

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΜΕΛΕΤΗ ΑΦΟΜΟΙΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΟΤΙΔΑΣ (ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ) ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΚΑΛΑΜΑ

9.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΥΤΡΟΦΙΑΣ

9.1.1 Περιοριστικοί Παράγοντες Ανάπτυξης Οργανισμών

: Κάθε ζωντανός οργανισμός παίρνει από το περιβάλλον τα υλικά που χρειάζεται για τη σύνθεση νέου κυτταρικού υλικού και την ενέργεια που χρειάζεται για να πραγματοποιήσει τη σύνθεση αλλά και λοιπές λειτουργίες. Το σύνολο των διαδικασιών με τις οποίες πραγματοποιείται η δόμηση και αποδόμηση της κυτταρικής ύλης ονομάζεται μεταβολισμός ενώ η ύλη που χρησιμοποιείται για την παρασκευή κυτταρικής ύλης ή για τυχόν απόληψη ενέργειας ονομάζεται τροφή.

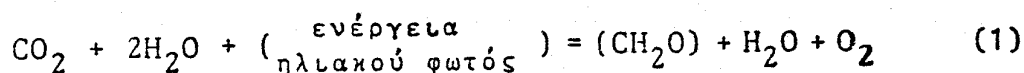
Τα κύτταρα όλων σχεδόν των μικροοργανισμών έχουν παρόμοια χημική σύσταση, με ίδιους τύπους μακρομοριακών ενώσεων (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, πολυσακχαρίτες, λιπίδια). Τα τέσσερα κυριότερα στοιχεία του κυττάρου είναι ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H) και το άζωτο (N), που μαζί αποτελούν το 90-97% του ξερού βάρους των κυττάρων. Το ποσοστό των άλλων, πολύ σημαντικών στοιχείων (P, S, K, Ca, Mg, Fe, Na, Cl, Mn, κλπ.) κυμαίνεται από 3-10%.

Οι ποσότητες των στοιχείων αυτών ποικίλουν ανάλογα με το είδος του οργανισμού και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν. Κάθε οργανισμός χρησιμοποιεί τις διαθέσιμες τροφές και την ενέργεια σε αναλογίες που γενικά, καθορίζονται από τη σύσταση του κυττάρου και τις ανάγκες του σε ενέργεια. Προκύπτει έτσι το συμπέρασμα ότι η ποσότητα της ζωντανής ύλης σε ένα δεδομένο περιβάλλον περιορίζεται από εκείνον από τους παραπάνω παράγοντες, που χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη, αναλογικά, διαθεσιμότητα, υπό την προϋπόθεση ότι δεν παρεμβαίνουν άλλοι παράγοντες αρνητικοί. Η παραπάνω πρόταση είναι γνωστή σαν "νόμος ελαχίστου" του von Liebig.

9.1.2 Φωτοσύνθεση

Μία πρώτη βασική ταξινόμηση των μικροοργανισμών μπορεί να γίνει έχοντας σαν κριτήριο το κατά πόσο οι μικροοργανισμοί χρειάζονται οργανικό άνθρακα από το περιβάλλον ή όχι. Οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί παίρνουν τον άνθρακα τον οποίο μετατρέπουν σε οργανική μορφή. Για τη διαδικασία αυτή μπορούν να πάρουν ενέργεια με δύο τρόπους: α) από το ηλιακό φως (φωτοσυνθετικοί αυτοτροφικοί), β) από οξειδόαναγωγικές αντιδράσεις ανόργανων ενώσεων (χημικοσυνθετικοί αυτοτροφικοί). Οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί χρειάζονται έτοιμο οργανικό άνθρακα από το περιβάλλον ενώ από την άποψη της ενέργειας είναι κατά κανόνα χημικοσυνθετικοί.

Χαρακτηριστικοί αυτοτροφικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που σχετίζονται με το φαινόμενο της ευτροφίας είναι τα άλγη. Τα άλγη, όπως και άλλοι φωτοσυνθετικοί ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί διαφέρουν από τους χημικοσυνθετικούς οργανισμούς στο ότι κατέχουν εσωτερικές χρωστικές ουσίες, συνηθέστερη των οποίων είναι η χλωροφύλλη, οι οποίες απορροφούν την ενέργεια του φωτός και την εγκλωβίζουν στη δομή οργανικών ουσιών για περαιτέρω χρήση. Η παρουσία αυτή του ηλιακού φωτός επιτρέπει στα άλγη τη μετατροπή του CO_2 και του νερού σε άμυλο ή και άλλους υδατάνθρακες και την αποβολή οξυγόνου, κατά την αντίδραση:

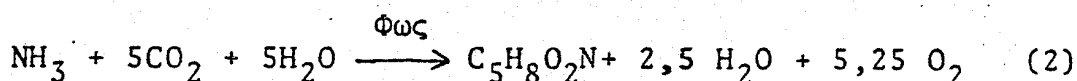


Η διαδικασία αυτή, γνωστή σαν φωτοσύνθεση, δεν είναι ικανή από μόνη της να παράγει το πρωτόπλασμα των αλγών, το οποίο δεν αποτελείται μόνον από υδατάνθρακες αλλά και λίπη, πρωτεΐνες και άλλες οργανικές ενώσεις που εκτός από C, H, O περιέχουν N, P, S και άλλα στοιχεία.

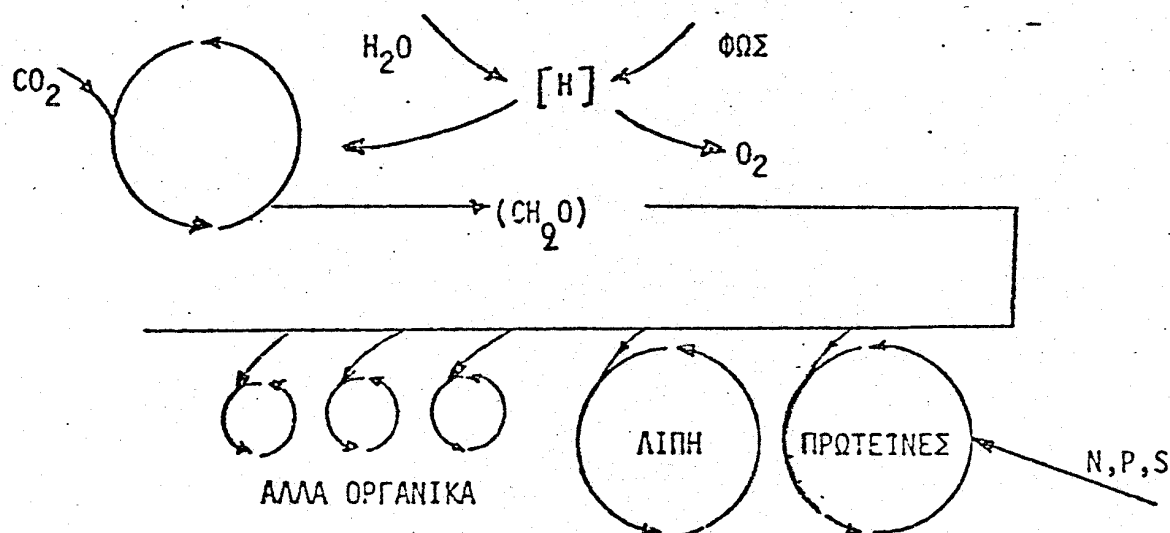
Ένας εμπειρικός τύπος σύστασης του πρωτοπλάσματος των

αλγών σε ό,τι αφορά τα βασικά του στοιχεία είναι: $C_5H_8O_2N$ αν και έχει βρεθεί ότι η ποσοτική συμμετοχή εκάστου στοιχείου μπορεί να διαφέρει για διαφόρους τύπους αλγών. Η δημιουργία λοιπόν του πρωτοπλάσματος επιτελείται όχι μόνο με τη φωτοσύνθεση αλλά και με τη δευτερογενή σύνθεση κατά την οποία γίνεται η μετατροπή των υδατανθράκων σε λίπη, πρωτεΐνες και άλλες οργανικές ενώσεις του πρωτοπλάσματος. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δευτερογενή σύνθεση είναι η ύπαρξη των στοιχείων που υπεισέρχονται στη διαδικασία (N,P, κλπ.).

Η συνολική αντίδραση σύνθεσης μπορεί να εκφρασθεί με την ακόλουθη εξίσωση:



Από το απλοποιημένο διάγραμμα (Σχ. 1) φαίνεται ότι κατά τη φωτοσύνθεση, δότης υδρογόνου και πηγή από όπου προέρχεται το εκλυόμενο οξυγόνο είναι το νερό, ενώ ο κύριος δέκτης ατόμων υδρογόνου και πηγή άνθρακα είναι το CO_2 :



Σχ. 1 Απλοποιημένο διάγραμμα σύνθεσης πρωτοπλάσματος αλγών.

Κατά τη δευτερογενή σύνθεση, δέκτες ατόμων υδρογόνου είναι και τα νιτρικά (NO_3^-), τα θειικά ($\text{SO}_4^{=}$) και άλλα άλατα, που αποτελούν και τις πηγές των απαραίτητων στοιχείων (N, P, κλπ.).

Περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των αλγών μπορεί να είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ή κάποιο από τα απαραίτητα για τη σύνθεση στοιχεία (S, N, P κ.α.) ανάλογα με το ποιός παράγοντας βρίσκεται στη μικρότερη αναλογικά διαθεσιμότητα.

Η ενέργεια που χρειάζεται για τη φωτοσύνθεση μπορεί να αποκτηθεί μόνο από ηλιακό φως με μήκη κυμάτων στο διάστημα 4000-7000 Å.

Το ηλιακό φως αυτής της κατηγορίας είναι κατά κύριο λόγο στο ορατό φάσμα και αποτελεί περίπου το 40% της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας. Για τα περισσότερα είδη αλγών, η ηλιακή ακτινοβολία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα όταν η έντασή της είναι μεγαλύτερη από $2,5 \times 10^4 \text{ ergs}/(\text{cm}^2) \text{ (s)}$ περίπου. Η ένταση αυτή κορέσμού αποτελεί μόνον το 2-9% της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, ποσοστό που δείχνει το μικρό βαθμό αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη φωτοσύνθεση. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα.

Τα άλγη, όπως και κάθε άλλος οργανισμός, αναπνέουν και κατά τη διαδικασία της αναπνοής, η αέρια ανταλλαγή είναι αντίθετη με αυτήν της φωτοσύνθεσης, δηλαδή καταναλώνεται οξυγόνο και αποδίδεται CO_2 . Υπάρχει μία κρίσιμη ένταση ακτινοβολίας (περίπου $10 \times 10^2 \text{ ergs}/(\text{cm}^2) \text{ (s)}$) για την οποία η ταχύτητα φωτοσύνθεσης είναι τέτοια ώστε το παραγόμενο οξυγόνο απλώς να επαρκεί για τις ανάγκες αναπνοής των αλγών. Για μικρότερες ακόμα εντάσεις, σαν αποτέλεσμα της αναπνοής, έχουμε μία μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη, ενώ για εντάσεις μεγαλύτερες της κρίσιμης ο αποδέκτης εμπλουτίζεται με οξυγόνο.

Η κρίσιμη αυτή ένταση καθορίζει το βάθος από την επιφάνεια, μέχρι το οποίο έχουμε ανάπτυξη αλγών. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία

διαπερνά το νερό, η έντασή της μειώνεται κατά τη σχέση:

$$I(z) = I_0 e^{-az} \quad (3)$$

όπου $I(z)$: ένταση ακτινοβολίας στο βάθος z
 I_0 : ένταση ακτινοβολίας στην επιφάνεια
 a : συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας στο νερό
 z : βάθος από την επιφάνεια

Ο συντελεστής a εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υδάτινου σώματος (π.χ. θολότητα). Η ίδια ή ύπαρξη των αλγών επηρεάζει τη διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς τον συντελεστή a . Είναι δυνατόν όμως η επίδραση αυτή να παρασταθεί χωριστά. Μια τέτοια εξίσωση γνωστή σαν νόμος Beer-Lambert είναι η ακόλουθη:

$$I(z) = I_0 e^{-(a+\beta x)z}, \quad (4)$$

όπου β : συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας για το αιώρημα των αλγών
 x : συγκέντρωση αιωρήματος αλγών.

Το πάχος του επιφανειακού στρώματος στο οποίο παρατηρείται ανάπτυξη αλγών, (z_c), μπορεί να βρεθεί από τη σχέση (4) για $I(z) = I$ κρίσιμο.

Συνηθέστερα, περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης είναι ένα από τα στοιχεία που χρειάζονται για τη σύνθεση και ιδίως το άζωτο και ο φωσφόρος. Ο άνθρακας (με τη μορφή του διαλυμένου CO_2 και διαφόρων ανθρακικών ριζών) βρίσκεται συνήθως σε περίσσεια λόγω του εμπλουτισμού του αποδέκτη με το CO_2 της ατμόσφαιρας.

Τις περισσότερες φορές, για γλυκά νερά, ως περιοριστικός παράγοντας εμφανίζεται ο φωσφόρος ενώ στη θάλασσα συχνά περιοριστική τροφή είναι το άζωτο. Πάντως φαίνεται ότι η κοινότητα

των αλγών μπορεί να χρησιμοποιεί σοβαρές προσαρμογές έτσι ώστε η σχέση των χρησιμοποιούμενων N:P να ποικίλει από 1,35:1 μέχρι και 13,5:1, σε όρους μάζας. Τέλος, μια κατηγορία αλγών, τα κυανοφύκη, έχουν τη δυνατότητα δέσμευσης αζώτου από το μοριακό άζωτο της ατμόσφαιρας, επομένως για αυτά ο φώσφορος ή κάποιο άλλο στοιχείο (π.χ. σίδηρος) αποτελούν συνήθως τον περιοριστικό παράγοντα, (όταν δεν είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας).

9.1.3 Ορισμός ευτροφίας - επιπτώσεις

Η ανάπτυξη αλγών και ανώτερων φυτικών οργανισμών λόγω προσθήκης θρεπτικών συστατικών σε υδάτινους αποδέκτες ονομάζεται ευτροφία. Η ευτροφία είναι μία φυσική διαδικασία που μπορεί να επιταχυνθεί σαν αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που συντελούν στη ρύπανση των αποδεκτών με θρεπτικά συστατικά.

Οι κυριότερες δυσμενείς επιπτώσεις του ευτροφισμού είναι:

Δημιουργία οσμών, χρώματος και άσχημης γεύσης: έχει παρατηρηθεί ότι η ύπαρξη προβλημάτων λόγω οσμής και γεύσης στο πόσιμο νερό είναι κατά κανόνα συνδεδεμένη με την ύπαρξη αλγών στις πηγές υδροληψίας. Οι δημιουργούμενες οσμές και γεύσεις ποικίλουν ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τα είδη των αλγών. Σαν αποτέλεσμα έντονης ανάπτυξης αλγών μπορεί να προκληθεί χρωματισμός του νερού. Ακόμα και μετά από κατάλληλη επεξεργασία του φυσικού νερού, ορισμένες οσμές και γεύσεις παραμένουν.

Προβλήματα κατά την επεξεργασία του φυσικού νερού: καθώς το νερό υφίσταται διύλιση σε μια εγκατάσταση καθαρισμού τα άλγη (καθώς και άλλες κολλοειδείς και αιωρούμενες ύλες) προκαλούν

τη σταδιακή έμφραξη του διυλιστικού μέσου. Η εφαρμογή χημικά υποβοηθούμενης καθίζησης, με χρήση κατάλληλων κροκκιδωτικών, πριν από τη διύλιση, μπορεί να επιφέρει απομάκρυνση 90-95% των αλγών. Εντούτοις, τα άλγη που παραμένουν είναι δυνατόν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα έμφραξης, με αποτέλεσμα την ανάγκη συχνότερης έκπλυσης του διυλιστηρίου. Έχει παρατηρηθεί ότι η ύπαρξη αλγών είναι δυνατό να οδηγήσει σε σοβαρή μείωση του απαιτούμενου χρόνου μεταξύ δύο διαδοχικών εκπλύσεων (από 30-100 ώρες σε λιγότερο από 10 ώρες). Σε ακραίες περιπτώσεις το απαιτούμενο για την έκπλυση νερό μπορεί να είναι περισσότερο από το αξιοποιούμενο για ύδρευση νερό. Η ύπαρξη των αλγών είναι επομένως δυνατόν να οδηγήσει σε επιβράδυνση των διαδικασιών καθαρισμού φυσικού νερού και σημαντική οικονομική επιβάρυνση.

Δημιουργία γλοιωδών επικαλύψεων: γλοιώδεις ουσίες που δημιουργούνται από τα άλγη, οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στην αποσύνθεση της περικυτταρικής τους μεμβράνης (ανάλογο φαινόμενο ισχύει και για τα βακτηρίδια και άλλους οργανισμούς). Οι ουσίες αυτές, που οφείλονται στα άλγη, εμφανίζονται σε ανοιχτές δεξαμενές και ανοιχτούς αγωγούς, μπορούν δε να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα κατά τη χρήση του νερού σε ορισμένες βιομηχανίες, (π.χ. δημιουργία κηλίδων στα παραγόμενα προϊόντα στις βιομηχανίες χάρτου και τροφών). Ζελατινώδεις επικαλύψεις είναι επίσης δυνατόν να εμφανιστούν στους σωλήνες υγροποίησης βιομηχανικών συστημάτων ψύξης με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας μεταβίβασης της θερμότητας στο νερό.

Τοξικότητα: έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένα άλγη (τόσο γλυκών νερών όσο και θάλασσας) μπορούν να προκαλέσουν αρρώστιες στον άνθρωπο και στα ζώα, λόγω τοξικών ουσιών που παράγουν. Έχουν αναφερθεί αρκετές περιπτώσεις δηλητηρίασης ψαριών καθώς και κατοικιδίων ζώων λόγω χρησιμοποίησης νερού με υψηλές συγκεντρώσεις αλγών.

Ραδιενέργεια: Τα άλγη προσλαμβάνουν και συγκεντρώνουν διαλυμένα μέταλλα, σταθερά ή ραδιενεργά, που βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο νερό. Τα ραδιενεργά στοιχεία μπορεί να είναι σχετικά ακίνδυνα για τα άλγη, αλλά μέσω των ψαριών, των καλλιεργειών, (με χρήση νερού που περιέχει άλγη για άρδευση), και ζώων, (που πίνουν νερό με άλγη), μπορεί να φθάνουν μέχρι τον άνθρωπο.

Αποξυγόνωση: Υπερβολική παραγωγή οργανικής ύλης με τη μορφή των αλγών μπορεί να συντελέσει σε σοβαρή αποξυγόνωση του αποδέκτη. Ο συνδυασμός ύπαρξης μεγάλης ποσότητας αλγών και μειωμένης ηλιοφάνειας έχει σαν συνέπεια τη μείωση της φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα η ζήτηση οξυγόνου για την αναπνοή να είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή οξυγόνου, φαινόμενο που αν διαρκέσει για σημαντικό χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε αποξυγόνωση. Επιπλέον, με το θάνατο των αλγών σταματάει η φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα και το πρωτόπλασμά τους χρησιμοποιείται σαν τροφή για τους αερόβιους ετεροτροφικούς οργανισμούς που καταναλίσκουν οξυγόνο. Μια άλλη σοβαρή συνέπεια του θανάτου των αλγών είναι η απελευθέρωση και μεταβίβαση στο υδάτινο μέσο του N και P των κυττάρων τους, με αποτέλεσμα την αυτοσυντήρηση του ευτροφικού φαινομένου.

Εξάλλου, η υπερβολική ανάπτυξη αλγών μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός πυκνού επιφανειακού στρώματος αλγών. Το στρώμα αυτό αφενός μεν εμποδίζει τη μεταβίβαση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας στο νερό (μείωση συντελεστή επαναερισμού), αφετέρου δε εμποδίζει τη διέλευση του ηλιακού φωτός (εξίσωση 4), με συνέπεια τη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των αλγών που βρίσκονται κάτω από το επιφανειακό στρώμα και τελικό αποτέλεσμα τον κίνδυνο αποξυγόνωσης.

Δεν πρέπει τελικά να υποτιμάται η δυσμενής επίδραση του ευτροφισμού και της συνεπαγόμενης μείωσης της διαφάνειας και της πιθανής αποξυγόνωσης στην αισθητική αξία των αποδεκτών.

