



# Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Ενότητα 6: Φυσικές-Χημικές Παράμετροι

Καθηγήτρια Μουστάκα Μαρία

Τμήμα Βιολογίας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

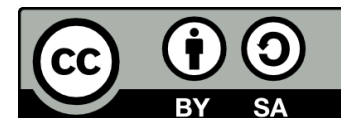


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

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





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΧΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Φυσικές – Χημικές Παράμετροι

# Περιεχόμενα ενότητας

1. Θερμοκρασία
  - ✓ Κατανομή στη στήλη νερού
  - ✓ Θερμική στρωμάτωση
  - ✓ Τύποι στρωμάτωσης
2. Οξυγόνο
3. Ενώσεις του άνθρακα
4. Αλκαλικότητα
5. Σκληρότητα
6. pH



# Σκοποί ενότητας

- Το μάθημα στοχεύει στη γνώση και κατανόηση των βασικών φυσικών και χημικών παραμέτρων του νερού στα οικοσυστήματα εσωτερικών υδάτων
- Ο φοιτητής μαθαίνει να ερμηνεύει και να εκτιμά μεταβολές στις φυσικές και χημικές παραμέτρους στο νερό σε λίμνες, φραγμαλίμνες και ποτάμια



# Θερμοκρασία νερού

- Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια λιμνών & ποταμών μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος & χρόνο. Η ακτινοβολία προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων, η οποία είναι μεγαλύτερη με τη μείωση του γεωγραφικού πλάτους. Οι μεταβολές επιδρούν και στην κατανομή της θερμοκρασίας σ' όλη τη στήλη νερού.
- Στις εύκρατες περιοχές αυτές οι κατανομές στις βαθιές λίμνες εποχικά μπορεί να χαρακτηρίζονται από τρία θερμοκρασιακά περιβάλλοντα (στρωμάτωση: επιλίμνιο, μεταλίμνιο, υπολίμνιο).
- Στα ποτάμια δεν παρατηρείται η θερμική στρωμάτωση των λιμνών. Ομως, παρατηρείται διαβάθμιση της θερμοκρασίας κατά μήκος του ποταμού (από την πηγή στην εκβολή)



# Κατανομή στη στήλη νερού

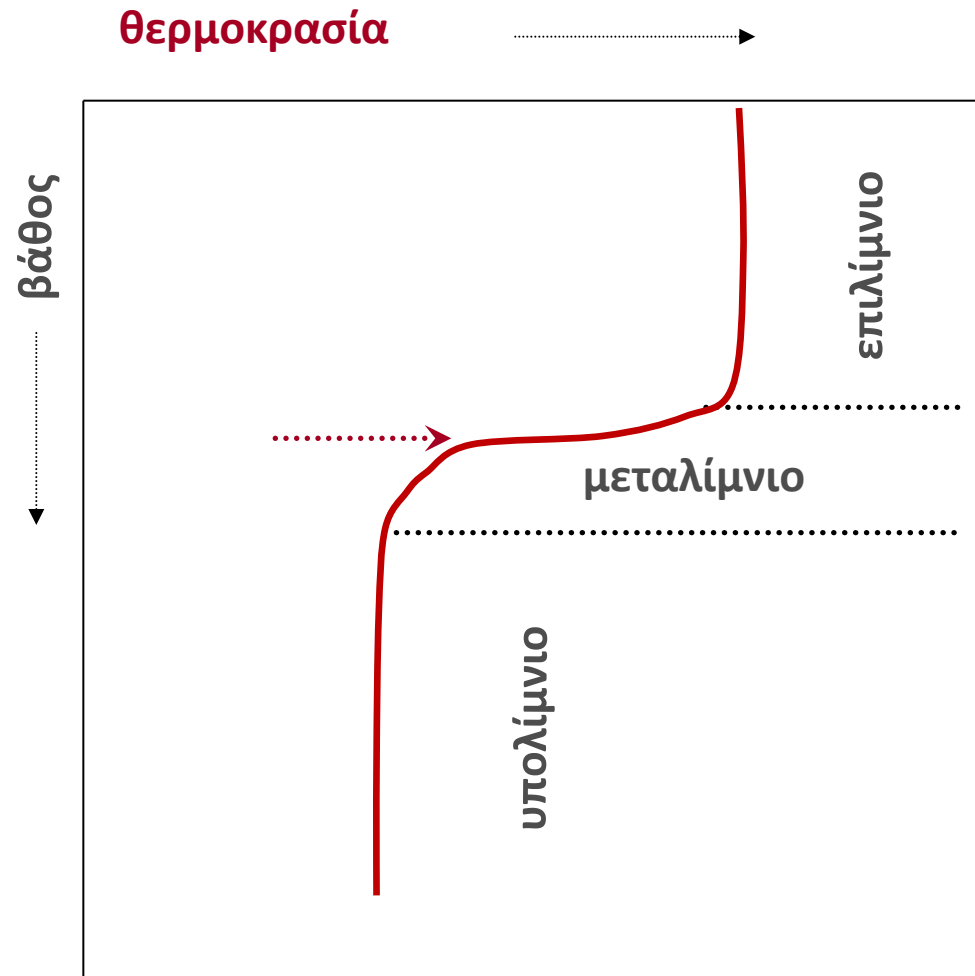
- ✓ επιλίμνιο
- ✓ μεταλίμνιο
- ✓ υπολίμνιο

