

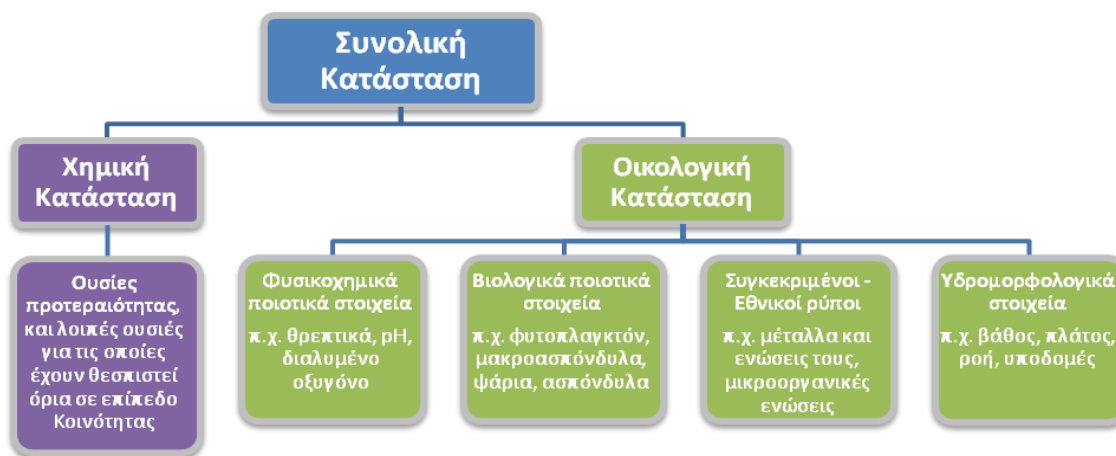
1^Η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πρωτοποριακό στοιχείο της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ είναι ότι η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων δεν εκτιμάται με βάση μόνο τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (χημική κατάσταση), αλλά με οικολογικά ποιοτικά στοιχεία σε συνδυασμό με χημικά.

Η συνολική κατάσταση ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος στηρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες μετρούμενων παραμέτρων. Αυτές είναι οι βιολογικές, οι φυσικοχημικές, οι υδρομορφολογικές και οι συγκεκριμένοι ή συνθετικοί ρύποι ή ειδικοί ρύποι (Σχήμα 1). Στο Παράρτημα V της Οδηγίας 200/60/ΕΚ καθορίζονται οι παράμετροι σύμφωνα με τους οποίους γίνεται η αξιολόγηση των επιφανειακών συστημάτων. Οι παράμετροι διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία του συστήματος, δηλαδή αν πρόκειται για ποτάμιο, λιμναίο, μεταβατικό ή παρακτίο σύστημα. Αναφορικά με τα ιδιαιτέρως τροποποιημένα και τεχνητά υδατικά συστήματα (ΤΥΣ/ΙΤΥΣ) προτείνεται να αξιολογούνται με βάση τις παραμέτρους της κατηγορίας φυσικού συστήματος με το οποίο προσομοιάζεται καλύτερα και χρησιμοποιείται η έννοια του καλού οικολογικού δυναμικού, αντί της καλής οικολογικής κατάστασης.

Σχήμα 1: Κατηγορίες ποιοτικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη των επιφανειακών υδατικών συστημάτων



Μεθοδολογία ταξινόμησης της κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων

Α. Οικολογική κατάσταση και οικολογικό δυναμικό

Στην Ευρώπη υπάρχει πληθώρα μεθόδων για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων, οι οποίες όμως χρησιμοποιούν διαφορετικές κλίμακες βαθμολογίας και επομένως διαφορετικά όρια στις κλάσεις ποιότητας. Με βάση τις σαφείς κατευθυντήριες γραμμές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, για την εξασφάλιση της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων:

α) η οικολογική ποιότητα των επιφανειακών υδάτων θα πρέπει να παρουσιάζεται με την παρακάτω πενταβάθμια κλίμακα, η οποία αποδίδεται χρωματικά στο ακόλουθο Σχήμα 2.

Σχήμα 2: Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης και αντίστοιχος χρωματικός κώδικας, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ

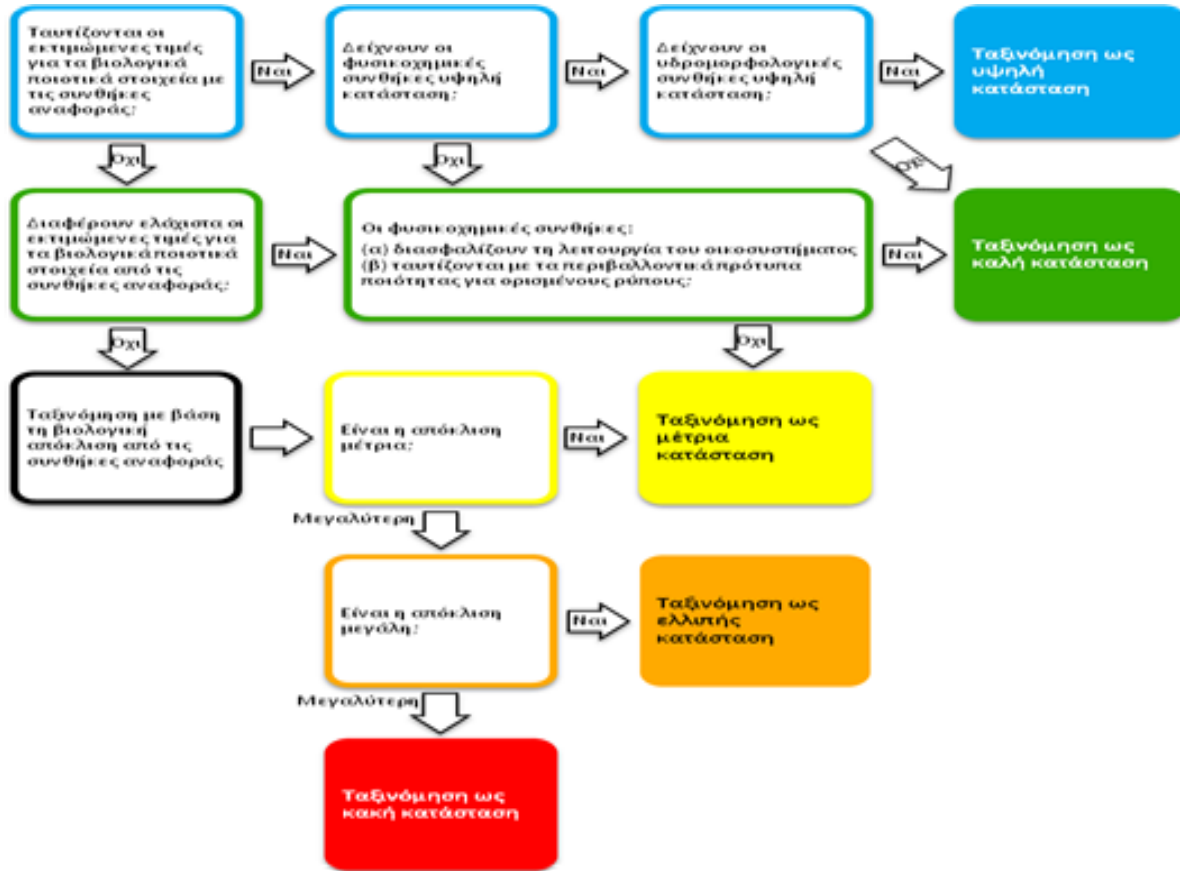
Κατάταξη οικολογικής ποιότητας	Χρωματισμός
Υψηλή	Blue
Καλή	Green
Μέτρια	Yellow
Ελλιπής	Orange
Κακή	Red

- Υψηλή Κατάσταση (High): Έλλειψη, ή ήσσονος μόνον σημασίας ανθρωπογενείς μεταβολές των τιμών των φυσικοχημικών και των υδρομορφολογικών ποιοτικών στοιχείων. Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων αντικατοπτρίζουν εκείνες των συνθηκών αναφοράς.
- Καλή Κατάσταση (Good): Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων εμφανίζουν χαμηλού επιπέδου αλλοιώσεις, λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, αλλά διαφοροποιούνται σε μικρό βαθμό από τις τιμές που χαρακτηρίζουν το σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες.
- Μέτρια Κατάσταση (Moderate): Οι τιμές των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του συστήματος επιφανειακών υδάτων παραλλάσσουν μετρίως τις τιμές που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το σύστημα επιφανειακών υδάτων υπό μη διαταραγμένες συνθήκες.
- Ελλιπής Κατάσταση (Poor): Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν ενδείξεις σημαντικών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και στα οποία οι σχετικές βιολογικές κοινότητες διαφέρουν ουσιαστικά από εκείνες που χαρακτηρίζουν το σύστημα επιφανειακών υδάτων σε μη διαταραγμένες συνθήκες.
- Κακή Κατάσταση (Bad): Τα ύδατα τα οποία εμφανίζουν ενδείξεις σοβαρών αλλοιώσεων των τιμών των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων του τυπικού συστήματος επιφανειακών υδάτων και από τα οποία απουσιάζει μεγάλο μέρος των σχετικών βιολογικών κοινότητων που χαρακτηρίζουν φυσιολογικά το σύστημα επιφανειακών υδάτων σε μη διαταραγμένες συνθήκες.

Η σχέση μεταξύ των βιολογικών, των υδρομορφολογικών και των φυσικοχημικών ποιοτικών στοιχείων απεικονίζεται, για όλες τις κατηγορίες επιφανειακών υδατικών συστημάτων, στο Σχήμα 3. Σύμφωνα με το Σχήμα αυτό, οι υδρομορφολογικές συνθήκες εξετάζονται μόνο εάν το επιφανειακό υδατικό σύστημα πρόκειται να ταξινομηθεί στην υψηλή οικολογική κατάσταση ή στο μέγιστο οικολογικό δυναμικό, αν είναι ιδιαιτέρως τροποποιημένο ή τεχνητό. Η ταξινόμηση σε καλή, μέτρια, ελλιπή ή κακή κατάσταση προϋποθέτει την εξέταση μόνο βιολογικών παραμέτρων ή και φυσικοχημικών για την ταξινόμηση σε καλή κατάσταση. Όταν οι βιολογικές συνθήκες είναι σύμφωνες με εκείνες που απαιτούνται για την ταξινόμηση σε καλή, μέτρια, ελλιπή ή κακή κατάσταση αντίστοιχα, τότε οι εξ ορισμού ικανοποιούνται οι υδρομορφολογικές συνθήκες και δεν επηρεάζουν την ταξινόμηση.

Ακόμα, για την ταξινόμηση σε υψηλή ή καλή κατάσταση απαιτείται η εξέταση και των φυσικοχημικών παραμέτρων, ενώ η αξιολόγηση της κατάστασης των υδατικών συστημάτων ως μέτρια, ελλιπή ή κακή μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά στην εξέταση βιολογικών παραμέτρων, αφού τότε εξ ορισμού και οι φυσικοχημικές παράμετροι θα είναι σύμφωνες με τις προβλεπόμενες τιμές για την κατάσταση αυτή. Οι χημικές συνθήκες θα πρέπει ακόμα να ταυτίζονται με τα περιβαλλοντικά πρότυπα ποιότητας για ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους.

Σχήμα 3: Λογικό διάγραμμα αξιολόγησης κατάστασης φυσικού υδατικού συστήματος



β) τα αποτελέσματα για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης κάθε σταθμού επιφανειακών υδάτων, σύμφωνα με το άρθρο 1.4.1. του Παραρτήματος V της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ πρέπει να εκφράζονται ως λόγοι της οικολογικής ποιότητας (EcologicalQualityRatio, EQR), όπου οι βιολογικές παράμετροι αποτελούν απόκλιση από τις συνθήκες αναφοράς και οι φυσικοχημικές-υδρομορφολογικές παράμετροι είναι τέτοιες που να στηρίζουν τα αποτελέσματα των βιολογικών ποιοτικών στοιχείων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, Παράρτημα V). Ο λόγος εκφράζεται ως η αριθμητική τιμή μεταξύ του μηδενός και του ενός, όπου η υψηλή οικολογική κατάσταση δηλώνεται με την τιμή ένα (1) και η κακή οικολογική κατάσταση αντιπροσωπεύεται από το μηδέν (0).

Σχήμα 4: Λόγος οικολογικής απόκλισης (EQR)



γ) για να υπολογιστεί η παραπάνω απόκλιση, ήταν αναγκαίο να ταξινομηθούν τα ρέοντα ύδατα της Ευρώπης σε πολύ λιγότερους τύπους και αυτό επιτεύχθηκε με τη άσκηση διαβαθμονόμησης.

δ) Αντίστοιχα, για τα ιδιαιτέρως τροποποιημένα και τα τεχνητά υδατικά συστήματα (ΤΥΣ/ΙΤΥΣ), το οικολογικό δυναμικό θα πρέπει να παρουσιάζεται με την παρακάτω τριβάθμια κλίμακα:

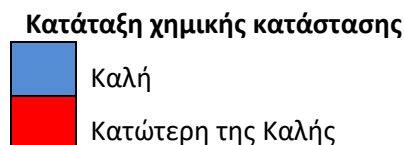
- Μέγιστο οικολογικό δυναμικό: Οι τιμές των σχετικών βιολογικών ποιοτικών στοιχείων αντικατοπτρίζουν, στο μέτρο του δυνατού, τις τιμές που χαρακτηρίζουν τον πλέον συγκρίσιμο τύπο συστήματος επιφανειακών υδάτων, λαμβανομένων υπόψη των φυσικών συνθηκών που απορρέουν από τα τεχνητά ή ιδιαιτέρως τροποποιημένα χαρακτηριστικά του υδατικού συστήματος.
- Καλό οικολογικό δυναμικό: Ελαφρές αλλαγές των τιμών των σχετικών βιολογικών ποιοτικών στοιχείων σε σχέση με τις τιμές που απαντούν στο μέγιστο οικολογικό δυναμικό.
- Μέτριο οικολογικό δυναμικό: Μέτριες αλλαγές των τιμών των σχετικών βιολογικών ποιοτικών στοιχείων σε σχέση με τις τιμές που απαντούν στο μέγιστο οικολογικό δυναμικό.