9.1.4 Πηγές εκπομπής αζώτου, φωσφόρου

Σημειακές πηγές

Οι σημαντικότερες σημειακές πηγές φωσφόρου και αζώτου είναι τα αστικά και βιομηχανικά λύματα.

Στα αστικά λύματα η ποσότητα φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα κυμαίνεται συνήθως από 2,5-4 g. Σημαντικό ποσοστό από τις ποσότητες αυτές (μέχρι και 50%) οφείλονται στη χρήση απορρυπαντικών τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες φωσφορικών (20-40%). Τελευταία, με αφορμή το πρόβλημα του ευτροφισμού, γίνονται μελέτες για την αντικατάσταση των απορρυπαντικών αυτών με άλλα που δεν περιέχουν φωσφορικά.

Το άζωτο στα αστικά λύματα κυμαίνεται από 10-18 g/κάτοικο και ημέρα, με κατανομή 60% περίπου σαν οργανικό άζωτο και 40% περίπου σαν αμμωνιακό άζωτο.

Ο φωσφόρος περιέχεται σε απόβλητα ορισμένων βιομηχανιών, όπως υφαντουργεία, εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, χημικές βιομηχανίες (π.χ. παραγωγής H_2PO_4 , λιπασμάτων) και μερικές μεταλλουργικές βιομηχανίες. Οι σημαντικότερες βιομηχανίες που παράγουν απόβλητα με σημαντικές συγκεντρώσεις αζώτου είναι οι βιομηχανίες παραγωγής εκρηκτικών, (με βάση το άζωτο), οργανικών χημικών, λιπασμάτων, νιτρικού οξέος, εντομοκτόνων καθώς και μεταλλουργικές βιομηχανίες και ανθρακωρυχεία.

Μη σημειακές πηγές

Οι κυριότερες μη σημειακές πηγές ρύπανσης ενός υδάτινου αποδέκτη είναι αποτέλεσμα των γεωργικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων που συντελούνται στη λεκάνη του αποδέκτη και της ύπαρξης μεγάλου αριθμού απορροφητικών βόθρων ή τάφρων για τη διάθεση δημοτικών λυμάτων.

Οι τρόποι με τους οποίους οι θρεπτικές ουσίες (P,N) εισέρχονται σε έναν επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη (εκτός από

την ατμόσφαιρα) είναι είτε με διήθηση στα υπόγεια ύδατα και σε συνέχεια μεταφορά στον επιφανειακό αποδέκτη ή με την επιφανειακή απορροή.

ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Η τροφοδότηση του αποδέκτη με φώσφορο από υπόγεια νερά και γενικά μετά από διήθηση στο έδαφος είναι αμελητέα. Το έδαφος έχει τη δυνατότητα να συγκρατεί το μέγιστο ποσοστό του διηθούμενου φώσφορου με μηχανισμούς προσρόφησης και κατακρήμνισης, φαίνεται δε ότι η ικανότητα κατακράτησης του φωσφόρου από το έδαφος είναι πρακτικά ανεξάντλητη λόγω της κατακρήμνισης του φωσφόρου και της με τον τρόπο αυτό επανάκτησης από το έδαφος θέσεων προσρόφησης. Εκτεταμένες μετρήσεις έχουν δείξει ότι μετά από μακροχρόνια διήθηση φωσφόρου είτε σε αγροτικές διεργασίες (λιπάσματα) είτε σε απορροφητικές τάφρους δημοτικών λυμάτων, η συγκέντρωση του φωσφόρου στις απορροές μετά τη διήθηση στο έδαφος είναι πολύ μικρή. Οι συγκεντρώσεις P στις επιφανειακές απορροές έχει βρεθεί ότι εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη χρήση της γης. Η συνήθης κατάταξη χρήσεων είναι η ακόλουθη:

ΔΑΣΩΔΕΙΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ

Βιβλιογραφικά στοιχεία εκτιμούν την ετήσια ποσότητα P που απορρέει ανά m^2 δασώδους εκτάσεως, στο διάστημα 0,005-0,02 $g/m^2/έτος$. Η υπηρεσία EPA εκτιμά το συντελεστή αυτό σε 0,01 $g/m^2/έτος$.

ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΓΗ - ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ

Κύριες πηγές φωσφόρου αποτελούν ο φωσφόρος που υπάρχει στο έδαφος ή που προστίθεται σαν λίπασμα, και τα απόβλητα των ζώων. Οι συντελεστές "εξαγωγής" φωσφόρου κυμαίνονται από 0,006-0,29 $g/m^2/έτος$ με χαρακτηριστικότερη τιμή 0,05 $g/m^2/έτος$. Η διακύμανση του συντελεστή, σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το

βαθμό διάβρωσης των εδαφών κατά την απορροή, η οποία συντελεί στη μεταφορά αδιάλυτου φωσφόρου, αυξάνοντας την τιμή του συντελεστή.

ΧΩΡΟΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΖΩΩΝ - ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Για βροχόπτωση της τάξεως των 1000 mm/έτος εκτιμάται ότι περίπου 30-40% του όγκου των αποβλήτων ρέουν επιφανειακά, οι δε συγκεντρώσεις P είναι περίπου 40-50% των συγκεντρώσεων φωσφόρου στα απόβλητα. Επομένως περίπου 15% του φωσφόρου των αποβλήτων "εξάγεται" και μπορεί να τροφοδοτήσει τον επιφανειακό αποδέκτη.

ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Οι απορροές αστικών περιοχών (εφόσον διοχετεύονται στο δίκτυο αποβλήτων) τροφοδοτούν επιφανειακούς αποδέκτες με P που πηγάζει από διάφορες δραστηριότητες συνυφασμένες με την πόλη. Ο συντελεστής "εξαγωγής" εκτιμάται από τη βιβλιογραφία ίσος με $0,1 \text{ g/m}^2/\text{έτος}$.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ-

Οι κατακρημνίσεις P εκτιμώνται σε $0,025 \text{ g/m}^2/\text{έτος}$, όπου όμως η έκταση αφορά στην επιφάνεια του αποδέκτη.

Άζωτο

Αντίθετα με το φωσφόρο το άζωτο με τη μορφή κυρίως των νιτρικών ιόντων (NO_3) μπορεί να διοχετευθεί σχετικά εύκολα στα υπόγεια νερά και στη συνέχεια να τροφοδοτήσει επιφανειακούς αποδέκτες. Έτσι εκτός από την επιφανειακή απορροή, με άζωτο τροφοδοτούν και τα υπόγεια νερά, με συνέπεια να παρουσιάζονται υψηλοί συντελεστές "εξαγωγής" αζώτου σε ορισμένες περιπτώσεις, (π.χ. αρδευόμενες εκτάσεις).

Τυπικές τιμές συντελεστών "εξαγωγής" αζώτου και φωσφόρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα τυπικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Συντελεστές "εξαγωγής" φωσφόρου-αζώτου ($\text{g/m}^2/\text{έτος}$)

Χρήση γής	ΦΩΣΦΟΡΟΣ		ΑΖΩΤΟ	
	Διακύμανση τιμών	Τυπικό μέγεθος	Διακύμανση τιμών	Τυπικό μέγεθος
Αστική περιοχή	0,03-0,16	0,10	0,25-0,90	0,50
Δασώδης έκταση	0,005-0,02	0,01	0,25-0,40	0,30
Γεωργική γή- βοσκότοποι	0,006-0,29	0,05	0,2-1,3	0,50
Αρδευόμενη έκταση	0,03-0,07	0,05	4,2-18,6	8,0
Ατμοσφαιρική κατακρήμνιση	0,02-0,025*	0,025*	0,80-2,4*	2,0*

*ανά m^2 επιφανειακού αποδέκτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τυπικά χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων

	Χοίροι	Βοοειδή	Πρόβατα
Ολικό N	0,48	0,57	0,950
Ολικό P	0,14	0,09	0,066

N,P σε kg/tn ζωντανού βάρους/ημέρα.

9.1.5 Δείκτες ευτροφίας

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης ενός αποδέκτη έχουν προταθεί διάφοροι απλοί ή σύνθετοι δείκτες που έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη ή μικρότερη επιτυχία. Ανάλογα

με την τροφική τους κατάσταση οι αποδέκτες κατατάσσονται συνήθως σε τρεις κατηγορίες: ολιγοτροφικοί, μεσοτροφικοί και ευτροφικοί. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο διάστημα τιμών των δεικτών, (Πίνακας 3). Οι κυριότεροι από τους χρησιμοποιούμενους δείκτες είναι:

Συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών: οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών ουσιών στον αποδέκτη και κυρίως του P, χρησιμοποιούνται σαν δείκτες του βαθμού ευτροφισμού, μια και τα στοιχεία αυτά αποτελούν κατά κανόνα τον περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των αλγών. Καθώς όμως το φαινόμενο της ευτροφίας εξαρτάται και από μία σειρά άλλων παραγόντων, όπως η ηλιοφάνεια, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του αποδέκτη, η κατανομή και διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών κλπ. δεν υπάρχει πάντα ικανοποιητική αντιστοίχιση μεταξύ συγκέντρωσης θρεπτικών και ευτροφισμού και συνεπώς τα διαστήματα τιμών του Πίνακα 3 είναι μόνο ενδεικτικά. Χαρακτηριστική ένδειξη της ασάφειας που υπάρχει αποτελεί η σοβαρή επικάλυψη τιμών P που παρατηρείται στην κατάταξη που έγινε για 81 λίμνες των ΗΠΑ από τους Schloer και Connor:

ολιγοτροφικές	3-7	μg/l	φωσφόρου
μεσοτροφικές	4-11	μg/l	"
ευτροφικές	6-330	μg/l	"
υπερτροφικές	68-432	μg/l	"

Διαφάνεια: Η ανάπτυξη αλγών έχει σαν συνέπεια τη μείωση της διαπερατότητας του ηλιακού φωτός με αποτέλεσμα τη μείωση της διαφάνειας. Η διαφάνεια που μετρείται με τη μέθοδο Secchi disk (SD), αποτελεί ικανοποιητικό δείκτη ευτροφισμού στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ανόργανων στερεών που συντελούν στην αύξηση της θολότητας και συνεπώς στη μείωση της διαφάνειας χωρίς όμως να προκαλούν ανάπτυξη αλγών. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις SD υπερεκτιμούν

κατά κανόνα την τροφική κατάσταση του συστήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι και στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει γενικά στενή συσχέτιση μεταξύ SD και συγκέντρωσης P, καθώς ο P αποτελεί συστατικό των ανόργανων ουσιών που μειώνουν τη διαφάνεια.

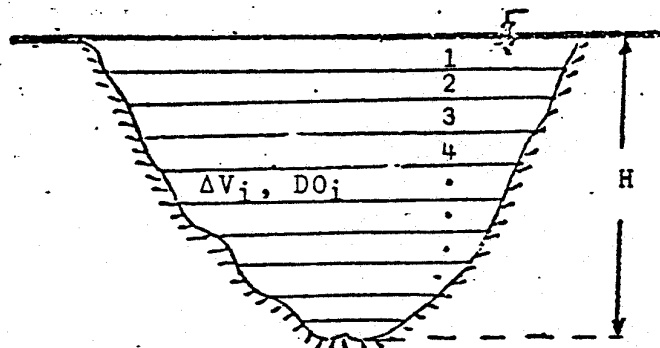
Οξυγόνο: Το υπολίμνιο ενός στρωματωμένου αποδέκτη αποτελεί ένα στρώμα νερού στο οποίο υπάρχει μία συνεχής ζήτηση οξυγόνου λόγω φθοράς οργανικής ύλης, ενώ παρατηρείται μικρή προσθήκη οξυγόνου από άλλες πηγές, (π.χ. ατμόσφαιρα, διάχυση, εισροές ή φωτοσύνθεση). Η ζήτηση οξυγόνου στο υπολίμνιο προέρχεται από τις οργανικές ύλες που καθιζάνουν ή βρίσκονται στις πυθμενικές αποθέσεις. Στο βαθμό που η οργανική αυτή ύλη αποτελείται κατά κύριο λόγο από κύτταρα αλγών, η ζήτηση του οξυγόνου είναι δυνατόν να συσχετισθεί με το βαθμό ευτροφίας του αποδέκτη.

Υπάρχουν περιπτώσεις που λόγω μορφολογικών χαρακτηριστικών των αποδεκτών, το υπολίμνιο είτε είναι πολύ μικρό σε σχέση με την πυθμενική έκταση του αποδέκτη ή ανύπαρκτο. Στις περιπτώσεις αυτές έχει προταθεί ένας δείκτης καθαρού ελλείμματος διαλυμένου οξυγόνου (NDO) που ορίζεται ως εξής (Σχ. 2):

$$NDO = \frac{\sum_{i=0}^{i=H} |DO_i| \Delta V_i}{V}$$

όπου H : βάθος αποδέκτη
 DO_i : έλλειμμα οξυγόνου για το στρώμα
 ΔV_i : όγκος νερού του στρώματος
 V : συνολικός όγκος αποδέκτη

Τα ελλείμματα DO_i προκύπτουν σαν διαφορά της συγκέντρωσης κορεσμού κάθε στρώματος (που εξαρτάται από τη θερμοκρασία κάθε στρώματος) και της μετρημένης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου στο κάθε στρώμα. Επισημαίνεται ότι κατά τον υπολογισμό του NDO, οι τιμές του DO_i υπεισέρχονται με τις απόλυτες



Σχήμα 2. Υπολογισμός NDO

τιμές τους έτσι ώστε τόσο η παραγωγή οξυγόνου λόγω φωτοσύνθεσης στα ανώτερα στρώματα, που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν υπερκορεσμό (αρνητικό DO), όσο και η τυχόν ζήτηση οξυγόνου λόγω αποθέσεων (στο βαθμό που οφείλονται σε κύτταρα αλγών) που οδηγούν σε έλλειμμα (θετικό DO) συνυπολογίζονται με τη σωστή τους έννοια κατά την εκτίμηση της ευτροφικής κατάστασης του αποδέκτη. Διαστήματα τιμών του δείκτη NDO για χαρακτηριστικές τροφικές στάθμες φαίνονται στον Πίνακα 3.

Χλωροφύλλη: Η χλωροφύλλη θεωρείται γενικά σαν η πιο αξιόπιστη ένδειξη της τροφικής κατάστασης του αποδέκτη, εντούτοις όμως είναι δυνατόν σε μερικές περιπτώσεις να οδηγήσει σε εσφαλμένες εκτιμήσεις ως προς το βαθμό ευτροφίας. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η περίπτωση της λίμνης Washington. Σαν αποτέλεσμα μείωσης των εισερχόμενων θρεπτικών ουσιών παρατηρήθηκε αύξηση της διαφάνειας και μείωση της χλωροφύλλης αλλά ταυτόχρονα η αυξημένη διαφάνεια είχε σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διείσδυση του φωτός με συνέπεια την αύξηση των μακροφυκών και προσαρτημένων στον πυθμένα αλγών (που δεν μετριοούνται κατά τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης). Έτσι, παρά τη μείωση της χλωροφύλλης η ευτροφική κατάσταση της λίμνης δεν βελτιώθηκε.

Στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η διατήρηση ενός ευαίσθητου οικολογικού συστήματος στον αποδέκτη, η ποσότητα της χλωροφύλλης (ή άλλες μετρήσεις που σχετίζονται με την ποσότητα του φυτοπλαγκτού) συχνά δεν επαρκούν, αλλά πρέπει να συνοδεύονται από μετρήσεις ενδεικτικές της ποικιλίας ειδών φυτοπλαγκτού.

Η ύπαρξη και χρήση πολλών δεικτών ευτροφίας υποδηλώνει την αδυναμία καθορισμού (προς το παρόν τουλάχιστον) ενός μοναδικού "ιδανικού" δείκτη. Δύο βασικά γνωρίσματα ενός τέτοιου "ιδανικού δείκτη" θα πρέπει να είναι, α) η δυνατότητα επακριβούς συσχέτισής του με τις "λειτουργικές" παραμέτρους του συστήματος (π.χ. είσοδος τροφών), και β) η δυνατότητα αντιστοίχισής του με άλλους επιμέρους δείκτες που θα σχετίζονταν με όλες τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις της ευτροφίας.

Από τους δείκτες που εξετάσαμε, αυτοί που αφορούν στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών πλεονεκτούν ως προς το γνώρισμα (α) βρίσκονται όμως αρκετά μακριά σε σχέση με την εκτίμηση των επιπτώσεων της ύπαρξής τους. Ένα σημαντικό πλεονέκτημά τους έγκειται στο ότι, επειδή αναφέρονται στις αιτίες του φαινομένου της ευτροφίας (περιοριστικοί παράγοντες) περιγράφουν καλύτερα τη δυνητικότητα του φαινομένου. Οι υπόλοιποι δείκτες αναφέρονται στις εκδηλώσεις του ευτροφισμού και προφανώς μειονεκτούν ως προς το γνώρισμα (α). Ως προς το δεύτερο γνώρισμα, οι αδυναμίες τους είναι εμφανείς από την παρατηρηθείσα ελλειπή μεταξύ τους συσχέτιση.

Με βάση την υπάρχουσα σήμερα γνώση φαίνεται ότι η σκοπιμότερη προσέγγιση του προβλήματος του προσδιορισμού και ελέγχου της ευτροφίας συνίσταται στην συναξιολόγηση περισσότερων δεικτών με ιδιαίτερη έμφαση σε εκείνους που σχετίζονται με την εκάστοτε επιθυμητή χρήση του αποδέκτη. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η περίπτωση λίμνης που προορίζεται για αναψυχή μέσω της ανάπτυξης της ερασιτεχνικής αλιείας. Στην περίπτωση αυτή βέλτιστη τροφική κατάσταση της λίμνης είναι εκείνη που επιτρέπει τη μεγαλύτερη δυνατή ιχθυοπαραγωγή (ασχέτως είδους

ψαριών, κατάσταση που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν ανεπιθύμητα ευτροφική για τυχόν άλλες χρήσεις του αποδέκτη και επομένως ο δείκτης της ιχθυοπαραγωγής είναι στην περίπτωση αυτή ο καταλληλότερος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Κατάταξη λιμνών ως προς τον ευτροφισμό

	Χλωροφύλλη ($\mu\text{g/l}$)	Διαφάνεια (SD) (m)	Συγκέντρωση ολικού P ($\mu\text{g/l}$)	Καθ. έλλειμμα οξυγ. (NDO) ($\mu\text{g/l}$)
Ολιγοτροφική	<2,00	>4,60	<7,90	<3,5
Ολιγοτρ-Μεσοτροφική	2,10-2,90	4,50-3,80	8,00-11,00	3,5-4,0
Μεσοτροφική	3,00-6,90	3,70-2,40	12,00-27,00	4,0-5,0
Μεσοτρ-ευτροφική	7,00-9,90	2,30-1,80	28,00-39,00	5,0-5,50
Ευτροφική	>10,00	<1,70	>40,00	>5,50

9.1.6 Ορθολογικά και εμπειρικά μοντέλα

Μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται με όλο και μεγαλύτερη συχνότητα για την εκτίμηση της απόκρισης των υδάτινων αποδεκτών σε αλλαγές της ταχύτητας φόρτισής τους με θρεπτικά και την πρόβλεψη των βελτιώσεων που μπορούν να προκύψουν από τη λήψη συγκεκριμένων μέτρων περιορισμού της ευτροφίας. Παρά την ποικιλία μορφών και βαθμού πολυπλοκότητας, τα μοντέλα αυτά είναι δυνατό να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: στα ορθολογικά (ή δυναμικά, μηχανιστικά) μοντέλα και στα εμπειρικά (ή στατιστικά) μοντέλα.

9.6.6.1 Ορθολογικά μοντέλα

Τα μοντέλα αυτά συνίστανται κατά βάση από μία σειρά αλληλοεξαρτώμενων διαφορικών εξισώσεων οι οποίες προσπαθούν να περιγράψουν τα βιολογικά, χημικά και φυσικά φαινόμενα που καθορίζουν

την ανάπτυξη των φυτών (συνήθως των αλγών), περιλαμβάνοντας τις φορτίσεις θρεπτικών και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το ηλιακό φως και τη θερμοκρασία. Οι εξισώσεις αυτές είναι δυνατόν να επιλυθούν ταυτόχρονα, συνήθως με τη χρήση υπολογιστή και να δώσουν ποσοτικές εκφράσεις της δυναμικής ανάπτυξης των αλγών και μεταβολής άλλων δεικτών, (π.χ. συγκεντρώσεις θρεπτικών) συναρτήσει του χρόνου.

Τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του αποδέκτη πρέπει επίσης να είναι γνωστά. Παρά το γεγονός ότι η πρωτογενής παραγωγή εμφανίζεται στους περισσότερους αποδέκτες, το πρόβλημα της ευτροφίας σχετίζεται συνήθως με σχετικά στάσιμα νερά όπως λίμνες και κλειστοί κόλποι, συχνά δε επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμική στρωμάτωση. Για λίμνες και κλειστούς κόλπους με την παραδοχή ότι η μόνη κατακόρυφη μετακίνηση υλών οφείλεται στην καθίζηση, το υδροδυναμικό πρόβλημα μπορεί να προσεγγιστεί με τη μέθοδο των στοιχείων πλήρους μίξης. Ακόμα μεγαλύτερη απλούστευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παραδοχή ότι τα εισερχόμενα λύματα υφίστανται πλήρη μίξη σε όλο τον όγκο του αποδέκτη. Ο βαθμός προσέγγισης εξαρτάται από το μέγεθος του αποδέκτη σε σχέση με την εισρέουσα παροχή λυμάτων, από το σχήμα του, την τυχόν στρωμάτωση και γενικώς από τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του. Αν το υδάτινο σώμα είναι στρωματομένο και τα εισερχόμενα λύματα καταλήγουν στο επιλίμνιο τότε ως όγκος θα πρέπει να θεωρηθεί ο όγκος του επιλίμνιου.

Δεχόμενοι ότι ο αποδέκτης δεν έχει αξιόλογες εισροές-εκροές νερού, η εξίσωση ισορροπίας μάζας ανά μονάδα όγκου για κάθε κατηγορία ύλης του συστήματος μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\frac{dC}{dt} = \sum(\text{βιολογ.}-\text{φυσικοχημ. μεταβολών}) - \sum(\text{τροφοδότησης}) \quad (5)$$

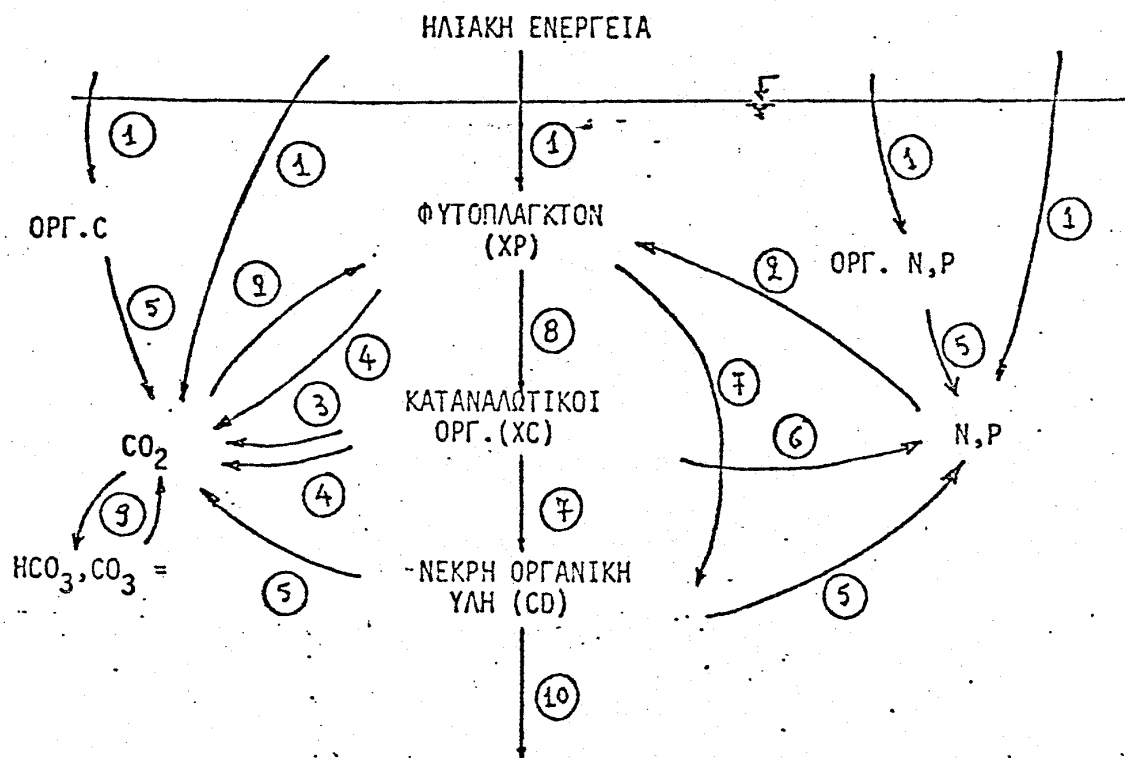
όπου: C = συγκέντρωση ύλης.

Το επόμενο στάδιο είναι η περιγραφή και μαθηματική εξομείωση του υδατικού οικοσυστήματος. Τα δύο σημαντικότερα

προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την προσομοίωση αυτή είναι αφενός μεν η αδυναμία αναφοράς σε όλες τις βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες που συντελούνται αφετέρου δε η προσεγγιστική φύση της μαθηματικής περιγραφής των διεργασιών, διεργασίες οι οποίες είναι εξάλλου πιθανόν ότι μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου.

Οι αδυναμίες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα τα μαθηματικά αυτά ομοιώματα να απέχουν πολύ, προς το παρόν τουλάχιστον, από το να δίνουν πλήρεις και ακριβείς λύσεις σχετικά με τον σκόπιμο χειρισμό των αποδεκτών.

Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο ομοίωμα ευτροφίας αναλύεται στη συνέχεια. Οι βασικές διεργασίες που περιλαμβάνει φαίνονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Υδατικό οικοσύστημα: 1) εξωτερικές εισοδοι, 2) φωτοσύνθεση, 3) αναπνοή, 4) ενδογενής αναπνοή, 5) βιολογική αποσύνθεση, 6) αποβολή περιττωμάτων, 7) θάνατος, 8) βοσκή καταναλωτικών οργανισμών, 9) χημική ισορροπία, 10) καθίζηση.

Οι εξισώσεις ισορροπίας για κάθε κατηγορία ύλης μπορούν να καταστρωθούν ως εξής:

Φυτοπλαγκτόν

$$\frac{dX_p}{dt} = \underset{2}{\text{ανάπτυξη}} - \underset{4}{\text{ενδογενής αναπνοή}} - \underset{7}{\text{θάνατος}} - \underset{8}{\text{βοσκή}} \quad (6)$$

Η ανάπτυξη οργανισμών περιγράφεται με την κινητική Monod,

$$2 = \mu_p \cdot \frac{S}{K_S + S} \cdot X_p \quad (7)$$

όπου: μ_p = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης
 S = περιοριστική τροφή
 X_p = συγκέντρωση οργανισμών
 K_S = σταθερά

Στην περίπτωση που είναι δυνατό ανάλογα με διάφορα καταστάσεις) οι περιοριστικοί παράγοντες να είναι περισσότεροι από έναν, όπως στην περίπτωση της φωτοσύνθεσης, η ταχύτητα ανάπτυξης περιγράφεται με την ακόλουθη σχέση:

$$2 = \left(\mu_p \cdot \frac{J}{K_I + 1} \cdot \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \cdot \frac{C_N}{K_N + C_N} \cdot \frac{C_P}{K_P + C_P} \right) \cdot X_p \quad (8)$$

όπου: J = ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
 C_{CO_2} = συγκέντρωση CO_2
 C_N = συγκέντρωση N
 C_P = συγκέντρωση P
 K_I, K_{CO_2}, K_N, K_P = σταθερές

Οι ταχύτητες φθοράς βιομάζας λόγω ενδογενούς αναπνοής και θανάτου θεωρούνται, (ανά μονάδα βιομάζας), σταθερές και ίσες με K_r και K_m αντίστοιχα. Για το φυτοπλαγκτό θα έχουμε K_{rp} και K_{mp} .

Η ταχύτητα κατανάλωσης τροφής που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη κάποιου οργανισμού είναι ανάλογη με την ταχύτητα ανάπτυξης του οργανισμού. Ο συντελεστής αναλογίας είναι το αντίστροφο του συντελεστή αύξησης της βιομάζας, Y . Στην περίπτωση της διεργασίας 8, τροφή είναι το φυτοπλαγκτόν το οποίο τρέφει τους καταναλωτικούς οργανισμούς. Επομένως,

$$8 \text{ (στην εξίσωση 6)} = \frac{1}{Y_{c/p}} \cdot \hat{\mu}_c \cdot \frac{X_p}{K_{xp} + X_p} \cdot X_c \quad (9)$$

Η εξίσωση ισορροπίας φυτοπλαγκτού μπορεί επομένως να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \frac{dX_p}{dt} = & \hat{\mu}_p \frac{I}{K_I + I} \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \frac{C_N}{K_N + C_N} \frac{C_p}{K_p + C_p} X_p - K_{rp} X_p \\ & - K_{mp} X_p - \frac{1}{Y_{c/p}} \hat{\mu}_c \frac{X_p}{K_{xp} + X_p} X_c \end{aligned} \quad (10)$$

Ανάλογα μπορούν να καταστρωθούν οι εξισώσεις και για τις άλλες κατηγορίες:

Καταναλωτικοί οργανισμοί

$$\frac{dX_c}{dt} = \hat{\mu}_c \frac{X_p}{K_{xp} + X_p} X_c - K_{rc} X_c - K_{mc} X_c \quad (11)$$

Νεκρή οργανική ύλη

$$\frac{dC_p}{dt} = K_{mp} X_p + K_{mc} X_c - K_{dD} C_D - K_{SD} C_D \quad (12)$$

όπου K_{dD} = συντελεστής βιολογικής αποσύνθεσης νεκρής οργανικής ύλης

K_{SD} = συντελεστής ταχύτητας καθίζησης νεκρής οργανικής ύλης

Διοξείδιο άνθρακα

$$\begin{aligned} \frac{dC_{CO_2}}{dt} = & K_{doc}C_{oc} + \frac{1-Y_{c/p}}{Y_{c/p}} \mu_c X_c + K_{rp}X_p - K_{rc}X_c \\ & + K_{dD}C_D + K_L \frac{A}{V} (C_S - C_{CO_2}) + f(CO_2) - \mu_p X_p \end{aligned} \quad (13)$$

Ο όρος $f(CO_2)$ σχετίζεται με τη διεργασία (9) δηλαδή τη χημική ισορροπία CO_2 και HCO_3^- , $CO_3^{=}$. Ο όρος $K_{doc}C_{oc}$ σχετίζεται με τη διάσπαση οργανικού άνθρακα σε CO_2 (C_{oc} = συγκέντρωση οργανικού άνθρακα). Ο όρος $K_L (A/V) \cdot (C_S - C_{CO_2})$ σχετίζεται με την είσοδο από την ατμόσφαιρα CO_2 , (θεωρία δύο στοιβάδων).

Ανόργανο άζωτο

$$\frac{dC_N}{dt} = K_{doN}C_{oN} + K_{eN}X_c + K_{dDN}C_D + L_N - \gamma_{pN}\mu_p X_p \quad (14)$$

όπου K_{doN} = συντελεστής ταχύτητας υδρόλυσης οργανικού αζώτου

C_{oN} = συγκέντρωση οργανικού άνθρακα

K_{eN} = παραγωγή ανόργανου αζώτου λόγω περιττωμάτων

K_{dDN} = συντελεστής παραγωγής ανόργανου N από νεκρή ύλη

γ_{pN} = λόγος N/C κατά την πρόσληψη λόγω φωτοσύνθεσης

L_N = ταχύτητα εξωτερικής εισόδου ανόργανου αζώτου.

Ανόργανος φώσφορος

$$\frac{dC_P}{dt} = K_{dop}C_{op} + K_{ep}X_c + K_{dDp}C_D + L_P - \gamma_{pp}\mu_p X_p, \quad (15)$$

όπου οι συντελεστές είναι κατ'αναλογία με την περίπτωση του ανόργανου αζώτου.

Οργανικός άνθρακας

$$\frac{dCO_c}{dt} = L_{oc} - K_{doc}CO_c \quad (16)$$

όπου: L_{oc} = ταχύτητα εξωτερικής εισόδου οργανικού άνθρακα

Οργανικό άζωτο

$$\frac{dCO_N}{dt} = L_{ON} - K_{don}CO_N \quad (17)$$

όπου: L_{ON} = ταχύτητα εξωτερικής εισόδου οργανικού αζώτου.

Οργανικός φώσφορος

$$\frac{dCO_p}{dt} = L_{op} - K_{dop}CO_p \quad (18)$$

όπου: L_{op} = ταχύτητα εξωτερικής εισόδου οργανικού φώσφορου.

Με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστές, οι εξωτερικές μεταβλητές (I , L_{op} , L_p , L_{ON} , L_N , L_{oc}) σαν συναρτήσεις του χρόνου, οι σταθερές που υπεισέρχονται στις εξισώσεις ($\mu_p, \mu_c, K_{rp}, K_{mp}, K_{rc} \dots$) και οι αρχικές συγκεντρώσεις των εσωτερικών μεταβλητών του συστήματος ($X_{op}, K_{co}, C_{Do}, C_{CO_2O}, C_{No}, C_{oNo}, C_{po}, C_{opo}, C_{oco}$ για χρόνο $t=0$) είναι δυνατόν με διαδοχική αριθμητική ολοκλήρωση των εξισώσεων (7-18) να προκύψουν οι τιμές των εσωτερικών μεταβλητών σε διαδοχικές χρονικές βαθμίδες.

Για μόνιμες συνθήκες, οι χρονικές παράγωγοι των μεταβλητών του οικοσυστήματος μηδενίζονται και το σύστημα των 9 διαφορικών εξισώσεων μεταπίπτει σε αλγεβρικό μη γραμμικό σύστημα 9 εξισώσεων με 9 αγνώστους.

Το οικοσύστημα που αναλύθηκε, παρά τη σχετική πολυπλοκότητά του, δεν περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την ευτροφία, ούτε όλους τους δείκτες που σχετίζονται με τις

επιπτώσεις της ευτροφίας. Χαρακτηριστικά επισημαίνεται ότι δεν περιλαμβάνεται το υποσύστημα των αποσυνθετικών οργανισμών που επιτελούν την αποσύνθεση της νεκρής οργανικής ύλης. Επίσης δεν περιλαμβάνεται το υποσύστημα του διαλυμένου οξυγόνου (σημαντικός δείκτης αλλά και πιθανός παράγοντας επηρεασμού της ευτροφίας) καθώς και οι δείκτες της διαφάνειας του νερού και της ποικιλίας των οργανισμών. Η ενσωμάτωση αυτών ή και άλλων παραγόντων θα οδηγούσε σε ένα πληρέστερο αλλά πολύ πολύπλοκο ομοίωμα.

Μια δεύτερη σημαντική παρατήρηση αφορά στις μαθηματικές εκφράσεις των συντελούμενων διεργασιών, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις είτε για λόγους απλότητας ή λόγω έλλειψης επαρκούς γνώσης των φαινομένων, είναι σε σημαντικό βαθμό απλοποιημένες, πράγμα που επιδρά στο βαθμό ακρίβειας της απεικόνισης της πραγματικότητας.

Τέλος, βασική προϋπόθεση αποτελεί η γνώση των τιμών των σταθερών που υπεισέρχονται στις εξισώσεις. Από αυτές πολύ λίγες είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με ακρίβεια από πειράματα, με αποτέλεσμα ο προσδιορισμός των τιμών για την πλειοψηφία των συντελεστών να γίνεται με κατάλληλη ρύθμιση του ομοιώματος έτσι ώστε να επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν ταύτιση των παρατηρηθέντων και προκυπτουσών (από το μοντέλο) τιμών των μεταβλητών του συστήματος. Δύο βασικές συνέπειες του γεγονότος αυτού είναι αφενός μεν ο περιορισμός της αξιόπιστης χρήσης του ομοιώματος μόνον για το συγκεκριμένο αποδέκτη αφετέρου δε η αξιοπιστία του ακόμα και για τον συγκεκριμένο αποδέκτη να προϋποθέτει τη σχετική σταθερότητα των γνωρισμάτων του συστήματος. Τα παραπάνω μειονεκτήματα, σε συνδυασμό με την αναγκαιότητα ύπαρξης πληθώρας δεδομένων, κάνουν αυτά τα οικολογικά ορθολογικά μοντέλα δύσχρηστα, και έτσι δεν είναι περίεργο ότι παρά τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί, κανένα από αυτά τα

μοντέλα δεν έχει αποδεδειγμένα τη δυνατότητα αξιόπιστης πρό-
βλεψης και εφαρμογής πέρα από τις συγκεκριμένες συνθήκες από
τις οποίες προέκυψε.

9.1.6.2 Εμπειρικά ή στατιστικά μοντέλα

Ένα εμπειρικό ή στατιστικό μοντέλο είναι στην ουσία μία
στατιστική συσχέτιση που ποσοτικοποιεί μία βασική σχέση αιτίας-
αποτελέσματος, χωρίς να προσπαθεί να υπεισέλθει στους επι μέρους
παράγοντες που σχετίζονται με το φαινόμενο. Στην περίπτωση
του ευτροφισμού, η συσχέτιση αυτή γίνεται συνήθως μεταξύ εισα-
γωγής θρεπτικών ουσιών (αιτία) και δείκτη ευτροφίας (αποτέλεσμα),
χωρίς να δίνεται λεπτομερής περιγραφή της δυναμικής συμπεριφο-
ράς στη λίμνη των θρεπτικών ή του δείκτη. Επομένως η συσχέτιση
αναφέρεται σε μόνιμες συνθήκες, ή σε τελικές συνθήκες ισορρο-
πίας που θα προκύψουν λόγω μεταβολής των συνθηκών εισόδου,
χωρίς να δίνεται καμμία πληροφορία για την πορεία προς την
τελική κατάσταση.

Στις περισσότερες περιπτώσεις λιμνών, ο παράγοντας που
δρά σαν αιτία του ευτροφισμού θεωρείται ότι είναι ο εισερχό-
μενος φώσφορος. Ο παράγοντας αυτός ποσοτικοποιείται συνήθως
με τη μορφή κάποιας μεταβλητής η οποία είναι συνάρτηση της
ταχύτητας εισόδου του P και ορισμένων υδραυλικών και μορφολο-
γικών χαρακτηριστικών του αποδέκτη (χρόνος παραμονής t , επι-
φάνεια A, βάθος H). Το συσχετιζόμενο προς την αιτία αποτέλεσμα,
δηλαδή ο ευτροφισμός, θα μπορούσε να ποσοτικοποιηθεί με τον
"ιδανικό" δείκτη ευτροφίας. Έτσι έχουμε:

$$\text{"Ιδανικός" Δείκτης} = f(P_0, H, A, t) \quad (19)$$

όπου P_0 = ταχύτητα εισόδου φώσφору

H = βάθος αποδέκτη

A = επιφάνεια αποδέκτη

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής

Επειδή όμως δεν υπάρχει τέτοιος "ιδανικός" δείκτης είναι αναγκαία η επιλογή ενός από τους δείκτες που προαναφέρθηκαν, επιλογή που βασίζεται κατά κύριο λόγο στις εκάστοτε συνθήκες, τις δυνατότητες μέτρησης του δείκτη και της επιθυμητής χρήσης του νερού του αποδέκτη.

Μια σημαντική ομάδα εμπειρικών μοντέλων χρησιμοποιεί σαν τέτοιο δείκτη τη συγκέντρωση του φωσφόρου στον αποδέκτη (ή σε τμήμα του αποδέκτη, π.χ. επιλίμνιο). Τα μοντέλα αυτά είναι γνωστά και σαν εμπειρικά μοντέλα φωσφόρου, και σε αντίθεση με άλλα μοντέλα που χρησιμοποιούν άλλους δείκτες, περιλαμβάνουν συχνά εξίσωση ισορροπίας της μάζας του φωσφόρου. Έτσι, για αποδέκτη πλήρους μίξης, όγκου V , βάθους H , και επιφάνειας A , που δέχεται εισροή Q (εκροή=εισροή), στην οποία η συγκέντρωση του φωσφόρου είναι P_0 η ισορροπία του φωσφόρου μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$V \frac{dP}{dt} = P_0 Q - PQ - RV \quad (20)$$

όπου: P = συγκέντρωση φωσφόρου στον αποδέκτη

R = ταχύτητα κατακράτησης φωσφόρου στον αποδέκτη.

