



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ  
ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ  
ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ : ΦΙΛΙΠΠΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : ΔΕΚΤΟΡΑΣ ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ  
ΑΡΗΣ



ΒΟΛΟΣ, 2004



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4448/1  
Ημερ. Εισ.: 05-07-2005  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΣΕ-ΔΑΠΦΠ  
2004  
ΦΙΛ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	σελ.1
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	σελ.2
<b>2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΟΡΕΣΤΙΑΔΑΣ</b>	σελ.7
2.1 Περιοχή έρευνας	σελ.7
2.2 Γεωγραφικά στοιχεία	σελ.9
2.3 Υδρογεωμορφολογικά στοιχεία	σελ.10
2.4 Φερτά υλικά και ρύποι στη λίμνη της Καστοριάς	σελ.12
2.5 Γεωλογικά στοιχεία	σελ.15
2.6 Υδρογεωλογικά στοιχεία	σελ.17
2.7 Στοιχεία υδρολογίας, επιφανειακού & υπόγειου υδατικού ισοζυγίου	σελ.20
2.8 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λίμνης της Καστοριάς	σελ.23
2.9 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά	σελ.24
2.10 Νομοθετικές ρυθμίσεις και Διεθνείς Συμβάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος στη περιοχή έρευνας	σελ.26
<b>3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	σελ.29
3.1 Αποξυγόνωση του νερού λόγω οξείδωσης των οργανικών ουσιών	σελ.29
3.2 Επαναερισμός του νερού των υδάτινων συστημάτων	σελ.31
3.3 Ισοζύγιο οξυγόνου στο νερό των υδατορευμάτων	σελ.34
3.4 Ισοζύγιο οξυγόνου με νιτροποίηση και φωτοσύνθεση	σελ.36
3.5 Εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας ουσιών στα υδατορεύματα	σελ.39
3.6 Ευτροφισμός	σελ.40
<b>4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	σελ.46
4.1 Γενικά	σελ.46
4.2 Το άζωτο στα απόβλητα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους	σελ.48
4.3 Διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου στα υδατικά συστήματα	σελ.51
4.4 Αφομοίωση του αζώτου	σελ.56
4.5 Απονιτροποίηση	σελ.57
4.6 Αμμωνιοποίηση- ανοργανοποίηση	σελ.58

<b>5. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	σελ.59
5.1 Γενικά	σελ.59
5.2 Μορφές του φωσφόρου	σελ.61
<b>6. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ</b>	σελ.64
6.1 Ρύπανση από αστικά λύματα	σελ.64
6.2 Ρύπανση από διάχυτες πηγές	σελ.66
6.3 Ρύπανση από όμβριες απορροές	σελ.66
6.4 Ρύπανση από όμβριες απορροές υπαίθριων περιοχών	σελ.67
6.5 Ρύπανση από απ'ευθείας βροχόπτωση	σελ.67
6.6 Ρύπανση από χωματερές	σελ.67
6.6 Ρύπανση από παραγωγικές δραστηριότητες	σελ.68
6.8 Ρύπανση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες	σελ.69
<b>7. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ</b>	σελ.70
<b>8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ</b>	σελ.80
<b>8.1 T °C (Temperature-Θερμοκρασία)</b>	σελ.81
8.1.1 Οκτώβριος	σελ.81
8.1.2 Φεβρουάριος	σελ.83
8.1.3 Ιούλιος	σελ.85
<b>8.2 DO (Dissolved Oxygen-Διαλυμένο Οξυγόνο)</b>	σελ.87
8.2.1 Οκτώβριος	σελ.87
8.2.2 Φεβρουάριος-Μάιος	σελ.89
8.2.3 Ιούλιος	σελ.91
<b>8.3 NH<sub>4</sub> (Αμμωνιακό Άζωτο)</b>	σελ.93
8.3.1 Οκτώβριος	σελ.93
8.3.2 Φεβρουάριος-Μάιος	σελ.95
8.3.3 Ιούλιος	σελ.97
<b>8.4 NO<sub>3</sub> (Νιτρικά Άλατα)</b>	σελ.99
8.4.1 Οκτώβριος	σελ.99
8.4.2 Φεβρουάριος-Μάιος	σελ.101
8.4.3 Ιούλιος	σελ.103
<b>8.5 PO<sub>4</sub> (Ορθοφωσφορικά Άλατα)</b>	σελ.105
8.5.1 Οκτώβριος	σελ.105
8.5.2 Φεβρουάριος-Μάιος	σελ.107
8.5.3 Ιούλιος	σελ.109

<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	σελ.111
<b>10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	σελ.114
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	σελ.119
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	σελ.134

## Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στο Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με τίτλο : «Διαχείριση Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων », και έχει ως θέμα την «Ποιοτική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς και μοντέλα γεωγραφικής κατανομής της ρύπανσης».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου διατριβής, Λέκτορα κ. Ψιλοβίκο Άρη, καθώς και τα λοιπά μέλη της τριμελούς επιτροπής, Καθηγητή κ. Δαλέζιο Νικόλαο και Επίκουρο Καθηγητή κ. Κούγκολο Αθανάσιο για την καλή διάθεση, το χρόνο που διέθεσαν και την πολύτιμη βοήθεια που προσέφεραν στη συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Τμήματος Περιβάλλοντος του Δήμου, καθώς και της Νομαρχίας Καστοριάς, για τη χορήγηση των απαραίτητων στοιχείων και μελετών για τη λίμνη.

Οι θερμές ευχαριστίες μου αποτείνονται και σε όσους δεν αναφέρονται επωνύμως, η βοήθεια των οποίων ήταν καταλυτική για τη διεκπεραίωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία των γλυκών νερών για τον άνθρωπο είναι πολύ μεγάλη. Όλοι οι μεγάλοι οικισμοί, οι καλλιέργειες και γενικά οι περισσότερες από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, δημιουργήθηκαν δίπλα σε λίμνες και ποτάμια. Οι λίμνες χρήζουν ιδιαίτερης προστασίας και μεταχείρισης γιατί φιλοξενούν σημαντικούς οικοτόπους μεγάλης οικολογικής αξίας, αλλά και φυσικό πλούτο ο οποίος συνδυάζεται με την περαιτέρω οικονομική ανάπτυξη των περιοχών με ποικίλες δραστηριότητες (π.χ. αλιεία).

Η λίμνη Ορεστιάδα, η οποία περικυκλώνει την πόλη της Καστοριάς προσδίδοντας της θαυμάσια φυσικά τοπία, θα αποτελέσει το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Η λίμνη αυτή αποτελεί πολύ σημαντικό φυσικό οικοσύστημα με ποικίλους και σπάνιους επιμέρους οικοτόπους, που υποστηρίζουν μεγάλη βιοποικιλότητα στην οποία περιλαμβάνονται πολλά σπάνια και απειλούμενα είδη. Η λίμνη είναι επίσης ζωτική για την πόλη της Καστοριάς και τους γύρω Δήμους, δεδομένου ότι καθορίζει τη φυσιογνωμία τους και αφετέρου είναι ένας σημαντικός φυσικός πόρος. Η προμήθεια νερού για άρδευση από την λίμνη είναι σημαντική, καθώς υπάρχουν αρκετές αγροτικές καλλιέργειες στο νομό Καστοριάς, πολλές από τις οποίες βρίσκονται περιμετρικά της λίμνης. Ως φυσικός πλούτος παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο αναψυχής. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένα μικρό ποσοστό των κατοίκων του νομού ασχολείται με την αλιεία, επάγγελμα το οποίο τείνει να εκλείψει τα τελευταία χρόνια, καθώς και ότι στη λίμνη της Καστοριάς διεξάγονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα κωπηλατικοί αγώνες.

Δυστυχώς, τις τελευταίες δεκαετίες, η λίμνη δέχεται σημαντικές πιέσεις από ρυπαντικά φορτία που προέρχονται από τις οικιακές, βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες. Τα φορτία αυτά (κυρίως τα οργανικά), έχουν μειωθεί σημαντικά λόγω κατασκευής και λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού της πόλης από το 1991.

Η εργασία αυτή έχει τους εξής βασικούς άξονες και στόχους:

- Τη διερεύνηση όλων των στοιχείων φυσικού περιβάλλοντος της λίμνης της Καστοριάς (Γεωγραφικά, Υδρογεωμορφολογικά, Γεωλογικά, Φερτά υλικά –



Ρύποι, Υδρολογικά, Στοιχεία Επιφανειακού & Υπόγειου Υδατικού Ισοζυγίου, Μορφομετρικά και Λιμνολογικά).

- Την εισαγωγή όλων των χωρικών στοιχείων της λεκάνης απορροής της λίμνης Ορεστιάδας σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών για την εύρεση των απαραίτητων γεωγραφικών δεδομένων.
- Την εισαγωγή όλων των χρονικών στοιχείων που προκύπτουν από τα ποιοτικά δεδομένα της λίμνης και για συγκεκριμένες θέσεις μέτρησης και σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους – εποχές του έτους και τη δημιουργία ισοποσοτικών ρυπαντικών καμπυλών για όλες αυτές τις ποιοτικές παραμέτρους.
- Τη σύγκριση και αξιολόγηση της κατάστασης της ρύπανσης σε ένα χρονικό ορίζοντα μιας διετίας και συγκεκριμένα για τα έτη 2002 – 2003 και 2004 σε τρεις περιόδους – εποχές κατά τους μήνες Φεβρουάριο (τέλος χειμώνα), Μάιο (τέλος άνοιξης), Ιούλιο (καλοκαίρι) και Οκτώβριο (τέλος καλοκαιριού, αρχές φθινοπώρου). Οι μήνες έχουν επιλεγεί έτσι ώστε αφενός να απέχουν σχεδόν ισόποσα μεταξύ τους και αφετέρου να βρίσκονται στο τέλος της προηγούμενης εποχής ή στην αρχή της επόμενης.
- Τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την καταγραφή της ρύπανσης της συγκεκριμένης λίμνης, ώστε να μπορέσουν να διευκρινιστούν τα κατάλληλα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν με σκοπό να βελτιωθεί η υφιστάμενη κατάσταση.

Στο παρελθόν έχουν εκπονηθεί αρκετές μελέτες που σχετίζονται με τη λίμνη της Καστοριάς και οι οποίες οδήγησαν σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα για την κατάσταση της λίμνης, καθώς και για τα μέτρα που θα έπρεπε κάθε φορά να παρθούν για την βελτίωση αυτής της κατάστασής της. Παρακάτω γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών οι οποίες χορηγήθηκαν από τους φορείς Καστοριάς (Δήμος, Νομαρχία) και χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

Ο Βαφειάδης (1983) στη διδακτορική του διατριβή με θέμα την «Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς», επικεντρώνεται στα εξής : 1) Προσδιορισμός των υδρολογικών στοιχείων της λεκάνης απορροής της λίμνης Ορεστιάδας, 2) Καθορισμός των ισοϋέτειων καμπυλών από τα βροχομετρικά δεδομένα των ετών



1968 – 1980, 3) Προσδιορισμός του υπόγειου υδροκρίτη των καρστικών νερών της ασβεστολιθικής αυτής περιοχής, 4) Προσδιορισμός του μέσου συντελεστή κατεισδυσής σε 15,8%, 5) Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας από δοκιμαστικές αντλήσεις γεωτρήσεων και 6) Εύρεση του υδατικού ισοζυγίου. Επικεντρώθηκε δηλαδή στα ποσοτικά στοιχεία του υδατικού ισοζυγίου και στον προσδιορισμό του.

Με προγραμματική σύμβαση που υπογράφηκε στις 3 Αυγούστου 1992, ο Δήμος Καστοριάς ανάθεσε στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Δ.Π.Θ.) και στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) την εκτέλεση ερευνητικού έργου με τίτλο «Μελέτη για Εξυγίανση και Αξιοποίηση της Λίμνης Καστοριάς». Υπεύθυνος του προγράμματος ήταν ο Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος, Αν. Καθηγητής του Δ.Π.Θ. Από οργανωτική άποψη η μελέτη έχει χωριστεί σε οχτώ επιμέρους επιστημονικές θεματικές ενότητες, για κάθε μία από τις οποίες έχει οριστεί υπεύθυνος μελετητής με εκτενές σχετικό ερευνητικό και μελετητικό έργο.

Η τρίτη θεματική ενότητα, η οποία έχει εκπονηθεί από τον Α. Κοβάτση, Καθ. Α.Π.Θ., έχει τον τίτλο «Μέτρηση τοξικών ενώσεων και διαχείριση αυτών στη λίμνη της Καστοριάς». Οι προβλεπόμενες για την παρούσα θεματική ενότητα δραστηριότητες αφορούν την έρευνα σε τοξικές ουσίες που υπήρχαν τόσο στα νερά όσο και στον πυθμένα της λίμνης και ιδιαίτερα στις βασικές κατηγορίες τοξικών ουσιών όπως 1) Φυτοφάρμακα διαφόρων κατηγοριών (οργανοφωσφορικά, διθεικαρβαμιδικά κτλ.), 2) Διάφορα βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, κτλ.) και 3) Στη διαχείριση αυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το έτος 1993.

Η πρώτη θεματική ενότητα έχει εκπονηθεί από την Τρισεύγενη Γιαννακοπούλου, Επ. Καθηγήτρια Δ.Π.Θ., και έχει τον τίτλο «Μελέτη ευτροφισμού και ποιότητας νερού». Η μελέτη του ευτροφισμού και της ποιότητας του νερού αποτελεί κυρίως παρακολούθηση βασικών μεταβλητών του νερού οι οποίες σχετίζονται με τον ευτροφισμό με στόχο την απογραφή και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης της λίμνης με τη βοήθεια ποικίλων δεικτών ευτροφισμού σε σχέση με εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Δεκέμβριο 1992 έως τον Αύγουστο του 1993.

Στην έκτη θεματική ενότητα με τίτλο «Μελέτη προστασίας ορνιθοπανίδας και διαχείρισης περιφερειακής ζώνης καλαμώνων», υπεύθυνος ήταν ο Περγαντής Φώτης, Βιολόγος – Οικολόγος. Η μελέτη οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα σε σχέση με τις διαχειριστικές ανάγκες της λίμνης. Ένα τέτοιο οικοσύστημα, όπως αυτό της

λίμνης της Καστοριάς, χαρακτηρίζεται από αυξημένη ευαισθησία απέναντι σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, είναι ανάγκη να εντοπιστούν τα όρια της ισορροπίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, στα οποία επιτυγχάνεται μία άριστη διαχείριση αυτού του οικοσυστήματος, μία διαχείριση δηλαδή κατά την οποία ο ένας τομέας δραστηριότητας δεν έχει επίδραση στον άλλον, ούτε βέβαια σ' αυτό καθ' αυτό το φυσικό λιμναίο περιβάλλον. Μία διαχείριση υπό αυτή την οπτική ονομάζεται αειφορική ή βιώσιμη διαχείριση και έχει ως στόχο την εξισορρόπηση όλων των αλληλοσυγκρουόμενων τάσεων και στόχων υπό το πρίσμα της οικολογικής συνείδησης και διατήρησης του περιβάλλοντος.

Στην έβδομη θεματική ενότητα υπεύθυνος ήταν ο Λουκάκης Παύλος, Καθηγητής Α.Π.Θ. και ο τίτλος της είναι «Μελέτη οικιστικής και κοινωνικής ανάπτυξης και χωρικής αναδιάρθρωσης». Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει τη μελέτη της χωροταξικής διάρθρωσης και ανάπτυξης της περιοχής που ορίζεται από τη λίμνη της Καστοριάς και την περιβάλλουσα χερσαία ζώνη αυτής με παράλληλη προστασία, έλεγχο και ανάδειξη των φυσικών ιδιαιτεροτήτων των λιμναίων οικοσυστημάτων.

Στην όγδοη θεματική ενότητα, με τίτλο «Εφαρμογή μοντέλου ποιότητας και διαχείριση πηγών ρύπανσης», υπεύθυνος ήταν ο Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος, Αν. Καθηγητής Δ.Π.Θ. Το συγκεκριμένο τμήμα της μελέτης καλύπτει το θέμα της ρύπανσης της λίμνης και της διαμόρφωσης αποδοτικών μέτρων ελέγχου. Όπως διαπιστώθηκε, η λίμνη εμφανιζόταν να έχει αφ' ενός μεν έντονο πρόβλημα υπερευτροφισμού, αφ' ετέρου δε πρόβλημα μικροβιακής ρύπανσης. Τα μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια της παρούσας θεματικής ενότητας κατέδειξαν ότι η λίμνη είναι υπερευτροφική και μάλιστα με δείκτες ακραίους σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Σημειώνεται μάλιστα ότι ο υπερευτροφισμός συνεπάγεται υπέρμετρη αύξηση της παραγωγικότητας που υποβαθμίζει έντονα την ποιότητα των νερών λόγω μείωσης ή εξάλειψης του διαλυμένου οξυγόνου, της διαφάνειας του νερού, πρόκλησης οσμών κτλ.

Το Σεπτέμβριο του 1997 η λίμνη Ορεστιάδα μελετήθηκε από την Αναπτυξιακή Καστοριάς στο «Πρόγραμμα αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προβλημάτων – Οριοθέτηση του υδροβιότοπου λίμνης Καστοριάς και ευρύτερης περιοχής του» και η οποία οδήγησε σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση των οικοσυστημάτων στην περιοχή. Εμφανίζει υψηλή πρωτογενή και δευτερογενή παραγωγικότητα, κάτι που διαφαίνεται από την πλούσια υδροχαρή και υδρόφιλη βλάστηση που περιβάλλει τη λίμνη, αλλά και από τις μεγάλες ποσότητες των

αλιευμάτων, καθώς επίσης και από τους μεγάλους πληθυσμούς υδροβίων πουλιών. Είναι η μοναδική φυσική λίμνη της Ελλάδας, στην οποία εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικής έκτασης παρόχθια δάση υδρόφιλων δέντρων, που συνιστούν σήμερα έναν από τους σπανιότερους οικοτόπους του Ευρωπαϊκού χώρου.

Το 1999, ο Δήμος Καστοριάς χρηματοδότησε και ανέθεσε ένα ερευνητικό πρόγραμμα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στην τότε Επίκουρο Καθηγήτρια του Τμήματος Βιολογίας κ. Μουστάκα – Γούνη Μαρία με τίτλο «Διερεύνηση υδροβιολογικών παραμέτρων στη λίμνη Καστοριάς – Επιλογή βέλτιστης μεθόδου αποκατάστασης της οικολογικής ισορροπίας». Από την παραπάνω μελέτη προέκυψαν πολύ σημαντικά συμπεράσματα – αποτελέσματα από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν από τον Οκτώβριο του 1998 έως τον Απρίλιο του 1999 αναφορικά με την ποιοτική κατάσταση και τις μεταβολές σε όλη τη στήλη του νερού της λίμνης σε διάφορες καθορισμένες θέσεις δειγματοληψίας.

Το 2002 μελετήθηκε η λίμνη της Καστοριάς στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Έλεγχος Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων στη Μακεδονία – Θράκη». Φορέας χρηματοδότησης ήταν το Υπουργείο Γεωργίας. Επιστημονικώς υπεύθυνη ήταν η Μουρκίδου - Παπαδοπούλου Ευθυμία. Η μελέτη βασίστηκε σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το έτος 1999 – 2000. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη είναι ότι η ποιότητα του νερού της λίμνης αυτής ήταν καλή σε σύγκριση με την κατάστασή της κατά την προηγούμενη δεκαετία και ότι τα νερά της λίμνης της Καστοριάς δεν είχαν υψηλό οργανικό φορτίο ρύπων.

Όλες οι παραπάνω μελέτες – έρευνες χρησιμοποιήθηκαν για την υποστήριξη αυτής της διατριβής. Επίσης από τις μετρήσεις του τμήματος Περιβάλλοντος του Δήμου Καστοριάς που έλαβαν χώρα το έτος 2002-2003 και 2004, γίνεται μια αξιολόγηση της όλης πορείας της λίμνης σε ένα χρονικό ορίζοντα μιας δεκαετίας.

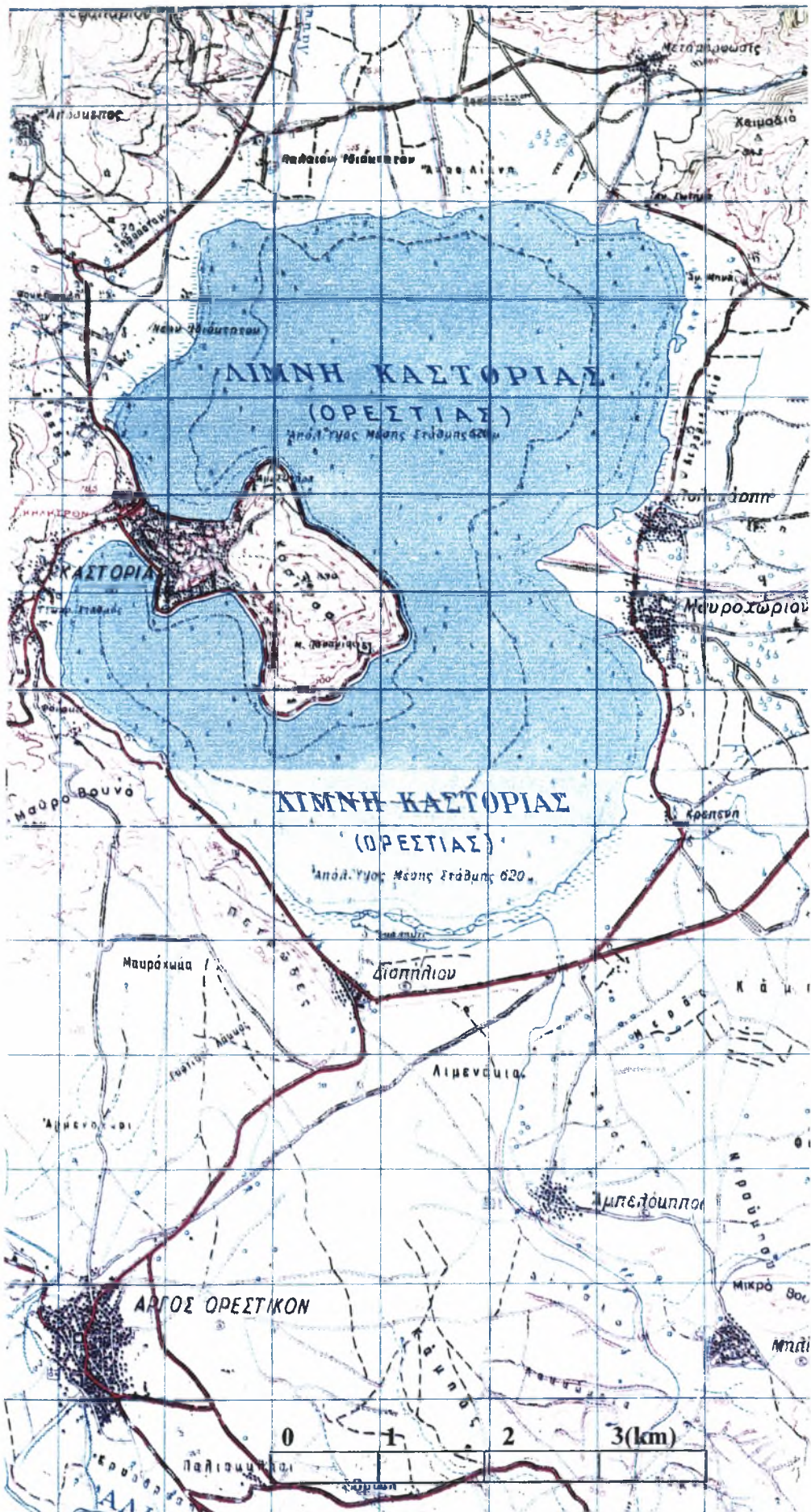
## **2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΟΡΕΣΤΙΑΔΑΣ**

### **2.1 Περιοχή έρευνας**

Ως περιοχή μελέτης ορίζεται η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Καστοριάς και οριοθετείται ως εξής (Χάρτης 2.1):

- Βόρεια από το όρος Βέρνο με ψηλότερη κορυφή το Βίτσι, που είναι και το ψηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής της λίμνης, και τα υψώματα Σπυριδάκη, Κορυφή Σικαβίτσας και Αγία Παρασκευή
- Ανατολικά από τα υψώματα Φαλακρό, Κρόνος, Δούκας, Μαυροβούνι, Στενά Κλεισούρας και Πύργος
- Νότια από τα υψώματα Πετρώδες, Μικρό Βουνό και Κορησός
- Δυτικά από τα υψώματα Κορυφή, Αγία Τριάς, Καζάνι και Περτσέλη.





Χάρτης 2.1 Τοπογραφικός χάρτης της λίμνης της Καστοριάς

## 2.2 Γεωγραφικά στοιχεία

Η λίμνη της Καστοριάς βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος Β 40°31' και γεωγραφικό μήκος Α 21°18', έχει δε μέσο απόλυτο υψόμετρο στάθμης 629,80 m. Είναι ορθογωνικής περίπου μορφής με τον μεγάλο άξονα, μήκους 7 km, εκτεινόμενο από Β προς Ν και τον μικρότερο, μεγίστου μήκους 5,5 km, εκτεινόμενο από Α προς Δ. Με την χερσόνησο της Κορίτσας αφ' ενός, εισχωρούσα από Δ μέχρι περίπου του μισού του πλάτους της λίμνης, και αφ' ετέρου του διαρκώς εκτεινομένου εντός της λίμνης δέλτα του χειμάρρου Ξηροποτάμου από Α, η λίμνη τείνει να διαχωριστεί σε δύο τμήματα, Βόρειο και Νότιο. Η λίμνη είναι μια ρηχή καρστική λεκάνη με μέση επιφάνεια 27,9 km<sup>2</sup>, μέσο βάθος νερού 4,40 m και μέγιστο βάθος 9,10 m.

Οι Δήμοι και τα Δημοτικά Διαμερίσματα (Δ.Δ.) του Νομού Καστοριάς κατά τη διοικητική τους διαίρεση με το Σύστημα «Καποδίστριας» είναι τα εξής:

1. Δήμος Καστοριάς: Δ.Δ. Καστοριάς
2. Δήμος Αγ. Τριάδας: Δ.Δ. Μανιάκων, Δ.Δ. Αυγής, Δ.Δ. Κορομηλιάς, Δ.Δ. Λεύκης, Δ.Δ. Ομορφοκκλησιάς, Δ.Δ. Πενταβρύσου, Δ.Δ. Τσάκονης, Δ.Δ. Χιλιοδένδρου
3. Δήμος Αγ. Αναργύρων: Δ.Δ. Κορησού, Δ.Δ. Βασιλειάδας, Δ.Δ. Λιθιάς, Δ.Δ. Μελισσοτόπου
4. Δήμος Ακριτών: Δ.Δ. Ακριτών, Δ.Δ. Πολυάνεμον
5. Δήμος Αλιάκμονα: Δ.Δ. Μεσοποταμιάς, Δ.Δ. Αγία Κυριακή, Δ.Δ. Καλοχωρίου, Δ.Δ. Οινόης, Δ.Δ. Πτεριάς
6. Δήμος Βιτσίου: Δ.Δ. Βιτσίου
7. Δήμος Ίωνος Δραγούμη: Δ.Δ. Βογατσικού, Δ.Δ. Αμπελοκήπων, Δ.Δ. Γέρμα Δ.Δ. Κωσταραζίου, Δ.Δ. Μηλίτσας
8. Δήμος Κλεισούρας: Δ.Δ. Κλεισούρας
9. Δήμος Κορεστειών: Δ.Δ. Γάβρου, Δ.Δ. Αγίου Αντωνίου, Δ.Δ. Κρασιάνος, Δ.Δ. Μακροχωρίου, Δ.Δ. Μαυροκάμπου, Δ.Δ. Μελά, Δ.Δ. Χαλάρων
10. Δήμος Μακεδνών: Δ.Δ. Μαυροχωρίου, Δ.Δ. Δισπηλιού, Δ.Δ. Πολυκάρπης
11. Δήμος Νεστορίου: Δ.Δ. Νεστορίου, Δ.Δ. Κοτύλης, Δ.Δ. Κυψέλης, Δ.Δ. Πτελέας



12. Δήμος Ορεστίδος: Δ.Δ. Άργους Ορεστικού, Δ.Δ. Αγίου Ηλία, Δ.Δ. Αμμουδάρας, Δ.Δ. Ασπροκκλησιάς, Δ.Δ. Βράχου, Δ.Δ. Διαλεκτού, Δ.Δ. Καστανοφύτου, Δ.Δ. Λάγκας, Δ.Δ. Μελανθίου, Δ.Δ. Νοστίμου, Δ.Δ. Σπηλαίων
13. Κοινότητα Αρρένων: Κ.Δ. Επταχωρίου, Κ.Δ. Ζούζουλης, Κ.Δ. Χρυσής
14. Κοινότητα Γράμμου Κ.Δ. Γράμμου
15. Κοινότητα Καστρακίου Κ.Δ. Ιεροπηγής, Κ.Δ. Δενδροχωρίου

Τα Δ.Δ. του Νομού Καστοριάς που περιλαμβάνονται στην λεκάνη απορροής της λίμνης Ορεστιάδας είναι τα παρακάτω:

1. Δήμος Καστοριάς: Δ.Δ. Καστοριάς
2. Δήμος Αγ. Τριάδας: Δ.Δ. Μανιάκων, Δ.Δ. Αυγής, Δ.Δ. Κορομηλιάς, Δ.Δ. Λεύκης, Δ.Δ. Ομορφοκκλησιάς, Δ.Δ. Πενταβρύσου, Δ.Δ. Τσάκονης, Δ.Δ. Χιλιοδένδρου
3. Δήμος Αγ. Αναργύρων: Δ.Δ. Κορησού, Δ.Δ. Βασιλειάδας, Δ.Δ. Λιθιάς, Δ.Δ. Μελισσοτόπου
4. Δήμος Βιτσίου: Δ.Δ. Βιτσίου
5. Δήμος Ίωνος Δραγούμη: Δ.Δ. Βογατσικού, Δ.Δ. Αμπελοκήπων, Δ.Δ. Γέρμα Δ.Δ. Κωσταραζίου, Δ.Δ. Μηλίτσας
6. Δήμος Μακεδνών: Δ.Δ. Μαυροχωρίου, Δ.Δ. Δισπηλιού, Δ.Δ. Πολυκάρπης
7. Κοινότητα Αρρένων: Κ.Δ. Επταχωρίου, Κ.Δ. Ζούζουλης, Κ.Δ. Χρυσής
8. Κοινότητα Γράμμου Κ.Δ. Γράμμου

### 2.3 Υδρογεωμορφολογικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής της λίμνης εκτείνεται από τις κορυφές του όρους Βέρνου (Βίτσι, 2.128 m) και υψώματος Σπυριδάκη (1.498 m) προς Β μέχρι τις κορυφές των υψωμάτων Πετρώδες (802 m), Μικρό Βουνό (804 m) και Κορησός (1.386 m) προς Ν. Προς Δ ορίζεται από τις κορυφές των υψωμάτων Κορυφή (1.100 m), Αγία Τριάδα (1.387 m), Καζάνι (1.380 m) και Περτσέλη (1.505 m). Προς Α δε από τις κορυφές

των υψωμάτων Φαλακρό (1.862 m), Κρόνος (1.680 m), Στενά Κλεισούρας (1.150 m) και Πύργος (1.413 m).

Το μέσο υψόμετρο της Λεκάνης απορροής ανέρχεται σε 895 m, το δε απόλυτο υψόμετρο κυμαίνεται από ελάχιστη τιμή 629,80 m (μέση στάθμη της λίμνης) μέχρι μέγιστη τιμή 2.128 m (κορυφή όρους Βέρνου).

Θεωρητικά η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς είναι μια κλειστή λεκάνη με υδροκρίτη όπως ορίστηκε παραπάνω και έχει συνολική επιφάνεια εκτάσης 281 km<sup>2</sup>. Λόγω όμως διανοίξεως με φυσικές διεργασίες του ρεύματος ή Διώρυγας Καστοριάς (Ρεύμα Γκιόλι) και της υπάρξεως της δημοσίας οδού Δισπηλιού – Κορησού, το προς Νότο τμήμα του υδροκρίτη μετατοπίστηκε κατά μεγάλο μέρος στην ανώτερη οδό με συνέπεια η έκταση της πραγματικής επιφανειακής λεκάνης απορροής να περιοριστεί σε 263,6 km<sup>2</sup>. Το 10 % περίπου της έκτασης αυτής καταλαμβάνεται από τη λίμνη, το 30 % περίπου αποτελεί την πεδινή έκταση και εμφανίζει ήπιες κλίσεις, ενώ το υπόλοιπο 60 % της έκτασης αποτελεί ουσιαστικά το ορεινό τμήμα όπου επικρατούν απότομες κλίσεις.

Εξ' αιτίας της υπάρξεως καρστικοποιημένων ανθρακικών πετρωμάτων στην Νοτιοανατολική και Δυτική περιοχή της λεκάνης απορροής, η υπόγεια λεκάνη απορροής της λίμνης είναι περισσότερο εκτεταμένη (Βαφειάδης, 1983) και καταλαμβάνει έκταση 301 km<sup>2</sup>.

Το κλίμα της λεκάνης απορροής της λίμνης χαρακτηρίζεται ως υγρό με μεσοθερμικές συνθήκες. Η ξηρή περίοδος αρχίζει τον Ιούνιο και τελειώνει τον Αύγουστο, ενώ η περίοδος των βροχοπτώσεων διαρκεί από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάιο.

Η λίμνη τροφοδοτείται από επιφανειακές απορροές μέσω χειμάρρων και ρυακιών, ίσως και από υπόγειες πηγές, η ανάβλυση των οποίων ήταν άλλοτε εμφανής στον πυθμένα της λίμνης. Κυρίως, ο χειμάρρος του Ξηροποτάμου τροφοδοτεί την λίμνη με σημαντική ποσότητα νερού, αλλά και με άφθονα φερτά υλικά τα οποία ιζηματοποιούν τη λίμνη και συντελούν στην ελάττωση του βάθους της, ενώ είναι χαρακτηριστικός ο σχηματισμός δελταϊκών αποθέσεων στην περιοχή Πολύκαρπης – Μαυροχωρίου, οι οποίες τείνουν να διαχωρίσουν τη λίμνη σε δύο τμήματα.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης είναι δυνατό να υποδιαιρεθεί όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1 σε 11 υπολεκάνες απορροής, από τις οποίες στις εννέα πρώτες υφίστανται διαμορφωμένα υδατορρεύματα. Η υπολεκάνη 10 περιλαμβάνει την πόλη της Καστοριάς και την περιοχή μέχρι και το χωριό Δισπηλιό. Οι απορροές της υπολεκάνης αυτής εισέρχονται στη λίμνη μέσω των αγωγών όμβριων υδάτων (όπου

υπάρχουν) ή κατά τρόπο διάχυτο μέσω περιστασιακών μικρορευμάτων κατά μήκος της ακτής της λίμνης. Η υπολεκάνη 11 περιλαμβάνει την περιοχή Αμπελοκήπων και συμβάλλει στη λίμνη μόνο μέσω υπογείων απορροών. Οι επιφανειακές απορροές εμποδίζονται να εισέλθουν στην Λίμνη λόγω του υπερυψωμένου οδοστρώματος της δημοσίας οδού Δισπήλιου – Κορησού, οδηγούνται προς την Διώρυγα Καστοριάς (Ρ. Γκιόλι ) και εκεί απορρέουν μέσω αυτής προς τον ποταμό Αλιάκμονα.

Πίνακας 2.1 Ρέματα και υπολεκάνες της λεκάνης απορροής της λίμνη της Καστοριάς

A/A	Περιοχή ή Υπολεκάνη	Έκταση (km <sup>2</sup> )
1	Ρ. Φουντουκλή	4,23
2	Ρ. Αποσκέπου	7,97
3	Ρ. Βυσσιιάς	48,19
4	Ρ. Αγ. Αθανασίου	2,11
5	Ρ. Τοιχιού	23,10
6	Ρ. Μεταμόρφωσης	11,98
7	Ρ. Φωτεινής	8,53
8	Ρ Ξηροποτάμου	112,55
9	Ρ. Τστακου	5,56
10	Ρ. Καστοριάς – Δισπηλιού	11,51
11	Ρ. Αμπελοκήπων	17,27
	Σύνολο έκτασης	253
	Έκταση λίμνης Καστοριάς	27,9

#### 2.4 Φερτά υλικά και ρύποι στη λίμνη της Καστοριάς

Τα νερά της Λίμνης είναι οι αποδέκτες ουσιών που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες ή σε φυσικές διεργασίες. Το κύριο συστατικό των ουσιών αυτών είναι φορτία φωσφόρου, αζώτου και διαφόρων άλλων τοξικών ουσιών και βαρέων μετάλλων.

Η λεκάνη απορροής καλύπτεται περίπου κατά 24% από καλλιέργειες, 38% από λιβάδια, 25% από φυσική βλάστηση, 3% από οικισμούς και το υπόλοιπο 10% καταλαμβάνεται από τη λίμνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προστίθενται στο έδαφος κατ' έτος σημαντικές ποσότητες λιπασμάτων, εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων, και

μάλιστα με συνεχώς αυξανόμενο ετήσιο ρυθμό. Επιπλέον η κτηνοτροφία της περιοχής συμβάλλει στην παραγωγή και εισροή ρύπων στη λίμνη. Οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών που απορρέουν από τις ουσίες αυτές καταλήγουν στα νερά της λίμνης. Βεβαίως, η γεωργική ανάπτυξη και η κτηνοτροφία δεν είναι δυνατόν να περιορισθούν, πρέπει όμως να εκσυγχρονισθούν ώστε να βοηθούν στην προστασία του υδάτινου και χερσαίου περιβάλλοντος.

Επιπλέον, η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα, απότομες κλίσεις και έντονες κλιματικές συνθήκες με ραγδαίες βροχοπτώσεις και ευπάθεια στα χειμαρρικά φαινόμενα λόγω του ελλιπούς φυτομανδύα της. Το αποτέλεσμα είναι η έντονη διάβρωση και απόπλυση των εδαφών. Οι παρατηρούμενες γεωλισθήσεις, διαβρώσεις, γεωκατακρημνίσεις κ.α., σε συνδυασμό με τους κλιματικούς παράγοντες, συντελούν στην παραγωγή και διακίνηση φερτών υλών οι οποίες περαιτέρω, λόγω της απουσίας έργων ορεινής υδρονομίας και διευθέτησης των χειμάρρων, συντελούν στην επέκταση των δέλτα των χειμάρρων και επιτείνουν έτσι την χερσοποίηση της λίμνης.

Διάφορες ουσίες αποτιθέμενες στους δρόμους της πόλεως, κυρίως λόγω της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων και άλλων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, παρασύρονται από τα νερά της βροχής και εισέρχονται στη λίμνη.

Αποτέλεσμα της συγκεντρώσεως στο νερό της λίμνης των διαφόρων θρεπτικών και τοξικών ουσιών είναι η δημιουργία εκεί συνθηκών ευτροφισμού, μικρότερη διαφάνεια νερού, λιγότερο διαλυμένο οξυγόνο και εμφάνιση δυσμενών συνθηκών για τους υδρόβιους οργανισμούς, κυρίως τα ψάρια.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι χειμάρροι και ιδιαίτερα ο Ξηροπόταμος μεταφέρουν πολλά φερτά λόγω των γεωλογικών και γεωμορφολογικών συνθηκών που επικρατούν στη λεκάνη απορροής (μεγάλες κλίσεις, παρουσία διαβρώσιμων πετρωμάτων, μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων, ανεπαρκής φυτοκάλυψη). Τα χονδρότερα υλικά κινούνται στον πυθμένα των ρεμάτων και το μεγαλύτερο μέρος τους διαμορφώνει κώνους πρόσχωσης στην πεδινή περιοχή. Τα λεπτόκοκκα υλικά που μετακινούνται συνήθως με αιώρηση, υπερπηδούν τους κώνους πρόσχωσης και επικάθονται στις κατάντη πεδινές περιοχές ή στις εκβολές των ρεμάτων όπου και αλλάζουν το δέλτα των ποταμών ή εισέρχονται στο εσωτερικό της λίμνης προσχώνοντας τον πυθμένα της.

Ο όγκος των μεταφερόμενων φερτών από τα ρέματα, εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των 330 m<sup>3</sup>/έτος. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε ταχύτητα πρόσχωσης της λίμνης 1.135 mm/έτος περίπου. Τα τελευταία 50 περίπου χρόνια η εισροή των φερτών στη

λίμνη έχει αυξηθεί λόγω των αντιπλημμυρικών έργων και των έργων εγκιβώτισης των πεδινών ροών των ρεμάτων. Έτσι, φαίνεται ότι η επιφάνεια της λίμνης έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια κατά 8% περίπου και το μέσο βάθος της σημειώνει και αυτό μείωση κατά 10% περίπου.

Εύλογη είναι η ταχύτερη μείωση της επιφάνειας της λίμνης από το 1953, οπότε τελείωσαν οι κατασκευές των αντιπλημμυρικών έργων. Συγκεκριμένα, υπάρχει μία ζώνη πρόσχωσης που ξεκινά από τη Βόρεια οριογραμμή της λίμνης, εκτείνεται προς τα Δυτικά και καταλήγει Νότια, όπου τα προσχωτικά φαινόμενα είναι αυξημένα. Στο Δυτικό τμήμα της λίμνης, όπου βρίσκεται και ο Δήμος της Καστοριάς, δεν υπάρχουν τέτοια φαινόμενα δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ρέματα. Στο δέλτα του Ξηροποτάμου τα φαινόμενα πρόσχωσης είναι εντονότατα. Σύμφωνα με μετρήσεις η μέση ταχύτητα προώθησης του δέλτα του Ξηροποτάμου είναι 16m/έτος. Η απόσταση του δέλτα του ρέματος και της όχθης του λόφου της Καστοριάς ήταν το 1982 περίπου 1.100 m. Με τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι η απόσταση αυτή θα μηδενιστεί σε εξήντα περίπου χρόνια αν δεν γίνουν οι απαραίτητες επεμβάσεις. Η μέση ταχύτητα πρόσχωσης κάθε ρέματος παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2:

Πίνακας 2.2 Εκτιμώμενη μέση ταχύτητα πρόσχωσης των ρεμάτων σε m/έτος

A/A	Ρέμα ή περιοχή εκβολών	Ταχύτητα πρόσχωσης σε m/έτος
1	P. Ξηροποτάμου	16
2	P. Βυσσινιάς	10
3	P. Τοιχιού	6
4	Άνω δελταϊκή ζώνη	3
5	P. Μεταμόρφωσης	2
6	Παραλιακή ζώνη	2

## 2.5 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή χαρακτηρίζεται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα που εμφανίζονται στις ημιορεινές και ορεινές περιοχές και από αλλουβιακές αποθέσεις που χαρακτηρίζουν τις πεδινές περιοχές. Τα κυριότερα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής είναι τα εξής:

**Ολόκαινο – Πλειστόκαινο – Νεογενές:** Αλλουβιακές αποθέσεις ασύνδετων υλικών και δελταϊκές προσχώσεις στα σημεία εκβολής των χειμάρρων που εμφανίζονται στα πεδινά γύρω από τη λίμνη και εκατέρωθεν των χειμάρρων στις περιοχές με ήπιες κλίσεις. Ελώδεις περιοχές εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της λίμνης.

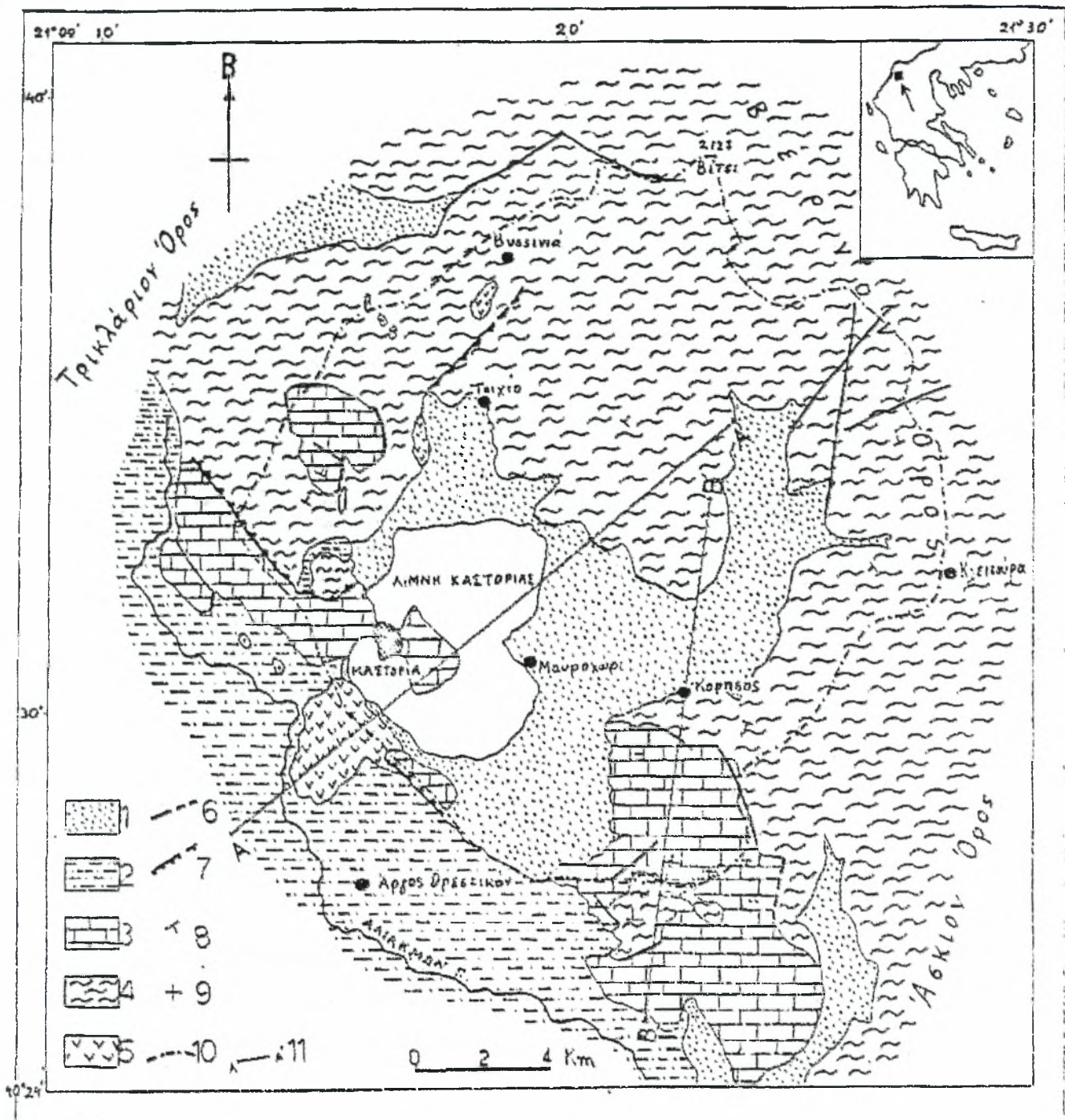
**Μέσο – Μέσο Τριαδικό:** Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι μεσοστρωματώδεις και παχυστρωματώδεις ανοικτότεφρου και τεφρού χρώματος, που εμφανίζονται κυρίως στο δυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής.

**Κατώτερο Τριαδικό:** Ελαφρά μεταμορφωμένα πετρώματα με παρεμβολές από φακούς ερυθρών κρυσταλλικών ή μη ασβεστόλιθων. Αρχίζουν με μετακροκαλοπαγείς μεταψαμίτες και μεταρκόζες που μεταβαίνουν βαθμιαία προς τα πάνω σε φυλλίτες κατά θέσεις πρασινολίθους και σχιστόλιθους διαφόρων τύπων. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται κυρίως στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής.

**Παλαιοζωϊκό:** Έντονα μεταμορφωμένο σύστημα γενύσιων σχιστόλιθων και αμφιβολίτων που παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη, κυρίως στο ανατολικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής. Διακρίνονται δύο οριζόντες, από τους οποίους ο ανώτερος περιλαμβάνει κυρίως σχιστόλιθους και ο κατώτερος γενύσιους με παρεμβολές σχιστόλιθων. Επίσης, στην περιοχή εμφανίζονται και γρανιτογενέσιοι της Δυτικής Μακεδονίας, οι οποίοι έχουν γενευσιακή έως σχιστοποιημένη υφή. Στην πεδινή περιοχή των χειμάρρων πραγματοποιούνται αμμοληψίες για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής.

