



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΦΥΛΛΑΔΙΟ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Γ. ΚΕΧΑΓΙΑΣ – Ε. ΝΤΟΥΛΚΑ

Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.




ΓΙΩΡΓΟΣ ΚΕΧΑΓΙΑΣ

**Επίκουρος Καθηγητής
Υδάτινων Οικοσυστημάτων**

Επικοινωνία:

www.env.upatras.gr/people/profiles/id/48

 26410-74136

 gkechagi@upatras.gr

ΑΣΚΗΣΗ 1^η

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΙΜΝΩΝ

Μορφομετρία μιας λίμνης είναι η μέθοδος μέτρησης και ανάλυσης των φυσικών διαστάσεων της λίμνης αυτής. Οι φυσικές διαστάσεις μιας λίμνης που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και που συνήθως μετρούνται είναι:

- A) Το μήκος της λίμνης (μέγιστο και μέσο)
- B) Το πλάτος της λίμνης (μέγιστο και μέσο)
- Γ) Το μήκος των ακτών (περιφέρεια) της λίμνης (**L**)
- Δ) Η επιφάνεια (εμβαδόν) της λίμνης (**A**)
- E) Το βάθος της λίμνης (**D**) (μέγιστο και μέσο)
- ΣΤ) Ο όγκος του νερού που περιέχεται στη λίμνη (**V**)

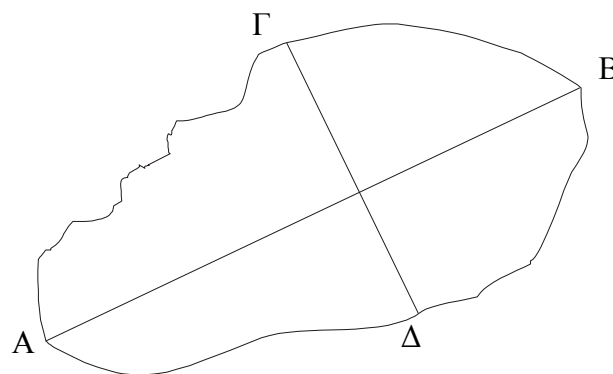
Είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς τις φυσικές διαστάσεις μιας λίμνης γιατί αυτές του παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για:

- 1) Την **προέλευση** της λίμνης: Για παράδειγμα, μία λίμνη με απότομες ακτές και μεγάλο βάθος μπορεί να προέρχεται από τεκτονικές διεργασίες. Αντίθετα μία λίμνη κυκλική θα οφείλει κατά πάσα πιθανότητα τη δημιουργία της σε ηφαιστειακές εκρήξεις ή μπορεί να είναι και μία λίμνη που προέκυψε από την πτώση κάποιου μετεωρίτη.
- 2) Την **παραγωγικότητα** της λίμνης: Όταν μία λίμνη καλύπτει μεγάλη επιφάνεια έχει σχετικά μικρό βάθος και οι ακτές της είναι ομαλές συνήθως είναι περισσότερο παραγωγική από μία βαθιά λίμνη με απότομες ακτές και με μικρή συνολική επιφάνεια. Το παραπάνω δεν σημαίνει ότι κατά κανόνα όλες οι λίμνες με αυτές τις φυσικές διαστάσεις θα έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά παραγωγικότητας, όμως δίνουν σημαντικά στοιχεία γι' αυτή.
- 3) Τους **τύπους των οργανισμών** που ενδεχομένως ζούνε στη λίμνη: Είναι προφανές ότι μία λίμνη με μεγάλη έκταση ή με μεγάλο βάθος θα φιλοξενεί διαφορετικούς τύπους οργανισμών από ότι μία μικρή σε έκταση λίμνη, ή μία αβαθή λίμνη.
- 4) Τις **αλλαγές που μπορούν να επέλθουν** στη λίμνη αυτή με το πέρασμα του χρόνου: Οι περισσότερες από τις λίμνες που υπάρχουν στον πλανήτη μας έχουν “ημερομηνία λήξης” με την έννοια ότι κάποτε, μετά ίσως από κάποιες δεκάδες ή ακόμα και

εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια, θα σταματήσουν να είναι λίμνες πια καθώς παροδικά θα μειώνεται η έκταση της λεκάνης απορροής της εξαιτίας των προσχώσεων και της ιζηματογένεσης. Συνήθως ο χρόνος ζωής μίας ρηχής λίμνης με μικρή έκταση και μεγάλη παραγωγικότητα είναι μικρότερος συγκριτικά με αυτόν μιας βαθιάς λίμνης ή μιας λίμνης με μεγάλη έκταση. Επίσης, μία λίμνη με τα παραπάνω χαρακτηριστικά βάθους και έκτασης είναι πιο “ευαίσθητη” σε εξωτερικές παρεμβάσεις, δύσκολα μπορεί από μόνη της να επανέλθει σε μία ισορροπία που επικρατούσε πριν την επέμβαση και επομένως πρέπει να τύχει μεγαλύτερης προσοχής και συνεχούς παρακολούθησης.

A) ΜΗΚΟΣ ΛΙΜΝΗΣ

Σε μία λίμνη μπορούμε να μετρήσουμε το μέγιστο μήκος της (AB) ενώ μπορούμε να υπολογίσουμε και το μέσο μήκος της. Το **μέγιστο μήκος** (AB) μίας λίμνης είναι η μεγαλύτερη οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σημείων στις ακτές της λίμνης.

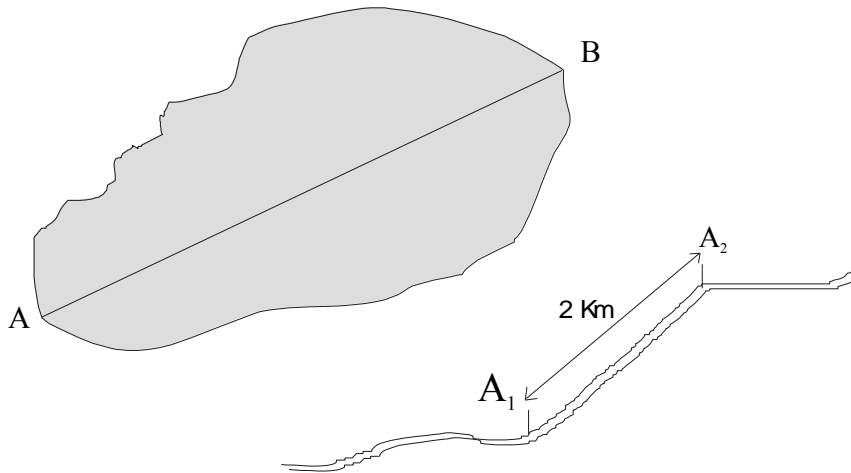


Το **μέσο μήκος** μιας λίμνης μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Μέσο μήκος} = \frac{\text{επιφάνεια λίμνης (A)}}{\text{μέγιστο πλάτος (ΓΔ)}}$$

Το μέγιστο μήκος μιας λίμνης μπορεί να το υπολογίσει κανείς με δύο τρόπους: α) με απευθείας μέτρησή του (αν πρόκειται για μικρού μεγέθους λίμνη), β) με τη χρησιμοποίηση αεροφωτογραφίας. Οι αεροφωτογραφίες είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για τον υπολογισμό των φυσικών διαστάσεων των λιμνών. Πρόκειται για φωτογραφίες που λαμβάνονται από αεροπλάνο το οποίο πετά σε κάποιο ύψος και απεικονίζουν το περίγραμμα της λίμνης καθώς και το τοπίο γύρω από αυτή. Αν στην αεροφωτογραφία

είναι γνωστό ένα μήκος σε μέτρα, δηλαδή διακρίνονται δύο σημεία των οποίων η απόσταση μπορεί να μετρηθεί (π.χ. δύο κολώνες ηλεκτροδότησης), τότε μπορούμε να



αντιστοιχίσουμε το μέγιστο μήκος της λίμνης που παρατηρούμε στη φωτογραφία (θα το μετρήσουμε με χάρακα) στο γνωστό μήκος της φωτογραφίας.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αν γνωρίζουμε ότι η απόσταση δύο σημείων A_1 και A_2 τα οποία βρίσκονται σε ένα δρόμο που απεικονίζεται στην αεροφωτογραφία είναι στην πραγματικότητα 2 km και η μεταξύ τους απόσταση στη φωτογραφία είναι 15cm μπορούμε να αντιστοιχίσουμε το μήκος των 15cm στην απόσταση AB (η οποία αν μετρηθεί στη φωτογραφία είναι έστω 37,5cm). Με απλή μέθοδο των τριών μπορούμε τότε να πούμε ότι:

τα 15cm αντιστοιχούν σε 2000m

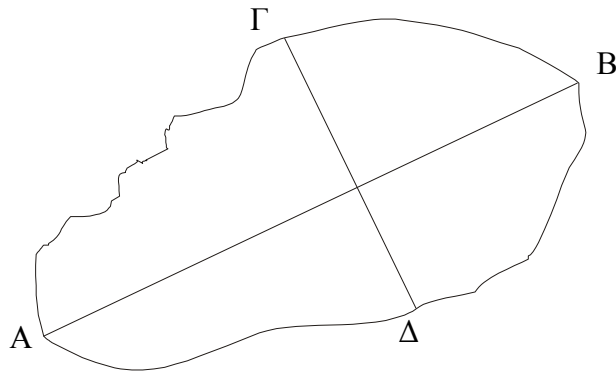
τα 37,5 cm σε πόσα μέτρα αντιστοιχούν;

$$AB = 37,5 \times 2000 / 15 = \underline{5000 \text{ m}}$$

Άρα το μέγιστο μήκος της λίμνης στο παράδειγμα είναι 5000 m.

B) ΠΛΑΤΟΣ ΛΙΜΝΗΣ

Σε μία λίμνη μπορούμε να μετρήσουμε το μέγιστο πλάτος της ($\Gamma\Delta$) ενώ μπορούμε να υπολογίσουμε και το μέσο πλάτος της. Το **μέγιστο πλάτος** ($\Gamma\Delta$) μιας λίμνης ορίζεται ως η μεγαλύτερη απόσταση κάθετη στο μέγιστο μήκος.



Το **μέσο πλάτος** μιας λίμνης μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

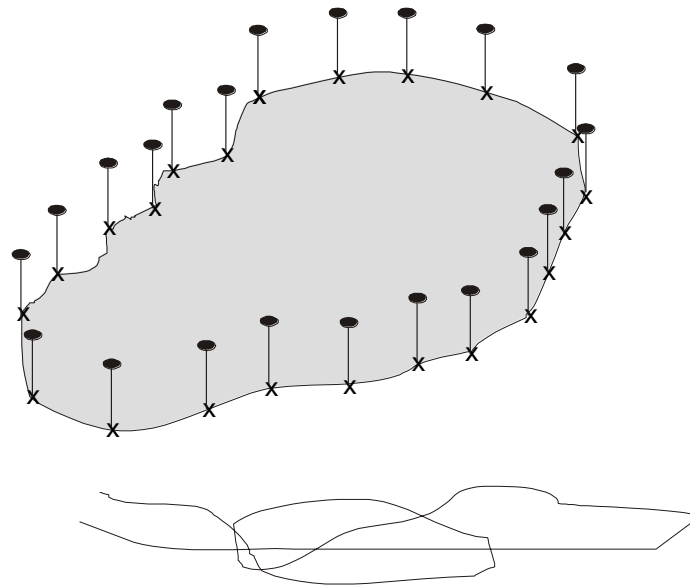
$$\text{Μέσο πλάτος} = \frac{\text{επιφάνεια λίμνης (A)}}{\text{μέγιστο μήκος (AB)}}$$

Το μέγιστο πλάτος μιας λίμνης μπορεί να το υπολογίσει κανείς με δύο τρόπους όπως και στην περίπτωση του μήκους: α) με απευθείας μέτρησή του (αν πρόκειται για μικρού μεγέθους λίμνη), β) με τη χρησιμοποίηση αεροφωτογραφίας όπως στην περίπτωση του μέγιστου μήκους πιο πάνω.

Γ) ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΩΝ (ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ) ΛΙΜΝΗΣ (L)

Είναι το μήκος της λιμναίας ακτογραμμής. Ο υπολογισμός αυτού του μεγέθους μπορεί να γίνει: α) με απευθείας μέτρηση. Στην περίπτωση που οι διαστάσεις της λίμνης είναι περιορισμένες και το έδαφος γύρω από τη λίμνη ομαλό και βατό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα οδόμετρο (κοντέρ) προσαρμοσμένο σε μια ρόδα ποδηλάτου το οποίο θα καταγράψει με σχετική ακρίβεια την απόσταση που θα διανύσει ο τροχός καθώς θα ολοκληρωθεί μία πλήρης περιστροφή γύρω από τη λίμνη. Εάν υπάρχει δρόμος που περιβάλλει τη λίμνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το οδόμετρο ενός αυτοκινήτου. β) με τη χρήση αεροφωτογραφίας. Στην περίπτωση αυτή θα χρησιμοποιηθεί μια αεροφωτογραφία στην οποία θα γνωρίζουμε όπως είπαμε πριν μία διάσταση σε μέτρα. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν διαβήτη με τον οποίο, ανοίγοντάς τον κατάλληλα, θα μετρήσουμε με διαδοχικά βήματα (και πάντοτε με το ίδιο άνοιγμα) την ακτογραμμή. Στο τέλος θα αθροίσουμε τον αριθμό των διαδοχικών

βημάτων-μετρήσεων που κάναμε και θα αντιστοιχούμε τη μέτρησή μας στο γνωστό μήκος.



