



# Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Ενότητα 20: Αποκατάσταση λιμνών

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

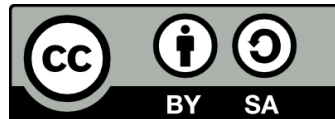


ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# 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.



# Περιεχόμενα ενότητας

1. Τι σημαίνει αποκατάσταση
2. Προσπάθειες για αποκατάσταση
3. Ανθρωπογενείς επιπτώσεις-προβλήματα λιμνών
4. Μέθοδοι αποκατάστασης
5. Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς
6. Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα
7. Διοχέτευση νερού/αύξηση ταχύτητας ανανέωσης νερού
8. Βιοχειρισμός
9. Εναλλακτικές καταστάσεις
10. Μέτρα αποκατάστασης
11. Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας
12. Η νεοσυσταθείσα Κάρλα



# Σκοποί ενότητας

- Το μάθημα στοχεύει στη γνώση και κατανόηση βασικών αρχών, στρατηγικών και διεργασιών στην αποκατάσταση των λιμνών με παραδείγματα (θετικά και αρνητικά: Λίμνες Καστοριάς, Κορώνεια και Κάρλα)
- Ο φοιτητής μαθαίνει να ερμηνεύει και να εκτιμά το ρόλο των οικολογικών διεργασιών στην αποκατάσταση, στρατηγικές και μέτρα αποκατάστασης ως έναν οδηγό για αποκατάσταση εύτροφων και ρηχών λιμνών



# Τι σημαίνει αποκατάσταση?

- (restoration) δεν εννοούμε ότι θα επαναφέρουμε τη λίμνη στην παλαιότερη κατάστασή της (ποιά; την αρχική; πότε;) αλλά ότι θα επιτύχουμε μία **νέα οικολογική ισορροπία στη λίμνη με ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα πλησιάζουν τις συνθήκες αναφοράς ή καλής ποιότητας νερού - καλής οικολογικής κατάστασης.**
- Καμία απλή συνταγή για αποκατάσταση δεν υπάρχει καθώς και κάθε συνταγή με επιτυχία σε μία λίμνη δε σημαίνει ότι θα εφαρμοσθεί με επιτυχία και σε κάποια άλλη εκτός βέβαια από την αναίρεση των αίτιων υποβάθμισης στη λεκάνη απορροής.
- Κάθε λίμνη είναι μοναδική και η επιτυχία θα εξαρτηθεί από το πόσο καλά γνωρίζουμε τις θεμελιώδεις αρχές που διέπουν τη δομή & λειτουργία του συστήματος.
- Είναι μία **ακολουθία διεργασιών που γίνονται βήμα, βήμα στο πλαίσιο της καταλληλότερης για το σύστημα στρατηγικής αποκατάστασης.** Δεν είναι απλή εφαρμογή μίας ή περισσότερων τεχνικών & μεθόδων - απαιτεί σχεδιασμό με συγκεκριμένο **στόχο**



# Προσπάθειες για αποκατάσταση

- Η προσπάθεια που απαιτείται για να επιτύχουμε την αποκατάσταση ενός συστήματος μπορεί να ποικίλλει από το να το παρακολουθούμε και μόνο περιμένοντας ίσως για χρόνια τις αποκρίσεις του συστήματος στα νέα μειωμένα φορτία θρεπτικών (εφόσον έχει συμβεί δραστική μείωση, π.χ. διακοπή εισόδου αστικών λυμάτων) έως να εφαρμόσουμε την πιο καθαρή **οικοκαινοτόμο λύση για να επιταχύνουμε τις διεργασίες που θα φέρουν το σύστημα σε μια νέα οικολογική ισορροπία με ωφέλιμες για το σύστημα σαν σύνολο συνθήκες**
- Τονίζεται ότι **αποσπασματικές μέθοδοι** είναι πολύ συχνά μη αποτελεσματικές
- Ακόμη **λανθασμένες παρεμβάσεις** όπως αυτές που φαίνεται ότι έγιναν κατά το παρελθόν σε ελληνικές λίμνες (π.χ. εμπλουτισμός με κυπρινοειδή, κοπή των μακρόφυτων, χρήση φυτοφαρμάκων) προωθούν τον ευτροφισμό κάθε λίμνης σε ιδιαίτερα ανεπιθύμητες καταστάσεις και φέρνουν τα αντίθετα αποτελέσματα



# Προσπάθειες για αποκατάσταση

- Από παλιά οι περισσότερες προσπάθειες που έγιναν για το restoration των εύτροφων λιμνών αφορούσαν στη **μείωση των φορτίων των θρεπτικών στη λίμνη από τη λεκάνη απορροής** (προσέγγιση που μπορεί να είναι επιτυχής όταν η μείωση είναι σημαντική)
- Όμως, υψηλά φορτία φωσφόρου σε μια λίμνη για πολλά χρόνια οδηγούν σε αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων φωσφόρου στο ίζημα, που στη συνέχεια μπορούν να επιφέρουν υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στο νερό παρά τη μείωση των εξωτερικών φορτίων.





# Προσπάθειες για αποκατάσταση

- Επιδείνωση της ποιότητας του νερού εξαιτίας των μεταβολών των τροφικών σχέσεων και των θρεπτικών που προκύπτουν περιορίζουν ακόμη περισσότερο τις πιθανότητες για βελτίωση λόγω μείωσης των εξωτερικών φορτίων
- Η κλιματική αλλαγή συνεργεί στην προαγωγή του ευτροφισμού και επιδείνωση της ποιότητας του νερού
- Τα ζωοπλαγκτοφάγα ψάρια ευνοούν τη διατήρηση της κατάστασης με την αύξηση του φυτοπλαγκτού λόγω μείωσης του ζωοπλαγκτού που τρέφεται με το φυτοπλαγκτό. Βενθοφάγα ψάρια αυξάνουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών από το ίζημα στο φυτοπλαγκτό με την αναζήτηση τροφής από τον πυθμένα της λίμνης



# Ανθρωπογενείς επιδράσεις – προβλήματα λιμνών

## 1. Πτώση της στάθμης του νερού

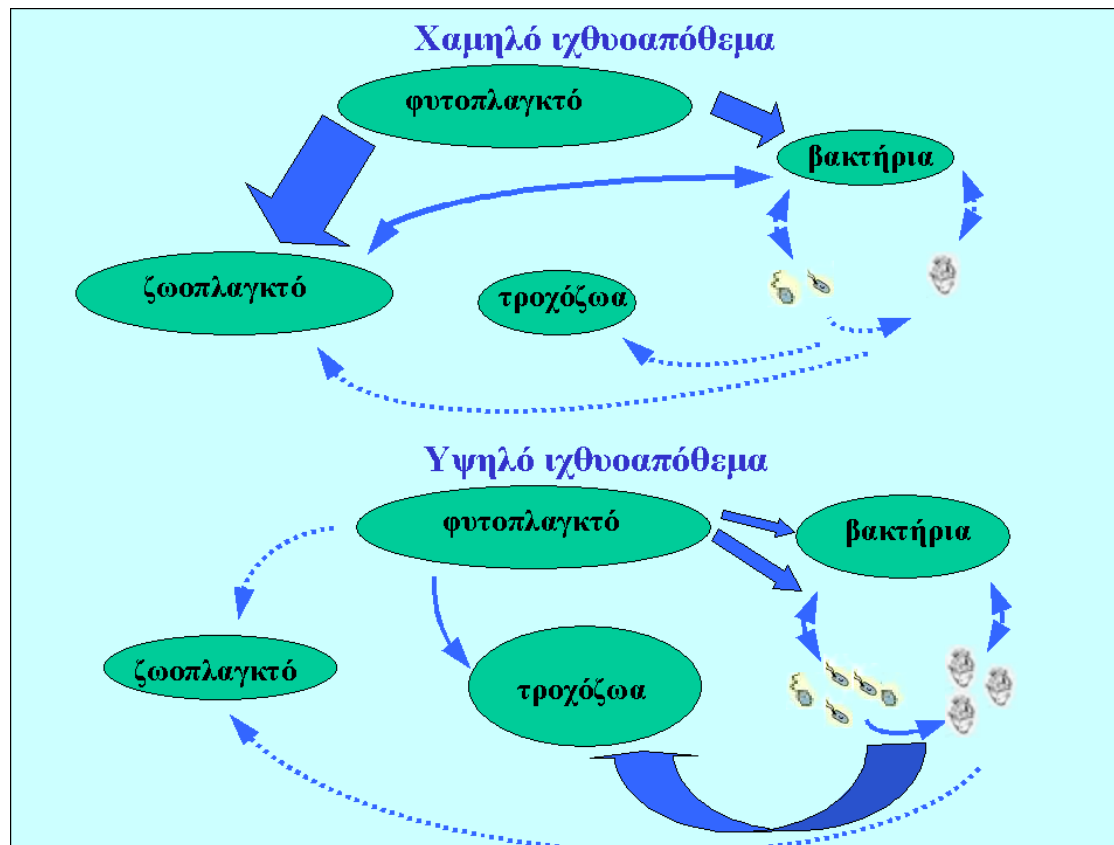


Λίμνες με σοβαρό πρόβλημα πτώσης της στάθμης: Κορώνεια, Βεγορίτιδα, Δοϊράνη



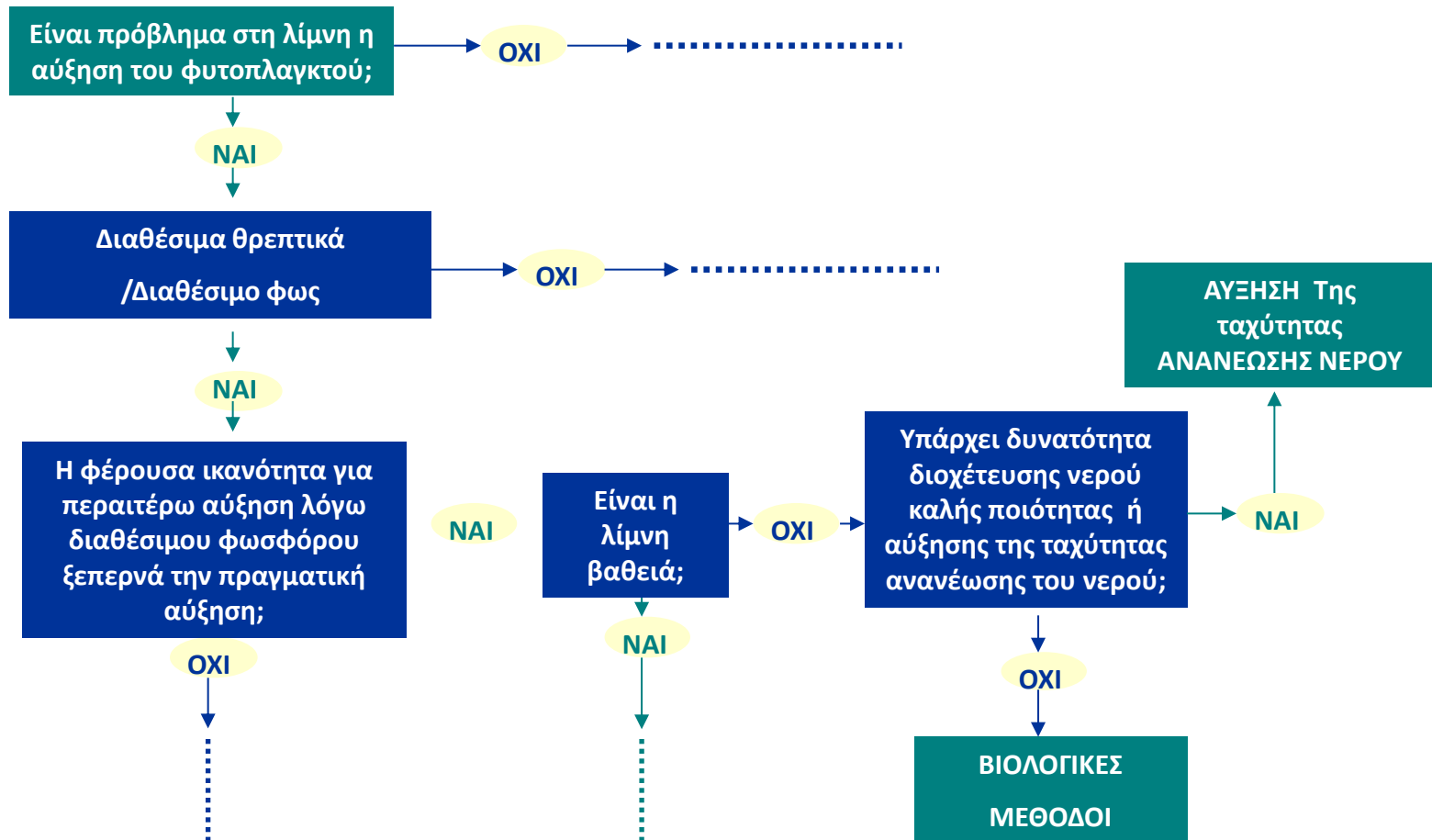
# Ανθρωπογενείς επιδράσεις – προβλήματα λιμνών

## 2. Υψηλά Ιχθυαποθέματα πλαγκτοφαγων ψαριών - εμπλουτισμοί



# Μέθοδοι αποκατάστασης

Λογικό διάγραμμα αποφάσεων για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου



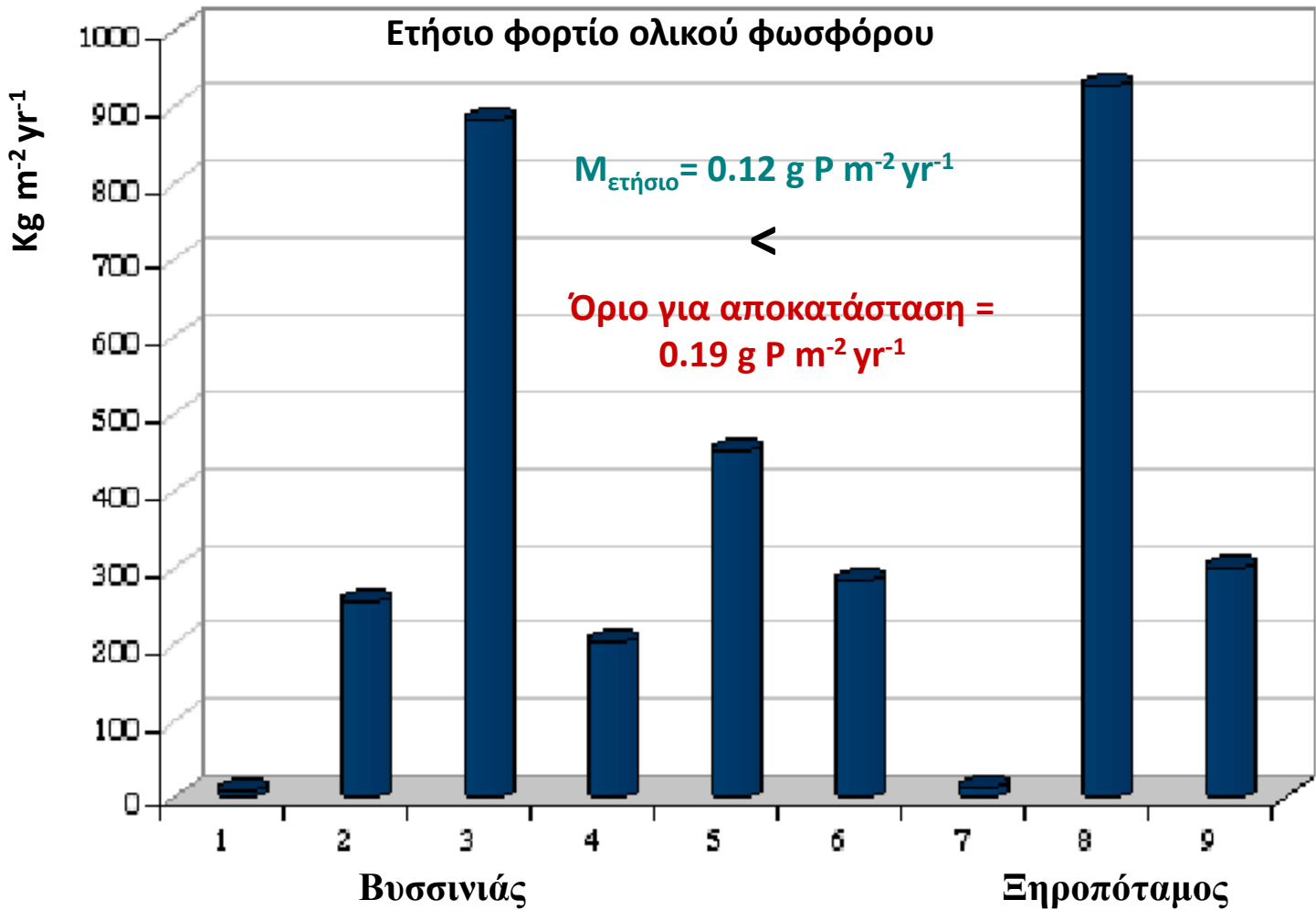
# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

Ποια είναι τα εξωτερικά φορτία φωσφόρου στη λίμνη?

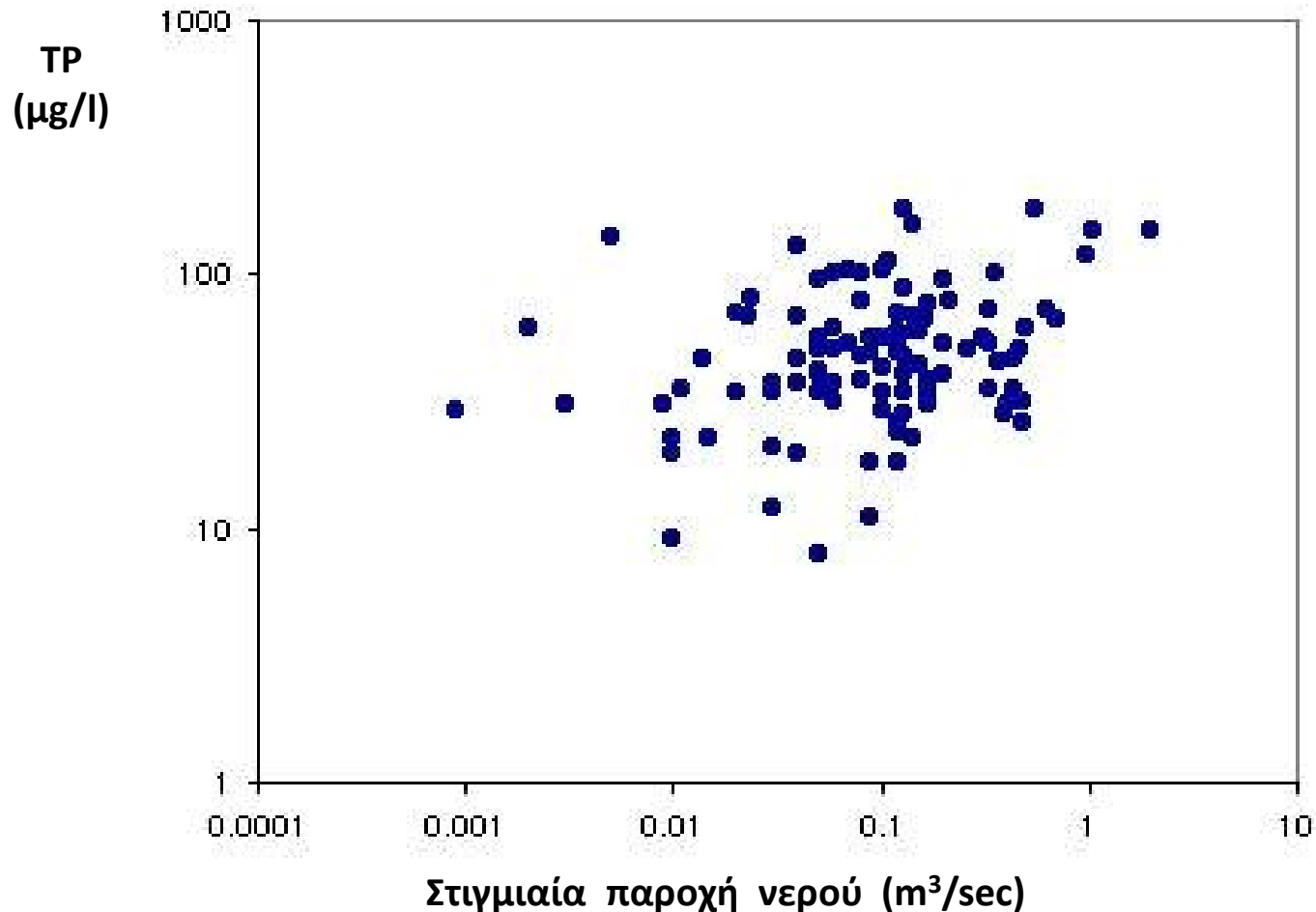
- Η είσοδος αστικών λυμάτων στη λίμνη διακόπηκε το 1994
- Από τη στιγμή που γίνουν περιορισμοί στα εξωτερικά φορτία μέχρι να δούμε τα αποτελέσματα που αναμένουμε στη λίμνη θα περάσει χρόνος. Οι **μηχανισμοί ανάδρασης** μέσα στο οικοσύστημα (π.χ. αλληλεπιδράσεις ιζήματος - νερού και νέες δυναμικές ισορροπίες, επικράτηση των βιοκοινοτήτων από άλλα είδη) ανθίστανται σε νέες ισορροπίες.
- Τα υπερέτροφα συστήματα όπως η λίμνη Καστοριάς έχουν θετικούς μηχανισμούς ανάδρασης που σταθεροποιούν αυτήν την τροφική τους κατάσταση και ιδιαίτερα την επικράτηση των κυανοβακτηρίων και ως εκ τούτου προβάλλουν αντίσταση στις αλλαγές ακόμη και μετά από σημαντική μείωση των εξωτερικών φορτίων κάτω από τα όρια που θεωρούνται αποτελεσματικά.



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς



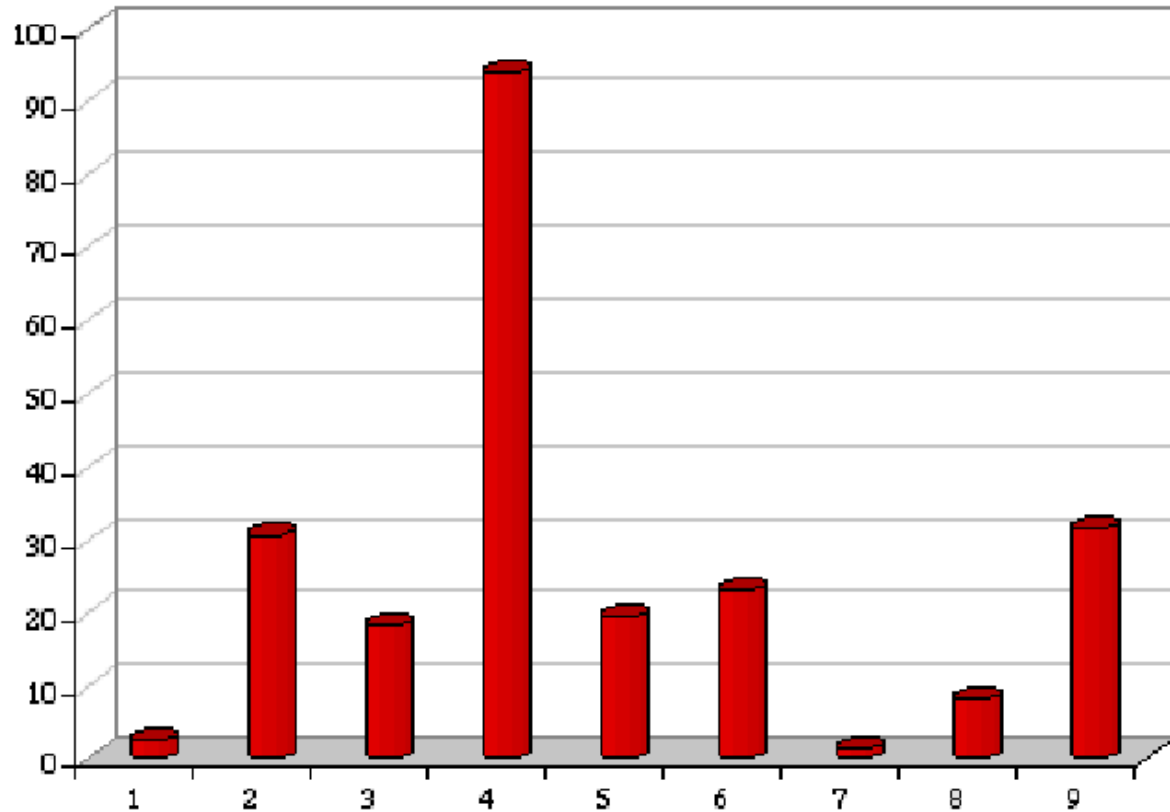
# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

Απώλεια φορτίων ολικού φωσφόρου ανά μονάδα επιφάνειας των υπολεκανών απορροής

TP  
(Kg m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)



Υπολεκάνες

4= τάφος Αγ. Αθανάσιος

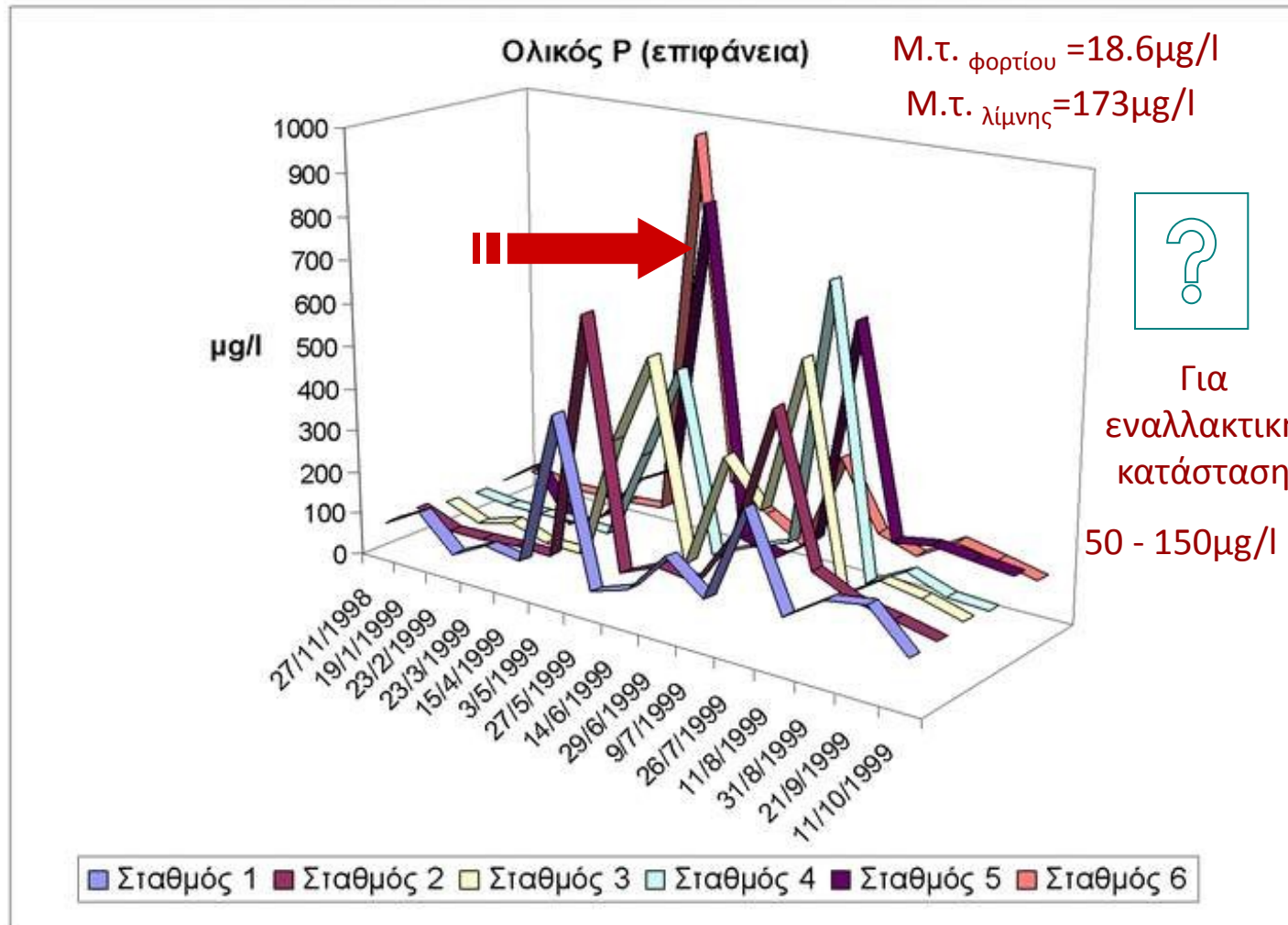
Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Τμήμα Βιολογίας





# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς



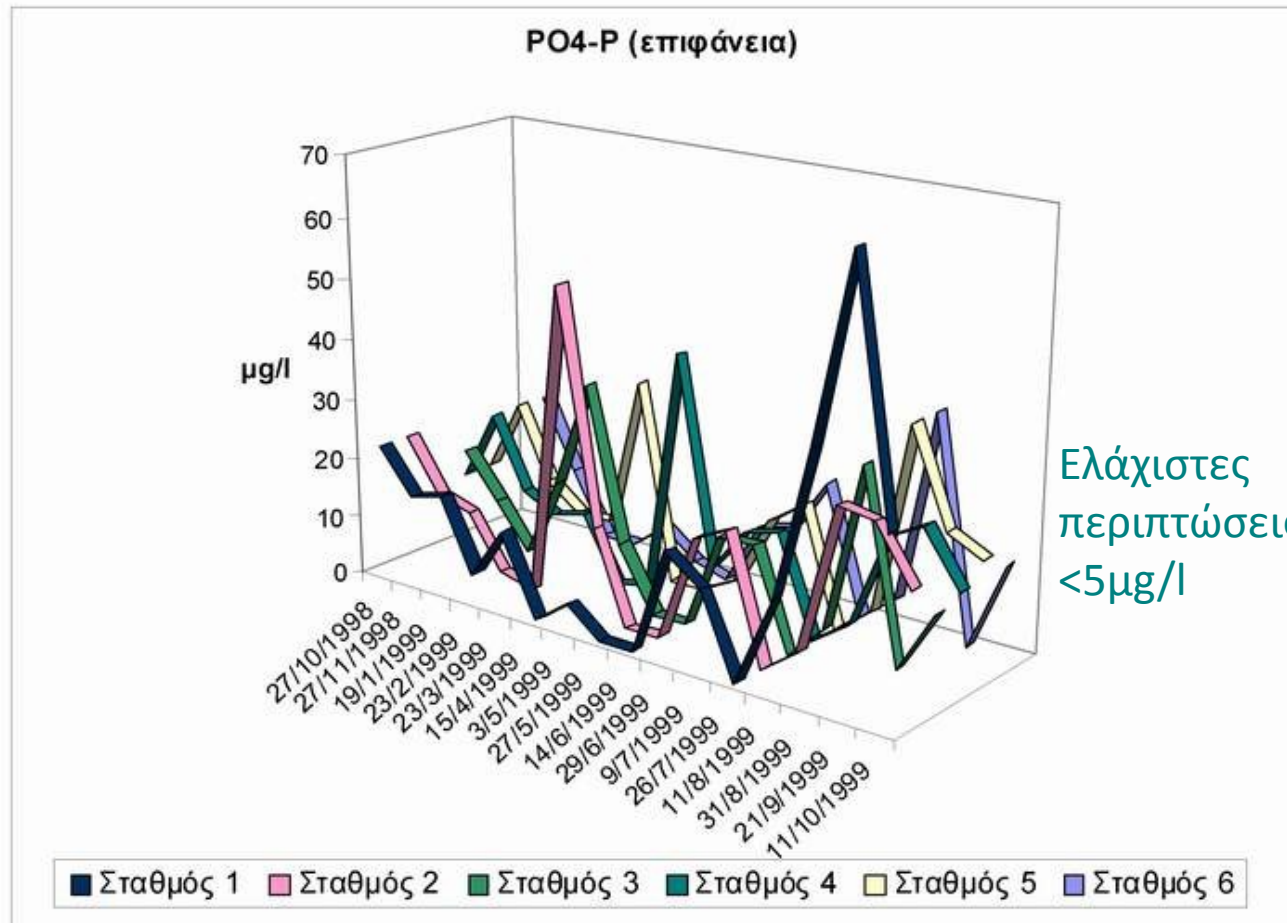
# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

## Φώσφορος (φορτία, συγκεντρώσεις)

- Στην Καστοριά τα **εξωτερικά φορτία φωσφόρου** βρίσκονται στα επιτρεπτά για την αποκατάσταση της λίμνης επίπεδα σύμφωνα με το σενάριο ελάχιστου φορτίου.
  - Όμως οι **συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου** την άνοιξη και το καλοκαίρι είναι ιδιαίτερα υψηλές αν και η μέση ετήσια τιμή είναι κοντά στο όριο που επιτρέπει απόκριση των κοινωνιών στα μειωμένα εξωτερικά φορτία.
  - Ο ανόργανος φώσφορος στο νερό μεταβάλλεται έντονα από μηδενικές έως και υψηλές τιμές και δεν έχει επιτευχθεί η συγκέντρωση που θεωρείται κρίσιμη για βελτίωση της λίμνης (<5 μg/l)
- οποιαδήποτε περαιτέρω προσπάθεια μείωσης των εισερχόμενων φορτίων φωσφόρου ιδιαίτερα από τις υπο-λεκάνες με τις μεγαλύτερες απώλειες φωσφόρου (π.χ. Τάφρος Αγίου Αθανασίου) αλλά και τις εισόδους λυμάτων που απέμειναν θα βοηθούσε την αποκατάσταση

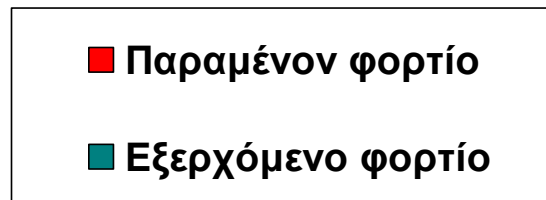
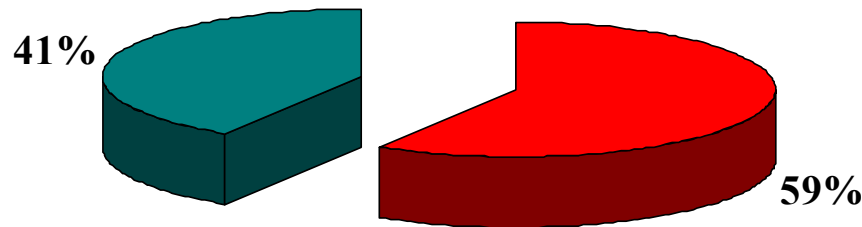


# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

- ✓ Το σημαντικό πρόβλημα για τη λίμνη είναι η **κατακράτηση ενός πολύ μεγάλου μέρους του εξωτερικού φορτίου** (1961 από τα 3320 kg ετησίως) αφού εξέρχονται με την απορροή μόνο 1359 kg. Ως εκ τούτου αν διατηρηθεί αυτή η **χαμηλή ταχύτητα ανανέωσης του νερού στη λίμνη** (στην καλύτερη περίπτωση 0.5 του όγκου του νερού της λίμνης στο έτος) ακόμη κι αν η λίμνη δέχεται φορτία φωσφόρου στα επιτρεπτά όρια αφού θα κατακρατεί περισσότερο φώσφορο από αυτόν που θα απομακρύνεται θα επιβαρύνεται.



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

Ποια τα εσωτερικά φορτία φωσφόρου στη λίμνη?



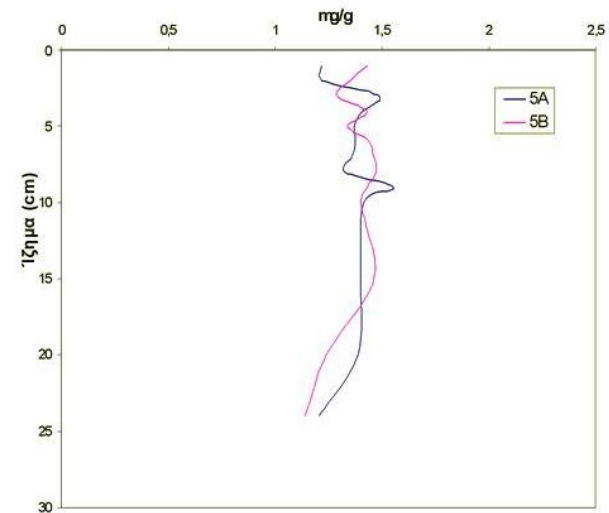
Δείγμα πυρήνα ιζήματος πάχους 1 cm όπου γίνεται ο προσδιορισμός των μορφών του βιο-διαθέσιμου φωσφόρου



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

Ποια τα εσωτερικά φορτία φωσφόρου στη λίμνη?

- Η χρονική υστέρηση απόκρισης του συστήματος στα μειωμένα εξωτερικά φορτία φωσφόρου οφείλεται στην ικανότητα του Ιζήματος να αποθηκεύει φώσφορο



- Μετρήσαμε υψηλές συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου στο ίζημα μέχρι το βάθος των 25 cm από την επιφάνεια του ιζήματος

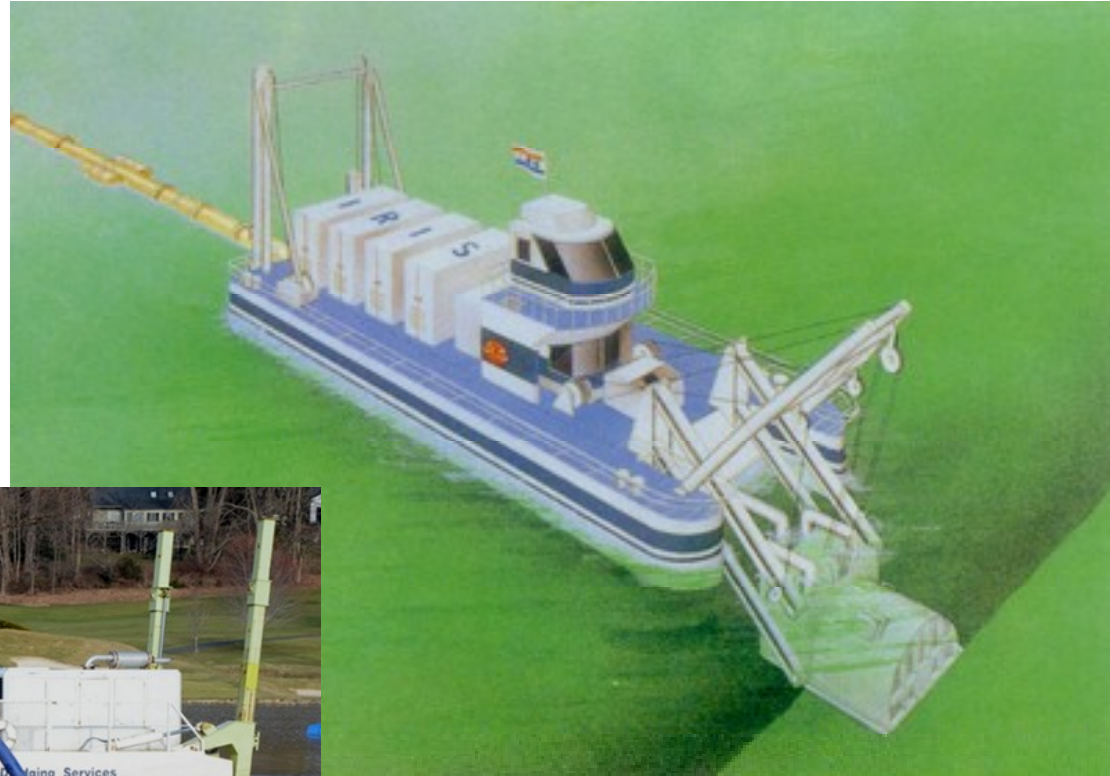




# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

Απαιτείται απομάκρυνση του ιζήματος? Είναι εφικτή? Θα είναι αποτελεσματική?

Σκάφη εξοπλισμένα για την απομάκρυνση ιζήματος



<http://www.pcidredging.com/>



# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

## Βιοδιαθέσιμος φώσφορος στο ίζημα

- Η ελευθέρωση του φωσφόρου από το ίζημα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως μεταβολές στις ταχύτητες ανταλλαγής νερού, συνθήκες ανάμειξης του νερού και ιζήματος, χημεία ιζήματος, θερμοκρασίες, διαταραχές του ιζήματος από τις βιολογικές λειτουργίες
- Ο φώσφορος που είναι δεσμευμένος με σίδηρο είναι ευαίσθητος σε μεταβολές του οξειδοαναγωγικού δυναμικού
- Όταν στην επιφάνεια του ιζήματος επικρατούν ανοξικές συνθήκες, ιδιαίτερα το καλοκαίρι που είναι η περίοδος με την υψηλότερη βιομάζα των κυανοβακτηρίων και την επικράτηση των πιο ανεπιθύμητων ειδών, η ελευθέρωση του φωσφόρου είναι μεγάλη και τροφοδοτεί την περαιτέρω αύξηση των κυανοβακτηρίων
- Ιδιαίτερα όταν στην Καστοριά τα δύο επικρατέστερα κυανοβακτήρια από τα εν δυνάμει τοξικά έχουν στάδια στον κύκλο ζωής τους που συνδέονται με το ίζημα το πρόβλημα γίνεται έντονο





# Το παράδειγμα της λίμνης Καστοριάς

## Μέθοδοι μείωσης του φωσφόρου

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν τρεις **κύριες μέθοδοι για τη μείωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στις λίμνες:**

- **μείωση των εξωτερικών φορτίων** (φαίνεται ότι έχει επιτευχθεί στην Καστοριά σε σημαντικό βαθμό),
- **αύξηση της εξαγωγής του φωσφόρου από τη λίμνη** (πρέπει να επιτευχθεί στην Καστοριά)
- **μείωση των εσωτερικών φορτίων με αύξηση της κατακράτησης του φωσφόρου στο ίζημα: με αύξηση της καθίζησης ή μείωση της ελευθέρωσης** (μπορεί να επιτευχθεί σταδιακά στην Καστοριά ή σε επόμενο στάδιο).

➤ Παρακάτω αναλύονται οι διάφορες μέθοδοι που εφαρμόζονται για τη μείωση του εσωτερικού φορτίου του φωσφόρου και η δυνατότητα εφαρμογής τους στην Καστοριά καθώς και η βιωσιμότητα μίας τέτοιας επέμβασης.



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

Σήμερα οι διαθέσιμες μέθοδοι για επεμβάσεις στο ίζημα μπορούν:

- Να αυξήσουν τη μεικτή καθίζηση του φωσφόρου (με άλατα σιδήρου & αργιλίου)
- Να αυξήσουν την ικανότητα δέσμευσης του φωσφόρου (με οξείδωση του επιφανειακού ιζήματος)

και

- Να μειώσουν τη δεξαμενή βιοδιαθέσιμου φωσφόρου στο ίζημα (με κάλυψη του επιφανειακού ιζήματος ή απομάκρυνσή του)



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

- Πολλές φορές οι μέθοδοι αυτές δεν είναι αποτελεσματικές διότι έχουν **περιορισμένη διάρκεια** ή είναι εφικτό να γίνουν σε πολύ μικρές λίμνες
- Μόλις το ίζημα ξαναγίνει ανοξικό (αν και έχει προηγηθεί οξειδωσή του) με τη νέα ποσότητα καθιζάμενου οργανικού υλικού ακόμη και μετά από δέσμευση του φωσφόρου (π.χ. με ανθρακικό ασβέστιο) ή απομάκρυνση του επιφανειακού ιζήματος ένας νέος εσωτερικός κύκλος φωσφόρου αρχίζει
- Γι αυτό η **αποτελεσματικότητα ελέγχου του εσωτερικού κύκλου του φωσφόρου** με όλες τις παραπάνω μεθόδους **εξαρτάται από την ταχύτητα διαγένεσης στο ίζημα** που αν δεν την γνωρίζουμε πολύ καλά ο κίνδυνος της αποτυχίας είναι μεγάλος.



