



Λιμνοποτάμιο Περιβάλλον & Οργανισμοί

Ενότητα 5: Συνθήκες φωτός στο νερό

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



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.





Συνθήκες φωτός στο νερό

Μέρος από το περιεχόμενο αυτής της ενότητας (διαφ.8-14) είναι από το βιβλίο «Ωκεανογραφία» και την Εφαρμογή με Πολυμέσα «Ωκεανοί και θάλασσες»

<http://www.bio.auth.gr/content/oceanographia>

Περιεχόμενα ενότητας

1. Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των λιμνών
2. Οπτικές ιδιότητες του νερού
3. Συνθήκες φωτός μέσα στο νερό
4. Διαφάνεια του νερού - Δίσκος Secchi
5. Εξασθένιση του φωτός στη στήλη νερού



Σκοποί ενότητας

- Το μάθημα στοχεύει στη γνώση και κατανόηση των συνθηκών φωτός στο υδάτινο περιβάλλον
- Ο φοιτητής μαθαίνει να ερμηνεύει και να εκτιμά μεταβολές στις συνθήκες φωτός στη στήλη νερού μιας λίμνης



Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των λιμνών

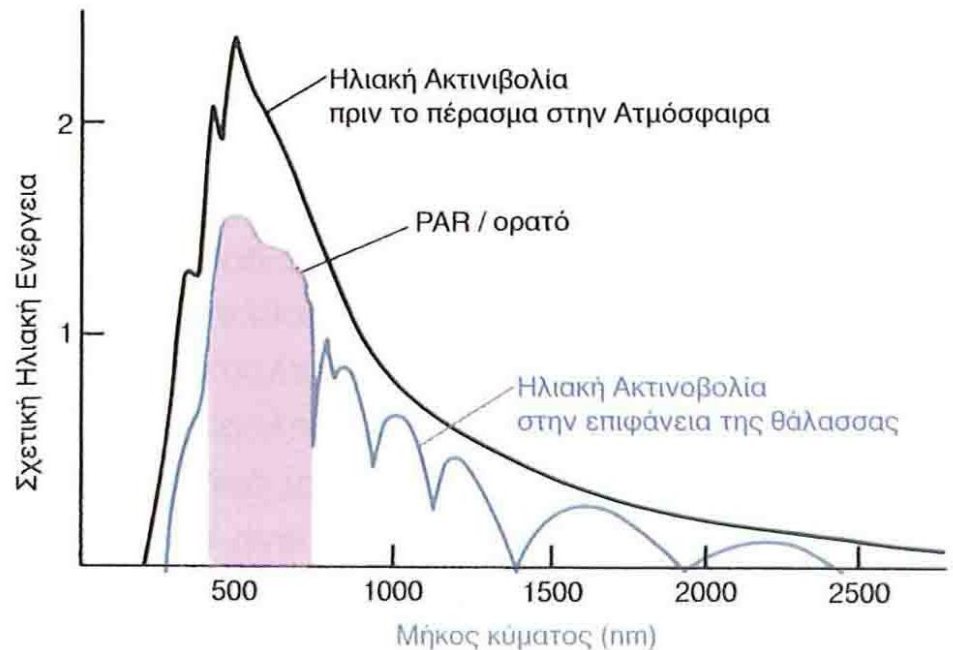
- Το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από το διάστημα απορροφάται και διαχέεται στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας
- Από το υπόλοιπο 50% που φτάνει στην υδάτινη επιφάνεια ένα ποσοστό ανακλάται από την επιφάνεια στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην υδάτινη επιφάνεια
 - Το 45% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια μιας λίμνης αποτελεί την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR)



Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των λιμνών

Στην εικόνα, η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας πριν και μετά το πέρασμά της από την ατμόσφαιρα:

✓ Το ήμισυ της ακτινοβολίας στην επιφάνεια μιας λίμνης βρίσκεται στη ζώνη του ορατού (400-700 nm) η οποία θεωρείται η πιο σημαντική εξαιτίας της άμεσης χρησιμοποίησής της για τη φωτοσύνθεση (PAR). Η υπέρυθρη ακτινοβολία έχει έμμεση αλλά σημαντική επίδραση στη φωτοσύνθεση καθώς επιδρά στην υδροδυναμική συμπεριφορά του νερού.



Οπτικές ιδιότητες του νερού

Το φως που έχει φτάσει στην επιφάνεια του νερού μόλις περάσει τη ζώνη διεπαφής (νερού-αέρα) υφίσταται σημαντικές μεταβολές με το βάθος.

✓ Οι πιο σημαντικές οπτικές ιδιότητες είναι ο συντελεστής σκέδασης (b) και οι φασματικοί συντελεστές απορρόφησης (a_i). Αυτές είναι ιδιότητες του νερού που εξαρτώνται από τη σύνθεσή του και όχι από άλλους παράγοντες (καιρός, θέση ήλιου κλπ).