B. Χημική κατάσταση

Η ταξινόμηση σε κλάσεις ποιότητας της χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων πραγματοποιείται μετά από έλεγχο της τήρησης των οριακών τιμών ποιότητας ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές καθορίζονται στο Παράρτημα Χ της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, όπως αυτό εξειδικεύτηκε στην ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1909) «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008».

Στην ανωτέρω ΚΥΑ καθορίζονται Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για 101 χημικές ενώσεις ή ομάδες χημικών ενώσεων, εκ των οποίων 41 αφορούν σε ουσίες προτεραιότητας και άλλους ρύπους, που έχουν θεσπιστεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Οδηγία 105/2008/ΕΕ) και 60 αφορούν σε ειδικούς ρύπους, οι οποίοι είτε έχουν ανιχνευθεί στα υδατικά συστήματα της χώρας, είτε αναφέρονταν σε παλαιότερες νομοθετικές ρυθμίσεις. Τα ΠΠΠ αφορούν είτε στην Ετήσια Μέση Συγκέντρωση (ΕΜΣ) είτε στη Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση (ΜΕΣ). Η ετήσια μέση συγκέντρωση προκύπτει ως ο αριθμητικός μέσος των μετρούμενων συγκεντρώσεων σε διάφορους χρόνους κατά τη διάρκεια του έτους. Για κάθε επιφανειακό υδατικό σύστημα, ο χαρακτηρισμός της καλής χημικής κατάστασης εξαρτάται από τις ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις, οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές των θεσμοθετημένων ορίων. Η υπέρβαση τιμής σε οποιοδήποτε θέση ενός συστήματος, συνεπάγεται το χαρακτηρισμό του ως Κατώτερης της Καλής.

Σχήμα 5: Κατηγορίες αξιολόγησης της χημικής κατάστασης επιφανειακών υδατικών συστημάτων



Η μεθοδολογία ταξινόμησης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ Κρήτης, για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις για τις ουσίες προτεραιότητας και για άλλους κύριους ρύπους, θα βασιστεί στη σύγκριση της μέσης τιμής των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της συγκέντρωσης των ουσιών προτεραιότητας και άλλων κύριων ρύπων σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας ανά υδατικό σύστημα, με τις τιμές καλής χημικής κατάστασης, με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία. Στην περίπτωση που οι τιμές είναι κατώτερες των ΠΠΠ και των οριακών τιμών έκθεσης τα συστήματα θα χαρακτηριστούν ως καλής χημικής κατάστασης, ενώ στην περίπτωση που θα υπερβαίνουν τα ΠΠΠ και τις οριακές τιμές έκθεσης θα χαρακτηριστούν ως κατώτερης της καλής.

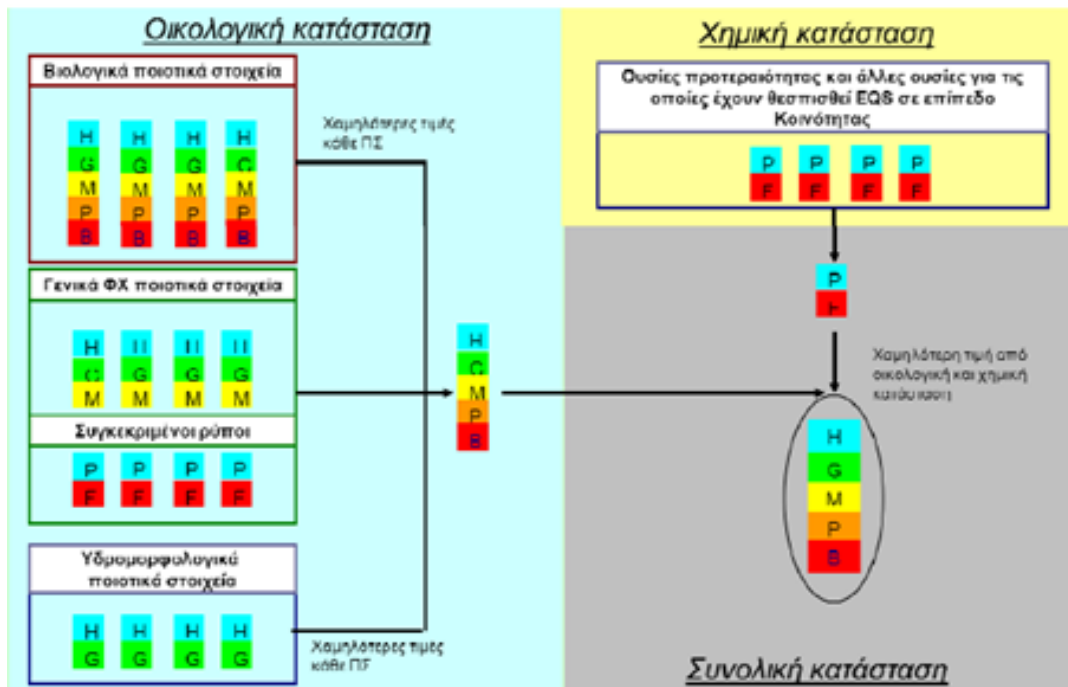
Για τα υδατικά συστήματα, για τα οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις, θα εκτιμηθεί σε ποιες περιπτώσεις επιτυγχάνονται ή όχι οι στόχοι της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Ως αποτέλεσμα, τα επιφανειακά

αυτά υδατικά συστήματα, θα έχουν άγνωστη χημική κατάσταση, ενώ θα γίνει και διερεύνηση της μη επίτευξης του περιβαλλοντικού στόχου, με βάσεις τις πιέσεις (χαμηλές, υψηλές).

Γ. Συνολική κατάσταση

Η διαδικασία ταξινόμησης της συνολικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων βασίζεται στην συναξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης και της χημικής κατάστασης. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η γενική διαδικασία ως διάγραμμα λογικής με τα βήματα που ακολουθούνται. Στην τελική ταξινόμηση της συνολικής κατάστασης επικρατεί ο κανόνας του (one out all out), κατά τον οποίο η αξιολόγηση βασίζεται στην χαμηλότερη τιμή ανάμεσα στην οικολογική και χημική κατάσταση.

Σχήμα 6: Λογικό διάγραμμα αξιολόγησης της συνολικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο πλαίσιο του Εθνικού προγράμματος «Παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας υδάτων ποταμών, παράκτιων και μεταβατικών υδάτων της Ελλάδας σε εφαρμογή του Άρθρου 8 της Οδηγίας - Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ» κατά τη διάρκεια των ετών 2012-2013-2014-2015, πραγματοποιήθηκαν, από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), δειγματοληψίες και αναλύσεις φυσικο-χημικών, υδρομορφολογικών και βιολογικών στοιχείων ποιότητας (φυτοπλαγκτού, βενθικών μακροασπονδύλων, μακροφυκών, αγγειοσπέρμων) στους 80 σταθμούς Παράκτιων Υδατικών σωμάτων (30 επιχειρησιακούς και 50 εποπτικούς) του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ποταμών της Ελλάδας και υποβλήθηκε η ακόλουθη σχετική έκθεση για όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας.

Απαραίτητα στοιχεία εκτίμησης της οικολογικής ποιότητας σύμφωνα με την (WFD-ANNEX V), είναι τα παρακάτω:

Βιολογικά στοιχεία ποιότητας:

- Φυτοπλαγκτό: φυτοπλαγκτονική βιομάζα.
- Μακροφύκη και αγγειόσπερμα: δείκτες ευαίσθητοι στην ρύπανση με βάση τα αγγειόσπερμα *Posidonia oceanica* και *Cymodocea nodosa*, ποσοστό κάλυψης μακροφυκών.
- Μακροασπόνδυλα: δείκτες ευαίσθητοι στην ρύπανση

Υδρομορφολογικά στοιχεία ποιότητας

- Καθεστώς παλίρροιας, κυρίαρχα ρεύματα (κατεύθυνση και ταχύτητα), έκθεση στον κυματισμό
- Μορφολογικές συνθήκες, διακύμανση βάθους, δομή και υπόστρωμα του βυθού και δομή και κατάσταση της ενδο-παλιρροϊκής ζώνης

Φυσικοχημικά στοιχεία ποιότητας

- Γενικά φυσικοχημικά στοιχεία, συγκεντρώσεις θρεπτικών (Νιτρικά-νιτρώδη, φωσφορικά, αμμωνιακά, ολικός φωσφόρος, ολικό Άζωτο) , θερμοκρασία, ισοζύγιο οξυγόνου, διαφάνεια, αλατότητα, κατάσταση οξύνησης (pH).

Για την εκτίμηση της χημικής κατάστασης παρακολουθούνται ειδικοί συνθετικοί ρυπαντές, ουσίες προτεραιότητας και άλλες ουσίες.

Ακολουθεί αναλυτικά η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί.

Βιολογικά στοιχεία ποιότητας

ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟ

Χλωροφύλλη-α

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνται σε πρότυπα βάθη κατανεμημένα στην εύφωτη ζώνη της υδάτινης στήλης (2, 10, 20, 50, 75 και κοντά στον πυθμένα). Η συλλογή του θαλασσινού νερού γίνεται με δειγματολήπτες τύπου NISKIN, χωρητικότητας 10 λίτρων σε σύστημα αυτόματης δειγματοληψίας (Rosette sampler) της εταιρίας General Oceanics, προσαρμοσμένο σε αυτογραφικό όργανο CTD τύπου SBE-9. Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α ανά δείγμα, γίνεται διήθηση ορισμένου όγκου νερού (συνήθως 1.5 έως 2 λίτρα ανάλογα με τη τροφική κατάσταση κάθε σταθμού) με ηθμούς Whatman GF/F. Οι ηθμοί διατηρούνται σε ξηρό περιβάλλον στο σκοτάδι σε θερμοκρασία -15°C.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α γίνεται με φθορισόμετρο TURNER 00-AU-10 σύμφωνα με τη μέθοδο Holm-Hansen et al., 1965¹.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της άσκησης διαβαθμονόμησης για την Μεσογειακή οικοπεριοχή (EC 2007), τα παράκτια Μεσογειακά ύδατα όσο αφορά στο τροφικό επίπεδο (εσωτερικός διαχωρισμός μόνο για το στοιχείο του φυτοπλαγκτού) διαφοροποιούνται σε τρεις τύπους ανάλογα με τα επίπεδα επίδρασης από εισροές γλυκών νερών. Κάθε τύπος υιοθετεί διαφορετικά όρια μεταξύ των κλάσεων, όσο αφορά στα επίπεδα της χλωροφύλλης. Συγκεκριμένα για τον τύπο των υδάτων της ανατολικής Μεσογείου III EM (χωρίς επιρροή από γλυκά νερά) στον οποίο ανήκει και η Ελλάδα, υιοθετήθηκε το όριο 0.1 µg/l μεταξύ καλής και υψηλής ποιότητας (υπολογισμένο για το 90% της συχνότητας κατανομής των δεδομένων για ένα έτος και για περίοδο 5 ετών) και το όριο 0.4 µg/l μεταξύ καλής και μέτριας κλάσης ποιότητας.

Τα ανωτέρω όρια επανεξετάσθηκαν και πιστοποιήθηκαν και κατά τη 2^η φάση της άσκησης διαβαθμονόμησης για τη Μεσογειακή οικοπεριοχή (EU WFD 2nd intercalibration phase), που δημοσιεύθηκε στη Commission Decision 2013/480/EU για τη θέσπιση, σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, των τιμών των ορίων των κλάσεων στα συστήματα παρακολούθησης της οικολογικής ποιότητας των κρατών μελών, ως αποτέλεσμα της άσκησης διαβαθμονόμησης και την κατάργηση της απόφασης 2008/915 / ΕΚ.

Συνθήκες αναφοράς για την βιομάζα φυτοπλαγκτού (χλωροφύλλη-α µg/l)

Τύπος ΔΒ	Reference	Υψηλή/καλή	EQR
TIII Eastern Mediterranean	0,08	0,1	0,80

Κλίμακα ευτροφισμού βασισμένη στην βιομάζα/συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α και στις συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων (σύμφωνα με τους Karydis 1999², Pagou et al. 2002³) τροποποιημένη για 5-κλάσεις βιομάζας χλωροφύλλης (Simboura et al. 2005⁴).

κλίμακα ευτροφισμού	Chlorophyll-a µg/l	PO4 µM	NO3	Ammonium (NH4)	Οικολογική ποιότητα
ολιγοτροφική	< 0,1	<0.07	<0.62	<0.55	Υψηλή
κατώτερη μεσότροφη	0.1-0.4				Καλή
		0.07-0.14	0.62-0.65	0.55-1.05	
κατώτερη μεσότροφη	0.4-0.6				Μέτρια
ανώτερη μεσότροφη	0.6-2.21	0.14-0.68	0.65-1.19	1.05-2.2	Ελλιπής
ευτροφική	>2.21	>0.68	>1.19	>2.2	Κακή

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τρίτης φάσης της άσκησης διαβαθμονόμησης για τη Μεσογειακή οικοπεριοχή, τα νέα όρια για την μεταξύ καλής και υψηλής ποιότητας για τον τύπο IIIΕ υπολογισμένα για το 90% της συχνότητας κατανομής των δεδομένων (P90th percentile) είναι 0,29µg/l, ενώ για την μεταξύ της καλής και μέτριας είναι 0,53 µg/l, ενώ τα αντίστοιχα όρια του λόγου οικολογικής ποιότητας (EQR) είναι 0,66 και 0,37. Η τιμή αναφοράς καθορίζεται σε 0,20µg/l (επί του 90% της κατανομής των

¹ Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Hormes R.N., Strickland J.D.H., 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons.perm. Int. Explor. Mer, 30: 3-15.