Για μόνιμες συνθήκες η (20) γράφεται:

$$P_0 Q = PQ + RV \quad (21)$$

Εισάγοντας τον όρο επιφανειακής φόρτισης $L_p = \frac{QP_0}{A}$ έχουμε:

$$L_p = P \frac{Q}{A} + R \frac{V}{A} \quad (22)$$

Επειδή $\tau = V/Q$ και $V = A \cdot H$,

$$L_p = P \frac{H}{\tau} + RH \quad (23)$$

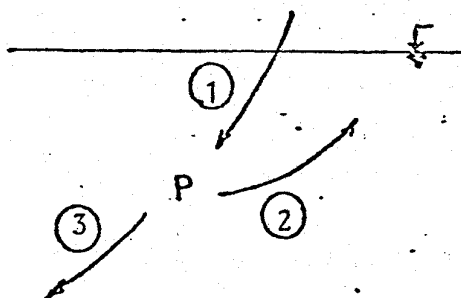
ή

$$P = \frac{L_p \tau}{H} - R\tau$$

(24)

Η εξίσωση (24) έχει προκύψει από την ισορροπία μαζών και επομένως αποτελεί μία ορθολογική σχέση για τον προσδιορισμό του φωσφόρου. Το μοντέλο υπολογισμού του P συναρτήσει των L_p , τ , H και R βάσει της σχέσης (24) μπορεί να θεωρηθεί σαν ορθολογικό ή σαν στατιστικό ανάλογα με την έννοια που θα δώσουμε στην παράμετρο R καθώς και κατά πόσο θα την αναλύσουμε περισσότερο.

"Ορθολογική" προσέγγιση θα έχουμε αν θεωρήσουμε ένα υπεραπλουστευμένο σύστημα διεργασιών που υφίσταται ο φώσφορος όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Απλουστευμένο σύστημα P

- 1 Είσοδος φωσφόρου, 2 έξοδος φωσφόρου
3 Κατανάλωση φωσφόρου λόγω μιας μοναδικής διεργασίας.

Στην πραγματικότητα μέσα στη διεργασία 3 δεχόμαστε ότι ενσωματώνονται οι διεργασίες 2, 5 και 6 του Σχήματος 3.

Στα μοντέλα φωσφόρου η διεργασία 3 θεωρείται ότι σχετίζεται με την καθίζηση του φωσφόρου σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$R = \frac{\alpha}{H} \cdot P$$

(25)

όπου: α = ταχύτητα καθίζησης.

Ο συνδυασμός των σχέσεων (24) και (25) δίνει:

$$P = \frac{L_p}{\frac{H}{\tau} + \alpha} \quad (26)$$

Στο μοντέλο των Dillon-Kirchner γίνεται η παραδοχή σταθερής ταχύτητας καθίζησης $\alpha = \alpha_0 = 13,2 \text{ m/έτος}$. Επομένως

$$P = \frac{L_p}{\frac{H}{\tau} + \alpha_0} \quad (27)$$

Στο μοντέλο των Jones-Backman η ταχύτητα καθίζησης είναι ανάλογη του βάθους ($\alpha = 0,65 H$). Επιπλέον εισάγεται ένας εμπειρικός συντελεστής ίσος με 0,84. Έτσι, έχουμε:

$$P = \frac{0,84 L_p}{\frac{H}{\tau} + 0,65 H} \quad (28)$$

Τέλος το μοντέλο του Walker υποθέτει ότι η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται τόσο από το βάθος όσο και από το χρόνο παραμονής ($\alpha = 0,824 H \tau^{-0,546}$). Έτσι έχουμε:

$$P = \frac{L_p}{[0,824 H \tau^{-0,546} + (H/\tau)]} \quad (29)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα προαναφερθέντα μοντέλα παρά την "ορθολογική" τους μορφή είναι στην ουσία εμπειρικά μοντέλα δεδομένου ότι ο παράγοντας R περιλαμβάνει ένα σύνολο διεργασιών και παρά το ότι αποδίδεται στην καθίζηση δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί με βάση τη μελέτη μόνον του φαινομένου της καθίζησης. Έτσι, αναγκαστικά ο ποσοτικός προσδιορισμός του, ανεξάρτητα από την περαιτέρω ανάλυσή του, βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις.

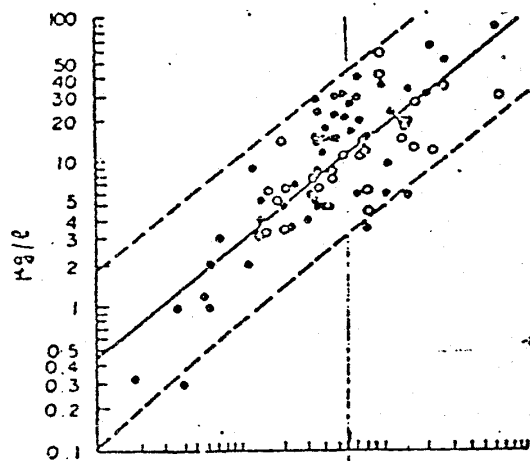
Έχει παρατηρηθεί σε 22 λίμνες των ΗΠΑ ότι η εφαρμογή των μοντέλων φωσφόρου οδηγεί κατά κανόνα σε υποεκτίμηση των συγκεντρώσεων φωσφόρου. Περαιτέρω δυσκολίες εμφανίζονται στην προσπάθεια εκτίμησης της τροφικής κατάστασης του αποδέκτη λόγω των ασαφειών που υπεισέρχονται στη συσχέτιση ευτροφίας και συγκεντρώσεων φωσφόρου.

Εμπειρικά μοντέλα έχουν προταθεί για τη συσχέτιση μεταξύ άλλων δεικτών ευτροφίας (χλωροφύλλη, διαφάνεια, ζήτηση οξυγόνου στο ύπολίμνιο, ιχθυοπαραγωγή) και της επιφανειακής φόρτισης με φωσφόρο. Τα μοντέλα αυτά έχουν καθαρά στατιστικό χαρακτήρα και παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.

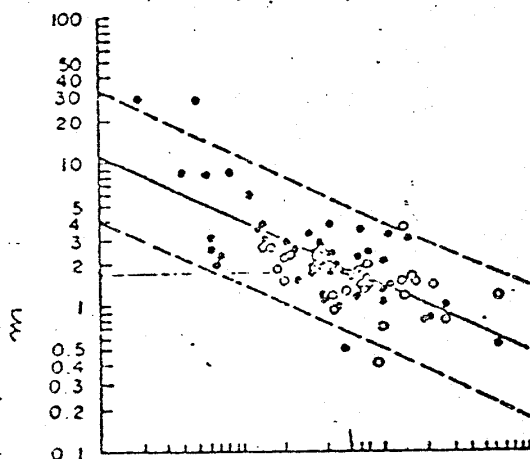
Το σημαντικότερο και περισσότερο δοκιμασμένο στατιστικό μοντέλο ευτροφίας είναι το γνωστό σαν Vollelenweider-OECD μοντέλο. Ο Vollelenweider συνεργαζόμενος με τον ΟΟΣΑ (OECD) (1975) πρότεινε ένα στατιστικό μοντέλο συσχέτισης της φόρτισης φωσφόρου σε αποδέκτη, με τη γενική αποδοχή του αποδέκτη για σκοπούς αναψυχής. Η αποφυγή χρησιμοποίησης κάποιου συγκεκριμένου δείκτη ευτροφισμού, και η κατάταξη των αποδεκτών σε κάποια τροφική κατάσταση (ολιγοτροφική, μεσοτροφική, ευτροφική) βάσει συναξιολόγησης περισσότερων δεικτών ευτροφισμού διαφοροποιεί το μοντέλο αυτό από άλλα στατιστικά μοντέλα. Στη συνέχεια το μοντέλο του δοκιμάστηκε σε περίπου 200 αποδέκτες 22 χωρών της Δυτ. Ευρώπης, Β. Αμερικής, Ιαπωνίας και Αυστραλίας. Στο Σχήμα 6 φαίνεται η εφαρμογή του μοντέλου για τους 34 από τους 200 αποδέκτες που βρίσκονται στις ΗΠΑ. Για τη χρησιμοποίηση του μοντέλου (όπως και των άλλων στατιστικών μοντέλων) σε κάποιο αποδέκτη πρέπει να πληρούνται ορισμένες συνθήκες, όπως,

- α) ο φωσφόρος να είναι ο περιοριστικός παράγοντας,
- β) η ανάπτυξη των αλγών να γίνεται με τη μορφή φυτοπλαγκτού και όχι προσαρτημένων αλγών και μακροφυκών,
- γ) το χρώμα και η θολότητα να οφείλονται κατά κύριο λόγο στα άλγη,
- δ) να επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης στον αποδέκτη.

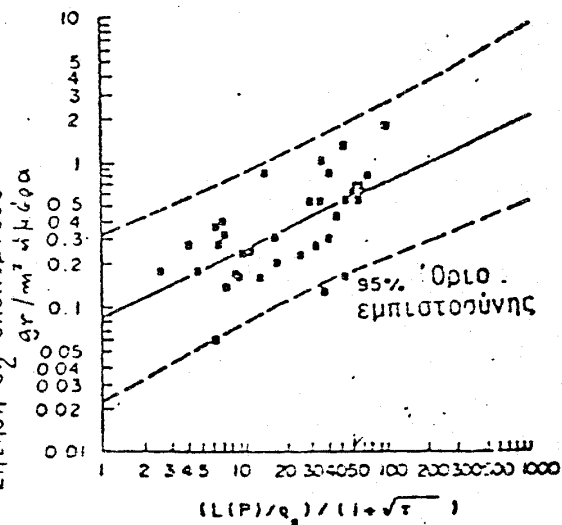
α
Θερινή συγκέντρωση χλωροφύλλης



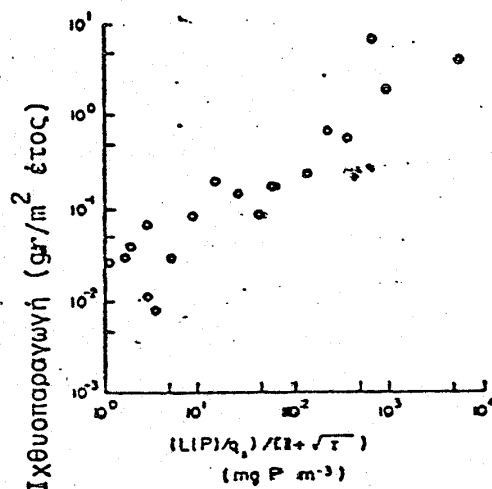
Θερινή διαφάνεια SD



Ζήτηση O₂ υπολιμνίου
gr/m² μέτρα



Ανηγμένο φορτίο P



Ανηγμένο φορτίο P

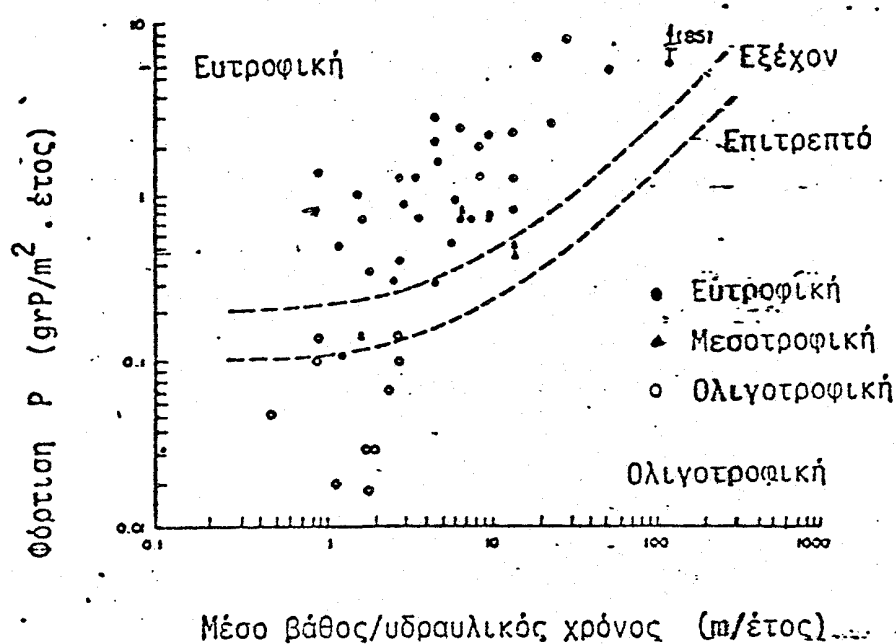
$$L_P = \text{Φόρτιση } P$$

$$mgP/m^2$$

$$q_s = H/\tau \text{ (m/έτος)}$$

$$\tau = \text{υδραυλικός χρόνος παραμονής (έτος)}$$

Οι συνθήκες αυτές κατά κανόνα πληρούνται στους περισσότερους αποδέκτες; όπως έχει προκύψει από την ικανοποιητική εφαρμογή του μοντέλου στους 200 αποδέκτες του OECD καθώς και σε άλλους 100 περίπου για τους οποίους έχει δοκιμασθεί μέχρι σήμερα.



Σχήμα 6. Μοντέλο Vollenweider

Τα πιο πάνω μοντέλα έχουν εφαρμογή για μόνιμες συνθήκες. Εντούτοις είναι δυνατόν να προβλέψουν τη νέα κατάσταση ισορροπίας που θα προκύψει στην περίπτωση που θα αυξηθεί ή μειωθεί το φορτίο φωσφόρου, και εφόσον μετά την αρχική μεταβολή δεν συντελούνται άλλες σημαντικές μεταβολές του φορτίου. Η νέα συνθήκη ισορροπίας αποκαθίσταται μετά παρέλευση σημαντικού χρονικού διαστήματος κατά το οποίο οι συγκεντρώσεις P στον αποδέκτη καθώς και οι άλλοι δείκτες προσαρμόζονται στις νέες συνθήκες φόρτισης. Γενικά εκτιμάται ότι οι νέες συνθήκες ισορροπίας πρακτικά αποκαθίστανται μετά από παρέλευση χρόνου ίσου με 3 φορές το χρόνο παραμονής του φωσφόρου (όχι του

υδραυλικού χρόνου) περίπου. Ο χρόνος παραμονής του φωσφόρου μπορεί να εκτιμηθεί σαν ο λόγος της μέσης ετήσιας ποσότητας φωσφόρου στον αποδέκτη προς την ετήσια ποσότητα εισόδου φωσφόρου.

9.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ

9.2.1 Προγενέστερες μετρήσεις

Αν και δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού της λίμνης Παμβώτιδας (Ιωαννίνων), τα υπάρχοντα δεδομένα, που καλύπτουν την περίοδο 1976-1983, είναι δυνατόν να οδηγήσουν στη διαμόρφωση μιας αρκετά ικανοποιητικής εικόνας της υπάρχουσας κατάστασης. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό έχουν γίνει από:

- α) ΠΕΡΠΑ, Ιούνιος 1977
- β) " , Ιανουάριος 1977
- γ) " , Απρίλιος 1977
- δ) " , Αύγουστος 1977
- ε) " , Νοέμβριος 1980
- στ) Εργαστήριο Φυσιολογίας Παν/μίου Ιωαννίνων, Ιούνιος 1981
- ζ) ΙΩΚΑΕ, 1975-1976
- η) Ιχθυογενετικός σταθμός Λούρου, 1981-1983

Οι αναλύσεις αφορούν φυσικοχημικές παραμέτρους (θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, pH, αγωγιμότητα κλπ.), βιολογικές παραμέτρους (χλωροφύλλη, φυτοπλαγκτό και ζωοπλαγκτό) BOD_5 και αιωρούμενα στερεά, διαφάνεια, θρεπτικά άλατα και μέταλλα.

9.2.2. Μετρήσεις της παρούσας μελέτης

Οι μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης παρουσιάζονται στο παράρτημα I και αφορούν σε φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους, BOD_5 , αιωρούμενα στερεά, διαφάνεια και θρεπτικά άλατα τόσο για τη λίμνη των Ιωαννίνων όσο και για την τάφρο της Λαψίστας. Από αρχικό κάρναβο 23 θέσεων για τη λίμνη Ιωαννίνων, επελέγησαν 16 για την πρώτη σειρά δειγματοληψιών (8/11/83) και στη συνέχεια περιορίστηκαν σε 8 θέσεις, (βλ. σχ.16).