Όσον αφορά τη σεισμικότητα της περιοχής, αναφέρεται ότι σύμφωνα με τον Αντισεισμικό Κανονισμό, η περιοχή της Καστοριάς ανήκει στην πρώτη ζώνη, δηλαδή στις περιοχές με τη μικρότερη επικινδυνότητα στη χώρα.





- 1) Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2) Νεογενή ιζήματα, 3) Τριαδικοιουρασικοί ασβεστόλιθοι, 4) Ημιμεταμορφωμένα και μεταμορφωμένα παλαιοζωϊκά πετρώματα και γνευσιωμένοι γρανίτες, 5) Οφειολιθικά πετρώματα (Ανωτ. ιουρασικό), 6) Ρήγμα (ορατό-πιθανό), 7) Επώθηση (ορατή-πιθανή), 8) Κλίση και παράταξη στρωμάτων, 9) Στρώματα οριζόντια, 10) Υδροκρίτης της λεκάνης, 11) Γεωλογική τομή

Χάρτης 2.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Καστοριάς

## 2.6 Υδρογεωλογικά στοιχεία

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των ποικίλων γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από την πετρολογική σύσταση, την κοκκομετρική σύνθεση, τον βαθμό διαγενέσεως την τεκτονική καταπόνηση και το βαθμό διαρρήξεως και αποσαθρώσεως των πετρωμάτων.

Για την περιγραφή της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής χωρίζονται σε τρεις βασικές ομάδες, σε κάθε μία από τις οποίες η ικανότητα αποθηκείσεως και διακινήσεως του υπόγειου νερού παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές.

- Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται τα μεταμορφωμένα, ημιμεταμορφωμένα και γρανιτογενεσιακά πετρώματα του υποβάθρου.
- Στη δεύτερη ομάδα περιλαμβάνονται τα ανθρακικά μεσοζωϊκά πετρώματα με την καρστική υδρογεωλογική συμπεριφορά τους
- Στην τρίτη ομάδα περιλαμβάνονται οι κοκκώδεις σχηματισμοί, δηλαδή τα μολασικά ιζήματα και οι χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις.

Κατά την διάνοιξη υδρογεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης στην περιοχή Τοιχίου – Μεταμορφώσεως, ορισμένες συνάντησαν το γρανιτογενεσιακό υπόβαθρο. Κατά τη διάτρηση διαπιστώθηκε ότι αυτό παρουσίαζε ενδείξεις υδροφορίας, άλλοτε στην ανώτερη εξαλλοιωμένη του ζώνη όπως π.χ. στο βάθος 54 – 62 m της γεωτρήσεως και άλλοτε εκλεκτικά σε ορισμένες περισσότερο διαρυσμένες ζώνες, όπως π.χ. στα βάθη 48 – 58 και 64 – 70 m της γεωτρήσεως, ενώ σε άλλες γεωτρήσεις δεν προέκυψαν ενδείξεις υδροφορίας.

Από την μελέτη των πηγών που εμφανίζονται στα μεταμορφωμένα, ημιμεταμορφωμένα και γρανιτογενεσιακά πετρώματα της περιοχής διαπιστώνεται ότι οι σπουδαιότερες, από πλευρά παροχής, εκδηλώνονται κατά μήκος ρηγμάτων στις περιοχές Βασιλειάδας και Βιτσίου και γενικά σε ζώνες έντονα διερρηγμένες. Άλλη διαπίστωση, με βάση τις εκδηλώσεις πηγών στην περιοχή, είναι ότι τα γνευσιογενετικά και τα ισχυρά μεταμορφωμένα σκληρά σχιστολιθικά πετρώματα παρουσιάζονται πιο μακροδιαπερατά από τα ασθενώς μεταμορφωμένα ή

ημιμεταμορφωμένα φυλλιτικά πετρώματα. Αυτό συμβαίνει διότι τα πρώτα συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο από τα δεύτερα στις διάφορες οριζόντιες ή κατακόρυφες τεκτονικές δυνάμεις που εξασκούνται απάνω τους, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται περισσότερο ρηγματωμένα και κατακλασμένα και από την άλλη μεριά στα δεύτερα οι συνέχειες του πετρώματος αποφράσσονται ευκολότερα από τα αργιλικά υλικά αποσαθρώσεως τους. Πράγματι καμία πηγή αξιόλογης παροχής δε διαπιστώθηκε στα φυλλιτικά πετρώματα της περιοχής.

#### Ανθρακικά πετρώματα

Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται οι τριαδικοϊουρασικοί ασβεστόλιθοι των υψωμάτων Κορησού, Δισπηλιού, Καστοριάς και Απόσκεπου –Κεφαλαρίου.

Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής που μελετήθηκε, στη μεγαλύτερη έκτασή τους, είναι παχυστρωματώδεις, ελεύθεροι από ενδιάμεσες σχιστοφυλλιτικές ενστρώσεις και έντονα διαρυσμένοι. Έτσι υπάρχουν οι προϋποθέσεις να είναι καρστικοποιημένοι και να παρουσιάζουν μεγάλη δευτερογενή περατότητα.

Από πλευράς συστάσεως των ανθρακικών πετρωμάτων δεν κρίθηκε αναγκαία η εκτέλεση χημικών αναλύσεων δειγμάτων πετρωμάτων της περιοχή μελέτης για να αποδειχθεί κατά πόσο είναι δολομιτικοί. Από την υδροχημική εξέταση των νερών των καρστικών πηγών που εκδηλώνονται σε διάφορες ανεξάρτητες ασβεστολιθικές εμφανίσεις, διαπιστώνεται ότι υπάρχει αξιόλογη διαφοροποίηση των νερών ως προς την συγκέντρωσή τους σε ιόντα  $Ca^{++}$  και  $Mg^{++}$ . Όπως είναι γνωστό στους δολομίτες η σχέση  $Mg^{++}/Ca^{++}$  σε mg/lit είναι 1/1. Οι ασβεστόλιθοι Κορησού και Απόσκεπου είναι πιο καθαροί (αμιγείς) από εκείνους του Δισπηλιού και Καστοριάς ως προς την περιεκτικότητά τους σε  $MgCO_3$ .

Η ανισοτροπία της περατότητας είναι γνωστό φαινόμενο των ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Τα καρστικά νερά κυκλοφορούν εκλεκτικά από ρωγμές, κοιλώματα, σχισμές, κτλ. που δεν έκλεισαν με δευτερογενές αργιλικό ή ασβεστιτικό υλικό. Κατά του Castany (1963) η κατακόρυφη περατότητα στα ανθρακικά πετρώματα είναι συνήθως 2-10 φορές μεγαλύτερη της οριζόντιας. Στους ασβεστόλιθους της περιοχής μελέτης οι δευτερογενείς περατότητες, κυρίως η κατακόρυφη, αλλά και η οριζόντια είναι υψηλές. Σ' αυτό συνηγορεί το πλήθος των καρστικών φαινομένων (δολίνες, σπήλαια, καταβόθρες, επιφάνειες επιπεδώσεως, ασυνέχειες, κτλ.), ο μεγάλος συντελεστής κατεισδύσεως που προσδιορίστηκε και οι σημαντικές καρστικές πηγές που υπάρχουν.



Η εκδήλωση των καρστικών πηγών συνδέεται και με το επίπεδο βάσεως των καρστικών υδροφόρων στρωμάτων. Π.χ. στον ασβεστολιθικό ορεινό όγκο του Απόσκεπου – Κεφαλαρίου η καρστικοποίηση φτάνει μέχρι το αδιαπέρατο φυλλιτικό υπόβαθρο. Το στρώμα του νερού που επαναπαύεται πάνω στο υπόβαθρο αυτό αποτελεί το επίπεδο βάσεως (κατά Cvijic) του καρστικού αυτού υδροφορέα.

Το επίπεδο βάσεως της ασβεστολιθικής εμφανίσεως δυτικά της λίμνης Καστοριάς συνδέεται οπωσδήποτε με την ύπαρξη της λίμνης. Δεν είναι γνωστό μέχρι ποιο βάθος κάτω από τη λίμνη προχωρεί η καρστικοποίηση στους ασβεστόλιθους αυτούς. Το πιθανότερο είναι αυτή να φτάνει μέχρι το υδατοστεγές παλαιοζωϊκό υπόβαθρο το οποίο δε πρέπει να βρίσκεται πολύ βαθιά.

Οι καρστικοί ασβεστόλιθοι Κορησού βυθίζονται προς Δ, ΒΔ, δεν είναι όμως γνωστό αν αυτοί αποτελούν συνέχεια των ασβεστόλιθων Καστοριάς και αν μέρος των καρστικών νερών τους εκφορτίζεται απ' ευθείας στη λίμνη. Πάντως από υδρογεωλογικές παρατηρήσεις συνάγεται ότι δεν πρέπει να συμβαίνει κάτι τέτοιο. Απόδειξη η εκδήλωση των σημαντικής παροχής πηγών Ίστακου και Μηλίτσας σε υψόμετρα μέχρι 24 m πάνω από τη στάθμη της λίμνης.

Όμως έμμεσα, δηλαδή μέσω των προσχωσιγενών υδροφόρων της πεδινής περιοχής Αμπελοκήπων Κρεπενής υπάρχει υδραυλική συνάφεια των καρστικών αυτών νερών με τη λίμνη, αφού αυτά τροφοδοτούν πλευρικά τα αλλούβια. Ένα ποσοστό τελικά από τα νερά αυτά εκφορτίζεται στη λίμνη.

#### Κοκκώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί

Τα παρακάτω αναφέρονται στην υδρογεωλογική συμπεριφορά των ιζημάτων του Μειόκαινου και Πλειο-πλειστόκαινου καθώς και εκείνη των προσχωσιγενών αποθέσεων του τεταρτογενούς.

Τα πρώτα που αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της περιοχής και στη μεγαλύτερη έκτασή τους καλύπτονται από παλιές χερσαίες αναβαθμίδες.

Από τα λιθολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία γεωτρήσεων που έγιναν στα ιζήματα αυτά διαπιστώνεται ότι στην πλειονότητα επικρατούν τα λεπτόκοκκα αργιλωμαργαϊκά ιζήματα, ενώ το πάχος των αδρομερών διαπερατών στρωμάτων είναι μικρό και οι παροχές των εγκλωβισμένων υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται σ' αυτά περιορισμένες. Οι μικρές παροχές αποδίδονται στις χαμηλές περατότητες των υδροφόρων που είναι κυρίως ψαμμίτες ή συμπαγοποιημένοι άμμοι στο μικρό πάχος

των υδροφόρων στρωμάτων στις πυκνές αποσφηνώσεις τους και στις δυσμενείς συνθήκες τροφοδοσίας τους.

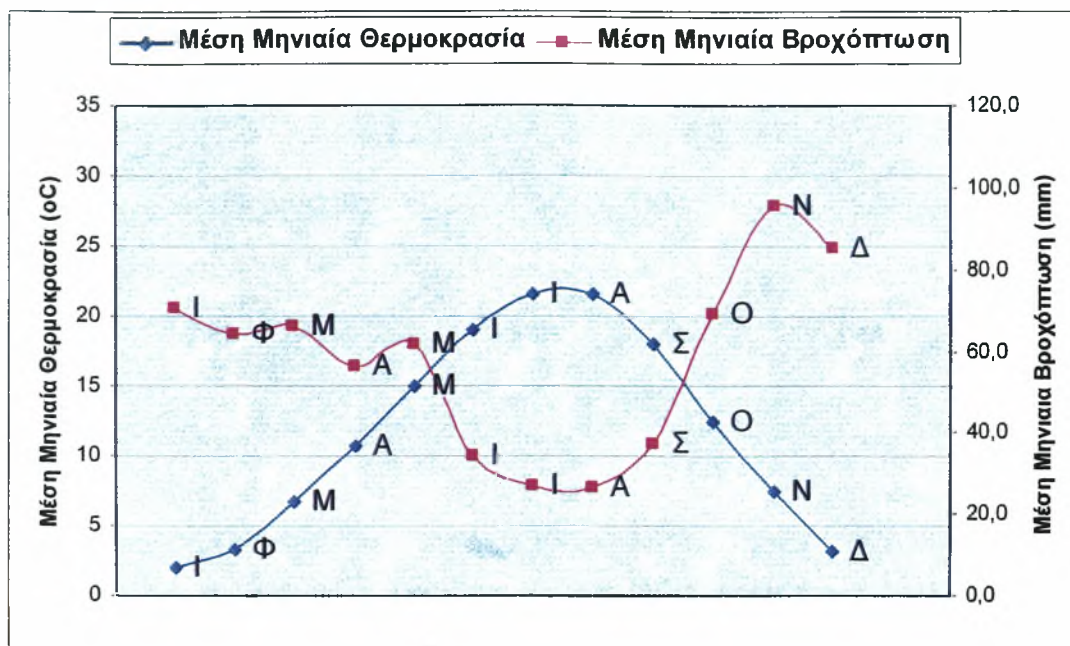
Οι τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν ποικίλλουσα υδρογεωλογική συμπεριφορά ανάλογα με τη θέση, το πάχος και την κοκκομετρική τους σύσταση. Το πάχος τους ποικίλει σε ευρεία όρια. Αυτό γενικά αυξάνεται από τις παρυφές της πεδινής εκτάσεως προς το κέντρο της. Περιμετρικά της πεδινής εκτάσεως και στο ανάντη πεδινό τμήμα του Ξηροποτάμου, το πάχος των προσχώσεων είναι μικρό και υπάρχει ανομοιογένεια στα λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά. Στην κυρίως πεδινή έκταση τα υλικά παρουσιάζονται διαφοροποιημένα σε ορίζοντες εναλλασσόμενων στρώσεων.

Η διαφοροποίηση αυτή των λεπτόκοκκων και αδρομερών στρώσεων συνδέεται με την ανάπτυξη υδροφόρων στρωμάτων με αξιόλογο δυναμικό.

## **2.7 Στοιχεία υδρολογίας, επιφανειακού & υπόγειου υδατικού ισοζυγίου**

Διαπιστώθηκε η ύπαρξη αξιόλογης εμφανίσεως φυλλιτικού υδατοστεγούς υποβάθρου στην ασβεστολιθική περιοχή του ΒΔ Ασκίου. Αυτό βοήθησε στον καθορισμό της θέσεως του υπόγειου υδροκρίτη των καρστικών νερών της ασβεστολιθικής αυτής περιοχής. Αξιολογήθηκαν τα δεδομένα της δεκαετίας 1968 – 1980 (Βαφειάδης, 1983), οκτώ βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης και συντάχθηκε χάρτης ισοετών καμπυλών της λεκάνης.

Ο μέσος ετήσιος όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη υπολογίστηκε σε  $204 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  με αντίστοιχο μέσο ύψος βροχής  $671 \text{ mm/έτος}$ . Από τα στοιχεία των καταγραφών του Μ.Σ. Καστοριάς βρέθηκαν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς για την χρονική περίοδο 1961-1994, από τις οποίες προκύπτει το παρακάτω ομβροθερμικό διάγραμμα.



Σχήμα 2.1 Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ.Σ. Καστοριάς

Με παρατηρήσεις του Μ.Σ. Καστοριάς της περιόδου 1968-1980, βρέθηκε, με εξατμισόμετρο, το μέσο ετήσιο ύψος εξατμίσεως από την επιφάνεια της λίμνης σε **806 mm**. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή, με τη μέθοδο Thornwaite, βρέθηκε **761 mm/έτος**. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή για το πεδινό τμήμα της λεκάνης, υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thornwaite-Mather και βρέθηκε ίση με **362 mm/έτος (60%)**. Εξάλλου, με εφαρμογή της εξισώσεως του υδρολογικού ισοζυγίου σε υπολεκάνη της ορεινής περιοχής (Κάτουρι) η πραγματική εξατμισοδιαπνοή βρέθηκε ίση με το **58%** των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η μέση τιμή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ολόκληρης της λεκάνης ανέρχεται σε **59%**.

Στα πλαίσια διερευνησεως και των άλλων παραγόντων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης υπολογίστηκε ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που φεύγει από τη λίμνη με το ρέμα Γκιόλι και είναι **61\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>**. Ακόμα βρέθηκε ότι ο ενιαίος συντελεστής κατεισδύσεως της λεκάνης ανέρχεται σε **15,8%**.



Αξίζει να μνημονευτεί ότι, με βάση μελέτη της διαίτας των καρστικών πηγών, προσδιορίστηκε ο συντελεστής κατεισδύσεως τον τριαδικοιουρασικών ασβεστόλιθων σε δύο ξεχωριστές εμφανίσεις τους και βρέθηκε ότι αυτός ανέρχεται σε **54 – 57%**.

Όλα τα παραπάνω καταλήγουν στο εξής υδρολογικό ισοζύγιο:

- Κατακρημνίσματα:  $204 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/έτος,
- Εξάτμιση λίμνης Καστοριάς 11,8 %,
- Εξατμισοδιαπνοή 59%,
- Κατείσδυση 15,8% και
- Επιφανειακή απορροή 13,4 %.

Από πλευράς υδροφορίας διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ανθρακικά πετρώματα και οι προσχωσιγενείς τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης σε σημαντικοί υδροφορείς. Με την εκτέλεση δώδεκα δοκιμαστικών αντλήσεων σε ισάριθμες γεωτρήσεις και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους, προσδιορίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι των προσχωσιγενών υδροφόρων στρωμάτων. Η υδραυλική αγωγιμότητά τους βρέθηκε ότι κυμαίνεται από  $8,5 \cdot 10^{-3}$  έως  $3,1 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/sec, ο συντελεστής περατότητας από  $7,7 \cdot 10^{-5}$  έως  $2,8 \cdot 10^{-3}$  m/sec και ο συντελεστής εναποθηκείσεως από  $8 \cdot 10^{-4}$  έως  $3,4 \cdot 10^{-2}$  (Βαφειάδης, 1983).

Για τη μελέτη των ημιεγκλωβισμένων υδροφόρων στρωμάτων εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι του Walton, το σημείο κύρτωσης των Hantush – Jacob, ενώ για τα ημιελεύθερα η μέθοδος του Boulton. Έτσι αποκαλύφθηκε ότι είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο ρόλος της διαστράγγισης και της υστέρησης ροής στην τροφοδοσία των γεωτρήσεων κατά τον χρόνο της λειτουργίας τους, αφού το 20% περίπου του αντλούμενου από τα προσχωσιγενή υδροφόρα στρώματα νερού οφείλεται σε τέτοια φαινόμενα.

Με βάση τις μετρήσεις της πιεζομετρίας που έγιναν στην περιοχή των προσχωσιγενών υδροφορέων, κατασκευάστηκαν χάρτες ισοπιεζομετρικών καμπυλών και μελετήθηκαν η κίνηση, εκφόρτιση και οι συνθήκες τροφοδοσίας των υδροφόρων στρωμάτων σε συνδυασμό με τις διηθήσεις του νερού των βασικών ρευμάτων αποστραγγίσεως και της πλευρικής τροφοδοσίας τους με καρστικά νερά. Έτσι προέκυψε ότι τα προσχωσιγενή υδροφόρα στρώματα τροφοδοτούνται κυρίως με διηθήσεις του επιφανειακού νερού και πλευρικά με καρστικά νερά.

Οι πηγές της περιοχής μελέτης κατατάχθηκαν σε πηγές επαφής, ρηξιγενείς και καρστικές. Οι τελευταίες μελετήθηκαν εκτενέστερα. Ερμηνεύτηκε ο μηχανισμός εκδηλώσεώς τους, χαραχτήκαν οι καμπύλες μειώσεως της παροχής τους και προσδιορίστηκαν για κάθε μία ο συντελεστής εξαντλήσεως, οι εκκενώσιμοι όγκοι τους και τα αποθέματα καρστικού νερού των λεκανών τροφοδοσίας τους που απομένουν στο τέλος της ξερής περιόδου. Αυτό επιτρέπει να καθοριστούν οι δυνατότητες εκμεταλλεύσεως των καρστικών νερών.

Για τον προσδιορισμό των ρυθμιστικών και μονίμων αποθεμάτων των προσχωσιγενών υδροφόρων στρωμάτων, η περιοχή υδροφορίας χωρίστηκε σε πέντε ζώνες, επειδή αυτή παρουσιάζεται διαφοροποιημένη ως προς το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων, τη λιθολογική τους σύσταση και το εύρος των εποχιακών διακυμάνσεων της στάθμης τους. Τα ρυθμιστικά αποθέματα υπολογίστηκαν σε  $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , τα μόνιμα σε  $147 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και τα εκμεταλλεύσιμα για πρόσθετη πτώση της στάθμης της πεζομετρίας κατά δύο μέτρα σε  $28 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ .

Ο όγκος νερού που αντλείται σήμερα από τα προσχωσιγενή υδροφόρα στρώματα της λεκάνης με γεωτρήσεις ανέρχεται σε  $10,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Συνεπώς υπάρχει ετήσιο πλεόνασμα υπόγειων νερών της τάξεως των  $17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  που μπορεί να αξιοποιηθεί με ανορύξεις νέων βαθιών γεωτρήσεων για την επέκταση των αρδευόμενων εκτάσεων της περιοχής.

Από υδροχημική πλευρά βρέθηκε ότι τα υπόγεια νερά της λεκάνης που μελετήθηκε είναι καλής ποσιμότητας και εξαιρετικά για αρδευτικούς σκοπούς.

## **2.8 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λίμνης της Καστοριάς**

Η λίμνη της Καστοριάς έχει μορφή περίπου ορθογωνική με μεγάλο άξονα διεύθυνσης από Β προς Ν, μήκους 7 km και μικρό άξονα διεύθυνσης από Α προς Δ, μήκους 5,5 km. Η συνολική της έκταση είναι 27,9 km<sup>2</sup>, με μέσο βάθος νερού 4,40 m και μέγιστο βάθος 9,10 m και συνολικό όγκο νερού της τάξεως των  $110 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Στο δυτικό της τμήμα στην περιοχή της πόλης της Καστοριάς υπάρχει η χερσόνησος της Κορίτσας με διεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά. Η συνεχιζόμενη επέκταση του δέλτα του ρεύματος Ξηροποτάμου προς τη χερσόνησο της Κορίτσας, λόγω των φερτών υλικών, τείνει να διαχωρίσει τη λίμνη σε δύο τμήματα (Βόρειο και Νότιο).

## 2.9 Λιμνολογικά χαρακτηριστικά

Κάθε λίμνη μοιάζει μ' ένα ζωντανό οργανισμό. Γεννιέται, μεγαλώνει, ωριμάζει, γερνά και πεθαίνει μέσα στη λεκάνη απορροής της απ' όπου και τροφοδοτήθηκε με νερό και διαλυμένο και σωματιδιακό υλικό. Κι όπως οι οργανισμοί, έτσι και οι λίμνες ζουν για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο μπορεί να συντομευτεί από τον άνθρωπο. Ο τρόπος ζωής της κάθε λίμνης εκφράζεται από τις μεταβολικές της διεργασίες συναρτήσει των εκάστοτε συνθηκών που επικρατούν σ' αυτή. Η ζωή μίας λίμνης είναι κάτι διαφορετικό και πολύ περισσότερο από το άθροισμα όλων των μορφών ζωής μέσα σ' αυτήν. Αυτή η αναλογία μεταξύ των λιμνών και των οργανισμών, όσον αφορά τον μεταβολισμό τους συμπεριλαμβάνει και τον άνθρωπο. Ως εκ τούτου η διαχείριση μίας λίμνης μπορεί να συγκριθεί με τη φροντίδα και την προληπτική ιατρική για ένα υγιές άτομο, ενώ η αποκατάσταση με τη θεραπευτική ιατρική για τον άνθρωπο.

Το νερό εκτός από τα χαρακτηριστικά ρευστότητας (ιξώδους) του και της διαπερατότητας του από το φως, τα οποία είναι προφανούς σημασίας για τα φυσικά και βιολογικά φαινόμενα λόγω της υψηλής διαλυτικής ικανότητας, περιέχει διαλυμένα συστατικά τα οποία και στηρίζουν την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών σ' ένα υδάτινο οικοσύστημα. Η σύνθεση του νερού το οποίο συγκεντρώνεται στη λεκάνη μίας λίμνης είναι κυρίως το αποτέλεσμα τριών παραγόντων: α) των φορτίων κατακρήμνισης και του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη απορροής, β) της γεωλογικής σύνθεσης των πετρωμάτων και γ) του γεωμορφολογικού ανάγλυφου της λεκάνης απορροής.

Το νερό μίας λίμνης περιέχει χιλιάδες διαλυμένες ενώσεις που υφίστανται συνεχείς μετατροπές, μια που η χημική ένωση του νερού ως άριστος διαλύτης μπορεί να διαλύσει οποιοδήποτε στοιχείο του φλοιού της γης. Διαφορές στη χημική σύνθεση του νερού των λιμνών προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της κάθε λίμνης. Μερικές από τις χημικές ενώσεις του νερού είναι απαραίτητες για την αύξηση των υδρόβιων οργανισμών. Από αυτές, οι ενώσεις κλειδιά για την παραγωγικότητα μίας λίμνης είναι οι ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου.

Οι ζωντανοί οργανισμοί για την αύξηση τους χρειάζονται περίπου 20 στοιχεία. Από αυτά το άζωτο (για τη σύνθεση των αμινοξέων και πρωτεϊνών), ο φώσφορος (για τη σύνθεση του DNA και ATP) και το πυρίτιο (απαραίτητο για το κυτταρικό τοίχωμα των διατόμων) είναι ιδιαίτερης σημασίας. Διότι στο νερό βρίσκονται συνήθως σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε σύγκριση με αυτές που οι οργανισμοί χρειάζονται και γι' αυτό μπορούν να περιορίζουν την αύξησή τους (περιοριστικά στοιχεία ή θρεπτικά).

Αν και το άζωτο έχει μία τεράστια δεξαμενή (αποθήκη) στην ατμόσφαιρα και είναι πολύ άφθονο στοιχείο, αυτό το άζωτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις λίμνες μόνο από τα αζωτοδεσμευτικά κυανοφύκη, ενώ όλοι οι άλλοι οργανισμοί χρησιμοποιούν άζωτο με τη μορφή των διαλυμένων νιτρικών, αμμωνιακών και νιτρωδών ιόντων ή και οργανικών ενώσεων. Ο φώσφορος βρίσκεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο νερό μια που προέρχεται από την πολύ μικρότερη δεξαμενή του στα πετρώματα. Ο ανόργανος διαλυμένος στο νερό φώσφορος βρίσκεται ως επί το πλείστον με τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων. Βέβαια στο νερό υπάρχουν και διαλυμένες οργανικές ενώσεις του φωσφόρου καθώς και φώσφορος σε κολλοειδή και σωματιδιακή μορφή. Με τον όρο ολικός φώσφορος αναφερόμαστε σ' όλες αυτές τις μορφές του ανόργανου και οργανικού, διαλυμένου και σωματιδιακού φωσφόρου. Χρησιμοποιείται συνήθως ως παράμετρος κλειδί στις υδροβιολογικές μελέτες που στοχεύουν στην αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μίας λίμνης, όπως και στην περίπτωση της Καστοριάς.

Όπως σε μία λίμνη η βιολογική παραγωγή εξαρτάται από τις χαμηλές συγκεντρώσεις των θρεπτικών του αζώτου και του φωσφόρου, έτσι και στα χερσαία οικοσυστήματα της λεκάνης απορροής της λίμνης η βιολογική παραγωγή εξαρτάται από τα στοιχεία αυτά που βρίσκονται σε μικροποσότητες. Γι' αυτό το λόγο τα οικοσυστήματα (χερσαία και υδάτινα) έχουν αναπτύξει μηχανισμούς συνεχούς ανακύκλωσης. Ως εκ τούτου ελάχιστες ποσότητες ξεφεύγουν από τη λεκάνη απορροής μέσα στη λίμνη. Και καθόσον οι ενώσεις του φωσφόρου είναι λιγότερο διαλυτές από του αζώτου ο φώσφορος είναι συνήθως ο περιοριστικός παράγοντας της πρωτογενούς παραγωγής κι ως εκ τούτου παράγοντας κλειδί για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας μίας λίμνης.

Τα ιζήματα στις λίμνες περιέχουν μεγάλες ποσότητες ορισμένων θρεπτικών που μπορεί να είναι διαθέσιμα στους οργανισμούς. Ανάλογα με τις συνθήκες, τα θρεπτικά μπορεί να δεσμεύονται και να απομακρύνονται ως μη διαθέσιμα, όπως τα ορυκτά του

φωσφόρου, να μετατρέπονται σε αέρια και να διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, όπως το άζωτο με την απονιτροποίηση των νιτρικών ή να ελευθερώνονται από το ίζημα στο νερό (φωσφορικά και αμμωνιακά ιόντα).

Το πιο εμφανές πρόβλημα σε μία ρηχή λίμνη όπως η λίμνη της Καστοριάς είναι η μετάβαση σε μία κατάσταση που χαρακτηρίζεται από μεγάλη αύξηση κυανοφυκών και μαζική συσσώρευση τους στο επιφανειακό στρώμα νερού ή και ακόμη μεγάλη ανάπτυξη ορισμένων μακρόφυτων (π.χ. καλάμια) με κίνδυνο την επέκτασή τους στην επιφάνεια της λίμνης και μείωση του όγκου του νερού (Μουστάκα κ.ά., 1999).

## **2.10 Νομοθετικές Ρυθμίσεις και Διεθνείς Συμβάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος στην περιοχή έρευνας**

Οι κυριότερες εθνικές νομοθετικές ρυθμίσεις που έχουν σκοπό την προστασία και την ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος της λίμνης συνοψίζονται στα εξής:

1. Η περιοχή της λίμνης έχει κηρυχθεί από το 1974 ως μνημείο έξοχου φυσικού κάλλους.
2. Απαγορεύεται το κυνήγι σ' όλη της την έκταση, συμπεριλαμβανομένων και των περιφερειακών καλαμώνων και της λοιπής υδρόφιλης βλάστησης. Το όριο της απαγορευμένης ζώνης είναι ο περιμετρικός ασφαλτόδρομος.
3. Η ζώνη γύρω από τη λίμνη χαρακτηρίζεται από το 1987, σύμφωνα με το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Γ.Π.Σ.) της πόλης της Καστοριάς, σαν ειδική ζώνη προστασίας ακτών. Επίσης, στο Γ.Π.Σ., σαν περιοχές όπου πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος καθορίζονται η λίμνη, τα δάση της περιοχής της Καστοριάς και η γεωργική περιοχή υψηλής παραγωγικότητας που βρίσκεται περιμετρικά της λίμνης.

Όσον αφορά την κοινοτική νομοθεσία και τις διεθνείς συμβάσεις από τις οποίες απορρέει ότι επιβάλλεται η ανάγκη προστασίας της λίμνης είναι οι εξής:

1. **Η σύμβαση της Βέρνης (1979)** για την προστασία της Ευρωπαϊκής πανίδας και χλωρίδας και των φυσικών πόρων. Η εν λόγω σύμβαση περιλαμβάνει καταλόγους σπανίων και απειλούμενων φυτών και ζώων για την προστασία των οποίων θα πρέπει να λάβουν μέριμνα τα κράτη που την έχουν



προσυπογράψει. Η περιοχή έρευνας περιέχει ορισμένα είδη που αναφέρονται στη σύμβαση της Βέρνης και ως εκ τούτου θα πρέπει να διέπεται από το καθεστώς προστασίας της. Η εφαρμογή της εν λόγω σύμβασης έχει προωθηθεί μέσω του νέου θεσμού προστασίας οικοτόπων και άγριας ζωής, δηλαδή μέσω του δικτύου προστατευομένων περιοχών NATURA.

2. **Η σύμβαση της Βόννης (1979)** που αφορά την προώθηση της προστασίας μεταναστευτικών ειδών που δεν προστατεύονται από άλλες συμβάσεις ή εθνικές νομοθεσίες. Η περιοχή που μελετάται φιλοξενεί αρκετά μεταναστευτικά είδη που προδιαγράφονται στην εν λόγω σύμβαση αλλά και ως προς αυτή τη σύμβαση η χώρα μας δεν έχει λάβει έμπρακτα μέτρα εφαρμογής της.
3. **Η σύμβαση Ramsar (1971)** για την προστασία των υδροτόπων και της υδρόβιας και παρυδάτιας ορνιθοπανίδας. Ενώ η λίμνη της Καστοριάς πληροί ορισμένα κριτήρια ένταξής της στον εθνικό κατάλογο υδροτόπων που προστατεύονται από το καθεστώς της εν λόγω σύμβασης, εν τούτοις δεν την περιέλαβαν οι αρμόδιες Ελληνικές αρχές. Έτσι, τελικά, δεν έχει τυπική ισχύ η σύμβαση Ramsar στη συγκεκριμένη λίμνη.
4. **Η κοινοτική οδηγία 409/79** που αφορά στην προστασία σπάνιων και απειλούμενων πουλιών του ευρύτερου χώρου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.). Πρόκειται για ένα θεσμικό καθεστώς που βρίσκεται σε ισχύ και το οποίο αποτελεί μία πολύ σταθερή βάση υποστήριξης της προστασίας της περιοχής της λίμνης, γιατί από το άρθρο 4 της παραπάνω οδηγίας προκύπτει ότι τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. πρέπει να φροντίσουν επισταμένα, μέσα στην επικράτειά τους, για τον καθορισμό των σημαντικότερων περιοχών για τα πουλιά και ιδιαίτερα για τα σπάνια και απειλούμενα είδη πουλιών. Ως προς αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η λίμνη της Καστοριάς χρησιμοποιείται είτε ως ζωτικός χώρος διαχείμασης, είτε ως χώρος φωλιάσματος, είτε ως σταθμός κατά τις μεταναστεύσεις. Έτσι, η περιοχή της λίμνης έχει καταγραφεί και προταθεί ως μία τέτοια περιοχή και αμέσως απορρέουν κάποιες ευθύνες της πολιτείας για την προστασία της από διάφορες δυσμενείς επιδράσεις και δραστηριότητες που την υποβαθμίζουν και απειλούν την ορνιθοπανίδα. Η εν



λόγω οδηγία εξεδόθη στις 2 Απριλίου του 1979 από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

5. **Οι ειδικά προστατευόμενες περιοχές για τα πουλιά (SPA).** Είναι οι περιοχές που καθορίζονται με βάση το άρθρο 4 της οδηγίας Ε.Ε. που αναφέρθηκε μόλις προηγουμένως. Έχει υπάρξει τεκμηρίωση (ΕΟΕ 1994) για την περιοχή ότι πληροί τα κριτήρια ένταξης της στον εθνικό μας κατάλογο των SPA και έχει προταθεί ως τέτοια, αλλά οι Ελληνικές αρχές τελικά δεν την συμπεριέλαβαν στον τελικό επίσημο κατάλογο που έχουν ήδη αποστείλει προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
  
6. **Το ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευομένων περιοχών (NATURA).** Ο εν λόγω θεσμός προκύπτει από την εφαρμογή της οδηγίας 92/43 του συμβουλίου των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων για την προστασία των φυσικών οικοτόπων και την προστασία της άγριας πανίδας και χλωρίδας. Ο θεσμός αυτός έχει προωθηθεί τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας και έχει συμπληρωθεί ο πρώτος κατάλογος των εθνικών περιοχών που εντάσσονται στο εν λόγω δίκτυο. Η περιοχή που εξετάζεται έχει προταθεί στο δίκτυο και έχει αναγνωριστεί ως Τόπος Κοινοτικού Ενδιαφέροντος με ημερομηνία αναγνώρισής του το Δεκέμβριο του 1995. Έχει καταχωρηθεί με κωδικό GR13200001 ως τύπος Β.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η περιοχή υπόκειται σε κάποια εθνικά και διεθνή θεσμικά πλαίσια που αφορούν στην προστασία της, όμως σε αυτά τα νομικά πλαίσια δεν περιέχονται σαφείς και ολοκληρωμένες κανονιστικές διατάξεις που επιπροσθέτως να ενισχύονται αυτόματα με οργανωτικές δομές αποτελεσματικής επιτήρησης και εφαρμογής τους. Πάντως το γεγονός ότι η λίμνη έχει μεγάλη орνιθολογική σημασία και ειδικότερα το ότι έχει καταχωρηθεί στο Δίκτυο Φύση 2000, αποτελούν στοιχεία που θέτουν την περιοχή της λίμνης σε προτεραιότητα ως προς την προώθηση δημιουργίας τέτοιων δομών προστασίας και διαχείρισης.

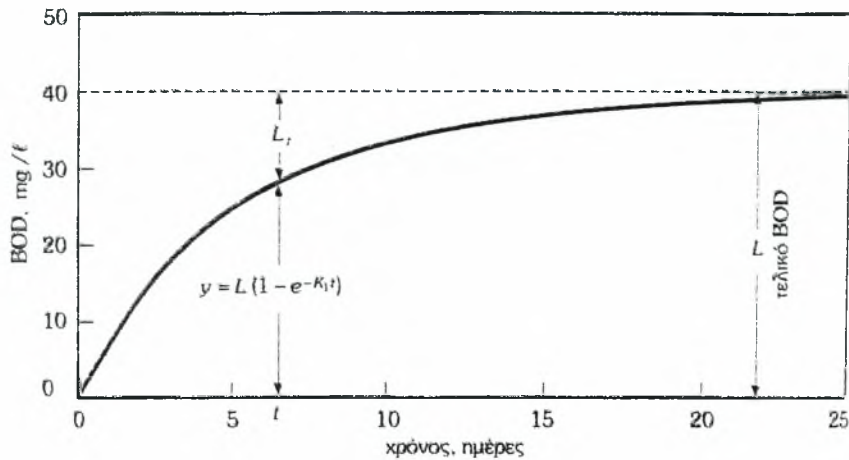
### 3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

#### 3.1 Αποξυγόνωση του νερού λόγω οξείδωσης των οργανικών ουσιών

Η υποβάθμιση της ποιότητας ενός υδατορεύματος που δέχεται οργανικά απόβλητα προκαλείται κυρίως από τη μεγάλη ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για την αερόβια διάσπασή τους σε σύγκριση με την ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου που συγκρατείται στο νερό (Αντωνόπουλος, 2003). Το αποτέλεσμα είναι να μειώνεται το οξυγόνο που, πολλές φορές, φθάνει σε επίπεδο που δεν είναι αρκετό για την υποστήριξη της ζωής πολλών ειδών των υδρόβιων οργανισμών. Σε ορισμένες περιπτώσεις η μείωση του οξυγόνου είναι τέτοια που εμφανίζεται και αναερόβια διάσπαση στο νερό που δέχεται τα απόβλητα.

Για τη μέτρηση της ζήτησης οξυγόνου στο νερό που περιέχει οργανικά απόβλητα έχει καθιερωθεί ο προσδιορισμός της λεγόμενης *βιοχημικής ζήτησης οξυγόνου (BOD)*. Το BOD μιας υδάτινης μάζας που περιέχει οργανικά απόβλητα ορίζεται σαν η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την αερόβια διάσπαση της ποσότητας της οργανικής ουσίας κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και υπό ορισμένη θερμοκρασία.

Η καμπύλη που εκφράζει την κατανάλωση οξυγόνου κατά την οξείδωση της οργανικής ύλης σε σχέση με το χρόνο είναι γνωστή σαν *καμπύλη ζήτησης οξυγόνου* (Σχήμα 3.1). Η ζήτηση του οξυγόνου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, επειδή η όλη διαδικασία της οξείδωσης των οργανικών ουσιών είναι μια βιολογική διαδικασία ευαίσθητη της μεταβολές της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.1 Καμπύλη ζήτησης οξυγόνου

Εκτός από τη βιοχημική ζήτηση οξυγόνου (BOD), για την περιγραφή της ποιότητας του νερού που δέχεται οργανικά απόβλητα χρησιμοποιείται και ο όρος της *χημικής ζήτησης οξυγόνου* (COD), που εκφράζει την ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση της οργανικής ουσίας με οξειδωτικά μέσα. Το COD είναι λίγο μεγαλύτερο από το BOD γιατί περιλαμβάνει και τις μη βιολογικά αποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες.

Ο ρυθμός μεταβολής του BOD κατά τους Streeter and Phelps (1925) είναι ανάλογος προς την ποσότητα οργανικής ύλης που δεν έχει οξειδωθεί και εκφράζεται από τη σχέση:

$$dL/dt = -K_1 L \quad (3.1)$$

όπου:

$L$  είναι η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας εκφρασμένης σε ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για την πλήρη οξείδωσή της,

$t$  είναι ο χρόνος και

$K_1$  είναι μια σταθερά γνωστή και σαν σταθερά αποξυγόνωσης.

Από την διαφορική εξίσωση (3.1) προκύπτει η συνάρτηση του *BOD* με το χρόνο που έχει τη μορφή

$$L_t = L e^{-K_1 t}$$

ή

$$y = L(1 - e^{-K_1 t})$$

όπου:

$L$  είναι το τελικό  $BOD$ ,

$y$  είναι το οξυγόνο που καταναλώθηκε μέχρι το χρόνο  $t$  και

$L_t$  είναι το οξυγόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της οξείδωσης της οργανικής ουσίας μετά το χρόνο  $t$ .

Ισχύει δηλαδή:

$$L = Y + L_t$$

Η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό μεταβολής του  $BOD$  εκφράζεται από μια σχέση που συνδέει το ρυθμό της αντιδράσεως στη θερμοκρασία του συστήματος με μια θερμοκρασία αναφοράς, που είναι η θερμοκρασία των  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , και που έχει τη μορφή

$$K_1(T) = K_1(20^\circ\text{C}) 1.047^{(T-20)}$$

όπου:

$K_1(T)$  και  $K_1(20^\circ\text{C})$  είναι οι σταθερές αποξυγόνωσης στις θερμοκρασίες  $T$  και  $20^\circ\text{C}$  αντίστοιχα.

Η εκτίμηση των σταθερών  $K_1$  και  $L$  της συνάρτησης του  $BOD$  γίνεται με την βοήθεια μιας σειράς δεδομένων από πειραματικές μετρήσεις της κατανάλωσης οξυγόνου με το χρόνο για τα δεδομένα απόβλητα ή τη σύνθεση του νερού του υδατορεύματος. Ο συντελεστής αποξυγόνωσης στο περιβάλλον των ποταμών μπορεί να προσδιοριστεί για τμήματα του ποταμού, κατάντη της παροχέτευσης αποβλήτων από τη σχέση:

$$K_1 = 1/t \ln(L_{\text{αν.}}/L_{\text{κατ.}})$$

όπου:

$t$ : είναι ο χρόνος διαδρομής του νερού,

$L_{\text{αν.}}$  και  $L_{\text{κατ.}}$ ): είναι οι τιμές του ανθρακούχου  $BOD$  ανάντη και κατάντη του τμήματος του ποταμού.

### 3.2 Επαναερισμός του νερού των υδάτινων συστημάτων

Οι δυσμενείς επιπτώσεις της μείωσης του οξυγόνου από την οξείδωση των οργανικών ουσιών αντιμετωπίζεται στη φύση με τη διαδικασία του επαναερισμού των υδάτινων

συστημάτων. Με τη διαδικασία αυτή το οξυγόνο και τα άλλα αέρια της ατμόσφαιρας ανανεώνουν τα αντίστοιχά τους που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό των συστημάτων. Το γεγονός ότι με τον επαναερισμό ανανεώνεται το οξυγόνο του νερού δεν αποτελεί και εγγύηση ότι ικανοποιητικές ποσότητες του θα είναι διαθέσιμες στην κατάλληλη θέση του ρεύματος για την κατάλληλη χρήση.

Η ευαισθησία των ψαριών στις χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου διαφέρει ανάλογα με το είδος τους, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξής τους (αυγά, λάρβες και ενήλικα) και ανάλογα των συνθηκών ανάπτυξής τους (διαθεσιμότητα τροφής, ταχύτητα ανάπτυξης και αναπαραγωγής τους). Όταν οι άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι σε κανονικά επίπεδα η ελάχιστη τιμή του διαλυμένου οξυγόνου που να ικανοποιεί τις περισσότερες περιπτώσεις και δράσεις του βιολογικού κύκλου είναι τα 5 ppm. Επειδή το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα ποτάμι κυμαίνεται κατά μήκος και στο χρόνο δεν μπορούν να ορισθούν κριτήρια που να βασίζονται μόνο σε μια ελάχιστη τιμή του η οποία μπορεί να παραβιασθεί, αλλά θα πρέπει να αναφέρεται σαν ελάχιστη τιμή και σαν ποσοστό εμφάνισής της (π.χ. ελάχιστη τιμή 5 ppm και 95% να παραβιάζεται) για ένα ορισμένο χρόνο.

Η ταχύτητα εισόδου του οξυγόνου στη μάζα του νερού εξαρτάται από την ποσότητα οξυγόνου που είναι διαθέσιμη για μεταφορά και από το έλλειμμα στη μάζα του νερού. Αν και το έλλειμμα οξυγόνου είναι ο κύριος παράγοντας της ταχύτητας επαναερισμού, η πραγματική ποσότητα οξυγόνου που θα εισέλθει στο νερό εξαρτάται από τα φυσικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού, όπως είναι η θερμοκρασία, το βάθος ροής, ο διαθέσιμος όγκος νερού και το τυρβώδες του ποταμού. Μια άλλη διαδικασία αύξησης του οξυγόνου είναι η φωτοσύνθεση των υδρόβιων φυτών.

Η ταχύτητα επαναερισμού έχει σχέση με τη μεταφορά μάζας των αερίων σε ένα διφασικό μέσο που στην περίπτωση του επαναερισμού είναι ο αέρας της ατμόσφαιρας και το νερό, και είναι ανάλογη με τη διαφορά μεταξύ της υπάρχουσας συγκέντρωσης και της συγκέντρωσης ισορροπίας του αερίου στο υδατικό διάλυμα. Η σχέση αυτή περιγράφεται από την εξίσωση:

$$dC/ dt = K_2(Cs - C) \quad (3.2)$$

όπου:

$C$  : είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου,

$C_s$ : είναι η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου και

$K_2$ : είναι μία σταθερά αναλογίας, γνωστή και σαν σταθερά επαναερισμού.

Αν η διαφορά  $D = C_s - C$  θεωρηθεί ότι είναι το έλλειμμα οξυγόνου στο νερό η εξίσωση (3.2) γράφεται

$$dD/dt = -K_2D \quad (3.3)$$

Η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη βαρομετρική πίεση και την αλατότητα του νερού. Μια απλή σχέση που εκφράζει τη συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου σαν συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας είναι η εξής:

$$C_s = 14.652 - 0.4102 T + 0.007991 T^2 - 0.000077794 T^3 \quad (3.4)$$

στην οποία  $C_s$  είναι η συγκέντρωση οξυγόνου που αντιστοιχεί στον κορεσμό, και  $T$  είναι η θερμοκρασία σε °C.

Η διαλυτότητα του οξυγόνου μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων. Για το θαλασσινό νερό, η σχέση (3.4) πρέπει να πολλαπλασιασθεί με τον παράγοντα  $(1 - S/100000)$ , στον οποίο  $S$  είναι η συγκέντρωση χλωρίου στο νερό εκφρασμένη σε ppm. Η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου στο γλυκό νερό στους 20 °C και  $P = 760$  mmHg είναι ίση με 9,15 ppm. Στο θαλασσινό νερό όπου η συγκέντρωση  $C_1$  είναι κατά μέσο όρο  $S = 19000$  ppm, η συγκέντρωση κορεσμού του οξυγόνου είναι 7,41 ppm.

Από τη σχέση (3.3) γίνεται φανερό ότι για την εκτίμηση του επαναερισμού σημαντικό ρόλο έχει ο συντελεστής επαναερισμού  $K_2$ . Στις περισσότερες εξισώσεις των εμπειρικών μοντέλων που έχουν προταθεί για τον υπολογισμό του  $K_2$ , ο συντελεστής αυτός θεωρείται ανάλογος με την μέση ταχύτητα ροής και αντιστρόφως ανάλογος με ω βάθος ροής. Στη συνέχεια δίνονται μερικές εμπειρικές εξισώσεις υπολογισμού του  $K_2$ , που παρουσίασε ο Rathbum το 1977.

