

**ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΥΒΟ-Ι-ΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΧΑΛΚΙΔΑΣ**

**ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
«Η ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΑΣ»**

**ΧΑΛΚΙΔΑ, 24-27 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1987**



**ΑΘΗΝΑ 1990**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ε. ΚΩΤΣΟΒΙΝΟΣ

## ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΥΒΟΪΚΟ ΚΟΛΠΟ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της διασποράς της ρύπανσης υπό παλιρροιακές συνθήκες, όπως εμφανίζονται στον Ευβοϊκό κόλπο. Τα παράλια του Βόρειου και Νότιου Ευβοϊκού κόλπου δέχονται κάθε καλοκαίρι δεκάδες χιλιάδες παραθεριστές, κυρίως από την κοντινή Αθήνα, και συνεπώς η εξασφάλιση της καθαρότητας των νερών του είναι σημαντική για την οικονομία της περιοχής και τη διευκόλυνση των Αθηναίων.

Η ρύπανση στον Ευβοϊκό κόλπο οφείλεται κυρίως:

α) Σε έντονη βιομηχανική δραστηριότητα εντοπισμένη κύρια στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκίδας αλλά και στο Αλιβέρι.

β) Σε αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων εντοπισμένη κύρια στους κάμπους Ψαχνών, Ληλαντίου πεδίου, Ιστιαίας.

γ) Σε αστικά λύματα (Χαλκίδα, Αλιβέρι, Κάρυστος, Αιδηψός, Σκύρος, Ωρωπός, Καμένα Βούρλα, Άγιος Κωνσταντίνος, Στυλίδα).

δ) Στην εξόρυξη, μεταφορά και φόρτωση προϊόντων εξόρυξης ή βιομηχανικών (Μαντούδι, ΑΓΕΤ, ΔΕΗ Αλιβερίου, Παραλία Πολιτικών, Λάρυμνα).

Πλήθος πόλεων, που βρίσκονται στις ακτές του Ευβοϊκού, με την αποβολή των λυμάτων τους στην κλειστή θάλασσα γίνονται σημαντική πηγή ρύπανσης και μόλυνσης της περιοχής. Τέτοιες πόλεις είναι: Λ. Αιδηψού, Λίμνη, Καμένα Βούρλα, Στυλίδα, Αλιβέρι, Ερέτρια, Άγιος Κωνσταντίνος, Χαλκίδα, Ωρωπός, Μαρκόπουλο, Χαλκούτσι, Αρκίτσα, Κάλαμος, Πολιτικά, Ραφήνα.

Αν παρατηρήσουμε τον κατάλογο των ανωτέρω πόλεων και χωριών θα δούμε ότι οι περισσότερες είναι πόλεις ή χωριά τουριστικά, που κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αναπτύσσουν αξιόλογη τουριστική κίνηση, με πλήθος παραθεριστικών κατοικιών και μεγάλων ξενοδοχείων και με σημαντική ποσότητα λυμάτων. Η παραθαλάσσια περιοχή από Χαλκίδα μέχρι τον Κάλαμο είναι ουσιαστικά

πυκνοκτισμένη από δεκάδες χιλιάδες νόμιμες ή αυθαίρετες παραθεριστικές κατοικίες που ανήκουν ή χρησιμοποιούνται κυρίως από κατοίκους των Αθηνών.

Ως γνωστόν, ο Νότιος Ευβοϊκός κόλπος δέχεται περισσότερη τουριστική κίνηση από το Βόρειο Ευβοϊκό και συνεπώς επιβαρύνεται περισσότερο. Αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι ο Νότιος Ευβοϊκός έχει μικρότερο βάθος και μέσο πλάτος από το Βόρειο (40 μ. και 8 χλμ. αντίστοιχα) και συνολική επιφάνεια τέσσερις φορές μικρότερη από το Βόρειο Ευβοϊκό, γίνεται προφανής η ανάγκη ελέγχου της δυνατότητας σε αυτοκαθαρισμό και αραιώση των αστικών λυμάτων στον Νότιο Ευβοϊκό.

Σύμφωνα με την Υγειονομική διάταξη ΕΙβ/222/1965 τα θαλασσινά νερά είναι κατάλληλα για κολύμβηση όταν ο μέσος όρος των κολοβακτηριοειδών είναι μικρότερος από 50 σε 100  $\text{cm}^3$ , ενώ θεωρούνται παραδεκτά με επιφύλαξη όταν ο αριθμός τους είναι από 51 έως 500 ανά 100  $\text{cm}^3$ . Τα όρια αυτά είναι αυστηρότερα από τις προδιαγραφές της ΕΟΚ, σύμφωνα με τις οποίες το επιθυμητό όριο των κολοβακτηριοειδών σε 100  $\text{cm}^3$  είναι 100.

Στις ακτές Ωρωπού, Μαραθώνα, Πόρτο Ράφτη, Ραφήνας, Σουνίου και για το διάστημα Μαΐου-Σεπτεμβρίου, υπάρχει αυξημένος αριθμός κολοβακτηριοειδών που μερικές φορές ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια. Οι υπάρχουσες ήδη παραθεριστικές κατοικίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια, πολυκατοικίες κλπ. από Χαλκούτσι μέχρι Σούνιο, είναι ένας δείκτης των χιλιάδων παραθεριστών των ακτών αυτών. Είναι προφανές ότι η ρύπανση με αστικά λύματα είναι σχεδόν συνεχής σ' όλη αυτή την απόσταση των 60 περίπου χιλιομέτρων. Η παλιρροιακή κίνηση και τα θαλάσσια ρεύματα διασκορπίζουν τα λύματα αυτά κυρίως κατά μήκος των ακτών μέσα στον Ν. Ευβοϊκό κόλπο, ενώ ο ρυθμός με τον οποίο διοχετεύονται εκτός του Ν. Ευβοϊκού κόλπου προς το Αιγαίο είναι αργός, όπως θα αναπτυχθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Βεβαίως οι μικροβιολογικές μετρήσεις των κολοβακτηριοειδών δείχνουν ότι γενικά τα παράκτια νερά στον Ν. Ευβοϊκό κόλπο είναι παραδεκτής ποιότητας. Οι μακροχρόνιες όμως επιδράσεις από τη διάθεση των αστικών λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων στο θαλάσσιο αποδέκτη μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανείς, όπως για παράδειγμα η διάθεση τοξικών καταλοίπων, αλλά επηρεάζουν πολύ γενικότερα τη Δημόσια Υγεία και τη συνολική ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Όπως είναι γνωστό δείκτης για τη ρύπανση των παράκτιων νερών δεν είναι μόνο η παρουσία ενός αριθμού κολοβακτηριοειδών και άλλων οργανισμών σχετικών με την παραδοσιακή αντίληψη για τη Δημόσια Υγεία, αλλά σοβαρή ένδειξη ρύπανσης αποτελεί και ο εμπλουτισμός των νερών με αποδομήσιμες οργανικές ουσίες που δημιουργούν ευτροφισμό και υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού (κυρίως μακροφυκών), η αποσύνθεση του οποίου δημιουργεί ανοξικές συνθήκες (κυρίως έλλειψη βενθικού οξυγόνου). Νεότερες μετρήσεις του ΠΕΡΙΠΑ σε περιοχές από Ωρωπό μέχρι Ραφήνα δείχνουν ότι το 20% των δειγμάτων έχει περισσότερα από 500 κολοβακτηριοειδή ανά 100  $\text{cm}^3$ . Σχετικά με συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έχει διαπιστωθεί αυξημένη συγκέντρωση Cu,

Zn και Pb στο Νότιο Ευβοϊκό (Σκούλος, 1982). Συγκεκριμένα αναφέρθηκε συγκέντρωση μολύβδου στην περιοχή του πορθμού του Ευρίπου 4.8 mg/l (έναντι 2.0 mg/l για το Αιγαίο), χαλκού 2.9 mg/l (έναντι 0.45 mg/l στο Αιγαίο, δηλαδή 6 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση), και ψευδαργύρου 21.1 mg/l (έναντι 5.3 mg/l στο Αιγαίο). Το γεγονός αυτό της αυξημένης συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο Νότιο Ευβοϊκό σε συγκεντρώσεις 4 έως 6 φορές πάνω από τις τιμές που παρατηρούνται στο Αιγαίο, υποδεικνύει ότι ο ρυθμός ρύπανσης του κόλπου είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον ρυθμό απομάκρυνσής των από τον κόλπο.

Δεδομένης της παλιρροιακής κίνησης στον Ευβοϊκό κόλπο ερευνήσαμε:

α) Το χρόνο παραμονής μέσα στον κόλπο ρυπαντών που χύνονται σε διάφορες θέσεις.

β) Την εξάπλωση του πεδίου ρύπανσης. Για παράδειγμα, ρυπαντές ή λύματα που μπορεί να διατεθούν στη Χαλκίδα όταν τα ρεύματα κινούνται προς τον Ευβοϊκό κόλπο, δεν απομακρύνονται μονίμως αλλά μέρος αυτών, αραιωμένα, επανέρχεται όταν αλλάζει η διεύθυνση της παλίρροιας (κίνηση ρευμάτων προς το Νότο).

Η θεωρητική ανάλυση και οι πειραματικές παρατηρήσεις της έρευνας αυτής συμβάλλουν ουσιαστικά στην κατανόηση του προβλήματος της διασποράς ρυπαντών στον Ευβοϊκό κόλπο. Επιπλέον τα πειράματα απεκάλυψαν την πολυπλοκότητα της ροής που δημιουργείται στον Ευβοϊκό κόλπο λόγω της ποικιλίας στη διαμόρφωση κλειστών κόλπων και εξοχών στις ακτές.

Ελπίζουμε ότι με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής θα βοηθηθεί η πολιτεία (Νομαρχία, Δήμοι, Βιομηχανίες) στον ορθολογικότερο προγραμματισμό προστασίας του Ευβοϊκού κόλπου. Οι εκατοντάδες χιλιάδες παραθεριστές, που προέρχονται κύρια από την Αθήνα και εξυπηρετούνται από τις ακτές του Ευβοϊκού, θα περιοριστούν δραστικά αν υποβαθμισθεί ο Ευβοϊκός κόλπος και θα αναγκασθούν να πάνε μακρύτερα για να βρουν καθαρές θάλασσες. Το οικονομικό κόστος στη δυσμενή (και ευχόμαστε απίθανη) αυτή περίπτωση θα είναι ανυπολόγιστο.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

### 2.1. Ανταλλαγή νερών Βόρειου Ευβοϊκού με το Αιγαίο

Στο διάυλο του Τρικεριού και των Ωρεών παρατηρούνται ρεύματα με κύρια κατεύθυνση νοτιοδυτική, με μέγιστη ταχύτητα 0.8 m/s. Είναι προφανές ότι τα ρεύματα αυτά διέρχονται μπροστά από την είσοδο του Παγασητικού και Μαλιακού κόλπου, οπότε ένα μέρος των νερών των κόλπων αυτών παρασύρεται προς το Β. Ευβοϊκό κόλπο, και συνεπώς ένα μέρος των ρυπαντών από τους κόλπους αυτούς διοχετεύεται στο Β. Ευβοϊκό.

Το μέσο πλάτος του Διαύλου των Ωρεών είναι 4 Km και το μέσο βάθος 60 μ. Στο στενό Τρίκερι το μέσο πλάτος είναι 10 Km και το μέσο βάθος 90 μ. Τους καλοκαιρινούς μήνες οι επικρατούντες άνεμοι στο Βόρειο Ευβοϊκό (στενό Τρίκερι και στενό Ωρεών) είναι βορειοανατολικοί και δημιουργούν ρεύματα από το Αιγαίο προς το Βόρειο Ευβοϊκό, η ταχύτητα των οποίων εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα των ανέμων όσο και από τις παλιρροιακές συνθήκες. Το ποσό του νερού το οποίο φθάνει στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο κατά τη διάρκεια μιας πλημμυρίδας είναι ίσο με την επιφάνεια του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου (περίπου ίση με  $10^9 \text{ m}^2$ ) πολλαπλασιασμένη με το μέσο ύψος της πλήμης του Β. Ευβοϊκού από τη μέση στάθμη που λαμβάνεται ίσο με 40 cm. Βρίσκουμε συνεπώς ότι κατά τη διάρκεια μιας πλήμης εισέρχονται στο Β. Ευβοϊκό κόλπο από το Αιγαίο  $Q_A = 4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  νερό. Η συνολική ποσότητα του νερού στο Β. Ευβοϊκό κόλπο υπολογίζεται ίση με  $Q_B = 2 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$ .

Το ποσό του νερού προέλευσης Β. Αιγαίου που θα απομακρυνθεί από το Β. Ευβοϊκό προς το Αιγαίο κατά την πρώτη ρηχία είναι  $C Q_A$  όπου  $C$  σταθερά μικρότερη της μονάδας, λόγω της μείξης του εισελθέντος νερού από το Β. Αιγαίο με το προϋπάρχον της (νοερής) αυτής διαδικασίας. Αν δεν υπάρχει μείξη τότε  $C=1$ , και η ίδια μάζα νερού πηγαινοέρχεται από τό στενό των Ωρεών χωρίς καμία ανάμειξη. Αν η ανάμειξη είναι σε κάθε παλιρροιακή περίοδο πλήρης σε όλη τη μάζα του Β. Ευβοϊκού, τότε:

$$C = \frac{Q_A}{Q_B} \simeq \frac{1}{500} = 0.002$$

Η πλήρης μείξη όμως του εισερχόμενου νερού σε κάθε παλιρροιακή περίοδο είναι εξωπραγματική. Το ποσό του νερού του Β. Αιγαίου που παραμένει μετά την πρώτη περίοδο είναι  $(1-C) Q_A$ . Καθώς συνεχίζεται η διαδικασία αυτή για αρκετές περιόδους, θα υπάρχει συνεχής ανταλλαγή των νερών του Β. Ευβοϊκού με τα νερά του Αιγαίου, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.

