

## Εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο για τα παράκτια Ύδατα (WFD) με τη χρήση του «Δείκτη Οικολογικής Εκτίμησης» (Ecological Evaluation Index-EEI): η περίπτωση των Κόλπων Καβάλας και Μαλιακού

Σωτήρης Ορφανίδης<sup>1</sup>, Παναγιώτης Παναγιωτίδης<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε), Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας, 64 007 Νέα Πέραμος, Καβάλα.

<sup>2</sup>Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, 19013 Ανάβυσσος, Αττική

### ABSTRACT

**Sotiris Orfanidis, Panayotis Panayotidis: Implementation of Water Framework Directive (WFD) for coastal waters by using the Ecological Evaluation Index-EEI: the case of Kavala's and Maliakos Gulfs, Greece.**

**Abstract:** This paper aims to evaluate the Ecological Status (in terms of WFD) in two Greek coastal systems of different typology (Kavala Gulf: hard, intermediate depth, moderately exposed; Maliakos Gulf: hard, shallow, sheltered). The evaluation is based on macroalgal data by using the biotic index EEI and the MDS plot of Bray-Curtis similarity. For this purpose the species synthesis and abundance of one hundred twenty (120) destructive quantitative samples (4 seasons x 2 landscapes x 5 sites x 3 samples) from the upper sublittoral macroalgal communities were analysed. The EEI succeeded better than MDS to distinguish the ESC in Kavala (moderate, good and high) and Maliakos (bad, moderate and good) Gulfs in accordance to local perturbation pattern. The variation of sample-based EEI was examined on a hierarchy of spatial (landscape, site) and temporal (season) scales using a nested ANOVA. Most of the total variation was on the site scale followed by landscape scale. No significant variation was estimated on the seasonal scale. This suggests that future estimations of EEI in coastal waters should focus more in spatial than in temporal climax macrophyte community variability.

**Keywords:** macroalgae, biotic index, Water Framework Directive, nested designs

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των παράκτιων οικοσυστημάτων προϋποθέτει την εκτίμηση της οικολογικής τους κατάστασης. Έρευνες των τελευταίων δεκαετιών έχουν δείξει ότι η μελέτη των θαλάσσιων βιοκοινωνιών μπορεί με ασφάλεια να αναδείξει το βαθμό της ανθρωπογενούς πίεσης (διαταραχής) στο περιβάλλον (Crowe *et al.* 2000). Την άποψη αυτή υιοθέτησε η Ευρωπαϊκή Ένωση στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/EE) με την καθιέρωση των βιοκοινωνιών ως στοιχείων ποιότητας (quality elements) για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των υδατικών σωμάτων (water bodies). Η Οδηγία περιλαμβάνει την τυπολογία των υδατικών σωμάτων (typology), την καθιέρωση τυπο-χαρακτηριστικών συνθηκών αναφοράς (reference conditions) και τον προσδιορισμό κλάσεων οικολογικής κατάστασης (ecological status classes) με τη χρήση ενδεικτικών παραμέτρων ή μετρίσιμων μεγεθών (κατά προτίμηση σε αριθμούς) όλων των προτεινόμενων στοιχείων ποιότητας, που στην περίπτωση των παράκτιων υδάτων είναι το φυτοβένθος, το ζωοβένθος και το φυτοπλαγκτό (EC, 2000).

Για τις βενθικές βιοκοινωνίες, γενικά, έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός εννοιών και αριθμητικών τεχνικών (π.χ. είδη δείκτες, δείκτες ποικιλότητας και βιοτικοί δείκτες, μέθοδοι πολυμεταβλητής ανάλυσης) για την κατάλληλη ερμηνεία των βιοτικών δεδομένων (Dauer 1993). Για τη θαλάσσια βενθική βλάστηση αναπτύχθηκε, τελευταία, ένας καινούργιος βιοτικός δείκτης (Ecological Evaluation Index-EEI) (Orfanidis *et al.* 2001, 2003), ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στις ακτές της Αττικής (Panayotidis *et al.* 2004).