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

- Κατακρήμνιση του φωσφόρου από το νερό στο ίζημα με το δεδομένο ότι θα παραμείνει δεσμευμένος στο ίζημα θα μπορούσε να είναι επιτυχής για τη μείωση του εσωτερικού φορτίου.
- Προϋποθέσεις για επιτυχή έκβαση είναι: χαμηλά εξωτερικά φορτία, ικανοποιητικό βάθος της λίμνης ώστε να παρεμποδίζεται η ανααίωρηση του ιζήματος σε περιόδους με ισχυρούς ανέμους & κατάλληλη επιλογή των σωματιδίων που θα χρησιμοποιηθούν.



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

- Για τη χρήση διάφορων ενώσεων πρέπει να προηγηθεί έρευνα για το αν θα οδηγούσαν σε μείωση ή αύξηση των κυανοβακτηρίων (π.χ. στην περίπτωση που προσθέταμε ενώσεις σιδήρου ενόσω ο σίδηρος ήταν περιοριστικό θρεπτικό για τα κυανοβακτήρια σε μία λίμνη)
- Στην περίπτωση που θα μπορούσε υλικό από τη λίμνη (π.χ. πλούσιο σε υδροξείδιο του ασβεστίου ή ανθρακικό ασβέστιο) θα απαιτούσε μεγάλες ποσότητες που κάνουν την τεχνική ανέφικτη για ρηχές και μεγάλες λίμνες όπως η Καστοριά
- Όλες αυτές οι προσθήκες μπορεί να έχουν και αρνητικές επιδράσεις στο οικοσύστημα και ως απλούστερη περίπτωση αναφέρεται η μεταβολή του pH που θα επιδράσει στους οργανισμούς και φυσικά στους βιογεωχημικούς κύκλους στη λίμνη



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

- Η απομάκρυνση ιζήματος προτείνεται για μικρές, κυρίως αστικές, εύτροφες λίμνες που θέλουμε να αυξήσουμε το βάθος τους.
- Τις τελευταίες δεκαετίες αποκτήθηκε μεγάλη εμπειρία από τέτοιες τεχνικές και συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι υπήρξαν αποτυχημένες και επιτυχημένες προσπάθειες. Οι πετυχημένες προσπάθειες στηρίχθηκαν σε προσεκτικό σχεδιασμό βασισμένο σε θεμελιώδη γνώση της χημείας του ιζήματος, των ανταλλαγών και ροών με το νερό και της υδρολογίας της λίμνης και της λεκάνης απορροής, γνώση που στερούμαστε για τη λίμνη της Καστοριάς.



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

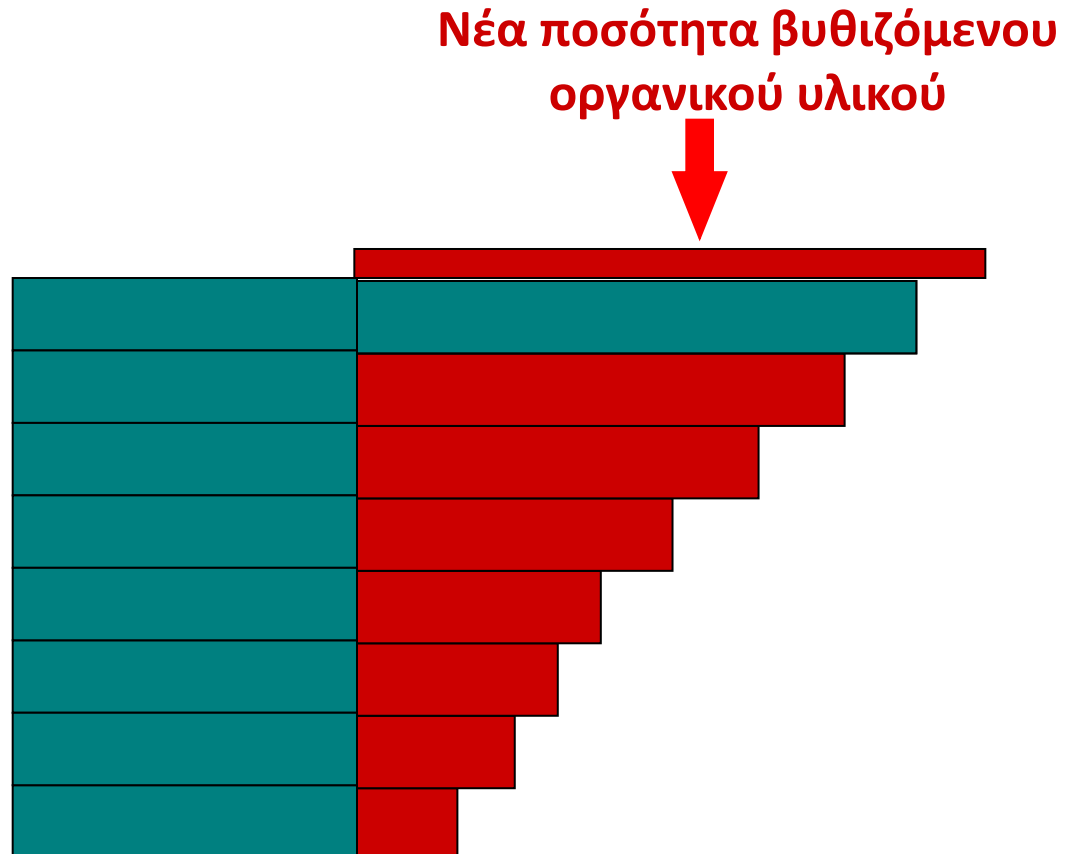
- Συμπερασματικά, η απομάκρυνση του πλούσιου σε φώσφορο ιζήματος μπορεί να είναι μια χρήσιμη μέθοδος που επιταχύνει την επανάκτηση πιο επιθυμητής οικολογικής ισορροπίας σε μικρές ρηχές λίμνες. Όμως είναι πολύ ακριβή μέθοδος που προτείνεται κυρίως για πολύ μικρές αστικές λίμνες με κύρια χρήση την αναψυχή.



# Μέθοδοι επέμβασης στο ίζημα

## Στη λίμνη της Καστοριάς

Σχηματική παρουσίαση της κατανομής με το βάθος στο ίζημα του βιο-διαθέσιμου (κόκκινο) & δεσμευμένου (πράσινο) φωσφόρου





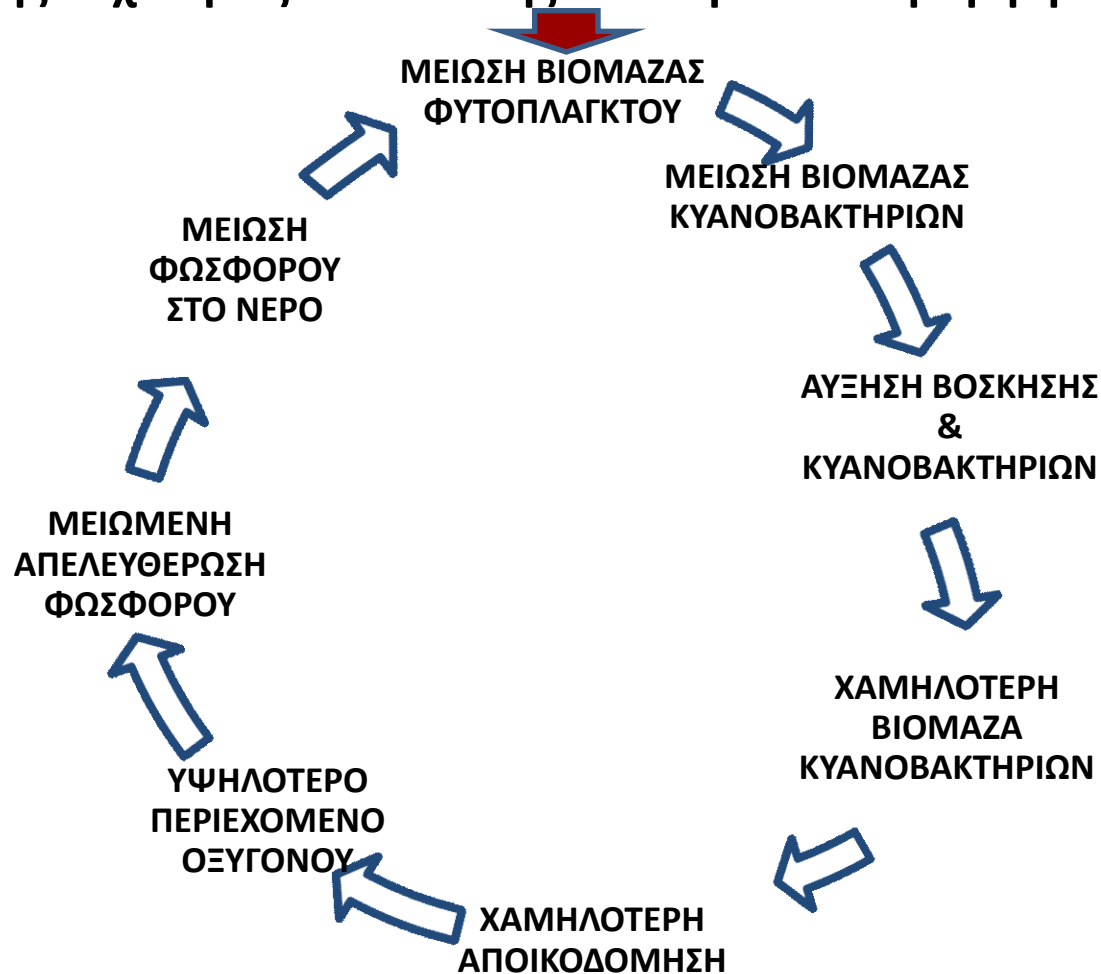
# Διοχέτευση νερού/αύξηση ταχύτητας ανανέωσης νερού

- Διοχέτευση νερού χαμηλής περιεκτικότητας σε φώσφορο μπορεί να μειώσει τα εξωτερικά φορτία αλλά και να επιταχύνει την ανάκαμψη από τα εσωτερικά φορτία με την απομάκρυνση φωσφόρου από τη λίμνη που αλλιώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από το φυτοπλαγκτό και να ανακυκλωθεί πολλές φορές στη λίμνη.
- Αν υπάρχει διαθέσιμο κατάλληλο νερό για να περάσει μέσα από τη λίμνη ή και αν συντομευθεί ο χρόνος ανανέωσης του νερού τότε αυτή η επέμβαση θα ήταν αποτελεσματική για τη μείωση των κυανοβακτηρίων για πολλούς λόγους όπως φαίνεται στον παρακάτω κύκλο διεργασιών/ανατροφοδότησης



# Διοχέτευση νερού/αύξηση ταχύτητας ανανέωσης νερού

Αύξηση της ταχύτητας ανανέωσης του νερού υπό μορφή διαταραχής



# Βιοχειρισμός

- Η βιολογική μέθοδος είναι εναλλακτική μέθοδος αποκατάστασης που χρησιμοποιείται για να μειώσει τα συμπτώματα του ευτροφισμού. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο όρος για κάθε βιο-χειρισμό (βιοχειραγώγηση) με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, αλλά συνήθως αναφέρεται στη μείωση των πλαγκτοφάγων & βενθοφάγων ψαριών για να ελαττωθεί η συνεισφορά τους στη χαμηλή ποιότητα του νερού.
- Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για τον βιοχειρισμό (biomanipulation) σε λίμνες & φραγμαλίμνες με μείωση της αφθονίας των ζωοπλαγκτοφάγων & βενθοφάγων ψαριών προκύπτουν τα εξής:
  - ✓ η μεγαλύτερη επιτυχία παρατηρήθηκε όταν έγινε μερική απομάκρυνση ζωοπλαγκτοφάγων ψαριών σε μικρές (< 25 εκτάρια) & ρηχές λίμνες (< 3 μέτρα)
  - ✓ Η βιολογική μέθοδος που πέτυχε αύξηση της αφθονίας του γένους *Daphnia* και των μακρόφυτων είχε και τη μεγαλύτερη πιθανότητα να πετύχει σταθερά υψηλή ποιότητα νερού.



# Βιοχειρισμός



# Βιοχειρισμός

- Βέβαια επειδή η μέθοδος του βιο-χειρισμού στηρίζεται στις τροφικές αλληλεπιδράσεις οργανισμών με πολύ διαφορετικούς χρόνους γενεάς (από ώρες, ή μέρες έως έτη) και διαφορετικές οικολογικές λειτουργίες θεωρείται **πολύ δύσκολη η πρόβλεψη της επιτυχίας της μεθόδου και μάλιστα κρίνεται ότι η επιτυχία εξαρτάται από απρόβλεπτες πολύ μικρές διαφορές των κρίσιμων παραγόντων**
- Το πρόβλημα των σταδίων στον κύκλο ζωής των ψαριών και της αλλαγής των διατροφικών τους απαιτήσεων περιπλέκει τις τροφικές σχέσεις και δυσκολεύει πολύ την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων
- Θεωρείται **μία μέθοδος αποτελεσματική μόνο για μικρές και ρηχές λίμνες αν και επιτυχή αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και σε μεγάλες λίμνες, όπως για παράδειγμα στη λίμνη Finjasjon της Σουηδίας**



# Βιοχειρισμός

## Στη λίμνη της Καστοριάς

•Στις εύτροφες ρηχές λίμνες, όπως η λίμνη της Καστοριάς, ο βιο-χειρισμός των τροφικών πλεγμάτων (από την κορυφή προς τη βάση) στηρίζεται στην **υπόθεση των δύο εναλλακτικών καταστάσεων της λίμνης σε μέτρια επίπεδα φωσφόρου.**

Αυτές οι δύο σταθερές καταστάσεις εναλλακτικά μπορεί να είναι:

α) κατάσταση με χαμηλή διαφάνεια &

β) κατάσταση με υψηλή διαφάνεια του νερού

✓Τα βυθισμένα μακρόφυτα παίζουν ρόλο κλειδί για τη σταθεροποίηση της κατάστασης με υψηλή διαφάνεια νερού. Μία σημαντική διαταραχή της κατάστασης με χαμηλή διαφάνεια μπορεί να προκύψει με μείωση των πλαγκτο- & βενθοφάγων ψαριών.



# Εναλλακτικές καταστάσεις



# Εναλλακτικές καταστάσεις

Η εμπειρία έχει δείξει ότι σε λίμνες με συγκέντρωση ολικού φωσφόρου  $<150 \mu\text{g/l}$  μπορεί να επιτευχθεί γρήγορα αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας με εφαρμογή του βιο-χειρισμού

Γιατί όμως η μέθοδος αυτή δεν αποδίδει σε συγκεντρώσεις  $300 \mu\text{g/l}$ ;

• Στο εύρος  $50 - 150 \mu\text{g/l}$  ολικού φωσφόρου ο ευτροφισμός στις λίμνες μπορεί να έχει **δύο σταθερές δομές**.