Χρονικό διάστημα σε περιόδους παλίρροιας	Νερά Αιγαίου που απομακρύνθηκαν	Νερά Αιγαίου που παραμένουν στο Β. Ευβοϊκό
1	$C Q_A$	$(1-C) Q_A$
2	$C(1-C) Q_A + C Q_A$	$(1-C)^2 Q_A + (1-C) Q_A$
3	$C(1-C)^2 Q_A + C(1-C) Q_A + C Q_A$	$(1-C)^3 Q_A + (1-C)^2 Q_A + (1-C) Q_A$
⋮	⋮	⋮
n	$\{(1-C)^{n-1} + (1-C)^{n-2} + \dots + 1\} \cdot C Q_A$	$(1-C) Q_A \{(1-C)^{n-1} + (1-C)^{n-2} + \dots + 1\} =$

λαμβάνοντας υπόψιν ότι

$$(1 - C)^{n-1} + (1 - C)^{n-2} + \dots + 1 = \frac{1 - (1 - C)^n}{1 - (1 - C)} = \frac{1 - (1 - C)^n}{C}$$

βρίσκουμε ότι σε  $n$  περιόδους το νερό που θα έχει συσσωρευθεί στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο και θα προέρχεται από το Αιγαίο είναι ίσο με

$$V_A = \frac{(1 - C)}{C} [1 - (1 - C)^n] Q_A$$

Η μικρότερη τιμή που μπορεί να πάρει η σταθερά ανταλλαγής  $C$  είναι, όπως δείξαμε προηγουμένως, ίση με 0.002 και ανταποκρίνεται στην περίπτωση πλήρους ανάμειξης των εισερχομένων νερών από το Αιγαίο στον Ευβοϊκό κόλπο κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας. Η τιμή  $C=0$  δεν είναι παραδεκτή γιατί από πλευράς φυσικής σημαίνει ότι ο Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος παγιδεύει επιλεκτικά τα νερά τα προερχόμενα από το Β. Αιγαίο και κατά την άμπωτη, κανένα μέρος αυτών δεν εξέρχεται πίσω στο Αιγαίο. Η άλλη ακραία τιμή  $C=1$  σημαίνει ότι ουδεμία ανάμειξη συμβαίνει και ότι τα νερά που εισέρχονται με κάθε πλημμυρίδα από το Αιγαίο στο Β. Ευβοϊκό, τα ίδια ακριβώς νερά εξέρχονται κατά την άμπωτη, πίσω στο Αιγαίο. Η ακραία αυτή, μη φυσικώς παραδεκτή, τιμή αντιστοιχεί σε μηδενική τυρβώδη ανάμειξη.

Συνολικός όγκος  $V_A$  νερών Αιγαίου που συσσωρεύονται στο Β. Ευβοϊκό για διάφορες τιμές του συντελεστού ανταλλαγής  $C$  και αριθμού  $n$  περιόδων παλίρροιας.

n	$V_A$ σε $10^8 \text{ m}^3$				
	n=365	n=730	n=1095	n=3650	5475
έτη	1/2	1	1/2	5	7.5
C=0	1460	2920	4380	14600	21900
C=0.002	1036	1532	1772	2000	2000
C=0.02	195	196	196	196	196
C=0.01	385	395	396	396	396
C=0.05	76	76	76	76	76
C=0.1	36	36	36	36	36
C=1	0	0	0	0	0

Από τον προηγούμενο πίνακα παρατηρούμε ότι για την ευμενέστερη περίπτωση που είναι φυσικώς δυνατή ( $C=0.002$ ), χρειάζονται 5 χρόνια για να αντικα-

τασταθούν τα νερά του Β. Ευβοϊκού με νερά του Αιγαίου. Για  $C=0.01$  παρατηρούμε ότι τα συσσωρευόμενα νερά που προέρχονται από το Αιγαίο δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα  $395 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ , δηλαδή αντιπροσωπεύουν ποσοστό μικρότερο του 20% για οποιαδήποτε χρονική περίοδο. Για  $C=0.02$ , το ποσοστό αυτό γίνεται 10%, και για  $C=0.05$ , γίνεται 4%, ενώ για  $C=0.1$  είναι 2%.

Συμπεραίνομε ότι για τις πιθανές τιμές του συντελεστού  $C$  η ανάμειξη του Β. Ευβοϊκού με το Αιγαίο ακολουθεί μια βραδεία διαδικασία, και συνεπώς η αραιώση της ρύπανσης μέσα στο Β. Ευβοϊκό λόγω ανάμειξης με τα νερά του Αιγαίου δεν είναι αποτελεσματική. Ο Β. Ευβοϊκός είναι βασικά μία κλειστή θαλάσσια λεκάνη με ελάχιστη επικοινωνία με το Αιγαίο.

## 2.2. Μακροσκοπική αραιώση στο Νότιο Ευβοϊκό με νερά του Βόρειου Ευβοϊκού λόγω της εισροής στον πορθμό του Ευρίπου

Στην παράγραφο αυτή ερευνούμε το ρυθμό αραιώσης των νερών του Νότιου Ευβοϊκού με τα νερά που εισέρχονται σ' αυτόν από το Βόρειο Ευβοϊκό από τον πορθμό του Ευρίπου. Η είσοδος νερού από το Αιγαίο θα υπολογισθεί αργότερα θεωρώντας στην παράγραφο αυτή το Βόρειο και Νότιο κόλπο κλειστές λεκάνες που επικοινωνούν από τον πορθμό του Ευρίπου. Ο πορθμός του Ευρίπου έχει πλάτος  $B=40 \text{ m}$ , βάθος  $H=10 \text{ m}$ . Η μέγιστη ταχύτητα καθ' όλο το βάθος κατά την διάρκεια της μισής περιόδου  $T/2$  ( $\sim 6$  ώρες) λαμβάνεται ίση με  $U_0 \approx 2.5 \text{ m/s}$ . Η στιγμιαία ταχύτητα  $U$  θεωρείται ίση με

$$U = U_0 \sin \frac{2\pi t}{T} = U_0 \sin \omega t$$

και η μέση ταχύτητα  $\bar{U}$  στη διάρκεια μισής περιόδου ίση με

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_0 \sin \omega t \, dt = \frac{2}{\pi} U_0 \\ &\approx 0.64 U_0 \approx 1.6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ο όγκος του νερού που διέρχεται σε μισή περίοδο (6 ώρες) από το Βόρειο στο Νότιο Ευβοϊκό είναι

$$V_{BT} \approx BH\bar{U}T \approx (640 \text{ m}^3/\text{s}) (36000) \approx (13.8) 10^6 \text{ m}^3$$

Ας παρακολουθήσουμε λεπτομερέστερα τον παραπάνω όγκο νερού από τη στιγμή που το ρεύμα του Ευρίπου μεταφέρει νερά από το Βόρειο Ευβοϊκό στο Νότιο. Ο όγκος αυτός αναμειγνύεται με τα νερά του Ν. Ευβοϊκού και κινείται προς νότο, με ταχύτητα που μειώνεται όσο πλησιάζει το τέλος της ημιπεριόδου των 6 ωρών. Μετά αρχίζει αναστροφή ροής, δηλαδή ρεύμα από το Νότιο Ευβοϊκό

στο Βόρειο για 6 ώρες περίπου κατά την οποία ένας όγκος  $V_{NT}$  κατά προσέγγιση ίσος με τον  $V_{BT}$  εξέρχεται από το Νότιο κόλπο προς το Βόρειο. Κατά την έξοδο αυτή μέρος των εξερχόμενων νερών του Νότιου κόλπου ανήκουν στα νερά του Βόρειου Ευβοϊκού που μπήκαν στην αμέσως προηγούμενη ημιπερίοδο. Έτσι σε μια περίοδο υποθέτουμε ότι στο Νότιο κόλπο δεν παρέμεινε ο συνολικός όγκος  $V_{NT}$  των νερών του Βόρειου Ευβοϊκού, αλλά ο όγκος  $C V_{BT}$  όπου  $C < 1$ , όπου ο συντελεστής  $C$  εκτιμήθηκε  $C \approx 0.7 \approx 0.9$ .

Αν  $V_{\Sigma N}$  είναι ο συνολικός όγκος των νερών του Νότιου κόλπου, τότε εκτιμούμε ότι ο χαρακτηριστικός χρόνος ανταλλαγής των νερών του Νότιου κόλπου με νερά από το Βόρειο Ευβοϊκό είναι:  $T_X \approx (V_{\Sigma N}/CV_{BT})$  (σε περιόδους). Για  $V_{\Sigma N} \approx 4.5 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$  και  $C \approx 0.8$ , βρίσκουμε  $T_X \approx 1627$  ημέρες  $\approx 4.5$  έτη.

Δηλαδή, με τις προϋποθέσεις που θεωρήσαμε, χρειάζονται τυπικά 4-5 χρόνια για να ανταλλάγουν τα νερά του Β. Ευβοϊκού με τα νερά του Ν. Ευβοϊκού. Στην πραγματικότητα ο χρόνος αυτός είναι μεγαλύτερος γιατί το  $C$  συνολικά είναι μικρότερο από 0,8.

### 2.3. Διάχυση ρυπαντών από τον Μαλιακό και Παγασητικό κόλπο προς τον Β. Ευβοϊκό

Τα ρεύματα που επικρατούν στο στενό του Τρικεριού και στο στενό των Ωρεών παρασύρουν μέρος των νερών του Παγασητικού και Μαλιακού κόλπου προς το Βόρειο Ευβοϊκό. Συνεπώς μέρος της ρύπανσης από τους παραπάνω κόλπους καταλήγει στον Ευβοϊκό κόλπο. Το πλάτος της εισόδου του Παγασητικού κόλπου είναι περί τα 5500 m και του Μαλιακού 3000 m. Αν  $U$  είναι η ταχύτητα του ρεύματος στην είσοδο του κόλπου και παράλληλα με το στόμιο αυτού, τότε προσομοιάζοντας τη ροή με ροή ζώνης μείξης, με συντελεστή εισδοχής 0.03 βρίσκουμε για την παρασυρόμενη μάζα από τους κόλπους:

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) \approx 0.03 L H U$$

όπου  $L$  το μήκος και  $H$  το βάθος του στομίου, το οποίο είναι 23 μ. για τον Μαλιακό και 70 για τον Παγασητικό.

Κατά τους θερινούς μήνες η στρωμάτωση περιορίζει το βάθος διασποράς ρυπαντών στα 20 μέτρα περίπου και συνεπώς  $H=20$  m για τους θερινούς μήνες. Η ταχύτητα  $U_0$  είναι φανερό ότι παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις τόσο λόγω της παλινρροιακής διακύμανσης όσο και λόγω της διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου. Ωκεανογραφικές μετρήσεις δεν είναι γνωστές ή διαθέσιμες για την περιοχή αυτή. Έχουν παρατηρηθεί ταχύτητες περί τους 2 κόμβους. Μέση ετήσια ταχύτητα για ύψος και βάθος  $H$  θεωρούμε τα 5 cm/s. Συνεπώς βρίσκουμε ότι η εκροή νερού από τον Παγασητικό κόλπο στον Ευβοϊκό είναι:

$$Q = (0.03) (5500 \text{ m}) (70\text{m}) (0.05 \text{ m/s}) = 580 \text{ m}^3/\text{s}$$



Ενώ για τον Μαλιακό είναι:

$$Q = (0.03) (3000) (23) (0.05) = 103 \text{ m}^3/\text{s}$$

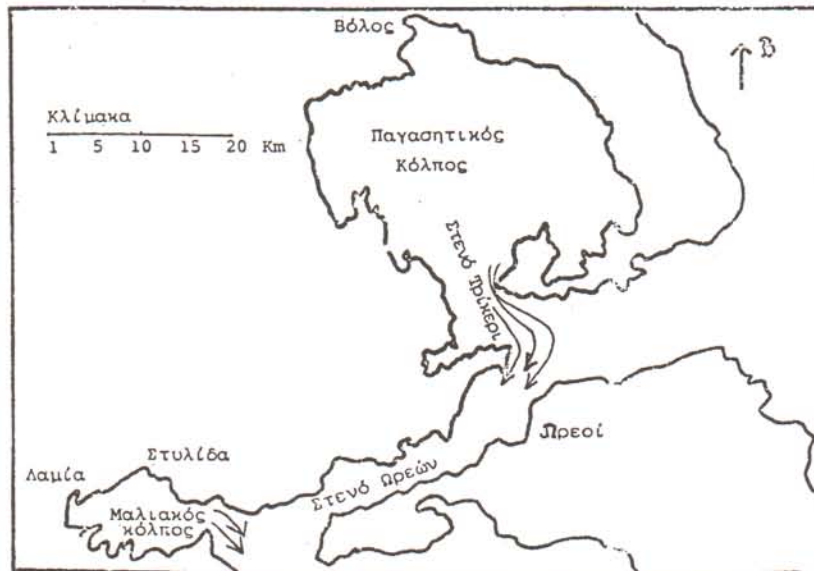
Ο χρόνος ανανέωσης των νερών του Παγασητικού αποκλειστικά λόγω του παραπάνω μηχανισμού είναι:

$$T = \frac{V_{\text{Παγασητικού}}}{Q} = \frac{(25000)(30000)(80)}{580} \approx 1200 \text{ ημέρες} \approx 3.2 \text{ έτη.}$$

Ο χρόνος ανανέωσης των νερών του Μαλλιακού είναι:

$$T = \frac{V_{\text{Μαλλιακού}}}{Q} = \frac{(15000)(7500)(23)}{103} = 290 \text{ ημέρες.}$$

Συνεπώς, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλη η ρύπανση του Παγασητικού κόλπου αδειάζει στον Ευβοϊκό κόλπο μία φορά κάθε τρία χρόνια και του Μαλιακού κάθε χρόνο. Οι παραπάνω εκτιμήσεις δίνουν ένα μέτρο της σημασίας των δύο αυτών κόλπων σαν πηγών ρύπανσης του Ευβοϊκού.



#### 2.4. Επιπτώσεις της στρωμάτωσης του Ευβοϊκού κόλπου στη διασπορά ρυπαντών

Η άμεση διασπορά των ρυπαντών μέσα στο Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό κόλπο εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες της κατακόρυφης και οριζόντιας στρωμάτωσης κατά τη διάρκεια του έτους. Η κατακόρυφη στρωμάτωση εμποδίζει την ανάμειξη του διαχεομένου ρυπαντή σε όλο το βάθος και ενισχύει επιλεκτικά (ανάλογα με το ειδικό βάρος του ρυπαντή και τις συνθήκες εκροής του) την εμφάνιση υψηλότερων συγκεντρώσεων σε ορισμένα βάθη και για χρονικά διαστήματα τάξης μεγέθους μεγαλύτερα από αυτά που αναμένονται για διάχυση σε ομογενή θάλασσα. Ο μακροσκοπικός φαινομενικός συντελεστής της διασποράς  $K$  που έχει υπολογισθεί για ομογενή, αστρωμάτιστη θάλασσα, έχει ενδεικτική, ασυμπτωματική, αξία για στρωματισμένη θάλασσα. Το ΙΩΚΑΕ έκανε δέκα λεπτομερείς ωκεανογραφικές έρευνες στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο από το 1978 έως το 1982, σε όλες τις εποχές (θέρος, φθινόπωρο, χειμώνα, άνοιξη). Αντίστοιχες έρευνες στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο δεν ευρέθησαν, αλλά είναι σκόπιμο να γίνουν στο διάυλο στο Τρίκερι, διάυλο Ωρεών και Βόρειο Ευβοϊκό, για να υπάρξουν λεπτομερέστερα δεδομένα για την επικοινωνία των νερών των κόλπων Παγασητικού και Μαλιακού με τον Ευβοϊκό.

