντίθετα, σε λεπτόκοκκα αλλά συμπαγή ιζήματα, τα rockmarks είναι μικρότερα. Επίσης μικρού μεγέθους είναι τα rockmarks που απαντώνται σε αδρόκοκκα ιζήματα.

Η πυκνότητα των rockmarks σε μία περιοχή, εξαρτάται από την κοκκομετρία της και έχουν σχέση ανάλογη: όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων (λεπτόκοκκα), τόσο μικρότερη είναι και η πυκνότητα τους στην περιοχή. Το γεγονός αυτό εξηγείται λόγω του γεγονότος ότι τα λεπτόκοκκα ιζήματα έχουν μικρό πορώδες και είναι σχετικά αδιαπέραστα στη διέλευση των ρευστών.

Πιο συγκεκριμένα, ο Hovland, (1984) υποστηρίζει ότι τα rockmarks είναι κοινοί μορφολογικοί χαρακτήρες σε μαλακά θαλάσσια και παγετοθαλάσσια ιζήματα του πυθμένα.

Οι Scanlon and Knebel, (1989) αναφέρουν ότι τα rockmarks συνδέονται με τα ιζήματα της Ολόκαινου τα οποία είναι φορτισμένα με υψηλές συγκεντρώσεις ρευστών. Οι ίδιοι ερευνητές παρατηρούν ότι στις περιοχές όπου η ενότητα της Ολόκαινου είναι πολύ ευρεία, τα rockmarks που εμφανίζονται, είναι μεγαλύτερα. Αυτό συμβαίνει διότι η παροχή αερίων στις περιοχές αυτές είναι πιθανότατα μεγαλύτερη. Έτσι, τα rockmarks προφανώς συνεχίζουν να βαθαίνουν και να διευρύνονται μέχρι να φτάσουν στο κατώτερο άκρο της ενότητας Ολοκαίνου.

Παρόμοιες παρατηρήσεις σχετικά με το βάθος των κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων και το εύρος διαπιστώνουν και οι Hasiotis *et al.* (1996) για τα rockmarks του Πατραϊκού, των οποίων οι βάσεις σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνουν στο κατώτερο άκρο της ενότητας της Ολόκαινου.

Έτσι, στον πυθμένα του κόλπου του Πρίνου, βόρεια της Θάσου, έχουν εντοπιστεί rockmarks με μέση διάμετρο 15m, η οποία κυμαίνεται από 1 έως 25m και μέγιστο βάθος 2 έως 3m. Ο πυθμένας της περιοχής καλύπτεται από πηλοαμμώδη ιζήματα (Newton *et al.*, 1980).

Στη Βόρειο Θάλασσα έχουν αναφερθεί rockmarks με διάμετρο από 5m έως 150m και βάθους από <1m έως 20m (Hovland, 1984; Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992).

Στον πυθμένα του Penobscot Bay στο Maine των Η.Π.Α. έχουν παρατηρηθεί rockmarks με διάμετρο από 10m έως 300m, με το μεγαλύτερο ποσοστό τους να έχει διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 20-60m και βάθος που κυμαίνεται από <10m έως και 30m από την επιφάνεια του πυθμένα. Ο πυθμένας της περιοχής καλύπτεται από ιλύ και άμμο (Scanlon and Knebel, 1989).

Τα rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου, που εμφανίζονται σε πηλώδη και αμμοπηλώδη ιζήματα χαμηλής διατμητικής αντοχής, έχουν μία μέση διάμετρο 98m, η οποία κυμαίνεται από 25 έως 250m και μέσο βάθος 8,8m, κυμαινόμενο από 0,5 έως 15m (Hasiotis *et al.*, 1996).

Επίσης, στο βόρειο τμήμα της κρηπίδας της Κυλλήνης, ο πυθμένας αποτελείται από μαλακά στρωματοποιημένα ιζήματα, η συνέχεια των οποίων διακόπτεται από την παρουσία πέντε κρατήρων με μέσο βάθος 40m, ενώ η μέγιστη τιμή της μέγιστης και της ελάχιστης διαμέτρου τους είναι 468m και 233m αντίστοιχα (Λαμπροπούλου, 1996).

2.2 Μορφολογία των rockmarks (Pockmark morphology)

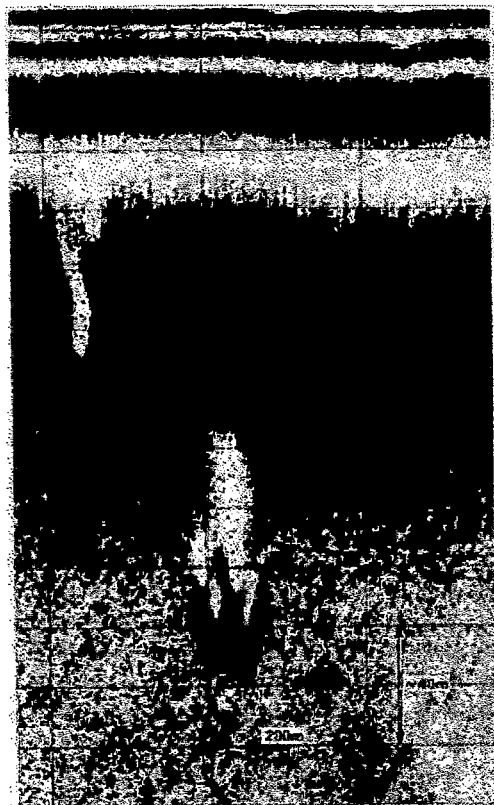
Τα rockmarks παρουσιάζουν ποικιλομορφία, καθώς απαντώνται σε διάφορα σχήματα. Το μέγεθός τους δε, ποικίλει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή και μεταβάλλεται μέσα ακόμα στην ίδια περιοχή μελέτης. Έτσι, τα rockmarks κατά τους Hovland και Judd (1988), είναι:

- *Πρότυπα κυκλικά ή ελλειπτικά (Standard circular and elliptical rockmarks)*, όταν έχουν κατ' αντιστοιχία κυκλικό ή ελλειψοειδές σχήμα.

- *Σύνθετα (Composite rockmarks)*, όταν μεμονωμένα rockmarks συγχωνεύονται μεταξύ τους. Σε μερικές περιπτώσεις συμβαίνει ομάδες από rockmarks να βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη, ή να συγχωνεύονται, ενώ σε άλλες, η συγχώνευση έχει προχωρήσει σε τέτοιο βαθμό ώστε να παράγεται ένας μοναδικός κρατήρας με σύνθετο σχήμα (Εικ. 33).

- *Ασύμμετρα (Asymmetric rockmarks)*. Αυτά εμφανίζονται στις καταγραφές των ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης με μία ευδιάκριτη «ουρά» και ισχυρή ανάκλαση από τη μία μόνο πλευρά τους (back-wall reflection). Η έλλειψη

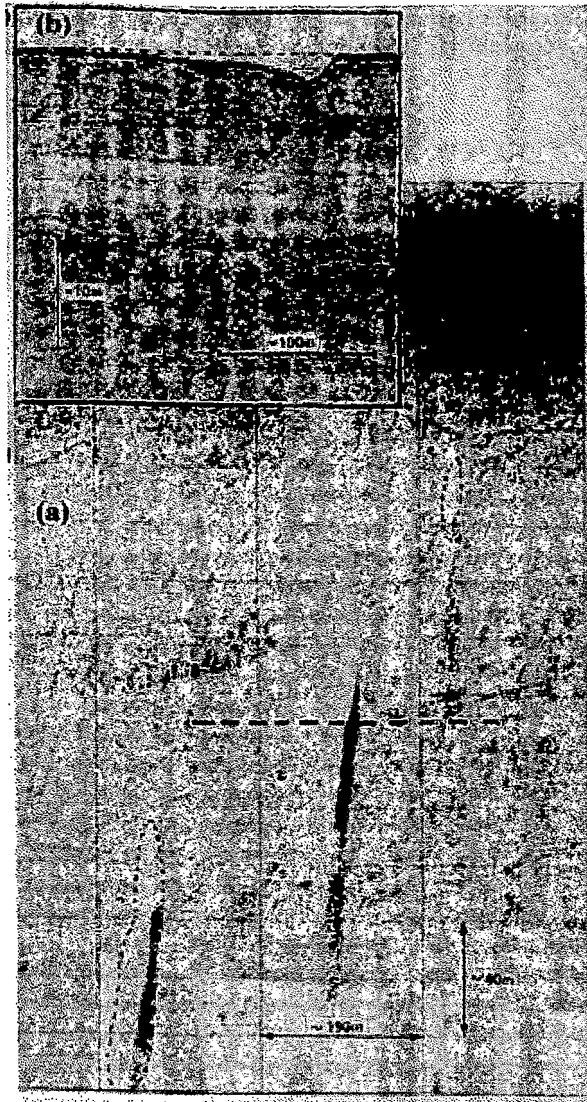
back-wall ανάκλασης συμβαίνει όταν η κλίση των πρανών του κρατήρα είναι ομαλή (Εικ. 34).



Εικ. 33: Δύο σύνθετα rockmarks στη Βόρειο Θάλασσα. Το ένα αποτελείται από τουλάχιστον τέσσερις κρατήρες (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 33: Two composite rockmarks in the North Sea. One of them consists of at least four craters (Hovland and Judd, 1988).

- *Τοποθετημένα σε σειρές (Rockmark strings).* Τα μεμονωμένα rockmarks είναι συνήθως συμμετρικά, ρηγά και έχουν διάμετρο 10-15m. Είναι διευθετημένα σε σειρές ή αλυσίδες οι οποίες εκτείνονται σε μία έκταση εκατοντάδων μέτρων, συνηθέστερα όμως μεταξύ 100-150m και σε ευθεία γραμμή. Η απόσταση μεταξύ των κρατήρων δεν ξεπερνά τη διάμετρο ενός rockmark. Οι σειρές αυτές καταλήγουν σε ένα μεμονωμένο rockmark πολύ μεγαλύτερο από αυτά που απαρτίζουν τη σειρά. Σε μερικές περιπτώσεις οι σειρές ενώνουν δύο τέτοια rockmarks, ενώ σε άλλες, εκτείνονται ακτινωτά σε διάφορες διευθύνσεις από ένα μεγάλο μεμονωμένο rockmark (Εικ. 35).



Εικ. 34: Ασύμμετρα rockmarks όπως εμφανίζονται στις ηχογραφίες (a) και στις τομογραφίες (b) (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988)

Fig. 34: Asymmetric rockmarks as they appear on a side scan sonar image (a) and on a deep towed boomer profile (Modified from Hovland and Judd, 1988).

- *Επιμηκυσμένα (Elongated rockmarks)*. Μερικές φορές τα rockmarks τείνουν να είναι επιμηκυσμένα σε τέτοιο βαθμό που μοιάζουν με τάφρους (gullies) ή κοιλάδες (troughs), παρά με τα πρότυπα κυκλικά ή ελλειψοειδή rockmarks. Στο εσωτερικό αυτών των χαραδρώσεων τα επιφανειακά στρώματα των ιζημάτων απουσιάζουν και στην επιφάνεια του πυθμένα βρίσκονται εκτεθειμένα, παλαιότερα ιζήματα.

- *Μεμονωμένα (unit rockmarks)*. Είναι πολύ μικρού μεγέθους καταβυθίσεις του πυθμένα με διάμετρο $< 5\text{m}$ και συναντώνται απομονωμένα, σε ομάδες ή σε σχέση με μεγαλύτερα rockmarks.



Εικ. 35: Μικρού και μεγάλου μεγέθους rockmarks τοποθετημένα σε σειρές αποτελούμενα από μεμονωμένους κρατήρες. Οι σειρές αυτές συνδέονται με μεγάλα rockmarks (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 35: Strings of small and large rockmarks consisting of numerous unit rockmarks. These strings are connected to the large rockmarks (Hovland and Judd, 1988).

2.3 Η θεωρία της δημιουργίας των rockmarks (A theory for rockmark formation)

Ο Harrington (1985), εξετάζοντας τον σχηματισμό rockmarks εξαιτίας της διαφυγής νερού των πόρων (pore-water escape) στη Βόρειο Θάλασσα, διακρίνει τέσσερις ομάδες χαρακτηριστικών:

Η πρώτη ομάδα απαρτίζεται από μικρές και ευδιάκριτες καταβυθίσεις (pits), μήκους 3m και βάθους 0,5m, οι οποίες αποδίδονται από τον συγγραφέα σύμφωνα με την ορολογία των Hovland et al., (1984), ως μεμονωμένα (unit) rockmarks. Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από συμπλέγματα των παραπάνω καταβυθίσεων (pit clusters), γνωρίσματα που δεν διακρίνονται μεμονωμένα όπως συμβαίνει με αυτά της πρώτης ομάδας. Τα αθροίσματα αυτά μπορεί να καλύπτουν μία έκταση μήκους 20m, σαφώς μικρότερη από την αντίστοιχη ενός rockmark.

Στην τρίτη ομάδα, η επιφάνεια του πυθμένα εμφανίζεται χαρακτηριστικά διαταραγμένη (disturbed seabed feature). Το γνώρισμα αυτό τοποθετείται από πλευράς μορφολογίας και μεγέθους, μεταξύ ενός rockmark και ενός αθροίσματος καταβυθίσεων (pit cluster). Η τέταρτη ομάδα αποτελείται από rockmarks.

Ο ίδιος ερευνητής προτείνει τον παρακάτω μηχανισμό σχηματισμού των rockmarks σε σύνδεση με τα παραπάνω:

Όταν νερό των πόρων παγιδεύεται και συσσωρεύεται σε μαλακά και συνεκτικά ιζήματα (πηλώδη ή αργιλώδη), αναπτύσσεται πίεση η οποία σταδιακά απελευθερώνεται σε συγκεκριμένα σημεία με αφορμή εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι οι σεισμοί. Το νερό των πόρων στην περίπτωση αυτή αποβάλλεται και τα ιζήματα διαταράσσονται όπως συμβαίνει στα λασπούχα ηφαίστεια (mud volcanoes).

Αν δε σχηματιστεί άμεσα κάποιος κρατήρας μικρού μεγέθους (pit), δρουν οι μηχανισμοί του «λιχνίσματος» (winnowing) και έτσι το μέγεθος των κόκκων αυξάνεται τοπικά με ανάλογη αύξηση στη διαπερατότητα. Το νερό των πόρων σε αυτήν την περίπτωση, αποθηκεύεται οριζόντια, σχηματίζοντας λεκάνη κατά μήκος πορωδών στρωμάτων, κατά τέτοιο τρόπο ώστε η διαφυγή του να είναι εστιασμένη σε ένα σημείο.

Αν σχηματιστεί κάποιος κρατήρας, η συνεχής διαφυγή του νερού θα οδηγήσει στη συμπαγοποίηση των επιφανειακών ιζημάτων σε κυκλική διάταξη γύρω από τον κρατήρα (pit). Μέσα σε αυτήν τη ζώνη, οι διαφορές στις τάσεις δημιουργούν περιοχές αδυναμίας με αποτέλεσμα το σχηματισμό περισσότερων κρατήρων. Όσο περισσότεροι κρατήρες (pits) σχηματίζονται και διευρύνονται, η επιφάνεια του πυθμένα εμφανίζεται διαταραγμένη (disturbed). Σταδιακά σχηματίζεται ένα rockmark το οποίο αναπτύσσεται στη γύρω περιοχή. Όταν παύσει να είναι ενεργό, προσχώνεται και αποκτά πιο ομαλή μορφολογία.

Οι Hovland and Judd (1988) προτείνουν ένα γενικό πρότυπο για τη δημιουργία των rockmarks το οποίο μπορεί να εμφανίζεται με παραλλαγές, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής. Το πρότυπο αυτό έχει προκύψει από σειρά ερευνών που έχουν διεξαχθεί στη Βόρειο Θάλασσα και αφορά σε σχηματισμό rockmarks εξαιτίας της διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων, σε

αντίθεση με τον Harrington ο οποίος αναφέρεται στη δημιουργία rockmarks από τη διαφυγή νερού των πόρων.

Η διαδικασία της δημιουργίας ενός rockmark έχει ως εξής (Hovland and Judd, 1988):

i. Το πετρέλαιο που παράγεται στα θερμικά ώριμα ιζήματα, μεταναστεύει συνεχώς προς την επιφάνεια. Το μεγαλύτερο ποσοστό του παγιδεύεται σε λεκάνες πετρελαίου, αλλά ένα μέρος του ξεφεύγει και συνεχίζει την ανοδική πορεία του. Συνεχή και αδιαπέραστα στρώματα πετρωμάτων, εμποδίζουν την πορεία του πετρελαίου προς τα ανώτερα στρώματα του πυθμένα. Μερικοί όμως υδρογονάνθρακες, από τους οποίους το μεθάνιο είναι το πιο κοινό, μπορούν να περάσουν από ένα πορώδες στρώμα στο άλλο, χρησιμοποιώντας το καθένα σαν ένα προσωρινό «σταθμό-λεκάνη», στην πορεία τους. Καθώς κάθε λεκάνη γεμίζει, η πίεση στους πόρους αυξάνεται μέχρι το αέριο να υπερχειλίσει και να μεταφερθεί σε μία λεκάνη ανώτερου στρώματος. Η πίεση που απαιτείται για να επηρεάσει τη μεταφορά ανάμεσα από συνεχή αδιαπέραστα στρώματα, μειώνεται όσο το αέριο φτάνει σταδιακά σε νεότερα και λιγότερο συμπαγοποιημένα ιζήματα.

ii. Οι συγκεντρώσεις αερίων στα ιζήματα των ανωτέρων στρωμάτων της επιφάνειας του πυθμένα, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης στους πόρους. Αυτό δημιουργεί μια αναθόλωση του πυθμένα, η οποία παρουσιάζεται στις τομογραφίες ως δόμος (seabed doming). Αυτή η αναθόλωση μπορεί να καλύπτει μια μεγάλη περιοχή και αντιπροσωπεύει μία ζώνη στην οποία τα ιζήματα του πυθμένα εκτείνονται μεταβάλλοντας την τοπογραφία της περιοχής. Κεντρικά και περιφερειακά της αναθόλωσης, δημιουργούνται πολυάριθμα μικρά ρήγματα (Withjack and Scheiner, 1982; In: Hovland and Judd, 1988).

iii. Μέσω αυτών των ρηγμάτων, οι αέριοι υδρογονάνθρακες βρίσκουν δρόμο προς την επιφάνεια του πυθμένα. Αφού δημιουργηθεί η υδραυλική αυτή σύνδεση, η ελάττωση της πίεσης θα οδηγήσει σε βίαιη έκρηξη απελευθερώνοντας αέριους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι διασκορπίζονται καθώς αναδύονται απότομα από την επιφανειακή λεκάνη συσσώρευσής τους. Το περιβάλλον έδαφος ρευστοποιείται και αναμιγνύεται με τους υδρογονάνθρακες, σχηματίζοντας πλούμες στην υδάτινη στήλη. Στο μέρος που βρισκόταν πριν η αναθόλωση, δημιουργούνται μεμονωμένα (unit) rockmarks. Στα σημεία όπου υπήρχαν και τα

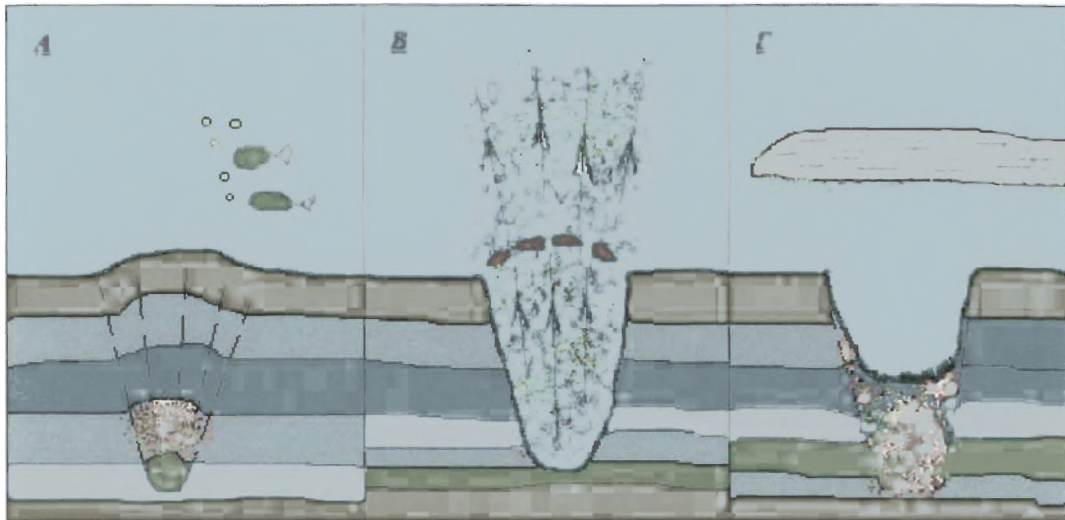
περισσότερα ρήγματα ο αριθμός τους είναι μεγαλύτερος. Όπου απελευθερώνεται μικρός όγκος αερίων, μπορεί να μη δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο (fully-grown) rockmark, αλλά ένα σύμπλεγμα από μεμονωμένα (unit) rockmarks.

iv. Το λεπτόκοκκο κλάσμα των ιζημάτων (άργιλος), μπορεί να παρασυρθεί από το ρεύμα του νερού για κάποιο χρονικό διάστημα προτού αποθεθεί ξανά στην επιφάνεια του πυθμένα. Αντίθετα, το αδρόκοκκο κλάσμα (ιλύς και άμμος), θα αποθεθεί στην περιοχή κοντά στο rockmark. Το μέγεθος της διαφυγής, η κατανομή και το μέγεθος των κόκκων του ιζήματος καθώς και η δύναμη του υδάτινου ρεύματος, καθορίζουν το εύρος της διασποράς του ιζήματος που εξέρχεται από το rockmark (Εικ. 36).

v. Η αρχική διαφυγή μέσω ενός παρθένου επιφανειακού ιζήματος, μπορεί να είναι αρκετά βίαιη και απότομη, αφού δημιουργείται έτσι ένα νέο μεταναστευτικό μονοπάτι προς την επιφάνεια, για τα ανερχόμενα αέρια. Οι επερχόμενες διαφυγές αερίων που θα ακολουθήσουν, δεν θα συναντήσουν την ίδια αντίσταση, αφού το μονοπάτι έχει ήδη ανοιχτεί. Συνεπακόλουθα, τα rockmarks αποτελούν δείκτες επαναλαμβανόμενων διαφυγών αερίων υδρογονανθράκων (Εικ. 37). Έπειτα από το αρχικό γεγονός της διαφυγής, οι επόμενες διαφυγές είναι μικρότερης έντασης και δεν θα ξανασυμβεί αναθόλωση του πυθμένα.

vi. Όταν το rockmark σχηματιστεί, οι αέριοι υδρογονάνθρακες που έχουν συσσωρευτεί στη γύρω περιοχή, βρίσκουν διέξοδο μέσα απ' αυτό. Η διάταξη των rockmarks εξαρτάται από τη διάταξη των διόδων μετανάστευσης των αερίων.

vii. Εάν δεν υπάρχει μία μόνιμη δίοδος από μια λεκάνη που βρίσκεται σε βάθος στο υπόστρωμα, είναι απίθανο η διαφυγή των αερίων να είναι συνεχής. Είναι πιθανό οι εποχές ενεργοποίησης να εναλλάσσονται με περιόδους ηρεμίας. Είναι αναμενόμενο ότι, αφού ένα νέο μονοπάτι διαφυγής έχει δημιουργηθεί, το περισσότερο περιεχόμενο μιας λεκάνης συσσώρευσης μικρού βάθους, θα απελευθερωθεί σε ένα μόνο γεγονός διαφυγής. Κατά τη διάρκεια αυτού του γεγονότος, η πίεση του αερίου θα μειωθεί, αρχικά απότομα, και μετά σταδιακά.

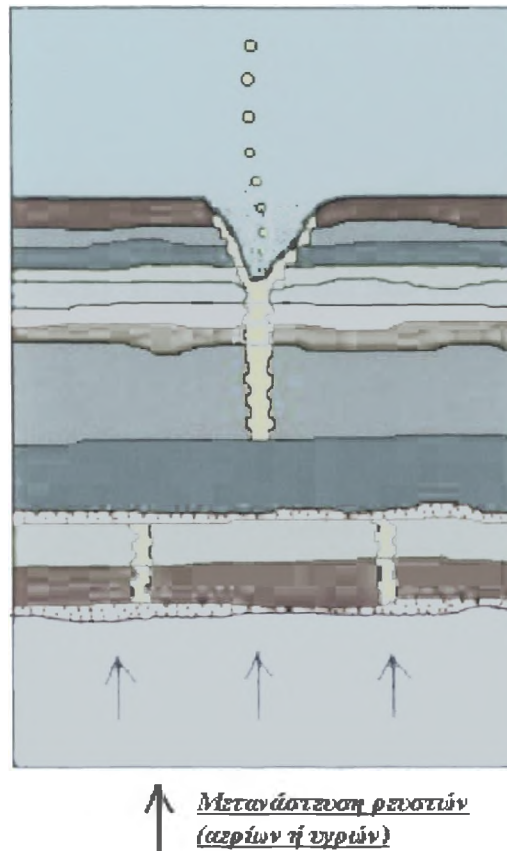


Εικ. 36: Ένα γενικό πρότυπο για το σχηματισμό ενός rockmark: (Α) Οι συγκεντρώσεις των αερίων ή του νερού των πόρων που υπάρχουν στα ιζήματα, ασκούν πίεση στο πορώδες στρώμα το οποίο βρίσκεται κάτω από ένα άλλο, αδιαπέραστο και συνεκτικό. Η αυξανόμενη πίεση εκτονώνεται με την παραμόρφωση των υπερκείμενων στρωμάτων των ιζημάτων και την αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα. (Β) Όταν ο δόμος υποστεί ρήγματα, δεν μπορεί να συγκρατήσει την αυξανόμενη πίεση των αερίων οπότε αυτά απελευθερώνονται εκρηκτικά μέσα από τα ρήγματα του δόμου. Η στήλη των ιζημάτων που υπέρκειται του αποθέματος των αερίων, υγροποιείται στιγμιαία, ενώ αέρια, νερό των πόρων και ιζήματα εκτοξεύονται στην υδάτινη στήλη. (Γ) Τα λεπτόκοκκα ιζήματα διασκορπίζονται στο νερό και μεταφέρονται από τα ρεύματα οπότε και αποτίθενται σε άλλες περιοχές, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων και την ταχύτητα των ρευμάτων. Τα αδρόκοκκα υλικά θα πέσουν είτε μέσα στο νεοσχηματισμένο rockmark, είτε πλησίον αυτού (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 36: A general pattern for rockmark formation: (A) Gas or pore water pressure is build up in a porous layer below an impermeable and cohesive one. Excess pressure is relieved by the deformation of the overlying strata and the doming of the seabed surface. (B) As soon as the dome is fractured and is unable to seize the excessive pressure of gas, its pressure is released by eruption through the fractures of the dome. The sediment column overlying the gas reservoir is fluidized instantly, while gas, pore water and sediments eject into the water column. (C) The fine- grained sediments are suspended in the water and are transported by currents and deposited elsewhere depending on grain size and current speed. Coarser material will fall either into or nearby the newly formed rockmark (Redrawn and modified from Hovland and Judd, 1988).

Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να αυξηθεί η διαφορά πίεσης ανάμεσα σε αυτή και σε βαθύτερες λεκάνες, δίνοντας ώθηση στην μετανάστευση καινούργιων ποσοτήτων αερίου προς την επιφάνεια, και στην απαρχή ενός καινούργιου κύκλου διαφυγής. Οι περίοδοι ύφεσης, κατά τη διάρκεια των οποίων οι επιφανειακές λεκάνες επανατροφοδοτούνται με αέριο, χαρακτηρίζονται από τη σταδιακή πρόσχωση του νέου rockmark με τα υλικά της κατολίσθησης των τοιχωμάτων του. Τότε το rockmark θεωρείται μη ενεργό.

Η διάρκεια των ενεργών περιόδων και των περιόδων ύφεσης, είναι δύσκολο να διευκρινιστούν. Η περίοδος επανενεργοποίησης εξαρτάται από το ρυθμό παραγωγής αερίων, το μέγεθος του rockmark και τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών ιζημάτων.



Εικ. 37: Όταν εξακολουθήσει η παραγωγή αερίων υδρογονανθράκων από τα βαθύτερα στρώματα των ιζημάτων, θα μετακινηθούν προς τα προσωρινά αποθέματα προτού μεταναστεύσουν διαμέσου κάθετων ζωνών αδυναμίας (υποδεικνύονται στην εικόνα) και σταδιακά διαφύγουν εκρηκτικά ή μη από τον πυθμένα του rockmark, είτε περιοδικά, είτε διαρκώς (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 37: When gas production continues from below, it will reach for the temporary reservoirs before migrating through vertical weakness zones (indicated on figure) and eventually seep by eruption or not (Redrawn and modified from Hovland and Judd, 1988).

Υπάρχουν συγκεκριμένα περιοδικά φαινόμενα που θεωρούνται ικανά να ενεργοποιήσουν τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων από το θαλάσσιο πυθμένα, όπως είναι:

α) Οι **σεισμοί**, που αποτελούν ένα φαινόμενο το οποίο έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να ενεργοποιήσει τη διαφυγή παγιδευμένων στους πόρους των θαλασσιών ιζημάτων αερίων υδρογονανθράκων ή να ενισχύσει την ένταση της διαφυγής τους σε περιοχές όπου αυτή είναι διαρκής και σταθερή. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα θα μπορούσε να αναφερθεί η περίπτωση του Πατραϊκού Κόλπου, όπου κατά το σεισμικό γεγονός της 14/7/93 το εκεί υπάρχον πεδίο rockmarks εμφάνισε αυξημένη δραστηριότητα διαφυγής αερίων (Hasiotis *et al.*, 1996). Αντιστρόφως, μπορεί να προκληθεί σεισμός σε μία περιοχή από μεγάλης έντασης και εκρηκτικά γεγονότα διαφυγών αερίων (Hovland and Judd, 1988).

β) Ο *κυματισμός*, που αποτελεί επίσης ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων. Σε μία θαλάσσια περιοχή της οποίας τα ιζήματα είναι φορτισμένα σε αέρια, ανάλογα με το ύψος των κυμάτων και τη συχνότητά τους αυτά επιδρούν σε ανάλογο βάθος μέσα στα ιζήματα προκαλώντας διακυμάνσεις στην πίεση. Τότε δημιουργούνται ζώνες αδυναμίας δια μέσω των οποίων τα συσσωρευμένα στα ιζήματα αέρια βρίσκουν διόδους διαφυγής.

γ) Η *παλίρροια*, η οποία μπορεί να επηρεάσει τις ποσότητες των αερίων και να ενεργοποιήσει τη διαφυγή τους, ιδιαίτερα σε ρηχές θαλάσσιες περιοχές και όταν το φαινόμενο της άμπωτης και της πλημμυρίδας είναι έντονο.

δ) Διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων μπορούν να προκαλέσουν και τα ενδοπαλίρροιακά φαινόμενα λόγω διαφορετικών πυκνοτήτων του νερού, οι διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως και ανθρώπινες κατασκευές στο θαλάσσιο πυθμένα που προϋποθέτουν την διάτρησή του.

Ο ρυθμός της δημιουργίας ενός rockmark είναι δύσκολο να καθοριστεί. Όλα τα στοιχεία δείχνουν ότι τα rockmarks μπορούν να σχηματιστούν μέσα σε χρόνο που είναι μικρός, όχι μόνο για τη γεωλογική κλίμακα, αλλά και για την ανθρώπινη.

viii. Στα rockmarks όπου έχουν σχηματιστεί ανθρακικά πετρώματα από τη διαφυγή μεθανίου, συμπεραίνεται ότι η διαφυγή είναι σχεδόν συνεχής. Αν δεν παρατηρούνται φυσαλίδες, μπορεί να σημαίνει ότι η διαφυγή παίρνει τη μορφή μικροσκοπικών φυσαλίδων ή ότι το νερό των πόρων είναι κορεσμένο σε μεθάνιο.

2.4 Η Γένεση των rockmarks (Pockmark genesis)

Κατά τον Pickrill (1993), τα rockmarks εμφανίζουν επτά στάδια γένεσης ανάλογα με την εικόνα που παρουσιάζουν στις τομογραφίες και την κατάσταση δραστηριότητας στην οποία βρίσκονται (Εικ. 38).

- *Νέα (new) rockmarks*. Αυτά μπορούν να αναγνωριστούν ως καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα και σε μερικές ανακλάσεις κάτω απ' αυτή. Οι ανακλάσεις από τα βαθύτερα στρώματα των ιζημάτων είναι παράλληλες και παραμένουν ανεπηρέαστες από την ανάπτυξη του rockmark.

- *Αναπτυσσόμενα (growing) rockmarks.* Σε μερικά νέα rockmarks, η επιφανειακή καταβύθιση γίνεται μεγαλύτερη σταδιακά από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια του πυθμένα.

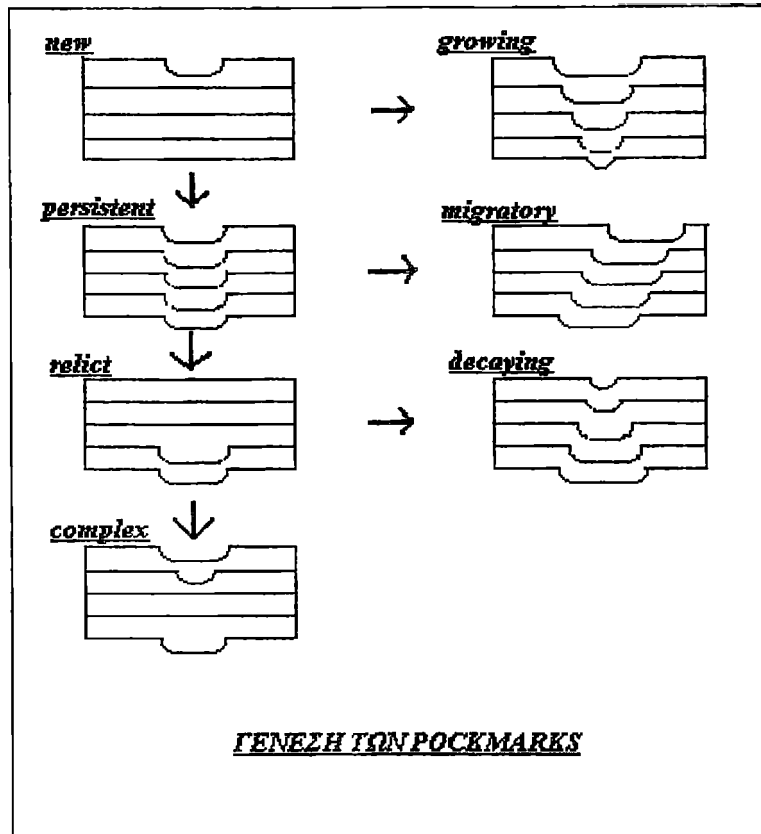
- *Ενεργά (persistent) rockmarks.* Είναι rockmarks που η δράση τους καλύπτει πολλές χιλιετηρίδες και στις καταγραφές εμφανίζονται να εκτείνονται σε μεγάλο βάθος μέσα στα στρώματα των ιζημάτων.

- *Υπολειμματικά (relict) rockmarks.* Τα υπολειμματικά rockmarks δεν έχουν καμία έκφραση στην επιφάνεια του πυθμένα ως κρατήρες, είναι ανενεργά και εντοπίζονται μόνο μέσα από τομογραφίες. Η επιφάνεια του πυθμένα είναι ομαλή και υπάρχουν παράλληλες ανακλάσεις από τα επιφανειακά στρώματα των ιζημάτων, ενώ οι ανακλάσεις που προέρχονται από βαθύτερα στρώματα περιέχουν καταβυθίσεις. Αυτά τα rockmarks μπορεί να ήταν ενεργά όταν προσχώθηκαν από τα ιζήματα. Χαρακτηρίζονται από άλλους ερευνητές και ως «θαμμένα rockmarks» (buried rockmarks) (Hovland and Judd, 1988; Long, 1992; Paratheodorou *et al.*, 1993).

- *Παρακμάζοντα (decaying) rockmarks.* Σε κάποιες καταβυθίσεις παρατηρείται σταδιακή μείωση του μεγέθους τους με το πέρασμα του χρόνου, υποδηλώνοντας μία παρακμή των μηχανισμών που δημιουργούν τα rockmarks στη διάρκεια πολλών χιλιάδων χρόνων.

- *Σύνθετα (complex) rockmarks.* Σε μερικές περιπτώσεις κάποια rockmarks, έχουν σύνθετη δομή αντικατοπτρίζοντας, είτε επεισοδιακή υδροθερμική δραστηριότητα, είτε διαφυγή ρευστών προερχόμενα από ποικίλες πηγές κατά τη διάρκεια της δράσης τους.

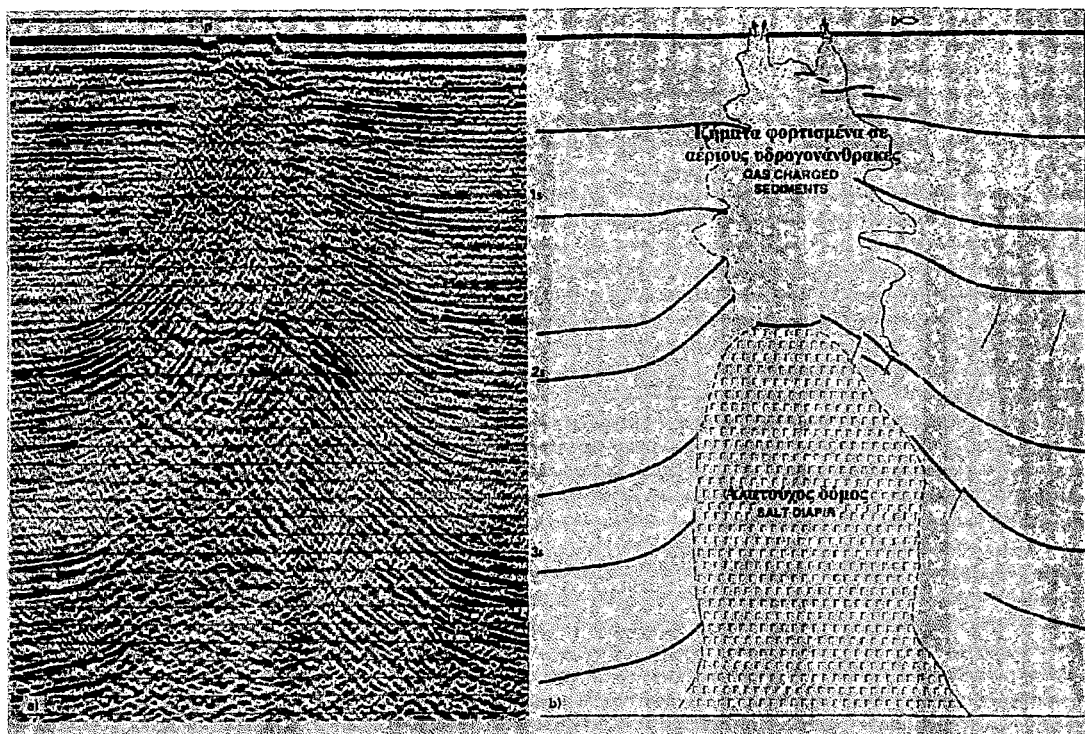
- *Μεταναστεύοντα (migratory) rockmarks.* Σε μερικά ενεργά rockmarks φαίνεται η καταβύθιση να έχει υποστεί οριζόντια μετακίνηση, από χαρακτηριστικές διαδοχικές ανακλάσεις που παρουσιάζονται μέσα στη τομογραφία. Ενώ το rockmark μπορεί να μετακινείται, η σταθερή παρουσία των σεισμικών ανακλάσεων δηλώνει ότι δεν υπάρχει παύση της διαφυγής των ρευστών κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης.



Εικ. 38: Σχηματική ταξινόμηση της γένεσης των pockmarks (Τροποποίηση από Pickrill, 1993)
 Fig. 38: Classification of the stages in pockmark formation (Redrawn and modified from Pickrill, 1993).

3. ΔΙΑΠΥΡΑ (Diapirs)

Τα διάπυρα είναι γεωλογικές δομές οι οποίες σχηματίζονται όταν ένα ίζημα χαμηλής πυκνότητας (όπως είναι το αλάτι, η λάσπη και οι αργιλοί σχιστόλιθοι) που καλύπτεται από ένα άλλο υψηλότερης πυκνότητας, λόγω της πλαστικής του συμπεριφοράς, αναδύεται προς την επιφάνεια, κάμπτοντας ή διατρυπώντας τα υπερκείμενα στρώματα σχηματίζοντας δόμους (domes). Δόμοι παράγονται είτε από αλάτι, οπότε καλούνται «αλατούχοι» (salt domes), είτε από λάσπη, οπότε χαρακτηρίζονται «λασπούχοι» (mud domes) (Φερεντίνος, 1985) (Εικ. 39).



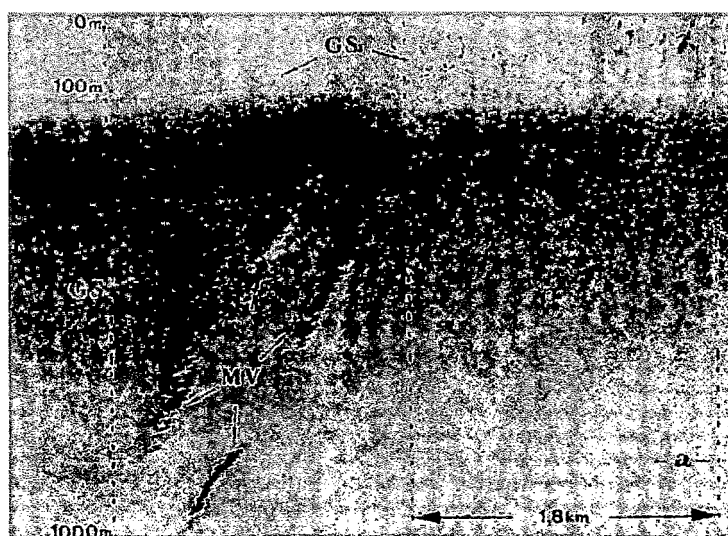
Εικ. 39: Διαπυρισμός από αλατούχο δόμο με μαζική διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη: a) τομογραφία του δόμου η οποία φανερώνει την επίδραση των αερίων στα στρώματα πάνω από αυτόν, b) ερμηνεία της τομογραφίας στην ίδια κλίμακα με το (a) (Τροποποιημένη από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 39: A salt piercement diapir with abundant hydrocarbon seepage to the water column: a) seismic section of the structure showing the effect of gas in the strata above the salt (b) an interpretation of the seismic section to the same scale as (a) (Modified from Hovland and Judd, 1988).

Οι δόμοι είναι μεμονωμένα, κυκλικά ή ελλειπτικά, θετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά, διαμέτρου 100m και υψώνονται 1-2m από την επιφάνεια του πυθμένα με πλευρικές κλίσεις μικρότερες των 2° . Δεν αποτελούν εντυπωσιακά χαρακτηριστικά του πυθμένα και θα μπορούσαν κάλλιστα να παραβλεφθούν. Υπάρχει όμως μια άλλη θεωρία για τον σχηματισμό τους, σύμφωνα με την οποία σχηματίζονται, είτε όταν αέρια εκτοπίζουν το νερό των πόρων των επιφανειακών ιζημάτων προκαλώντας μία τοπική αύξηση του όγκου τους (αναθόλωση), είτε όταν αέριο εισέρχεται σε ένα πλαστικό αργιλικό στρώμα το οποίο αναπτύσσει στατική αστάθεια και αρχίζει να αναδύεται. Οι παρουσία δόμων σε μία περιοχή, θα μπορούσε να θεωρηθεί προκαταρκτικό στάδιο για τον σχηματισμό rockmarks (Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 1992).

4. ΛΑΣΠΟΥΧΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑ (Mud volcanoes)

Τα λασπούχα ηφαίστεια αποτελούν θετικά τοπογραφικά γνωρίσματα της επιφάνειας του πυθμένα, τα οποία συνίστανται από λάσπη και ο σχηματισμός τους σχετίζεται με τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα (Εικ. 40). Χαρακτηρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους, το σχήμα τους και το μέγεθος της κινητοποίησης των υλικών που έχει προκαλέσει η πίεση των υγρών στους πόρους των ιζημάτων ως «λασπούχα ηφαίστεια» (mud volcanoes), λασπούχες μάζες ή σωρεύσεις (mud lumps), λασπούχα διάπυρα (mud diapirs) (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 40: Ηχογραφία παρμένη από την κρηπίδα των Σποράδων η οποία δείχνει λασπούχα ηφαίστεια (MV) και διαφυγές αερίων στην υδάτινη στήλη (GS) (Papatheodorou *et al.*, 1993).
Fig. 40: Side scan sonar image taken from the Sporades shelf showing mud volcanoes (MV) and gas seeps (GS) (Papatheodorou *et al.*, 1993).

