

Εκτίμηση του βαθμού ευτροφισμού των λιμνοθαλασσών του Δέλτα του Νέστου με τη χρήση βιολογικών και χημικών δεικτών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60)

Σωτήρης Ορφανίδης¹, Νικόλαος Σταμάτης¹, Ευαγγελία Τσιάγκα¹

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

ABSTRACT

Sotiris Orfanidis, Nikolaos Stamatis, Evaggelia Tsiagga: Eutrophication assessment of Delta Nestos Lagoons by using biological and chemical indicators in agreement to Water Framework Directive (WFD).

Abstract: The marine benthic macrophytes were monitored across an eutrophication gradient of selected Delta Nestos Lagoons. *Ruppia cirrhosa* and *R. maritima* were the most abundant phanerogams dominated in most pristine lagoons or lagoon sub-basins; the seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva* sp., *Cystoseira barbata* and Cyanophyceae dominated in eutrophicated lagoons. Seaweed community and key environmental parameters were more intensively monitored (2 sites x 13 months x 3 samples) in the eutrophicated lagoon Vassova. The EEI (Ecological Evaluation Index) and diversity indices (species number) were related to key eutrophication parameters and confinement, respectively. The variation of EEI and diversity index was examined on a hierarchy of spatial (site) and temporal (season, month) scales using a nested ANOVA in order to gain insight for the future estimations indices in the management of transitional waters.

Keywords: marine benthic macrophytes, biotic index EEI, nested designs

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιολογικοί δείκτες (βιοδείκτες) αποτελούν μετρήσιμες παράμετροι του βιόκοσμου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του οικοσυστήματος. Αντίθετα, οι χημικοί δείκτες χρησιμεύουν στον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των πηγών της χημικής ρύπανσης. Και οι δύο κατηγορίες δεικτών, κατά σειρά σημαντικότητας, υιοθετήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα στην Οδηγία Πλαίσιο (2000/60), προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα των νερών σε Κλάσεις Οικολογικής Κατάστασης (ecological status classes, EC 2000).

Γενικά, ο ανθρωπογενούς προέλευσης ευτροφισμός των υδατικών συστημάτων οφείλεται στις υπερβολικές εισροές αζώτου και φωσφόρου στο νερό και σε αλλαγές των υδρογραφικών τους χαρακτηριστικών, καθώς επίσης και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων. Το φαινόμενο επηρεάζουν και βιολογικές παράμετροι όπως είναι η βόσκηση και ο ανταγωνισμός των ειδών (Schramm & Nienhuis 1996).

Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στο νερό, σε αντίθεση με το παρελθόν, δε χρησιμοποιούνται σήμερα ως ασφαλείς δείκτες του βαθμού ευτροφισμού, ειδικά στα αβαθή οικοσυστήματα, γιατί οι παραγωγοί (φυτοπλαγκτό, μακροφύκη, φανερόγαμα) αφομοιώνουν τα θρεπτικά στη βιομάζα τους αποκρινόμενοι μη-γραμμικά και αυτο-επιταχυνόμενα, όταν ξεπεραστούν ορισμένα όρια (Duarte 1995). Επιπλέον, οι υψηλές τιμές (>5%) οργανικού φορτίου στο ίζημα είναι τοξικές στα φέροντα ρίζες θαλάσσια φανερόγαμα.

Άλλος τρόπος εκτίμησης του βαθμού ευτροφισμού είναι η μελέτη των συμπτωμάτων του (Orfanidis *et al.* 2001), τα οποία στις λιμνοθάλασσες περιλαμβάνουν τη μετατόπιση του σημείου ισορροπίας της βενθικής βλάστησης από την κυριαρχία των φανερόγαμων στην κυριαρχία των καιροσκοπικών και συχνά φυκών όχλησης. Αυτή η προβλέψιμη διαδοχή στις

βενθικές φυτοκοινωνίες, η οποία προκαλείται και από άλλα είδη ανθρώπινης διαταραχής, π.χ. σύρση αλιευτικών εργαλείων, υπεραλίευση αποθεμάτων βοσκιτών, είναι σύμφωνη με την κλασική θεωρία της r- και K- επιλογής.