Ωκεανογραφικές παρατηρήσεις στο Βόρειο Λιμένα της Χαλκίδας και στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο από το ΙΩΚΑΕ κατά το 1978 και 1979 έδειξαν ότι ο Νότιος Ευβοϊκός έχει μεγαλύτερη πυκνότητα κατά  $0.001 \text{ gr/cm}^3$  περίπου από το Βόρειο Ευβοϊκό. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο Βόρειο Ευβοϊκό εκβάλλει ο ποταμός Σπερχειός.

Μία σημαντικότερη αιτία πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι η πυκνότητα των νερών στο Βόρειο Αιγαίο μέχρι και Σκύρο είναι χαμηλότερη από την πυκνότητα στο Νότιο Αιγαίο. Αυτό κατά τον Μωλ (1978, σ. 28) οφείλεται στην εκροή των νερών της Μαύρης θάλασσας (που έχουν αλατότητα 30%) στο Αιγαίο, που έχει πυκνότητα υψηλή, περί τα 39‰. Η παροχή αυτή είναι περίπου  $12000 \text{ m}^3$  το δευτερόλεπτο. Είναι προφανές ότι αν τα νερά αυτά ύστερα από τη διαδρομή τους φθάνουν στο Β. Ευβοϊκό με αυτή τη διαφορά πυκνότητας λόγω περιορισμένης κατακόρυφης ανάμειξης (στρωμάτωση), τότε μεταφέρουν μαζί τους και το ρυπαντικό φορτίο τους σε ανιχνευόμενες συγκεντρώσεις. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό και ελπίζουμε να αποτελέσει το αντικείμενο ειδικής έρευνας του Εθνικού Κέντρου Ωκεανογραφικών Ερευνών. Το γεγονός ότι η πυκνότητα στο Β. λιμένα της Χαλκίδας είναι μικρότερη από την πυκνότητα στο Ν. Ευβοϊκό, υποδεικνύει την μακροσκοπική, κατά μέσο όρο, μεταφορά των νερών από το Β. Ευβοϊκό κόλπο προς το Νότιο, παρά το γεγονός ότι για κάποιες αποστάσεις και χρονικά διαστήματα, δημιουργείται ανταλλαγή των νερών του Βόρειου και Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου.

Ένας άλλος πιθανός λόγος της διαφορετικής πυκνότητας Βορείου και Νοτίου Ευβοϊκού κόλπου είναι το γεγονός ότι το μέσο βάθος του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου είναι τρεις φορές μικρότερο από το βάθος του Βόρειου Ευβοϊκού,

οπότε για ίσο ύψος εξάτμισης και στους δύο κόλπους (μια υπόθεση πολύ κοντά στη πραγματικότητα είναι ύψος εξάτμισης της τάξης των 70-90 cm ανά έτος) η πυκνότητα στο Νότιο κόλπο τείνει να γίνει μεγαλύτερη από την πυκνότητα στο Βόρειο κόλπο. Η διαφορά πυκνότητας του Βόρειου και Νότιου λιμένα στη Χαλκίδα (που βρέθηκε τόσο στους θερινούς όσο και στους χειμερινούς μήνες) έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τα ρυπασμένα νερά από το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο κατά τη διάχυσή τους στο Βόρειο Ευβοϊκό να βυθίζονται προς τα βαθύτερα του Βόρειου λιμένα (σαν βαρύτερα), ενώ τα ρυπασμένα νερά του Βόρειου Ευβοϊκού να εξαπλώνονται κυρίως επιφανειακά στο Νότιο λιμένα και το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο.

### 2.5. Μείξη λόγω του ανέμου

Μακριά από τον πορθμό του Ευρίπου τα ρεύματα στον Ευβοϊκό κόλπο εξαρτώνται από τους πνέοντες ανέμους. Ο άνεμος εξασκεί μια επιφανειακή διαμητική τάση και σπρώχνει επιφανειακά το νερό του κόλπου δημιουργώντας ρεύμα. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι το δημιουργούμενο ρεύμα είναι σε κάθε σημείο προς την κατεύθυνση του ανέμου. Η μορφολογία των ακτών και του βυθού δημιουργεί έντονες διαφοροποιήσεις στη διεύθυνση της ταχύτητας του ρεύματος και μεγάλης κλίμακας «στροβιλισμούς».

Η μείξη των ρυπαντών στον Ευβοϊκό οφείλεται σε συνδυασμό μικρής κλίμακας διάχυσης και μεγάλης κλίμακας διαφορές των μεταθετικών ταχυτήτων. Στους ποταμούς ο συνδυασμός των δύο αυτών μηχανισμών είναι σχετικά απλός. Η μεταθετική ταχύτητα προσδιορίζει ένα σύνολο από (προσεγγιστικά) μόνιμες γραμμές ροής, οπότε ο βασικός ρόλος της τυρβώδους διάχυσης είναι η μεταφορά μάζας (ρυπαντών) ανάμεσα σε γραμμές ροής. Η μακροσκοπική διαμήκης διασπορά δημιουργείται κυρίως επειδή η ταχύτητα ροής είναι διαφορετική σε διαφορετικές γραμμές ροής. Στην περίπτωση του Ευβοϊκού κόλπου η διαμήκης διασπορά είναι ένα φαινόμενο πολύ πιο περίπλοκο από το πρόβλημα της διάχυσης σε ποταμούς ή λιμνοθάλασσες. Η μέτρηση της ταχύτητας σ' ένα ορισμένο σημείο του Ευβοϊκού κόλπου (μερικές εκατοντάδες μέτρα μακριά από τον πορθμό) αποκαλύπτει διακυμάνσεις διαφόρων περιόδων (ή χαρακτηριστικών ταχυτήτων). Διακυμάνσεις με περίοδο μικρότερη από μερικά λεπτά οφείλονται στην τύρβη. Διακυμάνσεις μεγαλύτερης περιόδου αντανakλούν τις διακυμάνσεις της μέσης τιμής της μεταθετικής ταχύτητας και οφείλονται στην παλίρροια (ανά ωρο ή 12ωρο), στους ανέμους (οποιασδήποτε περιόδου) και σε μετεωρολογικά φαινόμενα, στην περιστροφή της γης κλπ. Συχνά η διεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας μέσα στον Ευβοϊκό κόλπο δεν είναι παράλληλη με τον άξονα του κόλπου (που ορίζεται μακροσκοπικά και με κάποια προσέγγιση). Συχνά η διεύθυνση της ροής στην ίδια οριζόντια θέση εξαρτάται από το βάθος, ενώ η κατεύθυνση της ροής κοντά στην ακτή είναι αντίθετη της κατεύθυνσης της ροής στο κέντρο του καναλιού. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι ο συνδυασμός των φαινομένων

της διάχυσης και της μεταθετικής διασποράς στον Ευβοϊκό κόλπο δεν είναι μια εύκολη τετριμμένη περίπτωση, αλλά ένα πολύπλοκο πρόβλημα.

## 2.6. Εκτιμήσεις για τον κατακόρυφο και εγκάρσιο συντελεστή τυρβώδους διάχυσης

Οι εκτιμήσεις που παραθέτουμε βασίζονται στις εργασίες του Fischer (1967, 1972, 1975, 1979), ο οποίος προώθησε σε επίπεδο ικανοποιητικής αξιοπιστίας την βασική έρευνα του Edler (1959). Υποθέτουμε ότι για μικρά χρονικά διαστήματα η ροή μέσα στον Ευβοϊκό κόλπο προσομοιάζει τη ροή ενός ρεύματος σε πλατύ ανοικτό αγωγό. Αυτή η υπόθεση είναι αρκετά προσεγγιστική, γιατί όπως παρατηρήθηκε από το υδραυλικό ομοίωμα και όπως μπορεί κανείς να επιχειρηματολογήσει από τη γενική βυθομετρία του κόλπου, είναι δυνατόν σε κάποια διατομή να εμφανίζονται δύο ρεύματα σε αντίθετη κατεύθυνση, λόγω δημιουργίας μεγάλης κλίμακας στροβιλισμού. Με τις ανωτέρω παρατηρήσεις, κάνουμε μια εκτίμηση ότι ο μέσος κατακόρυφος τυρβώδης συντελεστής  $\epsilon_v$  είναι ίσος με:

$$\epsilon_v = 0.07 H u_* = 0.007 H \bar{u}$$

και ο εγκάρσιος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης ίσος με αυτόν που προκύπτει για αρκετά φαρδείς, μαιανδρικούς ποταμούς, δηλαδή

$$\epsilon_t = \epsilon_l = 0.6 H u_*$$

όπου η ταχύτητα τριβής  $u_*$  λαμβάνεται ίση με:

$$u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \approx 0.1 \bar{u}$$

όπου  $\bar{u}$  η μέση παλίρροιακή ταχύτητα.

Ο φαινομενικός μακροσκοπικός συντελεστής διασποράς ισούται με (βλ. Fischer 1979, σ. 97 και 235):

$$K = K_0 f(T/T_c)$$

όπου  $T$ : η περίοδος της παλίρροιας (περίπου 12 ώρες)  $\approx 43200$  sec

$$T_c: (\text{τυπικό πλάτος})^2 / \epsilon_t = W^2 / \epsilon_t$$

$$\tau': T/T_c$$

$W$ : πλάτος κόλπου

$\epsilon$ : τυρβώδης συντελεστής εγκάρσιας διάχυσης

$$K_0: 0.1 \bar{u}^2 T_c$$

$\bar{u}'^2$ : τυπική απόκλιση της εγκάρσιας διακύμανσης της ταχύτητας  $\approx \bar{u}^2$

Έχουμε:

$$K \approx (0.1) \bar{u}^2 T \left[ \frac{1}{\tau'} f(T/T_c) \right]$$

Για παράδειγμα, για μέση ταχύτητα  $\bar{u}$  ίση με  $20 \text{ cm/s} = 0.2 \text{ m/s}$  και μέσο βάθος  $150 \text{ m}$ , βρίσκουμε:

$$\varepsilon_t = 0.06 H \bar{u} \approx 1.8 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ο τυπικός χρόνος  $T_c$  εγκάρσιας μείξεως για πλάτος  $4 \text{ km}$  είναι:

$$T_c = \frac{(4000)^2}{1.8} = 8.8 \cdot 10^6 \text{ s} \approx 101 \text{ ημέρες}$$

και

$$\tau' = T/T_c \approx 0.005$$

Από το Νομογράφημα του Fischer ( $1/T'$ )  $f(T') \approx 0.01$ , οπότε βρίσκουμε το μακροσκοπικό συντελεστή τυρβώδους διασποράς:

$$K \approx (0.1) (0.1)^2 (43200) (0.01) \approx 0.43 \text{ m}^2/\text{s}$$

Σύμφωνα με τον Fischer (1979, σ. 275) ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει ένας ρυπαντής από το ένα άκρο του κόλπου στο άλλο και να αποκτήσει μια ομοιόμορφη συγκέντρωση καθ' όλο το μήκος του δίνεται κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$T_M = (0.4) L^2/K$$

όπου

L: το μήκος του κόλπου

Για παράδειγμα, για  $L \approx 60 \text{ km}$  και  $K \approx 1 \text{ m}^2/\text{s}$  βρίσκουμε  $T_M \approx 46$  χρόνια.

Ο Fukuoaka (1974, σ. 16, 22, 24) καταλήγει στα εξής συμπεράσματα:

Ορίζει την αδιάστατη μεταβολή

$$T_r = \frac{\varepsilon}{\pi} \varepsilon_0 \frac{T}{H^2} \text{ όπου}$$

$\epsilon_0$ : συντελεστής τυρβώδους διάχυσης

T: περίοδος της παλίρροιας

H: βάθος

Για  $\epsilon_0 \approx 1 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $H = 150 \text{ m}$ ,  $T = 43200 \text{ sec}$ , βρίσκουμε

$$T_r = (2/3.14) (1) (43200) (0.0001) = 2.75$$

Από το διάγραμμα του Fukuoaka (σ. 24), βρίσκουμε ότι το  $K \approx 0.9 K_\infty$ , όπου το  $K_\infty$  είναι η προσέγγιση του Fukuoaka (1974, σ. 29) στον υπολογισμό του μακροσκοπικού συντελεστού διασποράς σε παλιρροιακές εναλασσόμενες ροές για  $T_r \gg 1$ . Ο Fukuoaka καταλήγει στη σχέση:

$$K \approx c \bar{U}^2 H^2 / \epsilon_t$$

όπου  $c$  σταθερά εξαρτωμένη από την κατανομή της ταχύτητας. Για προφίλ ταχύτητας:

$$u = (n + 1) \bar{U} \left( \frac{Z}{H} \right)^n \sin \omega t \quad \text{και}$$

$$\text{για } n = 0.4 \text{ βρίσκουμε } c \approx 10^{-4}, \text{ για } n \approx 0.65, c \approx 10^{-3}$$

Για  $\epsilon_t \approx 1.8 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $H \approx 150 \text{ m}$ ,  $\bar{U} \approx 0.2 \text{ m/s}$ , βρίσκουμε συνεπώς αντίστοιχα:

$$K \approx 500 c \begin{cases} 0.5 \text{ m}^2/\text{s} \text{ για } n \approx 0.65 \\ 0.05 \text{ m}^2/\text{s} \text{ για } n \approx 0.4 \end{cases}$$

Παρατηρούμε ότι για  $n \approx 0.65$  η τιμή που λαμβάνουμε από τη θεωρία Fukuoaka πλησιάζει την εκτίμηση  $K \approx 0.43 \text{ m}^2/\text{s}$  που καταλήξαμε προηγουμένως.

## 2.7. Εκτιμήσεις για τον αριθμό Richardson και την επίδραση της στρωμάτωσης στους συντελεστές διασποράς

Όταν ο Ευβοϊκός κόλπος είναι κατακόρυφα στρωματισμένος τότε μέρος της παλιρροιακής ενέργειας καταναλώνεται για να υπερνικήσει τη δυναμική ενέργεια των νερών για να γίνει δυνατή η τυρβώδης ανάμειξη και διασπορά. Η κατανόηση της διαδικασίας αυτής είναι αντικείμενο πολλών σύγχρονων ερευνητικών προγραμμάτων.