Εξίσωση των Churchill et al. (1962),

$$K_2 = 0.235 V^{0.97} H^{1.67} \quad (3.5)$$

Εξίσωση των Owens et al. (1964),

$$K_2 = 0.325 V^{0.73} H^{1.75} \quad (3.6)$$



Εξίσωση των Isaacs and Gaudy (1968), και

$$K_2 = 0.223 V^{H-15} \quad (3.7)$$

Εξίσωση των Bennett - Rathbum (1972).

$$K_2 = 0.262 V^{0.607} H^{-1.689} \quad (3.8)$$

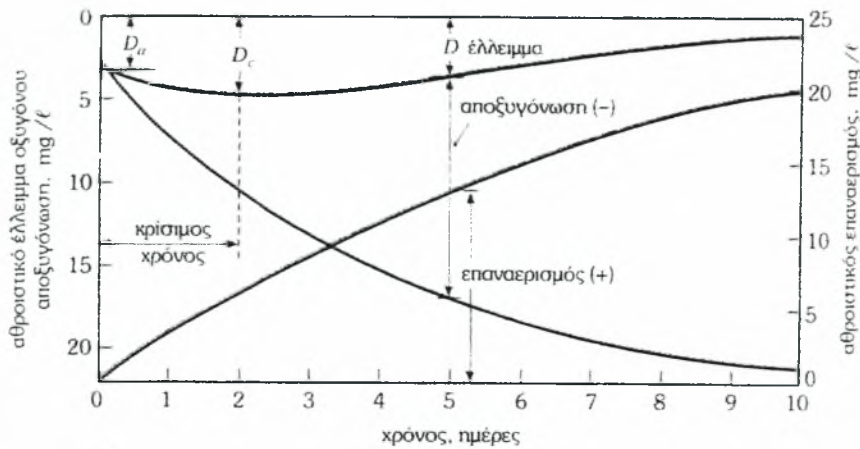
Στις εξισώσεις αυτές ο συντελεστής επαναερισμού εκφράζεται σε ώρες<sup>-1</sup>. Η τιμή του  $K_2$  όμως επηρεάζεται από ορισμένους παράγοντες που είναι 1) η ύπαρξη οργανικής ουσίας στο νερό, 2) η ανάπτυξη μικροφυκών, 3) οι αποθέσεις βούρκου σων πυθμένα και 4) η παρουσία ορισμένων ουσιών, όπως τα απορρυπαντικά και τα λάδια που περιορίζουν άμεσα και σημαντικά το ρυθμό του επαναερισμού.

Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται ο επαναερισμός είναι η θερμοκρασία. Μια σχέση που συνδέει την τιμή του  $K_2$  σε οποιαδήποτε θερμοκρασία με αυτή του  $K_2$  στη θερμοκρασία των 20°C έχει τη μορφή

$$K_2 (T^\circ C) = K_2 (20^\circ C) \times 1.024^{(T-20)} \quad (3.9)$$

### 3.3 Ισοζύγιο οξυγόνου στο νερό των υδατορευμάτων

Το διαλυμένο οξυγόνο που υπάρχει στο νερό σε κάποιο τμήμα του ρεύματος είναι το αποτέλεσμα αυτής συνδυασμένης δράσης των διαδικασιών αποξυγόνωσης και επαναερισμού (Σχήμα 3.2). Η καμπύλη που εκφράζει τη διακύμανση του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος αυτής ποταμού λέγεται *καμπύλη υποβιβασμού του οξυγόνου*. Χαρακτηριστικό σημείο αυτής καμπύλης αυτής είναι το κρίσιμο επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου και ο κρίσιμος χρόνος, που εκφράζουν το χαμηλότερο επίπεδο οξυγόνου ή το μεγαλύτερο έλλειμμα οξυγόνου κατά μήκος του ποταμού και το χρόνο ή την απόσταση από τη θέση εισροής των αποβλήτων που δημιουργείται αυτό.



Σχήμα 3.2 Τυπικές καμπύλες αποξυγόνωσης, επαναερισμού και υποβιβασμού του οξυγόνου σε υδατορεύματα.

Η εξίσωση που περιγράφει τη μεταβολή του ελλείμματος του οξυγόνου κατά μήκος ενός ποταμού που δέχεται σε μια θέση του οργανικά απόβλητα εκφράζεται από τη γνωστή σχέση των Streeter and Phelps (1925) που έχει ως εξής:

$$dD/dt = K_1 L - K_2 D \quad (3.10)$$

όπου:

- $D = C_s - C$  είναι το έλλειμμα οξυγόνου στο νερό (mg / l),
- $C_s$  είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου κορεσμού (mg/l),
- $C$  είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l),
- $L$  είναι το  $BOD$  (mg/l),
- $K_1$  είναι ο συντελεστής απ οξυγόνωσης ( $day^{-1}$ ), και
- $K_2$  είναι ο συντελεστής επαναερισμού ( $day^{-1}$ ).

Στη σχέση αυτή ο πρώτος όρος ( $K_1 L$ ) αντιπροσωπεύει την αντίδραση της αποξυγόνωσης και δείχνει ότι το έλλειμμα του οξυγόνου αυξάνει ανάλογα προς το  $BOD$  που υπολείπεται ( $L$ ) και το ρυθμό αποξυγόνωσης ( $K_1$ ). Ο δεύτερος όρος ( $K_2 D$ ) αντιπροσωπεύει την αντίδραση επαναερισμού και δείχνει ότι το έλλειμμα του οξυγόνου ελαττώνεται ανάλογα προς το υφιστάμενο έλλειμμα ( $D$ ) και το ρυθμό επαναερισμού ( $K_2$ ).

Από τη λύση της εξίσωσης (3.10) προκύπτει η συνάρτηση που δίνει τη διακύμανση του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος του ποταμού

$$D = K_1 L_a / K_2 - K_1 (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_a e^{-K_2 t} \quad (3.11)$$

όπου:

$L_a$  είναι το BOD στη θέση  $X = 0$  (ή  $t = 0$ ),

$D_a$  είναι το αρχικό έλλειμμα οξυγόνου,

$D$  είναι το έλλειμμα οξυγόνου στο χρόνο  $t$ .

Η εξίσωση (3.11) δείχνει ότι το έλλειμμα του οξυγόνου σε οποιοδήποτε σημείο του ρεύματος στα κατάντη του σημείου εισόδου των αποβλήτων μπορεί να υπολογισθεί όταν είναι γνωστά τα  $L_a$ ,  $D_a$ ,  $K_1$  και  $K_2$ .

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάλυση της ρύπανσης των ρευμάτων παρουσιάζει η γνώση του κρίσιμου χρόνου και του κρίσιμου ελλείμματος, δηλαδή του μέγιστου ελλείμματος οξυγόνου που μπορεί να παρουσιασθεί κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες ρυπάνσεως. Το κρίσιμο έλλειμμα οξυγόνου και ο κρίσιμος χρόνος μπορούν να υπολογιστούν από τις σχέσεις

$$D_c = K_1 / K_2 L_a e^{-K_1 t_c} \quad (3.12)$$

$$t_c = 1 / K_2 - K_1 \ln \{ K_2 / K_1 [1 - D_a (K_2 - K_1) / K_1 L_a] \} \quad (3.13)$$

Στις θέσεις όπου τα απόβλητα σημειακών πηγών ή το νερό των παραποτάμων αναμιγνύονται με το νερό των ποταμών, η τιμή της θερμοκρασίας, του διαλυμένου οξυγόνου και του BOD στο μίγμα μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω γενική εξίσωση:

$$C_m = C_s Q_s + C_w Q_w / Q_s + Q_w \quad (3.14)$$

όπου:

$C_m$  είναι η συγκέντρωση ή τιμή στο μίγμα (π.χ. της θερμοκρασίας, του DO, του BOD),

$C_s$  είναι η συγκέντρωση στα απόβλητα,

$C_w$  είναι η συγκέντρωση στο νερό του ποταμού ανάντη,

$Q_s$  είναι η παροχή των αποβλήτων και

$Q_w$  είναι η παροχή του ποταμού ανάντη της ανάμιξης.

### 3.4 Ισοζύγιο Οξυγόνου με Νιτροποίηση και Φωτοσύνθεση

Το ισοζύγιο του οξυγόνου εκτός από ης δύο διαδικασίες που αναφέρθηκαν, την αποξυγόνωση λόγω της οξειδωσης των ανθρακούχων οργανικών ουσιών και τον

επαναερισμό, επηρεάζεται και από την οξείδωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων, από τη φωτοσύνθεση και από τη ζήτηση οξυγόνου για την οξείδωση των οργανικών ιζημάτων του πυθμένα των ποταμών και λιμνών.

Το οξυγόνο που καταναλώνεται για την οξείδωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων είναι γνωστό σαν αζωτούχος ζήτηση οξυγόνου (NBOD). Το οξυγόνο αυτό απαιτείται κυρίως για τη νιτροποίηση της αμμωνίας που είναι το προϊόν της υδρόλυσης των αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Η σημασία της NBOD είναι μεγάλη τόσο για τα υδατορεύματα, όσο και για τις λίμνες γιατί είναι μια πρόσθετη Ζήτηση οξυγόνου και γιατί τα τελευταία χρόνια στα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των οργανικών ανθρακούχων αποβλήτων αλλά τα επεξεργασμένα λύματα συνεχίζουν να έχουν υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου.

Επειδή για την οξείδωση 1 mg / l NH<sub>4</sub> - N απαιτούνται περίπου 4,57 mg/l οξυγόνου, για το λόγο αυτό κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισοδύναμης ποσότητας οξυγόνου για την πλήρη οξείδωση της αμμωνίας, η συγκέντρωση του NH<sub>4</sub>-N πολλαπλασιάζεται επί 4,57.

Η άλλη σημαντική διαδικασία που επηρεάζει τη διακύμανση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου είναι η φωτοσύνθεση των χλωροφυλλούχων φυτών. Η πηγή αυτή οξυγόνου δεν είναι συνεχής αλλά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου επειδή εξαρτάται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Για να συμπεριληφθεί σε ένα απλό μαθηματικό μοντέλο πρέπει αυτό να περιλαμβάνει τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής με το χρόνο.

Όλες οι διαδικασίες που προαναφέρθηκαν και που επηρεάζουν το διαλυμένο οξυγόνο παρουσιάζονται διαγραμματικά στο Σχ. 3.3. Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει τη μεταβολή του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος ενός υδατορεύματος με το χρόνο, παίρνοντας υπόψη όλες αυτές τις διαδικασίες, διαμορφώνεται στην παρακάτω σχέση:

$$C/\partial t = -U \partial C/\partial x + K_2(C_s - C) - K_1 N + P - R - S \quad (3.15)$$

όπου:

C είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου,

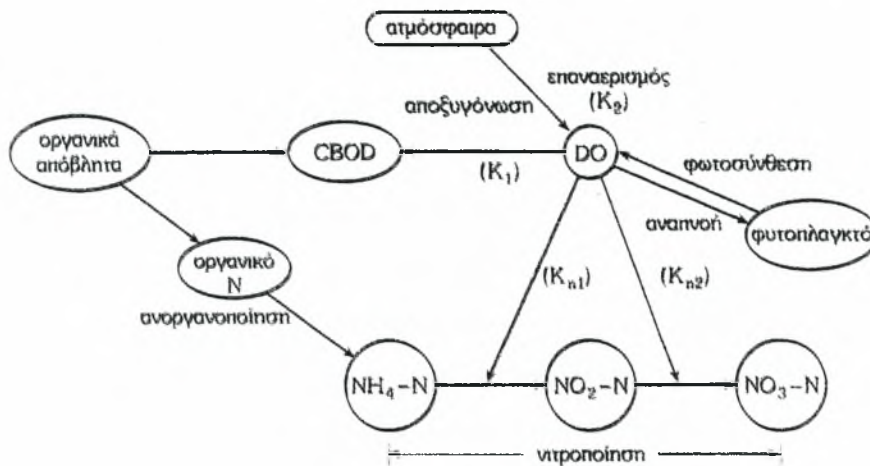
C<sub>s</sub> είναι η συγκέντρωση κορεσμού,

K<sub>1</sub> είναι ο συντελεστής αποξυγόνωσης,

K<sub>2</sub> είναι ο συντελεστής επαναερισμού,

K<sub>n</sub> είναι ο συντελεστής αποξυγόνωσης για την οξείδωση των αζωτούχων ενώσεων,

- L είναι το ανθρακούχο BOD,
- N είναι το αζωτούχο BOD,
- P είναι ο ρυθμός παραγωγής οξυγόνου με τη φωτοσύνθεση των φυτών,
- R είναι ο ρυθμός αναπνοής των φυτών και
- S είναι ο ρυθμός αναπνοής των βακτηρίων του βένθους.



Σχήμα 3.3 Αλληλεπιδράσεις των ενώσεων και διαδικασίες που επηρεάζουν το ισοζύγιο του διαλυμένου οξυγόνου.

Οι μεταβλητές  $L$ ,  $N$  και  $P$  εκφράζονται από τις σχέσεις

$$L = L_a e^{-K_1 t} \quad (3.16)$$

$$N = N_a e^{-K_1 t} \quad (3.17)$$

$$P(t) = P_m \sin [-(t - t_s)] \quad \text{όταν } t_s < t < t_s + P \quad (3.18)$$

$$P(t) = 0 \quad \text{όταν } t_2 + P < t < t_s + 1 \quad (3.19)$$

όπου:

- $L_a$  και  $N_a$  είναι το CBOD και το NBOD ανάντη του υδατορεύματος,
- $P_m$  είναι η μέγιστη παραγωγή οξυγόνου με τη φωτοσύνθεση (mg /l- day),
- $t_2$  είναι ο χρόνος έναρξης της φωτοσύνθεσης και
- $P$  είναι το κλάσμα της ημέρας στο οποίο υπάρχει η φωτοσύνθεση.

Η συνάρτηση των Εξ. (3.16) και (3.19) επαναλαμβάνεται περιοδικά κάθε μέρα.

Η αναπνοή ( $R$ ) και η ζήτηση οξυγόνου των ιζημάτων του πυθμένα ( $S$ ) εκφράζονται από κινητικές αντιδράσεις μηδενικής τάξης.

### 3.5 Εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας ουσιών στα υδατορεύματα

Ο σχεδιασμός των τεχνικών έργων, η διαχείριση των υδατορευμάτων και οι μελέτες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων απαιτούν πληροφορίες για ης ποσότητες των ενώσεων του αζώτου, του φωσφόρου, του διαλυμένου οξυγόνου, του οργανικού φορτίου, των ανόργανων αλάτων, των βαρέων μετάλλων και των τοξικών ενώσεων σε κάθε θέση και σε κάθε χρονική στιγμή για κάθε μια ορισμένη υδρολογική κατάσταση και διαχείριση του υδατορεύματος. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στον καθορισμό των θέσεων διοχέτευσης υγρών αποβλήτων, των ορίων περιορισμού των ρύπων στις σημειακές πηγές, έτσι που να μη διαταράσσεται η οικολογική ισορροπία των υδάτινων συστημάτων.

Η λεπτομερής ανάλυση και διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων των φυσικών, χημικών, βιολογικών και υδραυλικών παραγόντων στα υδάτινα συστήματα μπορεί να γίνει με τη βοήθεια σύνθετων μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης της ποιότητάς τους. Στα μοντέλα αυτά περιγράφονται τόσο η υδροδυναμική κατάσταση, καθώς και οι φυσικοχημικοί και βιολογικοί μετασχηματισμοί των ουσιών. Στις υδροδυναμικές διαδικασίες περιλαμβάνονται οι διαδικασίες μεταφοράς μάζας που είναι η μετακίνηση με τη ροή του νερού, η ανάμιξη και η διασπορά των ουσιών, ενώ στους φυσικοχημικούς και βιολογικούς μετασχηματισμούς περιλαμβάνονται οι διαδικασίες παραγωγής, απομάκρυνσης και μετασχηματισμού τους σε νέα προϊόντα που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μέσα στη μάζα του νερού.

Η μονοδιάστατη εξίσωση διατήρησης της μάζας μιας ουσίας κατά μήκος ενός ποταμού έχει την εξής μορφή:

$$\partial C/\partial t = \partial/\partial x(D_L \partial C/\partial x) - \partial UC/\partial x \pm S \quad (3.20)$$

όπου:

$C$  είναι η συγκέντρωση της ουσίας σε mg / l,

$D_L$  είναι ο συντελεστής διαμήκους διασποράς σε  $m^2 / day$ ,

$U$  είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/day, και



$S$  είναι ένας όρος που εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της ουσίας λόγω εξωτερικής εισροής ή εκροής ή από ης διαδικασίες μετασχηματισμών, ανά μονάδα όγκου.

Στην Εξ. (3.20) ο όρος στα αριστερά εκφράζει τη μεταβολή μάζας στο χρόνο, ο πρώτος όρος στα δεξιά εκφράζει τη ροή μάζας λόγω διασποράς και διάχυσης, ο δεύτερος όρος τη ροή μάζας με μετακίνηση, και ο τρίτος όρος τις προσθήκες και αφαιρέσεις της ουσίας. Στα υδατορεύματα με μεγάλες ταχύτητες ροής και κατά συνέπεια μικρό χρόνο παραμονής της μάζας του νερού, η συνιστώσα της διασποράς μπορεί να θεωρηθεί ασήμαντη. Κάτω από συνθήκες σταθερής κατάστασης ( $\partial C/\partial t=0$ ) η Εξ. (3.20) απλοποιείται στην παρακάτω:

$$DUC/dx=\pm S \quad \text{ή} \quad dC/dt=\pm S \quad (3.21)$$

που είναι μια πρώτης τάξης γραμμική διαφορική εξίσωση. Οι Εξ. (3.20) και (3.21) αφορούν μία ποιοτική παράμετρο. Σε ένα σύστημα που πολλές διαφορετικές παράμετροι διαμορφώνουν την ποιοτική κατάστασή του πρέπει να οριστούν οι αντίστοιχες εξισώσεις για κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους (Αντωνόπουλος, 1989).

### 3.6 Ευτροφισμός

Η διαδικασία με την οποία η μάζα του νερού των λιμνών και των υδατορευμάτων εμπλουτίζεται με θρεπτικά στοιχεία και έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητάς τους, λέγεται ευτροφισμός. Η αύξηση της παραγωγικότητας έχει σαν συνέπεια την υπέρμετρη ανάπτυξη κυρίως των μικροφυκών και γενικά της βιομάζας στο νερό, που οδηγεί στην ποιοτική υποβάθμισή του.

Ο εμπλουτισμός των λιμνών με θρεπτικά στοιχεία είναι ένα φυσικό φαινόμενο και μια βαθμιαία διαδικασία κατά την περίοδο της ζωής τους. Αυτή η διαδικασία του ευτροφισμού απαιτεί μεγάλες χρονικές περιόδους (π.χ. αιώνες), αν και πρόσφατα σε μερικές λίμνες παρατηρήθηκε η δημιουργία ευτροφικών συνθηκών σε λίγες δεκαετίες ή και σε ακόμα μικρότερο χρόνο. Αυτός ο επιταχυνόμενος ευτροφισμός, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έκλυση του φωσφόρου και του αζώτου από τα εδάφη προς τα υδάτινα σώματα. Η εντατικοποίηση της γεωργίας με την αύξηση της χρησιμοποίησης των λιπασμάτων του φωσφόρου και του αζώτου και η διοχέτευση των υγρών αποβλήτων των οικισμών (τα απορρυπαντικά έχουν σαν βάση το φώσφορο) είναι οι

κυριότερες πηγές των θρεπτικών στοιχείων.

Η διαδικασία του ευτροφισμού περιγράφει τον εμπλουτισμό του νερού των λιμνών με θρεπτικά στοιχεία. Η βαθμιαία προσθήκη θρεπτικών στοιχείων σε μια αρχικά φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία λίμνη (ολιγότροφος) δημιουργεί, βαθμιαία συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων (τόσο στη μάζα του νερού όπως και στα ιζήματα του πυθμένα) με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, που λέγεται ευτροφικό (σχήμα 3.4).

Το πιο εμφανές πρόβλημα σε μία ρηχή λίμνη όπως η λίμνη της Καστοριάς είναι η μετάβαση σε μία κατάσταση που χαρακτηρίζεται από μεγάλη αύξηση κυανοφυκών (ορισμένων τοξικών) και μαζική συσσώρευσή τους στο επιφανειακό στρώμα νερού (φαινόμενο άνθισης του νερού). Σε περιπτώσεις μεταφοράς με τον άνεμο μεγάλων ποσοτήτων κυανοφυκών στις ακτές και παραμονή τους για αρκετό χρονικό διάστημα παρατηρούνται ανοξικές συνθήκες στο νερό λόγω της έντονης αποικοδόμησης της φυτοπλαγκτικής βιομάζας από το βακτηριοπλαγκτόν και ως εκ τούτου της κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου.

Σε φυσικά συστήματα, χωρίς ανθρωπογενείς επιδράσεις, η πορεία του ευτροφισμού είναι αργή με ρυθμούς που εξαρτώνται από τη γεωλογία της λεκάνης απορροής. Όμως από τη δεκαετία του '50 μέχρι και του '70 συνέβησαν δραματικές αυξήσεις στις εισερχόμενες ποσότητες των θρεπτικών σε λίμνες των ανεπτυγμένων χωρών και ο ευτροφισμός (ανθρωπογενής) προχώρησε με πολύ γρήγορους ρυθμούς με την εμφάνιση έντονων προβλημάτων στις λίμνες. Έτσι από τη δεκαετία του '80 άρχισε η προσπάθεια για αποκατάσταση των λιμνών αυτών (Μουστάκα κ.ά., 1999).



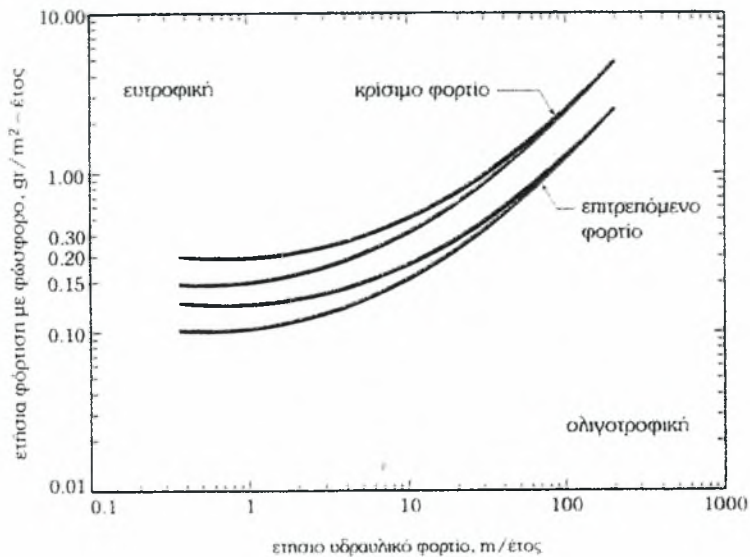
Σχήμα 3.4 Εξέλιξη της τροφικής κατάστασης μιας λίμνης στο χρόνο

Η κατάσταση κάθε υδάτινου ως προς τα περιεχόμενα θρεπτικά στοιχεία, που λέγεται τροφική κατάσταση (trophic status) μπορεί να ταξινομηθεί σε μια κλίμακα από την ολιγοτροφία μέχρι τον ευτροφισμό. Η ταξινόμηση αυτή είναι υποκειμενική και σχετική. Η εταιρεία προστασίας του περιβάλλοντος της Αμερικής (U.S.EPA, 1972) καθόρισε τα παρακάτω κριτήρια για τον καθορισμό της κατάστασης μιας λίμνης:

1. την πτώση της υπολιμνικής συγκέντρωσης του οξυγόνου,
2. την αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων,
3. την αύξηση των αιωρούμενων στερεών και ειδικά των οργανικών ουσιών,
4. την προοδευτική μεταβολή του πληθυσμού των διατόμων σε πληθυσμούς όπου κυριαρχούν τα γαλαζοπράσινα ή τα πράσινα φύκη,
5. τη μείωση της διαπερατότητας του φωτός και
6. την αύξηση των συγκεντρώσεων του φωσφόρου στα ιζήματα.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για να βρεθεί τρόπος πρόβλεψης του τροφικού επιπέδου του νερού σαν συνάρτηση είτε του φορτίου των θρεπτικών στοιχείων που εισέρχεται στις λίμνες, είτε κάποιων άλλων μετρήσιμων ποσοτήτων. Για το σκοπό αυτό ο Vollenweider (1976) χρησιμοποίησε τη συγκέντρωση φωσφόρου. Σύμφωνα με αυτόν, λίμνες που έχουν συγκέντρωση φωσφόρου μεταξύ 10 και 20 mg/m<sup>3</sup> θεωρούνται μεσότροφες, ενώ λίμνες με συγκέντρωση κάτω από 10 mg/m<sup>3</sup> είναι ολιγότροφες και οι λίμνες που περιέχουν φώσφορο περισσότερο από 20 mg/m<sup>3</sup> θεωρούνται εύτροφες.

Ο ευτροφισμός μπορεί να εκτιμηθεί με μαθηματικά μοντέλα που συσχετίζουν το τροφικό επίπεδο με τη φόρτιση των λιμνών με θρεπτικά στοιχεία, τόσο από εξωτερικές πηγές, όσο και από την ανακύκλωση μέσα στη λίμνη. Ένα απλό μαθηματικό μοντέλο αναπτύχθηκε από τον Vollenweider (1975) στο οποίο συσχετίζεται η ετήσια φόρτιση με φώσφορο με το μέσο βάθος της λίμνης και το βαθμό εμπλουτισμού της. Με το σχήμα 3.5 μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση της λίμνης με βάση την ετήσια φόρτιση με φώσφορο και το μέσο ετήσιο υδραυλικό φορτίο (ίσο με το λόγο του μέσου βάθους προς το χρόνο ανανέωσης του νερού).



Σχήμα 3.5 Σχέση φόρτισης με φώσφορο και υδραυλικού φορτίου ( $q=z/t$ ) στις λίμνες για διαφορετικά τροφικά επίπεδα.

Η επιτρεπτή φόρτιση που μπορεί να εκτιμηθεί από το ίδιο διάγραμμα είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη για να παραμείνει η λίμνη ολιγοτροφική. Οι τιμές αυτές για το φώσφορο είναι η οριακή καμπύλη μεταξύ ολιγοτροφίας και μεσοτροφίας των λιμνών. Μεγαλύτερη φόρτιση της λίμνης οδηγεί σε ευτροφική κατάσταση. Η μέση συγκέντρωση του φωσφόρου σε μια λίμνη μπορεί να εκτιμηθεί με την παρακάτω εξίσωση που προέρχεται από την εξίσωση του ισοζυγίου μάζας :

$$P = L/q/1 + (z/q)^{0.5} \quad (3.22)$$

όπου:

$P$  είναι η μέση συγκέντρωση φωσφόρου του νερό της λίμνης ( $\text{g}/\text{m}^3$ ),

$L$  είναι η ετήσια φόρτιση της λίμνης με φώσφορο ανά μονάδα επιφάνειάς της ( $\text{g}/\text{m}^2$ -έτος),

$q$  είναι το ετήσιο υδραυλικό φορτίο ( $\text{m}^3/\text{m}^2$  -έτος) που είναι ίσο με το λόγο του μέσου βάθους προς το χρόνο ανανέωσης του νερού ( $z/t$ ),

$z$  είναι το μέσο βάθος της λίμνης (m), και

$t$  είναι ο χρόνος ανανέωσης του νερού (έτη), ίσος με το λόγο του μέσου βάθους προς το υδραυλικό φορτίο.

Από τη σχέση (3.22) μπορεί να υπολογιστεί το επιτρεπτό φορτίο φωσφόρου ώστε η λίμνη να παραμένει ολιγοτροφική και το κρίσιμο που δείχνει τον κίνδυνο η λίμνη να γίνει ευτροφική.

$$Lc = P_c q [1 + (z/q)^{0.5}] \quad (3.23)$$

Οι αντίστοιχες τιμές για το επιτρεπτό και το κρίσιμο φορτίο φωσφόρου υπολογίζονται για τις συγκεντρώσεις  $P_c$  των 10 και 20 mg/m<sup>3</sup>.

Η αύξηση της βιομάζας που παρατηρείται με την βαθμιαία αύξηση των θρεπτικών στοιχείων στις λίμνες είναι αρχικά ευνοϊκή, επειδή η λίμνη γίνεται περισσότερο παραγωγική. Με την πάροδο του χρόνου η αύξηση της βιομάζας είναι τέτοια που τελικά οδηγεί στην εξαφάνιση του διαλυμένου οξυγόνου, καθώς τα βακτήρια αποικοδομούν τα οργανικά υλικά και καταναλώνουν οξυγόνο. Η ταχύτητα μείωσης του οξυγόνου είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι όταν η πρωτογενής παραγωγικότητα είναι μεγαλύτερη, και ακόμα μεγαλύτερη στα βαθιά νερά προκαλώντας τον θάνατο των ψαριών. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί (φύκη) παράγουν οξυγόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και καταναλώνουν αυτό κατά τη νύχτα έτσι που επηρεάζουν την διακύμανση του οξυγόνου του νερού στο εικοσιτετράωρο. Η μεγάλη βιομάζα προκαλεί διακύμανση του οξυγόνου από τον υπερκορεσμό κατά την ημέρα μέχρι την πλήρη εξαφάνισή του κατά τη νύχτα.

Η αύξηση της βιομάζας στα πρώτα στάδια του ευτροφισμού προκαλείται από την αύξηση των παραγωγών οι οποίοι αργότερα μειώνονται υπέρ των καταναλωτών. Στη μάζα του νερού των λιμνών οι παραγωγοί (π.χ. φύκη) χρησιμοποιούν τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και με την φωτοσύνθεση δημιουργούν οργανική ύλη. Το υλικό αυτό καταναλώνεται από τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (ή καταναλωτές) οι οποίοι δεν έχουν την ικανότητα να συνθέσουν οργανικά υλικά για την τροφή τους. Υπάρχουν όμως και καταναλωτές οι οποίοι τρέφονται από καταναλωτές χαμηλότερων σταδίων. Παράλληλα με το θάνατο των οργανισμών (είτε παραγωγών ή καταναλωτών) οργανικά υλικά αποβάλλονται από την τροφική αλυσίδα, τα οποία μπορούν να καταναλωθούν από τους αποσυνθέτες που μετατρέπουν τα οργανικά υλικά σε ανόργανα στοιχεία τα οποία επιστρέφουν στο αρχικό στάδιο της τροφικής αλυσίδας για να ξαναχρησιμοποιηθούν από τους παραγωγούς.

Οι συνέπειες του ευτροφισμού εξαρτώνται από τη χρήση του νερού. Το νερό των ταμιευτήρων που περιέχει μεγάλη μάζα φυτοπλαγκτού δημιουργεί προβλήματα στα φίλτρα των δικτύων διανομής του νερού και της εκροής τους. Ορισμένα φύκη εκκρίνουν τοξίνες, οι οποίες προκαλούν προβλήματα στους ανθρώπους και τα ζώα



που κολυμπούν ή πίνουν απ' αυτό το νερό. Τα φύκη ακόμα περιορίζουν τη διαφάνεια του νερού και δίνουν σ' αυτό σκοτεινή πράσινη εμφάνιση. Η πιο επιτυχής διαδικασία απομάκρυνσης των φυκών είναι η βραδεία διύλιση σε άμμο, η οποία είναι χρονοβόρα και απαιτεί μεγάλη έκταση. Η γεύση και το χρώμα που δίνουν τα φύκη στο νερό διατηρούνται μέσα στο δίκτυο μέχρι τη χρήση του.

Η παρουσία υψηλών επιπέδων νιτρικών είναι επικίνδυνη για την δημόσια υγεία ακόμα και όταν δεν υπάρχουν προβλήματα από την αύξηση της βιομάζας. Τα νεκρά υλικά της βιομάζας στις εύφορες λίμνες καθιζάνουν στον πυθμένα κάνοντας το υπολίμνιο ανοξικό, χωρίς οξυγόνο. Στους ταμιευτήρες, που κατασκευάζονται για τη διαχείριση των ποταμών, η εκροή ανοξικού νερού μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στα κατάντη γι' αυτό η υδροληψία του νερού πρέπει να γίνεται από το επιλίμνιο. Στις λίμνες που χρησιμοποιούνται για αναψυχή, η υψηλή συγκέντρωση φυκών και η σε μεγάλη έκταση ανάπτυξη μακρόφυτων αποθαρρύνουν τους χρήστες δυσφημίζοντας την αισθητική αξία της. Οι κολυμβητές σε ευτροφικά νερά, συνήθως υποφέρουν από τη φαγούρα των κολυμβητών, που είναι μια χρόνια δερματίτιδα που προέρχεται από τις τοξίνες των φυκών. Επίσης μπορεί να δημιουργηθούν αναπνευστικά προβλήματα και ερεθισμός των ματιών. Από την κατανάλωση του νερού προκαλούνται γαστρεντερίτιδες, διάρροια, εμετός, κράμπες και πόνοι στις αρθρώσεις.

Ο ευτροφισμός είναι ουσιαστικά μια διαδικασία που συμβαίνει σε στάσιμα υδάτινα σώματα (lentic), όπως είναι οι λίμνες και οι ταμιευτήρες και όχι των κινουμένων μερών των ποταμών και των εκβολών τους. Στα ποτάμια που έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου και στα οποία αναπτύσσονται παρόχθια μακρόφυτα, οι πηγές των θρεπτικών στοιχείων είναι τα ιζήματα. Τα ποτάμια και οι εκβολές τους θεωρούνται ευτροφικά, όταν περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων αλλά από μόνα τους δεν μπορούν να αναπτύξουν τις διαδικασίες ευτροφισμού.

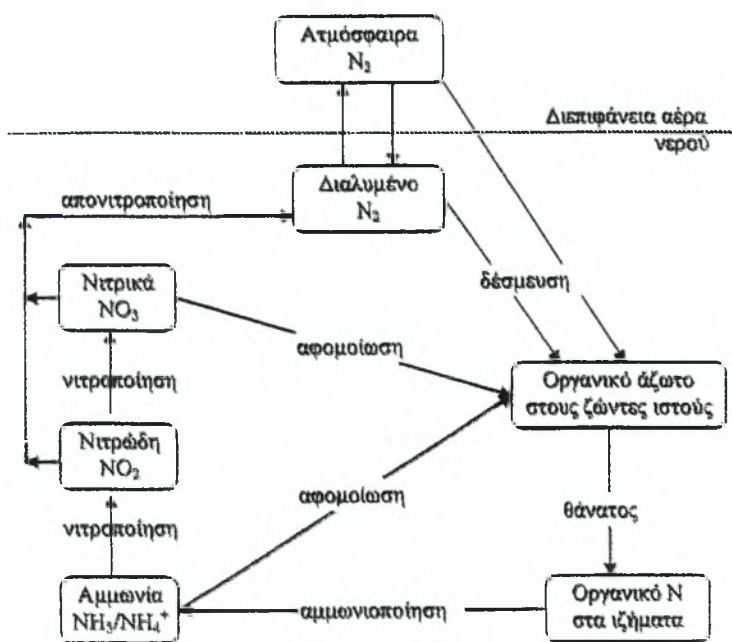
## 4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 4.1 Γενικά

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της ζωής, επειδή αποτελεί δομικό στοιχείο των πρωτεϊνών. Στο φυσικό περιβάλλον βρίσκεται με τη μορφή διαφορετικών ενώσεων. Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των ενώσεων αυτών δημιουργεί τον κύκλο του αζώτου (Σχήμα 4.1). Το άζωτο στη μοριακή του μορφή ( $N_2$ ) είναι το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας, καταλαμβάνοντας το 78% του όγκου της. Η μορφή αυτή του αζώτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από ένα περιορισμένο αριθμό οργανισμών μέσα από τη διαδικασία δέσμευσης, μετατρέποντας το άζωτο της ατμόσφαιρας, σε μια πιο βιολογικά διαθέσιμη μορφή του. Άλλοι οργανισμοί είναι ικανοί να χρησιμοποιούν το δεσμευμένο άζωτο είτε καταναλώνοντας τους οργανισμούς που το έχουν δεσμεύσει είτε με την αφομοίωση των προϊόντων τους.

Οι διαδικασίες της ανοργανοποίησης και της νιτροποίησης του αζώτου γίνονται κάτω από αερόβιες συνθήκες, που όταν αυτές γίνουν αναερόβιες, οι αντιδράσεις αντιστρέφονται με αποτέλεσμα το δεσμευμένο άζωτο να μετατρέπεται στην αέρια μορφή. Αυτό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και έτσι συμπληρώνεται ο κύκλος.

Η αμμωνία, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα οργανικά σύμπλοκα του αζώτου και το αέριο άζωτο είναι οι πιο σημαντικές μορφές του αζώτου στο υδάτινο περιβάλλον. Οι σχέσεις και οι μετασχηματισμοί τους δίνονται στο Σχήμα 4.1. Οι κύκλοι του αζώτου στο υδάτινο και το εδαφικό περιβάλλον είναι παρόμοιοι, διαφέρουν όμως στα μεγέθη που τους αποτελούν. Η υδάτινη βιομάζα είναι μόνο το ένα τριακοστό του μεγέθους της στο έδαφος, αν και η πρωτογενής παραγωγικότητα στο έδαφος είναι διπλάσια.



Σχήμα 4.1 Ο κύκλος του αζώτου στο νερό.

Οι μετασχηματισμοί του αζώτου στο περιβάλλον οφείλονται σε βιολογικές και μη βιολογικές διαδικασίες. Οι σπουδαιότερες μη βιολογικές διαδικασίες είναι η αεριοποίηση της αμμωνίας και των άλλων αέριων μορφών του αζώτου, η καθίζηση των αιωρούμενων μορφών του οργανικού αζώτου και η προσρόφηση της αμμωνίας, για παράδειγμα από τα στερεά υλικά. Στις βιολογικές διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου υπάγονται, η δέσμευση του αζώτου που είναι μια αναγωγική διαδικασία του αερίου αζώτου και η μετατροπή του σε αμμωνία και οργανικό άζωτο με τους μικροοργανισμούς, η αφομοίωση των ανόργανων μορφών του αζώτου (της αμμωνίας και των νιτρικών) από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς σχηματίζοντας οργανικό άζωτο, η ετεροτροφική μετατροπή του οργανικού αζώτου από ένα οργανισμό σε ένα άλλο, η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου με παραγωγή αμμωνίας κατά τη διάρκεια της αποικοδόμησης των οργανικών υλικών, η νιτροποίηση που είναι η διαδικασία της οξειδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά και η απονιτροποίηση με την οποία τα βακτήρια ανάγουν τα νιτρικά σε οξείδια του αζώτου ( $N_2O$ ) και μοριακό αζώτο ( $N_2$ ) κάτω από ανοξικές συνθήκες.

Η νιτρική μορφή του αζώτου είναι η πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου. Σε υδατικά διαλύματα είναι χημικά ανενεργός. Οι υψηλές συγκεντρώσεις τους στο πόσιμο νερό αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα σε πολλές χώρες του κόσμου. Οι συγκεντρώσεις

των νιτρικών, εκφρασμένες σε άζωτο ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) σε μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά (ποτάμια και λίμνες) κυμαίνονται σε τιμές μικρότερες του 0,1 μέχρι 1 mg/L. Επίπεδα νιτρικών μεγαλύτερα από 1 mg/L δείχνουν ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως αστικών λυμάτων και απορροής από αστικές και γεωργικές εκτάσεις. Στις λίμνες τα επίπεδα συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου είναι συνήθως μικρότερα από 1 mg/L και συνήθως είναι μικρότερα από 0,1 mg/L κατά τους θερινούς μήνες. Τιμές που υπερβαίνουν τα 0,3 mg/L ευνοούν την ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών. Στα υπόγεια νερά η εικόνα είναι διαφορετική. Τα τυπικά επίπεδα συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου κυμαίνονται από 0,01 mg/L μέχρι και μεγαλύτερα από 20 mg/L που εξαρτώνται από την περιοχή και τις ανθρωπογενείς επιδράσεις.

#### **4.2 Το άζωτο στα απόβλητα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του**

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν τρεις μορφές του αζώτου, οργανικό, αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο και σε μερικές περιπτώσεις μικρές συγκεντρώσεις νιτρικών. Η σχετική αναλογία αυτών των μορφών του αζώτου εξαρτάται από την προέλευση και το είδος επεξεργασίας των αποβλήτων, αλλά πάντα η αμμωνιακή μορφή βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες, συνήθως σε συγκεντρώσεις μεταξύ 5 και 40 mg N/L. Το κλάσμα του οργανικού αζώτου, το οποίο μπορεί να είναι είτε διαλυμένο ή αιωρούμενο, αποτελείται από μίγμα αμινοξέων, υδατανθράκων και πρωτεϊνών. Όλες αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι μετατρέψιμες σε αμμωνιακό άζωτο με τη βοήθεια των μικροοργανισμών των αποβλήτων ή του εδάφους. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών στα απόβλητα είναι μεταξύ 0 και 30 mg/L N. Κάτω από τις αερόβιες διαδικασίες επεξεργασίας των αποβλήτων, μέρος του αμμωνιακού αζώτου μετατρέπεται σε νιτρικά με τη δράση των νιτροποιητικών βακτηρίων.

Οι κυριότεροι λόγοι που απαιτούν την παρακολούθηση του αζώτου στα απόβλητα και τους αποδέκτες είναι οι εξής: 1) Η αζωτούχος ζήτηση οξυγόνου στους αποδέκτες, 2) Η τοξικότητα της αμμωνίας στα ψάρια, 3) Η αύξηση της απαιτούμενης χλωρίωσης από την παρουσία της αμμωνίας όταν το νερό προορίζεται για πόσιμο, 4) Ο ρόλος του αζώτου σαν στοιχείο ρύθμισης του ευτροφισμού και τα προβλήματα υγείας σε ανθρώπους και ζώα. Οι λόγοι αυτοί οδηγούν στη μεγάλη έμφαση που πρέπει να δίδεται στον έλεγχο και τη διαχείριση του αζώτου στα αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα. Επίσης πρέπει να καταβάλλονται προσπάθειες και να θεσπίζονται όρια που να περιορίζουν σε χαμηλά επίπεδα τις μη οξειδωμένες μορφές

του αζώτου αλλά και τη συνολική ποσότητα του αζώτου στα απόβλητα.

Η ζήτηση οξυγόνου για την οξείδωση των μορφών του αζώτου στους αποδέκτες έχει σημαντική ή όχι σημασία ανάλογα με την μορφή του αποδέκτη. Τα αστικά λύματα περιέχουν 15 – 20 mg/L αζώτου ενώ τα γεωργικά απόβλητα, όπως αυτά που προέρχονται από ζώα και την παραγωγή λιπασμάτων μπορεί να περιέχουν 100 – 1000 mg/L αζώτου. Σε μια μονάδα επεξεργασίας τα απόβλητα που περιέχουν 20 mg/L αμμωνιακού αζώτου και 20mg/L ανθρακούχου BOD και η παροχή είναι 3800 m<sup>3</sup>/ημέρα, απαιτούν περίπου 113,5 kg οξυγόνου ανά ημέρα για την οξείδωση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων και 340,5kg/ημέρα οξυγόνο για την οξείδωση των αζωτούχων ενώσεων στον αποδέκτη. Είναι γνωστό ότι για την οξείδωση 14 kg αμμωνιακού αζώτου απαιτούνται 64 kg οξυγόνου ή 4,57 g O<sub>2</sub>/gr NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας στα επιφανειακά νερά μπορούν να αποβούν θανατηφόρες για τα ψάρια. Η μορφή της αμμωνίας που είναι πιο τοξική είναι η μη ιονική μορφή (un-ionized), ενώ το αμμώνιο έχει μικρή ή καθόλου τοξικότητα. Η *τοξικότητα της μη ιονισμένης μορφής αμμωνίας* αποδόθηκε στην ευκολία με την οποία αυτή διαχέεται στις μεμβράνες των βραγχίων των ψαριών (Thurston et al., 1981).

Πειράματα τοξικότητας της αμμωνίας έδειξαν πως η τοξικότητά της αυξάνει μειούμενης της τιμής του pH. Οι συγκεντρώσεις αμμωνίας που προκαλούν προβλήματα τοξικότητας είναι πάνω από τα 0,025 mg/L NH<sub>3</sub> (U.S. EPA, 1976). Από παρατηρήσεις (Lee et al., 1981) βρέθηκε ότι τα ψάρια είναι σε θέση να παραμένουν για αρκετό χρόνο – ημέρες ή εβδομάδες – σε περιοχές με αυξημένες συγκεντρώσεις αμμωνίας χωρίς να παρουσιάζουν υψηλή θνησιμότητα ενώ παράλληλα έχουν την ικανότητα να αποφεύγουν τις περιοχές χαμηλής ποιότητας νερού, επικίνδυνες για την επιβίωσή τους. Στον Ελλαδικό χώρο προβλήματα από την τοξικότητα της αμμωνίας έχουν παρατηρηθεί στο υδροοικοςύστημα του μικρού ποταμού της Πτολεμαΐδας και της λίμνης Βεγορίτιδας (Αντωνόπουλος κ.α., 1984). Στο ποτάμι της Πτολεμαΐδας μετρήθηκαν συγκεντρώσεις που ξεπερνούσαν το όριο των 0,025 mg/L σ' όλο το μήκος του και σε διάφορες περιόδους του χρόνου, ενώ στη λίμνη κοντά στις εκβολές του ποταμού μετρήθηκαν συγκεντρώσεις που υπερέβαιναν το όριο μόνο την περίοδο της άνοιξης.

Η αμμωνία στο νερό αυξάνει τις *απαιτήσεις χλωρίου* κατά τη διαδικασία απολύμανσής του. Απολύμανση προκαλούν τόσο το ελεύθερο όσο και οι ενώσεις χλωρίου. Εν τούτοις, οι ενώσεις χλωρίου απαιτούν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ή μεγαλύτερη περίοδο ενεργοποίησης από ότι το ελεύθερο χλώριο για να προκαλέσουν



ικανοποιητικού επιπέδου απολύμανση. Κατά την απολύμανση του πόσιμου νερού πρέπει να προστίθεται τέτοια ποσότητα χλωρίου που να ικανοποιείται η ζήτηση της αμμωνίας και να παραμένει αρκετή ποσότητα ελεύθερου χλωρίου που θα απολυμάνει το νερό. Αυτό επιτυγχάνεται όταν προστεθούν περίπου 9,5 mg/L Cl<sub>2</sub> ανά 1,0 mg/L NH<sub>4</sub>-N.

Τόσο οι οξειδωμένες όσο και οι μη οξειδωμένες μορφές του αζώτου συμβάλλουν στην ανάπτυξη της υδρόβιας ζωής των επιφανειακών νερών. Το άζωτο και ο φώσφορος έχουν τον πρωτεύοντα ρόλο στον ευτροφισμό των υδατοσυλλογών. Τα επίπεδα αζώτου που απαιτούνται για να δημιουργηθούν ευτροφικές συνθήκες είναι πολύ χαμηλότερα από τα όρια για το πόσιμο νερό. Οι απόλυτες τιμές δεν καθορίζουν την ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών αλλά η αναλογία N:P. Ο τύπος του περιοριστικού στοιχείου διαφέρει στα διάφορα υδάτινα συστήματα. Επειδή οι ποσότητες φωσφόρου που απαιτούνται για την υδρόβια ανάπτυξη είναι πολύ μικρότερες από ότι του αζώτου, ο φωσφόρος θεωρείται ότι έχει τη μεγαλύτερη σημασία στον ευτροφισμό. Έτσι, όταν ο φωσφόρος βρίσκεται σε περίσσεια, το άζωτο και ο άνθρακας μπορεί να θεωρηθούν περιοριστικά στοιχεία. Τιμές συγκεντρώσεων από 0,5 έως 1,0 mg/L θεωρούνται οι μέγιστες επιτρεπόμενες για την πρόκληση ευτροφικών συνθηκών. Στο θαλάσσιο περιβάλλον τα όρια του αζώτου είναι μικρότερα από 0,6 mg/L.

Η συγκέντρωση των 45 mg/L NO<sub>3</sub> που αντιστοιχεί σε 10 mg/L NO<sub>3</sub>-N θεωρείται από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (WHO) ως η μέγιστη συγκέντρωση που μπορεί να υπάρχει στο πόσιμο νερό. Στην Ευρώπη το ανώτερο όριο συγκέντρωσης NO<sub>3</sub>-N θεωρούνται τα 11,3 mg/L (ισοδύναμα με 50 mg/L NO<sub>3</sub>) για το πόσιμο νερό. Οι αποδεκτές συγκεντρώσεις είναι διαφορετικές στα διάφορα κράτη. Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών προκαλούν τη μεθαιμογλοβιναιμία των βρεφών, καρκίνους του γαστρεντερικού συστήματος και προβλήματα στην υγεία των ζώων (Nitrate, 1988; Antonopoulos and Tsiouris, 2000). Το πρόβλημα εντοπίζεται στη μετατροπή των νιτρικών σε νιτρώδη από τα βακτήρια του στομάχου, τα οποία απορροφούνται από το αίμα και στη συνέχεια μετατρέπει την αιμογλοβίνη σε μεθαιμογλοβίνη, η οποία δεν μπορεί να μεταφέρει το οξυγόνο στους ιστούς των βρεφών. Οι γαστρεντερικοί καρκίνοι οφείλονται στην αντίδραση των νιτρώδων στο στομάχι με τις αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι η αιτία για την δημιουργία τους (Lee et al., 1995). Οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στα αγροτικά ζώα με αποτέλεσμα την απώλεια βάρους και την

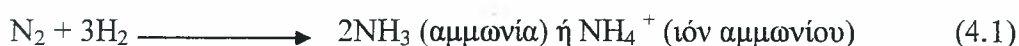
κακή διατροφή. Δεν υπάρχουν διαδικασίες μείωσης ή απομάκρυνσης των νιτρικών από τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά όπου οι συγκεντρώσεις αυτών είναι μεγάλες. Η κυριότερη πρόληψη γίνεται με την εγκατάλειψη αυτών των πηγών νερού. Το όριο για τη συγκέντρωση των νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 1 mg/L.