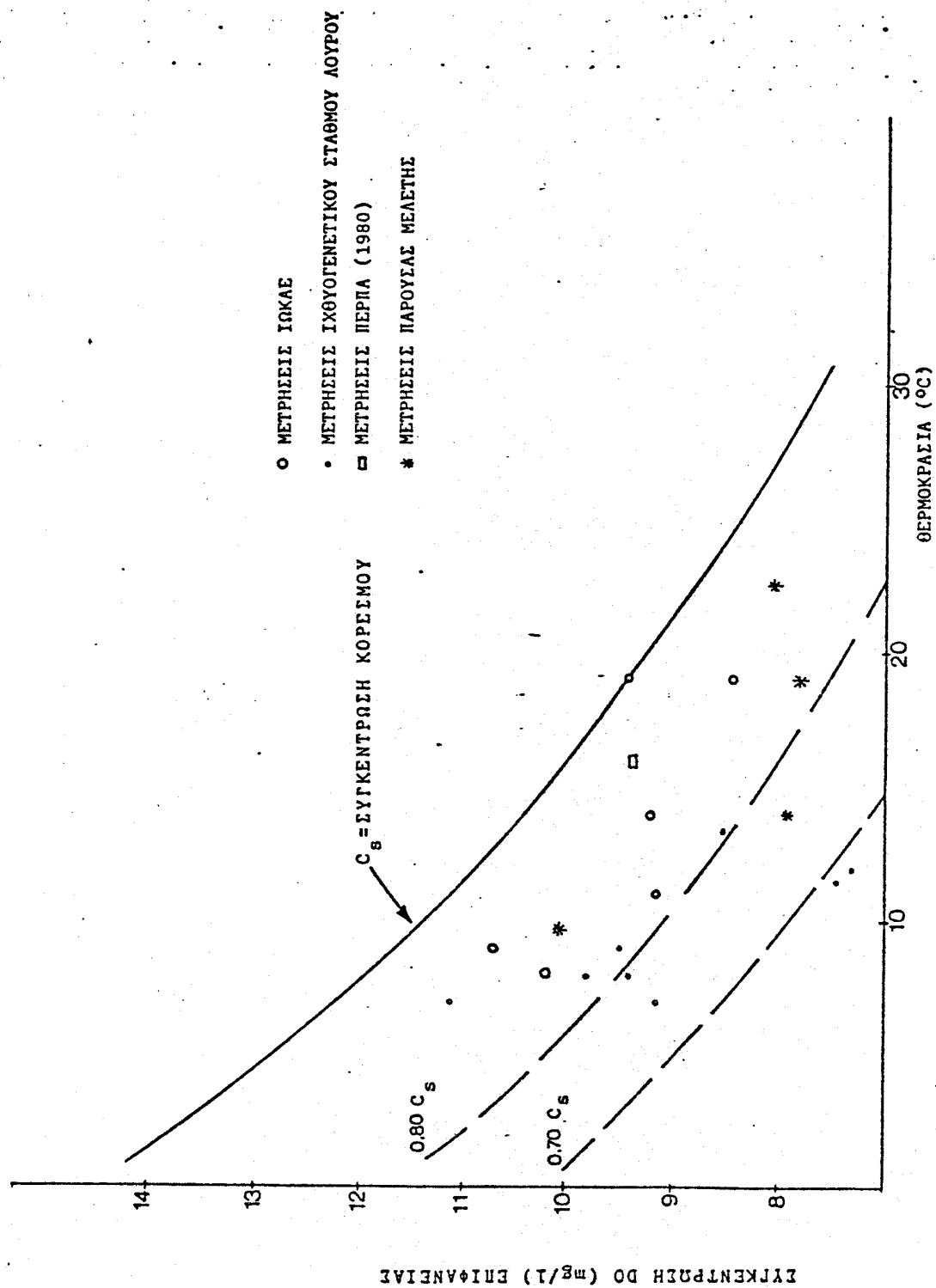
9.2.3 Εκτίμηση υπάρχουσας κατάστασης

9.2.3.1 Διαλυμένο οξυγόνο

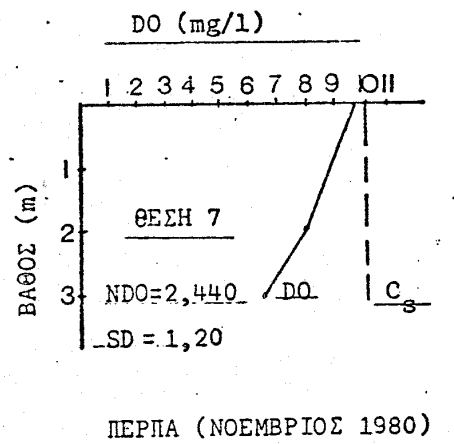
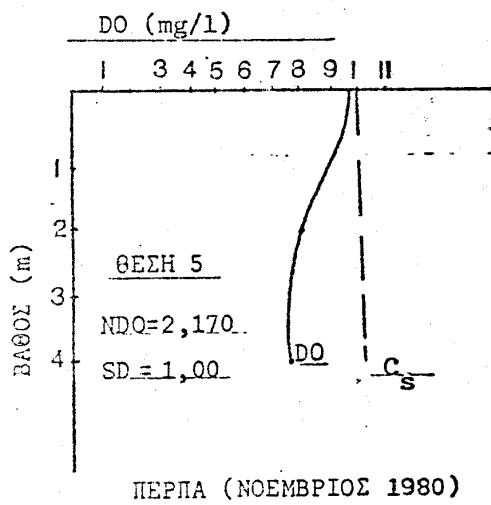
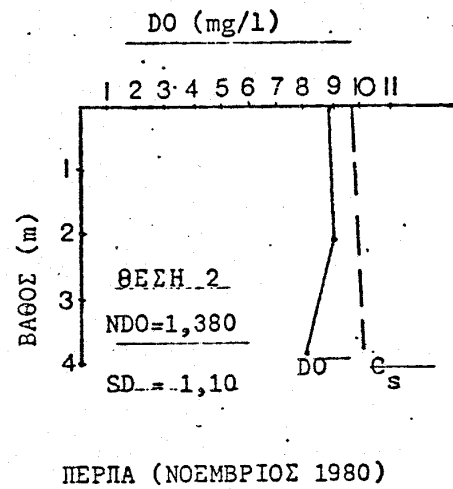
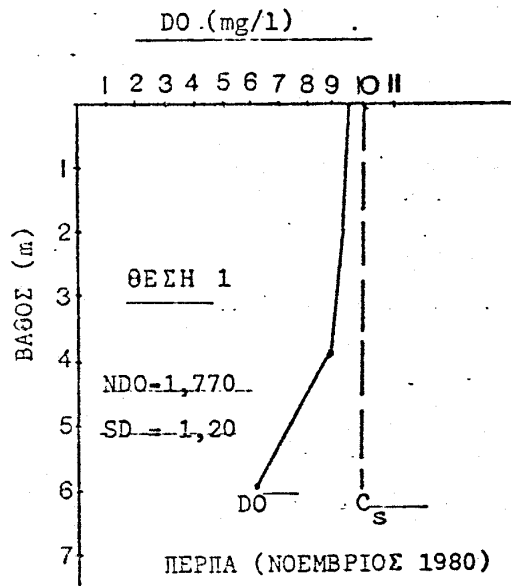
Οι επιφανειακές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου είναι γενικά μεγάλες (βλ. Σχήμα 7) και κατά κανόνα υπερβαίνουν το 70% της τιμής κορεσμού. Οριζοντιογραφικά οι τιμές δεν μεταβάλλονται σημαντικά, ενώ σε σχέση με το βάθος, μειώνονται κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, (Σχ. 8,9,16). Το έλλειμμα καθαρού οξυγόνου (NDO) βρέθηκε να κυμαίνεται από 0,900 μέχρι 4,610 με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται κατά κανόνα την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών. Μετρήσεις της ημερήσιας διακύμανσης του διαλυμένου οξυγόνου στην επιφάνεια της λίμνης υποδηλώνουν την ύπαρξη εύτροφισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Σχήματα 10 και 11α,11β,11γ), ενώ κατ'αντιστοιχία εμφανίζεται διακύμανση της τιμής του pH και του CO₂. Ενδεικτική είναι επίσης η σύγκριση των σχημάτων 11α, 11β και 11γ. Στην περίπτωση του σχήματος 11α δεν παρουσιάζεται διακύμανση του DO και η μετρηθείσα τιμή χλωροφύλλης είναι 1 μg/l, ενώ στην περίπτωση των σχημάτων 11β και 11γ οι αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης (5 μg/l και 40 μg/l) συνοδεύονται από διακύμανση της τιμής του DO και του pH.

9.2.3.2 Οργανικές ουσίες

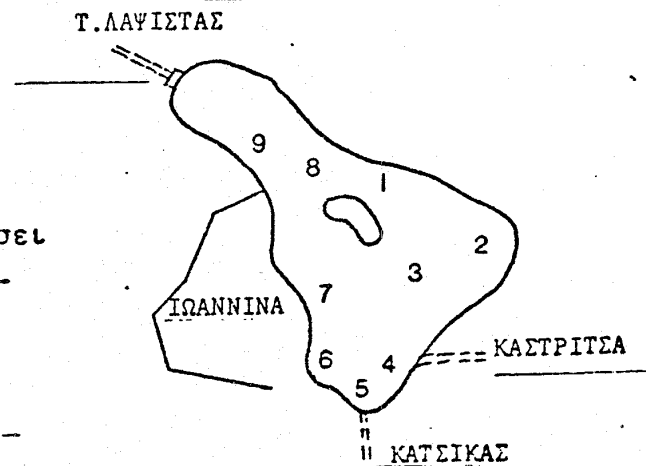
Μετρήσεις BOD₅ και COD σε διάφορες θέσεις της λίμνης έχουν γίνει κατά την περίοδο 1976-1981 από το ΠΕΡΠΑ και το Εργαστήριο Φυσιολογίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 4. Από τα αποτελέσματα φαίνονται αυξημένες συγκεντρώσεις την περίοδο 1977-1979 τόσο ως προς BOD₅ όσο και ως προς COD που μειώνονται κατά τα επόμενα έτη 1980-1981 και διατηρούνται



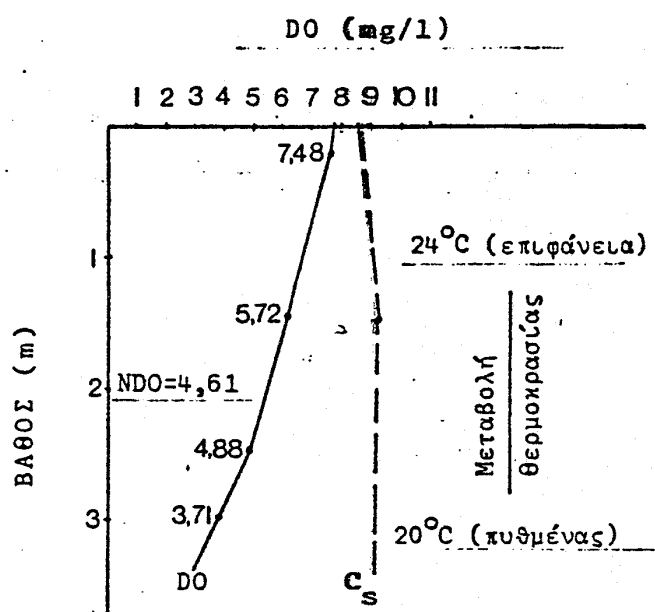
Σχ. 7 Ποσοστό κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου στη λίμνη.



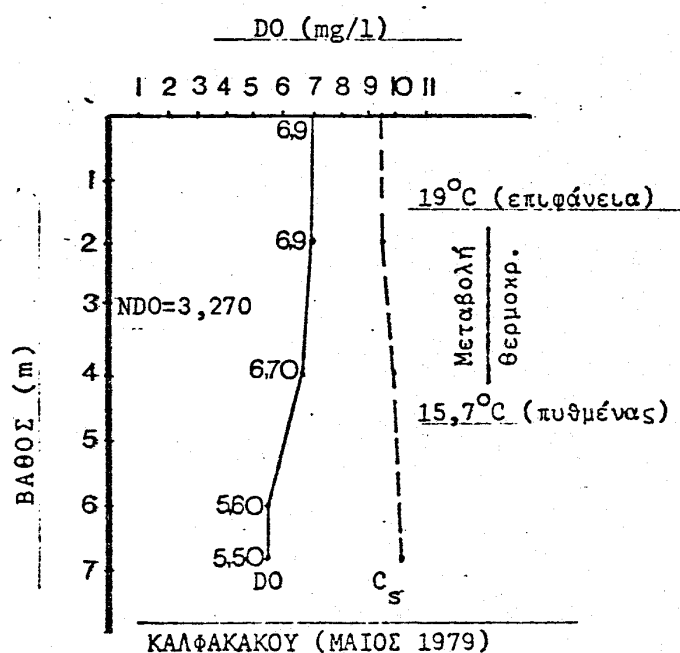
Σχ. 8α Κατανομή DO συναρτήσει του βάθους (προηγούμενες μελέτες)



ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΠΕΡΠΑ

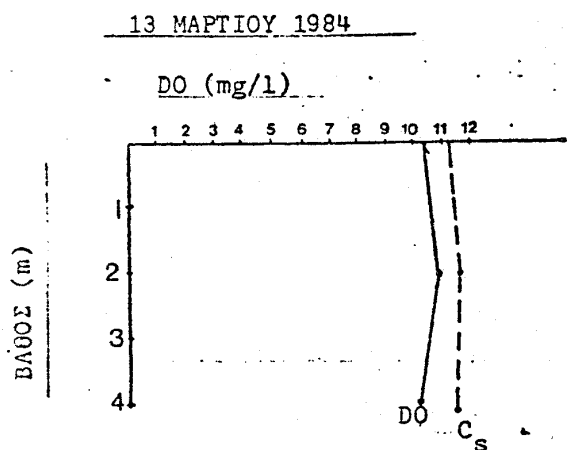


ΙΧΘΥΟΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΟΥΡΟΥ (5 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1982)



ΚΑΛΦΑΚΑΚΟΥ (ΜΑΙΟΣ 1979)

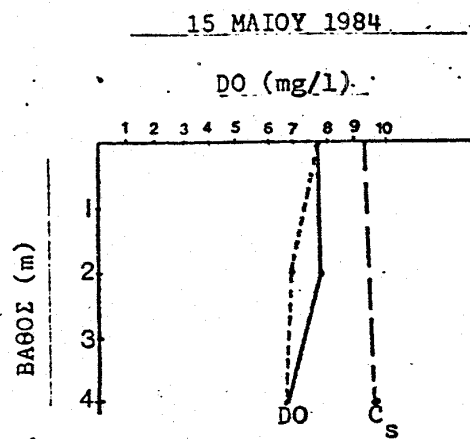
Σχ. 8B Κατανομή DO συναρτήσει του βάθους(προηγούμενες μελέτες)



— ΘΕΣΗ 11

NDO = 0,900

ΣΥΓΚΕΝΤΡ.ΧΛΩΡΟΦ. a = 1 µg/l



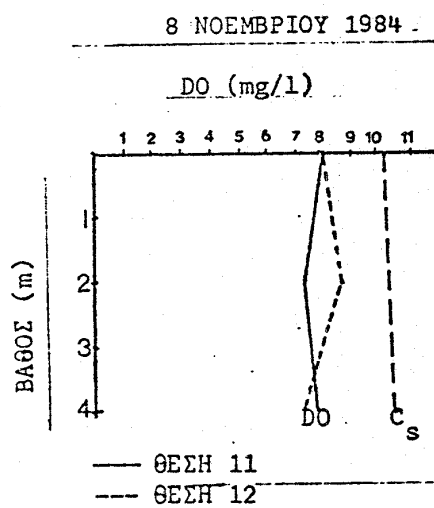
— ΘΕΣΗ 11

--- ΘΕΣΗ 12

NDO (ΘΕΣΗ 11) = 2,175

NDO (ΘΕΣΗ 12) = 2,600

ΣΥΓΚΕΝΤΡ.ΧΛΩΡΟΦ. a = 4-7 µg/l



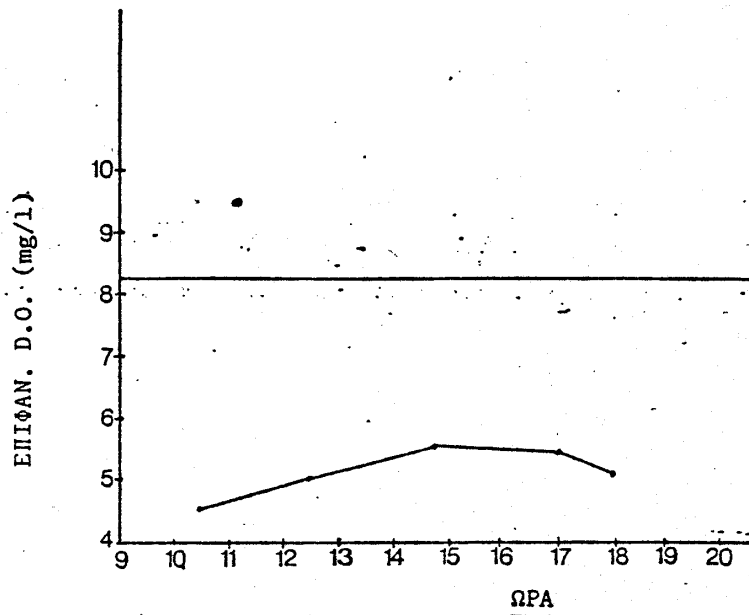
— ΘΕΣΗ 11

--- ΘΕΣΗ 12

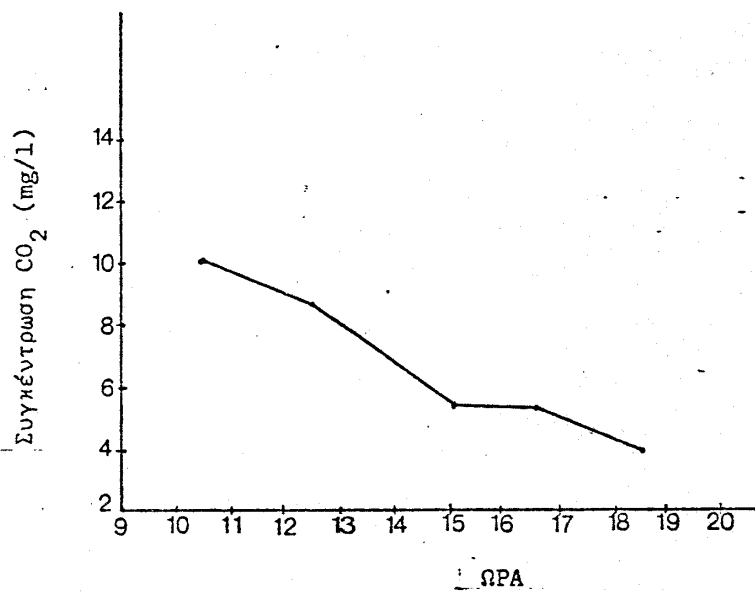
NDO (ΘΕΣΗ 11) = 2,550

NDO (ΘΕΣΗ 12) = 2,150

Σχ. 9 Κατανομή DO συναρτήσει του βάθους (παρούσα μελέτη).



ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΦ. D.O.

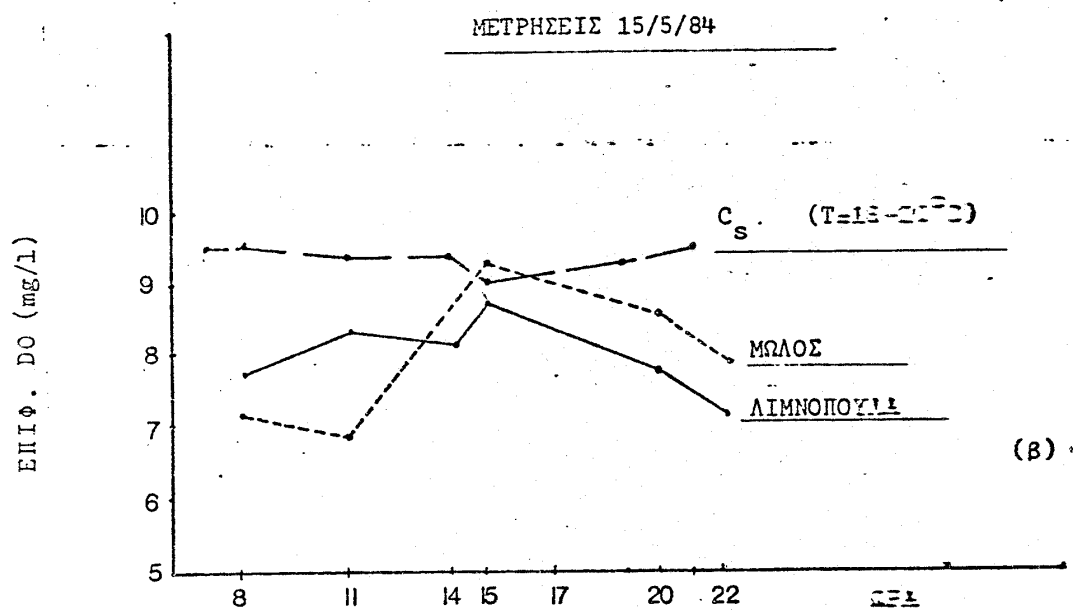
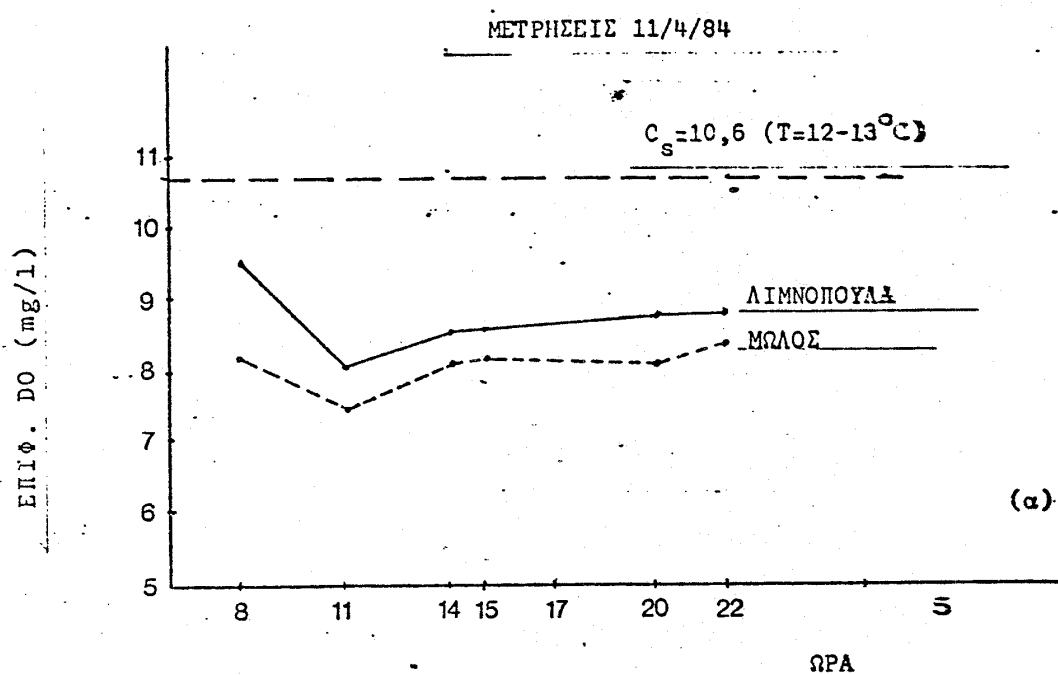


ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ CO_2

ΩΡΑ	pH
10:30	6,5
12:30	6,5-7,0
15:00	7,0
16:30	7,0
18:30	7,0-7,5

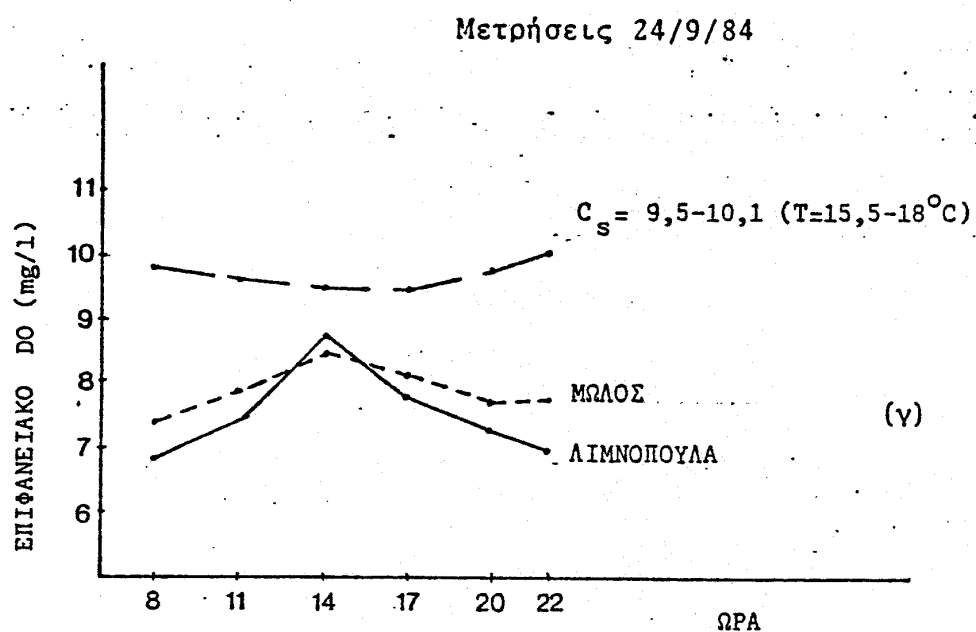
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ pH

Σχ. 10 Ημερήσιες μεταβολές DO, CO_2 και pH (μετρήσεις Ιχθυογενετικού Σταθμού Λούρου) (15/8/81).