Η κατακόρυφη στρωμάτωση συνήθως χαρακτηρίζεται από την κατανομή της μέσης άνωσης που ορίζεται σαν

$$\alpha = g \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$$

όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $\rho_0$  η πυκνότητα αναφοράς (π.χ. η πυκνότητα στον πυθμένα), και  $\rho$  η πυκνότητα στο τυχόν βάθος  $Z$ . Αν ο άξονας  $Z$  έχει κατεύθυνση προς τα άνω, τότε ορίζουμε τις παρακάτω παραμέτρους:

α) συχνότητα των Brunt - Vaisala,  $N$  ίση με

$$N = \left( -\frac{\partial \alpha}{\partial z} \right)^{1/2}$$

β) συχνότητα Kelvin - Helmholtz:

$$M = \left( -\frac{\partial \alpha}{\partial z} \right)$$

γ) τον αριθμό Richardson

$$R_i = -\frac{N^2}{M^2}$$

Η δυναμική των στρωματισμένων θαλασσών είναι βασικά το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού δύο σημαντικών μηχανισμών: απελευθέρωση ενεργείας από το πεδίο μέσων ταχυτήτων στην τυρβώδη ροή και μεταφορά (αφαίρεση) ενεργείας από το τυρβώδες πεδίο στις ανωστικές δυνάμεις. Ο αριθμός Richardson αποτελεί ένα μέτρο της σχετικής αποτελεσματικότητας των δύο παραπάνω διαδικασιών. Ο ρυθμός της μεταφοράς τυρβώδους ενέργειας  $\epsilon$  μειώνεται από την επιφάνεια προς τα βαθύτερα στρώματα. Σύμφωνα με τις μετρήσεις διαφόρων ερευνητών, τυπικές τιμές του  $\epsilon$  δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Τυπικές τιμές ρυθμών μεταβολής τυρβώδους ενέργειας  $E$   
για διάφορα βάθη

Βάθος	$E$ $m^2/sec^3$	Ερευνητής
1 έως 2m κάτω από την επιφάνεια	3 $10^{-5}$	Stewart and Grant (1962)
Ζώνη μείξης	3 $10^{-6}$	Grant at al (1968)
Θερμοκλινής	3 $10^{-8}$	Woods (1968 b)
Βαθιά στρώματα	3 $10^{-9}$	Takenouti et al (1962)

Σύμφωνα με τον Ozmidov (1965) ο οριζόντιος συντελεστής διάχυσης εκφράζεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_x = E^{1/3} L^{4/3}$$

όπου  $L$  το χαρακτηριστικό μήκος.

Η ανωτέρω σχέση εκφράζει την εξάρτηση του συντελεστού διάχυσης από τη γραμμική κλίμακα του φαινομένου, δηλαδή εκφράζει την αύξηση του συντελεστού αυτού με το μέγεθος (έκταση) της διασποράς. Η ακριβής τιμή του εκθέτη  $L$  στην παραπάνω σχέση έχει γίνει αντικείμενο έρευνας και αμφισβήτησης. Ο Okubo (1968) προτείνει τη σχέση:

$$\varepsilon_x \approx 0.01 L^{1.15}$$

ενώ ο Talbot (1970) και ο Nihoul (1975) υποστηρίζουν ότι ο εκθέτης του  $L$  μπορεί να παίρνει τιμές από 0 μέχρι και 1 ή και 1.3.

Ο κατακόρυφος συντελεστής διάχυσης υποτίθεται ότι για αστρωμάτιστη θάλασσα εκφράζεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{v,0} \approx l_m^2 \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

όπου  $l_m$  το μήκος ανάμειξης

Ο Nihoul (1973a) υποστηρίζει ότι το μήκος ανάμειξης είναι της τάξεως 0.1  $H$ , όπου  $H$  το βάθος της στρώσης του νερού που μας ενδιαφέρει. Ο κατακόρυφος συντελεστής διάχυσης  $\varepsilon_v$  επηρεάζεται άμεσα από τον αριθμό Richardson. Σχετικά έχουν προταθεί οι παρακάτω σχέσεις:

α) Momayev (1958) επρότεινε:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{v,0} e^{-0.8 R_i}$$

β) Οι Mumk και Anderson (1948):

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{v,0} (1 + 3.33 R_i)^{-3/2}$$

γ) Ο Blumberf (1977) επρότεινε:

$$\varepsilon_v = 0.5 + c_1^2 z^2 \left( 1 - \frac{z}{H} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right) \left( 1 - \frac{R_i}{10} \right)^{1/2}$$

όπου  $c_1$  σταθερά.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον αριθμό Richardson για διαφορετικές εποχές (διάφορες στρωματώσεις) και για διάφορες κατανομές ταχύτητας ρευμάτων.



Κατά τους θερινούς μήνες έχουμε για τα πρώτα 10 μέτρα μεταβολή πυκνότητας ίση με  $0.00015 \text{ gr/cm}^3$  οπότε  $\alpha=0.15 \text{ cm/sec}^2$ .

Η συχνότητα Brunt - Vaisala είναι ίση με

$$N = \left( \frac{0.15}{1000} \right)^{1/2} = 0.0122 \text{ sec}^{-1}$$

Για διαφορά ταχύτητας ανάμεσα στην επιφάνεια και σε βάθος 10 m με  $10 \text{ cm/sec}$  βρίσκουμε συχνότητα Kelvin-Helmoltz ίση

$$M = \left( \frac{10}{1000} \right) = 0.01 \text{ sec.}$$

Ο αριθμός Richardson για την περίπτωση αυτή είναι:

$$R_i = \frac{N^2}{M^2} = \frac{(0.0122)^2}{(0.01)^2} = 1.49$$

Σύμφωνα με τον τύπο των Munk και Anderson (1948) ο κατακόρυφος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης  $\epsilon_v$  είναι ίση με

$$\epsilon_v = 0.069 \epsilon_{v,0} = \frac{\epsilon_{v,0}}{14.5}$$

δηλαδή ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης στα πρώτα 10 μέτρα τους θερινούς μήνες είναι περίπου 15 φορές μικρότερος από το συντελεστή αστρωμάτιστης διάχυσης  $\epsilon_{v,0}$  που επικρατεί τους χειμερινούς μήνες. Για τα επόμενα 10 μέτρα, δηλαδή για συνολικό βάθος 20 μέτρων, η πυκνότητα αυξάνει κατά 0.85 περίπου δηλαδή έχουμε  $\alpha=0.85 \text{ cm/sec}^2$

$$N = \left( \frac{0.85}{2000} \right)^{1/2} = 0.0206 \text{ sec}^{-1}$$

Για διαφορές ταχύτητας 5, 10, 15, 20 και 25 cm/sec βρίσκουμε τις παρακάτω τιμές αριθμού Richardson και κατακόρυφου συντελεστή διάχυσης  $\epsilon_v$  σαν συνάρτηση του  $\epsilon_{v,0}$ .

	Διαφορά ταχύτητα στα 20 μέτρα, σε cm/s						
	5	10	15	20	50	100	cm/s
$M = \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)$	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.025	0.05	sec <sup>-1</sup>
$R_i$	68	17	7.5	4.24	0.68	0.17	—
$\frac{\epsilon_{v,0}}{\epsilon_v}$	3.400	437	132	59	6	2	—

Ο προηγούμενος πίνακας είναι αρκετά διαφωτιστικός και θα επιμείνουμε λίγο στο σχολιασμό του. Κατ' αρχάς φανερώνει τη σημασία του πεδίου ταχυτήτων (για δεδομένη πυκνομετρική) κατανομή στον υπολογισμό του  $\epsilon_v$ . Για διαφορά ταχύτητας 5 cm/sec με διαφορά πυκνότητας 0.0085 gr/cm<sup>3</sup> στα 20 μέτρα βάθος, ο  $\epsilon_v$  είναι 3400 φορές μικρότερος από τον  $\epsilon_{v,0}$  (κατά τους Munk-Anderson). Από πρακτικής πλευράς δηλαδή η ανάμειξη των πρώτων 20 μέτρων νερού στον Ευβοϊκό κόλπο με τα βαθύτερα στρώματα είναι αμελητέα. Όλοι οι ρυπαντές που εκβάλλουν στα παράκτια αβαθή νερά, (ή μέσα στη στρώση των 20 μέτρων) αραιώνουν μέσα σ' αυτή τη στρώση και οι μέσες συγκεντρώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από το αν είχαμε μια ομοιόμορφη κατά βάθος ανάμειξη. Διαφορές ταχύτητας στα 20 μέτρα ίση με 50 έως 100 cm/sec εμφανίζονται σε ειδικές περιπτώσεις καταιγίδων και ισχυρού ανέμου.

Είναι φανερό από τις μετρήσεις ότι οι συνήθεις ταχύτητες βρίσκονται στην περιοχή των 5 έως 10 cm/sec. Συνεπώς, από πρακτικής πλευράς μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής κατακόρυφης ανάμειξης μειούται καθώς περνάμε από τους χειμερινούς στους θερινούς μήνες, και λαμβάνει τιμές 400 έως 3500 φορές μικρότερες κατά τους θερινούς μήνες. Η δυσμενής επίπτωση του γεγονότος αυτού για την αύξηση της συγκέντρωσης του αριθμού των κολοβακτηριδίων στις πολυσύχναστες τουριστικές περιοχές είναι εμφανής. Εκτιμώντας ότι  $\epsilon_{v,0} = 0.007 H \bar{u}$ , βρίσκουμε για  $\bar{u} = 10$  cm/sec

$$\epsilon_v = (0.007) (2000) (10)/437 \approx 0.32 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

Ο τυπικός χρόνος κατακόρυφης μείξης σε στρώση 2000 cm είναι:

$$t_c = \frac{H^2}{\epsilon_v} \approx \frac{(2000)^2}{0.32} = 12.5 \cdot 10^6 \text{ sec} = 147 \text{ μέρες.}$$

Ο εγκάρσιος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης δεν εξαρτάται από την κατακόρυφη στρωμάτωση και ισούται με

$$\epsilon_t \approx 0.6 H u_v \approx 0.06 H \bar{u}$$

$$\text{για } \bar{u} \approx 5 \text{ cm/sec και } H = 20 \text{ m}$$

$$\epsilon_t \approx 600 \text{ cm}^2/\text{sec} = 0.06 \text{ m}^2/\text{sec}$$

Ο τυπικός χρόνος εγκάρσιας μείξης για τυπικό πλάτος του Ευβοϊκού κόλπου ίσο με 8 Km είναι:

$$T_c = \frac{(8000)^2}{0.06} \approx 33 \text{ χρόνια.}$$

Ο χρόνος αυτός βέβαια έχει απλά ενδεικτική σημασία γιατί ούτε η στρωμάτωση

διατηρείται πέραν των θερινών μηνών, ούτε η ταχύτητα είναι διαρκώς 5 cm/sec.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα είναι ότι η εγκάρσια μείξη τους θερινούς μήνες περιορίζεται σε μία κατακόρυφη στρώση πάχους 20 μέτρων που μειώνει τον εγκάρσιο συντελεστή διάχυσης. Θεωρώντας τα προηγούμενα δεδομένα, και υποθέτοντας ρύπανση από αστικά λύματα ή άλλες ρυπάνσεις κατά μήκος των ακτών, βρίσκουμε ότι χρειάζονται περίπου δύο μέρες για να επεκταθεί το πεδίο ρύπανσης εγκάρσια κατά 100 μέτρα, και 12 ώρες για να επεκταθούν κατά 50 μέτρα, και μία μέρα για να επεκταθεί η ρύπανση στα 70 μέτρα. Είναι συνεπώς φανερό γιατί σε ορισμένες παράκτιες περιοχές με ιδιαίτερα έντονη τουριστική κίνηση δημιουργούνται υψηλές συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων κοντά στις ακτές.

Η στρωμάτωση επιδρά στο μακροσκοπικό συντελεστή διασποράς  $K$ . Πράγματι, θεωρώντας ότι λόγω της έντονης θερμοκλινοῦς στα 20 μέτρα η κατά μήκος διασπορά γίνεται σε ένα στρώμα βάρους 20 μέτρων, βρίσκουμε (βλ. παράγρ. 2.6.):

$$\text{για } \varepsilon_t \approx 0.06 \text{ m}^2/\text{s}, H = 20 \text{ m},$$

$$U = 20 \text{ cm/s, και}$$

προφίλ ταχύτητας

$$u \approx 1.65 \left( -\frac{Z}{H} \right)^{0.65} \sin \omega t$$

$$\text{οπότε } c \approx 10^{-3} \text{ και}$$

$$K = cU^2 H^2/\varepsilon_t \approx 0.27 \text{ m}^2/\text{s}$$

παρατηρούμε δηλαδή μείωση του μακροσκοπικού συντελεστού διασποράς λόγω στρωμάτωσης. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής ρυπαντών μέσα στον κόλπο.

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΤΟΥ ΕΥΒΟΪΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

#### 3.1. Εισαγωγή - Αντικείμενο πειραματικής έρευνας

Ο στόχος της πειραματικής έρευνας στο υδραυλικό ομοίωμα είναι: α) η μακροσκοπική παρατήρηση της υδραυλικής συμπεριφοράς του Βόρειου και Νότιου Ευβοϊκού, η επισήμανση των κύριων χαρακτηριστικών της ροής και των δημιουργούμενων ρευμάτων λόγω της διαμόρφωσης των ακτών και της τοπογραφίας, β) η μακροσκοπική εκτίμηση του συντελεστού διασποράς, γ) η εκτίμηση του χρόνου παραμονής των ρυπαντών μέσα στο Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό.

Η εμπειρία που αποκτάται από τη λειτουργία του ομοιώματος είναι πολύτιμη και βοηθά στη συνολική, σφαιρική κατανόηση του προβλήματος και είναι το απαραίτητο συμπλήρωμα της θεωρητικής προσέγγισης.

### 3.2. Νόμοι στρεβλής ομοιότητας - Σχολιασμός της υδραυλικής ομοιότητας της διασποράς

Στην έρευνα αυτή ακολουθούμε τους παρακάτω συμβολισμούς:  
 Δείκτης  $p$  συμβολίζει μέγεθος για το πρωτότυπο, και δείκτης  $m$  για το ομοίωμα.  
 $L_r$ : λόγος οριζοντίων μηκών

$$H_r = \text{λόγος βαθών} = \frac{\text{βάθος στο πρωτότυπο}}{\text{βάθος στο μοντέλο}} = \frac{H_p}{H_m}$$

Η επιλογή της οριζόντιας κλίμακας του υδραυλικού ομοιώματος έγινε βάσει των υφισταμένων δυνατοτήτων του εργαστηρίου και καθορίστηκε σε 1:25000. Κατακόρυφη κλίμακα επελέγη ίση με 1:500 (στρεβλό ομοίωμα), έτσι ώστε το μέσο βάθος του Ευβοϊκού που είναι 150 μ. θα δίνει στο ομοίωμα ένα βάθος 30 cm. Έτσι οδηγούμαστε σε ένα υδραυλικό ομοίωμα διαστάσεων 750×300 cm που κατασκευάστηκε σε στεγασμένο χώρο του εργαστηρίου. Η στρέβλωση του ομοιώματος είναι  $L_r/H_r=50$ . Η στρέβλωση αυτή είναι τυπική για τέτοιου είδους μοντέλα, μετατρέπει δε, μια πλατιά και ρηχή διατομή σε μια διατομή τύπου φαργγιού. Αυτή δε η διαφοροποίηση κατά την κατακόρυφη είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί τυρβώδης ροή στο υδραυλικό ομοίωμα, διαφοροποιεί όμως τους ρυθμούς μείξης κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Μετά την εκλογή της οριζόντιας και κατακόρυφης κλίμακας, η αντιστοιχία των φυσικών μεγεθών (π.χ. ταχύτητα, δύναμη, συγκέντρωση, διασπορά) μεταξύ του πρωτότυπου και του φυσικού ομοιώματος γίνεται χρησιμοποιώντας αρχές ομοιότητας χαρακτηριστικών αδιαστάτων αριθμών. Απόλυτη εξομοίωση και αναπαραγωγή της φύσης στο ομοίωμα δεν είναι δυνατή, αλλά έχει γίνει παραδεκτό ότι τα βασικά χαρακτηριστικά εξομοιώνονται. Για τα στρεβλά υδραυλικά ομοιώματα οι νόμοι ομοιότητας χρειάζονται κάποια επεξεργασία και κάποια ρύθμιση, η οποία συνήθως δεν ισχύει παρά μόνο για το εξεταζόμενο στρεβλό ομοίωμα.