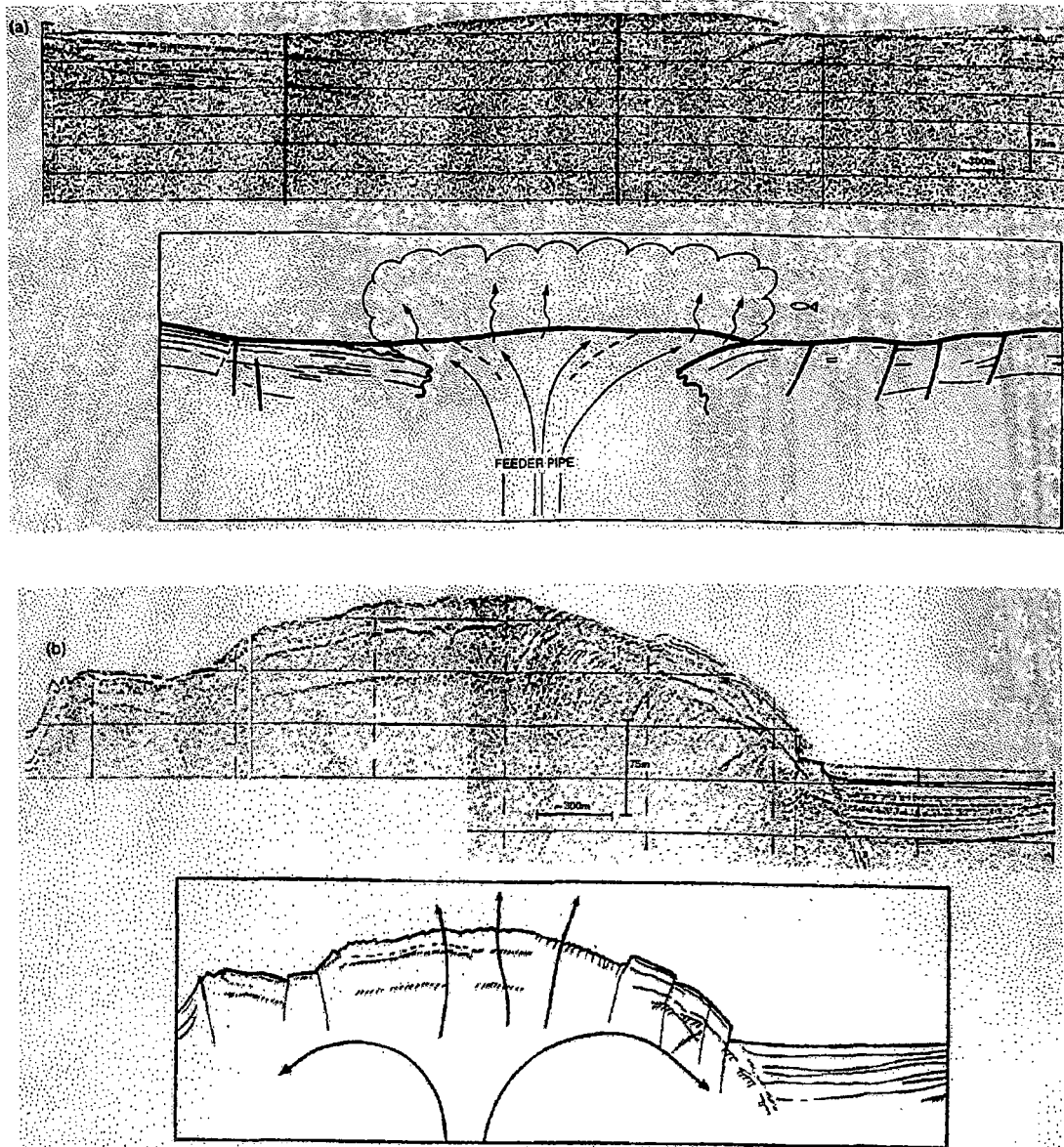
Εμφανίζονται όχι μόνο στην ξηρά αλλά και στην θάλασσα και δημιουργούνται από λάσπη που συσσωρεύεται στην επιφάνεια, είτε της ξηράς, είτε του πυθμένα. Τα λασπούχα ηφαίστεια, σε αντίθεση με τα μαγματικά, έχουν περιορισμένη κατανομή παγκοσμίως. Είναι κωνικού σχήματος δομές τα οποία παρουσιάζουν χερσαίο ανάγλυφο ύψους μέχρι και 500m, ενώ αυτά που υψώνονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σπάνια ξεπερνούν τα 50m, λόγω της επίδρασης των ρευμάτων και του κυματισμού. Η διάμετρος της βάσης τους μπορεί να είναι μικρότερη του ενός μέτρου ή να φτάνει ακόμα και τα 3Km.

Τα υποθαλάσσια λασπούχα ηφαιστεια μοιάζουν με τα χερσαία με μόνη διαφορά το ύψος τους, το οποίο περιορίζεται από τα θαλάσσια ρεύματα. Η δομή τους είναι δύσκολο ή αδύνατο να καταγραφεί από τομογράφους υποδομής πυθμένα, λόγω της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στα ιζηματα και της γενικότερης διατάραξης των στρωμάτων από τη παρείσδυση διαπύρων. Ωστόσο, τα γεινιάζοντα διαταραγμένα στρώματα, διαχωρίζονται στις καταγραφές με ευκρίνεια. Τα λασπούχα ηφαιστεια ως μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του πυθμένα μπορούν να εντοπιστούν και να ερμηνευθούν μέσω καταγραφών ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης (Newton *et al.*, 1980).

5. ΓΙΓΑΝΤΙΑΙΑ ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ (Giant gas mounds)

Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν ειδικό τύπο λασπούχων ηφαιστειών που σχετίζονται με την απελευθέρωση μεγάλων όγκων αερίων υδρογονανθράκων. Έχουν παρατηρηθεί στην κατωφέρεια του Κόλπου του Μεξικού σε βάθη νερών μεταξύ 600 και 2400m. Τα γνωρίσματα αυτά ποικίλουν σε μέγεθος από μεγάλους δόμους, καταβυθισμένες δομές και κορυφές διαπύρων, σε βαθιά ρήγματα στις πλευρές διαπύρων. Μερικά έχουν εύρος 2Km και υψώνονται πάνω από 100m στην επιφάνεια του θαλάσσιου πυθμένα. Έχουν άμεση σχέση με τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων καθώς αντιπροσωπεύουν μεγάλης κλίμακας διαπυρισμό (Hovland and Judd, 1988). Σχετίζονται επίσης και με μία μεγάλη ποικιλία βενθικών και πελαγικών οργανισμών. Η εικόνα 41 a και b παρουσιάζει δύο τέτοια χαρακτηριστικά γνωρίσματα που εμφανίζονται σε καταγραφές τομογράφων μικρής διεισδυτικής και μεγάλης διακριτικής ικανότητας.

Τα γιγαντιαία αναχώματα σχηματίζονται όταν η αυξανόμενη πίεση των ρευστών των πόρων προκαλεί την διόγκωση των ιζημάτων προκειμένου να αναδυθούν προς την επιφάνεια του πυθμένα.

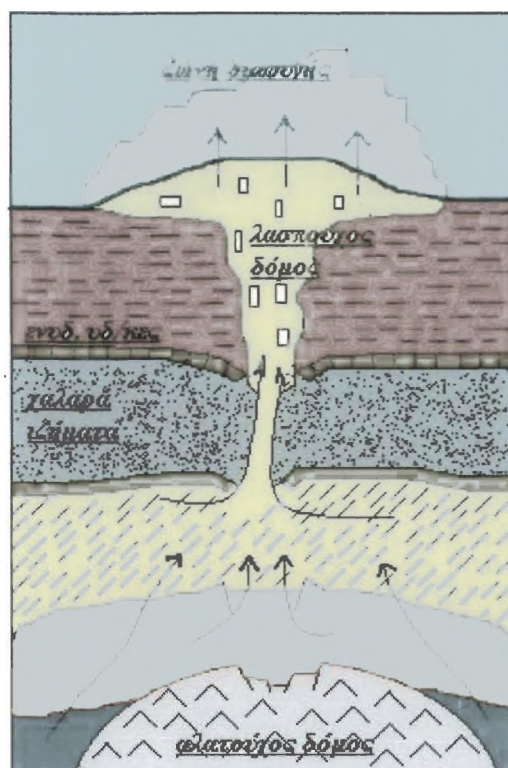


Εικ. 41 a, b: (a) Χαμηλού ανάγλυφου γιγαντιαίο ανάχωμα στην κατωφέρεια Τέξας-Λουιζιάνα, στον Κόλπο του Μεξικού (βάθος νερού: 600-700m). Η τομογραφία δείχνει χαμηλής πυκνότητας, διογκωμένη από τα αέρια λάσπη η οποία ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα, διαμέσου μίας «τροφοδοτικής οδού» ('feeder pipe'). (b) Υψηλού ανάγλυφου γιγαντιαίο ανάχωμα στην ίδια περιοχή όπως το (a). Η διάθλαση πιθανότατα προέρχεται από μία σειρά κατολισθήσεων ή ραγματογενείς πλευρές. Οι δύο ανακλάσεις χαμηλής συχνότητας που παρατηρούνται στα 20m και τα 60m κάτω από την κορυφή του αναχώματος αντιπροσωπεύουν ίσως την παρουσία ενυδατωμένων υδρογονανθράκων (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 41 a, b: (a) A low relief 'giant gas dome' on Texas-Louisiana slope, Gulf of Mexico (600-700m water depth). The interpretation shows low density, gas expanded mud flowing up to the seabed surface through a 'feeder pipe'. (b) A high relief 'giant gas dome' from the same area as (a). The diffraction pattern is probably originating from a series of slump or fault scarps. The low frequency reflectors from about 20m and 60m below the dome summit probably represent the presence of gas hydrates (Hovland and Judd, 1988).

Ένα σχεδιάγραμμα για το σχηματισμό των αναχωμάτων αυτών είναι κατά τους Hovland and Judd (1988), το παρακάτω:

i. Υπάρχει σε μεγάλο βάθος μία διαρκής πηγή αερίων υδρογονανθράκων, όπως και υγρών, ή και στερεών ακόμα, πιθανότατα λόγω της μετακίνησής τους πάνω από έναν ανερχόμενο αλατούχο δόμο.



Εικ. 42: Σχηματική παράσταση που παρουσιάζει τον τρόπο που ένα γιγαντιαίο ανάχωμα ενεργοποιείται από έναν αλατούχο δόμο που ανέρχεται από μεγάλο βάθος. Η κάθετη μετανάστευση αερίων και χαμηλής πυκνότητας υγρών που περιβάλλουν τον αλατούχο δόμο θα υποβοηθήσουν στην κινητοποίηση της λάσπης (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 42: This figure shows how a 'giant gas mount' is activated by salt diapir rising from deeper strata. The vertical migration of gas and low density liquids which surround the salt diapir help the buoyancy and mobilization of the mud (Redrawn and partly modified from Hovland and Judd, 1988)

ii. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί αναδύονται λόγω της πλευστότητάς τους. Καθώς τα αέρια αναδύονται διαστέλλονται, αυξάνοντας την πίεση των πόρων στα μη συμπαγοποιημένα και λασπώδη ιζημάτα τα οποία κινητοποιούνται από τη διέλευση των αερίων και αναδύονται καθώς μειώνεται η πυκνότητά τους. Κατά την ανοδική αυτή κίνηση, το μείγμα ιζημάτων- πετρελαίου- αερίων μπορεί να διαπεράσει και να κινητοποιήσει λεπτά στρώματα ενυδατωμένων υδρογονανθράκων. Επίσης, ενυδατωμένοι υδρογονάνθρακες μπορεί να

σχηματιστούν με αδιαβατική ψύξη όταν τα αέρια αναδύονται και διαστέλλονται μέσα στα ιζήματα.

iii. Αυτή η μάζα διατρυπά την επιφάνεια του πυθμένα και ρέει πάνω στα μαλακά ιζήματα του πυθμένα (Εικ. 42).

iv. Καθώς όλο και περισσότερη λάσπη ανέρχεται στην επιφάνεια απελευθερώνοντας συνεχώς αέρια, σχηματίζεται η κορυφή του διαπύρου υπό τη μορφή δόμου, και αποκτά σύνθετη και ανώμαλη μορφολογία.

v. Οι χαμηλής πυκνότητας αέριοι υδρογονάνθρακες και ρευστά αναμειγνύονται και διαλύονται στο θαλασσινό νερό και υψώνονται μέσα στην υδάτινη στήλη.

vi. Οι δόμοι περιέχουν αέρια ενδιάμεσων στρωμάτων (interstitial gases) παγιδευμένα μέσα σε μείγμα αργίλου και ενυδατωμένων υδρογονανθράκων. Όταν τα αέρια απελευθερωθούν από τα αναχώματα, τα τελευταία υποχωρούν, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας καταβύθισης (collapse structure).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

Η ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ROCKMARKS ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΙΑΦΥΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΙΝΗ ΣΤΗΛΗ (THE ECOLOGY OF ROCKMARKS AND SEEPAGES)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

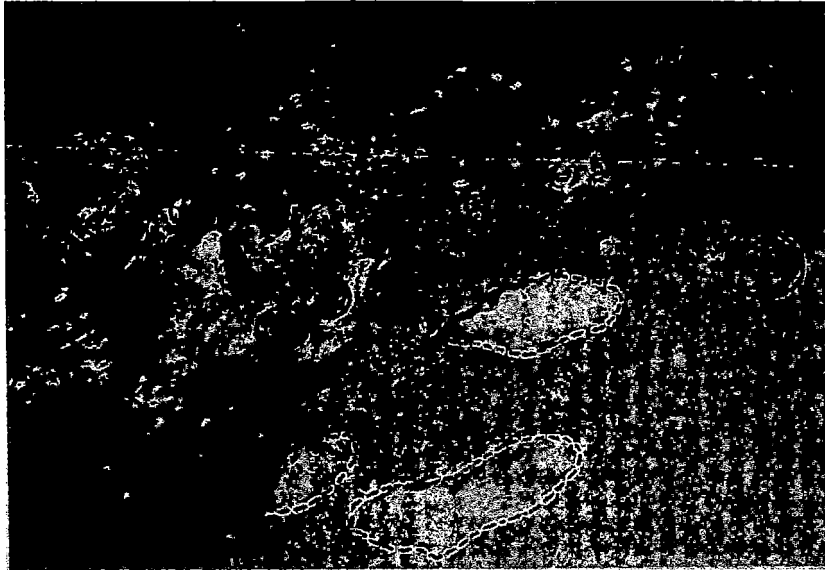
Παρακάτω γίνεται αναφορά στα οικοσυστήματα που σχετίζονται και στηρίζονται από τις διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων, καθώς και στο ρόλο που διαδραματίζουν οι αέριοι υδρογονάνθρακες στη θαλάσσια βιολογία. Ο αριθμός των rockmarks που έχει μελετηθεί από αυτήν την άποψη είναι περιορισμένος και οι βιβλιογραφικές αναφορές πολύ περιορισμένες. Όλες αυτές οι αναφορές βασίζονται στα συμπεράσματα από παρατηρήσεις και δειγματοληψίες που έχουν διεξαχθεί στη Βόρειο Θάλασσα και στην Καναδική ηπειρωτική κρηπίδα.

2. ΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ (Bacteria)

2.1 Εισαγωγή (Introduction)

Στις περιοχές διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων και συγκεκριμένα σε rockmarks που βρίσκονται στο πετρελαϊκό πεδίο Gullfaks στη Βόρειο Θάλασσα και σε βάθος μέχρι και τα 200 περίπου μέτρα, έχουν παρατηρηθεί λευκές λοβώδεις κηλίδες οι οποίες αποτελούν επιστρώσεις από βακτηρίδια (bacterial mats) επιφάνειας μερικών τετραγωνικών δεκατόμετρων (Εικ. 43). Τέτοιες κηλίδες έχουν παρατηρηθεί επίσης σε περιοχές διαφυγών στο Scott Inlet στο Baffin Island στον Καναδά, στην Santa Barbara της Καλιφόρνια (Davis and Spies, 1980; In: Hovland and Judd, 1988) και στη Λεκάνη Guayama σε βάθος 2000m (Grassle, 1983; In: Hovland and Judd, 1988).

Τα βακτηρίδια αυτά ταυτοποιήθηκαν αρχικά ως νηματοειδή βακτηρίδια του γένους *Beggiatoa* (Grand *et al.*, 1986; In: Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 43: Βακτηριακές κηλίδες, ασβεστολιθικά πετρώματα και ένδειξη υψηλής βιολογικής δραστηριότητας σε pockmark του block 25/7, στην κεντρική Βόρεια Θάλασσα. Αστακογαρίδες του είδους *Munida sarsi* σημειώνονται με κύκλους και οι βακτηριακές κηλίδες με διακεκομμένες γραμμές (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 43: Bacterial patches, carbonate rocks and evidence of biological activity inside a pockmark, block 25/7, central North Sea. Squat lobsters (*Munida sarsi*) are encircled and bacterial mats are shown by broken lines (Hovland and Judd, 1988).

Στις περιοχές δειγματοληψίας η ύπαρξη H_2S είναι χαρακτηριστική και υποδεικνύει την βακτηριακή αποικοδόμηση οργανικής ύλης υπό αναερόβιες συνθήκες στο υπόστρωμα. Οι αναερόβιες αυτές συνθήκες δημιουργούνται από την ανοδική κίνηση των αερίων υδρογονανθράκων. Η τροφή που καταναλώνουν τα βακτηρίδια αυτά θα μπορούσε να είναι κατώτεροι υδρογονάνθρακες, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν τροφή για νηματώδεις σκώληκες αλλά και για ανώτερη των νηματωδών πανίδα. Πιστεύεται ότι κάποιοι οργανισμοί είναι βακτηριοφάγοι κάτω από ορισμένες συνθήκες.

2.2 Χημειοσυνθετικά και συμβιωτικά βακτηρίδια (Chemosynthetic and symbiotic bacteria)

Χημειοσυνθετικά καλούνται τα βακτηρίδια τα οποία χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας ουσίες χημικής φύσης, δεν στηρίζονται στον οργανικό άνθρακα, αλλά χρησιμοποιούν το CO_2 ως μοναδική πηγή άνθρακα και ως πηγές ηλεκτρονίων (ιόντων) χρησιμοποιούν ανόργανες ενώσεις όπως είναι τα: H_2 , H_2O ,

S^{-2} , S^0 , S_2O_3 , NH_4^+ , NO_2^- , Fe^{+2} , Mn^{+2} (Hovland and Judd, 1988; Τσελεπή-Τσουκαρέλλα, 1993).

Η χημειοσύνθεση πραγματοποιείται σε τρεις περιοχές στα ιζήματα:

- Μέσα στο υποεπιφανειακό σύστημα του κρατήρα σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Στις μικροβιακές κηλίδες στο άμεσο περιβάλλον των κρατήρων.
- Σε ποικίλες συμβιωτικές σχέσεις με ασπόνδυλα.

Φαίνεται ότι η κυρίαρχη χημειοσυνθετική παραγωγή, σε συνδυασμό με την μεταφορά οργανικού άνθρακα στα ζώα που ζουν σε περιβάλλοντα αναβλύσεων (vents), λαμβάνει χώρα μέσω της συμβίωσης.

Τα βακτηρίδια που συμβιώνουν με τους οργανισμούς των rockmarks ονομάζονται συμβιωτικά. Χαρακτηριστικά ζώα που ζουν συμβιωτικά με βακτηρίδια είναι τα Πωγωνοφόρα (Pogonophora).

Τα Πωγωνοφόρα είναι φύλο το οποίο περιλαμβάνει ζώα με κυλινδρικό σώμα, διαμέτρου 0,5-2,5mm, μήκους 50-350mm, που ζουν εντός χιτινωδών σωλήνων. Διαθέτουν μία ή περισσότερες βλεφαριδοφόρες κεραίες. Το σώμα τους αποτελείται από τρία τμήματα το τελευταίο των οποίων διαθέτει δακτυλίου ή προσκολλητικές θηλές. Δε διαθέτουν πεπτικό σωλήνα και είναι ζώα θαλάσσια (Κάτουλας, 1972) (Εικ. 44).

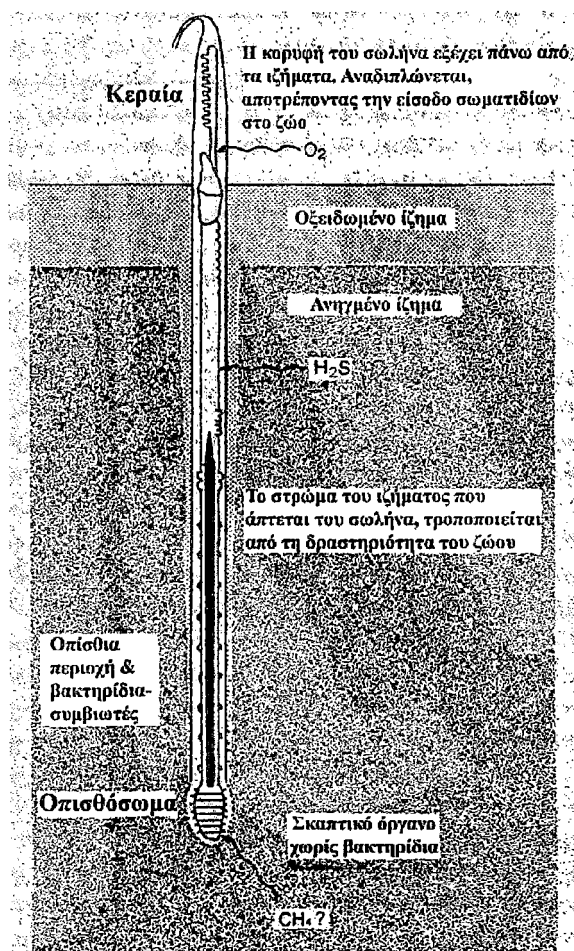
Τα Πωγωνοφόρα περιλαμβάνουν δύο τάξεις (Κάτουλας, 1972):

α) Την τάξη Athecanephria με αντιπροσώπους τα γένη: *Oligobrachia*, *Siboglinum*, *Birsteinia*.

β) Την τάξη Thecanephria με αντιπροσώπους τα γένη: *Heptabrachia*, *Zenkevitchiana*, *Lamellisabella*, *Spirobrachia*, *Galathealium*, *Polybrachia*.

Στα rockmarks της Βορείου Θάλασσας έχουν βρεθεί είδη του γένους *Siboglinum* (*S. ekmani*, *S. fjordicum*, *S. poscidoni*).

Τα Πωγωνοφόρα ζουν συμβιωτικά με τα χημειοαυτότροφα βακτηρίδια τα οποία περιέχονται σε βακτηριοκύστεις. Οι κύστεις αυτές βρίσκονται μεταξύ των δύο διαμηκών αιμοφόρων αγγείων των ζώων αυτών. Το ενδιαφέρον του γεγονότος είναι ότι τα βακτηρίδια αυτά παρουσιάζουν εκπληκτικές ομοιότητες με τα ελεύθερα βακτηρίδια που χρησιμοποιούν CH_4 .



Εικ. 44: Σχηματική παράσταση Πωγωνοφόρου, όπως βρίσκεται τοποθετημένο στα ιζήματα του πυθμένα. Ζει μέσα σε σωλήνα του οποίου η κορυφή εξέχει πάνω από την επιφάνεια του πυθμένα. Η μαύρη περιοχή περιέχει βακτηρίδια. Τα βέλη υποδεικνύουν τις διόδους πρόσληψης τροφής και ενέργειας. Το αίμα, πλούσιο σε αιμογλοβίνη κυκλοφορεί από την κεραία προς το οπισθόσωμα μέσω από δύο κύρια αιμοφόρα αγγεία. Το οπισθόσωμα βρίσκεται τοποθετημένο σε τέτοιο βάθος μέσα στα ιζήματα όπου απαντώνται και τα περισσότερα δίθυρα (Τροποποίηση από Hovland and Judd, 1988).

Fig. 44: A pogonophoran in its assumed seabed position. It lives inside a tube the top of which projects above the seabed surface. The black region contains bacteria and the arrows indicate nourishment and energy uptake routes. The haemoglobin-rich blood circulates from the tentacle to the opisthosoma through two principal blood vessels. The opisthosoma is located in such depth where bivalves are found (Modified from Hovland and Judd, 1988).

Εκτός των Πωγωνοφόρων, τα βακτηρίδια έχει βρεθεί ότι ζουν συμβιωτικά και με δίθυρα. Συγκεκριμένα, στο γιγάντιο δίθυρο *Calymene magnifica*, παρατηρήθηκε ότι τα βακτηρίδια καταλαμβάνουν ίσως το ένα τρίτο των βραγχίων του οργανισμού. Εκτιμάται ότι τα βακτηρίδια αντιπροσωπεύουν το 5-10% της ολικής μάζας των μεγάλων ζώων που ζουν στο πλούσιο σε H₂S και ανοξικό κατ' επέκταση, περιβάλλον των υδροθερμικών κρατήρων.

Αμερικανοί και Ιάπωνες επιστήμονες ανακάλυψαν ένα νηματόμορφο βακτηρίδιο τη *Vitreocilla*, το οποίο έχει αναπτύξει την ικανότητα να συνθέτει

αιμογλοβίνη μέσω της οποίας δεσμεύει το λιγυστό O_2 του περιβάλλοντος. Το βακτηρίδιο αυτό σχηματίζει βακτηριακές κηλίδες. Γενικότερα, τα συμβιωτικά βακτηρίδια ανακτούν τα μεταβολικά προϊόντα που τους προσφέρει το ζώο που συμβιώνουν και τα χρησιμοποιούν για την παραγωγή ενέργειας η οποία διατίθεται στο ζώο. Υπάρχει επίσης και το βακτηρίδιο *Thioploca* (οικογένεια Beggiatoacea) που περιέχει την κυανοπράσινη χρωστική χλωροφύλλη-α, κάτι ιδιαίτερα περιεργό για τις συνθήκες ελλείψεως φωτός που επικρατούν σε ορισμένα περιβάλλοντα.

Γενικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα βακτηρίδια αντιπροσωπεύουν τη βάση των χημειοσυνθετικών κοινωνιών που βρίσκονται στις περιοχές διαφυγής αερίων, λαμβάνοντας μέρος σε όλες τις διαδικασίες κλειδιά, είτε βρίσκονται στο εσωτερικό των οργανισμών που ζουν εκεί, είτε βρίσκονται έξω απ' αυτούς.

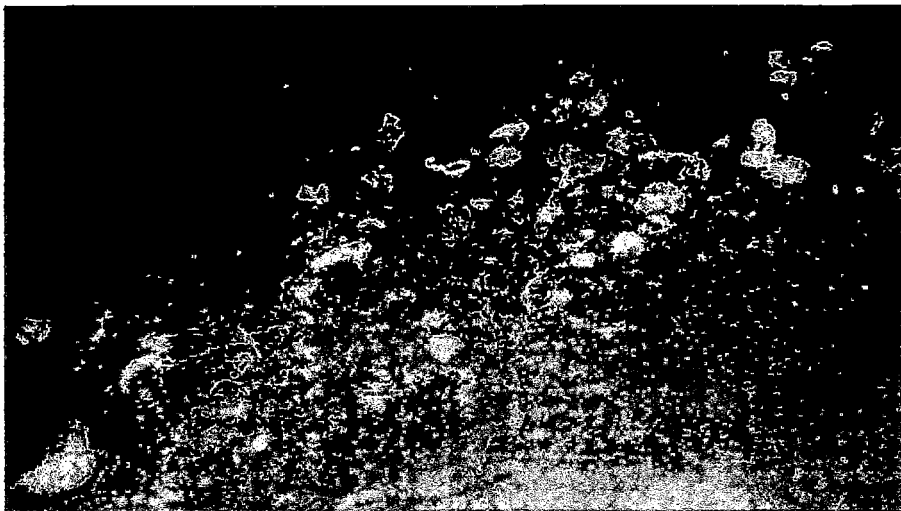
3. ΔΙΘΥΡΑ ΚΑΙ ΠΩΓΩΝΟΦΟΡΑ (Bivalves and Pogonophorans)

Τα Πωγωνοφόρα φαίνεται πάντοτε να αναπτύσσονται μαζί με δίθυρα (π.χ. μύδια) και είναι δυνατό να μοιράζονται τους ίδιους συμβιωτές. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι το λεπτό άκρο των Πωγωνοφόρων το 'οπισθόσωμα' είναι κατά κάποιον τρόπο προσκολλημένο στο εσωτερικό των μυδιών. Αυτό σημαίνει, είτε ότι το CO_2 ή άλλα προϊόντα λαμβάνονται μέσω του οπισθοσώματος από τα δίθυρα, είτε ότι υπάρχει ανταλλαγή τέτοιων προϊόντων ευεργετική και για τα δύο είδη. Απ' αυτά, συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει πολύ στενή σχέση μεταξύ ορισμένων ειδών μυδιών και του οπισθοσώματος των Πωγωνοφόρων.

Γενικά, τα Πωγωνοφόρα ενδιαιτούν εκεί όπου υπάρχει κάποιο είδος διαφυγής αερίων από τον πυθμένα -είτε μικροδιαφυγή CH_4 , CO_2 , είτε νερό των πόρων επιβαρημένο με σουλφίδια- ή συγκεντρώνονται εκεί όπου λαμβάνουν χώρα μακροδιαφυγές όπως στα περιβάλλοντα υδροθερμικών αναβλύσεων (hydrothermal vents). Εν τούτοις, πάντοτε απαντώνται μαζί με δίθυρα που πιθανότατα χρησιμοποιούν CH_4 . Ίσως κάποτε να καταστεί εφικτός ο προσδιορισμός του τύπου και ο χαρακτήρας των διαφυγών αερίων μόνο από τη συλλογή Πωγωνοφόρων.

4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΟΣΤΡΑΚΩΝ (Shell concentrations)

Χαρακτηριστικοί κάτοικοι των rockmarks είναι τα δίθυρα μαλάκια (Πιν. 5). Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η συσσώρευσή τους περιορίζεται από τις ενεργές μακροδιαφυγές και τη διασπορά λεπτόκοκκων ιζημάτων στην υδάτινη στήλη. Αυτές οι συγκεντρώσεις απαντώνται σε πάγκους (banks) οι οποίοι έχουν εύρος από μερικά έως δεκάδες μέτρα σε μήκος (Εικ. 45). Οι πάγκοι αυτοί τείνουν να σωρεύονται σε λοφίσκους με διεύθυνση προς το κέντρο των rockmarks, πράγμα που υποδηλώνει ανταγωνισμό για την πλέον ευνοϊκότερη θέση στο λοφίσκο, όπου οι πλούσιες σε θρεπτικά μικροδιαφυγές είναι πιο έντονες.



Εικ. 45: Φωτογραφία παρμένη από rockmark της Βορείου Θάλασσας, στον πυθμένα του οποίου παρατηρούνται δίθυρα μαλάκια, κελύφη οστράκων και άλλα ζώα (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 45: Picture taken from a rockmark of the North Sea, showing bivalves, shell debris and other animals (Hovland and Judd, 1988).

Ο σύνδεσμος μεταξύ των σωρεύσεων των δίθυρων και των rockmarks δεν είναι τυχαίος, Όπως και στην περίπτωση των βακτηριδίων, οι συγκεντρώσεις των δίθυρων αποτελούν δείκτη παρουσίας θρεπτικών στοιχείων.

Έχει αναφερθεί επίσης ότι στα βράγγια ορισμένων ειδών δίθυρων περιέχονται βακτηρίδια που οξειδώνουν CH_4 . Άλλη θεωρία προτείνει ότι οι μικροδιαφυγές που συμβαίνουν στα rockmarks, βοηθούν στη διασπορά οργανικής ύλης (βακτηριδίων και άλλων μικροοργανισμών), η οποία αποτελεί τροφή για την αιωρηματοφάγα πανίδα που περιλαμβάνει και τα δίθυρα.

5. ΚΡΙΑ, ΓΑΡΙΔΕΣ ΚΑΙ ΑΣΤΑΚΟΓΑΡΙΔΕΣ (Krill, shrimps and squat lobsters)

Η παρουσία κριλ, γαρίδων και αστακογαρίδων στα rockmarks είναι πολύ έντονη. Η συγκέντρωση των μαλακοστράκων αυτών των καρκινοειδών, είναι μεγαλύτερη μέσα στα rockmarks σε σύγκριση με τις γειτνιάζουσες προς αυτά, περιοχές. Στη Βόρειο Θάλασσα, η αστακογαρίδα *Nephrops norvegicus* απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στις παρυφές ορισμένων rockmarks (Πιν. 5).

Πίνακας 5: Είδη που απαντώνται μέσα σε rockmarks της Βορείου Θάλασσας.

Table 5: Species found inside rockmarks located in the North Sea.

Δίθυρα	<i>Arctica islandica; Pseudamussium septemradiata</i>
Γαρίδες	<i>Pandalus borealis; Spirontocaris lilljeborgii</i>
Αστακογαρίδες	<i>Nephrops norvegicus; Calocaris macandreae</i>
Ιχθείς	<i>Molva molva; Brosme brosme; Sebastes marinus; Anarrhichas lupus; Gadus morhua</i>

Πηγή: Hovland and Judd (1988).

6. ΙΧΘΕΙΣ (Fishes)

Παρατηρήσεις έχουν δείξει την παρουσία ψαριών στα rockmarks και μάλιστα σε εντυπωσιακές συγκεντρώσεις. Τα ψάρια προσελκύονται σε αυτά, πιθανότατα λόγω της αφθονίας στην τροφή και για την εύρεση καταφυγίου στα κοιλώματα που δημιουργούνται από τη διαρκή μικροδιαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη. Τα ψάρια που έχουν παρατηρηθεί είναι τα είδη *Molva molva* (Ling), *Brosme brosme* (Torsk), *Sebastes marinus* (Norway Haddock, Κοκκινόψαρο), *Anarrhichas lupus* (Catfish, Γατόψαρο), *Gadus morhua* (Cod, Γάδος) (Εικ. 46, 47).



Εικ. 46: Το ψάρι που εικονίζεται στην φωτογραφία ανήκει στο είδος *Brosme brosme* (Torsk). Η φωτογραφία έχει ληφθεί στον πυθμένα ενός rockmark από το block 25/7, στην κεντρική Βόρεια Θάλασσα. Το αλουμινένιο κουτάκι αποτελεί ένδειξη ρύπανσης της περιοχής και κλίμακα μεγέθους (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 46: The fish seen in the picture is a Torsk (*Brosme brosme*). This picture is taken from a rockmark in block 25/7, central North Sea. The beverage can illustrates general seabed litter and can be used as scale (Hovland and Judd, 1988).



Εικ. 47: Φωτογραφία παρμένη από rockmark της Βορείου Θάλασσας όπου διακρίνεται συνάθροιση από ψάρια των ειδών *Brosme brosme* (Torsk) και *Molva molva* (Ling), τα οποία έχουν βρει καταφύγιο σε μία εσοχή εύρους 1,5m και ύψους 1m (Hovland and Judd, 1988).

Fig. 47: Picture taken from a rockmark in the North Sea showing fish from the species *Brosme brosme* (Torsk) and *Molva molva* (Ling) which have found refuge in a cavern 1,5m wide and 1m in height (Hovland and Judd, 1988).

7. ΑΛΛΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ (Other Inhabitants)

Η πανίδα που έχει παρατηρηθεί στα rockmarks είναι πολύ πλούσια ποιοτικά και ποσοτικά. Ως παράδειγμα θα αναφερθούν τα είδη που βρέθηκαν σε λιθοποιημένο ιζήμα διαστάσεων 30×25×10cm και βάρους 10Kgr στο Νορβηγικό block 25/7, στη Βόρειο Θάλασσα στο μέσο της απόστασης μεταξύ των ακτών της Σκωτίας και της Νορβηγίας (Πιν. 6). Τα είδη αυτά ήταν 38 στο σύνολό τους, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που τελικά δεν ταυτοποιήθηκαν, ένας εκκληκτικός αριθμός για δείγμα τόσο μικρού βάρους.

Μέσα σε rockmarks του ίδιου block (25/7), παρατηρήθηκαν και ορισμένα είδη ανθοζώων όπως είναι οι:

- Θαλάσσιες ανεμώνες (Sea anemones):

Τάξη: Pennatulacea

Είδη: *Pennatula phosphorea*, *Funiculina quadrangularis*

- Θαλάσσιες πέννες (Sea pens):

Τάξη: Ceriantharia

Είδος: *Cerianthus lloydii*

Πίνακας 6: Είδη που βρέθηκαν πάνω και μέσα σε λιθοποιημένα ιζήματα του πυθμένα ενός rockmark του Νορβηγικού block 25/7.

Table 6: Species found on and inside a carbonate-cemented sediments from a rockmark of the Norwegian block 25/7.

Σκώληκες	<i>Eunice</i> sp.; <i>Chaetopterus variopedatus</i> ; <i>Serpula vermicularis</i> ; <i>Spirobis</i> sp.
Ασκίδια	<i>Ascidia virginea</i> ; <i>Ascidia</i> sp.; <i>Styela</i> sp.
Θύσανόποδα	<i>Verruca stroemia</i> .
Δίθυρα	<i>Modiolus phaseolinus</i> ; <i>Hiatella arctica</i> ; <i>Monia patelliformis</i> ; <i>Pseudamussium septamradiata</i> ; <i>Chlamys</i> sp.; <i>Ardira islandica</i> ; <i>Thyasira flexuosa</i> .
Βραχιόποδα	<i>Terebratulina caputserpentis</i> .
Οφιουροειδή	<i>Ophiopholis aculeata</i> ; <i>Ophiothrix fragilis</i> ; <i>Ophiactis abyssicola</i> ; <i>Ophiura albida</i> .
Βρυόζωα	<i>Sertella beania</i> ; <i>Berenicea patina</i> .
Πολυπλακοφόρα	<i>Lepidopleurus asellus</i> .
Εχινοειδή	<i>Strongylocentrotus drobachiensis</i> .
Γαστερόποδα	<i>Trivia arctica</i> .
Υδροζωα	<i>Hydroides norvegicus</i>
Ισόποδα	<i>Janira maculosa</i> .
Σπόγγοι	<i>Placostegus tridentatus</i> ; <i>Microserpula</i> sp.

Πηγή: Hovland and Judd (1988).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

ΠΑΤΡΑΪΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ:

A. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ- ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ (GEOGRAPHIC AND GEOLOGICAL SETTING- PHYSICAL OCEANOGRAPHY)

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ (Geographic and geological setting)

Ο Πατραϊκός Κόλπος έχει χαρακτηριστική μορφή λεκάνης. Ένα σύστημα ενεργών ρηγμάτων Δ-Α κατεύθυνσης με αυξανόμενο άλμα προς Βορρά, δίνει στον κόλπο τη μορφή τεκτονικής τάφρου (Αναγνώστου και Χρόνης, 1984; Ματαράγκας και συν., 1984). Γενικότερα, ο Πατραϊκός Κόλπος αποτελεί τη δυτική απόληξη μίας τάφρου η οποία εκτείνεται από το Ιόνιο Πέλαγος, διατρέχει τον Κορινθιακό Κόλπο φτάνοντας στο Αιγαίο (Piper and Panagos, 1979; Piper et al., 1982).

Ο Πατραϊκός Κόλπος έχει μέγιστο πλάτος 25Km, μέγιστο μήκος 35Km και συνολική έκταση 800Km². Στο δυτικό του άκρο ανοίγεται προς τη λεκάνη της Κεφαλληνίας, ενώ προς το ανατολικό, συνδέεται μέσω των -εύρους 2Km- Στενών του Ρίου, με την τάφρο του Κορινθιακού Κόλπου.

Το μέγιστο βάθος του (130m), διαπιστώνεται σε μία στενή τάφρο στο δυτικό τμήμα του, η οποία αναφέρεται χαρακτηριστικά από τους Piper and Panagos (1979) ως Κεντρική Τάφρος. Μεταξύ των Στενών Ρίου- Αντιρρίου διαπιστώνεται μέγιστο βάθος 60m, μεταξύ του Ακρωτηρίου Πάπας και Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου τα 58m (Χρόνης και Αναγνώστου, 1984), ενώ μεταξύ του Ακρωτηρίου του Άραξου και της Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου, διαπιστώνεται το μέγιστο βάθος των 45m (Chronis et al., 1991).

Η μορφολογία του πυθμένα είναι ομαλή και με μικρή κλίση, η οποία κυμαίνεται από 1⁰ στο Νότιο τμήμα του και αυξάνεται μέχρι τις 8⁰ προς το

Βόρειο, ενώ το υφαλόροιο διαπιστώνεται μεταξύ των βαθών 95-100m (Ματαράγκας και συν., 1984).

2. ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ (Sedimentation processes)

Η ιζηματογένεση στον Πατραϊκό καθορίζεται από την προσφορά φερτών υλικών από τους ποταμούς που εκβάλουν σε αυτόν, είτε άμεσα (Εύηνος, Πείρος, Γλαύκος), είτε έμμεσα (Αχελώος) (Αναγνώστου και Χρόνης, 1984).

Ο Αχελώος έχει δημιουργήσει ένα ευρύ δέλτα εκβάλλοντας στο Ιόνιο Πέλαγος βορειοδυτικά του Πατραϊκού, μεταφέροντας $3-4 \cdot 10^6$ τόνους ιζημάτων ετησίως.

Οι ποταμοί που εκβάλλουν άμεσα στον Πατραϊκό είναι ο Εύηνος στη βόρεια πλευρά του, ενώ στη νότια εκβάλλουν ο Πείρος και ο Γλαύκος (Piper and Panagos, 1979). Επίσης, ένας μεγάλος αριθμός χειμάρρων εκβάλλουν στο ανατολικό άκρο του Κόλπου.

Η κυριότερη πηγή φερτών υλών στον Πατραϊκό Κόλπο είναι ο Εύηνος Ποταμός (Piper and Panagos, 1979), ο οποίος μεταφέρει $0,5 \cdot 10^6$ τόνους ιζημάτων ετησίως (Chronis et al., 1991) και παρέχει στο ίδιο χρονικό διάστημα περίπου 10^9 m^3 νερού. Οι ποταμοί που εκβάλλουν στον Πατραϊκό, μεταφέρουν το ήμισυ της ποσότητας και του όγκου των υλικών που μεταφέρει ο Εύηνος.

Ο Γλαύκος Ποταμός μεταφέρει $3 \cdot 10^5$ τόνους ιζημάτων ετησίως και τροφοδοτεί τον Πατραϊκό Κόλπο με 10^8 m^3 νερού στο ίδιο χρονικό διάστημα. Τοπικά παρατηρείται διάβρωση βράχων (cliff erosion) από Νεογενή ή Τεταρτογενή ιζήματα, ειδικότερα στη νοτιοδυτική ακτή του Κόλπου και κατά μήκος του ανατολικού δέλτα του Ευήνου. Οι βράχοι αυτοί έχουν χαμηλό ύψος και σχετικά αργό ρυθμό διάβρωσης, οπότε αποτελούν σημαντική πηγή ιζημάτων σε τοπική μόνο κλίμακα (Piper and Panagos, 1979).

Οι πηγές βιογενών ιζημάτων είναι ασήμαντες, εκτός από τα Στενά του Ρίου, όπου κονιοποιημένα βρυόζωα και κοράλλια συνιστούν σε μεγάλο ποσοστό τα ιζήματα της περιοχής. Επίσης, σε πολύ μικρό ποσοστό στα ιζήματα συναντάται πλαγκτονική σκελετική ύλη (διάτομα και τρηματοφόρα) (Piper and Panagos, 1979).

3. ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΠΑΤΡΑΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ (Physical Oceanography)

3.1 Ανεμογενή κύματα (Wind waves)

Τα Ιόνια νησιά και η μικρού βάθους είσοδος στον Πατραϊκό κόλπο βορείως του Ακρωτηρίου του Πάπα, προστατεύουν τον Πατραϊκό από την παρατεταμένη επίδραση ανεμογενών κυμάτων. Ωστόσο, στα στενά πλαίσια της περιοχής αναπτύσσονται τοπικά, ανεμογενή κύματα, τα οποία μπορούν να προβλεφθούν όταν είναι γνωστή η ισχύς, η ένταση και η διεύθυνση των τοπικών ανέμων. Οι άνεμοι επηρεάζονται από τον κυκλώνα των στενών του Ρίου, αλλά είναι πιθανότατα αντιπροσωπευτικοί για το ανατολικό τμήμα του Πατραϊκού. Υπάρχει ένα διτυπικό μοντέλο ανέμων που πνέουν παράλληλα προς την ακτή, όπου ισχυροί άνεμοι πνέουν κυρίως από ΝΔ ή ΑΒΑ. Οι ΝΔ διευθύνσεως άνεμοι διαρκούν για λίγες ώρες, ενώ οι ΑΒΑ διευθύνσεως μπορεί να πνέουν για ημέρες (Piper et al., 1982).

3.2 Θερμοκρασία (Temperature)

Οι θερμοκρασίες που έχουν διαπιστωθεί στον λιμένα Πατρών κυμαίνονται μεταξύ 13⁰-17⁰ τον Ιανουάριο και μεταξύ 22⁰-26⁰ τον Αύγουστο (Souri-Kourouvali, 1976; In: Piper and Panagos, 1979).

3.3 Αλατότητα (Salinity)

Τα επιφανειακά νερά έχουν αλατότητα 38⁰/₀₀ όλο το χρόνο. Οι υψηλότερες τιμές αλατότητας έχουν παρατηρηθεί το καλοκαίρι στα ρηχά νερά, ενώ οι χαμηλότερες τιμές, έχουν παρατηρηθεί το χειμώνα, εξαιτίας των βροχοπτώσεων. Το στρώμα του νερού που άπτεται του πυθμένα στην Κεντρική Τάφρο, είναι καλώς οξυγονούμενο και η τιμή της αλατότητας είναι 38⁰/₀₀ (Piper and Panagos, 1979).

3.4 Παλίρροιες (Tides)

Υπάρχουν αρκετά δεδομένα και πληροφορίες για τα παλιρροϊκά φαινόμενα του λιμένα Πατρών. Το μέσο ενδοπαλιρροιακό εύρος (tidal range) είναι 16cm (Piper and Panagos, 1979; Piper et al., 1982), το οποίο αυξάνεται στα 45cm κατά τις εαρινές παλίρροιες (Piper et al., 1982). Το μεγαλύτερο εύρος παλίρροιας που έχει παρατηρηθεί μέσα στο χρονικό διάστημα μίας δεκαετίας είναι τα 120cm, ένα ακραίο γεγονός που συνδέεται με αντίστοιχα ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες (Piper and Panagos, 1979; Piper et al., 1982). Τα συνήθη εύρη των παλιρροιών που παρατηρούνται στον Πατραϊκό δε διαφέρουν σημαντικά από αυτά της Πάτρας. Οι καταιγίδες (storms) όχι μόνο δημιουργούν κύματα, αλλά η ένταση των ανέμων επίσης προκαλεί άνοδο της στάθμης του νερού σε σχέση με την ακτή.

Τα παλιρροιακά ρεύματα που έχουν παρατηρηθεί έχουν ταχύτητες από 50cm/sec έως 100cm/sec.

Στα δυτικά του Πατραϊκού Κόλπου δεν υπάρχουν ενδείξεις σημαντικών παλιρροιακών ρευμάτων. Η είσοδος του κόλπου μεταξύ των Ακρωτηρίων Άραξου και Τουρλίδας έχει εύρος τέσσερις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό των Στενών του Ρίου, οπότε είναι πιθανόν τα παλιρροιακά ρεύματα να φτάνουν ταχύτητες μεταξύ 5-20cm/sec. Εξαιτίας της επίδρασης των δυνάμεων Coriolis η γενική παλιρροιακή κυκλοφορία ενδέχεται να είναι αντίστροφη προς του δείκτες του ρολογιού.

