Πολυτεχνείο Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΜΣ: «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΑΜΑΡΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΑΡΙΑ ΣΠΑΝΤΙΔΑΚΗ

ΧΗΜΙΚΟΣ - ΟΙΝΟΛΟΓΟΣ

Α.Μ. 2010057230

Τριμελής Επιτροπή: Ευάγγελος Διαμαντόπουλος (Επιβλέπων Καθηγητής)
Νικόλαος Ξεκουκουλωτάκης
Δανάη Βενιέρη

ΧΑΝΙΑ 2012

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη
στη μητέρα μου,
της οποίας ιδέα ήταν η εκπόνηση
της παρούσας διατριβής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διατριβή, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά:

- **Τον Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Ευάγγελο Διαμαντόπουλο**, για τη συνεχή επιστημονική του καθοδήγηση, βοήθεια και συνεργασία σε όλα τα στάδια της ερευνητικής εργασίας.
- **Την κ. Βέτα Κουκουράκη**, υπεύθυνη του Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος του Τμήματος, για την πολύτιμη βοήθειά της στη διενέργεια των αναγκαίων πειραμάτων στο Εργαστήριο (όπως προσδιορισμός οσμών στο νερό, τεχνική SPME).
- **Τον κ. Νίκο Βακόνδιο,** διδακτορικό φοιτητή στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος για τη βοήθειά του στο πειραματικό μέρος της εργασίας.
- **Την κ. Βενιέρη Δανάη**, Λέκτορα του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και κ. **Ιωσηφίνα Γουνάκη,** υπεύθυνες του Εργαστηρίου Οικολογίας και Βιοποικιλότητας, για τις υποδείξεις τους και τη βοήθειά τους στον προσδιορισμό των παρασίτων Cryptosporidium parvum & Giardia Lamblia σε νερό με τεχνική PCR.
- **Τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής** για την επιστημονική αξιολόγηση και καθοδήγηση.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα:

- **Τα στελέχη του Ο.Α.ΔΥ.Κ., κ. Βαγγέλη Μαμαγκάκη,** πολιτικό μηχανικό, διευθυντή του ΟΑΔΥΚ Δ/νσης Ρεθύμνου και **κ. Μανώλη Πενθερουδάκη**, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, για τη δυνατότητα που μου έδωσαν να πραγματοποιηθεί η διατριβή μου αυτή σχετικά με το Φράγμα Ποταμών Αμαρίου, αλλά και τον **κ. Θοδωρή Βουρβαχάκη,** Πολιτικό Μηχανικό του ΟΑΔΥΚ, για την πολύτιμη βοήθεια του.
- **Τη μητέρα μου, Λαγκουβάρδου Αφροδίτη, Χημικό Μηχανικό, Διευθύντρια του Εργαστηρίου ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ**, για την πρωτοβουλία της να εκπονηθεί η διατριβή μου αυτή, και να συνδυαστεί με το θέμα της ποιότητας του νερού του φράγματος των Ποταμών Αμαρίου, που απασχολεί τον Ο.Α.ΔΥ.Κ., αλλά και την κοινωνία του Ρεθύμνου, και αφορά ένα έργο πρωτοποριακό, με τεράστια οικονομική, κοινωνική και αναπτυξιακή σημασία για το Ρέθυμνο.

Χανιά 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της ποιότητας του νερού του φράγματος Ποταμών Αμαρίου, που βρίσκεται στο νομό Ρεθύμνου.

Ειδικότερα μελετήθηκε η ποιότητα του νερού σε δύο κύκλους δειγματοληψιών κατά τους μήνες Αύγουστο (*καλοκαίρι*) και Οκτώβριο (*φθινόπωρο*) στα παρακάτω σημεία ελέγχου:

α) Σε διαφορετικά βάθη στο σημείο υδροληψίας

β) Στη βάνα εξόδου από τη βάνα υδροληψίας του φράγματος

γ) Σε σημεία του αρδευτικού δικτύου στον κάμπο του Ρεθύμνου.

Η έρευνα περιελάμβανε :

- Τη μελέτη του θερμοκλινούς του ταμιευτήρα.
- Τη μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλελυμένου οξυγόνου ανάλογα με το βάθος του νερού στον ταμιευτήρα.
- Τη μεταβολή της συγκέντρωσης των μετάλλων κυρίως του Σιδήρου και του Μαγγανίου (*διαλυτών και ολικών*) ανάλογα με το βάθος υδροληψίας
- Τη μεταβολή του μικροβιακού φορτίου του νερού και την ταυτοποίηση του είδους των μικροοργανισμών.
- Τον προσδιορισμό και τη μεταβολή του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC).
- Τη μεταβολή των θρεπτικών στοιχείων, κυρίως των ενώσεων αζώτου (N) και φωσφόρου (P).
- Την ανίχνευση ουσιών γεύσης και οσμής (*geosmin, 2 methyl-isoborneol, υδροθείου*)
- Την ανίχνευση πιθανής ύπαρξης Κρυπτοσποριδίου και Giardia

Την εποχιακή διακύμανση όλων των παραπάνω παραμέτρων ποιότητας.

Διαπιστώθηκε η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων Σιδήρου (Fe) και Μαγγανίου (Mn) στο νερό. Επίσης ανιχνεύθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις υδροθείου, στις οποίες αποδίδεται η έντονη δυσάρεστη οσμή του νερού.

Η προέλευση των παραπάνω μετάλλων στο νερό είναι φυσική (*οφείλεται στους γεωλογικούς σχηματισμούς*). Σε υδατικά συστήματα με επαρκή ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου (*η συνηθέστερη κατάσταση σε υπόγεια και επιφανειακά νερά στην Ελλάδα*),

η οξειδωτική βαθμίδα των δύο αυτών μετάλλων είναι τέτοια, ώστε τα μέταλλα αυτά βρίσκονται σε πρακτικά αδιάλυτη μορφή. Κάτω όμως από συνθήκες ελλειμματικές σε διαλυμένο οξυγόνο (*π.χ. στα μεγαλύτερα βάθη των ταμιευτήρων, όπου μπορούν να συσσωρευτούν οργανικές εναποθέσεις*), είναι δυνατή η μεταβολή της οξειδωτικής βαθμίδας, με αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση αυτών των μετάλλων.

Στο φράγμα Ποταμών η λήψη του νερού γίνεται σε βάθος 18-20 m. Το βάθος αυτό είναι αρκετά μεγάλο και κάτω από το θερμοκλινές. Στο βάθος αυτό δεν λαμβάνει χώρα κατακόρυφη κίνηση του νερού λόγω θερμοκρασιακής σταθερότητας, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ύπαρξη χαμηλών συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου. Έτσι γίνεται άντληση νερού με υψηλή περιεκτικότητα σιδήρου, μαγγανίου και υδροθείου.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αξιολογήθηκαν και οδήγησαν στη διατύπωση προτάσεων σχετικά με τις τεχνικές δυνατότητες βελτίωσης της ποιότητας του νερού υδροληψίας, όπως π.χ. την εύρεση του βέλτιστου βάθους υδροληψίας.

Τα προβλήματα αυτά εμφανίζονται στα φράγματα και απασχολούν έντονα αυτή την εποχή όχι μόνο την Ελλάδα, αλλά και άλλες μεσογειακές χώρες όπως την Κύπρο, Ισπανία κ.λ.π.

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που ανατέθηκε από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ., στα διαπιστευμένα σύμφωνα με ISO 17025 Εργαστήρια Αναλύσεων ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ, σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης, με υπεύθυνο καθηγητή τον κ. Ευάγγελο Διαμαντόπουλο.

ABSTRACT

The purpose of this postgraduate work is the study of the water quality of the Dam of Amari rivers, which is located in the municipality of Rethymnon.

Specifically it was studied the water quality in two sampling rounds during the months of August (*summer*) and October (*autumn*) in the following control points:
a) At different depths in the water intake point.
b) At the valve exit to the tunnel.
c) At points of the irrigation network

The research included:

- The study of the reservoir thermocline
- The change in concentration of the dissolved oxygen in different water depths
- The change in concentration of the main metals of Iron and Manganese (*total and soluble*) with the sampling depth.
- The change in the concentration of the microorganisms in the water and the identification of the microorganisms species.
- The identify and change in the concentration of the total organic carbon (TOC)
- The change in concentration of the main nutrients, nitrogen compounds (N) and phosphorus (P).
- The detection of the taste and odor substances (*geosmin, 2 methyl-isoborneol, hydrogen sulfide*)
- The detection of a potential Cryptosporidium and Giardia presence.

The seasonal variation of the above quality parameters.

It was noted the presence of high concentrations of iron (Fe) and manganese (Mn) metals in water. It was also detected high concentrations of hydrogen sulfide, which is attributed to the foul odor in water.

The origin of these metals in the water is natural (*due to geological formations*). In aqueous systems with a sufficient amount of dissolved oxygen (*the most common situation in underground and surface waters in Greece*), the oxidation level of these two metals is such that these metals are practically insoluble. But under conditions of luck of dissolved oxygen (*eg. in deeper dams, where in which can be accumulated organic*

deposition), is possible to change the oxidation level, as a result the dissolution of these metals.

The Dam of Amari rivers the intake of water is at a depth of 18-20 m. This depth is extremely low in and below of the thermocline. At that depth does not take place vertical movement of the water due to the temperature stability so it is possible the presence of low concentrations of dissolved oxygen. So it is pumped water with high concentrations of iron, manganese and hydrogen sulfide.

The results that were evaluated led to proposals about the technical feasible possibilities for improving the intake water quality, such as finding the optimum depth of water intake.

These problems occur in the most of the dams and create concerns this period not only in Greece but and to other Mediterranean countries such as Cyprus, Spain, etc. This thesis was part of a project funded by OADYK and completed by the accredited laboratories CHEMIKOTECHNIKI accredited according to ISO 17025 and the Technical University of Crete with Prof. Evangelos Diamantopoulos.

Κεφάλαιο 1^{ο}

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Το φράγμα - ταμιευτήρας Ποταμών Αμαρίου στο Ρέθυμνο, μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ., με προϋπολογισμό έργου 51εκ.€ (*πενήντα ένα εκατομμύρια ευρώ*).

Το όλο έργο περιλαμβάνει μια σειρά από επί μέρους έργα, που έχουν σκοπό την εξασφάλιση μέσου ετήσιου όγκου νερού 22,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, για τις ανάγκες άρδευσης του κάμπου του Ρεθύμνου και των γειτονικών περιοχών του Δήμου Αμαρίου και σε επόμενο χρόνο της ύδρευσης της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Ρεθύμνου. Επίσης στους αμέσως επόμενους στόχους του Ο.Α.Δ.Υ.Κ. είναι η αξιοποίησή του φράγματος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πέραν από το σκοπό της δημιουργίας του το Φράγμα σε συνδυασμό με το Φαράγγι της Πατσού, το Πρασσανό φαράγγι, το Άγιο Πνεύμα Παντάνασσας και γενικότερα το ανάγλυφο της περιοχής με την ποικιλομορφία των χρωμάτων, αποτελεί εκτός των άλλων πόλο έλξης δεκάδων τουριστών, αλλά και ντόπιων περιηγητών στην ενδοχώρα ολόκληρης της Κρήτης.

Ήταν ένα όραμα της δεκαετίας του 1960 και αποτελεί το μεγαλύτερο σε λειτουργία φράγμα στην Κρήτη μέχρι σήμερα.

Η λειτουργία του φράγματος ξεκίνησε στα μέσα του 2009, με τη διάθεση ποσοτήτων νερού για άρδευση, περίπου 5000 κυβικών μέτρων ημερησίως.

Το καλοκαίρι του 2010, στο νερό διαπιστώθηκε χρωματισμός και έντονη δυσοσμία του νερού. Το χρώμα του δηλαδή ήταν καφέ, καφέ-μαύρο, και είχε πολύ δυσάρεστη και έντονη οσμή.

Έως το 2008 δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία ποιότητας του νερού του ταμιευτήρα.

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 1</u> : *Φράγμα Ποταμών Αμαρίου από Google earth*

1ος κύκλος δειγματοληψιών, ξεκίνησε για πρώτη φορά το χρονικό διάστημα από Νοέμβριο 2008 έως Νοέμβριο 2009, για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού. Σε διάστημα ενός έτους έγιναν 12 δειγματοληψίες, μία κάθε μήνα, από τέσσερα (4) σημεία δειγματοληψίας.

Η έρευνα έγινε από τα Εργαστήρια Αναλύσεων ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ και τα δείγματα ελήφθησαν από τα παρακάτω σημεία:

Τρία (3) από τα κυρίως ρέματα Αμαρίου : Βολιώνες, Κεφαλόβρυσα, Αποστόλοι, που είναι οι κύριοι τροφοδότες του ταμιευτήρα, και ένα (1) τέταρτο δείγμα από τον υδάτινο όγκο του φράγματος στη θέση «Πύργος Υδροληψίας», όπου είναι και το σημείο εξόδου της σήραγγας υδροληψίας του έργου, για να καταλήξει στη ΜΕΝ (*Μονάδα Επεξεργασίας Νερού*) , που θα κατασκευαστεί.

Όλα τα δείγματα νερού, που ελήφθησαν σ’ αυτό τον κύκλο της έρευνας ήταν επιφανειακά, είτε προέρχονταν από τα ρέματα είτε από το νερό του ταμιευτήρα.

Η στόχευση της έρευνας αυτής ήταν η καταγραφή της ποιότητας των νερών των ρεμάτων και του ταμιευτήρα, με κύριο στόχο τον εντοπισμό πιθανών πηγών

ρύπανσης (*μικροβιολογικών και χημικών-τοξικών*), με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των νερών που εισρέουν, και την εξάλειψη των ρυπογόνων δραστηριοτήτων.

Στην κατεύθυνση αυτή και **με βάση τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας, μελετήθηκε από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. η κατασκευή αποχετευτικών δικτύων και μικρών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων (compact) στους οικισμούς που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα (Βολιώνες, Παντάνασσα, Πατσός, Αποστόλοι).**

Στα τέλη Ιουλίου 2010, **παρατηρήθηκαν έντονα προβλήματα στην ποιότητα του νερού (*χρώμα, οσμή*).** Η δυσάρεστη οσμή είχε εντοπιστεί από τα μέσα Ιουνίου, όμως το πρόβλημα επιδεινώθηκε τον Αύγουστο. Αγρότες καλλιεργητές και άνθρωποι που ζουν κοντά σε αγροτικές εκτάσεις, διαμαρτυρόντουσαν για την ποιότητα του νερού, και ζητούσαν άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος.

Άμεσα ξεκίνησε 2^{ος} κύκλος δειγματοληψιών και αναλύσεων (*12 και 29 Ιουλίου 2010*), με στόχο τη διερεύνηση και τον εντοπισμό του προβλήματος ποιότητας του νερού.

Δείγματα νερού ελήφθησαν από τη βάνα εξόδου του νερού του φράγματος, από τις δεξαμενές αποθήκευσης του αρδευτικού νερού σε Άδελε και Πηγή, και σε σημεία του αρδευτικού δικτύου.

Η δειγματοληψία και αναλύσεις έγιναν από τα Εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ (*Επιστημονική Υπεύθυνη κ. Λαγκουβάρδου- Χημικός Μηχανικός*), για λογαριασμό του Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Προσδιορίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Σιδήρου (Fe) και Μαγγανίου (Mn), σε όλα τα δείγματα , στην αυξημένη συγκέντρωση των οποίων οφείλεται ο χρωματισμός και πιθανόν η δυσοσμία του νερού.

Τα υπόλοιπα μέταλλα Νικέλιο (Ni), Χαλκός (Cu), Ψευδάργυρος (Zn), που αναλύθηκαν, δεν βρέθηκαν σε σημαντικά αξιόλογες συγκεντρώσεις.

Μετά από τον 2^{ο} αυτό κύκλο μετρήσεων, προτάθηκε στον Ο.Α.ΔΥ.Κ. και έγινε αποδεκτό, η πραγματοποίηση εμπεριστατωμένης έρευνας για την ποιότητα του νερού του Φράγματος Ποταμών Αμαρίου, όπερ και έκανε αποδεκτό ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. Στα πλαίσια αυτά πραγματοποιήθηκε η παρούσα διατριβή, με τη συνεργασία του Πολυτεχνείου Κρήτης και των Εργαστηρίων ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ.

Ξεκίνησε λοιπόν ο 3^{ος} κύκλος μετρήσεων, που υλοποιήθηκε σε δύο φάσεις, αρχές Αυγούστου 2011 (12/08/2011) και τον Οκτώβριο του ιδίου έτους (21/10/2011). Πάρθηκαν δείγματα από διαφορετικά βάθη στο σημείο υδροληψίας του ταμιευτήρα, και από τερματικά σημεία του αρδευτικού δικτύου. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής μελετήθηκε το θερμοκλινές της λιμνοδεξαμενής και οι ενδεδειγμένοι παράμετροι ποιότητας του νερού.

Το φράγμα των Ποταμών Αμαρίου είναι τεχνικό έργο ζωτικής σημασίας για το νομό Ρεθύμνου με τεράστια οικονομική και αναπτυξιακή διάσταση. Δεδομένου ότι η κατανάλωση νερού διαρκώς αυξάνεται, και ότι η παροχή για άρδευση θα μεγαλώσει τα επόμενα έτη, καθώς επίσης έχει προγραμματιστεί η χρήση του νερού αυτού για την ύδρευση του Ρεθύμνου (*μετά την κατασκευή διυλιστηρίου*), κρίνεται σκόπιμο να λάβει χώρα μια εμπεριστατωμένη μελέτη της ποιότητας του νερού του φράγματος Αμαρίου.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2 : *Φράγμα Ποταμών*

2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

Το κύριο φράγμα βρίσκεται σε ευθεία απόσταση 12,5 km. ΝΑ της πόλης του Ρεθύμνου, επί του χειμάρρου Πρασιανού, μεταξύ δύο αντερεισμάτων αμέσως κατάντη (*προς Β*) της συμβολής των δύο δευτερευόντων κλάδων του χειμάρρου (*δεξιού και αριστερού κατά τη φορά της ροής*). Το υψόμετρο της κοίτης στη θέση του φράγματος είναι + 160.

Το μέγιστο ύψος του φράγματος είναι 55 m. και το μέγιστο πλάτος της βάσης του 310m. Το υψόμετρο της στέψης του είναι +210 ενώ το μήκος και πλάτος αυτής είναι 275m και 10m αντίστοιχα. Το υψόμετρο της στέψης του υπερχειλιστή είναι +203, η ανώτατη στάθμη νερού για την περίπτωση πλημμύρας +206,5, ενώ η κατώτατη στάθμη υδροληψίας +177,0.

Ο συνολικός αποθηκευόμενος όγκος νερού για τις στάθμες +177,0 και +203,0 είναι 5 και 22,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού αντίστοιχα.

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ 1</u>: *Χαρακτηριστικά Φράγματος Ποταμών* *

Τύπος	Χωμάτινο
Όγκος ταμιευτήρα	22,5 * 10^{6} m^2
Ύψος	55 m
Οφέλιμος όγκος	17,5 * 10^{6} m^2
Πλάτος βάσης	310 m.
Επιφάνεια ταμιευτήρα	1.600 στρεμ.
Μήκος στέψης	265 m.
Λεκάνη απορροής	60 km^{2}
Πλάτος στέψης	10 m
Όγκος αναχώματος	1.800.000 m^3
Μήκος υπερχειλιστή	340 m
Σκυροδέματα πάσης φύσεως	40.000 m^3
Παροχή υπερχειλιστή	1.325 m^3 /sec
Γεωτρήσεις - τσιμεντενέσεις	27.500 m
Ύψος πύργου υδροληψίας	25 m
Ανωτάτη στάθμη αποθηκεύσεως	+ 203,00 m
Διατομή πύργου υδροληψίας	4,5 m x 4,5 m
Κατωτάτη στάθμη υδροληψίας	+ 177,00 m
Μήκος σήραγγας εκτροπής	385 m
Διάρκεια κατασκευής	1996-2000 & 2003-2005
Διατομή σήραγγας εκτροπής	Εσωτ. διάμ. 4,5 m

* Πηγή ΟΑΔΥΚ

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για να πραγματοποιηθεί αυτή η διατριβή περιγράφονται παρακάτω:

1. Εύρεση βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικά με τη λιμνολογία και τις παραμέτρους ποιότητας του νερού των ταμιευτήρων (*φυσικοχημικά, μικροβιολογικά χαρακτηριστικά*), καθώς μεταβολή των παραμέτρων αυτών στο νερό λόγω εποχιακής διακύμανσης ή άλλων αιτίων.
2. Συγκέντρωση όλων των υπαρχόντων στοιχείων σε σχέση με το Φράγμα Ποταμών (*παλαιότερες αναλύσεις*).
3. Επίσκεψη στο αντίστοιχο Φράγμα Διπόταμου της Αλεξανδρούπολης και στις εγκαταστάσεις του Διυλιστηρίου Αλεξανδρούπολης. Η επίσκεψη αυτή σκοπό είχε τη γνωριμία με το φράγμα αυτό, στο οποίο αντιμετώπισαν παρόμοια προβλήματα και την ανταλλαγή εμπειρίας και πληροφοριών σχετικά με τους τρόπους αντιμετώπισης των προβλημάτων στην ποιότητα του νερού, αλλά και για τους τρόπους επεξεργασίας του. Η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε στις 23/05/2011 και συμμετείχαν στελέχη του ΟΑΔΥΚ με επικεφαλή τον Δ/ντή Ρεθύμνου κ. Μαμαγκάκη Βαγγέλη πολιτικό μηχανικό και τον ηλεκτρολόγο μηχανικό του Οργανισμού κ. Πενθερουδάκη Μανώλη, τον κ. Καθηγητή Διαμαντόπουλο Βαγγέλη και από το Εργαστήριο ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ τα στελέχη Λαγκουβάρδου Αφροδίτη- Χημικός Μηχανικός και Σπαντιδάκη Μαρία -Χημικός.
4. Προμήθεια κατάλληλου εξοπλισμού δειγματοληψίας αλλά και οργάνων για μετρήσεις πεδίου και αντιδραστηρίων – αναλώσιμων για την εκτέλεση των αναλύσεων (*Πολύμετρο μέτρησης παραμέτρων πεδίου- HORIBA, ειδικός δειγματολήπτης, αντιδραστήρια για μέτρηση πρωτόζωων και οσμών geosmin & 2-methyl isoborneol, κλπ.*).
5. Οργάνωση προγράμματος δειγματοληψιών 1^{ης} και 2^{ης} δειγματοληψίας (*οργάνωση προσωπικού, έλεγχος εξοπλισμού, εύρεση σκάφους, κλπ.*)
6. Εκτέλεση δειγματοληψίας και μέτρηση παραμέτρων πεδίου.
7. Εκτέλεση πειραματικού μέρους σε Πολυτεχνείο και Εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ
8. Καταγραφή και ταξινόμηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

9. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων (*εποχιακή διακύμανση και μεταβολές παραμέτρων συναρτήσει του βάθους υδροληψίας*)
10. Συγκριτική αξιολόγηση με βιβλιογραφικά δεδομένα από άλλα Φράγματα π.χ. Αλεξανδρούπολης - Μόρνου.
11. Διατύπωση προτάσεων σχετικά με την αντιμετώπιση των προβλημάτων στην ποιότητα του νερού.

Κεφάλαιο 2^{ο}

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ- ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Οι ταμιευτήρες χαρακτηρίζονται γενικά από στάσιμο νερό σε αντίθεση με τους ποταμούς που χαρακτηρίζονται από τρεχούμενο. Η ρέουσα φύση των ποταμών συνήθως προκαλεί ολοκληρωτική ανάμιξη σε βάθος και πλάτος και ταχύτατη μεταφορά προς την κάθοδο του ρεύματος. Τα βαθύτερα στάσιμα νερά των ταμιευτήρων, από την άλλη, τείνουν να κινούν τα συστατικά και τους φορείς ρύπανσης του νερού αργά. Η τάση για διαστρωμάτωση καθυστερεί την κάθετη ανάμιξη. Η ανάμιξη του νερού λόγω ανέμου και η θέρμανση του ήλιου ελέγχουν κατά κύριο λόγο τη βαρυτικά καθοριζόμενη ροή προς την κάθοδο του ρεύματος [7].

Οι ταμιευτήρες τείνουν να αποθηκεύουν νερό για σχετικά μεγάλες περιόδους. Ο αυξημένος χρόνος αποθήκευσης ή παραμονής επιτρέπει την εσωτερική ανακύκλωση και η ύλη που γεννάται μέσα στον ταμιευτήρα (*αυτόχθονη*) έχει αυξημένη σημασία σε σχέση με τα υλικά που γεννιούνται έξω και μεταφέρονται μέσα στον ταμιευτήρα (*αλλόχθονα υλικά*). Η εσωτερική παραγωγικότητα και φθορά (αποσύνθεση) ποικίλουν κατά εποχές ή έτη, έτσι ώστε καθίστανται σημαντικές οι αποκλίσεις στη μεταφορά και στην ανάμιξη που συμβαίνουν κατά ανάλογες χρονικές περιόδους. Οι αποκλίσεις σε σχέση με το βάθος είναι επίσης πιο σημαντικές στα στάσιμα νερά. Το φως δεν διεισδύει στο βυθό πολλών ταμιευτήρων, οπότε η ανταλλαγή θερμότητας και η παραγωγικότητα περιορίζονται σε επιφανειακά στρώματα. Πολλοί ταμιευτήρες δεν παρουσιάζουν ολική κάθετη ανάμιξη για κάποιες περιόδους του έτους και έτσι προκύπτουν μεγάλες κάθετες αποκλίσεις στη θερμοκρασία, πυκνότητα και ποιότητα του νερού [7].

1.2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι ταμιευτήρες νερού επιφέρουν φυσικές, χημικές και βιολογικές αλλαγές στο αποθηκευμένο νερό και στα υποκείμενα εδάφη και πετρώματα, τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα νερού. Η χημική σύσταση του νερού μέσα σε ένα ταμιευτήρα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετική από αυτήν των εισρεόμενων ποσοτήτων νερού. Το μέγεθος του ταμιευτήρα, η θέση του στο ποτάμιο σύστημα, η γεωγραφική θέση του, όσον αφορά το υψόμετρο, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του, ο χρόνος διατήρησης αποθήκευσης του νερού και η υδατική πηγή(ες), επηρεάζουν τον τρόπο που η κράτηση αποθήκευσης τροποποιεί την ποιότητα του νερού [5].

Σημαντικές βιολογικά-οδηγούμενες αλλαγές εμφανίζονται μέσα στους θερμικά στρωματοποιημένους ταμιευτήρες νερού. Στο επιφανειακό στρώμα, το φυτοπλαγκτόν (*phytoplankton*) πολλαπλασιάζεται συχνά και απελευθερώνει οξυγόνο, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο τις συγκεντρώσεις σε κοντινά επίπεδα κορεσμού για τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Αντίθετα, η έλλειψη μίξης φυτοπλαγκτόν και ηλιακής ακτινοβολίας για εν θερμώ σύνθεση με συνένωση με το οξυγόνο που χρησιμοποιείται στην αποσύνθεση της υποβρύχιας βιομάζας, μπορούν να οδηγήσουν σε συνθήκες μη οξυγόνωσης ιστών, στο κατώτατο υδατικό στρώμα [5].

Οι θρεπτικές ουσίες (*δηλαδή ο φώσφορος και το άζωτο*) απελευθερώνονται βιολογικά και εκπλύνονται από την πλημμυρισμένη βλάστηση και το έδαφος. Αν και η απαίτηση οξυγόνου και τα θρεπτικά επίπεδα μειώνονται γενικά με το πέρασμα του χρόνου, καθώς η οργανική ουσία μειώνεται, μερικοί ταμιευτήρες απαιτούν μια περίοδο περισσότερων από 20 έτη για να αναπτύξουν σταθερά σε ποιότητα υδατικά καθεστώτα. Κυριότεροι αποδέκτες της ρύπανσης με νιτρικά είναι συνήθως τα αγροτικής χρήσης εδάφη και οι υδατικοί πόροι που επηρεάζονται από αυτά (*επιφανειακοί και υπόγειοι*). Το φαινόμενο της ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων συνδέεται άμεσα με την υποβάθμιση του εδάφους, αφού τα υλικά της διάβρωσης που συσσωρεύονται σε αυτά μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητά τους, και κατά ακολουθία να υποβαθμίσουν τη ποιότητα των νερών των ταμιευτήρων των φραγμάτων, που λειτουργούν ως αποδέκτες νιτρικών και διαφόρων άλλων ρυπογόνων ουσιών [5].

Μετά από την ωρίμανση, οι ταμιευτήρες, όπως οι φυσικές λίμνες, μπορούν να ενεργήσουν ως θρεπτικοί αποδέκτες (*οχετοί*), ιδιαίτερα για τις θρεπτικές ουσίες που συνδέονται με τα ιζήματα. Ο ευτροφισμός των ταμιευτήρων μπορεί να εμφανιστεί σαν συνεπεία των μεγάλων εισροών της οργανικής φόρτισης ή/και των θρεπτικών ουσιών. Σε πολλές περιπτώσεις αυτές οι εισροές είναι μια συνέπεια των ανθρωπογενών επιρροών στην ποτάμια λεκάνη απορροής (*π.χ. χρήση λιπασμάτων, υγρών αποβλήτων κ.λπ.*), παρά μια άμεση συνέπεια της παρουσίας των ταμιευτήρων. Οι θρεπτικοί παλμοί (*των εκφορτίσεων*), από κοινού με τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, μπορούν να οδηγήσουν εντός του νερού, σε ανθίσεις των γαλαζοπράσινων αλγών (*blue-green algae*) που (*εκτός από το να είναι αισθητικά δυσάρεστα*) μπορούν να προκαλέσουν τη μείωση κι εξάντληση του οξυγόνου και τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις του σιδήρου και του μαγγανίου στο κατώτατο υδατικό στρώμα (*πέριξ του πυθμένα*), καθώς και αυξημένο pH και οξυγόνο στα ανώτερα υδατικά στρώματα των στρωματοποιημένων ταμιευτήρων.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα νιτρικά, σύμφωνα με ερευνητές υπάρχουν δύο κύριες ανησυχίες (*προβλήματα*) που προκύπτουν από την παρουσία νιτρικών αλάτων στο νερό:

(α) Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών αλάτων στους ποταμούς και τις λίμνες μπορούν να αυξήσουν την ανάπτυξη φυκών-αλγών, υποβαθμίζοντας τον υδροχαρή βιότοπο των ψαριών και των λοιπών υδρόβιων οργανισμών, καθώς και της άγριας πανίδας. Το άζωτο και ο φώσφορος εμφανίζονται ως οι πρωταρχικοί και κύριοι ρύποι σε πολλά υδατικά οικοσυστήματα στις ευρωπαϊκές λεκάνες απορροής, δεδομένου ότι προάγουν την παραγωγή των κυανόφυκων (*blue algae*) και κατά συνέπεια, δημιουργούν προβλήματα στις λίμνες και στα φράγματα, στα μακρόφυτα (*macrophytes*) και τα δινομαστιγοφόρα (*dinoflagellates*), κι επίσης υποβαθμίζουν το περιβάλλον και παρεμποδίζουν τον τουρισμό ή τις υδατοκαλλιέργειες στις παράκτιες περιοχές κ.λ.π. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, η αποδοτικότητα των επενδύσεων σ’ ότι αφορά τη λήψη αποτρεπτικών μέτρων επί των πιέσεων σε βάρος της γεωργίας και των συναφών πρακτικών, ή επί των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, θα πρέπει να αξιολογηθούν και να συγκριθούν.

(β) Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό μπορούν να έχουν δυσμενή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία.

Η ρύπανση με υδράργυρο και άλλα βαρέα μέταλλα αποτελεί σημαντικό πρόβλημα των ταμιευτήρων σε μερικές χώρες. Ο υδράργυρος είναι φυσικά παρών σε αβλαβή ανόργανη μορφή σε πολλά είδη εδαφών. Εντούτοις, τα βακτηρίδια, διασπούν, αποσυνθέτουν ουσίες κάτω από ένα νέο ταμιευτήρα, μετασχηματίζουν αυτόν τον ανόργανο υδράργυρο σε μεθυλικό υδράργυρο (*methylmercury)*, μια τοξίνη του κεντρικού νευρικού συστήματος. Το πλαγκτόν και άλλα έμβια όντα που βρίσκονται στο κατώτατο σημείο της υδρόβιας τροφικής αλυσίδας απορροφούν *methylmercury*. Καθώς ο *methylmercury* περνά επάνω στην τροφική αλυσίδα αυξάνεται όλο και περισσότερο η συγκέντρωσή του στους οργανισμούς των ζώων που τρώνε το μολυσμένο θήραμα. Μέσω αυτής της διαδικασίας της βιοσυσσώρευσης, τα επίπεδα *methylmercury* στους ιστούς των μεγάλων βρώσιμων ψαριών ή των πουλιών (*που διαβιούν στον ταμιευτήρα του φράγματος*) και βρίσκονται στην κορυφή της τροφικής-αλυσίδας μπορούν να είναι αρκετές φορές υψηλότερα, απ' ότι στους μικρούς οργανισμούς στο κατώτατο σημείο της αλυσίδας. Ο βαθμός στον οποίο η πανίδα έχει καταστεί τοξική με υδράργυρο έχει αποδειχθεί ότι είναι μεταβλητός. Σε άλλους ταμιευτήρες καμία επίπτωση δεν αναφέρεται. Οι αλλαγές ποιότητας νερού λόγω του ταμιευτήρα αντανακλώνται σε όλη την κατάντη κοίτη του ποτάμιου ρεύματος, έχοντας επιπτώσεις στην αρχική παραγωγικότητα και την ασπόνδυλη πανίδα που παρέχει τη βάση για το σύνολο των τροφικών αλυσίδων [5].

1.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα πλεονεκτήματα προκύπτουν από την ποσοτική επάρκεια διαμέσου της αξιοποίησης νερού που χάνεται.

Ειδικότερα:

- Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- Επάρκεια για την πρωτογενή και δευτερογενή παραγωγή
- Κάλυψη εποχιακών αιχμών
- Μονόδρομος για μεγάλες καταναλώσεις
- Γενικά μοχλός ανάπτυξης

Ενώ στα μειονεκτήματα χρήσης νερού φραγμάτων περιλαμβάνονται:

• Έκπλυση επιφανειών → ρύπανση και μόλυνση ανάλογα με τις δραστηριότητες στην υδρολογική λεκάνη

• Στρωμάτωση νερού φραγμο-λίμνης (Η≥10 m)

• Αποθήκευση σε συνθήκες που ευνοούν τη μικροβιολογική ανάπτυξη

• Δευτερογενής υποβάθμιση της ποιότητας

- ✓ Ανάπτυξη φωτοσυνθετικών μ/ο (*άλγη*)
- ✓ Οσμή γεύση (*γεωσμίνη – μεθυλοϊσοβορνεόλη*)
- ✓ Τοξίνες ως προϊόντα μεταβολισμού μ/ο

Γενικά η μη διήθηση του νερού από τη γη και η επιφανειακή αποθήκευση επιβάλλει την επεξεργασία του. [2].

2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

Η ποιότητα του νερού γενικά περιγράφεται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, οι οποίες καλύπτουν τα κύρια χημικά στοιχεία και εντάσεις, τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τα βιολογικά υλικά.

Οι λόγοι διατάραξης ενός οικοσυστήματος μιας λίμνης – ταμιευτήρα είναι κυρίως:

- η μεταβολή του ύψους της στάθμης,
- η δημιουργία ή μη θερμοκρασιακής στρωμάτωσης
- η ανάμιξη της υδάτινης στήλης με διαφορετική ποιότητα νερού μετά από περιόδους χαμηλών αποθεμάτων.

Η διατάραξη του οικοσυστήματος επιφέρει μεταβολές στην ποιότητα του ανεπεξέργαστου νερού και συνεπώς μεταβάλλονται και οι απαιτήσεις της επεξεργασίας του νερού προς πόσιμο [8].

Η παραγωγή και διάθεση στο περιβάλλον, τα τελευταία κυρίως χρόνια, νέων χημικών ενώσεων, όπως διαλυτών και αγροχημικών, οδηγεί στην ανάγκη διερεύνησης του καταλόγου των παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του νερού [7].

Τα χαρακτηριστικά ποιότητας των επιφανειακών νερών – λιμναίων οικοσυστημάτων μπορούν να ταξινομηθούν χονδρικά στις εξής παρακάτω κατηγορίες:

- Φυσικοχημικές Παράμετροι – Αισθητικοί Παράμετροι (*Οσμή, Γεύση & Χρώμα*)
- Βιολογικοί (*Μικροβιολογικοί*)

Μια άλλη ομαδοποίηση των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να γίνει ως προς τα προβλήματα ρύπανσης που δημιουργούν και τις επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία από τη χρήση του νερού.

2.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανήκουν η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, η οξύτητα, η αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θολότητα, η οσμή, η γεύση, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, διάφορα άλατα, η σκληρότητα του νερού, διάφορα κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, NH_4^{+}), διάφορα ανιόντα (NO_2^{-}, NO_3^{-}, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), τα θρεπτικά συστατικά (N, P,S, Si), τα ιχνοστοιχεία και τα βαρέα μέταλλα.