#### 4.3 Διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου στα υδατικά συστήματα

Οι αζωτούχες ενώσεις στο υδάτινο περιβάλλον μπορούν να μετασχηματιστούν από τη μία μορφή σε κάποια άλλη με ένα αριθμό σύνθετων αντιδράσεων κάτω από φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Οι κυριότερες διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου είναι: α) η δέσμευση του αζώτου της ατμόσφαιρας, β) η νιτροποίηση, γ) η αφομοίωση, δ) η απονιτροποίηση και ε) η αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση και στ) η διαφυγή της αέριας αμμωνίας στην ατμόσφαιρα.

##### α. Δέσμευση του αζώτου

Η δέσμευση του αζώτου είναι μια διαδικασία με την οποία ορισμένοι οργανισμοί μετατρέπουν το άζωτο της ατμόσφαιρας (N<sub>2</sub>) σε αμμωνία (NH<sub>3</sub>), η οποία μπορεί μετά να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή αμινοξέων, αν και σε υψηλά επίπεδα pH, η αμμωνία μετατρέπεται σε υδροξυλικό αμμώνιο

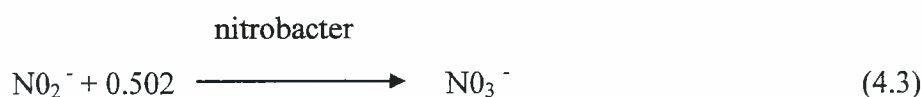
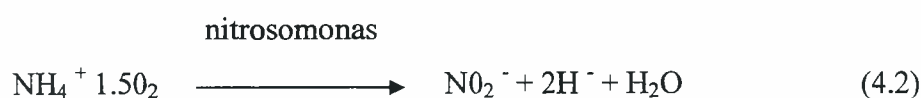


Η δέσμευση είναι μία αναγωγική διαδικασία που καταλύεται από τους μικροοργανισμούς και τα γαλαζοπράσινα φύκη. Απαιτεί την παρουσία της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), η οποία δημιουργείται κατά τη φωτοσύνθεση και αναστέλλεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν σταματά η παραγωγή ATP. Η διαδικασία της δέσμευσης αναστέλλεται σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας γι' αυτό η μέγιστη δέσμευση αζώτου συμβαίνει σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του νερού. Επίσης βρέθηκε ότι η σχετικά υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου ευνοεί τη δέσμευση. Η συνολική ετήσια δέσμευση αζώτου στα υδατικά συστήματα δε υπερβαίνει τα 20 kg N/ha.

Όταν η αμμωνία δημιουργείται από τους οργανισμούς, αυτή είτε αφομοιώνεται απ' ευθείας, είτε οξειδώνεται σε άλλες πιο διαθέσιμες μορφές με τη νιτροποίηση.

## β. Νιτροποίηση

Αυτή είναι ουσιαστικά μία διαδικασία βιολογικής οξείδωσης σε δύο στάδια, που γίνεται από βακτήρια. Στο πρώτο στάδιο η αμμωνία που προήλθε από τη δέσμευση του αζώτου ή την υδρόλυση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων, οξειδώνεται από τα νιτροποιητικά βακτήρια, *nitrosomonas*, και δημιουργούνται νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ), τα οποία μετά οξειδώνονται από άλλα βακτήρια, τα *nitrobacter*, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ). Αυτά είναι η πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου και μπορεί να διαλυθεί εύκολα, έτσι που να παρουσιάζει μεγάλη βιολογική διαθεσιμότητα. Οι χημικές αντιδράσεις της νιτροποίησης έχουν ως εξής:



Τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι αερόβια, έχουν άριστο pH μεταξύ 7 και 8 και είναι ευαίσθητα στις χαμηλές θερμοκρασίες. Το κρίσιμο επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου κάτω από το οποίο η νιτροποίηση αναστέλλεται είναι τα 0,5 mg/L. Σε συγκεντρώσεις οξυγόνου μεγαλύτερες του κρίσιμου επιπέδου η νιτροποίηση είναι ανεξάρτητη του οξυγόνου. Η άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηρίων είναι μεταξύ 30 και 36 °C. Μελέτες έχουν δείξει ότι η νιτροποίηση αναστέλλεται κάτω από τους 10°C.

Η ποσότητα οξυγόνου που χρησιμοποιείται σ' αυτή τη διαδικασία αποτελεί σημαντική ζήτηση οξυγόνου και είναι γνωστή ως αζωτούχος ζήτηση οξυγόνου, NBOD. Από τη στοιχειομετρική ανάλυση προκύπτει ότι για την πλήρη νιτροποίηση 1 mole  $\text{NH}_4^+$  απαιτούνται 2 mole οξυγόνου ή 4,57 mg  $\text{O}_2/\text{mg NH}_4^+-\text{N}$ .

Τα δύο στάδια της νιτροποίησης μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά με τις παρακάτω διαφορικές εξισώσεις, αν γίνει η παραδοχή ότι αυτές μπορούν να περιγραφούν από κινητικές αντιδράσεις πρώτης τάξης:

$$\frac{dn_1}{dt} = -R_{12}N_1 \quad (4.4)$$

$$dN_2/dt = R_{12}N_1 - R_{23}N_2 \quad (4.5)$$

$$dN_3/dt = R_{23}N_2 \quad (4.6)$$

όπου  $N_1$ ,  $N_2$  και  $N_3$  είναι οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού, του νιτρώδους και του νιτρικού αζώτου (mg/L),  $R_{12}$ , και  $R_{23}$  είναι οι συντελεστές των κινητικών αντιδράσεων πρώτης τάξης για την μείωση και παραγωγή των τριών αυτών μορφών του αζώτου (ανά ημέρα).

Επειδή όπως προαναφέρθηκε οι αντιδράσεις της νιτροποίησης είναι βιολογικές αντιδράσεις που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και οι συντελεστές της ταχύτητας μείωσης και παραγωγής των ενώσεων του αζώτου στο υδάτινο διάλυμα εξαρτώνται από την θερμοκρασία. Μία γενική σχέση που δίνει αυτή την εξάρτηση είναι η συνάρτηση (Jobson, 1987):

$$R_{ij} = R_i(20^\circ\text{C}) 1.0826^{(T-20)} \quad (4.7)$$

στην οποία  $R_{ij}(20^\circ\text{C})$  είναι η τιμή του συντελεστή στους  $20^\circ\text{C}$  και  $T$  είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

Οι διαφορικές εξισώσεις (4.4) μέχρι (4.6) είναι γραμμικές διαφορικές εξισώσεις πρώτης τάξης και μπορούν να λυθούν εύκολα. Οι αναλυτικές λύσεις τους έχουν ως εξής:

$$N_1 = N_{10} e^{-R_{12} t} \quad (4.8)$$

$$N_2 = N_{20} e^{-R_{23} t} + R_{12}/R_{23} - R_{12} N_{10} (e^{-R_{12} t} - e^{-R_{23} t}) \quad (4.9)$$

$$N_3 = N_{30} + N_{20}(1 - e^{-R_{23} t}) + R_{23}/R_{23} - R_{12} N_{10}(1 - e^{-R_{12} t}) - R_{12}/R_{23} - R_{12} N_{10}(1 - e^{-R_{12} t}) \quad (4.10)$$

όπου  $N_{10}$ ,  $N_{20}$  και  $N_{30}$  είναι οι συγκεντρώσεις του  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  και  $\text{NO}_3\text{-N}$ , αντίστοιχα, στο χρόνο  $t=0$ .

### γ. Διαφυγή της αέριας αμμωνίας

Το αμμωνιακό άζωτο στα υδάτινα συστήματα βρίσκεται με τη μορφή του κατιόντος ( $\text{NH}_4^+$ ) και με την μη ιονισμένη μορφή ( $\text{NH}_3$ ), σε ισορροπία σύμφωνα με την αντίδραση (U.S.EPA, 1976):



Η αναλογία των δύο μορφών στο υδάτινο διάλυμα εξαρτάται κύρια από το pH και λιγότερο από τη θερμοκρασία του μέσου, είναι δε ιδιαίτερης οικολογικής σπουδαιότητας (Hutchinson, 1975). Σε αλκαλικό pH ευνοείται η παρουσία της μη ιονικής μορφής ( $\text{NH}_3$ ), ενώ σε ουδέτερο ή όξινο pH, η αμμωνία ουσιαστικά βρίσκεται με την ιονική μορφή ( $\text{N}_{14}^+$ ), ενώ αντίστοιχα η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την τιμή της σταθεράς διαστάσεως  $k_b$  της παραπάνω σχέσης που σημαίνει αύξηση της μη ιονικής μορφής. Εάν η συγκέντρωση της αέριας αμμωνίας στο νερό είναι μεγαλύτερη από αυτή που οφείλεται στη μερική πίεση της αέριας αμμωνίας στην ατμόσφαιρα πάνω από το νερό, θα συμβεί μεταφορά της από το νερό στην ατμόσφαιρα έως ότου φθάσουν σε ισορροπία. Σύμφωνα με αυτά έχουμε ή και μπορούμε να προκαλέσουμε απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου από τα απόβλητα αυξάνοντας το pH και τη θερμοκρασία που αυξάνουν τη σχετική συγκέντρωση της μη ιονικής μορφής ( $\text{NH}_3$ ) (εξίσωση 4.11).

Η ποσότητα του αμμωνιακού αζώτου που εκροφάται από ένα διάλυμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση του αδιάστατου αμμωνιακού N στο νερό, τη διεπιφάνεια αέρα-υγρού, το συντελεστή μεταφοράς μάζας και από τη μερική πίεση που ασκείται από το αδιάστατο αμμωνιακό άζωτο στην αέρια φάση. Ο Stratton (1968) δέχεται ότι ο ρυθμός της διαφυγής του αμμωνιακού αζώτου από ένα ποτάμι προς την ατμόσφαιρα είναι ανάλογος προς τους περιβαλλοντικούς παράγοντες στους οποίους περιλαμβάνονται το pH, η θερμοκρασία, το τυρβώδες της επιφάνειας και η ταχύτητα του ανέμου πάνω από την επιφάνεια του νερού.

Ο ρυθμός απώλειας του αμμωνιακού N λόγω της διαφυγής της αέριας αμμωνίας στην ατμόσφαιρα, είναι ανάλογος της συγκέντρωσης της αδιάστατης αμμωνίας και εκφράζεται από τη σχέση:

$$DN_1/dt = -R_e N_1 = -K_a F_a N_1 \quad (4.12)$$

όπου  $K_a$  είναι ο ρυθμός απώλειας της  $\text{NH}_3$  (l/day) και  $R_e = K_a F_a$ , όπου  $F_a$  είναι το κλάσμα της αδιάστατης αμμωνίας προς τη συνολική αμμωνία στο υδατικό διάλυμα.

Η ποσότητα της αδιάστατης αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) είναι συνάρτηση του pH και των σταθερών διαστάσεως της ελεύθερης αμμωνίας,  $k_b$ , και του νερού  $k_w$  και μπορεί να υπολογιστεί (Srinath and Loehr 1974) από τη σχέση:

$$\text{αδιάστατο αμμωνιακό N} / \text{ολικό αμμωνιακό N} = 10^{\text{pH}} / k_b / k_w + 10^{\text{pH}} = F_a \quad (4.13)$$



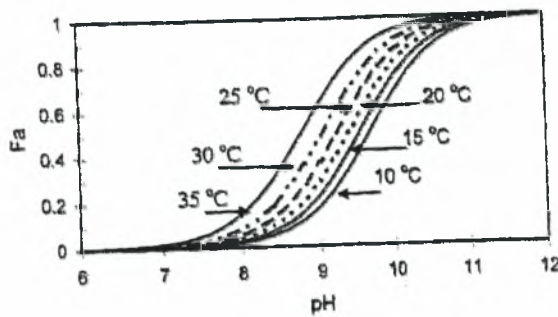
Μαθηματικά, η σχέση ανάμεσα στην τιμή του κλάσματος  $k_b/k_w$  και της θερμοκρασίας μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση (Srinath and Loegr, 1974):

$$k_b/k_w = [- 3.398 \ln(0.024xT)]X10^9 \quad (4.14\alpha)$$

όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{C}$ . Η σχέση ανάμεσα στο  $F_a$ , το  $\text{pH}$  και τη θερμοκρασία δίνεται στο Σχήμα 4.2. Στις τιμές  $\text{pH}$  μεγαλύτερες από 9, περίπου το 50% της συνολικής αμμωνίας βρίσκεται με τη μη ιονισμένη της μορφή. Το ποσοστό αυτής μειώνεται σημαντικά στις χαμηλές τιμές του  $\text{pH}$ . Το κλάσμα  $k_b/k_w$  μπορεί να υπολογιστεί και από τη σχέση (U.S.EPA, 1976)

$$\log(k_b/k_w) = 0.09018 + 2729.92/(T+273.2) \quad (4.15\beta)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις μπορεί να υπολογιστεί η ελεύθερη αμμωνία στο υδατικό διάλυμα και η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου σαν συνάρτηση του χρόνου.



Σχήμα 4.2 Επίδραση του  $\text{pH}$  και της θερμοκρασίας στο κλάσμα της αδιάστατης αμμωνίας (Srinath and Loehr, 1974).

Ο συνδυασμός των δύο σχέσεων που περιγράφουν τον ρυθμό μείωσης της αμμωνίας λόγω της νιτροποίησης (εξίσωση 4.4) και του ρυθμού διαφυγής της ελεύθερης αμμωνίας στην ατμόσφαιρα (εξίσωση 4.12) οδηγεί στην εξής σχέση που περιγράφει τον ρυθμό μείωσης της αμμωνίας από το υδατικό διάλυμα υδάτινων συστημάτων:

$$DN_1/ dt = -R_e N_1 - R_{D2} N_1 \quad (4.15)$$

η λύση αυτής της εξίσωσης έχει ως εξής:

$$N_1 N_{10} e^{-(R_e + R_{D2})t} \quad (4.16)$$

όπου  $R_e$  ο συντελεστής που εκφράζει τη διαφυγή της αέριας αμμωνίας από το υδατικό περιβάλλον.

#### 4.4 Αφομοίωση του αζώτου.

Η πρόσληψη του αζώτου από τα υδρόβια φυτά δεν είναι μια διαδικασία ανάλογη της φωτοσύνθεσης, αλλά έμμεσα συσχετίζεται σε διαφορετικό βαθμό με τη φωτοσύνθεση. Υπάρχουν τέσσερις βασικές παραδοχές που γίνονται κατά την ανάπτυξη σχέσεων που περιγράφουν την πρόσληψη του αζώτου από τα υδρόβια φυτά: (1) η πρόσληψη κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι σταθερή και μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση της μέγιστης ημερήσιας πρόσληψης, (2) η πρόσληψη κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι ανάλογη προς την καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα, (3) τα υδρόβια φυτά εκλεκτικά αφομοιώνουν το αμμωνιακό άζωτο και (4) η πρόσληψη του αμμωνιακού αζώτου εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου του περιβάλλοντος.

Βρέθηκε ότι ο ρυθμός φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του αζώτου είναι συνάρτηση των συγκεντρώσεων του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου στο περιβάλλον. Η παρακάτω σχέση τύπου Michaelis-Menten χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση πρόσληψης του αζώτου από τα φύκη σαν συνάρτηση και των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων.

$$K_p = K_p(\max) S / K_S + S \quad (4.17)$$

όπου  $K_p(\max)$  είναι ο μέγιστος ρυθμός αφομοίωσης του αζώτου από τα υδρόβια φυτά (mg/L/day),  $S$  είναι η συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στον περιβάλλοντα χώρο (mg/L) και  $K_S$  είναι η σταθερά κορεσμού ή σταθερά του Michaelis ίση με τη συγκέντρωση του αζώτου όταν παρατηρείται το μισό του μεγίστου του ρυθμού αφομοίωσης (mg/L). Οι τιμές του  $K_S$  που έχουν δώσει διάφοροι ερευνητές καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος τιμών μεταξύ 2-70.0  $\mu\text{g-N/L}$ . Μια μέση τιμή των δημοσιευμένων τιμών είναι η τιμή  $K_S=15 \mu\text{g-N/L}$ , για την οποία η αφομοίωση του αζώτου από τα υδρόβια φυτά είναι το 95% της μέγιστης τιμής της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου στο περιβάλλον που είναι  $0.30 \text{ mg NH}_4^+ \text{ -N/L}$ .

Οι Najarian and Harleman (1977) χρησιμοποίησαν για την εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής των ενώσεων του αζώτου (αμμωνία και νιτρικά) που συμμετέχουν στην αφομοίωση από το φυτοπλαγκτό ή το ζωοπλαγκτό τις κινητικές πρόσληψης με τη μορφή των παρακάτω υπερβολικών σχέσεων:

$$dN_i/dt = R_{ij} N_i N_j / K_{Sj} + N_i \quad (4.18)$$

όπου  $N_i$  είναι η συγκέντρωση της μορφής του αζώτου  $i$  (mg/L),  $R_{ij}$  είναι ο συντελεστής μετασχηματισμού της μορφής  $i$  στη μορφή  $j$  του αζώτου (1/ημέρα),  $N_j$

είναι η συγκέντρωση της μορφής του αζώτου  $j$ , και  $K_{s1}$  είναι η σταθερά του ημίσειως του κορεσμού της μορφής του αζώτου  $i$ . Αν  $N_1$ ,  $N_2$  και  $N_3$  είναι οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού, του νιτρικού και του αζώτου στο φυτοπλαγκτό, η παραπάνω σχέση για την ταχύτητα αφομοίωσης του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου από το φυτοπλαγκτό γράφεται:

$$dN_1/dt = R_{13} N_1 N_3 / (K_{s1} + N_1) \quad (4.19)$$

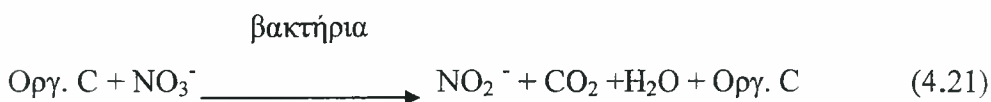
$$dN_2/dt = R_{23} N_2 N_3 / (K_{s2} + N_2) \quad (4.20)$$

Οι τιμές των συντελεστών που περιλαμβάνονται σ' αυτές τις εξισώσεις είναι ως εξής:  $R_{13} = 2,0$ /ημέρα (κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας),  $0,10$ /ημέρα (κατά τη διάρκεια της νύχτας),  $R_{23} = 1,0$ /ημέρα (ώρες ημέρας),  $0,05$ /ημέρα (ώρες νύχτας),  $K_{s1} = 0,3$  ppm-N,  $K_{s2} = 0,7$  ppm-N.

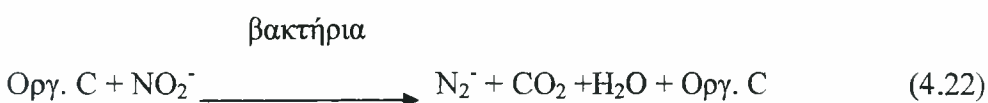
#### 4.5 Απονιτροποίηση

Αυτή είναι μια αναγωγική διαδικασία που καταλύεται από βακτήρια κάτω από αναερόβιες συνθήκες και ουσιαστικά είναι η αντίστροφη διαδικασία της νιτροποίησης, με τελικά προϊόντα το αέριο αζώτου ( $N_2$ ) ή τα οξείδια αζώτου ( $N_2O$ ,  $NO$ ). Τα προϊόντα είναι αδρανή αέρια που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα. Η απονιτροποίηση είναι συνάρτηση του ρυθμού αναπνοής των οργανισμών στα απόβλητα ή το έδαφος, του διαλυμένου οξυγόνου και της διαθεσιμότητας των νιτρικών και νιτρωδών στο υγρό περιβάλλον των οργανισμών. Οι κυριότερες αντιδράσεις απονιτροποίησης είναι οι εξής:

Για την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη



Για την αναγωγή των νιτρωδών σε αέριο άζωτο



Οι συνθήκες που ευνοούν την απονιτροποίηση είναι οι αναερόβιες που υπάρχουν συνήθως στα βαθιά νερά, στα ιζήματα, στα βαριά εδάφη και τα έλη. Η συγκέντρωση

του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί σπουδαίο παράγοντα της απονιτροποίησης όταν αναφέρεται στον περιβάλλοντα χώρο των μικροοργανισμών. Ακόμα και σε αερόβια συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων είναι δυνατό να υπάρχει κάποια απονιτροποίηση αν στο μικροπεριβάλλον των μικροοργανισμών υπάρχει έλλειμμα οξυγόνου. Αυτό μπορεί να συμβεί αν η ζήτηση οξυγόνου των μικροοργανισμών είναι μεγαλύτερη από τον ρυθμό με τον οποίο το οξυγόνο μεταφέρεται προς τους οργανισμούς μέσα στο υγρό. Ο ρυθμός απονιτροποίησης μειώνεται με τη μείωση του pH και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, με άριστη θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτές που καταγράφονται στις περισσότερες λίμνες.

Η απονιτροποίηση σαν μέθοδος ελέγχου του αζώτου εφαρμόζεται εκεί όπου υπάρχουν νιτροποιημένα απόβλητα, όπως αυτά που προέρχονται από τα στραγγιστικά των αρδευομένων εκτάσεων, τα οποία είναι εμπλουτισμένα με νιτροποιημένα απόβλητα και όπου η απομάκρυνση του αζώτου αποτελεί ευεργετικό αποτέλεσμα. Εξίσου σημαντική είναι η απονιτροποίηση στο έδαφος, όπου η διαδικασία αυτή περιορίζει τις ποσότητες των νιτρικών που μπορούν να εκκλυθούν προς τα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

#### 4.6 Αμμωνιοποίηση – ανοργανοποίηση

Όταν οι οργανισμοί πεθαίνουν, τα ετερότροφα βακτήρια αποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις τις οποίες μετατρέπουν σε ανόργανες ενώσεις. Τα αμινοξέα θα μετατραπούν πάλι σε αμμωνιακό άζωτο, το οποίο είναι διαθέσιμο για την επανασύνθεση από άλλους αυτότροφους οργανισμούς. Η διαδικασία απαιτεί αρκετό οξυγόνο, το οποίο μαζί με τον άνθρακα μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα.

Ο ρυθμός παραγωγής του αμμωνιακού αζώτου από την υδρόλυση του οργανικού αζώτου περιγράφεται από κινητικές αντιδράσεις πρώτης τάξης με την εξής διαφορική εξίσωση (Miller and Jennings, 1979):

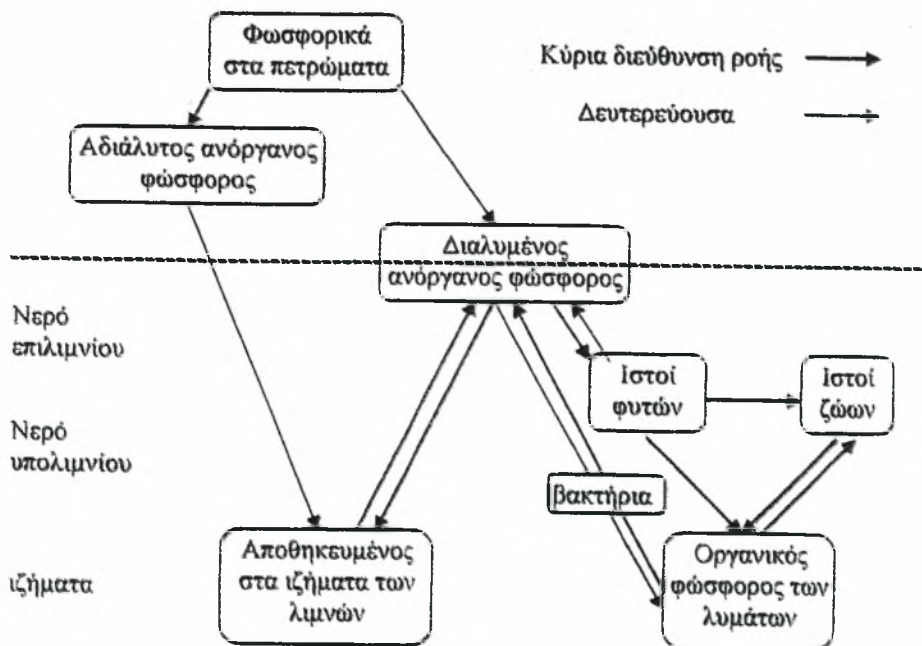
$$DN_1/dt = K_0 N_0 \quad (4.23)$$

όπου  $N_1$  και  $N_0$  είναι η συγκέντρωση του αμμωνιακού και του οργανικού αζώτου (mg/L) και  $K_0$  είναι ο συντελεστής του ρυθμού υδρόλυσης του οργανικού αζώτου (1/ημέρα). Οι τιμές του συντελεστή  $K_0$  που δίνουν διάφοροι ερευνητές είναι 0,4 (ανά ημέρα) [Williams and Lewis, 1986] και 0.30 (ανά ημέρα) [Miller and Jennings, 1979].

## 5. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 5.1 Γενικά

Ο φωσφόρος αποτελεί δομικό στοιχείο των κυττάρων με τη μορφή πολλών και διαφορετικών ενώσεων, η πιο σπουδαία από τις οποίες είναι τα ορθοφωσφορικά ιόντα. Η ομάδα των φωσφορικών είναι βασικό δομικό στοιχείο των νουκλεϊκών οξέων, των φωσφολιπιδίων και παίρνει μέρος στις ενεργητικές και αναβολικές διαδικασίες των οργανισμών. Ο φώσφορος αφομοιώνεται από το περιβάλλον με τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης, της χημειοσύνθεσης και της αποσύνθεσης. Καταλαμβάνει σε βάρος το 0,1% της επιφάνειας της γης, με τη μορφή κυρίως του απατίτη και έχει πάνω από 180 διαφορετικές ανόργανες μορφές. Ο κύκλος του, στο περιβάλλον (Σχήμα 5.1) είναι βασικά μιας κατεύθυνσης επειδή δεν υπάρχει η αέρια μορφή του. Εισέρχεται στη βιόσφαιρα με την αποσάθρωση των πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων, των αργίλων και την αποσύνθεση των τύρφων, και επιστρέφει με τη διαδικασία της ιζηματοποίησης. Οι ανθρωπογενείς πηγές του φωσφόρου είναι τα υγρά λύματα και η έκπλυση των λιπασμάτων στις γεωργικές εκτάσεις.



Σχήμα 5.1 Ο κύκλος του φωσφόρου στα λιμναία συστήματα



Στο σχήμα 5.1 δίνονται τιμές εκπομπών φωσφόρου από διάφορες πηγές (Henderson-Sellers and Markland, 1987). Οι κυριότερες πηγές του φωσφόρου των υδατορευμάτων είναι τα οργανικά υλικά, ο οργανικός και ανόργανος φώσφορος των υγρών αποβλήτων και των μη σημειακών πηγών και ο φώσφορος των απορρυπαντικών.

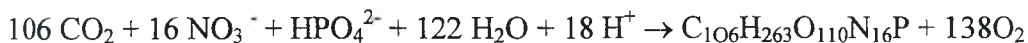
Ο φώσφορος γενικά βρίσκεται στα ποτάμια σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις περίπου μικρότερες από 0,1 mg/L. Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου εκφράζονται σε mg/L ή ppm. Στις περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις του είναι πολύ μικρές αυτές εκφράζονται σε µg/L. Σε πολλές περιβαλλοντικές μελέτες οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών εκφράζονται ως προς τη φωσφορική ρίζα χρησιμοποιώντας την ισοδυναμία 1 mg P/L = 3,066 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L.

Ο φώσφορος είναι ένα ουσιαστικό θρεπτικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών των υδάτινων συστημάτων. Η παραγόμενη φυτομάζα είναι το πρωτογενές προϊόν της δέσμευσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα συστήματα αυτά και για το λόγο αυτό αποτελούν την κύρια πηγή τροφής των οργανισμών υψηλότερου επιπέδου παραγωγικότητας. Αν και ο φώσφορος είναι βασικό θρεπτικό στοιχείο της ανάπτυξης, χρησιμοποιείται μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες σε σύγκριση με το άζωτο και τον άνθρακα. Σε πολλές περιπτώσεις, η διαθεσιμότητα του φωσφόρου είναι περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών. Μικρή αύξηση στη διαθεσιμότητα του φωσφόρου μπορεί να προκαλέσει μεγάλη αύξηση στην ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών. Ο βαθμός ανάπτυξης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σχετική διαθεσιμότητα των άλλων θρεπτικών στοιχείων που απαιτούνται για την ανάπτυξη.

**Πίνακας 5.1 Εκπομπές φωσφόρου από διάφορες πηγές**

Πηγή	Μονάδες	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή
Γεωργία	g/m <sup>2</sup> -έτος	0,3	0,04-0,17	0,010
Δάση	g/m <sup>2</sup> -έτος	0,045	0,015-0,03	0,002
Βροχόπτωση	g/m <sup>2</sup> -έτος	0,06	0,020-0,05	0,015
Αστικές περιοχές	g/m <sup>2</sup> -έτος	0,5	0,08-0,3	0,050
Είσοδος σηπτικών δεξαμενών	g/άτομο-έτος	1800	400-900	300

Από τη βασική αντίδραση σχηματισμού της βιομάζας και την ανοργανοποίηση του φυτοπλαγκτού προκύπτει ότι απαιτούνται 31 mg P/m<sup>3</sup> και 224 mg N/m<sup>3</sup> για την παραγωγή περίπου 3000 mg/m<sup>3</sup> ξηρής μάζας. Αυτή αντιστοιχεί σε 15.000 mg/m<sup>3</sup> οργανικής μάζας φυτοπλαγκτού, ή 15 cm<sup>3</sup> πλαγκτού ανά κυβικό μέτρο με περιεχόμενη χλωροφύλλη μεταξύ 20 και 30 mg. Αυτές είναι τιμές δυναμικής ανάπτυξης και αναμένονται σε νερά που περιέχουν 30 mg/m<sup>3</sup> P(PO<sub>4</sub>) και 200 έως 300 mg/m<sup>3</sup> N (NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>).



Τα προηγούμενα δείχνουν ότι αν η αναλογία N/P στα νερά είναι μεγαλύτερη από 7 έως 10, ο φώσφορος γίνεται ο περιοριστικός παράγοντας (ή ελάχιστος) για την ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών. Αν η αναλογία N/P παραμένει κάτω από 7 τότε περιοριστικό στοιχείο γίνεται το άζωτο.

Στη μάζα του φυτοπλαγκτού η αναλογία C/N κυμαίνεται μεταξύ 5 και 8, ενώ σε άμισχα φύκη μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 20 και στα μακρόφυτα πολύ μεγαλύτερη από 50 μέχρι και 100. Επειδή το φυτοπλαγκτό νεκρώνεται δημιουργώντας νεκρή οργανική ουσία, η οποία στη συνέχεια αποσυντίθεται καταναλώνοντας οξυγόνο, είναι πολύ χρήσιμο να γνωρίζουμε την αντίστοιχη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης. Από την αντίστοιχη αντίδραση αποσύνθεσης βρέθηκε ότι τα 3.000 mg ξηρής μάζας φυτοπλαγκτού (ή 15.000 mg ή 15 cm<sup>3</sup> οργανικής βιομάζας) απαιτούνται 4.400 με 5.400 mg O<sub>2</sub> (που αντιστοιχεί σε 1,5 μέχρι 1,8 g οξυγόνου ανά γραμμάριο ξηρού βάρους).

## 5.2 Μορφές του φωσφόρου

Σε κάθε οικοσύστημα ο φωσφόρος βρίσκεται με τη μορφή διαφορετικών ενώσεων, όπως ο φώσφορος στο φυτοπλαγκτόν, ο διαλυτός οργανικός και ανόργανος φωσφόρος, ο προσροφημένος στα στερεά σωματίδια και ο φωσφόρος στα βακτήρια. Υπάρχουν διάφορα συστήματα κατάταξης των μορφών του φωσφόρου. Κάποια διακρίνουν το φωσφόρο σε διαλυμένα ορθοφωσφορικά και οργανικό φωσφόρο ή σε χημικό και βιολογικό φωσφόρο, ενώ κάποιο άλλο σαν αδιάλυτο και ευδιάλυτο

φωσφόρο (Henderson-Sellers and Markland, 1987). Ένα πιο σύνθετο σύστημα διάκρισης των μορφών του φωσφόρου στα υδάτινα συστήματα περιλαμβάνει πολλές ομάδες ενώσεων που συνδέονται μεταξύ τους με αρκετές διαδικασίες, στις οποίες περιλαμβάνονται η προσρόφηση, η νέκρωση, η έκκριση, η πρόσληψη, η ενζυμική έκλυση, η φωτόλυση, η υδρόλυση, η καθίζηση, η θρέψη, η ανάπτυξη και οι βιολογικές αποικίες.

Αναλυτικά οι κυριότερες κατηγορίες φωσφόρου είναι οι εξής:

**α. Αιωρούμενος και προσροφημένος φωσφόρος (particulate P, PP).** Ο φωσφόρος της κατηγορίας αυτής βρίσκεται προσροφημένος στην επιφάνεια αιωρούμενων υλικών ή περιλαμβάνεται ως συστατικό των ενώσεων τους. Κάτω από συνθήκες ηρεμίας όλα τα αιωρούμενα υλικά καταβυθίζονται δημιουργώντας ιζήματα όπου παραμένουν επ' αόριστο στον πυθμένα.

Σε ρηχές λίμνες όπου η εύρωτη ζώνη φθάνει μέχρι τα ιζήματα, τα φυτά με τις ρίζες τους απομακρύνουν ορθοφωσφορικά. Ο αιωρούμενος φωσφόρος μπορεί να αποτελέσει τροφή των βακτηρίων, των θρυμματοφάγων και των φυτών. Κάτω από συνθήκες τυρβώδους, διάχυσης, χημικών αντιδράσεων και βιοαναταραχών ο φωσφόρος των αιωρούμενων σωματιδίων μετατρέπεται σε διαλυτό φωσφόρο.

**β. Ολικός διαλυτός φωσφόρος (total dissolved, TDP)/ διαλυόμενος φωσφόρος (soluble, SP).** Ο φωσφόρος της κατηγορίας αυτής αποτελείται από τις ελεύθερες ιονικές μορφές και πολύ μικρά σωματίδια. Αυτή η μορφή παραμένει στο νερό και γίνεται βιολογικά διαθέσιμη στην εύρωτη ζώνη. Στις ρηχές λίμνες, όπου η εύρωτη ζώνη καταλαμβάνει όλο τον όγκο της, η μορφή αυτή του φωσφόρου προσλαμβάνεται από τα φυτά, ενώ στις βαθύτερες λίμνες η πρόσληψη αυτή γίνεται μόνο από το τμήμα της εύρωτης ζώνης. Ο διαλυτός φωσφόρος των ζωνών που είναι κάτω από την εύρωτη είτε αφομοιώνεται από τα μη φωτοσυνθετικά βακτήρια ή καταβυθίζεται χημικά προς τα ιζήματα ή τέλος απομακρύνεται από τη λίμνη με την εκροή.

**γ. Ορθοφωσφορικά (orthophosphates).** Τα ορθοφωσφορικά είναι η πιο σπουδαία ομάδα φωσφόρου στα κυτταρικά υλικά των φυκών. Αυτά περιέχουν το ιόν  $\text{PO}_4^{3-}$  (στη μορφή  $\text{H}_2\text{PO}_4^{4-}$  για pH μεταξύ 3-7 και σαν  $\text{HPO}_4^{2-}$  για pH μεταξύ 8-12)

προερχόμενο από το ορθοφωσφορικό οξύ ( $H_3PO_4$ ). Τα ορθοφωσφορικά συμμετέχουν στις αντιδράσεις και προσροφούνται εύκολα από τις επιφάνειες των αιωρουμένων σωματιδίων, όπως των εδαφικών και από τα ιζήματα. Σπάνια βρίσκονται στο υδατικό διάλυμα εκτός από τις περιπτώσεις του νερού στράγγισης από αμμώδη και οργανικά εδάφη. Επειδή το μεγαλύτερο μέρος των ορθοφωσφορικών βρίσκεται στα λίγα πρώτα εκατοστά του εδάφους η διάβρωση με τον άνεμο και το νερό μπορεί να απομακρύνει σημαντικά ποσά τους.

**δ. Φωσφόρος σε μεγαλομοριακές ενώσεις ή συμπυκνωμένα φωσφορικά (condensed P).** Αυτή η μορφή φωσφόρου συνιστά τις ουσίες κλειδιά (όπως τα ATP, ADP) για τις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών που δημιουργούνται με το συνδυασμό μονάδων ορθοφωσφορικών και είναι κυρίως πολυφωσφορικές ενώσεις. Η υδρόλυση είναι μια φυσική διεργασία μέσα στο νερό και η ταχύτητα της εξαρτάται από το pH, τη θερμοκρασία, τη μορφή της πολυφωσφορικής ένωσης και προάγεται από τη βιολογική δράση. Η μορφή αυτή των φωσφορικών είναι σχετικά σπάνια στα λιμναία νερά.

**ε. Βιολογικά διαθέσιμος φωσφόρος (biologically available P).** Είναι η μορφή του φωσφόρου που είναι διαθέσιμη για τη σύνθεση από τους οργανισμούς του νερού. Συνίσταται από το διαλυμένο οργανικό P, τον κολλοειδή P, τα ορθοφωσφορικά και ορισμένες άλλες μορφές διαλυμένου ανόργανου P. Τα φύκη έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν φωσφόρο και να τον αποθηκεύουν στο σώμα τους με αποτέλεσμα ο ρυθμός πρόσληψης του φωσφόρου να μην είναι ανάλογος με την ανάπτυξη των κυττάρων και η ανάπτυξή τους να μπορεί να συνεχιστεί και όταν ο φωσφόρος έχει εξαντληθεί στο περιβάλλον.

**στ. Οργανικός φωσφόρος.** Είναι ο φωσφόρος που εισέρχεται στους οργανισμούς ως ορθοφωσφορικά αν και αυτά μετατρέπονται σε πολυφωσφορικές ενώσεις κατά τη δημιουργία των οργανικών ουσιών. Με το θάνατο και την αποσύνθεση των οργανισμών αυτός μετατρέπεται στην ανόργανη μορφή είτε σε ορθοφωσφορικά, ή σαν συμπυκνωμένα φωσφορικά.

**ζ. Φορτίο φωσφόρου.** Είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό του βιολογικά απαιτούμενου και του ολικού φωσφόρου που



εισέρχεται σε μια λίμνη στη μονάδα του χρόνου (μήνα, έτος). Εκφράζεται ανά μονάδα έκτασης και όχι του όγκου της λίμνης, επειδή αυτή είναι πιο αντιπροσωπευτική της εύρωτης ζώνης της λίμνης. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται σαν μια πρώτη εκτίμηση του εμπλουτισμού με θρεπτικά στοιχεία και στη συνέχεια της συγκέντρωσης του φωσφόρου στη λίμνη, η οποία μετά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της πρωτογενούς παραγωγικότητάς της. Για παράδειγμα, η τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου στον Αλιάκμονα εκτιμήθηκε ότι κατά την περίοδο του 1990 δεχόταν συνολικό φορτίο φωσφόρου 84,2 tn/έτος, που ισοδυναμεί σε ετήσια φόρτιση της λίμνης ανά μονάδα επιφάνειας ίση με 1,15 g P/m<sup>2</sup>/έτος (Καμαριανός κ.α., 1992), ενώ η λίμνη της Καστοριάς την ίδια περίοδο δεχόταν ετησίως 15 tn φωσφόρου που ισοδυναμεί με ετήσια φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας ίση με 0,5gP/m<sup>2</sup>/έτος.

## **6. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ**

Το λιμναίο αυτό οικοσύστημα έχει δεχθεί και δέχεται τις δυσμενείς επιδράσεις διαφόρων παραγόντων, οι οποίοι αναφέρθηκαν στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο και αναλύονται παρακάτω:

### **6.1 Ρύπανση από αστικά λύματα**

Το 1991, ξεκίνησε στο νομό Καστοριάς η λειτουργία της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού των αποβλήτων, η οποία δεν συμπεριλαμβάνει μέχρι και την παρούσα στιγμή όλα τα Δ.Δ. του Νομού Καστοριάς, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τα ρυπαντικά επίπεδα της λίμνης.

Τα αστικά λύματα που συλλέγονται από τον παραλίμνιο αγωγό για μεταφορά και επεξεργασία στην εγκατάσταση του βιολογικού καθαρισμού κανονικά δεν αποτελούν πηγή ρύπανσης για τη λίμνη, δεδομένου ότι μετά την επεξεργασία τους διατίθενται έξω από την λεκάνη απορροής. Αυτό ισχύει βεβαίως υπό την ρητή προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει ουσιώδης διαρροή λυμάτων από τον παραλίμνιο αγωγό. Δεδομένου ότι τα φορτία φωσφόρου που εμπεριέχονται στα αστικά λύματα είναι μεγάλα, ακόμα και περιορισμένης έκτασης διαρροές, μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον ευτροφισμό της λίμνης. Γι' αυτό, τόσο το θέμα των ενδεχόμενων διαρροών που



προκαλούν ρύπανση, όσο και το θέμα των γνωστών εισροών νερού που σχεδόν διπλασιάζουν τον όγκο των προς επεξεργασία λυμάτων και προκαλούν αυξημένες δαπάνες επεξεργασίας και ελαττωμένη απόδοση του συστήματος, απαιτούν προσεκτική εξέταση.

Τα λύματα που δε συλλέγονται από τον παραλίμνιο αγωγό, είτε διατίθενται απ' ευθείας στη λίμνη, είτε σε υδατορεύματα που οδηγούν στη λίμνη, είτε, στο μεγαλύτερο μέρος τους, σε απορροφητικούς βόθρους και κατ' επέκταση στη λίμνη μέσω του υπόγειου υδροφορέα. Από τους παραπάνω τρόπους διάθεσης μπορούμε να υποθέσουμε ότι, είτε με την απ' ευθείας διάθεση των λυμάτων στη λίμνη, είτε με τη διάθεσή τους σε υδατορεύματα, το σύνολο των φορτίων του ολικού P φτάνει στη λίμνη. Το βασικό ερώτημα που τίθεται αφορά τη μεταφορά των φορτίων ολικού P από τους απορροφητικούς βόθρους στη λίμνη. Πολύ σημαντική είναι η παρακολούθηση των παρακάτω:

- Τα πετρώματα στην πόλη της Καστοριάς είναι ασβεστολιθικά με έντονα καρστικά φαινόμενα, ενώ το έδαφος της πεδινής περιοχής όπου βρίσκονται οι περισσότερες κοινότητες είναι ιζηματογενές. Αποτέλεσμα αυτής της μορφολογίας του εδάφους είναι η ικανή απορροφητικότητα των βόθρων, πράγμα που εξηγεί, τόσο το μικρό όγκο των συλλεγόμενων βοθρολυμάτων ( $30 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ ), όσο και τη σχετική απροθυμία πολλών κατοίκων για ταχεία σύνδεση των κτιρίων τους στο δίκτυο. Τα παραπάνω, συνδυαζόμενα και με την κατά τόπους υψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, δημιουργούν ευνοϊκές προϋποθέσεις ώστε τα λύματα να βρίσκουν το δρόμο τους προς τα υπόγεια νερά και τη λίμνη.
- Το έδαφος έχει αξιόλογη ικανότητα συγκράτησης του φωσφόρου. Σε περιπτώσεις όμως συνεχούς παροχής λυμάτων, όπως στους βόθρους, το έδαφος γρήγορα υπόκειται σε κορεσμό και έτσι ο φώσφορος διέρχεται δια μέσω αυτού.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι ο φώσφορος στα λύματα που δε συλλέγονται από τον παραλίμνιο αγωγό φτάνει κατά μεγάλο ποσοστό στη λίμνη, έστω και εάν αυτά διατίθενται σε βόθρους. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται προφανώς από πολλούς

παράγοντες. Από πρακτική άποψη μπορούμε να υποθέσουμε με σχετική βεβαιότητα ότι από τα λύματα που διατίθενται σε βόθρους πλησίον της λίμνης, ο φώσφορος στο σύνολό του σχεδόν καταλήγει στη λίμνη. Δυσκολότερη είναι η πρόβλεψη για το φώσφορο σε λύματα που διατίθενται σε βόθρους μακριά από τη λίμνη. Πηγή ρύπανσης της λίμνης αποτελούσαν στο παρελθόν και τα νοσοκομειακά λύματα, τα οποία οδηγούνται στο βιολογικό καθαρισμό από το έτος 1994-1995. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί βέβαια ότι η ζημία που προκλήθηκε στη λίμνη, πριν από την κατασκευή και λειτουργία της μονάδας βιολογικού καθαρισμού και την διόδευση των αποβλήτων και των λυμάτων σ' αυτή, είναι εμφανής ακόμη και σήμερα. Ο χρόνος που θα χρειαστεί για την αποκατάσταση της λίμνης θα είναι σίγουρα πολύ περισσότερος από το χρόνο που χρειάστηκε για να φορτιστεί η ίδια ρυπαντικά και μάλιστα σε υψηλά επίπεδα.

## **6.2 Ρύπανση από διάχυτες πηγές**

Οι διάχυτες πηγές συμβάλλουν ουσιαστικά στη ρύπανση της λίμνης και περιλαμβάνουν ρυπαντικά φορτία που μεταφέρονται με τις όμβριες απορροές από αστικές και υπαίθριες περιοχές, καθώς και με την απ' ευθείας βροχόπτωση. Κύριο χαρακτηριστικό των πηγών αυτών είναι η δυσκολία που παρουσιάζει ο έλεγχός τους.

## **6.3 Ρύπανση από όμβριες απορροές αστικών περιοχών**

Οι διάφορες ουσίες που συσσωρεύονται στις επιφάνειες των αστικών περιοχών από επικάλυψη σκόνης, πέταμα σκουπιδιών, διαρροές λαδιών αυτοκινήτων και μηχανημάτων, οικοδομικές εργασίες, κτλ., εκπλένονται με τη βροχή και μεταφέρονται στα όμβρια. Μερικές από αυτές τις ουσίες διαλύονται, ενώ άλλες παραμένουν ως αιωρούμενα στερεά. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων από τις διάχυτες αυτές πηγές φτάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα στα πρώτα στάδια της βροχής και μειώνονται ταχέως. Αρκούν λίγες μόνο μέρες ανομβρίας για να συγκεντρωθούν μεγάλες ποσότητες ρύπων, οι οποίες με την πρώτη βροχή μεταφέρονται στον αποδέκτη. Η παρατήρηση αυτή είναι σημαντική από διαχειριστική άποψη, δεδομένου ότι σε περίπτωση επεξεργασίας των απορροών είναι οικονομικά αποδοτικότερο να σχεδιάσουμε την εγκατάσταση για την περίπτωση των συχνών ελαφρών και μετρίων

βροχοπτώσεων, όπου οι ροές είναι σχετικά μικρές, παρά για τις σπάνιες περιπτώσεις των νεροποντών.

Βασικό γνώρισμα των όμβριων απορροών από αστικές περιοχές είναι ότι μεταφέρουν πολύ μεγάλα φορτία σε μικρά χρονικά διαστήματα. Πράγματι, οι όμβριες απορροές από πόλη μεταφέρουν την πρώτη ώρα της βροχόπτωσης ρυπαντικά φορτία τάξεις μεγέθους μεγαλύτερα από αυτά στα ακατέργαστα λύματα της πόλης. Αυτό είναι ιδιαίτερα αρνητικό στην περίπτωση των ποταμών.