Έχει παρατηρηθεί επίσης, ότι οι υψηλότερες ταχύτητες παλιρροιακών ρευμάτων, όχι μόνο στα επιφανειακά στρώματα, αλλά και στα βαθύτερα, διαπιστώνονται τους χειμερινούς μήνες, οπότε και οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι ισχυρότεροι (Piper and Panagos, 1979).

3.5 Ρεύματα (Currents)

Οι Παπαθεοδώρου και Κοντόπουλος (1998) εφαρμόζοντας τη μέθοδο των τάσεων του McLaren σε μεγάλο αριθμό κοκκομετρικών δεδομένων από τα

ιζήματα του Πατραϊκού Κόλπου, διαπίστωσαν μία κυκλωνική κίνηση (αντίθετη με τους δείκτες του ρολογιού) των ρευμάτων.

4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ (Coastline morphology)

4.1 Κρημνώδεις ακτές (Cliffed coastlines)

Οι ασβεστολιθικοί όγκοι της Βαράσοβας και της Κλόκοβας στη Βόρεια πλευρά του Πατραϊκού κατέρχονται απότομα προς τη θάλασσα. Οι βράχοι αυτοί εμφανίζονται σταθεροί. Σπήλαια έχουν αναπτυχθεί στο λιθοποιημένο ασβεστόλιθο στη δυτική πλευρά της Κλόκοβας και σε ύψος 6m από την επιφάνεια της θάλασσας. Βραχώδης ακτογραμμή απαντάται στους ασβεστόλιθους πολλών λόφων στο δέλτα του Αχελώου και στο Ακρωτήριο του Πάπα. Δυτικά της Κλόκοβας και στη Μαυρομύτη, η ακτογραμμή είναι πετρώδης και αναπτύσσεται πάνω σε φλύσχη.

Στη νοτιοδυτική ακτή του Πατραϊκού Κόλπου απαντώνται βράχοι (cliffs) ύψους 5m σε Νεογενή ιζήματα, τα οποία διαβρώνονται και πιο εύκολα. Οι βράχοι (cliffs) μεταξύ της Μαυρομύτης και της Κάτω Αχαΐας, έχουν ύψος 25m και αποτελούνται κυρίως από μη στερεοποιημένη άμμο η οποία υπέρκειται ιλυολίθων και πηλολίθων. Οι βράχοι αυτοί διαβρώνονται από κατολισθητικά φαινόμενα με μέσο ρυθμό μερικών εκατοστών ετησίως. Νεογενείς βράχοι, μικρότερου ύψους (2-10m), εκτείνονται κατά μήκος 4Km στην Νότια ακτή του Πατραϊκού Κόλπου, ανατολικά του στομίου του Πείρου Ποταμού. Αποτελούνται από άμμο, αλλά φαίνεται να διαβρώνονται με μέσο ρυθμό λιγότερο από ένα εκατοστόμετρο ετησίως.

Σε μερικά τμήματα του Πατραϊκού η ακτογραμμή είναι χαμηλού ύψους (0,2-2m) και κρημνώδης, φτάνοντας σε αλουβιακές αποθέσεις της Τεταρτογενούς Περιόδου. Η ακτογραμμή της Πάτρας είναι κατά το πλείστον αυτού του τύπου, αν και έχει μεταμορφωθεί από θαλάσσια τείχη και τεχνητές προσχώσεις. Χαμηλού ύψους διαβρωσιγενείς ακτές απαντώνται επίσης στα δέλτα του Ευήνου και του Αχελώου.

4.2 Ακτές απόθεσης- Προσχωματικές ακτές (Depositional coastlines)

Οι ακτές αυτές σχετίζονται με τα μεγάλα δέλτα όπως είναι αυτά του Αχελώου, του Ευήνου και του Πείρου. Χαλικώδεις ακτές (shingle cusped forelands) απαντώνται και στον ανατολικό Πατραϊκό κόλπο, κυρίως στο Ακρωτήριο της Αγυιάς, το Ρίο και το Αντίρριο. Οι δύο τελευταίες έχουν καλυφθεί από τις εγκαταστάσεις των εκεί λιμένων και Ενετικών κάστρων.

B. ROCKMARKS ΣΤΟΝ ΠΑΤΡΑΪΚΟ ΚΟΛΠΟ (THE ROCKMARK FIELD IN PATRAIKOS GULF)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Στον πυθμένα του Πατραϊκού Κόλπου εντοπίστηκε ένα από μεγαλύτερα πεδία rockmarks της Μεσογείου (Hasiotis *et al.*, 1996). Το πεδίο αυτό είναι ενεργό και σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια της Ολόκαινου εποχής από τη διαρκή διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων η οποία περιοδικά διακόπτεται από μικρής χρονικής διάρκειας γεγονότα έντονης διαφυγής αερίων που πυροδοτούνται από σεισμούς (Hasiotis *et al.*, 1996). Οι Hasiotis *et al.* (1996) έχουν καταθέσει στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του πεδίου αυτού και την ενεργοποίησή του κατά το σεισμικό γεγονός της 14/7/93 στην περιοχή του Λιμένα Πατρών. Ο σεισμός αυτός ήταν μεγέθους $M=5,4$ της κλίμακας Richter, προήλθε από ένα ρήγμα εστιακού βάθους 4,5Km στην ενεργό τάφρο της Πάτρας και ήταν ένας από τους μεγαλύτερους που έχουν συμβεί στην περιοχή της Πάτρας τα τελευταία 100 χρόνια.

Από την παρουσίαση των στοιχείων αυτών παρατίθενται πληροφορίες οι σχετικές με τη γεωλογία της περιοχής έρευνας και κατά συνέπεια του πεδίου των rockmarks.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (Geology)

Ο Πατραϊκός Κόλπος είναι μία τάφος Πλειόκαινου/Τεταρτογενούς που καταβυθίζεται ενεργά και ελέγχεται από ρήγματα διευθύνσεως ΔΝΔ-ΑΒΑ (Ferentinos *et al.*, 1985). Η εξέλιξη του κόλπου στο Τεταρτογενές είναι μία διαδοχή αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενεργούς τεκτονικής καταβύθισης, ραγδαίας παροχής ποτάμιων ιζημάτων και παγκόσμιων αλλαγών στο επίπεδο της θάλασσας (Chronis *et al.*, 1991).

Ο πυθμένας του κόλπου καλύπτεται από ένα σχεδόν ακουστικά διαφανές στρώμα του οποίου το πάχος κυμαίνεται από 20 έως 30m και καλύπτει ασύμφωνα μία ελαφρά περιστραμμένη και ρηγματωμένη νεότερη σειρά (Ferentinos *et al.*, 1985).

Η διεπιφάνεια της Ολόκαινου/Πλειστόκαινου αποτελεί έναν οριζόντα συσώρευσης αερίων ο οποίος δεν μπορεί πάντοτε να αναχαιτίζει την κάθετη μετανάστευση των αερίων αυτών (Papatheodorou *et al.*, 1993). Έτσι, θύλακες αερίων (gas pockets) και δόμοι (intra- sedimentary domes) έχουν σχηματιστεί στα ιζήματα Ολόκαινου από την κάθετη μετανάστευση των αερίων. Παρομοίως, πλούμες αερίου έχουν παρατηρηθεί στην υδάτινη στήλη μεταναστεύοντας κατά μήκος μετώπων ρηγματώσεων (Papatheodorou *et al.*, 1993).

Στοιχεία από τομογραφίες και ηχογραφίες φανερώνουν μία ποικιλία ανώμαλων ακουστικών χαρακτήρων, ενδεικτικών της παρουσίας αερίων στα ιζήματα και γνωρίσματα διαφυγής των αερίων αυτών στην επιφάνεια του πυθμένα. Καταγραφές τομογράφων υποδομής πυθμένα δείχνουν μία ακουστικά διαφανή σειρά με λιγοστές και ασθενείς υποεπιφανειακές ανακλάσεις (σειρά Ολόκαινου) να υπέρκειται μίας υψηλής ανακλαστικότητας επιφάνειας, η οποία εμποδίζει περαιτέρω σεισμική διείδυση. Αυτή η υψηλής ανακλαστικότητας επιφάνεια, κατά τους Chronis *et al.* (1991) και Papatheodorou *et al.* (1993), αντιπροσωπεύει το σύνορο Ολόκαινου/Πλειστόκαινου. Ο ισχυρός ακουστικός χαρακτήρας της επιφάνειας αυτής μπορεί να αποδοθεί, είτε στην αλλαγή των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων, είτε στην παρουσία αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα και συγκεκριμένα στην κατώτερη σειρά. Η σειρά της Ολόκαινου συνίσταται από πηλώδεις και τοπικά αμμώδεις οριζόντες οι οποίοι

είναι γενικά μαλακοί. Το ανώτερο τμήμα της Πλειστόκαινου σειράς συνίσταται από πηλούς οι οποίοι όμως είναι πιο συνεκτικοί.

Η παρουσία έντονων σεισμικών ανακλάσεων μέσα στην σειρά της Ολόκαινου, υποδεικνύει μία ανοδική μετανάστευση αερίων και την αιχμαλώτισή τους σε πορώδεις ορίζοντες μέσα στην ακουστικά διαφανή σειρά, πράγμα που δηλώνει ότι η σειρά της Ολόκαινου δεν μπορεί να συγκρατήσει εντελώς την κάθετη μετανάστευση των αερίων.

Συνιζηματογενή ενεργά ρήγματα επηρεάζουν την Τεταρτογενή σειρά, σχηματίζοντας περιστρεφόμενα τεμάχη. Σε κάθε μεμονωμένο ρηγματογενές τέμαχος, τα αέρια φαίνεται να μεταναστεύουν ανάντη (up-dip) και κατά μήκος του συνόρου Ολόκαινου/Πλειστόκαινου, τείνοντας να φτάσουν στην κορυφή του περιστραμμένου τέμαχους. Στο σημείο αυτό ακινητοποιούνται και συσσωρεύονται, σχηματίζοντας, σε μερικές περιπτώσεις, θύλακες αερίων, καθώς τα πορώδη στρώματα της Πλειστόκαινου, δια μέσου των οποίων το αέρια διωλίζονται, έρχονται σε επαφή με το αδιαπέραστο στρώμα της Ολόκαινου λόγω της παρουσίας των ρηγμάτων. Η παρουσία της σεισμικοκονιασμένης περιοχής μεταξύ της βάσης του rockmark και της έντονης ανάκλασης στην κορυφή του περιστραμμένου τέμαχους, υποδεικνύει ότι το αέριο που ρέει παράλληλα και ανάντη το σύνορο δεν είναι παγιδευμένο εξ ολοκλήρου, αλλά στο πέρας του περιστραμμένου τέμαχους, στρέφει και ρέει προς τα άνω, μέσα από τη ρηγματογενή ζώνη, σχηματίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο, το rockmark.

Ανακλάσεις με τη μορφή δόμων που έχουν παρατηρηθεί σε πολλά σημεία αποτελούν ενδείξεις χαμηλού ανάγλυφου δόμων εντός των ιζημάτων (intra-sedimentary doming) και αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα, ο οποίος ανυψώνεται γύρω στα 1-2m. Αυτοί οι δόμοι έχουν σχηματιστεί από δημιουργία αερίων σε υψηλή πίεση στο σύνορο Ολόκαινου/Πλειστόκαινου και αρκετές φορές σπάζουν τα υπερκείμενα στρώματα.

Στις τομογραφίες, οι εντομές κανικού σχήματος που παρατηρούνται και οι οποίες διακόπτουν τη στρωμάτωση της ανώτερης σειράς, αποτελούν αποτυπώσεις rockmarks. Τα rockmarks σχηματίζουν ένα ευρύ πεδίο το οποίο καταλαμβάνει μια έκταση $1,7\text{Km}^2$ και περιορίζονται μεταξύ των ισοβαθών των 15 και 35m. Έχουν ποικίλο σχήμα και μέγεθος και τα περισσότερα από αυτά είναι σύνθετα,

ενώ μερικά είναι μεμονωμένα. Τα μεμονωμένα rockmarks έχουν συνήθως συμμετρικό προφίλ και κυκλική όψη, ενώ άλλα είναι ασύμμετρα.

Τα σύνθετα rockmarks σχηματίζονται από τη συγχώνευση των μεμονωμένων τα οποία στις ηχογραφίες φαίνονται να υπερκαλύπτει το ένα το άλλο. Τα μεμονωμένα rockmarks έχουν διάμετρο η οποία κυμαίνεται από 25 έως 130m ενώ αυτή των σύνθετων φτάνει τα 250m. Η μέση διάμετρός τους είναι περίπου 98m. Το βάθος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,5-4m για τα μικρά και μεταξύ 10-15m για τα μεγαλύτερα με μέσο όρο τα 8,8m.

Τα πλευρικά τοιχώματα των rockmarks είναι κρημνώδη και σε πολλές περιπτώσεις η κλίση τους κυμαίνεται από 22° έως 23° (40-43%).

Η βάση των μεγαλύτερων rockmarks συνήθως φτάνει μέχρι την διεπιφάνεια Ολόκαινου/Πλειστόκαινου ενώ η βάση των μικρότερων τοποθετείται 5-10m πάνω απ' αυτήν.

Πολλά από τα rockmarks παρουσιάζουν κάτω από τη βάση τους σειсмоκονιασμένη καταγραφή η οποία εκτείνεται μέχρι την διεπιφάνεια, ενώ σε άλλα υπάρχει μια στηλοειδής διατάραξη (η οποία χαρακτηρίζεται από ακουστική διαφάνεια) που συνήθως δεν περιορίζεται κάτω από τη βάση τους και εκτείνεται κάτω από τα πλευρικά τοιχώματα.

Η παρουσία σειсмоκονιασμένης περιοχής κάτω από τα rockmarks υποδηλώνει ότι υπάρχει συνεχής παροχή αερίου προς αυτά και ότι τα ιζήματα είναι φορτισμένα σε αέριους υδρογονάνθρακες. Ακουστική διαφάνεια παρατηρείται και κάτω από τη βάση των πλευρικών τοιχωμάτων των rockmarks υποδηλώνοντας ότι: α) η ανάβλυση των αερίων δεν περιορίζεται μόνο στο κέντρο του rockmark, αλλά λαμβάνει χώρα και κάτω από τα τοιχώματά του, β) η υφή του ιζήματος έχει διαταραχθεί από την ανάβλυση των αερίων και γ) τα ιζήματα που συνιστούν διαύλους μετανάστευσης των αερίων είναι ελεύθερα από αέρια λόγω πρόσφατης διαφυγής. Όταν τα ιζήματα που συνιστούν διαύλους μετανάστευσης πληρωθούν με αέριο και αναπτυχθεί πίεση, τότε άλλη μία διαφυγή λαμβάνει χώρα.

Έχουν παρατηρηθεί μετακινήσεις γεωλογικών μαζών λόγω βαρύτητας (gravitative mass movements) να επηρεάζουν τα τοιχώματα των rockmarks. Οι μετακινήσεις και οι ροές των ιζημάτων προκαλούνται από την περιστροφική

κίνηση των ρευμάτων στην επιφάνεια του πυθμένα η οποία προκαλεί παραμόρφωση κατά τη διάτμηση (shear failure) στα μαλακά ιζήματα, τους σεισμούς και τα τσουνάμια (tsunamis).

Η παρουσία μετακινήσεων μαζών που καλύπτουν τον πυθμένα των rockmarks δηλώνει ότι η ανάβλυση αερίων μπορεί να παρεμποδιστεί προσωρινά. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός νέου διαύλου μετανάστευσης του αερίου, μέσω του οποίου θα διαφεύγει ήπια, ή σε μία πιο βίαιη εκπομπή όταν συσσωρευτούν μεγάλοι όγκοι αερίου και δεν συμβεί καμία διαφυγή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η παραπάνω διαδικασία εξαρτάται από τον όγκο της βαρυτικής ροής/κατολίσθησης, το διαθέσιμο αέριο, το βαθμό με τον οποίο συσσωρεύεται και τις φυσικές ιδιότητες των ιζημάτων.

Από τα παραπάνω καθίσταται έκδηλο, ότι τα rockmarks αυξάνονται σε μέγεθος με τη συνδυασμένη παρέμβαση διαδικασιών μεταφοράς ιζημάτων από αέρια και κατολισθήσεων, μετατρέποντας την καταβύθιση σε μια πιο σύνθετη μορφή.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (FIELD AND LABORATORY METHODS)

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ- ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ (Methods of study)

Τα γεωφυσικά δεδομένα που παρουσιάζονται και αναλύονται στην παρούσα μελέτη προέρχονται στο σύνολό τους από μία έρευνα που διεξήχθη μεταξύ 28-29/7 και στις 2/8/1993 στην θαλάσσια περιοχή έξω από την πόλη της Πάτρας. Για την εκτέλεση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε το αλιευτικό σκάφος Βασίλειος ΝΠ 359.

Για την πλοήγηση και τον προσδιορισμό της θέσης του σκάφους χρησιμοποιήθηκε το δορυφορικό σύστημα G.P.S. (Global Positioning System) Magnavox MX200, με ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης του σκάφους +30 έως +50m.

Για την σεισμική διασκόπηση του πυθμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής συστήματα τομογράφων (Εικ. 48, 49):

α) Τομογράφος 3,5kHz τύπου GEOPULSE, οποίος αποτελείται από

- i. Πομπό GEOPULSE model 5430a.
- ii. Δέκτη- ενισχυτή GEOPULSE model 5210a.
- iii. Ρυμουλκούμενο πομποδέκτη (με 9 πομποδέκτες) O.R.E. model 3820a.
- iv. Καταγραφέα ακριβείας E.P.C. model 1600s.

β) Τομογράφος Sparker τύπου S.I.G., οποίος αποτελείται από:

- i. Δέκτη- ενισχυτή GEOPULSE model 5210a.
- ii. Καταγραφέα ακριβείας E.P.C. model 1600s.
- iii. Sparker (35-1580 joules).
- iv. Σύστημα 4, 8, 12 και 24 υδρόφωνων τύπου S.I.G.
- v. Ηλεκτρόδια τύπου S.I.G.

Η κατακόρυφη κλίμακα καταγραφής για τον τομογράφο 3,5kHz ήταν 0,1 sec (εύρος καταγραφικού χαρτιού ίσο με 75m), ενώ για τον τομογράφο Sparker ήταν 0,2 sec (εύρος καταγραφικού χαρτιού ίσο με 150m). Η ενέργεια της πηγής των ακουστικών κυμάτων ήταν 140 Joules και τα φίλτρα συχνοτήτων καταγραφής

κυμαίνονταν μεταξύ 400-3500kHz ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή διείσδυση σε συνδυασμό με την καλύτερη διακριτικότητα.

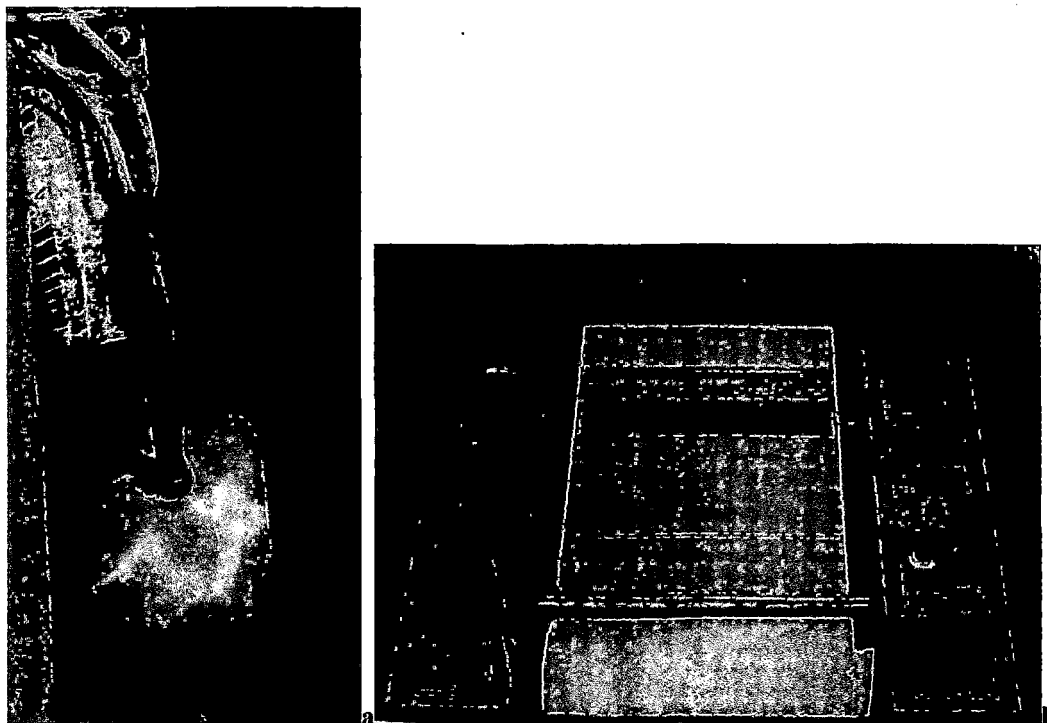
Εκτελέσθηκαν 8 διαδρομές συνολικού μήκους 27,5Km:

Με τον τομογράφο 3,5kHz πραγματοποιήθηκαν τέσσερις διαδρομές μήκους 12,5Km και ισάριθμες διαδρομές μήκους 15Km με τον τομογράφο Sparker. Τμήματα των πορειών αυτών παρατίθενται στο δεύτερο μέρος του παρόντος (Άτλαντας τομογραφιών υποδομής πυθμένα 3,5kHz και Sparker).

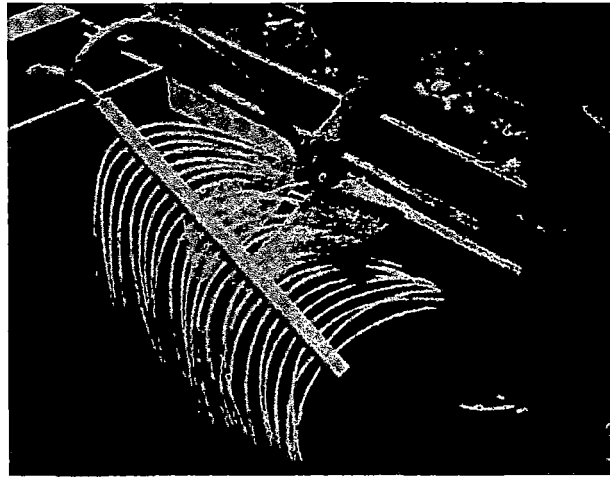
Η μέγιστη διείσδυση η οποία επιτεύχθηκε με τον τομογράφο 3,5kHz ήταν τα 30m και περίπου 60m από τον τομογράφο Sparker.

γ) Ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης τύπου E.G. & G., οποίος αποτελείται από:

- i. Ηχοβολιστική τορπίλη 272 TD.
- ii. Καταγραφική μονάδα.
- iii. Καλώδιο 100m τύπου Kevlar.



Εικ. 48 a, b: Τομογράφος υποδομής πυθμένα 3,5kHz (Φωτογραφικό αρχείο Ε.Θ.Α.ΓΕ.Φ.Ω.)
Fig. 48 a, b: Sub-bottom profiler 3,5kHz (Photograph courtesy Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography).



Εικ. 49: Τομογράφος υπόδομής πυθμένα τύπου Sparker (Φωτογραφικό αρχείο Ε.Θ.Α.ΓΕ.Φ.Ω.).
Fig. 49: Sparker sub-bottom profiler (Photograph courtesy Lab. of Marine Geology and Physical Oceanography).

Οι πυρήνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ιζηματολογική μελέτη της περιοχής ελήφθησαν μεταξύ 5-6/4/1997 με το αλιευτικό σκάφος Βασίλειος ΝΠ 359 και με πυρηνολήπτη βαρύτητας τύπου Benthos 3m (Εικ. 50).



Εικ. 50: Στιγμιότυπο από την πυρηνοληψία που διεξήχθη μεταξύ 5-6/4/1997.
Fig. 50: Picture taken from the core sampling which took place between 5-6/4/1997.

2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ (Sample analysis)

2.1 Κοκκομετρική ανάλυση ιζημάτων (Grain size analysis)

2.1.1 Λήψη δειγμάτων- Οξείδωση οργανικού υλικού (*Sampling- Oxidation of organic matter*)

Η λήψη δειγμάτων έγινε από ήδη ανοιγμένους πυρήνες, τρεις στον αριθμό, από τους οποίους πάρθηκαν συνολικά 32 δείγματα. Απ' αυτούς και από διαφορετικά ύψη στη στήλη του καθενός, ελήφθησαν δείγματα εύρους από 1-3cm, βάρους έως και 20gr (Εικ. 51).



Εικ. 51: Λήψη δειγμάτων από πυρήνα για ιζηματολογικές και γεωχημικές αναλύσεις.
Fig. 51: Sampling from a core retrieved from the pockmark field in the Patras Gulf.

Στους πίνακες 7, 8, 9, παρατίθενται τα δείγματα που ελήφθησαν σε αντιστοιχία με το βάθος.

Από κάθε δείγμα αφαιρέθηκε μικρή ποσότητα από το κεντρικό τμήμα του, η οποία και φυλάχθηκε για τις μετέπειτα γεωχημικές αναλύσεις που έγιναν. Το υπόλοιπο δείγμα τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως των 600ml, εφόσον θα ακολουθούσε κατεργασία του με υπεροξείδιο του υδρογόνου 50% (H_2O_2 , εμπορική ονομασία: Perydrol) για την καταστροφή του περιεχόμενου οργανικού

υλικού. Τα ποτήρια ζέσεως που συγκεντρώθηκαν μετά τη λήψη των δειγμάτων, τοποθετήθηκαν σε απαγωγό εστία και πάνω σε θερμαντική πλάκα στους 105°C, αφού προστέθηκε σε καθένα απ' αυτά μικρή ποσότητα απεσταγμένου νερού. Έπειτα από θέρμανσή τους, για μικρό χρονικό διάστημα, ακολούθησε η προσθήκη μικροποσοτήτων οξέως για την καύση του οργανικού υλικού, μέχρι η αντίδραση να φτάσει στο τελικό της σημείο (Εικ. 52, 53).

Όταν πλέον η αντίδραση έφτασε στο τελικό της σημείο, σταμάτησε η προσφορά θερμότητας και τα ποτήρια ζέσεως πληρώθηκαν με απεσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή των 600ml. Στη συνέχεια τα δείγματα αφέθηκαν να ηρεμήσουν για τουλάχιστον 12 ώρες.

Σημείωση:

Η αντίδραση του H_2O_2 με την οργανική ουσία επιταχύνεται με την προσφορά θερμότητας και την ανάδευση.

Είναι πολύ έντονη στα πρώτα στάδια της κατεργασίας ανάλογα με το δείγμα και την περιεκτικότητά του σε οργανικό υλικό. Γίνεται αντιληπτή δε, από τις φυσαλίδες που σχηματίζονται, οι οποίες στα πρώτα στάδια παράγονται σε μεγάλες ποσότητες, έχοντας ως αποτέλεσμα ο αφρός που σχηματίζουν να υπερχειλίζει, με κίνδυνο απώλειας ιζήματος. Η αντίδραση καταστέλλεται με την προσθήκη απεσταγμένου νερού μέσω υδροβολέως, ενώ ένας τρόπος περιορισμού του αφρού που παράγεται είναι η ανάδευση με υάλινη ράβδο ή η αφαίρεσή του αφού εκπλυθεί από το ίζημα που φέρει και αποκτήσει υπόλευκο χρώμα.

Μετά την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος και ανάλογα με το δείγμα, η αντίδραση γίνεται πιο ήπια, μέχρι που φτάνει στο τελικό της σημείο, οπότε τα δείγματα δεν αντιδρούν στην προσθήκη οξέως. Αυτό, πρέπει να διακρίνεται από τον βρασμό διότι προσθήκη περίσσειας οξέως θα καταστήσει τα δείγματα υπέρκορα σε αυτό.

Πίνακας 7: Πυρήνας Π14, Μήκος:164cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.

Table 7: Core Π14, Length: 164cm. Number of samples and depth of each sample.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (cm)
1	0-3
2	10-13
3	26-29
4	37-40
5	48-51
6	52-54
7	67-70
8	82-85
9	97-100
10	112-114
11	115-116
12	117-120
13	120-123
14	135-138
15	138-142
16	160-163

Πίνακας 8: Πυρήνας Π24, Μήκος: 94cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.

Table 8: Core Π24, Length: 94cm. Number of samples and depth of each sample.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (cm)
1	0-2
2	4-6
3	11-13
4	22-25
5	35-37
6	43-45
7	54-56
8	65-67
9	72-74
10	78-80
11	92-94

Πίνακας 9: Πυρήνας Π26, Μήκος: 158cm. Αριθμός δειγμάτων που ελήφθησαν και βάθος δειγματοληψίας για κάθε δείγμα.

Table 9: Core Π14, Length: 164cm. Number of samples and depth of each sample.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (cm)
1	0-2
2	40-42
3	70-72
4	100-102
5	145-147



Εικ. 52: Οξείδωση οργανικού υλικού με προσθήκη H_2O_2 50% (Perydrol).
Fig. 52: Oxidation of organic matter by adding H_2O_2 50% in solution (Perydrol).



Εικ. 53: Η αντίδραση του H_2O_2 με την οργανική ουσία είναι έντονη και προκαλεί τη δημιουργία φυσαλίδων.

Fig. 53: The reaction between H_2O_2 and the organic matter produces bubbles.

2.1.2 Μέθοδος υγρού κόσκινίσματος (*Wet sieving*)

Κατά τη μέθοδο αυτή, το κλάσμα της άμμου (<4 ϕ) διαχωρίζεται από το δείγμα ιζήματος με τη χρήση κόσκινου No.250 (άνοιγμα οπών 4 ϕ ή 0,062mm).

Μετά την παρέλευση των 12 ωρών, από κάθε δείγμα αφαιρέθηκε το υπερκείμενο νερό με μετάγγιση δια στόματος και μεταφέρθηκε από το ποτήρι ζέσεως στο κόσκινο με τη βοήθεια υδροβολέως. Στο κόσκινο το ίζημα

υδροβολήθηκε, ούτως ώστε να διευκολυνθεί η διέλευση του <math><4\phi</math> κλάσματος από τις οπές του (Εικ. 54 a, b).

Το διερχόμενο από το κόσκινο κλάσμα του ιζήματος τοποθετήθηκε σε ογκομετρικούς κύλινδρους των 1000ml οι οποίοι ήταν αριθμημένοι. Σε κάθε ογκομετρικό κύλινδρο αναγραφόταν ο κωδικός του εκάστοτε δείγματος, γινόταν προσθήκη 20ml αντικροκιδωτικής ουσίας (Calgon) και πληρώνονταν με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 1000ml. Το υγρό διασποράς που χρησιμοποιήθηκε είναι το Calgon (εμπορική ονομασία) (Πιν. 10).

Οι ογκομετρικοί κύλινδροι με το εναιώρημα του ιζήματος τοποθετήθηκαν σε υδρόλουτρα (Εικ. 55). Η θερμοκρασία του περιεχόμενου σε αυτά νερού διατηρούταν σταθερή με θερμοστάτες, στους 26°C. Τα δείγματα σε αυτό το στάδιο αφέθηκαν στους ογκομετρικούς κύλινδρους τουλάχιστον για 12 ώρες ούτως ώστε να διαπιστωθεί αν το εναιώρημα έχει υποστεί κροκιδώση. Συνολικά 16 δείγματα ιζήματος μπορούν να μετρηθούν στη διάρκεια μιας ημέρας (8 ώρες).



Εικ. 54 a, b: Υγρό κοσκίνισμα: τοποθέτηση δείγματος ελεύθερου από οργανικό υλικό σε κόσκινο No. 250 (a) και υποβοήθηση της διέλευσης του <math><4\phi</math> κλάσματος από τις οπές του με τη χρήση υδροβολέα (b).

Fig. 54 a, b: Wet sieving: The sample -free of organic matter- is put in a sieve of mesh No. 250 (a) and is sieved with the use of water (b).



Εικ. 55: Ένα εκ των δύο υδρόλουτρων που χρησιμοποιήθηκαν και στο οποίο είναι τοποθετημένοι 8 ογκομετρικοί κύλινδροι.

Fig. 55: The aquarium seen in the picture carries in it 8 cubic cylinders and it was used as a bath for the samples.

Πίνακας 10: Χημική σύσταση του Calgon.

Table 10: Chemical synthesis of Calgon.

Όνομασία ουσίας	Γραμμάρια άλατος ανά λίτρο έτοιμου διαλύματος	Χημικός τύπος
Εξαμεταφωσφορικό Νάτριο με	45,7	NaPO_3
Ανθρακικό Νάτριο ως Ρυθμιστικό		ή $(\text{Na PO}_3)_6$ με Na_2CO_3

Πηγή: Παπαθεοδώρου (1994).

2.1.3 Κοκκομετρική ανάλυση αδρόκοκκου κλάσματος (ξηρό κοσκίνισμα)(Dry sieving)

Το ίζημα που δεν πέρασε από το κόσκινο -και αποτελεί την αδρομερή φάση του- μεταφέρθηκε με έκπλυση σε νέα ποτήρια ζέσεως ή πορσελάνινα δοχεία στα οποία αναγραφόταν ο κωδικός του δείγματος που περιείχαν. Στη συνέχεια και εφόσον είχε αφαιρεθεί το υπερκείμενο νερό, τοποθετήθηκαν σε φούρνο για ξήρανση.

Όταν επιβεβαιώθηκε ότι το ίζημα σε κάθε δοχείο είχε αφυδατωθεί πλήρως, τοποθετούνταν σε μηχανικό ηλεκτρικό κόσκινο (Εικ. 56). και κοσκινίστηκαν εκ νέου.

Κατά τη μέθοδο του ξηρού κοσκίνισματος το ίζημα περνά από μία σειρά κόσκινων, διαχωριζόμενο με αυτόν τον τρόπο σε επιμέρους κλάσματα (κλάσεις).

Για την πρώτη ομάδα δειγμάτων (Πυρήνας 14) χρησιμοποιήθηκαν τα εξής κόσκινα: No.35, No.45, No.60, No.80, No.120, No.170, ενώ στη δεύτερη ομάδα

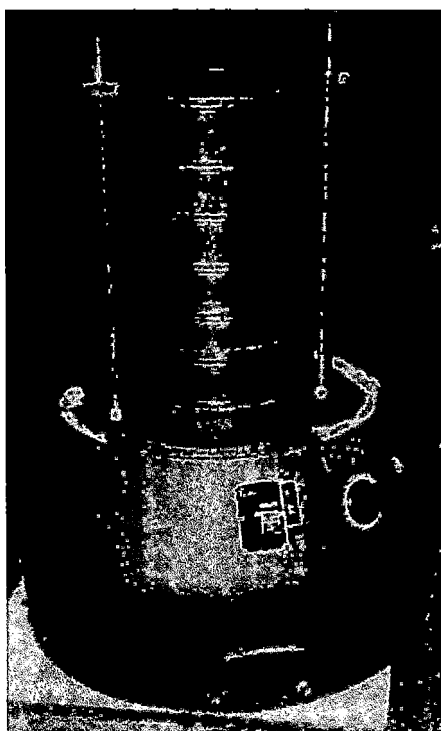
(Πυρήνες 24, 26) παραλείφθηκαν τα κόσκινα: No.45, No.80 και No.170. Στον Πίνακα 11, παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν με τη σειρά που τοποθετούνται στο ηλεκτρικό κόσκινο.

Πίνακας 11: Καταγραφή των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο του ξηρού κοσκίνισματος.

Table 11: Screens used in the grain size analysis by dry sieving.

MESH NO.	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ϕ (-log ₂ φ)
35	0,500	1,00
45	0,355	1,49
60	0,250	2,00
80	0,180	2,47
120	0,125	3,00
170	0,090	3,47
Δοχείο συλλογής (pan)	-	4,00

Τα κλάσματα που συλλέχθηκαν από κάθε κόσκινο για το εκάστοτε δείγμα, ζυγίστηκαν σε ζυγό O'Haus[®] Analytical Plus, ακριβείας 0,0001gr και κάθε κλάσμα τοποθετήθηκε σε πλαστικό σακουλάκι (Εικ. 57 a, b). Στη συνέχεια υπολογίστηκε η κατά βάρος επί τοις εκατό (%) σύσταση του κάθε κλάσματος στο συνολικό βάρος του ιζήματος και το αθροιστικό ποσοστό (%) των κλασμάτων.



Εικ. 56: Ηλεκτρικό κόσκινο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το ξηρό κοσκίνισμα των δειγμάτων.
Fig. 56: Electric tap machine which was used for the dry sieving of the samples.



Εικ. 57 a, b: Συλλογή κλάσματος από κόσκινο (a) και ζύγισή του σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας 0,0001g (b).

Fig. 57 a, b: Selection of a fraction from the screen seen in the picture (a), which was weighted into a chemical balance of 0,0001g accuracy.

2.1.4 Κοκομετρική ανάλυση λεπτόκοκκου κλάσματος (μέθοδος πιπέτας) (Pipette analysis)

Σκοπός της μεθόδου είναι η λήψη δείγματος κόκκων συγκεκριμένης διαμέτρου, καθώς κόκκοι των 4ϕ καθιζάνουν με διαφορετική ταχύτητα σε σχέση με αυτούς των 10ϕ . Η μέθοδος της πιπέτας βασίζεται θεωρητικά στον νόμο του Stokes (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II), άρα σε χρονοδιάγραμμα μετρήσεων το οποίο αποτελεί και το πρόγραμμά της.

Ο χρόνος των δειγματοληψιών από το εναιώρημα καθορίζεται από τη θερμοκρασία του εναιωρήματος, το βάθος της δειγματοληψίας και την πυκνότητα των εν αιωρήσει κόκκων.

Έτσι, αναδεύτηκαν τα εναιωρήματα για 1 λεπτό και ξεκίνησε η λήψη με σιφόνιο πλήρωσεως από κάθε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000ml, εννέα δειγμάτων όγκου 20ml το καθένα, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και βάθη, σύμφωνα με το πρόγραμμα χρόνων που προκύπτει για 16 δείγματα ιζημάτων. Τα δείγματα αυτά φέρονταν αντίστοιχα σε ποτήρια ζέσεως των 50ml τα οποία είχαν προζυγιστεί (Εικ.58).



Εικ. 58: Κάθε δείγμα των 20ml που λαμβάνεται με σιφόνιο πλήρωσης από το εναίωρημα του εκάστοτε ογκομετρικού κύλινδρου, φέρεται σε προζυγισμένα ποτήρια ζέσεως των 50ml.

Fig. 58: Each 20ml sample withdrawn with a pipette from the suspension of each cylinder, is expelled into a weighed 50ml beaker.

Σε κάθε ογκομετρικό κύλινδρο αντιστοιχούν 9 ποτήρια ζέσεως, τα οποία αριθμούνται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να αναγνωρίζεται η προέλευσή του καθενός (π.χ. 1/1: 1^ο δείγμα παρμένο από τον 1^ο ογκομετρικό κύλινδρο) και τοποθετούνται σε σειρά που υποδεικνύεται από το πρόγραμμα της μεθόδου. Το πρόγραμμα αυτό εφαρμοζόμενο για ένα δείγμα ιζήματος, έχει χρονική διάρκεια 14:30 ωρών. Στον Πίνακα 12 παρατίθεται το πρόγραμμα λήψης δειγμάτων πιπέττας για θερμοκρασία 26°C, για έναν ογκομετρικό κύλινδρο (μεμονωμένο δείγμα) και για διαμέτρους κόκκων 4Ø, 4,5Ø, 5,0Ø, 5,5Ø, 6,0Ø, 7,0Ø, 8,0Ø, 9,0Ø και 10Ø.

Πίνακας 12: Χρονοδιάγραμμα λήψης δειγμάτων με πιπέττα (Folk, 1974).

Table 12: Time program of withdrawals used in pipette analysis (Folk, 1974).

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΚΚΩΝ (Ø)	ΒΑΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (cm)	ΧΡΟΝΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (hr: min)
ΑΝΑΔΕΥΣΗ (1 min)		
4,0	20	20"
4,5	20	1' 39"
ΑΝΑΔΕΥΣΗ (1 min)		
5,0	10	1' 39"
5,5	10	3' 18"
6,0	10	6' 36"
7,0	10	26' 25"
8,0	5	52' 49"
9,0	5	3hr 31'
10,0	5	14hr 31'

Πηγή: Προσαρμογή από Folk (1974) και Παπαθεοδώρου (1994).

Έπειτα από την ολοκλήρωση του προγράμματος, τα ποτήρια ζέσεως τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 115°C και για 24 ώρες, στη διάρκεια των οποίων τα δείγματα ξηράνθηκαν.

Αφού εξακριβώθηκε η απουσία υγρασίας στο αποξηραμένο ίζημα, τα ποτήρια ζέσεως αφαιρέθηκαν από τον φούρνο, αφέθηκαν να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου για 1 ½ ώρα και ζυγίστηκαν σε ζυγό O'Haus[®] Analytical Plus, ακριβείας 0,0001gr.

Στη συνέχεια έγιναν οι υπολογισμοί του επί μέρους και του αθροιστικού ποσοστού (%) των τάξεων των μεγεθών των κόκκων σε κάθε δείγμα, όπως και των στατιστικών παραμέτρων με τη μέθοδο των ροπών μέσω του λογιστικού πακέτου *Microsoft Excel 7,0* και σύμφωνα με τη μέθοδο που προτείνεται από τον Folk (1974) (Βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ).

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (PRESENTATION OF DATA)

Α. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΥΣ 3,5kHz ΚΑΙ SPARKER (INTERPRETATION OF 3,5kHz AND SPARKER PROFILES)

1. ΠΟΡΕΙΑ 9-10 (Profile 9-10) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: -

Βάθος πορείας: 25,5-41,3m

Γενική διεύθυνση πορείας: -

Η καταγραφή της πορείας αυτής συνίσταται από τα top 9-10. Μεταξύ αυτών παρατηρείται μία καταβύθιση στην επιφάνεια του πυθμένα βάθους 11,5m, η οποία αποτελεί rockmark συμμετρικού σχήματος. Κάτω από τα τοιχώματά του παρατηρείται ακουστική διαφάνεια (AT), ενώ κάτω από τη βάση του ασθενής σεισμοκονιάσμενη περιοχή (ATZ). Έντονες ανακλάσεις (ER) παρατηρούνται στα γειτονικά του κρατήρα ιζήματα και σε βάθος περίπου 10m από τη βάση του, λόγω της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων σε αυτά. Επίσης στον πυθμένα του rockmark παρατηρούνται αποθέσεις από ροές μαζών (MF), ενδεχομένως από την διάβρωση των πρανών του.

2. ΠΟΡΕΙΑ 36-43 (Profile 36-43) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 3135,9m

Βάθος πορείας: 15-40,1m

Γενική διεύθυνση πορείας: ΒΑ (top: 36-39), ΒΔ (top: 39-43).

• Top: 36-39

Το ΡΜ που περιλαμβάνεται μεταξύ των top: 36-37 είναι βάθους 17,9m και είναι συμμετρικό. Κάτω από τα τοιχώματα και τη βάση του, παρατηρείται περιοχή

ακουστικής διαφάνειας (AT) την οποία ακολουθεί σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ). Παρατηρούνται περιορισμένες έντονες ανακλάσεις (ER) σε διάφορα βάθη οι οποίες είτε βρίσκονται εντός της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας, είτε αποτελούν την οροφή της. Ενδεχομένως οι ορίζοντες των ιζημάτων που καταγράφονται έντονα, σε αντίθεση με τους υπερκείμενους ή υποκείμενους αυτών, να είναι πλήρεις αερίων υδρογονανθράκων.

• Top: 39-41

Στην τομογραφία αυτή παρατηρείται ένα rockmark βάθους 17m, ασύμμετρο. Κάτω από τα τοιχώματά του, εντοπίζονται περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) ενώ κάτω από τη βάση του παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER) και ασθενώς σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) η οποία ακολουθεί τις έντονες ανακλάσεις.

Τα τοιχώματα του rockmark υφίστανται την δράση κατολισθητικών φαινομένων και διαπιστώνονται περιστρεφόμενα τεμάχια (RB) στις πλευρές του ενώ στον πυθμένα του κρατήρα παρατηρείται ένα αποκολληθέν τέμαχος (DB).

• Top: 41-43

Οι ορίζοντες των ιζημάτων που βρίσκονται σε βάθος 20-25m από την επιφάνεια του πυθμένα δίνουν έντονη ανάκλαση, η οποία ακολουθείται από σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ). Μεταξύ των top: 42-43 έντονες ανακλάσεις (ER) και σεισμοκονιασμένη περιοχή εντοπίζονται σε βάθος περίπου 10m.

3. ΠΟΡΕΙΑ 60-65 (Profile 60-65) (Βλ. Ατλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1954,5m

Βάθος πορείας: 11,4-41,4m

Γενική διεύθυνση πορείας: NNA

• Top: 60-63

Σε όλο το μήκος της τομογραφίας μεταξύ των top: 60-63 και σε βάθος 25-30m από την επιφάνεια του πυθμένα παρατηρείται έντονη ανάκλαση (ER) η οποία ακολουθείται από ασθενή σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ). Έντονη ανάκλαση

παρατηρείται σε βάθος περίπου 15m μεταξύ των top: 62-63, ενώ ασθενείς σεισμοκονιασμένες περιοχές εντοπίζονται σε βάθος περίπου 10m στα top: 60-62.

Επίσης, εντοπίζεται ένα σύνθετο rockmark μέγιστου βάθους 9,8m, κάτω από τη βάση και τα τοιχώματα του οποίου, παρατηρείται ακουστική διαφάνεια (AT), ένδειξη ότι τα ιζήματα είναι διαταραγμένα από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων. Η ανάκλαση που λαμβάνεται από την επιφάνεια του πυθμένα του κρατήρα, θα μπορούσε να οφείλεται σε ροή μαζών (MF) από τα κρατήρα του.