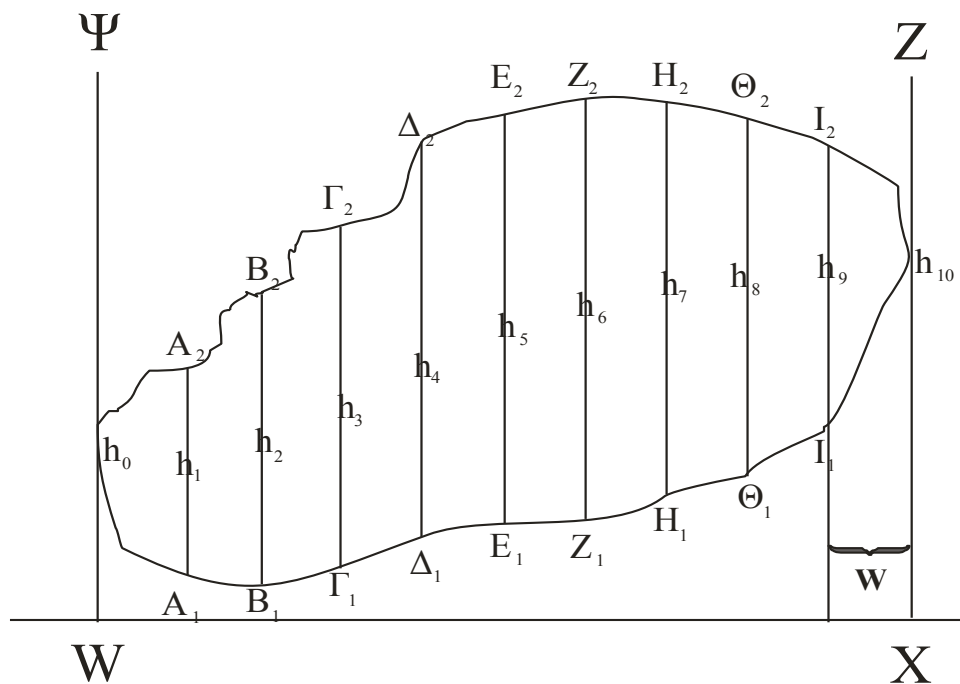
Ένας άλλος τρόπος είναι ο ακόλουθος: πάνω στην αεροφωτογραφία μπορούμε να στερεώσουμε με καρφίτσες ένα απλό σκοινί (σπάγκο) έτσι ώστε να ακολουθεί το περίγραμμα της λίμνης. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία μετράμε το σκοινί και αντιστοιχούμε τη μέτρησή μας στο γνωστό μήκος.

Δ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΕΜΒΑΔΟΝ) ΛΙΜΝΗΣ (Α)

Πρόκειται ουσιαστικά για το εμβαδόν της υδάτινης επιφάνειας της λίμνης. Είναι ένα μέγεθος για τον υπολογισμό του οποίου χρησιμοποιείται απαραίτητα η αεροφωτογραφία στην οποία, όπως και παραπάνω, είναι γνωστή μία οριζόντια απόσταση. Η έκταση μιας λίμνης είναι ένα μέγεθος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε μελέτη γιατί είναι απαραίτητο στον υπολογισμό άλλων μεγεθών, όπως το μέσο μήκος ή μέσο πλάτος και όπως θα δούμε παρακάτω του όγκου του νερού της λίμνης. Επίσης, ο υπολογισμός του όγκου του νερού που περιέχεται σε μία λίμνη είναι αδύνατος εάν δεν γνωρίζουμε την έκτασή της. Επειδή η έκταση μιας λίμνης επηρεάζεται από τη μεταβολή της στάθμης του νερού, συχνά οι παλαιότερες πληροφορίες για την έκτασή της μπορεί να μην ισχύουν πλέον. Με τα σύγχρονα μέσα που υπάρχουν σήμερα μπορεί να υπολογιστεί αυτό το μέγεθος χρησιμοποιώντας ένα

ειδικό όργανο που ονομάζεται **πολικό εμβαδόμετρο** ή **πλανίμετρο**. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως τρεις άλλες τεχνικές που δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα, ενώ δεν απαιτούν ιδιαίτερο εξοπλισμό. Αυτές είναι:

α) η μέθοδος των τεταγμένων (μέθοδος του Simpson). Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε την αποτύπωση μιας αεροφωτογραφίας ή μια φωτοτυπία της και πάνω σε αυτή σχεδιάζουμε μία οριζόντια γραμμή WX κάτω από το περίγραμμα της λίμνης (βλέπε εικόνα).



Σε αυτήν φέρουμε δύο κάθετες γραμμές (WΨ και XZ) οι οποίες εφάπτονται στις δύο άκρες του περιγράμματος της λίμνης. Διαιρούμε την απόσταση WX σε ένα ζυγό αριθμό τμημάτων A₁, B₁, Γ₁, ... και σχεδιάζουμε τις τεταγμένες A₁A₂, B₁B₂, Γ₁Γ₂ ..., όπως φαίνεται στο σχήμα. Η κάθε τεταγμένη ονομάζεται h₀, h₁, h₂, h₃ κ.λ.π. αρχίζοντας από την αριστερή εφαπτομένη. Αφού σχεδιαστούν οι τεταγμένες αυτές, μετράμε το μήκος της καθεμίας και υπολογίζουμε την τιμή E στον ακόλουθο τύπο:

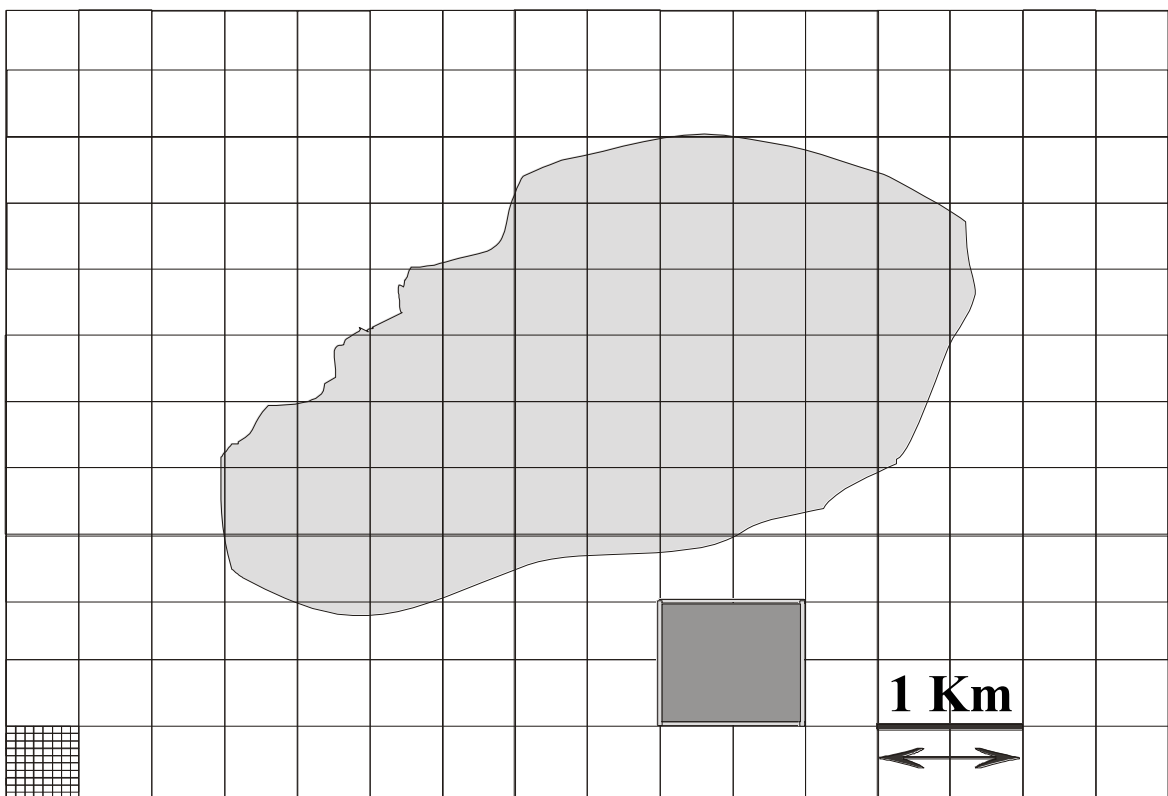
$$E = 1/3 w (h_0 + 4h_1 + 2h_2 + 4h_3 + 2h_4 + 4h_5 + 2h_6 + 4h_7 + 2h_8 + 4h_9 + h_{10})$$

όπου w = η απόσταση των τεταγμένων και όπου h₀ = 0 και h₁₀ = 0.

Σύμφωνα με την κλίμακα της αεροφωτογραφίας και με τις ίδιες μονάδες (π.χ. σε cm) καθορίζουμε το μέγεθος της μονάδας επιφάνειας από τη γνωστή απόσταση στο χάρτη (π.χ. 1 km²). Στο τέλος, θα διαιρέσουμε την τιμή E που προέκυψε από τον προηγούμενο τύπο με την τιμή που αντιστοιχεί στη μονάδα επιφάνειας. Το πηλίκο που θα προκύψει

θα είναι το ζητούμενο εμβαδό στις ίδιες μονάδες μέτρησης όπως καθορίστηκαν πριν. Γενικά, η μέθοδος αυτή είναι λιγότερο ακριβής από αυτές που θα περιγραφούν στη συνέχεια, ενώ όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των τεταγμένων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

β) η μέθοδος των τετραγώνων. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα χιλιοστομετρικό χαρτί (μιλιμετρέ) το οποίο απλώνεται πάνω από την αεροφωτογραφία και σημειώνονται πάνω σ' αυτό τα όρια της περιφέρειας της λίμνης. Με βάση τη γνωστή απόσταση μπορούμε να σχηματίσουμε ένα γνωστό εμβαδόν (π.χ. αν η γνωστή απόσταση είναι 1 χιλιόμετρο μπορούμε να φτιάξουμε ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο).

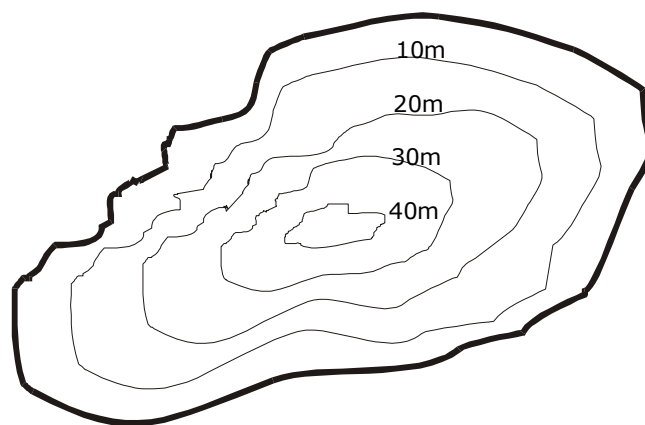


Μετράμε τώρα τα τετράγωνα που βρίσκονται μέσα στην επιφάνεια της αεροφωτογραφίας και διαιρούμε τον αριθμό των μετρούμενων τετραγώνων της μετρούμενης έκτασης δια του αριθμού των τετραγώνων της μονάδας επιφάνειας. Το πηλίκο που θα προκύψει θα είναι το ζητούμενο εμβαδόν. (Όσο πιο μικρά τα τετράγωνα τόσο μικρότερο το σφάλμα της μεθόδου).

γ) **Μέθοδος της ζύγισης.** Για να εφαρμόσουμε τη μέθοδο αυτή αρχικά αποτυπώνουμε το περίγραμμα της λίμνης από την αεροφωτογραφία συνήθως σε ένα χαρτόνι. Στη συνέχεια κόβουμε το περίγραμμα που έχουμε σχηματίσει και το ζυγίζουμε σε ζυγό ακριβείας. Την ίδια διαδικασία εφαρμόζουμε και στην περίπτωση της γνωστής επιφάνειας που υπολογίσαμε πριν (1 τετραγωνικό χιλιόμετρο στο παράδειγμά μας). Το βάρος της μονάδας μέτρησής μας, που είναι το κομμάτι εμβαδού 1 km^2 , θα συγκριθεί με το βάρος του περιγράμματος της λίμνης. Με απλή μέθοδο των τριών μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε το εμβαδόν της μετρούμενης επιφάνειας. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο ότι οπωσδήποτε το κομμάτι που αντιστοιχεί στο περίγραμμα της λίμνης, αλλά και το κομμάτι που αντιστοιχεί στη γνωστή επιφάνεια, πρέπει να προέρχονται από χαρτί της ίδιας ποιότητας και του ίδιου βάρους.