Σχ. 11 Ημερήσιες μεταβολές DO και pH σε δύο θέσεις της λίμνης (μετρήσεις παρούσας μελέτης)

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ pH (15.5.84)		
ΩΡΑ	ΛΙΜΝΟΠΟΥΛΑ	ΜΩΛΟΣ
8	7,0	7,4
11	7,0	7,3
14	7,0	8,0
15	7,0	7,7
20	7,0	7,4
22	7,0	7,3



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ pH 24/9/84		
ΩΡΑ	ΛΙΜΝΟΠΟΥΛΑ	ΜΩΛΟΣ
8	8,3	8,1
11	8,5	8,3
14	8,2	8,4
17	8,2	7,7
20	8,3	7,9
22	8,4	8,4

Σχ. 11 Ημερήσιες μεταβολές DO και pH σε δύο θέσεις της λίμνης (μετρήσεις παρούσας μελέτης).

σε χαμηλά επίπεδα και κατά το 1983-1984 (Πίνακας 5). Σημαντική μεταβολή επίσης παρατηρείται στο λόγο COD/BOD_5 που αυξήθηκε από 2,5-3,5 σε 9-20 τις αντίστοιχες περιόδους. Ο λόγος COD/BOD_5 είναι ενδεικτικός κατά κύριο λόγο του τύπου των λυμάτων (π.χ. COD/BOD_5 1.5-2 για δημοτικά λύματα, ενώ για κτηνοτροφικά και βιομηχανικά λύματα είναι συχνά μεγαλύτερος από 4-5) καθώς επίσης και του βαθμού οξειδωσης της απομένουσας οργανικής ουσίας (επεξεργασία ή οξειδωμένα λύματα έχουν μεγαλύτερους λόγους COD/BOD_5).

Από τις παρατηρήσεις αυτές και από πληροφορίες φαίνεται ότι ένας λόγος που πιθανόν να εξηγεί αυτές τις διαφορές είναι ο περιορισμός των παράνομων κατά κανόνα διοχετεύσεων των λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων στη λίμνη. Ενισχυτικό αυτής της άποψης αποτελεί ο τρόπος μεταβολής της τοπικής κατανομής τόσο του BOD_5 όσο και του COD . Έτσι ενώ κατά την περίοδο των υψηλών συγκεντρώσεων (1977-1979) οι συγκεντρώσεις φαίνονται να είναι υψηλότερες προς την πλευρά της πόλης (Σχήματα 12 και 14), η κατανομή συγκεντρώσεων είναι σχεδόν ομοιόμορφη κατά τα επόμενα έτη (σχ. 13 και 15).

Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι κατά την περίοδο 1977-1979, σύμφωνα με παρατηρήσεις των ερευνητών Φριλίνγκου και Κουσουρλή, και κυρίως κατά την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών εμφανίστηκαν χαμηλές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα της λίμνης.

Οι παρατηρούμενες σήμερα τιμές BOD_5 κυμαίνονται γενικώς από 0,5-6,0 mg/l. Οι τιμές αυτές δεν είναι υψηλές σε απόλυτη βάση, είναι όμως υψηλές σε σύγκριση με τα εισερχόμενα στη λίμνη φορτία (κυρίως από τις χοιροτροφικές μονάδες και τα σφαγεία). Δεχόμενοι τα φορτία αυτά (150-250 tn/έτος BOD_5) και με παραδοχή πλήρους μίξης (πράγμα που φαίνεται αρκετά θεμιτό αν ληφθεί υπόψη η ομοιόμορφη κατανομή των οργανικών ουσιών τόσο επιφανειακά όσο, και στις περισσότερες περιπτώσεις, με το βάθος), για χρόνο παραμονής 0,79 έτη, και για

τυπικές τιμές σταθερών βιοδιάσπασης για χοιροτροφικά λύματα, ή προκύπτουσα μέση συγκέντρωση BOD_5 θα έπρεπε να είναι μικρότερη από τη μετρηθείσα.

Η πιθανή εξήγηση οφείλεται στη συνεισφορά σε BOD_5 και COD των αλγών που βρίσκονται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις, κυρίως κατά τους θερμούς μήνες.

Η συσχέτιση μεταξύ BOD_5 (0,5-6,0 mg/l) και διαλυμένου οξυγόνου, (που κατά τα τελευταία χρόνια κατά κανόνα δεν παρουσιάζει σημαντική μείωση με το βάθος και κυμαίνεται από 70-80% της τιμής κορεσμού), φαίνεται λογική. Σημειώνεται ότι για λίμνες, ο συντελεστής επαναερισμού εκτιμάται σε $f(=k_2 \frac{A}{V}) = 4-5$, και αυτό συνεπάγεται τη συσχέτιση BOD_5 και ελλείμματος DO περίπου 1:1, για τα δεδομένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λίμνης. Για τις εκτιμήσεις αυτές δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες της νιτροποίησης αφενός και του εμπλουτισμού με οξυγόνο λόγω της φωτοσυνθετικής δράσης των αλγών, ενώ αφετέρου δεν αναμένεται ότι η συνδυασμένη επίδραση των δύο αυτών αντισταθμιζόμενων παραγόντων είναι σημαντική.

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις BOD_5 , οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η διάθεση στη λίμνη (με κατάλληλο τρόπο που να επιτυγχάνει ικανοποιητική διασπορά των βιολογικά επεξεργασμένων λυμάτων της πόλεως των Ιωαννίνων και που θα διπλασιάσει περίπου τη σημερινή οργανική φόρτιση της λίμνης, για βαθμό καθαρισμού 90%), δεν θα επιφέρει σημαντική αύξηση του BOD_5 και του COD ή ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου.

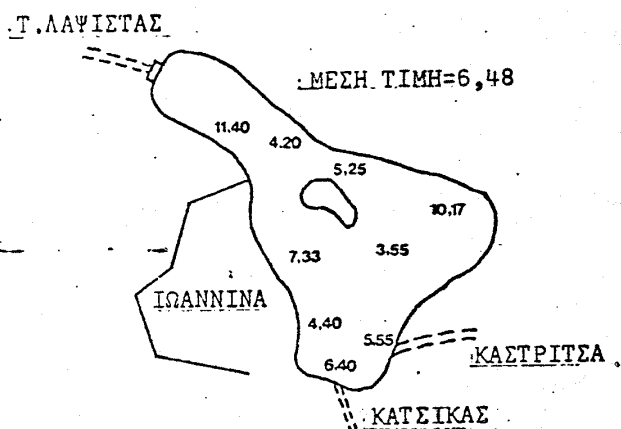
Έμμεση και μάλιστα σημαντική επίδραση στις παραμέτρους αυτές είναι εντούτοις δυνατόν να προκληθεί από τη διάθεση των λυμάτων, λόγω της εισαγωγής με αυτά σημαντικών ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών (κυρίως P) και του συνεπαγόμενου κινδύνου έντονου ευτροφισμού της ήδη ευαίσθητης, από την άποψη αυτή, λίμνης. Ενδεικτικές της επίδρασης του ευτροφισμού στο BOD_5 , είναι οι μετρήσεις της 12ης Σεπτεμβρίου 1984 και κυρίως στις

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Υπόχρουσες μετρήσεις BOD₅ και COD στη λίμνη Ιωαννίνων (προηγούμενες μελέτες).

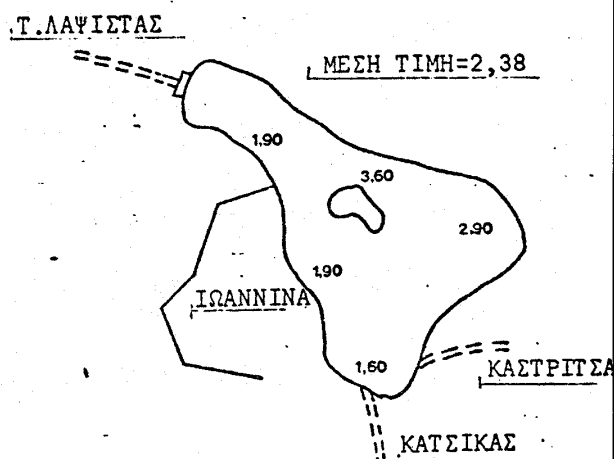
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	BOD (mg/l)			COD (mg/l)			ΥΠΗΡΕΣΙΑ
	Μέση τιμή	Διακύμανση τιμών	Αρ. θέσεων δειγμάτων.	Μέση τιμή	Διακύμανση τιμών	Αρ. θέσεων δειγμάτων.	
Ιανουάριος 1977	9,25	5,00-14,00	4	21,50	14,00-28,00	4	ΠΕΡΠΑ
Απρίλιος 1977	4,93	0,80-14,60	9	18,00	4,00-45,00	9	"
Αύγουστος 1977	15,00	4,00-21,00	3	49,00	8,00-98,00	8	"
Δεκέμβριος 1977	-	-	-	54,00	22,00-87,00	9	"
Ιούνιος 1978	5,68	4,70-6,70	9	40,88	15,00-81,00	9	"
Ιούλιος 1979	-	-	-	18,11	6,80-41,80	9	"
Νοέμβριος 1980	2,38	1,60-3,60	5	18,00	11,00-24,00	5	"
Ιούνιος 1981	3,05	1,00-5,00	15	-	-	-	ΕΡΓ.ΦΥΣΙΟΛΟ- ΓΙΑΣ ΙΑΝ. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Μετρήσεις BOD₅ και COD στη λίμνη Ιωαννίνων (παρούσα μελέτη)

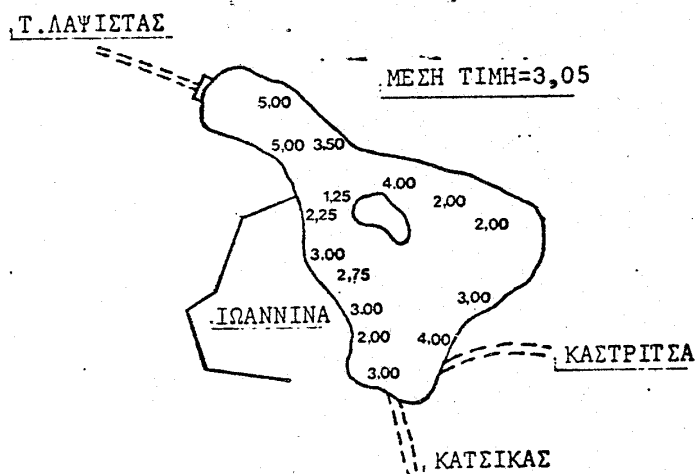
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	BOD (mg/l)			COD (mg/l)		
	Μέση τιμή	Διακύμανση Τιμών	Αρ. Θέσεων δειγματολ.	Μέση τιμή	Διακύμανση τιμών	Αρ. Θέσεων δειγματολ.
Νοέμβριος 1983	0,50	0,10-1,00	15	13,81	5,30-20,90	15
Μάρτιος 1984	2,17	1,60-2,70	8	-	-	-
Μάιος 1984	1,52	1,20-2,20	8	26,62	17,00-33,00	8
Σεπτέμβριος 1984	2,82	1,30-5,90	8	25,12	3,00-68,00	8



ΠΕΡΗΑ (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1977-ΙΟΥΝΙΟΣ 1978)

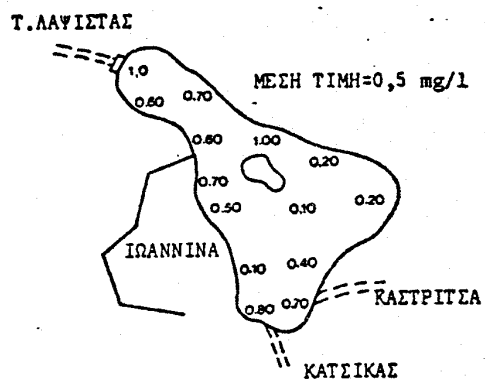


ΠΕΡΗΑ (ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1980)

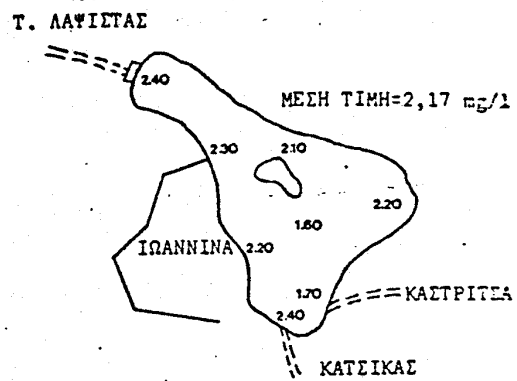


ΕΡΓΑΣΤ.ΦΥΣΙΟΛ.ΠΑΝ/ΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ (ΙΟΥΝΙΟΣ 1981)

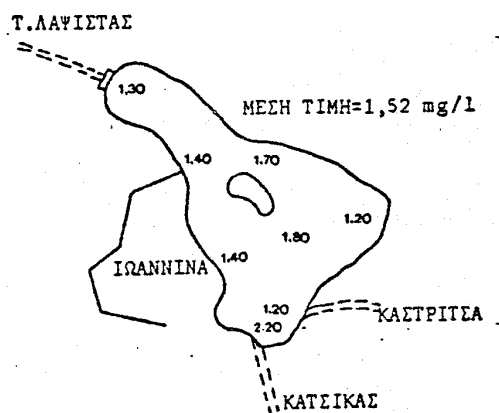
Σχ. 12 Τοπική κατανομή BOD_5 (σε mg/l) στη λίμνη, (προηγούμενες μελέτες).



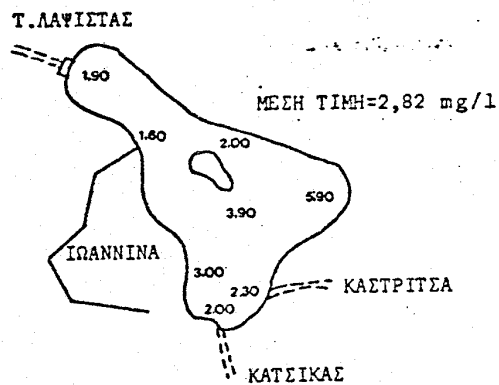
8 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1983



13 ΜΑΡΤΙΟΥ 1984



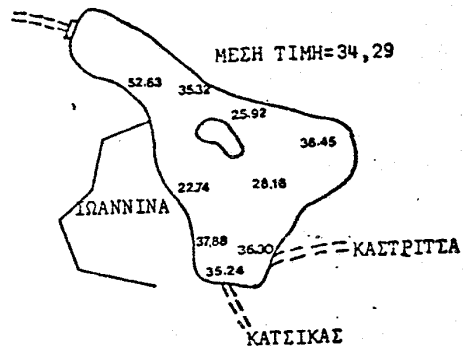
11 ΜΑΙΟΥ 1984



12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1984

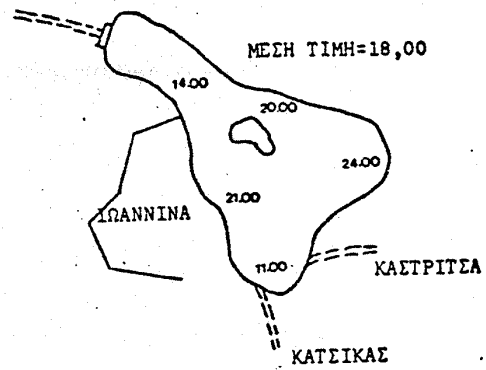
Σχ. 13 Τοπική κατανομή BOD_5 (σε mg/l) στη λίμνη
(παρούσα μελέτη)

Τ.ΛΑΒΙΣΤΑΣ



ΠΕΡΠΑ (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1977-ΙΟΥΛΙΟΣ 1979)

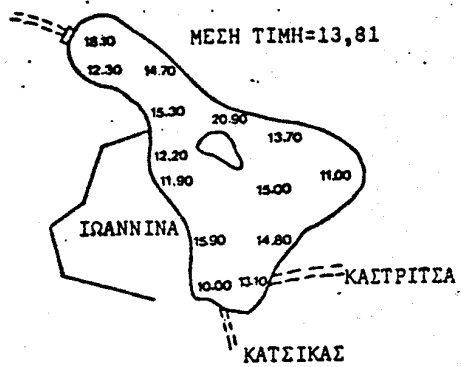
Τ.ΛΑΒΙΣΤΑΣ



ΠΕΡΠΑ (ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1980)

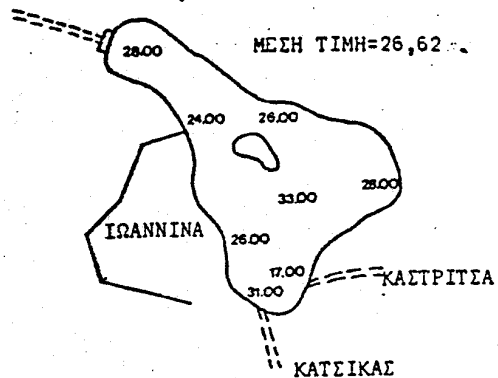
Σχ. 14 Τοπική κατανομή COD (σε mg/l) στη λίμνη (προηγούμενες μελέτες).