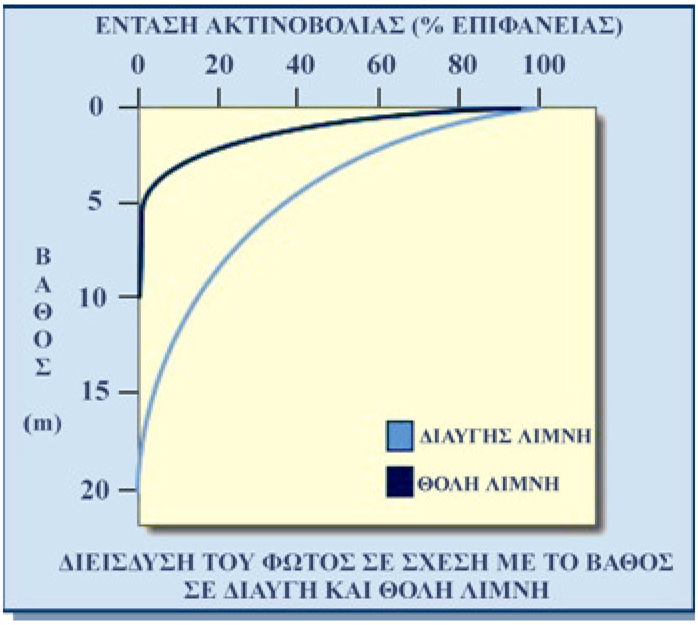
Η ποιότητα του νερού έχει καθοριστική επίδραση στη λειτουργία του λιμναίου οικοσυστήματος και κάθε επιβάρυνσή του με ύλη, ενέργεια ή μικροοργανισμούς οδηγεί στην υποβάθμισή του. Η αξιολόγηση της ποιότητάς του μπορεί να γίνει με τη μελέτη και τη μέτρηση ορισμένων βασικών φυσικών και χημικών παραμέτρων.

2.1.1. Φώς [4]

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας αφού αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας και συνδέεται με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αυτότροφων οργανισμών για την παραγωγή οργανικής ύλης. Το ίδιο το νερό, οι διαλυμένες σε αυτό ουσίες και τα αιωρούμενα σωματίδια διαθλούν και απορροφούν το φως και μειώνουν τη διαφάνεια του νερού. Η διαφάνεια των νερών μιας λίμνης μπορεί να μετρηθεί με το δίσκο του Secchi.

Για τα λιμναία και γενικότερα τα υδάτινα οικοσυστήματα, η ηλιακή ακτινοβολία καθορίζει τις μετεωρολογικές συνθήκες στη λεκάνη απορροής της λίμνης και τον κυματισμό του νερού. Παράλληλα, η ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με την πρωτογενή και τη δευτερογενή παραγωγή οργανικής ύλης μέσω της φωτοσύνθεσης, που μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε χημική. Η φωτοσύνθεση παράγει βιομάζα (*οργανική ύλη*) είτε μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα (*αυτόχθονη*) είτε στη λεκάνη απορροής (*αλλόχθονη*) η οποία μεταφέρεται στο λιμναίο οικοσύστημα είτε ως διαλυμένη είτε ως σωματιδιακή οργανική ύλη εξασφαλίζοντας έτσι τροφή σε ένα μεγάλο αριθμό των οργανισμών της λίμνης. Η ένταση του φωτός που δέχεται στιγμιαία κάθε φυτοπλαγκτονικός οργανισμός εξαρτάται από τη θέση του μέσα στην υδάτινη στήλη και την κατανομή του φωτός στο νερό. Όσο πιο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως στο νερό τόσο πιο βαθιά μπορούν να αναπτυχθούν φωτοσυνθετικές δραστηριότητες. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί μιας λίμνης περιλαμβάνουν το φυτοπλαγκτόν, που αιωρείται στο νερό, το περίφυτον που προσκολλάται σε επιφάνειες και τα αγγειώδη υδρόβια φυτά, τα μακρόφυτα. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που αναφέραμε συνθέτουν - με τη βοήθεια των φωτονίων, μορίων νερού και διοξειδίου του άνθρακα - υδατάνθρακες ($6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$) μετατρέποντας τη φωτεινή ενέργεια σε χημική, η οποία μέσω τροφικών πλεγμάτων μεταφέρεται στους ανώτερους καταναλωτές.

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια μιας λίμνης εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής, την εποχή και την ώρα της ημέρας αλλά και τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες.



ΣΧΗΜΑ 1: *Διείσδυση του φωτός σε σχέση με το βάθος σε διαυγή και θολή λίμνη [4]*

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισχωρεί στη λίμνη ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους της. Το ίδιο το νερό, οι διαλυμένες σε αυτό ουσίες και τα αιωρούμενα σωματίδια διαθλούν και απορροφούν το φως και μειώνουν τη διαπερατότητά του. Επίσης, καθώς διαδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία στο νερό, η έντασή της μειώνεται κι εξαιτίας της μετατροπής της σε θερμότητα. Σε βάθος ενός μέτρου το 53% της συνολικής φωτεινής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (*Rutner, 1963*). Αναφέρεται ότι μέσα στο νερό η φωτεινή ενέργεια που χρειάζεται για τη φωτοσύνθεση θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 1% του φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού.

Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου η φωτοσύνθεση είναι δυνατή και όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από το 1% αυτής που προσπίπτει στην επιφάνεια του νερού. Η στήλη του νερού μέσα στην οποία η φωτεινή ενέργεια είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η φωτοσύνθεση καλείται ευφωτική ή φωτική ζώνη. Όλη η παράλια ζώνη και το ανώτερο τμήμα της πελαγικής ζώνης μιας λίμνης ανήκουν στην ευφωτική ζώνη. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η ευφωτική ζώνη αποτελεί ένα μέσο παραγωγής οξυγόνου, ενώ τη νύχτα η φωτοσύνθεση σταματά και λόγω της αναπνοής των ζωικών και φυτικών οργανισμών το διαλυμένο οξυγόνο μειώνεται.

Η αφωτική ζώνη εκτείνεται κάτω από την ευφωτική έως το βυθό και αποτελεί περιοχή όπου δεν παράγεται οξυγόνο. Το όριο μεταξύ φωτικής και αφωτικής ζώνης μεταβάλλεται καθημερινά και εποχιακά, ανάλογα με την μεταβολή της ηλιακής έντασης και της διαφάνειας του νερού.

Το βάθος, μέχρι το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση (ευφωτική ζώνη) σε μια διαυγή λίμνη, μπορεί να φθάσει τα 20 μέτρα, ενώ σε θολή (εύτροφη) λίμνη συνήθως δεν ξεπερνά τα 4-5 μέτρα.

Τελικά, αφού η φωτοσύνθεση σε μια λίμνη εξαρτάται από το φως, οτιδήποτε περιορίζει την διεισδυτικότητά του θα επηρεάζει σημαντικά τις βιολογικές και χημικές διαδικασίες που συντελούνται στο νερό. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής της λίμνης προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη διαφάνεια του νερού. Ενδείξεις για την κατάσταση που επικρατεί στη λίμνη μπορούμε να έχουμε μετρώντας τη θολερότητα ή τη διαφάνεια του νερού.

2.1.2. Θολερότητα & Διαφάνεια [4]

Η θολερότητα του νερού μιας λίμνης οφείλεται στην παρουσία αιωρούμενων στερεών και μικροοργανισμών, αλλά και στον χρωματισμό του νερού, επειδή λόγω διάθλασης ή απορρόφησης των φωτεινών ακτινών μειώνεται η μετάδοσή τους. Έτσι η διαφάνεια του νερού αποτελεί ένδειξη για το πόσο βαθιά μπορεί να διεισδύσει το φως και είναι αντιστρόφως ανάλογη της συνολικής απορρόφησης του φωτός από το νερό, της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών και των αιωρούμενων σωματιδίων. Π.χ. η σύνθεση και η αφθονία του φυτοπλαγκτόν επηρεάζει τη διείσδυση του φωτός. Ακόμη και μικρές μεταβολές στην αφθονία και στο μέγεθος των πληθυσμών του πλαγκτόν μπορούν να επιδράσουν και να αλλάξουν το βάθος της εύφωτης ζώνης. Με άλλα λόγια ένα θολό νερό χαρακτηρίζεται από απουσία διαύγειας και από αντίσταση στη διέλευση του φωτός.

Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η θολότητα είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό που φτάνει στον καταναλωτή πρέπει να είναι διαυγές και όχι θολό.

Η θολότητα προκαλεί εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης και μετριέται σε μονάδες θολότητας (NTU) (*Nephelometric Turbidity Units*) ή σε mg/l (*ppm*) διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), δηλαδή θολότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα 1 mg SiO_2/L νερού. Το όργανο μέτρησης της θολότητας είναι το θολερόμετρο ή νεφελόμετρο, το οποίο είναι ένα όργανο με μια πηγή φωτός και ένα σύστημα ένδειξης της έντασης του διαχεομένου φωτός σε γωνία 90º ως προς την προσπίπτουσα δέσμη όταν αυτή διέρχεται από το προς εξέταση δείγμα.

Θολότητα που υπερβαίνει τα 0.5 ppm SiO_2 αρχίζει να γίνεται αντιληπτή με γυμνό μάτι. Σημειώνεται ότι εάν ένα δείγμα περιέχει διαλυμένα υλικά που προσδίδουν χρώμα είναι ενδεχόμενο να προκαλείται απορρόφηση και μείωση της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός με επίπτωση στην τιμή της μετρούμενης θολότητας.

2.1.3. Χρώμα [4]

Το χρώμα μιας λίμνης καθορίζεται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εισχωρεί στο νερό, από το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται, από τις διαλυμένες ανόργανες ή οργανικές ουσίες, από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών, από το χρώμα του ιζήματος, ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες διαχέουν και απορροφούν το φως και προσδίδουν στο νερό συγκεκριμένο χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο - γαλάζιο έως σκούρο καφετί.

Η απορρόφηση του φωτός υπολογίζεται με το συντελεστή απορρόφησης, ο οποίος είναι διαφορετικός για κάθε λίμνη αλλά και για κάθε μήκος κύματος του φωτός. Έτσι οι διαφανείς λίμνες έχουν μικρό συντελεστή απορρόφησης, ενώ οι εύτροφες και θολές μεγάλο.

Η διέλευση μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας στο νερό (*οπτικό μέσο*) εξαρτάται από το μήκος κύματός της και όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκτροπής. Η ακτινοβολία του ορατού φωτός στην περιοχή του πράσινουμπλε είναι αυτή που διεισδύει βαθύτερα στη λίμνη, ενώ του κόκκινου-βιολετί απορροφάται ταχύτερα. Το μπλε φως είναι αυτό που υφίσταται εντονότερο διασκεδασμό (*διάχυση και ανάκλαση*) από τα μόρια του νερού με αποτέλεσμα να δίνει το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα στις διαφανείς ορεινές λίμνες. Παράλληλα τα αιωρούμενα σωματίδια και οι διαλυμένες ουσίες αντανακλούν μια ποικιλία χρωμάτων, προσδίδοντας έτσι τις ιδιαίτερες αποχρώσεις της λίμνης. Λίμνες με έντονη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο, ενώ λίμνες με ασθενέστερη βιολογική δραστηριότητα έχουν χρώμα πράσινο - γαλάζιο. Ο χρωματισμός πάλι αποτελεί ένδειξη για την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών π.χ η παρουσία θείου (S) προσδίδει στο νερό κιτρινωπό χρώμα ενώ η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) πράσινο χρώμα.

Το χρώμα του νερού της λίμνης μπορεί ν' αλλάζει εποχιακά, όταν εξαιτίας της διάχυσης του ιζήματος κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή αναστροφή αναπτύσσεται υπερβολικά το φυτοπλαγκτόν εντείνοντας το πράσινο χρώμα ή με τη μεταφορά φερτών υλών από τη λεκάνη απορροής που προσδίδουν στη λίμνη φαιό χρώμα.

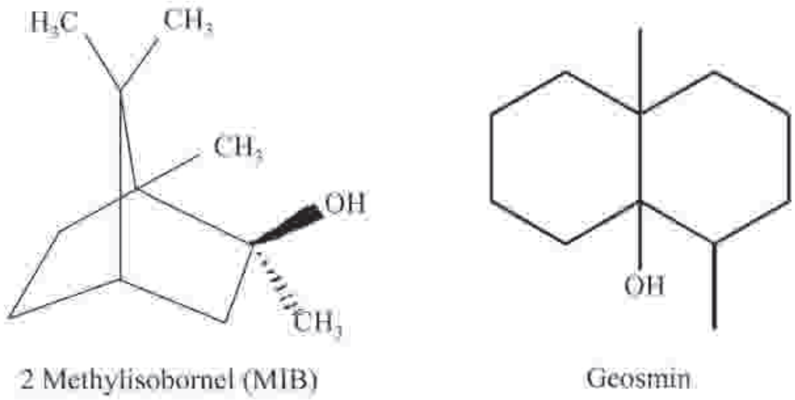
2.1.4. Οσμή - Γεύση [4, 30, 31, 32, 33]

Η οσμή είναι δυνατόν να προέρχεται από διάφορες χημικές ουσίες, από διαλυμένες ή από εν αιωρήσει οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση, ή τέλος από μικροοργανισμούς και από διαλυμένα στο νερό αέρια. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται συνήθως μόνον ποιοτικά σαν έντονες, μέτριες, ασθενείς κ.λ.π. Το προς πόση νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης οσμής ή γεύσης.

Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (*Total Dissolved Solids,* TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων συγκεκριμένων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn). Τέλος, ουσίες όπως οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες δημιουργούν σοβαρά προβλήματα γεύσης στο νερό ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα νερά με σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) μικρότερο από 1200 mg/l δεν παρουσιάζουν προβλήματα γεύσης και είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή, αν και πρέπει να προτιμάται συγκέντρωση TDS μικρότερη από 500 mg/l. Μερικά άλατα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο μαγνήσιο ($MgCl_2$), παρουσιάζουν μεγαλύτερα προβλήματα γεύσης. Αντίθετα η γεύση των θειικών αλάτων του μαγνησίου ($MgSO_4$) και ασβεστίου ($CaSO_4$) είναι λιγότερο δυσάρεστη.

Η αποδόμηση φυτικών υλικών και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι οι περισσότερο πιθανές αιτίες δημιουργίας γεύσης και οσμής στα επιφανειακά νερά. Οι μικροοργανισμοί που δημιουργούν συνήθως τέτοια προβλήματα είναι τα νηματοειδή βακτήρια, οι ακτινομύκητες και τα κυανοπράσινα φύκη, αν και είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων προβλημάτων και από άλλους μικροοργανισμούς.

Δύο προϊόντα μεταβολισμού των ακτινομυκήτων και των κυανοπράσινων άλγεων, που ταυτοποιήθηκαν είναι η γεωσμίνη και η μεθυλοϊσοβορνεόλη (MIB). Τα συστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα δύσοσμα και υπεύθυνα για την οσμή γαιώδους μούχλας που προσδίδουν στο νερό.



<u>ΣΧΗΜΑ 2</u> : *Δομές ουσιών οσμής*

Τόσο η γεωσμίνη όσο και η 2-μέθυλοισοβορνεόλη (MIB), σχετίζονται κυρίως με τον ευτροφισμό των ίδιων των υδάτων, σε αυτόχθονη βακτηριακή προέλευση, και σε μικρότερο βαθμό, από τη μόλυνση - ρύπανση των υδάτων. Δεν είναι τοξικές ως χημικές ενώσεις.

Βάση μελετών το κατώφλι οσμής, δηλαδή η ελάχιστη συγκέντρωση που μπορεί να αντιληφθεί η ανθρώπινη όσφρηση, είναι 10 ng/L (ppt). Η παρουσία αυτών των μορίων στο νερό εντοπίστηκε τη δεκαετία του 1960 και έγινε το επίκεντρο πολλών μελετών. Δεν έχει γίνει όμως ακόμα πλήρως κατανοητός ο μηχανισμός παραγωγής τους από τους διάφορους μικροοργανισμούς. Πράγματι, η παραγωγή της geosmin και 2-MIB οφείλεται στη δραστηριότητα των benthic, pelagic and terrestrial μικροοργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί κατατάσσονται στα βακτήρια (*ακτινομύκητες και κυανοβακτήρια*), στα πρωτόζωα και στους μύκητες.

Η παραγωγή geosmin και 2-MIB από αυτούς τους μικροοργανισμούς δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή, αλλά σίγουρα ενισχύεται από διάφορα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, όπως η παρουσία θρεπτικών συστατικών, η δυνατότητα διείσδυσης του φωτός στο νερό, οι θερμοκρασίες που επικρατούν, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διάφορων μικροοργανισμών, η παρουσία φυτοπλαγκτόν. Επίσης, οι μύκητες του εδάφους μπορούν να παράγουν τις δύο αυτές ουσίες.

Συσχετίσεις παρατηρήθηκαν επίσης μεταξύ geosmin και χλωροφύλλης -α. Οι Schrader και Blevins (2001) μελέτησαν την επίδραση των διαφόρων μικροθρεπτικών συστατικών (Ca, Co, Cu,Fe, Mn, K και Zn) στην παραγωγή της geosmin. Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης των Zn, Fe και Cu είχε σημαντικές επιδράσεις στην παραγωγή της βιομάζας των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια και στην παραγωγή της geosmin. Γενικότερα η μελέτη των ιδιαιτεροτήτων του κάθε οικοσυστήματος, οι οποίες όμως συνεχώς μεταβάλλονται, βοηθά στον προσδιορισμό των σχέσεων που συνδέουν την παρουσία των παραπάνω ουσιών με το περιβάλλον τους.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί το παράδοξο ότι παρουσία 2-MIB μπορεί να παρατηρηθεί και τους χειμερινούς μήνες, ενώ αυτό δεν συμβαίνει για τη Geosmin. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ο μηχανισμός σχηματισμού των δύο αυτών ενώσεων είναι διαφορετικός.

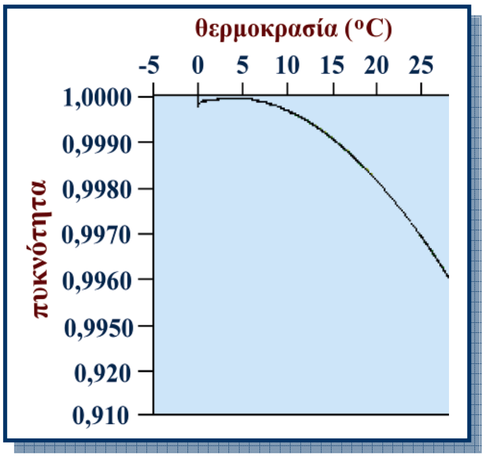
Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στο περιεχόμενο υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την αναγωγή των θειικών αλάτων εξαιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Η οσμή αλλοιωμένου αυγού μπορεί να ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.1 mg/l. Το βακτήριο που είναι συνήθως υπεύθυνο για την παραγωγή του υδρόθειου είναι το Desulfovibrio desulfuricans. Άλλες θειούχες ενώσεις, που οφείλονται σε μικροβιολογικές δράσεις και δημιουργούν οσμές και γεύσεις έλους - ιχθύος, είναι τα μεθυλοπολυσουλφίδια και η μεθυλομερκαπτάνη.

2.1.5. Θερμοκρασία [4]

Η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών, τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών και ανόργανων ουσιών, όπως βαρέων μετάλλων που υπάρχουν και είναι υπεύθυνη για τη θερμική στρωμάτωση και την αναστροφή των νερών.

Μία ακόμα ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα του νερού είναι η **μεγιστοποίηση της πυκνότητάς του στους 4^{o}C** (*Σχήμα 3*). Μείωση της θερμοκρασίας του νερού μέχρι τους 4^{o}C προκαλεί αύξηση της πυκνότητας και του βάρους του. Τα βαρύτερα αυτά στρώματα νερού βυθίζονται, προκαλώντας ανάμιξη των επιφανειακών στρωμάτων με τα βαθύτερα και εξισώνοντας έτσι τη θερμοκρασία στο σύνολο του όγκου μιας υδάτινης λεκάνης. Κάτω από τους 4^{o}C η πυκνότητα του νερού μειώνεται (η πυκνότητα του νερού στην υγρή του μορφή είναι 0,99987g/cm^3, ενώ στη στερεή μορφή - πάγος - είναι 0,9164g/cm^3) με αποτέλεσμα μεγάλοι όγκοι νερού να μην παγώνουν ολοσχερώς, όταν η θερμοκρασία είναι ίση με μηδέν ή μικρότερη, αλλά μόνο επιφανειακά. Τα μόρια του πάγου έχουν κρυσταλλική διάταξη, με αποτέλεσμα ο πάγος να είναι λιγότερο πυκνός από το νερό κι έτσι να επιπλέει. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει τη ζωή σε λίμνες, θάλασσες και ποτάμια που παγώνουν κατά τη διάρκεια των ψυχρών εποχών του έτους. Αν το νερό δεν παρουσίαζε την παραπάνω ιδιαιτερότητα, τα παγωμένα στρώματα της επιφάνειας θα βυθίζονταν και τα νέα επιφανειακά στρώματα θα πάγωναν και θα βυθίζονταν επίσης.

Σύντομα όλη η υδάτινη έκταση θα αποτελούσε ένα συμπαγές στρώμα πάγου όπου καμιά μορφή ζωής δεν θα μπορούσε να επιβιώσει.



<u>**ΣΧΗΜΑ 3**</u> : *Πυκνότητα του νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας [4]*

Το νερό χαρακτηρίζεται επίσης από **μεγάλη θερμοχωρητικότητα**, οι μεταβολές δηλαδή στη θερμοκρασία του συντελούνται με σχετικά αργούς ρυθμούς. Η παραπάνω ιδιότητα του νερού οφείλεται στην υψηλή ειδική του θερμότητα (*για να ανέβει η θερμοκρασία 1g νερού κατά 1^{o}C απαιτείται 1cal*). Συνεπώς στο νερό αποθηκεύονται τεράστια ποσά θερμότητας σε σχέση με τα περισσότερα γνωστά υλικά χωρίς να αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία του.

Ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και το βάθος τους οι λίμνες διακρίνονται σε:

- **Τροπικές** : θερμοκρασία των επιφανειακών νερών μεγαλύτερη από 4^{o}C
- **Εύκρατες** : θερμοκρασία των επιφανειακών νερών και κάτω από 4^{o}C
- **Πολικές** : θερμοκρασία των επιφανειακών νερών μικρότερη από 4^{o}C όλη τη διάρκεια του έτους (στον πυθμένα όμως η θερμοκρασία σταθεροποιείται στους 4^{o}C)

Στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη και σε βαθιές λίμνες, καθώς ο ήλιος θερμαίνει τη λίμνη, δημιουργεί ένα θερμό και λιγότερο πυκνό επιφανειακό στρώμα με σχετικά ομοιόμορφη θερμοκρασία και δική του κυκλοφορία, το **επιλίμνιο.** Πρόκειται για το επιφανειακό νερό (*και αυτό που βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια*) που δέχεται άμεσα τις επιδράσεις από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα (*εποχιακές διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας*) και τον άνεμο και περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Το νερό στο επιλίμνιο είναι συνήθως θερμότερο από αυτό των υποκείμενων στρωμάτων. Κατά τη χειμερινή ωστόσο περίοδο και όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας πλησιάζει το μηδέν, το επιλίμνιο μπορεί να είναι ψυχρότερο από τα υποκείμενα στρώματα, των οποίων η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (4^{o}C)

<u>ΣΧΗΜΑ 4</u> : *Θερμική διαστρωμάτωση βαθειάς λίμνης στη διάρκεια του καλοκαιριού [4]*

Το επιλίμνιο βρίσκεται πάνω σε ένα πυκνότερο, ψυχρότερο και «αδιατάραχτο» στρώμα, το **υπολίμνιο**. Πρόκειται για το κατώτερο, βαρύτερο και ψυχρότερο στο μεγαλύτερο διάστημα του έτους στρώμα της λίμνης που χαρακτηρίζεται συνήθως από χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Λόγω ανώμαλης διαστολής και μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους (*θερμοκρασία ατμόσφαιρας κοντά ή υπό του μηδενός*), η θερμοκρασία στο υπολίμνιο παραμένει σταθερή ($4^{o}C$) και υψηλότερη από αυτή του επιλίμνιου.

Στην ανώτερη περιοχή του υπολίμνιου, εκεί όπου διαχωρίζεται το επιλίμνιο από το υπολίμνιο και μέσα σε μια υδάτινη περιοχή ελάττωσης της θερμοκρασίας με το βάθος (**μεταλίμνιο**), υπάρχει ένα στρώμα έντονης ασυνέχειας, το **θερμοκλινές**. Πρόκειται για το λεπτό στρώμα νερού που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση της θερμοκρασίας όσο αυξάνεται το βάθος. Αν και ο όρος θερμοκλινές συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο του μεταλιμνίου, στην πραγματικότητα αντιστοιχεί στην επιφάνεια με το μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος. Συνεπώς το θερμοκλινές είναι το σημείο της μεγαλύτερης μείωσης της θερμοκρασίας μέσα στο μεταλίμνιο και εκφράζεται μαθηματικά με τον παρακάτω τύπο:

$$\boldsymbol{\theta'' = d^2\theta \,/\, d^2z = 0}, \text{ όπου } \boldsymbol{\theta} = \text{θερμοκρασία και } \boldsymbol{z} = \text{βάθος}$$

Η αλλαγή της πυκνότητας του νερού στο μεταλίμνιο λειτουργεί σαν ένας φυσικός φραγμός που εμποδίζει την ανάμιξη του νερού των ανώτερων και των βαθύτερων στρωμάτων για αρκετούς μήνες κι εμποδίζει τη μεταφορά του διαλυμένου οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών από το επιλίμνιο στο υπολίμνιο.

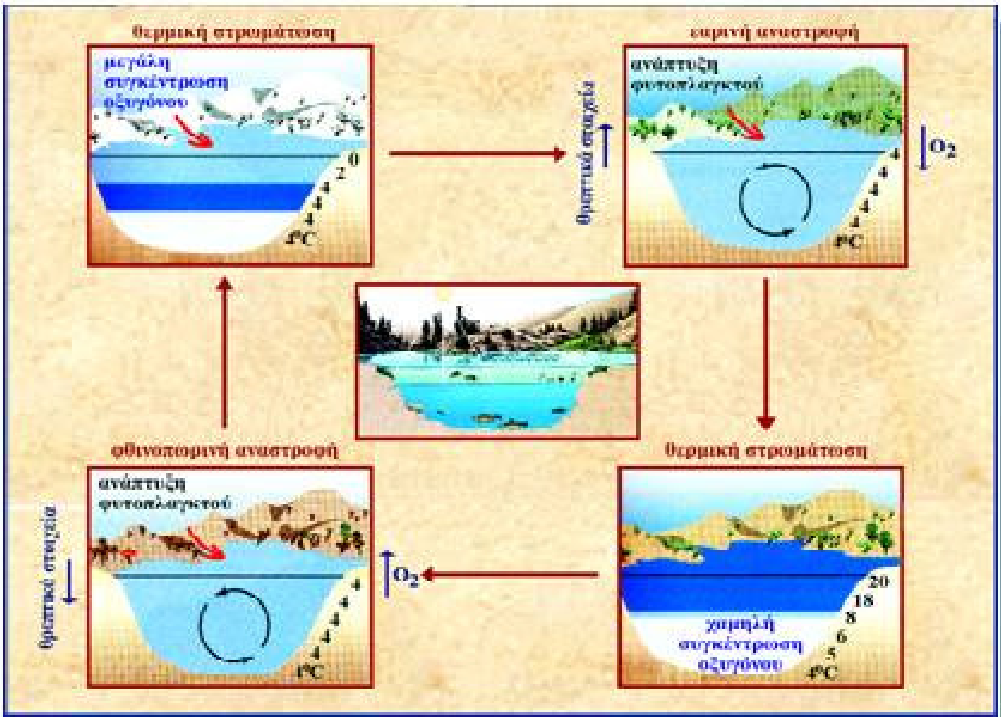
Κατά τη διάρκεια του *χειμώνα* η θερμική στρωμάτωση δεν είναι έντονη, γιατί η ελάττωση της θερμοκρασίας στο επιλίμνιο επηρεάζει ελάχιστα το υπολίμνιο και γενικά θεωρείται ότι η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή.

Το *καλοκαίρι* όμως τα νερά θερμαίνονται και ως ελαφρύτερα παραμένουν στην επιφάνεια, οπότε δεν γίνεται ανάμιξη των επιφανειακών με τα βαθύτερα στρώματα, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σαφώς το φαινόμενο της θερμικής στρωμάτωσης.

Το *φθινόπωρο*, λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας και της αυξημένης νυχτερινής απώλειας θερμότητας, η θερμοκρασία του επιλίμνιου ελαττώνεται πλησιάζοντας τη θερμοκρασία του υπολίμνιου οπότε είναι δυνατή η πλήρης ανάμιξη των νερών της λίμνης με τη βοήθεια του ανέμου. Συμβαίνει δηλαδή η **φθινοπωρινή αναστροφή**.

Την *άνοιξη,* εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, τα παγωμένα επιφανειακά νερά θερμαίνονται και εξισώνονται θερμοκρασιακά με τα νερά του υπολίμνιου, οπότε είναι πάλι δυνατή η ανάμιξη των νερών. Συμβαίνει δηλαδή η **εαρινή αναστροφή**.

Το βάθος μέχρι το οποίο γίνεται η ανάμιξη του νερού εξαρτάται εν μέρει από την έκθεση της λίμνης στον άνεμο (πιο συγκεκριμένα από την απόσταση από την οποία φυσάει ο άνεμος στη λίμνη χωρίς σημαντική αλλαγή στη διεύθυνσή του), αλλά κυρίως από το μέγεθος της λίμνης.



<u>ΣΧΗΜΑ 5</u> : *Θερμική διαστρωμάτωση νερού λίμνης κατά τη διάρκεια του έτους [4]*

Η ανάμιξη των νερών έχει ως συνέπεια την κυκλοφορία των θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν στον πυθμένα της λίμνης (*άλατα φωσφόρου, αζώτου και οργανικές ενώσεις*) σε όλη τη μάζα του νερού, ενισχύοντας έτσι τον ευτροφισμό της λίμνης, αλλάζοντας το χρώμα της και επηρεάζοντας την οξυγόνωση των νερών του πυθμένα.

Επειδή όλες οι λίμνες αναμειγνύονται ως ένα βαθμό, ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατάταξη ή κατηγοριοποίησή τους βασίζεται στο πόσο πλήρης είναι η ανάμιξη των νερών σε κατακόρυφο άξονα κατά τη διάρκεια των χαμηλότερων θερμοκρασιών και της μεγαλύτερης θολερότητας. (*Διμικτικές λίμνες, μονομικτικές, ολομικτικές, μερομικτικές, αμικτικές κ.λ.π.*)

<u>ΣΧΗΜΑ 6</u> : *Φάσεις της θερμικής στρωμάτωσης του νερού μιας διμικτικής λίμνης, από αρχές καλοκαιριού μέχρι αρχές φθινοπώρου και οι αναστροφές, φθινοπωρινή και εαρινή [4]*

2.1.6. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα [4]

Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα του νερού της λίμνης. Απόβλητα και ρύποι που εισέρχονται στη λίμνη τροποποιούν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως ανθρακικά, θειικά, χλωρίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και φωσφόρου. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται με το βάθος στη διάρκεια του καλοκαιριού σε λίμνες που εμφανίζουν στρωμάτωση, εξαιτίας της αναπνοής στο υπολίμνιο κατά την οποία παράγονται ανθρακικά ιόντα. Μετά το καλοκαίρι, όταν συμβεί αναστροφή στη λίμνη και το νερό της αναμιχθεί σε όλο τον όγκο του, η αγωγιμότητα των επιφανειακών νερών θα αυξηθεί συγκριτικά με το καλοκαίρι. Η αγωγιμότητα στο υπολίμνιο θα μειωθεί εξαιτίας της ανάμιξης του νερού του με το νερό της επιφάνειας. Στη διάρκεια του καλοκαιριού η αγωγιμότητα στο επιλίμνιο μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της εξάτμισης, αλλά μπορεί επίσης να επηρεαστεί και από την άμεση κατακρήμνιση νερού στη λίμνη ή από υπόγειες εισροές νερού στη λίμνη.

Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού της λίμνης αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Η αύξηση της αγωγιμότητας συνδέεται με την ενηλικίωση (*παλαίωση*) μιας υδάτινης μάζας εξαιτίας της αύξησης των θρεπτικών συστατικών της (*ευτροφισμός*). Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα στα γλυκά νερά τόσο μεγαλύτερη είναι η βιολογική παραγωγικότητα. Συνήθως στα φυσικά γλυκά νερά η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 – 1500 μS/cm (*μονάδα αγωγιμότητας είναι το mho/cm, δηλαδή το αντίστροφο της αντίστασης (ohm) ή το Siemens/m*).

2.1.7. Διαλυμένο Οξυγόνο (DO) [4]

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό σχετίζεται με την ανάπτυξη των περισσότερων μορφών ζωής. Ο εμπλουτισμός της λίμνης σε οξυγόνο γίνεται μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό της λίμνης και μέσω φωτοσυνθετικής παραγωγής. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, τον κυματισμό, την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα και οργανικές ουσίες, το περιεχόμενο σε μικροοργανισμούς κ.ά. Όταν εξαιτίας φυσικών ή ανθρωπίνων δραστηριοτήτων εισέλθει στη λίμνη άφθονο θρεπτικό υλικό προκαλείται μείωση ή ακόμα και έλλειψη οξυγόνου. Ειδικότερα σε υπολύμνιες περιοχές όπου παρουσιάζεται έλλειψη οξυγόνου και σε εγκλεισμούς παρατηρείται ύπαρξη δισθενών μορφών διάφορων μετάλλων, όπως ιόντα σιδήρου και μαγγανίου.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό αποτελεί αναμφισβήτητο δείκτη της κατάστασης και της βιωσιμότητας του λιμναίου οικοσυστήματος. Η ανάπτυξη των περισσότερων μορφών ζωής (*ζωικών, φυτικών, μυκήτων, πρωτίστων και βακτηρίων*) προϋποθέτει την παρουσία οξυγόνου. Η καύση οργανικών ουσιών (*κυρίως σακχάρων και λιπαρών οξέων*), **κυτταρική αναπνοή**, εξασφαλίζει την απαραίτητη για την επιβίωση, ανάπτυξη και αναπαραγωγή ενέργεια στην πλειονότητα του έμβιου κόσμου. Η παρακάτω αντίδραση περιγράφει συνοπτικά την καύση της γλυκόζης, της πιο άμεσης πηγής ενέργειας:

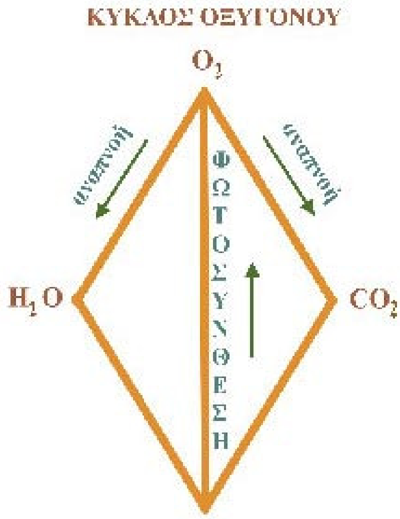
$$\mathbf{C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ενέργεια}}$$

Ο εμπλουτισμός της λίμνης σε οξυγόνο γίνεται μέσω:

- διάχυσής του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό της λίμνης
- φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου από τα ανώτερα υδρόβια φυτά, το φυτοπλαγκτόν και το περίφυτον

$$\mathbf{6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2}$$

Το μεγαλύτερο ποσοστό του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα και στο νερό σχηματίστηκε στο πέρασμα των γεωλογικών αιώνων από τους αυτότροφους οργανισμούς μέσω της φωτοσύνθεσης.



<u>ΣΧΗΜΑ 7</u> : *Ο κύκλος του οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες διατηρείται σταθερός [4]*

Όλοι οι αερόβιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο στη διαδικασία της αναπνοής. Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό που παράγονται αποτελούν τα υλικά της φωτοσύνθεσης η οποία γίνεται στους αυτότροφους οργανισμούς και προϊόν της είναι

το οξυγόνο. Ο κύκλος αυτός συμβαίνει και στα χερσαία και στα υδάτινα οικοσυστήματα και γενικά υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση του οξυγόνου, όταν οι συνθήκες είναι κανονικές και δεν εμποδίζονται οι διαδικασίες της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης (*π.χ όταν μια λίμνη ρυπανθεί προκαλείται μείωση ή ακόμα και έλλειψη οξυγόνου*).

Όταν εξαιτίας φυσικών ή ανθρώπινων δραστηριοτήτων εισέλθει στη λίμνη άφθονο θρεπτικό υλικό προκαλείται υπερβολική ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν (*άνθιση του νερού*) με αποτέλεσμα το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο να μειώνεται σε περιοχές κοντά στην ακτή και στον πυθμένα, όπου καταλήγουν μεγάλες ποσότητες νεκρής υδρόβιας βλάστησης και αποσυντίθενται από τα αερόβια βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν το διαλυμένο οξυγόνο.