• Top: 63-65

Παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER) σε διάφορα βάθη, οι οποίες είτε βρίσκονται εντός σεισμοκονιασμένης περιοχής (ATZ), είτε αποτελούν την οροφή τους.

Μεταξύ των top: 63-64 υπάρχει ένα rockmark βάθους 5,8m, ασύμμετρο, του οποίου τις πλευρές αποτελούν δύο περιστρεφόμενα τεμάχια (RB). Πιθανότατα το rockmark αυτό να τέμνεται περιφερειακά από την πορεία του σκάφους. Κάτω από τη βάση του υπάρχει περιορισμένη έκτασης σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) και υπερβολική ανάκλαση η οποία ενδέχεται να είναι μορφή συγκλίνου.

4. ΠΟΡΕΙΑ 66-70 (Profile 66-70) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1909m

Βάθος πορείας: 7,5-37,5m

Γενική διεύθυνση πορείας: NND

Το κυρίαρχο γνώρισμα της καταγραφής αυτής είναι ένα σύνθετο rockmark μέγιστου βάθους 19,6m και εύρους 299m. Παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER) οι οποίες προέρχονται από διάφορα βάθη από τα 7m περίπου, έως και τα 30m. Αυτές οι ανακλάσεις είτε βρίσκονται εντός σεισμοκονιασμένων περιοχών (ATZ), είτε αποτελούν την οροφή τους σε περιορισμένη όμως κλίμακα. Μεταξύ των top: 68-70 παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή που είναι τοποθετημένη παράλληλα προς την επιφάνεια του πυθμένα και σε βάθος περίπου 10m απ' αυτήν, εντός της οποίας εντοπίζονται έντονες ανακλάσεις.

Τα τοιχώματα του rockmark μαστίζονται από κατολισθητικά φαινόμενα. Και στις δύο πλευρές του παρατηρούνται περιστροφικές κατολισθήσεις, ενώ διαπιστώνεται ότι τεμάχια έχουν αποκολληθεί ή τείνουν να περιστραφούν εντός του rockmark. Κάτω από τη βάση του rockmark εντοπίζονται σεισμοκονιασμένες περιοχές, ενώ ακριβώς κάτω από τα τοιχώματά του και την ανάκλαση του πυθμένα του, υπάρχουν περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT). Η έντονη ανακλαστικότητα που προέρχεται από τους ορίζοντες της σεισμοκονιασμένης καταγραφής προέρχεται από τη διάχυση των αερίων υδρογονανθράκων σε αυτούς.

5. ΠΟΡΕΙΑ 88-92 (Profile 88-92) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: -

Βάθος πορείας: 29-39m

Γενική διεύθυνση πορείας: NND

• Top: 88-91

Σε όλο το μήκος της καταγραφής και σε βάθος 20m από την επιφάνεια του πυθμένα παρατηρείται έντονη ανάκλαση (ER) η οποία ακολουθείται από σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ). Εντοπίζονται επίσης και δύο καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα οι οποίες οφείλονται στην παρουσία rockmarks. Η μορφή όμως των υποεπιφανειακών ανακλάσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πορεία του σκάφους τέμνει τα rockmarks περιφερειακά. Κάτω από τη βάση και τα τοιχώματα του rockmark που εντοπίζεται μεταξύ των top: 90-91 παρατηρείται ζώνη ακουστικής διαφάνειας (AT) και μία στηλοειδής διατάραξη (CD). Είναι πολύ πιθανό το rockmark αυτό και το γειτονικό του να έχουν δημιουργηθεί σε περιοχές αδυναμίας, όπως είναι, σε αυτήν την περίπτωση, οι παρυφές του περιστρεφόμενου τέμαχους.

Μεταξύ των top: 89-90 παρατηρείται ότι η άνοδος των αερίων υδρογονανθράκων προκαλεί ελαφρά παραμόρφωση στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων (intra-sedimentary doming), χωρίς όμως έκφραση στην επιφάνεια του πυθμένα.

- Top: 91-92

Σε βάθος περίπου 7m από την επιφάνεια του πυθμένα, παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) και ένα rockmark βάθους 9,1m, συμμετρικό. Κάτω από τα τοιχώματά του υφίστανται περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT) εξαιτίας της διατάραξης των ιζημάτων από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων. Στη βάση του rockmark παρατηρούνται αποθέσεις ροών μαζών (MF), ενώ στην BBA πλευρά του υφίσταται περιστροφική κατολίσθηση (RB). Επίσης, κάτω από τη βάση του rockmark και σε βάθος περίπου 15m απ' αυτήν, παρατηρείται σεισμοκονιασμένη επιφάνεια, η οροφή της οποίας καθορίζεται από έντονες ανακλάσεις και συνεχίζει πέραν των top: 91-92.

6. ΠΟΡΕΙΑ 98-110 (Profile 98-110) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: -

Βάθος πορείας: 19,8-38,5m

Γενική διεύθυνση πορείας: BBA

- Top: 98-100

Χαρακτηριστική είναι η παρουσία ενός σύνθετου rockmark μέγιστου βάθους 17,6m και ενός μεμονωμένου ακριβώς δίπλα του, βάθους 12,1m. Η καταγραφή χαρακτηρίζεται από την παρουσία έντονων και υπερβολικών ανακλάσεων κάτω από τη βάση των rockmark ενδείξεις της ανοδικής μετακίνησης αερίων υδρογονανθράκων. Κοινός ακουστικός χαρακτήρας και των δύο rockmarks είναι η ύπαρξη περιοχών ακουστικής διαφάνειας (AT) κάτω από τα τοιχώματα και τη βάση τους, ενώ και στα δύο επιδρούν κατολισθητικά φαινόμενα.

Κάτω από τη βάση του σύνθετου rockmark (top: 99-100) παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ), ενώ στον πυθμένα του διαπιστώνονται αποθέσεις ροών μαζών (MF), ενώ η BBA πλευρά του υφίσταται περιστροφική κατολίσθηση (RB). Επίσης τα πρανή του rockmark που εντοπίζεται μεταξύ των top: 98-99, υφίστανται περιστροφικές κατολισθήσεις.

- Top: 100-102

Η καταγραφή αυτή παρουσιάζει έντονες ανακλάσεις (ER) σε διάφορα βάθη και παρατηρούνται δύο rockmarks βάθους 12m και 10,1m.

Στο rockmark που βρίσκεται μεταξύ των top: 101-102 παρατηρείται κατολίσθηση στη BBA πλευρά του γεγονός που διαπιστώνεται από την ύπαρξη ενός αποκολληθέντος τέμαχους (DB) στον πυθμένα του κρατήρα. Επίσης, κάτω από τη βάση και τα τοιχώματά του παρουσιάζεται περιοχή ακουστικής διαφάνειας (AT).

Το rockmark μεταξύ των top: 100-101 είναι ενεργό, γεγονός που διαπιστώνεται από την πλούμα αερίων (GPI) που διαφεύγουν απ' αυτό και τη σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) στη βάση του η οποία προέρχεται από την προς την ανοδική κίνηση των αερίων υδρογονανθράκων. Η BBA πλευρά του rockmark το οποίο είναι συμμετρικό, υφίσταται περιστροφική κατολίσθηση (RB). Χαρακτηριστικό ακόμη, είναι το γεγονός ότι η σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) αποκρύπτει την ανάκλαση από τον πυθμένα του κρατήρα, η οποία ακολουθείται από ακουστική σκιά.

- Top: 102-108

Σε όλο το μήκος της τομογραφίας μεταξύ των top: 102-108 διαπιστώνεται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) της οποίας η οροφή οριοθετείται σε βάθος μεταξύ 10-15m από έντονες ανακλάσεις (ER). Τα rockmarks που παρατηρούνται έχουν βάθος μεταξύ 2-13m και είναι κατά κανόνα συμμετρικά. Κάτω από τη βάση τους και τα τοιχώματά τους παρατηρείται περιοχή ακουστικής διαφάνειας (AT). Το rockmark μεταξύ των top: 107-108 είναι ασύμμετρο και η NNA πλευρά του υφίσταται περιστροφική κατολίσθηση (RB). Μεταξύ των top: 104-105 διαπιστώνεται ρήγμα (F), ενδεχομένως ενεργό. Στα top: 103-104 παρατηρείται μία στηλοειδής ζώνη περιορισμένου εύρους η οποία περιλαμβάνει στρώματα ιζημάτων που δίνουν έντονες ανακλάσεις. Αυτή η ζώνη εκτείνεται από την επιφάνεια του πυθμένα μέχρι τα 30m βάθος. Πάνω απ' αυτήν τη ζώνη και στην ενότητα της υδάτινης στήλης παρατηρείται μία πλούμα αερίων (GPI). Σε ένα εκ των δύο rockmarks που διαπιστώνονται μεταξύ των top: 102-103 παρουσιάζεται κάτω από τη βάση του ένας ακουστικός χαρακτήρας που καλείται μορφή συγκλίνου ή papillion. Το πραγματικό βάθος της καταβύθισης αποδίδεται από την κορυφή της υποκείμενης υπερβολικής ανάκλασης.

- Top: 108-110

Στην καταγραφή αυτή παρατηρείται ένα σύνθετο rockmark μέγιστου βάθους περίπου 10,8m. Το rockmark αυτό εντοπίζεται σε ενεργό ρήγμα, ενώ πάνω απ' αυτό παρατηρείται μία πλούμα αερίων (GPI) να υψώνεται στην υδάτινη στήλη. Κάτω από τη βάση του και τα τοιχώματά του παρατηρείται περιοχή ακουστικής διαφάνειας (AT) και ασθενούς ανακλαστικότητας. Επίσης κάτω από τη βάση του κρατήρα παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ), ενώ εντός αυτής διαπιστώνονται έντονες ανακλάσεις (ER). Έντονες ανακλάσεις ακόμα παρατηρούνται στις γειτονικές ενστρώσεις των ιζημάτων του πυθμένα και οι οποίες ακολουθούνται από σεισμοκονιασμένες περιοχές. Αξιοσημείωτη είναι η κατολίσθηση που έχει λάβει χώρα στην BBA πλευρά του rockmark όπου ένα τέμαχος έχει αποκολληθεί (DB) και ολισθήσει στο δάπεδο του κρατήρα. Πλούμες αερίων που υψώνονται στην υδάτινη στήλη, παρατηρούνται επίσης και μεταξύ των top: 109-110.

7. ΠΟΡΕΙΑ 120-130 (Profile 120-130) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 4136,2m

Βάθος πορείας: 22-40,8m

Γενική διεύθυνση πορείας: BBA

Σε όλο το μήκος της καταγραφής και σε βάθος περίπου 10m παρατηρείται έντονη ανακλαστικότητα από τους ορίζοντες των ιζημάτων, η οποία ακολουθείται από σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ). Επίσης παρατηρούνται rockmarks βάθους από 2m έως 15m. Μερικά από αυτά τέμνονται περιφερειακά από την πορεία του σκάφους. Όλα εμφανίζουν κάτω από τη βάση τους και τα τοιχώματά τους περιοχές ακουστικής διαφάνειας (AT).

Μεταξύ των top: 121-122 παρατηρείται έντονη μετατόπιση της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας και ενδεχομένως να υφίσταται ενεργό ρήγμα (F).

Επίσης, οι πλευρές του rockmark που εντοπίζεται μεταξύ των top: 124-125 εμφανίζουν περιστροφικές κατολισθήσεις (RB) και η βάση του φτάνει την οροφή της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας.

Ακόμα, κάτω από τη βάση του rockmark που βρίσκεται μεταξύ των top: 128-129 παρατηρείται ένας τύπος ακουστικού χαρακτήρα που καλείται μορφή σύγκλινου ή rapillio. Το πραγματικό βάθος του εν λόγω κοιλάματος αποδίδεται από την κορυφή της υποκείμενης ανάκλασης.

8. ΠΟΡΕΙΑ 201-208 (Profile 201-208) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: -

Βάθος πορείας: 17,6-41m

Γενική διεύθυνση πορείας: -

Σε όλο το μήκος της πορείας και σε βάθος μεταξύ 15-30m παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER) οι οποίες αποτελούν την οροφή σεισμοκονιασμένης καταγραφής (ATZ). Επίσης έντονες ανακλάσεις εντοπίζονται και εντός σεισμοκονιασμένων ζωνών.

Χαρακτηριστικό έντονο, αποτελεί η παρουσία ρηγμάτων ενεργών ή μη, ενώ παρατηρώντας γενικά την καταγραφή, συνάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται περί μεγάλων περιστρεφόμενων τεμαχών.

Ενεργά ρήγματα (F) εντοπίζονται μεταξύ των top: 203-204, 204-205 και 207-208. Ανενεργά ρήγματα τα οποία έχουν προκληθεί από την τάση περιστροφής των μεγάλων αυτών τεμαχών εντοπίζονται μεταξύ των top: 201-202 όπου εντοπίζονται δύο σε βάθος περίπου 10m ενώ ένα τρίτο φτάνει στην επιφάνεια του πυθμένα, χωρίς να έχει βρει ακόμα έκφραση, πιθανότατα, σε αυτήν. Επίσης και μεταξύ των top: 202-203 όπου το ρήγμα που εντοπίζεται, βρίσκεται σε βάθος περίπου 10m από την επιφάνεια του πυθμένα.

Σε αρκετά σημεία η τομογραφία φανεράνει παραμορφώσεις στους ορίζοντες των ιζημάτων, λόγω της ανοδικής κίνησης των αερίων υδρογονανθράκων οι οποίοι συναντώντας ζώνες αδυναμίας μέσα στα ιζήματα (όπως είναι τα ρήγματα και οι ρωγμές), μετακινούνται προς τα άνω.

Ορισμένες από τις παραμορφώσεις αυτές οφείλονται στην τάση περιστροφής των τεμαχών και είναι προοίμια ρηγμάτων.

9. ΠΟΡΕΙΑ 338-345 (Profile 338-345) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: -

Βάθος πορείας: -

Γενική διεύθυνση πορείας: -

• Top: 338-341

Στην τομογραφία παρατηρούνται τρία ρήγματα ενεργά, εκ των οποίων ένα είναι το κύριο και βρίσκεται μεταξύ των top: 339-340. Αυτό διαπιστώνεται από το άλμα που παρουσιάζεται μεταξύ των οριζόντων των ιζημάτων και την έντονη μετατόπιση της σεισμοκονιασμένης περιοχής (ATZ). Παρατηρούνται επίσης και έντονες ανακλάσεις (ER), οι οποίες εντοπίζονται είτε εντός της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας, είτε οριοθετούν την οροφή της. Η σεισμοκονιασμένη περιοχή διαπιστώνεται στα όρια του κυρίου ρήγματος, σε βάθος 25m και 35m περίπου.

Μεταξύ των top: 340-341 διαπιστώνεται δόμος αερίων (GD) στα ιζήματα και σε βάθος 25m περίπου, στοιχειοθετούμενος από έντονες ανακλάσεις. Ο δόμος προκαλεί ελαφρά παραμόρφωση στην υπερκείμενη σεισμική ακολουθία και αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα (D). Έχει εύρος περί τα 126m και ύψος περί τα 7m και έχει σχηματιστεί εξαιτίας ενός ρήγματος (F).

• Top: 341-343

Στην καταγραφή αυτή η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) και οι έντονες ανακλάσεις (ER) που οριοθετούν την οροφή της, εντοπίζονται σε βάθος 30m περίπου. Μεταξύ των top: 342-343 διαπιστώνεται ρήγμα (F) στο οποίο έχει σχηματιστεί ένας δόμος αερίων (GD) εύρους 110m περίπου και ύψους 7m, ο οποίος προκαλεί παραμορφώσεις στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων και ελαφρά αναθόλωση στην επιφάνεια του πυθμένα.

• Top: 343-345

Στην τομογραφία αυτή παρατηρούνται σε βάθος περίπου 30m έντονες ανακλάσεις είτε στην κορυφή της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας, είτε εντός αυτής. Επίσης, μεταξύ των top: 344-345, παρατηρείται ένας δόμος αερίων (GD) εύρους

155m περίπου και ύψους 7m -ο μεγαλύτερος εκ των τριών που παρατηρούνται στην καταγραφή- ο οποίος προκαλεί παραμορφώσεις στην υπερκείμενη σεισμική ακολουθία και ελαφρά αναθόλωση στην επιφάνεια του πυθμένα (D).

10. ΠΟΡΕΙΑ 359-366 (Profile 359-366) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1707,9m

Βάθος πορείας: 15-36,5m

Γενική διεύθυνση πορείας: NNA

• Top: 359-360

Στην καταγραφή αυτήν παρουσιάζεται σε βάθος περίπου 10m μία ασθενής σεισμικοκονιασμένη περιοχή (ATZ) στην επιφάνεια της οποίας παρατηρείται έντονη ανάκλαση (ER). Επίσης, πλησίον της περιοχής αυτής παρατηρείται έντονη ανάκλαση και έξω απ' αυτήν, ενώ η έντονη ανάκλαση που διαπιστώνεται στη βάση μίας απόθεσης καναλιού, συνοδεύεται από ακουστική σκιά (AS). Έντονες ανακλάσεις παρατηρούνται και σε βάθος περίπου 25m από την επιφάνεια του πυθμένα.

• Top: 360-361

Στην τομογραφία αυτήν παρατηρούνται δύο καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα που προέρχονται από rockmarks. Κάτω από τα τοιχώματα και τη βάση ενός εκ των δύο rockmark, το οποίο η πορεία του σκάφους τέμνει περιφερειακά, παρατηρείται ζώνη ακουστικής διαφάνειας (AT), ενδεικτικής της διατάραξης των ιζημάτων λόγω της διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων. Το δεύτερο rockmark που παρατηρείται, έχει βάθος 9,1m, εύρος 89,5m και είναι συμμετρικό, όπως και το γειτονικό του. Χαρακτηρίζεται από το απότομο της κλίσεως των πρανών του, γεγονός που καθίσταται έκδηλο από τον ακουστικό χαρακτήρα που εμφανίζεται στη βάση του και καλείται μορφή συγκλίνου ή papillion. Το πραγματικό βάθος του κοιλάματος αυτού αποδίδεται από την κορυφή της υποκείμενης υπερβολικής ανάκλασης.

Στην καταγραφή αυτήν και σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια του πυθμένα παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις προερχόμενες από οριζόντες ιζημάτων πλήρεις σε αέριους υδρογονάνθρακες που μετακινούνται προς τα άνω. Η μετακίνηση αυτή

προκαλεί ελαφρά παραμόρφωση στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων, διαδικασία που προκαλεί ελαφρά αναθόλωση (D) στην επιφάνεια του πυθμένα.

• Top: 361-362

Σε βάθος 15m από την επιφάνεια του πυθμένα παρατηρείται μία ζώνη έντονης ανακλαστικότητας (ER) εξαιτίας της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα. Παρατηρείται επίσης, μία καταβύθιση στην επιφάνεια του πυθμένα βάθους 8,5m και εύρους 64,7m η οποία αποτελεί rockmark. Κάτω από τα τοιχώματα του rockmark αυτού παρατηρείται μία περιοχή ακουστικής διαφάνειας (AT), χαρακτηριστικό της διατάραξης της στρωμάτωσης των ιζημάτων από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων.

• Top: 362-363

Στην καταγραφή μεταξύ των top αυτών και σε όλο το μήκος της παρατηρείται έντονη ανάκλαση (ER) σε βάθος μεταξύ 15m και 20m από την επιφάνεια του πυθμένα. Έντονες ανακλάσεις δίνουν και οι υπερκείμενοι αυτής, ορίζοντες ιζημάτων. Οι καταβυθίσεις που παρατηρούνται στην επιφάνεια του πυθμένα οφείλονται πιθανότατα σε rockmarks τα οποία τέμνει η πορεία του σκάφους περιφερειακά.

Οι ορίζοντες των ιζημάτων εμφανίζονται παραμορφωμένοι πιθανότατα εξαιτίας ρηγμάτων (F) ή της ανόδου αερίων υδρογονανθράκων.

• Top: 363-364

Σε όλο το μήκος της τομογραφίας και σε βάθος περίπου 15m παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER). Τέτοιου είδους ανακλάσεις παρατηρούνται σε βάθος περίπου 7m, εκ των οποίων η μία ακολουθείται από ακουστική σκιά (AS).

Οι καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα είναι rockmark βάθους από 3,3m έως 8,8m, εύρους από 50,9m έως 69,9m, τα οποία είναι συμμετρικά. Κάτω από τη βάση τους διαπιστώνονται υπερβολικές ανακλάσεις οι οποίες οφείλονται είτε σε μορφές σύγκλινου, είτε στην ανοδική κίνηση των αερίων υδρογονανθράκων, ενώ κάτω από τα τοιχώματά τους παρατηρούνται περιοχές ακουστικά διαφανείς (AT) ή ασθενούς ανακλαστικότητας εξαιτίας της διατάραξης που έχουν υποστεί τα ιζήματα από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων.

- Top: 364-365

Έντονες ανακλάσεις παρουσιάζονται σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια του πυθμένα, όπως και σεισμοκονιασμένες περιοχές (ATZ) των οποίων η οροφή σηματοδοτείται από τις έντονες ανακλάσεις (ER).

Στην τομογραφία αυτή διαπιστώνεται ένα rockmark το οποίο έχει δημιουργηθεί σε ρήγμα, γεγονός που διαπιστώνεται από την έντονη μετατόπιση της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας και του άλματος που υφίσταται μεταξύ των οριζόντων. Κάτω από τη βάση και τα τοιχώματα του rockmark διαπιστώνονται περιοχές ακουστικά διαφανείς (AT), ενώ σε κάποιο βάθος από τον πυθμένα του παρουσιάζεται μία 'gas chimney' (GC). Η παρουσία της δηλώνει την ανοδική κίνηση αερίων υδρογονανθράκων οι οποίοι διαφεύγουν ενεργά προς την υδάτινη στήλη. Αυτό διαπιστώνεται και από την παρουσία μίας πλούμας αερίων (GPI) στην υδάτινη στήλη να υπέρκειται του κρατήρα.

- Top: 365-366

Σε όλο το μήκος της καταγραφής και σε βάθος περίπου 7m διαπιστώνονται έντονες ανακλάσεις (ER) οι οποίες αποτελούν την οροφή σεισμοκονιασμένης περιοχής (ATZ) που εκτείνεται και αυτή σε όλο το μήκος της καταγραφής.

11. ΠΟΡΕΙΑ 409-414 (Profile 409-414) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1766,13m

Βάθος πορείας: 18,9-41,1m

Γενική διεύθυνση πορείας: ANA

- Top: 409-410

Στην τομογραφία αυτή διαπιστώνονται έντονες ανακλάσεις (ER) από τους ορίζοντες των ιζημάτων σε βάθος περίπου 15m από την επιφάνεια του πυθμένα σε ένα τμήμα της καταγραφής, ενώ στο υπόλοιπο παρατηρείται σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) της οποίας η οροφή καθορίζεται από έντονη ανάκλαση. Παρατηρούνται επίσης δύο καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα που αντιστοιχούν σε rockmarks. Το ένα rockmark τέμνεται περιφερειακά από την πορεία

του σκάφους, ενώ το άλλο έχει βάθος 10,4m, εύρος 126,9m και είναι συμμετρικό. Κάτω από τη βάση και τα τοιχώματά του παρατηρούνται περιοχές ελεύθερες σεισμικών ανακλάσεων. Τα πρανή του κρατήρα πλήττονται από κατολισθητικά φαινόμενα καθώς παρατηρούνται περιστροφικές κατολισθήσεις (RB) στη ΔΒΔ πλευρά του και ένα αποκολληθέν τέμαχος (DB) προς την ΑΝΑ πλευρά του. Στον πυθμένα του κρατήρα διαπιστώνονται αποθέσεις από ροές μαζών (MF), ενώ κάτω απ' αυτόν η καταγραφή εμφανίζει περιορισμένου εύρους έντονες ανακλάσεις.

• Top: 410-411

Σε όλο το μήκος της καταγραφής και σε βάθος μεταξύ 10-25m παρατηρείται σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) της οποίας η οροφή οριοθετείται από έντονη ανάκλαση (ER). Οι καταβυθίσεις που εντοπίζονται οφείλονται σε rockmarks των οποίων τα τοιχώματα συνοδεύονται υποεπιφανειακά από ακουστικά διαφανείς περιοχές. Το ένα rockmark φαίνεται ότι τέμνεται περιφερειακά από την πορεία του σκάφους. Από τα δύο γειτονικά του, το ένα έχει βάθος 2,3m, εύρος 46,45m και είναι συμμετρικό, ενώ το άλλο έχει βάθος 3,9m, εύρος 85,2m και είναι ασύμμετρο.

• Top: 411-412

Στην καταγραφή αυτή και σε όλο το μήκος παρουσιάζεται σε βάθος περίπου 10m σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) της οποίας την οροφή αποτελούν έντονες ανακλάσεις (ER). Μια περιορισμένου εύρους μετακίνηση προς τα άνω, αερίων υδρογονανθράκων η παρουσία των οποίων σηματοδοτείται από έντονες ανακλάσεις που προέρχονται από αντίστοιχους οριζόντες ιζημάτων, προκαλεί παραμόρφωση στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων προκαλώντας αναθόλωση του πυθμένα (D).

• Top: 412-413

Στην τομογραφία αυτήν παρατηρούνται δύο rockmarks βάθους 11,4m και 7,2m, εύρους 166,4m και 82,3m αντίστοιχα, τα οποία είναι συμμετρικά. Το μεγαλύτερο εκ των δύο εμφανίζει κατολισθητικά φαινόμενα προς τη ΔΒΔ πλευρά του, ενώ διακρίνεται ένα τέμαχος που έχει αποκολληθεί (DB) και ολισθήσει στον πυθμένα του κρατήρα. Η βάση του rockmark αυτού φτάνει στην σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) που παρατηρείται στην καταγραφή, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο με το

γειτονικό του. Η σεισμοκονιασμένη επιφάνεια καταργείται κάτω από τις έντονες ανακλάσεις (ER) που εντοπίζονται σε βάθος περίπου 10m από την επιφάνεια του πυθμένα. Επίσης θα μπορούσε να αναφερθεί η ύπαρξη ενός ενεργού ρήγματος (F) προς την ANA πλευρά της πορείας του σκάφους, το οποίο ευθύνεται και για την έντονη μετατόπιση της σεισμοκονιασμένης επιφάνειας σε βάθος περίπου 5m από την επιφάνεια του πυθμένα.

- Top: 413-414

Σε όλο το μήκος της τομογραφίας παρατηρείται σε βάθος μικρότερο των 7,5m σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) με έντονες ανακλάσεις (ER) εντός αυτής, ενώ έκδηλη καθίσταται η διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη σε μαζική κλίμακα. Η καταγραφή κάτω από αυτές τις μεγάλου εύρους πλούμες αερίων (GPI) εμφανίζει ακουστική σκιά (AS), ένδειξη της μεγάλης πυκνότητας και όγκου διαφυγής.

12. ΠΟΡΕΙΑ 416-423 (Profile 416-423) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1766,13m

Βάθος πορείας: 23,8-39,5m

Γενική διεύθυνση πορείας: ΔΒΔ

- Top: 416-418

Στην τομογραφία μεταξύ των top: 415-417 η σεισμοκονιασμένη επιφάνεια (ATZ) βρίσκεται σχεδόν σε επαφή με την επιφάνεια του πυθμένα φέροντας εντός της, έντονες ανακλάσεις (ER) από τους -πλήρεις σε αέριους υδρογονάνθρακες-ορίζοντες των ιζημάτων.

Στην καταγραφή μεταξύ των top: 417-418 διαπιστώνεται ένα ενεργό ρήγμα (F), το οποίο μετατοπίζει σημαντικά την σεισμοκονιασμένη περιοχή, ενώ προς την ΑΒΑ πλευρά του ρήγματος αυτού εντοπίζονται άλλα δύο ρήγματα ανενεργά.

Προς τη ΔΒΔ πλευρά του ρήγματος η σεισμοκονιασμένη περιοχή διαπιστώνεται σε βάθος 10-15m και έχει εύρος περί τα 20-25m. Επίσης υπάρχει και ένα rockmark βάθους 7,5m, το οποίο είναι ασύμμετρο. Κάτω από τη βάση και τα

τοιχώματά του rockmark, διαπιστώνεται ζώνη ακουστικής διαφάνειας (AT) ενδεικτικής της διατάραξης των υποκείμενων ιζημάτων εξαιτίας της διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων.

• Top: 418-419

Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) εξακολουθεί να υφίσταται κλιμακούμενη σταδιακά από τα 15m έως τα 10m περίπου, μεταξύ των top: 418-419. Η οροφή της καθορίζεται από έντονες ανακλάσεις. Παρατηρείται rockmark βάρους 5,9m, εύρους 89,9m, ασύμμετρο, κάτω από το οποίο η στρωμάτωση των ιζημάτων είναι κατεστραμμένη. Προς τη ΔΒΔ πλευρά του παρατηρούνται καταβυθίσεις στην επιφάνεια του πυθμένα οι οποίες πιθανότατα να οφείλονται σε rockmarks τα οποία τέμνονται από την πορεία του σκάφους περιφερειακά. Η μία απ' αυτές τις καταβυθίσεις είναι rockmark αναμφισβήτητα, εξαιτίας της διατάραξης που υφίστανται τα ιζήματα κάτω απ' αυτήν.

• Top: 419-420

Η καταγραφή μεταξύ των top: 419-420 είναι σε όλο το μήκος της και σε βάθος 15m περίπου σεισμοκονιασμένη (ATZ).

Το rockmark που παρατηρείται, έχει βάθος 6,2m, εύρος 87,4m και είναι συμμετρικό. Προς τη ΔΒΔ πλευρά του rockmark παρατηρούνται καταβυθίσεις του πυθμένα οι οποίες αποτελούν rockmarks τα οποία η πορεία του σκάφους τέμνει περιφερειακά. Επίσης η προς τα άνω μετακίνηση των αερίων υδρογονανθράκων προκαλεί ελαφρά παραμόρφωση στα υπερκείμενα στρώματα των ιζημάτων και ελαφρά αναθόλωση του πυθμένα (D), ενώ έχουν προκληθεί από αυτήν την τάση δύο ρήγματα (F) τα οποία όμως δεν είναι ενεργά.

• Top: 420-421

Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) καλύπτει όλη την επιφάνεια μεταξύ των top: 420-421 από τα 10m έως και τα 20m περίπου κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα. Η οροφή αυτής της περιοχής οριοθετείται από την ύπαρξη έντονων ανακλάσεων (ER). Από την καταγραφή αυτή παρατηρούνται δύο ζώνες έντονων ανακλάσεων οι οποίες βρίσκονται σε βάθος μεταξύ 10-15m περίπου από την

επιφάνεια του πυθμένα και χαρακτηρίζουν την προς τα άνω μετακίνηση των αερίων υδρογονανθράκων δια μέσω ενδεχομένως ζωνών αδυναμίας των ιζημάτων.

Η καταβύθιση που εντοπίζεται είναι rockmark με βάθος 2,6m, εύρος 60,6m. Είναι συμμετρικό και κάτω από τη βάση και τα τοιχώματά του διαπιστώνεται στηλοειδής διατάραξη (CD). Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) οριοθετείται από έντονες ανακλάσεις (ER) και παρουσιάζει μία έντονη κλιμάκωση μέχρι τα 7m περίπου από την επιφάνεια του πυθμένα και κάτω από τη ΔΒΔ πλευρά του rockmark.

• Top: 421-422

Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) βρίσκεται σε βάθος περίπου 10m από την επιφάνεια του πυθμένα.

Το rockmark που παρατηρείται, έχει βάθος 3,9m, εύρος 113,2m, είναι συμμετρικό, ενώ διαπιστώνεται περιστροφική κατολίσθηση στη ΔΒΔ πλευρά του. Επίσης κάτω από τα τοιχώματα και τη βάση του παρατηρείται ζώνη ακουστικής διαφάνειας λόγω της διατάραξης των ιζημάτων από τη διαφυγή αερίων υδρογονανθράκων. Επίσης, η καταγραφή παύει να είναι σεισμοκονιασμένη κάτω από τη βάση του rockmark και αποκαλύπτεται η στρωμάτωση των ιζημάτων που φιλοξενούσαν τους αέριους υδρογονάνθρακες, πιθανώς εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτοί έχουν διαφύγει. Η οροφή της εν λόγω σεισμοκονιασμένης περιοχής, δεν είναι σαφής και δεν οριοθετείται από έντονες ανακλάσεις. Αντίθετα, μέσα σε αυτήν και σε βάθος περίπου 20m από την επιφάνεια του πυθμένα παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις (ER).

Ακόμη, παρατηρείται μία σεισμοκονιασμένη περιοχή σε βάθος περίπου 30m από την επιφάνεια του πυθμένα της οποίας η οροφή οριοθετείται από έντονες ανακλάσεις και είναι πιο έντονη από την προαναφερθείσα σεισμοκονιασμένη περιοχή και προς το top: 421 βαίνει προς μικρότερα βάθη από την επιφάνεια του πυθμένα.

• Top: 422-423

Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) συνεχίζει να βρίσκεται σε βάθος περίπου 10m κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα. Η οροφή της δεν οριοθετείται σαφώς με έντονη ανάκλαση (ER) σε όλο το μήκος της τομογραφίας μεταξύ των top: 422-423,

λόγω της προς τα άνω μετανάστευσης των αερίων υδρογονανθράκων με τη μορφή μικρών συγκεντρώσεων ή πλουμών (GPI).

Η παρουσία περιορισμένων έντονων ανακλάσεων και η ελαφρά παραμόρφωση των σεισμικών ανακλάσεων, σε συνδυασμό με την καταβύθιση της επιφάνειας του πυθμένα, δηλώνει την παρουσία ενός κρατήρα rockmark «εν τη γενέσει» του.

• Top: 423-424

Η σεισμοκονιασμένη περιοχή (ATZ) διαπιστώνεται σε βάθος περίπου 10m και το ανώτερο όριό της αποτελεί μία έντονη ανάκλαση (ER). Η επιφάνεια αυτή υπόκειται περιορισμένων έντονων ανακλάσεων οι οποίες εντοπίζονται στην υποκείμενη επιφανειακή σεισμική ακολουθία. Η παρουσία έντονων ανακλάσεων και η ελαφρά παραμόρφωση της στρωμάτωσης των ιζημάτων σε μία στηλοειδή ζώνη, δηλώνει την προς τα άνω μετανάστευση των αερίων υδρογονανθράκων.

13. ΠΟΡΕΙΑ 528-531 (Profile 528-531) (Βλ. Άτλαντα, See Atlas)

Μήκος πορείας: 1766,1m

Βάθος πορείας:

Γενική διεύθυνση πορείας: Δ

Η πορεία αυτή έχει αποτυπωθεί από τομογράφο υποδομής πυθμένα Sparker.

Η καταγραφή αυτή φέρει έντονα χαρακτηριστικά θορύβου, ωστόσο είναι εφικτό να γίνουν ορισμένες παρατηρήσεις πάνω σ' αυτήν.

Το φαινόμενο που παρατηρείται στην καταγραφή είναι αυτό της αντιστροφής φάσης του ηχητικού παλμού.

Μεταξύ των top: 528-529 εντοπίζεται ένα rockmark το οποίο έχει δημιουργηθεί πάνω σε ρήγμα (F). Τα rockmarks που παρατηρούνται στην τομογραφία είναι όλα συμμετρικά εκτός από το rockmark που βρίσκεται μεταξύ των top: 530-531 το οποίο είναι ασύμμετρο και η μία του πλευρά υφίσταται πιθανότατα την δράση κατολισθητικών φαινομένων.

B. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ ROCKMARKS (SEDIMENTOLOGY OF THE ROCKMARK FIELD)

1. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΥΡΗΝΩΝ (Core description)

1.1 Εισαγωγή (Introduction)

Οι πυρήνες που μελετήθηκαν, συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια δειγματοληψίας που διεξήχθη μεταξύ 4-5/4/1997 στο πεδίο των rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου (Εικ. 59). Έπειτα από τη συλλογή τους, μεταφέρθηκαν στο Ε.Θ.Α.ΓΕ.Φ.Ω. όπου ανοίχτηκαν, χαράσσοντας αντιδιαμετρικά τον πλαστικό σωλήνα που τους περιέβαλε κατά τον διαμήκη άξονά τους. Το ίζημα τμήθηκε και μετακινήθηκε με σπαθίδα. Στην πορεία ακολούθησε φωτογράφιση και μακροσκοπική περιγραφή τους.

Οι περιγραφές των πυρήνων έχουν ως ακολούθως:

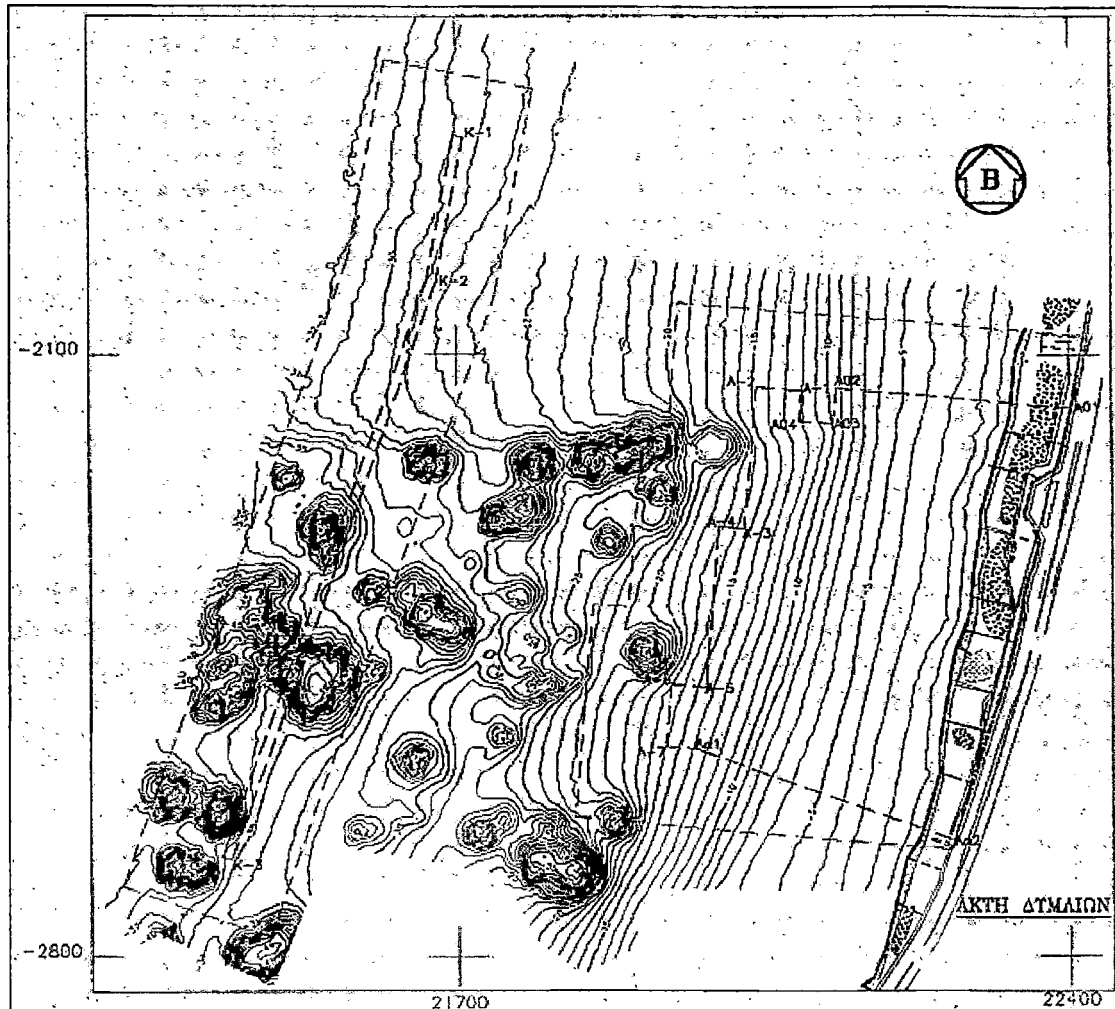
1.2 Μακροσκοπική περιγραφή πυρήνων (Core description)

1.2.1 Πυρήνας Π14 (Core Π14) (Εικ. 60 a, b, c, d)

Ο πυρήνας Π14 αποτελείται στα πρώτα 15cm από καστανόχρωμο πηλό το μεγαλύτερο μέρος του οποίου έχει έντονα σκοτεινή απόχρωση οργανικής προέλευσης. Από τα 15cm μέχρι και τα 45cm αποτελείται από καστανόχρωμο πηλό ο οποίος όμως περιέχει σε μικρότερο ποσοστό σκοτεινή απόχρωση, η οποία υπάρχει σε φακούς. Διαφαίνονται επίσης και ασθενείς χρωματικές επαφές. Μεταξύ 45cm και 48cm παρατηρείται πηλός καφέ ανοικτού χρώματος σε σχέση με τον προηγούμενο και χωρίς την παρουσία οργανικού υλικού. Ακόμα, μεταξύ 48cm και 51cm διαπιστώνονται τρεις οριζόντες με διαφορετική απόχρωση καφέ χρώματος.

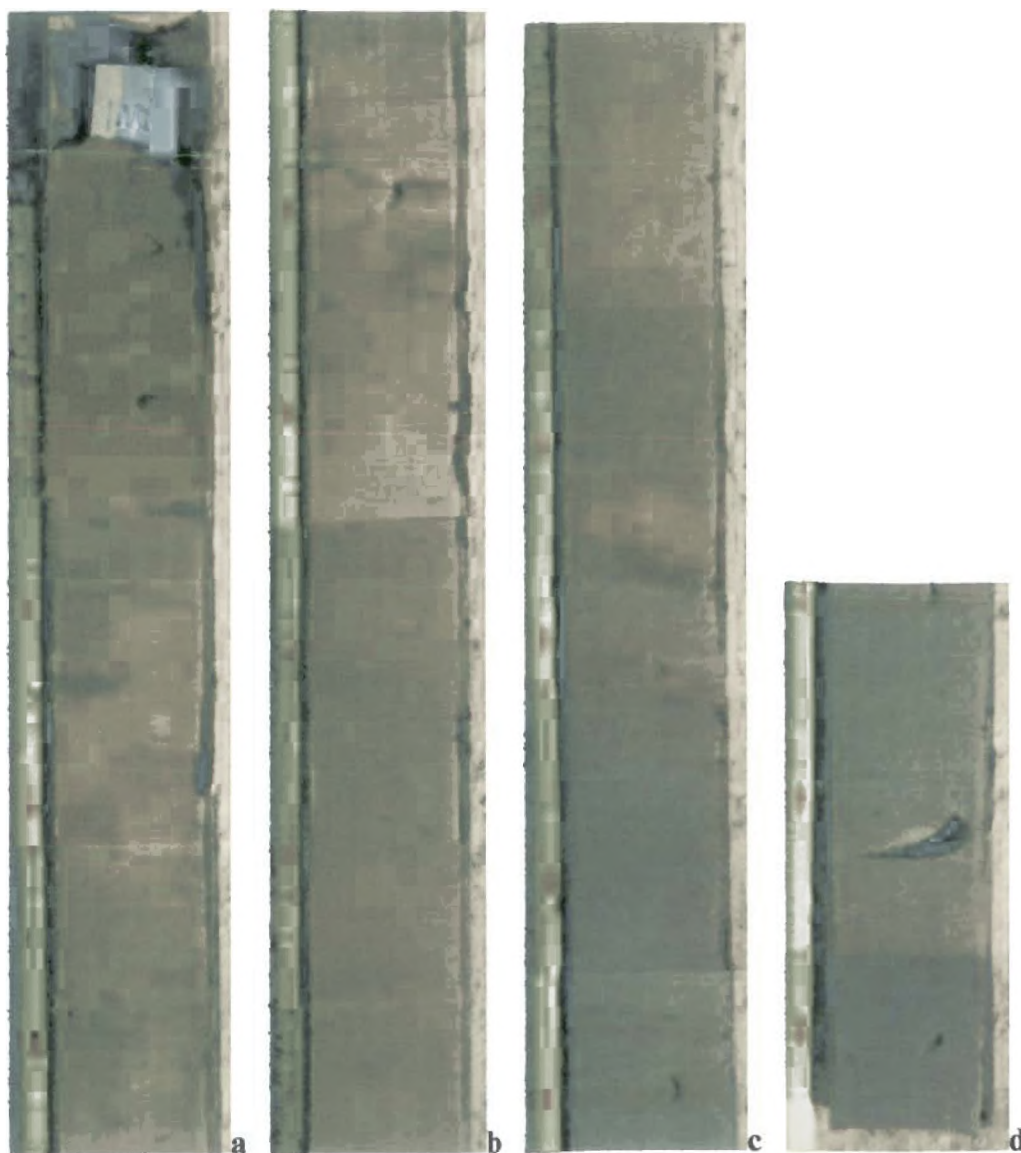
Επιπλέον, από τα 52cm έως και τα 54cm του πυρήνα, παρατηρείται ιλύς καφέ χρώματος αποτελούμενη από διάφορους φακούς ή περιοχές σκούρου καφέ χρώματος και γκριζας απόχρωσης οργανικούς κόκκους. Εν συνεχεία, από τα

55cm έως τα 110cm συνίσταται από καστανόχρωμη ιλύ, πλούσια σε οργανικά υπολείμματα και θραύσματα απολιθωμάτων.



Εικ. 59: Βυθομετρικός χάρτης της περιοχής δειγματοληψίας (Κλίμακα 1:7000).
Fig. 59: Bathymetric map of the survey area (Scale 1:7000).

Μεταξύ 110cm και 117cm παρατηρείται ένας λαμπερός καστανόχρωμος ορίζοντας αμμούχου πηλού και ένας σκούρου χρώματος φακός ή διαταραγμένος ορίζοντας πλούσιος σε άμμο και οργανικά υπολείμματα. Μεσολαβεί ένας ορίζοντας καστανόχρωμης ιλύος πλούσιος σε οργανικά υπολείμματα και θραύσματα απολιθωμάτων μεταξύ 117-120cm και ακολουθεί ένας ορίζοντας αμμούχου πηλού μεταξύ 120-123cm, ο οποίος περιέχει έναν φακό ή διαταραγμένο ορίζοντα, επίσης πλούσιο σε άμμο και οργανικά υπολείμματα.