Τ. ΛΑΥΣΙΣΤΑΣ



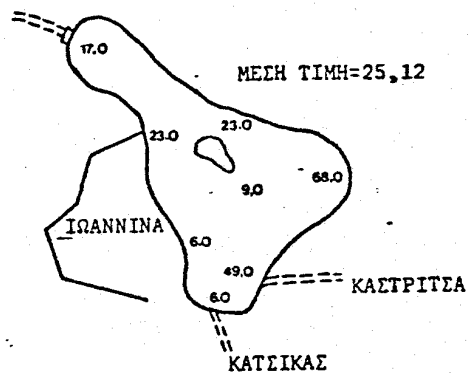
8 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1983

Τ. ΛΑΥΣΙΣΤΑΣ



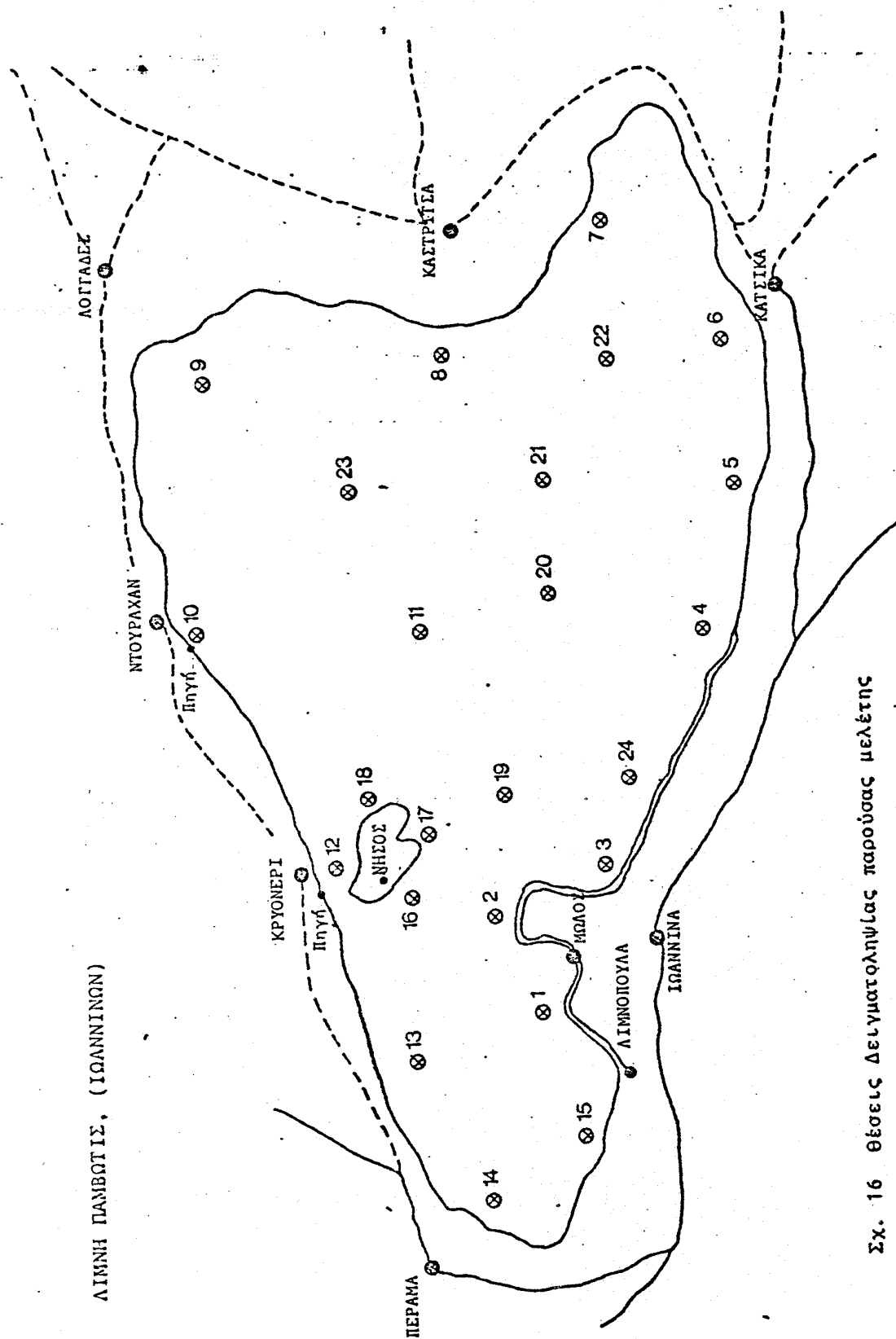
11 ΜΑΙΟΥ 1984

Τ. ΛΑΥΣΙΣΤΑΣ



12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1984

Σχ. 15 Τοπική κατανομή COD (σε mg/l) στη λίμνη (παρούσα μελέτη).



Σχ. 16 Θέσεις Δειγματοληψίας παρούσας μελέτης

θέσεις 9 και 11, όπου οι παρατηρούμενες συγκριτικά υψηλές τιμές του BOD_5 (5,9 και 3,9 mg/l αντίστοιχα) συνοδεύονται από υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης (126 και 107 $\mu\text{g/l}$ αντίστοιχα) και υπερκορεσμό με οξυγόνο των επιφανειακών στρωμάτων (115% και 105% αντίστοιχα) λόγω της φωτοσύνθεσης. Φαίνεται επομένως πιθανό ότι σημαντικό ποσοστό των οργανικών ουσιών στη λίμνη αποτελείται από πρωτόπλασμα αλγών.

9.2.3.3. Άζωτο

Είσοδος αζώτου στη λίμνη πραγματοποιείται τόσο από σημειακές όσο και από μη σημειακές πηγές.

- α) Σημειακές πηγές: από την απογραφή της ζώνης Α (κεφάλαιο 7) προκύπτει;

Χοιροστάσια	73,73 tn/έτος
Σφαγεία	6,20 tn/έτος
Νοσοκομείο	7,30 tn/έτος
Σύνολο Σ.Π.	87,23 tn/έτος

- β) Μη σημειακές πηγές: με βάση τις χρήσεις γης του λεκανοπεδίου και τους συντελεστές του Πίνακα 1 της παραγρ. 9.1 προκύπτει

Χρήση γής	Έκταση (km^2)	Συντελ.Εξαγωγής (tn/km^2)	Φορτίο
Αστικές περιοχές	3,5	* 0,50	= 1,75 tn/έτος
Καλλιεργ. γη	10,0	* 8,00	= 80,00 tn/έτος
Λοιπές εκτάσεις	345,0	* 0,40	=138,00 tn/έτος
Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	22,0	* 2,00	= 44,00 tn/έτος
ΣΥΝΟΛΟ Μ.ΣΠ.			=263.75 tn/έτος

Συνολική φόρτιση αζώτου = $87,23 + 263,75 = 350,980$ tn/έτος.

Μετρήσεις αζώτου (NH_4 , NO_3 , NO_2) έχουν γίνει από το ΙΩΚΑΕ κατά την περίοδο 1975-1977, από το ΠΕΡΠΑ το Νοέμβριο του 1980, τον ιχθυογενετικό σταθμό του Λούρου, κατά την περίοδο 1981-1982 και στα πλαίσια της παρούσας μελέτης το Μάρτιο, Μάιο και Σεπτέμβριο του 1984. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών φάνινονται συνοπτικά στον πίνακα 6.

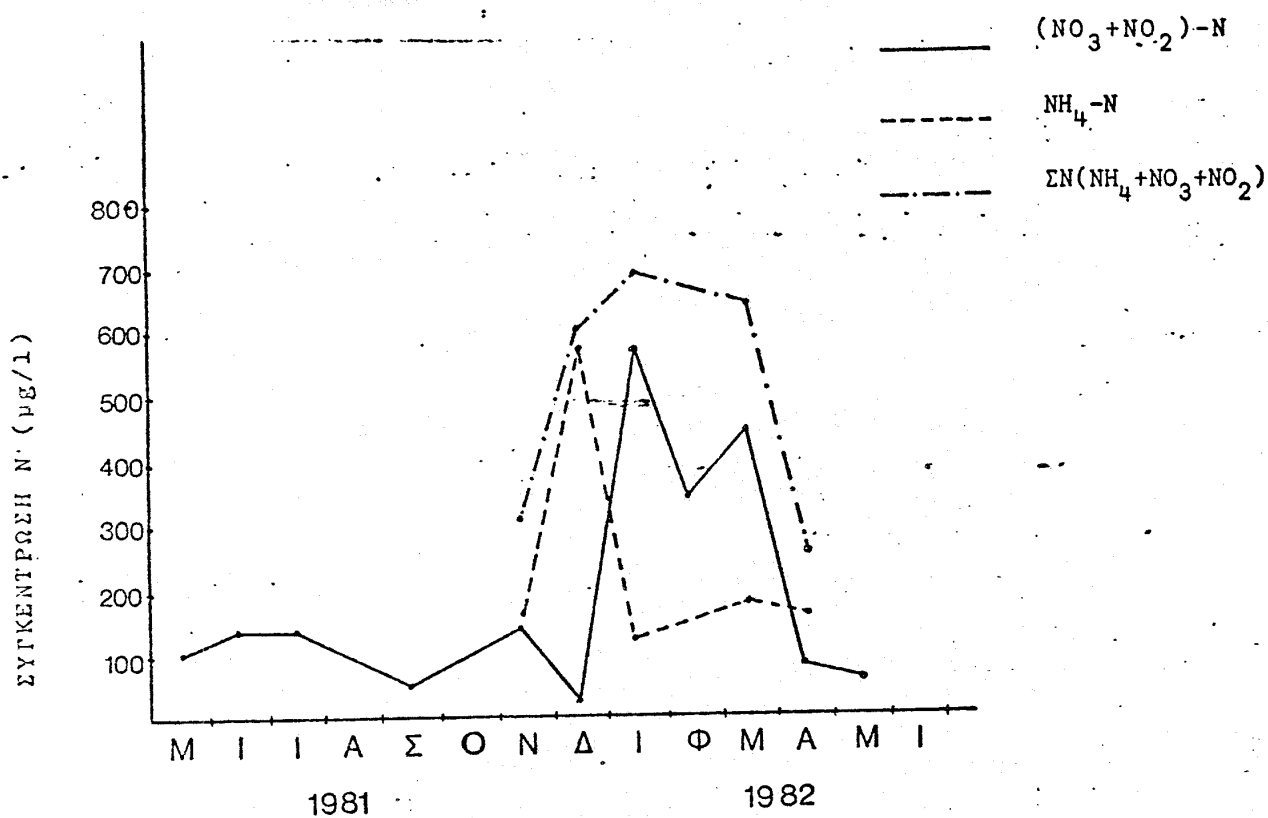
Από τις μετρήσεις αυτές γίνεται φανερό ότι κατά τα τελευταία δέκα χρόνια έχει επέλθει σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης όλων των μορφών του αζώτου (πενταπλασιασμός ή ίσως και παραπάνω). Περίπου 60-80% του ανόργανου αζώτου βρίσκεται με τη μορφή οξειδωμένων μορφών (NO_3 , NO_2), γεγονός που σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στις εισροές από τις αρδευόμενες περιοχές, στις οποίες το ανόργανο άζωτο βρίσκεται σχεδόν καθ'ολοκληρίαν σε οξειδωμένη μορφή. Ενδεικτική είναι η μέτρηση που έγινε στις 3 Απριλίου 1984 στο αντλιοστάσιο επαναφοράς των υγρών των στραγγιστικών τάφρων της περιοχής της Καστρίτσας, στην οποία βρέθηκαν οι εξής συγκεντρώσεις: $\text{NO}_3\text{-N} = 1058,0 \text{ } \mu\text{g/l}$, $\text{NO}_2\text{-N} = 10,9 \text{ } \mu\text{g/l}$ και $\text{NH}_4^+\text{-N} = 28 \text{ } \mu\text{g/l}$. Ενδεικτική επίσης είναι η εμφάνιση σε όλες τις μετρήσεις γενικά υψηλότερων ποσοστών (οξειδωμένου/ολικό ανόργανο άζωτο) στις περιοχές της λίμνης που βρίσκονται κοντά σε αρδευόμενες περιοχές (Καστρίτσα, Λογγάδες), ενώ οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα σε όλη τη λίμνη.

Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων αζώτου σε συνάρτηση με το βάθος δεν είναι γενικά μεγάλες και οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται περί τα 200-400 $\mu\text{g/l}$. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά υψηλές και χαρακτηρίζουν μεσοτροφικές έως ευτροφικές λίμνες. Εποχιακά παρουσιάζεται σοβαρή μείωση των συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου στη λίμνη, σε συνάρτηση με το βάθος (σχ. 17, πίνακας 7) που μπορεί να φτάσουν μέχρι μηδενισμού των νιτρικών κοντά στον πυθμένα (μετρήσεις Ιχθυογενετικού σταθμού 30/8/82 και 5/10/82), όταν η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πέσει σε χαμηλά επίπεδα. Οι μεταβολές αυτές είναι ενδεικτικές

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Μετρήσεις αζώτου στη λίμνη Ιωαννίνων

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	NO ₃ -N (μg/l)		NO ₂ -N (μg/l)		NH ₄ -N (μg/l)		ΣΝ (μg/l)		(NO ₂ +NO ₃) ^{-N} /ΣΝ	
	M.T.	ΔΙΑΚ.	M.T.	ΔΙΑΚ.	M.T.	ΔΙΑΚ.	M.T.	ΔΙΑΚ.	M.T.	ΔΙΑΚ.
(ΙΟΚΑΕ) Κουσουράλης, Φριλιάνκος (1975-1977)	24,00	7,1-56,5	2,20	1,1-5,5	27,32	16,4-33,6	53,52	30,5-95,6	0,49	0,25-0,65
ΠΕΡΙΑ Νοέμβριος 1980	60,40	48-74	10,70	6,0-13,5	-	-	468*	240-750*	0,174*	0,10-0,25*
ΙΝΘΥΟΙΤΕΝΕΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΟΣ ΛΟΥΡΟΥ 1981-1982	174	44-490	33,50	5,0-81,0	217	98-578	497	252-685	0,60	0,02-0,84
ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ:										
Μάρτιος 1984	207	95-393	7,39	6,4-9,6	54	40-86	268,4	156,4-485	0,80	0,60-0,90
Μάιος 1984	177,50	87-317	6,11	5,1-8,3	52,50	41-88	236,11	141-374	0,78	0,68-0,88
Σεπτέμβριος 1984	184,75	79-265	6,70	4,3-9,2	55,62	40-71	247,07	142,3-309,3	0,77	0,59-0,87

*ΣΝ: Kjeldahl Nitrogen



Σχ. 17 Μετρήσεις Ιχθυογενετικού Σταθμού Λούρου

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μεταβολή $\text{NO}_3 - \text{N}$ συναρτήσει του βάθους της λίμνης (παρούσα μελέτη)

Θέση 11

13/3/84		11/5/84	
Βάθος	$\text{NO}_3 - \text{N}$	Βάθος	$\text{NO}_3 - \text{N}$
0	246	0	218
2	157	2	126
4	145	4	113

της σημαντικής απονιτροποίησης που παρατηρείται εποχιακά στη λίμνη και που εξηγεί τις μικρές συγκεντρώσεις αζώτου που παρατηρούνται σε σχέση με τη φόρτιση της λίμνης με άζωτο (περίπου 350 tn/έτος). Χαρακτηριστική είναι η διαφοροποίηση που παρατηρείται στην τάφρο της Λαψίστας, που δέχεται περίπου 200 tn/έτος N από σημειακές και μη σημειακές πηγές, και όπου οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις του N (θεωρούμενου ως συντηρητικού ρύπου) δεν διαφέρουν πάρα πολύ από τις μετρηθείσες ($\approx 1.500 \mu\text{g/l}$ και $836 \mu\text{g/l}$ αντίστοιχα).

Κατά τις περιόδους έντονης απονιτροποίησης παρατηρούνται μικροί λόγοι οξειδωμένου N/ολ. ανόργανο άζωτο ($0,10-0,30$) και SN/P ($0,6-4,0$) και συνεπώς πιθανολογείται ότι το άζωτο στις περιπτώσεις αυτές αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης των αλγών. Χαρακτηριστικές είναι επίσης οι υψηλές τιμές συγκεντρώσεων φωσφόρου που παρατηρούνται κατά τα ίδια χρονικά διαστήματα, (σχ. 17,18).

Συγκέντρωση ελεύθερης (μη ιονισμένης) αμμωνίας μεγαλύτερη από $25 \mu\text{g/l}$ θεωρείται τοξική για τα ψάρια. Το pH της λίμνης κυμαίνεται στο διάστημα $6-8,5$ και η θερμοκρασία στο διάστημα $10-25^\circ\text{C}$. Αν δεχθούμε τις ακραίες τιμές $\text{pH}=8,5$ και $T=25^\circ\text{C}$ ως κρίσιμες προκύπτει ότι η άνω μέγιστη συγκέντρωση ελεύθερης αμμωνίας απαιτεί μέγιστη συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου $500 \mu\text{g/l}$. Η μέγιστη παρατηρηθείσα συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου είναι $88 \mu\text{g/l}$.

9.2.3.4 Φωσφόρος

Η σοβαρότητα με την οποία ερευνώνται οι είσοδοι φωσφόρου οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί συνήθως την κινητήρια δύναμη του ευτροφισμού των λιμνών. Οι σημαντικότερες σημερινές πηγές φωσφόρου είναι οι ακόλουθες:

α) Σημειακές πηγές: Στην περιοχή δεν υπάρχουν σοβαρές ρυπαίνουσες βιομηχανίες. Την πλειοψηφία αποτελούν οι χοιροτροφικές μονάδες και οι βιομηχανίες τροφίμων (σφαγεία, γαλακτοκομεία κλπ.). Η απογραφή των σημειακών πηγών ρύπανσης της λίμνης (κεφ. 7) δείχνει ότι για τη Ζώνη Α, η οποία έχει σαν αποδέκτη τη λίμνη, οι κυριότερες σημειακές πηγές τροφοδότησης της λίμνης με Ρ είναι:

Πηγές	Φωσφόρος, Ρ (tn/έτος)
Χοιροστάσια	7,30
Σφαγεία	-
Νοσοκομεία	1,160
Σύνολο	8,460 tn/έτος

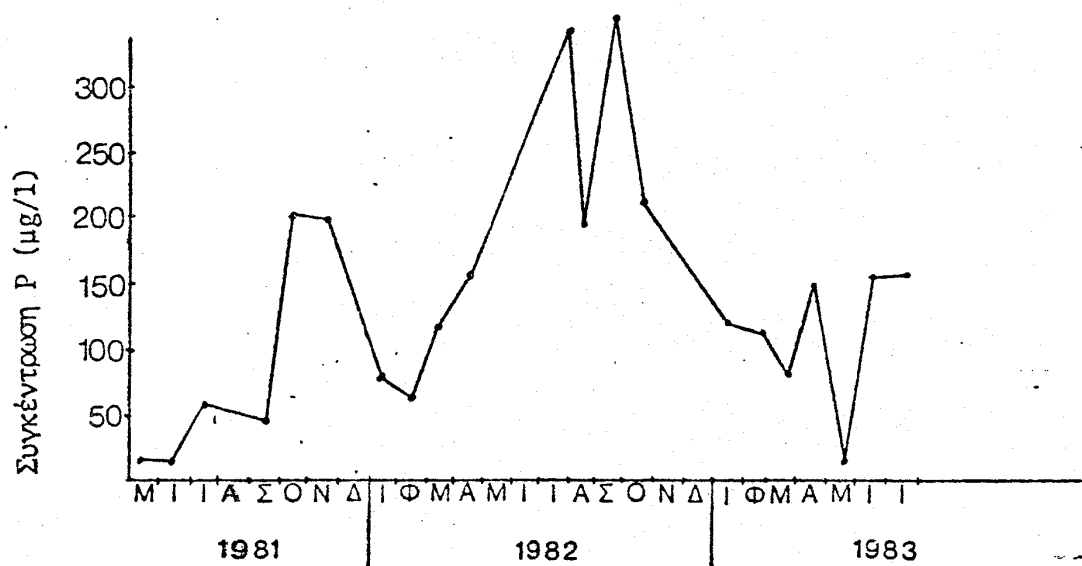
β) Μη σημειακές πηγές: Οι κυριότερες μη σημειακές πηγές τροφοδότησης σε Ρ σχετίζονται με αγροτικές δραστηριότητες, φυσικά φαινόμενα (ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις) και διάφορες επιφανειακές απορροές. Στην πεδιάδα των Ιωαννίνων που καλλιεργούνται κυρίως μηδική, αραβόσιτος, κηπευτικά, καπνός και σιτηρά, την περίοδο 1963-77 χρησιμοποιήθηκαν λιπάσματα με τα πιο κάτω λιπαντικά στοιχεία σε τόννους: άζωτο (N) 4078, φωσφόρος (P) 2114. Κατά πληροφορίες, το 1982 οι αντίστοιχες ετήσιες ποσότητες ήταν 505 tn και 455 tn.

Με τη βοήθεια του πίνακα 1 της παραγρ. 9.1, οι ετήσιες ποσότητες Ρ που απορρέουν στη λίμνη εκτιμώνται ως εξής:

έκταση (km ²) × συντελεστής (tn/km ² έτος)=Φορτίο					
αστικές περιοχές	3,5	×	0,1	=	0,35 tn/έτος
καλλιεργούμενες εκτάσεις	10,0	×	0,05	=	0,50 "
ακαλλιεργήτη γη	345,0	×	0,01	=	3,45 "
ατμοσφ. κατακρήμν.	22	×	0,025	=	0,55 "
ΣΥΝΟΛΟ					4,850 "

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Μετρήσεις φωσφόρου στη Λίμνη Ιωαννίνων

Χρόνος Μέτρησης	PO ₄ -P (μg/l)		ΣN/P	
	Μ.Τ.	Διακ.	Μ.Τ.	Διακ.
ΙΩΚΑΕ (Κουσ.-Φιλ.) (1975-1977)	11,26	9,6-14,9	4,75	1,2-16,7
ΠΕΡΠΑ (Νοεμβ.1980)	92,20	74-124	5,08	1,9-9,6
ΙΧΘΥΟΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΟΥΡΟΥ 1981-1982	148,12	10-360	3,35	1,60-9,0
ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ:				
Νοέμβριος 1983	87,40	35-214		
Μάρτιος 1984	35,00	11-102	7,65	3,8-14,8
Μάιος 1984	58,34	44-71	4,05	2,6-8,2
Σεπτέμβριος 1984	251,00	203,2-374,0	0,98	0,60-1,60



Σχ. 18 Μετρήσεις Ιχθυογενετικού σταθμού Λούρου

Όπως ήδη αναφέρθηκε η κινητικότητα του φωσφόρου στο έδαφος είναι πολύ μικρή και συνεπώς δεν θα πρέπει να πραγματοποιείται αξιόλογη τροφοδότηση της λίμνης με φωσφόρο από τους βόθρους της πόλης.