E) ΒΑΘΟΣ ΛΙΜΝΗΣ (D)

Η μέτρηση του **μέγιστου βάθους** σε μία λίμνη μπορεί να γίνει απλά με τη χρήση ενός βαρυδίου ή με τη χρήση ενός βυθομέτρου το οποίο θα είναι προσαρμοσμένο σε σκάφος που θα σαρώσει την επιφάνεια της λίμνης. Το βυθόμετρο εκτός από το μέγιστο βάθος θα μας δώσει πληροφορίες και για το ανάγλυφο του βυθού. Με τον τρόπο αυτό μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν οι λεγόμενοι βαθυμετρικοί χάρτες, όπως αυτός του σχήματος. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν το ανάγλυφο του βυθού

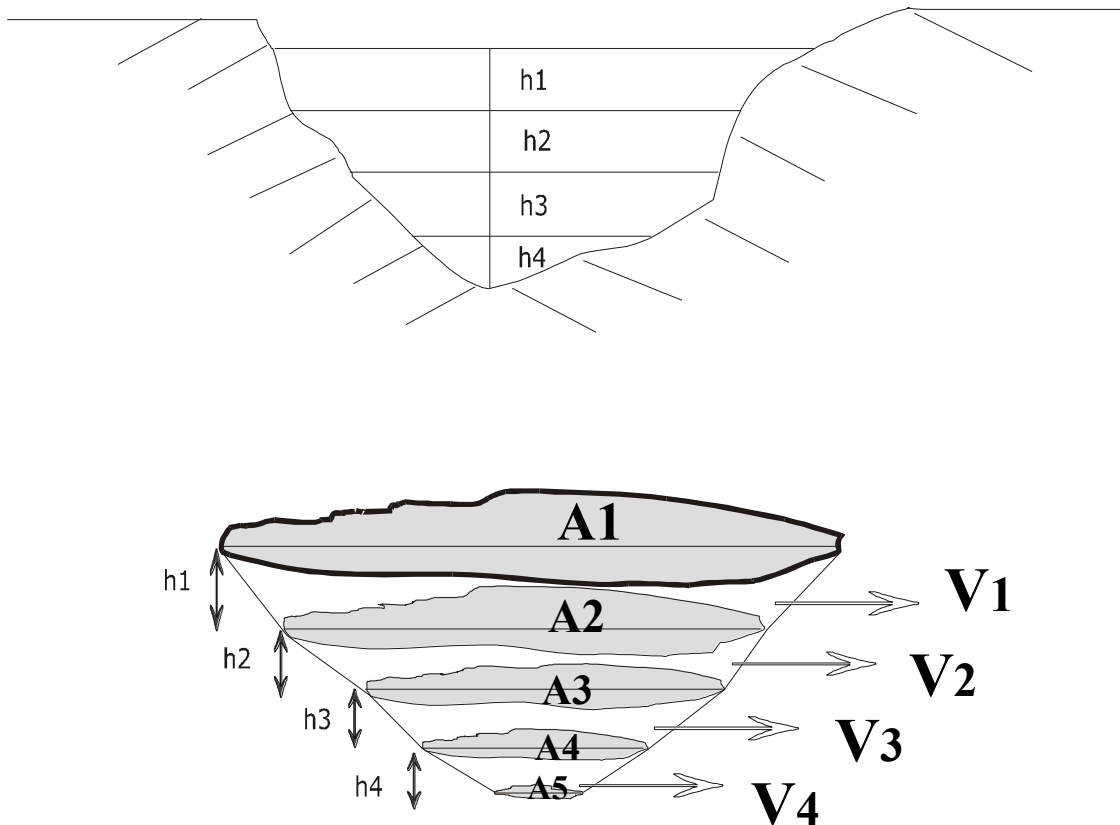


και μαζί το βάθος σε κάθε τμήμα της λίμνης. Εκτός από το μέγιστο βάθος υπάρχει και το **μέσο βάθος** της λίμνης το οποίο μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Μέσο βάθος} = \frac{\text{όγκος νερού λίμνης (V)}}{\text{επιφάνεια λίμνης (A)}}$$

ΣΤ) ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΛΙΜΝΗΣ (V)

Ο όγκος του νερού που περιέχεται σε μία λίμνη υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μία αεροφωτογραφία και το βαθυμετρικό χάρτη της λίμνης.



Για να υπολογίσει κανείς τον όγκο νερού μιας λίμνης αρκεί να υπολογίσει το άθροισμα των όγκων του νερού που περιέχεται μεταξύ δύο ισοβαθών. Ο όγκος αυτός δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$V1 = h1 \frac{A1 + A2 + \sqrt{A1A2}}{3}$$

Από τα δεδομένα αυτής της εξίσωσης η επιφάνεια A_1 έχει ήδη υπολογιστεί προηγουμένως. Για τον υπολογισμό των επιφανειών κάθε ισοβαθούς A_2 , A_3 και A_4 χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία. Ο συνολικός όγκος V του νερού της λίμνης είναι το άθροισμα αυτών των επιμέρους όγκων δηλαδή:

$$V_{\text{λίμνης}} = V1 + V2 + V3 + V4$$

(όπου τα $V2$, $V3$, $V4$ υπολογίζονται όπως το $V1$).

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ & ΟΡΓΑΝΑ

- Ζυγός ακριβείας (τουλάχιστον 2 δεκαδικών ψηφίων)
- Χάρακας και τρίγωνο
- Ψαλίδι
- Διαβήτης
- Γραφική ύλη (μολύβι, καρμπόν, γομολάστιχα, χαρτί A4)
- Χαρτόνι A4
- Χιλιοστομετρικό χαρτί A4 (μιλμετρέ)
- Καρφίτσες και σπάγκος

ΑΣΚΗΣΗ 2^η

ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Η συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών χρησιμοποιείται εκτεταμένα για τον υπολογισμό της φυτοπλαγκτικής βιομάζας. Όλα τα πράσινα φυτά περιέχουν χλωροφύλλη-a, η οποία αποτελεί περίπου το 1-2% του ξηρού βάρους των πλαγκτικών φυκών. Στις χρωστικές που υπάρχουν στο φυτοπλαγκτό περιλαμβάνονται επίσης και η χλωροφύλλη-b και c, οι ξανθοφύλλες, οι φυκομπιλίνες και τα καροτένια. Τα σημαντικά προϊόντα αποικοδόμησης των χλωροφυλλών που απαντώνται στο υδάτινο περιβάλλον είναι οι χλωροφυλλίδες, οι φαιοφορβίδες και οι φαιοφυτίνες. Η παρουσία ή απουσία των διαφόρων φωτοσυνθετικών χρωστικών είναι ένα χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται, ανάμεσα σε άλλα, για τον διαχωρισμό των μεγάλων ομάδων φυκών.

Οι τρεις μέθοδοι για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης-a στο φυτοπλαγκτό είναι η φασματοφωτομετρική μέθοδος, η μέθοδος φθορισμού και η μέθοδος HPLC (high-performance liquid chromatography). Η μέθοδος φθορισμού είναι πιο ευαίσθητη από την φασματοφωτομετρία, απαιτεί μικρότερη ποσότητα δείγματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις *in vivo*. Αυτές οι οπτικές μέθοδοι μπορεί να υπο- ή υπερεκτιμήσουν σημαντικά τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-a, λόγω του ότι οι περιοχές απορρόφησης και οι περιοχές φθορισμού άλλων συνυπαρχουσών χρωστικών αλληλεπικαλύπτονται με εκείνες των προϊόντων αποικοδόμησης των χλωροφυλλών. Η φαιοφορβίδα-a και η φαιοφυτίνη-a, δύο συνήθη προϊόντα αποικοδόμησης της χλωροφύλλης-a, μπορούν να επηρεάσουν τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης-a επειδή απορροφούν φως και φθορίζουν στην ίδια περιοχή του φάσματος με την χλωροφύλλη-a. Η παρουσία τέτοιων φαιοχρωστικών έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά σφάλματα στην τιμή της χλωροφύλλης-a. Οι φαιοχρωστικές είναι δυνατόν να μετρηθούν είτε με φασματο-φωτομετρία, είτε με φθοριομετρία, αλλά σε θαλάσσια και υδάτινα οικοσυστήματα η μέθοδος φθορισμού είναι αναξιόπιστη παρουσία χλωροφύλλης-b. Με

οξειδωση της χλωροφύλλης-b, η αναμενόμενη εκπομπή φθορισμού της φαιοφυτίνης-b συμπίπτει με εκείνη της φαιοφυτίνης-a, και επιπλέον προκαλεί υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση της χλωροφύλλης-a και των φαιοχρωστικών, αντίστοιχα.

Η μέθοδος HPLC είναι μια χρήσιμη μέθοδος για την ποσοτικοποίηση φωτοσυνθετικών χρωστικών συμπεριλαμβανομένου της χλωροφύλλης-a, συναφών χρωστικών (πχ: χλωροφύλλες-b και c) και προϊόντων αποικοδόμησης των χλωροφυλλών (χλωροφυλλίδες, φαιοφορβίδες και φαιοφυτίνες). Η κατανομή των χρωστικών είναι χρήσιμη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της σύνθεσης της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας και της τροφικής δραστηριότητας του ζωοπλαγκτού.

Δειγματοληψία

Επειδή το φυτοπλαγκτό στο οποίο υπάρχει η χλωροφύλλη που θέλουμε να μετρήσουμε, είναι ιδιαίτερα άφθονο στο νερό των υδάτινων οικοσυστημάτων, αρκεί η συλλογή μιας ποσότητας νερού για τις μετρήσεις. Το δείγμα του νερού λαμβάνεται με μια από τις συνήθεις δειγματοληπτικές τεχνικές. Το υλικό κατασκευής των συσκευών δεν επηρεάζει τον προσδιορισμό των χλωροφυλλών. Η ποσότητα του δείγματος του νερού (άρα και του φυτοπλαγκτού που περιέχεται σε αυτό) εξαρτάται από την τροφικότητα της περιοχής και συνήθως είναι μεταξύ 0,5 και 1 λίτρα. Το δείγμα μπορεί να διατηρηθεί περίπου για 8 ώρες σε σκοτεινό και ψυχρό μέρος (όχι κατάψυξη), αν προστεθούν 0,2 ml αιωρήματος ανθρακικού μαγνησίου (1 gr MgCO₃ σε 100 ml νερού), για την δημιουργία κατάλληλων, ελαφρά αλκαλικών, συνθηκών που παρεμποδίζουν την έναρξη της αποσύνθεσης του φυτοπλαγκτού. Σε ευτροφικές περιοχές είναι προτιμότερο να γίνει μια πρώτη διήθηση με nylon δίχτυ διαμέτρου οπών 300 μm για να απομακρυνθεί το ζωοπλαγκτό.

Διήθηση – Συντήρηση

Η διήθηση του δείγματος είναι προτιμότερο να γίνεται αμέσως μετά την συλλογή του με ηθμό τύπου GF/F ή GF/A. Η διήθηση πρέπει να γίνεται σε χαμηλή πίεση για να μην σπάσουν τα τοιχώματα των φυτοπλαγκτικών κυττάρων και καταστραφούν οι χρωστικές. Σε δείγματα που θα φυλαχτούν πρέπει προς το τέλος της διήθησης να προστεθεί στον ηθμό αιώρημα ανθρακικού μαγνησίου. Οι ηθμοί πρέπει να τοποθετηθούν σε καταψύκτη σε θερμοκρασία περίπου -20 °C, σε πλήρες σκοτάδι. Τα δείγματα μπορούν να διατηρηθούν για αρκετές εβδομάδες.

Παραλαβή Χρωστικών (Pigment extraction)

Η εργασία με τα εκχυλίσματα χλωροφύλλης διεξάγεται σε χαμηλό φωτισμό προς αποφυγή αποικοδόμησής της. Χρησιμοποιούνται αδιαφανή δοχεία ή δοχεία τυλιγμένα με αλουμινόχαρτο. Οι χρωστικές λαμβάνονται από το φυτοπλαγκτό με υδατικό διάλυμα ακετόνης και η οπτική πυκνότητα (απορρόφηση) του εκχυλίσματος προσδιορίζεται με ένα φασματοφωτόμετρο. Η ευκολία με την οποία απομακρύνονται οι χλωροφύλλες από τα κύτταρα ποικίλει σημαντικά ανάμεσα στα διάφορα είδη φυκών. Για να επιτευχθεί σταθερή και ολοκληρωτική παραλαβή των χρωστικών, γίνεται μηχανική σύνθλιψη των κυττάρων.

Για την απομάκρυνση φυκών από το νερό προτιμώνται τα φίλτρα ινών υάλου. Οι ίνες υάλου βοηθούν στο σπάσιμο των κυττάρων κατά την μηχανική σύνθλιψη, μπορούν να διηθήσουν μεγαλύτερο όγκο νερού και αποτρέπουν τον σχηματισμό κατακριμνησμάτων μετά από οξίνιση. Αδρανή μεμβρανώδη φίλτρα, όπως φίλτρα πολυεστέρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις που οι παραπάνω παράγοντες δεν λαμβάνονται υπ' όψιν.

Όργανα και αντιδραστήρια:

1. Σκεύος μηχανικής σύνθλιψης
2. Φυγόκεντρος
3. Φυγόκεντρικοί σωλήνες, 15 ml με βιδωτό πώμα.
4. Φίλτρα υάλου ή μεμβρανώδη (0,45 μm πορώδες, 47 mm διάμετρος)
5. Κορεσμένο διάλυμα MgCO_3
6. Υδατικό διάλυμα ακετόνης

Διαδικασία παραλαβής χρωστικών:

1. Το δείγμα του νερού που συλλέχθηκε φιλτράρεται όσο το δυνατόν συντομότερα μετά τη συλλογή με τη χρήση ηθμών GFA. Πάνω σε αυτούς τους ηθμούς κατακρατείται όλο το φυτοπλαγκτό που υπήρχε στο δείγμα του νερού. Αν η διαδικασία πρέπει να καθυστερήσει, τα δείγματα του νερού διατηρούνται στον πάγο ή στους 4 °C, προστατευμένα από το φως, επειδή ακόμα και η σύντομη έκθεση στο φως μπορεί να αλλάξει την συγκέντρωση των χλωροφυλλών. Ηθμοί με δείγμα από νερό με pH 7 ή μεγαλύτερο μπορούν να αποθηκευτούν σε πλαστικές σακούλες, αεροστεγώς κλεισμένες, και να διατηρηθούν παγωμένοι για 3 εβδομάδες. Η επεξεργασία δειγμάτων από όξινα νερά γίνεται αμέσως μετά

την διήθηση για να αποφευχθεί η πιθανή αποικοδόμηση της χλωροφύλλης από τυχόν υπολείμματα όξινου νερού επάνω στον ηθμό. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται υαλικά και κυβέττες που είναι καθαρά και ελεύθερα από οξύ (acid-free).

2. Τοποθετούμε τον ηθμό που περιέχει το δείγμα του φυτοπλαγκτού στο σκεύος μηχανικής σύνθλιψης όπου έχουμε προσθέσει 10 ml διαλύματος ακετόνης 90 %. Η σύνθλιψη μπορεί να γίνεται και με το χέρι (με γυάλινη ή ξύλινη ράβδο) στο ίδιο σκεύος.
3. Μεταφέρουμε το εκχύλισμα σε έναν φυγοκεντρικό σωλήνα και ρυθμίζουμε τον συνολικό όγκο στα 10 ml προσθέτοντας υδατικό διάλυμα ακετόνης. Χρησιμοποιούμε τον διαλύτη με φειδώ και αποφεύγουμε την υπερβολική αραιώση των χρωστικών. Αφήνουμε τα δείγματα για τουλάχιστον 2 ώρες στους 4 °C στο σκοτάδι. Τα φίλτρα ιών υάλου με διάμετρο 25 και 47 mm έχουν ξηρό εκτόπισμα όγκου 0,03 και 0,10 ml αντίστοιχα και προκαλούν σφάλμα περίπου 0,3 και 1 % όταν ο όγκος του εκχυλίσματος είναι 10 ml.
4. Καθαρίζουμε το εκχύλισμα φυγοκεντρώντας σε κλειστούς σωλήνες για 20 min στα 500 g. Συλλέγουμε το υπερκείμενο σε έναν βαθμονομημένο φυγοκεντρικό σωλήνα των 15 ml και μετράμε τον τελικό όγκο του εκχυλίσματος.