## ➤ Θερμοκλινές

όριο θερμοκρασιακής  
διαφοράς  $>1 \text{ }^\circ\text{C} / \text{m}$

&

το βάθος της μεγαλύτερης  
σχετικής μεταβολής της  
θερμοκρασίας στο μεταλίμνιο





# Στρωμάτωση

Θερμική στρωμάτωση – Σταθερότητα

**Χειμερινή & Θερινή Στρωμάτωση** - Εαρινή & Φθινοπωρινή  
κυκλοφορία (ανάμειξη, αναστροφή)

Σταθερότητα ανά μονάδα έκτασης μιας λίμνης είναι η ποσότητα του έργου (αιολικού) που απαιτείται για την ανάμειξη σε μια σχετικά ομοιόμορφη θερμοκρασία του συνολικού όγκου νερού δίχως την αφαίρεση ή προσθήκη θερμότητας

Η σταθερότητα στρωμάτωσης μιας λίμνης επηρεάζεται από:

- μέγεθος & τη μορφομετρία μίας λίμνης
- διαφορές θερμοκρασίας στη στήλη – διαφορές πυκνότητας νερού
- πόσο προστατευμένη από τον άνεμο είναι μία λίμνη



# Στρωμάτωση

## Πυκνότητα

- Η πυκνότητα νερού στους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  πάγου είναι 8.5% μικρότερη από αυτήν του ρευστού νερού στους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Η μεγαλύτερη πυκνότητα του νερού στους  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Η διαφορά πυκνότητας γίνεται μεγαλύτερη με την αύξηση της θερμοκρασίας

- ✓ Η **διαφορά** πυκνότητας μεταξύ  **$29 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$**  είναι **40** φορές μεγαλύτερη ενώ μεταξύ  **$24 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$**  είναι **30** φορές μεγαλύτερη από αυτή μεταξύ  **$4 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$**



# Στρωμάτωση

## Θερμική στρωμάτωση – Ανάμειξη (ομοιόθερμη λίμνη)

Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ 24 & 25 °C είναι 30 φορές μεγαλύτερη από αυτή μεταξύ 4 & 5 °C

- Η αντίσταση στη δύναμη του αέρα για την ανάμειξη του θερμού επιφανειακού στρώματος νερού με το κατώτερο ψυχρό στρώμα είναι ανάλογη της διαφοράς πυκνότητας ανάμεσα στο επιφανειακό & κατώτερο στρώμα νερού
- Υπάρχει αύξηση στη σταθερότητα (αντίσταση στην ανάμειξη των δύο υδάτινων μαζών) μεταβαίνοντας από τις ψυχρές λίμνες στις θερμές, καθόσον οι μεταβολές πυκνότητας ανά μονάδα βαθμού °C είναι μεγαλύτερες στις υψηλότερες θερμοκρασίες