Μια αποδεκτή προσέγγιση είναι η απαίτηση της ακριβούς ομοιότητας της ταχύτητας των μικρών κυματισμών, η οποία ως γνωστό δίνεται από την σχέση:

$$c = \sqrt{gH} \quad (3.2.1)$$

όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $H$  το βάθος της ροής. Από την (3.2.1) βρίσκουμε:

$$\frac{c_p}{c_m} = \sqrt{\frac{H_p}{H_m}} = \sqrt{H_r} \quad (3.2.2)$$

Ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθεί το κύμα σε οριζόντια απόσταση  $L$  είναι  $t=L/c$ . Από τη σχέση αυτή βρίσκουμε την κλίμακα του χρόνου στο στρεβλό ομοίωμα:

$$t_r = \frac{t_p}{t_m} \frac{L_p}{L_m} \left( \frac{H_m}{H_p} \right)^{1/2} = L_r H_r^{-1/2} = 1118 \quad (3.2.3)$$

Η κλίμακα των οριζόντιων ταχυτήτων προσδιορίζεται από την παρακάτω απαίτηση. Ένα σωματίδιο του νερού που κάνει τη διαδρομή  $L_p$  στο πρωτότυπο σε χρόνο  $t_p$ , οφείλει να κάνει τη διαδρομή  $L_m$  στο ομοίωμα σε χρόνο  $t_m$ , οπότε:

$$L_p = u_p t_p \quad (3.2.4)$$

$$L_m = u_m t_m$$

και

$$u_r = \frac{u_p}{u_m} = \frac{L_p}{L_m} \frac{t_m}{t_p} = L_r L_r^{-1} H_r^{1/2} = H_r^{1/2} = 22.36 \quad (3.2.5)$$

Η εξίσωση (3.2.5) στην οποία καταλήξαμε συμπίπτει με την ομοιότητα Froude που απαιτεί ο αριθμός Froude  $u/(gH)^{1/2}$  να είναι ο ίδιος σε ομοίωμα και σε πρωτότυπο. Η διάδοση των παλίρροιακών κυμάτων εξαρτάται κυρίως από αδρανειακές δυνάμεις και δυνάμεις βαρύτητας, οπότε η ομοιότητα Froude εξασφαλίζει την ομοιότητα των δυνάμεων βαρύτητας. Οι υπόλοιπες κλίμακες ομοιότητας για το πεδίο ταχυτήτων για το πρόβλημα μας προκύπτουν από τις προηγούμενες και είναι οι εξής:

$$\text{Κλίμακα παροχών } Q_r = A_r u_r = L_r H_r H_r^{1/2} = L_r H_r = 12500 \quad (3.2.6)$$

$$\text{Κλίμακα διατομών } A_r = L_r H_r = 12500$$

$$\text{Κλίμακα κλίσης } S_r = H_r/L_r = 0.02$$

Κλίμακα περιόδου παλίρροιας

$$T_r = \frac{T_p}{T_m} = t_r = L_r H_r^{-1/2} = 1118 \quad (3.2.7)$$

Κλίμακα οριζοντίων επιφανειών

$$L_r^2 = 625000$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η περίοδος της παλίρροιας στο ομοίωμα διαρκεί:

$$T_m = T_p L_r^{-1} H_r^{1/2} = (12) (3600) (25000)^{-1} (500)^{1/2} = 38.64 \text{ sec}$$

Ο ένας μήνας στο πρωτότυπο είναι για το ομοίωμα 38.64 πρώτα λεπτά. Ο ένας χρόνος είναι 7 ώρες και 44 λεπτά, στο ομοίωμα. Για τη διασπορά ρυπαντών

οι κλίμακες ομοιότητας που θα χρησιμοποιήσουμε βασίζονται στην εξίσωση διασποράς:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \text{ grad } c = K \nabla^2 c \quad (3.2.9)$$

όπου  $K$  ο συντελεστής διασποράς, ο οποίος γενικά για διατμητική ροή ακολουθεί το νόμο (βλ. Fischer et al (1979), σ. 94).

$$K \approx 0.1 \frac{H^2 \overline{u'^2}}{E} \quad (3.2.10)$$

όπου  $\overline{u'^2}$ : η χωρική διακύμανση της οριζόντιας ταχύτητας και  $E$ : η μέση (επί μιας διατομής) τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τυρβώδους διάχυσης.

Ο τυρβώδης συντελεστής (εγκάρσιας) διάχυσης  $E$  ακολουθεί το νόμο του Fick:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \text{ grad } c = E \nabla^2 c \quad (3.2.11)$$

και ορίζεται από τη σχέση

$$E = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt} \quad (3.2.12)$$

(όπου  $\sigma$  η κανονική απόκλιση της κατανομής της συγκέντρωσης  $c$  με διαστάσεις μήκους).

Συνεπώς, ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης κατά την κατακόρυφο ακολουθεί το νόμο:

$$E_{v,r} = \frac{H_r^2}{t_r} = H_r^{5/2} L_r^{-1} = 223.6 \quad (3.2.13)$$

ενώ ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης κατά την εγκάρσια, οριζόντια διεύθυνση ακολουθεί, λόγω της στρέβλωσης, διαφορετικό νόμο ομοιότητας και συγκεκριμένα:

$$E_{L,r} = \frac{L_r^2}{t_r} = L_r H_r^{1/2} = (5.6)10^5 \quad (3.2.14)$$

$$K_r = \frac{K_p}{K_m} = H_r^2 \frac{u_r^2}{E_r} \quad (3.2.15)$$

Επειδή το πλάτος του Ευβοϊκού κόλπου είναι γενικά δεκάδες φορές μεγαλύτερο από το μέσο βάθος, συμπεραίνουμε (κατ' αναλογία με τις σχετικές εργασίες του Fischer για πλατείς ποταμούς) ότι ο συντελεστής διασποράς  $K$  θα εξαρτάται κυρίως από τον εγκάρσιο συντελεστή τυρβώδους διάχυσης  $E_{L,r}$  οπότε:

$$K_r = \frac{H_r^2 u_r^2}{E_{v,r}} = \frac{H_r^{5/2}}{L_r^{-1} H_r^{5/2}} = L_r = 25000 \quad (3.2.16)$$

Αν όμως θεωρήσουμε το μακροσκοπικό συντελεστή διασποράς  $K$  για παλίρροιακές ροές (βλ. Fischer 1979, σ. 235),

$$K = (0.1) \overline{u'^2} T_c f(T/T_c)$$

$$\text{όπου } T_c \approx u^2/\varepsilon_L$$

$f(T/T_c)$ : αδιάστατη συνάρτηση, βρίσκουμε:

$$K_r = (u_r)^2 \frac{L_r^2}{\varepsilon_{L,r}} \approx H_r \frac{L_r^2}{L_r H_r^{1/2}} = L_r H_r^{1/2} = (5.6)10^5 \quad (3.2.17)$$

### 3.3. Κατανομή του υδραυλικού ομοιώματος - Περιγραφή της πειραματικής διάταξης

Το υδραυλικό ομοίωμα κατασκευάστηκε σε κτιστή δεξαμενή διαστάσεων  $750 \times 300$  cm. Το ανάγλυφο της βαθυμετρίας του Ευβοϊκού κόλπου κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας υφιστάμενους χάρτες στους οποίους χαράχθηκαν οι ισοβαθείς. Οι υπάρχοντες χάρτες δεν ήταν της κλίμακας 1:25000 με την οποία κατασκευάστηκε το ομοίωμα και έτσι απαιτήθηκε η μεγέθυνση αυτών, εργασία αρκετά χρονοβόρα και χρήζουσα ιδιαίτερης προσοχής λόγω των μεγάλων διαστάσεων (7.5 μέτρα). Οι ισοβαθείς ανά 20 μέτρα βάθος, αντιγράφησαν σε 200 διαφανή ριζόχαρτα διαστάσεων  $100 \times 100$  cm από τα οποία κατασκευάστηκαν οι ισοβαθείς με φελιζόλ.

Στο υδραυλικό ομοίωμα τοποθετήθηκε δίκτυο αποχέτευσης του νερού, κινητή γέφυρα για τη λήψη μετρήσεων από διάφορες θέσεις του ομοιώματος, ειδική διάταξη για τη δημιουργία της παλίρροιας δηλαδή της εναλασσόμενης πλημμυρικής υπερύψωσης, σύστημα μαγνητοσκοπήσεως της διασποράς των ρυπαντών, και σύστημα αυτόματης μέτρησης των σημειακών συγκεντρώσεων.

Η δημιουργία της παλίρροιας έγινε βυθίζοντας περιοδικά στο Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό κόλπο δύο στερεούς όγκους, υπολογισμένους έτσι ώστε να δίνουν, υπό κλίμακα, στο ομοίωμα, παλίρροια ύψους 80 cm στο Βόρειο Ευβοϊκό και 25 cm στο Νότιο. Η εναλλαγή των βυθίσεων-ανυψώσεων των στερεών αυτών σωμάτων δημιουργούσε εναλασσόμενες υψώσεις-πτώσεις της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του ομοιώματος με περίοδο 12 ώρες πρωτοτύπου ή σε τιμές ομοιώματος:

υπερύψωση Βόρειου Ευβοϊκού: 1.6 mm  
 υπερύψωση Νότιου Ευβοϊκού: 0.5 mm  
 περίοδος παλίρροιας ομοιώματος: 38.64 sec

### 3.4. Περιγραφή των πειραμάτων στο φυσικό ομοίωμα

Ο βασικότερος στόχος της πειραματικής έρευνας ήταν η εκτίμηση του μακροσκοπικού συντελεστού διασποράς της ρύπανσης. Οι ρυπαντές εξομοιώνονται στα πειράματα αυτά είτε με χρώμα είτε με διακεκριμένους πλωτήρες. Η παρακολούθηση της διασποράς των «ρυπαντών» γινόταν με βιντεοσκόπηση. Ορισμένα πειράματα κινηματογραφήθηκαν με μηχανή 8 mm χρησιμοποιώντας ειδικό εξάρτημα που έκανε δυνατή τη λήψη μιας φωτογραφίας (ενός καρέ) κάθε ένα δευτερόλεπτο. Η ανάλυση των βιντεοσκοπημένων πειραμάτων αναλύθηκε με ιδιαίτερη φροντίδα και η διαδρομή των «ρυπαντών» (χρώματος ή πλωτήρων) σχεδιάστηκε με κλίμακα 1:300000 στα σχήματα που παρατίθενται ενδεικτικά στη συνέχεια. Τα πειράματα μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

- α) Πειράματα στα οποία μελετήθηκε ο ρυθμός διάδοσης της ρύπανσης από το Βόρειο κόλπο στο Νότιο (ανταλλαγή νερών Βόρειου κόλπου).
- β) Πειράματα στα οποία μελετήθηκε ο ρυθμός διάδοσης της ρύπανσης από το Νότιο κόλπο στο Βόρειο (ανταλλαγή νερών Νότιου κόλπου).
- γ) Πειράματα στα οποία μελετήθηκε η διασπορά στιγμιαίας ρυπαντικής κηλίδας σε επιλεγμένες περιοχές του Βόρειου και Νότιου κόλπου.
- δ) Πειράματα στα οποία μελετήθηκε η διαδρομή μεμονωμένων ρυπαντών-πλωτήρων.

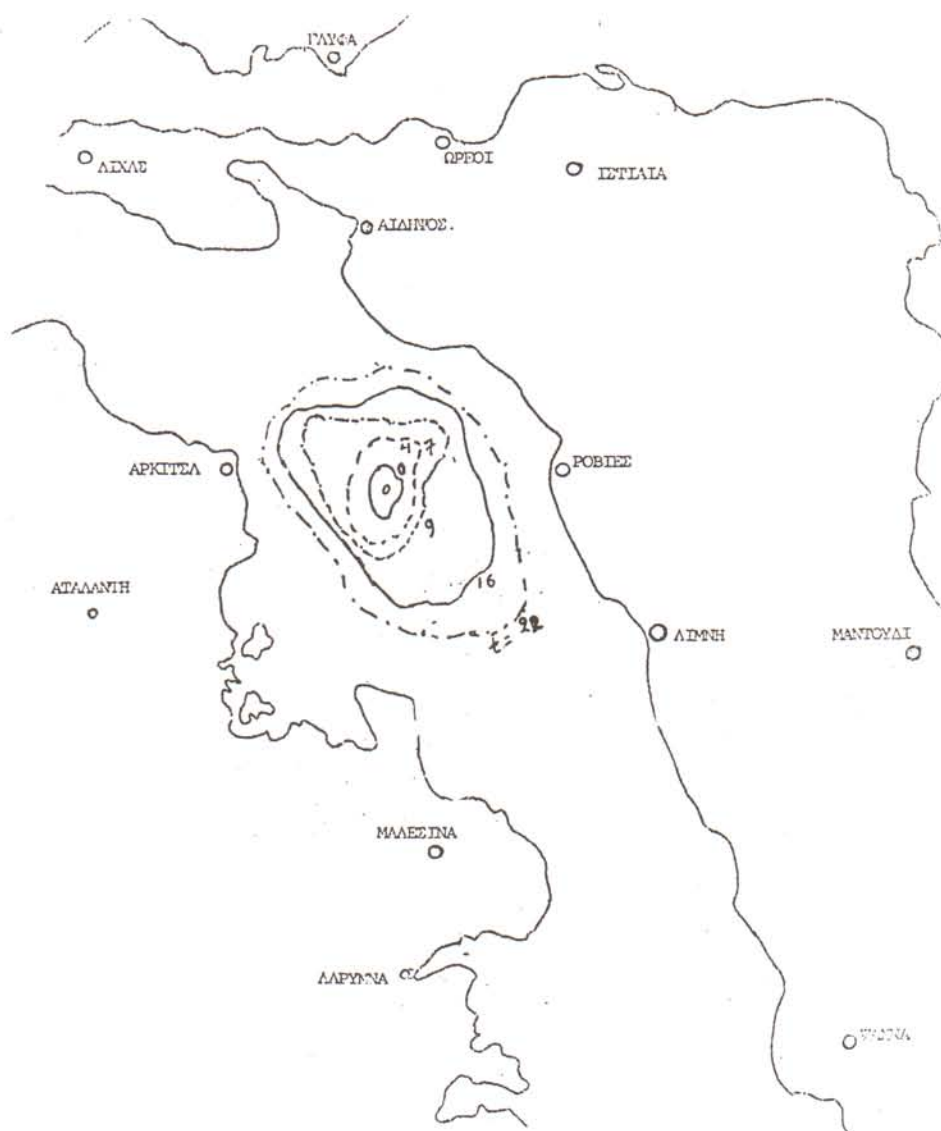
Στο σχήμα 3.4.1 παρατηρούμε τη διασπορά από στιγμιαία σημειακή επιφανειακή διάθεση αδρανειακού ρυπαντή στο Β. Ευβοϊκό κόλπο, ανάμεσα στη Μαλεσίνα και Λίμνη. Καθώς η διάχυση γινόταν από μια πλατύτερη διατομή του Ευβοϊκού προς μια στενότερη, ο ρυθμός εξάπλωσης της επιφανειακής ρυπαντικής κηλίδας ήταν αυξημένος. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η εξάπλωση προς Νότον υπερτερεί της εξάπλωσης της ρύπανσης προς Βορράν. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια συστηματική μεταφορά ρυπαντών από το Βόρειο Ευβοϊκό στο Νότιο. Η σημασία του γεγονότος αυτού είναι μεγάλη αν σκεφθούμε την έξοδο των ρυπαντών του Μαλιακού και Παγασητικού κόλπου στο Β. Ευβοϊκό.