Η μείωση οξυγόνου που θα προκύψει μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο μεγάλο μέρος της ιχθυοπανίδας κι αν συνεχιστεί η αύξηση των θρεπτικών συστατικών που εισρέουν στη λίμνη θα δημιουργηθούν ανοξικές συνθήκες. Αναερόβια βακτήρια θα κατακλύσουν την περιοχή τα οποία θα δημιουργήσουν αέρια προϊόντα αποσύνθεσης όπως το ιδιαίτερα δύσοσμο αλλά και τοξικό υδρόθειο και το εύφλεκτο μεθάνιο. Όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου ο αριθμός των ειδών μειώνεται, αλλά αυξάνονται οι ανθεκτικοί σε αυτές τις συνθήκες οργανισμοί. Η κατάσταση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και σε ένα συγκεκριμένο σημείο της λίμνης και δεν είναι οριστική. Όταν οι συνθήκες με την πάροδο του χρόνου ξαναγίνουν «κανονικές» οι αλλαγές εξαφανίζονται.

Σε γενικές γραμμές το οξυγόνο διαλύεται εύκολα στο νερό. Τα δίπολα του νερού μετατρέπουν τα μη πολικά μόρια του οξυγόνου σε ηλεκτρικά δίπολα. Η διάλυση του οξυγόνου στο νερό συντελείται με την ανάπτυξη ασθενών ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα πολικά μόρια του νερού και στα σχηματιζόμενα πολικά μόρια του οξυγόνου.

Ωστόσο, τόσο η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, όσο και η κατανομή του σε μια υδάτινη μάζα εξαρτώνται από ποικιλία παραγόντων:

- **κλίμα - μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή**
- **θερμοκρασία νερού και θερμική στρωμάτωση της υδάτινης στήλης**
- **ατμοσφαιρική πίεση (*υψόμετρο*)**
- **ρεύματα αέρα - κυματισμός**
- **αφθονία φωτοσυνθετικών οργανισμών**
- **αφθονία αερόβιων οργανισμών**
- **αφθονία οργανικού και ανόργανου υλικού (*που παράγεται στο εσωτερικό της λίμνης ή που εισέρχεται στη λίμνη*)**
- **περιεκτικότητα των εισερχόμενων στη λίμνη νερών σε οξυγόνο (*υπολίμνιες πηγές, επιφανειακά ρεύματα που απορρέουν στη λίμνη*)**
- **σχήμα και μέγεθος της λεκάνης απορροής**

<u>Οξυγόνο & Θερμοκρασία</u> : Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (*αρχή Le Chatelier*). Καθώς η θερμοκρασία ενός διαλύματος αυξάνεται, το περιεχόμενο αέριο εκδιώχνεται μέχρι να συμβεί πλήρης εξαέρωση του διαλύτη στο σημείο βρασμού.

Κατά τη φθινοπωρινή και την εαρινή αναστροφή, η ανάμιξη του νερού διαμορφώνει ομοιόμορφες σχεδόν συνθήκες ως προς τη συγκέντρωση του οξυγόνου σε όλο τον όγκο της υδάτινης μάζας. Ο συνδυασμός της θερμικής στρωμάτωσης και των βιολογικών δραστηριοτήτων επηρεάζει σημαντικά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου.

Εαρινή στρωμάτωση : Στις εύκρατες περιοχές και στη διάρκεια του καλοκαιριού, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο **επιλίμνιο** παραμένει υψηλή εξαιτίας της έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται (*το καλοκαίρι είναι ευνοϊκή περίοδος για την ανάπτυξη των φωτοσυνθετικών οργανισμών - η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη και επιταχύνει τους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς*) και της διάχυσής του από την ατμόσφαιρα.

Ωστόσο, στη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο **υπολίμνιο** εξαρτάται από την τροφική κατάσταση της λίμνης. Σε εύτροφες (*περισσότερο παραγωγικές*) λίμνες, το διαλυμένο οξυγόνο του υπολίμνιου μειώνεται, καθώς το διαχεόμενο από την ατμόσφαιρα και το παραγόμενο από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς των ανώτερων στρωμάτων οξυγόνο δεν εισέρχεται στην υδάτινη αυτή ζώνη (*λόγω θερμικής στρωμάτωσης*). Παράλληλα, οι αερόβιοι οργανισμοί του υπολίμνιου (*καταναλωτές, αποικοδομητές*) μειώνουν σταδιακά την ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου. Σε ακραίες περιπτώσεις τα βαθύτερα στρώματα της λίμνης γίνονται ανοξικά (*απουσία οξυγόνου*).

Σε ολιγότροφες λίμνες, η μικρή σχετικά βιομάζα του φυτοπλαγκτόν επιτρέπει τη διείσδυση του φωτός σε μεγαλύτερα βάθη και συνεπώς φωτοσυνθετικοί οργανισμοί - παραγωγοί οξυγόνου - εμπλουτίζουν με οξυγόνο βαθύτερα στρώματα του νερού. Σε ολιγότροφες λίμνες και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να αυξάνεται με το βάθος, στις υδάτινες ζώνες κάτω από το θερμοκλινές, καθώς οι χαμηλές θερμοκρασίες στο υπολίμνιο αυξάνουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου.

Χειμερινή στρωμάτωση : Σε εύτροφες λίμνες και κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, η κάλυψη των επιφανειακών νερών με πάγο προκαλεί στρωμάτωση της λίμνης ως προς τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα διάφορα βάθη. Περιορισμένη κάλυψη της επιφάνειας με πάγο επιτρέπει τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ανάπτυξη φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Στις παραπάνω συνθήκες η συγκέντρωση του οξυγόνου παρουσιάζεται αυξημένη στα στρώματα κοντά στην επιφάνεια και μειώνεται με το βάθος εξαιτίας της κατανάλωσης οξυγόνου από τους ετερότροφους οργανισμούς.

2.1.8. Ενεργός Οξύτητα (pH) [4]

Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό των κυττάρων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τις συγκεντρώσεις του CO_2 και του οξυγόνου στο νερό, τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (*φωτοσύνθεση, αναπνοή*), τη χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και την επίδραση εξωγενών παραγόντων.

Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό των κυττάρων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα δυσχεραίνουν την πορεία των παραπάνω αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους.

Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ των 4-9 μονάδων, ενώ τιμές 6,5-8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς.

Γενικά οι παράγοντες που επηρεάζουν το pH του νερού μιας λίμνης είναι οι παρακάτω:

- Θερμοκρασία
- Αλατότητα (*ανιόντα θείου, χλωρίου κ.α., μεταλλικά κατιόντα ασβεστίου, μναγνησίου κ.ά.*)
- Συγκέντρωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα
- Μεταβολική δραστηριότητα υδρόβιων μικροοργανισμών (*φωτοσύνθεση, αναπνοή*)
- Χημική αποσύνθεση οργανικών ουσιών
- Σύσταση πετρωμάτων λεκάνης απορροής

Αναλυτικότερα η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (*παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά., μεταλλικών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.*), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (*φωτοσύνθεση, αναπνοή*) και τη χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών .

Το CO_2 διαλύεται εύκολα στο νερό συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος κατάλληλου για τη ζωή, δεδομένου ότι συμμετέχει στις διαδικασίες φωτοσύνθεσης και αναπνοής και αποτελεί ουσιαστική πηγή άνθρακα, άμεσα ή έμμεσα, για τις ενεργειακές απαιτήσεις των οργανισμών. Η διαλυτότητα του CO_2 στο νερό προσδιορίζεται από τις παρακάτω αντιδράσεις:

$$\mathbf{CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3}$$

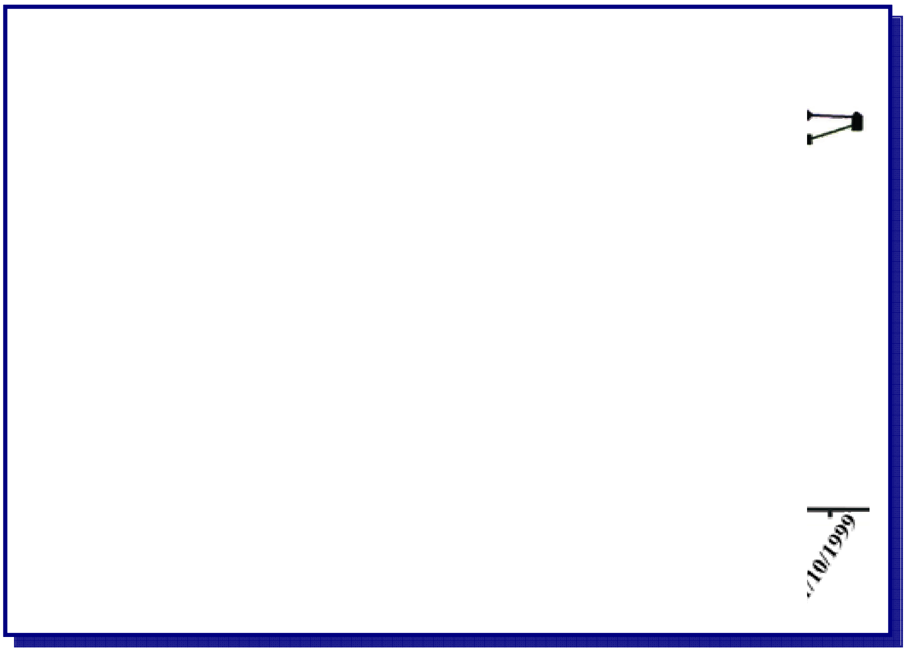
$$\mathbf{CO_2 + OH^- \leftrightarrow HCO_3^-}$$

και στη συνέχεια:

$$\mathbf{H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-}$$

$$\mathbf{HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^=}$$

Αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα. Η κατακόρυφη κατανομή του pH καθορίζεται από τη δέσμευση του CO_2 (*στα στρώματα όπου συναντώνται οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί*) και την απελευθέρωσή του κατά την αναπνοή σε όλα τα βάθη της υδάτινης στήλης. Κατά τις περιόδους στρωμάτωσης μιας λίμνης, παρατηρούνται προοδευτικές μεταβολές στις τιμές του pH. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται συνήθως στην κατανάλωση CO_2 (*συνεπώς αύξηση του pH*) στο επιλίμνιο, εξαιτίας της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, και στην απελευθέρωσή του στο υπολίμνιο (*συνεπώς μείωση του pH*), κατά την αποσύνθεση κυρίως νεκρών πλαγκτονικών οργανισμών και οργανικού υλικού του πυθμένα.



<u>ΣΧΗΜΑ 8</u> : *Αυξομειώσεις στο pH του νερού της λίμνης της Καστοριάς στη διάρκεια ενός έτους [4]*

Οι περισσότερες λίμνες παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, ανθίστανται δηλαδή, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, σε απότομες μεταβολές του pH.

Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Χαμηλές τιμές του pH οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στη λίμνη (*όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά.*). Εμπλουτισμός της λίμνης με θειικά οξέα συμβαίνει με τη βροχή (*το νερό της βροχής περιέχει, μεταξύ άλλων ανιόντων*, $SO_4^{=}$) ή μπορεί να οφείλεται στη σύσταση του υπεδάφους της λεκάνης απορροής. Η έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα πετρωμάτων τύρφης του υπεδάφους (*λόγω διάβρωσης του εδάφους*) αυξάνει τη συγκέντρωση του θειικού οξέος στο νερό της λίμνης. Η οξείδωση του πυρίτη (FeS_2), συστατικό των πετρωμάτων τύρφης, καταλήγει στο σχηματισμό θειικού οξέος.

Αλκαλικές τιμές pH συναντάμε σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμός (*κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του* CO_2 *του νερού*), σε περιπτώσεις ρύπανσης της λίμνης με αλκαλικές ουσίες (*απορρυπαντικά κ.ά. από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα*) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

Εμπλουτισμός της λίμνης με ιόντα ασβεστίου παρατηρείται σε περιοχές όπου στη λεκάνη απορροής επικρατούν ασβεστολιθικά πετρώματα. Το νερό της βροχής μεταφέρει στη λίμνη ιόντα ασβεστίου, που δεσμεύει κατά τη ροή του πάνω από τα ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία αντιδρούν με τα όξινα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- του νερού της λίμνης σχηματίζοντας αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο που κατακρημνίζεται. Οι παρακάτω αντιδράσεις περιγράφουν το φαινόμενο:

$$\mathbf{H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-}$$

$$\mathbf{Ca^{2+} + 2HCO_3^- \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2}$$

2.1.9. Αλκαλικότητα

Τα φυσικά νερά παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, ανθίστανται δηλαδή, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, σε απότομες μεταβολές του pH. Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Χαμηλές τιμές του pH οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στα φυσικά νερά (*όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά.*). Εμπλουτισμός των νερών με θειικά οξέα συμβαίνει με τη βροχή (*το νερό της βροχής περιέχει, μεταξύ άλλων ανιόντων και θειικά* SO_4^{2-}) ή μπορεί να οφείλεται στη σύσταση του υπεδάφους της λεκάνης απορροής. Αλκαλικές τιμές pH συναντώνται σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμός (*κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του* CO_2 *του νερού*), σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (*απορρυπαντικά κ.ά. από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα*) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

Η ανθρακική αλκαλικότητα εκφράζεται ως εξής:

$$\mathbf{Αλκαλικότητα = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]\ meq/l.}$$

Συνήθως η αλκαλικότητα μετριέται σε ισοδύναμη συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$), του οποίου το γραμμομόριο είναι 100 gr και το γραμμοϊσοδύναμο 50 gr δεδομένου ότι ιονίζεται στα δισθενή ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και ανθρακικά ιόντα (CO_3^{2-}).

2.1.10. Άλατα και σκληρότητα νερού

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και το είδος των αλάτων που περιέχονται στο νερό είναι το γήινο υπόβαθρο, το pH και η θερμοκρασία. Η χημική σύσταση των φυσικών νερών μπορεί να τροποποιηθεί με τη βοήθεια των βιολογικών μεταβολισμών. Ο υδρολογικός κύκλος επιδρά στην αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των διαφόρων χημικών στοιχείων. Διάλυση, οξείδωση – αναγωγή, ιοντοεναλλαγή και συμπλοκοποίηση είναι οι κύριες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα.

Τα συνήθη ανόργανα συστατικά των φυσικών νερών είναι το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το κάλιο (K), τα όξινα ανθρακικά (HCO^{3-}), τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα χλωριούχα (Cl^-), τα θειικά (SO_4^{2-}), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα πυριτικά. Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών για τα πόσιμα νερά στην Ελλάδα κυμαίνονται από 200 – 400 mg/l. Οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων στοιχείων κυμαίνονται από 1 – 100 mg/l. Άλλα ιόντα, των οποίων οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0,01 – 1 mg/l είναι η αμμωνία (NH_3), τα νιτρώδη (NO_2^-), τα φωσφορικά (PO_4^{3-}), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn) και το φθόριο (F). Ανάλογα με το γήινο υπόβαθρο της περιοχής, τη γεωργική και τη βιομηχανική ρύπανση, είναι δυνατόν να υπάρχει στο νερό κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση (μg/l) ως ιχνοστοιχείο.

Το νερό της βροχής περιέχει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων σε αντίθεση με τα υπόγεια και επιφανειακά νερά τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων. Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος, που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα κυρίως ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) και διακρίνεται σε ολική, προσωρινή και μόνιμη.

2.1.11. Κατιόντα (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+)

Κάλιο (K)

Το κάλιο είναι ένα στοιχείο σε αφθονία στη φύση, βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια όμως η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει τα 20 mg/l. Δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Νάτριο (Na)

Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατά του βρίσκονται σε όλες τις τροφές και στο πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1 - 500 mg/l. Στο πόσιμο νερό δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοεναλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 200 mg/l επηρεάζει τη γεύση του νερού. Το νάτριο (κυρίως η αναλογία του προς τα άλλα κατιόντα στο νερό) έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο.

Ασβέστιο (Ca)

Υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην
υγεία.

Μαγνήσιο (Mg)

Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Τα άλατά του μαζί με του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθήσεις στις σωληνώσεις και τους λέβητες. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες.

Αμμωνιακά (NH_4^+)

Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία σε χαμηλές συγκεντρώσεις (~ 0,2 mg/l). Σε υπόγεια νερά κάτω από εδάφη δασών παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στο πόσιμο νερό, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης, συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρωδών αλάτων στα συστήματα ύδρευσης.

2.1.12. Ανιόντα (Cl^-, F^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-})

Χλωριούχα (Cl^-)

Τα χλωριούχα ιόντα είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση ως άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τη διάβρωση των πετρωμάτων. Είναι πολύ ευδιάλυτα και εισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και τους ωκεανούς. Μπορεί όμως να προκύψουν και από τη χρήση λιπασμάτων, από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ή διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές. Δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Η απότομη αύξηση των χλωριούχων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση, η οποία πρέπει να επιβεβαιωθεί και με άλλες μετρήσεις (*μικροβιολογικές, αμμωνία, νιτρώδη*). Δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριούχων στον άνθρωπο.

Φθοριούχα (F^-)

Το φθόριο υπάρχει στα νερά με τη μορφή φθοριούχων αλάτων, που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα. Συνήθως βρίσκεται στα υπόγεια παρά στα επιφανειακά νερά. Δεν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή στη φύση, επειδή είναι πολύ δραστικό στοιχείο. Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Από έρευνες και επιδημιολογικές μελέτες διαπιστώθηκε ότι το φθόριο σε μικρά ποσά στο νερό (*μέχρι 1 mg/l*) είναι ωφέλιμο, γιατί εμποδίζει τη δημιουργία τερηδόνας στα δόντια, ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλεί τη φθορίαση (*μαύρες κηλίδες στην αδαμαντίνη* *των δοντιών*) ή και βλάβες στα οστά. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμινίου, σε βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, στα λιπάσματα και στα κεραμικά.

Νιτρώδη (NO_2^-) - Νιτρικά (NO_3^-)

Αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά, αλλά η συγκέντρωση νιτρικών πρέπει να είναι χαμηλή. Υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Υπάρχουν ακόμη και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά (NO_3^-) διεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών αλάτων μπορεί να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη (NO_2^-). Τα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν νιτροζοενώσεις, που είναι καρκινογόνες.

Θειικά (SO_4^{2-})

Οι αυτότροφοι αλλά και πολλοί ετερότροφοι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν θείο από τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) του νερού. Κύρια πηγή των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά είναι το νερό της βροχής. Άλλες πιθανές πηγές θειικών ιόντων είναι τα ιζηματογενή, πετρώματα που περιέχουν θειικό ασβέστιο ή θειικό πυρίτιο. Σε κλειστές λίμνες όπου υπάρχουν αποθέσεις κρυστάλλων θειικού νατρίου (Na_2SO_4) η συγκέντρωση των θειικών ιόντων μπορεί να φτάνει τα 60 g/L. Στο υπολίμνιο των περισσότερων λιμνών και κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου προκαλεί μείωση των πληθυσμών των αερόβιων αποικοδομητικών οργανισμών. Στις παραπάνω συνθήκες η ανοργανοποίηση των οργανικών ουσιών με τη συμμετοχή αναερόβιων βακτηρίων δεν οδηγεί στο σχηματισμό νερού (H_2O) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), αλλά ενώσεων όπως το μεθάνιο (CH_4) το υδρόθειο (H_2S). Όσον αφορά στην κατακόρυφη κατανομή του θείου, παρατηρείται αύξησή της σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους του υδάτινου αποδέκτη.

2.1.13. Ιχνοστοιχεία - Βαρέα μέταλλα που ενδέχεται να περιέχονται στο νερό του φράγματος (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, κλπ)

Στο νερό των λιμνών υπάρχουν διάφορα μέταλλα τα οποία συμμετέχουν σε μικρές ποσότητες (*ιχνοστοιχεία*) στις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών.

Το **μαγγάνιο** βρίσκεται σε ανιχνεύσιμες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα επιφανειακά νερά και χρησιμοποιείται από φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς της λίμνης σε ποσότητα που ποικίλει ανάλογα με το είδος του οργανισμού. Αποθέματα μαγγανίου στον πυθμένα που επαναδιαλύονται τροφοδοτούν συνήθως τον υδάτινο όγκο με το συγκεκριμένο μέταλλο. Ως εκ τούτου μεγαλύτερες ποσότητες ιόντων μαγγανίου αναμένεται να παρατηρηθούν στο υπολίμνιο και στο μεταλίμνιο.

Οι συγκεντρώσεις του **χαλκού** στο νερό των λιμνών κυμαίνονται από πρακτικά μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/m^3. Σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του χαλκού παρατηρείται κατά τη φθινοπωρινή αναστροφή. Η παρουσία υδρόθειου στον πυθμένα δυσχεραίνει τη διάλυση του χαλκού και την απελευθέρωσή του στο υπολίμνιο. Ο εμπλουτισμός του νερού των βαθύτερων στρωμάτων με οξυγόνο προκαλεί την οξείδωση του υδρόθειου στον πυθμένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο χαλκός ανιχνεύεται σε συγκεντρώσεις τοξικές για την υδρόβια ζωή.

Τέλος στα νερά των λιμνών ανιχνεύονται συχνά και άλλα μέταλλα (***σίδηρος***, ***ψευδάργυρος***, ***κοβάλτιο***, ***βόριο***, *κ.ά.*).

<u>Σίδηρος (Fe) - Μαγγάνιο (Mn) [3]</u>

Ο **σίδηρος** υπάρχει κυρίως σε υπόγεια και επιφανειακά νερά που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Αυξημένες οι αυξημένες συγκεντρώσεις του σιδήρου στις υπολίμνιες περιοχές οφείλεται εξαιτίας της έλλειψης οξυγόνου και σε εγκλεισμούς που βρίσκονται σε κατάσταση ευτροφισμού. Όταν στη συνέχεια τα υπόγεια νερά που περιέχουν Fe^{2+} έρθουν σε επαφή με τον αέρα καταβυθίζονται τα προϊόντα της οξείδωσης του σιδήρου, τα οποία προσδίδουν καφέ - κόκκινο χρωματισμό τόσο στα νερά, όσο και στις επιφάνειες με τις οποίες έρχονται σε επαφή.

Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Προκαλεί προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια (*δημιουργούνται λεκέδες στα υφάσματα*) και στους αγωγούς διανομής νερού (*ευνοείται η ανάπτυξη* *βακτηρίων και δημιουργούνται αποθέσεις*). Συνεχής κατανάλωση νερού με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους ιστούς (*αιμοχρωμάτωση*).

Για το **μαγγάνιο** δεν έχουν διαπιστωθεί βλαβερές συνέπειες στην υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο. Θεωρείται από τα λιγότερο τοξικά στοιχεία για τον άνθρωπο. Η απορρόφησή του στον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό προκαλούν δυσάρεστη γεύση. Διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας και τη

δημιουργία αποθέσεων και οσμών. Όπως και ο σίδηρος έτσι και το μαγγάνιο συχνά βρίσκεται σε αξιοπρόσεκτες συγκεντρώσεις σε δισθενή μορφή, το οποίο οξειδούμενο προσδίδει γκρίζο ή μαύρο χρώμα στα νερά.

Χαλκός (Cu)

Είναι βασικό στοιχείο στον ανθρώπινο μεταβολισμό. Τα άλατα του χαλκού είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά και χρησιμοποιούνται (κυρίως ο θειικός χαλκός $CuSO_4 .5H_2O$) για να ανασταλεί η ανάπτυξη των φυκών. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων, σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο για 12 ώρες στις σωληνώσεις, η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 mg/l. Γι’ αυτό το λόγο η υγειονομική διάταξη του 1986 αναφέρει δύο ενδεικτικά επίπεδα: στην έξοδο των εγκαταστάσεων και μετά από ηρεμία 12 ωρών στις σωληνώσεις. Ο χαλκός προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό.

Ψευδάργυρος (Zn)

Είναι σημαντικό στοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα. Πηγές ψευδαργύρου στο νερό είναι η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων και τα απόβλητα μεταλλείων και επιμεταλλωτηρίων. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 mg/l προσδίδουν χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Δεν έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

2.1.14. Θρεπτικά συστατικά [4]

Βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών μιας λίμνης είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα αμμωνιακά ιόντα και τα φωσφορικά ιόντα που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης, οι τιμές τους δηλαδή είναι ενδεικτικές για τις συνθήκες (*ολιγότροφες, μεσότροφες, εύτροφες*) που επικρατούν σε αυτή.

Στα θρεπτικά στοιχεία περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες για την επιβίωση ουσίες που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς.

Εκτός από τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο, βασικά θρεπτικά συστατικά (***μακροθρεπτικά,*** *στοιχεία απαραίτητα σε μεγάλες σχετικά ποσότητες*) των φυτικών οργανισμών μιας λίμνης είναι τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τα αμμωνιακά ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα, το πυρίτιο (*απαραίτητο στα διάτομα και σε κάποια άλλα πλαγκτικά είδη*), τα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, τα ανιόντα θείου κ.ά. Μεταξύ άλλων τα κατιόντα των μετάλλων σιδήρου, μαγγανίου, χαλκού και ψευδαργύρου αποτελούν τα **μικροθρεπτικά** στοιχεία – **ιχνοστοιχεία -** καθώς είναι απαραίτητα σε μικρές σχετικά ποσότητες *(<100ppm, με εξαίρεση το σίδηρο που απαιτείται σε ποσότητες <1000ppm και >100ppm*) από τους οργανισμούς.

Η συγκέντρωση των μακροθρεπτικών στο νερό διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιοτική και την ποσοτική αφθονία των οργανισμών. Για παράδειγμα, ο εποικισμός διαφόρων ειδών φυτοπλαγκτού σε ένα λιμναίο οικοσύστημα σχετίζεται με τη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+} κ.ά.), ενώ η αύξηση των πληθυσμών τους συνδέεται συνήθως με τη σχετική αφθονία κάποιων άλλων (*νιτρώδη, νιτρικά, αμμωνιακά, φωσφορικά, πυριτικά ιόντα*).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, των νιτρωδών, των αμμωνιακών και των φωσφορικών ιόντων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης, οι τιμές τους δηλαδή είναι ενδεικτικές για τις συνθήκες (*ολιγότροφες, μεσότροφες, εύτροφες*) που επικρατούν σε αυτή.

Άζωτο:

Το άζωτο είναι ένα από τα κυριότερα συστατικά του ζωντανού πρωτοπλάσματος (*αποτελεί το 1-10% του βάρους των φυτών και περισσότερο από 20-30% του βάρους των ζώων*) και επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα των υδατικών οικοσυστημάτων. Το άζωτο υπάρχει στο νερό ως :

- διαλυμένο αέριο άζωτο
- άζωτο δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις, όπως πρωτεΐνες, αμινοξέα, ουρία κ.ά

- αμμωνία, κυρίως ως αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+ και NH_4OH^-)
- νιτρώδη ιόντα
- νιτρικά ιόντα

Αρκετές είναι οι ενώσεις του αζώτου που συμπεριλαμβάνονται στα θρεπτικά στοιχεία του φυτοπλαγκτού (*νιτρικά, τα πιο εύληπτα από τα φυτά άλατα, νιτρώδη, αμμωνιακά ιόντα*). Τα άλατα του αζώτου προέρχονται συνήθως από το ίζημα και απελευθερώνονται ως αμμωνία σε ανοξικές συνθήκες και ως νιτρικά στις περιόδους κυκλοφορίας του νερού, όπου το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία. Μερικά είδη κυανοφυκών - κυανοβακτηρίων μπορούν να δεσμεύουν το διαλυμένο στο νερό ατμοσφαιρικό άζωτο ($\mathbf{N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3}$).

Συγκεκριμένα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη άλατα σε νιτρικά (***βακτηριακή νιτροποίηση***).

(*Nitrosomonas*):

$$\mathbf{NH_4^+ + 1½O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O}$$

(*Nitrobacter*):

$$\mathbf{NO_2^- + ½O_2 \rightarrow NO_3^-}$$

Ανάμεσα στους παράγοντες που επιδρούν στην πορεία της βακτηριακής νιτροποίησης είναι το pH του νερού, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, η θερμοκρασία κ.ά.

Η διαδικασία της νιτροποίησης ευνοείται σε ουδέτερες ως ελαφρά αλκαλικές τιμές του pH. Σε τιμές pH μικρότερες από το 7 η νιτροποίηση καθυστερεί ή αναστέλλεται, καθώς οι όξινες συνθήκες δυσχεραίνουν τη λειτουργία των *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*. Σε τιμές του pH μεγαλύτερες του 8, τα άτομα *Nitrobacter* παύουν να μετατρέπουν τα νιτρώδη σε νιτρικά και συνεπώς η διαδικασία της νιτροποίησης αναστέλλεται επίσης.

Είναι προφανές ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό παίζει καθοριστικό ρόλο στη νιτροποίηση, στην οξείδωση δηλαδή της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Σε μια υδάτινη συλλογή ο ρυθμός νιτροποίησης μειώνεται με το βάθος.

Όσον αφορά στην επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό βακτηριακής νιτροποίησης, χαμηλές θερμοκρασίες είναι δυσμενείς για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων βακτηρίων. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους, παρατηρείται συσσώρευση νιτρικών ιόντων.

Αντίθετη της βακτηριακής νιτροποίησης διαδικασία είναι η **βακτηριακή απονιτροποίηση**. Μια μεγάλη ποικιλία βακτηριακών οργανισμών (*Esherichia coli*, *Serratia marcesu* κ.ά.) συμμετέχουν στην αναγωγή των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων, χρησιμοποιώντας οξυγόνο ανιόντων (π.χ. NO_3^-, NO_2^-, $SO_4^=$) για την οξείδωση οργανικού υλικού ($\mathbf{NO_3^-} \rightarrow \mathbf{NO_2^-} \rightarrow \mathbf{NO} \rightarrow \mathbf{N_2O} \rightarrow \mathbf{N_2}$). Αναερόβιες συνθήκες ευνοούν τη βακτηριακή απονιτροποίηση.

Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του αζώτου στις λίμνες ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες. Οι ρυθμοί παραγωγικότητας και οι παράγοντες που ελέγχουν μέχρι ένα βαθμό τις βακτηριακές δραστηριότητες, επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ενώσεων του αζώτου. Κατά τη θερινή στρωμάτωση μιας λίμνης τα νιτρικά μπορεί ακόμα και να εξαφανιστούν στο επιφανειακό στρώμα του νερού, ως αποτέλεσμα της χρησιμοποίησής τους, όπως επίσης και στα βαθύτερα στρώματα, εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου στα στρώματα αυτά.

Εμπλουτισμός των νερών με αζωτούχες ενώσεις προέρχεται από :

- ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην επιφάνεια μιας λίμνης
- τη δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου στο νερό (*ηλεκτρική ή φωτοχημική δέσμευση με κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις*)
- από τους μηχανικούς διάβρωσης και απόπλυσης των εδαφών της λεκάνης απορροής, με τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά
- παντός είδους απόβλητα που εισρέουν στη λίμνη

Απώλειες αζώτου από μια υδατοσυλλογή μπορεί να προέλθουν από:

- πλημμυρική εκροή από μια υδάτινη μάζα
- αναγωγή των νιτρικών σε άζωτο με βακτηριακή απονιτροποίηση και στη συνέχεια διαφυγή του αζώτου στην ατμόσφαιρα
- μόνιμη καθίζηση στο ίζημα της υδατοσυλλογής ανόργανων και οργανικών συστατικών που περιέχουν άζωτο

Φώσφορος:

Ο φώσφορος, με τη μορφή φωσφορικών κυρίως ιόντων (PO_4^{3-} και HPO_4^{2-}) αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά τόσο των ζωικών όσο και των φυτικών οργανισμών. Φώσφορος υπάρχει στο μόριο του DNA, του ATP, στην κυτταρική μεμβράνη (*φωσφολιπίδια*) και αλλού.

Ο φώσφορος αποτελεί συνήθως περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής και ως εκ τούτου έχει καθοριστική σημασία για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας στη λίμνη. Αν και είναι ένα από τα έξι κύρια κυτταρικά στοιχεία (C, H, O, N, P, S) και η αναλογία του στη νωπή βιομάζα του κυτοπλάσματος μπορεί να ξεπερνάει το 0,5%, η παρουσία του στο φλοιό της γης είναι σπανιότερη από αυτή των άλλων πέντε στοιχείων.

Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υδάτινο περιβάλλον μεταβάλλουν διαρκώς την αναλογία των παραπάνω μορφών.

Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό είναι η θερμοκρασία, το pH και η συγκέντρωση των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων. Υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τους ρυθμούς αποδόμησης των οργανικών ουσιών και συνεπώς την απελευθέρωση φωσφόρου. Παράλληλα βέβαια υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν την πρόσληψη φωσφόρου από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συνήθως όμως ο ρυθμός της πρώτης διαδικασίας (*απελευθέρωση φωσφόρου*) είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεύτερης (*δέσμευση φωσφόρου*), με αποτέλεσμα υψηλές θερμοκρασίες να επιφέρουν αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Το pH σχετίζεται με την εσωτερική τροφοδοσία του νερού σε φώσφορο, την επαναιώρηση δηλαδή του φωσφόρου του πυθμένα. Σε υψηλές τιμές pH συμβαίνει ανταλλαγή των ιόντων υδροξυλίου του νερού με φώσφορο από ενώσεις σιδήρου και αργιλίου του πυθμένα. Συνεπώς αύξηση του pH επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό.

Ανοξικές συνθήκες ευνοούν τη διάχυση του φωσφόρου από τον πυθμένα στο νερό. Αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και των νιτρωδών ιόντων μειώνει το ρυθμό απελευθέρωσης του φωσφόρου από τον πυθμένα (*και συνεπώς τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό*) εξαιτίας της οξειδωτικής τους δράσης.

Παράλληλα, η παρουσία υδρόβιας μακροφυτικής βλάστησης σε μια υδάτινη συλλογή αυξάνει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στο νερό. Οι παραπάνω φυτικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν φώσφορο κυρίως από το υπόστρωμα, ενώ κατά την ανάπτυξή τους απελευθερώνουν μεγάλα ποσά φωσφόρου στο νερό, διαδικασία που συνεχίζεται και κατά την ξήρανσή τους. Η παραμονή ξηρών φυτικών τμημάτων στο νερό διευκολύνει την αποσύνθεσή τους, εμπλουτίζοντας το νερό με φωσφορικές ενώσεις.

Ο φώσφορος διαλύεται σχετικά δύσκολα στο νερό και η ένωση του με σίδηρο, αργίλιο και ασβέστιο προκαλεί την καθίζησή του. Η τυπική διαδικασία ανακύκλωσης του φωσφόρου σε μια λίμνη περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω (*Σχήμα 10*): Ο φώσφορος απελευθερώνεται από το επιλίμνιο κατά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών και προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτόν και την υπόλοιπη υδρόβια βλάστηση. Ο θάνατος και η αποικοδόμηση των οργανισμών εμπλουτίζει το νερό με φωσφορικές ενώσεις που καθιζάνουν στον πυθμένα, ενώ παράλληλα συμβαίνει διάχυση του φωσφόρου από το ίζημα στο νερό (*εσωτερική τροφοδοσία του νερού της λίμνης σε φώσφορο*).

Στα περισσότερα φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου (*το σύνολο του ανόργανου και οργανικού, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου*) κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10 και 50μg/l. Ωστόσο σε μη παραγωγικά, ολιγότροφα νερά η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου μπορεί να είναι μικρότερη από 5μg/l, ενώ σε πολύ εύτροφες συνθήκες μπορεί να υπερβαίνει τα 100 μg/l.

Στις εξωτερικές πηγές φωσφόρου συμπεριλαμβάνονται οι επιφανειακές απορροές, τα λιπάσματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, βιομηχανικά απόβλητα κ.ά. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η εντατική χρήση λιπασμάτων και απορρυπαντικών έχει αυξήσει τη συγκέντρωση του φωσφόρου στις λίμνες πολλών περιοχών.

Θείο:

Οι αυτότροφοι οργανισμοί και πολλοί ετερότροφοι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν θείο από τα θειικά ιόντα ($SO_4^{=}$) του νερού. Κύρια πηγή των θειικών ιόντων στο νερό των λιμνών είναι το νερό της βροχής. Άλλες πιθανές πηγές θειικών ιόντων είναι ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θειικό ασβέστιο ή θειικό πυρίτιο.

Στο υπολίμνιο των περισσότερων λιμνών και κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου προκαλεί μείωση των πληθυσμών των αερόβιων αποικοδομητικών οργανισμών. Στις παραπάνω συνθήκες η ανοργανοποίηση των οργανικών ουσιών με τη συμμετοχή αναερόβιων βακτηρίων δεν οδηγεί στο σχηματισμό νερού και διοξειδίου του άνθρακα, αλλά ενώσεων όπως το υδρόθειο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά στην κατακόρυφη κατανομή του θείου, αναμένεται να παρατηρείται αύξηση της σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους.