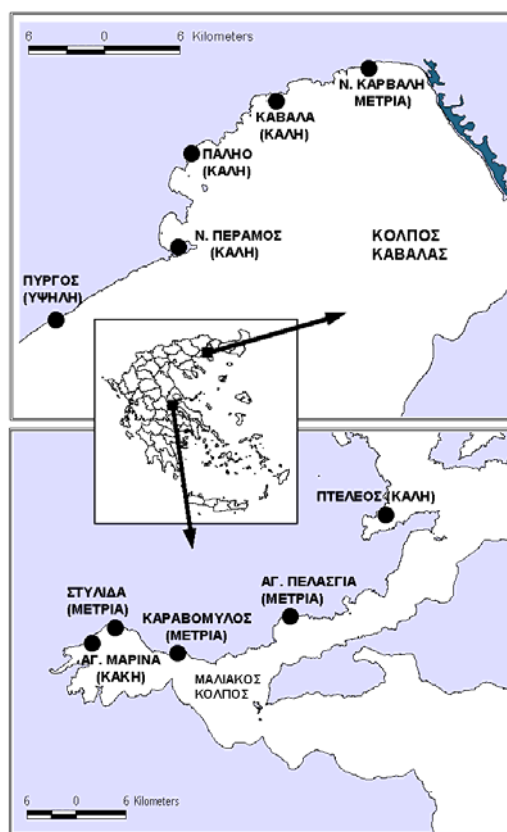
Αυτή η μελέτη αποσκοπεί στο να εκτιμήσει συγκριτικά την οικολογική κατάσταση σε δύο παράκτιες και διαφορετικού υδατικού τύπου περιοχές της χώρας με το βιοτικό δείκτη EEI και επιπλέον, να αναλύσει τη διακύμανση του δείκτη σε τρεις διαφορετικές χωρο-χρονικές κλίμακες με σκοπό να εμβαθύνει ως προς τον τρόπο εφαρμογής του στο χώρο και στο χρόνο.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

**Περιοχή Μελέτης:** Πέντε σταθμοί δειγματοληψίας στον Κόλπο Καβάλας (τύπος υδατικού σώματος: σκληρό, ενδιάμεσου βάθους και μέτριας έκθεσης) και ισάριθμοι στο Μαλιακό Κόλπο (τύπος υδατικού σώματος: σκληρό, αβαθής και υπήνεμος) μελετήθηκαν ως αντιπροσωπευτικοί της υφιστάμενης κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι σταθμοί του Κόλπου Καβάλας τοποθετήθηκαν κατά μήκος του άξονα βαθμιαίας μείωσης της ανθρωπογενούς διαταραχής, που κατά κύριο λόγο προκαλείται από τα απόβλητα της βιομηχανικής ζώνης (π.χ. Βιομηχανία Φωσφορικών Λιπασμάτων), τα μερικώς επεξεργασμένα λύματα του βιολογικού σταθμού επεξεργασίας αστικών λυμάτων της πόλης της Καβάλας και των γεωργικών λυμάτων του κάμπου της Χρυσούπολης (Sylaios *et al.* 2005). Οι σταθμοί του Μαλιακού Κόλπου τοποθετήθηκαν κατά μήκος του άξονα βαθμιαίας μείωσης της ανθρωπογενούς διαταραχής, που προκαλείται από τα νερά του Σπερχειού ποταμού και από εποχικούς χειμάρρους που εκβάλλουν στην ακτογραμμή (Korimas *et al.* 2003).

**Δειγματοληψίες:** Στον Κόλπο Καβάλας πραγματοποιήθηκαν τέσσερις εποχικές καταστροφικές δειγματοληψίες στην καταληκτική (climax) κοινωνία των μακροφυκών της ανώτερης υποπαραλιακής ζώνης (από 0,2 μέχρι 1 μέτρο) κατά το έτος 2004. Συνολικά συλλέχθηκαν 60 δείγματα των 25 x 25 cm (3 τυχαία δείγματα x 4 εποχές x 5 σταθμούς). Η σύνθεση και αφθονία των μακροφυκών, σε επίπεδο είδους ή γένους και σε επίπεδο λειτουργικής ομάδας, εξετάστηκε με λεπτομέρεια στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εργαστηριακό εξοπλισμό και βιβλιογραφία. Στον Μαλιακό Κόλπο πραγματοποιήθηκαν τέσσερις εποχικές δειγματοληψίες στις κοινωνίες των μακροφυκών της ανώτερης υποπαραλιακής ζώνης κατά τα έτη 1992-3 (για λεπτομέρειες βλ. Chryssovergis & Panayotidis 1995).