Πέρα από την ένταση, το μέγεθος των ετήσιων ρυπαντικών φορτίων από αστικές περιοχές είναι υψηλό, πράγμα ιδιαίτερα αρνητικό για την περίπτωση των λιμνών. Πράγματι, οι όμβριες απορροές αναδεικνύονται ως κυρίαρχη πηγή αστικής ρύπανσης, σε περιπτώσεις όπου γίνεται επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

#### **6.4 Ρύπανση από όμβριες απορροές υπαίθριων περιοχών**

Ο φώσφορος είναι σχετικά σπάνιο στοιχείο στη φύση και ως εκ τούτου έχει την τάση να συγκρατείται από το έδαφος. Μ' αυτόν τον τρόπο οι απώλειες του όχι μόνο από δάση αλλά και από γεωργικές εκτάσεις και βοσκοτόπια είναι περιορισμένες και προέρχονται κατά κύριο λόγο από τη λάσπη που παρασύρει η βροχή και τη σκόνη που παίρνει ο άνεμος.

Παρόλα αυτά, τα φορτία του ολικού φωσφόρου στις όμβριες απορροές υπαίθριων περιοχών είναι σημαντικά διότι είναι δύσκολο να ελεγχθούν στην πράξη και διότι συχνά από μόνα τους φέρνουν τις λίμνες σε κατάσταση ευτροφισμού. Κατά συνέπεια, η όσο το δυνατόν ακριβέστερη γνώση αυτών των φορτίων είναι βασικής σημασίας στις μελέτες διαχείρισης λιμνών.

#### **6.5 Ρύπανση από απ' ευθείας βροχόπτωση**

Η απ' ευθείας βροχόπτωση στη λίμνη μεταφέρει και αυτή αξιόλογα φορτία τροφικών ουσιών και συμβάλλει στον ευτροφισμό της λίμνης.

#### **6.6 Ρύπανση από χωματερές**

Πολύ σημαντική είναι η απουσία ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων) στο νομό Καστοριάς, με αποτέλεσμα η λίμνη να υφίσταται ρύπανση

μέσω του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και της επιφανειακής έκπλυσης. Η μελλοντική κατασκευή όμως ενός χώρου υγειονομικής ταφής είναι στα σχέδια της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης. Τα στραγγίσματα παράγονται από την αποσύνθεση των στερεών αποβλήτων, καθώς και από το νερό που εισρέει στη χωματερή είτε άμεσα μέσω βροχόπτωσης είτε μέσω επιφανειακών ή υπόγειων απορροών. Σε περιπτώσεις όπου οι υπόγειες απορροές μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες, ο όγκος των στραγκισμάτων μπορεί συντηρητικά να ληφθεί ίσος με τον όγκο της βροχόπτωσης στη λεκάνη της χωματερής. Η εξάτμιση εντούτοις, μπορεί να είναι σημαντική, όχι μόνο από την επιφάνεια της χωματερής, αλλά επίσης και από τον όγκο της χωματερής λόγω του εξώθερμου των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται.

### **6.7 Ρύπανση από παραγωγικές δραστηριότητες**

Έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσης της λίμνης αποτελεί η λειτουργία βυρσοδεψείων. Στην περιοχή της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς λειτουργούν δύο βυρσοδεψεία. Τα ίδια αποτελούν κίνδυνο φόρτισης της λίμνης με ιδιαίτερα επικίνδυνες ουσίες, κυρίως τοξικές. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που υπάρξει κάποια διαρροή λυμάτων, καθώς τα υπάρχοντα βυρσοδεψεία διαθέτουν τους δικούς τους βιολογικούς καθαρισμούς. Στο ένα βυρσοδεψείο τα λύματα οδηγούνται στον κεντρικό βιολογικό καθαρισμό της πόλης για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Στο άλλο τα λύματα διατίθενται στον περιβάλλοντα χώρο της μονάδας, έπειτα από την επεξεργασία τους. Οι κτηνοτροφικές μονάδες και οι συνήθεις μεταποιητικές δραστηριότητες και υπηρεσίες (π.χ. φούρνοι, ζαχαροπλαστεία, στεγνοκαθαριστήρια, συνεργεία αυτοκινήτων κτλ.), που απαντώνται σε αστικές περιοχές, αποτελούν τις κύριες πηγές ρύπανσης. Μεγάλα ποσά ρύπανσης δέχεται η λίμνη και από τις αγροτικές καλλιέργειες στη λεκάνη απορροής της.

Εξ' αυτών οι πολυπληθείς μικρές μεταποιητικές δραστηριότητες, που συνήθως απαντώνται στις αστικές περιοχές, έχουν περιορισμένα σχετικά ρυπαντικά φορτία. Αυτά λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των ρυπαντικών φορτίων από τα αστικά λύματα διότι περιλαμβάνονται, ανοιγμένα κατ' άτομο, στους σχετικούς συντελεστές φορτίων. Επομένως δεν απαιτείται ξεχωριστή επεξεργασία.

Επίσης, η ρύπανση που προκαλείται από τις μικρές κτηνοτροφικές μονάδες περιλαμβάνεται στα φορτία από τις όμβριες απορροές βοσκότοπων, δεδομένου ότι

δεν πρόκειται για μονάδες με υψηλή πυκνότητα ζώων σε περιορισμένους χώρους. Επομένως και γι' αυτές τις μονάδες δε χρειάζεται ξεχωριστή επεξεργασία.

Σε σχέση με τη ρύπανση της λίμνης, του εδάφους ή/ και των υπόγειων νερών από τοξικές και επιβλαβείς ουσίες, πιθανή σοβαρή πηγή αποτελεί η χρήση των μηχανέλαιων και των φυτοφαρμάκων. Ρυπαντικά φορτία δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν διότι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο διαχείρισης. Πράγματι, ενώ κάτω από σωστές συνθήκες διαχείρισης τα ρυπαντικά φορτία μπορεί να είναι αμελητέα, ανεξέλεγκτη χρήση και διάθεση δημιουργεί σοβαρότατα προβλήματα ρύπανσης.

### **6.8 Ρύπανση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες**

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι έχουν ενταθεί οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (εκχερνώσεις, μπαζώματα, κ.ά.) στους σπάνιους και πολύ σημαντικούς περιφερειακούς παράκτιους οικοτόπους, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση ή την καταστροφή τους.

Επομένως, προκύπτει επιτακτικά η ανάγκη άμεσης δημιουργίας ειδικών προϋποθέσεων ελέγχου, προστασίας και ορθολογικής διαχείρισης της λίμνης, σαφούς οριοθέτησης του υγροβιότοπου της και εφαρμογής ειδικού νομικού και διαχειριστικού καθεστώτος χρήσεων και δραστηριοτήτων στην περιοχή (Οικονομόπουλος κ.ά, 1994).



## **7. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

Για να μπορέσει να γίνει δυνατή η προσέγγιση των σχέσεων, των αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ μετρητικών και ποιοτικών στοιχείων και χαρακτηριστικών της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας μιας περιοχής αλλά και η εκτίμηση του μέτρου, των μεγεθών και των τάσεων μεταβολών τους, οι ερευνητές είναι υποχρεωμένοι να συνεκτιμήσουν ή και να συγκρίνουν πολλά και ποικίλα συνήθως ετερογενούς ακρίβειας και μεγάλων μεταξύ τους χρονικών αποκλίσεων στοιχεία όπως: τοπογραφικά διαγράμματα, θεματικούς χάρτες αεροφωτογραφίες και επίγειες φωτογραφίες, στατιστικές απογραφές, πληροφορίες από φωτοερμηνευτικές αναλύσεις και ψηφιακές επεξεργασίες τηλεπισκοπικών απεικονίσεων κλπ., καθώς και στοιχεία ειδικών βάσεων δεδομένων όπως μετεωρολογικά υδρολογικά κλπ. (Χριστοδουλάκη Σ., 2002).

Η ιδιαιτερότητα στις βάσεις δεδομένων σε έργα που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και τη διαχείριση των φυσικών κινδύνων και καταστροφών οφείλεται στη γεωγραφική εξάρτησή τους. Παίζει δηλαδή σημαντικό ρόλο η χωρική διάσταση των πληροφοριών και η γεωγραφική τους κατανομή. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των Γ.Σ.Π. συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Δυνατότητα γεωγραφικής ανάλυσης των πληροφοριών
- Δυνατότητα ηλεκτρονικής χαρτογράφησης και παρουσίασης θεματικών χαρτών
- Δυνατότητα διεπιστημονικής εργασίας
- Δυνατότητα ένταξης μεθόδων μαθηματικής επεξεργασίας των πληροφοριών στα Γ.Σ.Π. καθώς και μοντέλα προσομοίωσης.

Αντίθετα με έναν χάρτη εγγράφου, ένας χάρτης GIS μπορεί να συνδυάσει πολλά επίπεδα πληροφοριών. Είναι πολύ απλό να χρησιμοποιηθεί ένας χάρτης εγγράφου. Ο ίδιος αποτελεί μια αντιπροσώπευση των πόλεων και των δρόμων, των βουνών και των ποταμών, των σιδηροδρόμων και των πολιτικών ορίων. Οι πόλεις

Αντίθετα με έναν χάρτη εγγράφου, ένας χάρτης GIS μπορεί να συνδυάσει πολλά επίπεδα πληροφοριών. Είναι πολύ απλό να χρησιμοποιηθεί ένας χάρτης εγγράφου. Ο ίδιος αποτελεί μια αντιπροσώπευση των πόλεων και των δρόμων, των βουνών και των ποταμών, των σιδηροδρόμων και των πολιτικών ορίων. Οι πόλεις αντιπροσωπεύονται από μικρά σημεία ή κύκλους, οι δρόμοι από μαύρες γραμμές, οι αιχμές βουνών από μικροσκοπικά τρίγωνα και οι λίμνες από μικρές μπλε περιοχές. Όπως στο χάρτη εγγράφου, ένας ψηφιακός χάρτης που δημιουργείται από το GIS θα έχει :

1. τα σημεία, τα οποία αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα στο χάρτη όπως οι πόλεις,
2. γραμμές που αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως οι δρόμοι και
3. μικρές περιοχές που αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως οι λίμνες.

Η διαφορά είναι ότι αυτές οι πληροφορίες προέρχονται από μια βάση δεδομένων και παρουσιάζονται μόνο εάν ο χρήστης επιλέγει να την παρουσιάσει. Η βάση δεδομένων αποθηκεύει το που βρίσκεται κάθε σημείο, πόσο μακρύς είναι ένας δρόμος, ακόμη και πόσα τετραγωνικά μίλια καταλαμβάνει μια λίμνη.

Κάθε τμήμα των πληροφοριών στο χάρτη τοποθετείται σ' ένα επίπεδο και οι χρήστες ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν τα επίπεδα αυτά σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Ένα επίπεδο θα μπορούσε να αποτελείται από τους δρόμους μιας περιοχής. Κάποιο άλλο θα μπορούσε να αντιπροσωπεύσει όλες τις λίμνες στην ίδια περιοχή. Ακόμα ένα άλλο θα μπορούσε να αντιπροσωπεύσει όλες τις πόλεις. Η δύναμη του GIS πέρα από τους χάρτες εγγράφου, είναι η δυνατότητά της επιλογής των πληροφοριών που απαιτείται κάθε φορά να εμφανιστούν σύμφωνα με την εκάστοτε απαίτηση.

Οι λόγοι που χρήζουν τελικά το GIS ως ένα πολύτιμο εργαλείο παρουσιάζονται παρακάτω:

### **1. Διαχείριση της οργάνωσης και των πόρων**

Ένα από τα κύρια οφέλη του GIS είναι η βελτιωμένη διαχείριση της οργάνωσης και των πόρων. Το GIS μπορεί να συνδέσει τα σύνολα δεδομένων από τα κοινά ως προς

την τοποθεσία δεδομένα, όπως οι διευθύνσεις, γεγονός που βοηθά τμήματα και αντιπροσωπείες να μοιράζονται τα δεδομένα τους. Με τη δημιουργία μιας κοινής βάσης δεδομένων, ένα τμήμα μπορεί να ωφεληθεί από την εργασία ενός άλλου. Μπορούν να συλλεχθούν δεδομένα μία φορά και να χρησιμοποιούνται πολλές.

## **2. Λήψη καλύτερων αποφάσεων**

Το GIS δεν είναι μόνο ένα αυτοματοποιημένο σύστημα λήψης αποφάσεων, αλλά και ένα εργαλείο ερώτησης, ανάλυσης και παροχής δεδομένων χαρτών υπέρ της διαδικασίας λήψης απόφασης. Οι πληροφορίες μπορούν να παρουσιαστούν περιληπτικά και με σαφήνεια υπό μορφή χάρτη και συνοδευτικής έκθεσης, γεγονός που επιτρέπει στους υπεύθυνους τη λήψη αποφάσεων και να εστιάσουν στα πραγματικά ζητήματα παρά να προσπαθήσουν να κατανοήσουν τα δεδομένα.

## **3. Δημιουργία χαρτών**

Η δημιουργία χαρτών με το GIS είναι πολύ πιο εύκολη από τις παραδοσιακές χειρωνακτικές ή αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις χαρτογραφίας. Το GIS δημιουργεί τους χάρτες από στοιχεία που προέρχονται από βάσεις δεδομένων. Οι υπάρχοντες χάρτες εγγράφου μπορούν επίσης να ψηφιοποιηθούν και να μεταφραστούν στο GIS. Η βασισμένη στο GIS χαρτογραφική βάση δεδομένων μπορεί να είναι και συνεχής και ελεύθερη σε κλίμακα. Τα προϊόντα χαρτών μπορούν έπειτα να δημιουργηθούν σε οποιαδήποτε θέση, σε οποιαδήποτε κλίμακα και δίνεται η δυνατότητα παρουσίασης επιλεγμένων πληροφοριών που συμβολίζονται αποτελεσματικά για να δώσουν έμφαση στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Ένας χάρτης μπορεί να δημιουργηθεί οποτεδήποτε σε οποιαδήποτε κλίμακα, εφ' όσον υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Η διαφορά δεν είναι απλά αισθητική, είναι εννοιολογική. Το GIS δίνει τα εργαλεία σχεδιαγράμματος και σχεδίων που βοηθούν στην παρουσίαση γεγονότων με σαφήνεια. Τα σημαντικότερα από τα εργαλεία αυτά, δίνονται παρακάτω :

## 1. **ARCVIEW**

### α. **Δουλεύοντας χωρικά**

Το ArcView μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε θέλει να εργαστεί χωρικά. Ένα κύριο χαρακτηριστικό του ArcView είναι ότι είναι εύκολο να «φορτωθούν» τα συνοπτικά δεδομένα, όπως τα αρχεία dBASE και δεδομένα από κεντρικούς υπολογιστές βάσεων δεδομένων στο ArcView, ώστε να μπορεί να γίνει επίδειξη, σύνοψη και οργάνωση αυτών των δεδομένων γεωγραφικά.

Σε λίγο χρόνο πραγματοποιείται η εργασία με τα δεδομένα με έναν απολύτως νέο τρόπο, βλέποντας τα σχέδια που δεν θα μπορούσε να δει κάποιος υπό άλλες συνθήκες, καταλαβαίνοντας τις γεωγραφικές σχέσεις που ήταν προηγουμένως κρυμμένες, αποκτώντας νέες γνώσεις και επιτυγχάνοντας νέα αποτελέσματα για την εκάστοτε εργασία.

### β. **Views**

Με το ArcView πραγματοποιούνται εργασίες με γεωγραφικά δεδομένα στους διαλογικούς χάρτες που ονομάζονται «Views». Κάθε «View» χαρακτηρίζει το μοναδικό γεωγραφικό «πίνακα περιεχομένων» του ArcView, καθιστώντας το εύκολο να καταλάβει κάποιος και να ελέγξει τι επέδειξε.

### γ. **Tables -Πίνακες**

Η εργασία με τα συνοπτικά δεδομένα στους πίνακες του ArcView θέτει τον χειριστή στον έλεγχο. Οι πίνακες του ArcView έχουν μια πλήρη σειρά των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων για τη λήψη των συνοπτικών στατιστικών, την ταξινόμηση και τη συζήτηση επάνω στην εκάστοτε εργασία.

### δ. **Charts-Διαγράμματα**

Τα διαγράμματα του ArcView προσφέρουν μια ισχυρή ικανότητα απεικόνισης επιχειρησιακών γραφικών παραστάσεων και δεδομένων που είναι πλήρως ενσωματωμένα στο γεωγραφικό περιβάλλον του ArcView. Το ArcView επιτρέπει την

εργασία ταυτόχρονα με τις γεωγραφικές και συνοπτικές παρουσιάσεις διαγραμμάτων των διαφόρων δεδομένων.

#### **ε. Layouts**

Τα σχεδιαγράμματα του ArcView δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας υψηλής ποιότητας, πλήρών χρώματος χαρτών τακτοποιώντας πρώτα τα διάφορα γραφικά στοιχεία επί της οθόνης με τον επιθυμητό κάθε φορά τρόπο. Όταν τυπώνεται ένα σχεδιάγραμμα, οποιεσδήποτε αλλαγές στα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται αυτόματα. Έτσι όλα τα δεδομένα του κάθε χάρτη θα είναι ενημερωμένα.

#### **στ. Scripts-Χειρόγραφα**

Τα χειρόγραφα του ArcView είναι μακροεντολές που γράφονται στο Avenue, γλώσσα προγραμματισμού του ArcView και περιβάλλον ανάπτυξης. Με το Avenue μπορεί να προσαρμοστεί σχεδόν κάθε πτυχή του ArcView, προσθέτοντας ένα νέο κουμπί για να «τρέξει» ένα χειρόγραφο και να δημιουργηθεί μία ολόκληρη εφαρμογή που μπορεί να διανεμηθεί.

#### **ζ. Projects**

Όλα τα συστατικά του ArcView: τα views, tables, charts, layouts, and scripts αποθηκεύονται εύκολα σ' ένα αρχείο αποκαλούμενο Project. Το παράθυρο του Project του ArcView παρουσιάζει το περιεχόμενο του Project και καθιστά εύκολη τη διαχείριση ολόκληρης εργασίας.

## **2. TIN**

Το TIN είναι ένα αντικείμενο που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει μια επιφάνεια. Δεδομένου ότι η αντιπροσώπευση μιας επιφάνειας μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, το TIN θέτει μια συγκεκριμένη δομή αποθήκευσης των δεδομένων επιφάνειας. Το TIN χωρίζει μια επιφάνεια σε ένα σύνολο παρακείμενων, μη επικαλυμμένων τριγώνων. Μια τιμή ύψους καταγράφεται για κάθε κόμβο τριγώνων. Τα ύψη μεταξύ των κόμβων μπορούν να παρεμβληθούν



επιτρέποντας έτσι τον καθορισμό μιας συνεχούς επιφάνειας. Τα TIN μπορούν να προσαρμόσουν ακανόνιστα διανεμημένα, καθώς επίσης και εκλεκτικά σύνολα δεδομένων. Αυτό το καθιστά δυνατό να αντιπροσωπεύσει μια σύνθετη και ανώμαλη επιφάνεια με ένα μικρό σύνολο στοιχείων.

### 3. 3D ANALYST

Ο 3D Analyst είναι μια επέκταση που προσθέτει την υποστήριξη για τρισδιάστατες μορφές, διαμόρφωση επιφάνειας, και για σε πραγματικό χρόνο εξέταση προοπτικής στο ArcView. Με αυτό μπορούν να δημιουργηθούν και να απεικονηθούν τα χωρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας μια τρίτη διάσταση ώστε να παρέχετε διορατικότητα, να φαίνονται οι τάσεις και να λύνονται τα προβλήματα.

### 4. DEM

Ένα ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης (DEM) αποτελείται από μια σειρά ανυψώσεων για τις επίγειες θέσεις που είναι συνήθως χωρισμένες σε τακτικά διαστήματα. Οι ανυψώσεις πραγματοποιούνται σε μέτρα σχετικά με τη μέση στάθμη θάλασσας.

### 5. SPATIAL ANALYST

Ο χωρικός αναλυτής του ArcView παρέχει μια ευρεία σειρά των ισχυρών χωρικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων διαμόρφωσης και ανάλυσης που παλαιότερα ήταν μη διαθέσιμοι στους χρήστες υπολογιστών γραφείου. Επιτρέπει τη δημιουργία, τη χαρτογράφηση και την ανάλυση ράστερ δεδομένων, βασισμένων σε κύτταρα, για να μπορέσει να εκτελέσει την ενσωματωμένη διανυσματική ράστερ ανάλυση.

Με το χωρικό αναλυτή μπορούν να πραγματοποιηθούν τα παρακάτω:

1. Να μετατραπούν τα θέματα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (σημείο, γραμμή, ή πολύγωνο) σε θέματα πλέγματος
2. Να δημιουργηθούν τα ράστερ buffers βασισμένα στην απόσταση ή την εγγύτητα από τα θέματα χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ή του grid
3. Να δημιουργηθούν χάρτες πυκνότητας από τα θέματα που περιέχουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σημείου

4. Να δημιουργηθούν συνεχείς επιφάνειες από τα διεσπαρμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σημείου
5. Να δημιουργηθούν χάρτες καμπυλών, κλίσης, προσανατολισμού και σκιές πλαγιών αυτών των επιφανειών.
6. Να εκτελεστούν αναλύσεις χαρτών βασισμένες σε κύτταρα
7. Να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα αλγεβρικοί υπολογισμοί στο grid
8. Να εκτελεστούν γειτονικές και ζωνικές αναλύσεις και τέλος,
9. Να πραγματοποιηθεί grid ταξινόμηση, επίδειξη, κτλ.

## 6. GEOPROCESSING WIZARD

Το Geoprocessing Wizard είναι απαραίτητο όταν χρειάζεται να αποκοπεί ένα κομμάτι ενός θέματος χρησιμοποιώντας ένα άλλο θέμα. Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τη λειτουργία σύνδεσης.

## 7. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ SPLINE ΚΑΙ IDW

Η επίσκεψη κάθε τοποθεσίας σε μια περιοχή μελέτης για να μετρηθεί το ύψος, το μέγεθος ή η συγκέντρωση ενός φαινομένου είναι συνήθως δύσκολη ή ακριβή. Αντ' αυτού, η επιλογή στρατηγικά διασκορπισμένων θέσεων σημείου εισαγωγής δειγμάτων και η χρήση του Interpolate Surface για να ορίσει μια εκτιμημένη αξία σε όλες τις άλλες θέσεις καθιστά εύκολη την παραπάνω διαδικασία. Τα σημεία εισαγωγής μπορούν να είναι είτε τυχαία είτε τακτικά χωρισμένα κατά διαστήματα συμπεριλαμβάνοντας ύψος, συγκέντρωση, είτε μετρήσεις μεγέθους.

Το προκύπτον θέμα grid είναι η καλύτερη εκτίμηση του πόση είναι η ποσότητα στην πραγματική επιφάνεια για κάθε θέση. Τα Surface Interpolators κάνουν ορισμένες υποθέσεις για το πώς να καθορίσουν τις καλύτερα εκτιμημένες τιμές. Με βάση τα φαινόμενα οι τιμές αντιπροσωπεύουν και τον καλύτερο τρόπο με τον οποίο τα σημεία δειγμάτων διανέμονται και διαφορετικά interpolators θα παράγουν τις καλύτερες εκτιμήσεις σχετικά με τις πραγματικές τιμές. Ανεξάρτητα από το interpolator που κάθε φορά επιλέγεται, όσο περισσότερα είναι τα σημεία εισαγωγής και όσο μεγαλύτερη είναι η διανομή τους, τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα

Οι σπλήνες παρεμβολής είναι μια μέθοδος παρεμβολής γενικού σκοπού που εγκαθιστά μια επιφάνεια ελάχιστης κυρτότητας μέσω των σημείων εισαγωγής.

Εννοιολογικά, είναι όπως η κάμψη ενός φύλλου του λάστιχου για να περάσει μέσω ορισμένων σημείων, ελαχιστοποιώντας τη συνολική κυρτότητα της επιφάνειας. Εγκαθιστά μια μαθηματική λειτουργία σε ένα συγκεκριμένο αριθμό κοντινότερων σημείων εισαγωγής, περνώντας μέσω των σημείων δειγματοληψίας. Αυτή η μέθοδος είναι καλύτερη για τις ήπια ποικίλες επιφάνειες όπως η ανύψωση, τα ύψη σταθμών νερού, ή οι συγκεντρώσεις ρύπανσης. Δεν είναι κατάλληλη εάν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στην επιφάνεια μέσα σε μια σύντομη οριζόντια απόσταση, επειδή μπορεί να υπερανυψώσει τις υπολογισμένες τιμές.

Η κανονικοποιημένη μέθοδος παράγει μια ομαλή επιφάνεια. Η μέθοδος έντασης συντονίζει την ακαμψία της επιφάνειας σύμφωνα με το χαρακτήρα του διαμορφωμένου φαινομένου. Όταν επιλεγθεί η μέθοδος κανονικοποίησης, η παράμετρος βάρους καθορίζει το βάρος των τρίτων παραγώγων της επιφάνειας στην έκφραση ελαχιστοποίησης κυρτότητας. Εάν επιλεγθεί η ένταση, η παράμετρος βάρους καθορίζει το βάρος της έντασης. Ο αριθμός παραμέτρου σημείων προσδιορίζει τον αριθμό σημείων ανά περιοχή που χρησιμοποιείται για τοπική προσέγγιση.

Η μέθοδος IDW (Inverse Distance Weighted interpolator) υποθέτει ότι κάθε σημείο εισαγωγής έχει μια τοπική επιρροή που μικραίνει με την απόσταση. Αυτό ζυγίζει περισσότερο τα σημεία πιο κοντά στο κύτταρο επεξεργασίας καλύτερα από εκείνα που είναι μακρύτερα. Ένας διευκρινισμένος αριθμός σημείων, ή προαιρετικά όλα τα σημεία μέσα σε μια διευκρινισμένη ακτίνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί η αξία παραγωγής για κάθε θέση. Η παράμετρος δύναμης στην παρεμβολή IDW ελέγχει τη σημασία των περιβαλλόντων σημείων επάνω στην τιμή που έχει υπολογιστεί από τον interpolator. Μια υψηλότερη δύναμη οδηγεί στη λιγότερη επιρροή από τα απόμακρα σημεία. Κάθε γραμμή σε ένα θέμα γραμμών εισαγωγής εμποδίων χρησιμοποιείται ως σπάσιμο που περιορίζει την αναζήτηση των σημείων δειγμάτων εισαγωγής. Μια γραμμή μπορεί να αντιπροσωπεύσει έναν απότομο βράχο, την κορυφογραμμή, ή κάποια άλλη διακοπή σε ένα τοπίο. Μια επιλογή ενός αριθμού εμποδίων θα χρησιμοποιήσει όλα τα σημεία που διευκρινίζονται στο αριθμό των γειτόνων ή μέσα στην προσδιορισμένη ακτίνα..

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια της εργασίας, καθώς και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωσή της σε ότι αφορά τη χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, είναι τα παρακάτω:

1. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις (4) τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και συγκεκριμένα τα φύλλα με τις ονομασίες: ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ, ΚΑΣΤΟΡΙΑ, ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ και ΝΕΣΤΟΡΙΟ. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1
2. Για την ψηφιοποίησή τους, ενοποιήθηκαν σε ένα χάρτη και αφαιρέθηκαν τα πλαίσια τους μέσω του προγράμματος επεξεργασίας εικόνας Photoshop.

Φ.Χ. ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ	Φ.Χ. ΚΑΣΤΟΡΙΑ
Φ.Χ. ΝΕΣΤΟΡΙΟ	Φ.Χ. ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ

Σχήμα 7.1 Οι τοπογραφικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν

3. Στη συνέχεια, ο ενοποιημένος χάρτης εισήχθη στο πρόγραμμα G.I.S. (Geographic Information System), Arc View 3.2 και για να πραγματοποιηθεί η απαραίτητη γεωαναφορά, ελήφθησαν οι συντεταγμένες των τεσσάρων

άκρων του ενοποιημένου χάρτη που ήταν στο προβολικό σύστημα συντεταγμένων HATT και μετατράπηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος COORD\_GR σε σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ' 87 (Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Οι νέες τιμές δόθηκαν στις τέσσερις γωνίες του νέου ενοποιημένου χάρτη με τη βοήθεια του προγράμματος Arc View 3.2 με αποτέλεσμα να δοθεί στο χάρτη η σωστή γεωαναφορά.

4. Έπειτα, με το ίδιο πρόγραμμα έγινε η ψηφιοποίηση της υδροκριτικής γραμμής, η οριοθέτηση της λεκάνης απορροής της λίμνης και η ψηφιοποίηση του υδρογραφικού δικτύου των ρεμάτων – χειμάρρων που καταλήγουν στη λίμνη. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο χάρτης των ισοϋψών καμπυλών ανά 20 μέτρα στην περιοχή της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς. Μετά την ψηφιοποίηση των ισοϋψών δημιουργήθηκε το αρχείο TIN (Triangulated Irregular Network) και στη συνέχεια δημιουργήθηκε το αρχείο DEM (Digital Elevation Model / Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους). Για τη δημιουργία του TIN χρησιμοποιήθηκε η επέκταση (extension) 3D Analyst.
5. Ακολούθως, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων σε μορφή πινάκων στο πρόγραμμα Office – Excel των Windows XP, στην οποία περιλήφθηκαν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα έτη 2002-2003 και 2004.
6. Στη συνέχεια, μέσω πάλι του Arc View 3.2, ψηφιοποιήθηκε η ακτογραμμή της λίμνης και εισήχθησαν τα σημεία δειγματοληψίας νερού, με βάση τις συντεταγμένες τους οι οποίες ήταν ήδη γνωστές από το Δήμο Καστοριάς. Ανάλογα με το έτος (2002–2003 και 2004) και τους μήνες δειγματοληψίας (Φεβρουάριος, Μάιος, Ιούνιος, Οκτώβριος), παρήχθησαν τελικά 28 θεματικοί ισοποσοτικοί – ισορρυπαντικοί δισδιάστατοι χάρτες της λίμνης Ορεστιάδας.
7. Για την ολοκλήρωση των ισοποσοτικών χαρτών, χρησιμοποιήθηκε η επέκταση (extension) Χωρικός Αναλυτής (Spatial Analyst), 3D Analyst και Geoprocessing Wizard και εφαρμόστηκε η μέθοδος του Spline (σπληνών), καθώς και του IDW (Inverse Distance Weighted). Δημιουργήθηκαν συνολικά 28 χάρτες ισορρυπαντικών καμπυλών.



Για το έτος 2002-2003 δημιουργήθηκαν 15 χάρτες. Σ' αυτούς φαίνεται η γεωγραφική κατανομή της  $T^{\circ}\text{C}$  (Temperature – θερμοκρασία), του DO (Dissolved Oxygen – Διαλυμένο Οξυγόνο), του  $\text{N-NH}_4$  (Αμμωνιακό Άζωτο), των  $\text{N-NO}_3$  (Νιτρικά Άλατα) και των  $\text{P-PO}_4$  (Ορθοφωσφορικά Άλατα) σε βάθος 2 m από την επιφάνεια της λίμνης και για τις ημερομηνίες 31/10/2002, 1/2/2003 και Ιούλιος 2003.

Για το έτος 2004 δημιουργήθηκαν 13 χάρτες. Σ' αυτούς φαίνεται η γεωγραφική κατανομή της  $T^{\circ}\text{C}$  (Temperature – θερμοκρασία), του DO (Dissolved Oxygen – Διαλυμένο Οξυγόνο), του  $\text{N-NH}_4$  (Αμμωνιακό Άζωτο), των  $\text{N-NO}_3$  (Νιτρικά Άλατα), των  $\text{P-PO}_4$  (Ορθοφωσφορικά Άλατα) σε βάθος 1-2,5 m από την επιφάνεια της λίμνης και για τις ημερομηνίες - μήνες Μάιος, 30 Ιουλίου, 26 Οκτωβρίου.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου μετρήθηκαν με το φορητό οξυγονόμετρο του Τμήματος Περιβάλλοντος του Δήμου Καστοριάς, ενώ οι αναλύσεις των νιτρικών αλάτων, του αμμωνιακού αζώτου και των ορθοφωσφορικών αλάτων πραγματοποιήθηκαν στο φασματικό χρωματογράφο της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού που βρίσκεται στο Δισπηλιό Καστοριάς.

Οι χάρτες που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται στο ακόλουθο κεφάλαιο, καθώς και στο παράρτημα της συγκεκριμένης εργασίας

## **8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ**

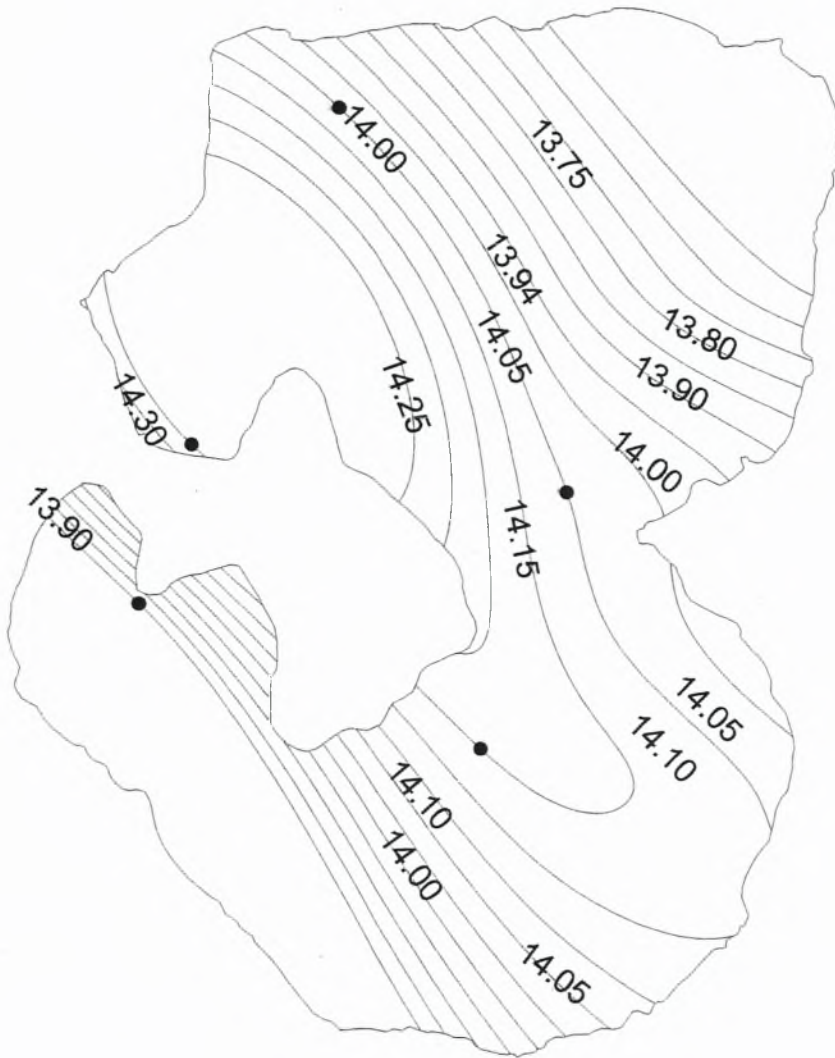
Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα των τελευταίων δεκαετιών, γεγονός που οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες που συμβαδίζουν με την εξέλιξη στους διάφορους τομείς και την αλλαγή του ρυθμού και τρόπου ζωής. Το πρόβλημα της ρύπανσης χρίζει ιδιαίτερης προσοχής τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον ίδιο τον άνθρωπο, εφόσον και ο ίδιος αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του περιβάλλοντα χώρου. Το θετικό στην περίπτωση του περιβάλλοντος είναι ότι εξετάζοντας μεμονωμένα κάθε περίπτωση ρύπανσης ή μόλυνσης, μπορεί να λυθεί ολοκληρωτικά ή εν μέρει το πρόβλημα, βελτιώνοντας έτσι την εκάστοτε υφιστάμενη κατάσταση.

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση της λίμνης Ορεστιάδας του νομού Καστοριάς εφαρμόστηκαν μοντέλα γεωγραφικής κατανομής της ρύπανσης της λίμνης για το έτος 2002-2003, καθώς και για το έτος 2004 σε τέσσερις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και συγκεκριμένα τους μήνες Φεβρουάριο, Μάιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Η επιλογή αυτή των περιόδων είχε την έννοια ότι η κατάσταση της ρύπανσης εξετάζεται στο τέλος μιας εποχής του έτους (Χειμώνας, Άνοιξη, Καλοκαίρι). Σχεδιάστηκαν συνολικά 28 χάρτες, από τους οποίους οι 15 αφορούσαν το έτος 2002-2003 και οι 13 το έτος 2004.

Στη συνέχεια γίνεται μία σύγκριση των επιπέδων ρύπανσης της λίμνης ανάμεσα σε αυτά τα δύο έτη και αξιολογείται η συνολική περιβαλλοντική κατάσταση της λίμνης.


## **8.1 T °C (Temperature-Θερμοκρασία)**

### **8.1.1 Οκτώβριος**



Clip1.shp

 13.7 - 13.85

 13.86 - 14.01

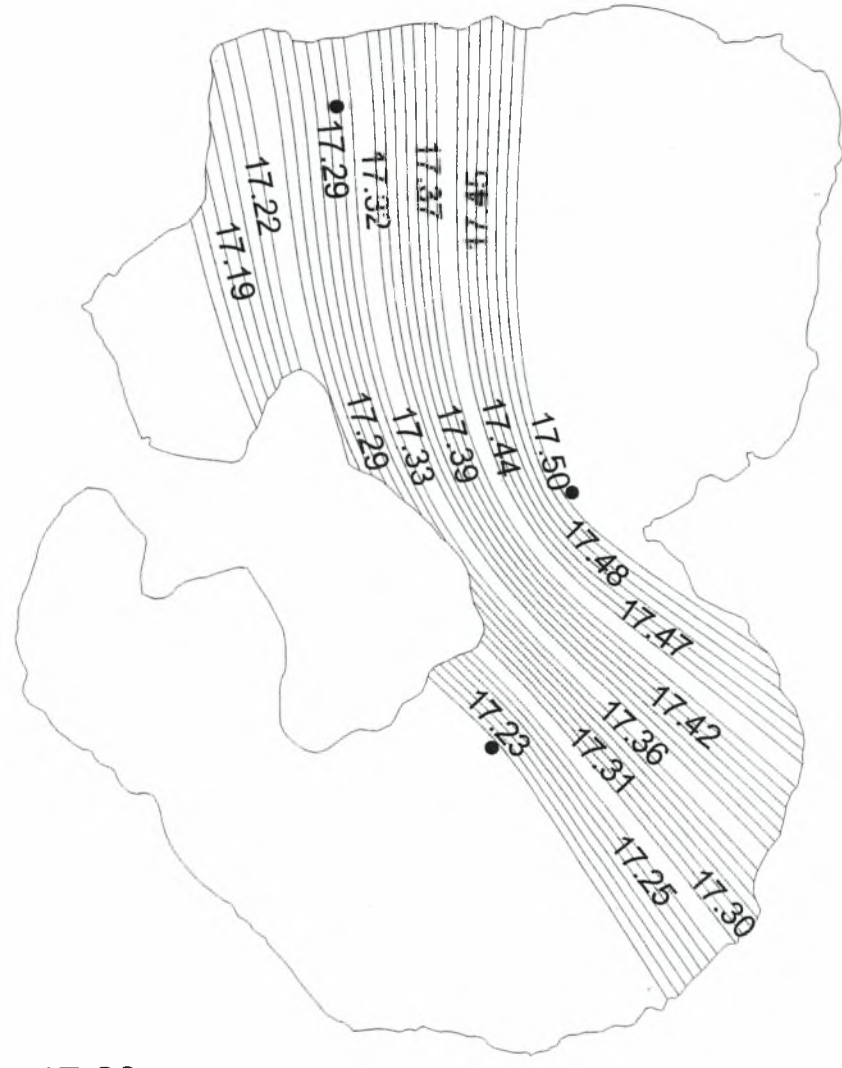
 14.02 - 14.17

 14.18 - 14.3







 T\_31-10-02\_\_2m.dbf

 Limni.shp

Χάρτης 1 Κατανομή θερμοκρασίας στις 31-10-02, 1:50.000



Clip1.shp

-  17.15 - 17.23
-  17.24 - 17.32
-  17.33 - 17.41
-  17.42 - 17.5
-  T\_26-10-04\_2.5m.dbf
-  Limni.shp

Χάρτης 2 Κατανομή της θερμοκρασίας στις 26-10-04, 1:50.000

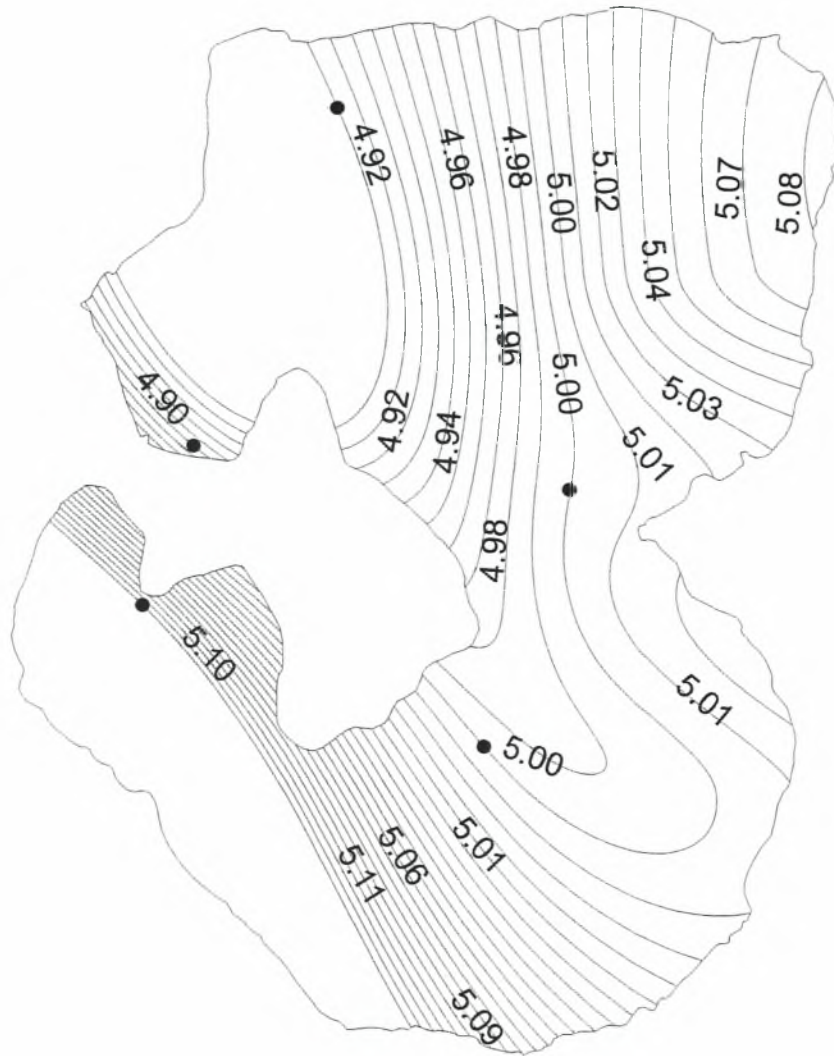
Στις 31-10-2002 η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 13.7 έως 14.3 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο **βόρειο τμήμα** της λίμνης, ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της.

Στις 26-10-2004 η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 17.15 έως 17.5 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο **κεντρικό και βόρειο τμήμα** της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως στις 26-10-2004 σημειώθηκαν **μεγαλύτερες θερμοκρασίες** σε σχέση με αυτές που σημειώθηκαν στις 31-10-2004.



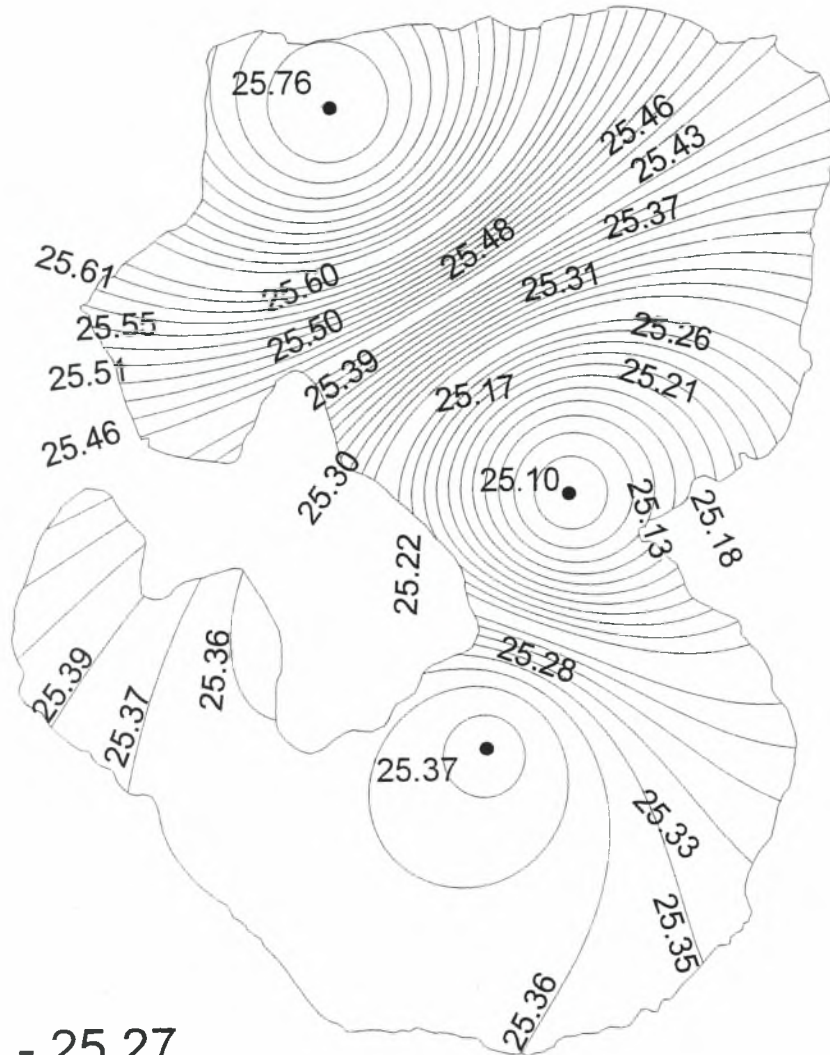
## 8.1.2 Φεβρουάριος









Χάρτης 3 Κατανομή της θερμοκρασίας την 1-2-03, 1:50.000

Την 1-2-2003 η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 4.9 έως 5.2 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η υψηλότερη σημειώθηκε στο **ΝΑ τμήμα** της.

### 8.1.3 Ιούλιος

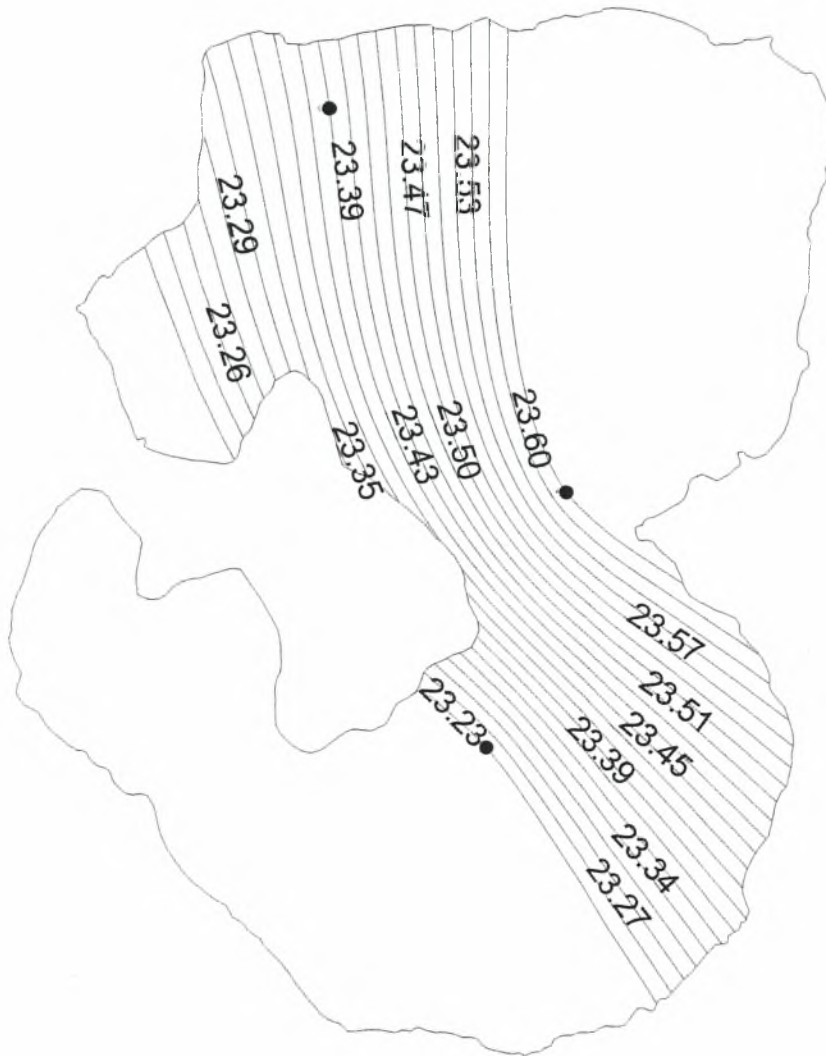


Clip1.shp





-  25.1 - 25.27
-  25.28 - 25.45
-  25.46 - 25.63
-  25.64 - 25.8
-  T\_7-03\_2m.dbf
-  Limni.shp

Χάρτης 4 Κατανομή της θερμοκρασίας τον 7-2003, 1:50.000





Clip1.shp

-  23.2 - 23.3
-  23.31 - 23.41
-  23.42 - 23.52
-  23.53 - 23.6

 Limni.shp

• T\_30-7-04\_\_2m.dbf

Χάρτης 5 Κατανομή θερμοκρασίας στις 30-7-2004, 1:50.000

Τον Ιούλιο του 2003 η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 25.1 έως 25.27 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο κεντρικό τμήμα της λίμνης, ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο βόρειο τμήμα της.