✓ Άλλες οπτικές ιδιότητες του νερού είναι

ο συντελεστής $G(\mu_0)$ που η τιμή του προσδιορίζεται από τη συνάρτηση του όγκου σκέδασης που περιγράφει τη γωνιακή κατανομή της σκέδασης

ο συντελεστής εξασθένισης της δέσμης φωτός k ο οποίος ισούται με το άθροισμα των συντελεστών απορρόφησης (a_i) και σκέδασης (b)



Οπτικές ιδιότητες του νερού

Οι τιμές των συντελεστών απορρόφησης & σκέδασης σε κάθε περιοχή εξαρτώνται από τη σύνθεση του νερού στην περιοχή, δηλαδή:

- ✓ Πόσο διαλυμένο οργανικό υλικό περιέχει
- ✓ Πόσο φυτοπλαγκτό και με ποια σύνθεση φωτοσυνθετικών χρωστικών
- ✓ Πόσο νεκρό σωματιδιακό υλικό έχει
- ✓ Ποια είναι η συγκέντρωση των ανόργανων αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό



Οπτικές ιδιότητες του νερού

Το φάσμα απορρόφησης του καθαρού νερού δείχνει ότι το νερό απορροφά έντονα το φως στο τέλος της ερυθρής περιοχής ($>700\text{nm}$) με πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση στην υπέρυθη περιοχή ($900-1000\text{nm}$)

- ✓ Το νερό έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην απορρόφηση του φωτός
- ✓ Η συμμετοχή του στην συνολική σκέδαση (το άθροισμα της σκέδαση προς όλες τις κατευθύνσεις) είναι πολύ μικρή
- ✓ Συμμετέχει κατά $1/3$ στην επιστρεφόμενη σκέδαση (Backscattering). Η επιστρεφόμενη σκέδαση του φωτός αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ροής του ανερχόμενου φωτός σε βαθιές λίμνες μέρος της οποίας εξέρχεται από την επιφάνεια του νερού
- ✓ Το εξερχόμενο φως προσδιορίζει την εμφάνιση ενός υδάτινου οικοσυστήματος (υφή & χρώμα) και είναι η ποσότητα που αναλύεται στην εξ αποστάσεως ανίχνευση της σύνθεσης του νερού από δορυφόρους



Οπτικές ιδιότητες του νερού

Η σκέδαση του φωτός λόγω του νερού είναι εντονότερη στην περιοχή του μπλε του ορατού φάσματος απ' ότι στην περιοχή του ερυθρού

Το μπλε χρώμα του νερού ορισμένων λιμνών και των θαλασσών οφείλεται εκτός από την πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση του φωτός (στο ορατό φάσμα) στο τέλος της περιοχής του ερυθρού σε σύγκριση με την περιοχή του μπλε και στην πιο ισχυρή σκέδαση στο μπλε άκρο του φάσματος



Συνθήκες φωτός μέσα στο νερό

- ✓ Το φως έχει χάσει ένα ποσοστό φωτονίων λόγω της ανάκλασης στη ζώνη επαφής νερού-αέρα
- ✓ Στη ζώνη επαφής διατηρεί όλη του την ενέργεια με την ίδια φασματική κατανομή. Από το φως που διέρχεται από την επιφάνεια, ~ 50% αποτελείται από μήκη κύματος $>780\text{nm}$ της υπέρυθρης περιοχής, ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία ($<380\text{nm}$) αποτελεί ένα μικρό μέρος
- ✓ Το υπόλοιπο 45% περίπου της ακτινοβολίας αποτελεί το ορατό φάσμα (400-700 nm)
 - Η κατανομή της ακτινοβολίας μετά το πέρασμα του φωτός από την επιφάνεια του νερού καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των οπτικών ιδιοτήτων του νερού με το φως



Συνθήκες φωτός μέσα στο νερό

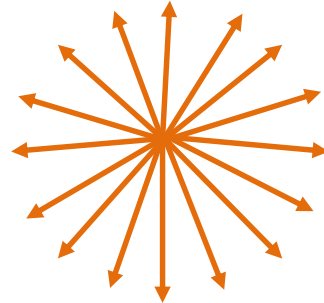
Καθώς το φως διανύει τη στήλη του νερού υφίσταται φασματική εξασθένιση & διαφορετικά μήκη κύματος εισχωρούν σε διαφορετικά βάθη

- ✓ Η υπέρυθη ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του νερού σχεδόν στο πρώτο μισό μέτρο της στήλης του νερού → κάτω από το ένα μέτρο παραμένει σχεδόν το φάσμα του ορατού φωτός
 - Για τη λειτουργία των υδάτινων σωμάτων, το ήμισυ της θερμικής ενέργειας από τον ήλιο παραλαμβάνεται από το στρώμα του 1 μέτρου από την επιφάνεια
- ✓ Από την ακτινοβολία που απομένει, το 1/3 είναι από την περιοχή του ερυθρού – πορτοκαλί (~600-700nm) που απορροφάται κυρίως από το νερό παραμένει μόνο κατά 1% σε 10 μέτρα βάθος
- ✓ Το περισσότερο φως κάτω από τα 15μέτρα περιορίζεται στη ζώνη του μπλε-πράσινου (400-500 nm). Το μπλε φως εισχωρεί βαθύτερα (1% έως και 150m)