# Στρωμάτωση

## Θερμική στρωμάτωση – Ανάμειξη (ομοιόθερμη λίμνη)

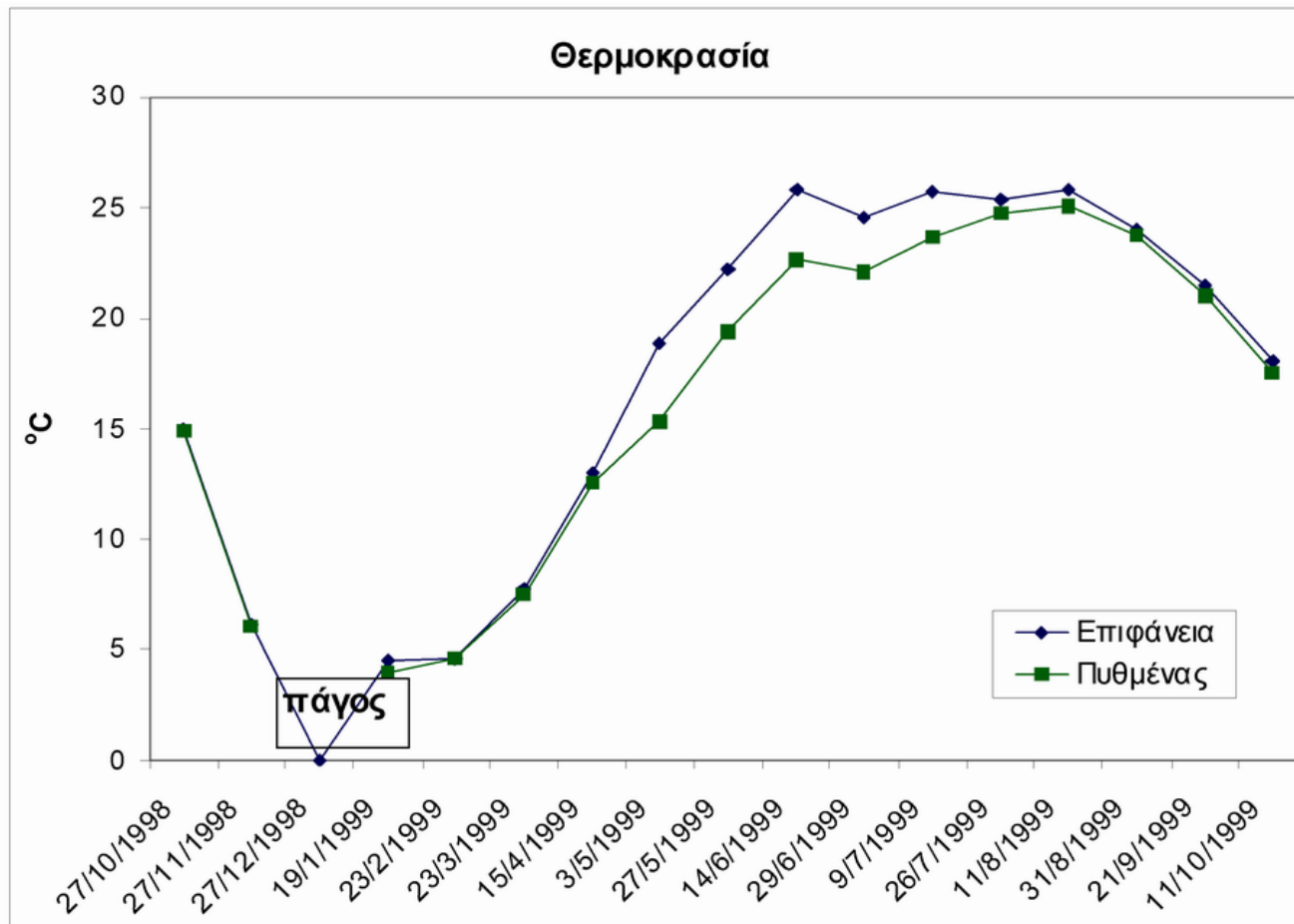
Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ 29 & 30 °C είναι 40 φορές μεγαλύτερη από αυτή μεταξύ 4 & 5 °C

- Η μεταβολή από τη στρωμάτωση στην πλήρη ανάμειξη παρατηρείται σε ετήσιο κύκλο στις εύκρατες λίμνες. Στις τροπικές περιοχές η μεταβολή αυτή μπορεί να συμβαίνει σε ημερήσια βάση στις αβαθείς λίμνες
- Ακόμη και πολύ μικρές διαφορές στη θερμοκρασία στη στήλη νερού μπορεί να διατηρούν σταθερή θερμική στρωμάτωση σε τροπικές λίμνες. Γιατί?
- Τι γίνεται στις μεσογειακές λίμνες της χώρας μας? Ακολουθούν τα πρότυπα θερμικής στρωμάτωσης της κεντρικής & βόρειας Ευρώπης?