Στο σχήμα 3.4.2 παρατηρούμε τη διασπορά αδρανών ρυπαντών στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Παρατηρούμε ότι η εξάπλωση της ρύπανσης από ρυπαντές που αφήθηκαν στις ακτές της περιοχής Ωρωπού εξαπλώνονται τόσο προς ΒΔ. (προς Χαλκούτσι) αλλά και προς ΝΑ. (προς Κάλαμο, Παραλία Μαραθώνος κλπ.). Συνεπώς ο αριθμός των κολοβακτηριδίων που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 1 (μετρήσεις ΠΕΡΠΑ) για την ευρύτερη περιοχή του Ωρωπού μέχρι Ραφήνα, οφείλεται στη συνολική αλληλεπίδραση των διαφόρων πηγών ρύπανσης κατά μήκος των παραπάνω ακτών. Ο ρυθμός με τον οποίο εξαπλώνεται το πεδίο ρύπανσης εγκάρσια των ακτών είναι μικρότερος από τον ρυθμό εξάπλωσης κατά μήκος των ακτών, με άμεσο αποτέλεσμα τη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων.

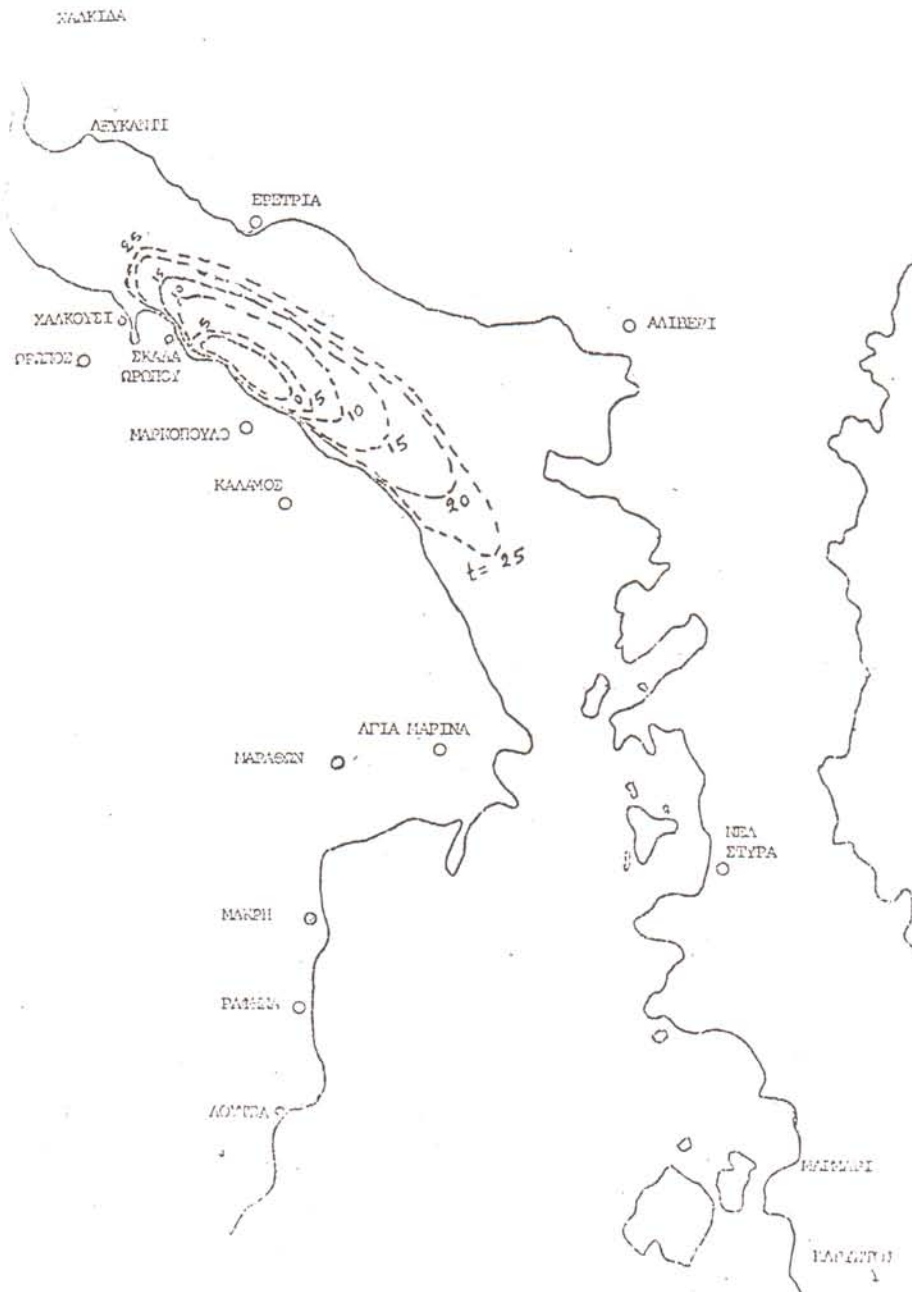
Στο σχήμα 3.4.3 παρατηρούμε την εξάπλωση ρυπαντών από το Βόρειο



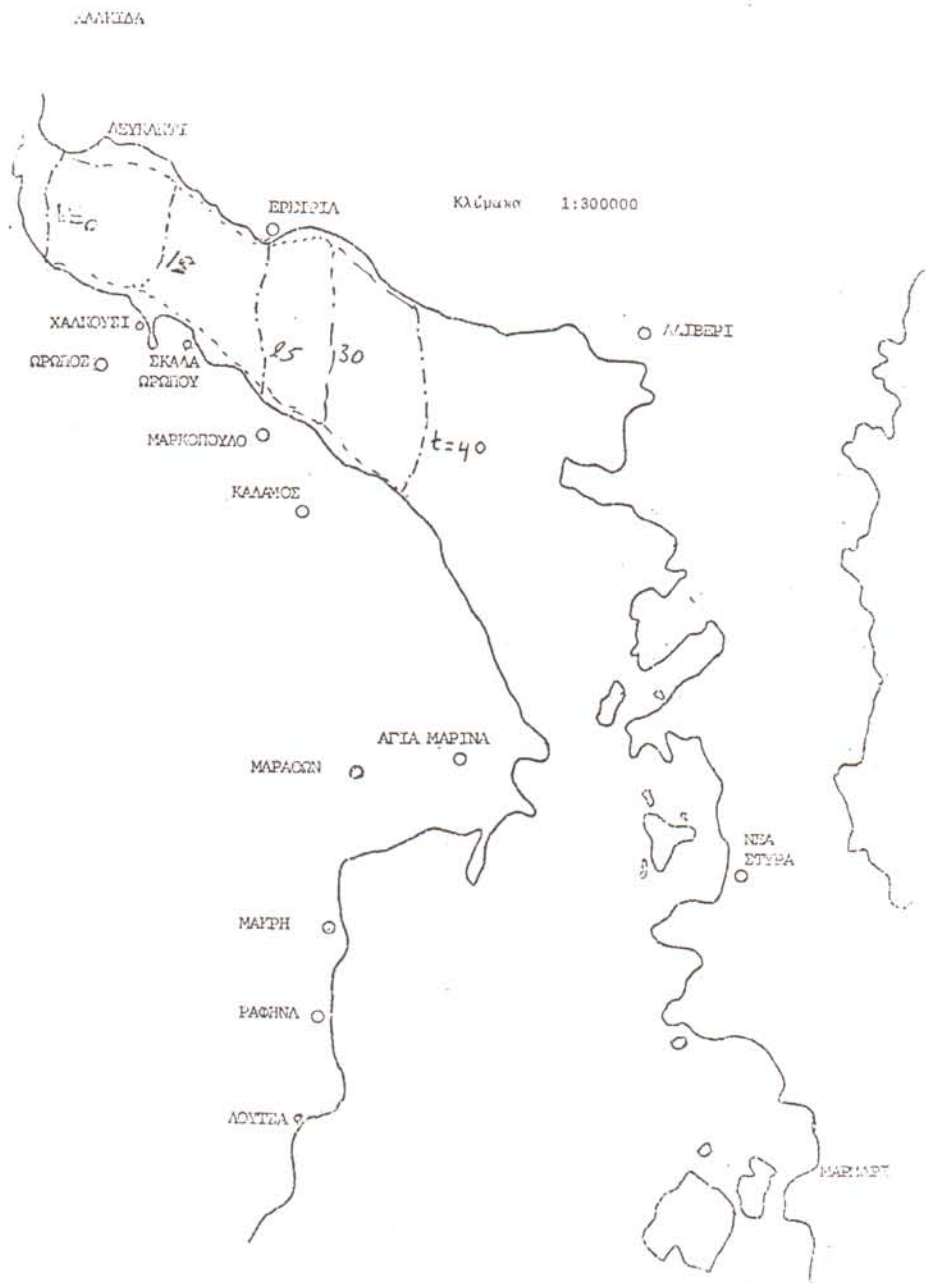
Ευβοϊκό προς το Νότιο. Εξομοίωση συνεχούς πηγής ρύπανσης στον Εύριπο. Η ρύπανση υποτίθεται ομοιόμορφα διασκορπισμένη μέχρι το λιμένα της Αυλίδας, μετά την οποία παρακολουθούμε τη χρονική εξέλιξη του μετώπου της ρύπανσης.



Σχήμα 3.4.1. Διασπορά ρύπων στον Βόρειο Ευβοϊκό. Αποτελέσματα από πειράματα στο υδραυλικό ομοίωμα. Ο χρόνος  $t$  για τις διαδοχικές θέσεις των ρύπων δίνεται σε ημέρες. Κλίμακα 1:300000



Σχήμα 3.4.2. Διασπορά ρύπων στον Νότιο Ευβοϊκό. Αποτελέσματα από πειράματα στο υδραυλικό ομοίωμα. Ο χρόνος  $t$  για τις διαδοχικές θέσεις των ρύπων δίνεται σε ημέρες.  
Κλίμακα 1:300000



Σχήμα 3.4.3. Διασπορά ρύπων στον Νότιο Ειβοϊκό. Αποτελέσματα από πειράματα στο υδραυλικό ομοίωμα. Ο χρόνος  $t$  για τις διαδοχικές θέσεις των ρύπων δίνεται σε ημέρες.  
Κλίμακα 1:300000

### 3.5. Υπολογισμός του μακροσκοπικού συντελεστή διασποράς από το υδραυλικό ομοίωμα

Ο μακροσκοπικός συντελεστής διασποράς στο ομοίωμα θα υπολογισθεί από τη σχέση:

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt}$$

όπου  $\sigma$  η κανονική απόκλιση της διανομής, της συγκέντρωσης του ρυπαντή. Στις περιπτώσεις που δεν έχει γίνει διάγραμμα συγκεντρώσεων, υποθέτουμε ότι τα ορατά όρια του πεδίου ρύπανσης καλύπτουν έκταση περίπου ίση με 7 φορές την απόκλιση  $\sigma_0$  της διανομής της συγκέντρωσης. Γνωρίζοντας το συντελεστή διασποράς στο ομοίωμα, υπολογίζουμε το συντελεστή διασποράς στο πρωτότυπο (Ευβοϊκό κόλπο) από τις σχέσεις της παραγράφου 3.2., δηλαδή από τη σχέση:

$$K_r = \frac{K_p}{K_m} = L_r H_r^{1/2} = (5.6)10^5$$

Το αρκετά ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι ότι ο μέσος όρος των μετρήσεων στο Βόρειο Ευβοϊκό δίνει για το μακροσκοπικό συντελεστή διασποράς την τιμή  $1.48 \text{ m}^2/\text{s}$ , ενώ για το Νότιο δίνει την τιμή  $1.34 \text{ m}^2/\text{s}$ . Αν ληφθεί υπόψιν η πολυπλοκότητα του φαινομένου και η σημαντική επίδραση της διαμόρφωσης των ακτών και του βυθού, οι πειραματικές τιμές συμφωνούν εντυπωσιακά με τις προβλέψεις του κεφαλαίου 2. Στη θεωρητική πρόβλεψη του συντελεστή διασποράς ο Ευβοϊκός κόλπος εξομοιώθη με ορθογώνιο αγωγό και συνεπώς η τιμή  $K \approx 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  που προβλέψαμε θεωρητικά δεν ελάμβανε υπόψιν τον εγκλωβισμό των ρυπαντών από τους όρμους και τις εν γένει κοιλότητες των ακτών. Ο δευτερεύων αυτός μηχανισμός έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστού διασποράς. Τα πειραματικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν συνολικά ότι ο μηχανισμός είναι αρκετά έντονος στον Ευβοϊκό κόλπο και διπλασιάζει (τουλάχιστον) τον θεωρητικά προβλεπόμενο συντελεστή διασποράς. Παρά την αύξηση του μακροσκοπικού συντελεστή διασποράς λόγω του παραπάνω φαινομένου, η μέση τιμή του ( $\approx 1.3 \text{ m}^2/\text{s}$ ) είναι αρκετά μικρή και ενισχύει τη διατυπωθείσα στην έρευνα αυτή άποψη ότι ο ρυθμός διασποράς ρυπαντών μέσα στον Ευβοϊκό κόλπο είναι μια αργή διαδικασία που συμπληρώνεται από την ακόμη αργότερη ανταλλαγή νερών μεταξύ Ευβοϊκού και Αιγαίου.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας, οι μακροσκοπικές πειραματικές παρατηρήσεις επιβεβαίωσαν σε γενικές γραμμές την ανάλυση που έγινε στο κεφάλαιο 2 και συμπλήρωσαν ουσιαστικά την κατανόηση του προβλήματος της διασποράς ρυπαντών