- ✓ Αυτή με την επικράτηση **μακρόφυτων** σε υψηλής διαφάνειας νερά &
- ✓ Αυτή με την επικράτηση του **φυτοπλαγκτού** σε χαμηλής διαφάνειας νερά
- Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί ο βιο-χειρισμός μπορεί να είναι αποτελεσματικός μόνο σ' αυτό το εύρος και όχι σε υψηλότερα επίπεδα όπου υπάρχει μόνο μία δομή αυτή της επικράτησης του φυτοπλαγκτού.

Ο βιο-χειρισμός μπορεί να προωθήσει μία μετάβαση από τη μία δομή στην άλλη δεδομένου ότι και οι δύο δομές είναι πιθανές στο συνδυασμό προώθησης αποφασιστικών διεργασιών. Οι δυο καταστάσεις μπορεί να εναλλάσσονται **στο ίδιο έτος στα μεσογειακά συστήματα.**



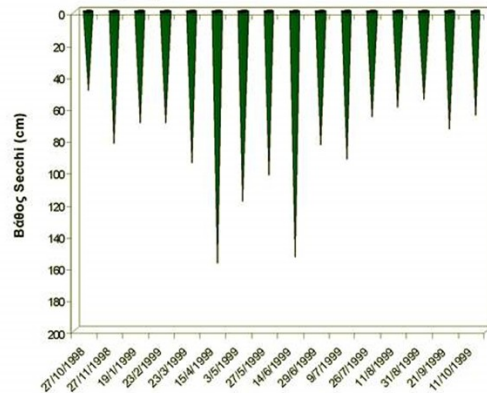


# Εναλλακτικές καταστάσεις

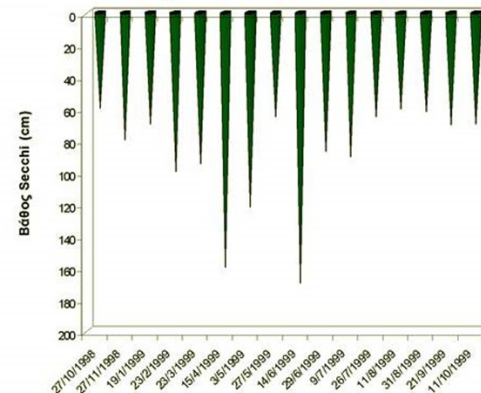
## Στη λίμνη της Καστοριάς

Διαφάνεια

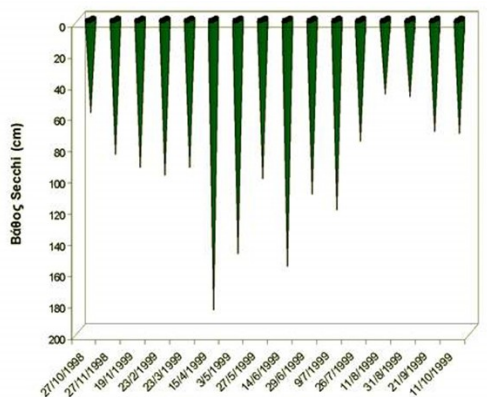
Σταθμός 1



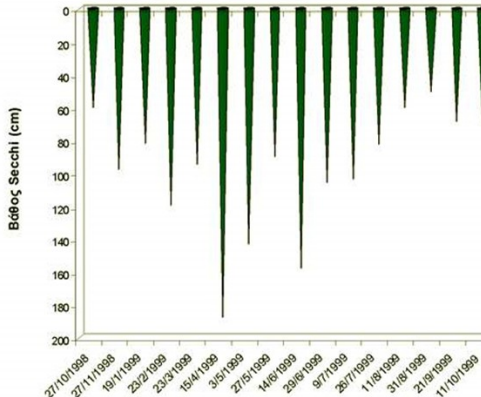
Σταθμός 2



Σταθμός 3



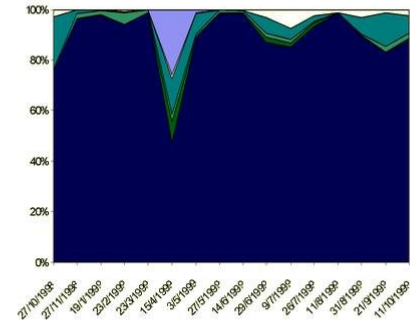
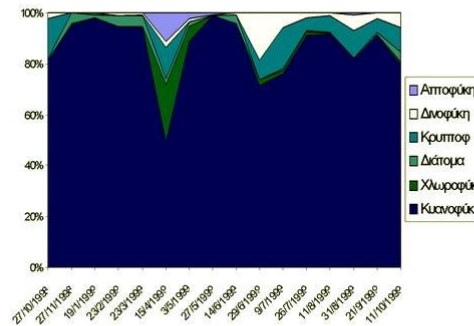
Σταθμός 4



# Εναλλακτικές καταστάσεις

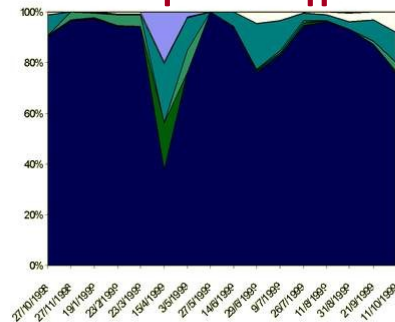
## Στη λίμνη της Καστοριάς

% Συμμετοχή στη Βιομάζα του Φυτοπλαγκτού της κάθε κλάσης φυκών  
Σταθμός 1 (Επιφάνεια) Σταθμός 1 (Πυθμένας)

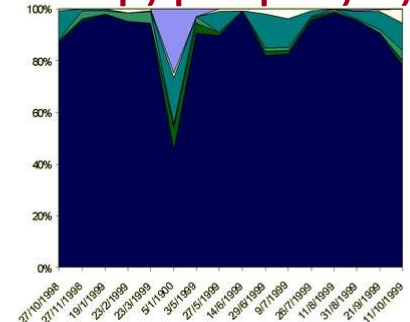


Σταθμός 2 (Επιφάνεια)

**Κυανοβακτήρια > 90% της βιομάζας**



Σταθμός 2 (Πυθμένας)



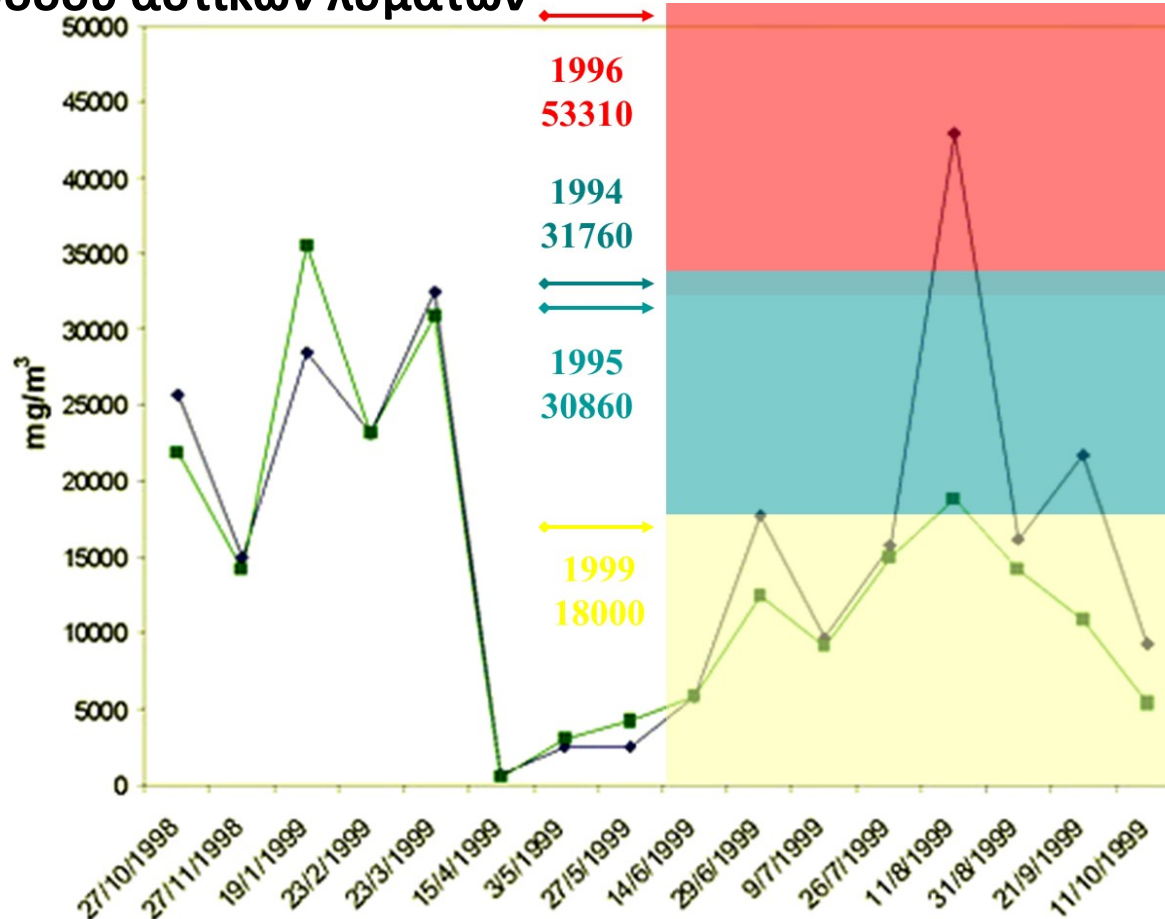
Σταθμός 3 (Επιφάνεια)

Σταθμός 3 (Πυθμένας)



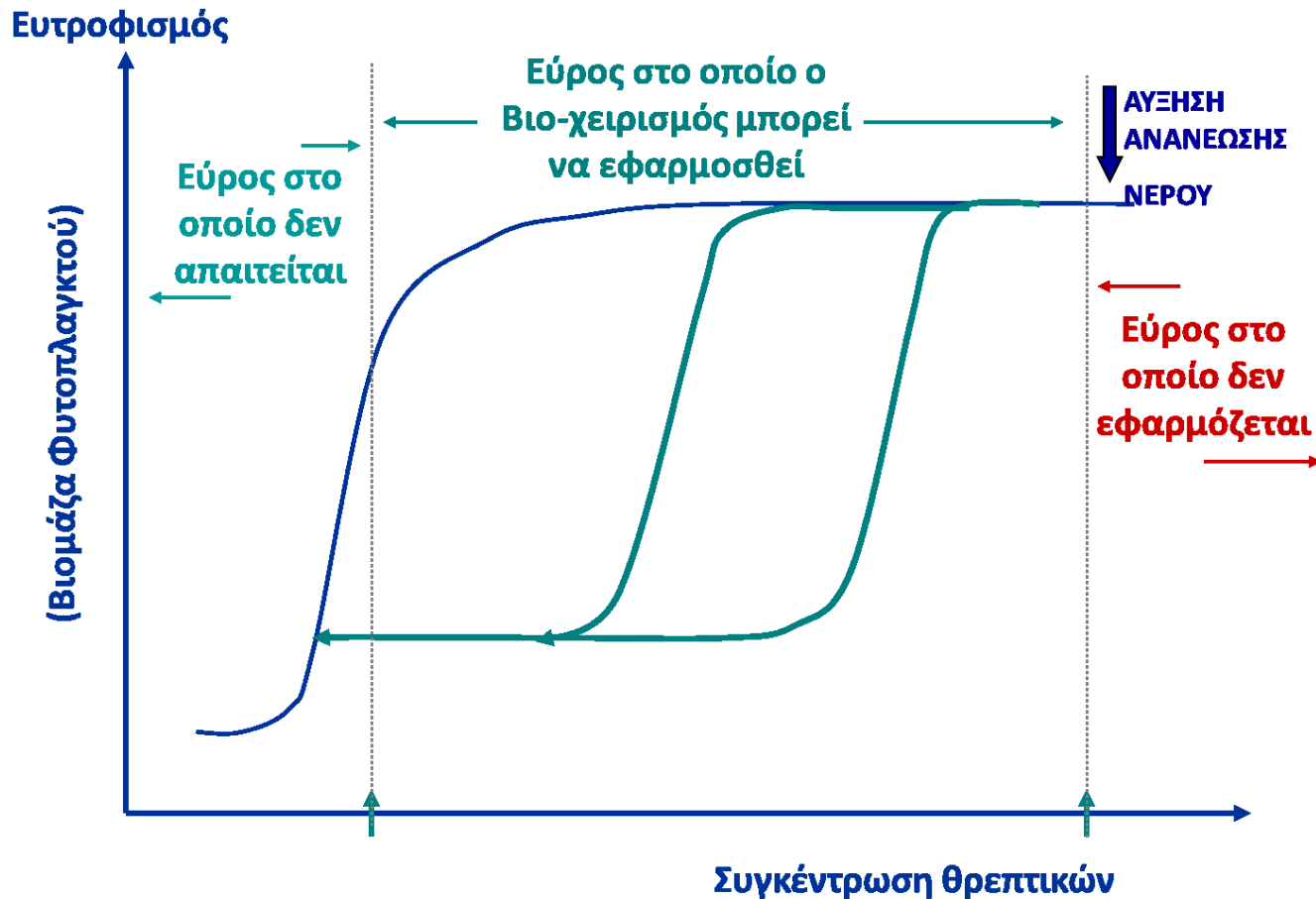
# Εναλλακτικές καταστάσεις

Στη λίμνη της Καστοριάς τα επίπεδα συνολικής βιομάζας πριν και μετά τη διακοπή εισόδου αστικών λυμάτων