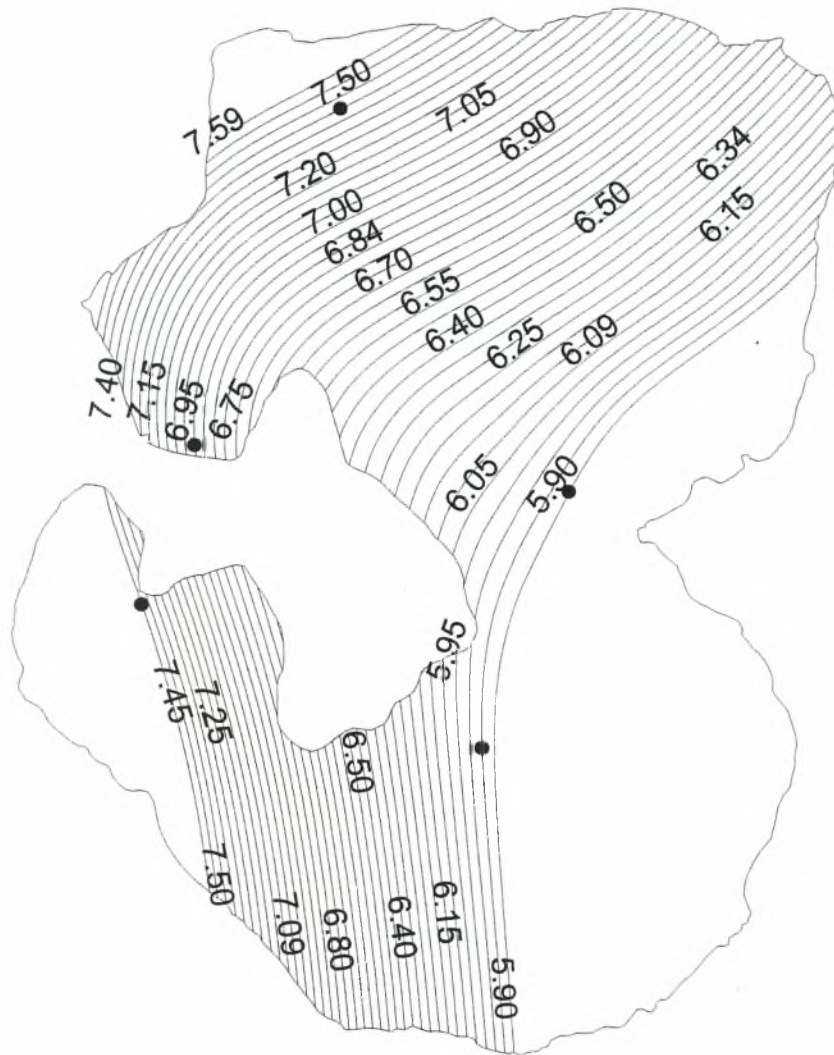
Στις 30-7-2004 η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 23.2 έως 23.6 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία σημειώθηκε στο νότιο τμήμα της λίμνης, ενώ η υψηλότερη σημειώθηκε στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως στις 30-7-2004 σημειώθηκαν χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τον Ιούλιο του 2003.

Η υψηλότερη θερμοκρασία για το έτος 2002-2003 σημειώνεται, όπως είναι φυσικό τον Ιούλιο του 2003 και όσον αφορά το έτος 2004 σημειώνεται επίσης τον Ιούλιο.

## **8.2 DO (Dissolved Oxygen-Διαλυμένο Οξυγόνο)**

### **8.2.1 Οκτώβριος**



Clip1.shp

5.85 - 6.287

6.288 - 6.726

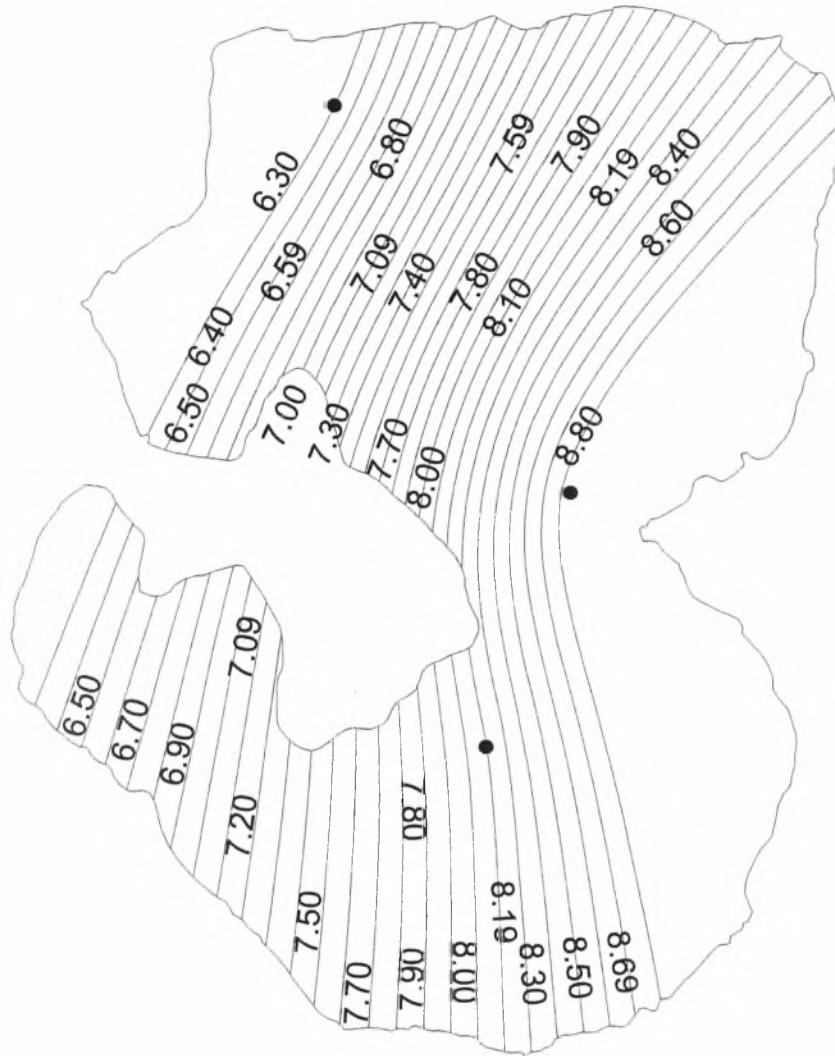
6.727 - 7.165

7.166 - 7.6

• Do\_31-10-02\_2m.dbf

Limni.shp

Χάρτης 6 Κατανομή DO στις 31-10-2002, 1:50.000



Clip1.shp

6.3 - 6.938

6.939 - 7.577

7.578 - 8.216

8.217 - 8.85

Limni.shp

• Do\_26-10-04\_2.5m.dbf

Χάρτης 7 Κατανομή DO στις 26-10-2004, 1:50.000

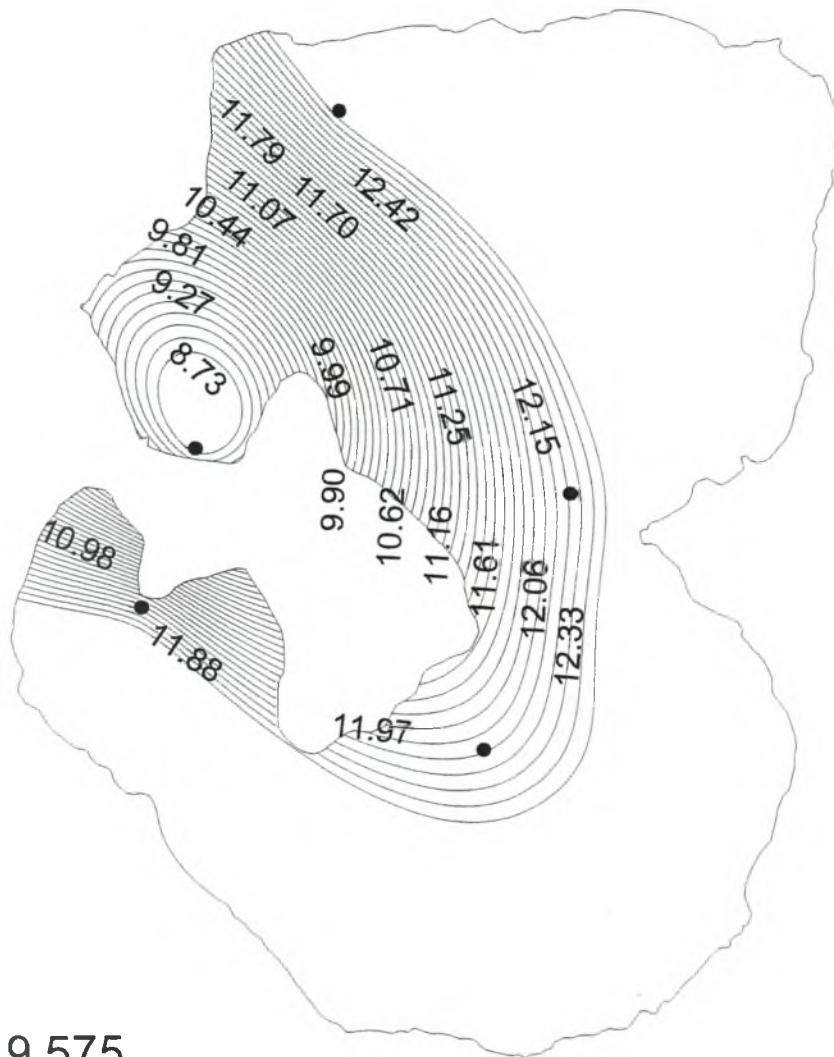


Στις **31-10-2002** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα 2 m κυμάνθηκε από 5.85 έως 7.6 mg/l. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό** και **νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της.







Στις **26-10-2004** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα 2.5 m κυμάνθηκε από 6.3 έως 8.85 mg/l. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ**, καθώς και στο **ΝΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό, ΒΑ και ΝΑ τμήμα** της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως στις **26-10-2004** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη λίμνη είχε αυξηθεί σε σχέση με τις **31-10-2002**. Αυτό οφείλεται στις συχνότερες βροχοπτώσεις, οι οποίες οδήγησαν με τη σειρά τους σε μεγαλύτερες επιφανειακές και υπόγειες απορροές προς τη λίμνη με αποτέλεσμα την ανάδευση του νερού της λίμνης και τον εμπλουτισμό της με οξυγόνο. Στην αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου συμβάλλει επίσης η λειτουργία της μονάδας βιολογικού καθαρισμού, η οποία εμποδίζει τη φόρτιση της λίμνης με οργανικούς ρύπους κάτι που θα συντελούσε στη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου.

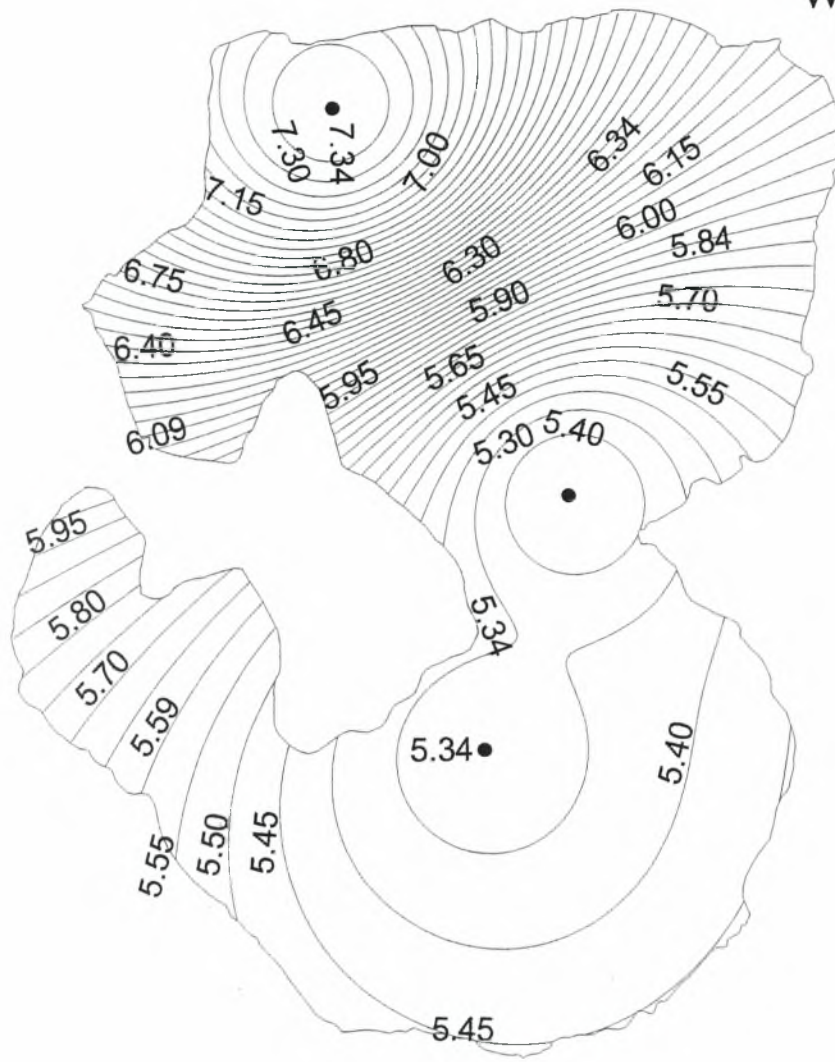
## 8.2.2 Φεβρουάριος – Μάιος



Clip1.shp

-  8.6 - 9.575
-  9.576 - 10.551
-  10.552 - 11.527
-  11.528 - 12.5
-  Do\_ 1-2-03\_ 2m.dbf
-  Limni.shp

Χάρτης 8 Κατανομή DO την 1-2-2003, 1:50.000



Clip1.shp

5.25 - 5.787

5.786 - 6.324

6.325 - 6.863

6.864 - 7.4

• Do\_5-04\_1m.dbf

Limni.shp

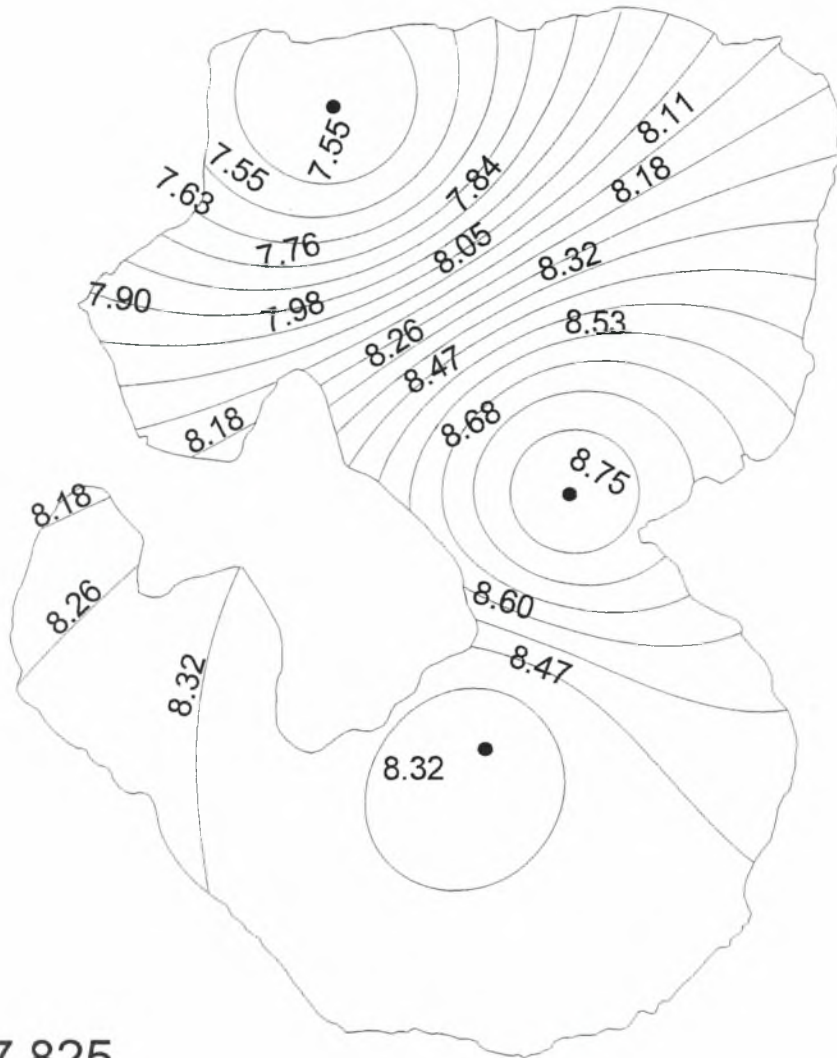
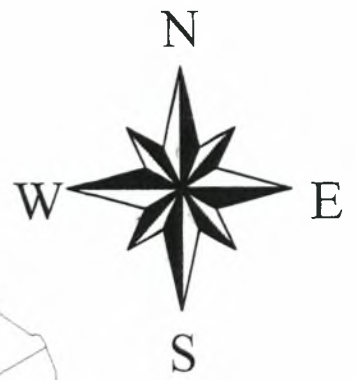
Χάρτης 9 Κατανομή DO τον 5-2004, 1:50.000

Την 1-2-2003 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα 2 m κυμάνθηκε από 8.6 έως 12.5 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο ΒΔ τμήμα της λίμνης, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο κεντρικό τμήμα της.

Τον Μάιο του 2004 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο 1 m κυμάνθηκε από 5.25 έως 7.4 mg/l. Η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λίμνης, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο βόρειο τμήμα της.



### 8.2.3 Ιούλιος



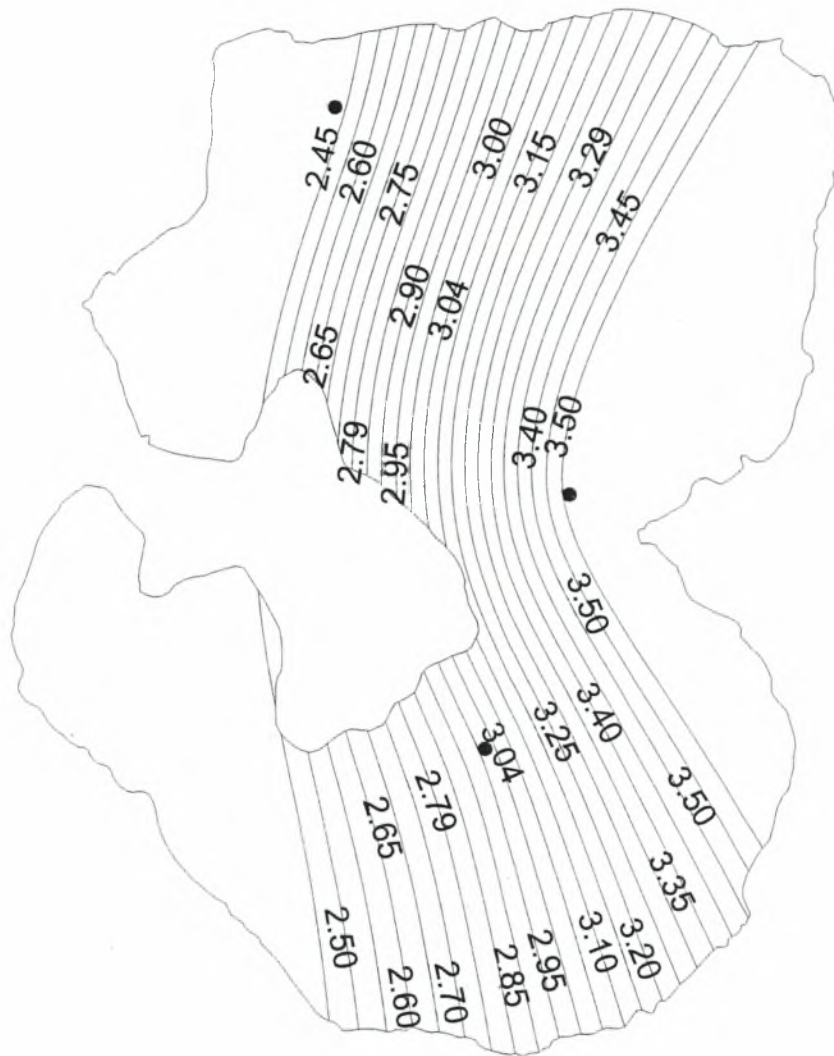
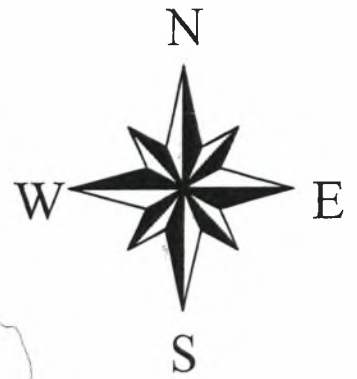
Clip1.shp

-  7.5 - 7.825
-  7.826 - 8.151
-  8.152 - 8.477
-  8.478 - 8.8





• Do\_7-03\_2m.dbf

 Limni.shp

Χάρτης 10 Κατανομή DO τον 7-2003, 1:50.000



Clip1.shp

-  2.42 - 2.695
-  2.696 - 2.971
-  2.972 - 3.247
-  3.248 - 3.52



Limni.shp

- Do\_30-7-04\_1m.dbf

Χάρτης 11 Κατανομή DO στις 30-7-2004, 1:50.000

**Τον Ιούλιο του 2003** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα 2 m κυμάνθηκε από 7.5 έως 8.8 mg/l. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό τμήμα** της.

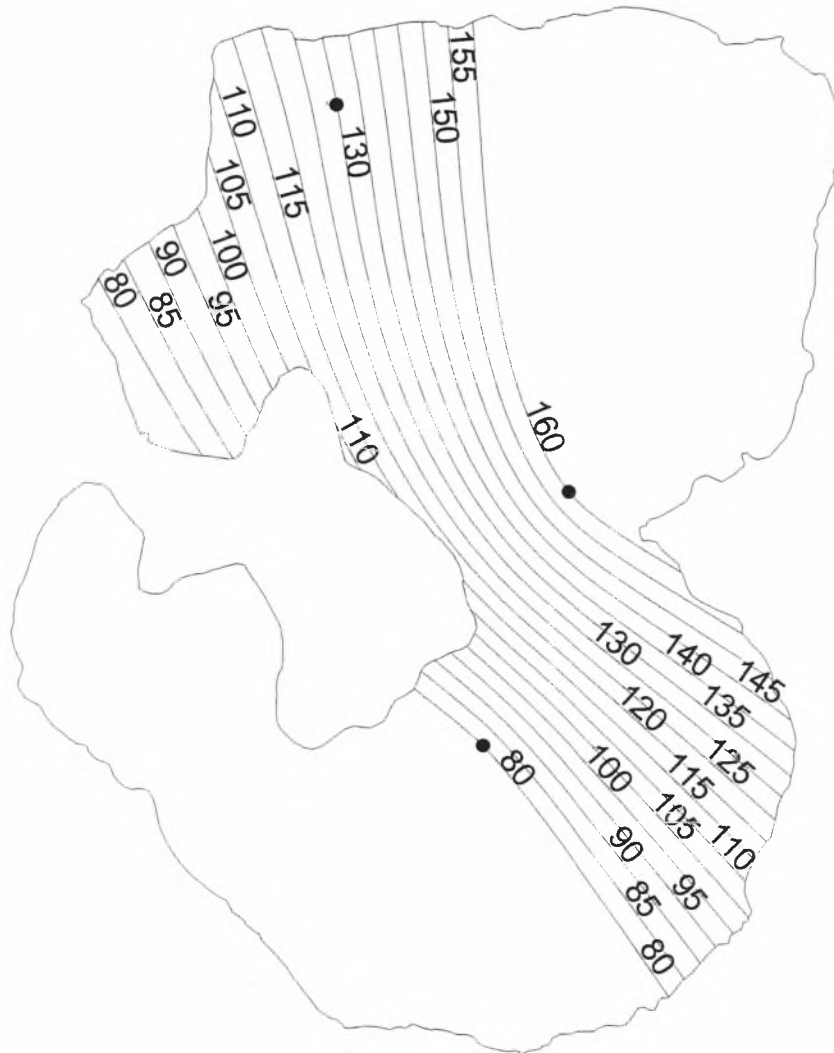
Στις **30-7-2004** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο 1 m κυμάνθηκε από 2.42 έως 3.52 mg/l. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ και ΝΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ οι **μεγαλύτερες συγκεντρώσεις** παρατηρήθηκαν στο **κεντρικό, ΒΑ και ΝΑ τμήμα** της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτιών οδηγεί στο συμπέρασμα πως **στις 30-7-2004** η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ήταν αρκετά μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε **τον Ιούλιο του 2003**, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε έντονα ευτροφικές συνθήκες στη λίμνη, οι οποίες με τη σειρά τους ευνοούνται από τις αυξημένες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν **τον Ιούλιο του 2004** σε σχέση με τον **Ιούλιο του 2003**. Είναι γνωστό πως η άνοδος της θερμοκρασίας συνεπάγεται την αύξηση του ευτροφισμού και οι δύο αυτοί παράγοντες μεταξύ τους οδηγούν σε μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου.

Η **μέση μέγιστη συγκέντρωση** του διαλυμένου οξυγόνου για το έτος **2002-2003** σημειώνεται τον **Φεβρουάριο του 2003**, όπου σημειώνεται και η χαμηλότερη θερμοκρασία, ενώ για το έτος **2004** σημειώνεται τον **Οκτώβριο**, όπου η θερμοκρασία είναι εύλογα χαμηλότερη από τον Ιούλιο του ίδιου έτους. Είναι γνωστό πως η άνοδος της θερμοκρασίας συνεπάγεται τη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Γύρω στα τέλη του έτους 2002 με αρχές του έτους 2003 ανέβηκε αρκετά υψηλά η στάθμη της λίμνης λόγω των βροχοπτώσεων, οπότε εύλογα υπήρξε και μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Η υψηλή στάθμη της λίμνης εκείνη την περίοδο οδήγησε στην υποχώρηση του πάρκινγκ της Νομαρχίας Καστοριάς, το οποίο βρίσκεται σ' ένα σημείο της ακτογραμμής της λίμνης.

### **8.3 NH<sub>4</sub> (Αμμωνιακό Άζωτο)**

#### **8.3.1 Οκτώβριος**



Clip1.shp

80 - 100

101 - 121

122 - 142

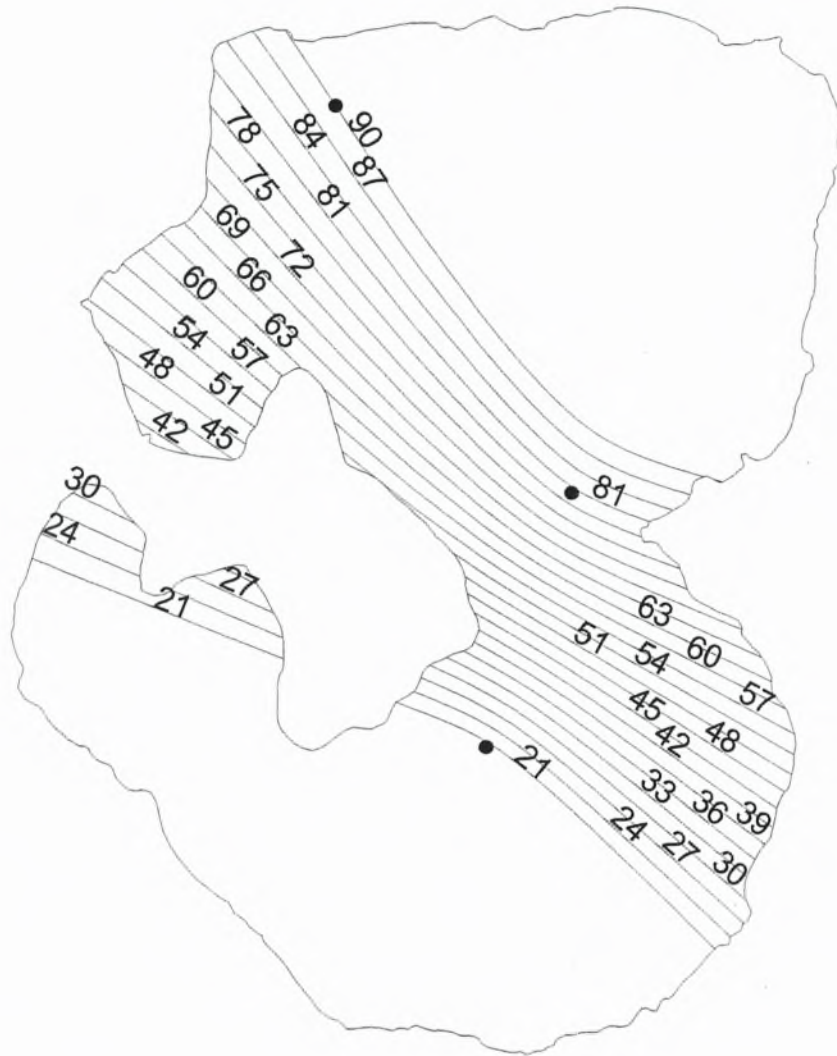
143 - 160

• Nh4\_31-10-02\_2m.dbf





Limni.shp

Χάρτης 12 Κατανομή NH4 στις 31-10-2002, 1:50.000






Clip1.shp

-  20 - 37.5
-  37.6 - 55.1
-  55.2 - 72.7
-  72.8 - 90

 Limni.shp

-  Nh4\_\_26-10-04\_\_2m.dbf

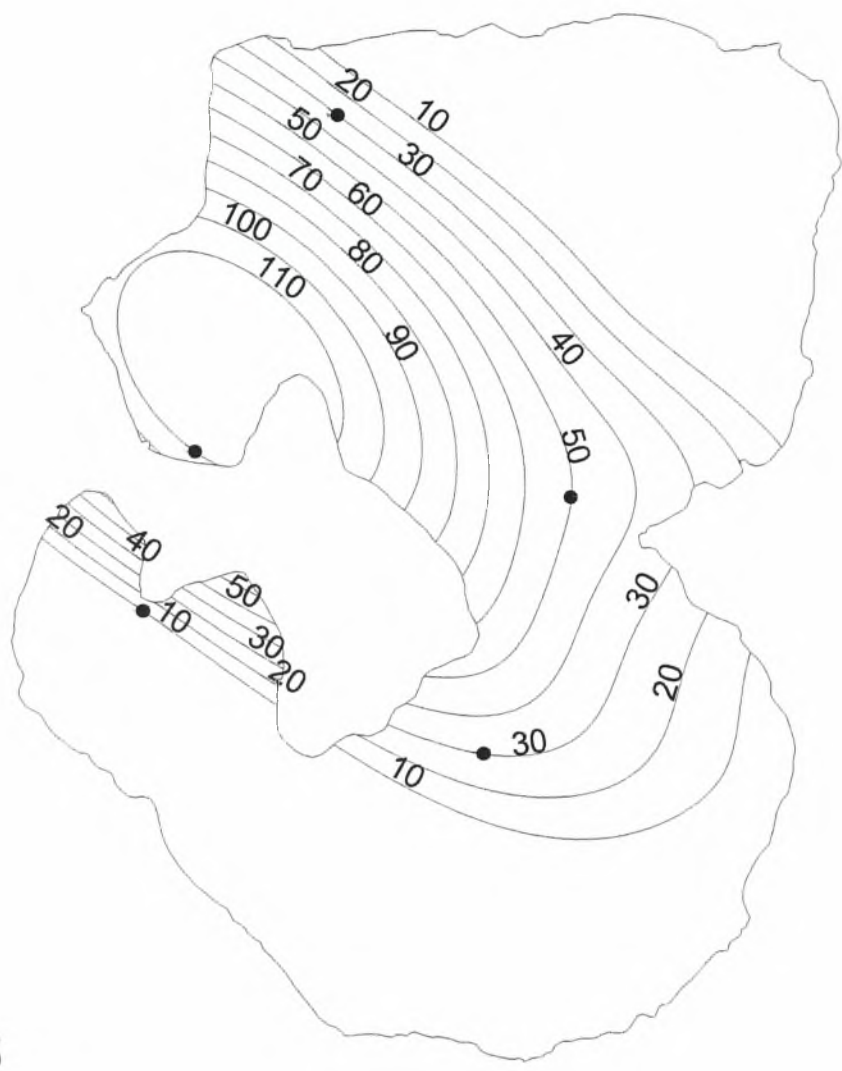
Χάρτης 13 Κατανομή NH<sub>4</sub> στις 26-10-2004, 1:50.000







Στις **31-10-2002** η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από **80** έως **160 μg/l**. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ** και **ΝΑ τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο** και **κεντρικό τμήμα** της.

Στις **26-10-2004** η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από **20** έως **90 μg/l**. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΝΑ** και **ΝΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ** και **κεντρικό τμήμα** της.

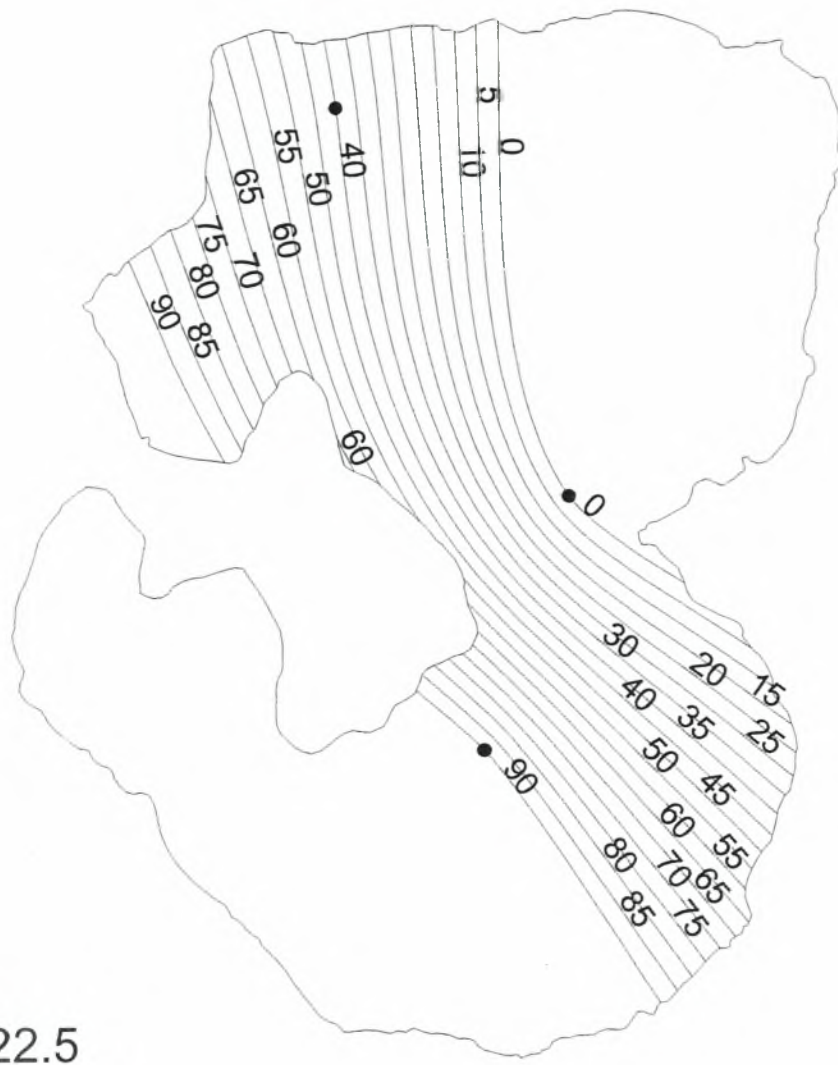
Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως **στις 26-10-2004** η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου είναι μικρότερη από αυτήν που παρατηρήθηκε **στις 31-10-2002**, γεγονός που συμβαδίζει με την αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου κατά το μήνα αυτό (26-10-2004), όπως σημειώθηκε και προηγουμένως, για το λόγο ότι με την αύξηση του οξυγόνου εμποδίζεται η διεργασία της αμμωνιοποίησης και της παραγωγής αμμωνίας.

### 8.3.2 Φεβρουάριος – Μάιος



- Clip1.shp
-  10 - 35
  -  35.1 - 60.1
  -  60.2 - 85.2
  -  85.3 - 110
  -  Nh4\_\_1-2-03\_\_2m.dbf
  -  Limni.shp

Χάρτης 14 Κατανομή NH4 την 1-2-2003, 1:50.000



Clip1.shp

0 - 22.5

22.6 - 45.1

45.2 - 67.7

67.8 - 90

• Nh4\_5-04\_2m.dbf

Limni.shp

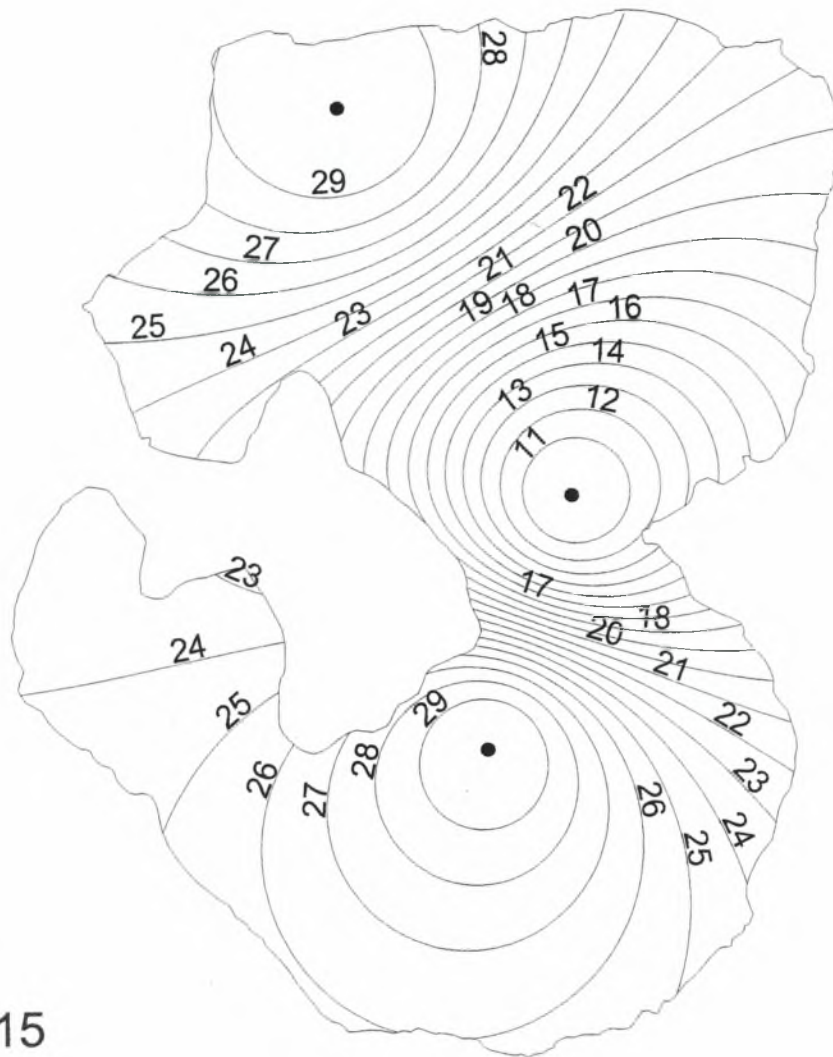
Χάρτης 15 Κατανομή NH4 τον 5-2004, 1:50.000

**Την 1-2-2003** η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από **10** έως **110**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΝΑ** και **ΝΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της λίμνης.

Τον **Μάιο του 2004** η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από **0** έως **90**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε **βόρεια** και **κεντρικά** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ** και στο **ΝΑ τμήμα** της.



### 8.3.3 Ιούλιος



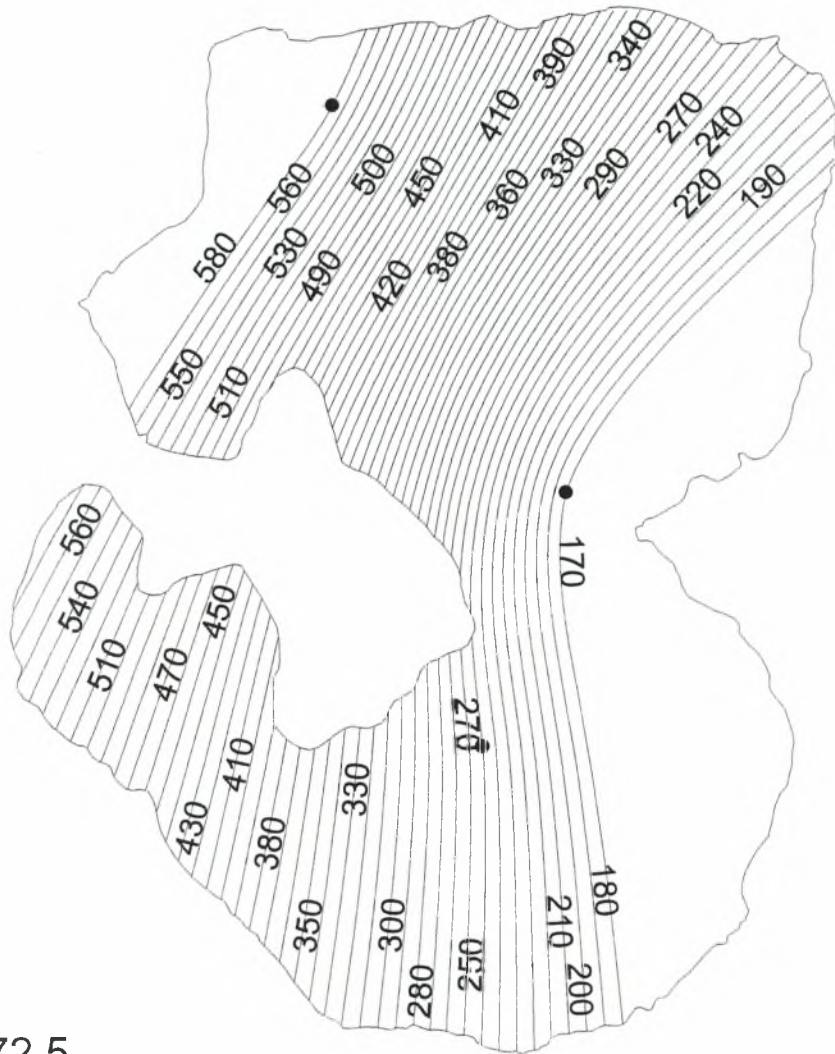
Clip1.shp

-  10 - 15
-  16 - 21
-  22 - 27
-  28 - 30





• Nh4\_7-03\_2m.dbf

 Limni.shp

Χάρτης 16 Κατανομή NH4 τον 7-2003, 1:50.000



Clip1.shp

-  170 - 272.5
-  272.6 - 375.1
-  375.2 - 477.7
-  477.8 - 580

 Limni.shp

 Nh4\_30-7-04\_2m.dbf

Χάρτης 17 Κατανομή NH4 στις 30-7-2004, 1:50.000

Τον Ιούλιο του 2003 η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από 10 έως 30  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο κεντρικό τμήμα της λίμνης, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο ΒΔ καθώς και στο νότιο τμήμα της.

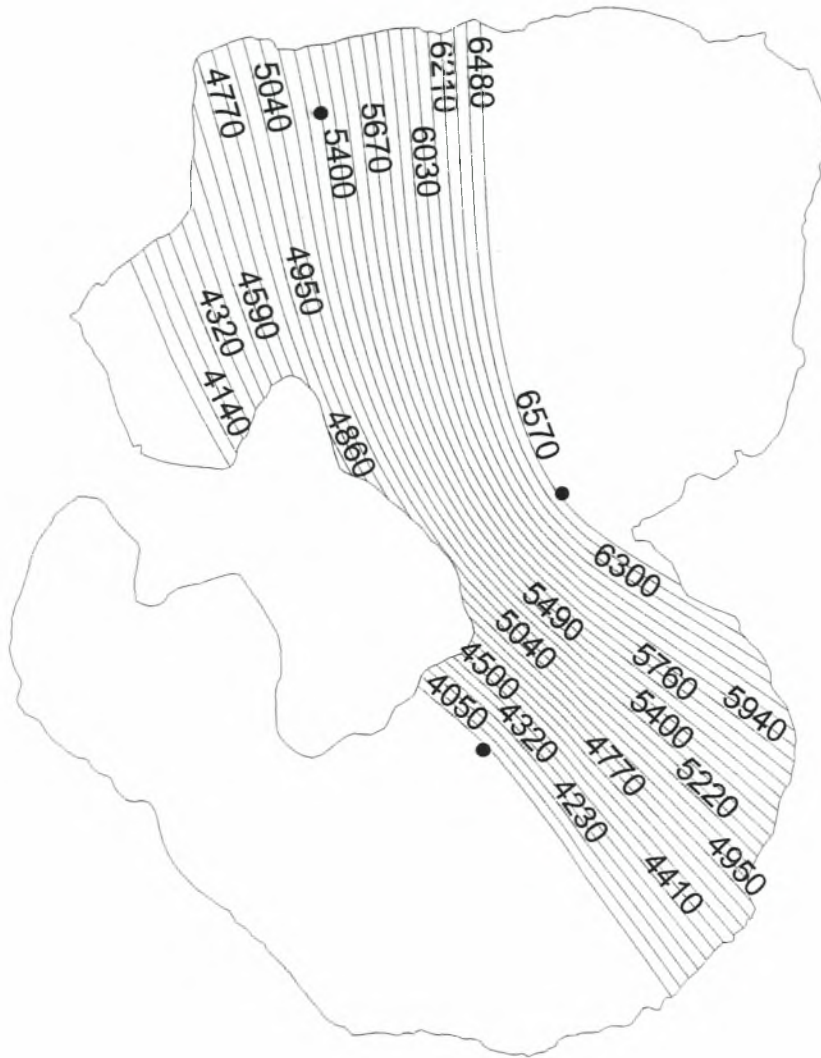
Στις 30-7-2004 η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κυμάνθηκε από 170 έως 580  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λίμνης, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο δυτικό τμήμα της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στις 30-7-2004 είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση του τον Ιούλιο του 2003. Ένας παράγοντας στον οποίο μπορεί να οφείλεται αυτή η αύξηση είναι ότι στις 30 Ιουλίου του 2004 παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του DO σε οριακά επίπεδα (από 2.42 έως 3.52  $\text{mg}/\text{lt}$ , που είναι κάτω από τα όρια διαβίωσης των ψαριών), όπως σημειώθηκε προηγουμένως, σε σχέση με το Ιούλιο του 2003, γεγονός που ευνόησε τη διεργασία της αμμωνιοποίησης και την παραγωγή αμμωνίας. Στην αύξηση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου μπορεί να συνέβαλλε και μία ενδεχόμενη διαρροή αποβλήτων από μονάδες επεξεργασίας γουνοφόρων δερμάτων, οι οποίες βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της λίμνης.

Η μέση μέγιστη συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου για το έτος 2002-2003 σημειώνεται τον Οκτώβριο του 2002, ενώ για το έτος 2004 σημειώνεται τον Ιούλιο. Τον Οκτώβριο του 2002 παρατήθηκε και η μέση μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Το ίδιο συνέβη και το έτος 2004, όπου τον Ιούλιο παρατηρήθηκε η μέση μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, συντελώντας έτσι στην αύξηση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου.