Προετοιμασία για τη φωτομέτρηση

Το δείγμα πριν τη φωτομέτρηση αφήνεται να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου, προστατευμένο από το φως. Κατόπιν φυγοκεντρείται για 5 – 10 min σε ταχύτητα 3000 – 4000 rpm, ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά υπολείμματα. Η φωτομέτρηση γίνεται αμέσως μετά την φυγοκέντρωση και κατά τη διάρκειά της οι κυψελίδες πρέπει να μένουν σκεπασμένες για να μην εξατμίζεται η ακετόνη.

Φασματοφωτομετρικός Προσδιορισμός των Χλωροφυλλών-Τριχρωματική Μέθοδος

Όργανα και αντιδραστήρια:

1. Φασματοφωτόμετρο
2. Κυβέττες
3. Πιπέτες, 0,1 και 5 ml.

Φασματοφωτομετρική διαδικασία:

Το εκχύλισμα μεταφέρεται σε μια κυβέττα του 1 cm και λαμβάνεται η οπτική του πυκνότητα (optical density, OD) στα 750, 664, 647 και 630 nm. Επιλέγουμε μια αραιώση τέτοια ώστε η OD664 να είναι μεταξύ 0,1 και 1.

Χρησιμοποιούμε τις τιμές της οπτικής απορρόφησης στα 664, 647 και 630 nm για να προσδιορίσουμε την χλωροφύλλη-a, b και c αντίστοιχα. Η οπτική απορρόφηση στα 750 nm χρησιμοποιείται για την διόρθωση της θολερότητας. Αφαιρούμε αυτή την ένδειξη από όλες τις άλλες, πριν αρχίσουμε τους υπολογισμούς. Επειδή η οπτική απορρόφηση του εκχυλίσματος στα 750 nm είναι πολύ ευαίσθητη σε αλλαγές στην αναλογία ακετόνης / νερού, τηρούμε πιστά την αναλογία 90 μέρη ακετόνης / 10 μέρη νερού κατά την εξαγωγή των χρωστικών. Η θολερότητα μπορεί να απομακρυνθεί με φυγοκέντριση για 20 min στα 500 g.

Υπολογίζουμε τις συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών-a, b και c του εκχυλίσματος βάζοντας τις διορθωμένες τιμές της οπτικής πυκνότητας στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$C_a = 11.85(OD664) - 1.54(OD647) - 0.08(OD630)$$

$$C_b = 21.03(OD647) - 5.43(OD664) - 2.66(OD630)$$

$$C_c = 24.52(OD630) - 7.60(OD647) - 1.67(OD664)$$

όπου:

C_a, C_b, C_c : συγκέντρωση χλωροφύλλης-a, b και c αντίστοιχα, mg/ m³

OD664, OD647, OD630 : οι διορθωμένες οπτικές πυκνότητες (με 1 cm light path) στα αντίστοιχα μήκη κύματος.

Αφού έχουν προσδιοριστεί οι συγκεντρώσεις των χρωστικών στο εκχύλισμα, υπολογίζεται η ποσότητα των χρωστικών ανά μονάδα όγκου:

$$\text{Chlorophyll-a (σε mg/m}^3\text{)} = \frac{C_a \times \text{όγκος εκχυλίσματος}}{\text{όγκος δείγματος}}$$

Τα κατώτερα όρια ανίχνευσης με τη μέθοδο αυτή είναι 0,02 mg/m³ για την χλωροφύλλη-a και 0,04 mg/m³ για τις χλωροφύλλες b και c για διήθηση 10 ml αρχικού δείγματος.

ΑΣΚΗΣΗ 3^η

ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟ

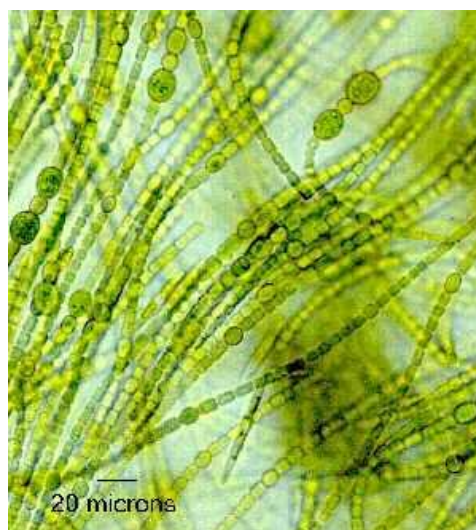
1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο φυτοπλαγκτό ανήκουν όλοι οι υδρόβιοι μικροσκοπικοί οργανισμοί που περιέχουν χλωροφύλλη, ή και άλλες χρωστικές και μπορούν να επιτελέσουν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Πρόκειται για μονοκύτταρους ή πολυκύτταρους οργανισμούς, από τους οποίους οι απλούστεροι είναι προκαρυωτικοί, ενώ οι υπόλοιποι ευκαρυωτικοί. Το μέγεθος των οργανισμών αυτών είναι πολύ μικρό (2-200 μm) και έτσι η παρατήρησή τους απαιτεί τη χρήση μικροσκοπίου. Το φυτοπλαγκτό υποδιαιρείται σε ομάδες η βασική διάκριση των οποίων είναι, όπως ειπώθηκε πριν, τα προκαρυωτικά και τα ευκαρυωτικά.

A) ΚΥΑΝΟΦΥΚΗ Ή ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ

Τα προκαρυωτικά φύκη περιλαμβάνουν το άθροισμα των κυανοφυκών, που ονομάζονται επίσης και κυανοβακτήρια, εξαιτίας της απλότητάς τους. Περιέχουν χλωροφύλλη, αλλά και άλλες χρωστικές, όπως την φυκοκυανίνη, από την οποία πήραν και το όνομά τους. Συχνά σχηματίζουν νηματοειδείς μορφές από πολλά κύτταρα. Χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι των κυανοφυκών είναι τα γένη *Anabaena*,

Εικόνα 1. Κάτω: Χαρακτηριστική μορφή αλυσίδας από κυανοφύκη του γένους *Anabaena* sp.
Δεξιά: Νηματοειδείς σχηματισμοί του γένους *Nostoc* sp., όπου διακρίνονται οι ετεροκύστες ως ευμεγέθη σφαιρικά σωμάτια.



Oscillatoria, *Aphanizomenon*, *Spirulina*, *Nostoc* κ.τ.λ. (Εικόνα 1). Μερικά γένη (π.χ. *Nostoc*) έχουν εξειδικευμένα κύτταρα στα οποία δεσμεύεται το ατμοσφαιρικό άζωτο και τα οποία ονομάζονται ετεροκύστεις.

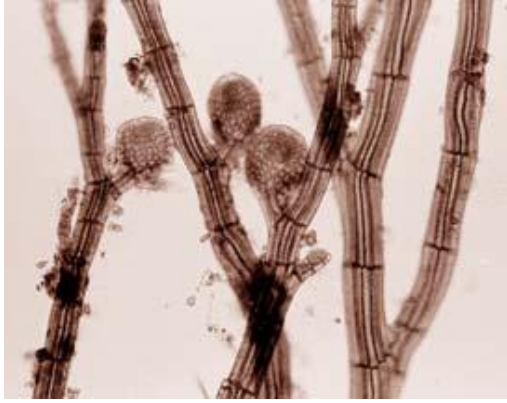
B) ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΦΥΚΗ

Τα ευκαρυωτικά φύκη περιλαμβάνουν αρκετά αθροίσματα και κλάσεις. Τα ονόματα των αθροισμάτων συχνά φανερώνουν τις φωτοσυνθετικές χρωστικές που υπάρχουν σε αυτά: π.χ. Rhodophyta (ροδοφύκη), Chrysophyceae (χρυσοφύκη), Phaeophyceae, (Φαιοφύκη), Chlorophyta (χλωροφύκη). Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στα σημαντικότερα αθροίσματα των ευκαρυωτικών φυκών και σε κάποιους από τους αντιπροσώπους τους.

1) ΑΘΡΟΙΣΜΑ: RHODOPHYTA

Τα ροδοφύκη είναι οργανισμοί που συναντώνται κυρίως στη θάλασσα (περίπου 4000 είδη), ενώ υπάρχουν λίγα είδη προσαρμοσμένα σε γλυκά νερά. Το κόκκινο χρώμα των ροδοφυκών οφείλεται στη χρωστική φυκοερυθρίνη, ενώ υπάρχει επίσης και η χλωροφύλλη-a, η φυκοκυανίνη, αλλά δεν υπάρχει χλωροφύλλη-b. Η κόκκινη χρωστική που υπάρχει στα ροδοφύκη απορροφά στο πράσινο και στο ιώδες χρώμα και για το λόγω αυτό οι οργανισμοί αυτοί βρίσκονται σε βαθιά νερά. Τα ροδοφύκη είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί οργανισμοί: τμήματά τους, αφού επιβιώσουν τις δυσμενείς συνθήκες του χειμώνα, ή θαφτούν κάτω από την άμμο, μπορούν να δώσουν στη συνέχεια νέα άτομα. Τα περισσότερα ροδοφύκη ζουν προσκολλημένα σε βραχώδεις θαλάσσιες ακτές. Υπάρχουν λίγα μονοκύτταρα είδη, όμως στην πλειοψηφία τους είναι πολυκύτταροι οργανισμοί. Χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι που θα δούμε από τα ροδόφυτα ανήκουν στο γένος *Polysiphonia sp.* (Εικόνα 2).

- Το γένος *Polysiphonia sp.* μπορεί εύκολα να αναγνωριστεί. Στο μικροσκόπιο παρατηρεί κανείς μεταμερή τμήματα που δημιουργούν κλάδους. Η αναπαραγωγή του *Polysiphonia sp.* γίνεται από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο και είναι αρκετά περίπλοκη. Τα αναπαραγωγικά όργανα διακρίνονται εύκολα στους κλώνους των ατόμων ως σφαιρικά κυστίδια, που ονομάζονται κυστοκάρπια (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Το γένος *Polysiphonia* sp. με τη χαρακτηριστική μορφή των κυστοκαρπίων.

2) ΑΘΡΟΙΣΜΑ: ΗΤΕΡΟΚΟΝΤΟΦΥΤΑ

Το άθροισμα αυτό περιλαμβάνει αρκετές κλάσεις φυκών από τις οποίες οι σημαντικότερες είναι τα χρυσοφύκη, τα ξανθοφύκη, τα φαιοφύκη και τα βακιλλαριοφύκη ή διάτομα (όπως είναι πιο γνωστά). Από τις παραπάνω κλάσεις επιλέξαμε να παρατηρήσουμε χαρακτηριστικές μορφές διατόμων (Εικόνα 3). Τα διάτομα είναι μονοκύτταρα ή αποικιακά φύκη, όπου κάθε κύτταρο περιβάλλεται από ένα πυριτικό κέλυφος που ονομάζεται θήκη. Τα διάτομα έχουν ευρεία εξάπλωση τόσο σε θαλασσινά όσο και σε γλυκά νερά και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στη μορφή και το μέγεθός τους.



Εικόνα 3. Διάφορα είδη διατόμων του γλυκού νερού.

3) ΑΘΡΟΙΣΜΑ: ΔΙΝΟΦΥΤΑ ή ΔΙΝΟΜΑΣΤΙΓΩΤΑ

Τα δινομαστιγωτά είναι μονοκύτταρα φύκη με δύο μαστίγια και χαρακτηριστικά τόσο αυτότροφων, όσο και ετερότροφων οργανισμών. Έχουν καταγραφεί περίπου 2000

είδη δινομαστιγωτών, τα περισσότερα από τα οποία ζουν στα επιφανειακά νερά, τόσο στη θάλασσα, όσο και σε υφάλμυρα και γλυκά νερά. Περίπου το 90 % των ειδών είναι θαλάσσια. Πολλά πλαγκτικά είδη φέρουν κερατοειδείς αποφύσεις, μεμβρανώδεις προεκτάσεις, ή πτέρυγες με ποικίλα σχήματα. Από τους πιο χαρακτηριστικούς αντιπροσώπους των δινομαστιγωτών είναι το γένος *Ceratium* sp. (Εικόνα 4).

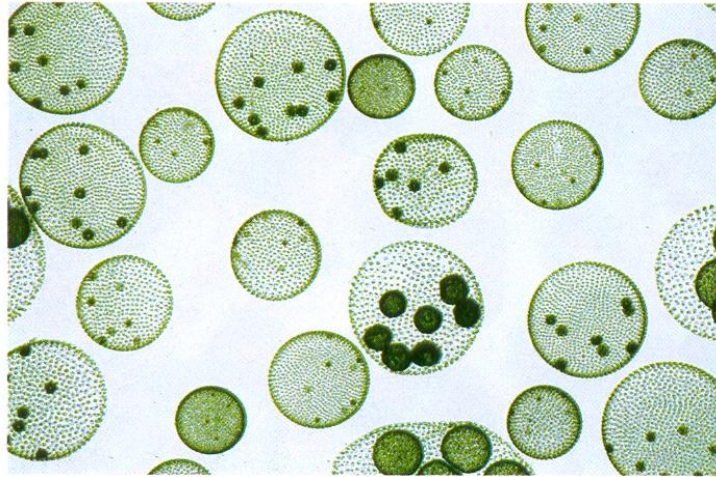


Εικόνα 4. Δύο άτομα που ανήκουν στο είδος *Ceratium hirundinella* που ζει στα γλυκά νερά.