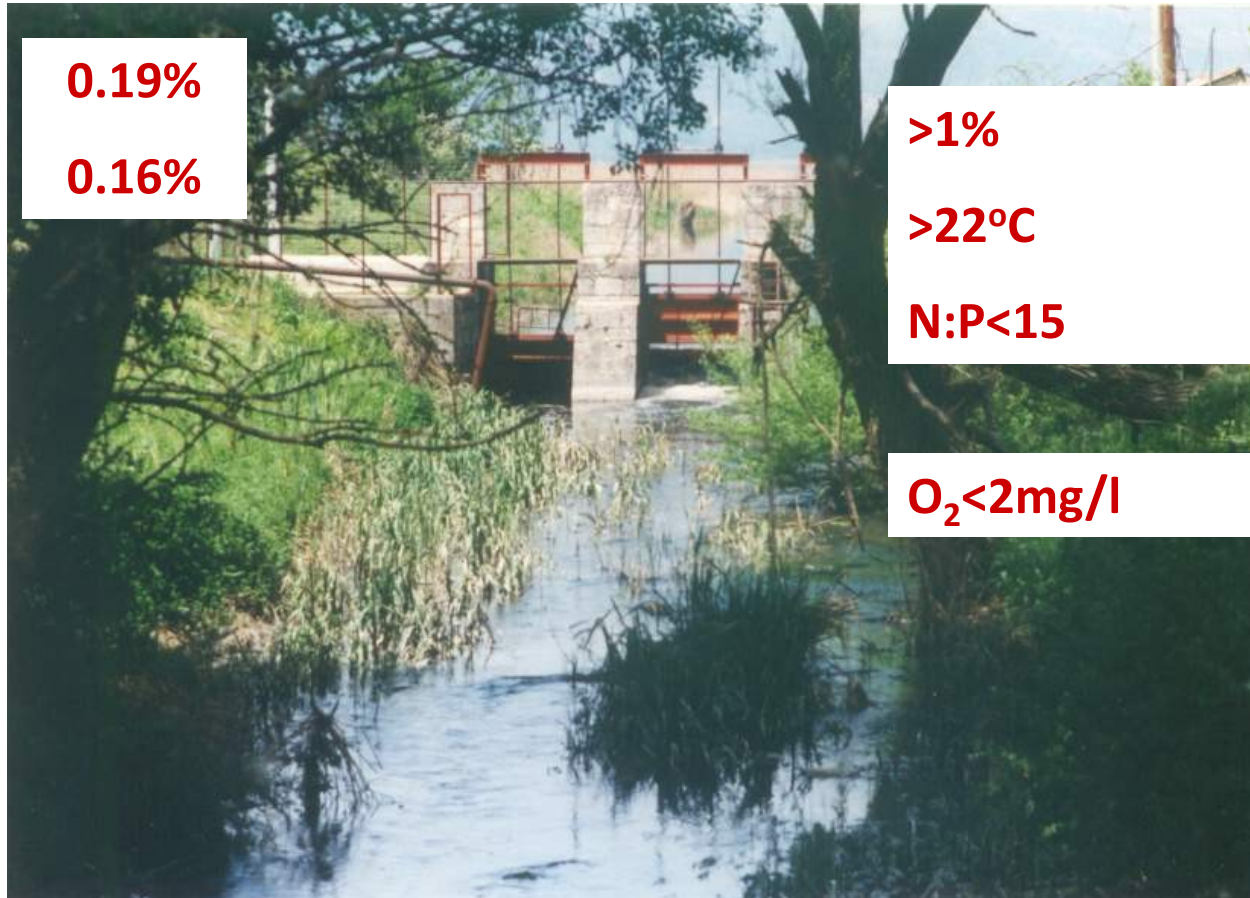
# Εναλλακτικές καταστάσεις

Στη λίμνη της Καστοριάς, μια τροποποίηση με αύξηση της ανανέωσης νερού



# Μέτρα Αποκατάστασης

Στη λίμνη της Καστοριάς, διαχείριση της απορροής στο θυρόφραγμα



# Μέτρα Αποκατάστασης

ΌΧΙ ανάμειξη σε ρηχές λίμνες ως λύση εμπλουτισμού οξυγόνου.  
Γιατί;

Γιατί δεν μπορεί να αποτελεί μέθοδο αποκατάστασης ο εμπλουτισμός με οξυγόνο του «υπολίμνιου» της λίμνης Καστοριάς, όπως κατά το παρελθόν προτάθηκε;

Προφανής Άγνοια βασικών  
λιμνολογικών  
χαρακτηριστικών αβαθών  
πολυμεικτικών λιμνών!



Fountain of Inspiration Lake, HKDLR. Source: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ins\\_lake\\_fountain.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ins_lake_fountain.jpg)  
AMN47, 2005 CC-BY-SA





# Μέτρα Αποκατάστασης

Μέτρα για μείωση του κινδύνου για τη δημόσια υγεία από τοξικά κυανοφύκη δεν είναι μέτρα αποκατάστασης αλλά προστασίας

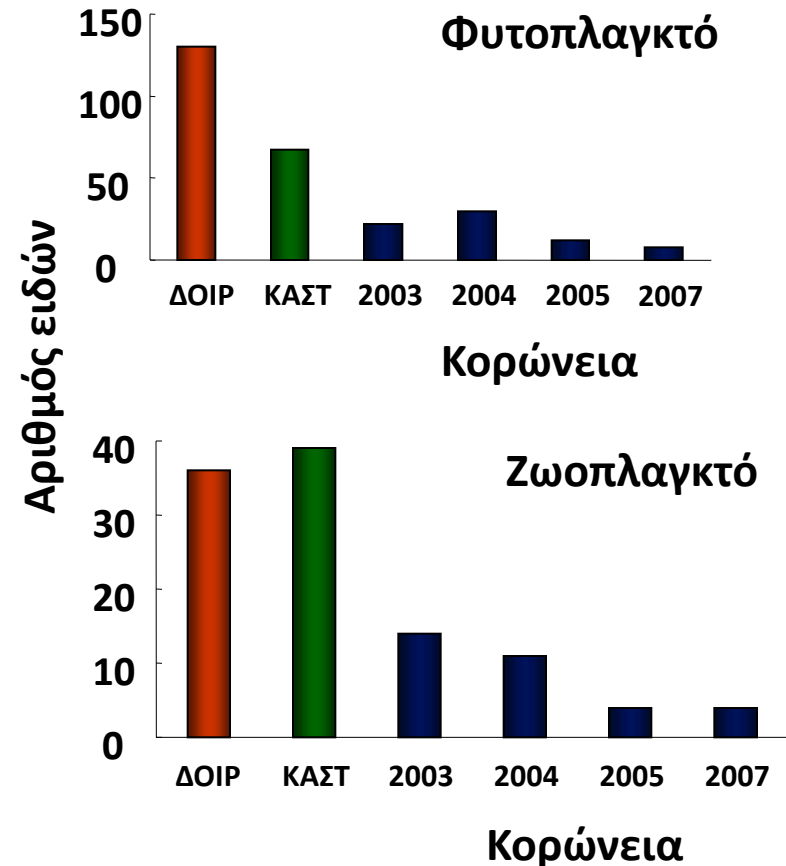


# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνεια

## χαμηλή ποικιλότητα ειδών πλαγκτού

Η ποικιλότητα ειδών φυτοπλαγκτού & ζωοπλαγκτού στη Λίμνη Κορώνεια ήταν:

- ✓ εξαιρετικά χαμηλή (πτωτική τάση)
- ✓ κατά πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την ποικιλότητα ειδών δύο άλλων αβαθών λιμνών της Ελλάδας (εύτροφη Λίμνη Δοϊράνη & υπερέυτροφη Λίμνη της Καστοριάς)



Ποικιλότητα φυτοπλαγκτού & ζωοπλαγκτού στις λίμνες Δοϊράνη (ΔΟΙΡ), Καστοριάς (ΚΑΣΤ) & Κορώνεια. Κατσιάπη κ.ά 2008

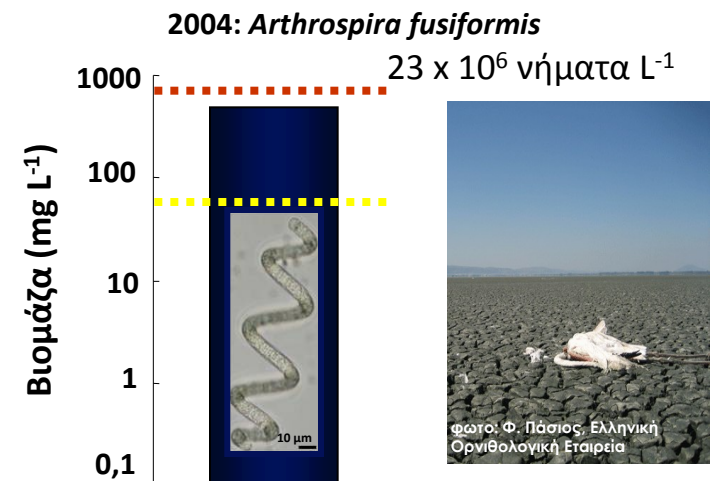
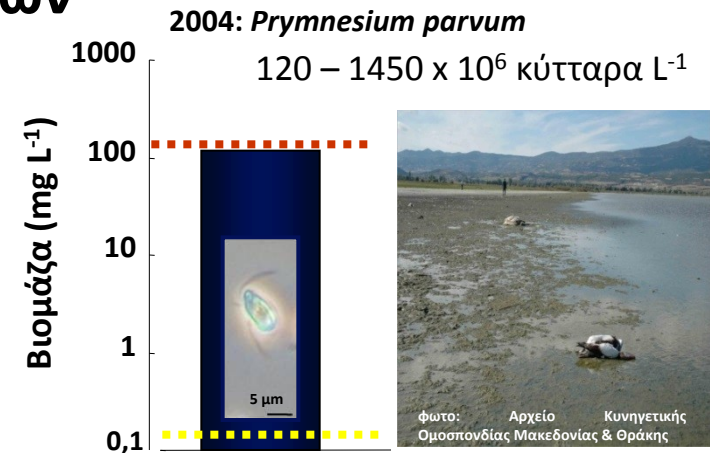




# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

## Υπέμετρη αύξηση γνωστών τοξικών ειδών

- ✓ Η εμφάνιση & υπέρμετρη αύξηση των γνωστών τοξικών ειδών *P. parvum* & *A. fusiformis* συνέπεσε με μαζικούς θανάτους παρυδάτιων πτηνών
- ✓ Οι τιμές βιομάζας ανήκουν στο εύρος των τιμών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για υδάτινα συστήματα όπου έχουν καταγραφεί μαζικοί θάνατοι ψαριών & πτηνών

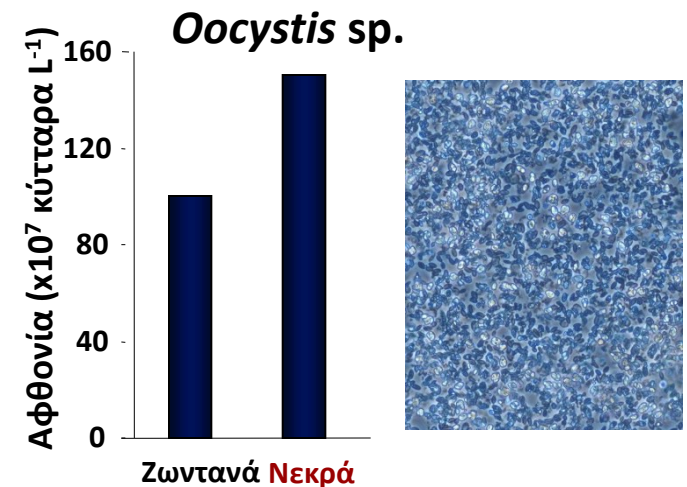
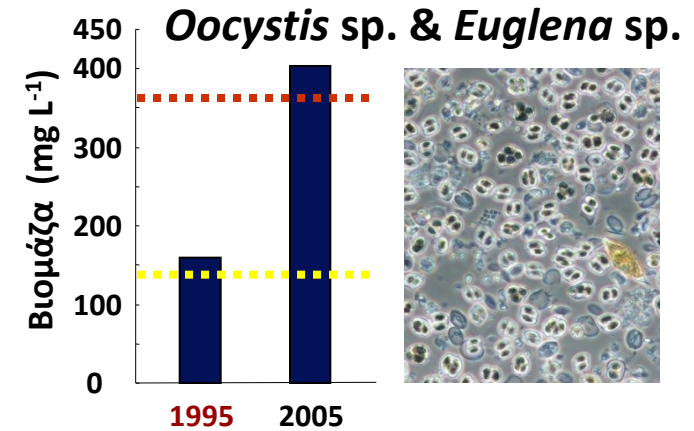


Κατσιάπη κ.ά 2008

# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

## Υπέρμετρη αύξηση μη τοξικών ειδών

- ✓ Υπέρμετρη αύξηση ειδών των *Oocystis* & *Euglena*, γνωστών από την ανάπτυξή τους σε δεξαμενές σταθεροποίησης βιολογικών καθαρισμών παρατηρείται από το 1995
- ✓ Ο αριθμός νεκρών κυττάρων του *Oocystis* sp. υπερέχει των ζωντανών υποδηλώνοντας συσσώρευση νεκρής βιομάζας φυτοπλαγκτού



Κατσιάπη κ.ά 2008

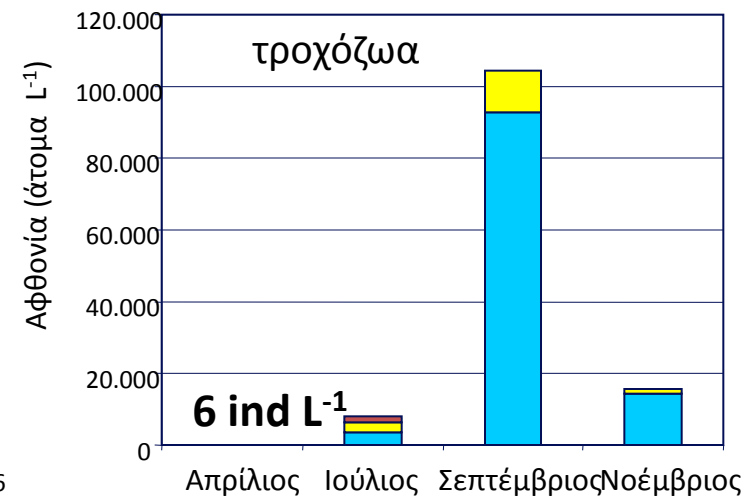
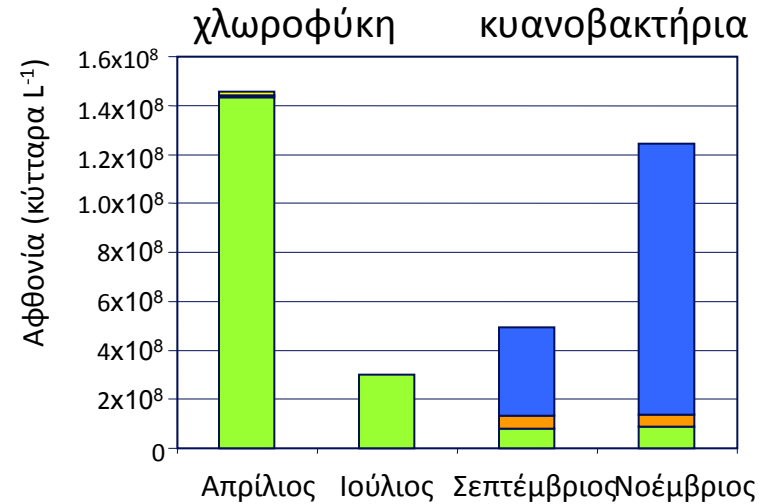


# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

## Τροφικό πλέγμα

Λίμνη Κορώνεια 2005

- κατάρρευση τροφικού πλέγματος



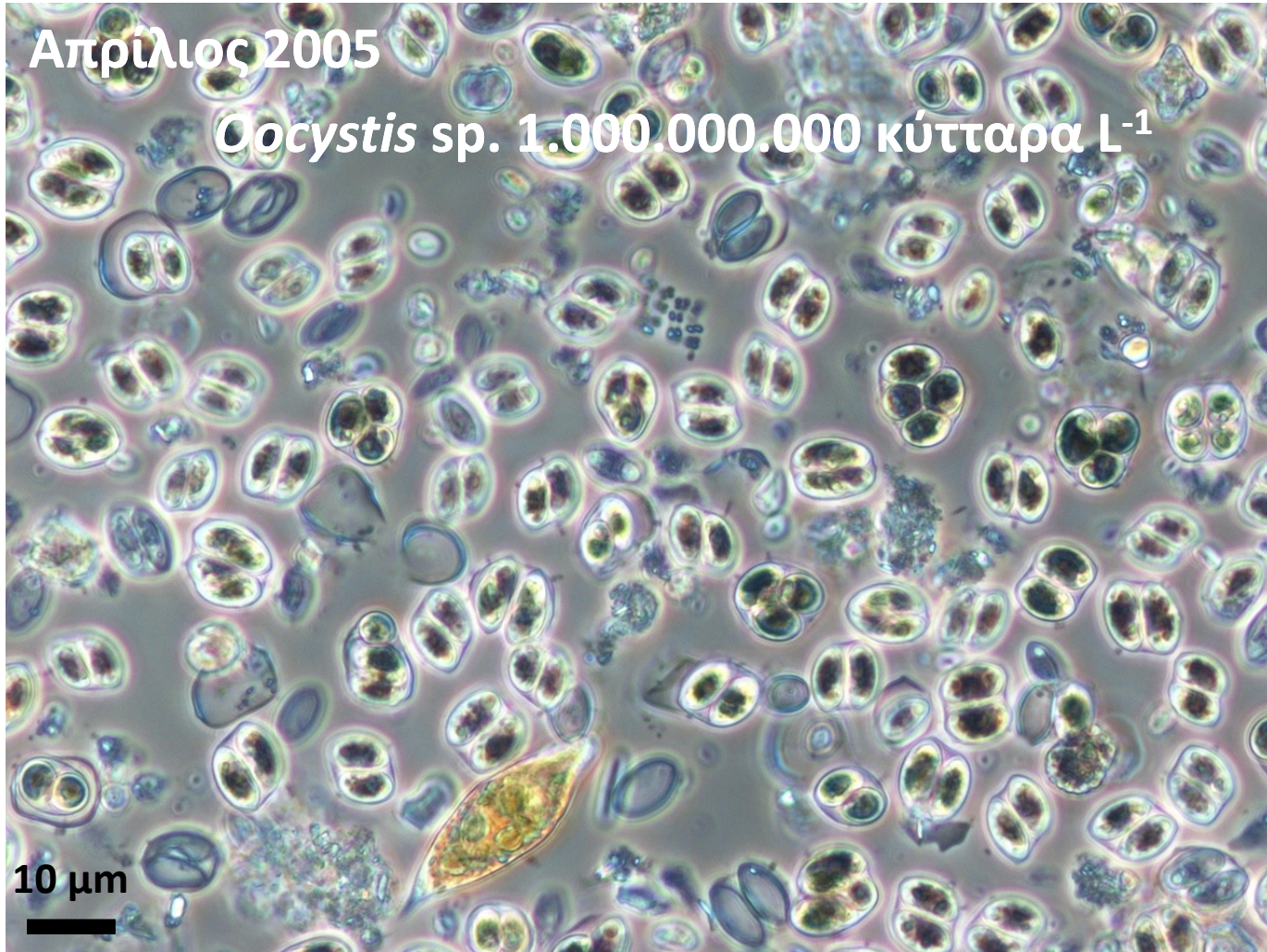
Μουστάκα & Μιχαλούδη 2006

Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Τμήμα Βιολογίας

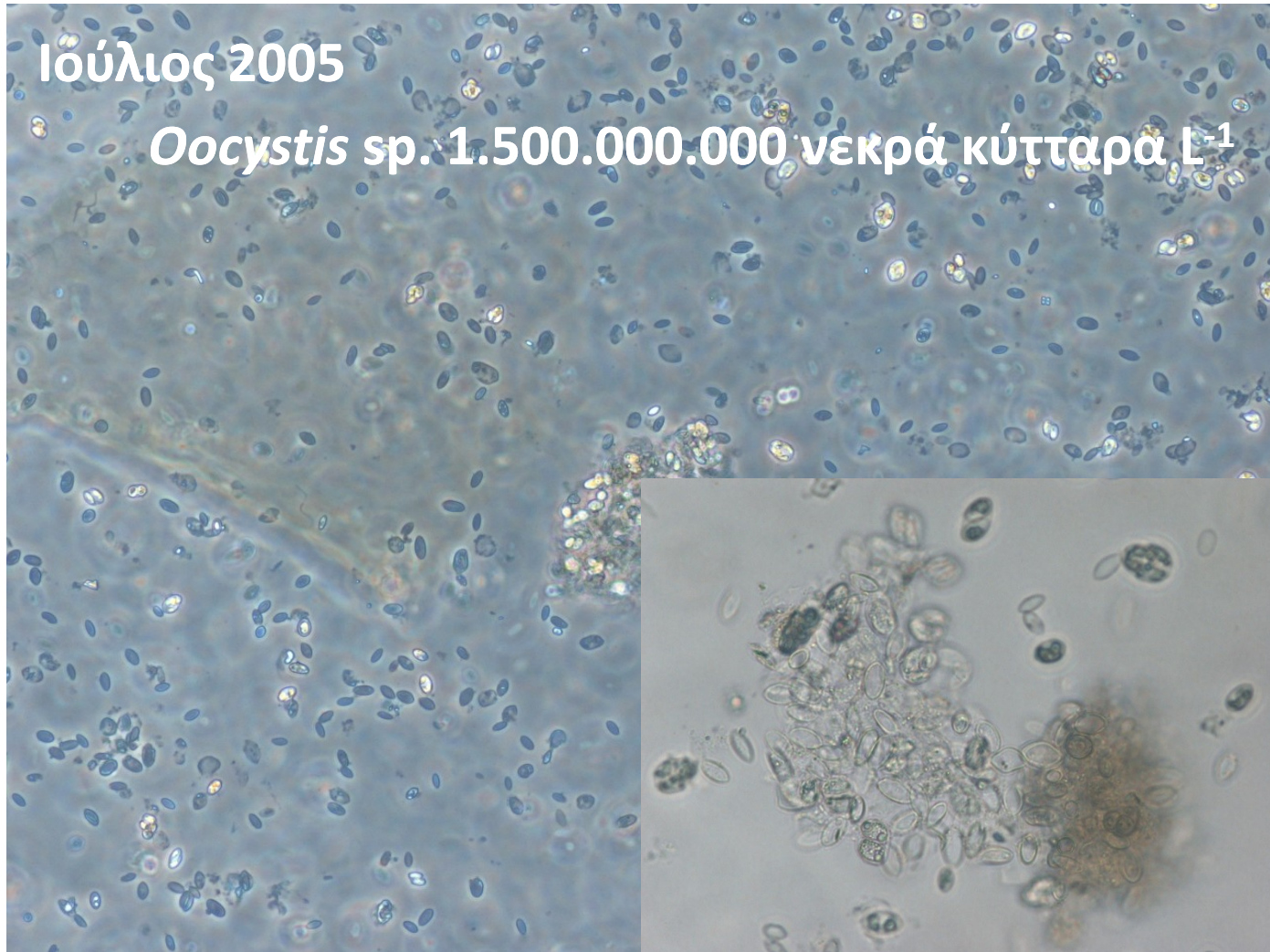


# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

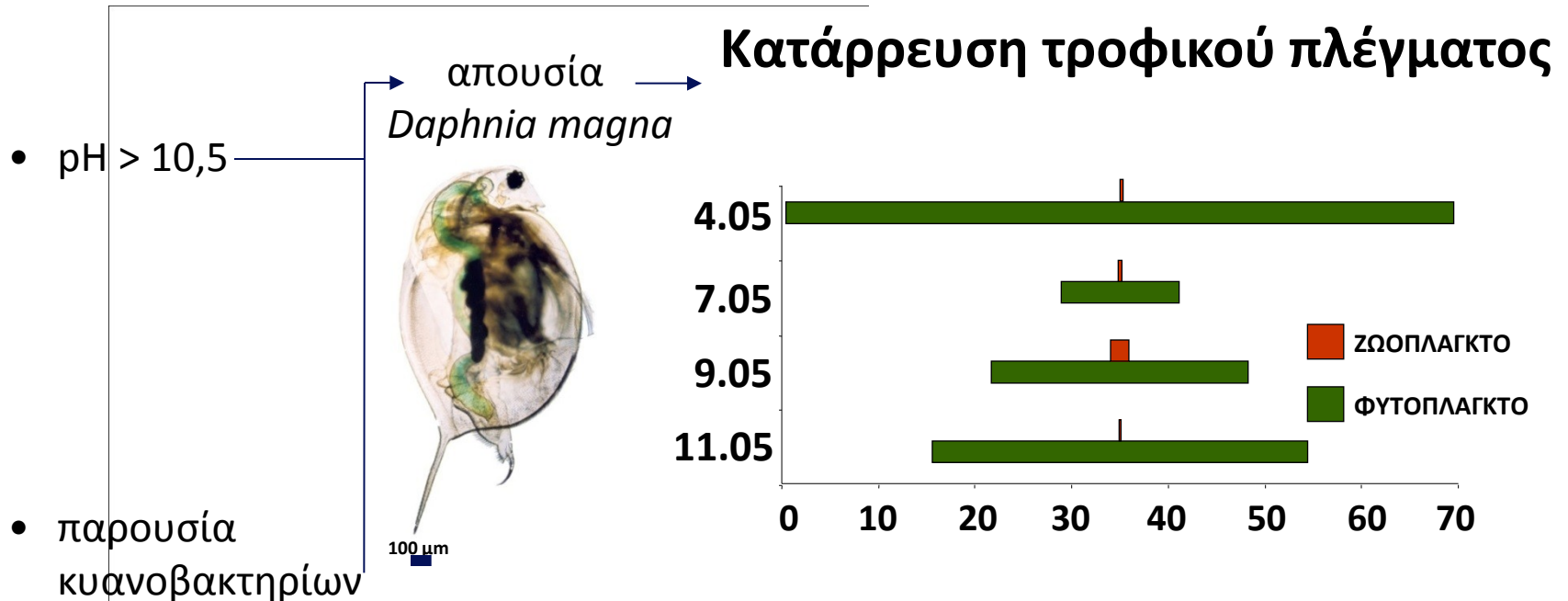




# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας



# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

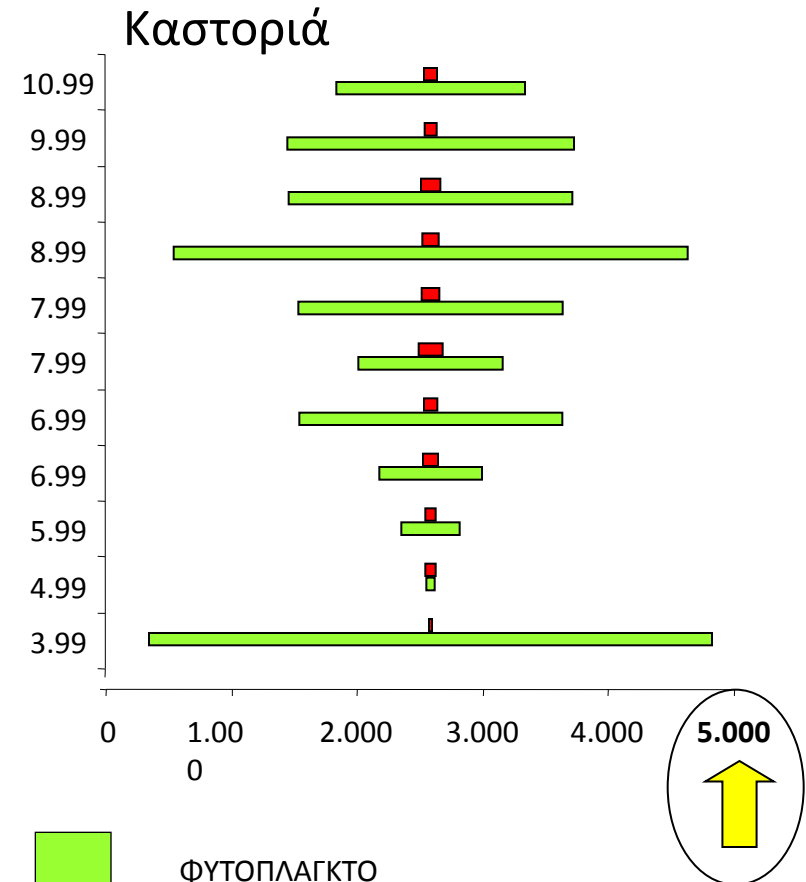
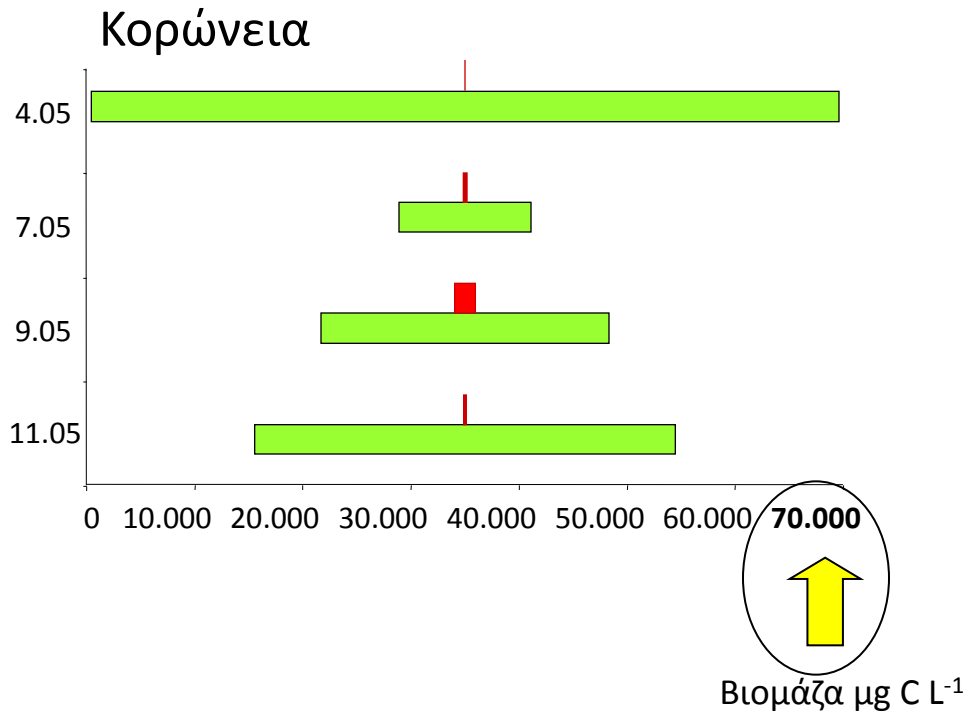