**Ανάλυση δεδομένων:** Ο δείκτης ΕΕΙ εκτιμήθηκε με βάση τη μεθοδολογία των (Orfanidis *et al.* 2001, 2003). Για την ανάλυση της ιεραρχικής ANOVA (Εικ. 2) και την πολυδιάστατη ομαδοποίηση (MDS) χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά πακέτα STATISTICA v. 6 και PRIMER v. 5, αντίστοιχα.

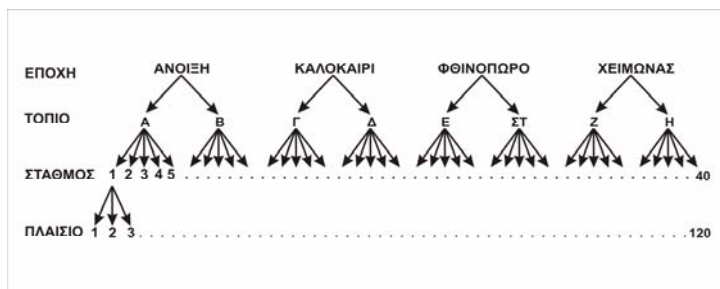


**Εικ. 1.** Χάρτης της περιοχής μελέτης. Σε παρένθεση η κλάση οικολογικής κατάστασης κάθε σταθμού.

**Fig. 1.** Map of the studied area. In parentheses the ecological status class of each site.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Κόλπο Καβάλας προσδιορίστηκαν συνολικά 97 κατά το δυνατόν μη αμφισβητούμενα είδη ή τάξα μακροφυκών, ενώ στον Μαλιακό Κόλπο 137. Η διαφορά αυτή μπορεί να είναι πραγματική και να οφείλεται στη διαφορετική τυπολογία των περιοχών ή να είναι τεχνητή και να σχετίζεται με τον τρόπο δειγματοληψίας, που για την περίπτωση του Κόλπου Καβάλας αφορούσε αποκλειστικά τις καταληκτικές φυτοκοινωνίες. Σύμφωνα με τη θεωρία της ενδιάμεσης διαταραχής (Connell 1978) αυτές υπολείπονται σε είδη από τις κοινωνίες που βρίσκονται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο διαδοχής.



Εικ. 2. Ιεραρχικό σχέδιο δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Fig. 2. Nested sampling design used in this study.

Από τα είδη μακροφυκών του Κόλπου Καβάλας τα 17 είναι πολυετή με αργούς ρυθμούς αύξησης (Κ- επιλογή) και ανήκουν στην ομάδα οικολογικής κατάστασης I (ΟΟΚ I). Τα υπόλοιπα 80 είναι ετήσια ή εφήμερα είδη με υψηλούς ρυθμούς αύξησης (r- επιλογή) και ανήκουν στην ΟΟΚ II. Σε όλους τους σταθμούς επικρατούν ποσοτικά τα είδη της ΟΟΚ I (Πίνακας I). Χρησιμοποιώντας το δείκτη ΕΕΙ οι σταθμοί ταξινομούνται σε τρεις κλάσεις οικολογικής κατάστασης: ο σταθμός στις Νέας Καρβάλης στη μέτρια, της πόλης της Καβάλας, του Παλιού και της Νέας Περάμου στην καλή και του Πύργου στην άριστη. Η χρησιμοποίηση της πολυδιάστατης ομαδοποίησης (Εικ. 3) δημιουργεί δύο ομάδες σταθμών: ο σταθμός της Νέας Καρβάλης και της πόλης της Καβάλας ανήκουν στην πρώτη και του Παλιού, της Νέας Περάμου και του Πύργου στη δεύτερη. Από τις δύο προσεγγίσεις ο ΕΕΙ φαίνεται να περιγράφει καλύτερα την υπάρχουσα κατάσταση στον Κόλπο Καβάλας: (1) γιατί καταδεικνύει την περιοχή της Νέας Καρβάλης ως περιοχή στην οποία πρέπει να εφαρμοστούν άμεσα μέτρα προστασίας για την επαναφορά της, σύμφωνα με την Οδηγία πλαίσιο, στην καλή κατάσταση, (2) γιατί αναδεικνύει την περιοχή του Πύργου ως περιοχή αναφοράς με λιγιστή ανθρωπογενή επιβάρυνση. Η οικολογική κατάσταση των υπόλοιπων σταθμών είναι καλή, έστω και αν στην περίπτωση της πόλης της Καβάλας η κατάταξη είναι οριακή.