Εικ. 60 a, b, c, d: Πυρήνας Π14
Fig. 60 a, b, c, d: Core Π14

Ο υπόλοιπος πυρήνας, από τα 123cm μέχρι τα 164cm, αποτελείται από γκρίζα ιλύ, στο ανώτερο τμήμα της οποίας υπάρχουν φακοί και περιοχές με καφέ απόχρωση. Μεταξύ των 135cm και 142cm διαπιστώνονται στρώσεις ιλύος καφέ χρώματος με φακούς άμμου.

1.2.2 Πυρήνας Π24 (Core Π24) (Εικ. 61 a, b, c)

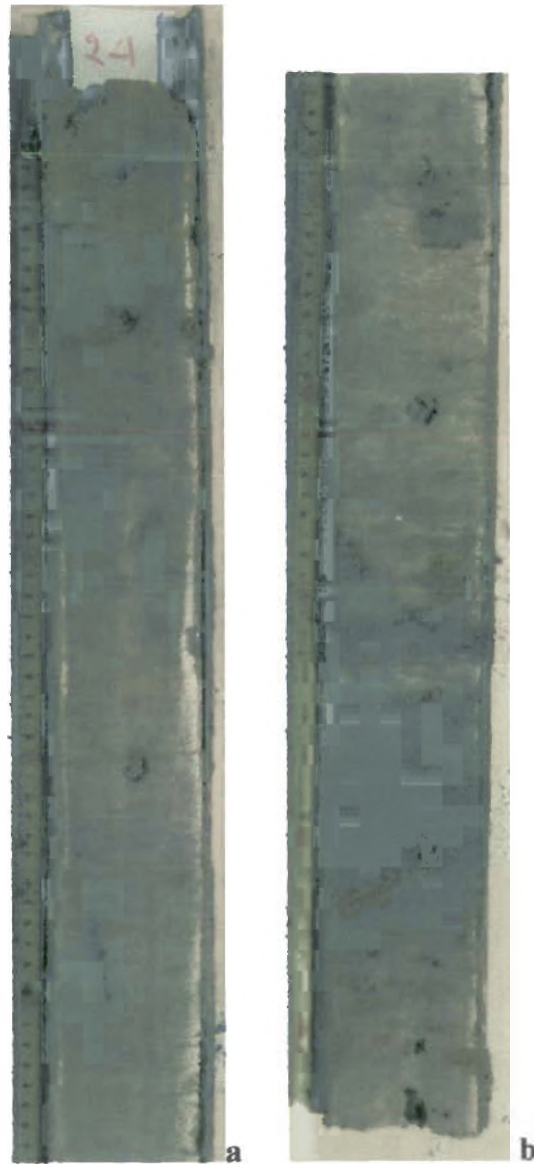
Ο πυρήνας Π24 αποτελείται στα πρώτα 22cm από φαιοπράσινη αμμούχο ιλύ, αμμούχο πηλό και πηλό. Στα ανώτερα 4cm κυριαρχεί ένας έντονα διαταραγμένος ορίζοντας αμμούχου ιλύος καφέ χρώματος, με περιοχές εσωτερικά αυτού αποτελούμενες από φαιοπράσινη ιλύ, πλούσια σε μαύρους φακούς και οργανικά υπολείμματα. Ο υπόλοιπος πυρήνας μέχρι τα 22cm περίπου αποτελείται από μη ομοιόμορφα ιζηματογένεση φαιοπράσινου αμμούχου πηλού και πηλού.

Μεταξύ των 22cm και των 45cm παρατηρείται ανομοιόμορφη ιζηματογένεση που έχει δύο ασαφείς ορίζοντες στη βάση και την οροφή του αμμούχου πηλού με καφέ απόχρωση. Επίσης, παρατηρείται σύμπλεγμα μικρών φακών φαιοπράσινης ανοικτής, σκούρας και σκουροπράσινης οργανικής αμμούχου ιλύος. Ακόμα παρατηρούνται φακοί και περιοχές πιο πλούσιες σε άμμο, με χαρακτηριστική την παρουσία οργανικών και φυτικών υπολειμμάτων.

Ο υπόλοιπος πυρήνας από τα 45cm και προς τη βάση του, αποτελείται από ακολουθία οριζόντων ανάλογη με αυτές που απαντώνται στις σαπροπηλιτικές ακολουθίες του Αιγαίου (σκουρόχρωμο λεπτόκοκκο ίζημα με αυξημένο ποσοστό οργανικού άνθρακα). Οι ορίζοντες αυτοί εντοπίζονται ο πρώτος μεταξύ 45-65cm, και οι επόμενοι μεταξύ 65-70cm, 70-76cm, 76-85cm και 85-93cm.

Ο πλέον πλούσιος σε οργανικό υλικό ορίζοντας της ακολουθίας είναι αυτός που βρίσκεται μεταξύ 76-85cm, το χρώμα του οποίου είναι πιο σκούρο και πλησιάζει το μαύρο. Το γενικότερο χρώμα της ακολουθίας είναι τεφρό- τεφρό πράσινο και παρατηρείται η τάση οι ορίζοντες να γίνονται όλο και πιο σκούροι από τα 45cm προς τα 85cm. Χαρακτηριστική είναι η έντονη παρουσία φακών.

Οι ορίζοντες αποτελούνται από συμπλέγματα φακών είτε πιο σκούρας, είτε πιο ανοικτόχρωμης απόχρωσης, όπου η αντίθεση γίνεται εντονότερη μεταξύ των οριζόντων από τα 45cm έως τα 76cm, ενώ στον τελευταίο ορίζοντα (85-93cm) δεν παρατηρούνται φακοί. Το υλικό αποτελείται από αμμούχο ιλύ με οργανικούς κόκκους και μικρούς φακούς οργανικού υπολείμματος, σκούρου χρώματος.



Εικ. 61 a, b: Πυρήνας Π24.

Fig. 61 a, b: Core Π24

Χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη φακών και διακοπτόμενων οριζόντων φυτικών υπολειμμάτων καφέ χρώματος, οι οποίοι δεν έχουν αναχθεί πλήρως, έχουν πλάγια διεύθυνση σε σχέση με τη στρώση. Ο ορίζοντας που βρίσκεται μεταξύ των 70-76cm, έχει σκούρα απόχρωση με την παρεμβολή ενός υποορίζοντα πλούσιου σε ανοιχτόχρωμους φακούς.

Το ανώτερο τμήμα του ορίζοντα που βρίσκεται μεταξύ των 76-85cm, είναι πιο σκούρο και αυξανόμενου του βάθους γίνεται σταδιακά πιο ανοιχτόχρωμο. Το κατώτερο τμήμα του πυρήνα, μεταξύ των 85cm και 93cm αποτελείται από τεφρή ιλύ- αμμύχο ιλύ η οποία περιέχει λεπτούς σκούρους επιμήκεις φακούς.

1.2.3 Πυρήνας Π26 (Core Π26) (Εικ. 62 a, b, c)

Ο πυρήνας Π26 αποτελείται από καφέ χρώματος ιλύ στα πρώτα 47cm. Η απόχρωση αυτή μειώνεται με την αύξηση του βάθους και μέχρι τα 32cm περίπου. Το ανώτερο τμήμα του πυρήνα και ιδιαίτερα μέχρι τα 15-16cm έχει σκουρόχρωμη απόχρωση η οποία οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην παρουσία οργανικού υλικού.

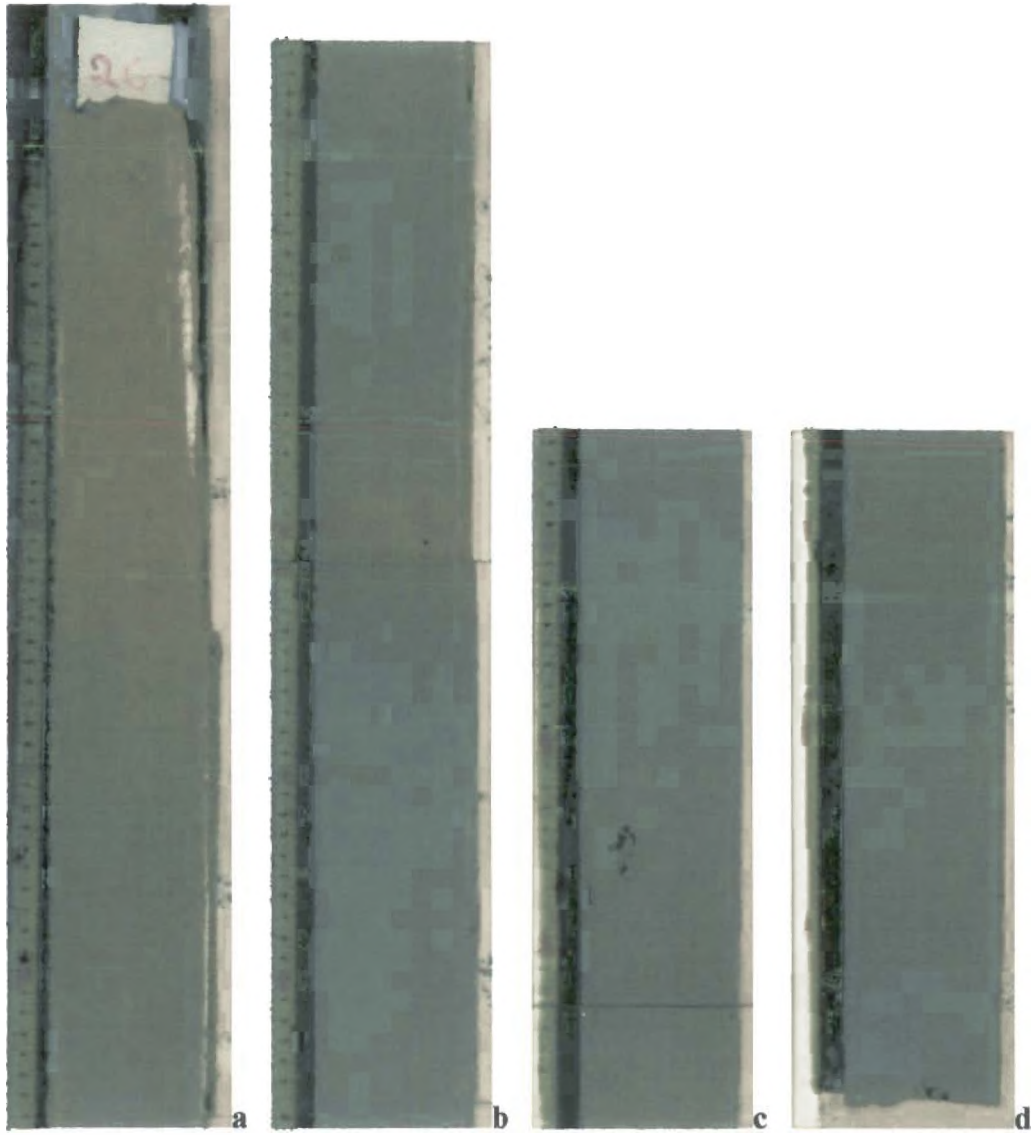
Από το βάθος των 47cm και μέχρι τα 67,5cm παρατηρείται γκρίζα ιλύς με καφέ χρώματος φακούς και περιοχές στο κατώτερο τμήμα. Επίσης παρατηρούνται και σκούροι φακοί.

Μεταξύ των 67,5cm και 75cm συναντάται καστανή ιλύς με μικρούς φακούς γκρίζας ιλύος, ιδιαίτερα στο κατώτερο τμήμα της.

Από τα 75cm μέχρι και τα 120cm, ο πυρήνας αποτελείται από γκρίζα ιλύ με μικρούς σκοτεινόχρωμους φακούς από οργανικό υλικό πιθανότατα και κάποιους φακούς καφέ χρώματος, ιδιαίτερα στο ανώτερο τμήμα πλησίον της επαφής με το προηγούμενο στρώμα.

Μεταξύ των 120 και 140cm επικρατεί γκρίζα καστανόχρωμη ιλύς με αρκετά μεγάλο ποσοστό οργανικού υπολείμματος. Στο κέντρο διακρίνεται ένας ορίζοντας καφέ χρώματος με ασαφή μεταβατικά όρια στην απόχρωση, η οποία αυξάνεται εκατέρωθεν αυτού του ορίζοντα.

Ο υπόλοιπος πυρήνας από τα 140cm και άνω αποτελείται από γκρίζα ιλύ με μικρούς, σκούρους ή καφέ χρώματος και επιμήκους σχήματος φακούς.



Εικ. 62 α, β, γ, δ: Πυρήνας Π26
Fig. 62 a, b, c, d: Core Π26

2. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ (Sedimentology)

2.1 Εισαγωγή (Introduction)

Για την περιγραφή της κατανομής του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων προτιμήθηκε η μέθοδος των ροπών έναντι της γραφικής μεθόδου.

Κατά τη γραφική μέθοδο απαιτείται ο σχεδιασμός αθροιστικής καμπύλης μεταξύ του ποσοστού % κατά βάρος σε συνάρτηση με την τάξη μεγέθους των κόκκων (ϕ). Η μέθοδος των ροπών είναι μία μέθοδος αμιγώς υπολογιστική, κατά την οποία ο υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων καθίσταται ικανός με τη χρήση ολόκληρης της κατανομής του μεγέθους των κόκκων και διαφέρει από τη γραφική μέθοδο, στην οποία ο υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων βασίζεται σε ορισμένα επιλεγμένα σημεία της. Αυτή η διαφορά κάνει την μέθοδο των ροπών να υπερτερεί έναντι της γραφικής μεθόδου.

Ο Παπαθεοδώρου (1990), έπειτα από συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που υπολογίστηκαν παράλληλα και με τις δύο μεθόδους για τις κοκκομετρικές αναλύσεις μεγάλου αριθμού δειγμάτων, αναφέρει ότι:

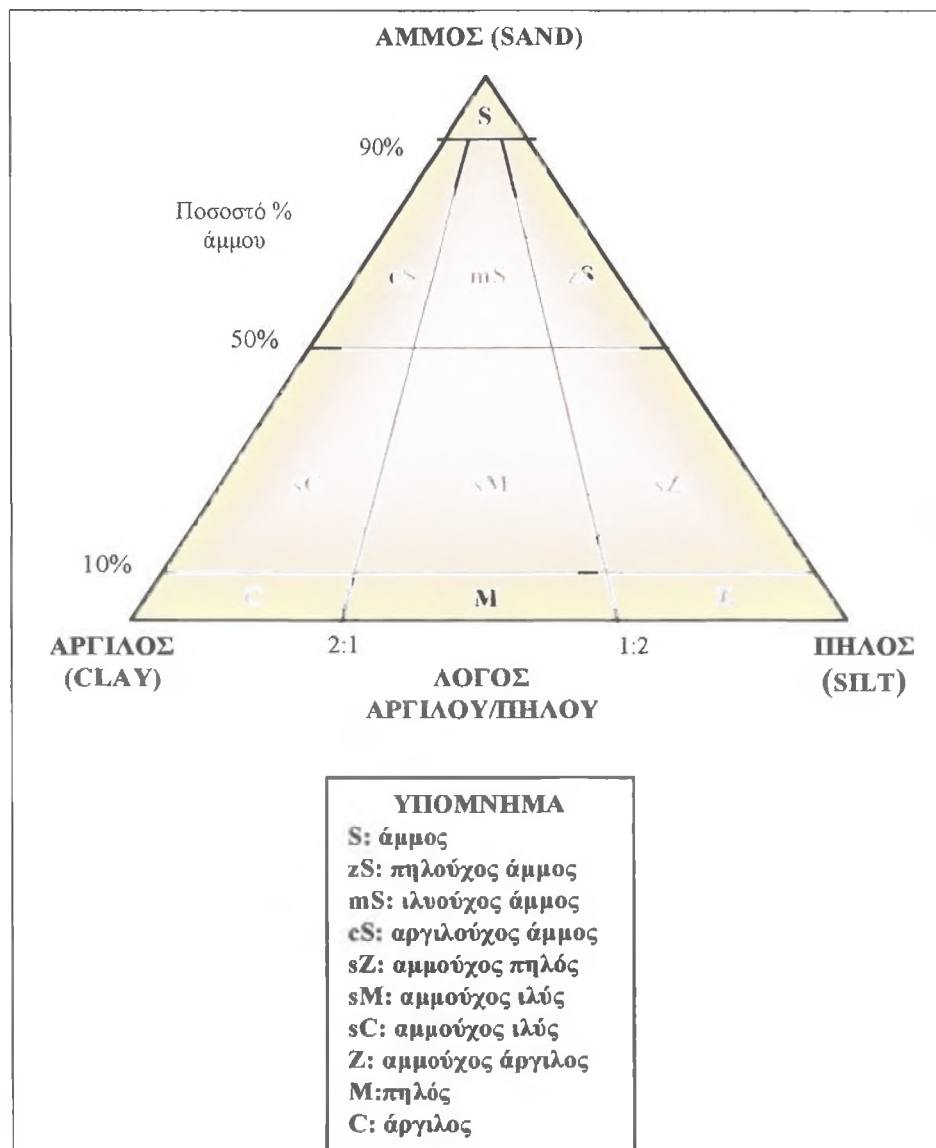
- Η συσχέτιση μεταξύ του μέσου μεγέθους που προκύπτει από τη γραφική μέθοδο, έναντι του μέσου μεγέθους που προκύπτει από τη μέθοδο των ροπών είναι εξαιρετική ($R=99\%$).
- Εξίσου πολύ καλή συσχέτιση ($R=96\%$) παρουσιάζεται μεταξύ των τιμών της γραφικής απόκλισης και της σταθερής απόκλισης που προκύπτει από τη μέθοδο των ροπών.
- Ικανοποιητική συσχέτιση υπάρχει μεταξύ των τιμών της γραφικής λοξότητας και των τιμών της λοξότητας που προκύπτει με τη μέθοδο των ροπών ($R=38\%$).
- Πολύ φτωχή συσχέτιση χαρακτηρίζει τις τιμές της κύρτωσης που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους.

Και καταλήγει ότι οι τρεις πρώτες στατιστικές παράμετροι μπορούν να υπολογίζονται με μία από τις δύο μεθόδους χωρίς σημαντικές διαφορές στις τιμές τους, ενώ η γραφική κύρτωση και η κύρτωση που προκύπτει από τη μέθοδο των ροπών, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως δύο διαφορετικές στατιστικές

παράμετροι που δίνουν διαφορετικού είδους πληροφορίες σχετικές με τους μηχανισμούς που έδρασαν για τον σχηματισμό του ιζήματος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμησή των ιζημάτων θα χρησιμοποιείται η κλίμακα ταξινόμησης κατά Folk και Ward (1957), για τις τιμές της σταθερής απόκλισης και της λοξότητας.

Για τις κοκκομετρικές αναλύσεις των πυρήνων της περιοχής έρευνας, ακολουθήθηκε η μέθοδος ανάλυσης κατά Folk (1974) και για τον λιθολογικό χαρακτηρισμό των ιζημάτων, αυτός που χρησιμοποιείται από τον Folk (1974) (Εικ. 63).



Εικ. 63: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1974).

Fig. 63: Triangle diagram of grain size classification according to Folk (1974).

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και τρεις επιπλέον πυρήνες αναφοράς από την πελάγια περιοχή του Πατραϊκού Κόλπου μεταξύ των ακρωτηρίων Χαλκίδος (Κρυονέρι) και Αγίας (Αγυιά Πατρών), που βρίσκεται εκτός του πεδίου των rockmarks (Εικ. 64). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις και οι πυρήνες αναφοράς, παρουσιάζονται στους Πίνακες 13 και 14.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα της κοκκομετρικής και στατιστικής ανάλυσης των πυρήνων Π14, Π24, Π26.

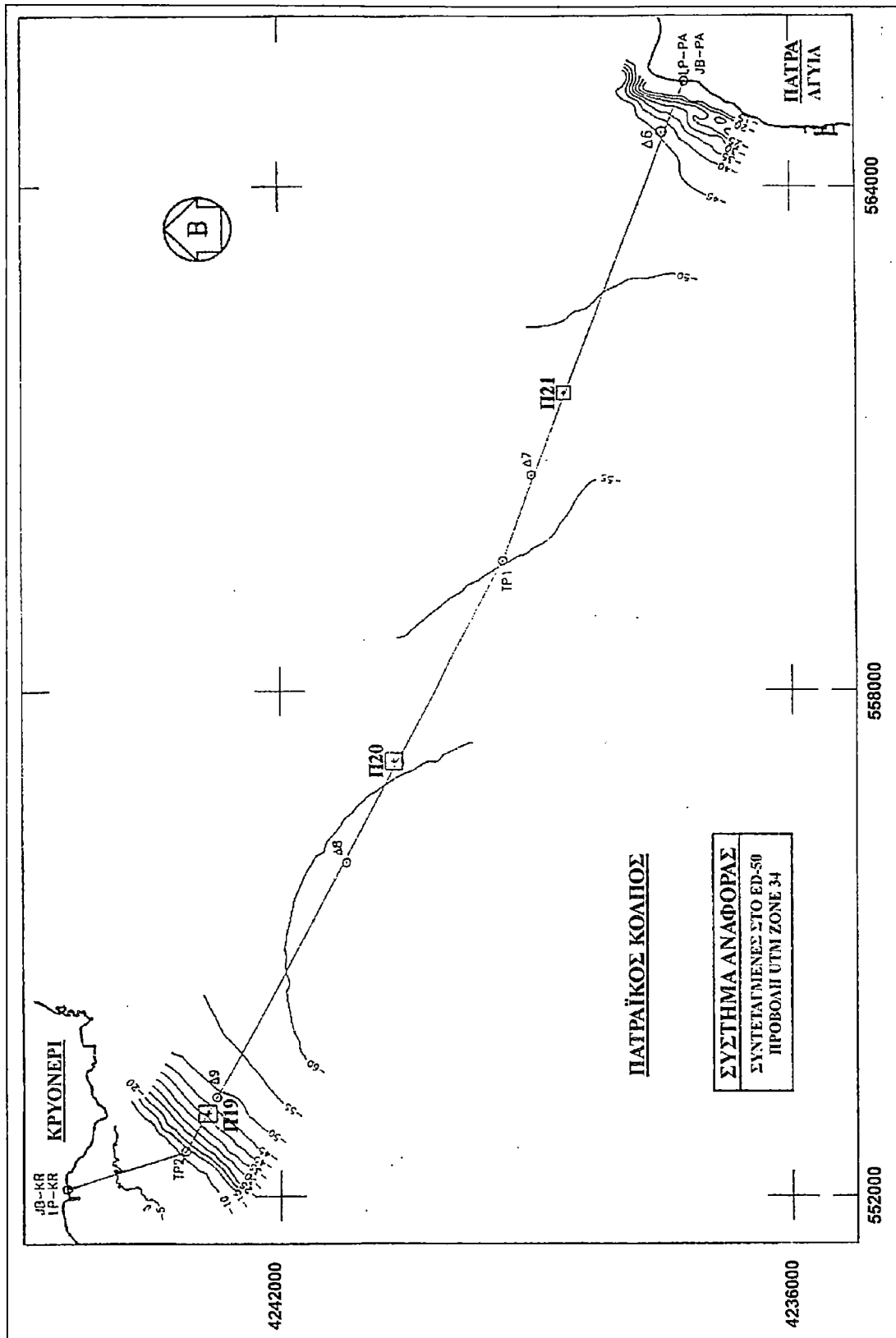
Table 13: Results obtained from the grain size and statistical analysis of the cores Π14, Π24, Π26.

Δείγμα	Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Αργίλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
14/1	0-3	1,9	90,4	7,8	6,3	1,3	0,5	4,6	Z
14/2	10-13	1,0	86,6	12,4	6,9	1,3	-0,3	3,5	Z
14/3	26-29	0,8	89,3	9,9	7,0	1,2	-0,5	4,4	Z
14/4	37-40	2,8	70,7	26,5	7,1	1,3	-0,8	4,8	Z
14/5	48-51	0,4	86,8	12,8	6,8	1,1	0,1	3,6	Z
14/6	52-54	0,6	62,0	37,4	7,2	1,4	-0,2	2,7	M
14/7	67-70	1,5	56,3	42,2	7,3	1,5	-0,7	3,2	M
14/8	82-85	1,3	92,5	6,2	7,0	1,1	-1,1	5,6	M
14/9	97-100	5,0	59,5	35,5	7,0	1,6	-0,8	3,3	M
14/10	112-114	10,0	69,9	20,1	6,1	1,8	0,5	2,5	sZ
14/11	115-116	27,3	59,7	13,0	5,3	1,9	1,0	3,3	sZ
14/12	117-120	9,7	60,9	29,4	6,5	1,9	-0,6	3,1	M
14/13	120-123	10,7	83,5	5,9	6,0	1,6	-0,2	2,8	sZ
14/14	135-138	2,2	44,9	53,0	7,4	1,5	-1,1	3,7	M
14/15	138-142	3,0	39,0	58,0	7,5	1,5	-1,3	4,7	M
14/16	160-163	1,4	64,0	34,7	7,6	1,4	-0,7	3,7	M
24/1	0-2	15,7	62,1	22,3	6,6	2,1	-0,5	2,6	sM
24/2	4-6	10,6	82,5	6,9	6,2	1,5	-0,7	4,9	sZ
24/3	11-13	7,6	81,9	10,5	6,2	1,5	-0,2	2,8	Z
24/4	22-25	37,3	46,8	15,9	5,3	2,2	0,8	2,5	sZ
24/5	35-37	10,9	63,3	25,9	6,5	1,9	0,0	2,3	sZ
24/6	43-45	33,2	50,4	16,5	5,5	2,2	0,8	2,5	sZ
24/7	54-56	1,6	59,7	38,8	7,5	1,7	-0,1	2,4	M
24/8	65-67	5,0	59,9	35,0	7,0	1,7	-0,4	2,8	M
24/9	72-74	2,9	60,0	37,1	7,4	1,9	0,0	2,4	M
24/10	78-80	3,8	49,4	46,8	7,7	2,2	-0,2	2,0	M
24/11	92-94	7,8	54,8	37,3	6,9	2,3	0,2	1,9	M
26/1	0-2	1,0	59,4	39,6	7,2	1,5	-0,6	3,8	M
26/2	40-42	1,4	49,9	48,7	7,4	1,4	-1,0	3,9	M
26/3	70-72	1,5	58,0	40,5	7,1	1,5	-0,5	2,9	M
26/4	100-102	1,2	53,8	45,0	7,6	1,7	-0,3	2,3	M
26/5	145-147	0,5	40,9	58,6	8,4	1,8	-0,4	2,3	M

Πίνακας 14: Αποτελέσματα της κοκκομετρικής και στατιστικής ανάλυσης των πυρήνων Π19, Π20, Π21.

Table 14: Results obtained from the grain size and statistical analysis of the reference cores Π19, Π20, Π21.

ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ									
Δείγμα	Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Άργιλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
19/1	0-2	24,7	70,7	4,6	5,5	2,1	0,1	2,5	sZ
19/2	19-21	15,4	81,0	3,7	5,6	1,7	0,6	2,9	sZ
19/3	44-46	7,8	88,8	3,5	5,7	1,4	0,7	4,7	Z
19/4	57-59	2,0	94,0	3,9	6,2	1,5	0,5	2,7	Z
19/5	77-79	24,3	57,4	18,3	6,7	2,3	0,9	2,1	sZ
19/6	97-99	3,9	73,6	22,5	6,3	1,9	0,5	1,5	Z
20/1	0-2	0,8	90,8	8,4	6,7	1,7	0,0	2,8	Z
20/2	22-24	0,4	82,5	17,0	6,9	1,6	-0,3	2,8	Z
20/3	39-41	0,6	91,3	8,1	6,6	1,5	-0,2	2,5	Z
20/4	59-61	0,5	57,4	42,9	7,5	2,3	0,0	1,5	M
20/5	79-81	0,5	68,9	30,6	6,7	1,8	0,2	2,0	Z
20/6	99-101	0,5	57,3	42,2	7,3	2,3	0,0	1,5	M
21/1	0-2	3,4	89,6	7,0	6,3	1,7	0,2	2,9	Z
21/2	14-16	2,1	62,6	32,3	6,7	1,9	0,0	1,9	M
21/3	36-39	8,3	85,8	5,9	6,2	1,7	0,2	2,7	Z
21/4	59-61	6,2	88,9	5,0	6,3	1,6	0,0	2,2	Z
21/5	79-81	4,9	86,7	8,4	6,3	1,6	0,1	2,0	Z
21/6	99-101	1,9	62,6	35,5	7,1	2,3	0,2	1,6	M



Εικ. 64: Χάρτης στον οποίο αποτυπώνονται οι συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας των πυρήνων αναφοράς Π19, Π20, Π21.

Fig. 64: Map demonstrating the coordinates of the sampling sites of the reference cores Π19, Π20, Π21.

2.2 Επιφανειακές κατανομές κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων (Areal distribution of the grain size classes and the statistical parameters)

Οι επιφανειακές κατανομές των κοκκομετρικών τάξεων και των τιμών που λαμβάνουν οι στατιστικές παράμετροι για τους υπό μελέτη πυρήνες, παρατίθενται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Επιφανειακή κατανομή κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων.

Table 15: Areal distribution of grain size classes and statistical parameters.

Πυρήνας	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Άργιλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku
Π14	1,9	90,4	7,8	6,3	1,3	0,5	4,6
Π24	15,7	62,1	22,3	6,6	2,1	-0,5	2,6
Π26	1,0	59,4	39,6	7,2	1,5	-0,6	3,8
ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ							
Π19	24,7	70,7	4,6	5,5	2,1	0,1	2,5
Π20	0,8	90,8	8,4	6,7	1,7	0,0	2,8
Π21	3,4	89,6	7,0	6,3	1,7	0,2	2,9

2.2.1 Επιφανειακή κατανομή άμμου (Areal distribution of sand)

Η επιφανειακή κατανομή της άμμου στους πυρήνες εντός του πεδίου των rockmarks κυμαίνεται μεταξύ 1,0-15,7% ενώ στους πυρήνες από την περιοχή που χρησιμοποιείται ως δείκτης, κυμαίνεται μεταξύ 0,8-24,7% (Πιν. 15).

2.2.2 Επιφανειακή κατανομή πηλού (Areal distribution of silt)

Η επιφανειακή κατανομή του πηλού στα σημεία δειγματοληψίας εντός του πεδίου κυμαίνεται μεταξύ 59,4-90,4% παρουσιάζοντας χαμηλότερα ποσοστά σε σχέση με τους πυρήνες αναφοράς και τα οποία κυμαίνονται από 70,7 έως 90,8% (Πιν. 15).

2.2.3 Επιφανειακή κατανομή αργίλου (*Areal distribution of clay*)

Η κατανομή της αργίλου στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής του πεδίου των rockmarks κυμαίνεται μεταξύ 7,8-39,6%, ενώ οι αντίστοιχες κατανομές στα επιφανειακά ιζήματα των πυρήνων αναφοράς χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλά ποσοστά που κυμαίνονται από 4,6 έως 8,4% (Πιν. 15).

2.2.4 Επιφανειακή κατανομή μέσου μεγέθους κόκκων (*Areal distribution of median size*) (Mz)

Η επιφανειακή κατανομή του μέσου μεγέθους των κόκκων στα επιφανειακά ιζήματα του πεδίου λαμβάνει τιμές μεταξύ 6,3-7,2 ϕ . Οι τιμές αυτές είναι σαφώς υψηλότερες από τις αντίστοιχες των πυρήνων αναφοράς, οι οποίες κυμαίνονται από 5,5 έως 6,7 ϕ (Πιν. 15).

2.2.5 Επιφανειακή κατανομή σταθερής απόκλισης (*Areal distribution of standard deviation*) (σ)

Η τυπική απόκλιση λαμβάνει τιμές μεταξύ 1,3-2,1 ϕ στα επιφανειακά ιζήματα του πεδίου των rockmarks, που είναι παραπλήσιες και ταυτόσημες με αυτές των πυρήνων αναφοράς οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 1,7-2,1 ϕ (Πιν. 15). Σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης των ιζημάτων κατά Folk and Ward (1957) τα επιφανειακά ιζήματα του πεδίου δειγματοληψίας, όπως και των ιζημάτων της περιοχής που χρησιμοποιείται ως δείκτης, χαρακτηρίζονται από φτωχά διαβαθμισμένα έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα. Η ταξινόμηση των επιφανειακών ιζημάτων κατά Folk and Ward (1957) και για τις τιμές της σταθερής απόκλισης παρατίθενται στον Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Ταξινόμηση των επιφανειακών ιζημάτων της περιοχής μελέτης και των πυρήνων αναφοράς, ανάλογα με τις τιμές της σταθερής απόκλισης κατά Folk and Ward, 1957.

Table 16: Classification of the surficial sediments of the study area and the reference cores, according to the values presented by Folk and Ward, 1957.

Πυρήνας	Ταξινόμηση επιφανειακού ιζήματος
Π14	Φτωχά διαβαθμισμένο
Π24	Πολύ φτωχά διαβαθμισμένο
Π26	Φτωχά διαβαθμισμένο
Πυρήνας αναφοράς	
Π19	Φτωχά διαβαθμισμένο
Π20	Φτωχά διαβαθμισμένο
Π21	Πολύ φτωχά διαβαθμισμένο

2.2.6 Επιφανειακή κατανομή λοξότητας (Areal distribution of skewness) (*Sk*)

Η επιφανειακή κατανομή της λοξότητας στα επιφανειακά ιζήματα στους πυρήνες της περιοχής έρευνας κυμαίνεται μεταξύ (-0,6)-0,5, ενώ αντίθετα η λοξότητα στα επιφανειακά ιζήματα των πυρήνων αναφοράς είναι θετική και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών από 0,0 έως 0,2 (Πιν. 15).

2.2.7 Επιφανειακή κατανομή κύρτωσης (Areal distribution of kurtosis) (*Ku*)

Η κύρτωση στα επιφανειακά ιζήματα της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 2,6-4,6. Οι τιμές της κύρτωσης είναι κατά κανόνα υψηλότερες στο πεδίο των rockmarks σε σχέση με αυτές της περιοχής που χρησιμοποιείται ως αναφορά και οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 2,5-2,9 (Πιν. 15).

2.3 Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων και στατιστικών παραμέτρων συναρτήσει του βάθους (Vertical variations of the grain size classes and statistical parameters)

2.3.1 Πυρήνας Π14 (Core Π14)

Βάθος νερού: 38m

Μήκος πυρήνα: 163cm

Ο πυρήνας Π14 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ανομοιογένεια (Πιν. 17). Τα ανώτερα 50cm του πυρήνα συνίστανται από πηλό, σύμφωνα με τον κατά Folk (1974) λιθολογικό χαρακτήρα (Εικ. 4). Ο ορίζοντας αυτός του πηλού ακολουθείται από διαδοχικά υποεπιφανειακά στρώματα ύλος, αμμούχου, πηλού, ύλος, αμμούχου πηλού και ύλος.

Το ποσοστό της άμμου παρουσιάζει τιμές μεταξύ 0,4-27,3% και οι μέγιστες τιμές της παρατηρούνται στους ορίζοντες του αμμούχου πηλού (Πιν. 17). Το ποσοστό του πηλού κυμαίνεται μεταξύ 44,9-92,5% και οι μέγιστες τιμές του παρατηρούνται στους ορίζοντες του πηλού και της ύλος (Πιν. 17). Η κατακόρυφη κατανομή του πηλού εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με αυτήν της άμμου (Διαγρ. Π14/1, Π14/2). Η άργιλος παρουσιάζεται σε ποσοστά από 5,9 έως 58,0%, με τις μέγιστες τιμές της να εμφανίζονται στον τελευταίο ορίζοντα της ύλος (Πιν. 17).

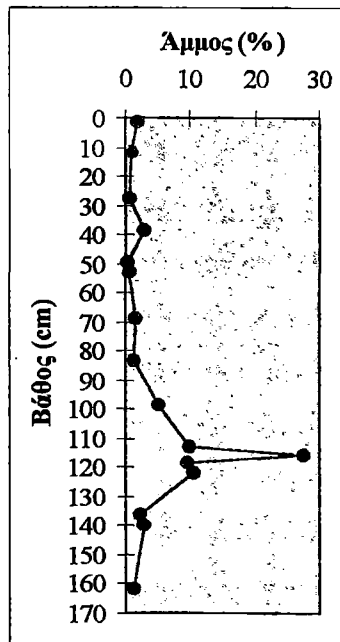
Οι τιμές που προκύπτουν για το μέσο μέγεθος κυμαίνονται μεταξύ 5,3-7,5 ϕ (Πιν. 17). Οι τιμές της μέσης απόκλισης κυμαίνονται μεταξύ 1,1-1,9 ϕ και σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης κατά Folk and Ward (1957), τα ιζήματα χαρακτηρίζονται ως φτωχά διαβαθμισμένα. Οι τιμές της λοξότητας κυμαίνονται μεταξύ (-1,3)- 1,0 και οι τιμές της κύρτωσης από 2,5 έως 5,6 (Πιν. 17).

Πίνακας 17: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή Πυρήνα Π14.

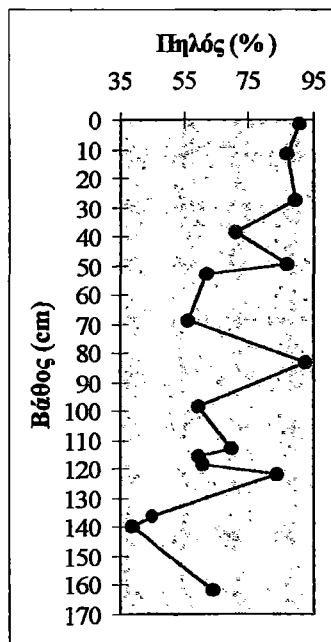
Table 17: Grain size and statistical analysis of Core Π14.

Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Αργίλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-3	1,9	90,4	7,8	6,3	1,3	0,5	4,6	Z
10-13	1,0	86,6	12,4	6,9	1,3	-0,3	3,5	Z
26-29	0,8	89,3	9,9	7,0	1,2	-0,5	4,4	Z
37-40	2,8	70,7	26,5	7,1	1,3	-0,8	4,8	Z
48-51	0,4	86,8	12,8	6,8	1,1	0,1	3,6	Z
52-54	0,6	62,0	37,4	7,2	1,4	-0,2	2,7	M
67-70	1,5	56,3	42,2	7,3	1,5	-0,7	3,2	M
82-85	1,3	92,5	6,2	7,0	1,1	-1,1	5,6	M
97-100	5,0	59,5	35,5	7,0	1,6	-0,8	3,3	M
112-114	10,0	69,9	20,1	6,1	1,8	0,5	2,5	sZ
115-116	27,3	59,7	13,0	5,3	1,9	1,0	3,3	sZ
117-120	9,7	60,9	29,4	6,5	1,9	-0,6	3,1	M
120-123	10,7	83,5	5,9	6,0	1,6	-0,2	2,8	sZ
135-138	2,2	44,9	53,0	7,4	1,5	-1,1	3,7	M
138-142	3,0	39,0	58,0	7,5	1,5	-1,3	4,7	M
160-163	1,4	64,0	34,7	7,6	1,4	-0,7	3,7	M

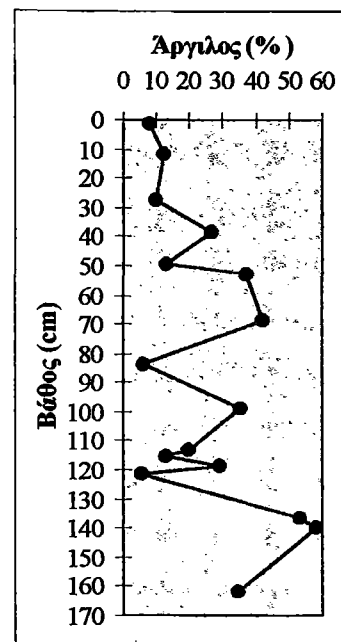
Πυρήνας Π14: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων
 Core Π14: Vertical distributions of grain size



Διάγραμμα Π14/1

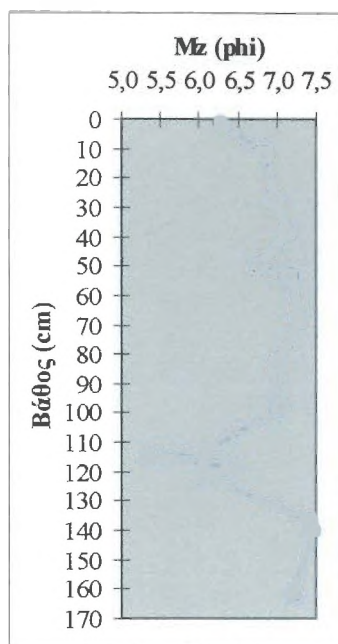


Διάγραμμα Π14/2

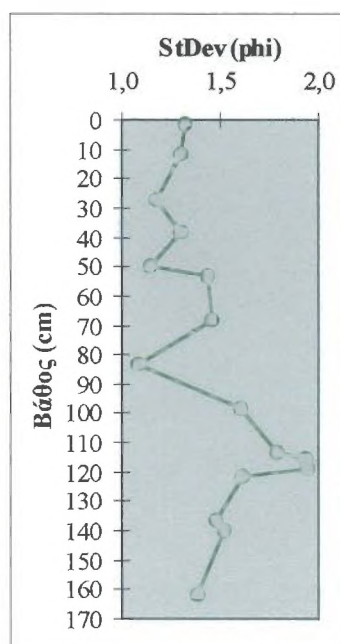


Διάγραμμα Π14/3

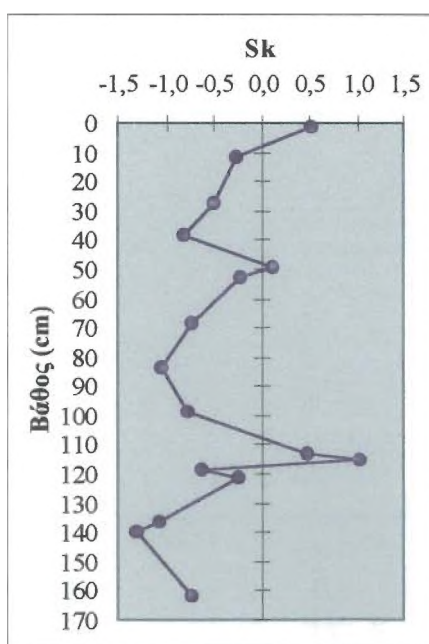
Πυρήνας Π14: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων
Core Π14: Vertical variations of the statistical parameters



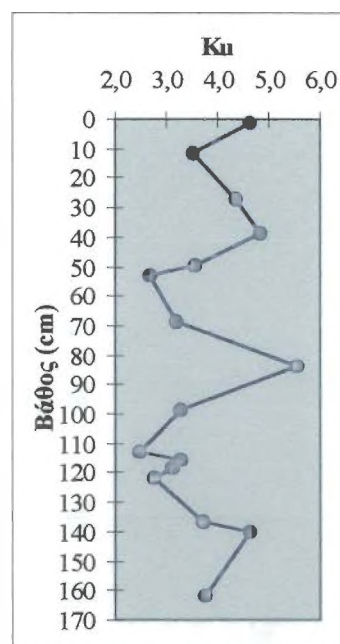
Διάγραμμα Π14/4



Διάγραμμα Π14/5



Διάγραμμα Π14/6



Διάγραμμα Π14/7

2.3.2 Πυρήνας Π24 (Core Π24)

Βάθος νερού: 49m

Μήκος πυρήνα: 94cm

Ο πυρήνας Π24 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ανομοιογένεια (Πιν. 18). Κατά τον Folk (1974), ο πυρήνας Π24 αποτελείται από έναν επιφανειακό ορίζοντα αμμούχου ιλύος πάχους λίγων εκατοστών και αυξανόμενου του βάθους από μία διαδοχή οριζόντων αμμούχου πηλού, πηλού, αμμούχου πηλού και ιλύος.

Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται από 1,6% έως 37,3% (Πιν. 18). Η ελάχιστη τιμή της εμφανίζεται στον ορίζοντα της ιλύος και η μέγιστη στον δεύτερο ορίζοντα αμμούχου πηλού που απαντάται στη στήλη του πυρήνα. Ο πηλός παρουσιάζεται σε ποσοστά από 46,8% έως 82,5% (Πιν. 18). Η άργιλος εμφανίζει ποσοστά μεταξύ 6,9-46,8%, οι τιμές των οποίων αυξάνονται με την αύξηση του βάθους (Πιν. 18).

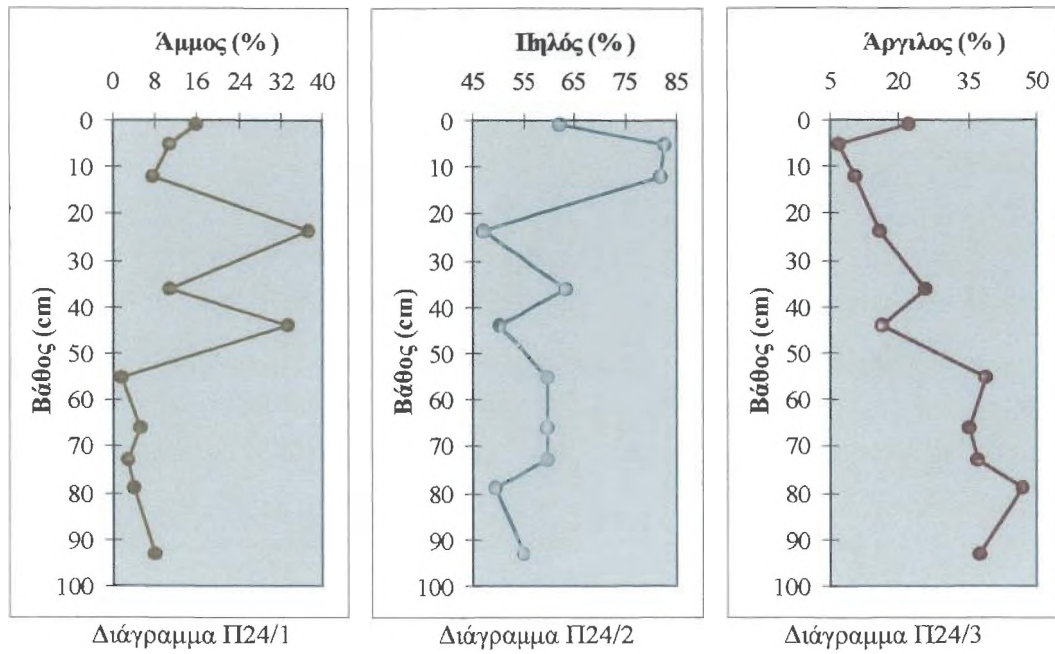
Πίνακας 18: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π24.