✓ Η βιομάζα του ζωοπλαγκτού συγκρινόμενη με τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού είναι εξαιρετικά χαμηλή εξαιτίας της απουσίας μεγάλου ζωοπλαγκτού (*Daphnia magna*) παρουσία τεράστιας βιομάζας κυανοβακτηρίων ή εξαιρετικά υψηλών τιμών pH

✓ Η κατάρρευση του πλαγκτικού τροφικού πλέγματος είναι προφανής

# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

Δεξαμενή άνθρακα του πλαγκτικού τροφικού πλέγματος



ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟ

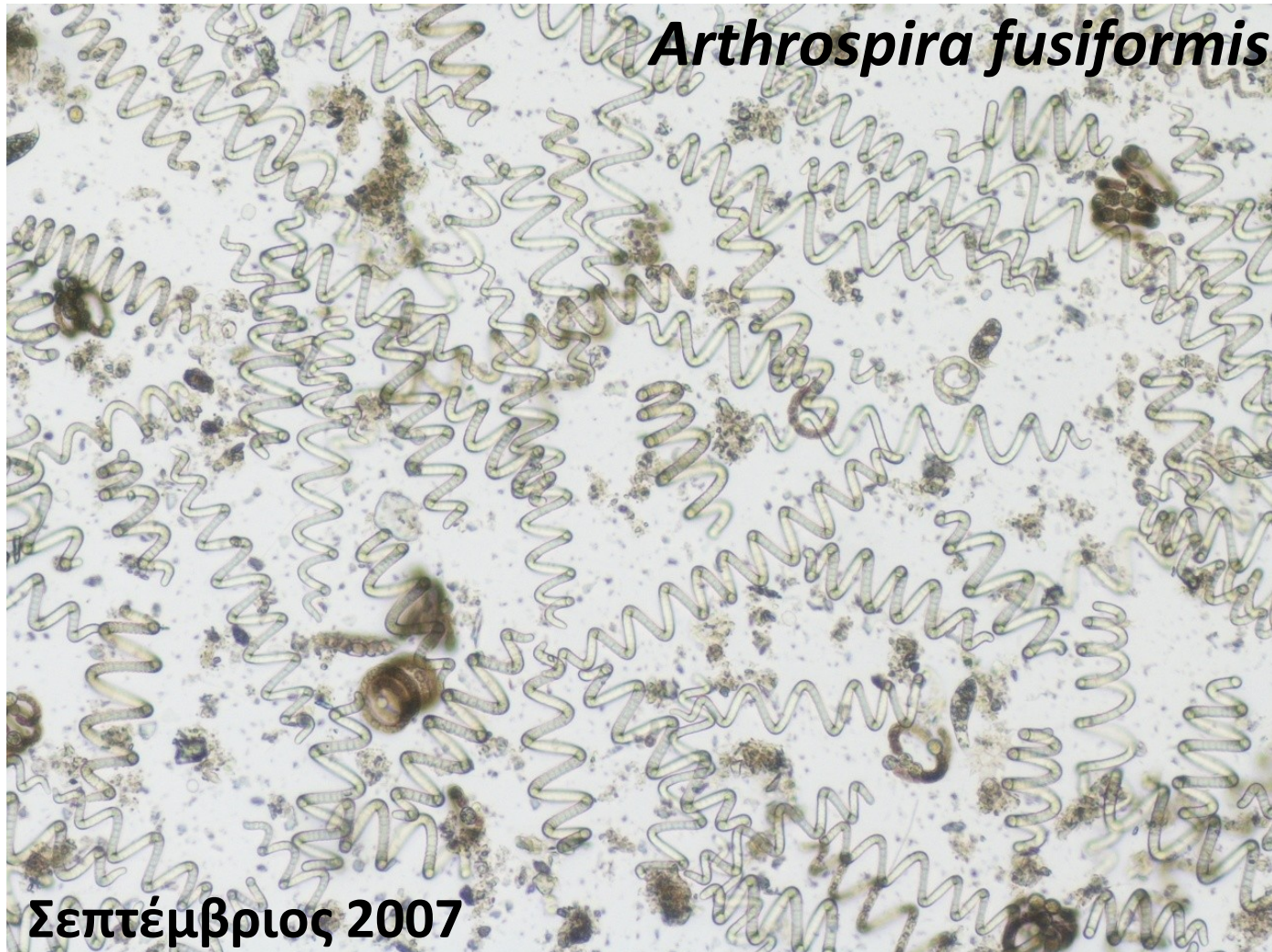


ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟ





# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας





# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

## Συσσώρευση νεκρής βιομάζας

Η Λίμνη Κορώνεια το  
Φεβρουάριο του 2008  
όπου φαίνεται η  
συσσωρευμένη  
φυτοπλαγκτική βιομάζα  
στον πυθμένα



# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας



# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας



Μάιος 2008

# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

**2008: σχεδόν αδύνατη (με τα δεδομένα κόστους) η αποκατάσταση της προηγούμενης λίμνης εξαιτίας:**

- της καταληκτικής κατάστασης του συστήματος με τεράστια νεκρή βιομάζα φυτοπλαγκτού υπερβαίνουσα την αποικοδόμηση
  - αναγκαίας απομάκρυνσης νεκρού υλικού του πυθμένα και εξαιτίας μείωσης του υδάτινου όγκου
- **Μόνο με δημιουργία νέας λίμνης που να την στηρίζει η φέρουσα ικανότητα-τροφοδοσία νερού στη δική της λεκάνη απορροής, προσαρμοσμένη στην κλιματική αλλαγή, να είναι μικρή και βαθιά για τη μικρότερη σχέση επιφάνειας πυθμένα-όγκου νερού**





# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας



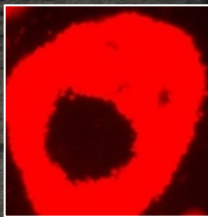
2009



# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

Unexpected outcomes of restoration are usually due to the focus on restoring the abiotic factors ignoring biotic ones and the feedback between abiotic and biotic changes

2010 μετά την ενωτική τάφρο



Microcystis aeruginosa bloom

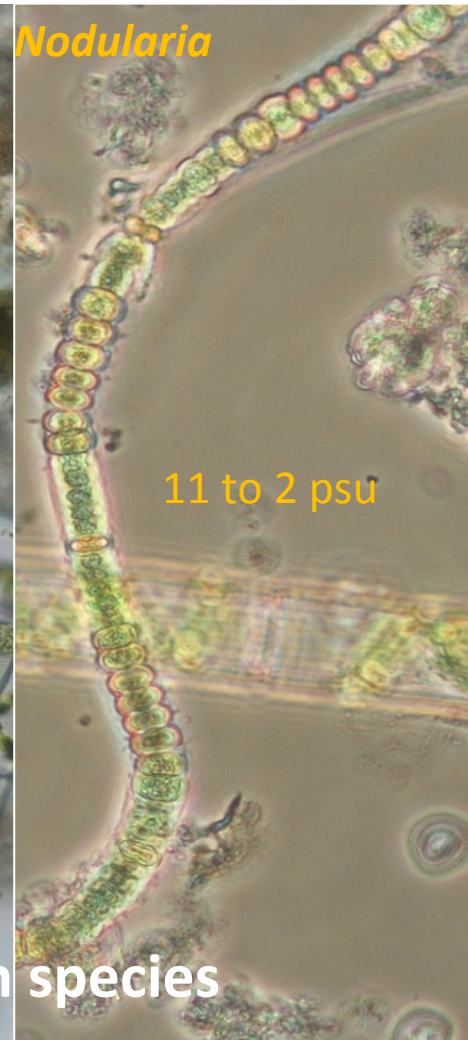
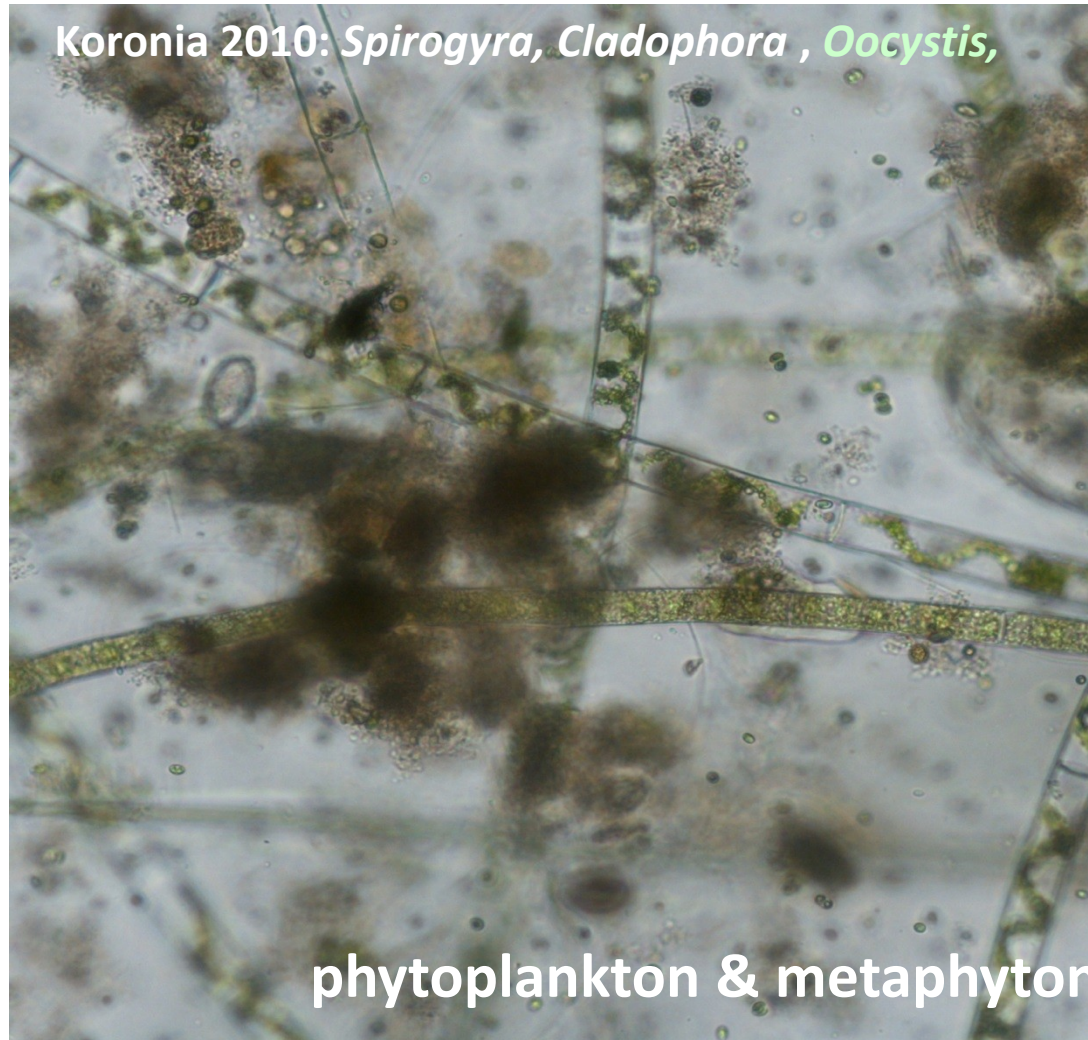




# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας



# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας





# Το παράδειγμα της λίμνης Κορώνειας

Koronia 2010: Χλωροφύκη & *Oscillatoria*



metaphyton & benthos species



# Νεοσυσταθείσα Κάρλα: απαραίτητα μέτρα αποκατάστασης

1. Αύξηση ποσότητας νερού-καθαρού **Εισροές (ΕΑ)**
2. Αλλαγή στα **Λιμνολογικά χαρακτηριστικά (ΕΑ)**
3. **Απορροή** – Μόνο μετά από επεξεργασία



Διαχείριση  
Ποιότητας Νερού στη λεκάνη  
απορροής  
Κάρλας

Προσδιορισμός  
παραγόντων που  
οδηγούν σε επιπτώσεις  
ΕΑ (Επιβλαβών  
Ανθίσεων  
μικροοργανισμών) και  
μαζικούς θανάτους  
ψαριών



# Νεοσυσταθείσα Κάρλα: λειτούργησε μη έχοντας την ελάχιστη στάθμη

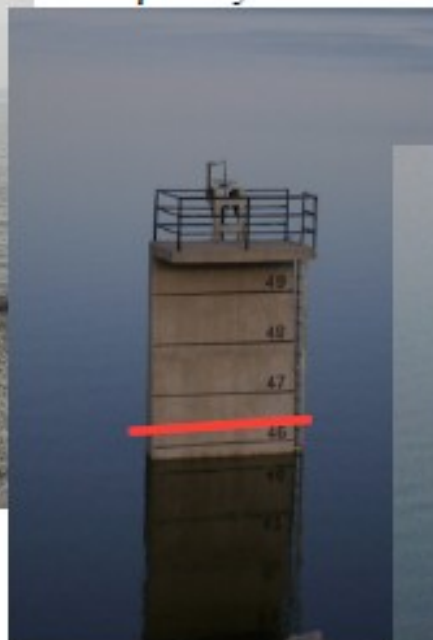
Μάρτιος 2010



Οκτώβριος 2010

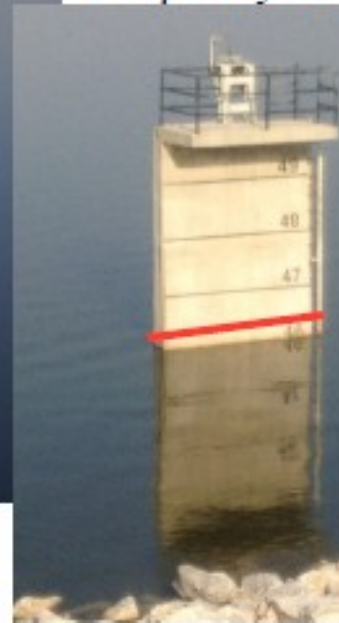


Μάρτιος 2011



MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

Μάρτιος 2013



Αύγουστος 2013





# Νεοσυσταθείσα Κάρλα: το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό έργο!



Κάρλα Ιανουάριος 2014



Η «νέα» Κάρλα του 2014



# Βιβλιογραφία

Moss, B., G. Phillips & J. Madgwick (1996). A Guide to the Restoration of Nutrient-enriched Shallow Lakes. The Broads Authority.

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

Katsiapi M, Moustaka-Gouni M, Vardaka E & Kormas KA (2013) Different phytoplankton descriptors show asynchronous changes in a shallow urban lake (L. Kastoria, Greece) after sewage diversion. Fundamental and Applied Limnology 182/3: 219-230





# Τέλος Ενότητας 20

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