² Karydis M., 1999. Evaluation report on the eutrophication level in coastal Greek areas. Univ. of Aegean, Mytilini, February 1999 (in Greek).

³ Pagou K., 2000. Assessment of the trophic conditions in the Inner Thermaikos Gulf. Technical Report for the Ministry of Environment, Planning and Public Works, NCMR, Athens, December 2000, 11p.

⁴ Pagou K., Siokou-Frangou I. & Papathanassiou E., 2002. Nutrients and their ratios in relation to eutrophication and HAB occurrence. The case of Eastern Mediterranean coastal waters. Paper presented during the Second Workshop on "Thresholds of Environmental Sustainability: The case of nutrients", 18-19 June 2002, Brussels, Belgium.

τιμών. Επίσης υπάρχει ένας συντελεστής διόρθωσης 0,03 για τις συγκεντρώσεις P90th percentile των τιμών της χλωροφύλλης.

Reference conditions (P90th percentile Chl-a, µg/l)		0.20
Boundaries (P90th percentile Chl-a, µg/l)	H/G	0.29
	G/M	0.53
Boundaries (EQR)	H/G	0.66
	G/M	0.37
Correction coefficient	Greece	+ 0.03

MED-GIG, 2016. Water Framework Directive 3rd Intercalibration phase Mediterranean Geographical Intercalibration group Coastal waters biological quality element phytoplankton. Type III-E, Greece and Cyprus. Pagou, K., I. Varkitzi, A. Lamprou, M. Argyrou, M. Aplikioti, F. Salas.

ΦΥΤΟΒΕΝΘΟΣ

Επιλέγεται ο κατάλληλος δείκτης με βάση την τυπολογία του Υδατικού Σώματος και τις προδιαγραφές της ομάδας διαβαθμόνωσης MEDGIG.

ΜΑΚΡΟΦΥΚΗ

Τα δείγματα των μακροφυκών συλλέγονται με ελεύθερη κατάδυση από σχεδόν οριζόντιες επιφάνειες βράχων στην ανώτερη υποπαράλια ζώνη, δηλαδή σε βάθος 30-50 cm από την κατώτατη στάθμη της θάλασσας. Η δειγματοληψία είναι συμβατική (“καταστροφική” δειγματοληψία), δηλαδή πραγματοποιείται πλήρης αποψίλωση των μακροφυκών με χρήση καλεμιού και σφυριού από επιφάνεια 400 cm² (20cm x 20cm), η οποία θεωρείται γενικά ως η περισσότερο αντιπροσωπευτική ελάχιστη επιφάνεια δειγματοληψίας για τα μακροφύκη της Μεσογείου (Dhont & Corpejans, 1977⁵). Όλα τα δείγματα που θα συλλεγούν στο πεδίο θα συντηρηθούν σε δοχεία που περιέχουν διάλυμα θαλασσινού νερού και φορμόλης 4%, έως την περαιτέρω μεταφορά και επεξεργασία τους στο Εργαστήριο Φυτοβένθους του ΕΛΚΕΘΕ.

Η μελέτη και αναγνώριση των ταξινομικών μονάδων (taxa) των μακροφυκών πραγματοποιείται στο εργαστήριο φυτοβένθους του ΕΛΚΕΘΕ, με χρήση στερεοσκοπίου WILD M5 και μικροσκοπίου LEITZ ORTHOLUX. Η ονοματολογία και η συστηματική κατάταξη των μακροφυκών πραγματοποιείται με βάση τους χλωριδικούς καταλόγους: Gallardo et al. (1993)⁶ για τα χλωροφύκη, Ribera et al. (1992)⁷ για τα φαιοφύκη, Athanasiadis (1987)⁸ και Gómez-Garreta et al. (2001) για τα ροδοφύκη. Υπόψη λαμβάνονται και οι όποιες επικαιροποιημένες αλλαγές των παραπάνω κατηγοριών αναφέρονται στη βάση δεδομένων algaebase (<http://www.algaebase.org>). Όπου δεν είναι δυνατή η αναγνώριση σε επίπεδο είδους τα μακροφύκη αναγνωρίζονται σε επίπεδο γένους.

⁵ Dhont F. & Corpejans E., 1977. Résultats d'une étude d'aire minima des peuplements algaux photophiles sur substrat rocheux à Port-Cros et à Banyuls (France). Rapport CIESM, 24 (4): 141-142

⁶ Gallardo T., Gómez Garreta, A., Ribera, M.A., Cormaci, M., Furnari, G., Giaccone, G., Boudouresque, C.-F., 1993. Check-list of Mediterranean Seaweeds, II. Chlorophyceae Wille s.l. *Botanica Marina* 36: 399-421

⁷ Ribera M.A., Gómez-Garreta A., Gallardo T., Cormaci M., Furnari G., Giaccone G., 1992. Check-list of Mediterranean seaweed. I. Fucophyceae (Warming, 1884). *Botanica Marina* 35: 109-130.

⁸ Athanasiadis A., 1987. A survey of the seaweed of the Aegean Sea with taxonomic studies on the species of the tribe Antithamnieceae (Rhodophyta). Ph.D. Thesis, University of Göteborg, 174 pages.

Η μέτρηση της κάλυψης (Coverage) του υποστρώματος από τα φυτά γίνεται σύμφωνα με τον Boudouresque (1971)⁹. Γίνεται η διαλογή των οργανισμών σε κάθε δείγμα και η μερική επιφάνεια κάλυψης κάθε είδους (Ri) σε κάθετη προβολή ποσοτικοποιείται ως επί τοις εκατό κάλυψη στο σύνολο της επιφάνειας δειγματοληψίας ($4 \text{ cm}^2 = 1\%$ της επιφάνειας δειγματοληψίας). Για τα είδη με ασήμαντη κάλυψη δίνεται η συμβατική τιμή 0,1%. Η ολική κάλυψη (ΣRi) συνήθως υπερβαίνει το 100% λόγω της παρουσίας πολλών ορόφων βλάστησης (δενδρώδης όροφος, θαμνώδης όροφος και επίφυτα).

Για την εκτίμηση του Οικολογικού Καθεστώτος σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας των μακροφυκών χρησιμοποιείται ο διαβαθμονομημένος «Δείκτης Οικολογικής Εκτίμησης» (EEI-c, σύμφωνα με τους Orfanidis et al., 2001¹⁰, 2011¹¹, 2013¹²). Πρόκειται για δείκτη μέτρησης της οικολογικής ποιότητας του θαλασσίου περιβάλλοντος βάσει των κύριων μορφολογικών, φυσιολογικών και κύκλου ζωής χαρακτηριστικών των μακροφυκών. Έτσι, τα είδη των μακροφυκών χωρίζονται σε 2 κύριες ευδιάκριτες οικολογικές ομάδες (Ecological Status Group I και II), οι οποίες στη συνέχεια χωρίζονται ιεραρχικά σε τρεις και δύο οικολογικές ομάδες, αντίστοιχα. Η πρώτη οικολογική ομάδα (ESG I) διαιρείται σε τρεις υπο-ομάδες, που περιλαμβάνουν τα πολυετή παχιά δερματώδη είδη (IA), τα παχιά δερματώδη πλαστικά είδη (IB) και τα σκιοφιλά πλαστικά είδη (IC). Η δεύτερη οικολογική ομάδα (ESG II) διαιρείται σε δύο υπο-ομάδες που περιλαμβάνουν τα σαρκώδη αδρώς διακλαδισμένα καιροσκοπικά είδη (IIA) και τα νηματοειδή και φυλλοειδή καιροσκοπικά είδη (IIB). Τα κυριότερα οικολογικά χαρακτηριστικά των δύο βασικών οικολογικών ομάδων είναι:

- Στην ESG I κατατάσσονται τα πολυετή βραδυαυγή δενδρόμορφα ή ενασβεστωμένα είδη. Τα περισσότερα από αυτά είναι K-στρατηγικής, δηλαδή διαθέτουν χαμηλό δυναμικό αύξησης και αναπαραγωγής, αλλά υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα σε περιβάλλοντα με σταθερές συνθήκες και χαμηλής περιβαλλοντικής υποβάθμισης, στα οποία και επικρατούν. Τα είδη αυτά, εξαιτίας των αυστηρών απαιτήσεών τους ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αποτελούν "δείκτες" καλής οικολογικής ποιότητας. Η συνολική αξία αυτής της οικολογικής ομάδας δίνεται με βάση το άθροισμα των υποομάδων ως ακολούθως:

$$ESG I (\% \text{ coverage}) = [(IA*1)+(IB*0,8)+(IC*0,6)],$$

- Στην ESG II κατατάσσονται τα εφήμερα ταχυαυγή νηματοειδή, φυλλοειδή και γενικότερα τα είδη με απλή δομή θαλλού. Τα περισσότερα από αυτά τα είδη είναι r-στρατηγικής, δηλαδή διαθέτουν υψηλό δυναμικό αύξησης και αναπαραγωγής παράγοντας μεγάλες ποσότητες σπορίων που τους δίνει τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται κάθε ευκαιρία βλάστησης (ευκαιριακά-καιροσκοπικά είδη). Πολλά από τα είδη αυτά δίνουν μεγάλες αφθονίες σε συνθήκες οργανικής ρύπανσης εξαιτίας της αφθονίας των διαθέσιμων πόρων πχ. θρεπτικά άλατα και αποτελούν «δείκτες» κακής οικολογικής ποιότητας. Η συνολική αξία αυτής της οικολογικής ομάδας δίνεται με βάση το άθροισμα των υποομάδων ως ακολούθως:

⁹ Boudouresque C.F. 2001 Check-List of Mediterranean Seaweeds. III. Rhodophyceae. *Bot. mar.* 44: 425-460.

¹⁰ Orfanidis S., Panayotidis P., Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: a marine benthic macrophytes model. *Marine Mediterranean Sciences* 2: 46-65.

¹¹ Orfanidis S., Panayotidis P., Ugland K. 2011. Ecological Evaluation Index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and reference condition values. *Mediterranean Marine Science* 12: 199-231.

¹² GIG, 2013. WFD intercalibration technical report. Part 3 – Coastal and Transitional Waters. Mediterranean Sea GIG: Coastal Waters – Macroalgae

$$ESG II (\% coverage) = [(IIA*0,8)+(IIB*1)]$$

Κάθε σταθμός δειγματοληψίας θα καταταχτεί σε μια από τις κλάσεις οικολογικής ποιότητας με βάση την παρακάτω εξίσωση υπερβολής (βλ. επίσης Εικόνα):

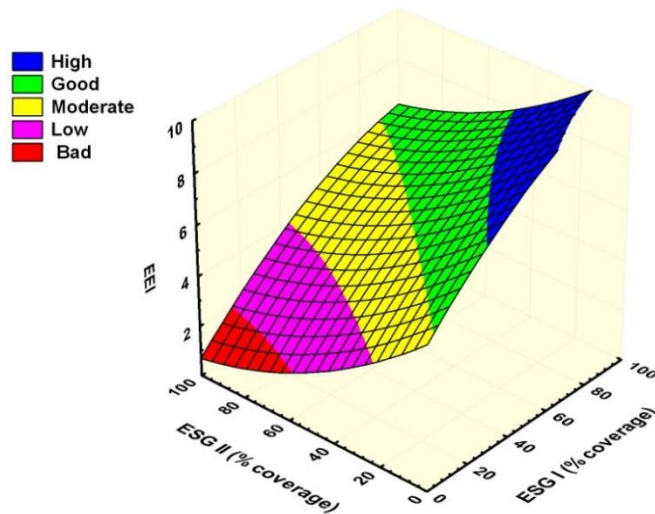
$$p(x,y) = a + b*(x/100) + c*(x/100)^2 + d*(y/100) + e*(y/100)^2 + f*(x/100)*(y/100)$$

Όπου x είναι η τιμή της ESG I, y είναι η τιμή της ESG II και $a, \dots, f$ είναι οι συντελεστές της εξίσωσης υπερβολής:

$$a = 0,4680 \quad b = 1,2088 \quad c = -0,3583$$

$$d = -1,1289 \quad e = 0,5129 \quad f = -0,1869$$

Γραφική παράσταση της εξίσωσης υπερβολής του συνεχόμενου δείκτη EEI-c σύμφωνα με τους Orfanidis et al. (2011)¹¹.



Στον παρακάτω Πίνακα δίνεται το σύστημα κατηγοριοποίησης Οικολογικής Ποιότητας EEI-c με βάση τα μακροφύκη σύμφωνα με τους Orfanidis et al., 2011¹¹ και Milestone 6 report 2011¹³.

¹³ MILESTONE 6 REPORT 2011. WFD Intercalibration Phase 2. Coastal waters macroalgae group of MEDGIG.