4) ΑΘΡΟΙΣΜΑ: CHLOROPHYTA

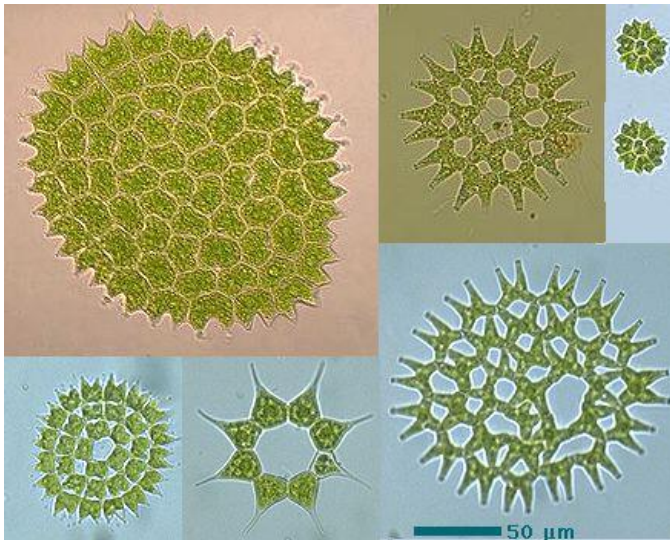
Το άθροισμα των χλωρόφυτων περιλαμβάνει αρκετές κλάσεις από τις οποίες επιλέξαμε να δούμε κάποιους χαρακτηριστικούς αντιπροσώπους. Οι κλάσεις αυτές είναι: α) τα χλωροφύκη, β) τα ζυγνεματοφύκη, γ) τα ουλβοφύκη και δ) τα κλαδοφοροφύκη.

α) Χλωροφύκη. Τα χλωροφύκη εμφανίζουν τεράστια ποικιλία μορφών (μαστιγωτά, αποικιακά με μαστίγια και χωρίς, μονοκύτταρα κοκκοειδή, νηματοειδή κ.τ.λ.) και αναπτύσσονται σχεδόν αποκλειστικά στα γλυκά νερά, ενώ αρκετά ζουν στην ξηρά και ελάχιστα σε υφάλμυρα νερά και στη θάλασσα. Υπάρχουν περίπου 350 γένη με 2650 είδη συνολικά. Από την κλάση αυτή θα δούμε τους ακόλουθους αντιπροσώπους: *Volvox* sp., *Pediastrum* sp., *Hydrodictyon* sp. και *Chlorella* sp.



Εικόνα 5. Αποικίες του γένους *Volvox* sp. με θυγατρικές αποικίες στο εσωτερικό τους.

- Το γένος *Volvox* sp. περιλαμβάνει αποικιακές μορφές (Εικόνα 5) με μαστιγοφόρα κύτταρα. που ζουν στα γλυκά νερά και στη θάλασσα.



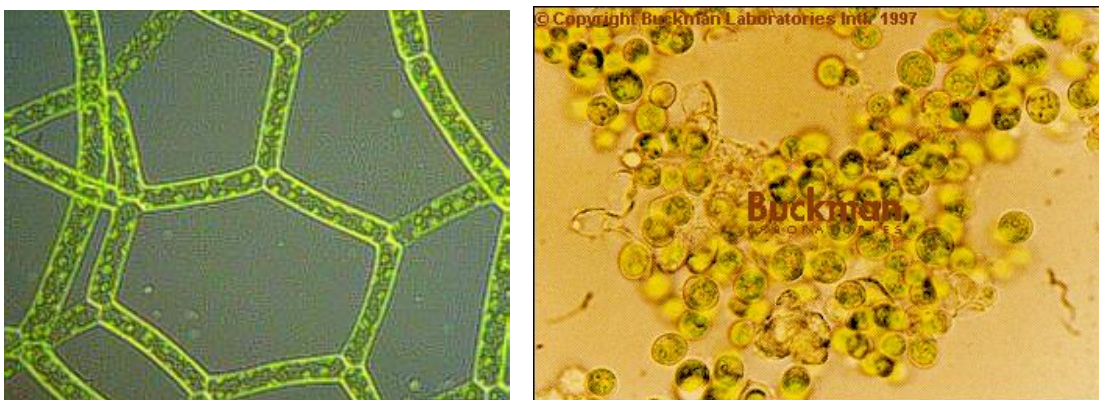
Εικόνα 6. Ποικίλες μορφές των αποικιών του γένους *Pediastrum* sp.

- Το γένος *Pediastrum* sp. αποτελείται από είδη που σχηματίζουν αποικίες σφαιρικές, επίπεδες, πάχους ενός κυττάρου με ακτινωτά διατεταγμένα κύτταρα (Εικόνα 6). Τα είδη *Pediastrum* απαντώνται πολύ συχνά στο φυτοπλαγκτό εύτροφων εσωτερικών υδάτων.

- Το γένος *Hydrodictyon* sp. συναντάται στα γλυκά νερά και σχηματίζει κοινόβιο, το οποίο αποτελείται από πολύγωνα που σχηματίζουν δίκτυο (Εικόνα 7). Από αυτό το χαρακτηριστικό πήρε άλλωστε και το όνομά του. Κάθε γωνία των πολυγώνων αποτελείται από τρία μεγάλα κυλινδρικά κύτταρα.

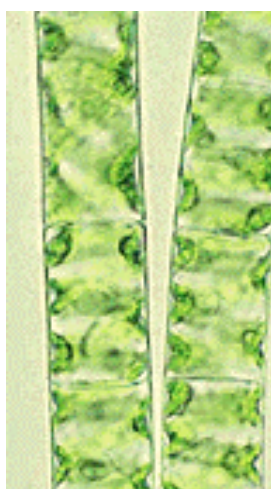
- Το γένος *Chlorella* sp. αποτελείται από 10 είδη με μικρά, σφαιρικά έως ελλειψοειδή κύτταρα (Εικόνα 7). Απαντάται στο έδαφος, αλλά και σε γλυκά και

θαλασσινά νερά. Η *Chlorella* καλλιεργείται έχοντας υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών, σακχάρων, βιταμινών και καροτενίων, ενώ από αυτή παράγεται και το αντιβιοτικό chlorellin.



Εικόνα 7. Αριστερά: Η χαρακτηριστική μορφή δικτύου από την οποία πήρε το ονομά του το γένος *Hydrodictyon* sp. Δεξιά: Μονοκύτταρα άτομα του γένους *Chlorella* sp.

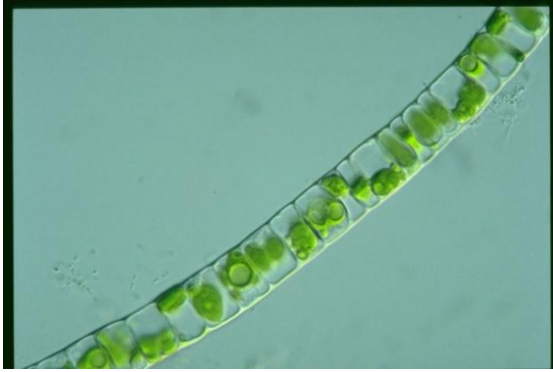
β) Ζυγνεματοφύκη. Τα είδη αυτής της κλάσης είναι είτε κοκκοειδή, είτε νηματοειδή χωρίς διακλαδώσεις. Τα ζυγνεματοφύκη ζουν σχεδόν αποκλειστικά σε γλυκά νερά, με εξαίρεση κάποια είδη *Spirogyra* τα οποία αντέχουν σε υφάλμυρα περιβάλλοντα.



Ελάχιστα είδη είναι χερσαία. Είναι γνωστά περίπου 4000-6000 είδη. Χαρακτηριστικός αντιπρόσωπος αυτής της κλάσης είναι το γένος *Spirogyra* sp. Πρόκειται για ένα νηματοειδές μη διακλαδιζόμενο χλωροφύκος με κυλινδρικά κύτταρα, καθένα από τα οποία περιέχει έναν ή περισσότερους σπειροειδείς χλωροπλάστες (Εικόνα 8).

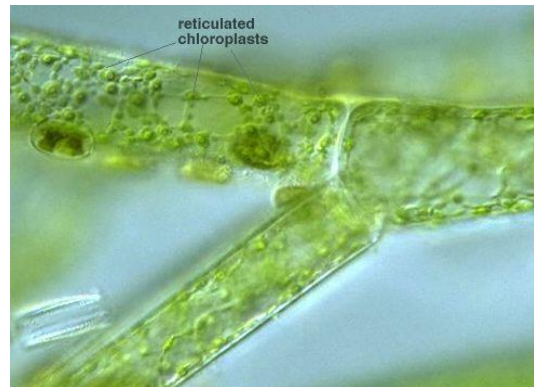
Εικόνα 8. Η χαρακτηριστική μορφή του γένους *Spirogyra* sp. με τους σπειροειδείς χλωροπλάστες.

γ) Ουλβοφύκη. Τα ουλβοφύκη παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία μορφών καθώς περιλαμβάνουν είδη κοκκοειδή (μονοκύτταρες μη μαστιγωτές μορφές), νηματοειδή (μορφές διακλαδιζόμενες ή μη) και πολλά είδη με φυλλοειδείς θαλλούς. Ένας αντιπρόσωπος αυτής της κλάσης είναι το γένος *Ulothrix* sp. Τα είδη αυτού του γένους έχουν τη μορφή μη διακλαδιζόμενου πολυκύτταρου νήματος. Κάθε κύτταρο περιέχει έναν πυρήνα και τοιχωματικό ζωνοειδή χλωροπλάστη (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Η χαρακτηριστική μορφή του γένους *Ulothrix* sp. με τους ζωνοειδείς χλωροπλάστες.

δ) Κλαδοφοροφύκη. Η κλάση αυτή περιλαμβάνει είδη που αποτελούνται από πολυπύρρηνα κύτταρα, τα οποία σχηματίζουν νήματα διακλαδιζόμενα ή μη. Υπάρχουν περίπου 30 γένη με περισσότερα από 400 είδη, τα περισσότερα από τα οποία είναι θαλάσσια. Ένας χαρακτηριστικός αντιπρόσωπος της κλάσης είναι το γένος *Cladophora* sp. Πρόκειται για νηματοειδή διακλαδιζόμενα φύκη που συναντώνται κυρίως σε εύκρατες και τροπικές περιοχές. Τα κύτταρα είναι πολυπύρρηνα και περιέχουν πολλούς τοιχωματικούς χλωροπλάστες, οι οποίοι έχουν τη μορφή γωνιώδους δίσκου και σχηματίζουν ένα δίκτυο (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Αριστερά: Η νηματοειδής μορφή του γένους *Cladophora* sp. Δεξιά: Λεπτομέρεια όπου φαίνεται το χαρακτηριστικό σχήμα των χλωροπλάστων.

ΑΣΚΗΣΗ 4^η

ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟ

Το ζωοπλαγκτό της θάλασσας διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, το ολοπλαγκτό και το μεροπλαγκτό. Στο ολοπλαγκτό ανήκουν όλοι οι οργανισμοί που αποτελούν μέρος του πλαγκτού σε όλη τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου, ενώ οι μεροπλαγκτικοί οργανισμοί περνούν ένα μέρος της ζωής τους ως πλαγκτικοί οργανισμοί και το υπόλοιπο μέρος ανήκουν στο βένθος, ή στο νηκτό. Δηλαδή, ουσιαστικά στο μεροπλαγκτό ανήκουν τα αυγά και τα προνυμφικά στάδια βενθικών και νηριτικών οργανισμών. Μέρος του μεροπλαγκτού αποτελούν τα αυγά και οι προνύμφες των ψαριών, που ονομάζονται ιχθυοπλαγκτό.

Το ζωοπλαγκτό με βάση το μέγεθός του διακρίνεται χονδρικά σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- α) το μικροζωοπλαγκτό (με μέγεθος από 50-200 μm),
- β) το μεσοζωοπλαγκτό (με μέγεθος από 200-500 μm) και
- γ) το μακροζωοπλαγκτό (με μέγεθος > 500 μm).