## **8.4 NO<sub>3</sub> (Νιτρικά Άλατα)**

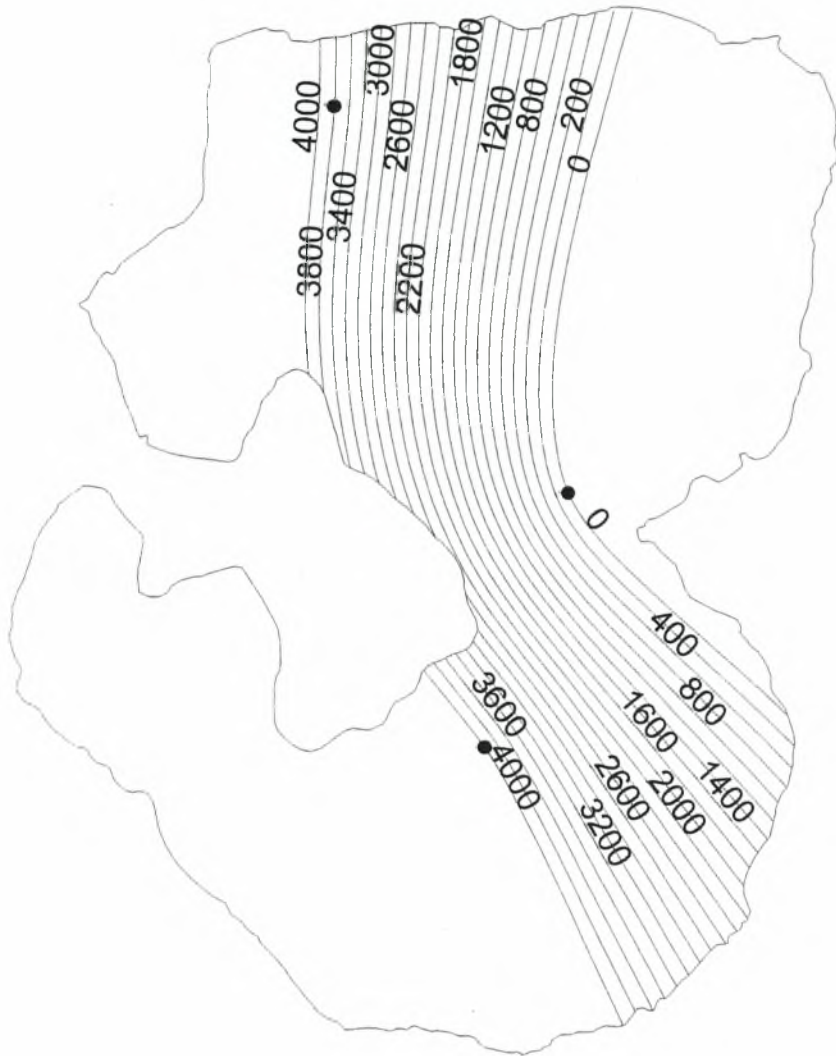
### **8.4.1 Οκτώβριος**







- Clip1.shp
- 4000 - 4650
  - 4651 - 5301
  - 5302 - 5952
  - 5953 - 6600
  - No3\_31-10-02\_2m.dbf
  - Limni.shp

Χάρτης 18 Κατανομή NO3 στις 31-10-2002, 1:50.000





Clip1.shp

-  0 - 1000
-  1001 - 2001
-  2002 - 3002
-  3003 - 4000

 Limni.shp

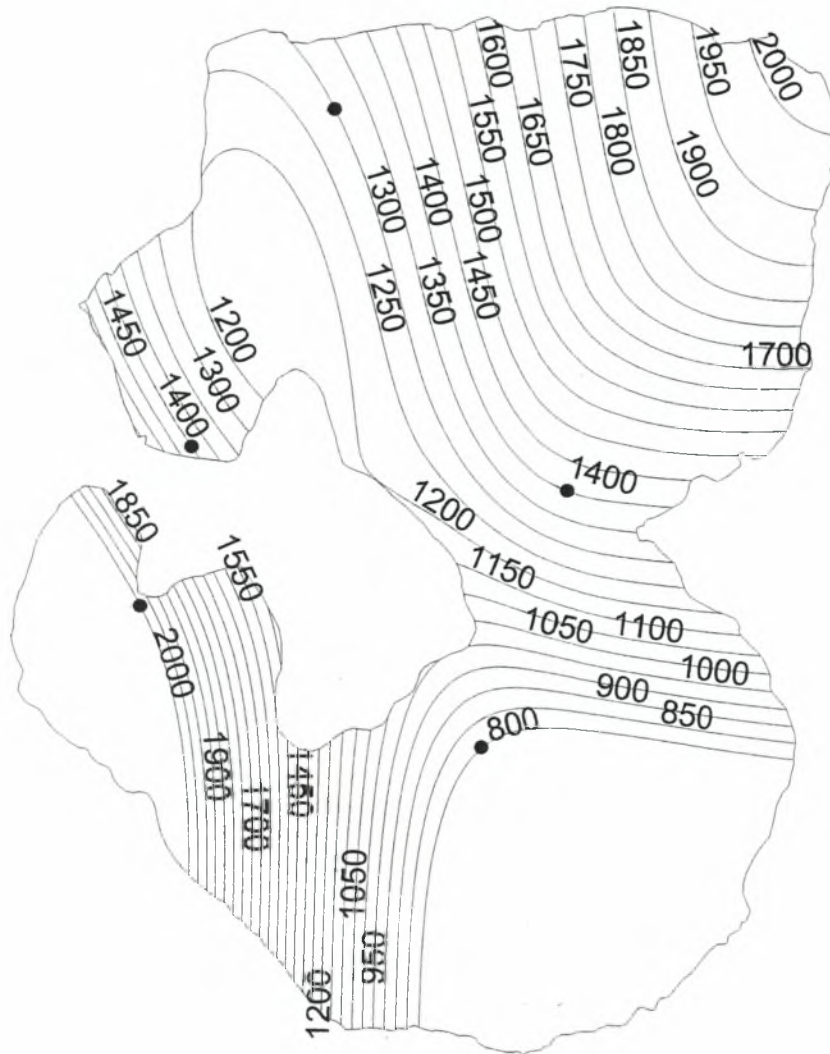
- No3\_26-10-04\_2m.dbf

Χάρτης 19 Κατανομή NO<sub>3</sub> στις 26-10-2004, 1:50.000

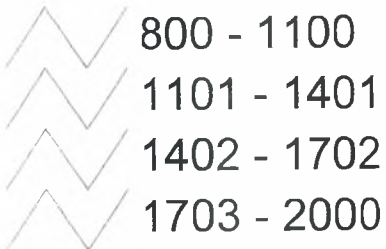
Στις **31-10-2002** η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **4000** έως **6600**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ οι **μεγαλύτερες τιμές** παρατηρήθηκαν **κεντρικά** και **βόρεια** της λίμνης, τμήματα τα οποία βρίσκονται γύρω από αγροτικές καλλιέργειες. Οι αποπλύσεις των γεωργικών καλλιεργειών συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων στα τμήματα της λίμνης στα οποία καταλήγουν.

Στις **26-10-2004** η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **0** έως **4000**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό** και **βόρειο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο** και **νότιο τμήμα** της. Τα τμήματα αυτά βρίσκονται επίσης κοντά σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων **στις 26-10-2004** είναι μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε **στις 31-10-2002**. Σ' αυτό συντελεί το γεγονός ότι στις 26-10-2004 παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε σχέση με τη συγκέντρωσή του στις 31-10-2002, η παρουσία του οποίου συμβάλλει στη μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων.

## 8.4.2 Φεβρουάριος – Μάιος



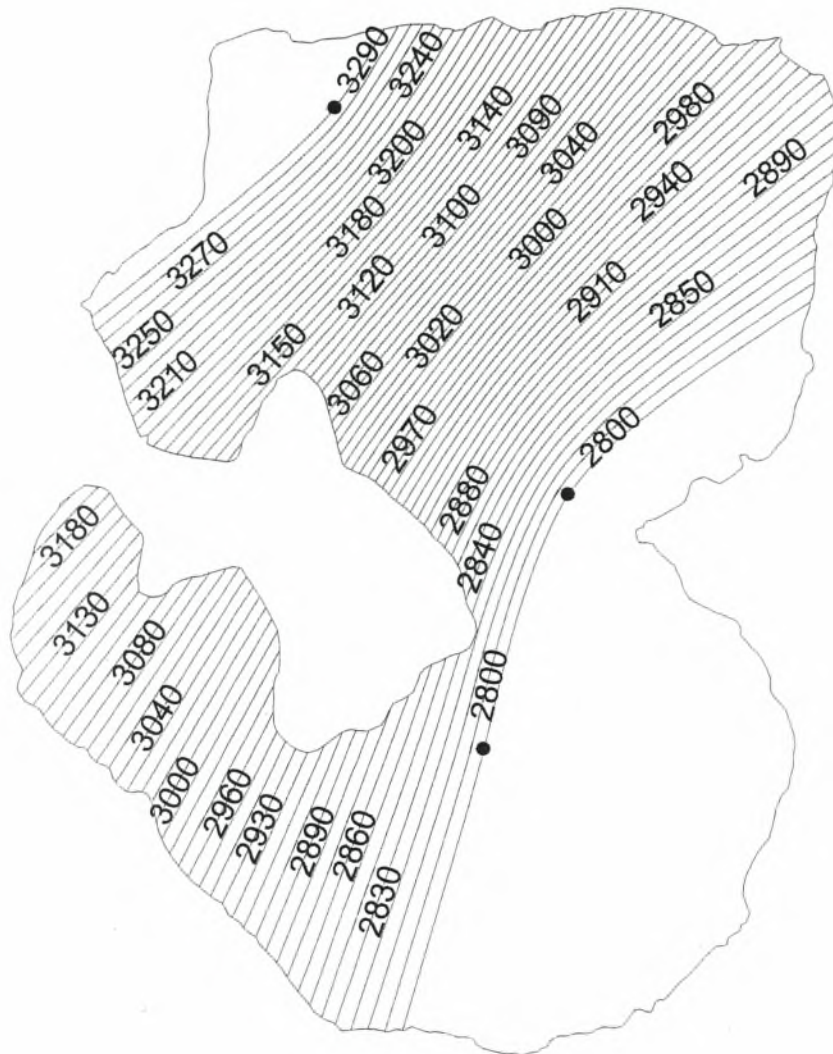
Clip1.shp




• No3\_1-2-03\_2m.dbf

□ Limni.shp

Χάρτης 20 Κατανομή NO<sub>3</sub> την 1-2-2003, 1:50.000



Clip1.shp

 2800 - 2925

 2926 - 3051

 3052 - 3177

 3178 - 3300

 Limni.shp

• No3\_5-04\_2m.dbf

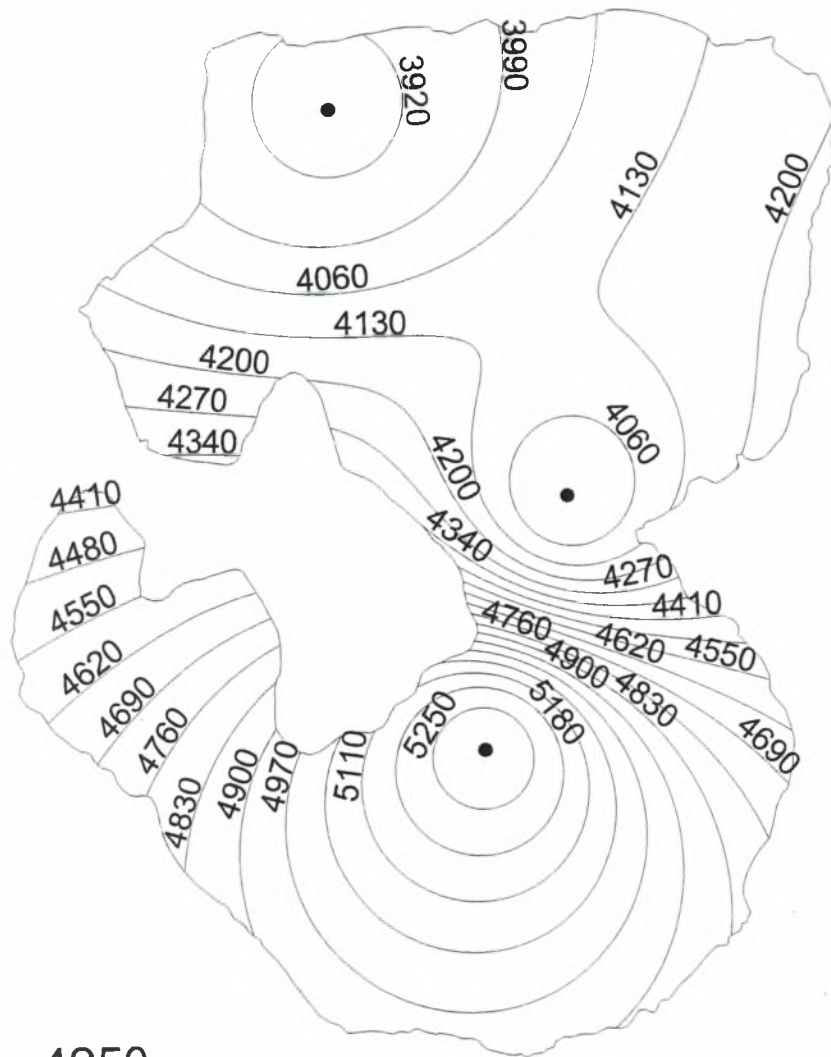
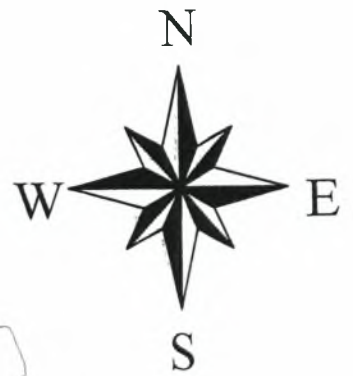
Χάρτης 21 Κατανομή NO<sub>3</sub> τον 5-2004, 1:50.000

Την 1-2-2003 η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **800** έως **2000**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΑ και ΝΔ τμήμα** της. Περιμετρικά του ΒΑ τμήματος της λίμνης βρίσκονται αρκετές αγροτικές καλλιέργειες, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της συγκέντρωσης νιτρικών αλάτων στον περιβάλλοντα χώρο τους.


Τον **Μάιο του 2004** η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **2800** έως **3300**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό και νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο τμήμα** της, γύρω απ' όπου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



### 8.4.3 Ιούλιος



Clip1.shp

 3900 - 4250

 4251 - 4601

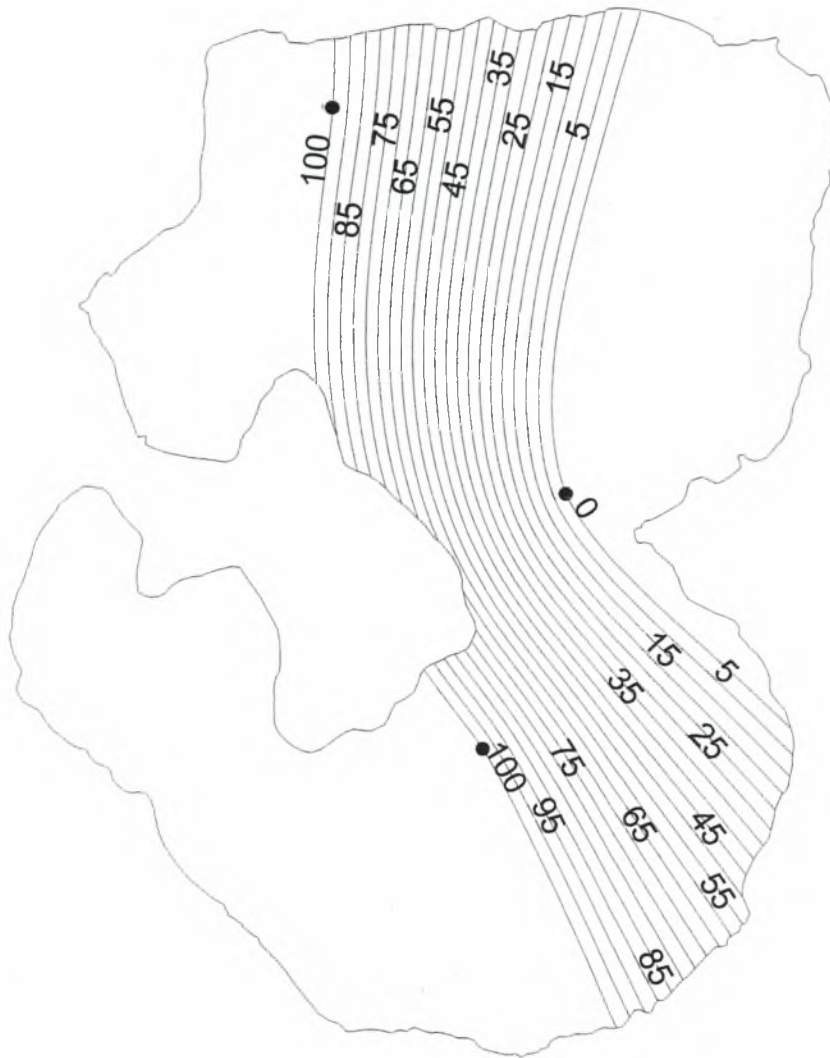
 4602 - 4952

 4953 - 5300






 No3\_7-03\_2m.dbf

 Limni.shp

Χάρτης 22 Κατανομή NO<sub>3</sub> τον 7-2003, 1:50.000



Clip1.shp

-  0 - 25
-  26 - 51
-  52 - 77
-  78 - 100
-  Limni.shp

- No3\_30-7-04\_2m.dbf

Χάρτης 23 Κατανομή NO3 στις 30-7-2004, 1:50.000

**Τον Ιούλιο του 2003** η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **3900** έως **5300**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **νότιο τμήμα** της.

Η πιο αξιοσημείωτη μέτρηση λήφθηκε **στις 30-7-2004**, όπου η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων κυμάνθηκε από **0** έως **100**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό και βόρειο τμήμα** της, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **βόρειο και νότιο τμήμα** της.

Οι τιμές αυτές οι μικρότερες που παρουσιάστηκαν ήταν αναμενόμενες και συνδυάζονται με τα εξής γεγονότα :

1. Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου είναι στα χαμηλότερα επίπεδα την ημέρα αυτή (2.42-3.52  $\text{mg}/\text{lt}$ ) και
2. Οι τιμές των αμμωνιακών στα αντίστοιχα υψηλότερα (170-580  $\mu\text{g}/\text{lt}$ ).

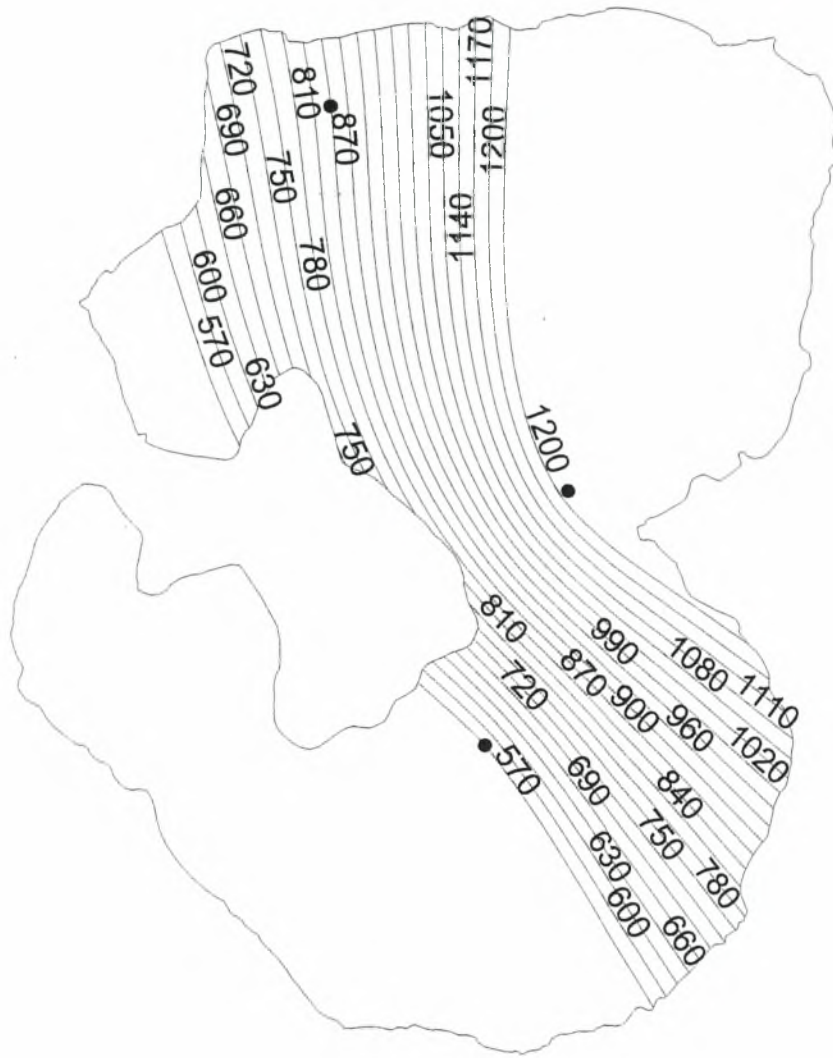
Αυτός ο συνδυασμός χαμηλών τιμών  $\text{O}_2$ , υψηλών τιμών  $\text{NH}_3$  και χαμηλών τιμών  $\text{NO}_3$ , φανερώνει μία αναστολή των διαδικασιών νιτροποίησης η οποία οφείλεται σε πολύ χαμηλές τιμές  $\text{O}_2$  και ταυτόχρονα μία επιτάχυνση των διαδικασιών παραγωγής αμμωνίας.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως **στις 30-7-2004** η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων ήταν πολύ μικρότερη από αυτή **του Ιουλίου του 2003**.





Η μέση μέγιστη συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων για το έτος 2002-2003 παρατηρήθηκε τον Οκτώβριο του 2002, μετά δηλαδή από την ανοιξιάτικη εφαρμογή τους, ενώ για το έτος 2004 παρατηρήθηκε το Μάιο. Όσον αφορά το έτος 2002-2003, τον Οκτώβριο του 2002 παρατηρήθηκε και η μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, που συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων.

## **8.5 PO<sub>4</sub> (Ορθοφωσφορικά Άλατα)**

### **8.5.1 Οκτώβριος**



Clip1.shp

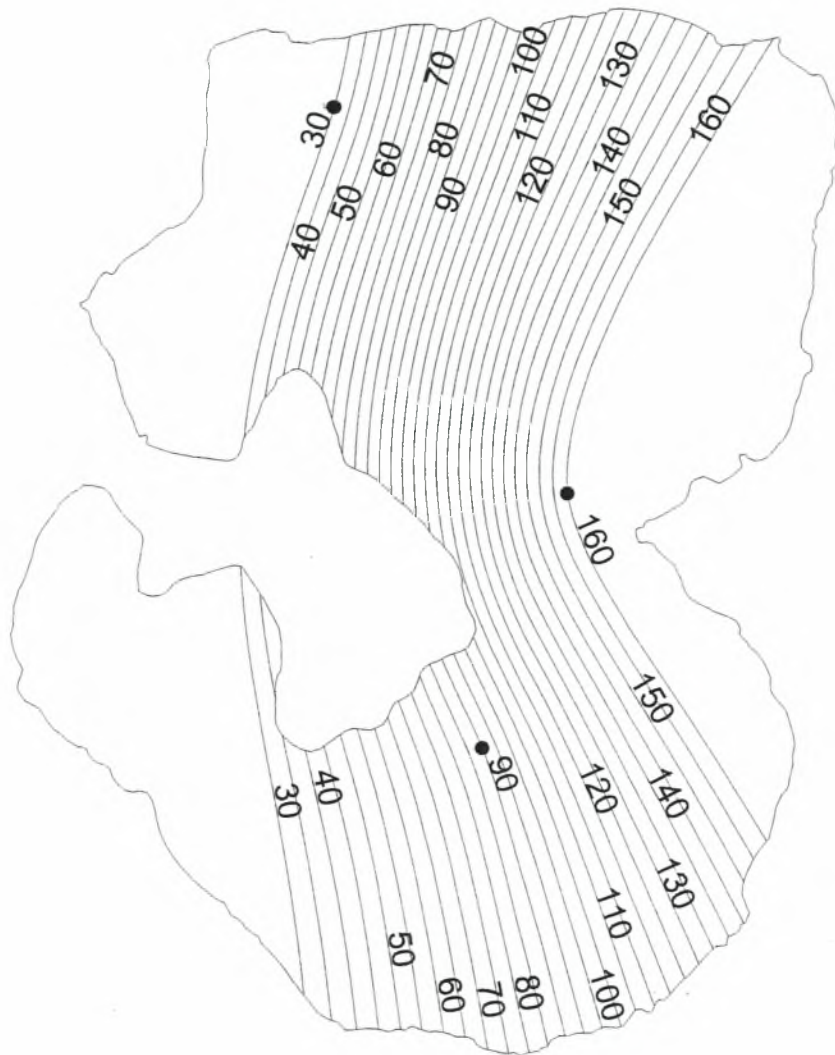
-  570 - 732.5
-  732.6 - 895.1
-  895.2 - 1057.7
-  1057.8 - 1220

 Limni.shp





- Po4\_\_31-10-02\_\_2m.dbf

Χάρτης 24 Κατανομή PO4 στις 31-10-2002, 1:50.000





Clip1.shp

-  30 - 62.5
-  62.6 - 95.1
-  95.2 - 127.7
-  127.8 - 160

 Limni.shp

- Po4\_26-10-04\_2m.dbf

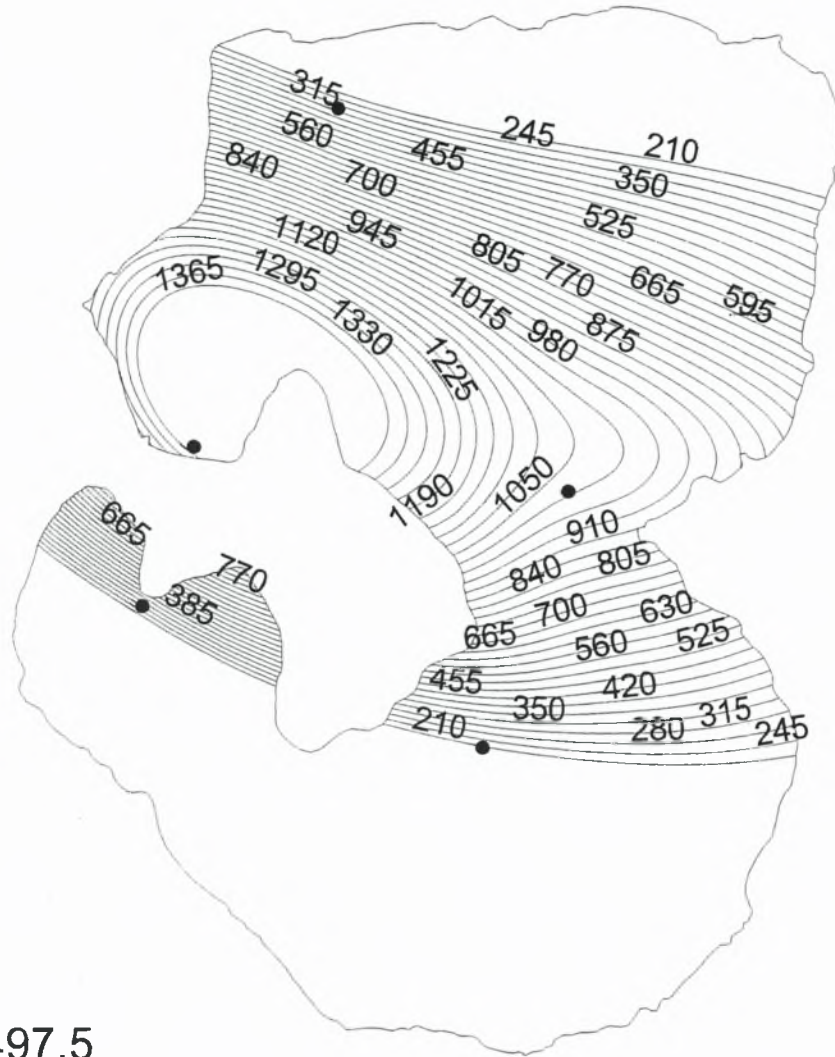
Χάρτης 25 Κατανομή PO4 στις 26-10-2004, 1:50.000

Στις **31-10-2002** η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων κυμάνθηκε από **570** έως **1220 μg/l**. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ** και **νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό** και **βόρειο τμήμα** της.





Στις **26-10-2004** η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων κυμάνθηκε από **30** έως **160 μg/l**. Η **μικρότερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **ΒΔ** και **ΝΔ τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη συγκέντρωση** παρατηρήθηκε στο **κεντρικό, ΒΑ** και **ΝΑ τμήμα** της.

Η σύγκριση των δύο αυτών χαρτών οδηγεί στο συμπέρασμα πως **στις 26-10-2004** η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων ήταν πολύ μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε **στις 31-10-2004**, γεγονός που οφείλεται στη λειτουργία της μονάδας βιολογικού καθαρισμού, η οποία στο πέρασμα του χρόνου συμβάλλει καταλυτικά στην αποφόρτιση της λίμνης από τα αστικά απόβλητα που δεχόταν αρκετές δεκαετίες πριν από τη έναρξη της λειτουργίας της το 1991.

## 8.5.2 Φεβρουάριος – Μάιος



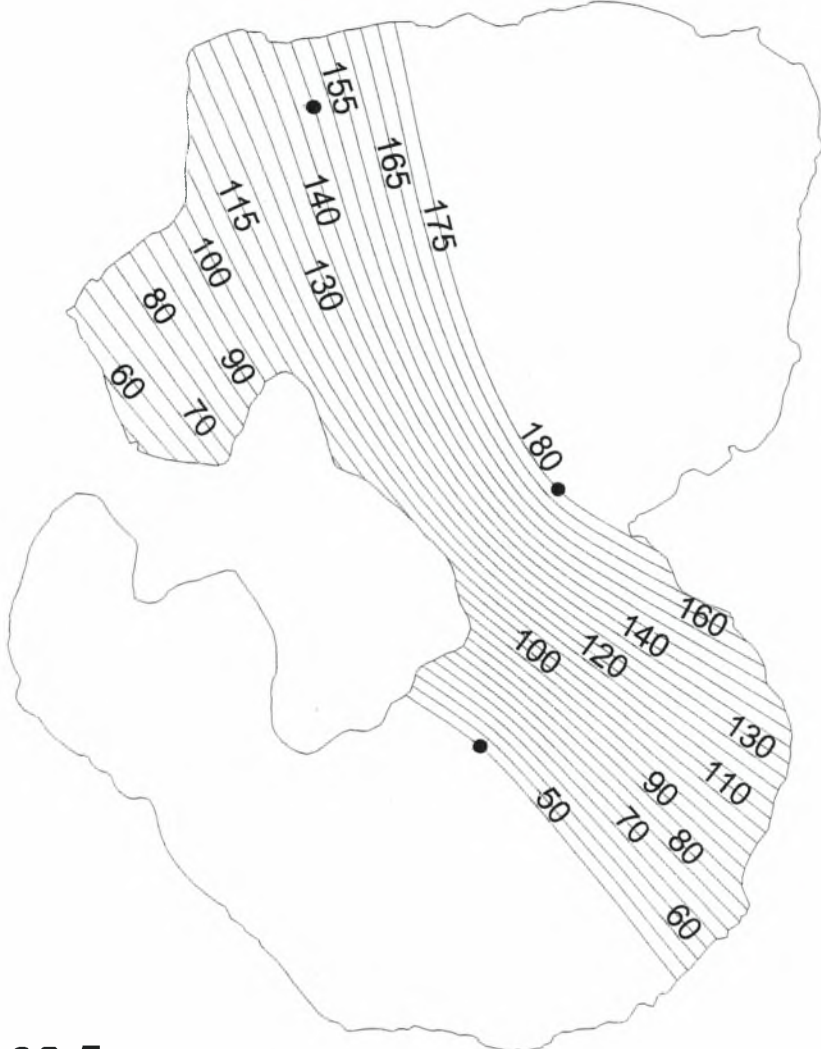
Clip1.shp







-  200 - 497.5
-  497.6 - 795.1
-  795.2 - 1092.7
-  1092.8 - 1390

• Po4\_1-2-03\_2m.dbf

 Limni.shp

Χάρτης 26 Κατανομή PO4 την 1-2-2003, 1:50.000



- Clip1.shp
-  50 - 82.5
  -  82.6 - 115.1
  -  115.2 - 147.7
  -  147.8 - 180
  -  Po4\_5-04\_2m.dbf
  -  Limni.shp

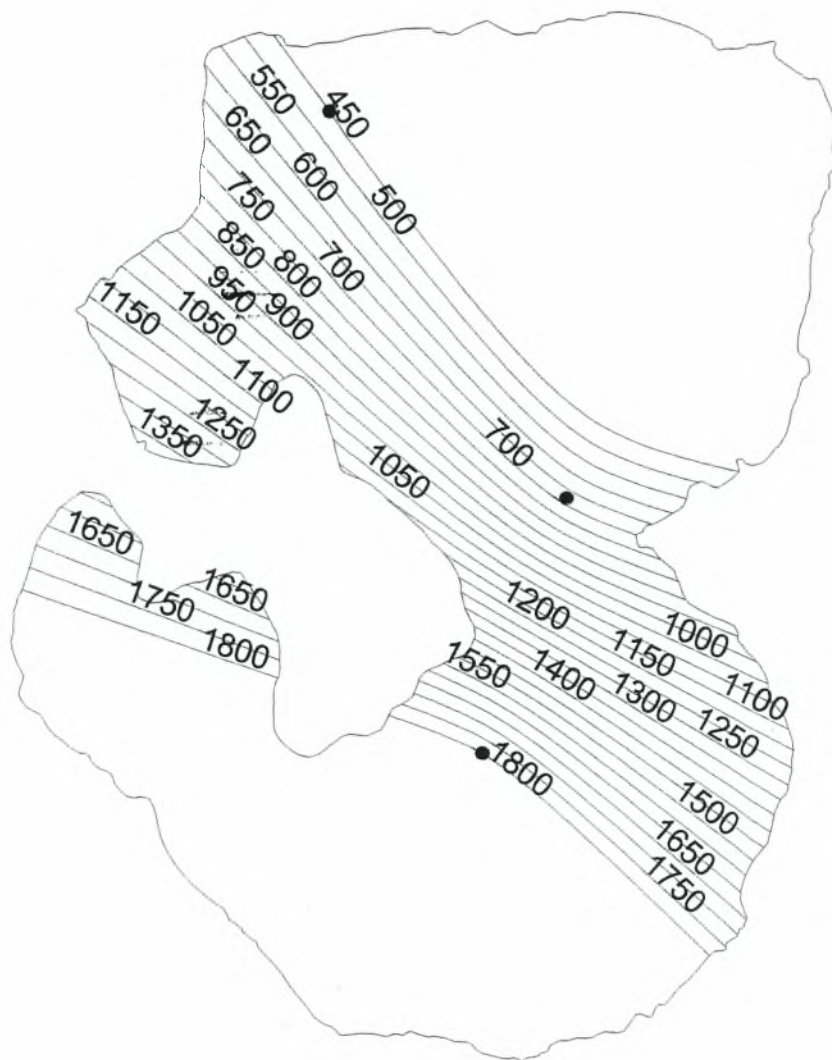
Χάρτης 27 Κατανομή PO4 τον 5-2004, 1:50.000

Την 1-2-2003 η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων κυμάνθηκε από **200** έως **1390**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη** συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο **βόρειο και νότιο τμήμα** της, ενώ η **μεγαλύτερη** συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο **ΒΔ τμήμα** της.





Τον **Μάιο του 2004** η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων κυμάνθηκε από **50** έως **180**  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η **μικρότερη** συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο **νότιο τμήμα** της λίμνης, ενώ η **μεγαλύτερη** συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο **κεντρικό και βόρειο τμήμα** της.



### 8.5.3 Ιούλιος



Clip1.shp

-  450 - 787.5
-  787.6 - 1125.1
-  1125.2 - 1462.7
-  1462.8 - 1800



Limni.shp

- Po4\_7-03\_2m.dbf

Χάρτης 28 Κατανομή PO4 τον 7-2003, 1:50.000

Τον Ιούλιο του 2003 η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων κυμάνθηκε από 450 έως 1800  $\mu\text{g}/\text{lt}$ . Η μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο βόρειο τμήμα της λίμνης, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στο ΝΔ και νότιο τμήμα της. Η μέγιστη συγκέντρωση ορθοφωσφορικών αλάτων για το έτος 2002-2003 σημειώνεται τον Ιούλιο 2003, ενώ για το έτος 2004 σημειώνεται το Μάιο. Όσον αφορά το έτος 2004 τον Ιούλιο σημειώνεται όπως είναι επόμενο και η υψηλότερη θερμοκρασία του έτους, γεγονός που συντελεί στην μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου και κατ' επέκταση στην αύξηση της συγκέντρωσης των ορθοφωσφορικών αλάτων.

Η μέση θερμοκρασία που παρατηρήθηκε για το έτος 2002-2003 και τους μήνες που εξετάζονται ήταν 14.83 °C, ενώ για το έτος 2004 ήταν 20.35 °C.

Η μέση συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου που παρατηρήθηκε για το έτος 2002-2003 και τους μήνες που εξετάζονται ήταν 8.81 mg/lit, ενώ για το έτος 2004 ήταν 5.57 mg/lit.

Η μέση συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου που παρατηρήθηκε για το έτος 2002-2003 και τους μήνες που εξετάζονται ήταν 64.2 μg/lit, ενώ για το έτος 2004 ήταν 146.6 μg/lit.

Η μέση συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων που παρατηρήθηκε για το έτος 2002-2003 και τους μήνες που εξετάζονται ήταν 3704 μg/lit, ενώ για το έτος 2004 ήταν 1888 μg/lit.

Η μέση συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων που παρατηρήθηκε για το έτος 2002-2003 και τους μήνες που εξετάζονται ήταν 833.73 μg/lit, ενώ για το έτος 2004 ήταν 109.5 μg/lit.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τις μέσες συγκεντρώσεις των μηνών των ετών που εξετάζονται προέκυψαν τα παρακάτω:

- Η μέση θερμοκρασία του έτους 2004 ήταν υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία του έτους 2002-2003
- Η μέση συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου για το έτος 2004 ήταν μικρότερη από τη συγκέντρωσή του το έτος 2002-2003
- Η μέση συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου για το έτος 2004 ήταν μεγαλύτερη από τη μέση συγκέντρωσή του το έτος 2002-2003
- Η μέση συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων για το έτος 2004 ήταν μικρότερη από τη συγκέντρωσή τους το έτος 2002-2003 και τέλος,
- Η μέση συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών αλάτων για το έτος 2004 ήταν μικρότερη από τη μέση συγκέντρωσή τους το έτος 2002-2003.

Η εξέταση των παράπανω φυσικοχημικών παραμέτρων και των συγκεντρώσεων τους οδήγησε σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα για τη λίμνη, τα οποία παρουσιάζονται στα συνέχεια:

1. Με βάση τις μέσες τιμές των ορθοφωσφορικών αλάτων και τα προτεινόμενα από τον ΟΟΣΑ όρια των παραμέτρων αυτών για την κατάταξη των λιμνών που παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα, φαίνεται ότι η λίμνη της Καστοριάς είναι υπερευτροφική. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις συγκέντρωσης ορθοφωσφορικών αλάτων για τα οποία ισχύει η σχέση :  $1 \text{ mg/l P/L} = 3.066 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$ .

ΠΙΝΑΚΑΣ - Προτεινόμενες τροφικές κατηγορίες λιμνών από τον ΟΟΣΑ με βάση τις μέσες τιμές Φωσφόρου

Κατηγορία	Μέση τιμή P (μg/l)
Υπερολιγοτροφική	<4
Ολιγοτροφική	<10
Μεσοτροφική	10-35
Ευτροφική	35-100
Υπερευτροφική	>100

Όσον αφορά το μήνα Μάιο του 2004 η λίμνη παρουσιάζεται υπερευτροφική, ενώ σύμφωνα με την μέτρηση των ορθοφωσφορικών αλάτων στις 26-10-2004 η λίμνη παρουσιάζεται ευτροφική. Για το έτος 2002-2003 η λίμνη παρουσιαζόταν υπερευτροφική.

2. Οι συγκεντρώσεις όλων των παραμέτρων παρουσιάζουν εποχιακές και τοπικές διακυμάνσεις.
3. Κύρια πηγή των νιτρικών αλάτων φαίνεται να είναι τα ρέματα και οι αποπλύσεις των γεωργικών εκτάσεων που υπάρχουν γύρω από αυτές. Τα

φυτοφάρμακα είναι φανερό ότι είναι παρόντα σε σημαντική έκταση στη λίμνη της Καστοριάς.

Αξίζει σ' αυτό το σημείο να αναφερθούν κάποια πολύ σημαντικά συμπεράσματα στα οποία οδηγήθηκε η μελέτη της Μουρκίδου-Παπαδοπούλου το 2002, χρονιά που μελετάται και στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, στα πλαίσια του προγράμματος με τίτλο Έλεγχος Ποιότητας Επιφανειακών Υδάτων στη Μακεδονία-Θράκη :

- Η ποιότητα του νερού της λίμνης αυτής ήταν καλή σε σύγκριση με την κατάστασή της κατά την προηγούμενη δεκαετία ( σε σχέση με τη χρονιά που πραγματοποιήθηκε η μελέτη), με εξαίρεση την μικρή ακόμη διαπερατότητα του φωτός (Δίσκος Secchi 0.5 εκατ.) και τις υψηλές συγκεντρώσεις σε αρσενικό, μαγγάνιο, μόλυβδο, σίδηρο και ψευδάργυρο. Επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων και νατρίου καθιστούσαν οριακή την χρήση του νερού για άρδευση.
  - Τα νερά της λίμνης της Καστοριάς δεν είχαν υψηλό οργανικό φορτίο ρύπων. Το ζιζανιοκτόνο alachlor ανιχνεύθηκε σε χαμηλές ποσότητες σε δύο δείγματα νερού. Τα γεωργικά φάρμακα που ανιχνεύθηκαν στα νερά της λίμνης παρουσίασαν εποχική διακύμανση με τις υψηλότερες να ανιχνεύονται την περίοδο Μαΐου-Ιουνίου, δηλαδή αμέσως μετά την ανοιξιάτικη εφαρμογή τους στις καλλιέργειες. Έτσι, το οργανικό φορτίο ρύπων της λίμνης επηρεαζόταν ποσοτικά και ποιοτικά από την ποικιλία και τις ποσότητες των γεωργικών φαρμάκων που χρησιμοποιούνται στις παρακείμενες αγροτικές περιοχές.
4. Όσον αφορά το φώσφορο, εκτιμάται ότι προέρχεται από τον πυθμένα της λίμνης, ειδικά κατά τις περιόδους που επικρατούν ανοξικές συνθήκες που ευνοούν την αποδέσμευσή του από τα ιζήματα, δεδομένου, ότι δεν φαίνεται να υπάρχουν άλλες σημαντικές πηγές φωσφόρου στην περιοχή. Ειδικότερα, η πλειοψηφία των οικιών της περιοχής έχει συνδεθεί με το κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο και έτσι τα λύματα που θεωρούνται η κύρια πηγή φωσφόρου στα νερά της λίμνης δεν καταλήγουν πλέον σ' αυτήν, αλλά στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού των αστικών αποβλήτων. Υπάρχει όμως και το ενδεχόμενο διαρροής αποβλήτων από την μονάδα, καθώς και της ρύπανσης



της λίμνης από λύματα περιοχών που δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο που οδηγείται στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Η ποιότητα των νερών της λίμνης επιβαρύνεται αφενός από τις ήδη συσσωρευμένες ποσότητες φωσφόρου, αλλά και από τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται σε όλη τη λεκάνη απορροής (καλλιέργειες, βοσκότοποι, κτλ.).

5. Η ανάπτυξη συνεπάγεται προσέλευση ικανού αριθμού επισκεπτών, άνοδο του βιοτικού επιπέδου, λειτουργία νέων παραγωγικών δραστηριοτήτων, καθώς και μεσοπρόθεσμη αύξηση του μόνιμου πληθυσμού στη λεκάνη απορροής της λίμνης. Καθένας από τους παραπάνω παράγοντες συμβάλλει στη δημιουργία αυξημένων φορτίων ρύπανσης τόσο από σημειακές όσο και από εμβαδικές πηγές.
6. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι θα πρέπει να συνεχιστούν οι δειγματοληψίες στη λίμνη της Καστοριάς, καθώς και ότι η συχνότερη δειγματοληψία και η αύξηση του αριθμού των σημείων των δειγματοληψιών θα συμβάλλει στην δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εικόνας της ρυπαντικής κατάστασης της λίμνης και κατ' επέκταση στη λήψη των κατάλληλων μέτρων που θα οδηγήσουν στην βελτίωση της κατάστασής της.

## **10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Η προσπάθεια που απαιτείται για να πετύχουμε ένα υγιές οικοσύστημα μπορεί να ποικίλλει από το να το παρακολουθούμε και μόνο περιμένοντας ίσως για πολλά χρόνια τις αποκρίσεις του οικοσυστήματος στα νέα μειωμένα φορτία θρεπτικών στοιχείων, έως και να εφαρμόσουμε την πιο καθαρή οικοκεντρική λύση για να επιταχύνουμε τις διεργασίες που θα φέρουν το οικοσύστημα σε μία νέα οικολογική ισορροπία με ωφέλιμες για το οικοσύστημα σαν σύνολο συνθήκες. Αυτό που θα πρέπει να τονισθεί είναι ότι αποσπασματικές μέθοδοι είναι πολύ συχνά μη αποτελεσματικές. Ακόμη λανθασμένες επεμβάσεις όπως αυτές που φαίνεται ότι έγιναν κατά το παρελθόν στη λίμνη (π.χ. χρήση φυτοφαρμάκων), προωθούν τον ευτροφισμό της λίμνης σε ιδιαίτερα ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Η λίμνη της Καστοριάς αποτελεί περιοχή Κοινοτικού ενδιαφέροντος του Πανευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000 (GR1320001-BioGreece'99). Σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ, θα πρέπει για την περιοχή αυτή να γίνει “ειδικό διαχειριστικό σχέδιο”(management plan), στο οποίο θα εξειδικεύονται συγκεκριμένες δράσεις και μέτρα διαχείρισης τα οποία θα στοχεύουν και θα πρέπει να διασφαλίζουν την καλή οικολογική κατάσταση διατήρησης των τύπων οικοτόπων (βλάστησης) και των ειδών χλωρίδας και πανίδας που απαντούν στην περιοχή και αποτέλεσαν τους βασικούς λόγους για την ένταξη της περιοχής στο Δίκτυο.