Πρωταρχικός στόχος της μελέτης αυτής ήταν η συμπτωματολογική και αιτιολογική διερεύνηση του ευτροφισμού στις λιμνοθάλασσες του Δέλτα του Νέστου, χρησιμοποιώντας μακροφυτικούς και χημικούς δείκτες, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας Πλαίσιο (2000/60). Επιπλέον, στόχος ήταν η μελέτη της διακύμανσης των δεικτών ΕΕΙ και ποικιλότητας (αριθμός ειδών) σε διαφορετικές χωρο-χρονικές κλίμακες, με σκοπό την εμβάθυνση ως προς τον τρόπο χρησιμοποίησής τους στο χώρο και στο χρόνο.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Περιοχή Μελέτης: Μελετήθηκαν οι τέσσερις μεγαλύτερες λιμνοθάλασσες του Δέλτα του Νέστου (Βάσσοβα, Ερατεινό, Αγίασμα, Κεραμωτή) και για σύγκριση μια λιμνοθάλασσα της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Βιστωνίδας (Φανάρι) (Εικ. 1).

Δειγματοληψία. Πραγματοποιήθηκαν καταστροφικές δειγματοληψίες μακροφύτων μεταξύ της άνοιξης 1998 και του καλοκαιριού 2001. Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Orfanidis *et al.* (2001).

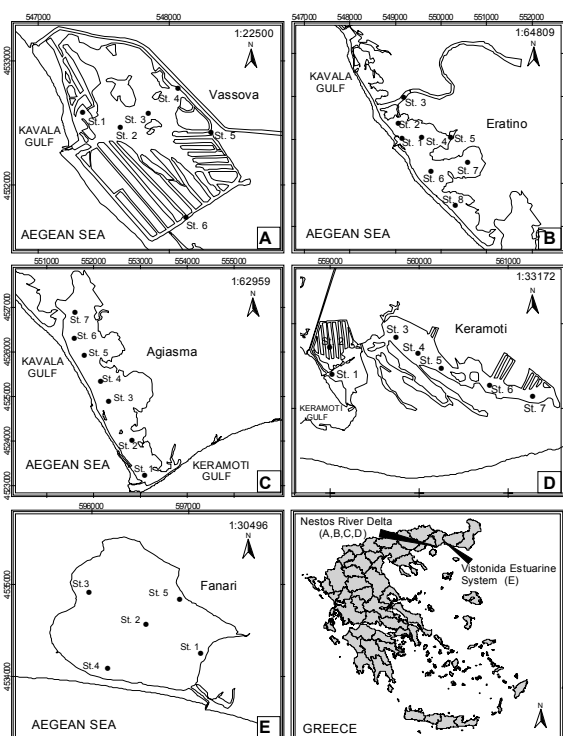
Στους σταθμούς 1 και 3 της λιμνοθάλασσας Βάσσοβα πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες συλλογές μακροφυκών (3 τυχαία δείγματα x 2 σταθμούς x 13 μήνες) και μετρήσεις των κυριότερων φυσικών και χημικών παραμέτρων του νερού από τον Μάρτιο του 1998 μέχρι το Μάρτιο του 1999.

Όλες οι δειγματοληψίες των μακροφύτων ήταν καταστροφικές και πραγματοποιήθηκαν με μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων (30 x 50 x 100 cm) (πλάτος x μήκος x ύψος).

Κάθε δείγμα μακροφύτων ταξινομήθηκε, όπου αυτό ήταν δυνατόν, μέχρι επίπεδο είδους. Η αφθονία των ειδών υπολογίστηκε είτε με την % κάλυψή τους, είτε με ζύγιση του βάρους της ξηρής (τοποθέτηση στους 50°C μέχρι σταθερού βάρους) βιομάζας τους.

Στην υδάτινη στήλη μετρήθηκε η θερμοκρασία (T°C), η αλατότητα (PSU), το διαλυμένο οξυγόνο (% κορεσμός) και το pH με φορητά όργανα της εταιρείας WTW. Η ακτινοβολία PAR μετρήθηκε με υποβρύχιο κβαντόμετρο της εταιρείας Li-Cor. Τα διαλυμένα στο νερό ανόργανα άλατα (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₄ και P-PO₄), η χλωροφύλλη-α της στήλης του νερού (Chl-a) και το % οργανικό περιεχόμενο του ιζήματος προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο.