Η πολυπληθέστερη από τις παραπάνω ομάδες, στην οποία συναντάται και η μεγαλύτερη ποικιλία οργανισμών είναι το μεσοζωοπλαγκτό. Οι σημαντικότεροι οργανισμοί του θαλάσσιου μεσοζωοπλαγκτού ανήκουν στις παρακάτω ταξινομικές κατηγορίες:

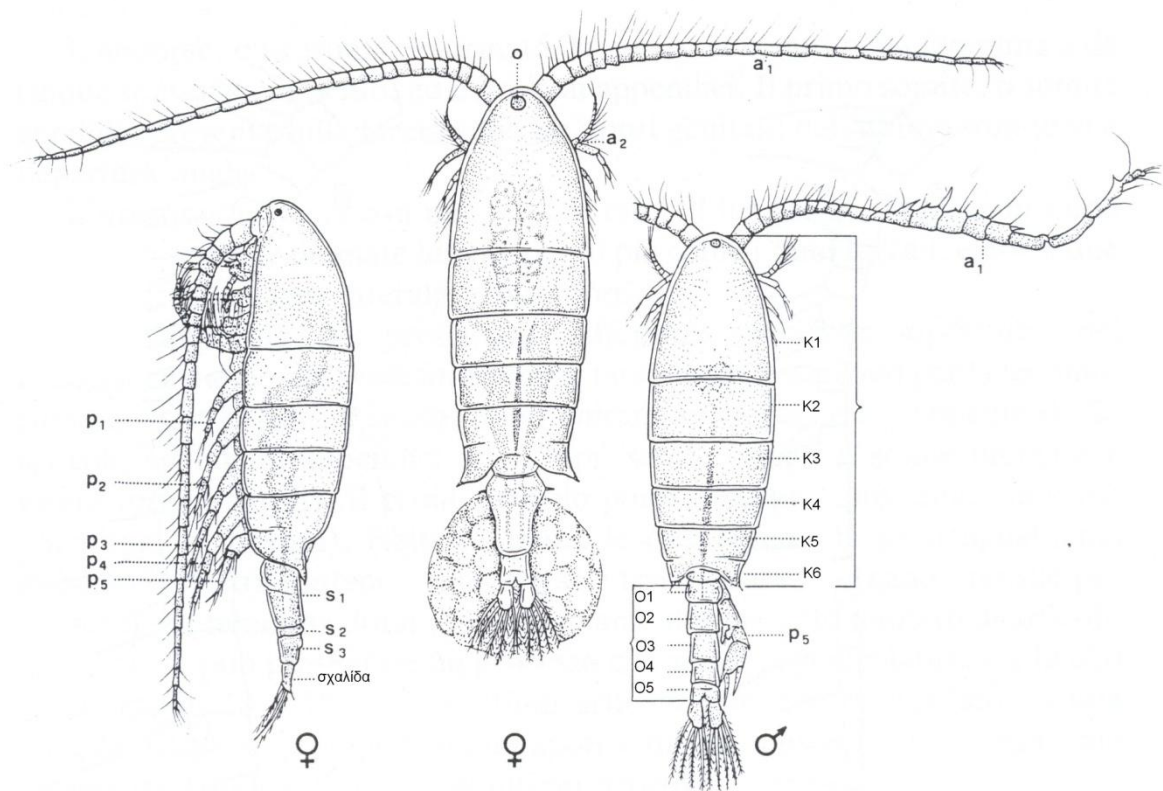
1. Συνομοταξία: **Αρθρόποδα,**

Ομοταξία: **Καρκινοειδή**

Στην ομοταξία καρκινοειδή συναντά κανείς τις παρακάτω ομάδες:

A) Κωπήποδα. Είναι οι πολυπληθέστεροι οργανισμοί του ζωοπλαγκτού (70-90 %) σε όλες τις θάλασσες και τους ωκεανούς. Είναι μικρού μεγέθους οργανισμοί (0.2 - 2 cm). Η εξωτερική μορφολογία ενός τυπικού κωπηπόδου φαίνεται στην Εικόνα 1. Το σώμα ενός κωπηπόδου αποτελείται από τον κεφαλοθώρακα, που φέρει τα σωματικά εξαρτήματα και το ουρόσωμα (ή κοιλιά) χωρίς εξαρτήματα. Ο 1^{ος} δακτύλιος στο

ουρόσωμα ονομάζεται γεννητικός και είναι διογκωμένος στα ενήλικα θηλυκά. Στο εμπρός μέρος του κεφαλοθώρακα υπάρχει ζεύγος κεραιών, η μία εκ των οποίων φέρει χαρακτηριστική διόγκωση στα αρσενικά άτομα. Μια ακόμη διάκριση των αρσενικών από τα θηλυκά ενήλικα κωπήποδα βασίζεται στο σχήμα του 5^{ου} ποδιού. Η ανάπτυξη στα κωπήποδα ξεκινάει από το ναύπλιο (Εικόνα 2) που εκκολάπτεται από το αυγό και περιλαμβάνει μια σειρά από στάδια (κωπηποδίτες).



Εικόνα 1. Εξωτερική μορφολογία ενός αρσενικού και δύο θηλυκών κωπηπόδων. P1-P5: τα κολυμβητικά πόδια. O1-O5: ουροσωματικοί δακτύλιοι. K1-K6: τμήματα του κεφαλοθώρακα. a1: κεραιά. a2: κεραιίδιο.



Εικόνα 2. Αριστερά: Ενήλικο κωπήποδο και κωπηποδίτης. Δεξιά: Ναύπλιος κωπηπόδου.

B) Κλαδοκεραιωτά. Τα κλαδοκεραιωτά είναι οργανισμοί μικρού μεγέθους (1-2 mm). Στη Μεσόγειο έχουν βρεθεί και αναγνωριστεί μόνο 7 είδη, που ανήκουν στα γένη *Evadne sp.*, *Podon sp.* και *Penillia sp.* Το σώμα τους περιβάλλεται από δίθυρο κέλυφος με το κεφάλι να μένει πάντα απ' έξω, ενώ είναι χαρακτηριστικό ένα σύνθετο μάτι στο κεφάλι (Εικόνα 3). Πολλαπλασιάζονται παρθενογενετικά. Τα προνυμφικά τους στάδια μοιάζουν με τα ενήλικα άτομα.



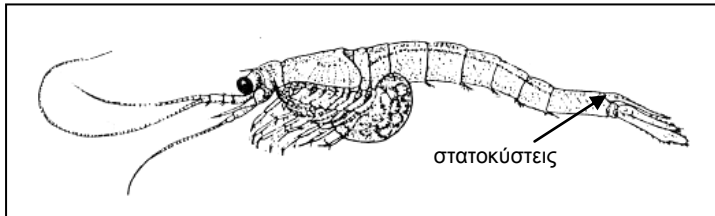
Εικόνα 3. Πάνω αριστερά: κλαδοκεραιωτό του γένους *Penillia sp.*
 Πάνω δεξιά: κλαδοκεραιωτό του γένους *Evadne sp.*
 Κάτω αριστερά: κλαδοκεραιωτό του γένους *Podon sp.*

Γ) Ευφασεώδη. Έχουν μεγάλο μέγεθος (συνήθως από 10 - 60 mm). Μοιάζουν με μικρές γαρίδες αλλά διαφέρουν από αυτές στα εξής: α) έχουν εξωτερικά βράγχια που διακρίνονται κάτω από τον κεφαλοθώρακά τους σαν κρόσσια, β) δεν έχουν ιδιαίτερα μακρύ τον τελευταίο ουροσωματικό τους δακτύλιο. Οι προνύμφες των ευφασεωδών είναι: ναύπλιος – μεταναύπλιος – calyptopis (Εικόνα 4) – furcilia και post-larva (που μοιάζει με το ενήλικο).



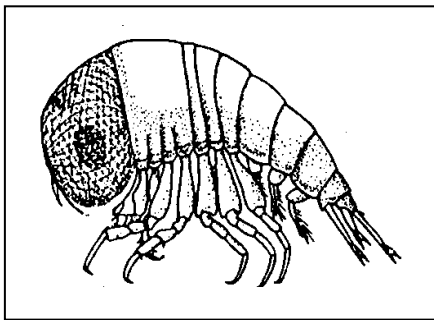
Εικόνα 4. Μία προνύμφη ευφασεώδους που ανήκει στο στάδιο calyptopis.

Δ) Μυσιδώδη. Τα μυσιδώδη μοιάζουν με τα ευφασεώδη αλλά ξεχωρίζουν από αυτά στα εξής: α) στο τέλος φέρουν ένα πολύ χαρακτηριστικό ζεύγος από στατοκύστεις, β) ο κεφαλοθώρακάς τους είναι χαλαρά συνδεδεμένος με το σώμα τους, γ) δεν έχουν εξωτερικά βράγχια (Εικόνα 5).



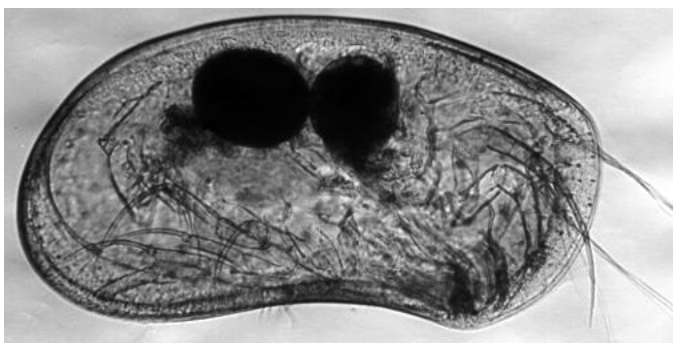
Εικόνα 5. Ένα μυσιδώδες όπου διακρίνονται οι δύο στατοκύστεις

Ε) Αμφίποδα. Τα αμφίποδα έχουν σώμα πλευρικά πιεσμένο και κυρτό και στο κεφάλι τους φέρουν μεγάλα σύνθετα μάτια. Έχουν μέγεθος από 2-10 mm (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Ένα τυπικό αμφίποδο.

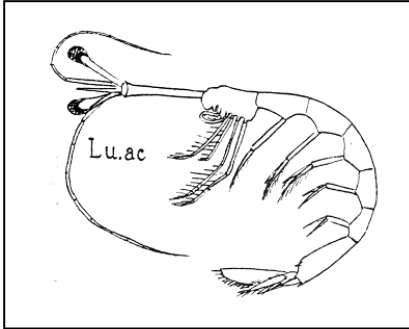
ΣΤ) Οστρακώδη. Τα οστρακώδη μοιάζουν με τα κλαδοκεραιωτά, δηλαδή έχουν δίθυρο κέλυφος και περίπου το ίδιο μέγεθος, αλλά το κεφάλι και τα περισσότερα από τα εξαρτήματά τους βρίσκονται μέσα στο κέλυφος. Είναι οργανισμοί βενθικοί και μόνο η οικογένεια *Conchoecia* είναι ολοπλαγκτική. Οι προνύμφες τους μοιάζουν με τα ενήλικα άτομα (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Ένα τυπικό οστρακώδες.

Ζ) Δεκάποδα. Τα περισσότερα από τα δεκάποδα είναι οργανισμοί βενθικοί (π.χ. αστακοί, καβούρια, караβίδες), ή ανήκουν στο νηκτό (π.χ. γαρίδες). Από τους λίγους

αντιπρόσωπους των ολοπλαγκτικών δεκαπόδων είναι το γένος *Lucifer sp.* που ζει στα επιφανειακά νερά των θερμών περιοχών (Εικόνα 8). Οι προνύμφες των μεροπλαγκτικών δεκαπόδων έχουν ποικιλία μορφών, συχνά με περίεργα έμισχα μάτια, ή με ακανθώδεις προεξοχές. Διακρίνονται από τα ευφαισεώδη από τον πολύ μακρύ τελευταίο ουροσωματικό τους δακτύλιο (Εικόνα 8).

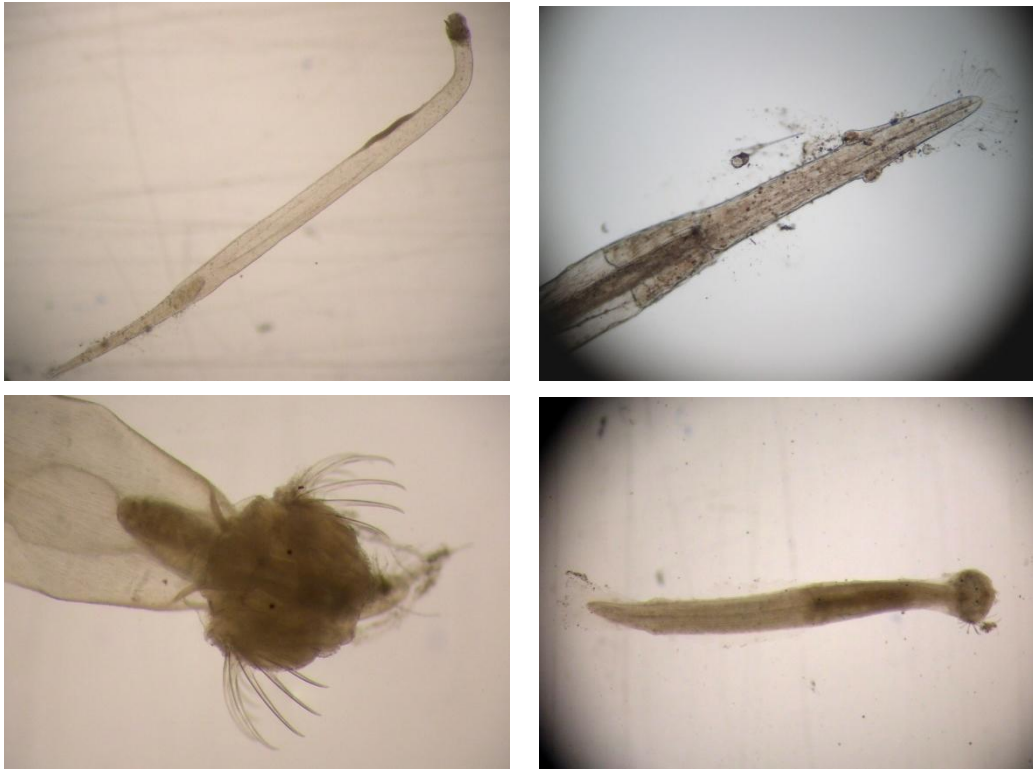


Εικόνα 8. Αριστερά: ένα ολοπλαγκτικό δεκάποδο που ανήκει στο γένος *Lucifer sp.* Κάτω: προνύμφες από γαρίδες (διακρίνεται το μεγάλο μήκος του ουροσωματικού τους δακτυλίου).



2. Συνομοταξία: **Χαιτόγναθα**

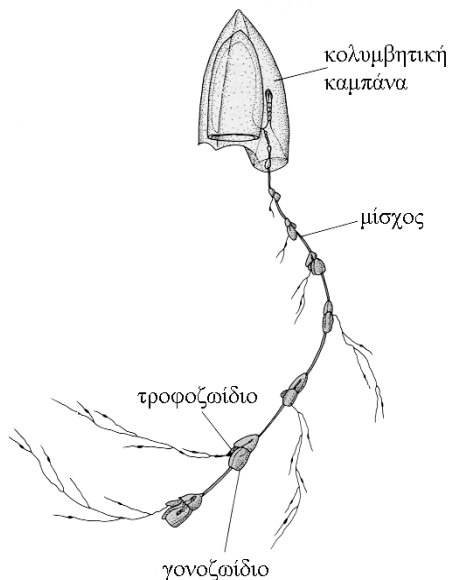
Τα χαιτόγναθα είναι σαρκοφάγοι οργανισμοί που τρέφονται κυρίως με κοπήποδα. Είναι διαφανή, με μορφή βέλους και είναι ερμαφρόδιτοι οργανισμοί. Οι ωθήκες βρίσκονται στο τέλος του κορμού, ενώ οι δύο όρχεις στην ουρά. Στα ώριμα άτομα δεξιά και αριστερά στην ουρά διακρίνονται οι σπερματικές κύστεις, στις οποίες αποθηκεύεται το ώριμο σπέρμα και αποτελούν συστηματικούς χαρακτήρες για την αναγνώριση αυτών των οργανισμών (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Πάνω αριστερά: ένα άτομο του είδους *Sagitta setosa*. Πάνω δεξιά: οι ωσθήκες και οι σπερματικές κύστεις του ίδιου ατόμου. Κάτω αριστερά: ένα άτομο του είδους *Sagitta inflata* που έχει φάει δύο κωπήποδα. Κάτω δεξιά: ένα άτομο του είδους *Spadella cephaloptera* που είναι “δείκτης” του Ατλαντικού νερού που εισέρχεται στη Μεσόγειο.