Πυρίτιο:

Το πυρίτιο εμφανίζεται συνήθως, ως διαλυτό πυριτικό οξύ και ως σωματιδιακό πυρίτιο, σε επαρκείς συγκεντρώσεις στα εσωτερικά νερά. Το ορθοπυριτικό οξύ ($Si(OH)_4$) είναι πιθανόν η μόνη ένωση πυριτίου διαθέσιμη στα διάτομα και σε άλλα πλαγκτικά φύκη.

Στην πλειοψηφία των εύκρατων λιμνών η συγκέντρωση του πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 560 και 5600μg/l. Λίγες είναι οι περιπτώσεις λιμνών στις οποίες το πυρίτιο βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ σε αρκετές μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των διατόμων μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους, μετά από τη βιολογική κατανάλωσή του από τους παραπάνω οργανισμούς.

Μεγάλες συγκεντρώσεις πυριτίου παρατηρούνται κατά τη χειμερινή περίοδο και στην αρχή της άνοιξης, ενώ σταδιακά μειώνονται εξαιτίας της βιολογικής κατανάλωσής τους κατά την εαρινή και τη θερινή περίοδο. Περιορισμένες συγκεντρώσεις πυριτίου παρατηρούνται στην εύφωτη ζώνη των εύτροφων λιμνών, ενώ στις ολιγότροφες λίμνες παρατηρούνται διαφορές συγκεντρώσεων, ανάμεσα στο υπολίμνιο και στο επιλίμνιο, κατά τη θερμική στρωμάτωση των νερών.

Η τροφοδοσία μιας λίμνης σε πυρίτιο μπορεί να είναι εξωτερική (*μέσω εισροών*) ή εσωτερική (*διάθεση πυριτίου από το ίζημα, αποσύνθεση διατόμων*).

2.2. ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (TOTAL ORGANIC CARBON, TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας είναι ένα μέτρο κατάλληλο για μετρήσεις μικρών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την παραγωγή πόσιμου νερού. Η τιμή του TOC εκφράζει την ολική φόρτιση των νερών σε οργανικές ενώσεις. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg C/ l νερού. Οι τιμές TOC μας δίνουν πληροφορίες για το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα ανεξάρτητα από τις βαθμίδες οξείδωσής τους.

2.3. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ [1], [24], [26]

Οι μικροοργανισμοί παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της ποιότητας του νερού και των υγρών αποβλήτων. Συνήθως απαιτούν υγρό περιβάλλον για την ανάπτυξή τους.

Οι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για πολλές ασθένειες που μεταδίδονται μέσω των νερών, για την οσμή και τη γεύση του πόσιμου νερού, τη διάβρωση των μετάλλων και του σκυροδέματος καθώς επίσης και για τον ευτροφισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων. Παρ’ όλα αυτά η αφομοίωση των ρύπων στα υδάτινα οικοσυστήματα επιτυγχάνεται με βιολογικό αυτοκαθαρισμό του νερού χάρη στους μικροοργανισμούς.

Οι παράγοντες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη, την επιβίωση και την καταστροφή των μικροοργανισμών είναι η θερμοκρασία, το pH, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, η τροφή, η αλατότητα του νερού, η οσμωτική πίεση και η ηλιακή ακτινοβολία.

2.3.1. Τα βακτήρια

Τα βακτήρια είναι ευαίσθητα σε αλλαγές του pH και διαβιώνουν σε ουδέτερες συνθήκες, αν και υπάρχουν ορισμένα που μπορούν να επιβιώσουν σε εξαιρετικά όξινο περιβάλλον όπως τα βακτήρια του θείου. Τα βακτήρια είναι πολύ ευαίσθητα σε αλλαγές της θερμοκρασίας και έχουν μια βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης. Είναι τέλος πολύ ευαίσθητα στις διάφορες μορφές του χλωρίου.

Τα βακτήρια που αφορούν την ποιότητα του πόσιμου νερού διακρίνονται σε αυτόχθονα, που είναι συνήθως ομάδες βακτηρίων του σιδήρου, του θείου, του μεθανίου και δημιουργούν ανεπιθύμητες καταστάσεις όπως η διάβρωση των σωλήνων και η δημιουργία δυσάρεστων οσμών υδρόθειου, και αλλόχθονα όπως αυτά που ενδημούν στον εντερικό σωλήνα των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων και όταν εισέλθουν στο νερό το μολύνουν. Τα βακτήρια αναπτύσσονται στο νερό επειδή υπάρχουν ημιτελώς οξειδωμένες ενώσεις μετάλλων όπως του σιδήρου και του μαγγανίου, οι οποίες αποτελούν πηγές ενέργειας για την επιβίωσή τους, αλλά πεθαίνουν όταν βρεθούν έξω από το νερό δηλαδή σε ξηρό περιβάλλον.

2.3.2. Τα άλγη

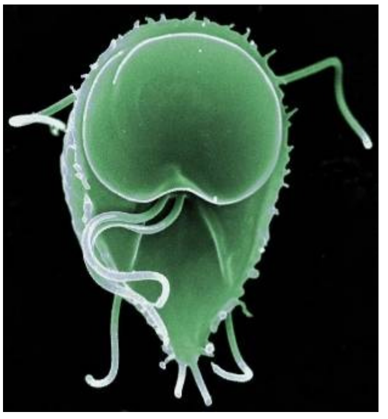
Στο γλυκό νερό οι σχηματισμοί τους είναι συνήθως μικροσκοπικοί, σε αντίθεση με τα αλατούχα νερά στα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σε πολύ μεγάλα μεγέθη. Η παρουσία αλγών στο νερό παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω της επίδρασής τους στην παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου και της έντονης οσμής και γεύσης που δίνουν στο νερό.

2.3.3. Τα πρωτόζωα [27], [28], [29]

Πολλά πρωτόζωα παρασιτούν στον άνθρωπο και μεταδίδονται με το μολυσμένο νερό. Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού κατακρατούνται τα πρωτόζωα στα φίλτρα άμμου σε ποσοστό ~ 99 %. Τα απολυμαντικά είναι συνήθως αποτελεσματικά, αλλά κατά κανόνα απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι επαφής και υψηλότερες συγκεντρώσεις απολυμαντικών για την επίτευξη της ίδιας αποτελεσματικότητας σε σχέση με τα βακτήρια.

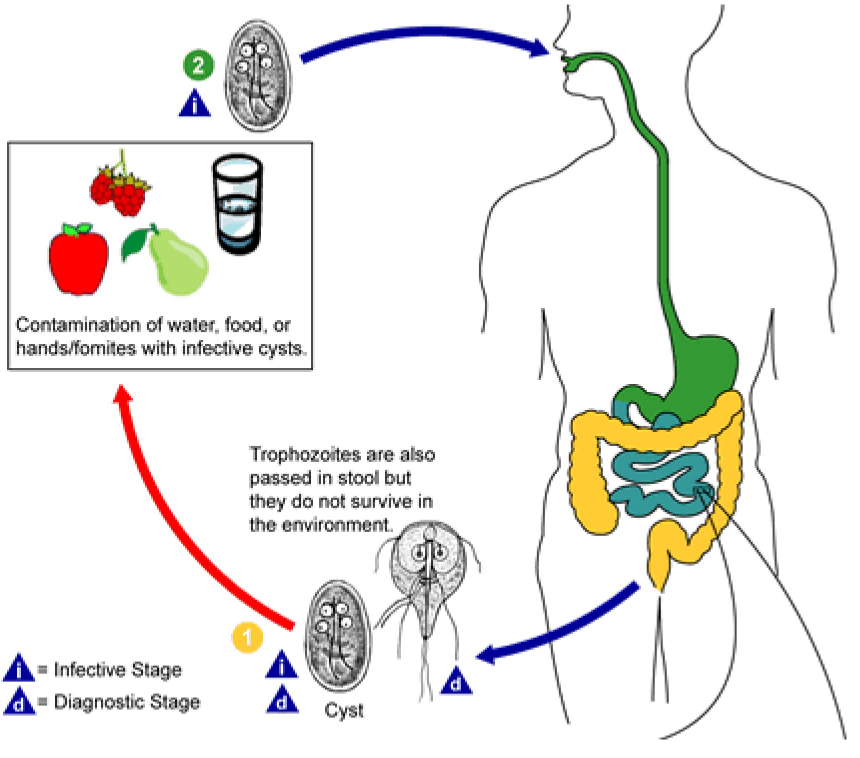
Δύο από τα πιο σημαντικά πρωτόζωα στα επιφανειακά νερά είναι η Giardia lamblia και το Cryptosporidium.

Η Giardia lamblia είναι μαστιγοφόρο, σοβαρό παθογόνο παράσιτο του ανθρώπου στον οποίο προκαλεί διάρροια. Βρίσκεται επίσης στο λεπτό έντερο των χοίρων χωρίς όμως να είναι παθογόνος. Η μόλυνση γίνεται με κατανάλωση νερού που περιέχει τις πολύ ανθεκτικές κύστες του παρασίτου. Ο ρόλος της G. lamblia ως ανθρωποζωονόσου είναι συζητήσιμος.



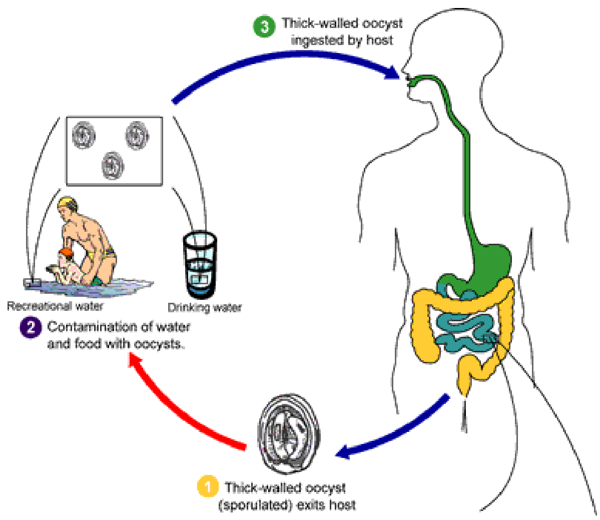
<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 3</u> : *Giardia Lamblia*

(Πηγή http://www.sciencedaily.com/releases/2007/09/070927154937.htm)

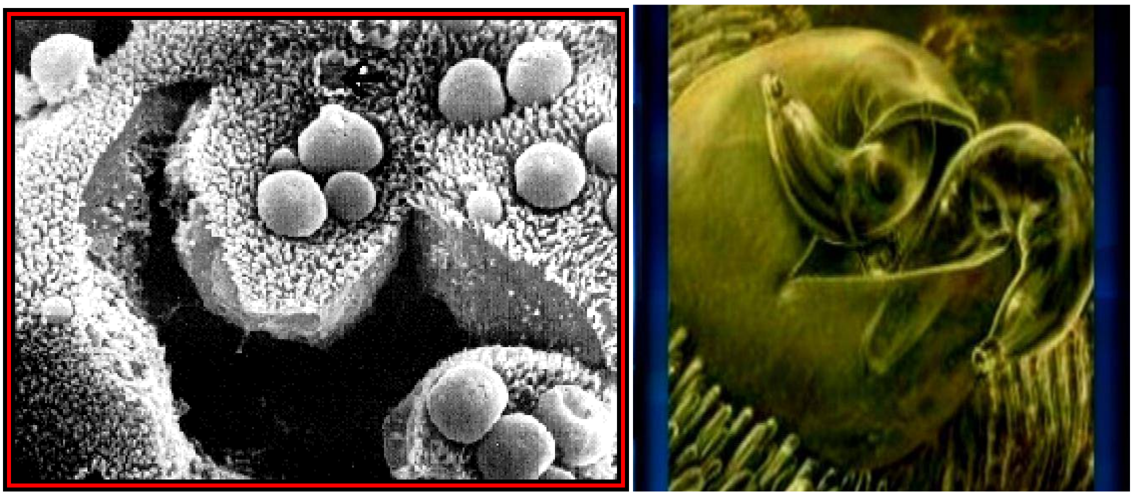


<u>ΣΧΗΜΑ 9</u> : *Τρόπος πρόκλησης γιαρδίασης στον άνθρωπο*

(Πηγή http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/html/Giardiasis.htm)



<u>ΣΧΗΜΑ 10</u> : *Τρόπος πρόκλησης κρυπτοσποριδίασης στον άνθρωπο (http://dpd.cdc.gov/dpdx/images/ParasiteImages/AF/Cyclosporiasis/Cyclospora_LifeCycle.gif)*



<u>ΣΧΗΜΑ 11</u> : *Κρυπτοσπορίδιο (Πηγή http://jhyoung.myweb.uga.edu/Waterborne.html)*

Γενικά τα πρωτόζωα είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στο πόσιμο νερό, γιατί μπορεί να προκαλέσουν πολλά προβλήματα στη δημόσια υγεία. Η Giardia και το Cryptosporidium, όταν προσλαμβάνονται από το μολυσμένο νερό, προκαλούν giardiasis («*πυρετός κάστορα*») και κρυπτοσποριδίωση. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν διάρροια, κοιλιακές κράμπες, ναυτία, έμετο, ρίγη, πυρετό, αφυδάτωση, πονοκεφάλους, και αίσθημα κακουχίας.

Και τα δύο παράσιτα παράγουν κύστες που αντέχουν σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ, όταν αυτές καταποθούν, ξαναενεργοποιούνται. Τα επίπεδα του χλωρίου που συνήθως χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του πόσιμου νερού δεν σκοτώνουν τις κύστεις.

Και οι δύο οργανισμοί αναπαράγονται σε ανθρώπους, κατοικίδια ζώα, κ.τ.λ. και αποβάλλονται από το σώμα τους μέσω των περιττωμάτων τους και εν συνεχεία μέσω του υδροφόρου ορίζοντα μολύνουν το νερό. Τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, και τα ανοσοκατασταλμένα άτομα (*π.χ. πάσχοντες από AIDS ή καρκινοπαθείς σε χημειοθεραπεία*) μπορεί να υποφέρουν παρατεταμένα και απειλητικά στη ζωή τους από λοιμώξεις που οφείλονται σε αυτά τα πρωτόζωα. Γενικά η Giardia και Cryptosporidium εμφανίζονται σε πολύ μικρούς αριθμούς στο υδάτινο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος της πιθανής παρουσίας αυτών στο πόσιμο νερό απαιτεί το φιλτράρισμα μεγάλων ποσοτήτων νερού μέσω μικρού πορώδους φίλτρου.

Κεφάλαιο 3^{o}

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δειγματοληψία των νερών γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με την κατηγορία τους και τη φύση των παραμέτρων, που πρόκειται να προσδιοριστούν. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές δειγματοληψίας κι έχουν κατασκευασθεί δειγματολήπτες, που καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις, τόσο για απλά μεμονωμένα δείγματα όσο και για αυτόματη συνεχή λήψη δειγμάτων.

Στην παρούσα διατριβή έγινε λήψη :

- **Επιφανειακών δειγμάτων νερού από την όχθη και πάνω από τον πύργο υδροληψίας**
- **Δειγμάτων νερού από διάφορα βάθη του ταμιευτήρα (*μέχρι τα 20 μέτρα*)**
- **Δειγμάτων από διάφορα σημεία του δικτύου.**

Για την λήψη των επιφανειακών δειγμάτων και των δειγμάτων νερού από το δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες φιάλες, ανάλογα τον τύπο της δοκιμής, ενώ για τη λήψη των δειγμάτων κάτω από την επιφάνεια του νερού απαιτήθηκε ειδικός δειγματολήπτης.

Από τις παραμέτρους που αναλύθηκαν, για άλλες απαιτείτο η μέτρηση στο πεδίο, ενώ για τις υπόλοιπες τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για τις απαιτούμενες μετρήσεις.

Η τεχνική της δειγματοληψίας έγινε σύμφωνα με διεθνή πρότυπα (*ISO μεθόδους*) και το Εργαστήριο ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ είναι διαπιστευμένο από το ΕΣΥΔ για τη δειγματοληψία των νερών σύμφωνα με τα ISO 5667-1,2,3,5,9,10,14 και ISO 19458.

1.1. ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Δείγματα νερού ελήφθησαν από:

1. Διαφορετικά βάθη στο σημείο υδροληψίας του Ο.Α.ΔΥ.Κ. Τα δείγματα λήφθηκαν από 6 διαφορετικά βάθη: επιφάνεια ταμιευτήρα, 2m, 5m, 10m, 15m,

20m, δηλαδή έως την θέση λήψης του νερού που βρίσκεται σήμερα στα 21 μέτρα από την επιφάνεια της λίμνης.

2. Από τη βάνα εξόδου προς τη σήραγγα του έργου
3. Από σημεία του αρδευτικού δικτύου
4. Από την όχθη του φράγματος για την ανάλυση των πρωτόζωων.

1.2. ΤΡΟΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Για τη διενέργεια της δειγματοληψίας από διάφορα βάθη του ταμιευτήρα, 2m, 5m, 10m, 15m, 20m χρησιμοποιήθηκε ειδικός δειγματολήπτης, ο οποίος διαθέτει σχοινί με κόκκινη επισήμανση ανά μέτρο μήκους.

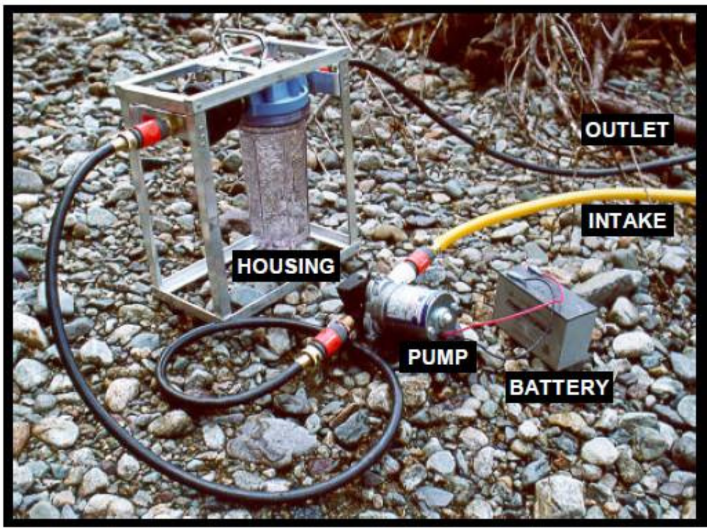
Ο δειγματολήπτης βυθίζεται στο νερό, και όταν φτάσει στο επιθυμητό βάθος , ρίπτεται κατάλληλο βαρίδι και ο δειγματολήπτης κλείνει ερμητικά και εγκλωβίζει τον όγκο του νερού. Στη συνέχεια ο δειγματολήπτης ανέρχεται στην επιφάνεια του νερού, και το νερό μεταφέρεται στα ειδικά δοχεία δειγματοληψίας από ειδικό κρουνό. Η χωρητικότητα του δειγματολήπτη είναι 1,7 L, γι αυτό ο δειγματολήπτης για κάθε δείγμα, στο συγκεκριμένο βάθος γεμιζόταν με νερό τρεις συνολικά φορές. Ο δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία:

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 4 : *Δειγματολήπτης*

1.2.1. Τρόπος δειγματοληψίας πρωτόζωων

Για τη δειγματοληψία των πρωτόζωων χρησιμοποιούνται ειδικά φίλτρα του Οίκου ENVIROCHECK και ειδική περισταλτική αντλία που λειτουργεί με μπαταρία. (*Φωτογραφίες 5, 6*)

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 5</u> : *Φίλτρο Envirocheck*



<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 6</u> : *Διάταξη δειγματοληψίας πρωτοζώων [25]*

Συγκεκριμένα η διάταξη τοποθετήθηκε με το άκρο του σωλήνα (*Φωτογραφία 6*) σε μια θέση στην όχθη της λίμνης, όπου δεν είχε πάρα πολλά ιζήματα-στερεά και σε βάθος περίπου 0,5 m από την επιφάνεια της λίμνης. Αφού βεβαιώθηκε ότι ο σωλήνας εξόδου ήταν κατάντη του σωλήνα εισαγωγής συνδέθηκαν όλα τα στοιχεία, όπως φαίνονται στην παραπάνω φωτογραφία (*χωρίς φίλτρο*). Τέλος συνδέθηκε η περισταλτική αντλία με την μπαταρία. Έπειτα ξεπλύθηκε η συσκευή με 50 λίτρα νερό της λίμνης και εν συνεχεία μετρήθηκε η ροή, με επιθυμητή βέλτιστη ροή 6 L/min.

Το φίλτρο τοποθετήθηκε στο σωλήνα εξόδου με προσοχή και με την κατεύθυνση που δείχνει για τη ροή και εν συνεχεία διηθήθηκαν περίπου 100 λίτρα από το νερό της λίμνης.

1.3. ΔΟΧΕΙΑ - ΦΙΑΛΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ

Χρησιμοποιούνται τριών ειδών φιάλες:

1.3.1. Αποστειρωμένες σκουρόχρωμες φιάλες χωρητικότητας 500 ml

1.3.2. Πλαστικές φιάλες 1000 ml

1.3.3. Σκουρόχρωμες φιάλες χωρητικότητας 60 ml

1.3.3. Σκουρόχρωμες φιάλες χωρητικότητας 60 ml

Οι φιάλες αυτές χρησιμοποιούνται για τη τοποθέτηση και συντήρηση ποσοτήτων νερού που προορίζονται για τη μέτρηση των πτητικών χημικών ουσιών οσμής - Geosmin- 2-methyl isoborneol (MIB). Η αναλυτική διαδικασία για τον προσδιορισμό των οργανικών αυτών ενώσεων θα πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά από τη δειγματοληψία, για να μην υπάρχουν απώλειες των οργανικών ενώσεων ή άλλες φυσικοχημικές ή βιολογικές μεταβολές. Επειδή όμως αυτό δεν είναι εφικτό λόγω της χρονικής καθυστέρησης της δειγματοληψίας, απαιτείται συντήρηση των δειγμάτων. Για το λόγο αυτό στις φιάλες αυτές έχουν προηγουμένως προστεθεί μικροποσότητες $Hg2Cl2$ που αναστέλλουν ή περιορίζουν τη δράση των μικροοργανισμών και συνεπώς περιορίζεται η βιολογική δραστηριότητα, που επηρεάζει τις βιοαποικοδομήσιμες αυτές οργανικές ενώσεις. Στη συνέχεια οι φιάλες αυτές μπορούν να διατηρηθούν έως και 15 μέρες στο ψυγείο μέχρι την ανάλυση.

2. ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Για τη μέτρηση των παραμέτρων πεδίου δηλαδή των:

- pH
- Αγωγιμότητα
- Θολερότητα
- DO (*διαλελυμένο οξυγόνο*)
- Θερμοκρασία
- Αλατότητα
- Βάθος μέτρησης
- Γεωγραφικές Συντεταγμένες

χρησιμοποιήθηκε ειδικό πολύμετρο του οίκου HORIBA (*μοντέλο U-52G*), το οποίο έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης όλων των παραπάνω παραμέτρων. Στη συνέχεια τα δεδομένα μέτρησης εισήχθησαν με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού σε υπολογιστή για την επεξεργασία των μετρήσεων.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΟΝΤΑΙ

Όπως προαναφέρθηκε κάποιες παράμετροι που ελέγχονται, μετρώνται στο πεδίο, ενώ οι υπόλοιπες μετρώνται στο εργαστήριο. Οι μέθοδοι ανάλυσης που ακολουθούνται ανά παράμετρο φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : *Μέθοδοι ανάλυσης εργαστηριακών αναλύσεων και μετρήσεων πεδίου*

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ		
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	**ΤΟΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**	**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**
Total Coliforms (αποικίες/100ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 9308-1:2000
E.coli (αποικίες/100ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 9308-1:2000
Enterococci (αποικίες/100ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 7899-2:2000
Αριθμός αποικιών στους 37 ^oC (αποικίες/ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 6222:1999
Αριθμός αποικιών στους 22 ^oC (αποικίες/ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 6222:1999
Pseudomonas aeruginosa (αποικίες/100ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	EN 12780:2002
Clostridium perfringens(αποικίες/100ml)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	ISO 6461-2
Giardia	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	PCR – ΑΝΟΣΟΦΘΟΡΙΣΜΟΣ
Crysposporidium	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ		
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	**ΤΟΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**	**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**
pH	ΠΕΔΙΟ	Πολύμετρο όργανο , U – 52G , HORIBA
Αγωγιμότητα	ΠΕΔΙΟ	
Αλατότητα	ΠΕΔΙΟ	
Ολικά Διαλυμένα Στερεά	ΠΕΔΙΟ	
Θολερότητα	ΠΕΔΙΟ	
Διαλυμένο Οξυγόνο	ΠΕΔΙΟ	
Ολική Σκληρότητα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Παροδική Σκληρότητα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	EN ISO 9963.01 : 1996
Αλκαλικότητα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	EN ISO 9963.01 : 1996
Χλωριούχα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Θειικά	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Βρωμιούχα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Φθοριούχα	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Ολικός Φώσφορος	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 4500-P:2005
Φωσφορικά	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Νιτρικά	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Νιτρώδη	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC - APHA 4110 B:2005
Ασβέστιο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Μαγνήσιο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Κάλιο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Νάτριο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Λίθιο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IC – ISO 14911:1998
Βόριο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	DIN EN ISO 11885
Σίδηρος (Ολικός και Διαλυτός)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 3111 B
Μαγγάνιο (Ολικό και Διαλυτό)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 3113 B
Ψευδάργυρος	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 3111 B
Νικέλιο	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 3113 B
Χαλκός	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	APHA 3113 B
Ολικός Οργανικός Άνθρακας	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	IR - TOC ANALYZER
Χημικές Ουσίες Οσμής (Geosmin , MIB)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	GC-MS , Supelco Appl. Note 147
Υδρόθειο (H_2S)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	In House NX_21 (photometric)

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

4.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΟΝΤΙΚΗΣ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΑΝΙΟΝΤΑ - ΚΑΤΙΟΝΤΑ[11]

Ο προσδιορισμός των ανιόντων (F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}) έγινε με ιοντική χρωματογραφία. Η ανάλυση έγινε σε ένα διπλό σύστημα ιοντικής χρωματογραφίας ταυτόχρονης μέτρησης ανιόντων και κατιόντων του οίκου METROHM.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΟΡΙΟΥ [12]

Η μέθοδος αυτή έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό του βορίου σε πόσιμα, επιφανειακά, υπόγεια, καθώς και σε θαλάσσια νερά. Η μικρότερη συγκέντρωση που μπορεί να προσδιοριστεί είναι 0,01 ppm. Συγκεκριμένα τα βορικά ιόντα, σε pH περίπου 6, σχηματίζουν με το διάλυμα αζωμεθίνης – Η, ένα **κίτρινο** σύμπλοκο, του οποίου η συγκέντρωση προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά στα 410 - 420 nm. Τα παρεμποδίζοντα ιόντα δεσμεύονται με το EDTA .

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ [13]

Ο ολικός φώσφορος περιλαμβάνει όλα τα ευδιάλυτα ή σε σωματιδιακή μορφή ορθοφωσφορικά ιόντα, τον υδρολυόμενο με οξύ φώσφορο, καθώς και κάθε μορφή φωσφόρου δεσμευμένου σε οργανικές ή ανόργανες ενώσεις. Για να απελευθερωθεί ο φώσφορος που είναι δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις, το δείγμα χωνεύεται και οξειδώνεται, σε όξινο περιβάλλον, παρουσία ισχυρών οξειδωτικών, σε υψηλή θερμοκρασία . Κατά τη διαδικασία αυτή, ο δεσμευμένος φώσφορος απελευθερώνεται υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων, τα οποία προσδιορίζονται, στη συνέχεια, φασματοφωτομετρικά .

Ως μέθοδο χώνευσης χρησιμοποιείται η μέθοδος του υπερθειικού καλίου. Για τον προσδιορισμό των ορθοφωσφορικών χρησιμοποιείται η μέθοδος του ασκορβικού οξέος.

Σε όξινο περιβάλλον, το μολυβδαινικό αμμώνιο και το τρυγικό κάλιο αντιμονύλιο αντιδρούν με τα ορθοφωσφορικά και σχηματίζουν το φωσφορο-μολυβδαινικό σύμπλοκο του αντιμονίου. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των φωσφορικών.

4.4. ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (Total Organic Carbon, TOC)

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (*Total organic carbon*) - TOC είναι η ποσότητα του άνθρακα που δεσμεύεται σε μια οργανική ένωση και χρησιμοποιείται συχνά ως ένας μη ειδικός δείκτης της ποιότητας του νερού.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας είναι ένα μέτρο κατάλληλο για μετρήσεις μικρών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την παραγωγή πόσιμου νερού. Η μέτρηση έγινε με αυτόματο αναλυτή TOC (*Total Organic Carbon*), οίκου Shimatzu. Ελάχιστη ποσότητα υγρού δείγματος εισάγεται σε ειδική στήλη με καταλύτη, όπου καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία προς διοξείδιο του άνθρακα (CO2). Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/l TOC.

4.5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ Fe, Mg, Zn, Ni, Cu ΜΕ ΑΤΟΜΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ PERKIN ELMER AANALYST 300

Τα βαρέα μέταλλα Fe, Mg, Zn, Ni, Cu μετρήθηκαν με ατομική απορρόφηση με φούρνο γραφίτη μοντέλο AANALYST 300.

4.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΣΜΩΝ GEOSMIN ΚΑΙ 2-METHYL-ISOBORNEOL ΜΕ GC-MS, ΤΕΧΝΙΚΗ SPME [19],[30].

Η μέθοδος SPME είναι μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον ποσοτικό προσδιορισμό ενώσεων με χαρακτηριστική οσμή όπως η γεωσμίνη και η 2-μέθυλο ισοβορνεόλη σε συγκεντρώσεις μικρότερες του 4 ppt χρησιμοποιώντας GC/MS. Δηλαδή οι παραπάνω ουσίες από το δείγμα προσροφώνται στην ίνα της SPME και στη συνέχεια εγχύονται στο GC.

Τα κύρια και δευτερεύοντα ιόντα της geosmin & 20-methyl isoborneol είναι τα παρακάτω:

Odor	**Quant Ion**	**Sec. Ion**
MIB	95	107
Geosmin	112	125

Ως όριο ανίχνευσης της μεθόδου βρέθηκαν τα 4 ppt. Για την παρασκευή των standards σε απιονισμένο νερό προστίθενται κάθε φορά 20 μl standard το οποίο περιείχε τη geosmin και τη 2 - methyl-isoborneol και 5 μl Internal Standard (*2,4,6 trichloroanisole*).

4.7 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΙΤΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ PCR ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΟΣΟΦΘΟΡΙΣΜΟΥ – CRYPTOSPORIDIUM PARVUM & GIARDIA LAMBLIA [20], [21], [29], [34]

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των παρασίτων Cryptosporidium parvum & Giardia Lamblia δεν υπάρχει κάποια πρότυπη μέθοδος.

Για την ανάπτυξη της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε κυρίως το EPA method 1623 December 2005 (*Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA*), καθώς και οδηγίες από το φίλτρο δειγματοληψίας Envirochek™ που χρησιμοποιήθηκε.

Τα υλικά - αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

1. <u>Έκλουση του φίλτρου</u>

Χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά που περιγράφονται στη μέθοδο 1623 EPA για το φίλτρο Envirochek™.

Δηλαδή:

- Laureth-12
- 1 M Tris, pH 7.4
- 0.5 M EDTA, 2 Na, pH 8.0
- Antifoam A

2. <u>Elution Buffer solution</u>

Προσθέτουμε το περιεχόμενο ενός vial από το Laureth 12 σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 ml. Επίσης προσθέτουμε 10 ml από το έτοιμο διάλυμα Tris, 2 ml από το διάλυμα EDTA και 150 μl Antifoam A. Τέλος προσθέτουμε απιονισμένο νερό έως την ένδειξη 1000ml.

3. <u>Συγκέντρωση δείγματος</u>

Tween 80 (*Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate – IUPAC*)

4. <u>Καθαρισμός δείγματος</u>

Sucrose solution (2,5 M)

Αυτό παρασκευάζεται με διάλυση 85,58 g σουκρόζης σε 40 ml προθερμασμένου νερού μέχρι τελικό όγκο 100 ml με νερό.

5. <u>Απομόνωση DNA</u>

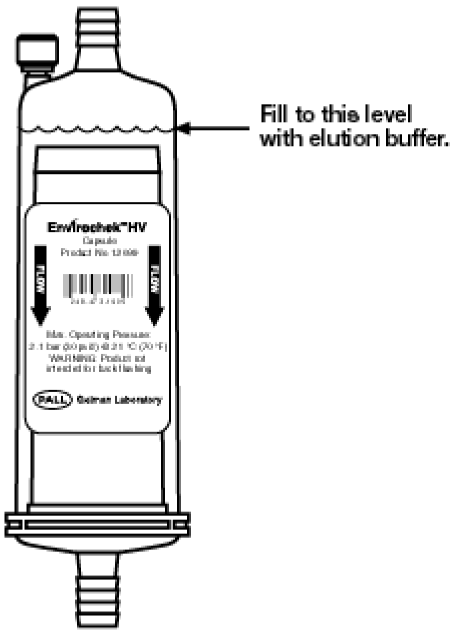
- Φαινόλη – χλωροφόρμιο – ισοαμυλική αλκοόλη (*έτοιμο διάλυμα*)
- Πρωτεϊνάση Κ

- Sarcosyl
- Tris - HCl
- CTAB
- Ισοπροπανόλη
- Αιθανόλη 70 %

Στη συνέχεια θα αναλυθεί το κάθε στάδιο αναλυτικά μέχρι την απομόνωση του γενετικού υλικού.

4.7.1. Έκλουση του φίλτρου

- Μεταφέρουμε όσο δείγμα έχει παραμείνει στο φίλτρο σε δοχείο ζέσεως.
- Προσθέτουμε 120ml elution buffer στο φίλτρο (από την πλευρά που υπάρχει το άσπρο καπάκι)

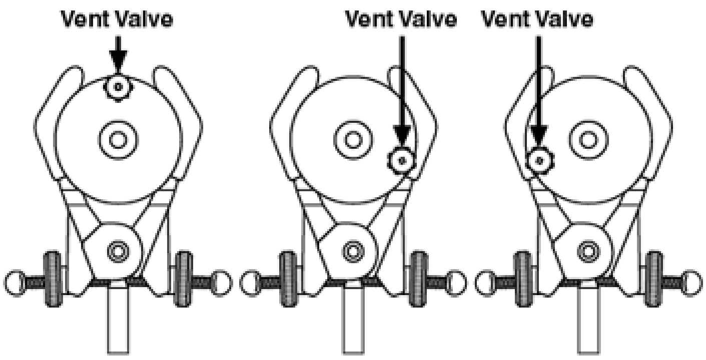


<u>ΣΧΗΜΑ 12</u> : *Φίλτρο Envirocheck*

- Ανακινούμε έντονα το φίλτρο σε ένα *shaker* για 20 min.
- Μεταφέρουμε το *elution buffer* σε ποτήρι ζέσεως
- Προσθέτουμε άλλα 120 ml *elution buffer* και επαναλαμβάνουμε την έντονη ανακίνηση για 20min.
- Μεταφέρουμε το *elution buffer* στο ποτήρι ζέσεως.

- Φυγοκεντρούμε το δείγμα του νερού και το *elution buffer* στις 4000rpm για 10min.
- Προσθέτουμε άλλα 120 ml *elution buffer* και επαναλαμβάνουμε την έντονη ανακίνηση για 30min.

ΣΧΗΜΑ 13 : *Εργαστηριακό shaker*



First Cycle	Second Cycle	Third Cycle
12 o’clock position	4 o’clock position	8 o’clock position

ΣΧΗΜΑ 14 : *Τρόπος σύνδεσης του φίλτρου στο εργαστηριακό shaker τους 3 παραπάνω κύκλους.*

Προσεκτικά απομακρύνουμε το υπερκείμενο χωρίς να διαταραχτεί το ίζημα.

- Μεταφέρουμε όλα τα ιζήματα που προέρχονται από το ίδιο δείγμα σε ένα σωλήνα (50ml) διαλύοντας κάθε ίζημα με 200μl Tween 80.
- Διατηρούμε στους -20˚C.