Κλάση Οικολογικής Ποιότητας	Διακύμανση τιμών δείκτη EEI-c	Όρια μεταξύ των κλάσεων	Σταθεροποιημένος Λόγος Οικολογικής Ποιότητας EQR $1,25 \cdot (EEI-c/10) - 0,25$
Υψηλή	$10 \geq EEI-c > 8,09$	9,72	0,97
Καλή	$8,09 \geq EEI-c > 5,84$	8,09	0,76
Μέτρια	$5,84 \geq EEI-c > 4,04$	5,84	0,48
Ελλιπής	$4,04 \geq EEI-c > 2,34$	4,04	0,25
Κακή	$EEI-c = 2,34$	2,34	0,04

Για τον υπολογισμό του δείκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτοιμο λογισμικό σε αρχείο Excel που διατίθεται δωρεάν από τον ιστότοπο του δείκτη EEI-c (www.EEI.gr)

ΑΓΓΕΙΟΣΠΕΡΜΑ

- Δείκτες που βασίζονται στο είδος *Posidonia oceanica*

Βάσει της Μεσογειακής Γεωγραφικής Ομάδας Διαβαθμονόμησης (Med-GIG), η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των λιβαδιών *Posidonia oceanica* πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό δεικτών που βασίζονται στο συγκεκριμένο είδος. Στα πλαίσια της εφαρμογής της ΟΠΥ, η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των λιβαδιών πραγματοποιείται με τον υπολογισμό του δείκτη PREI (Gobert et al., 2009¹⁴) με την τροποποίηση – υιοθέτηση καθορισμένων τιμών συνθηκών αναφοράς (βέλτιστες και χειρίστες τιμές) όπως αυτές έχουν προσδιοριστεί σε επίπεδο επικράτειας και θαλασσιών ενοτήτων (Ιόνιο, Β. Αιγαίο, Ν. Αιγαίο) (Γερακάρης 2016¹⁵). Επιπροσθέτως, δύναται να χρησιμοποιηθεί για λόγους αποφυγής καταστρεπτικής δειγματοληψίας και ταχύτητας ανάλυσης, το πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο του Δικτύου NATURA2000 για την εκτίμηση της Κατάστασης Διατήρησης του Τύπου οικοτόπου 1120 (Λιβάδια *P. oceanica*).

Σε κάθε λιβάδι *P. oceanica* που παρακολουθείται στα πλαίσια της ΟΠΥ πραγματοποιούνται δειγματοληψίες μια φορά το χρόνο. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνται με αυτόνομη κατάδυση σε ένα μόνιμο σταθμό στα $15 \pm 1\text{m}$ βάθος. Τα δείγματα μεταφέρονται στο Εργαστήριο Φυτοβένθους του ΕΛΚΕΘΕ για περαιτέρω ανάλυση.

Σε κάθε δειγματοληψία καταγράφονται/μετριοούνται οι παρακάτω παράμετροι: Κατώτερο όριο εξάπλωσης (Lower limit depth, m), Τύπος κατώτερου ορίου (Lower limit type: progressive, stable, regressive), Πυκνότητα βλαστών (Shoot density; shoot m^{-2}). Στο εργαστήριο υπολογίζονται οι παράμετροι: Φυλλική επιφάνεια ανά βλαστό (Shoot leaf surface; cm^2 shoot⁻¹) και Λόγος Βιομάζας Επιφύτων / Βιομάζα Φύλλων (Eriphytic biomass/Leave biomass).

Επιπλέον, σε επιλεγμένα λιβάδια στα πλαίσια της ΟΠΥ μετριοούνται σε κάθε δειγματοληψία οι εξής σημαντικοί δημογραφικοί παράμετροι: Κάλυψη Λειμώνα (Meadow Cover; %), Κάλυψη νεκρού matte (Dead matte cover; %), Πλαγιότροπα ριζώματα (Plagiotropic rhizomes; %), Ταφή ριζωμάτων (cm from sediment to leaf sheath), Μήκος βλαστού (Shoot length; mm).

Επισημαίνεται ότι ο δείκτης PREI έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην Ανατολική Μεσογειακή λεκάνη καθώς έχει υιοθετηθεί στα πλαίσια της εφαρμογής της ΟΠΥ στην Κύπρο.

ΜΑΚΡΟΑΣΠΟΝΔΥΛΑ

¹⁴ Gobert S, Sartoretto S, Rico-Raimondino V, Andral B, Chery A, Lejeune P, Boissery P (2009) Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. Marine Pollution Bulletin 58:1727-1733

¹⁵ Γερακάρης (2016). Οι λειμώνες του αγγειόσπερμου *Posidonia oceanica* (L.) Delile ως στοιχείο περιγραφής των ελληνικών θαλασσών. Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ.

Οι δειγματοληψίες μακροασπονδύλων ή ζωοβένθους πραγματοποιούνται με το Ω/Κ “ΦΙΛΙΑ” ή το Ω/Κ “ΑΙΓΑΙΟ” στα παράκτια ύδατα. Σε κάθε σταθμό συλλέγονται δύο επαναληπτικά δείγματα για την ανάλυση της βενθικής πανίδας. Ένα επιπλέον δείγμα συλλέγεται σε κάθε σταθμό για προσδιορισμό οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου στο ίζημα με στοιχειακό αναλυτή CHNS FLASH 2000 Thermo Scientific. Τα δείγματα προς ανάλυση ζωοβένθους κοσκινίζονται στο πλοίο από κόσκινο διαμετρήματος 1mm και συντηρούνται σε διάλυμα φορμαλδεΐδης σε θαλασσίνο νερό τελικής συγκέντρωσης σε φορμόλη 4%. Στο διάλυμα προστίθεται και χρωστική Rose Bengal.

Στο εργαστήριο ακολουθεί διαλογή των οργανισμών από το ίζημα και με τη βοήθεια στερεομικροσκοπίου και ταξινομικών κλειδών η πανίδα των μακροασπονδύλων ταξινομείται σε επίπεδο είδους ή όπου αυτό δεν είναι δυνατόν σε ανώτερο ταξινομικό επίπεδο οικογένειας, γένους ή φύλου.

Για την κατηγοριοποίηση της οικολογικής κατάστασης χρησιμοποιείται ο βιοτικός δείκτης Bentix (Simbura & Zenetos, 2002¹⁶) που έχει θεσμοθετηθεί ως δείκτης ταξινόμησης μακροασπονδύλων για την Ελλάδα και την Κύπρο μέσα από τη διαδικασία Διαβαθμονόμησης (Φάση I, Φάση II) (GIG, 2013¹⁷, Van de Bund et al., 2008¹⁸, milestone 6 MEDGIG Coastal waters report 2011¹⁹).

Ο δείκτης BENTIX σχεδιάστηκε για τα παράκτια Μεσογειακά οικοσυστήματα και αποδίδει μία κλίμακα πέντε κλάσεων οικολογικής ποιότητας για τις ζωοβενθικές βιοκοινωνίες. Στηρίζεται στην αρχή των βιοδεικτών και χρησιμοποιεί την ποσοστιαία συμμετοχή των ανθεκτικών (GT) και ευαίσθητων (GS) ειδών, ενισχύοντας τις σχετικές αναλογίες με κατάλληλους συντελεστές βάσει των αρχών της βενθικής οικολογίας. Η εξίσωση που αναπτύχθηκε:

$$\text{Bentix} = (6 \times \%GS + 2 \times \%GT)/100$$

αποδίδει στην ομάδα των ευαίσθητων ειδών τον συντελεστή 6 και στην ομάδα των ανθεκτικών ειδών GII και GIII τον συντελεστή 2. Η επιλογή των συντελεστών δεν είναι τυχαία και βασίζεται στην παραδοχή ότι η πιθανότητα ένα ζωοβενθικό είδος επιλεγμένο τυχαία να είναι ανθεκτικό σε παράγοντες διατάραξης είναι 3:1.

Κλάση ποιότητας	οικολογικής Bentix	Όρια μεταξύ των κλάσεων	EQR Λόγος οικολογικής ποιότητας
Υψηλή	$4,5 \leq \text{Bentix} < 6$	6	1
Καλή	$3,5 \leq \text{Bentix} < 4,5$	4,5	0,75
Μέτρια	$2,5 \leq \text{Bentix} < 3,5$	3,5	0,58
Ελλιπής	$2,0 \leq \text{Bentix} < 2,5$	2,5	0,42
Κακή	0	0	0

Σημειώνεται εδώ ότι για βιοτόπους με καθαρή λάσπη (85-90% λεπτόκοκκο υλικό) όπου η βενθική πανίδα φυσιολογικά κυριαρχείται από ορισμένα ανθεκτικά είδη, προτείνεται η τροποποίηση του ορίου μεταξύ καλής και υψηλής οικολογικής ποιότητας από 4,5 σε 4 και του ορίου μεταξύ μέτρια και καλής από 3,5 σε 3.

¹⁶ Simbura, N., Zenetos, A., 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science* 3/2, 77-111.

¹⁷ GIG, 2013. WFD intercalibration technical report. Part 3 – Coastal and Transitional Waters. Sect. 2 – Benthic invertebrates. Four parts: Mediterranean GIG; Black Sea GIG; North East Atlantic GIG; and Baltic GIG. http://circa.europa.eu/Public/irc/irc/irc_eewai/library.

¹⁸ Van de Bund, W., Poikane, S., Romero, J.R., 2008. Comparability of the results of the Intercalibration Exercise-Summary of Responses and Way Forward. European Commission, Document ENV-COM240108-5, Brussels: 14pp.

¹⁹ WFD Intercalibration Phase 2: Milestone 6 report 2011. Fuensanta Salas and Coastal benthic macroinvertebrate group with preparation of earlier provided info from Member States by Wendy Bonne (JRC).

Αν και ο υπολογισμός του δείκτη είναι απλός, η έλλειψη ενός λογισμικού προγράμματος αναγνωρίστηκε ως μειονέκτημα της μεθόδου. Έτσι, και προκειμένου να διευκολυνθούν οι χρήστες, δημιουργήθηκε σε συνεργασία με το Υπολογιστικό Κέντρο του ΕΛΚΕΘΕ ένα πρόγραμμα Bentix Add-In (1.1 version) για MS Excel 2007 διαθέσιμο στην ιστοσελίδα του ΕΛΚΕΘΕ: <http://www.hcmr.gr/en/the-bentix-index>.

Υδρομορφολογικά στοιχεία ποιότητας

ΡΕΥΜΑΤΑ-ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Τα θαλάσσια ρεύματα μετρώνται με χρήση ακουστικού τομογράφου ρευμάτων (ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler) της εταιρείας RDI. Η συχνότητα λειτουργίας του οργάνου είναι 300 KHz και μας δίνει τη δυνατότητα καταγραφής των θαλασσίων ρευμάτων στη στήλη του θαλάσσιου νερού από το βάθος των ~3 μέτρων μέχρι και περίπου 75 μέτρα.

ΙΖΗΜΑ-ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων γίνονται με τη χρήση οργάνου micromeritics Sedigraph 5100. Το δείγμα ιζήματος πριν την εισαγωγή του στην συσκευή Sedigraph για την κοκκομετρική ανάλυση πρέπει να υποβληθεί σε μία συγκεκριμένη κατεργασία. Αρχικά ξηραίνεται μια ποσότητα από κάθε δείγμα στους 60ο C για 24 ώρες για να αφαιρεθεί η υγρασία. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα ζυγίζεται με ζυγό ακριβείας και προστίθενται 20 ml Calgon (C = 5,5 gr/l) που μένουν για 24 h σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στόχος είναι να σπάσουν τα συσσωματώματα έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ευκολότερα το κοσκίνισμα. Την επόμενη μέρα το κάθε δείγμα περνά από κόσκινο διαμέτρου 63 μm για να διαχωριστεί η άμμος από την άργιλο και την ιλύ. Τα κλάσματα της άμμου (>63 μm) τοποθετούνται με απιονισμένο νερό στο φούρνο μέχρι να ξηραθούν πλήρως, έτσι ώστε να πάρουμε μέτρηση του βάρους επί ξηρού, ενώ τα κλάσματα με διάμετρο <63 μm τοποθετούνται με Calgon στο SediGraph (micromeritics SediGraph 5100) για περαιτέρω κοκκομετρική ανάλυση τους. Από τα αποτελέσματα του SediGraph και τα βάρη των κλασμάτων της άμμου προκύπτει η τελική ποσοστιαία ανάλυση (κοκκομετρική ανάλυση) των δειγμάτων.

Φυσικοχημικά στοιχεία ποιότητας

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η συλλογή των υδρολογικών χαρακτηριστικών (θερμοκρασία, αλατότητα, θολερότητα και διαλυμένο οξυγόνο / μετρημένο ηλεκτρονικά) γίνεται με πόντιση του αυτογραφικού όργανου CTD (conductivity, temperature, depth) τύπου SBE-9 της Sea Bird Electronics, το οποίο παρέχει συνεχή καταγραφή των χαρακτηριστικών του νερού κατά την πόντιση του από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα. Η θερμοκρασία αναφέρεται σε βαθμούς Κελσίου και η αλατότητα σε επί τοις χιλίοις περιεκτικότητα σε αλάτι. Η μέτρηση της θολερότητας εκφράζεται μέσω του συντελεστή 'έξασθénησης' (B.A.C.: Beam attenuation coefficient) συγκεκριμένης δέσμης κόκκινου φωτός που εκπέμπεται από το όργανο και 'έξασθενεί' λόγω της απορρόφησης, σκέδασης κλπ από τα αιωρούμενα σωματίδια μέσα στο θαλασσινό νερό. Οι καταγραφές του οργάνου μετατρέπονται σε τιμές συντελεστή 'έξασθénησης' του φωτός (BAC) μέσω της εξίσωσης: $T = e^{-BAC \cdot r}$, όπου T είναι η οπτική διαπερατότητα (light transmission, %), BAC είναι ο συντελεστής 'έξασθénησης' του φωτός (m⁻¹) και r είναι το μήκος της οπτικής διαδρομής (m), δηλ. η απόσταση από φωτεινή πηγή η οποία εκπέμπει το 100% της έντασης ερυθρής φωτεινής δέσμης και ο αισθητήρας της θολερότητας/διαύγειας καταμετρά το ποσοστό αυτής (light transmission, %) στη συγκεκριμένη οπτική διαδρομή. Η οπτική διαδρομή του οργάνου που χρησιμοποιείται είναι 25cm. Όσο μεγαλύτερη είναι η οπτική διαπερατότητα τόσο μικρότερο είναι το BAC και τόσο διαυγέστερο είναι το νερό, και αντίστροφα. Προς κατανόηση των τιμών BAC αναφέρουμε το ακόλουθο εμπειρικό παράδειγμα. Τιμές BAC γύρω στο 0.35 αντιστοιχούν σε συνθήκες διαύγειας του νερού τέτοιες ώστε ο δίσκος Secchi (λευκός δίσκος διαμέτρου 40 cm) είναι ορατός από την επιφάνεια σε βάθος περίπου 15-17 m, ενώ σε τιμές γύρω στο 1.5 ο δίσκος Secchi είναι ορατός σε βάθος το πολύ 3-4 m. Κατ' αναλογία σε