Δίσκος Secchi

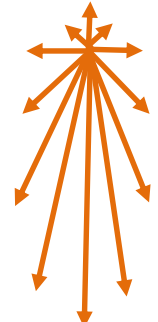
Οπτικές ιδιότητες νερού: σκέδαση και απορρόφηση του φωτός



Μόνο σκέδαση



Μόνο απορρόφηση



Σκέδαση & απορρόφηση

Διαφάνεια του νερού

✓ Διαφάνεια Secchi

Ως βάθος Secchi ορίζεται το βάθος στο οποίο **λευκός δίσκος Secchi** **διαμέτρου 20 εκατοστών** βυθιζόμενος στο νερό της λίμνης από τη σκιασμένη πλευρά μιας βάρκας παύει να είναι ορατός



Δίσκος Secchi

✓ Διαφάνεια Secchi

Ο λευκός δίσκος Secchi βυθιζόμενος
στο νερό της λίμνης από τη
σκιασμένη πλευρά μιας βάρκας



Η διαφάνεια μετρούμενη με αυτήν την απλούστατη μέθοδο είναι συνάρτηση της ανάκλασης του φωτός (επιστρεφόμενη σκέδαση) και σε μικρό βαθμό της απορρόφησης του φωτός τόσο από το ίδιο το νερό όσο και του περιεχομένου σε σωματιδιακό & διαλυμένο υλικό



Δίσκος Secchi

Διαφάνεια Secchi

Διαφάνεια & βάθος εύφωτης ζώνης συνδέονται:

$$\text{Εύφωτη ζώνη (m)} = \text{βάθος Secchi (m)} \times 2.5$$

Τι ονομάζεται Εύφωτη ζώνη: Η ζώνη στο επιφανειακό στρώμα νερού της οποίας στο κατώτατο όριο η ένταση της προσπίπτουσας στην επιφάνεια ακτινοβολίας μειώνεται στο 1%

Σχετικά αξιόπιστη & εύκολη εκτίμηση των συνθηκών φωτός στο νερό.

➤ Χρησιμοποιείται & για την **εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας του νερού**



Δίσκος Secchi

Διαφάνεια Secchi

- ✓ Το εύρος των τιμών διαφάνειας Secchi είναι μεγάλο μεταξύ διαφορετικών λιμνών
Κυμαίνεται από **<10 cm** έως **>40 m**

Οι σχέσεις διαφάνειας – σωματιδιακού υλικού
Και διαφάνειας – βιομάζας φυτοπλαγκτού/χλωροφύλλης
δείχνουν τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει τη διαφάνεια του νερού
μια λίμνης

Στα ποτάμια (ιδιαίτερα στα ανώτερα τμήματα) η διαφάνεια του νερού επηρεάζεται περισσότερο από την ποσότητα του ανόργανου σωματιδιακού υλικού σε αιώρηση. Στα κατώτερα τμήματα μπορεί η αύξηση του φυτοπλαγκτού να είναι σημαντικός παράγοντας.