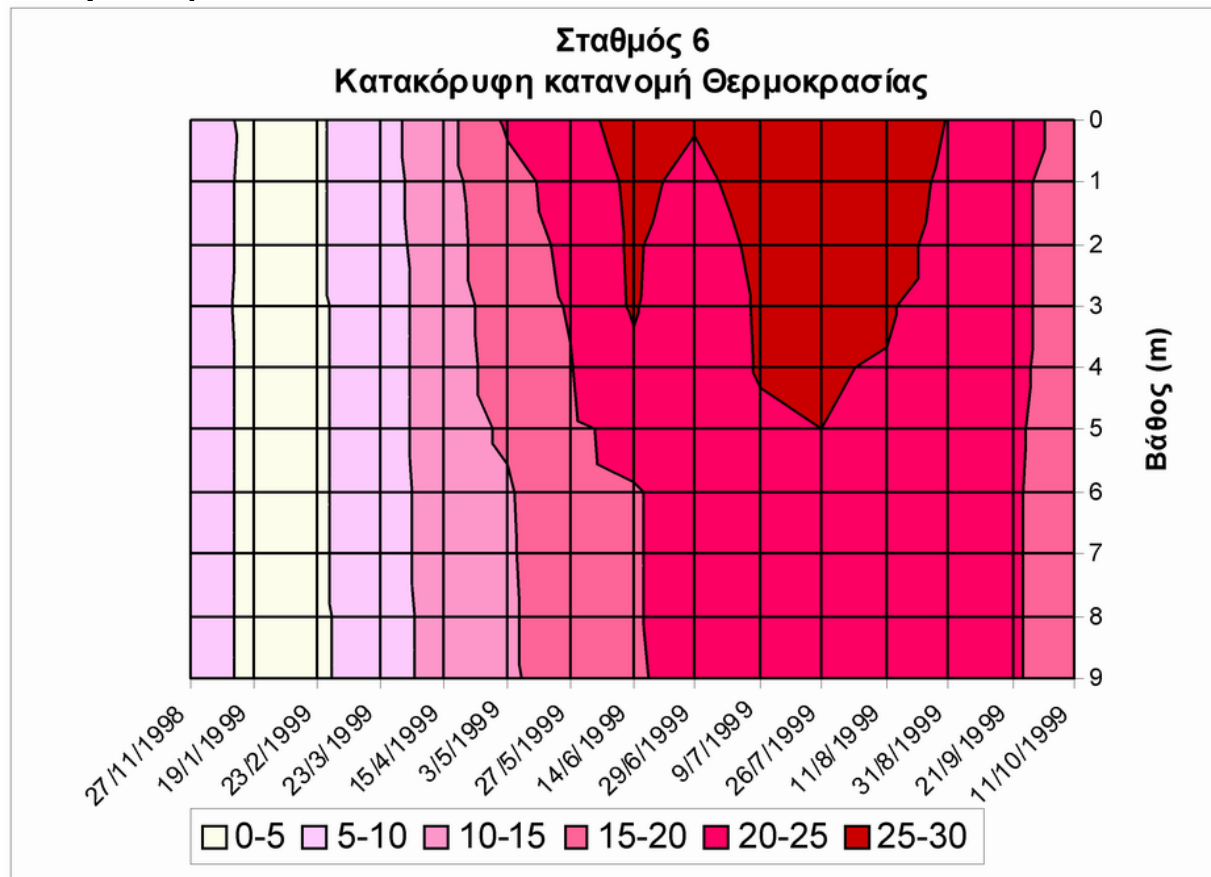
# Θερμοκρασία

Ετήσια κατανομή θερμοκρασίας νερού στη Λίμνη Καστοριάς



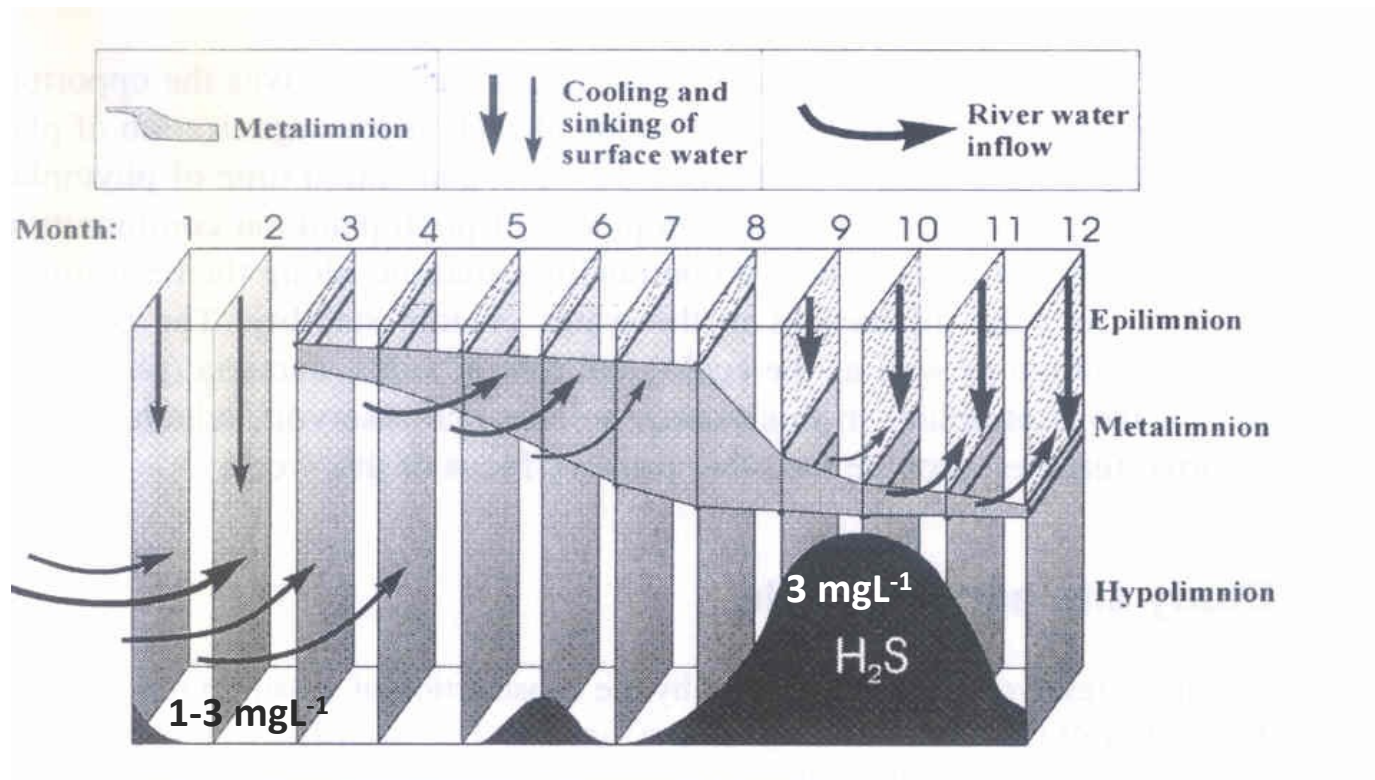
# Θερμοκρασία

Ετήσια κατανομή θερμοκρασίας νερού στη στήλη του νερού της Λίμνης Καστοριάς



# Θερμοκρασία

Θερμική στρωμάτωση στη φραγμαλίμνη Θησαυρού



Moustaka-Gouni et al. 2000

# Θερμοκρασία

Θερμική στρωμάτωση - Ανάμειξη

Η θερμική στρωμάτωση εξαρτάται από

**1. την ηλιακή ακτινοβολία & τον άνεμο**

Εκτός από τους κλιματικούς παράγοντες

**2. το μέγεθος & η έκθεση μίας λίμνης στον άνεμο**

**3. σε ορισμένες περιπτώσεις οι εισροές νερού από ποτάμια**

αποτελούν τους κύριους παράγοντες που προσδιορίζουν το **πρότυπο κυκλοφορίας** σε μία λίμνη.

✓ Για παράδειγμα, ο άνεμος δεν μπορεί να αναμείξει μία μικρή & προστατευμένη στο δάσος λιμνούλα ή μια μεγάλη λίμνη με μεγάλο άξονα ως προς την πορεία του ανέμου





# Θερμοκρασία

## Πρότυπα κυκλοφορίας – Κατηγορίες λιμνών

- Αμικτικές (σταθερά παγωμένες)
- Μερομικτικές (τα βαθιά στρώματα ποτέ δεν αναμειγνύονται)
- Ολομικτικές (οι λίμνες που αναμειγνύονται πλήρως και ταξινομούνται ανάλογα με τη συχνότητα κυκλοφορίας)
  - ✓ Ολιγομικτικές (όχι κάθε χρόνο, εξαρτάται από κλίμα)
  - ✓ Μονομικτικές (ψυχρές, θερμές) (μία φορά το χρόνο)
  - ✓ Θερμού μονομικτικού τύπου λίμνη η Βόλβη (ελάχιστη θερμοκρασία νερού  $> 4^{\circ}\text{C}$ )