4.7.2. Καθαρισμός του δείγματος

- Σε ένα σωλήνα φυγοκέντρου 50ml, αναμιγνύεται διαλυμένο ίζημα, το οποίο αντιστοιχεί σε όχι περισσότερο από 0,5ml του αρχικού ιζήματος (*το διαλυμένο ίζημα να μην είναι περισσότερο από 0,5 ml διαφορετικά το χωρίζω*) με eluting solution μέχρι τελικό όγκο 20ml.
- Με μια σύριγγα 50ml προστίθενται 30ml sucrose flotation solution κάτω από τη φάση του ιζήματος.
- Χωρίς να διαταραχτεί η διαχωριστική επιφάνεια των δύο φάσεων, γίνεται φυγοκέντρηση στα 1050x g για 10min χρησιμοποιώντας ένα swinging bucket rotor. Αργά επιταχύνεται η ταχύτητα της φυγοκέντρησης (*σε διάστημα 30sec*) μέχρι την ταχύτητα όπου τα σωληνάρια είναι οριζόντια (*ώστε να μην διαταραχτεί η διαχωριστική επιφάνεια*). Ομοίως στο τέλος της φυγοκέντρησης μειώνεται η ταχύτητα αργά**.**
- Με μια πιπέττα πολυστυρενίου 25ml που έχει πλυθεί με eluting buffer, απομακρύνονται τα πρώτα 20ml της επάνω φάσης, η διαχωριστική επιφάνεια και 5ml της κάτω φάσης της σουκρόζης. Όλοι οι όγκοι τοποθετούνται σε ένα σωλήνα φυγοκέντρου 50ml.
- Προσθήκη eluting solution στο σωλήνα φυγοκέντρου μέχρι τελικό όγκο 50ml. Φυγοκέντρηση στα 1050x g για 10min.
- Απομάκρυνση του υπερκειμένου ώστε να μείνει όγκος 5ml (*μαζί με το ίζημα*). Επαναδιάλυση του ιζήματος (*με vortex*).
- Προσθήκη ξανά eluting solution στο σωλήνα φυγοκέντρου μέχρι τελικό όγκο 50ml. Φυγοκέντριση στα 1050x g για 10min.
- Απομάκρυνση του υπερκειμένου ώστε να μείνει όγκος 5ml (*μαζί με το ίζημα*). Επαναδιάλυση του ιζήματος (*με vortex*).
- Φυγοκέντριση και επαναδιάλυση του ιζήματος σε 1 ml PBS.
- Διατήρηση των δειγμάτων στην κατάψυξη

4.7.3. Απομόνωση DNA από Cryptosporidium και Giardia

- Φυγοκέντριση 300 μl «καθαρισμένου» δείγματος στις 1400x g / 5 min 4 ^{o}C
- Επαναδιάλυση του ιζήματος σε διάλυμα 50 mM TrisHCl - 20 mM EDTA pH 8 που περιέχει 18 mg Prot K/ ml και 0.5% Sarcosyl μέχρι τελικό όγκο 400 μl.

- Ανακίνηση τρεις φορές
- Επώαση 1,30 h / 56^{o} C
- Προσθήκη 5M NaCl ώστε να επιτευχθεί τελική συγκέντρωση 1M δηλαδή προσθέτουμε 100 μl NaCl 5 M.
- Προσθήκη CTAB σε τελική συγκέντρωση 1% δηλαδή 137 μl CTAB 0,1 M.
- Επώαση 65 ^{o}C για 3 min
- Freeze (-70^{o}C, 5 min) – Thaw (65 ^{o}C, 5 min) κύκλος 12 φορές. Στο τέλος 95^{o}C για 5 min.
- Απομόνωση DNA με 750 μl φαινόλη-χλωροφόρμιο- ισοαμυλική αλκοόλη (*έτοιμο διάλυμα αγοράζεται*).
- Ανάδευση σε vortex
- Φυγοκέντριση στις 6.000 x g για 10 min
- Λήψη υδατικής φάσης και μεταφορά σε νέο eppendorf
- Προσθήκη 500 μl ισοπροπανόλης και αναάδευση με πιπέτα
- Παραμονή στους - 20 ^{o} C κατά τη διάρκεια της νύχτας
- Φυγοκέντριση στα 10.000x g στους 4 ^{o}C για 20 min
- Απόρριψη του υπερκείμενου και λήψη του ιζήματος (DNA)
- Καθαρισμός γενετικού υλικού προσθέτοντας 500μl αιθανόλης 70 % και αναδεύοντας με πιπέτα
- Φυγοκέντριση στα 10.000x g στους 4 ^{o}C για 10 min
- Απόρριψη αιθανόλης, λήψη ιζήματος και επανάληψη διαδικασίας καθαρισμού DNA με προσθήκη αιθανόλης 70 %
- Λήψη ιζήματος, τοποθέτηση σε eppendorf στους 37 ^{o}C (*Block heater*), για να εξατμιστεί η αιθανόλη
- Επαναδιάλυση του γενετικού υλικού σε 50 – 100 μl milli Q H_2O
- Φύλαξη του απομονωμένου γενετικού υλικού στους -20 ^{o}C.

4.7.4. Προσδιορισμός ποσότητας & ποιότητας γενετικού υλικού

- Φωτομέτριση στα 260 nm και 280 nm
- Οπτική απορρόφηση (OD) στα 260 nm
  - OD260 = 1 → 50 μg/ml δίκλωνο DNA

    →40 μg/ml μονόκλωνο DNA και RNA

→20 μg/ml μονόκλωνων ολιγονουκλεοτιδίων

- OD260/ OD280 → καθαρότητα νουκλεϊκού οξέος

  ↓

  1,8 για υψηλή καθαρότητα

Σε κυψελίδα φωτομέτρησης (*με στένωμα*) βάζουμε 10 μl από το γενετικό υλικό σε νερό 690 μl.

Η προκύπτουσα συγκέντρωση του DNA θα είναι:

Συγκέντρωση DNA = 50 μg/ml * 70 (*συντελεστής αραίωσης*) * Absorption

→ αποτέλεσμα σε μg/ml ή ng/ml

4.7.5. Ανίχνευση του DNA του Cryptosporidium – Giardia με PCR

Για την ανίχνευση DNA από Cryptosporidium & Giardia χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της TaqMan PCR. Οι αλληλουχίες DNA που χρησιμοποιούνται για την πρόσδεση του ριβοσώματος (*primers*) - εκκινητές καθώς και οι probes είναι για τη Giardia και Cryptosporidium αντίστοιχα ήταν:

<u>GIARDIA</u>

- β- Giardin P241 F CATCCGCGAGGAGGTCAA → 25 nmole scale /HPLC purified
- β- Giardin P241 R GCAGCCATGGTGTCGATCT → 25 nmole scale /HPLC purified
- β- Giardin P241 PROBE **FAM**/AAGTCCGCCGACAACATGTACCTAACGA/**TAMRA** → 10 nmole

<u>CRYPTOSPORIDIUM</u>

- COWP P702 F CAAATTGATACCGTTTGTCCTTCTG→ 25 nmole scale /HPLC purified
- COWP P702 R GGCATGTCGATTCTAATTCAGCT→ 25 nmole scale /HPLC purified
- COWP P702 PROBE **VIC**/TGCCATACATTGTTGTCCTGACAAATTGAA/**JOE** → 10 nmole

Οι ακολουθίες DNA της Giardia (*β-giardin*) και του Cryptosporidium (COWP) προστέθηκαν σε 20-μl reaction mixture το οποίο περιείχε 4 μl of LightCycler TaqMan master (*Roche Diagnostics*). Οι κύκλοι της αντίδρασης για τη Giardia ήταν 40 και το θερμοκρασιακό πρόγραμμα αποτελούνταν από 95°C για 10s, 58°C για 8s και 72°C for

3s, ενώ για το Cryptosporidium αντίστοιχα αποτελούνταν από επώαση στους 95°C για 10s, 66°C για 8s, και 72°C για 6s.

4.8 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΩΝ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΟΕΙΔΩΝ & ESCHERICHIA COLI ΣΕ ΝΕΡΑ [15]

Για τον προσδιορισμό αυτόν μια ορισμένη ποσότητα νερού (*100 ml*) διηθείται μέσω μιας μεμβράνης που κατακρατά τους μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια η μεμβράνη τοποθετείται σ΄ ένα εκλεκτικό υπόστρωμα Lactose TTC with Tergitol®-7 Agar. Γίνεται επώαση στους 36±20C για 21±3ώρες.

Ακολουθείται το σχετικό ISO 9308-1:2000

4.9 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* ΣΕ ΝΕΡΑ [16]

Ακολουθείται το σχετικό ISO 12780:2002

4.10 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΤΕΡΟΚΟΚΚΟΥ ΣΕ ΝΕΡΑ [17]

Ακολουθείται το σχετικό ISO 7899-2:2000

4.11. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS* ΣΕ ΝΕΡΑ [18]

Ακολουθείται το σχετικό ISO 14189

Κεφάλαιο 4^{ο}

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δειγματοληψίες των νερών από το Φράγμα και οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν σε δύο κύκλους στις 12/08/2011 και στις 21/10/2011, σε δύο εποχές του χρόνου καλοκαίρι και φθινόπωρο.

Στο 4ο Κεφάλαιο, παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων τόσο στο πεδίο, όσο και στα Εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ και ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ.

Τα αποτελέσματα έχουν καταχωρηθεί υπό μορφή πινάκων, και στη συνέχεια από τα στοιχεία των πινάκων έχουν κατασκευαστεί διαγράμματα ανά μετρούμενη παράμετρο. Τα διαγράμματα έχουν τα δεδομένα και από τις δύο δειγματοληψίες για καλύτερη συγκριτική αξιολόγηση των στοιχείων της έρευνας.

Στο πρώτο μέρος του 4ου Κεφαλαίου, παρατίθενται τα στοιχεία των μετρήσεων στο πεδίο, στο δεύτερο μέρος οι εργαστηριακές αναλύσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων και στο τρίτο μέρος τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων.

1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

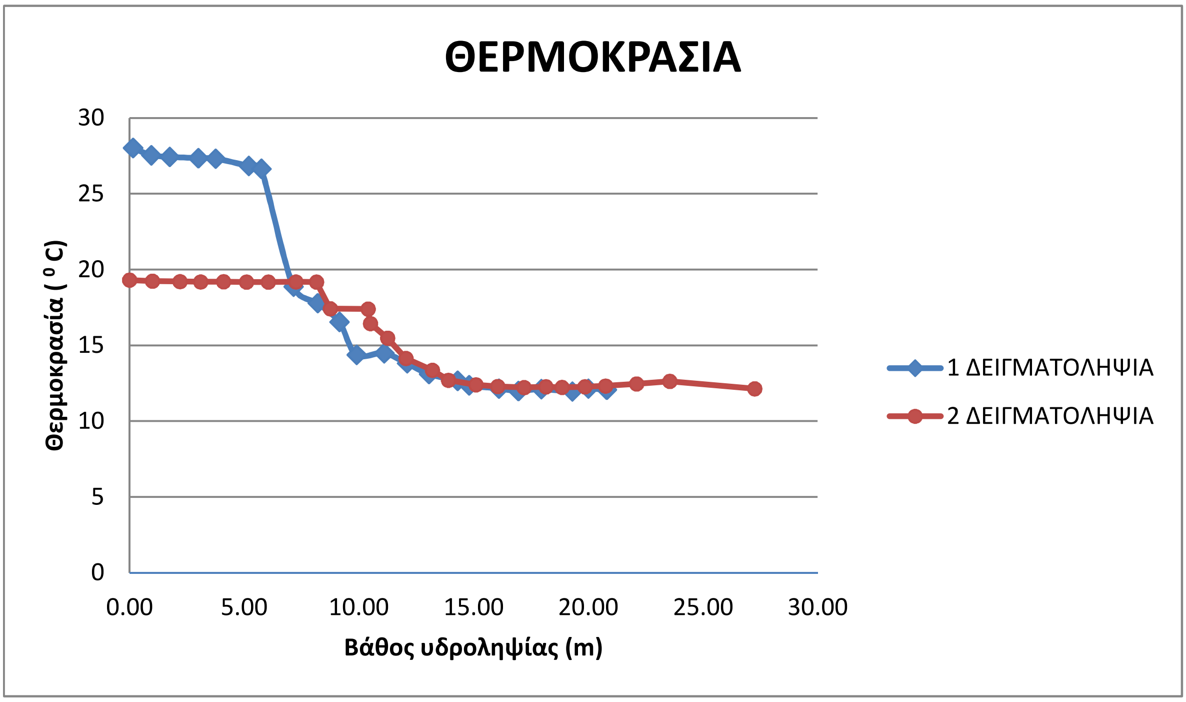
Οι μετρήσεις στο πεδίο έγιναν, όπως έχει αναφερθεί με ειδικό εξοπλισμό, πολύμετρο του οίκου HORIBA και αφορούσαν τις παραμέτρους pH, Αγωγιμότητα, Θολερότητα, Διαλελυμένο Οξυγόνο, Θερμοκρασία, Αλατότητα.

Οι μετρήσεις αυτών των παραμέτρων έγιναν ανά 1 μέτρο βάθος νερού, δηλαδή από 0,00 m έως 20,80 m στις 12/08/2011 και από 0,00 m έως 27,25 m στις 21/10/2011.

Οι αναλυτικοί πίνακες με τις μετρήσεις υπάρχουν στους πίνακες 14 και 15 στο Παράρτημα (*Κεφάλαιο 8*) της εργασίας.

Παρακάτω αναλύονται και σχολιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής των μετρούμενων παραμέτρων.

1.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Σχήμα 15 : *Θερμοκρασιακό προφίλ του νερού κατά βάθος*

1η Δειγματοληψία :

Κατά την 1η δειγματοληψία (*αρχές Αυγούστου - 12/08/2011*), η θερμοκρασία αέρα ήταν 30,7 ^{0}C.

Από το διάγραμμα της θερμοκρασίας του νερού συναρτήσει του βάθους υδροληψίας, παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαίνεται από 28,03 ^{0}C στην επιφάνεια του νερού μέχρι 12,08 ^{0}C σε βάθος 20,80 m, δηλαδή μείωση κατά 16 ^{0}C.

Είναι σαφές ότι υπάρχει θερμοκλινές. Μέχρι τα 6 m βάθος η θερμοκρασία είναι σταθερή περί τους 27 ^{0}C, στη συνέχεια παρουσιάζεται μια απότομη μείωση έως τα 10 m, όπου μειώνεται περίπου στους 13 ^{0}C (*πτώση 14 ^{0}C σε μόλις 4m στήλης νερού*).και στη συνέχεια σταθεροποίησή της από τα 10 μέτρα και κάτω στους 13 ^{0}C περίπου.

Τα στοιχεία αυτά αποδεικνύουν την ύπαρξη θερμοκλινούς, δηλαδή θερμικής διαστρωμάτωσης, από τα 6 m μέχρι τα 10 m βάθος.

2η Δειγματοληψία:

Κατά την 2η δειγματοληψία (*τέλη Οκτωβρίου – 21/10/2011*), η θερμοκρασία αέρα ήταν 19,3^{0}C.

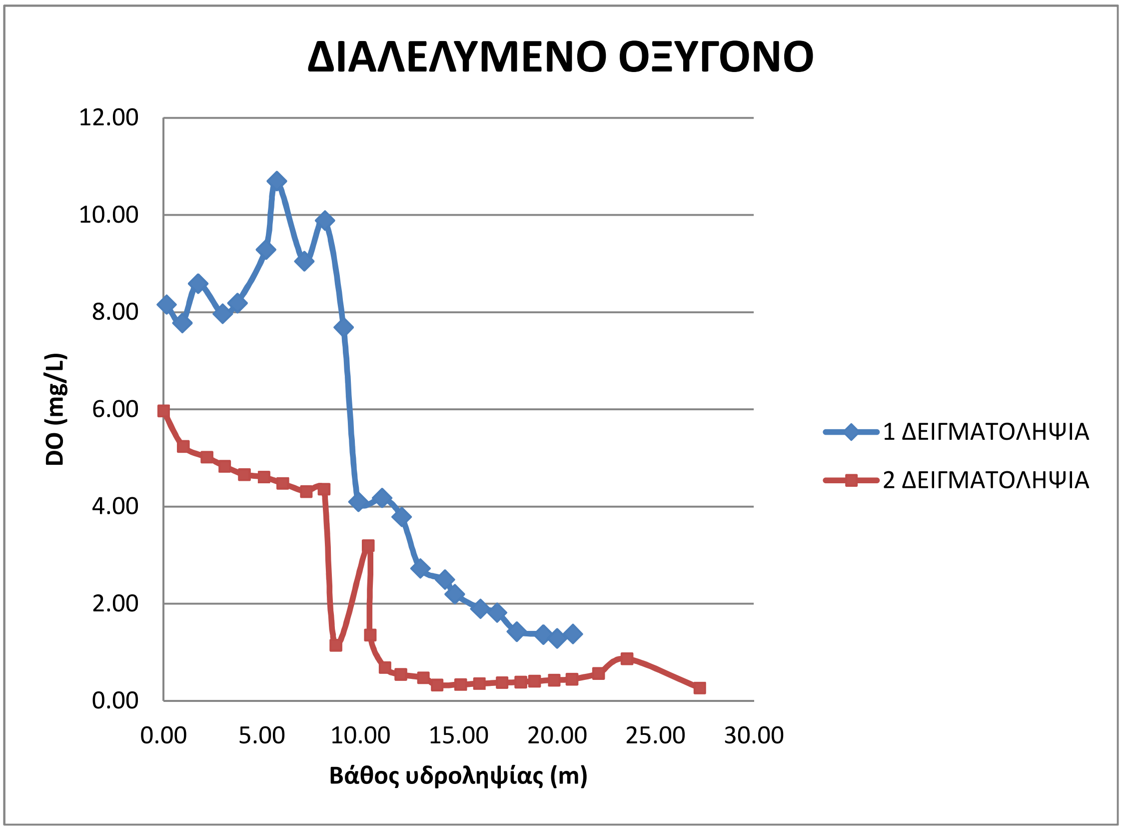
Από το διάγραμμα της θερμοκρασίας του νερού συναρτήσει του βάθους υδροληψίας, παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαίνεται από 19,3 0C στην επιφάνεια του νερού μέχρι 12,14 ^{0}C σε βάθος 27,25 m, δηλαδή μείωση κατά 7^{0}C.

Είναι προφανές ότι το στρώμα νερού με την έντονη μεταβολή της θερμοκρασίας, δηλαδή το θερμοκλινές, παρατηρείται από τα 8 m μέχρι τα 12 m, όπου παρατηρείται μια θερμοκρασιακή μείωση της τάξεως των 7^{0}C περίπου, και στη συνέχεια κάτω από τα 12 m έχουμε σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στους 12^{0}C.

Συμπερασματικά κάνοντας σύγκριση των θερμοκρασιακών προφίλ των 2 δειγματοληψιών παρατηρούμε ότι :

- **Η μεγάλη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση (*θερμοκλινές*) των 14^{0}C που επικρατούσε στη λίμνη κατά την 1η δειγματοληψία του καλοκαιριού, μειώνεται στους 7^{0}C στη 2η δειγματοληψία , και τείνει να εξαλειφτεί. Συμβαίνει δηλαδή η φθινοπωρινή αναστροφή, με τη θερμοκρασία του επιλίμνιου να πλησιάζει τη θερμοκρασία του υπολίμνιου.**
- **Η θερμοκρασία του υπολίμνιου και στις δύο δειγματοληψίες είναι περίπου 12-13^{0}C.**
- **Η θερμοκρασία του επιλίμνιου στην 1η δειγματοληψία είναι 28^{0}C (Θαέρα=30,7^{0}C) και στη 2η δειγματοληψία είναι 19,3^{0}C (Θαέρα=19,3^{0}C)**
- **Το θερμοκλινές στον ταμιευτήρα του Φράγματος των Ποταμών Αμαρίου είναι 6m -12 m (*καλοκαίρι-φθινόπωρο*) .**

1.2. ΔΙΑΛΕΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ



Σχήμα 16 : *Μεταβολή του διαλυμένου οξυγόνου συναρτήσει του βάθους νερού*

1η Δειγματοληψία:

Το διαλελυμένο Οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού είναι 8,16 mg/L και όπως στο διάγραμμα της θερμοκρασίας, έτσι και εδώ παρατηρούμε ότι μέχρι τα 8 μέτρα περίπου το διαλυμένο οξυγόνο διατηρείται σταθερό με τιμή 8-10 mg/L.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια απότομη μείωσή του από τα 8 στα 10 μέτρα βάθος σε επίπεδα 4 mg/L και στη συνέχεια σταθεροποίησή του από τα 12m και κάτω στα 2 mg/L περίπου.

Είναι εντυπωσιακό ότι για 2 μέτρα στήλης νερού έχουμε μείωση οξυγόνου κατά 6 mg/L O_2 .

Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την ύπαρξη θερμοκλινούς, δηλαδή το διαλυμένο οξυγόνο του υπολίμνιου μειώνεται καθώς το διαχεόμενο από την ατμόσφαιρα και το παραγόμενο από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς των ανώτερων στρωμάτων οξυγόνο δεν εισέρχεται στην υδάτινη αυτή ζώνη λόγω θερμικής στρωμάτωσης (*θερμοκρινές*). Παράλληλα οι αερόβιοι οργανισμοί του υπολίμνιου (*καταναλωτές,* *αποικοδομητές*) μειώνουν σταδιακά την ποσότητα του διαθέσιμου οξυγόνου. Τα βαθύτερα στρώματα της λίμνης γίνονται ανοξικά (*απουσία οξυγόνου*).

2η **Δειγματοληψία**:

Στη 2η δειγματοληψία το διαλελυμένο Οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού είναι 5,97 mg/L,. ενώ στην 1η δειγματοληψία είχε συγκέντρωση 8,16 mg/L και στα 6 μέτρα βάθος (*πάνω από το θερμοκλινές*) είχε φτάσει το καλοκαίρι μέχρι 10,70 mg/L

Το γεγονός αυτό της μεγάλης μείωσης του οξυγόνου επιφανειακά, στο επιλίμνιο, κατά 4 μονάδες, είναι ένας δείκτης της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού το φθινόπωρο.

Στη συνέχεια στη 2η δειγματοληψία παρουσιάζεται μια απότομη μείωσή του οξυγόνου από τα 8 στα 9 μέτρα βάθος σε επίπεδα 1 mg/L και στη συνέχεια φτάνει στο βάθος των 20 μέτρων 0,27 mg/L O2 . Είναι εντυπωσιακό ότι για 1 μέτρο στήλης νερού έχουμε μείωση οξυγόνου κατά 3,5 mg/L O_2 .

Συμπερασματικά :

- **Η μεγάλη πτώση της συγκέντρωσης του οξυγόνου το καλοκαίρι και το φθινόπωρο συμβαίνει στα 8 μέτρα βάθος νερού, στην περιοχή δηλαδή του θερμοκλινούς, και εντυπωσιακά κατά 4-6 μονάδες οξυγόνου για 1 μέτρο βάθος.**
- **Το καλοκαίρι υπάρχει μια ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου στον πυθμένα της λιμνοδεξαμενής (1 mg/L), ενώ το φθινόπωρο υπάρχει απουσία οξυγόνου, (*ανοξικές συνθήκες*).**
- **Το φθινόπωρο η συγκέντρωση του οξυγόνου στην επιφάνεια του ταμιευτήρα (*επιλίμνιο*) είναι κατά πολύ χαμηλότερη (*4 μονάδες*) από την αντίστοιχη του καλοκαιριού.**

Μια άλλη αξιόλογη παράμετρος αξιολόγησης του διαλυμένου οξυγόνου είναι ο Δείκτης κορεσμού.

Δείκτης Κορεσμού οξυγόνου (*Saturation Index*), SI, είναι το ποσόν του οξυγόνου που είναι διαλυμένο στο νερό ή ένα μέσο, προς τη συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου υπό τις αυτές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. (*Η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου δίδεται από τους πίνακες διαλυτότητας του οξυγόνου*).

Ο λόγος του δείκτη κορεσμού του νερού στην 1η και 2η δειγματοληψία στην επιφάνεια της λίμνης είναι αντίστοιχα:

1η Δειγματοληψία

SI = (DOμετρ./DOκορεσμού* 100)%= (8.16/7.9)*100= **103.29 %**

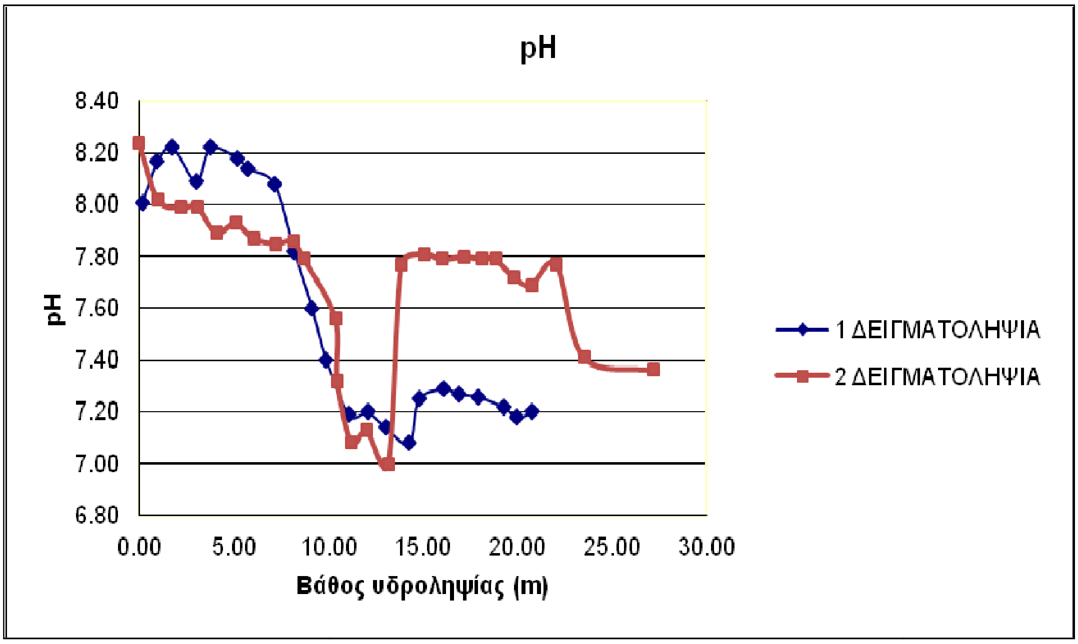
2η Δειγματοληψία

SI = (DOμετρ./DOκορεσμού* 100)%= (5.97/9.3)* 100= **64.19 %**

Όσον αφορά την παράμετρο του διαλελυμένου οξυγόνου, δεν υπάρχουν ενδεικτικά επίπεδα, ή μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση, και ως εκ τούτου δεν υφίσταται υποχρεωτικό πρότυπο το οποίο καλείται το πόσιμο νερό να ικανοποιεί. Η Κοινότητα, κατά συνέπεια, δεν έχει την δυνατότητα να απαιτήσει την προσθήκη οξυγόνου στο πόσιμο νερό, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητά του.

Ωστόσο, στην παλαιότερη Ευρωπαϊκή Οδηγία 80/778/ΕΟΚ (ΕΕ L 229 30.8.1980) υπάρχει αναφορά στην παράμετρο του διαλελυμένου οξυγόνου, σύμφωνα με την οποία η τιμή κορεσμού πρέπει να είναι «μεγαλύτερη από 75%, εκτός από τα υπόγεια ύδατα». Αυτό σημαίνει ότι είναι σκόπιμη η οξυγόνωση των επιφανειακών υδάτων περιεκτικότητας σε φυσικό διαλελυμένο οξυγόνο κάτω του 75%, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητά τους.

1.3. pH



Σχήμα 17 : *Μεταβολή του pH συναρτήσει του βάθους*

1η – 2η Δειγματοληψία:

Το pH (*ενεργός οξύτητα*) του νερού στην επιφάνεια του ταμιευτήρα είναι αλκαλικό γύρω στο 8,0-8,2 και στις δύο δειγματοληψίες, όπως στα περισσότερα φυσικά νερά.

Γενικά, η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται από τη σύσταση των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής (*π.χ. ασβεστολιθικά πετρώματα αυξάνουν το pH του νερού*), τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τη συγκέντρωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων μικροοργανισμών, τη χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η παραγωγή διοξειδίου το άνθρακα λόγω βιολογικής δράσης μειώνει το pH μέσω της αντίδρασης: CO2 + H2O → H+ + HCO3-

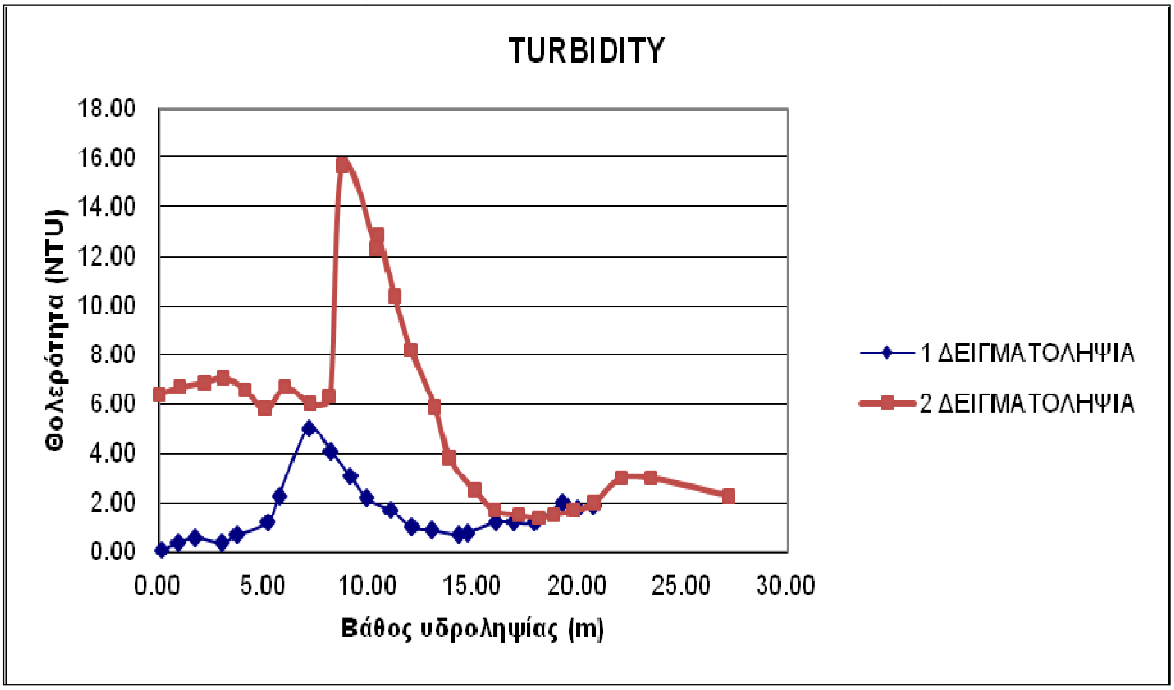
Όπως και στα δύο προηγούμενα γραφήματα, έτσι και εδώ, στο pH παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα μέχρι τα 8 μέτρα, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται μια απότομη μείωση και στη συνέχεια σταθεροποίηση στις 7 μονάδες pH.

Κατά τις περιόδους στρωμάτωσης μιας λίμνης παρατηρούνται μεταβολές στις τιμές του pH. Το γεγονός αυτό εξαρτάται και από την αναλογική σχέση που υπάρχει μεταξύ pH και θερμοκρασίας - διαλυμένου οξυγόνου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διακυμάνσεις του pH είναι μέσα στα κανονικά πλαίσια των φυσικών νερών.

Αν συγκρίνουμε τη διακύμανση του pH ανάμεσα στις 2 δειγματοληψίες παρατηρούμε ότι, ενώ η τιμή του στο επιλίμνιο κατά την 2η δειγματοληψία είναι λίγο χαμηλότερη, μετά την απότομη μείωση του οξυγόνου (*θερμοκλινές*) τείνει να είναι κατά μισή μονάδα υψηλότερη σε σύγκριση με την 1η δειγματοληψία, στα μεγαλύτερα βάθη κάτω από τα 12 μέτρα.

1.4. ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ



Σχήμα 18 : *Μεταβολή της θολερότητας συναρτήσει του βάθους*

Η θολερότητα του νερού μιας λίμνης οφείλεται στην παρουσία αιωρούμενων στερεών και μικροοργανισμών, αλλά και στο χρωματισμό του νερού, επειδή λόγω διάθλασης ή απορρόφησης των φωτεινών ακτινών μειώνεται η μετάδοσή τους.

1η Δειγματοληψία:

Το καλοκαίρι η θολερότητα του νερού στην επιφάνεια είναι 0,1 NTU και καταλήγει στα 1,9 NTU στον πυθμένα σε βάθος 20 μέτρων.

Το αξιοπερίεργο είναι όμως ότι εμφανίζεται peak στα 7 μέτρα με θολερότητα νερού 5,0 NTU. Στο στρώμα δηλαδή του θερμοκλινούς (*6-10 μέτρα βάθος*) έχουμε απότομη αύξηση της θολερότητας κατά 5 μονάδες και μετά η τιμή της πέφτει στα 1-2 NTU.

2η Δειγματοληψία:

Το φθινόπωρο η θολερότητα του νερού στην επιφάνεια είναι 6,4 NTU (*σημαντική διαφορά σε σχέση με τις τιμές του θέρους*) και καταλήγει στα 2,3 NTU στον πυθμένα σε βάθος 27 μέτρων.

Η αυξημένη θολερότητα στο επιλίμνιο συμβαδίζει με μειωμένες τιμές διαλελυμένου οξυγόνου κατά την εποχή του φθινοπώρου.

Όμοια εμφανίζεται peak στα 9 μέτρα με θολερότητα νερού 16,0 NTU. Στο στρώμα δηλαδή του θερμοκλινούς (*8-12 μέτρα βάθος*) έχουμε απότομη αύξηση της θολερότητας κατά 10 μονάδες από 6,0 στα 16,0 NTU και μετά η τιμή της πέφτει στα 2,0 NTU περίπου στα μεγαλύτερα βάθη.

1.5. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ – ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΕΛΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ (TDS)

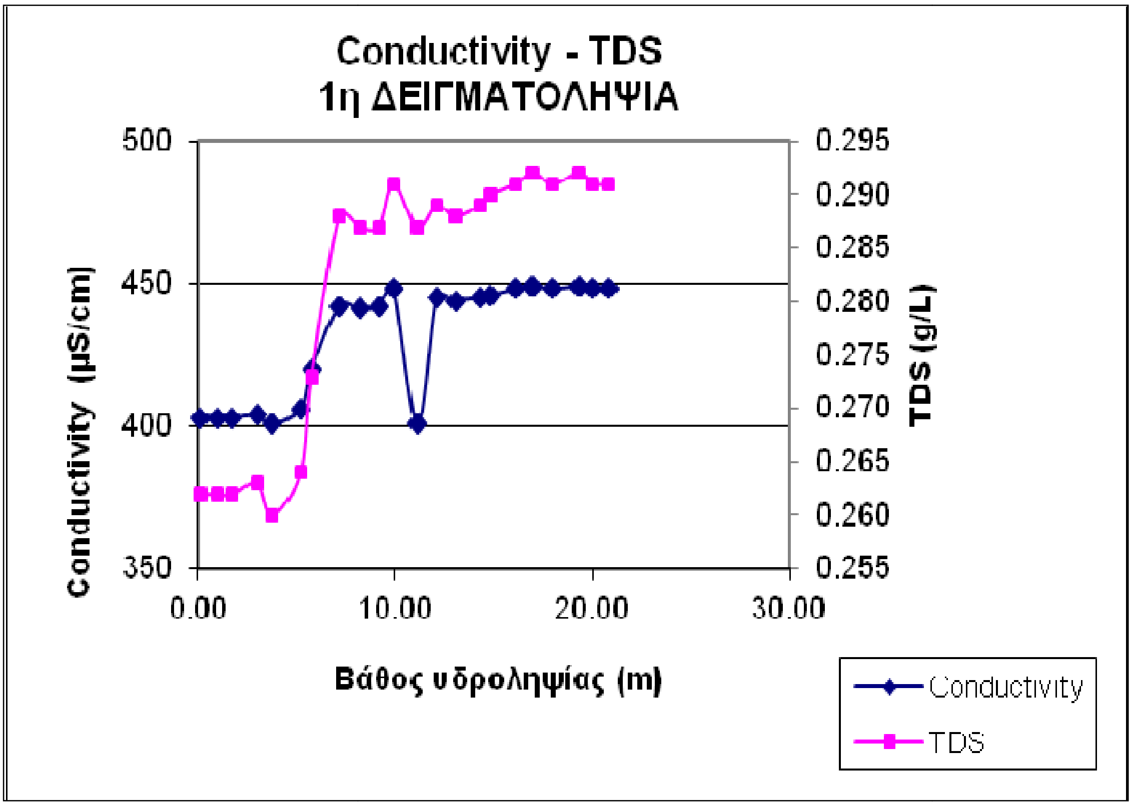
Η αγωγιμότητα του νερού του ταμιευτήρα και τις δύο φορές είναι **400 – 405 μS/cm στην επιφάνεια του νερού, δηλαδή το νερό χαρακτηρίζεται ως μέτριας αλατότητας νερό**. Τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι **0,260 – 0,265 g/L TDS**. Αυξάνοντας το βάθος του νερού παρατηρείται μικρή αύξηση της αγωγιμότητας και αυτή γίνεται στο στρώμα του θερμοκλινούς, όπου η αγωγιμότητα ανεβαίνει στα 440 – 450 μS/cm. Δηλαδή αύξηση περίπου 10 %. Μετά το θερμοκλινές, δηλαδή στο υπολίμνιο η αγωγιμότητα παραμένει σταθερή στα 450 μS/cm και τις δύο εποχές του χρόνου και τα TDS ανέρχονται στα 0,290 – 0,295 g/L.