Table 18: Grain size and statistical analysis of Core Π24.

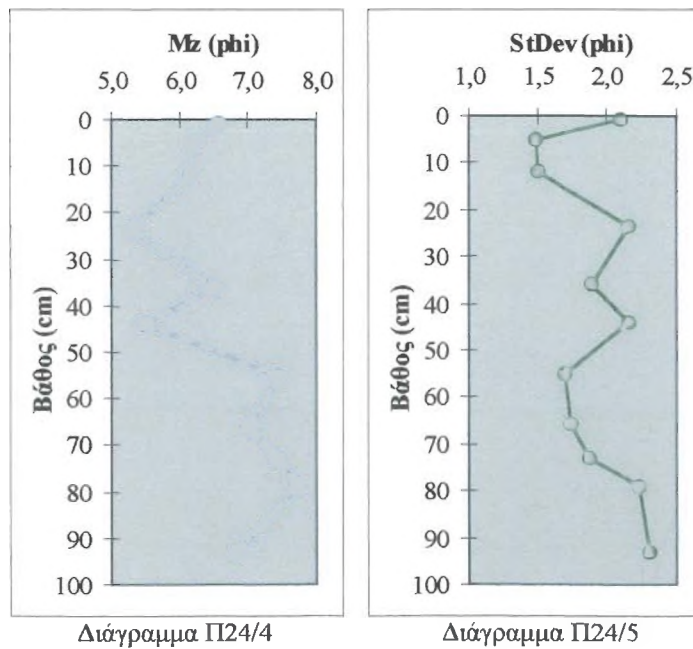
Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Άργιλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	K _G	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-2	15,7	62,1	22,3	6,6	2,1	-0,5	2,6	sM
4-6	10,6	82,5	6,9	6,2	1,5	-0,7	4,9	sZ
11-13	7,6	81,9	10,5	6,2	1,5	-0,2	2,8	Z
22-25	37,3	46,8	15,9	5,3	2,2	0,8	2,5	sZ
35-37	10,9	63,3	25,9	6,5	1,9	0,0	2,3	sZ
43-45	33,2	50,4	16,5	5,5	2,2	0,8	2,5	sZ
54-56	1,6	59,7	38,8	7,5	1,7	-0,1	2,4	M
65-67	5,0	59,9	35,0	7,0	1,7	-0,4	2,8	M
72-74	2,9	60,0	37,1	7,4	1,9	0,0	2,4	M
78-80	3,8	49,4	46,8	7,7	2,2	-0,2	2,0	M
92-94	7,8	54,8	37,3	6,9	2,3	0,2	1,9	M

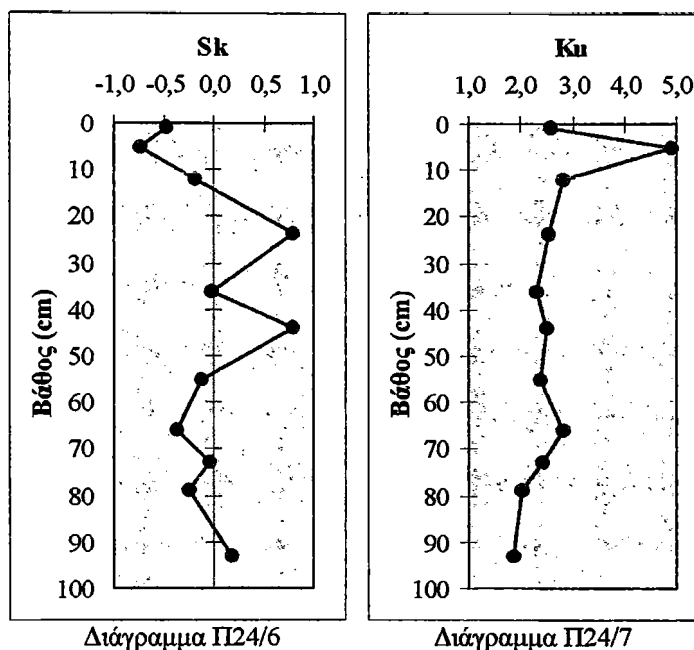
Το μέσο μέγεθος εμφανίζει τιμές μεταξύ 5,5-7,7Ø και η σταθερή απόκλιση τιμές από 1,5 έως 2,2Ø (Πιν. 18). Βάσει των τιμών που παρουσιάζει η σταθερή απόκλιση και σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης κατά Folk and Ward (1957), τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από φτωχά διαβαθμισμένα έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα. Το ποσοστό της λοξότητας κυμαίνεται μεταξύ (-0,7)-0,8 και το ποσοστό της κύρτωσης από 1,9 έως 4,9 εμφανίζοντας μείωση με την αύξηση του βάθους (Πιν. 18).

Πυρήνας Π24: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων
Core Π24: Vertical distributions of grain size



Πυρήνας Π24: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων
Core Π24: Vertical variations of the statistical parameters





2.3.3 Πυρήνας Π26 (Core Π26)

Βάθος νερού: 50m

Μήκος πυρήνα: 158cm

Ο πυρήνας Π26 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ομοιογένεια (Πιν. 19) και κατά το λιθολογικό χαρακτήρα που προτείνεται από τον Folk (1974), αποτελείται από ήλυ.

Η άμμος παρουσιάζεται με ποσοστά από 0,5 έως 1,5% και εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με την άργιλο, της οποίας το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 39,6-58,6% (Πιν. 18, Διαγρ. Π26/1, Π26/3). Το ποσοστό του πηλού λαμβάνει τιμές από 40,9% έως 59,4% (Πιν. 19).

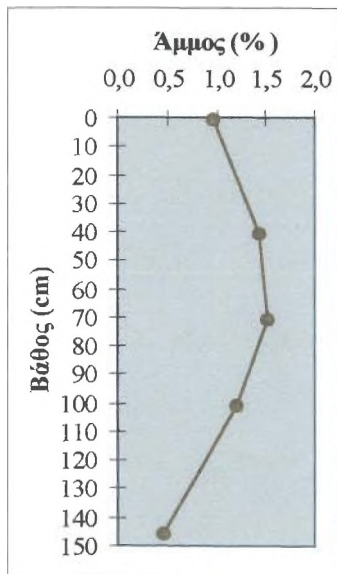
Πίνακας 19: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π26.

Table 19: Grain size and statistical analysis of Core Π26.

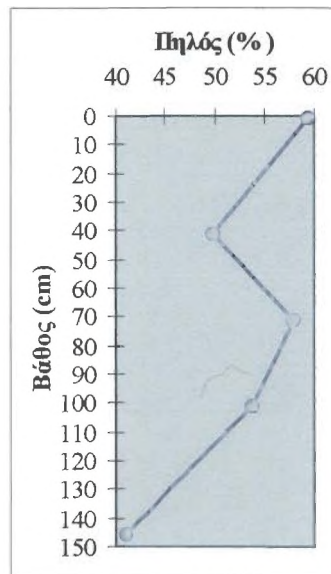
Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Άργιλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-2	1,0	59,4	39,6	7,2	1,5	-0,6	3,8	M
40-42	1,4	49,9	48,7	7,4	1,4	-1,0	3,9	M
70-72	1,5	58,0	40,5	7,1	1,5	-0,5	2,9	M
100-102	1,2	53,8	45,0	7,6	1,7	-0,3	2,3	M
145-147	0,5	40,9	58,6	8,4	1,8	-0,4	2,3	M

Το μέσο μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 7,1 έως 8,4 ϕ (Πιν. 19). Οι τιμές της σταθερής απόκλισης κυμαίνονται μεταξύ 1,4-1,8 ϕ οπότε η διαβάθμισή τους σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης κατά Folk και Ward (1957) είναι φτωχή. Η λοξότητα κυμαίνεται μεταξύ (-1,0)-(-0,3) και εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με την κατακόρυφη κατανομή της κύρτωσης, η οποία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 2,3 και 3,9 (Πιν. 19, Διαγρ. Π26/6, Π26/7).

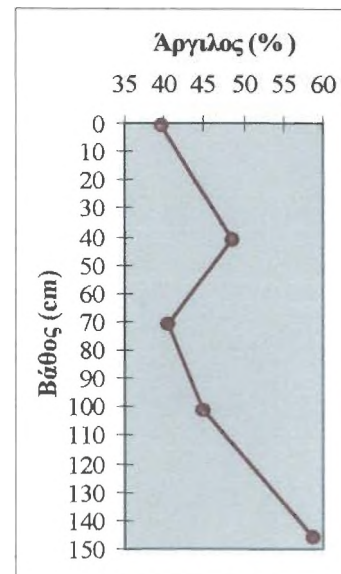
Πυρήνας Π26: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων Core Π26: Vertical distributions of grain size



Διάγραμμα Π26/1

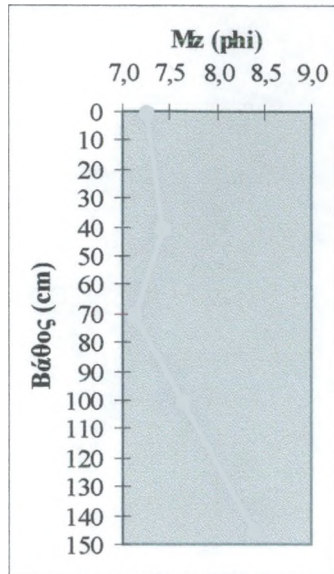


Διάγραμμα Π26/2

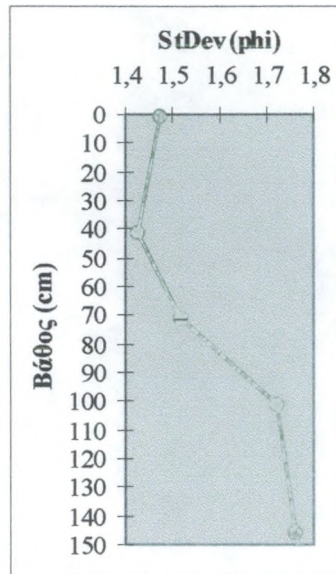


Διάγραμμα Π26/3

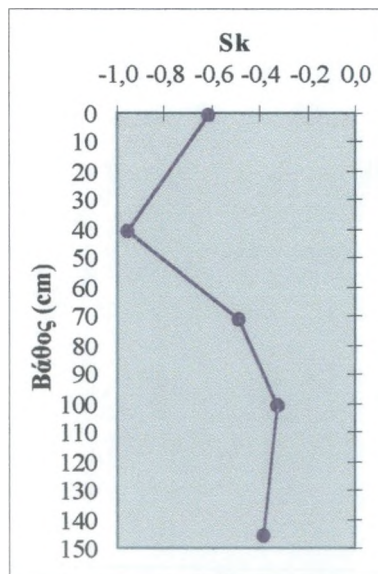
Πυρήνας Π26: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων
Core Π26: Vertical variations of the statistical parameters



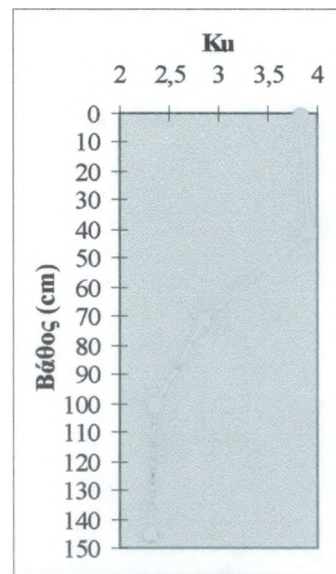
Διάγραμμα Π26/4



Διάγραμμα Π26/5



Διάγραμμα Π26/6



Διάγραμμα Π26/7

2.3.4 Πυρήνας Π19 (Core Π19)

Βάθος νερού: 41m

Μήκος πυρήνα: 102m

Ο πυρήνας Π19 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ανομοιογένεια (Πιν. 20). Τα ανώτερα 20cm του πυρήνα αποτελούνται από αμμούχο πηλό, ενώ ένας ακόμη ορίζοντας από αμμούχο πηλό απαντάται στη στήλη του σε βάθος 78cm. Ο υπόλοιπος πυρήνας αποτελείται από πηλό.

Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται μεταξύ 2,0 και 24,7%, με τις μεγαλύτερες τιμές της να απαντώνται στους ορίζοντες του αμμούχου πηλού (Πιν. 20). Το ποσοστό του πηλού λαμβάνει τιμές μεταξύ 57,4-94,0% και η κατακόρυφη κατανομή του εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με αυτήν της άμμου (Πιν. 20, Διαγρ. Π19/1, Π19/2). Το ποσοστό της αργίλου κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3,5 και 22,5% (Πιν. 20).

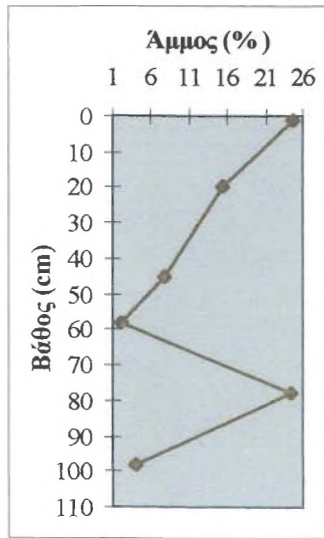
Πίνακας 20: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π19.

Table 20: Grain size and statistical analysis of Core Π19.

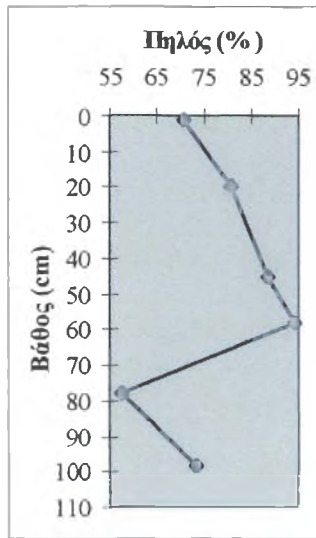
Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Αργίλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	K _G	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-2	24,7	70,7	4,6	5,5	2,1	0,1	2,5	sZ
19-21	15,4	81,0	3,7	5,6	1,7	0,6	2,9	sZ
44-46	7,8	88,8	3,5	5,7	1,4	0,7	4,7	Z
57-59	2,0	94,0	3,9	6,2	1,5	0,5	2,7	Z
77-79	24,3	57,4	18,3	6,7	2,3	0,9	2,1	sZ
97-99	3,9	73,6	22,5	6,3	1,9	0,5	1,5	Z

Το μέσο μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 5,5-6,7Ø (Πιν. 20). Η σταθερή απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ 1,4-2,3Ø και σύμφωνα με την ταξινόμηση των ιζημάτων κατά Folk και Ward (1957), τα ιζήματα του πυρήνα αυτού χαρακτηρίζονται από φτωχά διαβαθμισμένα έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα. Η λοξότητα είναι θετική και οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 0,1-0,9. Οι τιμές της κύρτωσης κυμαίνονται μεταξύ του 1,5 και 4,7 (Πιν. 20).

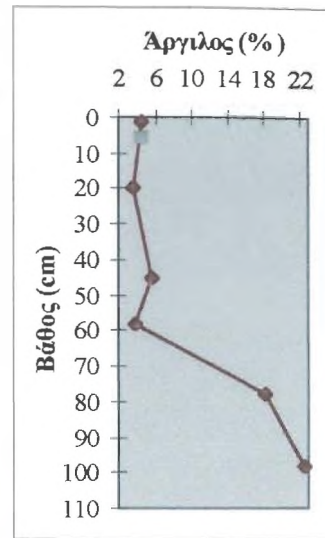
Πυρήνας Π19: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων
Core Π19: Vertical distributions of grain size



Διάγραμμα Π19/1

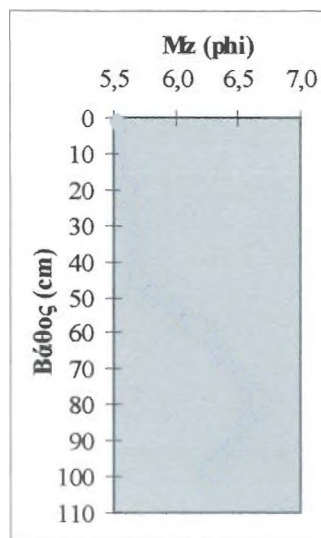


Διάγραμμα Π19/2

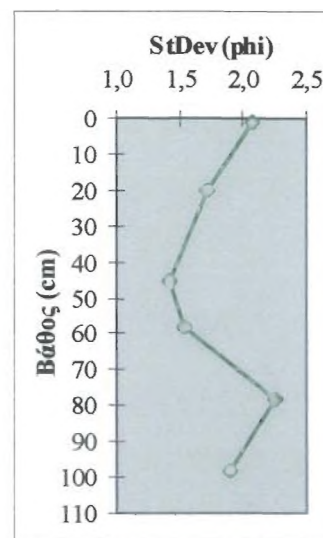


Διάγραμμα Π19/3

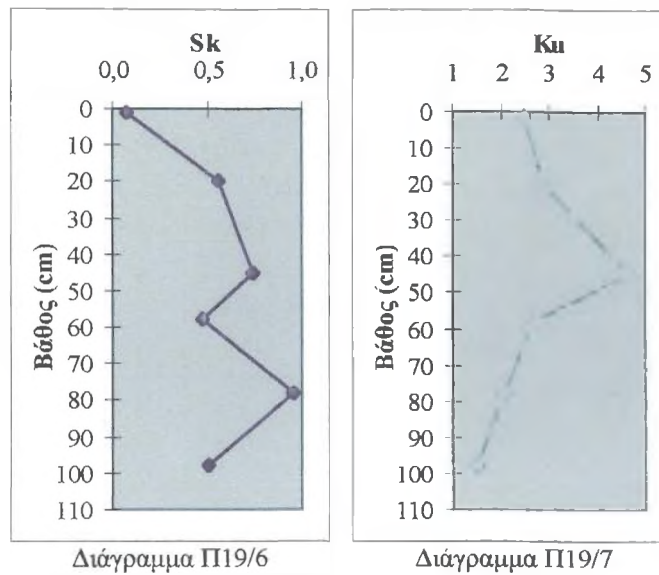
Πυρήνας Π19: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων
Core Π19: Vertical variations of the statistical parameters



Διάγραμμα Π19/4



Διάγραμμα Π19/5



2.3.5 Πυρήνας Π20 (Core Π20)

Βάθος νερού: 59m

Μήκος πυρήνα: 152cm

Ο πυρήνας Π20 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ανομοιογένεια (Πιν. 21). Ο ανώτερος ορίζοντας είναι εύρους 35cm και σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης κατά Folk (1974), συνίσταται από πηλό. Ένας ακόμη ορίζοντας πηλού εντοπίζεται σε βάθος 80cm ενώ ο υπόλοιπος πυρήνας αποτελείται από ιλύ.

Το ποσοστό της άμμου είναι αμελητέο κυμαινόμενο μεταξύ 0,4-0,8% (Πιν. 21). Το ποσοστό του πηλού λαμβάνει τιμές μεταξύ 57,3-94,0%, το ποσοστό της αργίλου κυμαίνεται από 8,1 έως 42,9% και η κατακόρυφη κατανομή της εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με την αντίστοιχη κατανομή του πηλού (Πιν. 21, Διαγρ. Π20/2, Π20/3).

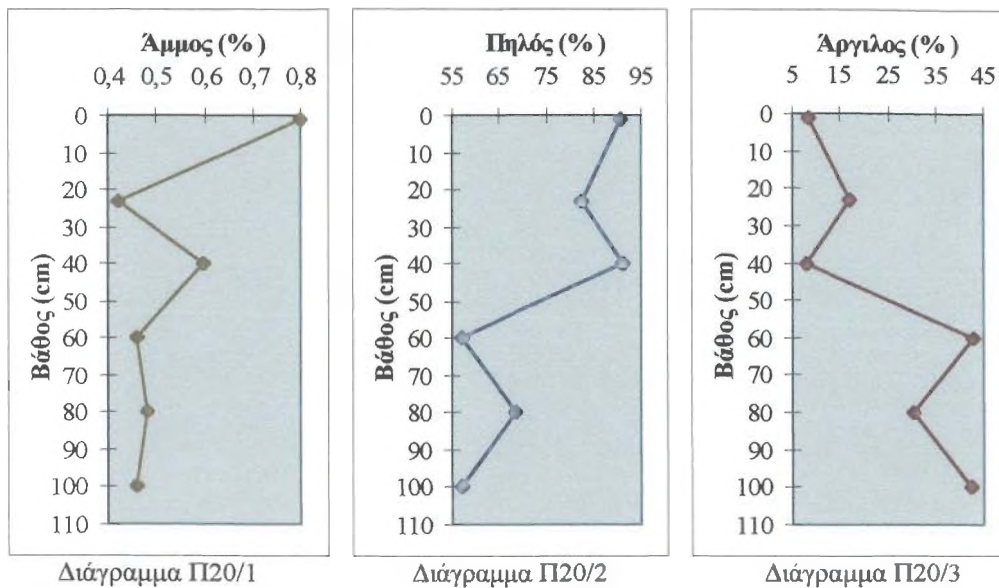
Πίνακας 21: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π20.

Table 21: Grain size and statistical analysis of Core Π20.

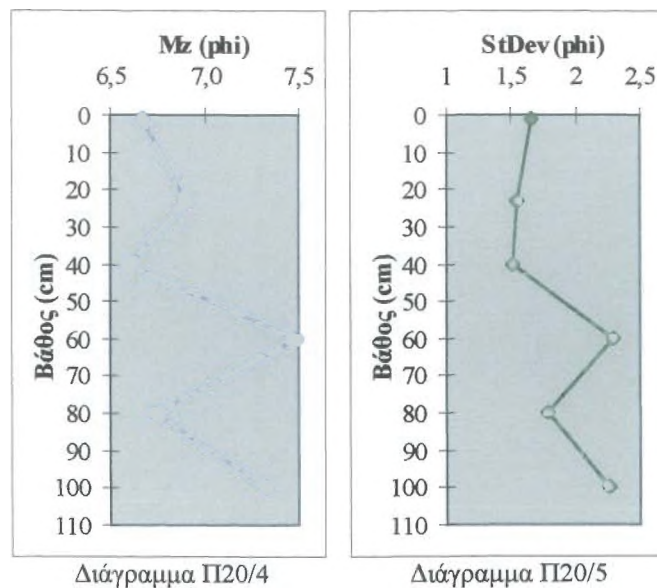
Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Αργίλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-2	0,8	90,8	8,4	6,7	1,7	0,0	2,8	Z
22-24	0,4	82,5	17,0	6,9	1,6	-0,3	2,8	Z
39-41	0,6	91,3	8,1	6,6	1,5	-0,2	2,5	Z
59-61	0,5	57,4	42,9	7,5	2,3	0,0	1,5	M
79-81	0,5	68,9	30,6	6,7	1,8	0,2	2,0	Z
99-101	0,5	57,3	42,2	7,3	2,3	0,0	1,5	M

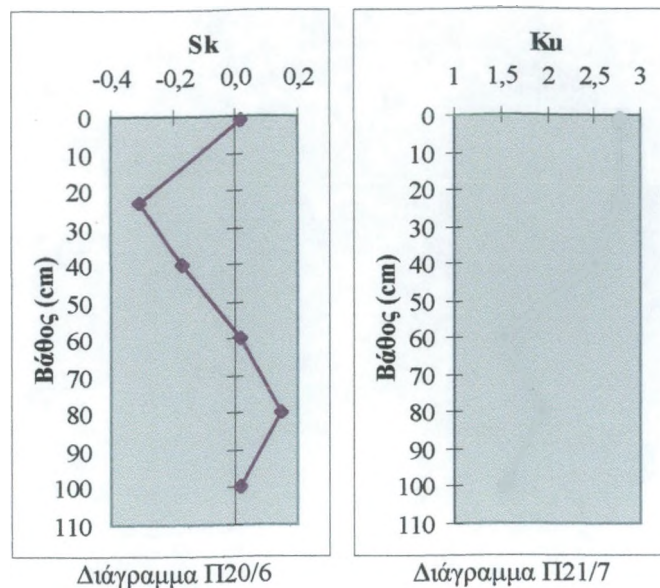
Το μέσο μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 6,6-7,5 ϕ (Πιν. 21). Η σταθερή απόκλιση κυμαίνεται από 1,5 έως 2,3 ϕ και σύμφωνα με την κλίμακα ταξινόμησης κατά Folk και Ward (1957) τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από φτωχά διαβαθμισμένα έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα. Η λοξότητα λαμβάνει τιμές μεταξύ του (-0,3) και 0,2, ενώ η κύρτωση κυμαίνεται από 1,5 έως 2,8 (Πιν. 21).

Πυρήνας Π20: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων Core Π20: Vertical distributions of grain size



Πυρήνας Π20: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων Core Π20: Vertical variations of the statistical parameters





2.3.6 Πυρήνας Π21 (Core Π21)

Βάθος νερού: 52m

Μήκος πυρήνα: 138cm

Ο πυρήνας Π21 χαρακτηρίζεται από λιθολογική ανομοιογένεια (Πιν. 22). Σύμφωνα με τον Folk (1974), αποτελείται από πηλό και ιλύ. Η ιλύς απαντάται σε δύο οριζόντες, έναν σε βάθος 15cm και έναν σε βάθος 100cm.

Το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται από 1,9% έως 8,3% (Πιν. 22). Το ποσοστό του πηλού κυμαίνεται μεταξύ 62,6-89,6% και η κατακόρυφη κατανομή του εμφανίζει σχέση ειδώλου αντικειμένου με την κατανομή της αργίλου, της οποίας το ποσοστό κυμαίνεται από 5,0% έως 35,5% (Πιν. 22, Διαγρ. Π21/2, Π21/3).

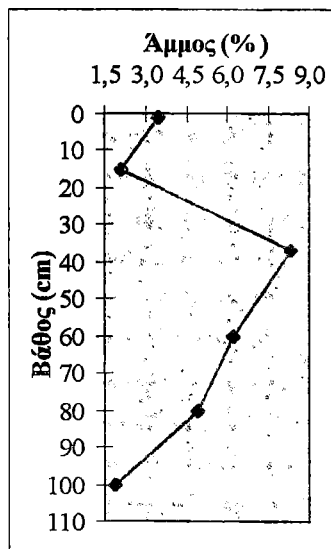
Πίνακας 22: Κοκκομετρική και στατιστική περιγραφή του Πυρήνα Π21.

Table 22: Grain size and statistical analysis of Core Π21.

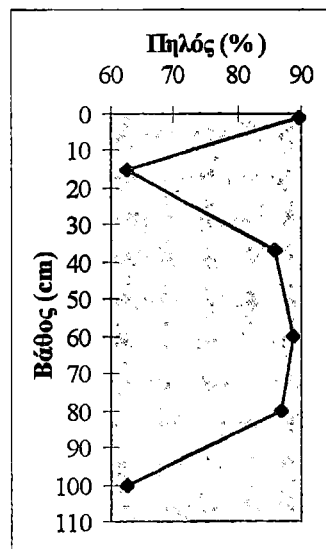
Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Πηλός (%)	Αργίλος (%)	Mz (Ø)	σ (Ø)	Sk	Ku	Λιθολογικός χαρακτήρας
0-2	3,4	89,6	7,0	6,3	1,7	0,2	2,9	Z
14-16	2,1	62,6	32,3	6,7	1,9	0,0	1,9	M
36-39	8,3	85,8	5,9	6,2	1,7	0,2	2,7	Z
59-61	6,2	88,9	5,0	6,3	1,6	0,0	2,2	Z
79-81	4,9	86,7	8,4	6,3	1,6	0,1	2,0	Z
99-101	1,9	62,6	35,5	7,1	2,3	0,2	1,6	M

Το μέσο μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 6,2-7,1 ϕ και οι τιμές της σταθερής απόκλισης κυμαίνονται μεταξύ 1,6-2,3 ϕ (Πιν. 22). Ανάλογα με τις τιμές της σταθερής απόκλισης, τα ιζήματα σύμφωνα με την κλίμακα κατά Folk και Ward (1957), χαρακτηρίζονται από φτωχά διαβαθμισμένα, έως πολύ φτωχά διαβαθμισμένα. Η λοξότητα που εμφανίζουν τα ιζήματα είναι θετική με τιμές να κυμαίνονται από 0,0 έως 0,2 και η κύρτωση λαμβάνει τιμές μεταξύ 1,6-2,9 (Πιν. 22).

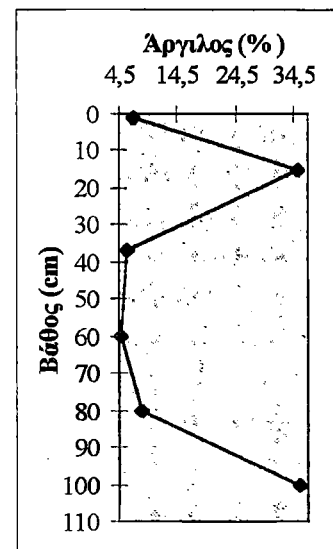
Πυρήνας Π21: Κατακόρυφες κατανομές κοκκομετρικών τάξεων
Core Π21: Vertical distributions of grain size



Διάγραμμα Π21/1

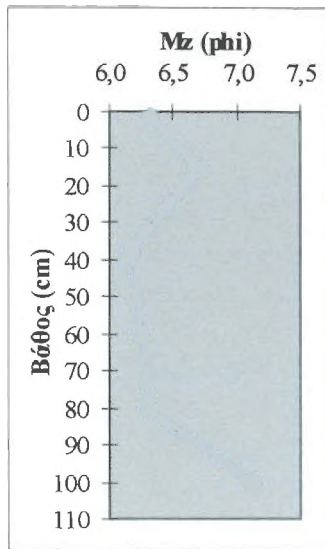


Διάγραμμα Π21/2

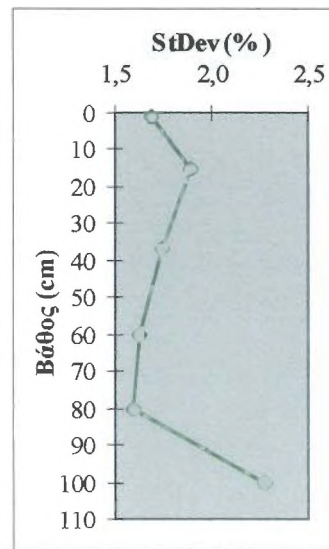


Διάγραμμα Π21/3

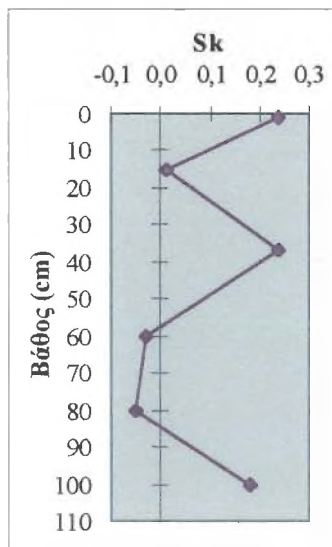
Πυρήνας Π21: Κατακόρυφες κατανομές των στατιστικών παραμέτρων
Core Π21: Vertical variations of the statistical parameters



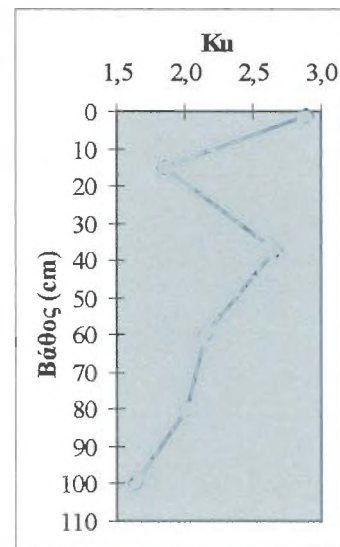
Διάγραμμα Π21/4



Διάγραμμα Π21/5



Διάγραμμα Π21/6



Διάγραμμα Π21/7

Γ. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ (STATISTICAL ANALYSIS OF GRAIN SIZE DATA)

1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ R-ΤΥΠΟΥ (R-mode factor analysis of surficial and sub-surficial sediments)

1.1 Παραγοντική ανάλυση R- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων σε όλους τους πυρήνες (R-mode factor analysis of surficial and sub-surficial sediments of all cores).

Η παραγοντική ανάλυση R- τύπου (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) αναπτύχθηκε σε κοκκομετρικά δεδομένα 32 δειγμάτων ιζήματος από τους πυρήνες Π14, Π24, Π26, που συλλέχθηκαν από αντίστοιχα rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου.

Ο πίνακας των δεδομένων συγκροτείται από 32 δείγματα στα οποία έχουν μετρηθεί 11 μεταβλητές, δηλαδή τα ποσοστά επί τοις εκατό των διαφόρων τάξεων μεγέθους (ανά 1Ø) του κάθε ιζήματος.

Η επίλυση του πίνακα δεδομένων οδήγησε στον υπολογισμό 11 ιδιοτιμών που εκφράζουν το 100% της ολικής διακύμανσης (variance) των δεδομένων.

Οι πέντε πρώτες ιδιοτιμές εκφράζουν το 82,2% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων, γεγονός που δηλώνει ότι η αποκοπή των έξι τελευταίων ιδιοτιμών και συνεπώς των αντίστοιχων παραγόντων, προκάλεσε απώλεια πληροφοριών μόνο 17,8% (Πιν. 23).

Η περιστροφή των παραγοντικών φορτίσεων (loadings) σύμφωνα με το κριτήριο περιστροφής της μέγιστης διακύμανσης (varimax) οδήγησε στον υπολογισμό των περιστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων (Πιν. 24). Επιπλέον έγινε ο υπολογισμός των παραγοντικών τιμών κάθε παράγοντα (Πιν. 25).

Ο πρώτος παράγων ο οποίος είναι ο πιο σημαντικός στατιστικά, μια και εκφράζει το 26,4% της ολικής διακύμανσης (Πιν. 23), παρουσιάζει υψηλές φορτίσεις στις τάξεις μεγέθους 2-3Ø, 3-4Ø και 4-5Ø και υψηλή αρνητική φόρτιση στην τάξη μεγέθους των 8-9Ø. Ο διπολικός αυτός παράγων εκφράζει αντιπάθεια της λεπτόκοκκης άμμου (2-4Ø) έναντι της αργλικής τάξης των 8-9Ø.

Η λεπτόκοκκη άμμος (2-4 \emptyset) σύμφωνα με τις παραγοντικές τιμές (Πιν. 25) (Εικ. 65a), παρουσιάζει σημαντική επίδραση στο ανώτερο τμήμα του πυρήνα Π24 μέχρι τα 45cm (δείγματα 24/1- 24/6) και σε τρία δείγματα του πυρήνα Π14 (δείγματα 14/8, 14/11, 14/13). Ο αρνητικός πόλος του παράγοντα αυτού, παρουσιάζει αξιοσημείωτη έκφραση σε όλο το υπόλοιπο τμήμα των πυρήνων (Πιν. 25) (Εικ. 65a, b, c).

Ο παράγων αυτός μπορεί να θεωρηθεί ως ένας παράγοντας λεπτόκοκκης άμμου η οποία βρίσκεται σε ισχυρή αντιπάθεια με το αργλικό κλάσμα (8-9 \emptyset).

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 18,2% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 23) και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις αποκλειστικά στις τάξεις μεγέθους 0-2 \emptyset της μεσόκοκκης άμμου (Πιν. 24).

Αυτός ο παράγοντας εκφράζεται σε συγκεκριμένα δείγματα του κατώτερου τμήματος του πυρήνα Π14 (Εικ. 65b), ενώ παρουσιάζει ικανοποιητική έκφραση στο ανώτερο τμήμα του πυρήνα Π24 δηλώνοντας έτσι μία τοπική συσχέτιση με τη λεπτόκοκκη άμμο (Πιν. 25)

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 15% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 23) και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις στη λιθολογική τάξη του πηλού (4-5 \emptyset) (Πιν. 24).

Η μελέτη της κατακόρυφης κατανομής των παραγοντικών τιμών (Πιν. 25), έδειξε ότι ο πηλός παρουσιάζει αξιοσημείωτη έκφραση σε στρώματα των πυρήνων όπου έχουν σημαντική έκφραση ο πρώτος και ο δεύτερος παράγοντας. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι ο πηλός παρουσιάζει μεγαλύτερη συσχέτιση με τη λεπτόκοκκη άμμο παρά με τη μεσόκοκκη.

Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 12,2% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 23) και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις στα λεπτομερέστερα κλάσματα των ιζημάτων (9-10 \emptyset , >10 \emptyset) και αρνητική φόρτιση στο λεπτομερέστερο κλάσμα του πηλού (7-8 \emptyset) (Πιν.24). Η λιθολογική τάξη της αργίλου (>9 \emptyset) ελέγχει το κατώτερο τμήμα του πυρήνα Π24 (από τα 22cm και έπειτα) και του πυρήνα Π26 έπειτα από τα 100cm, ενώ η τάξη του λεπτόκοκκου πηλού (7-8 \emptyset) εκφράζεται ικανοποιητικά κατά μήκος του πυρήνα Π14 (Πιν. 25).

Πίνακας 23: Πενταπλό μοντέλο για όλους τους πυρήνες.**Table 23:** Eigenvalues and commulative percentage of variance of all cores.

Παράγων	Ιδιοτιμή	Ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή	Αθροιστικό ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή
1	2,90586	26,4	26,4
2	2,00557	18,2	44,6
3	1,64960	15,0	59,6
4	1,34007	12,2	71,8
5	1,14148	10,4	82,2
6	0,89927	8,2	90,4
7	0,62558	5,7	96,1
8	0,22743	2,1	98,1
9	0,13120	1,2	99,3
10	0,07396	0,7	100,0
11	0,00000	0,0	100,0

Πίνακας 24: Πίνακας περιστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του πενταμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες (Varimax περιστροφή).**Table 24:** Varimax rotated factor loadings of all cores.

Τάξη	Παράγων 1	Παράγων 2	Παράγων 3	Παράγων 4	Παράγων 5
0					
0-1	-0,00678	0,91321	-0,04711	-0,10859	-0,02490
1-2,0	0,18009	0,91284	0,08701	-0,02840	0,12259
2,0-3,0	0,86895	0,28523	-0,10213	0,00504	0,00446
3,0-4,0	0,76294	0,03218	0,41857	0,11527	-0,40744
4,0-5,0	0,44116	0,06878	0,78904	0,01114	-0,27652
5,0-6,0	-0,05266	-0,04208	0,88148	-0,19148	0,23814
6,0-7,0	-0,04674	0,11087	0,00321	0,01946	0,88971
7,0-8,0	-0,03522	-0,33352	-0,44900	-0,65748	0,16492
8,0-9,0	-0,67140	0,26343	-0,28670	-0,10942	-0,47851
9,0-10,0	0,18220	-0,20609	-0,04145	0,76646	0,05231
>10	-0,07671	-0,06535	-0,22177	0,77128	0,04116

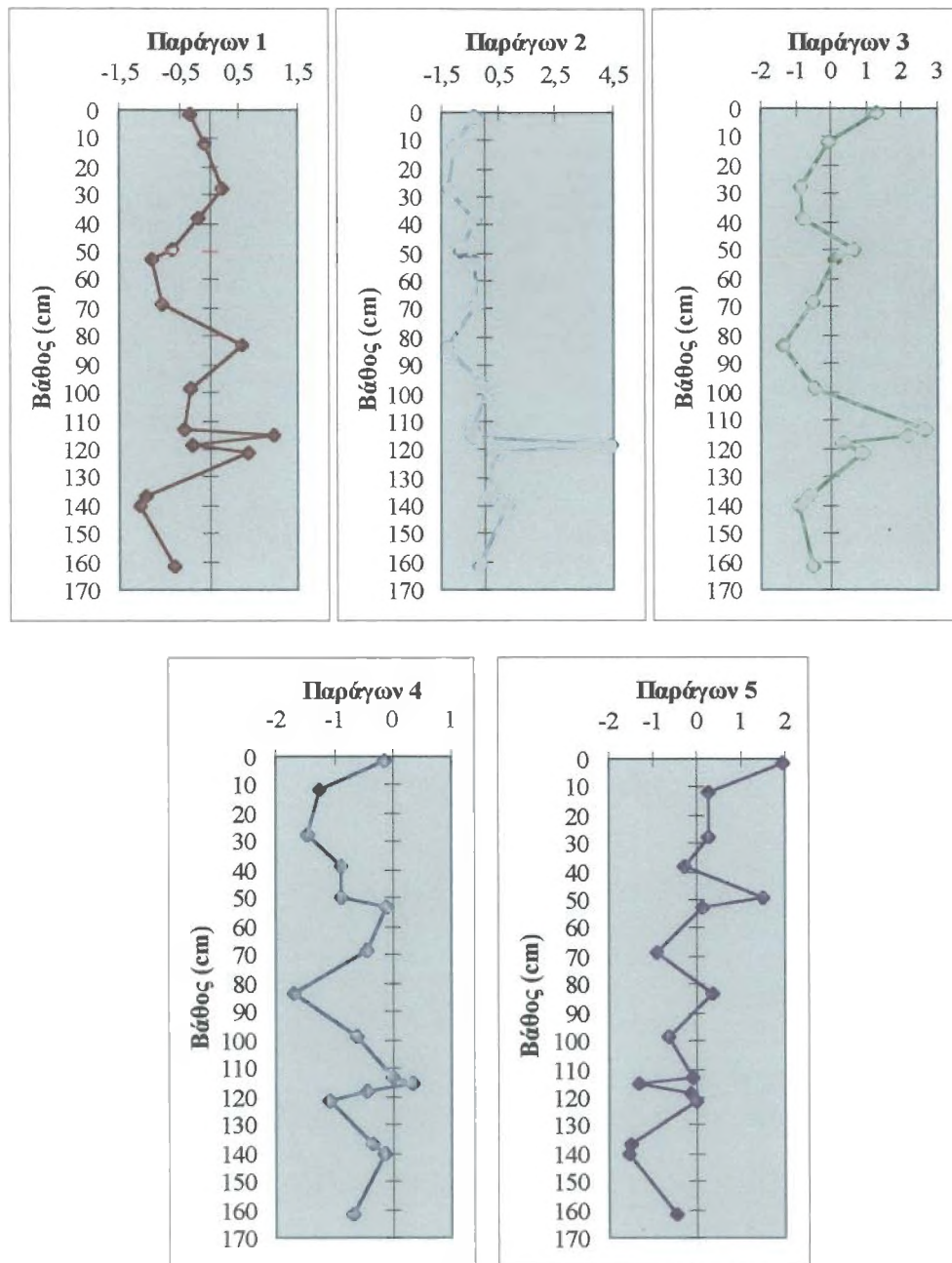
Ο πέμπτος παράγοντας εκφράζει το 10,4% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 23) και παρουσιάζει υψηλή φόρτιση αποκλειστικά στην τάξη μεγέθους 6-7 \emptyset (Πιν. 24). Αυτή η τάξη του πηλού παρουσιάζει σημαντικές επιδράσεις σε διακριτά στρώματα του πυρήνα Π14 και Π24. Στο ανώτερο τμήμα του πυρήνα Π14, ο παράγοντας αυτός συσχετίζεται ικανοποιητικά με τον τρίτο παράγοντα, στοιχείο που δηλώνει ότι το σύνολο σχεδόν του πηλού (4-7 \emptyset) αποτέθηκε στις συγκεκριμένες θέσεις, ενώ αντίθετα στο κατώτερο τμήμα του Π14 δεν έλαβε χώρα απόθεση της τάξης 6-7 \emptyset , παρά μόνο αυτές των 4-5 \emptyset και 5-6 \emptyset

(Πιν. 25). Παρόμοια σχέση αντιπάθειας μεταξύ 6-7Ø και 4-6Ø διαπιστώνεται στον πυρήνα Π24 (Πιν. 25).

Πίνακας 25: Παραγοντικές τιμές πενταμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες.

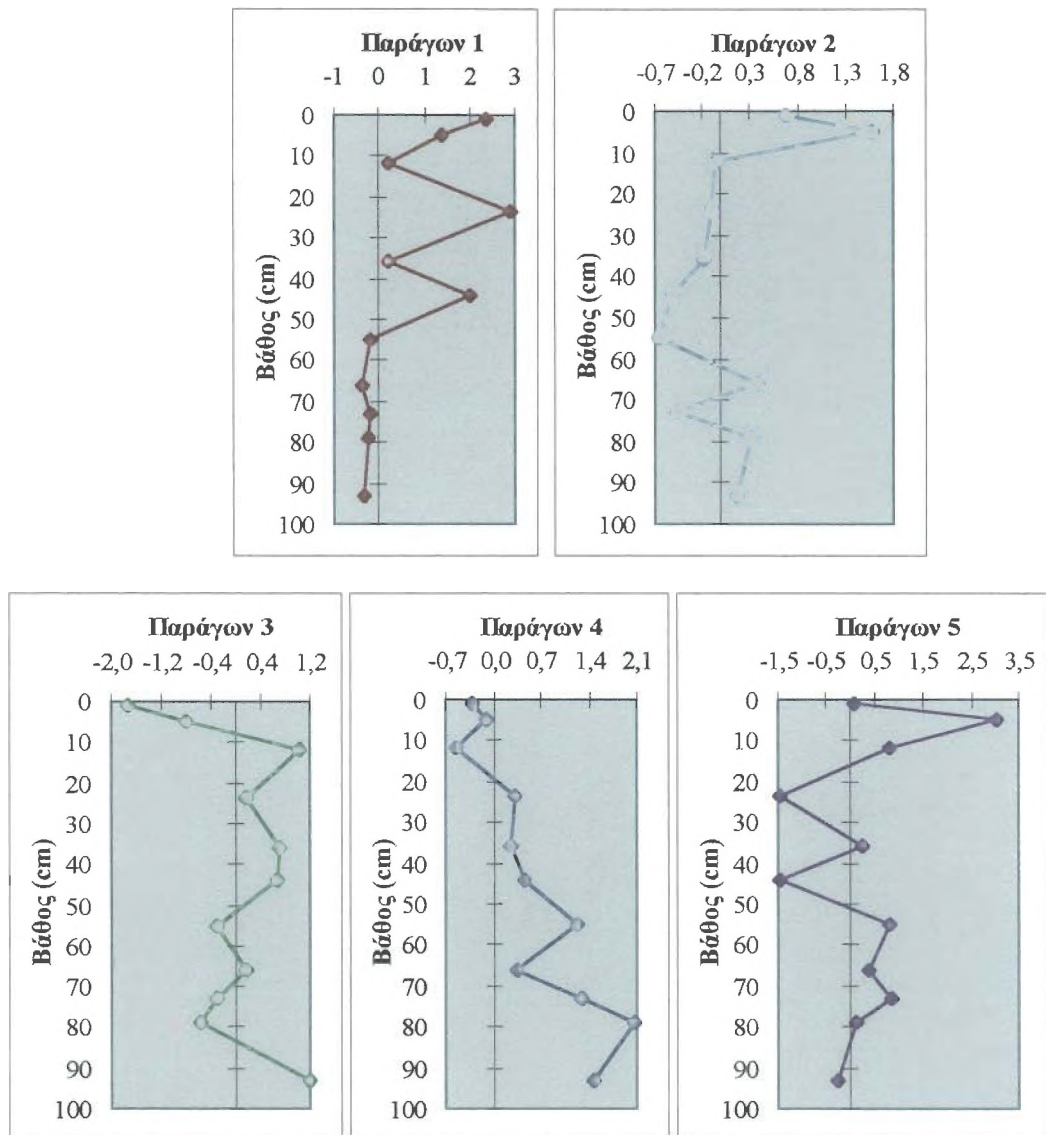
Table 25: Factor scores of all cores.