  - ✓ **Διμικτικές (Ελληνικές λίμνες? πότε?)**
  - ✓ **Πολυμικτικές (Ελληνικές λίμνες ?πότε?)**



# Θερμοκρασία

## Κατηγορίες λιμνών

Ερώτηση: Σε ποιές κατηγορίες εντάσσονται οι λίμνες Δοϊράνη, Καστοριάς, Υλίκη, Τριχωνίδα, Θησαυρού

Η Λίμνη Δοϊράνη μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικό θερμοκρασιακό πρότυπο ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες (θερμού ή πολυμεικτικού τύπου λίμνη).

Ερώτηση: πως είναι δυνατόν μια τόσο ρηχή λίμνη (μέγιστο βάθος Δοϊράνης 6 μέτρα) να είναι θερμού μονομεικτικού τύπου?

Η περίπτωση της Λίμνης Δοϊράνης είναι ενδεικτική των διαφορών στα πρότυπα στρωμάτωσης των Ελληνικών – Μεσογειακών λιμνών χαμηλού υψομέτρου με αυτά των βόρειων χωρών της Ευρώπης



# Οξυγόνο

Κορεσμός – διαβάθμιση συγκέντρωσης

Η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου στους 20 °C σε κανονική πίεση είναι 9.1 mg/l (100% κορεσμός). Στους 22 °C σε κανονική πίεση ο βαθμός κορεσμού είναι 104%.

Λίμνες σε δύο ζώνες: **τροφοπαραγωγική & τροφολυτική**

Η **τροφοπαραγωγική ζώνη** συνήθως αντιστοιχεί στο **επιλίμνιο**

Πότε δεν αντιστοιχεί? **Σημασία του λόγου  $Z_{mix}$  (βάθος ζώνης ανάμειξης)/ $Z_{eu}$  (βάθος εύφωτης ζώνης)**

**Παραγωγικότητα & μορφομετρία** προσδιορίζουν την ισορροπία οξυγόνου σε μία λίμνη. Για λίμνες ίδιας παραγωγικότητας ο όγκος νερού του υπολιμνίου είναι κρίσιμης σημασίας.