αντίστοιχη εμπειρική συσχέτιση, τιμές οπτικής διαπερατότητας (light transmission, %) γύρω στο 85% αντιστοιχούν σε συνθήκες διαύγειας του νερού τέτοιες ώστε ο δίσκος Secchi είναι από την επιφάνεια ορατός σε βάθος περίπου 4-6 m, ενώ σε τιμές γύρω στο 90-95% ο δίσκος Secchi είναι ορατός σε βάθος περίπου 15-17 m.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΑΛΑΤΑ

Το διαλυμένο οξυγόνο προσδιορίζεται πάνω στο πλοίο αμέσως μετά τη δειγματοληψία (RILEY, 1975²⁰), με τη μέθοδο Winkler τροποποιημένη από τον CARPENTER (1965)²¹. Τα δείγματα για την ανάλυση των νιτρικών, νιτρωδών αλάτων συλλέγονται σε γυάλινα φιαλίδια, ενώ τα δείγματα για την ανάλυση των πυριτικών σε φιαλίδια από πολυπροπυλένιο. Τα φιαλίδια είναι προκατεργασμένα με διάλυμα HCl. Τα δείγματα καταψύχονται ως την ανάλυση. Οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό των νιτρικών, νιτρωδών και πυριτικών αλάτων γίνονται στη διαπιστευμένη κατά ISO 17025 εργαστηριακή μονάδα θρεπτικών αλάτων του βιογεωχημικού εργαστηρίου του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. με αυτόματο αναλυτή θρεπτικών αλάτων BRAN + LUEBBE autoanalyzer III, σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους (MULLIN & RILEY, 1955²² για τα πυριτικά, STICKLAND & PARSONS, 1968²³ για νιτρώδη – νιτρικά και MURPHY & RILEY, 1962²⁴ για τα φωσφορικά. Τα όρια ποσοτικοποίησης των μεθόδων είναι 0.025 μM για τα νιτρώδη άλατα, 0.154 μM για το άθροισμα νιτρικών και νιτρωδών αλάτων, 0.102 μM για τα αμμωνιακά άλατα και 0.274 μM για τα πυριτικά άλατα. Οι συγκεντρώσεις που προσδιορίζονται και είναι μικρότερες των ορίων ποσοτικοποίησης αναφέρονται ως <LOQ.

Τα αμμωνιακά άλατα προσδιορίζονται μετά τη δειγματοληψία σε ειδικά φιαλίδια, με φασματοφωτόμετρο Perkin-Elmer UV/VIS (Lambda 25Lambda), σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους ανάλυσης (KOROLEFF, 1970²⁵).

ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ - ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) γίνεται με τη μέθοδο της υγρής χημικής οξείδωσης (wet chemical oxidation method, WCO) όπως περιγράφεται από τους PUJO-PAY & RAIMBAULT (1994)²⁶ και RAIMBAULT et al. (1999)²⁷.

Για τον προσδιορισμό του TN 40 ml θαλασσινού νερού συλλέγονται σε Pyrex φιαλίδια (Duran Schott) των 50 ml με κατάλληλο βιδωτό καπάκι, ενώ για τον προσδιορισμό του TP συλλέγονται 20 ml θαλασσινού νερού σε κατάλληλα φιαλίδια από Teflon. Τα δείγματα διατηρούνται μέχρι την ανάλυσή τους σε -20 °C. Όλα τα φιαλίδια που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή/φύλαξη των δειγμάτων έχουν υποστεί προκατεργασία καθαρισμού δύο σταδίων που περιλαμβάνει την πλήρωση των φιαλιδίων με HCl 10% για 24 ώρες, ξέπλυμα και εν συνεχεία προληπτική οξείδωση για την απομάκρυνση ιχνών οργανικής ύλης. Το περιεχόμενο των φιαλιδίων απορρίπτεται τη στιγμή της δειγματοληψίας και τα φιαλίδια ξεπλένονται πολύ καλά με το δείγμα.

Σύμφωνα με την αρχή της μεθόδου επιτυγχάνεται οξείδωση των αζωτούχων και φωσφορούχων ενώσεων και μετατροπή τους σε ανόργανα διαλυτά νιτρικά και φωσφορικά άλατα, αντίστοιχα, οπότε τα δείγματα μετά τη διαδικασία της υγρής χημικής οξείδωσης μετρούνται σε αυτόματο αναλυτή θρεπτικών

²⁰ RILEY, J.P., 1975. Determination of dissolved gases, in Riley J.P. (ed.) Chemical Oceanography, 2nd edition, 3: 253.

²¹ CARPENTER, J.H., 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for dissolved oxygen method. Limnol. Ocean., 10 : 141-143.

²² MULLIN, J.B. & RILEY, J.P., 1955. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. Anal. Chim. Acta, 12: 162-176.

²³ STRICKLAND, J.D.H & PARSONS, T.R., 1968. A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 167:310p

²⁴ MURPHY, J. & RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, 12: 162-176

²⁵ KOROLEFF, F., 1970. Revised version of "Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue". Int. Con. Explor. Sea C. M. 1969/ C:9 ICES information on techniques and methods for sea water analysis. Interlab. Rep., No 3, 19-22.

²⁶ PUJO-PAY, M. & P. RAIMBAULT, 1994. Improvement of the wet-oxidation procedure for simultaneous determination of particulate organic nitrogen and phosphorus collected on filters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 105, 203-207

²⁷ RAIMBAULT, P., W. POUVESLE, F. DIAZ, N. GARCIA, R. SEMPERE, 1999. Wet oxidation and automated colorimetry for simultaneous determination of organic carbon, nitrogen and phosphorus dissolved in seawater. Marine Chemistry 66, 161-169.

αλάτων BRAN+LUEBBE autoanalyzer III, σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρονται παραπάνω για νιτρικά+νιτρώδη και φωσφορικά αντίστοιχα.

TC (ΟΛΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ)

Η ποσότητα του ολικού άνθρακα στα ιζήματα προσδιορίζεται με ένα CHN στοιχειακό αναλυτή τύπου EA-1108 της «Fisons Instruments» με την ακρίβεια της μεθόδου να καθορίζεται στο 5% της μετρηθείσας τιμής (Karageorgis et al., 2005). Ο επιμέρους οργανικός άνθρακας προσδιορίζεται σύμφωνα με την μέθοδο των Verardo et al. (1990), με το όριο ανίχνευσης της μεθόδου να είναι 2.3 mg/g ανα 10 mg ξηρού δείγματος.

Χημικά

ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Γίνεται δειγματοληψία νερού για αναλύσεις βαρέων μετάλλων από 2 βάθη, ανάλογα με το βάθος κάθε σταθμού. Τα δείγματα νερού (~100mL) συλλέγονται από τις φιάλες δειγματοληψίας (Niskin) σε φιάλες πολυαιθυλενίου και φυλάσσονται στην κατάψυξη αφού σφραγισθούν σε πλαστικές σακούλες.

Στο 'καθαρό' εργαστήριο νηματικής ροής του ΕΛΚΕΘΕ τα δείγματα διηθηθούνται από ηθμούς κυτταρίνης 0.45μm και οξινίζονται αμέσως σε pH 2 με την προσθήκη HCl s.p.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) προσδιορίζονται σύμφωνα με την μέθοδο που περιγράφουν οι Willie et al (1998)²⁸. Ο προσδιορισμός του υδραργύρου πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο 1631 της EPA²⁹. Οι συγκεντρώσεις όλων των βαρέων μετάλλων στο τελικό διάλυμα οξέων προσδιορίζονται με χρήση ICP-MS (Thermo-Elemental XseriesII), εκτός του Hg που προσδιορίζεται με τη χρήση CVAFS (Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry).

Όλες οι αναλύσεις γίνονται μέσα σε εστία νηματικής ροής (class 100, U.S.stds) για την αποφυγή επιμολύνσεων. Όλα τα σκεύη που χρησιμοποιούνται έχουν κατεργαστεί με HCl s.p. 10% για 24h και όλα τα αντιδραστήρια είναι υψηλής καθαρότητας (supra pure grade). Τέλος το νερό που χρησιμοποιείται είναι ποιότητας Milli-Q. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας και της ανάλυσης χρησιμοποιούνται «καθαρές τεχνικές» και λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να αποφευχθούν επιμολύνσεις των δειγμάτων.

Σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2013/39/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Αυγούστου 2013 για την τροποποίηση των οδηγιών 2000/60/ΕΚ και 2008/105/ΕΚ όσον αφορά τις ουσίες προτεραιότητας στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ορίζονται πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ): η ετήσια μέση τιμή (EMT) και η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (ΜΕΣ), σύμφωνα με τα οποία θα αξιολογηθεί η ποιότητα των υδάτων (χημική κατάσταση).

Μεθοδολογία αξιολόγησης της οικολογικής και φυσικοχημικής κατάστασης

Η σύνθεση του αποτελέσματος από την εκτίμηση όλων των στοιχείων ποιότητας έγινε με βάσει την μεθοδολογία «δένδρο απόφασης» (Borja et al., 2009)³⁰. Το προτεινόμενο δένδρο απόφασης (βλ. σχετικό διάγραμμα) ολοκληρώνει όλες τις πληροφορίες που προέρχονται από τα υδρομορφολογικά, φυσικοχημικά και βιολογικά στοιχεία ποιότητας, δίνοντας μάλιστα βάρος στα βιολογικά και ιδιαίτερα στα βενθικά στοιχεία (φυτοβένθος και ζωοβένθος) που αποτελούν εύρωστους δείκτες της οικολογικής ποιότητας και της βιοποικιλότητας ενός οικοσυστήματος. Η διαδικασία αυτή ακολουθεί την αρχή της χαμηλότερης ποιότητας (ΟΟΑΟ) της ΟΠΥ (ΕC, 2003) μιας και ελέγχεται κυρίως από την κατάσταση του

²⁸ Willie, S.M., Iida, Y., McLaren, J.W., 1998. Determination of Cu, Ni, Zn, Mn, Co, Pb, Cd, and V in seawater using flow injection ICP-MS, Atomic Spectroscopy 19, 67

²⁹ EPA Method 1631, Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry, August 2002

³⁰ Borja, A., Bald, J., Franco, J., Larreta, J., Muxika, I., Revilla, M., Rodríguez, J.G., Solaun, O., Uriarte, A., Valencia, V., 2009. Using multiple ecosystem components, in assessing ecological status in Spanish (Basque Country) Atlantic marine waters. Mar. Pollut. Bull. 59, 54-64.

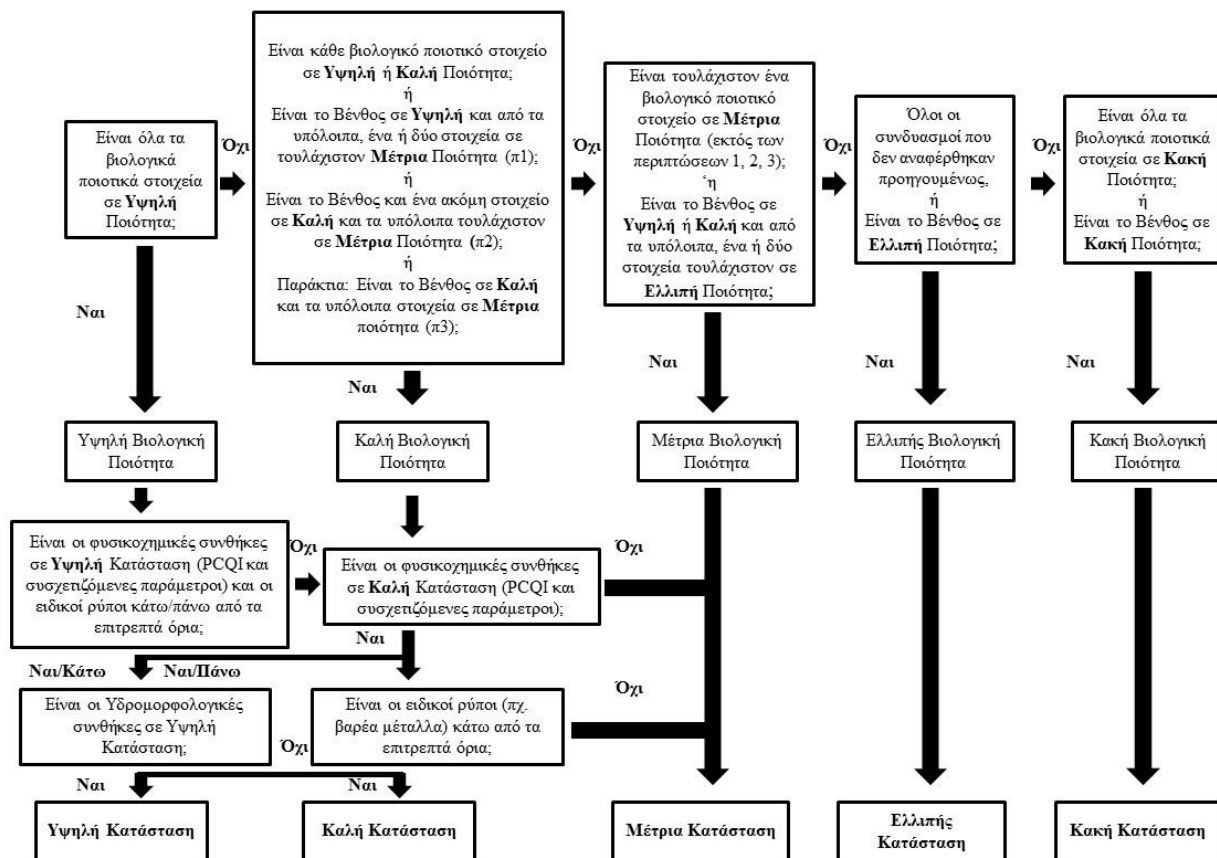
βένθους που αποτελεί συνήθως το στοιχείο με την χαμηλότερη ποιότητα. Ακολουθούνται διαδοχικά στάδια ελέγχου της ποιότητας με έμφαση στη βιολογική ποιότητα και ακολουθούν κατά προτεραιότητα η φυσικοχημική και χημική κατάσταση και η υδρομορφολογική κατάσταση.