Από τα είδη του Μαλιακού Κόλπου τα 25 ανήκουν στην ΟΟΚ I και τα υπόλοιπα 112 στην ΟΟΚ II. Στους σταθμούς Αγία Μαρίνα και Στυλίδα επικρατούν ποσοτικά τα είδη της ΟΟΚ II (Πίνακας I) και στους υπόλοιπους τα είδη της ΟΟΚ I. Χρησιμοποιώντας το δείκτη ΕΕΙ οι σταθμοί ταξινομούνται σε τρεις ΚΟΚ: ο σταθμός της Αγίας Μαρίνας στην κακή, της Στυλίδας, Καραβόμυλου και Αγίας Πελασγίας στη μέτρια και του Πτελεού στην καλή. Η χρησιμοποίηση της πολυδιάστατης ομαδοποίησης (Εικ. 3) δημιουργεί τρεις ομάδες σταθμών: ο σταθμός της Στυλίδας με εμφανή την έλλειψη κατάλληλου υποστρώματος για ανάπτυξη μακροφυκών ανήκει στην πρώτη, της Αγίας Μαρίνας και του Καραβόμυλου στη δεύτερη και της Αγίας Πελασγίας και του Πτελεού στην τρίτη. Και στην περίπτωση αυτή ο ΕΕΙ φαίνεται να περιγράφει καλύτερα την υπάρχουσα κατάσταση διαταραχής (Korras *et al.* 2003) με εξαίρεση ίσως το σταθμό της Αγίας Πελασγίας που δεν αναμενόταν να εμφανίζει εμφανή υποβάθμιση.

Πίνακας I. Συνολική κάλυψη των ομάδων ΟΟΚ I & II σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας. Εκτίμηση του δείκτη ΕΕΙ και των κλάσεων οικολογικής κατάστασης (ΚΟΚ).

Table I. Total coverage of Ecological State Group I & II, ΕΕΙ and ecological status classes of each site.

Τοπίο	Σταθμός	ΟΟΚ I	ΟΟΚ II	ΕΕΙ	ΚΟΚ
Κόλπος Καβάλας	Νέα Καρβάλη (NK)	70,4	61,1	6	Μέτρια
	Πόλη Καβάλας (K)	62,9	51,7	8	Καλή
	Παλιό (PA)	96,3	45,3	8	Καλή
	Νέα Πέραμος (NP)	88,4	43,9	8	Καλή
	Πύργος (P)	123,2	11,8	10	Υψηλή
Μαλιακός Κόλπος	Αγία Μαρίνα (AM)	19,7	71,4	2	Κακή
	Στυλίδα (S)	16,7	27,8	6	Μέτρια
	Καραβόμυλος (K)	57,2	41,0	6	Μέτρια
	Αγία Πελασγία (P)	92,2	68,1	6	Μέτρια
	Πτελεός (E)	120,3	42,0	8	Καλή

Πίνακας II. Συνοπτικός πίνακας των συγκρίσεων μεταξύ της εποχής, τοπίου και σταθμού ως προς το δείκτη EEI χρησιμοποιώντας ιεραρχική ANOVA.