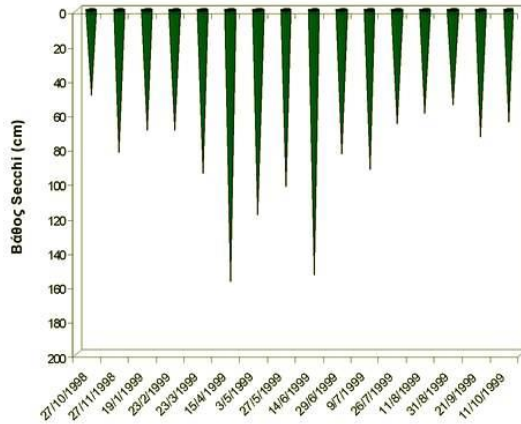


Διαφάνεια του νερού

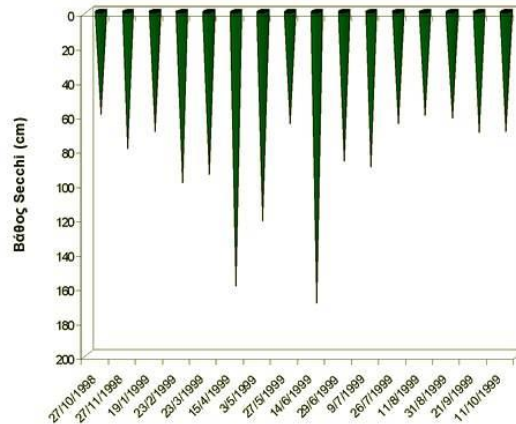
Η λίμνης της Καστοριάς

Διαφάνεια

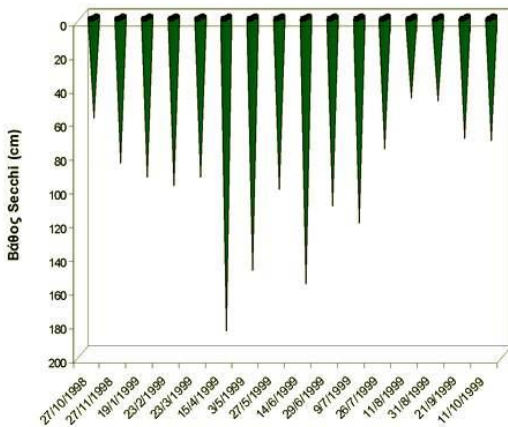
Σταθμός 1



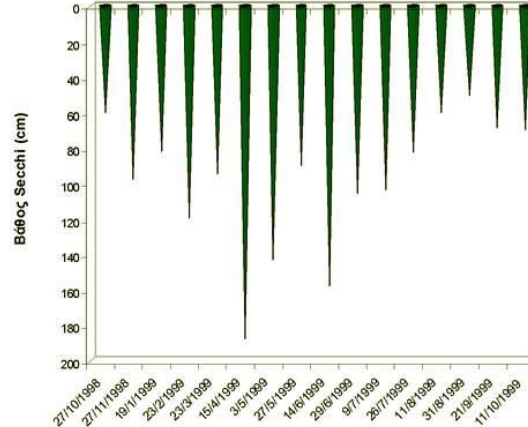
Σταθμός 2



Σταθμός 3



Σταθμός 4

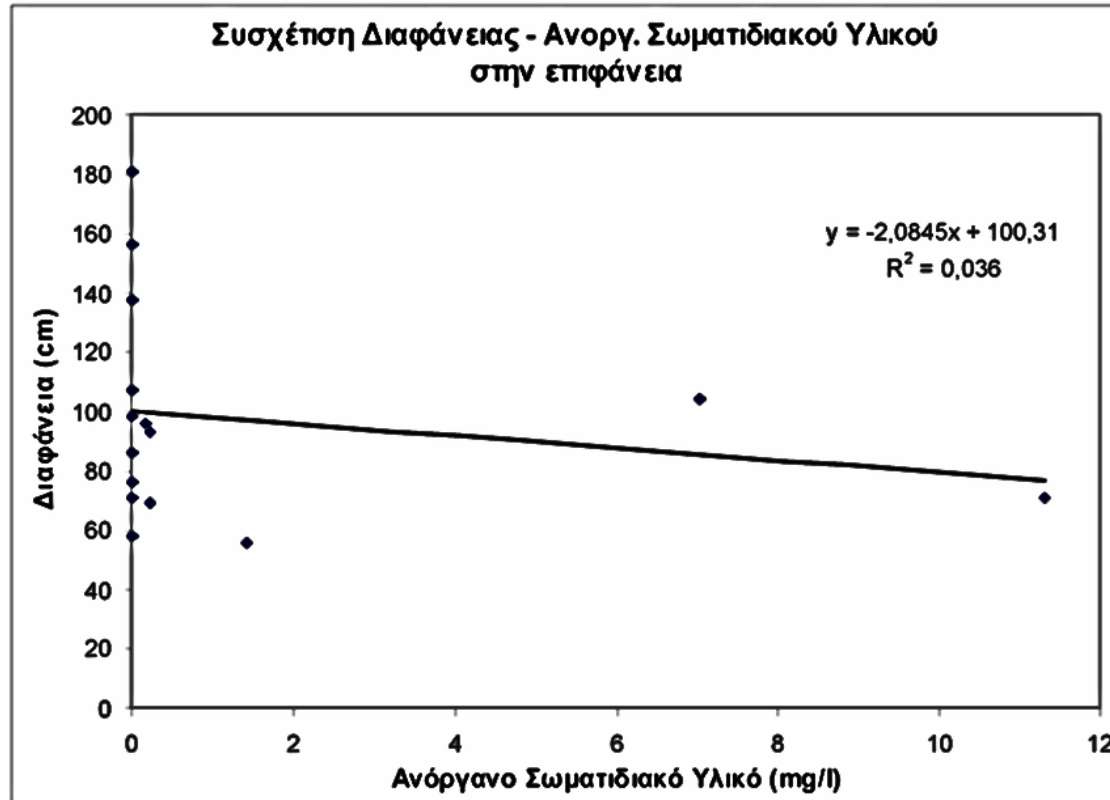


(Μουστάκα-Γούνη 2000)