Για την αξιολόγηση της φυσικοχημικής κατάστασης στο δένδρο απόφασης εφαρμόζεται μία μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης που αρχικά εφαρμόστηκε στην Ισπανία (Bald et al., 2005)³¹ αλλά και στην Ελλάδα (PCQI index) με επιτυχία πάνω σε δεδομένα του δικτύου Simboura et al., 2016³². Η μέθοδος συνδυάζει τιμές κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου (%), αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών αλάτων και αμμωνίας, καθώς και την διαφάνεια (μέσω του βάθους εξαφάνισης του δίσκου Secchi), σε μια πολυπαραγοντική ανάλυση και με χρήση τιμών αναφοράς (ελάχιστες ή μέγιστες τιμές των παραγόντων στα δεδομένα) υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση από την ευθεία που ενώνει τα δύο σημεία αναφοράς (υψηλή και κακή).

Λογικό διάγραμμα ή δένδρο απόφασης για την συνθετική εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας

³¹ Bald, J., Borja, A., Muxika, I., Franco, J., Valencia, V., 2015. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: A case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin* 50: 1508–1522.

³² Simboura, A. Pavlidou, J. Bald, M. Tsapakis, K. Pagou, Ch. Zeri, A. Androni and P. Panayotidis. 2016. Response of ecological indices to nutrient and chemical contaminant stress factors in eastern Mediterranean coastal waters. *Ecological Indicators* 70 (2016) 89–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.018>.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο πλαίσιο του Εθνικού προγράμματος «Παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας υδάτων ποταμών, παράκτιων και μεταβατικών υδάτων της Ελλάδας σε εφαρμογή του Άρθρου 8 της Οδηγίας - Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ» κατά τη διάρκεια των ετών 2012-2013-2014-2015, πραγματοποιήθηκαν, από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), δειγματοληψίες και αναλύσεις φυσικο-χημικών, υδρομορφολογικών και βιολογικών στοιχείων ποιότητας (φυτοπλαγκτού, βενθικών μακροασπονδύλων) στους 34 (επιχειρησιακούς) σταθμούς Μεταβατικών Υδατικών σωμάτων του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ποταμών της Ελλάδας και υποβλήθηκε η ακόλουθη σχετική έκθεση για όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας.

Απαραίτητα στοιχεία εκτίμησης της οικολογικής ποιότητας σύμφωνα με την ΟΠΥ (ANNEX V), είναι τα παρακάτω:

Βιολογικά στοιχεία ποιότητας:

- Φυτοπλαγκτό: φυτοπλαγκτονική βιομάζα.
- Βενθικά μακρόφυτα: είδη δείκτες ευαίσθητοι στη ρύπανση, ποσοστό κάλυψης μακροφύτων.
- Μακροασπόνδυλα: δείκτες ευαίσθητοι στη ρύπανση.
- Ιχθυοπανίδα: δείκτες/παράμετροι ευαίσθητοι/ες στην ρύπανση.

Υδρομορφολογικά στοιχεία ποιότητας

- Καθεστώδες παλίρροιας, κυρίαρχα ρεύματα (κατεύθυνση και ταχύτητα), έκθεση στον κυματισμό.
- Μορφολογικές συνθήκες, διακύμανση βάθους, δομή και υπόστρωμα του βυθού και δομή και κατάσταση της ενδο-παλιρροϊκής ζώνης.

Φυσικοχημικά στοιχεία ποιότητας

- Γενικά φυσικοχημικά στοιχεία, συγκεντρώσεις θρεπτικών (νιτρικά-νιτρώδη, φωσφορικά, αμμωνιακά, ολικός φώσφορος, ολικό άζωτο), θερμοκρασία, ισοζύγιο οξυγόνου, διαφάνεια, αλατότητα, κατάσταση οξύτητας (pH).

Για την εκτίμηση της χημικής κατάστασης παρακολουθούνται ειδικοί συνθετικοί ρυπαντές, ουσίες προτεραιότητας και άλλες ουσίες.

Στο Κεφ. Ι παρουσιάζεται το σχετικό Πρωτόκολλο δειγματοληψιών (Παράρτημα ΙΙΙ, Ι2)

Ακολουθεί αναλυτικά η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί.

Βιολογικά στοιχεία ποιότητας

ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟ

Χλωροφύλλη-α

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνται στην επιφάνεια (20-50cm βάθος). Η συλλογή του θαλασσινού νερού γίνεται χειρωνακτικά σε πλαστικές φιάλες του ενός λίτρου.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α, σε κάθε δείγμα, πραγματοποιείται διήθηση ορισμένου όγκου νερού σε ηθμούς (φίλτρα) WhatmanGF/F. Τα φίλτρα καταψύχονται σε θερμοκρασία - 20°C έως ότου αναλυθούν στο εργαστήριο.

Στα 100ml νερού που προορίζονται για τη μικροσκοπική ανάλυση της σύνθεσης του φυτοπλαγκτού, προστίθεται αμέσως 1ml ιωδιούχου διαλύματος Lugol και τα δείγματα διατηρούνται σε ψυγείο (4°C) έως ότου αναλυθούν στο εργαστήριο.

Η χλωροφύλλη α (Chl α) προσδιορίζεται με φθορισμόμετρο TURNER TD 700 κατά Holm-Hansen et al. (1965)³³ και η σύνθεση των πληθυσμών φυτοπλαγκτού κατά Utermöhl (1958)³³, σε ανάστροφο μικροσκόπιο (OLYMPUS IX70), εξοπλισμένο με σύστημα ανάλυσης εικόνας Image Pro.

Η ανάλυση, σε ό,τι αφορά στο φυτοπλαγκτό, γίνεται σε ειδικούς θαλαμίσκους καθίζησης των 25ml, όπου κάθε υπο-δείγμα παραμένει τουλάχιστον για 24 ώρες και κατόπιν εξετάζεται σε ανάστροφο μικροσκόπιο. Τα δείγματα αναλύονται ποιοτικά (είδος κυττάρων ανά δείγμα) και ποσοτικά (αριθμός κυττάρων ανά λίτρο νερού, κυττ/l), για τον προσδιορισμό των κυριότερων φυτοπλαγκτονικών ομάδων (διάτομα, δινομαστιγωτά, κοκκολιθοφόρα, κυανοφύκη, μαστιγωτά>5μm, κρυπτοφύκη, πρασινοφύκη, ευγληνοφύκη) και της παρουσίας κυττάρων<5μm, των οποίων η καταμέτρηση δεν είναι ακριβής με την παρούσα μεθοδολογία. Σε κάθε σταθμό επισημαίνεται η παρουσία δυνητικά τοξικών μορφών.

Η αναγνώριση των φυτοπλαγκτονικών ειδών γίνεται σύμφωνα με τους Hoppenrath et al. (2009)³⁴, Avancini et al. (2006)³⁵, Bernard –Therriault et al. (1999)³⁶, Lassus (1980)³⁷, Rampi & Bernhard (1981)³⁸, Tomas (1997)³⁹.

Δείκτης οικολογικής ποιότητας μεταβατικών συστημάτων σύμφωνα με το φυτοπλαγκτό

Για την εκτίμηση της ποιότητας των μεταβατικών υδάτων, σύμφωνα με τη σύνθεση των πληθυσμών φυτοπλαγκτού, χρησιμοποιείται πιλοτικά ο δείκτης MPI - Multimetric Phytoplankton Index, ο οποίος προτείνεται για τα μεταβατικά ύδατα από την ομάδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Mediterranean Geographical Intercalibration Groups (Mediterranean GIG), στην οποία συμμετείχε και η Ελλάδα. Στο σημείο αυτό πρέπει ένα αναφερθεί ότι για να αξιολογηθεί και πιστοποιηθεί η καταλληλότητα του δείκτη αυτού για τα Ελληνικά μεταβατικά συστήματα πρέπει να δοκιμαστεί με δεδομένα από περισσότερες και πλέον συστηματικές δειγματοληψίες. Ο δείκτης MPI ενσωματώνει τέσσερις επί μέρους δείκτες και αφορά σε τέσσερις παραμέτρους:

(α) επικράτηση των ειδών, που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον δείκτη Hulburt (Hulburt's index, Hulburt, 1963⁴⁰), (β) συχνότητα που καταγράφονται ανθίσσεις φυτοπλαγκτού στο σύνολο των δειγμάτων

³³ Utermöhl, H., (1958). Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., 9: 1-38.

³⁴ Hoppenrath, M., Elbrächter, M., & Drebes, G. (2009). Marine phytoplankton: Selected Microphytoplankton Species from the North Sea Around Helgoland and Sylt. E. Schweitzerbart'sche Publishers, Stuttgart, Germany, 264 pp.

³⁵ Avancini, M., Cicero, A.M., Di Girolamo, I., Innamorati, M., Magaletti, E., and Sertorio Zunini T. (2006) Guida al riconoscimento del plancton dei mari italiani, Vol. I – Fitoplancton. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - ICRAM, Roma, 503 pp.

³⁶ Bérard-Therriault, L., Poulin, M. and Bossé, L. (1999). Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du Golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires. Publication Spéciale Canadienne des Sciences Halieutiques et Aquatiques, 128: 1-387.

³⁷ Lassus, P., (1980). Mise a four des donees sur les organismes repousables d'eau rouge. Extension an micro-plancton produisant des toxins. Institut scientifique et technique des pesces maritimes, 137pp.

³⁸ Rampi, L. & Bernhard, M., (1981). Chiave per la determinazione delle coccolithoforidee mediterranee. Comitato Nazionale Energia Nucleare, CNEN-RT/BIO(81)13, 98pp.

³⁹ Tomas C. (Editor) (1997). Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press, San Diego. 858 pages.

⁴⁰ Hulburt M. (1963). Distribution of phytoplankton and its relationship to hydrography, between Southern New England and Venezuela. J. Mar. Res., 24: 67-81.

από κάθε σταθμό, (γ) δείκτης Menhinick (Menhinick's index, Whittaker, 1977⁴¹), και (δ) συγκέντρωση χλωροφύλλης.

Για να καθοριστεί ο λόγος της οικολογικής ποιότητας (EQR) για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες τιμές αναφοράς ανά παράμετρο/τύπο λιμνοθάλασσας.

Ο δείκτης MPI προκύπτει υπολογίζοντας το μέσο όρο των λόγων της οικολογικής ποιότητας των επιμέρους δεικτών.

Ο δείκτης MPI εφαρμόζεται έως τώρα για δύο τύπους λιμνοθαλασσών (α) κλειστές (choked) και (β) περιορισμένες (restricted).

Οι συνθήκες αναφοράς και τα όρια για τους δύο τύπους λιμνοθαλασσών, συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας Τιμών αναφοράς

	100-Hulburt	100-Bloom Frequency	Menhinick	Chlorophyll <i>a</i>
Choked reference conditions	50	80	0,012	1
Restricted-reference conditions	50	80	0,007	0,8

Οικολογική ποιότητα βάσει των τιμών του δείκτη MPI

	H/G	G/M	M/P	P/B
Choked-boundaries	0,78	0,51	0,25	0,04
Restricted-boundaries	0,82	0,54	0,30	0,07

Σημείωση: Μόνο οργανισμοί οι οποίοι έχουν αναγνωριστεί σε επίπεδο είδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της αφθονίας των κυττάρων. Ωστόσο, γίνεται αποδεκτή και η αναγνώριση ενός συγκεκριμένου μορφοτύπου που ανήκει σε συγκεκριμένο γένος, π.χ. *Navicula* sp. 1, *Cryptophyceae* sp. 1. Πολλαπλά απροσδιόριστα είδη που ανήκουν στο ίδιο γένος, π.χ. *Cryptophyceae* spp, flagellates, κ.λπ., δεν περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς σχετικά με την αφθονία, αλλά καταγράφονται ως ενιαία ομάδα "απροσδιόριστα είδη" ώστε να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα, σύμφωνα με όσα ορίζουν οι επί μέρους δείκτες.

ΒΕΝΘΙΚΑ ΜΑΚΡΟΦΥΤΑ

Σε κάθε λιμνοθάλασσα πραγματοποιείται αναγνώριση και χαρτογράφηση (κατά προσέγγιση) των κύριων τύπων ενδιαιτημάτων (1-βυθισμένα αγγειόσπερμα ή αγγειόσπερμα με μακροφύκη-κυανοβακτήρια, 2-μακροφύκη-κυανοβακτήρια, 3-βυθός χωρίς βλάστηση) και της έκτασης που αυτά καταλαμβάνουν. Από τα δύο ενδιαιτήματα με βλάστηση (1, 2) επιλέγεται ένα ή και τα δύο (κρίση εμπειρογνώμονα) στα οποία θα πραγματοποιηθούν οι δειγματοληψίες. Σε κάθε ενδιαίτημα επιλέγονται ένας ή δύο σταθμοί δειγματοληψίας (site: 15 x 15 m), στον οποίο ή στους οποίους η κάλυψη της βενθικής βλάστησης είναι μεγαλύτερη από 10%. Από κάθε σταθμό, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 100-1000 μέτρα από τον άλλον, συλλέγονται 4-5 τυχαία δείγματα (8-10 σύνολο) για την ανάλυση της βενθικής χλωρίδας. Τα δείγματα των βενθικών μακροφύτων συλλέγονται από τον πυθμένα των μεταβατικών υδάτων σε βάθη από 0,2 μέχρι 1,5 m από την κατώτατη στάθμη του νερού. Η δειγματοληψία είναι συμβατική ("καταστροφική" δειγματοληψία), με τη χρήση πηρυνο-δειγματολήπτη (Box-corer) επιφάνειας 0,0289 cm² (17cm x 17 cm x 15 cm, μήκος x πλάτος x ύψος) και

⁴¹ Whittaker R.H. (1977). Evolution of species diversity in land communities. In: Hecht MH, Steere WC, Wallace B (eds) Evolutionary biology, Vol 10. Plenum, New York, p 1– 67.