Ο ετήσιος κύκλος κατανομής του οξυγόνου με το βάθος της λίμνης είναι στενά συνδεδεμένος με το πρότυπο κυκλοφορίας



# Οξυγόνο

- Στα ποτάμια παρατηρούνται χαρακτηριστικά πρότυπα κατανομής οξυγόνου κατά μήκος του ποταμού. Η σχετική σημασία της ανταλλαγής με την ατμόσφαιρα μειώνεται στο κατώτερο τμήμα, όπου είναι σημαντική η βιολογική κατανάλωση & παραγωγή
- Στα ανώτερα τμήματα του ποταμού εκτός από τη σημασία της ανταλλαγής του οξυγόνου με την ατμόσφαιρα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η είσοδος αλλόχθονου οργανικού υλικού με ή δίχως την επίδραση του ανθρώπου.
- Σε περιοχές εισόδου οργανικού ρυπαντικού φορτίου με υψηλές τιμές BOD (Biochemical Oxygen Demand) οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να μειωθούν σημαντικά για μικρό ή μεγάλο χρονικό διάστημα κατά μήκος του ποταμού.



# Οξυγόνο

## Κατακόρυφη διαβάθμιση

- Κάθε λίμνη έχει δικό της ιδιαίτερο πρότυπο κατακόρυφης κατανομής οξυγόνου
- Πρότυπο **ορθοβάθμιας καμπύλης** (ομοιογενής κατανομή)
- Πρότυπο **κλινοβάθμιας καμπύλης** (μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου έως και τιμή μηδέν είτε στο υπολίμνιο είτε στο μεταλίμνιο)
- Η κατακόρυφη διαβάθμιση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου αποτελεί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για τους υδρόβιους οργανισμούς

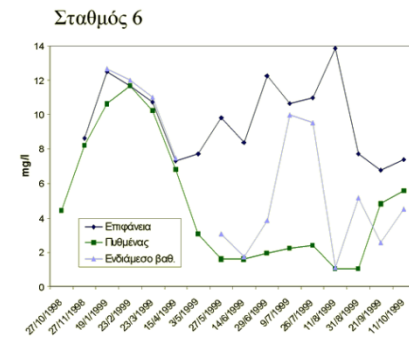
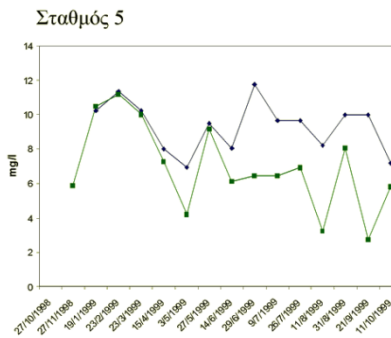
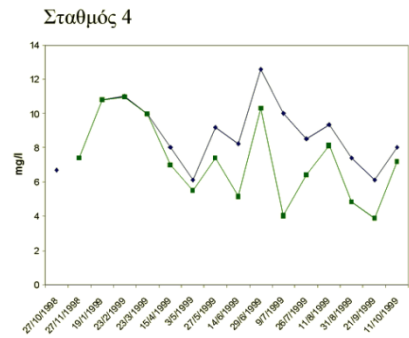
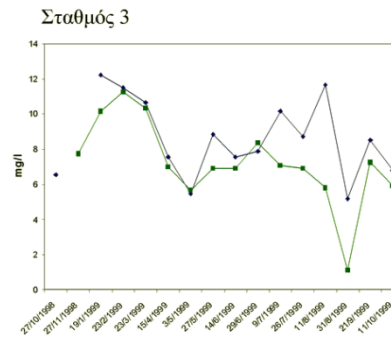
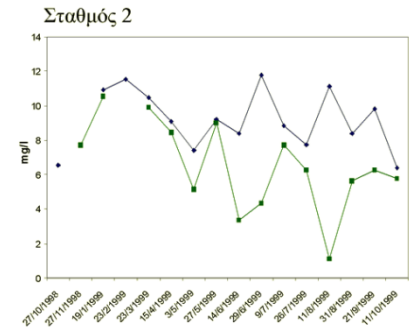
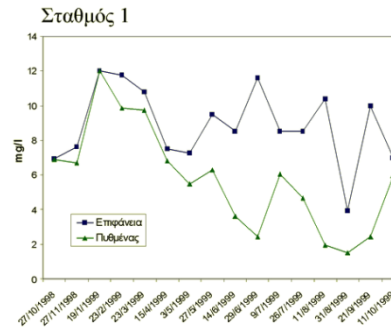