Δείγμα	Παράγων 1	Παράγων 2	Παράγων 3	Παράγων 4	Παράγων 5
14\1	-0,33480	-0,33430	1,28743	-0,15567	1,97556
14\2	-0,09725	-1,03676	-0,05670	-1,24687	0,28328
14\3	0,23223	-1,19980	-0,87666	-1,47361	0,27094
14\4	-0,20104	-0,34487	-0,82661	-0,89319	-0,27173
14\5	-0,62393	-0,81608	0,64244	-0,88886	1,49348
14\6	-0,95030	-0,31599	0,12196	-0,12101	0,13925
14\7	-0,77637	-0,26418	-0,50517	-0,44316	-0,92351
14\8	0,55211	-1,26194	-1,35278	-1,70180	0,34469
14\9	-0,32304	0,11081	-0,46371	-0,60943	-0,65004
14\10	-0,42135	-0,39027	2,64790	0,00204	-0,08068
14\11	1,08396	-0,39019	2,14646	0,33528	-1,30953
14\12	-0,28089	4,43262	0,34769	-0,46576	-0,12684
14\13	0,65985	0,34185	0,87535	-1,08025	-0,00933
14\14	-1,05906	0,17804	-0,63058	-0,33508	-1,48676
14\15	-1,14984	0,78622	-0,90064	-0,13426	-1,56635
14\16	-0,59581	-0,17337	-0,49765	-0,70170	-0,43717
24\1	2,38477	0,68031	-1,72584	-0,31072	0,08881
24\2	1,36219	1,57855	-0,80596	-0,09711	3,01965
24\3	0,23392	-0,04791	1,03784	-0,54384	0,79537
24\4	2,93227	-0,08909	0,15984	0,32746	-1,44071
24\5	0,19726	-0,18693	0,71635	0,25018	0,25700
24\6	2,00471	-0,49783	0,67549	0,45497	-1,44158
24\7	-0,20660	-0,65127	-0,30142	1,24780	0,82237
24\8	-0,35684	0,37494	0,17658	0,33330	0,37757
24\9	-0,19744	-0,45732	-0,30339	1,30269	0,83217
24\10	-0,25642	0,30738	-0,56267	2,08334	0,10922
24\11	-0,33279	0,15353	1,19774	1,48037	-0,25986
26\1	-1,07761	0,20438	0,04479	-0,37104	-0,34258
26\2	-0,91618	0,32040	-0,61800	-0,21095	-0,78142
26\3	-1,02215	0,20451	0,42922	-0,21756	-0,15592
26\4	-0,12571	-0,62455	-0,40643	1,64242	0,55242
26\5	-0,33789	-0,59088	-1,67289	2,54198	-0,07777

Πυρήνας Π14

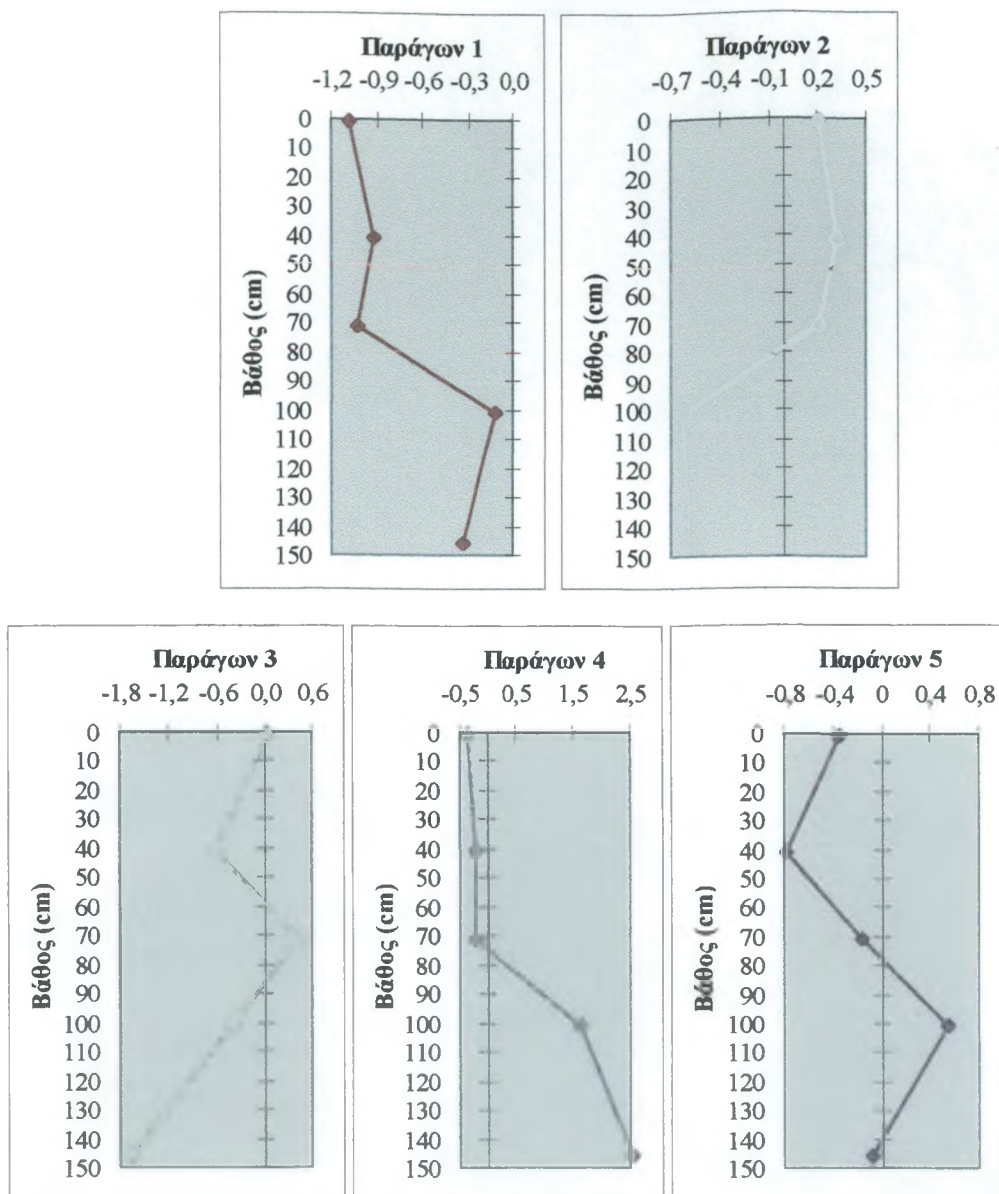
Εικ. 65a: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π14.

Fig. 65a: Vertical variation of factor scores of core Π14.

Πυρήνας Π24

Εικ. 65b: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π24.

Fig. 65b: Vertical variation of factor scores of core Π24.

Πυρήνας Π26

Εικ. 65c: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του πενταπλού παραγοντικού μοντέλου για τον πυρήνα Π26.

Fig. 65c: Vertical variation of factor scores of core Π26.

1.2 Παραγοντική ανάλυση R- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων στον Πυρήνα Π14 (R-mode factor analysis of surficial and sub-surficial sediments of Core Π14)

Η παραγοντική ανάλυση R- τύπου εφαρμόστηκε αποκλειστικά στα δείγματα του πυρήνα Π14 για ανίχνευση, πιθανώς λεπτομερέστερων διεργασιών μεταξύ των τάξεων μεγέθους των κόκκων (κοκκομετρικών τάξεων).

Το τετραμελές παραγοντικό μοντέλο που επιλέχθηκε εκφράζει το 88,4% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων.

Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 38,4% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 26) και παρουσιάζει καλές φορτίσεις στις τάξεις της λεπτόκοκκης άμμου και του αδρομερούς πηλού (2-6 ϕ) (Πιν. 27) καθώς και στο αργλικό κλάσμα (9-10 ϕ).

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 23,0% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 26) και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις στις τάξεις (0-3 ϕ) (Πιν. 27).

Η σύγκριση της επίδρασης των δύο παραγόντων (Πιν. 28) (Εικ. 66) δείχνει ότι η μεσόκοκκη άμμος (δείγματα 14/10-14/11) υπόκειται της λεπτόκοκκης (δείγματα 14/12-14/13), προσδίδοντας έτσι μία θετική διαβάθμιση των αποθέσεων της άμμου, στον πυρήνα Π14.

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 13,5% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει υψηλή φόρτιση στις τάξεις 6-7 ϕ και >10 ϕ με ιδιαίτερη έμφαση στο επιφανειακό δείγμα (Εικ. 66).

Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 13,1% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζεται διπολικός. Θετική φόρτιση παρουσιάζει η τάση 5-6 ϕ και αρνητική η τάξη 8-9 ϕ , εκφράζοντας την αντιπάθεια του πηλού με την άργιλο σε συγκεκριμένες στρώσεις του πυρήνα (Εικ. 66).

Πίνακας 26: Τετραπλό μοντέλο για τον πυρήνα Π14.

Table 26: Eigenvalues and cumulative percentage of variance of core Π14.

Παράγων	Ιδιοτιμή	Ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή	Αθροιστικό ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή
1	4,22054	38,4	38,4
2	2,52694	23,0	61,3
3	1,53172	13,9	75,3
4	1,44336	13,1	88,4
5	0,57272	5,2	93,6
6	0,38006	3,5	97,0
7	0,19487	1,8	98,8
8	0,07514	0,7	99,5
9	0,04513	0,4	99,9
10	0,00951	0,1	100,0
11	0,00000	0,0	100,0

Πίνακας 27: Πίνακας περιστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του τετραμελούς μοντέλου για τον πυρήνα Π14 (Varimax περιστροφή).

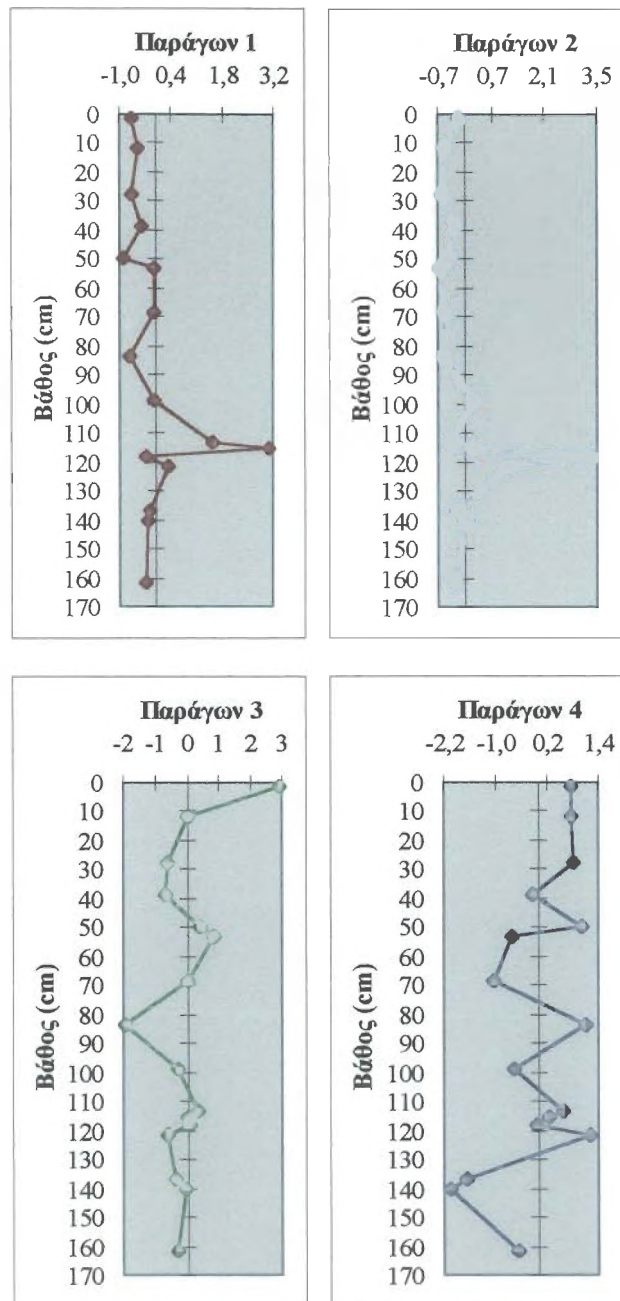
Table 27: Varimax rotated factor loadings of core Π14.

Τάξη ϕ	Παράγων 1	Παράγων 2	Παράγων 3	Παράγων 4
0-1	-0,06264	0,94815	-0,02437	-0,13810
1-2,0	0,08027	0,98510	-0,03142	0,02612
2,0-3,0	0,58352	0,69624	-0,13388	0,15696
3,0-4,0	0,94125	0,16674	-0,02178	0,13957
4,0-5,0	0,83706	0,23229	0,27504	0,30221
5,0-6,0	0,43183	0,10189	0,37958	0,63850
6,0-7,0	-0,44285	-0,14818	0,79071	0,26731
7,0-8,0	-0,56283	-0,22019	-0,57500	0,48806
8,0-9,0	-0,19010	0,06638	-0,05532	-0,96531
9,0-10,0	0,86103	-0,16819	0,04225	0,11596
>10	0,27913	-0,07849	0,80730	0,06872

Πίνακας 28: Παραγοντικές τιμές τετραμελούς μοντέλου για τον πυρήνα Π14.

Table 28: Factor scores of core Π14.

Δείγμα	Παράγον 1	Παράγον 2	Παράγον 3	Παράγον 4
14\1	-0,68271	-0,16365	2,96116	0,78706
14\2	-0,48112	-0,53001	0,01595	0,77946
14\3	-0,66959	-0,61609	-0,60961	0,83842
14\4	-0,41224	-0,27822	-0,68142	-0,14582
14\5	-0,89488	-0,43259	0,43656	1,01261
14\6	-0,06613	-0,66930	0,86987	-0,62395
14\7	-0,08369	-0,51049	0,01005	-1,03908
14\8	-0,70943	-0,55131	-1,90862	1,13205
14\9	-0,03799	0,20773	-0,26033	-0,55058
14\10	1,54248	-0,30190	0,33887	0,57315
14\11	3,10187	0,29232	0,00377	0,24627
14\12	-0,25986	3,37455	0,11856	-0,05909
14\13	0,35379	1,14561	-0,63903	1,20938
14\14	-0,16522	-0,21932	-0,35967	-1,64864
14\15	-0,22836	0,08389	-0,03205	-2,04407
14\16	-0,30691	-0,24660	-0,26407	-0,46716

Πυρήνας Π14

Εικ. 66: Κατακόρυφη κατανομή των παραγοντικών τιμών του τετραμελούς μοντέλου παραγοντικής ανάλυσης R- τύπου, για τον πυρήνα Π14
Fig. 66: Vertical variation of factor scores of core Π14.

2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ

ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ Q-ΤΥΠΟΥ (Q-mode factor analysis of surficial and subsurficial sediments)

2.1 Παραγοντική ανάλυση Q- τύπου επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων σε όλους τους πυρήνες (Q-mode factor analysis of surficial and subsurficial sediments of all cores)

Η παραγοντική ανάλυση Q- τύπου εφαρμόστηκε στα κοκκομετρικά δεδομένα 32 επιφανειακών και υποεπιφανειακών ιζημάτων των πυρήνων Π14, Π24, Π26, που συλλέχθηκαν από αντίστοιχα rockmarks του Πατραϊκού Κόλπου. Σκοπός της παραγοντικής ανάλυσης Q- τύπου είναι η ομαδοποίηση των δειγμάτων σύμφωνα με την κοκκομετρική τους σύσταση, σε συγκροτημένες ομάδες με αξιόπιστα στατιστικά κριτήρια.

Η επίλυση του πίνακα δεδομένων οδήγησε στον υπολογισμό 32 ιδιοτιμών που εκφράζουν το 100% της ολικής διακύμανσης (total variance) των δεδομένων.

Οι τέσσερις πρώτες ιδιοτιμές εκφράζουν το 89,5% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων (Πιν. 29), γεγονός που δηλώνει ότι η αποκοπή των 28 τελευταίων ιδιοτιμών και συνεπώς των αντίστοιχων παραγόντων, προκάλεσε απώλεια πληροφοριών μόνο 10,5% (Πιν. 29).

Η περιστροφή των παραγοντικών φορτίσεων σύμφωνα με το κριτήριο περιστροφής της μέγιστης διακύμανσης (varimax), οδήγησε στον υπολογισμό των περιστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων (Πιν. 30). Επιπλέον έγινε ο υπολογισμός των παραγοντικών τιμών κάθε παράγοντα (Πιν. 31).

Πρέπει να τονισθεί ότι οι παραγοντικές φορτίσεις στην Q- τύπου παραγοντική ανάλυση, συσχετίζουν τα δείγματα ιζήματος με τους παράγοντες ενώ οι παραγοντικές τιμές συνδέουν τις κοκκομετρικές τάξεις με τους παράγοντες. Οι προαναφερθείσες σχέσεις μεταξύ δειγμάτων, κοκκομετρικών τάξεων και παραγόντων, στην Q- τύπου παραγοντική ανάλυση είναι αντίστροφες έναντι αυτών που διαπιστώνονται στην R- τύπου ανάλυση.

Ο πρώτος παράγων ο οποίος είναι ο πιο σημαντικός στατιστικά εφόσον εκφράζει το 54,1% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει

υψηλές θετικές φορτίσεις σε ένα σημαντικό αριθμό δειγμάτων (12) κυρίως από τους πυρήνες Π14 και Π26 (Πιν. 29) (Εικ. 67). Τα προαναφερθέντα δείγματα συγκροτούν μία ομάδα εξαιτίας του υψηλού ποσοστού που παρουσιάζουν στην κοκκομετρική τάξη των 8-9 ϕ . Αυτό διαπιστώνεται από των υψηλή παραγοντική τιμή (2,82) που παρουσιάζει η συγκεκριμένη κοκκομετρική τάξη στον πρώτον παράγοντα (Πιν. 30).

Πίνακας 29: Τετραπλό μοντέλο για όλους τους πυρήνες.

Table 29: Eigenvalues and cumulative percentage of variance of all cores.

Παράγων	Ιδιοτιμή	Ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή	Αθροιστικό ποσοστό της διακύμανσης που εκφράζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή
1	17,31678	54,1	54,1
2	4,90892	15,3	69,5
3	3,56142	11,1	80,6
4	2,85782	8,9	89,5
5	1,34405	4,2	93,7
6	1,02481	3,2	96,9
7	0,54516	1,7	98,6
8	0,32682	1,0	99,6
9	0,09157	0,3	99,9
10	0,02264	0,1	100,0
11	0,00000	0,0	100,0
12	0,00000	0,0	100,0
13	0,00000	0,0	100,0
14	0,00000	0,0	100,0
15	0,00000	0,0	100,0
16	0,00000	0,0	100,0
17	0,00000	0,0	100,0
18	0,00000	0,0	100,0
19	0,00000	0,0	100,0
20	0,00000	0,0	100,0
21	0,00000	0,0	100,0
22	0,00000	0,0	100,0
23	0,00000	0,0	100,0
24	0,00000	0,0	100,0
25	0,00000	0,0	100,0
26	0,00000	0,0	100,0
27	0,00000	0,0	100,0
28	0,00000	0,0	100,0
29	0,00000	0,0	100,0
30	0,00000	0,0	100,0
31	0,00000	0,0	100,0
32	0,00000	0,0	100,0

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 15,3% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις σε οκτώ δείγματα ιζήματος τα οποία έχουν συλλεχθεί από το ανώτερο τμήμα των πυρήνων Π14 και Π24 (Πιν. 30) (Εικ. 67). Η συγκρότηση των προαναφερθέντων δειγμάτων σε ομάδα, οφείλεται κυρίως στο υψηλό ποσοστό συμμετοχής της κοκκομετρικής τάξης των 7-8 ϕ , όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα των παραγοντικών τιμών (Πιν. 31).

Πίνακας 30: Πίνακας περιστραμμένων παραγοντικών φορτίσεων του τετραμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες (Varimax περιστροφή).

Table 30: Varimax rotated factor loadings of all cores.

Δείγμα	Παράγον 1	Παράγον 2	Παράγον 3	Παράγον 4
14\1	0,12723	0,34840	0,69018	0,35428
14\2	0,27394	0,92176	0,22821	0,02650
14\3	0,19438	0,95584	0,16654	-0,06910
14\4	0,61867	0,73897	0,21003	-0,03688
14\5	0,32799	0,72468	0,53107	0,12092
14\6	0,82735	0,25910	0,47575	0,07500
14\7	0,91824	0,31420	0,20496	-0,01914
14\8	0,12001	0,97052	0,11497	-0,11242
14\9	0,86830	0,43592	0,20570	0,03530
14\10	0,36023	0,12139	0,38433	0,75725
14\11	-0,08117	0,01548	0,01839	0,97651
14\12	0,83932	0,33250	0,26614	0,31171
14\13	0,15363	0,85070	0,15682	0,40708
14\14	0,98028	0,06159	0,11706	-0,02884
14\15	0,76083	-0,14823	-0,14189	-0,23699
14\16	0,80227	0,53958	0,23748	-0,03859
24\1	0,24908	0,84419	0,36267	0,10837
24\2	0,07957	0,25550	0,68185	0,19650
24\3	0,26716	0,57876	0,52084	0,47527
24\4	-0,11402	0,01599	-0,07493	0,91235
24\5	0,46233	0,30095	0,62040	0,52874
24\6	-0,09615	0,04686	0,01305	0,92623
24\7	0,24845	0,34095	0,80949	0,04532
24\8	0,68174	0,29654	0,61140	0,19475
24\9	0,21920	0,33811	0,90633	0,03798
24\10	0,16093	0,02822	0,75574	-0,09864
24\11	0,25443	-0,19320	0,68318	0,54824
26\1	0,88193	0,32568	0,32619	0,02170
26\2	0,95306	0,14737	0,23359	-0,04004
26\3	0,90605	0,16941	0,36038	0,10221
26\4	0,21177	0,24096	0,74340	0,01308
26\5	0,21576	0,09164	0,72019	-0,38579

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 11,1% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει υψηλές θετικές φορτίσεις σε μία ομάδα δέκα

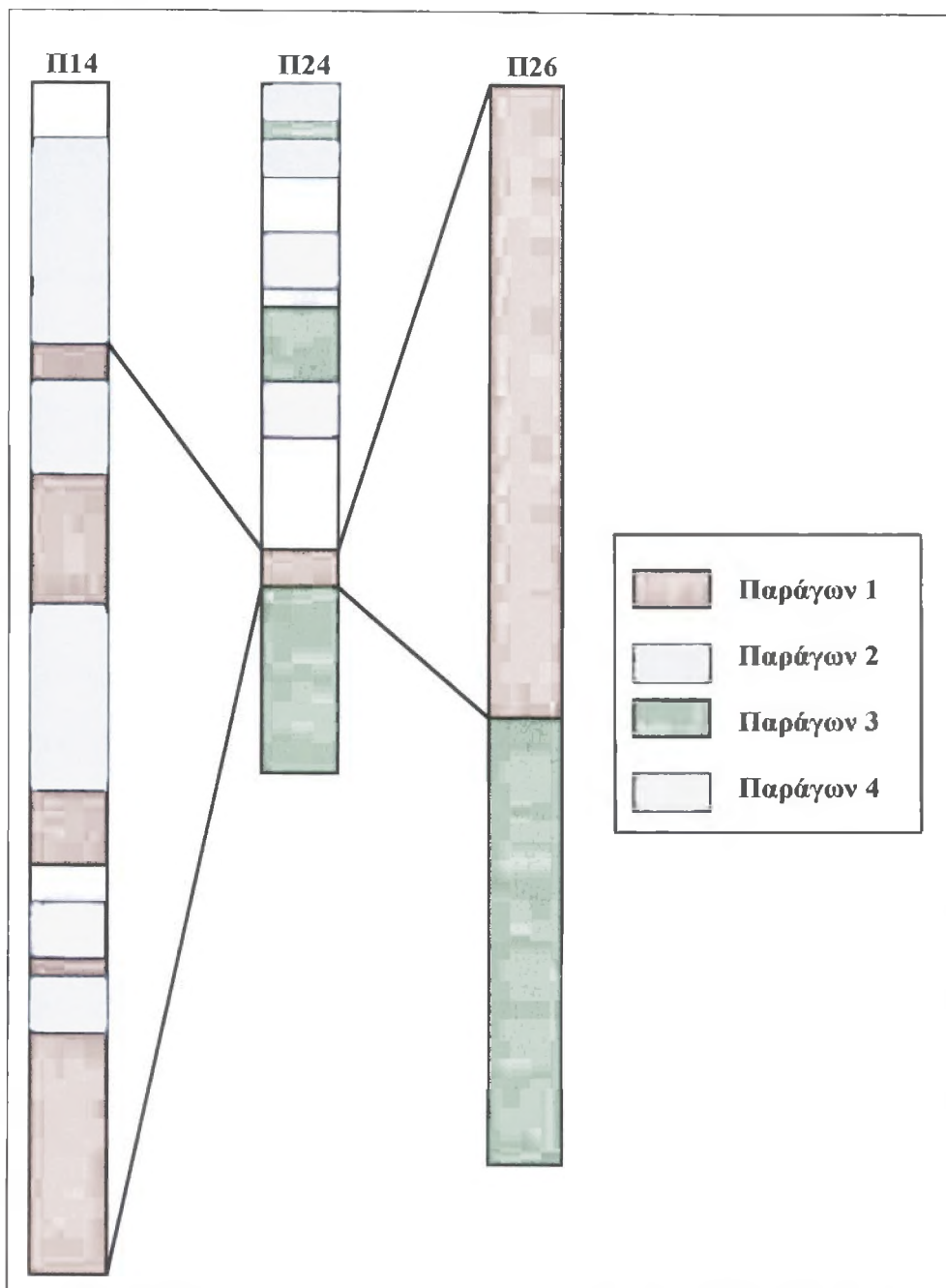
δειγμάτων τα οποία συλλέχθηκαν από το κατώτερο τμήμα των πυρήνων Π24 και Π26 (Πιν. 30) (Εικ. 67). Τα συγκεκριμένα δείγματα παρουσιάζουν διτυπικές κοκκομετρικές καμπύλες όπως δηλώνουν οι υψηλές θετικές παραγοντικές τιμές των τάξεων μεγέθους 5-7 ϕ και >9 ϕ (Πιν. 31).

Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 8,9% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και ομαδοποιεί τέσσερα δείγματα ιζήματος που συλλέχθηκαν από τρεις συγκεκριμένες ενστρώσεις των πυρήνων Π14 (110-115cm) και Π24 (25cm και 45cm) (Πιν.30) (Εικ. 67). Οι ενστρώσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκες γιατί συνίστανται από αδρόκοκκα ιζήματα όπως δηλώνουν οι υψηλές παραγοντικές τιμές (1,28-1,63) που παρουσιάζουν οι κοκκομετρικές τάξεις 3-4 ϕ , 4-5 ϕ και 5-6 ϕ (Πιν. 31).

Πίνακας 31: Παραγοντικές τιμές τετραμελούς μοντέλου για όλους τους πυρήνες.

Table 31: Factor scores of all cores.

Τάξεις ϕ	Παράγων 1	Παράγων 2	Παράγων 3	Παράγων 4
0-1	-0,50886	-0,30093	-0,84155	-0,75745
1-2,0	-0,16836	-0,44438	-1,01300	-0,84347
2,0-3,0	-0,55392	-0,16851	-0,83164	-0,49930
3,0-4,0	-0,45304	-0,18841	-1,00079	1,62803
4,0-5,0	-0,18045	-0,15079	-0,44015	1,46800
5,0-6,0	0,34813	0,28381	0,66810	1,27806
6,0-7,0	0,01437	0,29719	2,03240	0,24526
7,0-8,0	0,14761	2,81158	-0,25175	-0,70427
8,0-9,0	2,81959	-0,71103	-0,16644	-0,42178
9,0-10,0	-0,70424	-0,60119	0,98907	-0,29516
>10	-0,76083	-0,82735	0,85576	-1,09792



Εικ. 66: Διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής των παραγοντικών τιμών στους πυρήνες Π14, Π24, Π26.

Fig. 66: Vertical variation of the factor scores of cores Π14, Π24, Π26.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (CONCLUSIONS)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε για πρώτη φορά στον Ελληνικό χώρο μία συστηματική μελέτη του πεδίου κρατήρων διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων του Πατραϊκού Κόλπου, το οποίο είναι από τα μεγαλύτερα που έχει διαπιστωθεί στη Μεσόγειο Θάλασσα. Το πεδίο αυτό βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα του κόλπου στη θαλάσσια περιοχή έξω από την πόλη της Πάτρας.

Η γεωφυσική έρευνα που έγινε στην προαναφερθείσα περιοχή με τομογράφους υποδομής πυθμένα, ηχοβολιστή πλευρικής σάρωσης και βυθόμετρο, απέδωσε μία πολύ σαφή εικόνα της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων καθώς και του βαθμού της επίδρασής τους στη διαμόρφωση της μορφολογίας του πυθμένα, η διαρκής διαφυγή των οποίων την έχει αλλοιώσει χαρακτηριστικά.

Οι αλλοιώσεις που παρατηρούνται, αποτελούν αρνητικά τοπογραφικά γνωρίσματα στην επιφάνεια του πυθμένα -καταβυθίσεις, με ποικίλο βάθος και σχήμα και αποτελούν rockmarks.

Το σχήμα που διαπιστώνεται να έχουν είναι συμμετρικό και σε μερικές περιπτώσεις ασύμμετρο. Εμφανίζονται να είναι άλλοτε μεμονωμένα, άλλοτε σύνθετα ή σχηματισμένα πάνω σε ενεργά ρήγματα. Η συχνή εμφάνιση στις καταγραφές ακουστικών χαρακτήρων μορφής συγκλίνου, φανερώνει ότι τα τοιχώματα των κρατήρων χαρακτηρίζονται από μεγάλες κλίσεις.

Επίσης χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι στα πρηνή ενός αριθμού από αυτά παρατηρούνται κατολισθητικά φαινόμενα και κυρίως περιστροφικές κατολισθήσεις, στη μία μόνο, ή και στις δύο πλευρές των τοιχωμάτων τους, όπως και αποκολληθέντα τεμάχια τα οποία έχουν αποκολληθεί και ολισθήσει από τις πλευρές των κρατήρων αυτών, στον πυθμένα τους. Σε ορισμένα από αυτά παρατηρήθηκαν αποθέσεις ροών μαζών πιθανόν εξαιτίας της διάβρωσης των τοιχωμάτων των κρατήρων ενδεχομένως από την δράση ρευμάτων ή της αυξημένης σεισμικής δραστηριότητας της περιοχής.

Ενδεχομένως οι κρατήρες αυτοί να είναι ανενεργοί, οπότε έχουν αρχίσει να προσχώνονται καθώς πλέον υπόκεινται στις διαδικασίες και τους ρυθμούς της ιζηματογένεσης της ευρύτερης περιοχής, είτε η δραστηριότητά τους να έχει ανασταλεί, καθώς τα τεμάχια που έχουν αποκολληθεί από τα πρανή τους και ολισθήσει στον πυθμένα τους να αποτελούν εμπόδιο στην διαφυγή των αερίων.

Η παρουσία των αερίων υδρογονανθράκων στους πόρους των ιζημάτων διαπιστώνεται με τη μορφή σεισμοκονιασμένων περιοχών (ATZ) οι οποίες εντοπίζονται σε βάθος μεταξύ 7-20m από την επιφάνεια του πυθμένα και σε εξαιρετικές περιπτώσεις το βάθος αυτό φτάνει τα 25-30m. Οι περιοχές αυτές έχουν εύρος μεταξύ 7-15m, φτάνοντας μέχρι και τα 25m. Κάτω από τις βάσεις των rockmarks το βάθος στο οποίο παρατηρούνται σεισμοκονιασμένες περιοχές μειώνεται δραματικά, φτάνοντας σε σημείο επαφής με τον πυθμένα του κρατήρα. Σεισμοκονιασμένες περιοχές συχνά ακολουθούν καταγραφές έντονων ανακλάσεων οι οποίες σηματοδοτούν και την οροφή τους.

Χαρακτηριστική είναι η παρουσία ακουστικά διαφανών περιοχών κάτω από τα τοιχώματα και τον πυθμένα της πλειοψηφίας των rockmarks. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην διατάραξη της στρωμάτωσης των ιζημάτων εξαιτίας της διαφυγής αερίων και πιθανώς σε κάποιο πρόσφατο γεγονός διαφυγής τους. Η ύπαρξη αυτών των περιοχών κάτω από όλη την επιφάνεια των κρατήρων υποδηλώνει ότι η διαφυγή αερίων γίνεται απ' όλη την επιφάνεια του κρατήρα. Συχνά αυτές οι ζώνες ακουστικής διαφάνειας ακολουθούνται από σεισμοκονιασμένες περιοχές ενδεικτικές της παρουσίας αερίων υδρογονανθράκων στα ιζήματα κάτω από τους κρατήρες.

Κυρίαρχος, σε συχνότητα εμφάνισης στις καταγραφές, ακουστικός χαρακτήρας είναι οι έντονες ανακλάσεις.

Έντονες ανακλάσεις παρατηρούνται συνήθως από οριζόντες ιζημάτων οι οποίοι γειτνιάζουν στα τοιχώματα των κρατήρων, χωρίς αυτό να αποκλείει την παρουσία τους και σε μικρό συνήθως βάθος κάτω από τη βάση ορισμένων rockmarks.

Στις περιοχές όπου υπάρχουν rockmarks οι ανακλάσεις αυτές έχουν το εύρος των οριζόντων των ιζημάτων από τους οποίους προέρχονται. Στην περίπτωση αυτή οι ανακλάσεις αυτές έχουν περιορισμένο εύρος και μήκος, χωρίς

να ακολουθούνται πάντοτε από σεισμοκονιασμένες περιοχές. Οι ανακλάσεις αυτές μερικές φορές ακολουθούνται από ζώνες ακουστικής σκιάς, εξαιτίας του γεγονότος ότι η ενέργεια του ακουστικού κύματος απορροφάται από τις ανακλαστικές επιφάνειες που τις δημιουργούν.

Στις περιοχές όμως που δεν παρατηρούνται rockmarks, οι ανακλάσεις αυτές εντοπίζονται σε βάθος μεταξύ 25-30m και είναι μεγάλου εύρους (5-7m) και μήκους, σηματοδοτώντας την ανοδική μετακίνηση αερίων υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια του πυθμένα. Στις περιοχές αυτές ο πυθμένας αποτελείται από μεγάλα περιστρεφόμενα τεμάχια και μία σειρά ενεργών και μη, ρηγμάτων, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ζωνών αδυναμίας των ιζημάτων δια μέσου των οποίων οι αέριοι υδρογονάνθρακες βρίσκουν διόδους μετακίνησης. Στα σημεία αυτά εντοπίζονται δόμοι αερίων οι οποίοι προκαλούν παραμόρφωση των υπερκείμενων στρωμάτων ιζημάτων και ελαφρά αναθόλωση της επιφάνειας του πυθμένα. Συνολικά εντοπίστηκαν τρεις τέτοιοι δόμοι αερίων εύρους από 110m έως 155m και ύψους 7m, με μέσο εύρος τα 130m.

Επίσης διαπιστώνεται η παρουσία δόμων στα ιζήματα (intra-sedimentary doming). Οι δόμοι αυτοί προκαλούνται από την ανοδική κίνηση των αερίων υδρογονανθράκων και εμφανίζονται να συσχετίζονται τις περισσότερες φορές με έντονες ανακλάσεις, χωρίς το φαινόμενο αυτό να βρίσκει έκφραση στην επιφάνεια του πυθμένα (υπό τη μορφή αναθόλωσης για παράδειγμα, όπως συμβαίνει με τους δόμους των αερίων).

Αξιοσημείωτη είναι και η συχνότητα της παρουσίας πλουμών αερίων στην υδάτινη στήλη είτε πάνω από τα rockmarks, είτε πάνω από την επιφάνεια του πυθμένα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι τα συγκεκριμένα rockmarks είναι ενεργά και ότι η διαφυγή των αερίων δεν περιορίζεται μόνο στα πλαίσια των κρατήρων, αλλά λαμβάνει χώρα και από την επιφάνεια του πυθμένα. Στην περίπτωση ενός rockmark δημιουργημένου σε ενεργό ρήγμα, παρατηρήθηκε μία 'gas chimney' κάτω από τη βάση του, με την παράλληλη παρουσία πλούμας αερίων στην υδάτινη στήλη. Ακόμη παρατηρήθηκαν εκτεταμένες και μαζικές διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων στην υδάτινη στήλη με το αξιοσημείωτο ότι έλαβαν χώρα από την επιφάνεια του πυθμένα.

Καθώς πολλοί από τους κρατήρες που καταγράφηκαν εμφανίζονται να είναι ενεργοί, σε συνδυασμό με την παρουσία αερίων στους πόρους των ιζημάτων οι οποίοι μεταναστεύουν προς τα άνω, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το πεδίο των rockmarks είναι ενεργό και η διαφυγή των αερίων από τα ιζήματα συνεχής.

Όσον αφορά στα ιζηματολογικά δεδομένα, τρεις πυρήνες συλλέχθηκαν από ισάριθμα rockmarks ενός τμήματος του πεδίου το οποίο έχει αποτυπωθεί με λεπτομέρεια (βλ. Εικ. 59 και σχετικούς χάρτες στον Άτλαντα). Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων που έγιναν στους συλλεχθέντες πυρήνες επεξεργάστηκαν στατιστικά με πολυμεταβλητή μέθοδο ανάλυσης και συγκεκριμένα με την παραγοντική ανάλυση R-τύπου και Q-τύπου.

Η Q-τύπου παραγοντική ανάλυση παρουσιάζεται ιδιαίτερα αποτελεσματική σε τέτοιου τύπου δεδομένα και επιτρέπει ακόμη και την στρωματογραφική συσχέτιση των πυρήνων, ενώ επιπλέον δίδει πληροφορίες για τις διεργασίες ιζηματογένεσης στους κρατήρες διαφυγής αερίων υδρογονανθράκων.

Τα λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία ελέγχονται κυρίως από τα κοκκομετρικά κλάσματα των 7-8 ϕ και 8-9 ϕ και εκφράζονται από τους δύο πρώτους παράγοντες της Q-τύπου ανάλυσης, συγκροτούν κυρίως τον πυρήνα Π14 και σε λιγότερο βαθμό τον Π26. Η παρουσία τους δηλώνει ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης σε συνδυασμό με τη μεγάλη τροφοδοσία σε φερτά υλικά από τον ποταμό Γλαύκο. Οι ήρεμες αυτές συνθήκες ιζηματογένεσης έχουν αναπτυχθεί στα ανώτερα τμήματα των πυρήνων Π14 και Π26, στοιχείο που δηλώνει ότι αυτές είναι σύγχρονες, γεγονός που με τη σειρά του πιθανώς υποδηλώνει ότι τα αντίστοιχα rockmarks δεν είναι ενεργά.

Τα διτυπικά, όσον αφορά στην κοκκομετρία τους, ιζήματα που εκφράζονται από τον τρίτο παράγοντα, συγκροτούν το κατώτερο τμήμα των πυρήνων Π24 και Π26 (Εικ. 65). Ο διτυπικός χαρακτήρας τους υποδηλώνει παρόμοια πηγή τροφοδοσίας, ενώ η έντονη διαφοροποίηση των διτυπικών ιζημάτων όσον αφορά στην περιεκτικότητά τους σε οργανικό άνθρακα στους δύο πυρήνες ενισχύει την άποψη ότι στα αντίστοιχα rockmarks διαπιστώνονται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις στις ιζηματολογικές διεργασίες.

Τα αδρόκοκκα ιζήματα (3-6 ϕ) που εκφράζονται από τον τέταρτο παράγοντα, αντιπροσωπεύουν γεγονότα ιζηματογένεσης υψηλής ενέργειας. Τα γεγονότα αυτά διακόπτουν τον ήρεμο ρυθμό ιζηματογένεσης του Π14 και Π24, προκαλώντας ενστρώσεις αδρόκοκκων ιζημάτων.

Η θετική διαβάθμιση που διαπιστώνεται στις ενστρώσεις αυτές, δηλώνει την ανάπτυξη ενός μηχανισμού υδραυλικής διαβάθμισης κατά τη διάρκεια απόθεσής τους. Οι ενστρώσεις αυτές είναι πιθανώς αποτέλεσμα της πολύ υψηλής τροφοδοσίας του παρακείμενου ποταμού κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων. Το αδρομερές υλικό εγκλωβίστηκε στα συγκεκριμένα rockmarks, διακόπτοντας την ήρεμη ιζηματογένεση που επικρατεί στους υπό μελέτη κρατήρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Αναγνώστου, Χ. και Χρόνης, Γ.**, (1984) Τα σύγχρονα ιζήματα του Πατραϊκού Κόλπου, Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, 14-15 Μαΐου, Αθήνα, σελ. 500-505
- **Αβραμίδου, Δ.**, (1995) Αλιευτική Τεχνολογία Ι, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, pp.111
- **Βελτσίστας, Θ.**, (1988) Εργαστηριακές ασκήσεις Εδαφολογίας, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, pp.48
- **Ballard, R. D.**, (1985) How we found Titanic, National Geographic, Vol. 168, No. 6, pp. 696-719
- **Barnes, R. O. and Goldberg, E. D.**, (1976) Methane production and consumption in anoxic marine sediments, *Geology*, pp. 297-300
- **Γεωργακόπουλος, Α.**, (1990) Στοιχεία κοιτασματολογίας πετρελαίου, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη, 128σελ.
- **Chronis, G., Piper, D. J. W. and Anagnostou, C.**, (1991) Late Quaternary evolution of the Gulf of Patras, Greece: Tectonism, deltaic sedimentation and sea-level change, *Marine Geology*, Vol. 97, pp. 191-209
- **Dando P. R. and Hovland, M.**, (1992) Environmental effects of submarine natural gas, *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1197-1207
- **FAO**, (1980) Echo sounding and sonar for fishing, Fishing News Books Ltd., Great Britain, pp104
- **Folk, R. C.**, (1974) Petrology of sedimentary rocks, The University of Texas, Hamphill Publishing Co., Austin, Texas. pp. 182
- **Harrington, P. K.**, (1985) Formation of pockmarks by pore-water escape, *Geo-Marine Letters*, Vol. 5, pp. 193-197
- **Hasiotis, T., Papatheodorou, G., Kastanos, N. and Ferentinos, G.**, (1996) A pockmark field in the Patras Gulf (Greece) and its activation during the 14/7/93 seismic event, *Marine Geology*, Vol. 130, pp. 333-344

- **Hovland, M.**, (1984) Gas induced erosion features in the North Sea, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 9, pp. 209-228
- **Hovland, M., and Sommerville, J. H.**, (1985) Characteristics of two natural gas seepages in the North Sea, *Marine Petroleum Geology*, Vol. 2, pp. 319-326
- **Hovland, M., and Judd, A. G.**, (1988) Seabed Pockmarks and Seepages, Impact on geology, Biology and the Marine Environment, Graham and Trotman, London, pp.293
- **Judd, A. G., and Hovland, M.**, (1992) The evidence of shallow gas in marine sediments, *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1081-1095
- **Κάτουλας, Μ.Ε.**, (1972) Εισαγωγή εις την συστηματικήν ζωολογίαν, Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 149σελ.
- **Κουστός, Ζακ- Υβ**, (1975) Τρεις Περιπέτειες: Αρχιπέλαγος Γκαλαπάγκος, Λίμνη Τιτικάκα, Μπλε Τρύπες, Εκδόσεις «Αλκυών», Αθήνα
- **Λαμπροπούλου, Ε. Κ.**, (1996) Κατολισθητικά φαινόμενα στην υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ Κυλλήνης- Ζακύνθου, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- **Laier. T., Jørgensen, N. O., Buchardt, B., Cederberg, T., and Kuijpers, A.**, (1992) Accumulation and seepages of biogenic gas in Northern Denmark, *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1173-1186
- **Long, D.**, (1992) Devencian Late-glacial gas escape in the central North Sea, *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1097-1110
- **Ματαράγκας, Δ., Αγγελόπουλος, Ι. και Περισσοράτης, Κ.**, (1984) Η συμβολή της υποθαλάσσιας γεωλογίας στην εφαρμοσμένη έρευνα και οι δραστηριότητες του ΙΓΜΕ στον τομέα αυτό, Πρακτικά 1^ο Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, 14-15 Μαΐου, Αθήνα, σελ. 418-426
- **Newton, R. S., Cunningham, R. C. and Schubert, C. E.**, (1980) Mud volcanoes and pockmarks: seafloor engineering hazards or geological curiosities?, 12th Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 5-8, pp. 425-435
- **Ξένος, Κ.**, (1993) Χημική Ωκεανογραφία ΙΙ, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, 87σελ.