πραγματοποιείται βέλτιστα μεταξύ του τέλους της άνοιξης και του μέσου του καλοκαιριού κάθε έτους. Ένα επιπλέον αντιπροσωπευτικό δείγμα, σε μια θέση δειγματοληψίας, συλλέγεται για τον προσδιορισμό οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου στο ίζημα με στοιχειακό αναλυτή CHN. Όλα τα δείγματα που θα συλλέγονται στο πεδίο συντηρούνται σε δοχεία που περιέχουν διάλυμα θαλασσινού νερού και φορμόλης 4%, έως την περαιτέρω μεταφορά και επεξεργασία τους στο Εργαστήριο.

Η μελέτη και αναγνώριση των ταξινομικών μονάδων (taxa) των βενθικών μακροφύτων πραγματοποιείται στο εργαστήριο με χρήση στερεοσκοπίου και μικροσκοπίου σε επίπεδο λειτουργικής ομάδας και σε επίπεδο είδους. Όπου δεν είναι δυνατή η αναγνώριση σε επίπεδο είδους, τα μακροφύκη αναγνωρίζονται σε επίπεδο γένους. Η ονοματολογία και η συστηματική κατάταξη των μακροφυκών πραγματοποιείται σύμφωνα με τη βάση δεδομένων algaebase www.algaebase.org.

Η μέτρηση της κάλυψης (coverage) του υποστρώματος από τα φυτά θα γίνει σύμφωνα με τους Orfanidis et al. 2008⁴². Γίνεται η διαλογή των φυτών σε κάθε δείγμα και η μερική επιφάνεια κάλυψης κάθε είδους (Ri) σε κάθετη προβολή ποσοτικοποιείται ως επί τοις εκατό κάλυψη στο σύνολο της επιφάνειας δειγματοληψίας. Για τα είδη με ασήμαντη κάλυψη θα δίνεται η συμβατική τιμή 0,01%. Η ολική κάλυψη (ΣRi) συνήθως υπερβαίνει το 100%, λόγω της παρουσίας πολλών ορόφων βλάστησης (όροφος αγγειοσπέρμων, θαμνώδης όροφος και επίφυτα).

Για την εκτίμηση της Οικολογικής Κατάστασης σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας των βενθικών μακροφύτων θα χρησιμοποιηθεί ο «Δείκτης Οικολογικής Εκτίμησης» (EEI-c) σύμφωνα με τους Orfanidis et al. (2011)⁴¹, GIG, 2013⁴³ και τις τροποποιήσεις που αναφέρονται παρακάτω. Πρόκειται για δείκτη μέτρησης της οικολογικής ποιότητας του θαλασσιού περιβάλλοντος βάσει των κύριων μορφολογικών, φυσιολογικών και κύκλου ζωής χαρακτηριστικών των βενθικών μακροφύτων. Έτσι, τα είδη της βενθικής βλάστησης χωρίζονται σε δύο (2) κύριες ευδιάκριτες οικολογικές ομάδες (Ecological Status Group I και II), οι οποίες στη συνέχεια χωρίζονται η κάθε μία ιεραρχικά σε τρεις οικολογικές υποομάδες. Η πρώτη οικολογική ομάδα (ESG I) διαιρείται σε τρεις υποομάδες, που περιλαμβάνουν (1) τα πολυετή αγγειόσπερμα (IA), (2) τους ετήσιους πληθυσμούς των αγγειοσπέρμων και τα παχιά δερματώδη πλαστικά είδη μακροφυκών (IB), και (3) τα σκιοφύλα πλαστικά είδη μακροφυκών (IC). Η δεύτερη οικολογική ομάδα (ESG II) διαιρείται σε τρεις υποομάδες που περιλαμβάνουν (1) τα σαρκώδη αδρώς διακλαδισμένα καιροσκοπικά είδη μακροφυκών (IIA), (2) τα νηματοειδή και φυλλοειδή καιροσκοπικά είδη μακροφυκών (IIB), και (3) τα προσαρμοσμένα σε γλυκά και υφάλμυρα ύδατα είδη αγγειοσπέρμων (π.χ. Potamogeton) (IIC). Τα κυριότερα οικολογικά χαρακτηριστικά των δύο βασικών οικολογικών ομάδων είναι:

- Στην ESG I κατατάσσονται τα πολυετή σχετικώς βραδυαυξή αγγειόσπερμα ή δενδρόμορφα ή ενασβεστωμένα είδη μακροφυκών. Τα περισσότερα από αυτά είναι Κ-στρατηγικής ζωής, δηλαδή διαθέτουν χαμηλό δυναμικό αύξησης και αναπαραγωγής, αλλά υψηλή ανταγωνιστική ικανότητα σε περιβάλλοντα με σταθερές συνθήκες και χαμηλής περιβαλλοντικής υποβάθμισης, στα οποία και επικρατούν. Τα αγγειόσπερμα διαθέτουν ριζικό σύστημα μέσω του οποίου προμηθεύονται θρεπτικά συστατικά από το ίζημα. Τα είδη αυτά, εξαιτίας των αυστηρών απαιτήσεών τους ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αποτελούν "δείκτες" καλής οικολογικής ποιότητας. Η συνολική αξία αυτής της οικολογικής ομάδας δίνεται με βάση το άθροισμα των υποομάδων ως ακολούθως:

$$ESG I (\% coverage) = [(IA*1)+(IB*0,8)+(IC*0,6)]$$

⁴² Orfanidis S., Pinna M., Sabetta L., Stamatis N., Nakou K. (2008). Variation of structural and functional metrics in macrophyte communities within two habitats of eastern Mediterranean coastal lagoons: natural versus human effects. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 18: S45-S61.

⁴³ GIG, 2013. WFD intercalibration technical report. Part 3 – Coastal and Transitional Waters. Mediterranean Sea GIG: Coastal Waters – Macroalgae.

• Στην ESG II κατατάσσονται τα εφήμερα ταχυαυξή νηματοειδή, φυλλοειδή και γενικότερα τα είδη των μακροφυκών με απλή δομή θαλλού. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα προσαρμοσμένα σε γλυκά και υφάλμυρα ύδατα αγγειόσπερμα. Τα περισσότερα από αυτά τα είδη είναι r-στρατηγικής ζωής, δηλαδή διαθέτουν υψηλό δυναμικό αύξησης και αναπαραγωγής, παράγοντας μεγάλες ποσότητες σποριών που τους δίνουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται κάθε ευκαιρία βλάστησης (ευκαιριακά-καιροσκοπικά είδη). Πολλά από τα είδη αυτά εμφανίζονται σε μεγάλες αφθονίες σε συνθήκες οργανικής ρύπανσης, εξαιτίας της αφθονίας των διαθέσιμων πόρων (π.χ. θρεπτικά άλατα), και αποτελούν «δείκτες» κακής οικολογικής ποιότητας. Η συνολική αξία αυτής της οικολογικής ομάδας δίνεται με βάση το άθροισμα των υποομάδων ως ακολούθως:

$$ESG II (\% coverage) = [(IIA*0,8)+(IIB*1)+(IIC*1)]$$

Κάθε σταθμός δειγματοληψίας θα καταταχτεί σε μια από τις κλάσεις οικολογικής ποιότητας με βάση την παρακάτω εξίσωση υπερβολής (βλ. επίσης Εικόνα):

$$p(x,y) = a + b*(x/100) + c*(x/100)^2 + d*(y/100) + e*(y/100)^2 + f*(x/100)*(y/100)$$

Όπου x είναι η τιμή της ESG I, y είναι η τιμή της ESG II και $a, \dots, f$ είναι οι συντελεστές της εξίσωσης υπερβολής:

$$\begin{aligned} a &= 0,4680 & b &= 1,2088 & c &= -0,3583 \\ d &= -1,1289 & e &= 0,5129 & f &= -0,1869 \end{aligned}$$

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης υπερβολής του συνεχόμενου δείκτη EEI-c σύμφωνα με τους Orfanidis et al. (2011)¹¹ αναφέρεται ήδη στην μεθοδολογία για τα Παράκτια ύδατα.

Για τον προσδιορισμό της Οικολογικής Κατάστασης σε ένα τύπο ενδιαιτήματος λαμβάνεται ο μέσος όρος των τιμών EEI-c όλων των δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Ο προσδιορισμός της Οικολογικής Κατάστασης μιας λιμνοθάλασσας προκύπτει από το άθροισμα των τιμών του EEI-c κάθε τύπου ενδιαιτήματος πολλαπλασιασμένου με την % κάλυψή του (κλίμακα 0-1) στη λ/θ (Orfanidis et al. 2011)¹¹.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το σύστημα κατηγοριοποίησης Οικολογικής Ποιότητας EEI-c με βάση τα μακροφύκη και για τα μεταβατικά ύδατα σύμφωνα με τους Orfanidis et al., 2011¹¹ και GIG, 2013⁴³

Κλάση Οικολογικής Ποιότητας	Διακύμανση τιμών δείκτη EEI-c	Όρια μεταξύ των κλάσεων	Σταθεροποιημένος Λόγος Οικολογικής Ποιότητας EQR $1,25*(EEI-c/10)-0,25$
Υψηλή	$10 \geq EEI-c > 7,6$	9,2	0,9
Καλή	$7,6 \geq EEI-c > 5,2$	7,6	0,7
Μέτρια	$5,2 \geq EEI-c > 3,6$	5,2	0,4
Ελλιπής	$3,6 \geq EEI-c > 2$	3,6	0,2
Κακή	$EEI-c = 2$	2	0

Για τον υπολογισμό του δείκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτοιμο λογισμικό σε αρχείο Excel που διατίθεται δωρεάν από τον ιστότοπο του δείκτη EEI-c: <http://www.EEI.gr>.

ΜΑΚΡΟΑΣΠΟΝΔΥΛΑ

Γίνεται συλλογή δειγμάτων ζωοβένθους με δειγματολήπτη βυθού στο μαλακό υπόστρωμα των μεταβατικών υδάτων. Η δειγματοληψία γίνεται με πλωτό μέσο. Σε κάθε σταθμό συλλέγονται δύο επαναληπτικά δείγματα για την ανάλυση της βενθικής πανίδας. Ένα επιπλέον δείγμα συλλέγεται σε κάθε σταθμό για προσδιορισμό οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου στο ίζημα με στοιχειακό αναλυτή CHNS FLASH 2000 Thermo Scientific. Τα δείγματα κοσκινίζονται επί τόπου με κόσκινο ανοίγματος 1 mm και τοποθετούνται σε πλαστικά δοχεία με διάλυμα φορμόλης χρωματισμένο με Rose Bengal. Μετά τις δειγματοληψίες γίνεται διαλογή (sorting) των ζωντανών οργανισμών στο εργαστήριο. Το επόμενο στάδιο αφορά τον προσδιορισμό των οργανισμών (συνήθως σε επίπεδο είδους για τις κύριες ζωοβενθικές ομάδες).

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 για τα Ύδατα, για το χαρακτηρισμό της οικολογικής ποιότητας στα μεταβατικά οικοσυστήματα θα πρέπει να εφαρμόζεται ο δείκτης M-AMBI. Ο δείκτης αυτός αποτελεί μια πολυμεταβλητή προσέγγιση που συμπεριλαμβάνει τον αριθμό των ειδών, το δείκτη Shannon (H') και τον AMBI. Ο δείκτης AMBI (AZTI Marine Biotic Index, Borja et al, 2000⁴⁴) βασίζεται στην κατανομή των αφθονιών των ειδών του βένθους σε πέντε οικολογικές ομάδες, σύμφωνα με την ευαισθησία τους στον οργανικό εμπλουτισμό (Grall & Glemarec, 1997⁴⁵). Μέσω του M-AMBI, εκτός από την παρουσία ευαίσθητων και ανθεκτικών ειδών, λαμβάνεται υπόψιν και η ποικιλότητα κάθε περιοχής. Έτσι, διορθώνονται ορισμένα από τα προβλήματα που παρουσιάζει η χρήση του AMBI, όπως για παράδειγμα η υπερεκτίμηση της οικολογικής ποιότητας σε κάποιες περιπτώσεις (Muxika et al, 2007⁴⁶, Simboura, 2004⁴⁷). Η σχέση του M-AMBI με τους παραπάνω δείκτες, δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$M-AMBI = K + \alpha AMBI + bH' + cS$$

Μέσω αυτής της εξίσωσης λαμβάνονται τιμές από 0 έως 1. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα όρια των κλάσεων της Οικολογικής Κατάστασης για τα μεταβατικά οικοσυστήματα, όπως αυτά χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60 για τα Ύδατα στην Ελλάδα σύμφωνα και με τα αποτελέσματα της άσκησης διαβαθμονόμησης (GIG, in press; Simboura & Reizopoulou, 2008⁴⁸). Ο M-AMBI υπολογίζεται εύκολα μέσω λογισμικού, το οποίο διατίθεται δωρεάν στην ιστοσελίδα <http://www.azti.es>. Οι τιμές αναφοράς είναι για τις πολύαλνες-περιορισμένες (poly-euhaline-restricted): H'=4, S=50, AMBI=0,05), για τις πολύαλνες αποκλεισμένες (polyeuhaline-choked: H'=4, S=40, AMBI=0,05), και για τις μεσόαλνες-αποκλεισμένες (mesohaline-choked) : H'=3,5, S=30, AMBI=0,05).