Ανάλυση δεδομένων: Ο δείκτης ΕΕΙ εκτιμήθηκε με βάση τη μεθοδολογία των (Orfanidis *et al.* 2001, 2003). Οι βιολογικές παράμετροι συσχετίστηκαν με τις τιμές θρεπτικών αλάτων που μετρήθηκαν στο πεδίο καθώς και αυτές που υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις συσχέτισης με αλατότητα (N-NO₃=30.92-0.91 x αλατότητα, P-PO₄=4.27-0.12 x αλατότητα) (Orfanidis *et al.* 2005). Για τις συσχετίσεις και την ιεραρχική ANOVA, μετά από κατάλληλες τροποποιήσεις, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο STATISTICA v. 6.

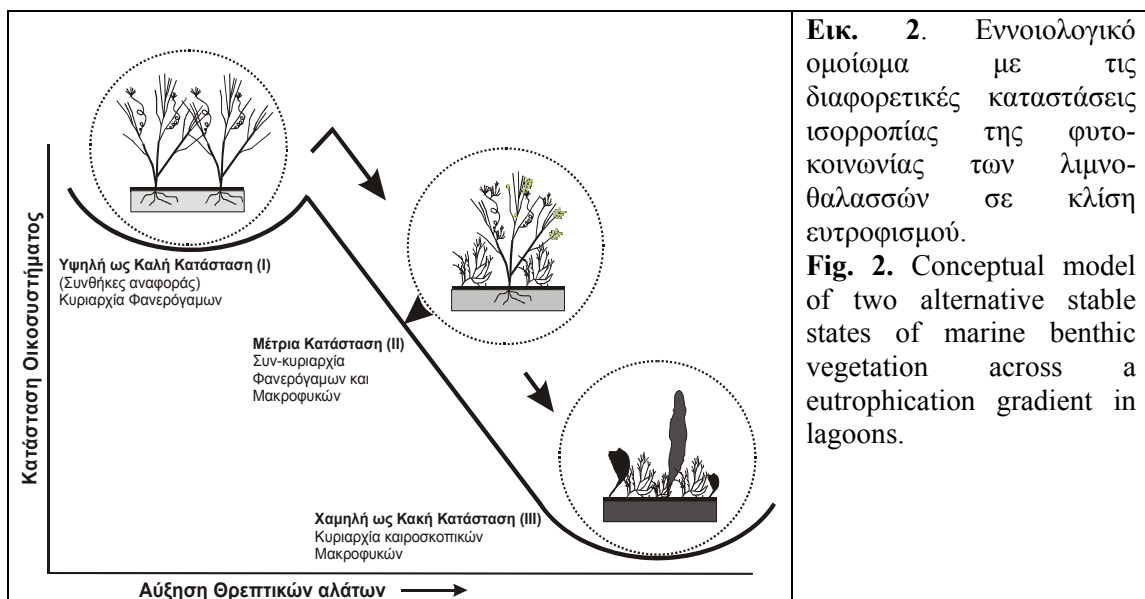


Εικ. 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης (St. = σταθμός δειγματοληψίας).