Διαφάνεια του νερού

Η λίμνης της Καστοριάς

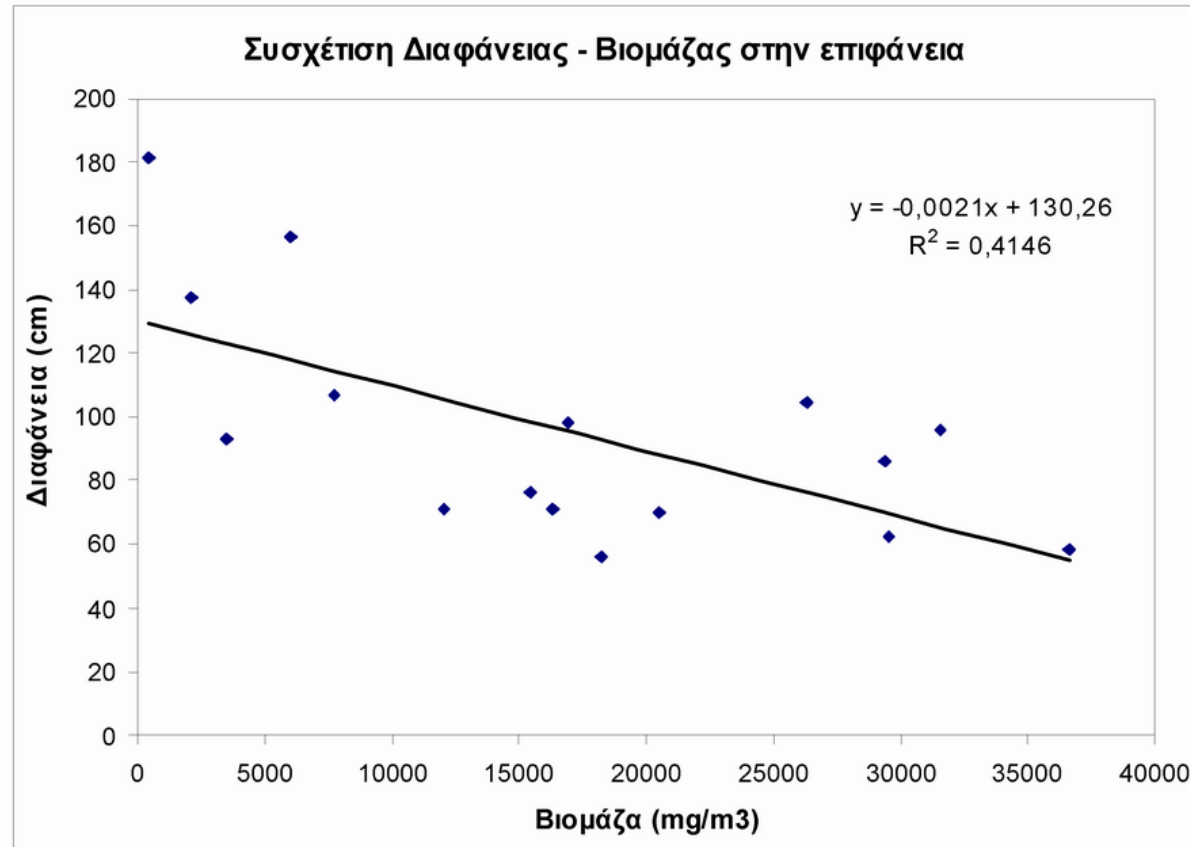


Η διαφάνεια του νερού της Λίμνης Καστοριάς δεν επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του ανόργανου σωματιδιακού υλικού