⁴⁴ Borja, A., Franco, J. & Perez, V., (2000). A Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100-1114.

⁴⁵ Franco A, PÉrez-Ruzafa A, Drouineau H, Franzoi P, Koutrakis ET, Lepage M, Verdiell-Cubedo D, Bouchoucha M, LÚpez-Capel A, Riccato F, Sapounidis A, Marcos C, Oliva-Paterna FJ, Torralva-Forero M, Torricelli P. 2012. Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: Effect of sampling method. *Estuarine, Coastal, & Shelf Science* : 112:115-125.

⁴⁵ Grall, J. & Glemarec, M., (1997). Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 44: 43–53.

⁴⁶ Muxika, I., Borja, A. & bald, J., (2007). Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 16-29.

⁴⁷ Simboura, N., 2004. Benthic index vs Biotic Index in monitoring: an answer to Borja et al., 2003. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 403-404.

⁴⁸ Simboura, N. & Reizopoulou, S., (2008). An intercalibration of classification metrics of benthic macroinvertebrates in coastal and transitional ecosystems of the eastern Mediterranean ecoregion (Greece). *Marine Pollution Bulletin*, 56: 116-126.

Κατάταξη της οικολογικής κατάστασης, βάσει του βιοτικού δείκτη M-AMBI

M-AMBI	Οικολογική κατάσταση	Ορια μεταξύ κλάσεων
>0,83	Υψηλή	
0,62-0,83	Καλή	Υψηλή/Καλή = 0,83
0,41-0,61	Μέτρια	Καλή/Μέτρια=0,62
0,20-0,40	Ελλιπής	
0,00-0,19	Κακή	

ΙΧΘΥΟΠΑΝΙΔΑ

Τα δείγματα της ιχθυοπανίδας (ιχθυοκοινότητες) θα συλλεγούν με τη χρήση συρόμενου αλιευτικού εργαλείου (πεζόγριπος) που έχει μήκος 10 m, ύψος 2 m και άνοιγμα ματιού στα 2 mm. Οι δειγματοληψίες θα πραγματοποιούνται μία φορά το χρόνο κατά την περίοδο άνοιξη – φθινόπωρο (τροποποίηση Franco et al., 2009⁴⁹). Δειγματοληψίες θα γίνονται τόσο σε σταθμούς με βλάστηση όσο και χωρίς βλάστηση (λασπώδες, αμμώδες, βραχώδες κ.λπ. υπόστρωμα), τόσο στο εσωτερικό όσο και κοντά στο στόμιο επικοινωνίας με τη θάλασσα, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται από τους Franco et al. (2006)⁵⁰ και Franco et al. (2012)⁵¹. Στόχος είναι η σύλληψη όσο το δυνατόν περισσότερων ειδών που διαβιούν σε διαφορετικά ενδιαιτήματα. Σε κάθε σταθμό θα γίνονται κατά το δυνατόν τρεις επαναλήψεις-σύρσεις 30-50 m, οι οποίες θα καλύπτουν συνολική επιφάνεια περίπου 250 m². Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, η ταξινόμηση των ψαριών θα γίνεται κατά είδος και σε κλάσεις μεγέθους. Αντιπροσωπευτικά δείγματα ψαριών θα συντηρούνται σε διάλυμα φορμόλης 6%, ώστε να είναι δυνατή η επιβεβαίωση της σωστής ταυτοποίησης των ειδών. Για κάθε περιοχή θα υπολογίζεται η συνολική σχετική αφθονία (Total Relative Abundance), χρησιμοποιώντας την μέθοδο της σύλληψης ανά μονάδα προσπάθειας (Catches per Unit Effort, CPUE, Gulland, 1964⁵²).

Πειραματικός δείκτης Lagoon Fish-based Biotic Index (LFBI)

Τα τελευταία χρόνια το Τμήμα Εσωτερικών Υδάτων και Λιμνοθαλασσών του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας, εργάζεται στην ανάπτυξη ιχθυολογικού πολυπαραμετρικού δείκτη αξιολόγησης της οικολογικής κατάστασης των λιμνοθαλασσών⁵³.

Ο υπό ανάπτυξη ιχθυολογικός δείκτης απαρτίζεται από μετρικές σχετικές με τον αριθμό των ειδών και των οικογενειών ιχθυοπανίδας που βρίσκονται σε κάθε λιμνοθαλάσσιο/μεταβατικό οικοσύστημα, τη σχετική αφθονία και τις τροφικές συνήθειες τους. Οι επιλογές των μετρικών που τον απαρτίζουν προέρχονται α) από μετρικές που αναφέρονται σε προϋπάρχοντες δείκτες και β) από μετρικές που προστέθηκαν εκ των υστέρων και οι οποίες περιγράφουν σημαντικά χαρακτηριστικά των ιχθυοκοινοτήτων. Στην πρώτη περίπτωση οι επιλογές τους έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζουν οι συναθροίσεις των ψαριών στις διάφορες Μεσογειακές λιμνοθάλασσες προσαρμόζοντάς στα δεδομένα των ελληνικών λιμνοθαλασσών.

Ο δείκτης LFBI αποτελείται από πέντε μετρικές, οι οποίες είναι: (1) ο αριθμός των ειδών που αποτελούν το 90% των συλλεχθέντων ψαριών, (2) η σχετική αφθονία (CPUE), (3) η ποσοστιαία συμμετοχή των μόνιμων ειδών (resident species) επί του συνόλου των ειδών που συλλέχθηκαν, (4) η ποσοστιαία συμμετοχή των μεταναστευτικών ειδών (migrant species) επί του συνόλου των ειδών που συλλέχθηκαν και (4) η παρουσία ή απουσία του είδους *Aphanius fasciatus*.

⁴⁹ Franco A., Torricelli P. & Franzoi P., (2009). A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11): 1704-17.

⁵⁰ Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., & Torricelli, P., (2006). Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 67–83.

⁵¹ Franco A, PÉrez-Ruzafa A, Drouineau H, Franzoi P, Koutrakis ET, Lepage M, Verdiell-Cubedo D, Bouchoucha M, LÚpez-Capel A, Riccato F, Sapounidis A, Marcos C, Oliva-Paterna FJ, Torralva-Forero M, Torricelli P. (2012). Assessment of fish assemblages in coastal lagoon habitats: Effect of sampling method. *Estuarine, Coastal and Shelf Scienc* 112, 115-125.

⁵² Gulland, J. A., (1964). Catches per unit effort as a measure of abundance. *Rapports et Procès-verbaux des réunions Conseil Internationale pour l'exploration de la Mer*, 155: 739-751.

⁵³ Salas Herrero F. (editor) 2016. Mediterranean Sea GIG –Transitional waters- Fish Fauna. Joint Research Centre

- 1) “Αριθμός των ειδών που αποτελούν το 90% των συλλεχθέντων ψαριών”: Η μετρική αυτή αποτελεί μια ένδειξη του βαθμού βιοποικιλότητας ενός οικοσυστήματος. Σύγκριμένα όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ειδών που αποτελούν το 90% των συλλεχθέντων ειδών τόσο υψηλότερη είναι η βιοποικιλότητα του συστήματος και επομένως τόσο υψηλότερη είναι και οικολογική κατάσταση του συστήματος.
- 2) “Σχετική αφθονία”: Η μετρική αυτή αξιολογεί την ικανότητα μιας λιμνοθάλασσας να διατηρεί και υψηλή αφθονία. Ο υπολογισμός της σχετικής αφθονίας γίνεται με βάση τις συλλήψεις ανά μονάδα προσπάθειας (CPUE = αριθμός ατόμων/100m²).
- 3-4) “Ποσοστιαία συμμετοχή των μόνιμων ειδών (*resident species*) επί του συνόλου των ειδών που συλλέχθηκαν” και “Ποσοστιαία συμμετοχή των μεταναστευτικών ειδών (*migrant species*) επί του συνόλου των ειδών που συλλέχθηκαν”: Οι δύο αυτές μετρικές αξιολογούν την ποιότητα του οικοσυστήματος μιας λιμνοθάλασσας. Τα είδη που ολοκληρώνουν όλο τον κύκλο της ζωής τους εντός μιας λιμνοθάλασσας αλλά και τα μεταναστευτικά είδη που ολοκληρώνουν μέρος του κύκλου της ζωής τους στη λιμνοθάλασσα, απαιτούν κατά ελάχιστον καλής ποιότητας οικοσυστήματα. Επομένως, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μεταναστευτικών και των μόνιμων ειδών που καταγράφονται τόσο υψηλότερη είναι και οικολογική κατάσταση.
- 5) “Παρουσία ή απουσία του είδους *Aphanius fasciatus*”: Το είδος *Aphanius fasciatus* είναι ένα προστατευόμενο είδος, το οποίο υπόκειται σε πιέσεις που οφείλονται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Επομένως, η παρουσία ή απουσία του είδους αποτελεί ένδειξη της ποιότητας του οικοσυστήματος.

Η πρωταρχική μορφή του δείκτη χρησιμοποιήθηκε στις ασκήσεις βαθμονόμησης (MED GIG Intercalibration Exercises) για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των λιμνοθαλασσών που πραγματοποιήθηκαν σε Ισπανία, Γαλλία και Ελλάδα (Franco et al., 2012⁴⁵).

Για την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του δείκτη το ΙΝΑΛΕ εργάζεται στην ανάπτυξη και ενός δείκτη πιέσεων, ο οποίος είναι απαραίτητος για την τελική βαθμονόμηση του ιχθυολογικού δείκτη. Ο ανάπτυξη δείκτη πιέσεων κρίνεται σημαντική καθώς δίνει την δυνατότητα καλύτερης κατανόησης της κατάστασης ενός οικοσυστήματος και την αποφυγή περιπτώσεων υπερεκτίμησης ή και υποεκτίμησης της οικολογικής κατάστασης ενός συστήματος.

Υδρομορφολογικά στοιχεία ποιότητας

ΡΕΥΜΑΤΑ-ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Τυπολογική κατάταξη των μεταβατικών συστημάτων με βάση το βαθμό επικοινωνίας με τη θάλασσα και τη διαβάθμιση της αλατότητας.

ΙΖΗΜΑ-ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων γίνονται με τη χρήση οργάνου κοκκομετρίας. Το δείγμα ιζήματος πριν την εισαγωγή του για την κοκκομετρική ανάλυση πρέπει να υποβληθεί σε μία συγκεκριμένη κατεργασία. Αρχικά ξηραίνεται μια ποσότητα από κάθε δείγμα στους 60°C για 24 ώρες για να αφαιρεθεί η υγρασία. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα ζυγίζεται με ζυγό ακριβείας, προστίθενται 20 ml Calgon (C = 5,5 gr/l) και παραμένει για 24 h σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στόχος είναι να σπάσουν τα συσσωματώματα έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ευκολότερα το κοσκίνισμα. Την επόμενη μέρα το κάθε δείγμα περνά από κόσκινο διαμέτρου 63 μm για να διαχωριστεί η άμμος από την άργιλο και την ιλύ. Τα κλάσματα της άμμου (>63 μm) τοποθετούνται με απιονισμένο νερό στο φούρνο μέχρι να ξηρανθούν πλήρως, έτσι ώστε να ληφθεί μέτρηση του βάρους επί ξηρού, ενώ τα κλάσματα με διάμετρο <63 μm τοποθετούνται με Calgon στο όργανο κοκκομετρίας για περαιτέρω κοκκομετρική ανάλυσή τους.

Από τα αποτελέσματα του οργάνου και τα βάρη των κλασμάτων της άμμου προκύπτει η τελική ποσοστιαία ανάλυση (κοκκομετρική ανάλυση) των δειγμάτων.

Φυσικοχημικά στοιχεία ποιότητας

Η συλλογή αυτών των χαρακτηριστικών (θερμοκρασία, αλατότητα, θολερότητα και διαλυμένο οξυγόνο / μετρημένο ηλεκτρονικά) γίνεται με φορητά όργανα στο πεδίο. Η θερμοκρασία αναφέρεται σε βαθμούς Κελσίου και η αλατότητα σε επί τοις χιλίοις περιεκτικότητα σε αλάτι. Η μέτρηση της θολερότητας εκφράζεται μέσω του υπολογισμού του συντελεστή 'εξασθένησης' (attenuation coefficient) της ακτινοβολίας PAR ή με τη χρήση δίσκου Secchi. Στα μεταβατικά υδάτινα σώματα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θερμοκρασία και το PH θα μετρηθούν στο πεδίο με χρήση πολυαισθητήρα YSI 600QS.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΑΛΑΤΑ

Όσον αφορά τα Μεταβατικά Υδατικά Συστήματα, το διαλυμένο οξυγόνο μετράται επί τόπου στο πεδίο, με χρήση πολυαισθητήρα YSI 600QS.

Οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό των νιτρικών, νιτρωδών και πυριτικών αλάτων γίνονται στη διαπιστευμένη κατά ISO 17025 εργαστηριακή μονάδα θρεπτικών αλάτων του βιογεωχημικού εργαστηρίου του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. με την μεθοδολογία που περιγράφεται και για τα Παράκτια.

ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ - ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου (TN) και του ολικού φωσφόρου (TP) γίνεται με την ίδια μεθοδολογία που περιγράφεται και για τα Παράκτια.

TC (ΟΛΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ)

Η ποσότητα του ολικού άνθρακα στα ιζήματα γίνεται με την ίδια μεθοδολογία που περιγράφεται και για τα Παράκτια.

Χημικά

ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Γίνεται δειγματοληψία νερού για αναλύσεις βαρέων μετάλλων από ένα βάθος. Τα δείγματα νερού (~100mL) συλλέγονται από τις φιάλες δειγματοληψίας (Niskin) σε φιάλες πολυαιθυλενίου και τοποθετούνται στην κατάψυξη αφού σφραγισθούν σε πλαστικές σακούλες.

Η αναλυτική διαδικασία ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία όπως και στα Παράκτια.