στον Ευβοϊκό κόλπο. Επιπλέον τα πειράματα απεκάλυψαν την πολυπλοκότητα της ροής που δημιουργείται στον Ευβοϊκό κόλπο λόγω της ποικιλίας στη διαμόρφωση κλειστών κόλπων και εξοχών στις ακτές. Παρατηρήθηκε κατ' επανάληψη στο φυσικό ομοίωμα, ότι το ρεύμα που δημιουργείται στον πορθμό του Ευρίπου με κατεύθυνση προς Βορράν απλώνεται στο Β. Ευβοϊκό ακολουθώντας σε επαφή την ακτή Χαλκίδας - Αρτάκης, ενώ δεν εφάπτεται αμέσως της Βοιωτικής ακτής από Χαλκίδα μέχρι παραλία Δροσιάς (πρώην Χάλια). Πιθανώς η προτίμηση αυτή στην κατεύθυνση του Βόρειου ρεύματος οφείλεται στην κατεύθυνση του άξονα του πορθμού του Ευρίπου (κατεύθυνση Βορειοανατολική). Μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η για χιλιάδες χρόνια διάβρωση με το ρεύμα του Ευρίπου της ακτής από Χαλκίδα έως Αρτάκη έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία της «κοιλότητας» που δημιουργήθηκε. Η παγίδευση της ρύπανσης σε κλειστούς όρμους έγινε φανερή με την παρατήρηση πλωτήρων. Για παράδειγμα στον όρμο της Λάρυμνας, η μετακίνηση των πλωτήρων ήταν αμελητέα ύστερα από λειτουργία του ομοιώματος που αντιστοιχούσε σε δύο μήνες.

Γενικά παρατηρήθηκε μια συστηματική, μέση (ημερησία έως εβδομαδιαία) μετακίνηση μαζών νερού από το Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο στο Νότιο. Λόγω όμως της ιδιομορφίας των ακτών δημιουργούνται ρεύματα αντίθετα προς την κύρια μέση μετακίνηση, κυρίως κοντά στις ακτές που σχηματίζουν κόλπους. Η παρατήρηση αυτή που κατ' επανάληψη παρουσιάστηκε στα πειράματα εξηγεί γιατί τα ρεύματα σ' όλο τον Ευβοϊκό κόλπο δεν είναι στην ίδια κατεύθυνση, ούτε σε φάση με την παλίρροια. Από την πειραματική έρευνα και τη θεωρητική μελέτη της διασποράς των ρυπαντών στον Ευβοϊκό κόλπο προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη διαδρομή, το χρόνο παραμονής και την έξοδο στο Αιγαίο ρυπαντών που ρίπτονται σ' αυτόν. Βρήκαμε ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των ρυπαντών (δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να απομακρυνθεί το 99% της ποσότητας που ρίφθηκε) είναι της τάξεως των 50 ετών. Το συμπέρασμα αυτό ισχύει με την προϋπόθεση ότι ο ρυπαντής παραμένει όλα αυτά τα χρόνια διαλυμένος και σε ισοκατανομή καθ' ύψος. Είναι προφανές ότι ρυπαντές που προσκολλήθηκαν σε αιωρούμενη ιλύ που αργότερα κροκιδόθηκε και καθίζανε στο βυθό, σε βάθη μεγαλύτερα των 200 μ. ελάχιστα μεταφέρονται εκτός του κόλπου. Συνεπώς, ο Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος και κυρίως η περιοχή μεταξύ Αρκίτσας και Ροβιών, με βάθη 400 μέτρων, αποτελεί μια μεγάλη «παγίδα» της αιωρούμενης σε φερτά υλικά ρύπανσης. Είναι συνεπώς προφανές ότι μέρος των ρυπαντών που μεταφέρονται προς τον Ευβοϊκό κόλπο από τον Παγασητικό και Μαλιακό κόλπο παγιδεύονται και καθιζάνουν στη βαθιά αυτή περιοχή. Η δυνατότητα παράσυρσης και επαναραίωσης των ρυπαντών αυτών κάτω από έντονες μετεωρολογικές συνθήκες (δυνατούς ανέμους) είναι ένα πρόβλημα υπαρκτό, που για τη διερεύνησή του χρειάζονται μακροχρόνιες παρατηρήσεις πεδίου.

Τα πειράματα στο υδραυλικό ομοίωμα δίνουν σαν μέσο όρο για το μακροσκοπικό συντελεστή διασποράς την τιμή  $1.3 \text{ m}^2/\text{s}$ . Η θεωρητικά εκτιμηθείσα τιμή  $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$  είναι μικρότερη, γιατί για την εκτίμηση της δεν ελήφθη υπόψιν η

πραγματική τοπογραφία και η γεωμετρία (γεωγραφία) της περιοχής, αλλά προσεγγίσθηκε ο Ευβοϊκός με ανοικτό αγωγό ομοιομόρφου βάθους και πλάτους. Είναι γνωστό ότι η πολυσχιδής διαμόρφωση των ακτών εγκλωβίζει μέρος των ρυπαντών, δημιουργεί στροβιλισμούς και αυξάνει το φαινομενικό, μακροσκοπικό συντελεστή διαμήκους διασποράς.

Παρατηρήθηκε μια συστηματική μεταφορά της ρύπανσης από το Βόρειο Ευβοϊκό στο Νότιο και πιθανώς αυτό να εξηγεί μερικά παράδοξα στις μετρήσεις βαρέων μετάλλων που έχουν αναφερθεί από προηγούμενους ερευνητές.

Επιβεβαιώθηκε η διατυπωθείσα άποψη, ότι ο Ευβοϊκός κόλπος είναι μια κλειστή θάλασσα με μέτρια ανταλλαγή των νερών της με τα νερά της ανοικτής θάλασσας. Το παλιρροιακό ρεύμα είναι αρκετά ασθενές μακριά από τον πορθμό και έτσι η διασπορά της ρύπανσης κοντά στις ακτές του Νότιου Ευβοϊκού (κυρίως από Αυλίδα μέχρι Ραφήνα που συγκεντρώνουν εκατοντάδες χιλιάδες παραθεριστές) είναι περιορισμένη. Λαμβανομένης υπόψιν της συγκέντρωσης από χρόνο σε χρόνο των ρυπαντών στον Ευβοϊκό πρέπει να ληφθούν έγκαιρα μέτρα για την υγιεινή διάθεση των αστικών λυμάτων στην περιοχή αυτή, όπως για παράδειγμα πρωτοβάθμιος καθαρισμός μαζί με απολύμανση των διατεθειμένων λυμάτων στη θάλασσα από ξενοδοχειακές και οικιστικές μονάδες.

Η επί σειρά ετών λειτουργία των εργοστασίων τιμέντου και της Λάρκο στη Λάρυμνα έχουν συντελέσει στην αύξηση της θολότητας στον Ευβοϊκό κόλπο. Ακόμη και με ασθενή κυματισμό η λεπτή ιλύς που έχει διασπαρεί σ' όλο τον Ευβοϊκό κόλπο επαναιωρείται και δημιουργεί κοντά στις ακτές νερά με μικρή διαύγεια. Η προοδευτικά αυτή δημιουργηθείσα θολότητα τα τελευταία 30 χρόνια επαληθεύει τα συμπεράσματα μας περί περιορισμένης ανάμειξης των νερών του Ευβοϊκού με αυτά του Αιγαίου και περί της συσσώρευσης ρύπανσης στον κόλπο.

#### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Abbot M.B., 1960. Salinity effects in estuaries. *J. Mar. Res.* 18: 101-11.
- Αιγινίτης Δ., 1929. Το πρόβλημα της παλίρροιας του Ευρίπου, Πραγματεία της Ακαδημίας Αθηνών, τ. Α', Αριθ. 1.
- Allen C.M., 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in oscillatory flows. *Proc. R. Soc. London Ser. A* 381: 179-94.
- Antonopoulos-Domis M. 1981. Large-eddy simulation of a passive scalar in isotropic turbulence. *J. Fluid Mech.* 104:55-79.
- Blumberg, 1977. A two dimensional numerical Model for the simulation of partially mixed estuaries, άρθρο στον τόμο *Estuarine processes*, εκδότης M. Nilley, Academic Press.
- Bowden K.F., 1965. Horizontal mixing in the sea due to a shearing current. *J. Fluid Mech.* 21:83-95.

- Bowden K.F., Sharif Al Din S.H., 1966. Circulation salinity, and river discharge in the Mersey estuary. *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 10:383-99.
- Bowden K.F., 1982. Theoretical and practical approaches to studies of turbulent mixing processes in estuaries. Presented at NERC Workshop on Estuarine Processes, Univ. East Anglia.
- Dyer K.R., 1973. *Estuaries: A Physical Introduction*. London: Wiley, σ. 140.
- Elder J.W., 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *J. Fluid Mech.* 5:544-60.
- Fischer H.B., 1967. The mechanics of dispersion in natural streams. *J. Hydraul. Div. Proc. ASCE* 93:187-216.
- Του Ιδίου, 1972a. Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries. *J. Fluid Mech.* 53:671-87.
- Του Ιδίου, 1973. Longitudinal dispersion and turbulent mixing in open channel flow. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 5:9-78.
- Του Ιδίου, 1976. Mixing and dispersion in estuaries. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 8:107-33.
- Fischer H.B., List E.J., Koh R.C.Y., Imberger J., Brooks N.H., 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. New York: Academic, σ. 483.
- Fischer H.B. and Hanamura T., 1975. The effect of roughness strips on transverse mixing in hydraulic models. *Water Resour. Res.* 2, 362-364.
- Fischer H.B., 1978. On the tensor form of the bulk dispersion coefficient in a bounded skewed shear flow. *J. Geophys. Res.* 83, 2373-2375.
- Fischer H.B. and Holley E.R., 1971. Analysis of the use of distorted hydraulic models for dispersion studies. *Water Resour. Res.* 7, 46-51.
- Fukuoka Shoji, 1973. Longitudinal dispersion of matter in alternating shear flows, James Cook University of North Queensland, Department of Engineering, Research Bulletin, No 69.
- Του Ιδίου, 1974. A laboratory study on longitudinal dispersion in alternating shear flows. James Cook University of North Queensland Department of Engineering, Research Bulletin, No C12.
- Grant H.L., Moilliet A. and Vogel W.M., 1968. *J. Fluid Mech.* τ. 34, σ. 443.
- Μωλ Α.Γ., 1978. Συνεισφορά στη μελέτη της υδρολογίας του Βόρειου Αιγαίου, ωκεανογραφική εργασία στο Πανεπιστήμιο Αθηνών υπό την εποπτεία της καθηγήτριας Α. Ξαμάνη.
- Nihoul J.C.J., 1978. Hydrodynamics of Estuaries and Fjords, *Proc. Int. Liege Collog. Ocean Hydrodyn.*, 9th. Amsterdam: Elsevier, σ. 546.
- Του Ιδίου, 1975. *Modeling of marine systems*, elsevier.
- Officer C.B., 1976. *Physical Oceanography of Estuaries (and Associated Coastal Waters)*. New York: Wiley, σ. 465.
- ΠΕΡΠΑ, 1980. Τεχνική έκθεση για την ρύπανση της ευρύτερης περιοχής Αθηνών.
- Pritchard D.W., 1969. Dispersion and flushing of pollutants in estuaries. *J. Hydraul. Div. Proc. ASCE* 95:115-24.

- Σκούλος 1982. Το αλμυρό νερό που πάει να χαθεί, Οικολογία και Περιβάλλον, Μάρτιος 1982, σ. 32-39.
- Stewart, R.W. and Grant H.L., 1962. J. Geophysical Res., τ. 67, σ. 3177.
- Takemouti et al, 1962, Oceanogr. Mag. τ. 13, σ. 89.
- Wilson R.E., Okubo A., 1978. Longitudinal dispersion in a partially mixed estuary. J. Mar.Res. 36:427-47.
- Woods J.D., 1968. J. Fluid Mechanics, τ. 32, σ. 791.

### ΣΥΖΗΤΗΣΗ

**Ερώτηση (Γ. Βογιατζής):** Θα ήθελα να κάνω ένα ερώτημα. Μας μιλήσατε για τη διασπορά των ρύπων, των κηλίδων οποιασδήποτε μορφής, επί της επιφανείας της θάλασσας λόγω της παλίρροιας: είπατε, ότι η παλινδρομική αυτή κίνηση αυξάνει την επιφάνεια του ρύπου. Δεν μας ομιλήσατε τι γίνεται εις βάθος η ρύπανση και για τον Ευβοϊκό ειδικότερα, αλλά και γενικότερα σε άλλα πελάγη. Έχει δε σημασία αυτό, γιατί γνωρίζετε ότι γίνεται ιδιαίτερα μεγάλη ρύπανση ή μάλλον καταστροφή εις βάθος του Ευβοϊκού κόλπου, και από τις ανεμότρατες που λέτε, αλλά και από τα κατάλοιπα εργοστασίων τα οποία πηγαίνουν εις βάθος.

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Αυτή η σε βάθος αύξηση της κηλίδας, το πάχος της κηλίδας δηλαδή, είναι πολύ πιο δύσκολη στη μελέτη από την οριζόντια. Διότι εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασιακή κατανομή πυκνότητας από την επιφάνεια της θάλασσας με το βυθό. Εάν υποθέσουμε ότι το νερό από τον πυθμένα μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας έχει την ίδια ακριβώς πυκνότητα, το πρόβλημα μελετάται ακριβώς, όπως και στην οριζόντια διάσταση. Το καλοκαίρι, όμως, ξέρουμε πάρα πολύ καλά ότι δημιουργείται ένα στρώμα ζεστού νερού στην επιφάνεια, πάχους αυτής της στρώσης 20-30 μέτρα. Η μέτρηση της ρύπανσης κάτω από αυτό το στρώμα προς το κρύο νερό είναι φοβερά δύσκολη. Δηλαδή το καλοκαίρι οι ρυπαντές εξαπλώνονται μέχρι αυτό το πάχος, και μετά μυτό το πάχος εξαπλώνονται πρακτικά με ελάχιστη αραιώση προς το βάθος. Και αυτό είναι δυσμενές όσον αφορά την αραιώση των μικροβίων που μας ενδιαφέρει, γιατί κολυμπάμε κοντά στις ακτές. Το χειμώνα ακριβώς η στρωμάτωση κατεβαίνει χαμηλότερα και η σε βάθος μέτρηση διευκολύνεται. Για την κατά βάθος αύξηση του πάχους της κηλίδας μπορεί να μιλάμε πολλές ώρες, γιατί είναι τεράστιο το θέμα.