3. Συνομοταξία: Κνιδόζωα

Από τα κνιδόζωα στα δείγματα του ζωοπλαγκτού βρίσκουμε συνήθως ολοπλαγκτικές σκυφομέδουσες, μεροπλαγκτικές υδρομέδουσες, αλλά και πολλά σιφωνοφόρα, τα οποία είναι ολοπλαγκτικοί οργανισμοί που ζουν σε αποικίες. Από αυτές τις αποικίες όμως στα δείγματα βρίσκουμε μόνο μεμονωμένα άτομα, ή τις κολυμβητικές καμπάνες της αποικίας (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Αριστερά: μια τυπική αποικία σιφωνοφόρων. Πάνω: προνύμφη από μια υδρομέδουσα του γένους *Obelia* sp.

4. Συνομοταξία: **Πολύχαιτοι**

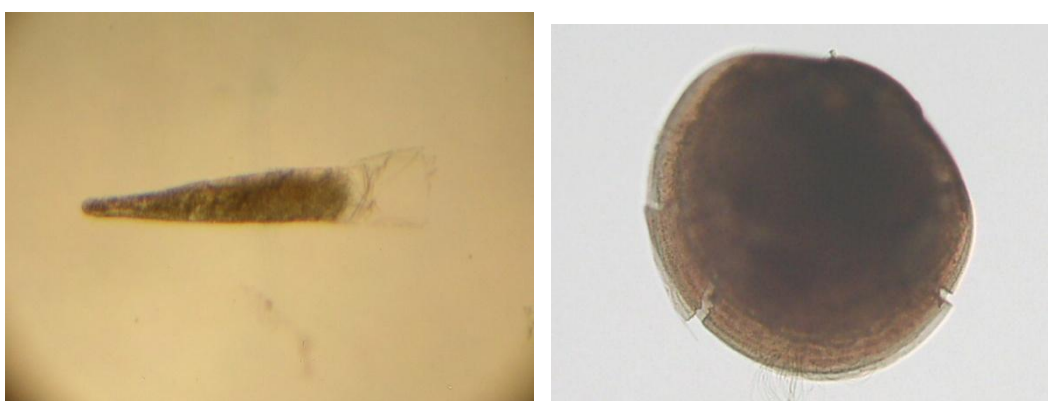
Οι περισσότεροι από τους θαλάσσιους πολύχαιτους είναι βενθικοί και στα δείγματα του ζωπλαγκτού βρίσκουμε τις προνύμφες τους, υπάρχουν όμως και λίγα ολοπλαγκτικά γένη, όπως το γένος *Tomopteris* sp. (Εικόνα 11). Το χαρακτηριστικό των προνυμφών των πολυχαίτων είναι η μεταμέρεια του σώματός τους, καθώς και τα παραπόδια που συχνά μοιάζουν με μακριές τρίχες.



Εικόνα 11. Αριστερά: ένας ολοπλαγκτικός πολύχαιτος του γένους *Tomopteris* sp. Δεξιά: μία προνύμφη ενός βενθικού είδους πολυχαίτου.

5. Συνομοταξία: **Μαλάκια**

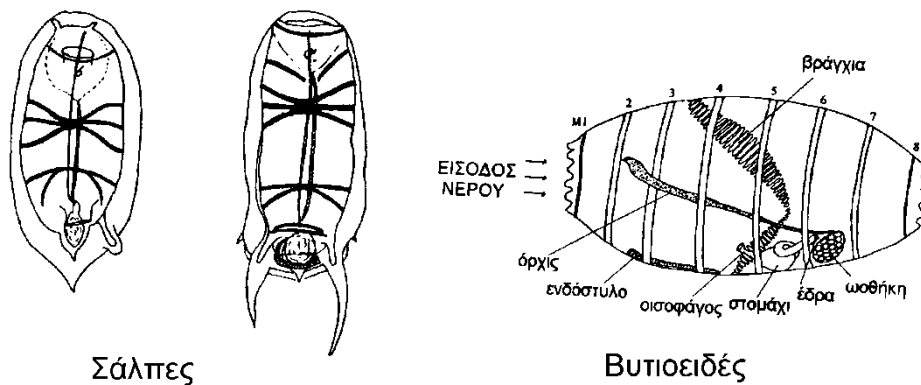
Στα δείγματα του ζωπλαγκτού συναντώνται ολοπλαγκτικά γαστερόποδα μαλάκια, τα οποία διακρίνονται σε πτερόποδα (με κέλυφος ή χωρίς) και σε ετερόποδα (Εικόνα 12). Επίσης, συναντώνται προνύμφες βενθικών διθύρων μαλακίων, που έχουν τη χαρακτηριστική μορφή ενός κοχυλιού.



Εικόνα 12. Αριστερά: πτερόποδο μαλάκιο με κέλυφος. Δεξιά: μία προνύμφη ενός διθύρου μαλακίου.

6. Συνομοταξία: Ουροχορδωτά

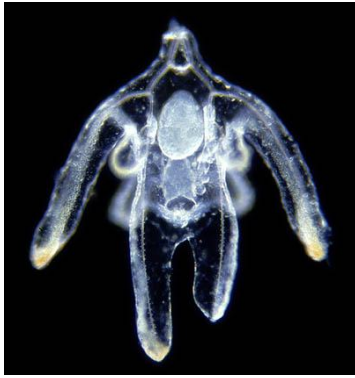
Τα ουροχορδωτά περιλαμβάνουν τους κωπηλάτες και τα θαλιώδη (σάλπες, βυτιοειδή). Το σώμα των κωπηλατών αποτελείται από το εμπρόσθιο μέρος που φέρει τα όργανα και μοιάζει με κεφάλι, και την ουρά που φέρει μόνο τη νωτιαία χορδή. Οι σάλπες και τα βυτιοειδή είναι ζελατινώδεις οργανισμοί και έχουν σχήμα βαρελοειδές. Το σώμα τους περιβάλλεται από κυκλικές μυϊκές ταινίες οι οποίες στα βυτιοειδή είναι παράλληλες, ενώ στις σάλπες όχι (Εικόνα 13).



Εικόνα 13. Πάνω: δύο σάλπες και ένα βυτιοειδές.
Αριστερά: δύο κωπηλάτες όπου διακρίνεται το κεφάλι και η ουρά τους.

7. Συνομοταξία: Εχινόδερμα

Στα δείγματα του ζωοπλαγκτού συναντάμε σε μικρούς αριθμούς και προνύμφες εχινόδερμων, που έχουν ποικιλία σχημάτων. Στην Εικόνα 14 φαίνονται τρεις προνύμφες που ανήκουν σε αστερίες, οφιουροειδή και αχινούς.



Εικόνα 14. Πάνω αριστερά: μία προνύμφη οφιουροειδούς. Πάνω δεξιά: δύο προνύμφες αστερία. Αριστερά: μία προνύμφη αχινού.

ΑΣΚΗΣΗ 5^η

ΛΙΜΝΑΙΟ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Το λιμναίο ζωοπλαγκτό χαρακτηρίζεται από μικρό αριθμό ειδών και ψηλές πυκνότητες σε κάποιες περιόδους. Ο αριθμός των ειδών μίας λίμνης εξαρτάται κυρίως από το βαθμό τροφισμού και το βάθος της λίμνης, ενώ η σύνθεση της ζωοπλαγκτικής κοινότητας και οι χρονικές μεταβολές της επηρεάζονται κυρίως από τη θερμοκρασία, την τροφή και τη θήρευση. Στη σύνθεση της ζωοπλαγκτικής κοινότητας των λιμνών συμμετέχουν τρεις κύριες ομάδες: η συνομοταξία των Τροχοζώων (Rotifera), η τάξη των κλαδοκεραιωτών (Cladocera) και η κλάση των κωπηπόδων (Copepoda) με τις τάξεις των καλανοειδών (Calanoida) και κυκλοποειδών (Cyclopoidea). Συμμετέχουν επίσης τα πρωτόζωα και περιστασιακά (δηλαδή ζουν σε πλαγκτική μορφή ορισμένα στάδια μόνο της ζωής τους) προνύμφες εντόμων, Μαλακίων, κοιλεντερόζωων και ψαριών.

A. ΚΩΠΗΠΟΔΑ

Τα κωπήποδα, τα οποία διαχωρίζονται στα καλανοειδή (ηθμοφάγα) και στα κυκλοποειδή (ηθμοφάγα, σαρκοφάγα, παρασιτικά), κατακλύζουν όλα τα εσωτερικά νερά και τις θάλασσες κι επικρατούν στη βιομάζα του ζωοπλαγκτού στη μεγαλύτερη τη διάρκεια του έτους. Ζουν ελεύθερα ή είναι παράσιτα σε άλλους οργανισμούς (π.χ. ψάρια). Τρέφονται με φυτοπλαγκτό, τροχόζωα, πρωτόζωα, κλαδοκεραιωτά και μικρές προνύμφες.

1) Τάξη Calanoida

Υπάρχουν έξι οικογένειες καλανοειδών. Η πλειοψηφία των καλανοειδών των εσωτερικών υδάτων ανήκουν στην οικογένεια *Diaptomidae* η οποία παρουσιάζει παγκόσμια κατανομή. Τα καλανοειδή είναι θαυμάσια προσαρμοσμένα στην πελαγική ζωή και οι πληθυσμοί τους κατοικούν σε μεγάλο εύρος οικοσυστημάτων όπως λίμνες, τέλματα, έλη, περιοδικές πηγές και εξαπλώνονται από περιοχές πιο βόρειες έως και τις

τροπικές ζώνες. Η κατανομή των ειδών καθορίζεται από ένα σύνολο παραγόντων όπως η θερμοκρασία και η χημική σύσταση του νερού, η μορφομετρία του υδάτινου οικοσυστήματος καθώς και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Στη λίμνη Τριχωνίδα έχει βρεθεί σε μεγάλη αφθονία ένα καλανοειδές κωπήποδο που ανήκει στο είδος *Eudiaptomus drieschi* (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Ένα ενήλικο αρσενικό άτομο του καλανοειδούς είδους *Eudiaptomus drieschi* από τη λίμνη Τριχωνίδα.

2) Τάξη Cyclopoida

Τα κυκλοποειδή περιλαμβάνουν λίγα θαλάσσια είδη, η μεγάλη πλειοψηφία τους όμως ζει είτε σε γλυκά, είτε σε υφάλμυρα νερά. Η σημαντικότερη οικογένεια των κυκλοποειδών είναι η οικογένεια *Cyclopidae* που αποτελείται από 50 γένη και περίπου 660 είδη. Τα κυκλοποειδή είναι γενικά παμφάγα, τρέφονται συνήθως με φυτοπλαγκτό ενώ ταυτόχρονα μπορούν να ζουν και ως θηρευτές (π.χ. τρέφονται με τροχόζωα, καρκινοειδή, ολιγόχαιτους). Στις λίμνες, τα κυκλοποειδή έχουν μεγάλη σημασία ως ενδιάμεσος τροφικός κρίκος μεταξύ του πλαγκτού και των ψαριών.



Εικόνα 2. Ένα ενήλικο θηλυκό άτομο του κυκλοποειδούς είδους *Macrocyclus albidus* από τη λίμνη Τριχωνίδα. Διακρίνονται οι δύο ωόσακοι γεμάτοι με αυγά.

Χαρακτηριστικές μορφές των λιμναίων κωπηπόδων, τόσο των καλανοειδών όσο και των κυκλοποειδών είναι οι ναύπλιοι (Εικόνα 3). Μετά από 5 διαδοχικές μεταμορφώσεις (6 στάδια), οι ναύπλιοι μετατρέπονται σε κωπηποδίτες, οι οποίοι με τη σειρά τους (5 στάδια) μετατρέπονται σε ώριμα κωπήποδα. Ο χρόνος που διαρκούν τα στάδια αυτά εξαρτάται από τη θερμοκρασία (αντίστροφη σχέση). Η διάκριση του είδους στο οποίο αντιστοιχεί ένας ναύπλιος είναι αδύνατη και για το λόγο αυτό γίνεται καταμέτρηση όλων των ναυπλίων από όλα τα είδη μαζί.



Εικόνα 3. Ένας ναύπλιος κωπηπόδου από τη λίμνη Τριχωνίδα.