Fig. 1. Map of the studied area (St=sampling sites).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα θαλάσσια βενθικά μακρόφυτα αποδείχθηκαν σημαντικά συστατικά των μελετηθέντων λιμνοθαλασσών, καταλαμβάνοντας έκταση που αγγίζει (κατά προσέγγιση) το 80% της επιφάνειά τους. Η διακύμανση της φυτοκοινωνίας τους σε σχέση με τις συνθήκες ευτροφισμού δίνονται στο εννοιολογικό ομοίωμα (conceptual model) της Εικ. 2, το οποίο και αναλύεται παρακάτω. Τα φανερόγαμα *Ruppia cirrhosa* Linnaeus και *Ruppia maritima* Linnaeus ήταν τα κυρίαρχα μακρόφυτα στη λιμνοθάλασσα του Φαναρίου (EEI=10) και στο μεγαλύτερο (φυσικό) τμήμα της λιμνοθάλασσας του Αγιάσματος (EEI=8). Πρόκειται για τις λιμνοθάλασσες με τις συγκριτικά λιγότερες απορροές γεωργικών ή άλλων τύπων λυμάτων. Οι υπόλοιπες λιμνοθάλασσες (EEI_{Βάσσοβα}=4, EEI_{Ερατεινό}=4, EEI_{Κεραμωτή}=4) δέχονται σημαντικά φορτία γεωργικών και αστικών απορροών από στραγγιστικά κανάλια και από την παλαιά κοίτη του ποταμού Νέστου (Theocharis *et al.* 2000). Εκεί, κυριαρχούν τα μακροφύκη *Gracilaria bursa-pastoris* (Gmelin) Silva, *Ulva* sp. and *Cystoseira barbata* C. Agardh. Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν την ύπαρξη μιας κλίσης ευτροφισμού (Harlin 1995) μεταξύ δύο σταθερών συνθηκών ισορροπίας (βλ. Scheffer *et al.* 2001), την oligοτροφική (φυσική) και την εύτροφη (επιβαρυσμένη). Η κυριαρχία της καταληκτικής κοινωνίας (late-successional) των φανερόγαμων *R. cirrhosa* και *R. maritima* είναι δείκτης της oligοτροφικής, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλή διαφάνεια ($k < 1$) και σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στο νερό. Σε αντίθεση, η κυριαρχία των καιροσκοπικών μακροφυκών είναι δείκτης των εύτροφων συνθηκών, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλή θολερότητα ($k > 1$) και συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στο νερό. Η λιμνοθάλασσα του Φαναρίου και το φυσικό τμήμα της λιμνοθάλασσας του Αγιάσματος δείχνουν για βιώσιμα οικοσυστήματα (βλ. Orfanidis *et al.* 2003) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως συνθήκες αναφοράς για την εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο (2000/60) στη χώρα μας. Για τις υπόλοιπες λιμνοθάλασσες του Δέλτα του Νέστου πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας για την αποκατάσταση της καλής οικολογικής κατάστασης.



Στον Πίνακα I φαίνεται ότι ο EEI συσχετίζεται αρνητικά με βασικές παραμέτρους του ευτροφισμού, κατά κύριο λόγο διαλυμένο φώσφορο, νιτρώδη και θολερότητα νερού. Επιπλέον, ο δείκτης σχετίζεται θετικά με το είδος *Cystoseira barbata* (ανήκει στην Ομάδα Οικολογικής Κατάστασης I, K-επιλογή) και αρνητικά με το είδος *Gracilaria bursa-pastoris* (ανήκει στην ΟΟΚ II, r-επιλογή). Τα αποτελέσματα αυτά δικαιώνουν το σχεδιασμό του δείκτη EEI και τον αναδεικνύουν ως βασικό εργαλείο εκτίμησης της οικολογικής κατάστασης των μεταβατικών υδατικών συστημάτων. Αντίθετα, ο δείκτης ποικιλότητας φαίνεται ότι, όπως και στη θαλάσσια βενθική μακροπανίδα (Reizoroulou & Nicolaidou 2004) δείχνει το βαθμό απομόνωσης του

σταθμού μελέτης. Σε αυτή την εργασία ο ένας σταθμός βρισκόταν στο εσωτερικό και ο άλλος κοντά στο στόμιο επικοινωνίας της λιμνοθάλασσας με τη θάλασσα.

<i>Παράμετροι</i>	<i>EEI</i>	<i>Αριθμός ειδών</i>
P-PO4_εξίσωση	-0,39, p=0,049	0,04, p=0,839
N-NO3_εξίσωση	-0,35, p=0,071	0,05, p=0,823
N-NO2	-0,39, p=0,048	-0,12, p=0,57
TDIN_εξίσωση	-0,38, p=0,057	-0,15, p=0,45
k	-0,41, p=0,035	-0,41, p=0,037
Οργανικό περιεχόμενο ιζήματος (%)	0,03, p=0,9	-0,56, p=0,003
<i>Cystoseira barbata</i>	0,66, p=0,000	0,35, p=0,08
<i>Gracilaria bursa-pastoris</i>	-0,48, p=0,014	-0,45, p=0,009

Πίνακας I. Pearson (r) συσχετίσεις του δείκτη EEI και του δείκτη ποικιλότητας με χημικές και βιολογικές παραμέτρους.
Table I. Pearson (r) correlations of the EEI and diversity indices with chemical and biological parameters.

Οι μεταβλητότητα των δεικτών EEI και ποικιλότητας διαφέρει ως προς τις κλίμακες σταθμός, εποχή και μήνας (Πίνακας II). Η μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική διακύμανση του EEI παρατηρήθηκε στην κλίμακα του μήνα και η λιγότερη στην κλίμακα της εποχής. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διακύμανση του EEI στην κλίμακα του σταθμού. Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ανάγκη εστίασης των μελλοντικών δειγματοληψιών στη χρονική παρά στη χωρική μεταβλητότητα της κοινότητας των μακροφυκών.