- **Παπαθεοδώρου, Γ.**, (1990) Διεργασίες σύγχρονης ιζηματογένεσης στον Κορινθιακό Κόλπο, Τόμος Ι: Θαλάσσια Γεωλογία, Τόμος ΙΙ: Ιζηματολογία, Τόμος ΙΙΙ: Γεωχημεία, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, σελ.240
- **Παπαθεοδώρου, Γ.**, (1994) Πρακτικές & Εργαστηριακές Ασκήσεις Χημικής Ωκεανογραφίας Ι, Μέρος Ι, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, 102σελ.
- **Παπαθεοδώρου, Γ.**, (1995) Πρακτικές & Εργαστηριακές Ασκήσεις Χημικής Ωκεανογραφίας Ι, Μέρος Ι, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, 133σελ.
- **Παπαθεοδώρου, Γ., Χασιώτης, Θ., Φερεντίνος, Γ. και Βογιατζάκης, Ι.**, (1995) Θαλάσσιες γεωλογικές και ανθρωπογενείς επικινδυνότητες και οι επίδρασή τους στην πόντιση αγωγών και καλωδίων, Επιστημονικές εκδόσεις Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω. Τεύχος 2, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 150 σελ.
- **Παπαθεοδώρου, Γ.**, (1996) Γεωλογία Περιβάλλοντος, Μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ρύπανσης των θαλασσιών ιζημάτων από βαρέα μέταλλα, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Εκτυπωτικό Κέντρο, 129σελ.
- **Παπαθεοδώρου, Γ. και Κοντόπουλος, Ν.**, (1998) Καθορισμός των διευθύνσεων μεταφοράς των επιφανειακών ιζημάτων του Πατραϊκού και Αμβρακικού Κόλπου με τη χρήση της μεθόδου Mc Laren, Πρακτικά 8^{ου} Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας (Υπό εκτύπωση)
- **Παπανικολάου, Δ., Σιδέρης, Χ.**, (1996) Γεωλογία Α' Λυκείου, Έκδοση ΙΒ', Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, 182σελ.
- **Papathodorou, G., Hasiotis, T. and Ferentinos, G.**, (1993) Gas-charged sediments in the Aegean and Ionian Seas, Greece, *Marine Geology*, Vol. 112, pp. 171-184
- **Pickrill, R. A.**, (1993) Shallow seismic stratigraphy and pockmarks of a hydrothermally influenced lake, Lake Rotoiti, New Zealand, *Sedimentology*, Vol. 40, pp. 813-828
- **Piper, D. J. W. and Panagos, A. G.**, (1979) Surficial sediments of the Gulf of Patras, *Thalassografica*, Vol. 3. No. 1, Institute of Oceanographic and Fisheries Research, Athens, pp. 5-20

- **Piper, D. J. W., Panagos, A. G., Kontopoulos. N. and Spiliotopoulou, M.,** (1982) Coastal processes and morphology, Gulf of Patras, Greece, *Z. Geomorph. N. F.*, Vol. 26, No. 3, pp. 365-374
- **Ραβασόπουλος, Ι. και Παπαθεοδώρου, Γ.,** (1997) Διαφυγές αερίων υδρογονανθράκων από τα θαλάσσια ιζήματα και η επίδρασή τους στις υδατοκαλλιέργειες, *Αλιευτικά Νέα*, Τεύχος 187, Ιανουάριος 1997, Πειραιάς, pp.81-87
- **Ross, D. A.,** (1995) Introduction to oceanography, HarperCollins College Publishers, New York pp.496
- **Rice, D. D. and Claypool, G. E.,** (1981) Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas, pp. 5-25
- **Scanlon, K. M., and Knebel, H. J.,** (1989) Pockmarks in the floor of Penobscot Bay, Maine, *Geo- Marine Letters*, Vol. 9, pp. 53-58
- **Smith, G. C. and Floodgate, G. D.,** (1992) A chemical method for estimating methanogenic biomass, , *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1187-1196
- **Τσελεπή-Τσουκαρέλλα, Μ.-Ρ.,** (1994) Συστηματική υδροβίων οργανισμών Ι, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι 112σελ.
- **Τσιγγέλης, Μ.,** (1994) Βιομετρία Ι, Τμήμα Ιχθυοκομίας & Αλιείας, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, Μεσολόγγι, 95σελ.
- **Τσιραμπίδης, Α. Ε.,** (1987) Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη, 122σελ.
- **Τσίτσιος, Κ. Κ.,** (1992) Εδαφολογία, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, pp.270
- Taylor, D. I., (1992) Nearshore shallow gas around the U.K. coast, *Continental Shelf Research*, Vol. 12, No. 10, pp. 1135-1144
- **Φερεντίνος, Γ.,** (1985) Τεχνική Ωκεανογραφία, Τόμος Ι: Βυθομετρία-Μορφολογία- Γεωλογία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 209σελ.
- **Χριστίδης, Γ.,** (1997) Δημιουργία και μετανάστευση του πετρελαίου, μία πολύπλοκη διαδικασία, *Περισκόπιο της Επιστήμης*, Τεύχος 207, Ιούνιος 1997, σελ. 20-28

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΕΝΥΔΑΤΩΜΕΝΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (GAS HYDRATES, CLATHRATES)

Οι ενυδατωμένοι υδρογονάνθρακες είναι κρυσταλλικές ενώσεις από μόρια νερού, στο κρυσταλλικό πλέγμα των οποίων περιέχονται μόρια φυσικού αερίου (κυρίως μεθάνιο), κάτω από κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Hovland, 1984). Οι ενυδατωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν δύο τύπους κρυσταλλικού πλέγματος:

A) Ο πρώτος τύπος είναι μικρού μεγέθους, διατηρώντας 8 μόρια CH_4 ενωμένα μαζί με 46 μόρια νερού και

B) Ο δεύτερος τύπος είναι μεγαλύτερου μεγέθους, έχοντας 136 μόρια νερού. Οι ενυδατωμένοι υδρογονάνθρακες μπορούν να συγκρατήσουν 6 φορές περισσότερο αέριο από τους πόρους ενός ιζήματος, το οποίο, κατά την αποσύνθεση των ενυδατωμένων υδρογονανθράκων θα αυξηθεί σε όγκο (Hovland and Judd, 1988).

Οι ενυδατωμένοι υδρογονάνθρακες συνήθως σχηματίζονται στους πόρους των ιζημάτων όταν οι αέριοι υδρογονάνθρακες που περιέχονται σ' αυτά πλησιάσουν ή υπερβούν το σημείο κορεσμού, οπότε αντιδρούν με το νερό. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν σε βάθη νερού άνω των 250m (Φερεντίνος, 1985).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ STOKES

Η κοκκομετρική ανάλυση για το διαχωρισμό των λεπτόκοκκων ιζημάτων, βασίζεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα πτώσης μεμονωμένων κόκκων (τεμαχιδίων) που βρίσκονται ως αιώρημα μέσα σε υγρό (συνήθως σε νερό), εξαρτάται από το μέγεθός τους και αυξάνει, όταν αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων (Τσίτσιας, 1992). Η σχέση που υπάρχει μεταξύ της ισοδύναμης ακτίνας (r) των κόκκων και της ταχύτητας πτώσης (V), δίνεται από την εξίσωση:

$$V = K * r^2$$

όπου: K : σταθερά που εξαρτάται από την πυκνότητα των τεμαχιδίων και την πυκνότητα και το ιξώδες του υγρού

Η πλήρης εξίσωση, η οποία είναι γνωστή και ως **Νόμος του Stokes**, είναι η εξής:

$$V = \frac{2gr(D-d)}{9n}$$

όπου V : Η ταχύτητα πτώσης των κόκκων σε cm/sec

D : Η πυκνότητα των κόκκων (συνήθως είναι 2,65 g/cm³)

d : Η πυκνότητα του υγρού (για το νερό είναι 1 g/cm³)

r : Η ακτίνα του κόκκου σε cm

n : Το ιξώδες του υγρού σε απόλυτες μονάδες (για το νερό είναι 0,0008937, σε θερμοκρασία 25°C)

g : Η επιτάχυνση της βαρύτητας (981 cm/sec²)

Με το νόμο του Stokes υπολογίζεται η οριακή μέγιστη τιμή της ταχύτητας μιας σφαίρας που αφήνεται να βυθιστεί ελεύθερα μέσα σε υγρό απεριόριστης έκτασης, Αν ένα σημείο βρίσκεται σε βάθος h (σε cm) κάτω από την επιφάνεια του

εδαφικού αιωρήματος, τότε ο μέγιστος χρόνος t που απαιτείται για να το φτάσει μια σφαίρα διαμέτρου $\delta = 2r$ (σε cm) δίνεται από τη σχέση:

$$t = \frac{h}{V}$$

όπου V : Η ταχύτητα πτώσης που υπολογίζεται από το νόμο του Stokes.

Ο νόμος του Stokes εφαρμόζεται για κόκκους διαμέτρου 0,2-0,0002mm (2ϕ).

Η εφαρμογή του νόμου του Stokes στα εργαστηριακά πειράματα δεν παρέχει ακριβή αποτελέσματα διότι:

- Το σχήμα των κόκκων είναι ανομοιόμορφο και όχι σφαιρικό.
- Κάθε κόκκος επηρεάζεται από την κίνηση του υγρού που προκαλείται από τους άλλους κόκκους.
- Η πτώση των κόκκων κοντά στα τοιχώματα του δοχείου είναι διαφορετική από την πτώση στο κέντρο του.
- Η καθίζηση των κόκκων διαταράσσεται από την εισαγωγή του οργάνου μετρήσεως (πιπέττα ή υδρόμετρο).

Για τη μείωση των σφαλμάτων χρησιμοποιούνται μεγάλα δοχεία, μικρές ποσότητες δειγμάτων και κατάλληλη τεχνική κατά την εισαγωγή του οργάνου μετρήσεως. Το σφάλμα που οφείλεται στην ανομοιομορφία του σχήματος των κόκκων είναι αναπόφευκτο, οπότε θεωρείται ότι κάθε κόκκος έχει το ίδιο ειδικό βάρος και την ίδια ταχύτητα πτώσης σα μία σφαίρα με διάμετρο δ .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ (GRAIN SIZE ANALYSIS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανομή των κόκκων ενός ιζήματος είναι συνάρτηση της φύσης των μητρικών πετρωμάτων, το είδος της αποσάθρωσης, τη διάβρωση και τις διεργασίες ταξινόμησης που επιδρούν στους κόκκους κατά τη μεταφορά τους στους χώρους απόθεσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα χώρο απόθεσης είναι φυσικοί, χημικοί και βιολογικοί.

Η κοκκομετρική ανάλυση ενός ιζήματος είναι απαραίτητη για την περιγραφή του ίδιου του ιζήματος, την διερεύνηση των διαδικασιών από τις οποίες προήλθε και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την παλαιοκλιματολογία και την παλαιογεωγραφία μιας περιοχής.

Οι λόγοι για τους οποίους γίνεται μια κοκκομετρική ανάλυση είναι οι εξής (Τσιραμπίδης, 1987):

- ♣ Το μέγεθος των κόκκων αποτελεί βασικό μορφομετρικό χαρακτηριστικό του ιζήματος.
- ♣ Οι κοκκομετρικές κατανομές των ιζημάτων που αποτίθενται σε ορισμένο περιβάλλον είναι συνήθως χαρακτηριστικές.
- ♣ Μία λεπτομερής κοκκομετρική μελέτη μπορεί να προσφέρει πληροφορίες σχετικές με τους φυσικούς μηχανισμούς που ενεργούν κατά τη διάρκεια της απόθεσης.
- ♣ Το μέγεθος των κόκκων μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη διαγένεση των υπό μελέτη ιζημάτων ή να σχετίζεται με άλλες ιδιότητές των ιζημάτων όπως είναι η διαπερατότητα.

Από τη μελέτη του ιστού ενός κλαστικού ιζήματος παρέχονται πληροφορίες για το βαθμό με τον οποίο οι φυσικές διεργασίες έχουν επιδράσει πάνω στους κόκκους του κατά τη μεταφορά και απόθεσή τους. Το σύνολο των κόκκων ενός ιζήματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πληθυσμός κόκκων.

Επομένως, τα χαρακτηριστικά του ιστού όλων των κόκκων θα αποτελούν στατιστικές παραμέτρους του ιζήματος. Η πιο προσιτή παράμετρος για υπολογισμούς, είναι η εκατοστιαία κατά βάρος σύσταση των κόκκων μεταξύ διαφορετικών ορίων μεγέθους. Η κοκκομετρική κατανομή που προκύπτει, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό άλλων στατιστικών παραμέτρων οι οποίες θα δώσουν πληροφορίες σχετικές με τις συνθήκες απόθεσης και τα μητρικά πετρώματα προέλευσης των κόκκων αυτών.

Για να υπολογιστεί το μέγεθος των κόκκων θα πρέπει να επιλεγεί μια κλίμακα. Η κλίμακα κατασκευάστηκε από τον Udden, ενώ ονόματα για τα διαστήματα των κλάσεων προτάθηκαν από τον Wentworth το 1922. Ο Krumbein (1934) κατασκεύασε την κλίμακα των phi (ϕ) ως λογαριθμική μετατροπή της κλίμακας του Wentworth.

Συνεπώς ως phi (ϕ) ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος με βάση το 2, της διαμέτρου (d) του κόκκου εκφρασμένη σε χιλιοστά (mm):

$$\phi = -\log_2 d \text{ (η } d \text{ σε mm)}$$

Μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από μερικά εκατοστά συνήθως προσδιορίζεται με άμεση μέτρηση με διαβήτες ή υποδεκάμετρα. Κόκκοι μέχρι τα 4ϕ (0,062 mm) μετρώνται με τη μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος, ενώ μεγάθη κόκκων μεγαλύτερα των 4ϕ , όπως είναι ο πηλός και η άργιλος, μετρώνται με τη μέθοδο της πιπέττας ή του υδρομέτρου. Η άμμος μπορεί επίσης να μετρηθεί με πετρογραφικό μικροσκόπιο ή από άλλες συσκευές καθίζισης.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παρουσιάζονται με τη μορφή ιστογραμμάτων, αθροιστικών καμπυλών ή καμπύλων συχνότητας. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάζονται μέσω μαθηματικών παραμέτρων οι οποίες επιτρέπουν άμεση σύγκριση μεταξύ των δειγμάτων. Ως μετρήσεις μέσου μεγέθους, χρησιμοποιούνται συχνά η διάμεσος (median), η πιθανότερη τιμή (mode) και ο σταθμικός μέσος ή μέση τιμή (mean).

Για μετρήσεις διαβάθμισης (sorting) χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση (standard deviation), όπως επίσης και οι στατιστικές παράμετροι λοξότητα (skewness) και κύρτωση (kurtosis).

Η παραδοχή οποιασδήποτε ανάλυσης που βασίζεται σε ένα μοναδικό δείγμα είναι παρακινδυνευμένη, εκτός αν το δείγμα είναι γνωστό ότι είναι αντιπροσωπευτικό.

Επίσης επικρατεί η λανθασμένη άποψη ότι, εάν ένα ίζημα είναι λεπτόκοκκο, θα πρέπει να βρίσκεται μακριά από την πηγή, ενώ εάν είναι αδρόκοκκο, θα πρέπει να είναι πλησίον αυτής.

Το μέγεθος των κόκκων εξαρτάται από την ισχύ του ρεύματος του τοπικού περιβάλλοντος (σε συνάρτηση με το μέγεθος των διαθέσιμων κόκκων) και όχι από την απόσταση.

2.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

2.1 Παράμετροι κεντρικής θέσης ή μέτρα θέσης

2.1.1 Κορυφή ή Πιθανότερη τιμή ή Επικρατούσα τιμή (Mode) X_k

Είναι η τιμή της παρατήρησης X που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα και αντιστοιχεί στο υψηλότερο σημείο της καμπύλης κατανομής συχνοτήτων της μεταβλητής. Χρησιμοποιείται κυρίως για μεταβλητές μετρημένες με ονομαστική κλίμακα ή για ομαδοποιημένες μετρήσεις με συνεχή κλίμακα (π.χ. κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα).

Όταν πρόκειται για ταξινομημένες ή ομαδοποιημένες μετρήσεις, ως κορυφή θεωρείται το μέσον της κλάσης με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Εφαρμόζοντας τον ορισμό υπολογίζεται η επικρατούσα τιμή σε αταξινόμητες και ταξινομημένες ασυνεχείς παρατηρήσεις. Όταν πρόκειται για ταξινομημένη συνεχή κατανομή, εφαρμόζεται ο τύπος:

$$X_k = \alpha_{i-1} + \frac{\delta^* \Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}$$

όπου: α_{i-1} : το αριστερό άκρο της τάξης (κλάσης) στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη συχνότητα f_i .

δ : το πλάτος της τάξης στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη συχνότητα f_i .

Δ_1 : η διαφορά $f_i - f_{i-1}$, $f_i - f_{i+1}$, όπου f_i είναι η μέγιστη συχνότητα.

Δ_2 : η διαφορά $f_i - f_{i+1}$, όπου f_i είναι η μέγιστη συχνότητα.

2.1.2 Διάμεσος (Median) $X_{1/2}$ ή X_{50}

Διάμεσος ορίζεται η παράμετρος που χωρίζει τις τιμές της μεταβλητής σε δύο ίσες ομάδες. Αντιστοιχεί δηλαδή σε αθροιστική συχνότητα 50%. Με άλλες λέξεις, οι μισές μετρήσεις της μεταβλητής X έχουν τιμή μεγαλύτερη από $X_{1/2}$ και οι άλλες μισές μικρότερες από $X_{1/2}$.

Όταν οι παρατηρήσεις είναι ταξινομημένες και η κατανομή είναι συνεχής για τον υπολογισμό της διαμέσου σχηματίζονται πρώτα οι αθροιστικές συχνότητες F_1, F_2, \dots, F_n και στη συνέχεια βρίσκονται δύο συνεχόμενες αθροιστικές συχνότητες που να ικανοποιούν τη σχέση:

$$F_{i-1} < \frac{N}{2} < F_i$$

Η διάμεσος δίνεται από τον τύπο:

$$X_{50} = a_{i-1} + \frac{\delta}{f_i} * \left(\frac{N}{2} - F_{i-1} \right)$$

όπου: a_{i-1} : το αριστερό άκρο της τάξης (κλάσης) στην οποία αντιστοιχεί η αθροιστική συχνότητα F_i .

f_i : η συχνότητα της τάξης στην οποία αντιστοιχεί η αθροιστική στην οποία αντιστοιχεί η αθροιστική συχνότητα F_i .

δ : το πλάτος της τάξης στην οποία αντιστοιχεί η αθροιστική συχνότητα F_i .

N : ο συνολικός αριθμός συχνοτήτων της κατανομής ($N = \sum F_i$).

2.2. Μέσοι κεντρικής τάσης

2.2.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτών των παραμέτρων είναι η αντιπροσώπευση ενός πληθυσμού ή δείγματος από την άποψη μίας μεταβλητής κατά τον απλούστερο και συντομότερο τρόπο. Οι κυριότερες παράμετροι κεντρικής θέσης ή τάσης περιγράφονται παρακάτω.

2.2.2 Αριθμητικός μέσος ή μέση τιμή (Mean) \bar{x}

α) Αστάθμητος αριθμητικός μέσος.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \Leftrightarrow \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

όπου n : το πλήθος των τιμών της μεταβλητής

β) Σταθμικός αριθμητικός μέσος.

Για ταξινομημένες παρατηρήσεις διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Μεταβλητή ασυνεχής

Όταν η μεταβλητή είναι ασυνεχής τότε ο αριθμητικός μέσος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\bar{x} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_i x_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i} \Leftrightarrow \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum f_i}$$

όπου x_i : οι τιμές της μεταβλητής (x_i)

f_i : οι συχνότητες εμφάνισης της μεταβλητής (x_i)

• Μεταβλητή συνεχής (κατανομή συχνοτήτων κατά τάξεις)

Όταν τα δεδομένα εμφανίζονται σε μορφή κατανομής συχνοτήτων κατά τάξεις, τότε σαν x_i , λαμβάνονται τα κέντρα των τάξεων και ο αριθμητικός μέσος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\bar{x} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_n x_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} \Leftrightarrow \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_{im}}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

όπου f_i : η συχνότητα εμφάνισης

x_{im} : το μέσον της τάξης i

Η μέση τιμή ενός δείγματος χρησιμοποιείται και ως εκτίμηση της μέσης τιμής του πληθυσμού γιατί έχει δύο σημαντικές ιδιότητες.

A. Αποτελεί αμερόληπτη εκτίμηση της μέσης τιμής του πληθυσμού. Δηλαδή αν ληφθούν πολλά δείγματα ενός πληθυσμού, ο μέσος όρος των τιμών των δειγμάτων θα είναι ίσος με τη μέση τιμή του πληθυσμού.

B. Για κανονικές κατανομές η μέση τιμή ενός δείγματος είναι πλησιέστερα στη μέση τιμή του πληθυσμού, από κάθε άλλη αμερόληπτη εκτίμηση. Είναι επομένως αποτελεσματικότερη εκτιμήτρια της μέσης τιμής του πληθυσμού.

3. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Ο αριθμητικός μέσος (mean), η πιθανότερη τιμή (mode), η διάμεσος (median) και η τυπική απόκλιση (standard deviation), έχουν ως σκοπό να αντιπροσωπεύσουν τον πληθυσμό με μία παράμετρο η οποία θα δίνει το σημείο στο οποίο τείνουν να συγκεντρωθούν οι τιμές της μεταβλητής του υπό μελέτη πληθυσμού ή δείγματος.

Η αντιπροσώπευση όμως ενός πληθυσμού ή δείγματος με μία από τις παραπάνω παραμέτρους έχει αξία όταν ο πληθυσμός παρουσιάζει ομοιογένεια.

Εάν ο πληθυσμός παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένεια, τότε τα μέτρα κεντρικής θέσης και τάσης, δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως αντιπροσωπευτικοί αριθμοί ενός πληθυσμού.

Διασπορά καλείται ο βαθμός κατά τον οποίο οι διάφορες τιμές ενός πληθυσμού τείνουν να είναι διεσπαρμένες γύρω από τον αριθμητικό μέσο. Επομένως χρειάζεται ένας δείκτης που να δίνει το βαθμό συγκέντρωσης ή διασποράς των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο. Καθίσταται αναγκαία δηλαδή η χρήση ορισμένων παραμέτρων οι οποίες να περιγράφουν τη συμπεριφορά των τιμών μιας κατανομής γύρω από τους κεντρικούς μέσους. Αυτές οι παράμετροι καλούνται **μέτρα διασποράς**.

Ορισμένα από τα μέτρα διασποράς έχουν άλλη εξίσωση ορισμού όταν αναφέρονται σε πληθυσμούς και άλλη όταν αναφέρονται σε δείγματα. Αυτό είναι αναγκαίο ώστε τα μέτρα διασποράς των δειγμάτων να είναι **αμερόληπτες εκτιμήσεις** των αντιστοίχων μέτρων διασποράς των πληθυσμών.

3.2 Εύρος διασποράς ή Πλάτος διασποράς (Range) E_x

Εύρος διασποράς είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της μεταβλητής x :

$$E_x = x_{\max} - x_{\min}$$

Σε ταξινομημένες παρατηρήσεις το εύρος μεταβολής προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ του δεξιού άκρου της τελευταίας τάξης και του αριστερού άκρου της πρώτης. Αγνοεί όλες τις τιμές της μεταβλητής x , δίνει ψεύτικη εικόνα της έντασης της διασποράς και είναι το λιγότερο χρησιμοποιούμενο μέτρο της διασποράς.

3.3 Δειγματική διακύμανση (Sample variance) s^2

Ορίζεται για μετρήσεις x ενός δείγματος από την σχέση:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

ή από την σχέση:

$$s^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}$$

3.4 Δειγματική τυπική απόκλιση (Sample standard deviation) s

Σε αντιστοιχία με την τυπική απόκλιση, ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της δειγματικής διακύμανσης:

$$s = \sqrt{s^2} \Leftrightarrow s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Επομένως και από την σχέση:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}}$$

4. ΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

4.1 Συντελεστής ασυμμετρίας ή λοξότητα (Skewness)(Sk) α_3

Η τιμή της γραφικής λοξότητας χρησιμοποιείται ως δείκτης ανάμειξης δύο πληθυσμών ιζημάτων αλλά και ως δείκτης του μηχανισμού ‘λιχνίσματος’ (winnowing) σε ένα ίζημα (Spencer, 1963) ή τέλος ως δείκτης περιβαλλόντων (Folk & Ward, 1957). Είναι καθαρός αριθμός.

Ιζήματα με ομοιοτυπική κατανομή χαρακτηρίζονται από τιμές λοξότητας σχεδόν μηδενικές.

Ιζήματα που προέρχονται από ανάμειξη δύο υποπληθυσμών, παρουσιάζουν ακραίες θετικές τιμές όταν ο αδρομερέστερος υποπληθυσμός καταλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής. Αντίθετα, όταν ο λεπτομερέστερος υποπληθυσμός εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό τα ιζήματα παρουσιάζουν ακραία αρνητικές τιμές.

Η κατανομή είναι σχεδόν συμμετρική και η λοξότητα τείνει στο μηδέν, όταν οι δύο υποπληθυσμοί συμμετέχουν στο ίζημα σε ίσα ποσοστά (Folk & Ward, 1957).

Η κατανομή έχει αρνητική λοξότητα όταν οι τιμές της κατανομής είναι μεγαλύτερες της μέσης τιμής, ενώ έχει θετική λοξότητα όταν είναι μικρότερες της μέσης τιμής.

Μέτρο της λοξότητας μιας κατανομής είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας που για ταξινομημένες σε τάξεις παρατηρήσεις υπολογίζεται από την σχέση:

$$\alpha_3 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_{im} - \bar{x})^3 f_i}{s^3}$$

όπου f_i : η σχετική συχνότητα

x_{im} : το μέσο της τάξης i

Θετικές τιμές λοξότητας φανερώνουν ότι στο υπό εξέταση περιβάλλον προστίθεται λεπτομερές κλάσμα, ενώ αρνητικές τιμές δηλώνουν προσθήκη αδρομερούς κλάσματος (Folk & Ward, 1957, Spencer, 1963).

4.2 Συντελεστής κύρτωσης (Kurtosis) (Ku) α_4

Εκφράζει το λόγο διαβάθμισης (sorting) των άκρων (tails) της κατανομής του μεγέθους των κόκκων, προς τη διαβάθμιση του κεντρικού τμήματός της.

Αποτελεί μέτρο συγκέντρωσης των δεδομένων σε κάποια κλάση. Αν συγκεντρώνεται μεγάλος αριθμός παρατηρήσεων σε μία ή δύο γειτονικές τάξεις, η καμπύλη κατανομής είναι οξύληκτη και ονομάζεται **λεπτόκυρτη**. Αν οι παρατηρήσεις είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα σε όλες τις τάξεις, η καμπύλη έχει 'επίπεδη εμφάνιση και ονομάζεται **πλατύκυρτη**. Όταν η κατανομή είναι κανονική έχει μέση κύρτωση και ονομάζεται **μεσόκυρτη**. Ο συντελεστής κύρτωσης, είναι καθαρός αριθμός και ορίζεται για ταξινομημένες παρατηρήσεις ως εξής:

$$\alpha_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{im} - \bar{x})^4 f_i}{s^4}$$

όπου f_i : η σχετική συχνότητα

x_{im} : το μέσο της τάξης i

Όταν η κατανομή έχει κανονική τιμή κύρτωσης, ισούται με 3.0, όταν είναι λεπτόκυρτη η τιμή κύρτωσης είναι μεγαλύτερη από 3.0 και όταν είναι πλατύκυρτη, η τιμή κύρτωσης είναι μικρότερη από 3.0.

Το μέσο μέγεθος (mean size) είναι ένας μηχανισμός υπολογισμού:

- α) του εύρους μεγέθους των κόκκων που συνιστούν ένα ίζημα και
- β) του ποσού της ενέργειας που μεταδίδεται στο ίζημα και η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα των ρευμάτων ή την τυρβώδη συνιστώσα της ροής του μέσου μεταφοράς.

Αν μία ακτογραμμή αποτελείται από μαλακή και λεπτόκοκκη άμμο, τότε όσο ισχυρός κι αν είναι ο κυματισμός, δεν υπάρχει περίπτωση να βρεθούν σε αυτήν πιο αδρόκοκκα υλικά εκτός από λεπτή άμμο. Αν μία ακτογραμμή αποτελείται από συμπαγή και σκληρά πετρώματα τα οποία διαβρώνονται κατά

καιρούς από την βροχή, τότε τα ιζήματα της ακτής θα είναι αδρόκοκκα όσο ήπιος κι αν είναι ο κυματισμός.

Τα ιζήματα συνήθως γίνονται πιο λεπτόκοκκα με τη μείωση της ενέργειας του μεταφορικού μέσου. Έτσι, όπου η δράση των κυμάτων είναι κυρίαρχη, τα ιζήματα γίνονται πιο λεπτόκοκκα στα βαθιά νερά όπου και η δράση των κυμάτων ελαχιστοποιείται. Αντίθετα, αυτή η διατάραξη βρίσκεται στο μέγιστό της στα ρηχά νερά και στη ζώνη θραύσης των κυμάτων. Στα περιβάλλοντα όπου κυριαρχεί η δράση των ρευμάτων, ειδικότερα σε διαύλους που ελέγχονται από παλίρροιες (tidal channels) σε περιοχές, αδρόκοκκα ιζήματα απαντώνται σε βαθύτερα νερά λόγω της δράσης των ρευμάτων.

Η διαβάθμιση (sorting) είναι μία παράμετρος η οποία εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες:

- i. Το εύρος μεγέθους των κόκκων που παρέχονται στο περιβάλλον
- ii. Τον τύπο της απόθεσης
- iii. Τα χαρακτηριστικά των ρευμάτων (ισχύς, ταχύτητα)

iv. Το ρυθμό παροχής αποσαθρωμένου υλικού σε σύγκριση με την ικανότητα του αιτίου διαβάθμισης.

Η διαβάθμιση εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος των κόκκων. Τα καλύτερα διαβαθμισμένα ιζήματα είναι συνήθως αυτά με μέσο μέγεθος κόκκων από 2-3 ϕ (λεπτή άμμος). Ιζήματα μέσου μεγέθους (0)-(-2) ϕ παρουσιάζουν τη χειρότερη διαβάθμιση. Από εδώ και έπειτα η διαβάθμιση βελτιώνεται στην τάξη των ψηφίδων μεταξύ (-3)-(-5) ϕ . Επίσης κακή διαβάθμιση παρουσιάζει η λεπτή ιλύς (6)-(-8) ϕ , η οποία βελτιώνεται στην τάξη της αργίλου (10 ϕ).

Η λοξότητα και η κύρτωση υποδηλώνουν πόσο η κατανομή των κόκκων πλησιάζει την καμπύλη του Gauss. Όσο πιο ακραίες είναι οι τιμές, τόσο πιο ανώμαλη είναι η μορφή της καμπύλης.

Πολλές φυσικές ιδιότητες των ιζημάτων όπως το πορώδες, η διαπερατότητα και η συνεκτικότητα (Krumbein, 1934) εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων.

Μία κλίμακα ταξινόμησης των ιζημάτων σύμφωνα με τις τιμές των στατιστικών παραμέτρων παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ταξινόμηση ιζημάτων σύμφωνα με τις τιμές των Στατιστικών Παραμέτρων, κατά Folk και Ward (1957).

Classification of sediments according to the values of the statistical parameters presented by Folk and Ward (1957).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΡΙΑ	ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ
ΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	<0,35Ø	Πολύ καλά διαβαθμισμένα
	0,35-0,50Ø	Καλά διαβαθμισμένα
	0,50-0,71Ø	Μετρίως καλά διαβαθμισμένα
	0,71-1,00Ø	Μετρίως διαβαθμισμένα
	1,00-2,00Ø	Φτωχά διαβαθμισμένα
	2,00-4,00Ø	Πολύ φτωχά διαβαθμισμένα
	>4,00Ø	Εξαιρετικά φτωχά διαβαθμισμένα
ΓΡΑΦΙΚΗ ΛΟΞΟΤΗΤΑ	(+1,00)-(+0,30)	Ισχυρά λεπτο-λοξεμένα
	(+0,30)-(0,10)	Λεπτο-λοξεμένα
	(+0,10)-(-0,10)	Σχεδόν λεπτο-λοξεμένα
	(-0,10)-(-0,30)	Αδρο-λοξεμένα
	(-0,30)-(-1,00)	Ισχυρά αδρο-λοξεμένα
ΓΡΑΦΙΚΗ ΚΥΡΤΩΣΗ	<0,67	Πολύ πλατύκυρτα
	0,67-0,90	Πλατύκυρτα
	0,90-1,11	Μεσόκυρτα
	1,11-1,50	Λεπτόκυρτα
	1,50-3,00	Πολύ λεπτόκυρτα
	>3,00	Εξαιρετικά λεπτόκυρτα

*Πηγή: Προσαρμογή από Παπαθεωδώρα (1994) και Λαμπροπούλου (1996).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (FACTOR ANALYSIS)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ (Introduction)

Η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis- FA) αναπτύχθηκε στις δεκαετίες του '30 και '40 από πειραματικούς ψυχολόγους προς βελτίωση των μεθόδων μελέτης και έρευνας που χρησιμοποιούσαν έως τότε και προς διευκόλυνσή τους στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων όπως η εξαγωγή του παράγοντα 'διανοητικής ικανότητας' από τα αποτελέσματα ανάλογων τεστ. Ως στατιστική μέθοδος ανάλυσης βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς των γεωεπιστημών εξ αιτίας του γεγονότος ότι εξετάζεται ένας μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων (μεταβλητές), οι οποίες μετρώνται σε έναν επίσης μεγάλο αριθμό δειγμάτων (αντικειμένων). Τα δείγματα αυτά δύναται να είναι πετρώματα, ιζήματα, νερό και οι αντίστοιχες ιδιότητες που μελετώνται μπορεί να είναι η ορυκτολογική, η κοκκομετρική και η χημική σύστασή τους.

Η παραγοντική ανάλυση περιγράφει μία ακολουθία μαθηματικών διαδικασιών που έχουν ως σκοπό την αποκάλυψη των εσωτερικών σχέσεων και δομών μιας ομάδας πολυμεταβλητών παρατηρήσεων (μετρήσεων). Κύριο χαρακτηριστικό της ανάλυσης αυτής είναι η ικανότητά της να περιγράφει μία ομάδα μεγάλου αριθμού δεδομένων με έναν κατά πολύ μικρότερο αριθμό παραγόντων (factors).

Έτσι, η παραγοντική ανάλυση καθίσταται ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος ανάλυσης για τη μείωση της πολυπλοκότητας ενός προβλήματος χωρίς παράλληλα την απώλεια σημαντικού αριθμού πληροφοριών. Εφαρμόζεται για τρεις κυρίως λόγους:

1. Την ανακάλυψη και αναγνώριση υποπληθυσμών των αρχικών δεδομένων οι οποίοι αποτελούνται από μεταβλητές ισχυρά συσχετιζόμενες μεταξύ τους.

2.Τη δημιουργία νέων συνδυασμών των αρχικών δεδομένων, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν ως νέες μεταβλητές για περαιτέρω επεξεργασία (γραμμικός μετασχηματισμός).

3.Την ελάττωση του αριθμού των μεταβλητών που εξετάζονται.

2. ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ (Stages of method)

2.1 Διαχείριση δεδομένων (Data administration)

Τα δεδομένα (ιδιότητες/ δείγματα) διευθετούνται σε μορφή πίνακα (data matrix) ο οποίος αποτελεί τη βάση για την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης. Όταν ο αριθμός των δειγμάτων είναι αρκετά μεγάλος, η περιγραφή του πίνακα είναι δύσκολη, οπότε καθίσταται αναγκαία η ανάλυσή του ούτως ώστε αυτός να περιγραφεί με περισσότερη ευκολία. Κύριος σκοπός λοιπόν της παραγοντικής ανάλυσης είναι η διαπίστωση του κατά πόσον είναι εφικτή μία απλούστερη περιγραφή του πίνακα. Επίσης, η παραγοντική ανάλυση απλοποιεί τον πίνακα των δεδομένων υπολογίζοντας:

- Τον αριθμό των ομάδων (παράγοντες) που συνίστανται από ισχυρά σχετιζόμενα μεταξύ τους στοιχεία (λιθολογικές τάξεις, χημικά στοιχεία).
- Τη σύσταση της κάθε ομάδας (από ποια στοιχεία συνίσταται αυτή, ποια η σπουδαιότητα του κάθε στοιχείου στη σύστασή της).
- Την περιγραφή του κάθε δείγματος σύμφωνα με τη συμμετοχή σε αυτό των ομάδων των στοιχείων που έχουν ήδη υπολογιστεί.

2.2 Ανάλυση Κύριων Συνθετητών και Παραγοντική Ανάλυση (Principal Components Analysis- PCA and Factor Analysis- FA)

Η επίλυση του συμμετρικού πίνακα συσχέτισης (correlation matrix) που προκύπτει από τον αντίστοιχο πίνακα δεδομένων και ο υπολογισμός των ιδιοτιμών/ ιδιοδυναυσμάτων (eigenvalues/ eigenvectors) αποτελούν την πρώτη μαθηματική διαδικασία της παραγοντικής ανάλυσης. Το στάδιο αυτό αποτελεί στην πραγματικότητα ξεχωριστό τύπο ανάλυσης, ο οποίος καλείται Ανάλυση

Κυρίων Συνθετητών (Principal Components Analysis- PCA). Αν και η PCA θεωρείται μαζί με την FA παραπλήσιες στατιστικές μέθοδοι (ή καλλίτερα, η PCA θεωρείται μία προ- παραγοντική ανάλυση), στην ουσία παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τόσο στο μαθηματικό τμήμα τους, όσο και στην αποτελεσματικότητά τους.

Γενικά θα μπορούσαν να ειπωθούν για τις δύο αυτές μεθόδους τα εξής:

Η Ανάλυση Κύριων Συνθετητών αποτελεί έναν γραμμικό μετασχηματισμό των αρχικών μεταβλητών (ιδιότητες) σε νέες μεταβλητές, ούτως ώστε οι τελευταίες να ερμηνεύουν το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ολικής διακύμανσης (total variance) των δεδομένων.

Στην περίπτωση της Παραγοντικής Ανάλυσης οι σχέσεις μεταξύ των n -μεταβλητών μετατρέπονται σε σχέσεις κάθε μιας από τις n -μεταβλητές με μ παράγοντες (όπου $\mu < n$), οι οποίοι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανάλυσης. Συνεπώς καθίσταται έκδηλο ότι ο αριθμός των αρχικών μεταβλητών είναι μεγαλύτερος αυτού των στατιστικά ανεξάρτητων. Πρέπει να τονιστεί ότι για να αναπτυχθεί η μέθοδος της παραγοντικής ανάλυσης απαιτείται η στατιστική επεξεργασία αποκλειστικά και μόνο των στατιστικά ανεξάρτητων μεταβλητών.

Ιδιαίτερα στις γεωεπιστήμες όπου οι μεταβλητές έχουν συνήθως σταθερό άθροισμα, ο αριθμός των ανεξάρτητων στατιστικά μεταβλητών είναι μειωμένος κατά ένα ($k-1$).

Επίσης, μία ή περισσότερες μεταβλητές μπορεί να είναι γραμμική συνάρτηση άλλων μεταβλητών, ελαττώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ακόμα περισσότερο τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών. Υπάρχει ακόμα και η πιθανότητα μία ή περισσότερες μεταβλητές να είναι μερικά εξαρτημένες μεταξύ τους.

2.3 Υπολογισμός παραγόντων από τους αντίστοιχους Κύριους Συνθετητές (Factors retained from the corresponding principal components scores)

Τα ιδιοδιανύσματα που προκύπτουν από την επίλυση του πίνακα συντελεστών συσχέτισης μετασχηματίζονται με απλές μαθηματικές διεργασίες σε

παράγοντες (factors). Τα στοιχεία των ιδιοδιανυσμάτων μετασχηματίζονται έτσι σε παραγοντικές φορτίσεις (factor loadings).

2.4 Διατήρηση ορισμένου αριθμού παραγόντων (Retaining of a specific number of factors)

Ένα σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης είναι η διατήρηση ενός μόνο αριθμού παραγόντων που θεωρούνται και οι πλέον σημαντικοί (ιδιοτιμές/ ιδιοδιανύσματα). Έτσι, παραλείπονται οι επουσιώδεις παράγοντες χωρίς παράλληλα την απώλεια πληροφοριών. Σκοπός αυτής της τακτικής είναι η μείωση της πολυπλοκότητας του εξεταζόμενου προβλήματος. Η επιλογή του αριθμού αυτού βασίζεται στα παρακάτω κριτήρια:

1. Επιλέγονται οι δύο ή τρεις πρώτοι παράγοντες ούτως ώστε να είναι εφικτή η απεικόνισή τους σε γραφικές παραστάσεις.
2. Η επιλογή των παραγόντων γίνεται βάσει του ποσοστού της ολικής διακύμανσης που εκφράζουν συνολικά.
3. Επιλέγονται οι παράγοντες που σχετίζονται με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας.
4. Επιλέγονται οι παράγοντες οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλές φορτίσεις σε περισσότερες από μία μεταβλητές.
5. Εφαρμογή του γραφικού κριτηρίου 'scree plot'.
6. Η επιλογή των παραγόντων γίνεται βάσει υποκειμενικών κριτηρίων (γνώση του συγκεκριμένου προβλήματος από τον ερευνητή).

2.5 Περιστροφή παραγόντων (Factor rotation)

Η περιστροφή των αξόνων των παραγόντων που διατηρούνται σε νέες θέσεις, ώστε να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις, αποτελεί το τελικό στάδιο της παραγοντικής ανάλυσης. Το στάδιο αυτό προσδίδει αξιοπιστία στα αποτελέσματα της στατιστικής αυτής ανάλυσης και τη διακρίνει από άλλες μη στατιστικές μεθόδους ανάλυσης (PCA). Η περιστροφή των αξόνων των παραγόντων σε νέες θέσεις γίνεται έτσι ώστε οι υψηλές φορτίσεις να τείνουν προς

τη μονάδα και οι μικρές προς το μηδέν. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση του εύρους των τιμών των φορτίσεων και την απλούστευση του πίνακα των παραγόντων, οποίος μετά την περιστροφή παρουσιάζει μία «απλή δομή» (simple structure). Η δομή αυτή πληροί τα εξής κριτήρια:

1. Για κάθε παράγοντα αντιστοιχεί σχετικά μικρός αριθμός μεταβλητών με υψηλές φορτίσεις, ενώ οι υπόλοιπες έχουν πολύ χαμηλές τιμές.

2. Κάθε μεταβλητή εμφανίζει σημαντικές φορτίσεις μόνο σε μερικούς από τους παράγοντες.

3. Για κάθε δεδομένο ζεύγος παραγόντων, ένας μικρός αριθμός μεταβλητών έχει χαμηλές φορτίσεις και στους δύο παράγοντες.

4. Για κάθε δεδομένο ζεύγος παραγόντων, πολύ λίγες μεταβλητές έχουν υψηλές φορτίσεις και στους δύο παράγοντες.

5. Για κάθε δεδομένο ζεύγος παραγόντων, μερικές από τις μεταβλητές έχουν υψηλές φορτίσεις στο δεύτερο παράγοντα και όχι στον πρώτο.

Δύο κύριες μέθοδοι περιστροφής των αξόνων χρησιμοποιούνται:

α) η ορθογώνια (Orthogonal factor rotation) και

β) η πλάγια περιστροφή (Oblique factor rotation)

Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή της ορθογώνιας περιστροφής.

Η περικοπή των επουσιωδών παραγόντων και η περιστροφή αυτών που απομένουν, περιορίζει με επιτυχία την έκταση του προβλήματος, καθιστώντας ευκολότερη την αποκάλυψη της ταυτότητας κάθε παράγοντα. Η μελέτη των μεταβλητών/ δειγμάτων που σχετίζονται στενά με κάθε παράγοντα μπορεί να αποκαλύψει τους κυρίαρχους μηχανισμούς που έδρασαν και διαμόρφωσαν τον πληθυσμό των εκάστοτε δεδομένων.

2.6 Παραγοντικές τιμές (Factor scores)

Ο υπολογισμός της τιμής (factor score) του κάθε παράγοντα σε κάθε αρχικό δείγμα είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο της παραγοντικής ανάλυσης, διότι δίνει τη δυνατότητα για αποτύπωση της γεωγραφικής έκφρασης του κάθε παράγοντα.

3. ΤΥΠΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (Factor analytic modes)

Η παραγοντική ανάλυση ανάλογα με τη μορφή του πίνακα δεδομένων και τον τύπο του πίνακα συσχέτισης δίδει πληροφορίες σχετικές με:

- Τις σχέσεις που ενδεχομένως να υπάρχουν μεταξύ των ιδιοτήτων (μεταβλητών) που έχουν μετρηθεί σε μία περιοχή, οπότε στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται η R- τύπου παραγοντική ανάλυση (R- mode factor analysis).

- Τις σχέσεις που ενδεχομένως να υπάρχουν μεταξύ των αντικειμένων (δειγμάτων) στα οποία έγιναν οι μετρήσεις των ιδιοτήτων, οπότε στην περίπτωση αυτή αναπτύσσεται η Q- τύπου παραγοντική ανάλυση (Q- mode factor analysis).

Συνήθως οι τύποι παραγοντικής ανάλυσης εφαρμόζονται στον ίδιο πίνακα δεδομένων και αυτό γίνεται:

- α) για τη μελέτη των γεωλογικών διεργασιών που αναπτύσσονται και διαμορφώνουν τα υπό μελέτη γεωλογικά δεδομένα και

- β) για τον έλεγχο της ορθότητας της εφαρμογής της μεθόδου.

Οι δύο τύποι της παραγοντικής ανάλυσης παρουσιάζουν μία διαφορά η οποία εντοπίζεται στον υπολογισμό του πίνακα συσχέτισης ο οποίος προκύπτει από τον αρχικό πίνακα δεδομένων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην R- τύπου παραγοντική ανάλυση υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης (correlation coefficients) μεταξύ των μεταβλητών, ενώ στην Q- τύπου υπολογίζονται οι συντελεστές ομοιότητας (coefficient of proportional similarity).