**Ερώτηση (Ι. Παλαιολόγος):** Εάν πραγματικά υπήρχε κάποια ευαισθησία για το περιβάλλον, σήμερα μ' αυτά που ακούσαμε από τον κ. καθηγητή και την κ. Θεοχάρη η ανησυχία μας μεγάλωσε περισσότερο.

Κύριε καθηγητά, αναφερθήκατε στην εισήγησή σας στη διασπορά των ρύπων σ' ένα συγκεκριμένο χώρο, στον Ευβοϊκό, όπου παρατηρείται ως γνωστόν το παλιρροϊκό φαινόμενο. Τι γίνεται στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει παλιρροϊκό φαινόμενο, κίνηση ή κάποιο ρεύμα; Πόσο ταχεία μπορεί να θεωρηθεί η διασπορά των ρύπων; Στην περίπτωση αυτή πόσο επικίνδυνο για χρήση μπορεί να είναι το νερό που προορίζεται για υδρευτικούς σκοπούς; Αναφερθήκατε στην εισήγησή σας σχετικά με τον [...] που παρατηρήθηκε σε ορισμένες λίμνες. Ο [...] αποτελεί βλαπτική μεταβολή της ποιότητας του νερού; Μπορεί η Εταιρεία Ευβοϊκών Σπουδών να συμβάλλει σε μια αποδοτική ερευνητική εργασία σε συνεργασία με πανεπιστημιακούς φορείς για την καθαρότητα του νερού της Παραλίμνης, αλλά και σε μια έρευνα αξιοποίησης της ενέργειας της παλίρροιας;

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Εάν δεν υπάρχει παλιρροϊκό ρεύμα, υπάρχουν και οι άνεμοι οι οποίοι λειτουργούν και αυτοί ως συμπληρωματικά ρεύματα στις θαλάσσιες περιοχές, κυρίως παράκτια. Η επίδραση των ανέμων είναι συμπληρωματική αυτής της παλιρροϊκής. Εστιάστηκα στο παλιρροϊκό, διότι εμείς σαν Χαλκιδέοι, που βλέπουμε κυρίως το ρεύμα εδώ, κυρίως όταν έχει μεγάλη ταχύτητα, να τρέχει σαν ποτάμι, είχαμε λίγο καθησυχάσει ότι το ρεύμα τα διαλύει όλα, ότι δεν έχουμε πρόβλημα. Οπωσδήποτε ο άνεμος έρχεται και συμπληρώνει την αραίωση την οποία ξεκινάει το ρεύμα. Συνεπώς δεν υπάρχει περιοχή στη θάλασσα που να μην έχει κάποια ρεύματα κάποιας αιτιολογίας.

Για τον [...] που είπατε, και αυτός ο κίνδυνος είναι τεράστιος, οδηγεί στην φοβερή εξάπλωση του φυτοπλαγκτόν, πρασινίζουν οι λίμνες, πρασινίζουν οι κλειστοί κόλποι.

Για την ποιότητα του νερού που είπατε, αυτό καθ' αυτό δεν είναι πρόβλημα, αλλά διαθέτει φοβερά άσχημη δυσάρεστη γεύση στο νερό. Βεβαίως λέμε ότι δεν γίνονται επικίνδυνα, αλλά για να μας έχει εφοδιάσει η φύση με το αίσθημα της κακής γεύσης, κάτι κρύβει.

**Παρέμβαση** (δεν ακούγεται το όνομα του ομιλούντος): Βεβαίως η Εταιρεία Ευβοϊκών Σπουδών ως αντικείμενο της έχει να βοηθήσει την έρευνα και την επιστήμη σε όλους τους τομείς. Όμως σε τέτοια θέματα, που απαιτούν εργαστηριακή οργάνωση πρωτοποριακής μορφής, είναι εντελώς ανεπαρκής. Εδώ στην αίθουσα υπάρχει εκλεκτή συνάδελφος, η οποία έχει ασχοληθεί, από την πολιτεία, με τέτοιες μελέτες, πάνω δηλαδή στα θέματα του περιβάλλοντος, και έχει αναλύσει κάποια προγράμματα. Προγράμματα τα οποία είναι πολύ δύσκολα να υλοποιηθούν από την Εταιρεία Ευβοϊκών Σπουδών, θέλουν εργαστήριο οργανωμένο, θέλουν ομάδες εντελώς ειδικευμένων επιστημόνων, είναι πρωτοποριακά.

**Ερώτηση (Τ. Ζάππας):** Ευχαριστώ πολύ τον κ. καθηγητή που μας έδωσε πράγματι πολύ διαφωτιστικές πληροφορίες γύρω από το θέμα διασποράς των ρύπων.

Είχα την εντύπωση ότι ο Βόρειος Ευβοϊκός, κυρίως, ήταν εκείνος που ήταν πάρα πολύ επηρεασμένος από την ρύπανση κλπ. και τώρα είδαμε μια κηλίδα μεγάλη, η οποία διαχέεται από τον Ν. Ευβοϊκό προς το Βόρειο. Ο Νότιος Ευβοϊκός είναι και πιο ρηχός, όπως είπατε, αβαθέστερος από το Βόρειο και θα ήθελα να ρωτήσω, έχει περισσότερο κίνδυνο ο Νότιος Ευβοϊκός από το Βόρειο; Και ποιοι είναι οι παράγοντες που επιβαρύνουν περισσότερο αυτή τη μόλυνση, είναι οι βιομηχανίες, είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα των ναυτικών, τα ξενοδοχεία ή τα σπίτια κλπ.;

Σας έχει απασχολήσει μήπως, μέσα στην πολύ ωραία έρευνα που κάνετε, η ζωή των ψαριών καθόλου; Δηλαδή επηρεάζονται τα ψάρια, τα μεταναστευτικά ή τα ιθαγενή, τα ψάρια του βυθού από την μόλυνση αυτή, που είναι σοβαρή; Από ορισμένες εικόνες που έχω δει από το Σαρωνικό, είδα ότι τα κατακάθια αυτά φτάνουν σε δύο ή τρία μέτρα ύψος· τίποτα δεν φαίνεται, μόνο μια λάσπη όπου δεν μπορεί να ζήσει το ψάρι με τίποτα.

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Οι εικόνες στις διαφάνειες που σας έδειξα, είναι εικόνες υποθετικής ρύπανσης κατασκευασμένες μέσα στο εργαστήριο για να μελετήσουμε πώς αυτή διαχέεται. Η κηλίδα αυτή δεν είναι κηλίδα από κάποιο συγκεκριμένο εργοστάσιο. Προσπαθούμε να δούμε, να καταλάβουμε τι συμβαίνει μέσα στο Βόρειο ή Νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Και αυτό που δείξαμε είναι ότι η ρύπανση από το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο διαχέεται προς το Βόρειο και η ρύπανση από το Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο διαχέεται προς το Νότιο.

Υπάρχει αλλαγή των νερών τους, ανταλλαγή της ρύπανσής τους. Τίποτα δεν απομακρύνεται από τους κόλπους και κάνουν πολύ καιρό να φύγουν έξω από τους κόλπους. Αυτό ήταν το μήνυμα της παρουσίας της ανακοίνωσής μου.

**Ερώτηση (Ε. Βρανόπουλος):** Μας δείξατε κ. καθηγητά την εικόνα ενός πτηνού αποθνήσκοντος. Ο ίδιος μέτρησα προσωπικά στη διάρκεια δύο ημερών περί τους εβδομήντα γλάρους που ψοφούσαν ή ήταν πεθαμένοι. Και πιο πολύ με ανησύχησε η μη ανησυχία των κατοίκων της περιοχής. Αποφασισμένος να ταράξω κάπως τα νερά, πήγα στις εφημερίδες, στην Εισαγγελία και στο Λιμεναρχείο. Όλοι δείξαν ενδιαφέρον, πράγματι, αλλά ήταν μηδαμινό το αποτέλεσμα της έρευνας, γιατί οι εφημερίδες έγραψαν ότι οι γλάροι είχαν φάει τροφές από τα σκουπίδια. Αλλά αυτό χρόνια γίνεται και δεν έχουν ψοφήσει. Λοιπόν πήγα στην ίδια περιοχή λίγες μέρες μετά, είδα φυτοπλαγκτόν κατά διαστήματα. Μπορεί η μόλυνση της θάλασσας να προκάλεσε το θάνατο;

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Οποσδήποτε θα ήταν παρακινδυνευμένο να απαντήσω χωρίς να κάνω επιτόπια έρευνα και συνεπώς δεν θα μπορούσα να κάνω επισήμως κάποια δήλωση. Όλα είναι πιθανά. Σ' αυτό που συμφωνώ μαζί σας είναι ότι πρέπει να υπάρχουν τα αρμόδια εργαστήρια και να βγάζουν υπεύθυνες απαντήσεις και να ευαισθητοποιούνται οι άνθρωποι για τέτοια θέματα. Αλλά θέλω να σας πω, χωρίς να το εξετάσω συγκεκριμένα —δεν έχω άμεση γνώση—, ότι υπάρχουν τόσα δραστικά φυτοφάρμακα τα οποία συσσωρεύονται, όπως γνωρίζετε, μέσα στους ζώντες οργανισμούς και τίποτα δεν αποκλείεται.

**Ερώτηση (Λεων. Παύλου):** Πιστεύει η κ. Θεοχάρη ή ο κ. Κωτσοβίνος ότι αρκούν τα μέτρα και τα μέσα τα τεχνικά για την αποφυγή της καταστροφής του περιβάλλοντος που δεν είναι φυσικά μόνο η χλωρίδα, ή που δεν είναι μόνο η θάλασσα αλλά είναι και η πανίδα, είναι και η πανίδα των γειτονικών χωρών, είναι τα ατομικά εργοστάσια που είναι γύρω γύρω από εμάς, Βουλγαρία, Ρουμανία κλπ.; Πιστεύουν λοιπόν ότι τα μέτρα αυτά, έστω και αν ληφθούν από την πολιτεία, αρκούν; Ή η καταστροφή του περιβάλλοντος ξεκινάει από την ψυχική και πνευματική μας καταστροφή; Μήπως γινόμενοι καλύτεροι άνθρωποι, σωστότεροι άνθρωποι, άνθρωποι πνευματικοί και χριστιανοί, σωστοί στην ψυχή και στο πνεύμα, θα σώσουμε το περιβάλλον; Η προσωπική μου γνώμη είναι ότι η καταστροφή οφείλεται στο δεύτερο το οποίο συμπλήρωσα και όχι σε άλλα.

**Ερώτηση (Κ. Ζαφειράτος):** Στην πράξη σας θα χρησιμοποιήσετε το πεδίο; Έχετε υπόψιν δηλαδή να διαπραγματευτείτε με το πεδίο; Θα μείτε καθόλου στον Κόλπο να δείτε; Και εάν το αποφασίσετε αυτό, έχετε την καλοσύνη να μου πείτε εάν εσείς θα χρησιμοποιήσετε, πέραν από αυτά τα δικά σας πειράματα δεδομένα, βιολογικούς δείκτες ρύπανσης, τοξικότητας, ή να το πω καλύτερα, να έχετε συνεργάτες βιολόγους για να ξεπεράσετε ορισμένα προβλήματα τα οποία δεν είναι μόνο τεχνικής αλλά και άλλης υφής;

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Εγώ ξεκίνησα κάτι και οπωσδήποτε χρειάζεται συνέχεια, όπως ξέρουμε. Η συμπλήρωση αυτών των στόχων εξαρτάται όχι μόνο από τις δικές μας τις πανεπιστημιακές όπως ξέρετε διαθέσεις, αλλά και την ανταπόκριση που θα βρούμε από τα αρμόδια όργανα, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Νομαρχίες, Υπουργείο Έρευνας ή Τεχνολογίας. Διότι μία έρευνα είναι πολυδάπανη, θέλει κόσμο και οπωσδήποτε επιστημονική ομάδα.

**Ερώτηση (δεν ακούγεται το όνομα του ερωτώντος):** Τι θα γίνει στο μέλλον; Αυτό το πρόβλημα έχει γίνει συνείδηση σε όλα τα κράτη! Υπάρχουν διεθνείς συμβάσεις και διεθνής νομοθεσία, η οποία έχει αρχίσει μια προσπάθεια προστασίας της φύσης από όλα τα έθνη, και επίσης υπάρχει τεχνολογία η οποία μπορεί να μας προστατέψει;

**Απάντηση (Ν. Κωτσοβίνος):** Οπωσδήποτε υπάρχει πρόοδος, αυξάνεται η πίεση του κοινού, κι όσο αυξάνεται η πίεση του κοινού αυξάνει και η εσωτερική προστασία και η διεθνής. Μία από τις διεθνείς συμβάσεις, την οποία έχει υπογράψει και η Ελλάδα, είναι διεθνής σύμβαση για τη ρύπανση από πετρέλαιο.

**Παρέμβαση (Ιωσ. Ρηλίδης):** Οι ομιλίες ήταν θαυμάσιες, αλλά όλα αυτά που ακούμε για περιβαλλοντικό πρόβλημα με κάνουν να αναρωτιέμαι: ένας πολιτισμός, ο Ευρωπαϊκός, που δημιούργησε αυτή την κατάσταση στο περιβάλλον, είναι σε θέση να δώσει λύσεις; Μήπως θα έπρεπε να δούμε άλλους πολιτισμούς, μη τεχνοκρατικούς, πώς απάντησαν σε αυτά τα προβλήματα, τι στάση είχαν απέναντι στο περιβάλλον;

**Πρόεδρος (Κ. Ζαφειράτος):** Είστε εκτός θέματος και δεν έχουμε χρόνο να επεκταθούμε σε τέτοια ερωτήματα.

**Παρέμβαση (Ν. Τριανταφυλλόπουλος):** Ο κ. Ροηλίδης έχει δίκιο, γιατί το θέμα δεν είναι μόνο βιολογικό, πάει πολύ πιο πέρα.

**Πρόεδρος (Κ. Ζαφειράτος):** Λυπάμαι, δεν μπορούμε να συνεχίσουμε με ερωτήσεις εκτός θέματος.