Διαφάνεια του νερού

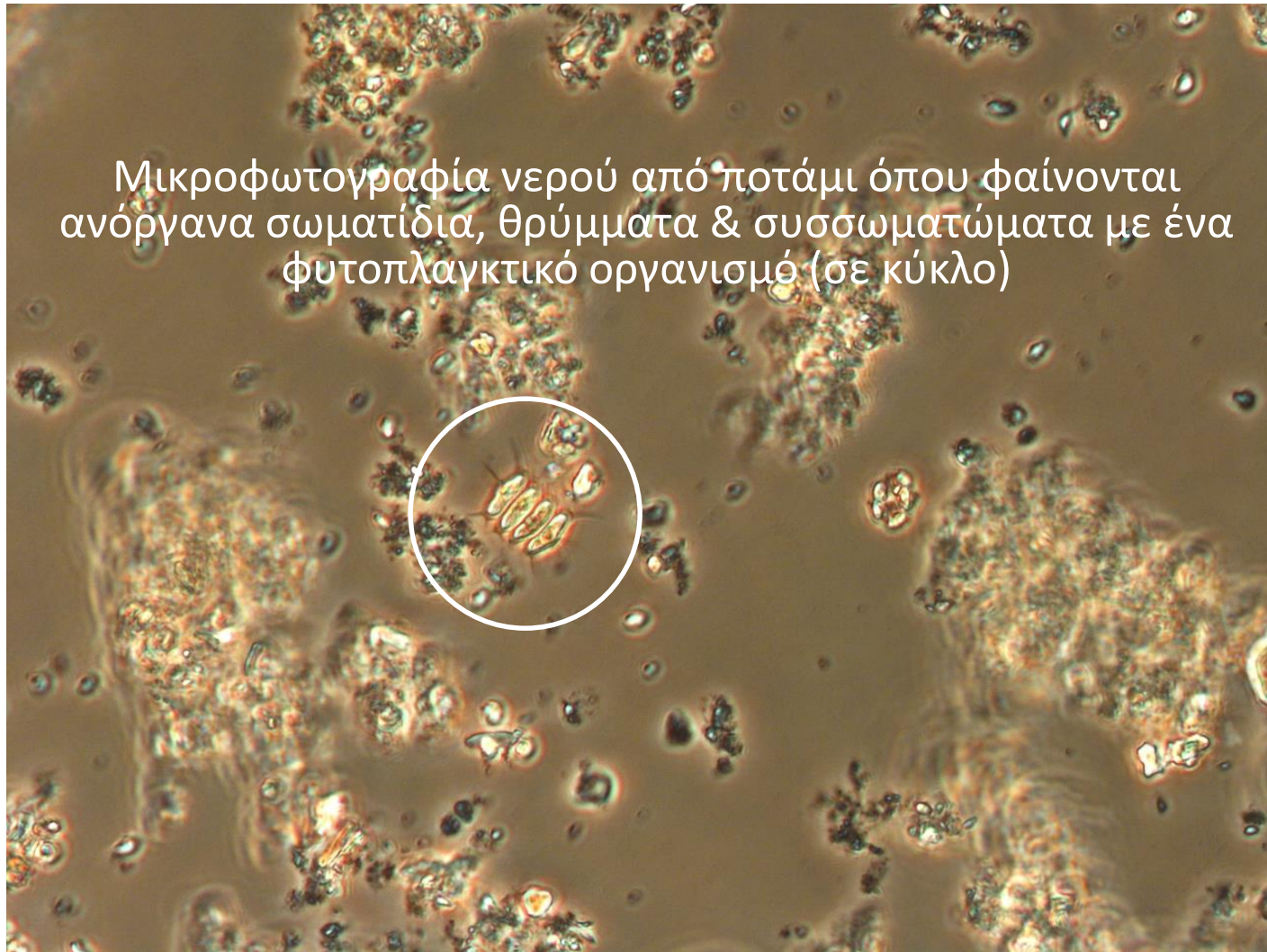
Η λίμνης της Καστοριάς



Η διαφάνεια του νερού της Λίμνης Καστοριάς επηρεάζεται πρωτίστως από τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού

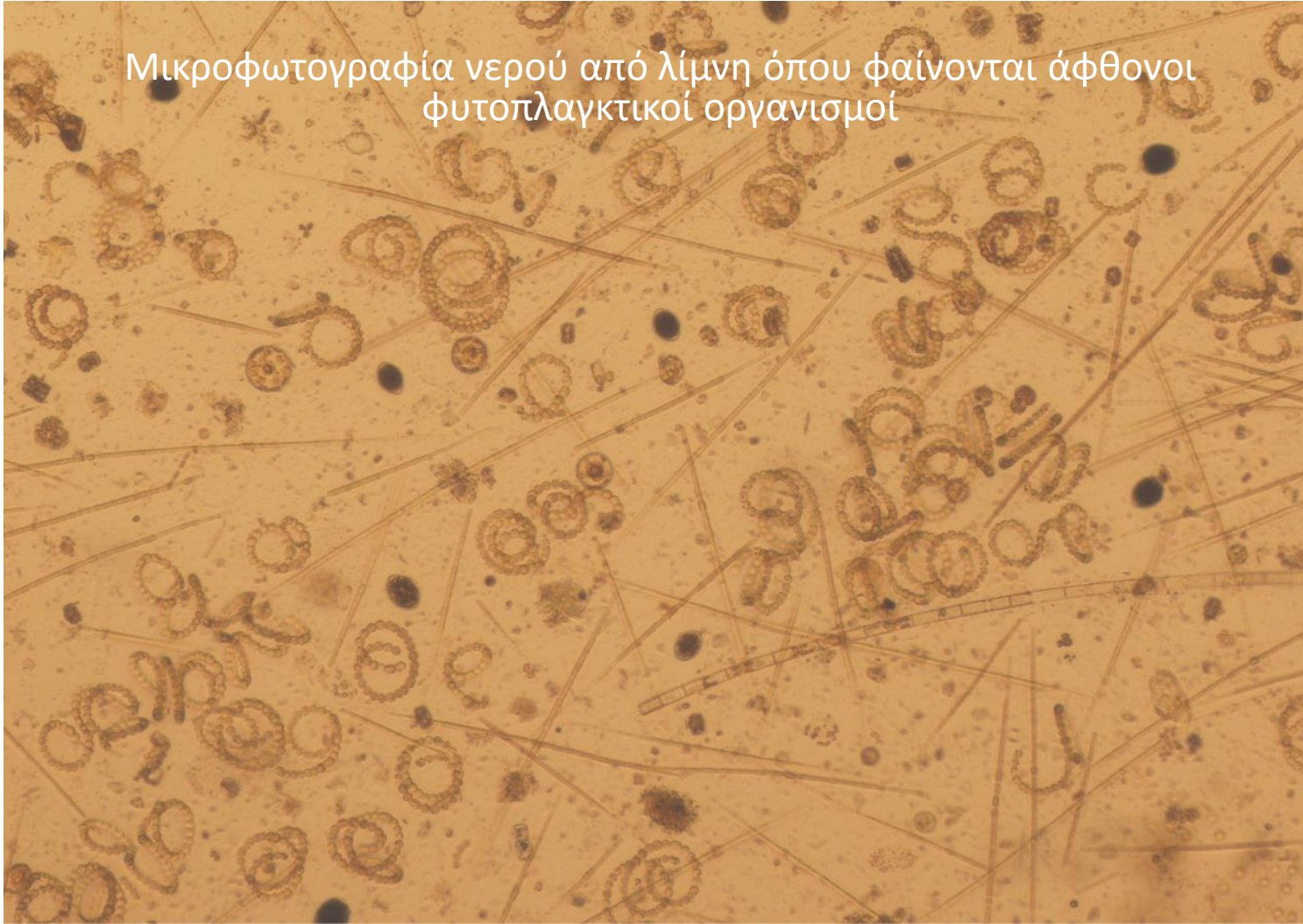


Διαφάνεια του νερού



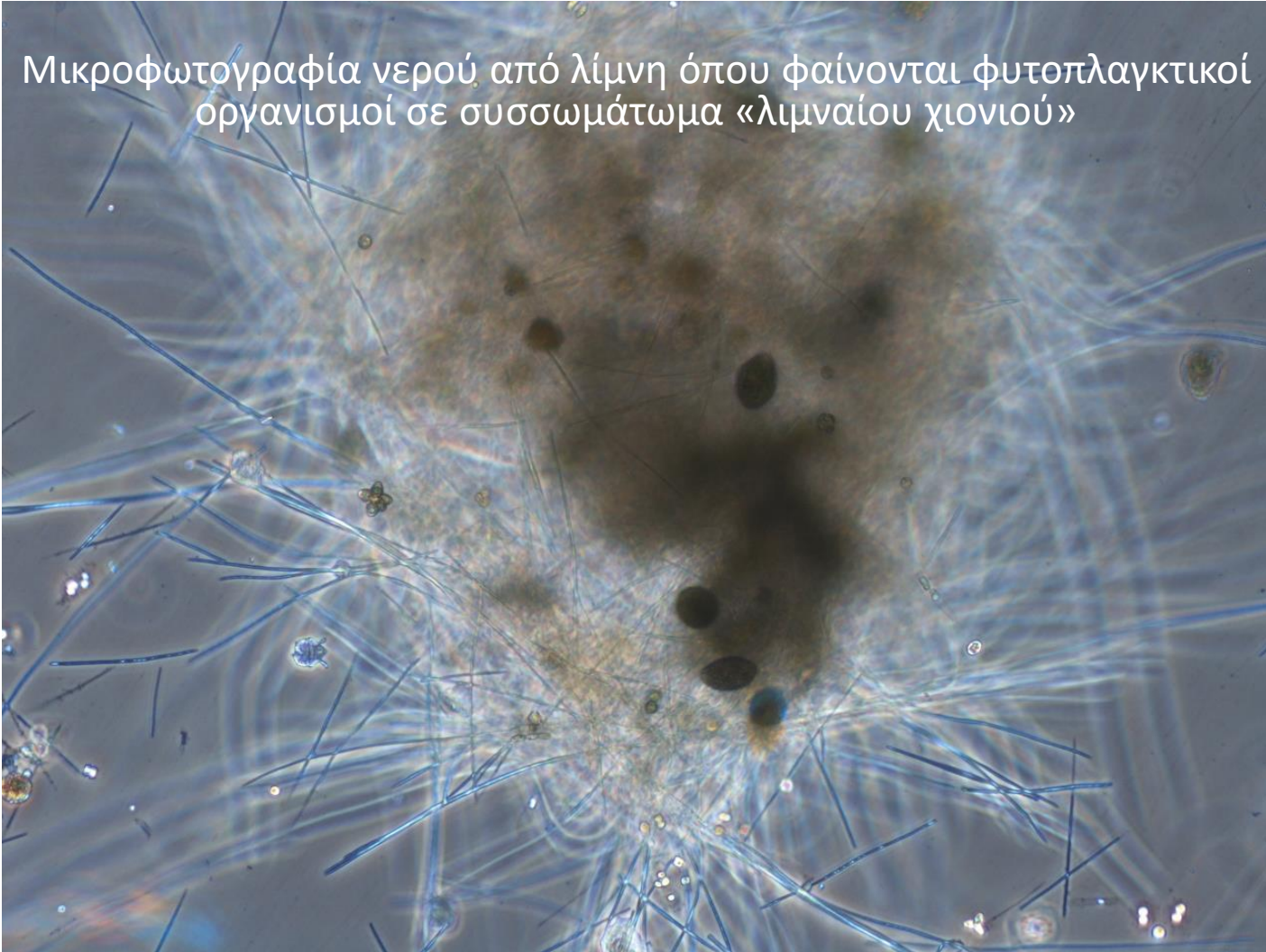
Διαφάνεια του νερού

Μικροφωτογραφία νερού από λίμνη όπου φαίνονται άφθονοι φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί



Διαφάνεια του νερού

Μικροφωτογραφία νερού από λίμνη όπου φαίνονται φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί σε συσσωμάτωμα «λιμναίου χιονιού»



Εξασθένιση του φωτός στο νερό

Σχέση του συντελεστή κατακόρυφης εξασθένησης του φωτός (k)
με το βάθος Secchi σε m

$$k=1.5/\text{Secchi depth}$$

(in m^{-1})



Εξασθένιση του φωτός στο νερό

Σχέση του συντελεστή κατακόρυφης εξασθένησης του φωτός (k) με την χλωροφύλλη (Chl α)

- Schleswig-Holstein all lakes with $z_{\max} > 10$ m
 - Εκτος από δυστροφικές λίμνες

$$k = 0.257 + 0.0267 \text{ Chl}; r^2 = 0.91: p < 0.0001$$

για Lake Constance:

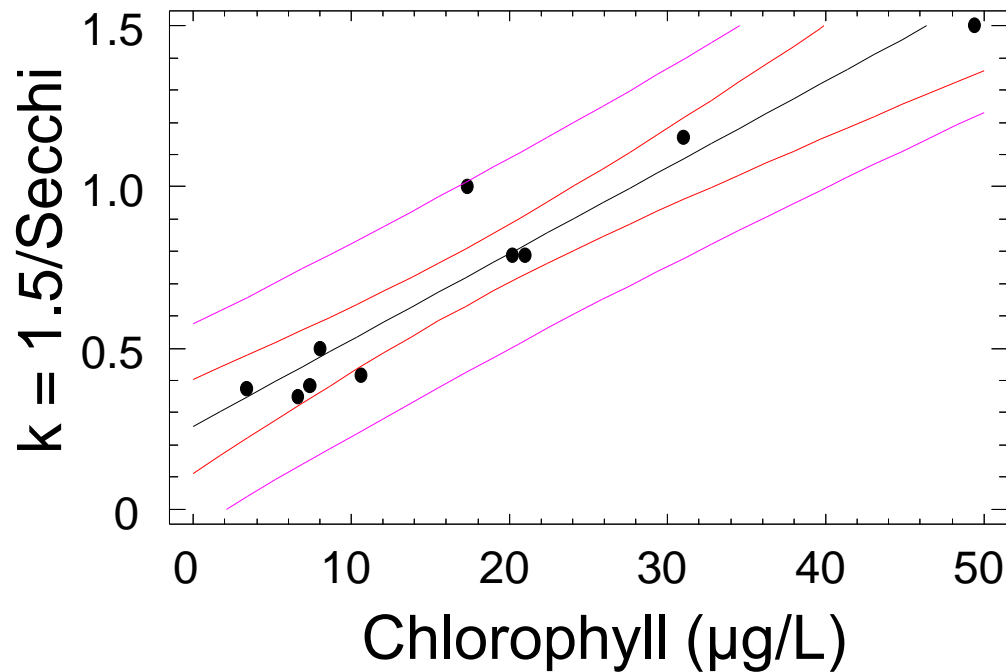
$$k = 0.27 + 0.015 \text{ Chl}; r^2 = 0.90: p < 0.0001$$



Εξασθένιση του φωτός στο νερό

Σχέση του συντελεστή κατακόρυφης εξασθένησης του φωτός με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε βαθιές λίμνες

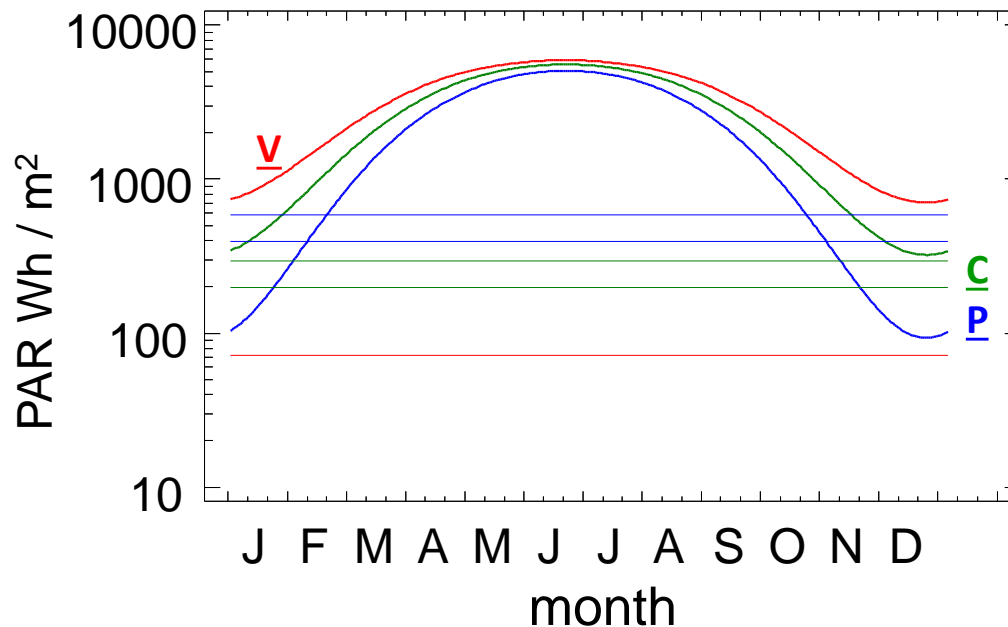
Schleswig-Holstein lakes 2009



Ακτινοβολία στην επιφάνεια των υδάτινων οικοσυστημάτων

Τους μήνες του χειμώνα υπάρχει σαφής διαφορά με υψηλότερη την ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια των μεσογειακών υδάτινων οικοσυστημάτων

Volvi - Constance - Plön



Τους μήνες του χειμώνα υψηλότερη είναι η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της λίμνης Βόλβης (V) από αυτή στις βορειότερες λίμνες



Βιβλιογραφία

Μουστάκα- Γούνη, Μ. (1997) ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ ΜΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ. ISBN 960-7910-00-1.

[M, Michaloudi E, Sommer U. \(2014\) Modifying the PEG model for Moustaka-Gouni Mediterranean lakes - no biological winter and strong fish predation. Freshwater Biology 59: 1136-1144.](#)

<http://www.bio.auth.gr/content/oceanographia>





Τέλος Ενότητας 5

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