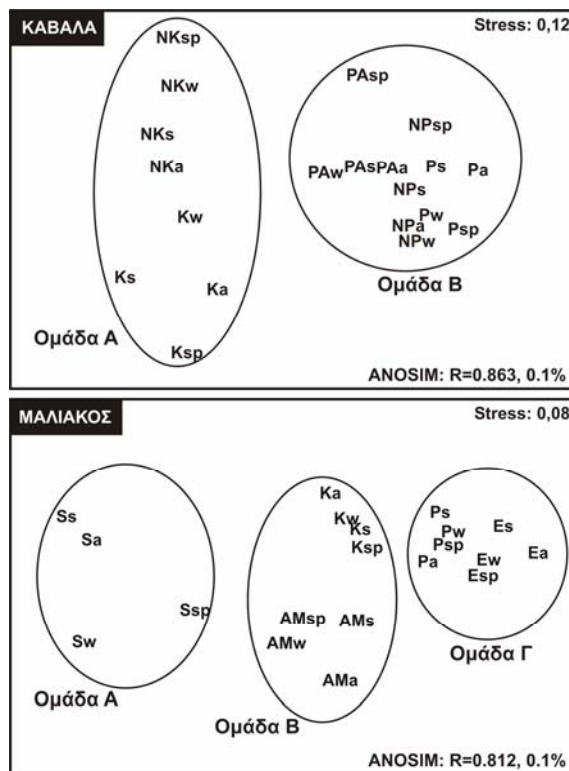
Table II. Summary of comparisons between season, landscape, site for EEI index using nested ANOVA.

Μεταβλητές	EEI			
	df	MS	F	p
Εποχή	3	0,269	0,403	0,759
Τοπίο (E)	4	0,667	2,839	0,040
Σταθμός (T(E))	32	0,235	4,813	<0,000
Λάθος	80	0,049		

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ιεραρχικής ANOVA (Πίνακας II) η μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική διακύμανση των τιμών του EEI παρατηρήθηκε στην κλίμακα του σταθμού και λιγότερη στην κλίμακα του τοπίου. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διακύμανση του EEI στην κλίμακα της εποχής. Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν, την ανάγκη εστίασης των μελλοντικών δειγματοληψιών στη χωρική παρά στη χρονική μεταβλητότητα της καταληκτικής κοινωνίας των μακροφυκών.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chryssovergis F. & P. Panayotidis, 1995. Communities of macrophytobenthos along an eutrophication gradient (Maliakos Gulf, Eagean Sea, Greece). *Oceanologica Acta*, 18: 649-658.
- Connel J., 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, 199: 1304-1310.
- Crowe T. P., R. C. Thompson, S. Bray & S. J. Hawking, 2000. Impacts of anthropogenic stress on rocky intertidal communities. *J. Aquatic Ecosystem, Stress, Recovery*, 7: 273-297.
- Dauer D. M., 1993. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Maine Pollution Bulletin*, 26: 249-257.
- EC, 2000. Council Directive for a legislative frame and actions for the water policy, 2000/60/EC. *Official Journal of the E.C*, 22/12/2000.
- Kormas K., A. Nicolaidou & M. Thessalou-Legaci, 2003. Variability of environmental factors of an eastern Mediterranean Sea river influenced coastal system. *Mediterranean Marine Science*, 4(1): 67-77.
- Orfanidis S., P. Panayotidis & N. Stamatis, 2001 Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes model. *Mediterranean Marine Science*, 2 (2): 46-65.
- Orfanidis S., P. Panayotidis & N. Stamatis, 2003 An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecological Indicators*, 3: 27-33.
- Panayotidis P., B. Montesanto & S. Orfanidis, 2004. Use of low-budget monitoring of macroalgae to implement the WFD. *J. Applied Phycology*, 16: 49-59.
- Sylaios G., N. Stamatis, A. Kallianiotis & P. Vidoris, 2005. Monitoring water quality and assessment of land-based nutrient loadings and cycling in Kavala Gulf. *Water Research Management* (in press).



Εικ. 3. Πολυδιάστατη ομαδοποίηση (MDS) των σταθμών δειγματοληψίας με βάση το δείκτη ομοιότητας Bray-Curtis. Επίσης, βλ. Πίνακα I. Fig. 3. Multidimensional scaling plot of Bray-Curtis similarity of the studied sites.