B. ΚΛΑΔΟΚΕΡΑΙΩΤΑ

Τα κλαδοκεραιωτά είναι καρκινοειδή που κατοικούν κυρίως σε γλυκά νερά, με μόνο οκτώ πραγματικά θαλάσσια είδη. Λόγω της μικρής ποικιλομορφίας τους, οι οργανισμοί αυτοί δεν παρουσιάζουν δυσκολία στην αναγνώριση των ειδών τους (Εικόνα 4). Τα κλαδοκεραιωτά έχουν μεγάλη σημασία στην τροφική αλυσίδα με δεδομένο ότι αποτελούν τροφή για το σαρκοφάγο ζωοπλαγκτόν, ενώ φαίνεται πως αποτελούν την εκλεκτότερη τροφή για τα πελαγικά ψάρια και τις προνύμφες τους. Τα μεγαλύτερα είδη είναι συνήθως αρπακτικά (*Leptodora*) και τρέφονται με Πρωτόζωα, Τροχόζωα, μικρά κλαδοκεραιωτά και κωπήποδα, ενώ τα μικρόσωμα τρέφονται με φύκη, βακτήρια και οργανικά υπολείμματα. Η αναπαραγωγή τους είναι αγενής, ή εγγενής όταν το περιβάλλον γίνει δυσμενές. Σε κανονικές συνθήκες η αναπαραγωγή γίνεται με παρθενογένεση το καλοκαίρι. Τα αυγά εκκολάπτονται μέσα στο κέλυφος όπου μένουν τα νεογνά για λίγες ημέρες, γεννιούνται, δε, κυρίως θηλυκά άτομα. Σε δυσμενείς αβιοτικές (ξηρασία, χαμηλή θερμοκρασία κ.τ.λ.) ή βιοτικές συνθήκες (έλλειψη τροφής, ανταγωνισμός) εμφανίζονται αρσενικά άτομα και ζευγαρώνουν. Τα γονιμοποιημένα αυγά είναι διαφορετικά, σκούρου χρώματος, με χοντρό κέλυφος και

λέγονται εφίππια. Τα εφίππια διατηρούνται ακόμη και μετά το θάνατο της μητέρας, επιπλέον και έτσι μεταφέρονται με τα κύματα ή κολλάνε στα πόδια υδρόβιων πτηνών (έτσι εξηγείται η σποραδική εξάπλωση των περισσότερων κλαδοκεραιωτών). Αυτά εκκολάπτονται μόνον όταν οι συνθήκες γίνουν ευνοϊκές (έχουν βρεθεί εφίππια σε λάσπη 20 χρόνων). Η διάρκεια ζωής τους σε κανονικές συνθήκες ανέρχεται από 40 έως 85 ημέρες, ενώ ένα θηλυκό άτομο γεννά 200 έως 600 αυγά.



Εικόνα 4. Κλαδοκεραιωτά της λίμνης Τριχωνίδας. Πάνω αριστερά: ένα άτομο του είδους *Leptodora kindtii*. Πάνω δεξιά: ένα άτομο του γένους *Diaphanosoma* sp. Κάτω αριστερά: ένα άτομο του είδους *Bosmina longirostris*. Κάτω δεξιά: ένα άτομο του είδους *Daphnia cucullata*.



Εικόνα 5. Κλαδοκεραιωτό του γένους *Alona* sp. από τον ποταμό Αχελώο.

Γ. ΤΡΟΧΟΖΩΑ

Έχουν περιγραφεί περίπου 1.800 είδη Τροχοζώων πολλά από τα οποία είναι κοσμοπολίτικα. Αποτελούν την πολυπληθέστερη ομάδα στο ζωοπλαγκτό, έχουν όμως συνήθως μικρή συμμετοχή στη βιομάζα εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους (από 0.05 έως 0.1 mm). Τα περισσότερα λιμναία είδη δεν είναι πλαγκτικά αλλά ζουν στο παραλιακό υπόστρωμα όπου προστατεύονται καλύτερα. Έχουν βλεφαρίδες τις οποίες χρησιμοποιούν για να κινηθούν και να φέρουν την τροφή κοντά τους. Από την κίνηση των βλεφαρίδων που δίνει στο ζώο την αίσθηση τροχού πήρε και το όνομά της η ομάδα (Rotifera). Το σώμα τους προστατεύεται από περίβλημα που μπορεί να είναι ενισχυμένο. Τα Τροχοζώα τρέφονται με νανοπλαγκτό, βακτήρια και θρύμματα μικρότερα από 15 μm, ενώ υπάρχουν και αρπακτικά είδη όπως το γένος *Asplanchna sp.* που τρέφονται με Πρωτόζωα, μικρά Τροχοζώα κ.ά.

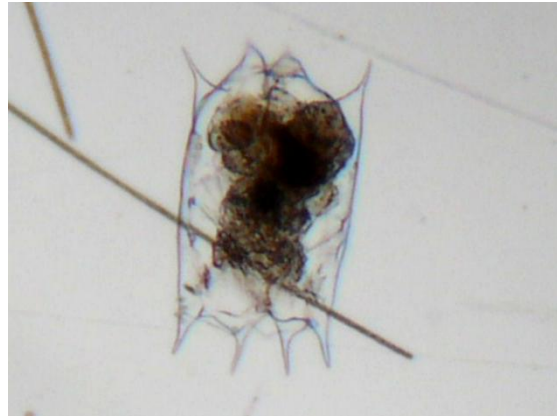
Αναπαράγονται κυρίως με αμειωτική παρθενογένεση η οποία όμως διακόπτεται περιοδικά από εγγενή αναπαραγωγή. Τα διπλοειδή αυγά που προέρχονται από τα γονιμοποιημένα θηλυκά είναι «αυγά διάπαυσης» (resting eggs), δηλαδή αντέχουν σε δυσμενείς συνθήκες. Έτσι, η εγγενής αναπαραγωγή έχει σκοπό να εξασφαλίσει την επιβίωση των πληθυσμών σε ασταθείς συνθήκες και γίνεται κάτω από την επίδραση εξωτερικών παραγόντων όπως: φως, θερμοκρασία, μείωση περιεκτικότητας της τροφής σε βιταμίνη Ε κ.τ.λ., ή ενδογενών παραγόντων όπως: πυκνότητα πληθυσμού, ηλικία κ.τ.λ. Η ωοτοκία είναι συνεχής. Ένα θηλυκό στη διάρκεια της αναπαραγωγής γεννάει 10-30 αυγά. Το μειονέκτημα της περιορισμένης αυτής γονιμότητας (σε σχέση με τις άλλες ομάδες) αντισταθμίζεται με τις πολλές διαδοχικές γενιές (διάρκεια ζωής 6-24 ημέρες). Τα αυγά είναι είτε ελεύθερα είτε φέρονται στο πίσω μέρος του θηλυκού, ενώ υπάρχουν και ορισμένα είδη που τα επωάζουν εσωτερικά. Τα αρσενικά άτομα ζουν μόνο λίγες ώρες, έχουν μικρό μέγεθος και η ανατομία τους εμφανίζεται ατελέστερη έναντι των θηλυκών, π.χ. δεν έχουν πεπτικό σωλήνα. Για μερικά είδη δε βρέθηκαν ποτέ αρσενικά άτομα.

Στη λίμνη Τριχωνίδα έχουν βρεθεί αρκετά είδη Τροχοζώων, τα περισσότερα από τα οποία είναι κοινά στις λίμνες τις Ελλάδας. Στη συνέχεια δίνονται οι φωτογραφίες των σημαντικότερων από αυτά τα είδη.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΟΖΩΩΝ



Asplanchna priodonta



Brachionus caliciflorus



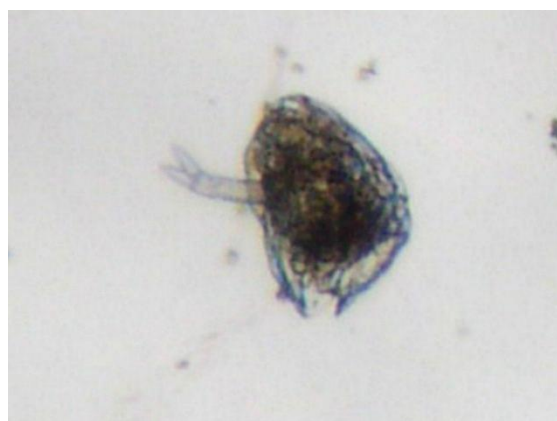
Keratella cochlearis



Keratella quadrata



Hexarthra mira

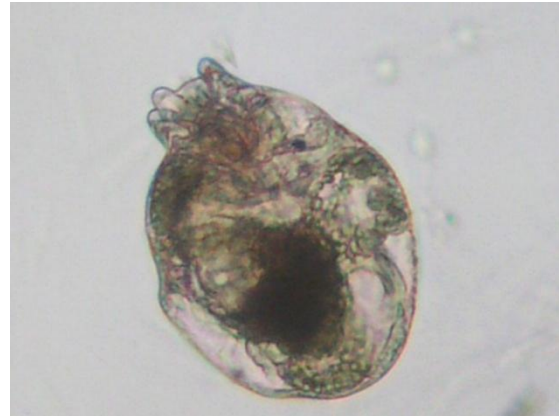


Ploesoma truncatum

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΟΖΩΩΝ (συνέχεια...)



Polyarthra sp.



Gastropus stylifer



Trichocerca *similis*



Fillinia *longiseta*



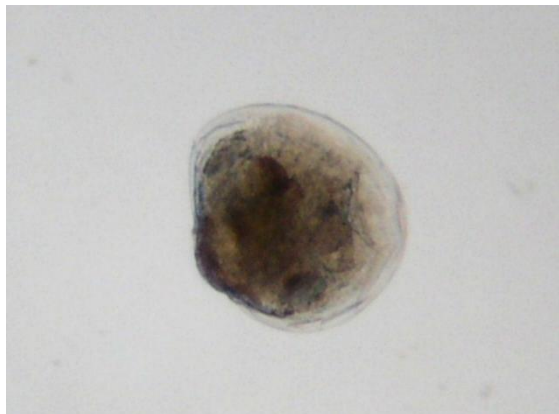
Synchaeta sp.



Lecane *quadridenticata*

Δ. ΠΡΟΝΥΜΦΕΣ ΜΑΛΑΚΙΩΝ

Το πιο κοινό είδος διθύρων Μαλακίων τις προνύμφες του οποίου βρίσκουμε στα δείγματα ζωοπλαγκτού σχεδόν σε όλες τις λίμνες της Ελλάδας είναι το είδος *Dreissena polymorpha* (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Μία προνύμφη του δίθυρου είδους Μαλακίου *Dreissena polymorpha* από τη λίμνη Τριχωνίδα

2. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΥ

Ο σκοπός αυτής της άσκησης, πέρα από την εξοικείωση με τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού, είναι και η ποσοτική εκτίμησή τους σε ένα τυπικό δείγμα ζωοπλαγκτού. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αναλυθεί ένα δείγμα ζωοπλαγκτού και να μετρηθούν όλοι οι οργανισμοί που υπάρχουν σε αυτό. Επειδή συχνά σε ένα δείγμα ζωοπλαγκτού μπορεί να περιέχονται κάποιες χιλιάδες οργανισμών, η ανάλυσή του και η καταμέτρηση όλων αυτών των οργανισμών καθίσταται αδύνατη. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται υποδειματοληψία στο αρχικό μας δείγμα, έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουμε ένα υπόδειγμα από αυτό και όχι ολόκληρο το δείγμα. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι και συσκευές υποδειματοληψίας (π.χ. πιπέτα Stempel, διαχωριστής Folsom) για το θαλάσσιο ή το λιμναίο ζωοπλαγκτό. Στην παρούσα άσκηση θα γίνει ποσοτική μελέτη σε ένα δείγμα θαλάσσιου ζωοπλαγκτού.

Η διαδικασία για τη λήψη ενός υποδείγματος είναι η ακόλουθη:

1. Για να αποφευχθεί η εισπνοή της φορμόλης στην οποία φυλάσσεται το δείγμα, αυτό φιλτράρεται και ξεπλένεται με νερό βρύσης μέσα από διχτάκι 50 μm. Στο διχτάκι αυτό συγκρατείται έτσι όλο το ζωοπλαγκτό του δείγματος.

2. Στη συνέχεια, το δείγμα από το διχτάκι μεταφέρεται στην ογκομετρική φιάλη της πιπέτας Stempel. Σε αυτήν προσθέτουμε νερό βρύσης μέχρι ο όγκος να γίνει 300 ml. Έτσι, το αρχικό μας δείγμα βρίσκεται τώρα διαλυμένο σε 300 ml νερού.
3. Ανακινούμε καλά το δείγμα έτσι ώστε όλοι οι οργανισμοί να βρίσκονται σε αιώρηση.
4. Με τη χρήση της κατάλληλης πιπέτας Stempel παίρνουμε γρήγορα ένα υπόδειγμα, έστω 5 ml. Έτσι, έχουμε πάρει ένα υπόδειγμα 5 ml από τα 300 ml δηλαδή το 1 / 60 από το αρχικό μας δείγμα.
5. Το υπόδειγμα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml μαζί με αρκετό νερό βρύσης, ενώ με υδροβολέα ξεπλένουμε το εσωτερικό της πιπέτας Stempel, έτσι ώστε όλοι οι οργανισμοί που βρίσκονται σε αυτό με μεταφερθούν στο ποτήρι ζέσεως.
6. Μικρές ποσότητες του υποδείγματος μεταφέρονται από το ποτήρι ζέσεως σε κατάλληλα χαραγμένο τρυβλίο petri και γίνεται παρατήρηση των οργανισμών σε στερεοσκόπιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έτσι ώστε να μετρηθούν όλοι οι οργανισμοί του υποδείγματος.
7. Οι οργανισμοί αυτοί αναγνωρίζονται, καταμετρούνται και τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ειδικό πρωτόκολλο καταμέτρησης. Από κάθε υπόδειγμα φροντίζουμε να μετρηθούν τουλάχιστον 500 άτομα. Σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιούμε και δεύτερο ή και περισσότερα υποδείγματα.
8. Στη συγκεκριμένη περίπτωση του υποδείγματος όλες οι μετρήσεις των οργανισμών που βρήκαμε θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν επί 60 αφού το υπόδειμά μας ήταν το 1/60 του αρχικού μας δείγματος.
9. Τέλος, για να υπολογίσουμε την πυκνότητα του δείγματος ως άτομα / m³, ή άτομα / λίτρο, θα χρησιμοποιήσουμε τα στοιχεία για τον όγκο νερού που φίλτραρε το δίχτυ μας στο συγκεκριμένο δείγμα.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

<ul style="list-style-type: none"> • Δείγμα ζωοπλαγκτού • Διχτάκι 50 μm • Στατώ και χωνάκι • Υδροβολείς • Ποτήρια ζέσεως 100 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Πιπέτα Stempel • Βελόνες ανατομίας • Χαραγμένα Petri • Στερεοσκόπια
--	--



«Το υλικό των ασκήσεων προέρχεται από τις
πανεπιστημιακές σημειώσεις του καθηγητή Γιώργου
Κεχαγιά»