# Οξυγόνο

Συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σε οριζόντιο (διάφοροι σταθμοί στη λίμνη) και κατακόρυφο επίπεδο (επιφάνεια - πυθμένας) στη λίμνη Καστοριάς σε ετήσιο κύκλο

Σταθμός 6 (μέγιστο βάθος 8-9 μέτρα)

Οξυγόνο



# Οξυγόνο

Πυρήνας ιζήματος κατά τη δειγματοληψία  
από τη Λίμνη Καστοριάς

Στο επιφανειακό ίζημα φαίνεται  
η ελευθέρωση αναγωγικών ενώσεων  
Το επιφανειακό ίζημα είναι **ανοξικό**

**Ερώτηση:** Σε ποιές κατηγορίες λιμνών  
& ποιές εποχές περιμένουμε εξάντληση  
του διαλυμένου οξυγόνου στο στρώμα  
νερού πάνω από το ίζημα?



# Ενώσεις του άνθρακα

- Στις λίμνες (όπως και σε άλλα υδάτινα συστήματα π.χ. στους ωκεανούς, αν και σε διαφορετικές αναλογίες) η μεγαλύτερη ποσότητα του άνθρακα βρίσκεται σε **ανόργανες ενώσεις** (σε σχέση με την ισορροπία του ασθενούς ανθρακικού οξέος)
- ακολουθούν οι **διαλυμένες οργανικές ενώσεις**
- τέλος ό οργανικός άνθρακας σε **σωματιδιακή μορφή**
- ✓ πολύ μικρό μόνο μέρος αποτελεί ο άνθρακας στους οργανισμούς
- ✓ Οι αναλογίες των μορφών άνθρακα ποικίλλουν

Στους ποταμούς μπορεί να ακολουθείται η ίδια σειρά κυριαρχίας αν και το αλλόχθονο οργανικό υλικό είναι συχνά πολύ υψηλότερο

Το συνολικό διοξείδιο του άνθρακα αποτελείται από τα ανθρακικά + διττανθρακικά + διοξείδιο του άνθρακα (+ανθρακικό οξύ)





# Αλκαλικότητα

- Η ισορροπία διοξειδίου - διττανθρακικών - ανθρακικών είναι κυρίως υπεύθυνη για ρυθμιστική ικανότητα μιας λίμνης, δηλαδή την ικανότητα να προσλαμβάνει  $H^+$  ή  $OH^-$  δίχως τη μεταβολή του pH
- Η αλκαλικότητα αποτελεί μέτρηση της ρυθμιστικής αυτής ικανότητας σε σχέση με τα οξέα
- Η αλκαλικότητα εκφράζεται σε meq/l ανθρακικού ασβεστίου
- Σε λίμνες με χαμηλή αλκαλικότητα η ημερήσια διακύμανση του pH μπορεί να είναι δραματική λόγω φωτοσύνθεσης. **Γιατί?**



# Σκληρότητα

- Η σκληρότητα του γλυκού νερού καθορίζεται από την περιεκτικότητά του σε άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία σε μεγάλο βαθμό είναι συνδεδεμένα με διττανθρακικά και ανθρακικά ιόντα (προσωρινή σκληρότητα) καθώς και με θειϊκά, χλωριούχα (μόνιμη σκληρότητα)
- Τα πιο σημαντικά ιόντα στο γλυκό νερό από άποψη αφθονίας είναι: α) από ανιόντα τα ανθρακικά και διττανθρακικά, θειϊκά, χλωριούχα και νιτρικά και β) από κατιόντα το ασβέστιο συνήθως κυριαρχεί ακολουθούμενο από μαγνήσιο ή νάτριο και κάλιο



# pH

## pH και ενώσεις άνθρακα

- Με τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα, το διάλυμα του διττανθρακικού ασβεστίου σε ισορροπία με ανθρακικά + διττανθρακικά + διοξείδιο του άνθρακα κατακρημνίζεται ως ανθρακικό ασβέστιο (απουσία ανθρακικού οξέος)
- Με την προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα (π.χ. από την αναπνοή) το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε διττανθρακικό
- Όσο πιο πλούσιο το νερό σε ασβέστιο τόσο περισσότερο θα είναι δεσμευμένο με ανθρακικό οξύ και οι ανταλλαγές  $H^+$  ή  $OH^-$  δεν θα επηρεάζουν το pH, δηλαδή αυξάνει η αλκαλικότητα



# pH

## pH και ενώσεις άνθρακα

- Σε λίμνες που τα διττανθρακικά επικρατούν (100%) το  $\text{pH} = 8$
- Σε λίμνες που τα διττανθρακικά & ανθρακικά επικρατούν (50+50%) το  $\text{pH} = 10$
- Σε αλκαλικές λίμνες όπου το ανθρακικό ασβέστιο αντικαθίσταται από ανθρακικό νάτριο το  $\text{pH} > 9$
- ✓ Λίμνες φτωχές σε ασβέστιο και πλούσιες σε χουμικά οξέα έχουν όξινο pH (π.χ. πολλές λίμνες στη Σουηδία)
- ✓ Τα περισσότερα οικοσυστήματα γλυκού νερού έχουν pH από 7-9