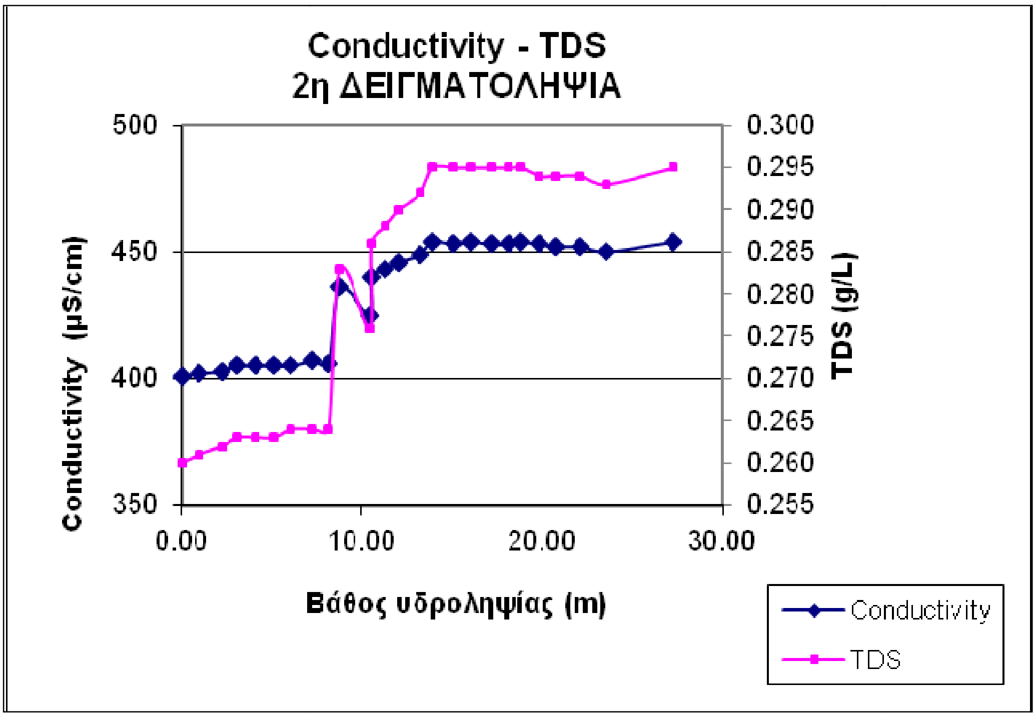
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται με το βάθος στη διάρκεια του καλοκαιριού σε λίμνες που εμφανίζουν στρωμάτωση, εξαιτίας της αναπνοής στο υπολίμνιο κατά την οποία παράγονται ανθρακικά ιόντα.

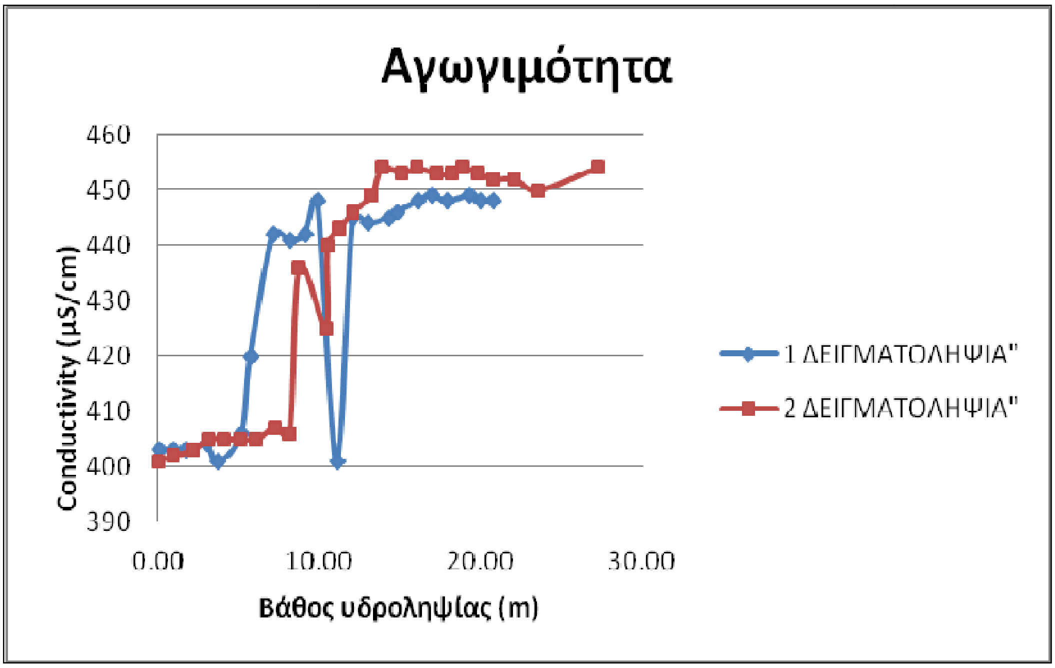
Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού της λίμνης αποτελεί ένδειξη ρύπανσης (*θερμοκλινές*).

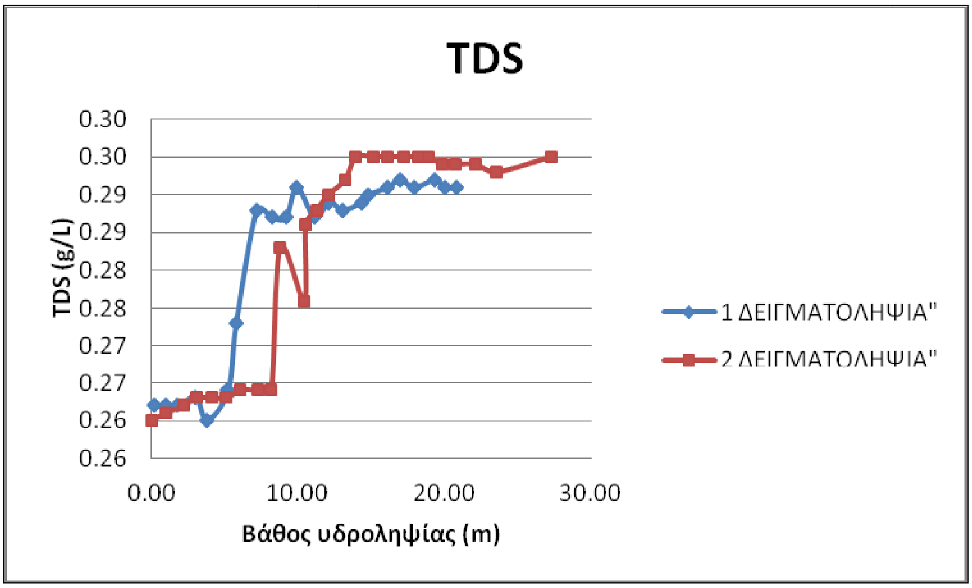
Το χειμώνα , όταν συμβεί η αναστροφή του νερού και καταστραφεί το θερμοκλινές , αναμένεται λόγω ανάμιξης των νερών να αυξηθεί η αγωγιμότητα των επιφανειακών νερών συγκριτικά με το καλοκαίρι. (*τέτοιες μετρήσεις δεν υπάρχουν*).

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολής της αγωγιμότητας και των TDS συναρτήσει του βάθους υδροληψίας.




Conductivity - TDS
2η ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ
Conductivity (μS/cm)
TDS (g/L)
500
450
400
350
0.300
0.295
0.290
0.285
0.280
0.275
0.270
0.265
0.260
0.255
0.00
10.00
20.00
30.00
Βάθος υδροληψίας (m)
Conductivity
TDS


Αγωγιμότητα
Conductivity (μS/cm)
460
450
440
430
420
410
400
390
0.00
10.00
20.00
30.00
Βάθος υδροληψίας (m)
1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ"
2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ"



<u>Σχήματα 19 (4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ)</u> : *Μεταβολή της αγωγιμότητας – Ολικών διαλυμένων στερεών συναρτήσει του βάθους*

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ - ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ $1_{ης}$ ΚΑΙ $2_{ης}$ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

1.1. <u>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΑΝΙΟΝΤΩΝ - ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ</u>

Στο σημείο υδροληψίας σε όλα τα βάθη (*2m, 5m ,10m, 15m, 20m από την επιφάνεια*) τα ανιόντα και κατιόντα βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, γεγονός που υποδεικνύει ότι το νερό προσεγγίζει τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά. Τα στοιχεία των μετρήσεων φαίνονται στους αναλυτικούς πίνακες 9 και 12 του Παραρτήματος Ι της διατριβής. Η αναφορά στους πίνακες σε παραμετρικές τιμές της νομοθεσίας αφορά την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 98/83/ EC, ΦΕΚ 630/Β/26-4-2007 περί όριο καταλληλότητας για πόσιμο και αφορά το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (*νερό δικτύων*) και όχι επιφανειακό νερό. Η παράθεση των παραμετρικών τιμών γίνεται για λόγους συγκριτικής αξιολόγησης.

Το νερό του φράγματος είναι νερό **μέτριας αγωγιμότητας 360- 400 μS/cm**. Η διαφορά στην τιμή της αγωγιμότητας (*περί 50 μS/cm ή χαμηλότερα*) στις εργαστηριακές μετρήσεις, με τις μετρήσεις πεδίου οφείλεται στη διαφορετική θερμοκρασία αναφοράς των οργάνων (*πολύμετρο 25 ^{0} C, εργαστηριακό αγωγιμόμετρο 20 ^{0} C*).

Είναι λοιπόν νερό **μέσης σκληρότητας 17-20 Γαλλικών Βαθμών** (*170 – 200 ισοδύναμο $CaCO_3$*) **και χαμηλής αλκαλικότητας 140- 170 mg/L $CaCO_3$**.

Τα **χλωριόντα** έχουν **χαμηλή συγκέντρωση** που κυμαίνεται στα **22 – 34 mg**/L και τα **θειικά** ομοίως χαμηλή **19-29 mg/L** (*παραμετρική τιμή νομοθεσίας 250 mg/L*).

Τα **κατιόντα Ασβέστιο (Ca), Μαγνήσιο (Mg), Κάλιο (K) και Νάτριο (Na) έχουν αντίστοιχα συγκεντρώσεις σε χαμηλά επίπεδα:**

- Ca : 43-58 mg/L
- Mg: 13-14 mg/L
- K: 3,0-3,4 mg/L
- Na: 14-18 mg/L

Δεν υπάρχουν βασικές διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του νερού ανάμεσα στις δύο δειγματοληψίες ως προς τη συγκέντρωση του σε ανιόντα και κατιόντα.

Όσον αφορά τα ανιόντα βρωμιούχα (Br) και φθοριούχα (F) έχουν συγκεντρώσεις:

- Br : 0,197-0,351 mg/L
- F: 0,097-0,150 mg/L (*παραμετρική τιμή 1,5 mg/L*)

Τα **θρεπτικά συστατικά**, τόσο το άζωτο (*νιτρικά, νιτρώδη, αμμώνιο*) και ολικός φώσφορος – φωσφορικά ιόντα **είναι κάτω ή κοντά στο όριο ανίχνευσης των μεθόδων**.

Νιτρώδη και αμμώνιο βρέθηκαν σε ίχνη μόνο στη βάνα εξόδου στην 1^η δειγματοληψία και δεν ανιχνεύτηκαν στη 2^η.

Τα νιτρικά στην 1^η δειγματοληψία είχαν διακύμανση 0,3-1,8 mg/L (*με όριο ποσιμότητας 50 mg/L*), ενώ στη 2^η δειγματοληψία δεν ανιχνεύτηκαν.

Τα φωσφορικά ιόντα και ολικός φώσφορος δεν ανιχνεύτηκαν σε καμία δειγματοληψία.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, νιτρωδών, των αμμωνιακών και των φωσφορικών ιόντων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της τροφικής κατάστασης της λίμνης. Φαίνεται ότι επικρατούν ολιγοτροφικές συνθήκες, με άριστη εικόνα του νερού από πλευράς θρεπτικών στοιχείων. Οι μετρήσεις υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει επηρεασμός από τυχόν επιφανειακές ρυπάνσεις όπως λιπάσματα, απόβλητα, αστικά λύματα, κ.λ.π.

Λίθιο δεν ανιχνεύτηκε σε καμία μέτρηση, ενώ το βόριο δεν ανιχνεύτηκε στο νερό, μόνο στη βάνα εξόδου προς τη σήραγγα του έργου σε ελάχιστες συγκεντρώσεις.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία ελήφθησαν 3 δείγματα κατάντη του φράγματος από το δίκτυο άρδευσης:

- Τερματικό σημείο Δημαρχείο
- AGRECO (*Νερό που έχει περάσει από τη δεξαμενή*)
- Αδελιανός κάμπος – Τερματικό σημείο (*Παλιά γεώτρηση*)

Στο σημείο του δικτύου «Αδελιανός Κάμπος Τερματικό Σημείο (*Παλιά Γεώτρηση*)» η αγωγιμότητα του νερού είναι **746 μS/cm**, ενώ στα υπόλοιπα σημεία του δικτύου-νερό φράγματος - έξοδος φράγματος είναι περίπου στα **400 μS/cm**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι γίνεται προσθήκη και άλλου νερού πέραν του νερού του φράγματος.

1.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα βαρέα μέταλλα που μετρήθηκαν και στις δύο δειγματοληψίες ήταν ο ολικός και υδατοδιαλυτός σίδηρος (Fe), το ολικό και υδατοδιαλυτό μαγγάνιο (Mn), το ολικό νικέλιο (Ni), ο ολικός χαλκός (Cu) και ο ολικός ψευδάργυρος (Zn). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τους παρατίθενται στους πίνακες 10 & 13 αντίστοιχα του παραρτήματος II.

Ως προς τα βαρέα μέταλλα οι συγκεντρώσεις αυτών και συγκεκριμένα του σιδήρου και του μαγγανίου αυξάνονται με το βάθος υδροληψίας και στις δύο δειγματοληψίες. Αυτό έχει να κάνει με τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου με την αύξηση του βάθους (*απόδειξη και εδώ της παρουσίας θερμοκλινούς*) και μείωση της διαλυτότητας των μετάλλων αυτών με αποτέλεσμα όταν η ποσότητα του νερού αυτού οξυγονωθεί, έρθει δηλαδή στην επιφάνεια, τα μέταλλα αυτά καταβυθίζονται ως στερεά ιζήματα και συνεπώς αυξάνεται και η ολική συγκέντρωση τους.

Συγκεκριμένα για τα μέταλλα σίδηρο και μαγγάνιο αντίστοιχα στα κατώτερα στρώματα έχουμε μετατροπή της τρισθενής μορφής τους σε δισθενή λόγω απουσίας οξυγόνου, το γεγονός αυτό όμως συνεπάγεται αύξηση της διαλυτότητας. Όταν όμως τα μέταλλα αυτά διαχυθούν σε ανώτερα στρώματα (*π.χ. λόγω άντλησης ή διάχυσης*), όπου το διαλυμένο οξυγόνο είναι υψηλότερο, μετατρέπονται σε τρισθενή ιόντα με συνέπεια τη μείωση της διαλυτότητάς τους και την αύξηση της θολότητας στο νερό άντλησης.

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στη $2^{η}$ δειγματοληψία οφείλονται στη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης στη $2^{η}$ δειγματοληψία η ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση των μετάλλων αυτών, τόσο στην έξοδο του φράγματος, όσο και στα σημεία δειγματοληψίας του δικτύου οφείλεται στις κατακαθίσεις των μετάλλων στο δίκτυο.

Παρακάτω υπολογίζονται στη $2^{η}$ δειγματοληψία ο λόγος της συγκέντρωσης στην έξοδο του φράγματος της υδατοδιαλυτής μορφής των μετάλλων προς την ολική μορφή τους. Όσο πιο μικρός είναι ο λόγος, δηλαδή μικρή συγκέντρωση υδατοδιαλυτής μορφής, τόσο πιο εύκολη θα είναι απομάκρυνση των μετάλλων αυτών σε μια μετέπειτα επεξεργασία του νερού.

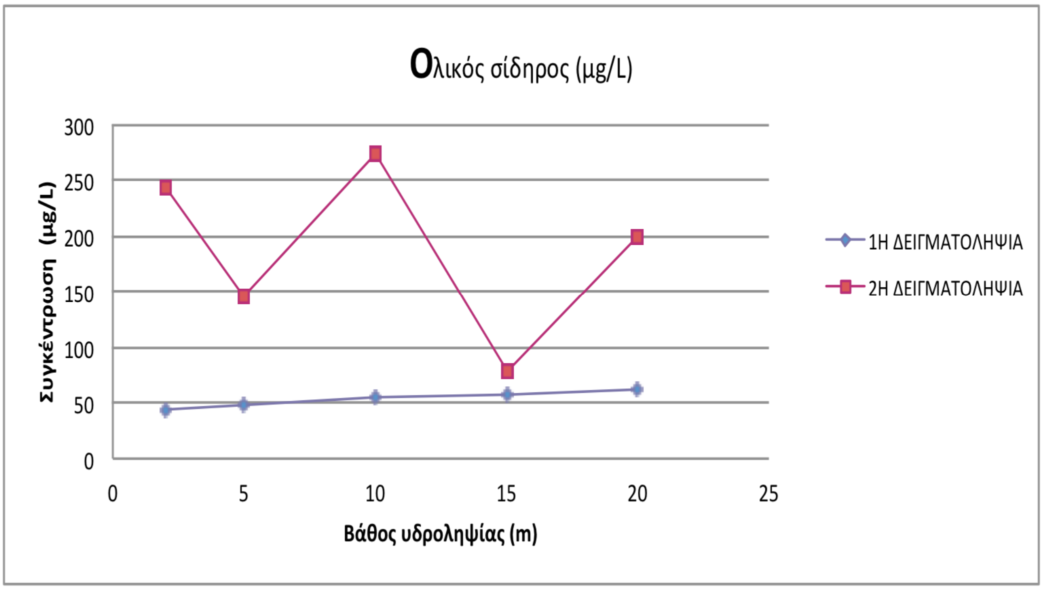
Σίδηρος **→**

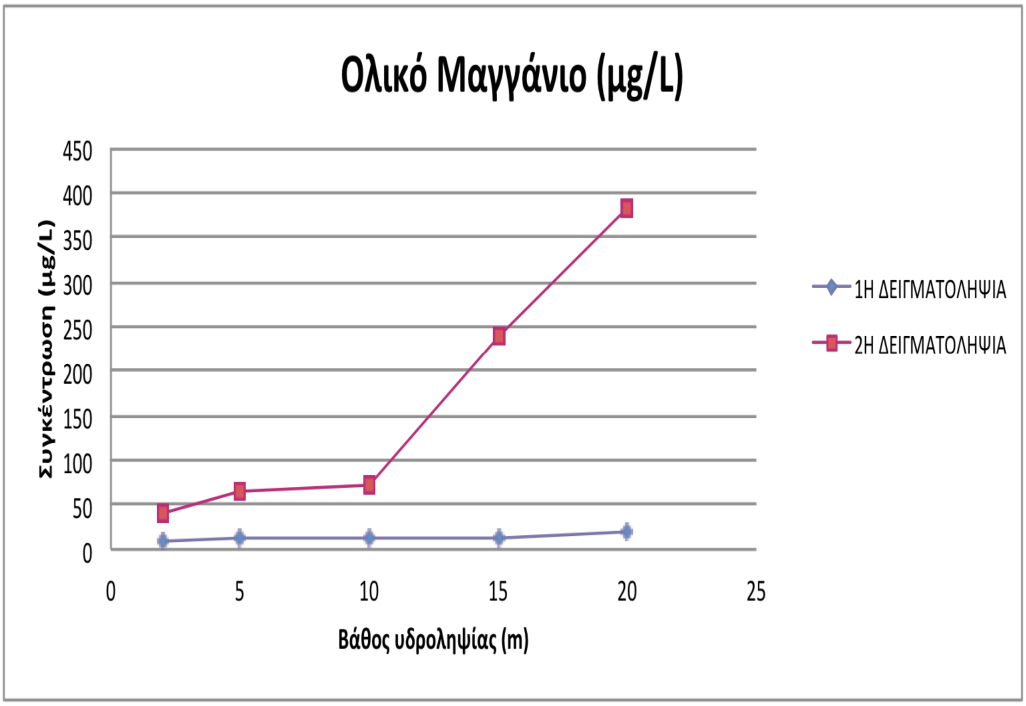
Συγκέντρωση υδατοδιαλυτής μορφής /συγκέντρωση ολικού σιδήρου %= 208/317 % = **66 %**

Μαγγάνιο

→ Συγκέντρωση υδατοδιαλυτής μορφής/συγκέντρωση ολικού μαγγανίου %= 420/737 % = **57** %

Παρακάτω υπό μορφή διαγραμμάτων οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των αδιάλυτων μορφών των μετάλλων σιδήρου και μαγγανίου συναρτήσει του βάθους υδροληψίας.





Σχήμα 20 (Περιλαμβάνει δύο διαγράμματα) *: Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών μορφών των μετάλλων σιδήρου και μαγγανίου συναρτήσει του βάθους υδροληψίας*

1.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Σε αυτό τον κύκλο μετρήσεων δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παρασιτοκτόνων και φυτοπροστατευτικών ουσιών, πολυκυκλικών υδρογονανθράκων και τοξικών μετάλλων (Hg, Cd, Pb, Sb, Se), καθότι σε προηγούμενους κύκλους δειγματοληψιών δεν ανιχνεύτηκαν σε κανένα από τα σημεία δειγματοληψίας (*Πύργος Υδροληψίας, Συμβολή ρευμάτων, Βολιωνίτικο Κεφαλόβρυσα και Βάνα εξόδου*).

1.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΟΛΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (TOC)

Οι οργανικές ουσίες στο νερό προέρχονται είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς διαδικασίες. Η τιμή του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC), εκφράζει την ολική φόρτιση των νερών σε οργανικές ενώσεις. Οι τιμές TOC μας δίνουν πληροφορίες για το σύνολο των ενώσεων του άνθρακα, ανεξάρτητα από τις βαθμίδες οξείδωσής τους.

Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg C/L νερού.

Στην 1^{η} δειγματοληψία η τιμή TOC κυμαίνεται από 0,9-2,5 mg C/L ανάλογα το βάθος του νερού. Στη 2^{η} δειγματοληψία η τιμή TOC κυμαίνεται από 4,3-7,4 mg C/L ανάλογα το βάθος υδροληψίας και μετρήθηκε τιμή 25,1 mg C/L στο τερματικό σημείο του αρδευτικού δικτύου.

Η συγκέντρωση του TOC στη 2η δειγματοληψία είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την προηγούμενη δειγματοληψία γεγονός που υποδεικνύει την αύξηση συγκέντρωσης οργανικών ενώσεων. Η αύξηση του οργανικού φορτίου του νερού οδηγεί σε ταχύτερη κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου λόγω βιοαποικοδόμησης από τους μικρο-οργανισμούς του νερού.

Άρα οι αυξημένες τιμές TOC συμβαδίζουν με τη σημαντική μείωση του οξυγόνου, όπως διαπιστώθηκε στις μετρήσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : *Αποτελέσματα μετρήσεων Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)*

Σημείο δειγματοληψίας (m από την επιφάνεια)	**Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) mg/L**	
	1η δειγματοληψία	**2η δειγματοληψία**
2	1.3	7.2
5	1.1	7.4
10	2.5	5.2
15	1	4.3
20	1	4.4
ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	0.9	4.9
ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ		25.1
AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)		15.1
ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)		10.9

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος. Η μέθοδος ανάλυσης αναφέρεται στον Πίνακα 2.

1.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΟΣΜΗΣ

Η geosmin (γεωσμίνη) είναι μια οργανική ένωση με χαρακτηριστική **οσμή χώματος** (π.χ. γίνεται αντιληπτή στον αέρα μετά από έντονη φθινοπωρινή βροχή, που «μυρίζει» το χώμα) , και παράγεται από ορισμένα μικρόβια.

Η MIB (*2 MethylIsoborneol*), είναι και αυτή οργανική ένωση με έντονη οσμή, με πολύ χαμηλό κατώφλι οσμής. **Έχει οσμή μούχλας,** παράγεται από ορισμένα άλγη και είναι από τις βασικές ενώσεις που υποβαθμίζουν την ποιότητα του πόσιμου νερού, και μπορούν να το καταστήσουν μη αποδεκτό στους καταναλωτές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : *Ουσίες οσμής (2 μέθυλο-ισοβορνεόλη (MIB), γεωσμίνη)*

Σημείο δειγματοληψίας	MIB		Geosmin	
	ng/l (ppt)		ng/l (ppt)	
ΟΡΙΟ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	4 ng/L		4 ng/L	
	1η δειγμ.	2η δειγμ.	1η δειγμ.	2η δειγμ.
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ND*	ND*	ND*	ND*
ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ	-	ND*	-	ND*
AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	-	ND*	-	ND*
ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)	-	ND*	-	ND*

*** Not detected (Δεν ανιχνεύθηκε) Κατώφλι οσμής 10 ng/L**

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος.

Η μέθοδος ανάλυσης αναφέρεται στον Πίνακα 2

1.6. <u>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ</u>

Το υδρόθειο είναι ένα άχρωμο με χαρακτηριστική οσμή των κλούβιων αυγών. Μετρήσεις υδροθείου πραγματοποιήθηκαν στη 2η δειγματοληψία (*Πίνακας 5*) καθώς στην 1η δειγματοληψία δεν παρατηρήθηκε δυσάρεστη και έντονη οσμή στο νερό.

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ 5</u> : *Υδρόθειο*

Σημείο δειγματοληψίας	**H_2S** **μg/l (ppb)**
ΟΡΙΟ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	**10 μg/L**
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	25
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	25
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	25
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	25
ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	25
ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	70
ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ	90
AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	20
ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)	120

Κατώφλι οσμής 0.025-0.25 μg/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2.

Σε όλα τα δείγματα η συγκέντρωση του υδροθείου βρέθηκε 2-3 τάξεις μεγέθους (*100- 1000 φορές*) πάνω από το κατώφλι οσμής.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ $1_{ης}$ ΚΑΙ $2_{ης}$ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Στο σημείο υδροληψίας σε όλα τα βάθη (*2m, 5m ,10m, 15m, 20m από την επιφάνεια*) καθώς και στην έξοδο του φράγματος το μικροβιολογικό φορτίο ήταν σχεδόν σε μηδενικά επίπεδα στην 1η δειγματοληψία και προσεγγίζει τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού. Τα στοιχεία των μετρήσεων φαίνονται στους αναλυτικούς πίνακες 11 και 14 του Παραρτήματος Ι καθώς και στον Πίνακα 6 της διατριβής. Για λόγους συγκριτικής αξιολόγησης τα νομοθετικά μικροβιολογικά όρια ποσιμότητας βάση ΦΕΚ 630 /Β / 26-4-2007 και Οδηγίας (98/83/ΕΚ) του νερού είναι για τους μικροοργανισμούς Ολικά Κολοβακτηριοειδή, *E. Coli*, Εντερόκοκκοι, *Pseudomonas aeruginosa* και *Clostridium perfringens* είναι 0 cfu/100 ml.

Στη 2η όμως παρατηρείται αύξηση σε υψηλά επίπεδα της συγκέντρωσης των μικροβιολογικών δεικτών ρύπανσης που αναλύθηκαν ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η σχετικά υψηλή τιμή του Clostridium, καθώς είναι αναερόβιο βακτήριο και σχετίζεται με την παρουσία άλλων βακτηρίων και ενδεχομένως και πρωτόζωων.

Πρωτόζωα δεν ανιχνεύτηκαν σε καμία από τις δύο δειγματοληψίες (*Πίνακας 6*)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 : *Μικροβιολογικές παράμετροι - πρωτόζωα*

Ημερομηνία δειγματοληψίας	**Σημείο δειγματοληψίας: Επιφάνεια λίμνης φράγματος**	
	Cryptosporidium (copies/ml)	**Giardia (ng/μl)**
Όριο ανίχνευσης	$1*10^4$	0.1
12/08/2011	**$<1*10^4$**	**< 0.1**
22/11/2011	**$<1*10^4$**	**< 0.1**

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο Εργαστήριο Οικολογίας και Βιοποικιλότητας του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2.

Κεφάλαιο 5^{ο}

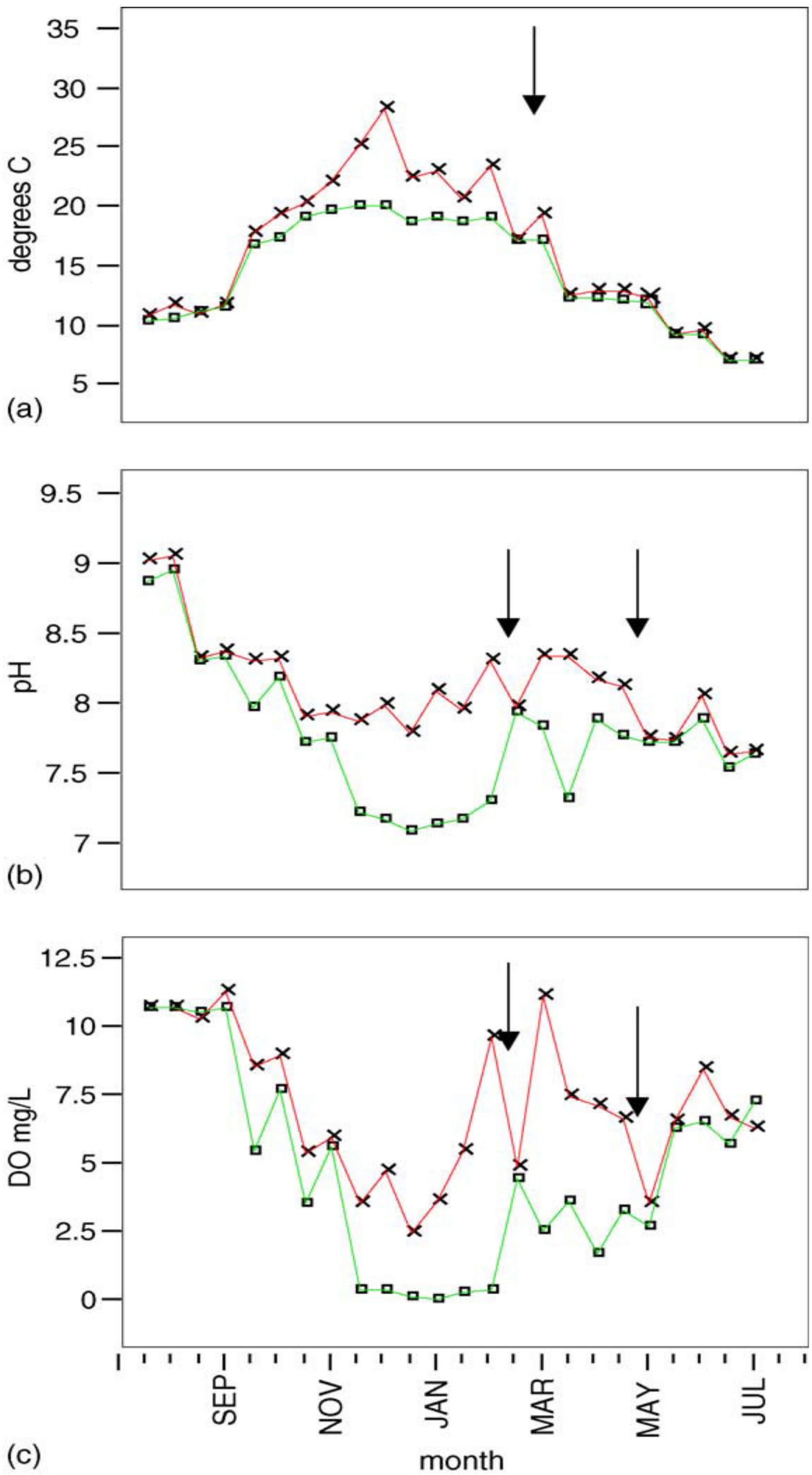
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΜΕ ΑΛΛΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Ανάλογες διεργασίες με τον ταμιευτήρα του φράγματος Ποταμών Αμαρίου συμβαίνουν και σε άλλους ταμιευτήρες. Το κάθε ένα βέβαια οικοσύστημα εμφανίζει τα δικά του χαρακτηριστικά και γι' αυτό εξάλλου μελετάται ξεχωριστά. Ακόμα όμως και ένα οικοσύστημα διαφοροποιείται από έτος σε έτος και από εποχή σε εποχή γι' αυτό η ποιότητα του νερού θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς για να ακολουθείται και η ανάλογη επεξεργασία του νερού αναλόγως βεβαίως και της χρήσης του.

Παρακάτω παρατίθενται συγκριτικά στοιχεία και διαγράμματα ανάλογα του Φράγματος Ποταμών από ένα φράγμα στην Αυστραλία (*Dam 1*), από το φράγμα της Αλεξανδρούπολης καθώς και από τη λίμνη του Μόρνου.

1.1. ΦΡΑΓΜΑ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ [35]

Στο Φράγμα αυτό παρατηρούμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας, 25 ^{0} C περίπου το μήνα Δεκέμβριο, προκαλεί θερμική διαστρωμάτωση που διαρκεί από το Φεβρουάριο έως το Μάιο. Το θερμοκλινές μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου με ότι αυτό συνεπάγεται, και υπάρχει σχετική μείωση του pH.



<u>Σχήμα 21</u> : *Μεταβολή των επιλεγμένων παραμέτρων ποιότητας νερού στον ταμιευτήρα - Dam1 μεταξύ Αυγούστου 1994 και Ιουλίου 1995: (x= επιφανειακό νερό, □ νερό από πυθμένα (a) θερμοκρασία (b) του pH (c) το διαλυμένο οξυγόνο. Το βέλος δείχνει την περιοχή της διαστρωμάτωσης. Περιοχή μεταξύ βελών δείχνουν περίοδο της διαστρωμάτωσης. [35]*

1.2. ΦΡΑΓΜΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ [http://www.deyaalex.gr]

Ο ταμιευτήρας της Αλεξανδρούπολης εξυπηρετεί τις ανάγκες ύδρευσης της Αλεξανδρούπολης. Στόχος του ταμιευτήρα είναι να λύσει το πρόβλημα της ύδρευσης της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Αλεξανδρούπολης και των όμορων κοινοτήτων τουλάχιστον για τα επόμενα 40 χρόνια.

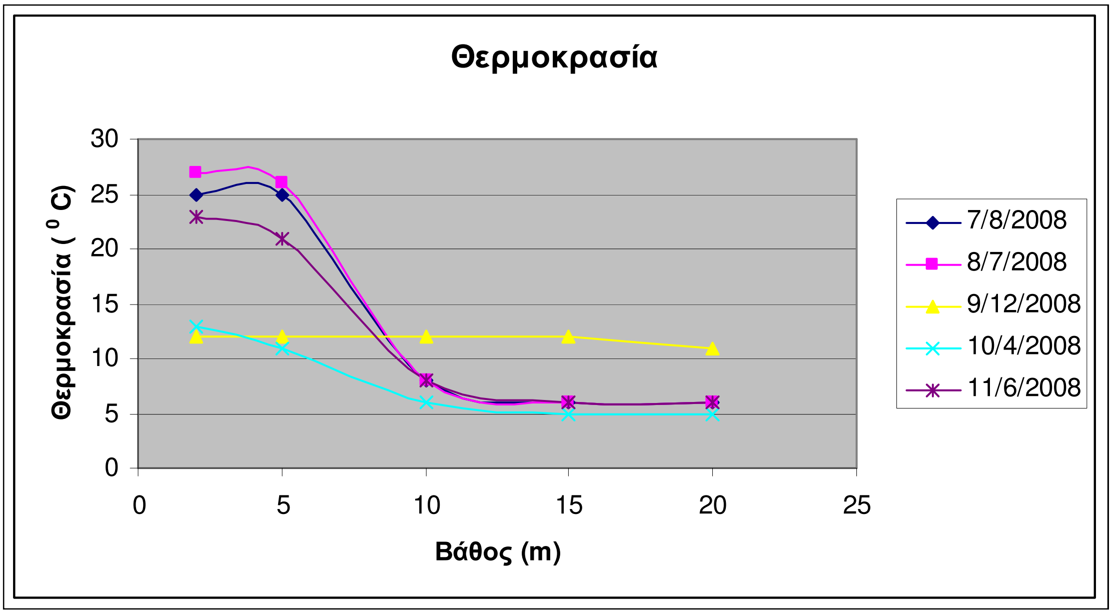
Στον ταμιευτήρα της Αλεξανδρούπολης έχει κατασκευαστεί πλωτή υδροληψία η οποία έχει κουμπώσει στον κατασκευασμένο και εν λειτουργία πύργο υδροληψίας του έργου σε απόλυτο υψόμετρο + 141,25, έτσι ώστε να είναι δυνατή η υδροληψία μεταξύ 6,00 και 12,00 μέτρων υψηλότερα της υπάρχουσας σταθερής υδροληψίας .

Και σε αυτόν τον ταμιευτήρα μέχρι το 2008 συνέβαινε το φαινόμενο της θερμικής διαστρωμάτωσης.

Εκ τότε έχει εγκατασταθεί σύστημα ανάδευσης με αέρα για την αποστρωμάτωση του νερού. Το σύστημα αυτό τίθεται σε λειτουργία κατά τους μήνες παρουσίας του θερμοκλινούς. Παράλληλα η ποιότητα του νερού παρακολουθείται ανά 15 ημέρες με μετρήσεις πεδίου.

Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα έτους 2008 που υποδεικνύουν κι εδώ την παρουσία θερμοκλινούς.