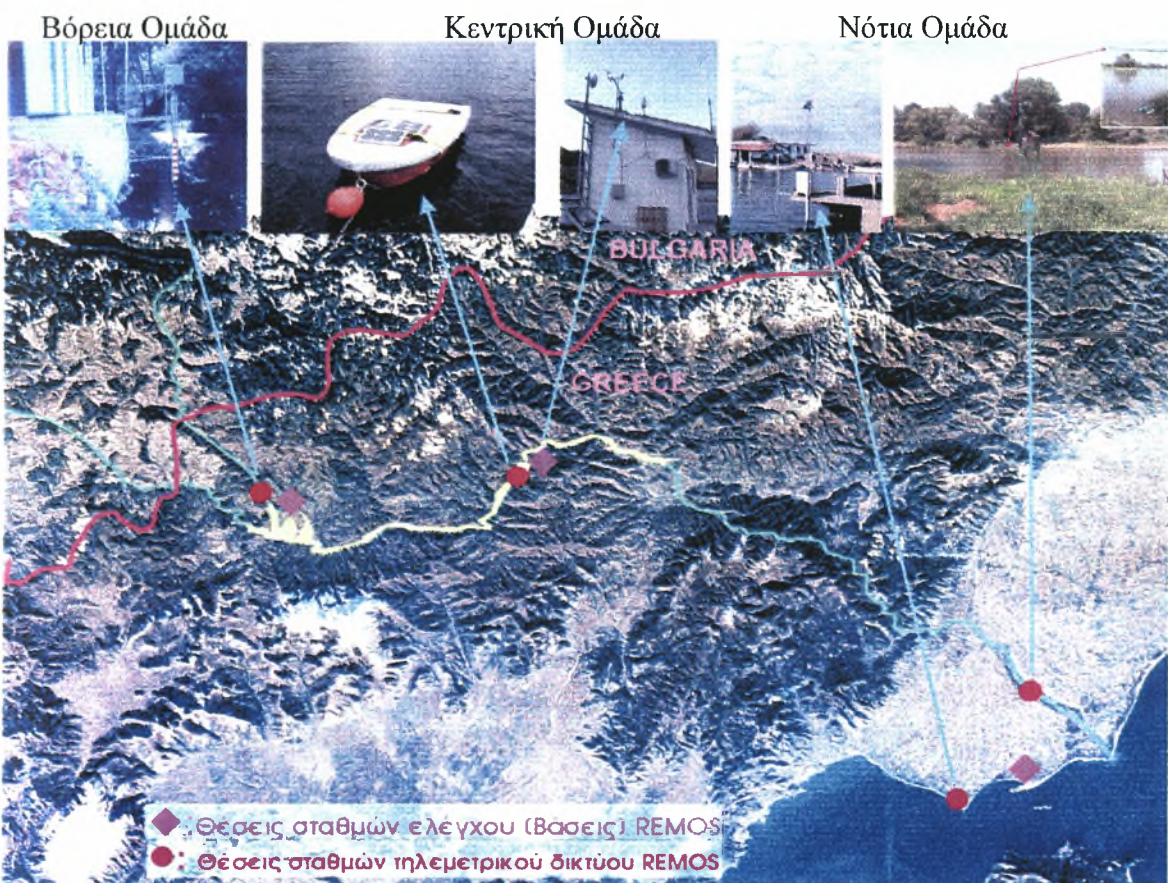
Σύμφωνα με το σχεδιασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ αναμένεται το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα να συσταθούν οι “φορείς διαχείρισης των προστατευόμενων περιοχών” οι οποίοι θα έχουν την κύρια ευθύνη για την εφαρμογή των διαχειριστικών μέτρων και την παρακολούθηση της λειτουργίας των οικοσυστημάτων και θα προτείνουν τυχόν διορθωτικές παρεμβάσεις με κύριο σκοπό την διατήρηση της βιοποικιλότητας. Η εφαρμογή των μέτρων διαχείρισης θα πρέπει να συνοδεύεται από την παρακολούθηση διαφόρων δεικτών περιβάλλοντος (Μουστάκα-Γούνη, 2000).

Η συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης της λίμνης αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τη σωστή εξυγίανση και τη γενικότερη διαχείρισή της. Η συνεχής και συχνή παρακολούθηση και καταμέτρηση των διαφόρων φυσικοχημικών παραμέτρων της και η επιλογή περισσότερων σημείων δειγματοληψίας θα βοηθήσει στην κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων του συγκεκριμένου συστήματος και παράλληλα θα επαληθεύσει τις προβλέψεις που περιλαμβάνονται στα εκάστοτε προτεινόμενα εξυγιαντικά μέτρα.

Έτσι και παράλληλα με την παρακολούθηση της λίμνης ο φορέας αυτός θα είναι σε θέση να ανιχνεύει έγκαιρα και να γνωμοδοτεί ταχύτατα για τοπικά και περιφερειακά προβλήματα των επιφανειακών νερών που μπορεί να ανακύπτουν ανά πάσα στιγμή (ποιότητα υδάτων άρδευσης σε κάποια συγκεκριμένη εποχή, επεισόδια ρύπανσης, μαζικοί θάνατοι ψαριών κλπ.) με σχετική ανεξαρτησία κινήσεων από κεντρικότερους φορείς που λόγω απόστασης δεν μπορούν να δράσουν με την ίδια ταχύτητα. Η συνεργασία, φυσικά, με άλλους ανάλογους φορείς είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση και θα εξυπηρετεί την επίλυση προβλημάτων σε ευρύτερη κλίμακα.

Αυτονόητες προϋποθέσεις είναι ασφαλώς α) η διαχείριση του υδρολογικού ισοζυγίου και β) ο έλεγχος των εισερχομένων θρεπτικών στη λίμνη από σημειακές και μη σημειακές πηγές, διαφορετικά η οποιαδήποτε εφαρμογή σεναρίου βιοδιαχείρισης είναι, πραγματικά, άνευ ουσίας.

Επίσης θα ήταν επιτακτική η παρακολούθηση (monitoring) της λίμνης σε συνεχές επίπεδο με τη βοήθεια αυτοματοποιημένων, τηλεμετρικών και ενεργειακά αυτόνομων συστημάτων με βάση τις επιταγές της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ (Directive 2000/60/EC). Η οδηγία αυτή επιβάλλει την ολοκληρωμένη εποπτική, επιχειρησιακή και διερευνητική παρακολούθηση και διαχείριση των επιφανειακών υδάτων στον τομέα της πολιτικής των υδάτων του Ευρωπαϊκού χώρου. Ανάλογες ενέργειες έχουν γίνει στον Ελλαδικό χώρο για το διασυνοριακό ποταμό Νέστο με την εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου αυτοματοποιημένων συστημάτων μέτρησης των ποιοτικών παραμέτρων του νερού του Νέστου σε τρία σημεία του, (Σχήμα 8.1) στο βόρειο, κεντρικό και νότιο τμήμα της ροής του σε τρεις αντίστοιχα ομάδες (Ψιλοβίκος κ.ά., 2002, 2003), ώστε να ελέγχονται οι συνθήκες της ποιότητας των υδάτων του και να εξακριβώνεται αν πληρείται η περιβαλλοντική Νομοθεσία.



Σχήμα 8.1 Οι σταθμοί του δικτύου R.E.M.O.S. (Remote Environmental Monitoring System) στον ποταμό Νέστο (Ψιλοβίκος κ.α., 2002, 2003)



Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εφαρμογή μέτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης του επιφανειακού και υπογείου υδροφόρου συστήματος της περιοχής μελέτης. Τέτοιο μέτρο αποτελεί η χρήση πλοτικών βιοκλινών για τον περιορισμό της ρύπανσης των υδροφόρων στρωμάτων από σημειακές πηγές. Οι βιοκλίνες αποτελούν πλέον δοκιμασμένη μέθοδο στη Βόρεια Ευρώπη (Torstensoon & Castillo 1997) για την αποτελεσματική μείωση των εισροών γεωργικών φαρμάκων στα υπόγεια και επιφανειακά νερά από σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι βιοκλίνες είναι κατασκευές που περιέχουν μίγμα εδάφους, άχυρου και άλλων φυτικών υπολειμμάτων (υψηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία) και στις οποίες πραγματοποιείται το πλύσιμο και γέμισμα των ψεκαστικών. Ο σκοπός των βιοκλινών είναι να συγκρατεί και να αποικοδομεί σταδιακά ακόμη και υψηλές συγκεντρώσεις γεωργικών φαρμάκων αποτρέποντας έτσι την μετακίνησή τους στα υπόγεια υδροφόρα (Μουρκίδου-Παπαδοπούλου 2002).

Ενδεικτικά βήματα αποτελεσματικής αποκατάστασης ενός οικοσυστήματος ρηχής ευτροφικής λίμνης θα μπορούσαν να είναι τα εξής:

1. Διάγνωση του προβλήματος
2. Επιλογή του στόχου της αποκατάστασης (η εμπειρία στην Ελλάδα δείχνει ότι ο στόχος της αποκατάστασης είναι πολλές φορές ασαφής και καλείται να υποστηρίξει πλήθος χρήσεων που απαιτούνται από τις λίμνες)
3. Αποκατάσταση, τυχόν διαταραγμένου ισοζυγίου
4. Μείωση των θρεπτικών στοιχείων (από εξωτερική και εσωτερική τροφοδοσία)
5. Βιοδιαχείριση
6. Επανα-εγκατάσταση υδρόβιας βλάστησης
7. Επανα-εγκατάσταση και ρύθμιση των ιχθυοπληθυσμών
8. Συνεχής παρακολούθηση της εξελικτικής πορείας

Είναι γεγονός ότι η διαδικασία αποκατάστασης οποιουδήποτε οικοσυστήματος είναι μία μακρά διαδικασία σε αντίθεση με την διαδικασία υποβάθμισης, της οποίας τα αποτελέσματα είναι εμφανή σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Εκείνο που είναι σημαντικό είναι αφ'ενός η επιλογή του στόχου και αφ'ετέρου η ενημέρωση και η συναίνεση των τοπικών κοινωνιών.

Η εμπειρία αλλά και οι βασικές αρχές διαχείρισης οικοσυστημάτων «υποδεικνύουν» ότι ένα σχέδιο διαχείρισης και αποκατάστασης δεν μπορεί να είναι επιτυχές εάν δεν

το αποδεχθεί, επί της ουσίας, ο τοπικός πληθυσμός και δεν το «ενσωματώσει» στην καθημερινή πρακτική (Κάγκαλου Ι., 2003)

Ιδιαίτερης σημασίας ειδικά για την περίπτωση της λίμνης της Καστοριάς αποτελούν οι ακόλουθες προτάσεις:

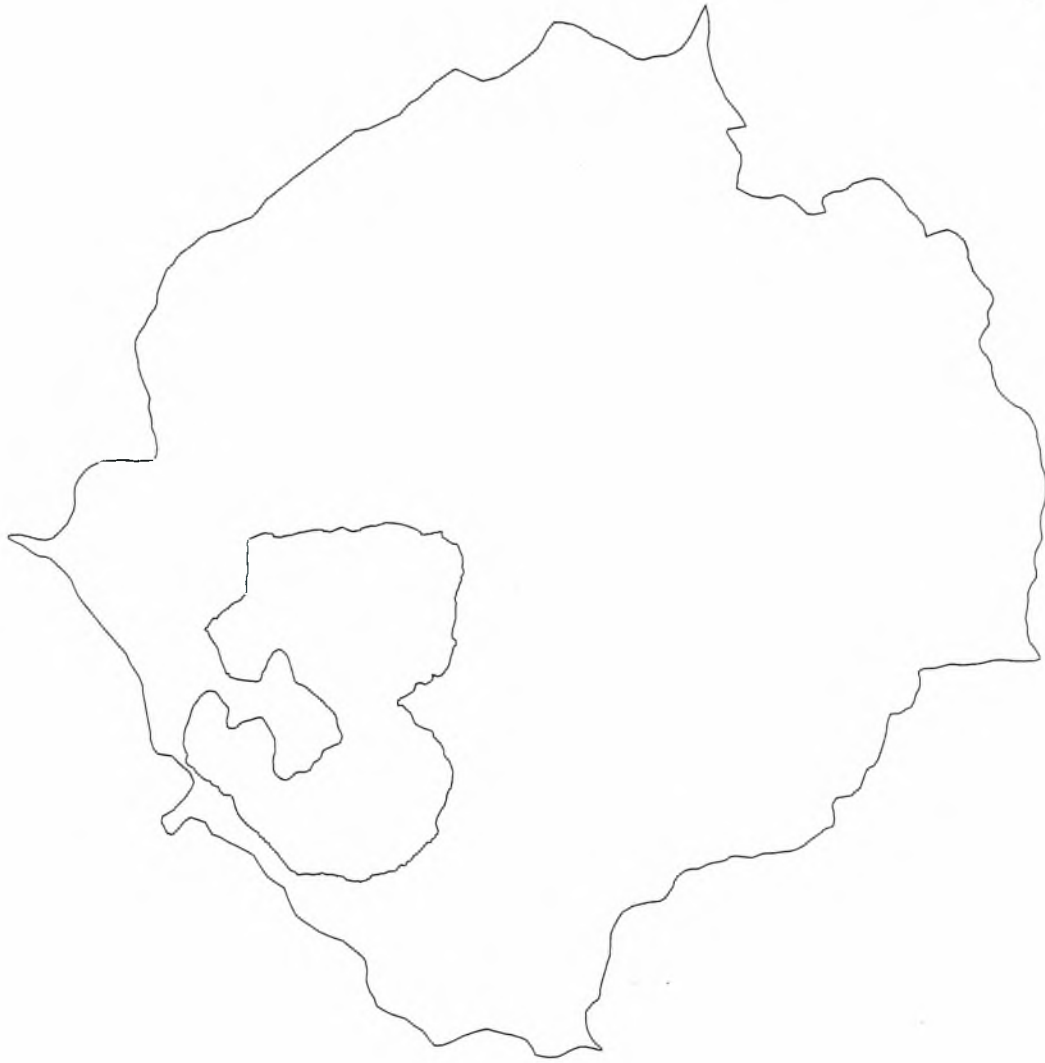
1. Η μείωση των νιτρικών αλάτων μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση φυτοφαρμάκων που αποικοδομούνται με γρηγορότερους και ευκολότερους ρυθμούς σε σχέση με άλλα φυτοφάρμακα που θεωρούνται πιο επιβλαβή για τα υδατικά συστήματα. Βεβαίως η ελαχιστοποίηση της χρήσης όλων των ειδών των φυτοφαρμάκων θα αποτελούσε την ιδανικότερη λύση για την περίπτωση της λίμνης.
2. Απαραίτητη επίσης κρίνεται και η δημιουργία ΧΥΤΑ στο Νομό Καστοριάς, γεγονός που θα αναχαιτίσει την φόρτιση της λίμνης με ρύπους που μετακινούνται μέσω του υπόγειου υδροφορέα.
3. Βασική θεωρείται και η ένταξη στο αποχετευτικό δίκτυο όλων των οικισμών που δεν συμπεριλαμβάνονται σ' αυτό, ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω φόρτιση της λίμνης με ορθοφωσφορικά άλατα μέσω πιθανόν διαρροών των αστικών λυμάτων στον υπόγειο υδροφορέα.

Η εφαρμογή όλων των παραπάνω μέτρων θα οδηγήσει σταδιακά στην αποκατάσταση της ισορροπίας της λίμνης και θα προσδώσει σ' αυτήν την κατάσταση που την χαρακτήριζε στο παρελθόν, προτού οι διάφοροι παράγοντες διαταράξουν το υδατικό της σύστημα. Η σύγκριση των διαφόρων φυσικοχημικών παραμέτρων των δύο ετών που εξετάζονται στη συγκεκριμένη εργασία αποδεικνύει πως η κατάσταση της λίμνης βελτιώθηκε λόγω των δραστικών μέτρων που έχει εφαρμόσει η τοπική αυτοδιοίκηση και τα οποία θα πρέπει να εντατικοποιηθούν και να συνεχίσουν να εφαρμόζονται με απώτερο σκοπό την αποκατάσταση της λίμνης της Καστοριάς, η οποία αποτελεί άλλωστε και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της πόλης και έχει επιβιώσει στο διηνεκές του χρόνου προσδίδοντας στην πόλη της Καστοριάς απaráμιλλο κάλλος.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**(ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ)**



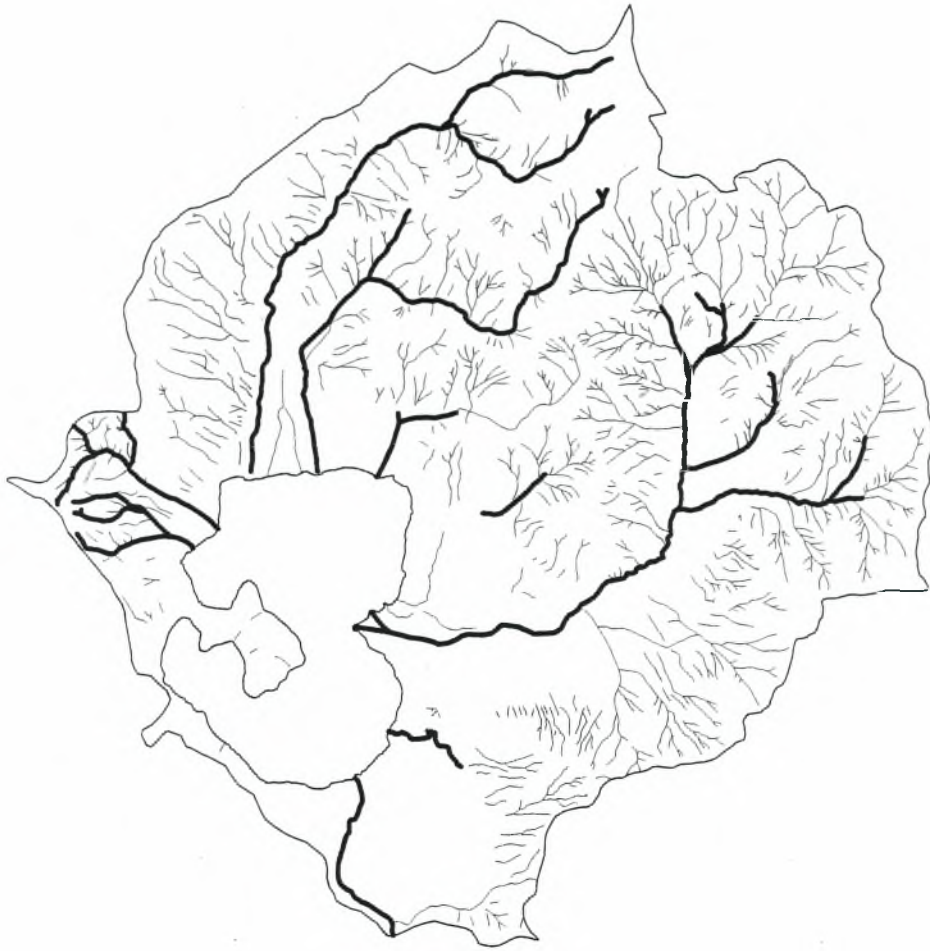


Lekani.shp

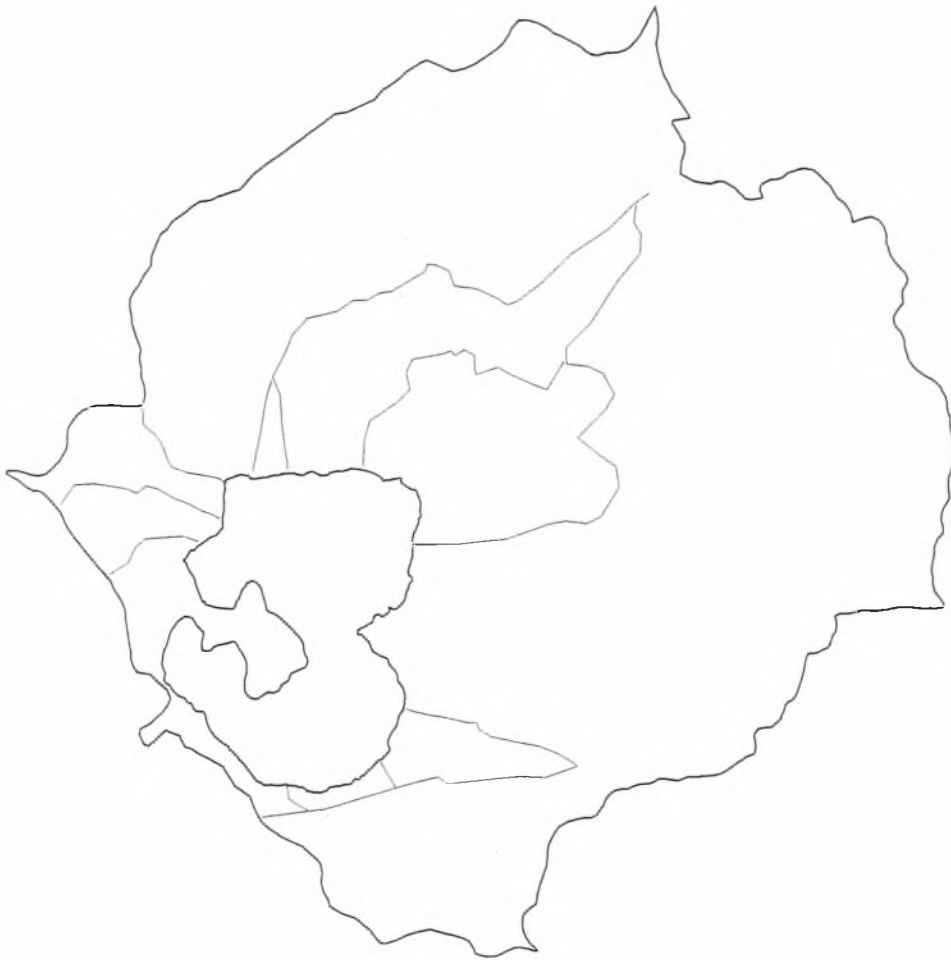


Limni.shp

Χάρτης 1 Λεκάνη απορροής - Λίμνη Καστοριάς, 1:50.000



Χάρτης 2 Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής, 1:50.000



Limni.shp

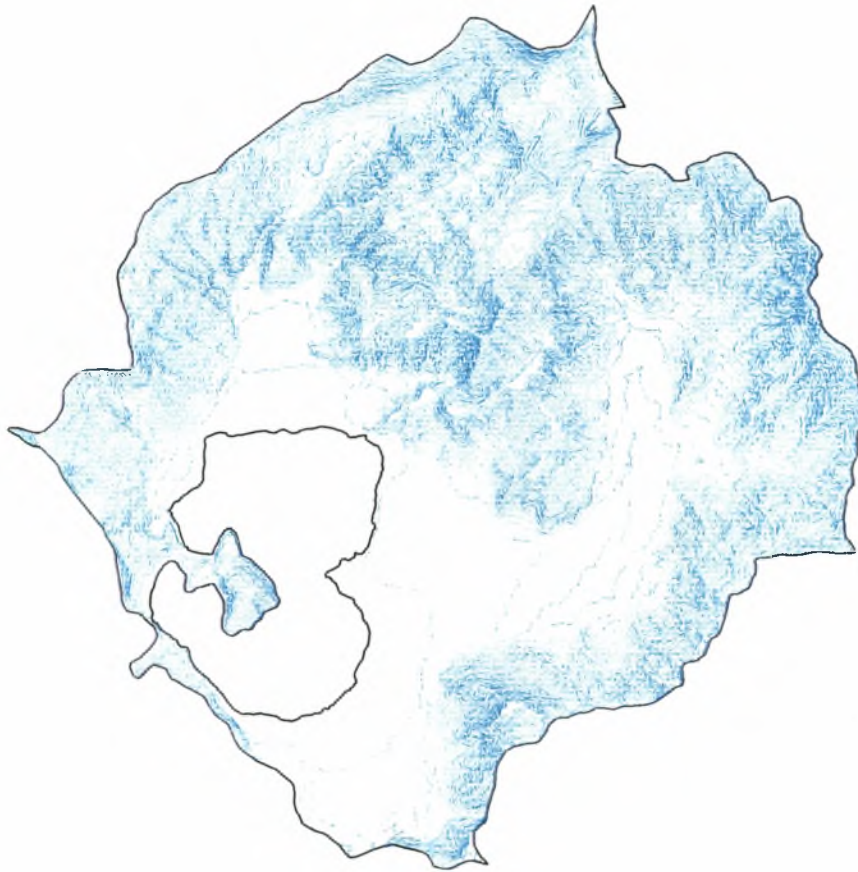


Lekani.shp



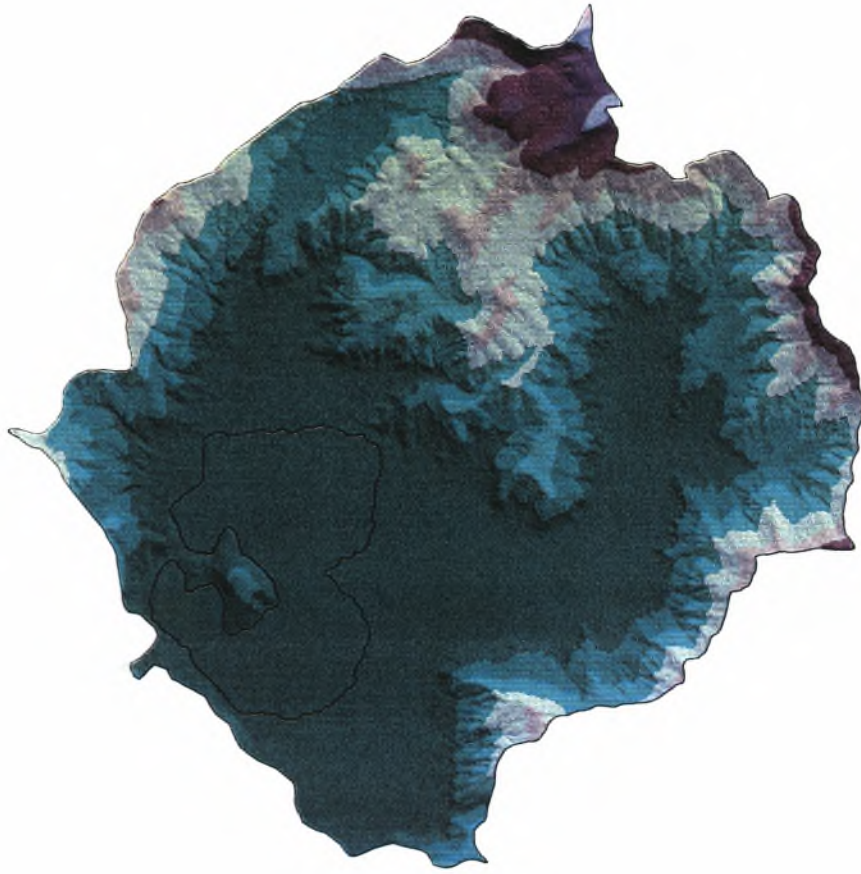
Theme2.shp












Χάρτης 3 Όρια υπολεκανών λεκάνης απορροής, 1:50.000



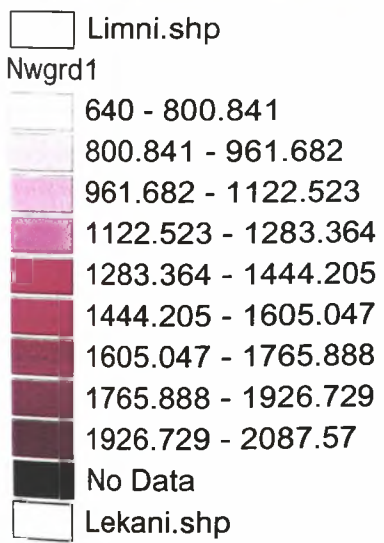
- Limni.shp
- Clip1.shp
- Lekani.shp

Χάρτης 4 Ισοψείς καμπύλες λεκάνης απορροής, 1:50.000



-  Limni.shp
- Crtin 1
- Elevation Range
-  1955.556 - 2120
-  1791.111 - 1955.556
-  1626.667 - 1791.111
-  1462.222 - 1626.667
-  1297.778 - 1462.222
-  1133.333 - 1297.778
-  968.889 - 1133.333
-  804.444 - 968.889
-  640 - 804.444
-  Lekani.shp

Χάρτης 5 TIN λεκάνης απορροής, 1:50.000



Χάρτης 6 DEM λεκάνης απορροής, 1:50.000



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΕΤΟΥΣ 2002-2003**

DO (mg/l)	ΣΙΟΥΛΙΤΑ (1)	ΕΗΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΚΙΤΙΞΑ (3)	ΨΑΡΑΔΙΚΑ (4)	ΣΤΑΥΡΟΣ (5)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m	2m	2m
31 Οκτ. 2002	7,45	5,85	5,90	7,00	7,60
1 Φεβρ. 2003	12,50	12,17	12,05	8,60	12,10
Ιούλιος 2003	7,50	8,80	8,30		

N/NH4(μg/l)	ΣΙΟΥΛΙΤΑ (1)	ΕΗΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΚΙΤΙΞΑ (3)	ΨΑΡΑΔΙΚΑ (4)	ΣΤΑΥΡΟΣ (5)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m	2m	2m
31 Οκτ. 2002	130,00	160,00	80,00		
1 Φεβρ. 2003	30,00	50,00	30,00	110,00	10,00
Ιούλιος 2003	30,00	10,00	30,00		

N/NO3(μg/l)	ΣΙΟΥΛΙΤΑ (1)	ΕΗΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΚΙΤΙΞΑ (3)	ΨΑΡΑΔΙΚΑ (4)	ΣΤΑΥΡΟΣ (5)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m	2m	2m
31 Οκτ. 2002	5400,00	6600,00	4000,00		
1 Φεβρ. 2003	1300,00	1400,00	800,00	1400,00	2000,00
Ιούλιος 2003	3900,00	4000,00	5300,00		

P/PO4(μg/l)	ΣΙΟΥΤΙΣΤΑ (1)	ΞΗΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΟΓΙΤΙΣΣΑ (3)	ΨΑΡΑΔΙΚΑ (4)	ΣΤΑΥΡΟΣ (5)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m	2m	2m
31 Οκτ. 2002	870,00	1220,00	570,00		
1 Φεβρ. 2003	300,00	1020,00	200,00	1390,00	280,00
Ιούλιος 2003	450,00	680,00	1800,00		

T(°C)	ΣΙΟΥΤΙΣΤΑ (1)	ΞΗΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΟΓΙΤΙΣΣΑ (3)	ΨΑΡΑΔΙΚΑ (4)	ΣΤΑΥΡΟΣ (5)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m	2m	2m
31 Οκτ. 2002	14,10	14,10	14,15	14,30	13,70
1 Φεβρ. 2003	4,90	5,00	5,00	4,95	5,20
Ιούλιος 2003	25,80	25,10	25,40		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΕΤΟΥΣ 2004**

DO (mg/l)	ΣΙΟΥΤΙΣΤΑ (1)	ΕΠΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΣΤΙΣΤΑ (3)
Ημ.Μέτρησης		2m	2m
Μάιος 2004	1m	5,25	5,32
30-Ιουλ-04	1m	3,52	2,92
26 Οκτ. 2004	2,5m	8,85	8,20

N/NH <sub>4</sub> (μg/l)	ΣΙΟΥΤΙΣΤΑ (1)	ΕΠΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΣΤΙΣΤΑ (3)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m
Μάιος 2004	40,00	0,00	90,00
30-Ιουλ-04	580,00	170,00	250,00
26 Οκτ. 2004	90,00	80,00	20,00

N/NO <sub>3</sub> (μg/l)	ΣΙΟΥΤΙΣΤΑ (1)	ΕΠΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΣΤΙΣΤΑ (3)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m
Μάιος 2004	3300,00	2800,00	2800,00
30-Ιουλ-04	100,00	0,00	100,00
26 Οκτ. 2004	3800,00	0,00	4000,00

P/PO <sub>4</sub> (μg/l)	ΣΙΟΥΤΙΕΤΑ (1)	ΕΠΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΩΤΙΣΣΑ (3)
Ημ.Μέτρησης	2m	2m	2m
Μέσος 2004	150,00	180,00	50,00
26 Οκτ. 2004	30,00	160,00	90,00

T(°C)	ΣΙΟΥΤΙΕΤΑ (1)	ΕΠΡΟΠΟΤΑΜΟΣ (2)	ΜΑΥΡΙΩΤΙΣΣΑ (3)
Ημ.Μέτρησης			
30-Ιουλ-04	23,40	23,60	23,20
26 Οκτ. 2004	17,30	17,50	17,15

### ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΤΟΥΣ 2002-2003

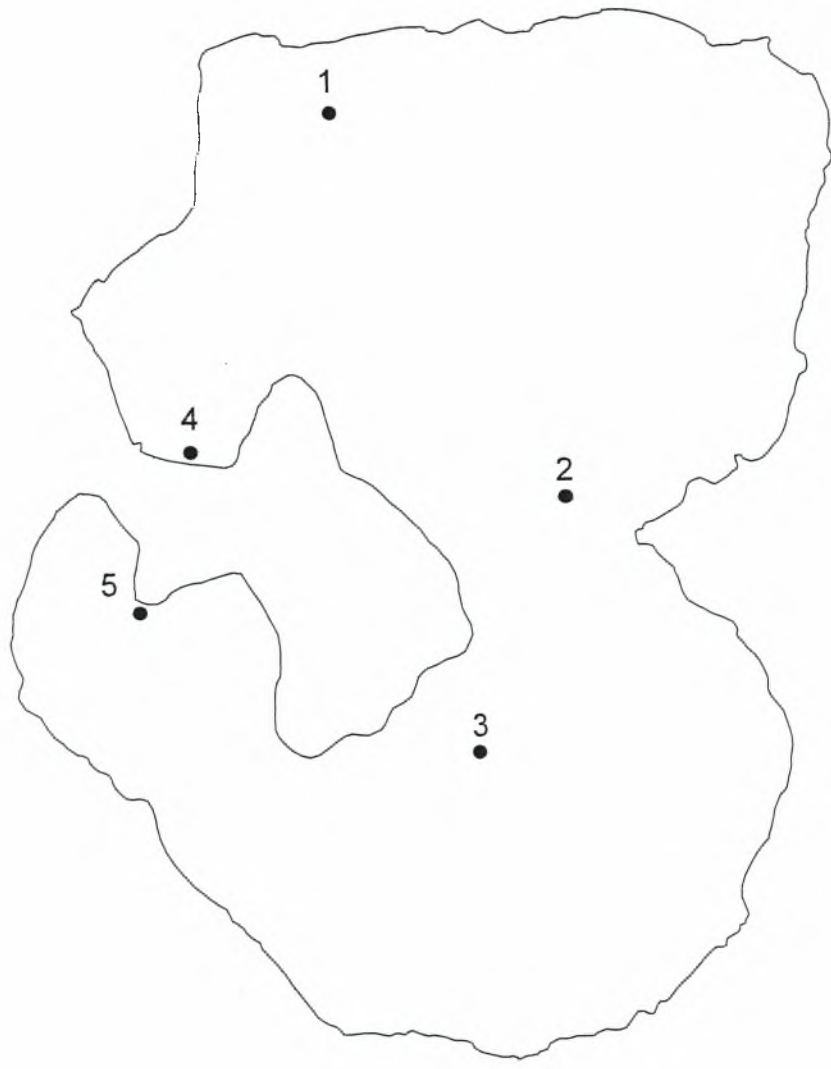
A)	A/A	X	Y
	1.	269,705,32	4,491,595,66
	2.	271,328,31	4,488,858,58
	3.	270,695,62	4,487,043,03
	4.	268,646,25	4,489,202,44
	5.	268,261,14	4,488,074,06

### ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΤΟΥΣ 2002-2003

B)	A/A	X	Y
	1.	269,677,82	4,491,609,42
	2.	271,328,31	4,488,844,83
	3.	270,709,38	4,487,043,03

### ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΤΟΥΣ 2004

A/A	X	Y
1.	269,677,82	4,491,609,42
2.	271,328,31	4,488,844,83
3.	270,709,38	4,487,043,03



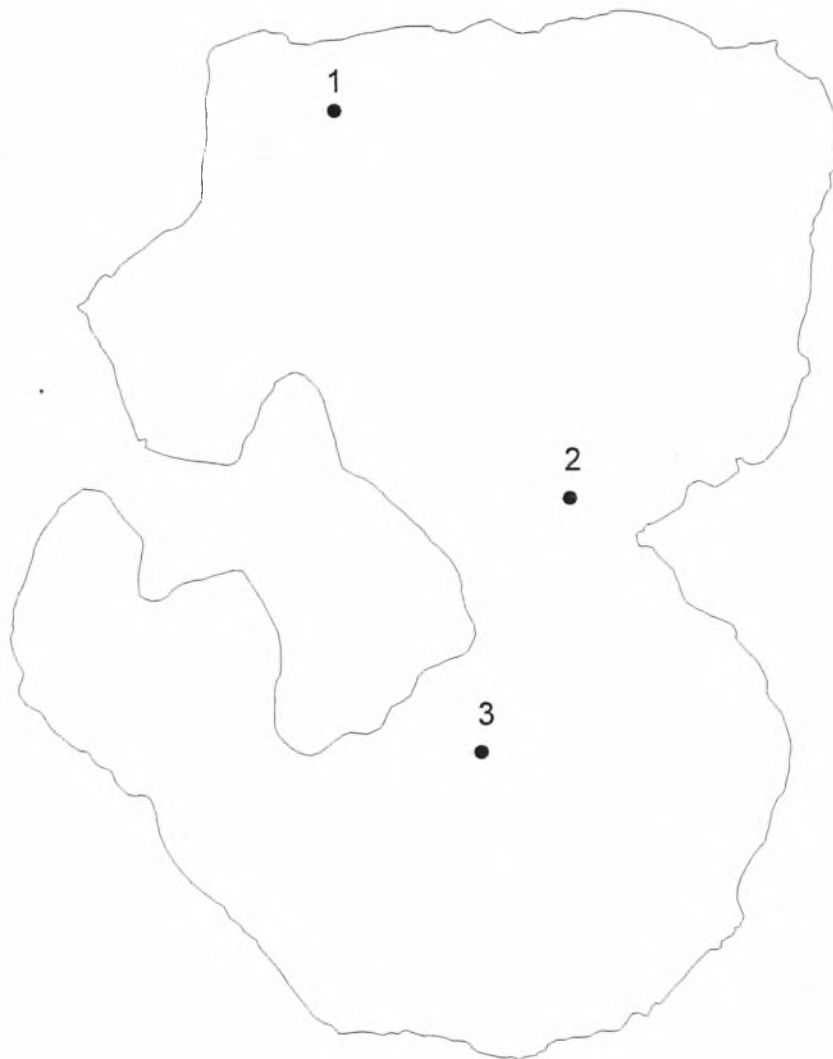
• Simiab.shp



Limni.shp

Χάρτης 7 Σημεία δειγματοληψίας, 1:50.000





• Simiac.shp

□ Limni.shp

Χάρτης 8 Σημεία δειγματοληψίας, 1:50.000

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΑΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΤΟΥΣ (1961-1962) - (1993-1994)

ΥΑΡ.ΕΤΟΣ	ΟΚΤ. - Κ	ΝΟΕ. - Κ	ΔΕΚ. - Κ	ΙΑΝ. - Κ	ΦΕΒΡ. - Κ	ΜΑΡΤ. - Κ	ΑΠΡΙΛ. - Κ	ΜΑΙΟΣ. - Κ	ΙΟΥΝ. - Κ	ΙΟΥΛ. - Κ	ΑΥΓΟΥΣΤ. - Κ	ΣΕΠΤ. - Κ
1961-62	22,5	89,6	71	46,9	71	90,5	17,3	17,7	53,7	12,4	23,8	22,6
1962-63	91,5	196,7	132,2	121,8	116,2	67,5	41,2	84,3	21,8	21,8	25,2	26
1963-64	64	14,1	91,2	19	33,6	58,9	9,8	56,3	47,7	27,4	7,4	26,5
1964-65	59,3	138,2	91,6	43,9	84,4	27	81,6	30,7	50,6	6,2	6	15,9
1965-66	3	60,4	80,9	144,2	28,2	73,4	27,4	40,5	46,9	1	1,5	31,2
1966-67	37,5	165	96,9	54,5	13	10,6	52,3	111,3	46,9	84,3	7,3	56,7
1967-68	19,9	21,1	112,6	103	67,4	57,2	50,8	104,2	49,7	2,2	31,5	44,3
1968-69	18,6	64,8	133,1	100,8	87,3	128,7	24,8	6,2	7,3	12,3	28,3	33,7
1969-70	0	25,6	190,7	64	56,2	66,6	43,6	46,4	10,5	71,4	1,4	12,8
1970-71	82,1	11,4	43	67,7	43,4	152,3	17,1	30,7	22,2	42,3	9,2	86,3
1971-72	24,4	41,4	71,5	117,3	92,2	54,4	97,8	40,5	11,8	38,2	51,8	41,9
1972-73	171,1	10,5	34,9	54,3	88,2	106,5	11,2	17,4	22,7	26,6	16,6	102,6
1973-74	73,2	41,5	30,9	65,9	115,2	54,6	85	34,3	26,2	0,2	20	41,6
1974-75	70,9	94,6	3,1	10,7	22,2	66,3	33	44,2	38,9	44,3	13,1	20,6
1975-76	74,5	51,1	45,3	21,2	39,6	29,2	66,5	63,4	25,4	13,6	43,9	17,5
1976-77	57,3	90,9	42,9	56	41,6	21,6	27,9	46,3	17,1	2,3	54,5	76,8
1977-78	33	103,8	58,8	86,2	34	55,2	99	28,8	2,9	21,2	4,3	71,1
1978-79	65,7	25,3	37,5	125,4	63,6	23,2	81,8	72,5	12,4	15,9	43,8	27,8
1979-80	79,3	169	49,4	106,5	6,1	37,8	21,6	116,6	34,2	2,6	12,9	15,4
1980-81	140	73,2	148,4	74,6	36,7	40,5	50,4	21,3	14	14,4	58,7	17,3
1981-82	125,3	34,9	94,9	13,3	33,2	54	82,7	34,3	2,9	23,1	99,2	69
1982-83	129,3	110,4	96,7	9,3	25,7	41,3	15,5	51,4	91,3	49,3	44,3	47,3
1983-84	21,4	110,1	80	53,5	127,7	57,8	61,8	11	17	1,5	21,9	16
1984-85	25,3	76,3	47	99,2	20,2	71,2	43,4	60,6	10	4,8	0,4	6
1985-86	25,8	195,9	27,9	72,4	176,1	93,8	14,9	92,3	78	41,9	1	9,4
1986-87	28,9	40,2	30,1	109,4	43,9	99,3	46,7	95,6	17,9	6,1	20,5	0,2
1987-88	111,4	84,4	35,4	37,7	27,3	23,6	36,2	43,6	20,6	0	9,3	12,7
1988-89	17	127,9	71,8	0	31,7	32,9	11,2	49,3	21,4	55,9	6,5	14
1989-90	63,7	78,2	80,2	0	14,1	9,1	46	71,9	6,4	26,1	23,5	14,7
1990-91	26,7	69,1	153	4,6	104,5	39,5	137,3	74,7	9,4	25,7	31,7	26,9
1991-92	30,1	77	6,7	4,7	6,2	12,9	77,7	40,1	75,5	51,4	0	4,3
1992-93	100,1	46,1	50,2	2,2	21	41	19	41,6	22,2	1,4	14,1	19,2
1993-94	42,1	150,8	57,2	113,3	55,4	56,2	47,9	52,5	29,2	23,4	22,9	32,2

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Psilovikos Ar., Vavliakis El., Margoni S. & Koutalou V., 2003. «*Determination of the runoff coefficient in the river basins of the main torrents in Samos island after the fire of July 2000 using orthophotomaps and G.I.S*». Πρακτικά (Υπό δημοσίευση) του Διεθνούς Συνεδρίου με τίτλο «GIS AND REMOTE SENSING : ENVIRONMENTAL APPLICATIONS», Βόλος, Νοέμβριος 2003.
- Ψιλοβίκος Άρ., Μαργώνη Σ., Βαβλιάκης Ελ., Ψιλοβίκος Αντ., 2004. «*Παρακολούθηση και προσομοίωση της γεωγραφικής κατανομής της ραγδαίας βροχόπτωσης της 28–29/11/2001 στη Σάμο και συμβολή στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών της πόρων*». Πρακτικά του 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος Ι, σελ. 450 – 457, Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004.
- Ψιλοβίκος Αντ., Ψιλοβίκος Άρ., Μαργώνη Σ., 2004. «*Μαθηματική προσομοίωση της πρόσχωσης στο υδάτινο περιβάλλον του υδροβιότοπου της λίμνης Κερκίνης από τα φερτά υλικά του ποταμού Στρυμόνα*». Πρακτικά του 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος Ι, σελ. 512 – 519, Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004.
- Ψιλοβίκος Άρ., 2003. *Περιβαλλοντική Προσομοίωση*, Σημειώσεις Π.Σ.Ε. Διαχείριση Αγροτικού Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μαργώνη Σοφία, Σταμάτη Ευδοκία 2000. «*Λιμνολογικές παράμετροι και φερτά υλικά της λίμνης Καστοριάς*», Διπλωματική Διατριβή, Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ψιλοβίκος Αντ., Αλμπανάκης Κ., Μαργώνη Σ., Ψιλοβίκος Άρ., Ιωαννίδης Δημήτρης & Μακρυγιώργος Χ. (2002) «*Συμβολή στη διαχείριση και στην περιβαλλοντική παρακολούθηση του ποτάμιου συστήματος του Νέστου*». **Πρακτικά του 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος, Τόμος ΙΙ, σελ. 505 – 512.
- Ψιλοβίκος Αντ., Αλμπανάκης Κ., Μαργώνη Σ., Ψιλοβίκος Άρ. & Μακρυγιώργος Χ. (2003). Ορισμένα στοιχεία της λειτουργίας του

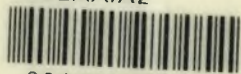
συστήματος REMOS στο δέλτα του Νέστου για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των υδατικών πόρων μετά τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων. **Πρακτικά του 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής**, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος, σελ. 257–264.

- Κάγκαλου Ιφιγένεια, Περιοδικό Υδροοικονομία, Τεύχος 17<sup>ο</sup>, σελ. 62-66, Άρθρο: Αποκατάσταση-Διαχείριση ρηχών λιμναίων οικοσυστημάτων, Βιοδιαχείριση-Ένα χρήσιμο εργαλείο
- Χριστοδουλάκη Σύλβια, Διαχείριση Υδατικών Πόρων λεκανών απορροής Ηρακλείου Κρήτης, 2003
- ECOS ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ επε., Πρόγραμμα αντιμετώπισης ειδικών περιβαλλοντικών προβλημάτων-Οριοθέτηση του υδροβιότοπου λίμνης Καστοριάς και ευρύτερης περιοχής του, Σεπτέμβριος 1997
- Γιαννακοπούλου Τρισεύγενη, Μελέτη ευτροφισμού και ποιότητας νερού, Φεβρουάριος 1994
- Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος, Εφαρμογή μοντέλου ποιότητας και διαχείριση πηγών ρύπανσης, Φεβρουάριος 1994
- Μουστάκα-Γούνη Μαρία, Διερεύνηση υδροβιολογικών παραμέτρων στη λίμνη της Καστοριάς. Επιλογή βέλτιστης μεθόδου αποκατάστασης της οικολογικής ισορροπίας, 1999-2000
- Σακκάς Ιωάννης, Υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς, Φεβρουάριος 1994
- Βασιλείος Ζ. Αντωνόπουλος, Υδραυλική περιβάλλοντος και Ποιότητα επιφανειακών νερών, Εκδόσεις Γιαχούδη, 2003
- Γ. Τσακίρης, Υδατικοί πόροι : 1. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, 1995
- Κοβάτσης Α., Μέτρηση τοξικών ενώσεων και διαχείριση αυτών στη λίμνη της Καστοριάς, 1994
- Παρασκευάς Π. Βαφειάδης, Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς, 1983
- Παπαδοπούλου-Μουρκίδου Ευθυμία, Τελική έκθεση αποτελεσμάτων “Πρόγραμμα ελέγχου ποιότητας επιφανειακών υδάτων στη Μακεδονία-Θράκη, Μάιος 2002

- Περγαντής Φώτης, Μελέτη προστασίας ορνιθοπανίδας και διαχείρισης περιφερειακή ζώνης καλαμώνων, Φεβρουάριος 1994
- Λουκάκης Παύλος, Μελέτη οικιστικής και κοινωνικής ανάπτυξης και χωρικής αναδιάρθρωσης, Φεβρουάριος 1994
- Arc View 3.2 G.I.S, Help (Manual)
- Παναγιωτάκη Π., Λιμνολογία, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, 2002
- Blain W.A., 1969. Discussion of <<Ammonia nitrogen losses from streams>>. J. of Sanitary Engrg.Div., ASCE, 95:974-978
- Bowie, G.L., W.B. Mills, D.B. Porcella, C.L. Campell, J.R. Pagenkopf, G.L. Rupp, K.M. Johnson, P.W.H. Chen, S.A. Gherini and C.E. Chamberlin, 1981. Rates, constants and kinetics formulations in surface water-quality modeling. U.S.EPA. Athens, U.S.A.
- Charpa, S.C., 1997. Surface water-quality modeling. Mc-Graw-Hill, New York, pp844
- Jobson, H.E., 1987. Lagrangian model of nitrogen kinetics in the Chattahoochee river, Ca.J. of Environmental Engrg., ASCE, 113: 223-242
- Hutchinson, G.E., 1975. A Treatise on Limnology. Vol. I, Part 2, John Wiley and Sons, New York
- Aiba, S. and H. Ohtake, 1977. Simulation of PO4-P balance in shallow and polluted river. Water Research, 11: 159-164
- Antonopoulos, V.Z., Papamichail, D. and Mitsiou, K., 2001. Statistical and Trend Analysis of Water Quality and Quantity Data from the Strymon River in Greece. Hydrology and Earth System Science, 5: 679-691
- Cahhill, T.H., P. Imperato and F.H. Verhoff, 1974. Evaluation of phosphorus dynamics in watershed. J. of Environmental Engrg.Div., ASCE, 100: 439-458
- Charpa, S.C., 1997. Surface water-quality modeling. McGraw Hill, Inc., New York
- Charpa, S.C. and K.H. Reckhow, 1983. Engineering approaches for lake management, 2. Mechanistic modeling. Butterworth Publishers, Boston, U.S.A.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072242