Πίνακας II. Συνοπτικές συγκρίσεις μεταξύ του σταθμού, εποχής και μήνα ως προς τους δείκτες EEI και ποικιλότητας, χρησιμοποιώντας ιεραρχική ANOVA.

Table II. Summary of comparisons between site, season and month for EEI and diversity indices using a nested ANOVA.

Μεταβλητές	df	Δείκτης EEI			Αριθμός ειδών		
		MS	F	p	MS	F	p
Σταθμός	1	2,248	0,046	0,836	5,3234	7,22243	0,036
Εποχή (Σ)	6	48,690	2,756	0,044	0,7398	2,15120	0,097
Μήνας (Σ(Ε))	18	17,823	6,940	<0,000	0,3469	6,86240	<0,000
Λάθος	54	2,568			0,0506		

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Duarte C. M., 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*, 41: 87-112.

Harlin M. M., 1995. Changes in major plant groups following nutrient enrichment. In: Mc Comb A. J., editors. *Eutrophic shallow estuaries and lagoons*, Institute for Environmental Science, Murdoch University, CRC Press, Murdoch, Australia: 173-187.

Orfanidis S., P. Panayotidis & N. Stamatis, 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes model. *Mar. Medit. Sc.*, 2 (2): 46-65.

Orfanidis S., P. Panayotidis & N. Stamatis, 2003. An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol. Indic.*, 3: 27-33.

Orfanidis S., N. Stamatis, V. Ragias & W. Schramm, 2005. Eutrophication patterns in the Vassova Lagoon, Delta Nestos, Greece. *Medit. Mar. Sc.*, (submitted).

Reizopoulou S. & A. Nicolaidou, 2004. Benthic diversity of coastal brackish-water lagoons in western Greece. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 14: 93-102.

Scheffer M., S. Carpenter, J. A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413: 591-596.

Schramm W., P. H. Nienhuis (editors), 1996. *Marine benthic vegetation: recent changes and the effects of eutrophication*. Ecological studies 123. Springer-Verlag: 470 pp.

Theocharis V., G. Sylaios & N. Stamatis, 2000. Water quality variability at two coastal lagoons in Northern Greece. *Fresenius Env. Bull.*, 9: 30-35.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα θαλάσσια βενθικά μακρόφυτα παρακολούθηθηκαν σε κλίση ευτροφισμού σε επιλεγμένες λιμνοθάλασσες του Δέλτα Νέστου. Τα είδη *Ruppia cirrhosa* και *R. maritima* ήταν τα αφθονότερα φανερόγραμμα στις λιγότερο επιβαρυμένες λιμνοθάλασσες ή υπολεκάνες λιμνοθαλασσών. Αντίθετα, τα μακροφύκη *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva* sp., *Cystoseira barbata* και τα Κυανοβακτήρια κυριαρχούσαν στις εύτροφες λιμνοθάλασσες. Περισσότερη συχνή παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε στη φυτοκοινωνία (2 περιοχές X 13 μήνες X 3 δείγματα) και σε περιβαλλοντικές παραμέτρους κλειδιά της λιμνοθάλασσας Βάσσοβα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο Δείκτης Οικολογικής Εκτίμησης (EEI) και ο Δείκτης Ποικιλότητας (αριθμός ειδών) συσχετίζονταν με τις βασικές παραμέτρους του ευτροφισμού και του βαθμού απομόνωσης του σταθμού δειγματοληψίας, αντίστοιχα. Η διακύμανση του δείκτη EEI και του Δείκτη ποικιλότητας εξετάστηκε σε μια χωρική (περιοχή) και δύο χρονικές (εποχή, μήνας) κλίμακες χρησιμοποιώντας ιεραρχική ANOVA, προκειμένου να αποκτηθεί περαιτέρω γνώση για τις μελλοντικές χρήσεις των δεικτών στη διαχείριση των μεταβατικών συστημάτων.

Λέξεις κλειδιά: θαλάσσια βενθικά μακρόφυτα, βιοτικός δείκτης EEI, ιεραρχική ανάλυση