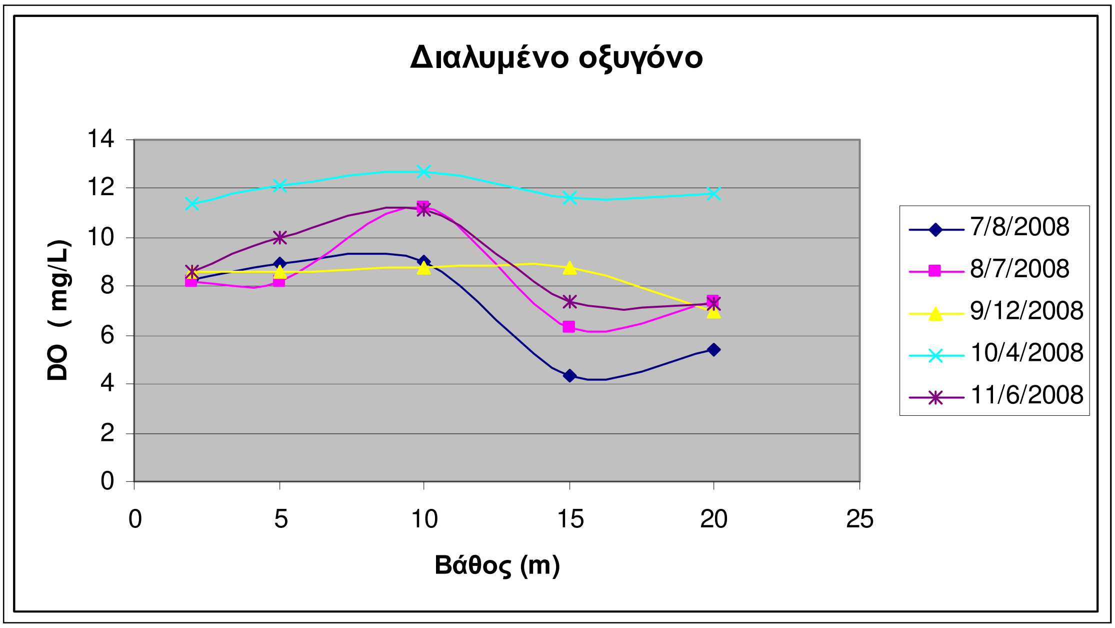
Εδώ θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τα στελέχη της ΔΕΥΑ Αλεξανδρούπολης για τη ξεχωριστή φιλοξενία τους κατά την επίσκεψη μας, τις πολύτιμες συμβουλές τους για τη λειτουργία του φράγματος και τα στοιχεία που μου έδωσαν, που με βοήθησαν σημαντικά στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.



Σχήμα 22 : *Θερμοκρασιακό προφίλ του νερού κατά βάθος για 6 χρονικές περιόδους*

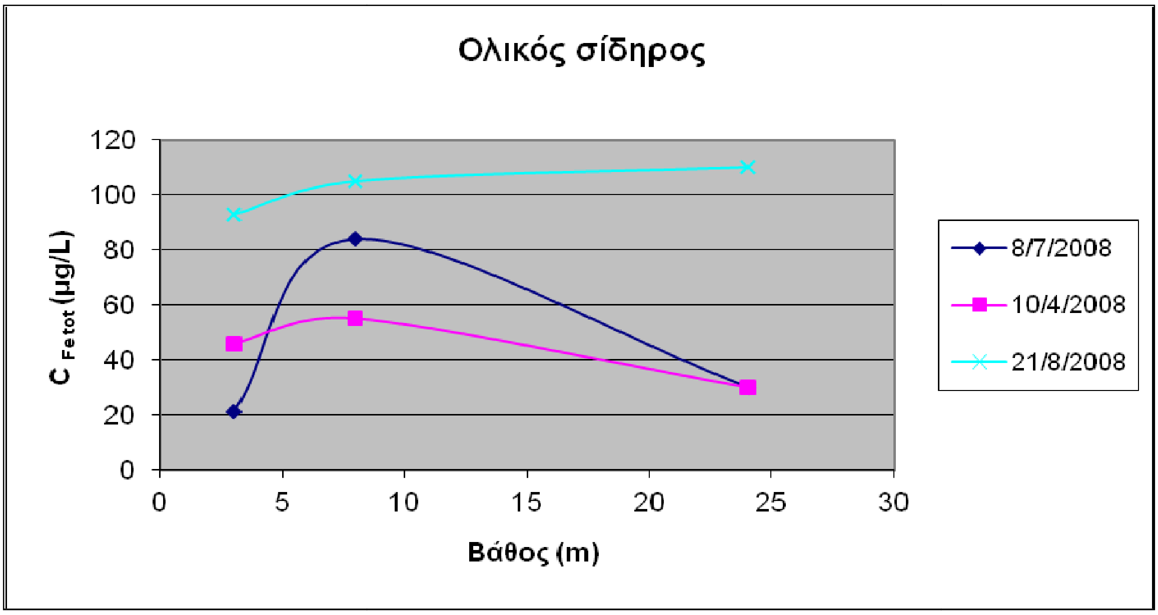
Κι εδώ παρατηρούμε ότι το μήνα Δεκέμβριο - Απρίλιο δεν υφίσταται το φαινόμενο της θερμικής στρωμάτωσης του νερού.

Το θερμοκλινές εδώ δημιουργείται στα 5 – 10 μέτρα βάθος και εμφανίζεται από τέλη Μαίου έως και το Σεπτέμβριο.

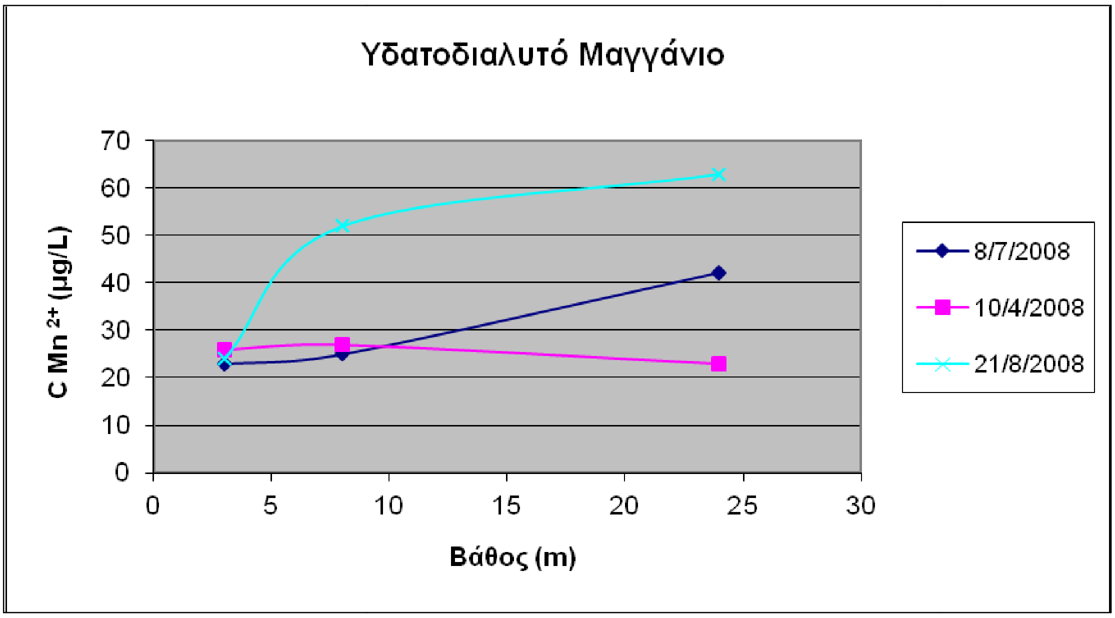


Σχήμα 23 : *Συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου του νερού κατά βάθος για 6 χρονικές περιόδους*

Κι εδώ παρατηρούμε ότι το μήνα Δεκέμβριο - Απρίλιο η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι σχεδόν η ίδια σε όλα τα βάθη. Το διαλυμένο οξυγόνο την εποχή που υπάρχει θερμική διαστρωμάτωση από τα 12 mg/L φτάνει περί τα 5 mg/L. Αντίθετα στο φράγμα ποταμών η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κατά το μήνα Οκτώβριο βρίσκεται σε μηδενικά επίπεδα.



Σχήμα 24 : *Συγκέντρωση του ολικού σιδήρου του νερού κατά βάθος για 6 χρονικές περιόδους*



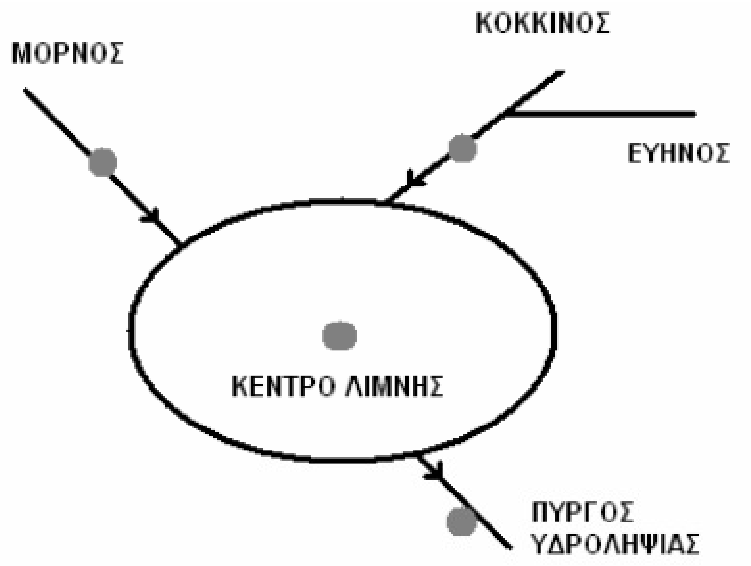
Σχήμα 25 : *Συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού μαγγανίου του νερού κατά βάθος για 6 χρονικές περιόδους*

Από τα διαγράμματα τόσο του ολικού σιδήρου όσο και του υδατοδιαλυτού μαγγανίου παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των δύο αυτών μετάλλων στο Φράγμα Ποταμών είναι πολύ μεγαλύτερες γεγονός που εξηγείται στη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στον πυθμένα της λίμνης με συνέπεια την αύξηση της διαλυτοποίησης τους.

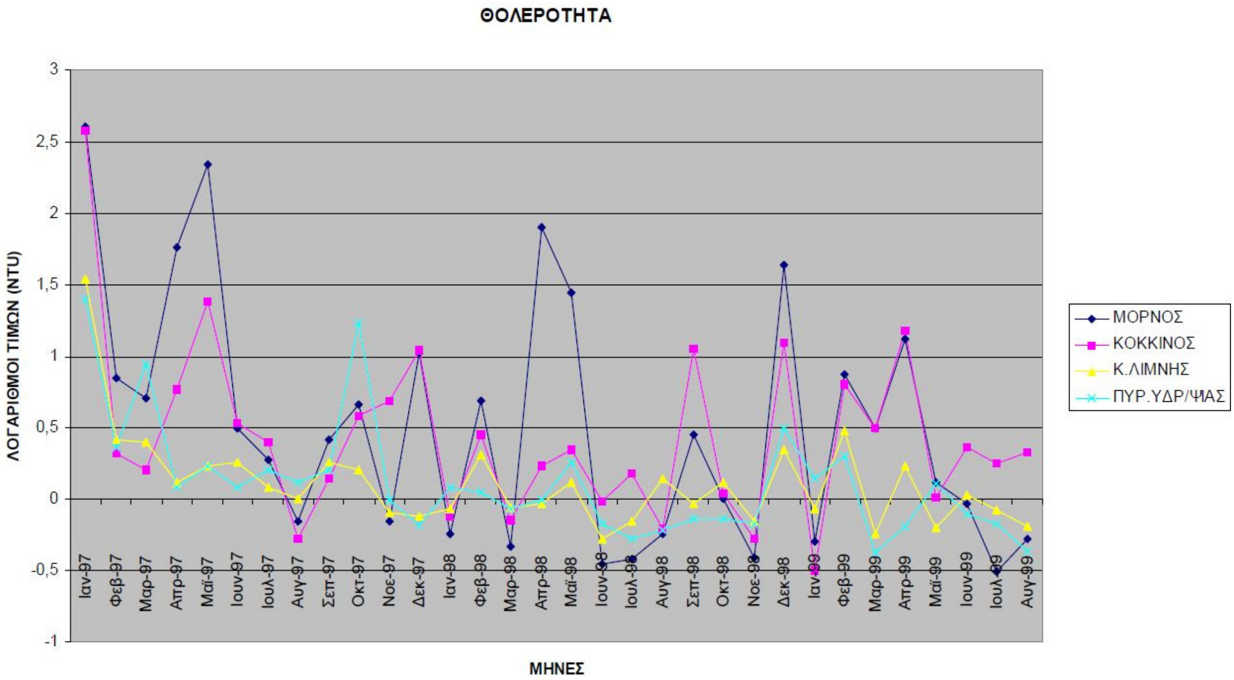
1.3. ΛΙΜΝΗ ΜΟΡΝΟΥ

Η λίμνη του Μόρνου είναι τεχνητή λίμνη που κατασκευάστηκε το 1979 με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου ταμιευτήρα για την ύδρευση της Αθήνας. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκε φράγμα (*φράγμα του Μόρνου*) και δημιουργήθηκε τεχνητή λίμνη με μέγιστη χωρητικότητα περίπου 800.000 κυβ. μέτρων νερού

Η λίμνη του Μόρνου, εκτός από την ύδρευση της Αθήνας, εξυπηρετεί και την άρδευση αγροτικών καλλιεργειών της Φωκίδας και της Αιτωλοακαρνανίας. [http://el.wikipedia.org]

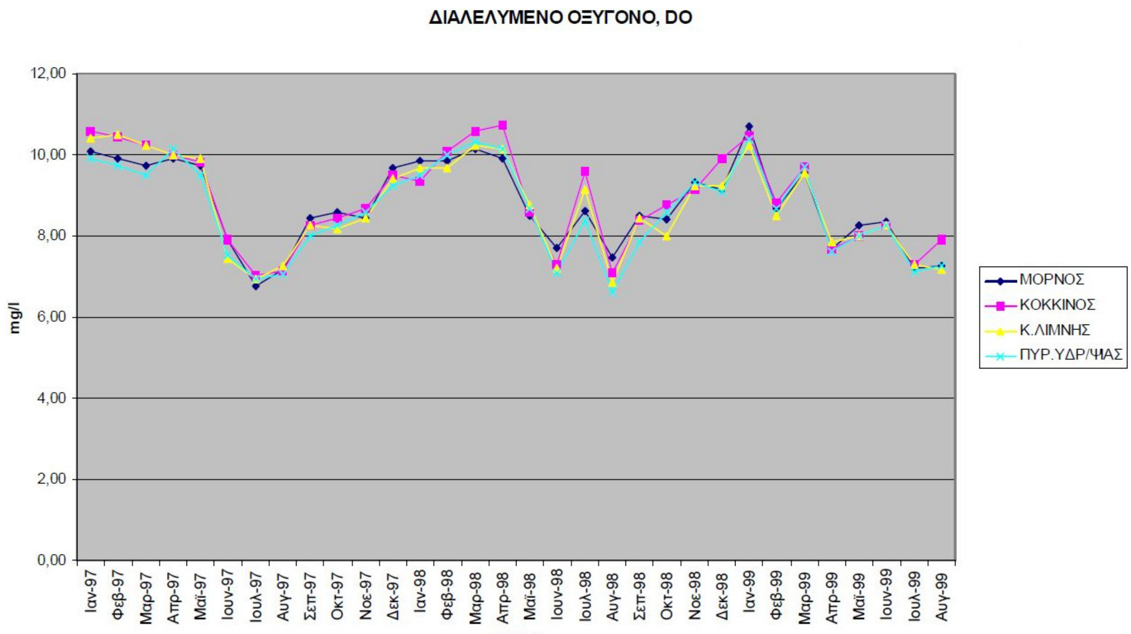


<u>Σχήμα 26</u> : *Σχηματική απεικόνιση ταμιευτήρα Μόρνου, εισόδων και σημείων δειγματοληψίας με γκρι κύκλο*



<u>Σχήμα 27</u> : *Θολερότητα (NTU) σε λογάριθμους των τιμών για Μόρνο, Κόκκινο, Κ. Λίμνης, Πυρ. Υδροληψίας [9]*

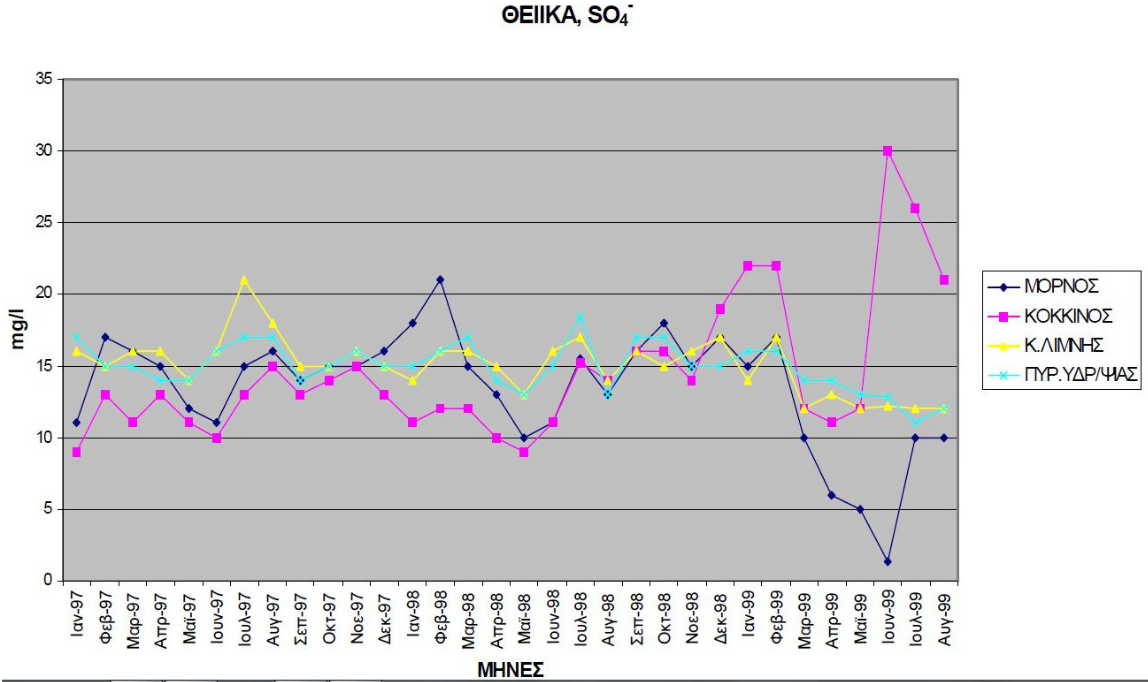
Παρατηρούμε κάποιες κορυφές για τους δυο ποταμούς τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο και Απρίλιο-Μάιο που μπορεί να συσχετιστεί με πιθανές βροχοπτώσεις και αύξηση της βιολογικής δραστηριότητας αντίστοιχα. Ίδιο φαινόμενο συσχέτισης των βροχοπτώσεων με την αύξηση της θολερότητας έχουμε και στο Φράγμα Ποταμών.



<u>Σχήμα 28</u> : *Επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (ΔΟ σε mg Μόρνο, Κόκκινο Κ.Λίμνης, Πυρ. Υδροληψίας [9]*

Από το διάγραμμα του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να διαπιστωθεί η εποχιακή μεταβολή του ΔΟ. Υπάρχει και για τα δυο έτη μείωση τους καλοκαιρινούς μήνες (*Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο*) και αύξηση τους χειμερινούς και τους πρώτους της άνοιξης. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με βάση τους παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Η αύξηση της συγκέντρωσης μπορεί να οφείλεται στη μείωση της θερμοκρασίας τους χειμερινούς μήνες και στην καταστροφή του θερμοκλινούς και αντίστοιχα η μείωση της στην αύξηση της θερμοκρασίας όπως και παρατηρήθηκε για τα καλοκαίρια [9].

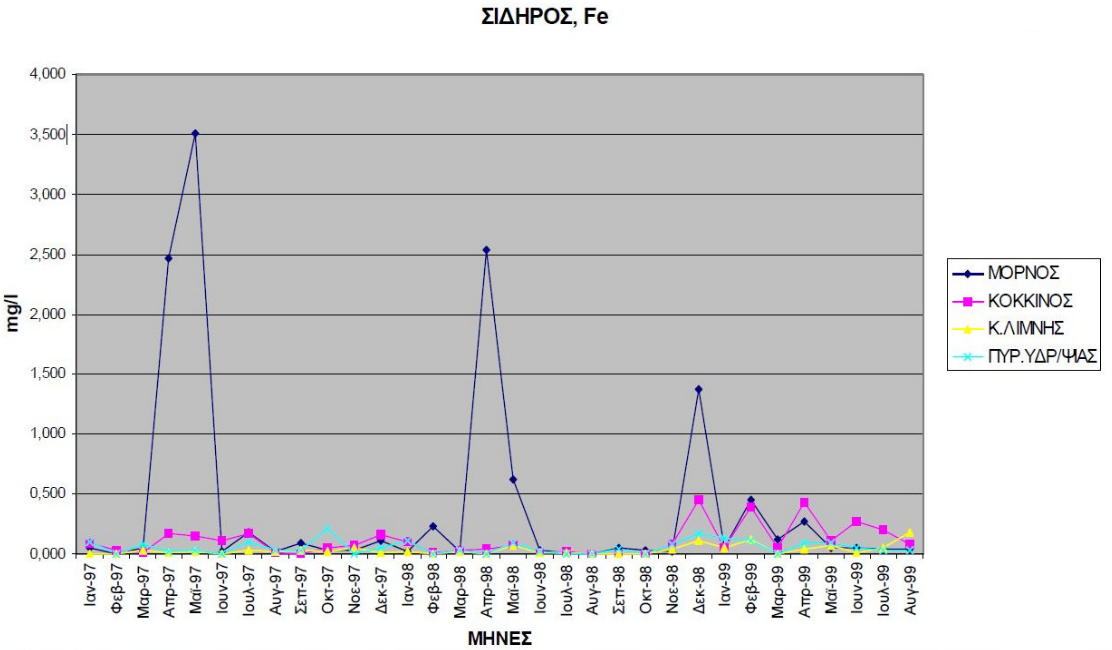
Στη λίμνη του Μόρνου σε αντίθεση με το Φράγμα Ποταμών οι τιμές των συγκεντρώσεων δεν πέφτουν κάτω από 6,5 mg/l και δεν φτάνουν στο όριο των 5 mg/l που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία και την επιβίωση των βιοκοινοτήτων. Στο Φράγμα Ποταμών στη δεύτερη δειγματοληψία η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου στον πυθμένα μηδενίζεται [9].



Σχήμα 29 : *Θειικά-$SO4^{2-}$ (σε mg/l) για Μόρνο, Κόκκινο, Κ. Λίμνης, Πυρ. Υδροληψίας*

Με βάση τη θεωρία, οι συγκεντρώσεις των θειικών στα φυσικά νερά είναι συνήθως μεταξύ 2 και 80 mg/l και μπορεί να ξεπεράσουν τα 1.000 mg/l κοντά σε βιομηχανικές εκροές αποβλήτων ή σε άνυδρες περιοχές με ορυκτά θειικά (*όπως γύψο*) γεγονός που δεν φαίνεται να ισχύει στη περίπτωση του ταμιευτήρα του Μόρνου και των ποταμών που καταλήγουν σε αυτόν. Το γεγονός αυτό δε φαίνεται να ισχύει και στο

Φράγμα Ποταμών. Προβληματισμό δημιουργεί στο Φράγμα Ποταμών κατά τη δεύτερη δειγματοληψία η υψηλή συγκέντρωση υδροθείου. Προφανώς οφείλεται κατά το πλείστον στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης αλλά και στην αναγωγή των θειικών αλάτων υπό ανοξικές συνθήκες [9].



<u>Σχήμα 30</u> : *Σίδηρος (mg/l) Για Μόρνο, Κόκκινο, Κ. Λίμνης, Πυρ. Υδροληψίας*

Συσχέτιση της συγκέντρωσης του ολικού σιδήρου του Φράγματος Ποταμών δε μπορεί να υπάρξει με τη λίμνη του Μόρνου καθώς το νερό στο ταμιευτήρα Αμαρίου δεν οξυγονώνεται ουσιαστικά.

Τα ρέοντα ύδατα που οξυγονώνονται πλήρως, δεν πρέπει να περιέχεται διαλυμένος σίδηρος σε ποσότητες μεγαλύτερες μερικών μικρογραμμαρίων στο λίτρο. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 46399/4352/86 το επιθυμητό όριο για τον σίδηρο είναι 0,1 mg/l ενώ το ανώτατο επιτρεπτό 0,3.

Παρατηρώντας τις μέσες τιμές σιδήρου στον πίνακα για τον ταμιευτήρα οι τιμές είναι χαμηλότερες σε σχέση με των ποταμών. Παρατηρούνται έντονες κορυφές για τον Μόρνο που μπορεί να σχετίζονται με μετακίνηση ιλύος με τη ροή του ποταμού. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,3 mg/l σύμφωνα με την ΚΥΑ δεν ξεπερνιέται μέσα στον ταμιευτήρα.

1.4. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΑΜΑΡΙΟΥ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ

- Πιο έντονες ανοξικές συνθήκες στο φράγμα Ποταμών (*απουσία οξυγόνου στον πυθμένα*), ενώ στο Φράγμα Αλεξανδρούπολης το διαλυμένο οξυγόνο στον πυθμένα είναι 4 mg/L
- Παρουσία υδροθείου που δεν έχει ανιχνευτεί στο Φράγμα της Αλεξανδρούπολης
- Παρουσία οσμών γεωσμίνης και 2-μέθυλο-ισοβορνεόλης στο Φράγμα Αλεξανδρούπολης ενώ στο Φράγμα Ποταμών Αμαρίου δεν ανιχνεύτηκαν
- Η θερμοκρασία του πυθμένα στο Φράγμα Ποταμών χειμώνα καλοκαίρι διατηρείται στους 12-15 ^{0} C ενώ στην Αλεξανδρούπολη τους αντίστοιχους μήνες είναι στους 5^0 C.
- Υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων σιδήρου και μαγγανίου στο Φράγμα Ποταμών λόγω ανοξικών συνθηκών στον πυθμένα.
- Στο Φράγμα Ποταμών Αμαρίου δημιουργείται θερμοκλινές στα 6- 12 m, ενώ στο Φράγμα Αλεξανδρούπολης στα 5-10 m.

Κεφάλαιο 6^{ο}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι περισσότερες λίμνες στην Ελλάδα και κατά επέκταση και τα Φράγματα είναι μονομικτικές λίμνες, δηλαδή επικρατεί μια μακρά περίοδος καλοκαιρινής θερμικής διαστρωμάτωσης του νερού και μια σύντομη περίοδος ανάμιξης κατά την περίοδο του χειμώνα. Στη στιγμή της μέγιστης θερμικής διαστρωμάτωσης στον πυθμένα των λιμνών επικρατούν σχεδόν ανοξικές συνθήκες αυξάνοντας έτσι την απελευθέρωση των θρεπτικών ουσιών από τα ιζήματα του βυθού.
    - Στο **Φράγμα Ποταμών** και στις δύο δειγματοληψίες καταδείχτηκε η ύπαρξη θερμοκλινούς, μετά τα 6 μέτρα και στις 2 δειγματοληψίες (*καλοκαίρι-φθινόπωρο*) με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μεταβολή κατά βάθος και άλλων παραμέτρων, όπως το Διαλυμένο Οξυγόνο, η Θολερότητα, η συγκέντρωση των μετάλλων (*Σιδήρου-Μαγγανίου*).
    - Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη 2^{η} δειγματοληψία είναι πολύ πιο μικρή από την αντίστοιχη συγκέντρωση του οξυγόνου στην 1η ακόμα και στην επιφάνεια της λίμνης.
    - Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και ειδικά του σιδήρου και του μαγγανίου έχουν αυξηθεί στη 2^{η} δειγματοληψία. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου

2. Το φθινόπωρο με την έναρξη των βροχοπτώσεων παρατηρείται σε γενικές γραμμές αύξηση του μικροβιακού φορτίου, των θρεπτικών συστατικών αλλά και των ιζημάτων. Στο Φράγμα Ποταμών παρατηρείται αύξηση σε υψηλά επίπεδα στη 2^{η} δειγματοληψία της συγκέντρωσης των μικροβιολογικών δεικτών ρύπανσης που αναλύθηκαν ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα του νερού. Αυτό συμβαδίζει και με αυξημένα επίπεδα άλλων ρυπαντικών δεικτών (*TOC κ.λ.π.)* Στην 1^{η} δειγματοληψία το μικροβιολογικό φορτίο ήταν σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα. Στη 2^{η} δειγματοληψία παρατηρείται τάση σημαντικής μείωσης των μικροοργανισμών με το βάθος (*μείωση 600%*) λόγω της ύπαρξης

του θερμοκλινούς και μη ανακυκλοφορίας των στρωμάτων του νερού. Ο βαθμός αύξησης της συγκέντρωσης των παραπάνω παραγόντων εξαρτάται από τη διατμητική σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ του εδάφους και του νερού μετά τις βροχοπτώσεις. Γενικά η κύρια οδός για τη μεταφορά ενός συγκεκριμένου συστατικού αλλά και μικροοργανισμών καθορίζεται από ένα αριθμό παραγόντων. Όσον αφορά τα συστατικά ο ρυθμός μεταφοράς τους εξαρτάται από τη χημεία της ένωσης, από την υδρολογία της περιοχής - χρήσεις γης, κ.τ.λ.. Η πλειοψηφία των ρύπων στις αγροτικές περιοχές αποτελείται κυρίως από ανόργανα συστατικά, πιο πολύπλοκα οργανικά μόρια, φυτοφάρμακα αλλά και μικροοργανισμούς. Κύρια πηγή αυτών είναι συμπεριλαμβανομένου και του ίδιου του εδάφους είναι η αποσύνθεση της οργανικής ύλης (*βλάστηση*), κτηνοτροφία (*κοπριά ζώων*), γεωργικές πρακτικές (*υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων*). Η κοπριά των ζώων μπορεί να γίνει δυνητικά, πηγή νιτρικών, φωσφορικών αλάτων, τοξικών μετάλλων και βακτηρίων. Η κοπριά μπορεί να αλλάζει επίσης τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, την κινητικότητα των ρύπων στο έδαφος [35].

- Η παρουσία σημαντικών φυτικών θρεπτικών ουσιών, όπως τα νιτρικά και φωσφορικά άλατα επηρεάζουν την ανάπτυξη της φωτοσυνθετικής άλγης. Φράγματα με υψηλότερα επίπεδα θρεπτικών ουσιών τείνουν να έχουν υψηλότερα επίπεδα χλωροφύλλης-α, οδηγώντας σε διακυμάνσεις στην παραγωγή του οξυγόνου του pH, του δυναμικού οξειδοαναγωγής, των ιζημάτων – θολότητας – ικανότητα διείσδυσης του φωτός αλλά και στο ρυθμό της φωτοσυνθετικής αναπνοής.
- Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) και ανιόντων (F^-, Cl^-, Br^- SO_4^{2-}) παραμένουν, με μικρές διακυμάνσεις, στα ίδια επίπεδα και στις 2 δειγματοληψίες.
- Τα θρεπτικά στοιχεία οι ενώσεις δηλαδή του αζώτου (*νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά*) και φωσφόρου (*ολικός φώσφορος, φωσφορικά*) δεν βρέθηκαν και στις 2 δειγματοληψίες, εκτός από πολύ μικρές συγκεντρώσεις νιτρικών που υπάρχουν σε όλα τα νερά και τα πόσιμα.

- Παρατηρείται αύξηση της θολερότητας στη $2^η$ δειγματοληψία.
- Η συγκέντρωση του TOC στη 2η είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την προηγούμενη δειγματοληψία γεγονός που υποδεικνύει την αύξηση συγκέντρωσης οργανικών ενώσεων.
- Η συγκέντρωση του H_2S στη $2^η$ δειγματοληψία, πάρα το ότι είναι πτητική ένωση, ήταν μεγάλη, γεγονός που εξηγεί την έντονη οσμή σε υδρόθειο του νερού. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις υδροθείου προέρχονται συνήθως από την αναγωγή των θειικών αλάτων εξ αιτίας αναερόβιων βιολογικών διεργασιών λόγω έλλειψης οξυγόνου στον πυθμένα της λίμνης, αλλά και από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης (*δέντρα κ.τ.λ.*).
- Οι οσμές γεωσμίνη και 2-μέθυλο-ισοβορνεόλη δεν ανιχνεύθηκαν σε καμία δειγματοληψία.
- Δεν ανιχνεύθηκαν πρωτόζωα giardia και cryptosporidium σε καμία από τις δειγματοληψίες χωρίς αυτό βέβαια να σημαίνει ότι δεν μπορεί να βρεθούν σε μια επόμενη δειγματοληψία.

Κεφάλαιο 7^{ο}

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Έλεγχος της ποιότητας του νερού του ταμιευτήρα για ένα έτος

Θα πρέπει να λάβουν χώρα 2 επιπρόσθετες δειγματοληψίες, ώστε να καλυφθεί η ποιότητα των νερών για ένα έτος. Οι παράμετροι που θα μελετηθούν θα είναι οι ίδιες με αυτές στην παρούσα μελέτη.

Επί πλέον θα πρέπει να γίνει μελέτη της θερμικής διαστρωμάτωσης κατά τη διάρκεια ενός έτους, με μετρήσεις στο πεδίο τουλάχιστον ανά μήνα (*12 δειγματοληψίες ετησίως*).

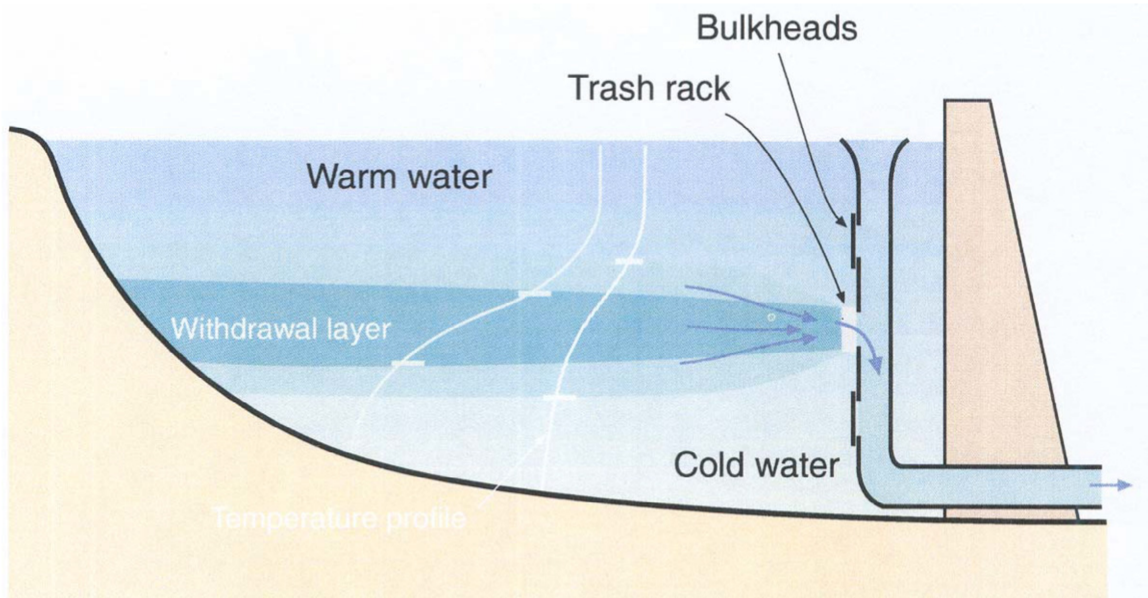
2. Σύνταξη μελέτης με στόχο τα απαιτούμενα τεχνικά έργα για τη βέλτιστη υδροληψία

Θα μελετηθεί τεχνικά ένα σύστημα υδροληψίας μεταβλητού βάθους, ένα σύστημα μηχανικής ανάδευσης καθώς και ένα σύστημα αερισμού του νερού του ταμιευτήρα στην περιοχή υδροληψίας.

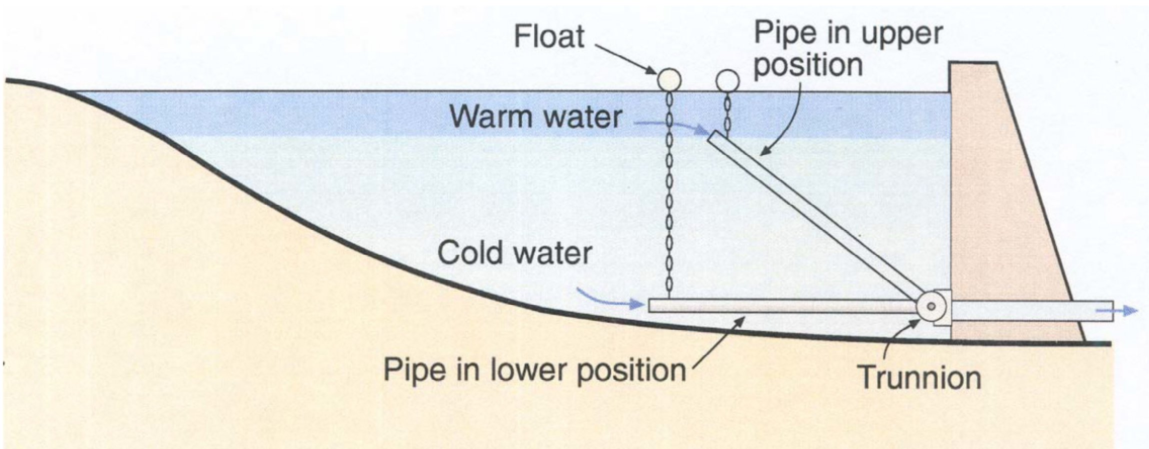
Για το σύστημα αερισμού προτείνεται η τεχνική έγχυσης αέρα. Το εν λόγω σύστημα περιλαμβάνει :

- Ένα συμπιεστή αέρα τοποθετημένο σε οικίσκο στην ξηρά ο οποίος παρέχει μέσω διάτρητων σωλήνων (*3 κλάδοι*) αέρα. Οι σωλήνες τοποθετούνται πλησίον του πυθμένα της λίμνης στο πλέον βαθύ τμήμα του υδροταμιευτήρα.
- Οι φυσαλίδες αέρα με την ανύψωση τους αναγκάζουν το υπολίμνιο νερό να κινηθεί προς το επιλίμνιο. Με την κατάλληλη και επαρκή διοχέτευση ποσότητας αέρα επιτυγχάνεται η καταστροφή του θερμοκλινούς.