# pH

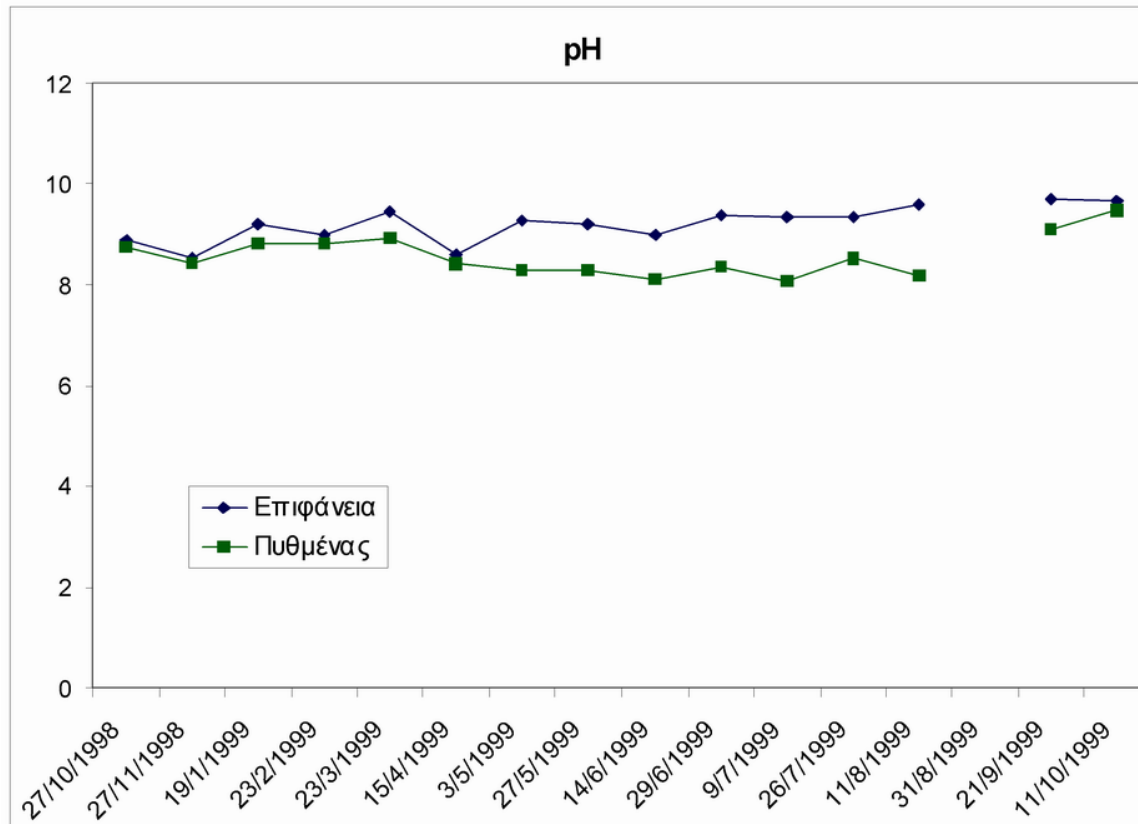
## Κατακόρυφη διαβάθμιση

- Διαφορές στη βιολογική δραστηριότητα με το βάθος στη στήλη νερού οδηγούν και σε διαβαθμίσεις και χρονικές μεταβολές στο pH
- Οι κύριες βιολογικές διεργασίες που επιδρούν στο pH είναι η φωτοσύνθεση, η αναπνοή και η αφομοίωση αζώτου
- Η επίδραση της φωτοσύνθεσης (πρόσληψη πρωτονίων) και αναπνοής (ελευθέρωση πρωτονίων) εξαρτάται από την ισορροπία ανθρακικών -διττανθρακικών - διοξειδίου του άνθρακα
- Σε αφομοίωση διοξειδίου του άνθρακα δεν χρησιμοποιούνται πρωτόνια, ενώ ένα πρωτόνιο για κάθε άτομο άνθρακα χρησιμοποιείται όταν αφομοιώνονται διττανθρακικά ιόντα



# pH

Παράδειγμα: Κατακόρυφη διαφοροποίηση  
(επιφάνεια - πυθμένας) στη λίμνη Καστοριάς σε ετήσιο κύκλο



# Βιβλιογραφία

---

Lampert W & Sommer U. (2007) Limnoecology. The Ecology of Lakes and Streams. Oxford University Press, New York





# Τέλος Ενότητας 6

Επεξεργασία: Λατινόπουλος Διονύσης  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