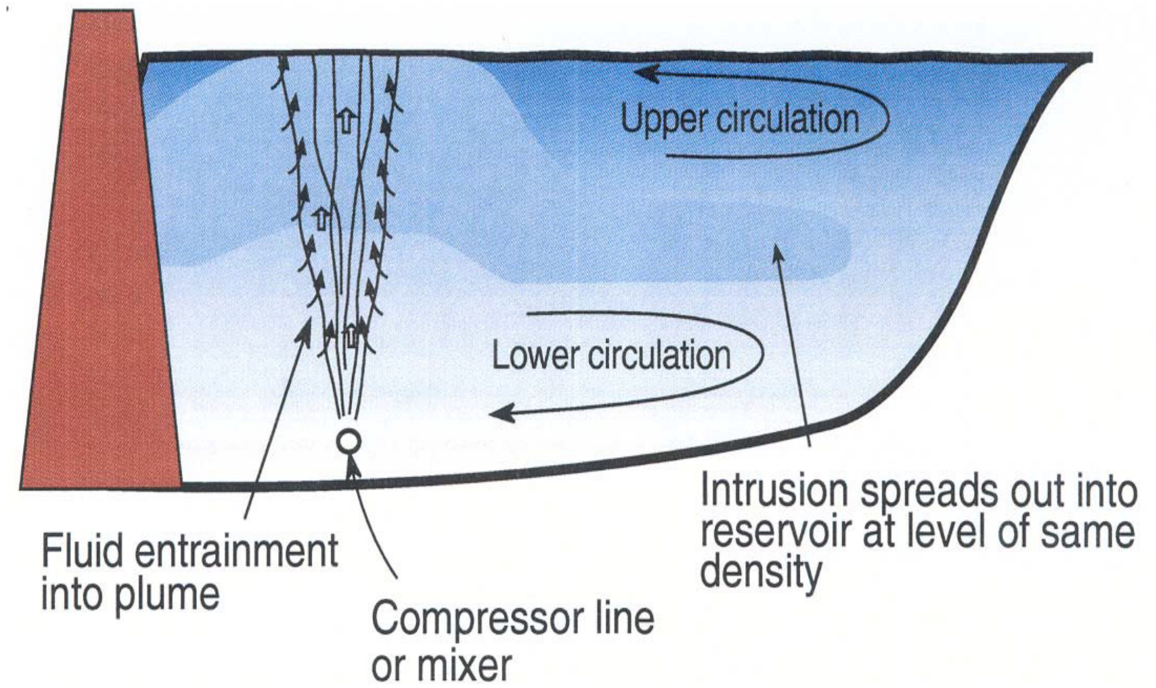
Παρακάτω παρατίθενται υπό μορφή εικόνων τρία διαφορετικά συστήματα διατάραξης της θερμικής διαστρωμάτωσης. [2]



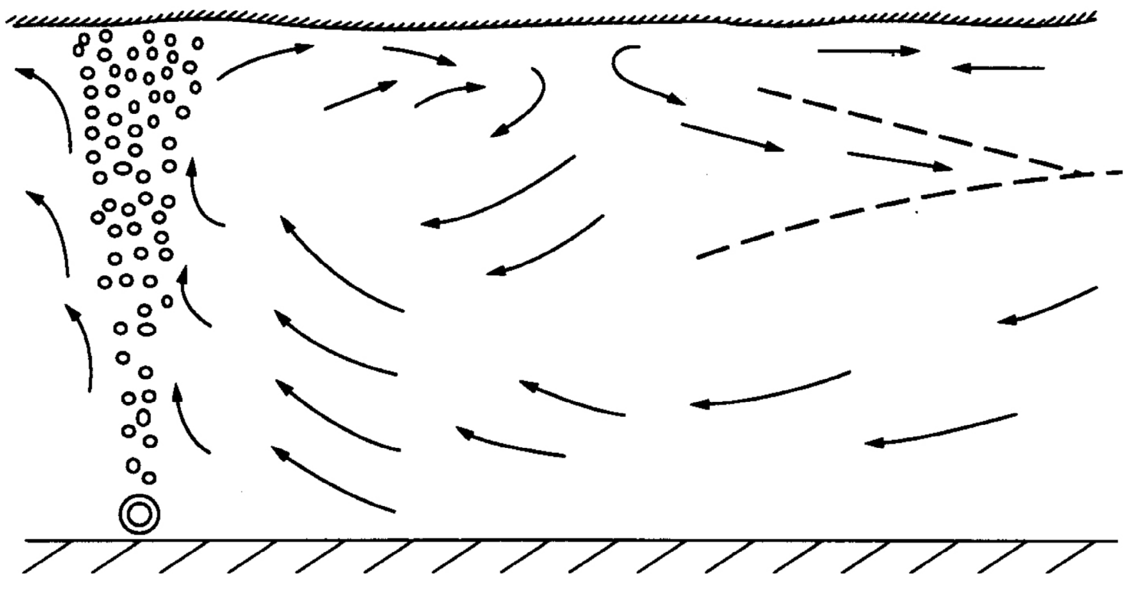
Σχήμα 31 : *Σύστημα μεταβλητού βάθους υδροληψίας [2]*



Σχήμα 32 : *Σύστημα μηχανικής ανάδευσης [2]*



<u>Σχήμα 33</u> : *Τεχνική έγχυσης του αέρα [2]*



<u>Σχήμα 34</u> : *Σχήμα στροβιλισμού του νερού κατά την τεχνική έγχυσης του αέρα*

3. Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για την επεξεργασία του νερού ως πόσιμο

Θα λάβουν χώρα εργαστηριακές δοκιμές για την εύρεση της βέλτιστης επεξεργασίας του νερού για πόσιμο. Θα εξετασθούν οι παρακάτω διεργασίες:

- Κροκίδωση
- Διήθηση (*αμμοδιύλιση*)
- Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
- Χλωρίωση

Οι παράμετροι που ληφθούν υπ' όψιν για την αξιολόγηση των διεργασιών επεξεργασίας είναι:

- Θολότητα
- Ολικός οργανικός άνθρακας
- Σίδηρος και Μαγγάνιο
- Χημικές ουσίες γεύσης
- Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Ως αποτέλεσμα των εργαστηριακών αυτών δοκιμών θα προκύψουν χρήσιμα τεχνικά στοιχεία που θα χρειαστούν από τον μελετητή, για τον τεχνικό σχεδιασμό του διυλιστηρίου πλήρους κλίμακας, όπως οι απαιτούμενες δόσεις των κροκιδωτικών, οι απαιτούμενοι χρόνοι επεξεργασίας, η πιθανή απαίτηση για εναλλακτικά απολυμαντικά μέσα, η αναμενόμενη ποιότητα του επεξεργασμένου νερού.

Κεφάλαιο $8^{ο}$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ 7</u> : *Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων πεδίου 1ης δειγματοληψίας*

DATE	TIME	DEPTH (m)	TEMPERATURE (^{0} C)	PH	CONDUCTIVITY (25 ^{0} C) μS/cm	TURBIDITY (NTU)	DO (mg/L)	TDS (g/L)
12/08/2011	11:02:47	0.15	28.03	8.01	403	0.1	8.16	0.262
12/08/2011	11:04:12	0.95	27.55	8.17	403	0.4	7.78	0.262
12/08/2011	11:05:31	1.75	27.44	8.22	403	0.6	8.59	0.262
12/08/2011	11:08:06	3.00	27.35	8.09	404	0.4	7.97	0.263
12/08/2011	11:14:29	3.75	27.32	8.22	401	0.7	8.19	0.260
12/08/2011	11:15:34	5.20	26.84	8.18	406	1.2	9.29	0.264
12/08/2011	11:17:08	5.75	26.65	8.14	420	2.3	10.70	0.273
12/08/2011	11:21:38	7.15	18.88	8.08	442	5.0	9.05	0.288
12/08/2011	11:20:05	8.20	17.79	7.82	441	4.1	9.89	0.287
12/08/2011	11:25:52	9.15	16.55	7.60	442	3.1	7.69	0.287
12/08/2011	11:28:46	9.90	14.38	7.40	448	2.2	4.10	0.291
12/08/2011	11:27:09	11.10	14.49	7.19	401	1.7	4.18	0.287
12/08/2011	11:29:45	12.10	13.82	7.20	445	1.0	3.79	0.289
12/08/2011	11:30:27	13.05	13.11	7.14	444	0.9	2.73	0.288
12/08/2011	11:31:13	14.30	12.67	7.08	445	0.7	2.50	0.289
12/08/2011	11:32:22	14.80	12.37	7.25	446	0.8	2.20	0.290
12/08/2011	11:43:07	16.10	12.15	7.29	448	1.2	1.90	0.291
12/08/2011	11:41:56	16.95	11.99	7.27	449	1.2	1.82	0.292
12/08/2011	11:39:12	17.95	12.12	7.26	448	1.2	1.43	0.291
12/08/2011	11:40:28	19.30	11.96	7.22	449	2.0	1.37	0.292
12/08/2011	11:38:27	20.00	12.15	7.18	448	1.8	1.29	0.291
12/08/2011	11:37:30	20.80	12.08	7.20	448	1.9	1.38	0.291

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ 8</u> : *Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων πεδίου 2ης δειγματοληψίας*

DATE	TIME	DEPTH (m)	TEMPERATURE (^{0} C)	PH	CONDUCTIVITY (25 ^{0} C) μS/cm	TURBIDITY (NTU)	DO (mg/L)	TDS (g/L)
21/10/2011	10:48:47	0.00	19.31	8.24	401	6.4	5.97	0.260
21/10/2011	10:50:20	1.00	19.24	8.02	402	6.7	5.24	0.261
21/10/2011	10:51:40	2.20	19.21	7.99	403	6.9	5.02	0.262
21/10/2011	10:54:47	3.10	19.19	7.99	405	7.1	4.83	0.263
21/10/2011	10:58:34	4.10	19.20	7.89	405	6.6	4.66	0.263
21/10/2011	10:55:48	5.10	19.18	7.93	405	5.8	4.61	0.263
21/10/2011	10:59:23	6.05	19.18	7.87	405	6.7	4.48	0.264
21/10/2011	11:01:33	7.25	19.19	7.85	407	6.0	4.31	0.264
21/10/2011	11:00:30	8.15	19.18	7.86	406	6.3	4.36	0.264
21/10/2011	11:06:24	8.75	17.42	7.79	436	15.7	1.15	0.283
21/10/2011	11:07:33	10.40	17.40	7.56	425	12.3	3.20	0.276
21/10/2011	11:08:14	10.50	16.44	7.32	440	12.9	1.36	0.286
21/10/2011	11:09:19	11.25	15.48	7.08	443	10.4	0.69	0.288
21/10/2011	11:10:15	12.05	14.14	7.13	446	8.2	0.55	0.290
21/10/2011	11:11:09	13.20	13.36	7.00	449	5.9	0.48	0.292
21/10/2011	11:26:04	13.90	12.70	7.77	454	3.8	0.33	0.295
21/10/2011	11:25:05	15.10	12.40	7.81	453	2.5	0.34	0.295
21/10/2011	11:24:24	16.05	12.29	7.79	454	1.7	0.36	0.295
21/10/2011	11:23:39	17.20	12.22	7.80	453	1.5	0.38	0.295
21/10/2011	11:22:52	18.15	12.27	7.79	453	1.4	0.39	0.295
21/10/2011	11:22:07	18.85	12.23	7.79	454	1.5	0.41	0.295
21/10/2011	11:21:25	19.85	12.27	7.72	453	1.7	0.43	0.294
21/10/2011	11:20:46	20.75	12.32	7.69	452	2.0	0.45	0.294
21/10/2011	11:19:17	22.10	12.46	7.77	452	3.0	0.57	0.294
21/10/2011	11:17:53	23.55	12.63	7.41	450	3.0	0.87	0.293
21/10/2011	11:27:30	27.25	12.14	7.36	454	2.3	0.27	0.295

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων 1ης δειγματοληψίας*

Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Θολερότητα	pH Ενεργός Οξύτης	Αγωγιμότητα (20^0C)	Σκληρότητα			Χλωριόντα	Αλκαλ.	Θειικά	Βρώμιο	Φθόριο	Ολικός Φώσφορος	Φωσφόρος	Νιτρικά	Νιτρώδη	Αμμώνιο	Ασβέστιο	Μαγνήσιο	Κάλιο	Νάτριο	Βόριο	Λίθιο
							Ολική	Παροδική	Μόνιμη	(ως Cl)	(ως $CaCO_3$)	(ως SO_4)	(ως Br)	(ως F)	(ως TP)	(ως P_2O_5)	(ως NO_3)	(ως NO_2)	(ως NH_4)	(ως Ca)	(ως Mg)	(ως K)	(ως Na)	(ως B)	(ως Li)
				NTU		μS/cm	Γαλλικοί βαθμοί			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l
			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΗ	1	6,5-9,5	2,500				250		250		1.5		5	50	0.5	0.5			12	200		
1	12/08/2011	4621	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1.14	8.1	354	16.8	14.3	2.5	31	143	27.8	0.304	0.150	<0.05	<0.03	0.93	0.013	<0.07	44	14.1	3.0	14.1	<10	<10
2	12/08/2011	4622	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1.46	8.3	358	16.6	14.3	2.3	34	143	28.8	0.351	0.126	<0.05	<0.03	0.34	<0.01	<0.07	43	14.2	3.2	22.4	<10	<10
3	12/08/2011	4623	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	2.34	7.9	397	19.6	17.3	2.3	30	173	26.7	0.349	0.131	<0.05	<0.03	1.7	<0.01	<0.07	57	13.0	3.2	17.3	<10	<10
4	12/08/2011	4624	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1.28	7.7	390	19.5	17.0	2.5	29.2	170	23.7	0.329	0.121	<0.05	<0.03	1.8	<0.01	<0.07	57	12.9	3.4	17.3	<10	<10
5	12/08/2011	4625	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1.47	8.0	367	17.4	14.8	2.6	27.6	148	23.8	0.308	0.101	<0.05	<0.03	0.74	<0.01	<0.07	47	13.8	3.2	18.2	<10	<10
6	12/08/2011	4626	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	9.73	7.7	400	19.8	17.0	2.8	25.8	170	22.8	0.323	0.109	<0.05	<0.03	1.8	0.017	0.08	58	13.0	3.3	17.0	29	<10

Τα όρια ποσοτικοποίησης για τις ακόλουθες παραμέτρους είναι: TP : 0.05 mg/L, P_2O_5 : 0.05 mg/L, NO_2 :0.01mg/L, NH_4: 0.07 mg/L, B: 10 μg/L, Li: 10 μg/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων βαρέων μετάλλων 1ης δειγματοληψίας*

Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Ολικός Σίδηρος (Fe) μg/l	Υδατοδ/τος Σίδηρος (Fe) μg/l	Ολικό Μαγγάνιο (Mn) μg/l	Υδατοδ/το Μαγγάνιο (Mn) μg/l	Ολικό Νικέλιο (Ni) μg/l	Ολικός Χαλκός (Cu) μg/l	Ολικός Ψευδάργυρος (Zn) μg/l
		ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΗ		200		50		20	2,000	
1	12/08/2011	4621	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	44	34	9	7	<1	15	4
2	12/08/2011	4622	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	49	38	11	5	<1	3	2
3	12/08/2011	4623	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	54	39	12	6	1	14	5
4	12/08/2011	4624	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	58	42	13	6	2	8	5
5	12/08/2011	4625	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	63	44	19	6	<1	12	6
6	12/08/2011	4626	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	371	166	115	18	3	15	11

Τα όρια ποσοτικοποίησης για τις ακόλουθες παραμέτρους είναι: Ni : 1 μg/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: *Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων 1ης δειγματοληψίας*

Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Total Coliforms	*Escherichia coli*	Enterococci	Αριθμός αποικιών 37°C	Αριθμός αποικιών 22°C	*Pseudomonas aeruginosa*	*Clostridium perfringens*	*Salmonella spp*
				cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/ml	cfu/ml	cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/l
1	12/08/2011	4621	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1	<1	<1	167	182	<1	3	Απουσία
2	12/08/2011	4622	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	<1	<1	<1	152	163	<1	5	Απουσία
3	12/08/2011	4623	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	2	1	1	156	161	<1	16	Απουσία
4	12/08/2011	4624	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1	<1	<1	135	142	<1	7	Απουσία
5	12/08/2011	4625	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	1	<1	<1	83	89	<1	4	Απουσία
6	12/08/2011	4626	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	<1	<1	5	78	85	<1	5	Απουσία

Τα όρια ανίχνευσης για τους παραπάνω μικροοργανισμούς είναι το 1 cfu/100mL εκτός του μικροοργανισμού *Salmonella spp* που είναι: 1 cfu/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων 2ης δειγματοληψίας*

Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Θολερότητα	pH Ενεργός Οξύτης	Αγωγιμότητα	Σκληρότητα Ολική	Σκληρότητα Παροδική	Σκληρότητα Μόνιμη	Χλωριόντα (ως Cl)	Αλκαλ. (ως $CaCO_3$)	Θειικά (ως SO_4)	Βρώμιο (ως Br)	Φθόριο (ως F)	Ολικός Φώσφορος (ως TP)	Φωσφόρος (ως P_2O_5)	Νιτρικά (ως NO_3)	Νιτρώδη (ως NO_2)	Αμμώνιο (ως NH_4)	Ασβέστιο (ως Ca)	Μαγνήσιο (ως Mg)	Κάλιο (ως K)	Νάτριο (ως Na)	Βόριο (ως B)	Λίθιο (ως Li)
				NTU		μS/cm	Γαλλικοί βαθμοί			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/l	μg/l
			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΗ	1	6,5-9,5	2,500				250		250		1.5		5	50	0.5	0.5			12	200		
1	20/10/2011	6749	ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ	2.37	7.5	431	20.6	18.5	2.1	26.8	185	18.2	0.219	0.101	<0.05	<0.03	1.8	0.014	0.08	62	12.5	3.9	15.7	<10	<10
2	20/10/2011	6750	AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	2.26	7.6	443	21.1	18.3	2.8	30	183	23.8	0.246	0.147	<0.05	<0.03	<0.3	0.016	0.09	62	13.7	3.6	16.8	<10	<10
3	20/10/2011	6751	ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)	4.20	7.5	746	36	16.0	20.0	65	160	154	0.298	0.325	<0.05	<0.03	0.38	0.012	0.08	104	24	4.3	31	105	<10
1	21/10/2011	6767	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	5.80	8.0	362	17.9	13.0	4.9	27.2	130	29.3	0.204	0.097	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	47	14.9	3.5	17.8	<10	<10
2	21/10/2011	6768	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	5.45	8.1	383	16.9	13.5	3.4	26.4	135	25.1	0.201	0.098	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	44	14.3	3.5	17.6	<10	<10
3	21/10/2011	6769	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	10.3	7.8	386	18.1	14.0	4.1	28.7	140	24.0	0.198	0.094	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	50	13.7	3.8	16.5	<10	<10
4	21/10/2011	6770	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4.68	7.7	390	18.3	14.5	3.8	28.2	145	19.9	0.197	0.117	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	51	13.6	3.6	17	<10	<10
5	21/10/2011	6771	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	3.70	7.9	390	18.8	15.0	3.8	27.6	150	19.1	0.199	0.128	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	53	13.5	3.6	16.7	<10	<10
6	21/10/2011	6772	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	3.56	7.6	406	19.8	18.0	1.8	22.8	180	16.7	0.26	0.136	<0.05	<0.03	<0.3	<0.01	<0.07	58	13.0	3.6	16	18	<10

Τα όρια ποσοτικοποίησης για τις ακόλουθες παραμέτρους είναι: TP : 0.05 mg/L, P_2O_5 : 0.05 mg/L, NO_2 :0.01mg/L, NH_4: 0.07 mg/L, B: 10 μg/L, Li: 10 μg/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: *Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων βαρέων μετάλλων 2ης δειγματοληψίας*

Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Ολικός Σίδηρος (Fe) μg/l	Υδατοδ/τος Σίδηρος (Fe) μg/l	Ολικό Μαγγάνιο (Mn) μg/l	Υδατοδ/το Μαγγάνιο (Mn) μg/l	Ολικό Νικέλιο (Ni) μg/l	Ολικός Χαλκός (Cu) μg/l	Ολικός Ψευδάργυρος (Zn) μg/l
			ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΗ	200		50		20	2,000	
1	20/10/2011	6749	ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ	415	304	696	464	4	19	36
2	20/10/2011	6750	AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	224	149	1905	950	4	20	40
3	20/10/2011	6751	ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)	104000	854	887	600	5	35	96
1	21/10/2011	6767	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	244	104	40	32	1	4	10
2	21/10/2011	6768	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	146	58	64	58	1	10	12
3	21/10/2011	6769	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	273	128	71	62	2	12	18
4	21/10/2011	6770	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	78	54	238	185	2	14	20
5	21/10/2011	6771	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	200	137	384	278	2	14	20
6	21/10/2011	6772	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	317	208	737	420	4	25	39

Τα όρια ποσοτικοποίησης για τις ακόλουθες παραμέτρους είναι: Ni : 1 μg/L

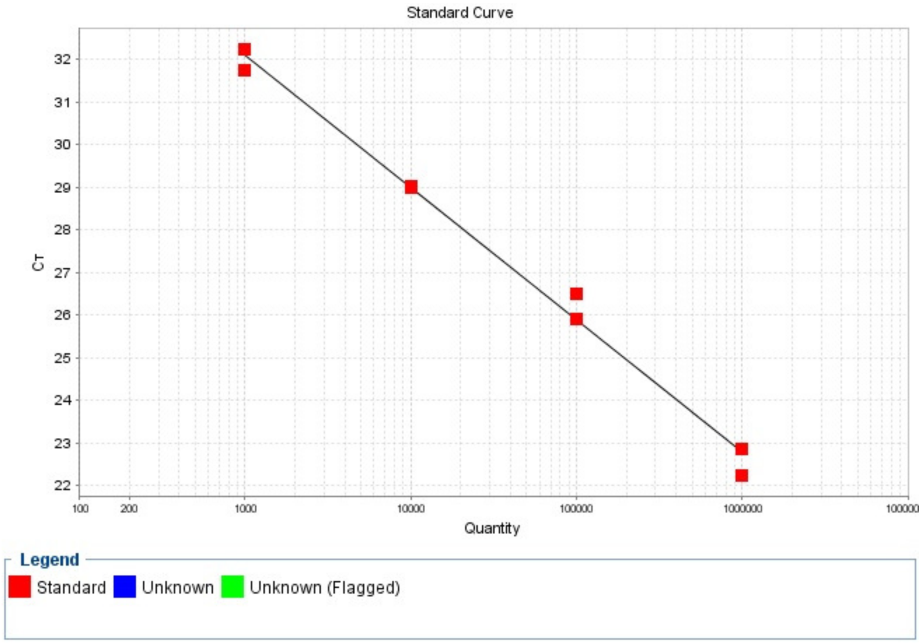
Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ 14</u>: *Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων 2ης δειγματοληψίας*

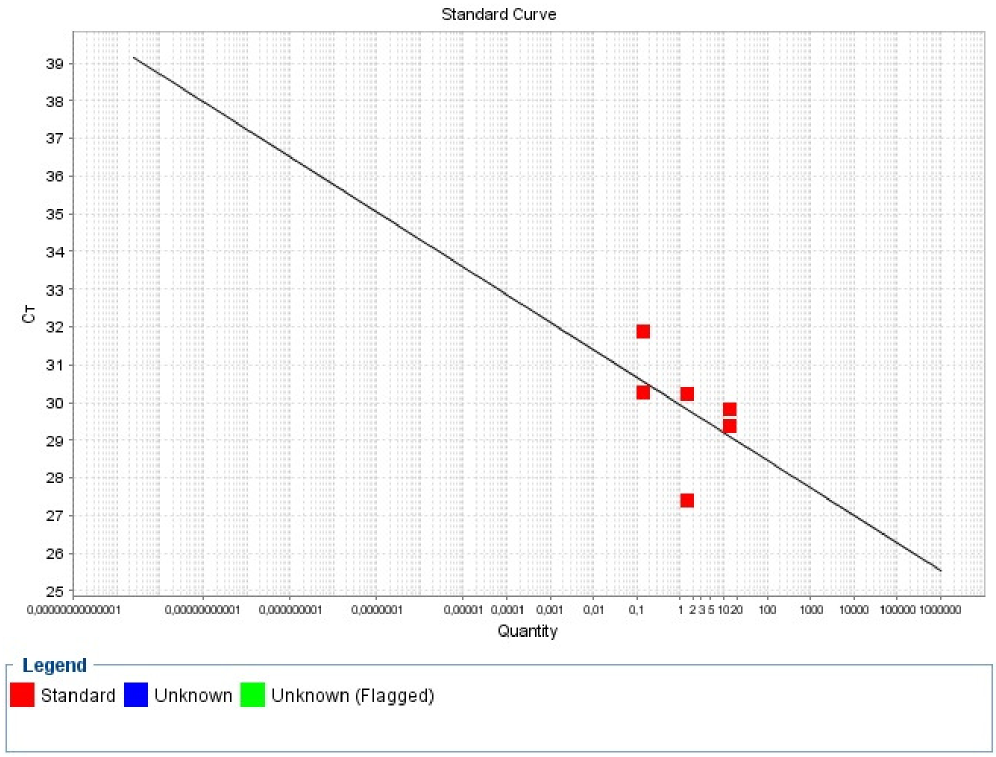
Α/Α	Ημ/νία δειγματοληψίας	Κωδικός εργαστηρίου	Σημείο δειγματοληψίας	Total Coliforms	Escherichia coli	Enterococci	Αριθμός αποικιών 37°C	Αριθμός αποικιών 22°C	Pseudomonas aeruginosa	Clostridium perfringens	Salmonella spp
				cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/ml	cfu/ml	cfu/100ml	cfu/100ml	cfu/l
1	20/10/2011	6749	ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΑΡΧΕΙΟ	15	5	2	53	47	<1	1	Απουσία
2	20/10/2011	6750	AGRECO (ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΕΡΑΣΕΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	7	4	1	20	24	<1	2	Απουσία
3	20/10/2011	6751	ΑΔΕΛΙΑΝΟΣ ΚΑΜΠΟΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ (ΠΑΛΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ)	4	2	2	103	112	<1	<1	Απουσία
1	21/10/2011	6767	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 2m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	540	180	110	138	245	5	4	Απουσία
2	21/10/2011	6768	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 5m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	170	86	22	118	212	2	18	Απουσία
3	21/10/2011	6769	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 10m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	90	25	11	256	>300	5	20	Απουσία
4	21/10/2011	6770	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 15m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	35	15	5	105	158	3	16	Απουσία
5	21/10/2011	6771	ΘΕΣΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ : 20m ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	24	12	3	114	207	3	11	Απουσία
6	21/10/2011	6772	ΕΞΟΔΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	17	9	2	26	32	<1	3	Απουσία

Τα όρια ανίχνευσης για τους παραπάνω μικροοργανισμούς είναι το 1 cfu/100mL εκτός του μικροοργανισμού *Salmonella spp* που είναι: 1 cfu/L

Οι παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ. Οι μέθοδοι ανάλυσης αναφέρονται στον Πίνακα 2



<u>Σχήμα 35</u> : *Πρότυπη καμπύλη Cryptosporidium [Quantity (copies/ml) – Cτ (κύκλος αντίδρασης)]*



<u>Σχήμα 36</u> : *Πρότυπη καμπύλη Giardia [Quantity (ng/μl) – Cτ (κύκλος αντίδρασης)]*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 7 : *Φράγμα Ποταμών*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 8 : *Κτίριο ΟΑΔΥΚ στο φράγμα ποταμών*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ9 : *Σημείο υπερχειλιστήρα*

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 10</u> : Τεχνικά *χαρακτηριστικά φράγματος ποταμών*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 11</u> : *Πολύμετρο Horiba – αυτοκίνητο δειγματοληψίας ΧΗΜΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ*

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 12</u> : *Πλωτό σκάφος δειγματοληψίας του κ. Δασκαλάκη Σάββα*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 13 : *Δειγματοληψία νερού φράγματος με αυτόματο δειγματολήπτη*

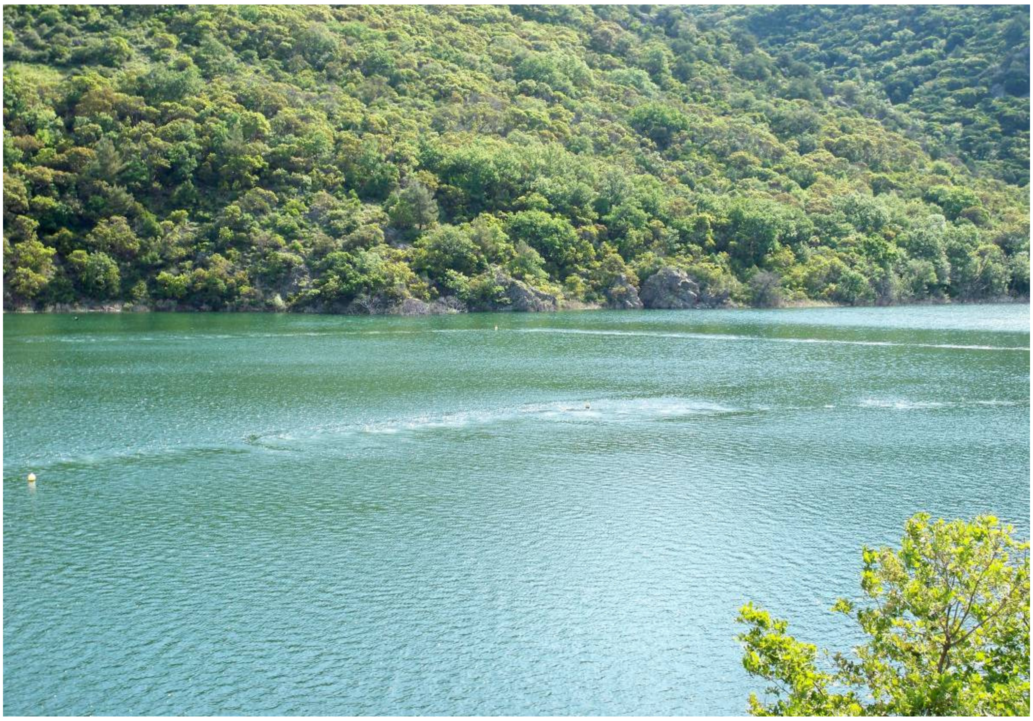
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 14 : *Μέτρηση παραμέτρων πεδίου*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 15 : *Δειγματοληψία πρωτοζώων*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 16 : *Έξοδος Φράγματος- εμφανές το χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα λόγω της παρουσίας μαγγανίου, σιδήρου.*

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΕ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 17 : *Φράγμα Αλεξανδρούπολης σημείο πλωτής υδροληψίας*



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 18 : *Φράγμα Αλεξανδρούπολης – Στροβιλισμός νερού*

<u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 19</u> : *Διυλιστήριο Δ.Ε.Υ.Α Αλεξανδρούπολης – Αμμόφιλτρο*

Κεφάλαιο 9ο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ:

1. Νταράκας, Ε. (2010) , *Προστασία Περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη,* Σημειώσεις του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Στοιχεία Χημείας Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

2. Μήτρακας, Μ. (ΔΕΔΥΤ 2008), *Ύδρευση από επιφανειακά νερά Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα,* Τμήμα Χημικών Μηχανικών Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.

3. Μήτρακας, Μ. (2001), *Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού – Μειονεκτήματα,* Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

4. Λίμνες, ΔΗΜΟΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ «: Πηγές έμπνευσης για το πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης» Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων

5. Φιλίντας, Α., Πολύζος Σ., *Φράγματα, λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις,* Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου - Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, ΤΕΙ Λάρισας & Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφ. Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

6. Καλημέρη, Μ. (2004), *Ποιοτικός Έλεγχος των Υδάτων Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη,* Χανιά

7. Λούκας, Α. (2007), *Ποιότητα του νερού στους ταμιευτήρες,* Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

8. Λύτρας, Ε. (2009), *Η ποιότητα του ανεπεξέργαστου και πόσιμου νερού από το 2000 μέχρι σήμερα,* Ζάππειο Μέγαρο

9. Μηνασίδου, Κ. (2005), *Μεταβολή της ποιότητας του νερού κατά την ταμίευση,* Μυτιλήνη

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ:

10. ISO 14911:1998 Water quality -- Determination of dissolved Li+, Na+, NH4+, K+, Mn^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Sr^{2+} and Ba^{2+} using ion chromatography -- Method for water and waste water

11. ISO 9390:1990 (Water quality Determination of borate – Spectrometric method using azomethine – H)

12. APHA 4500- P 21TH edition

13. APHA 3113 – B 21TH edition

14. SPME Solid Phase Microextraction of Odors in Drinking Water, for Analysis by GC/MS» της Supelco Application Note 147.

15. ISO 9308-1:2000 (E) «Water quality – Detection and enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria. Part 1: Membrane filtration method

16. ISO 12780:2002 «(E) Water quality – Detection and enumeration of Pseudomonas aeruginosa by membrane filtration»

17. ISO 7899-2:2000 «(E) Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci - Part 2: Membrane filtration method.»

18. ISO 6461-2:1986 « Water quality – Detection and enumeration of Clostridium perfringens - Part 2: Membrane filtration method.

19. Solid Phase Microextraction of Odors in Drinking Water, for Analysis by GC/MS Application Note 147

20. EPA Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/IMS/FA December 2005

21. REAL – TIME PCR FROM THEORY TO PRACTICE invitrogen

22. Alonso J., Amoros I., Canigral I., Development and evaluation of a real-time PCR assay for quantification of Giardia and Cryptosporidium in sewage samples, Springer-Verlag 2010, **89**, 1203–1211 (2010).

23. Guy R., Payment P., Krull U., Horgen P., Real – Time PCR for Quantification of Giardia and Cryptosporidium in Environmental Water Samples and Sewage, American Society for Microbiology, **69**, 5178–5185

24. Marcheggiani S., Mancini L., Microbiological Quality of River Sediments and Primary Prevention, National Institute of Health - Dep Environment and Primary Prevention Viale Regina Elena, **6**, 118-138

25. Lucas B., Nordin R., (1997), *Field Methods For Giardia and Cryptosporidium Sample Collection,* British Columbia.

26. Bella S., T.-Y. Tam, Giardia and Cryptosporidium in sewage – contaminated river waters, Elsevier Science Ltd., **32**, 2860-2864 (1998)

27. Alia M.A., Herrawyb, Hawaarya, (2004), Giardia and Cryptosporidium in two different types of drinking water treatment facilities, **38**, 3931-3939 (2004)

28. Antonio J., Hermidaa C., Presedoa I. G., Almeidab A., Warletaa M. G., Correia J.M., Costab C., Presence of Cryptosporidium spp. and Giardia duodenalis through drinking water, Science of the total Environment, , **405**, 45-53

29. Antonio J., Hermidaa C., Presedoa I. G., Almeidab A., Warletaa M. G., Correia J.M., Costab C., Detection of Cryptosporidium spp. and Giardia duodenalis in surface water: A health risk for humans and animals, Water Research, **43**, 4133-4142 (2009)

30. Cees B., Zoeteman J., Piet G., (1974), *Cause and identification of taste and odour compounds in water,* The Science of total Environment, **3**, 103-115 (1974)

31. Parinet J., Rodriguez M., Serodes J., Influence of water quality on the presence of off- flavor compounds (geosmin and 2-methylisoborneol), Water Research, **44**, 5847-5856 (2010)

32. Shirivasan R., George A., Treatment of taste and odor causing compounds 2- methyl isoborneol and geosmin in drinking water, Journal of Environmental Sciences **23,** 1–13 (2010).

33. Izaguirre G., Hwang C., Krasner S., Mcguire M., Geosmin and 2-Methylisoborneol from Cyanobacteria in Three Water Supply Systems, Applied and Environmental Microbiology, **43**, 708-714 (1982).

34. Wang Y., Xia H., Fu J., Sheng G., (2004), Water quality change in reservoirs of Shenzhen, China: detection using LANDSATyTM data State Key, Science of the total Environment, **328** 195–206 (2004)

35. Brainwood M.A., Burgin S., Maheshwari B. Temporal variations in water quality of farm dams:impacts of land use and water sources,Agricultural water management, 70, 151-175 (2004).