Η συνολική φόρτιση της λίμνης με P ισούται με

$8.460 + 4.850 = 13.310$ tn/έτος που αντιστοιχεί σε επιφανειακή φόρτιση

$$L_p = \frac{13.310 \times 10^6}{22 \times 10^6} = 0,60 \text{ gP/m}^2 \text{ έτος.}$$

Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων φωσφόρου που έγιναν από το ΙΩΚΑΕ, το ΠΕΡΠΑ, τον Ιχθυογενετικό σταθμό του Λούρου και στα πλαίσια αυτής της μελέτης, φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 8.

Παρατηρούμε ότι, (όπως και για το άζωτο), παρουσιάζεται ανάλογη αύξηση των συγκεντρώσεων κατά τα τελευταία 10 χρόνια. Οι συγκεντρώσεις είναι ομοιόμορφες σε όλο τον όγκο της λίμνης και υπερβαίνουν το όριο των 35-40 $\mu\text{g/l}$, που χαρακτηρίζει την ύπαρξη μεσοτροφικών ή και ευτροφικών καταστάσεων.

Οι παρατηρούμενες συγκεντρώσεις φωσφόρου βρίσκονται σε γενική συμφωνία με τις αναμενόμενες συγκεντρώσεις για τη δεδομένη φόρτιση της λίμνης. Η συνολική φόρτιση από σημειακές και μη σημειακές πηγές έχει εκτιμηθεί ότι είναι: 13,310 tn/έτος, που ισοδυναμεί με επιφανειακή φόρτιση $L_p = 0,60 \text{ gP/m}^2$ έτος.

Χρησιμοποιώντας τα εμπειρικά μοντέλα των Jones-Backman και Walker (παραγρ. 9.1) οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις P στη λίμνη είναι:

$$\text{Jones-Backman} \Rightarrow P = \frac{0,84 \times L_p}{q_s + 0,65H}$$

όπου L_p = επιφανειακή φόρτιση ($=0,60 \text{ gP/m}^2/\text{έτος}$)

H = μέσο βάθος ($=4,3 \text{ m}$)

$$q_s = \frac{H}{\tau} = \frac{4,3}{0,79} = 5,443 \text{ m/έτος} \quad (\tau = \text{υδραυλικός χρόνος παραμονής})$$

Εφαρμόζοντας τη σχέση Jones-Backman, προκύπτει

$$P = \frac{0,84 \times 0,60}{5,443 + 0,65 \times 4,30} = 61,200 \text{ } \mu\text{gP/l}$$

$$\text{Walker} \Rightarrow P = \frac{L_p}{(0,824H\tau^{-0,546} + q_s)}$$

$$P = \frac{0,60}{0,824 \times 0,79^{-0,546} \times 4,30 + 5,443} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{P = 63,340 \text{ } \mu\text{gP/l}}}$$

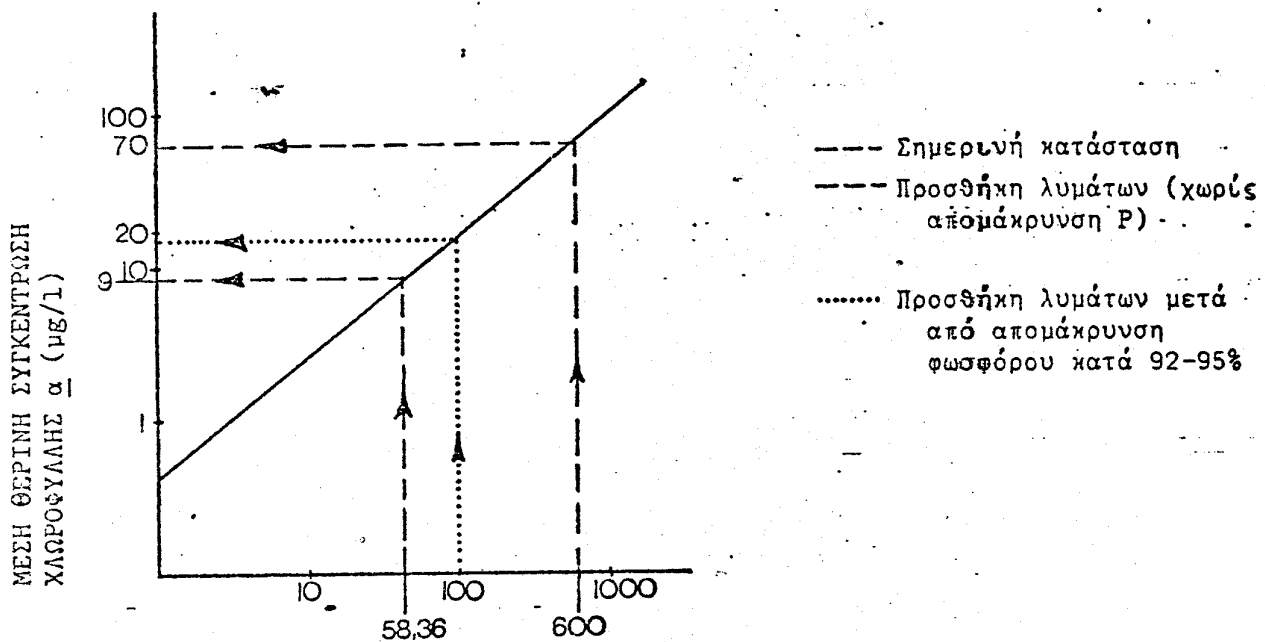
Παρατηρούμε ότι οι προβλέψεις των δύο μοντέλων βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις παρατηρηθείσες τιμές (πίνακας 8) και συνεπώς είναι θεμιτό να χρησιμοποιήσουμε τις δύο αυτές σχέσεις για την πρόβλεψη των μελλοντικών συγκεντρώσεων φωσφόρου.

9.2.3.5 Χλωροφύλλη - Διαφάνεια

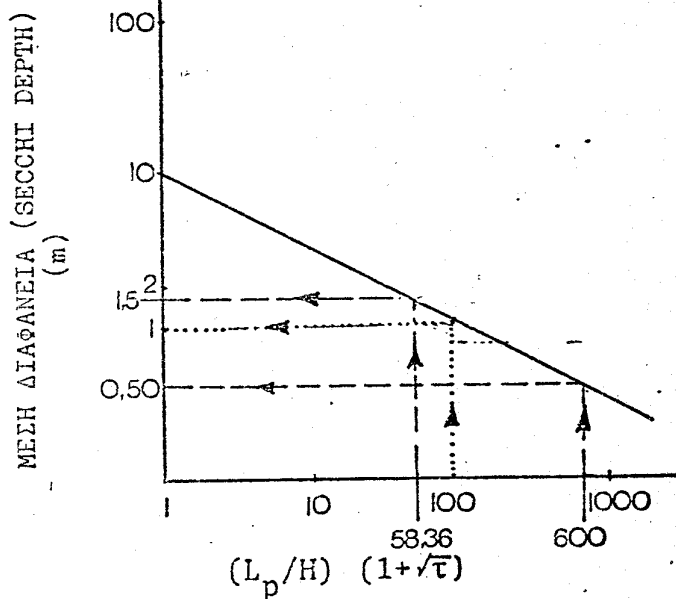
Για φόρτιση $L_p = 0,60 \text{ g/m}^2$ προκύπτει ότι:

$$(L_p/H)/(1+\sqrt{\tau}) = 58,36 \text{ mgP/m}^3$$

Χρησιμοποιώντας τα εμπειρικά διαγράμματα 19 και 20 προκύπτουν οι ακόλουθες συγκεντρώσεις:



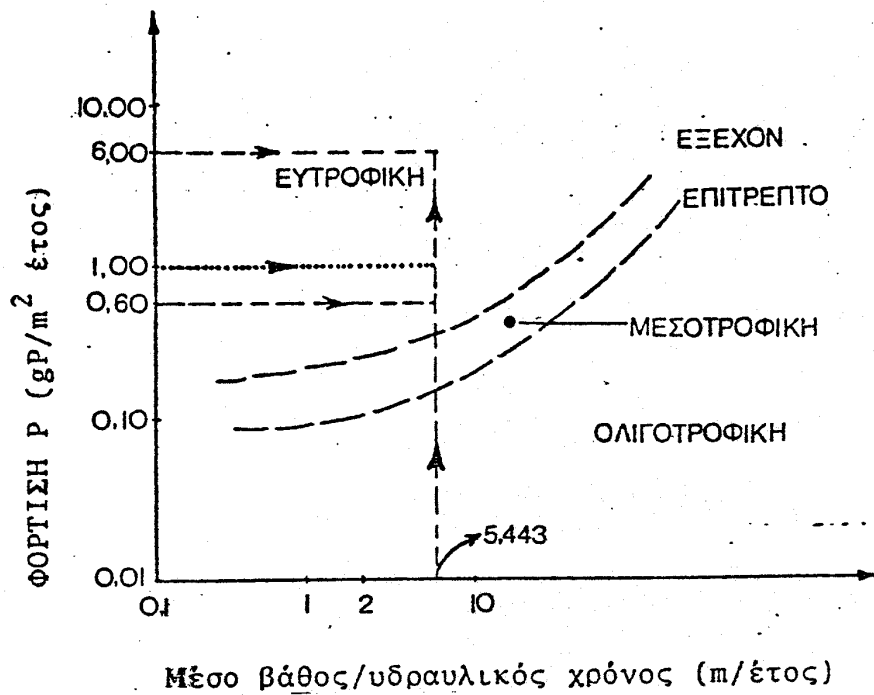
Σχ. 19 Εμπειρικό διάγραμμα χλωροφύλλης



Σχ. 20 Εμπειρικό διάγραμμα διαφάνειας

9.2.3.6 Τροφική κατάσταση

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης χρησιμοποιείται το μοντέλο Vollenweider-OECD (σχήμα 21) από το οποίο προκύπτει ότι για φόρτιση $0,60 \text{ gP/m}^2$ έτος και $H/\tau_0 = 5,443$ η λίμνη χαρακτηρίζεται σαν ευτροφική.



Σχ. 21 Τροφική κατάσταση λίμνης, (Μοντέλο Vollenweider)

Μέση θερινή συγκέντρωση χλωροφύλλης = 9 $\mu\text{g/l}$

Μέση διαφάνεια (Secchi depth) = 1,50 m

Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις μετρηθείσες τιμές που είναι:

Χλωροφύλλη : α) ΙΩΚΑΕ (Κουσουρλής-Φριλίνγκος, 1975-77) = 2,3-20,9 $\mu\text{g/l}$

β₁) Παρούσα Μελέτη (Σεπτέμβριος 1984) = 4-7 $\mu\text{g/l}$

β₂) Παρούσα Μελέτη (Σεπτέμβριος 1980) = 30-126 $\mu\text{g/l}$

Διαφάνεια: α) ΠΕΡΠΑ (Νοέμβριος 1980) 1,00-1,25 m

β) ΙΧΘΥΟΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΟΥΡΟΥ (1981-1983) 0,75-1,60 m

γ) Παρούσα μελέτη (1983-1984) 1 m

9.2.3.6 Τροφική κατάσταση

Για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης χρησιμοποιείται το μοντέλο Vollenweider-OECD (σχήμα 21) από το οποίο προκύπτει ότι για φόρτιση 0,60 gP/m^2 έτος και $H/\tau = 5,443$; η λίμνη χαρακτηρίζεται σαν ευτροφική.

9.2.3.7 Συμπεράσματα

Από την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της λίμνης συμπεραίνεται ότι οι συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών (BOD_5 , COD) δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, έχει παρουσιαστεί δε κάποια βελτίωση κατά τα τελευταία χρόνια, πιθανόν λόγω της μείωσης των διοχετευόμενων δημοτικών λυμάτων. Παρόμοια είναι η κατάσταση σε σχέση με το διαλυμένο οξυγόνο, όπου έχουμε κατά κανόνα ποσοστά κορεσμού μεγαλύτερα από 70-80% και μικρές μεταβολές συναρτήσει του βάθους. Από την άποψη συνέπώς του οργανικού φορτίου η χρήση της λίμνης σαν αποδέκτη των λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων, μετά από προχωρημένο βιολογικό καθαρισμό και απολύμανση δεν φαίνεται ότι είναι πιθανό να έχει

ιδιαίτερα δυσμενείς επιπτώσεις στη λίμνη εξεταζόμενη σαν σύνολο. Θα πρέπει όμως να εξασφαλιστεί κατάλληλος τρόπος διάχυσης και διασποράς των λυμάτων ώστε να αποφευχθούν περιστατικά τοπικής ρύπανσης, η δε επίτευξη αυτού του σκοπού είναι δύσκολη σε περιπτώσεις σχετική αβαθών λιμνών όπως η λίμνη Παμβώτιδα.

Το κύριο όμως πρόβλημα της λίμνης είναι η τροφική της κατάσταση που βρίσκεται σε αρκετά υψηλό επίπεδο. Δεδομένα που ενισχύουν αυτή την εκτίμηση είναι:

- α) Μεγάλο μέρος των οργανικών υλών της λίμνης αποτελείται από άλγη.
- β) Παρατηρείται ημερήσια διακύμανση του διαλυμένου οξυγόνου της επιφάνειας της λίμνης που θα πρέπει να οφείλεται στη δράση των αλγών.
- γ) Οι συγκεντρώσεις τόσο του αζώτου όσο και, κυρίως, του φωσφόρου είναι υψηλές.
- δ) Άλλοι δείκτες όπως η διαφάνεια και οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης βρίσκονται σε διαστήματα τιμών που κατά κανόνα χαρακτηρίζουν ευτροφικές καταστάσεις.
- ε) Σε σημαντικό τμήμα (περίπου 10% της επιφάνειας) κατά μήκος της παραλίας η λίμνη καλύπτεται από μακροφύκη.
- στ) Η κακή αυτή κατάσταση της λίμνης είναι αποτέλεσμα των σημερινών φορτίσεων και βρίσκεται σε συμφωνία με τις προβλέψεις των εμπειρικών μοντέλων.

Κύριος περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των αλγών φαίνεται να είναι ο φωσφόρος. Με τη διάθεση στη λίμνη βιολογικά επεξεργασμένων λυμάτων χωρίς απομάκρυνση φωσφόρου, θα προστεθούν περίπου 120 tP/έτος, θα προκύψει δηλαδή 10πλασιασμός περίπου της σημερινής φόρτισης με συνέπεια τη δημιουργία έντονης ευτροφικής κατάστασης (αναμενόμενες μέσες συγκεντρώσεις: φωσφόρου 500-600 $\mu\text{g/l}$, χλωροφύλλης 70 $\mu\text{g/l}$ και διαφάνεια $\approx 0,50$ m).

Εάν εφαρμοσθεί μέθοδος απομάκρυνσης φωσφόρου, κατά 92-95%, έτσι ώστε να παραμένουν περί το 1 mg/l ως 0,5 mg/l φωσφόρου στα λύματα, (επισημαίνεται ότι η επίτευξη συγκέντρωσης $p < 1$ mg/l είναι προβληματική) θα προκύψει αύξηση κατά 3-7 tn/έτος, δηλαδή περίπου 25~50% σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση, με πιθανότερη τιμή το 50%. Οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις P και χλωροφύλλης α θα είναι 100 $\mu\text{g/l}$ και 18-19 $\mu\text{g/l}$ αντίστοιχα, ενώ η διαφάνεια θα είναι περίπου 1m.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εάν ήταν δυνατός ο περιορισμός των σημερινών φορτίσεων, εκτός από τη βελτίωση της σημερινής κατάστασης που οπωσδήποτε είναι οριακή, θα μπορούσαν πιθανώς να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για τη μελλοντική διάθεση των βιολογικά επεξεργασμένων λυμάτων και οπωσδήποτε μετά από απομάκρυνση του μεγαλύτερου ποσοστού του P των λυμάτων. Κάτι τέτοιο όμως δεν φαίνεται να είναι πρακτικά επιτεύξιμο δεδομένου ότι με τη σημερινή πρακτική τόσο οι σημειακές (χοιροστάσια) όσο και οι μη σημειακές πηγές (αρδεύσεις) διοχετεύουν το φωσφόρο στη λίμνη μέσω των επιφανειακών απορροών.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν και ο φωσφόρος φαίνεται να είναι ο περιοριστικός παράγοντας, υπάρχουν ενδείξεις ότι κατά περιόδους, περιοριστικός παράγοντας γίνεται το άζωτο, και συνεπώς η διατήρησή του σε χαμηλά επίπεδα (με απομάκρυνσή του από τα λύματα) ίσως αποδειχθεί επιβεβλημένη. Φαίνεται πάντως πολύ πιθανό ότι θα απαιτηθεί νιτροποίηση των λυμάτων ώστε να αποφευχθούν μελλοντικές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ελεύθερης αμμωνίας σε επίπεδα που θα είναι τοξικές για τα ψάρια. Με βάση τις σημερινές φορτίσεις αζώτου (≈ 350 tn/έτος) σημαντικό τμήμα του οποίου εισέρχεται στη λίμνη με τη μορφή οξειδωμένων μορφών N, (από αρδεύσεις), εκτιμάται ότι οι συγκεντρώσεις της ελεύθερης αμμωνίας, για τις δεδομένες τιμές θερμοκρασιών και pH, δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 10 $\mu\text{g/l}$. Με τη διοχέτευση των λυμάτων της πόλεως των Ιωαννίνων

η πρόσθετη φόρτιση αζώτου θα είναι της τάξης των 500-600 tn /έτος, κυρίως με τη μορφή αμμωνιακού αζώτου, με συνέπεια τον κίνδυνο εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων ελεύθερης αμμωνίας, ιδίως στην περιοχή εκβολής των λυμάτων.

Είναι επίσης πιθανό στην ίδια περιοχή να παρατηρηθεί αξιόλογη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, λόγω του φαινομένου της νιτροποίησης, και της συνεπαγόμενης ζήτησης οξυγόνου.

9.2.3.8 Συμπεράσματα μελέτης βιολογικών χαρακτηριστικών λίμνης Παμβώτιδας

Σε ενίσχυση των παραπάνω ερευνών, πραγματοποιήθηκε από το εργαστήριο Συστηματικής Βοτανικής του Παν/μίου Αθηνών, (βιολόγος κ. Σπαρτινού, με την καθοδήγηση της λέκτορος κ. Α. Οικονόμου-Αμίλλη), εκτεταμένη ποιοτική έρευνα του φυτοπλαγκτού και διερεύνηση της εποχιακής του διακύμανσης.

Τα συμπεράσματα από την ποιοτική αυτή έρευνα δείχνουν ότι η κατάσταση της λίμνης φαίνεται να είναι ευτροφική και κατά συνέπεια ενισχύουν τα συμπεράσματα της προηγούμενης βασικής έρευνας. Το σύνολο της έρευνας παρουσιάζεται στο Παράρτημα ΙΙ.

9.3 ΤΡΟΦΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΚΑΛΑΜΑ

Αν υλοποιηθούν τα προβλεπόμενα έργα υδροηλεκτρικής ανάπτυξης στον Καλαμά, (κεφάλαιο 3), τρεις από τους ταμιευτήρες που θα δημιουργήσουν (κατάντη του Σουλόπουλου) θα δέχονται σημαντικά φορτία φωσφόρου σαν αποτέλεσμα της διάθεσης των λυμάτων των Ιωαννίνων. Ενδεικτική μηκοτομή των τριών ταμιευτήρων φαίνεται στο σχήμα 1 του κεφ. 3. Η κατασκευή των έργων υδροηλεκτρικής ανάπτυξης μελετάται σε συνδυασμό με τα έργα εκτροπής του Αώου, γι' αυτό θα εξεταστεί η τροφική κατάσταση που προκύπτει και για τις δύο περιπτώσεις, (με εκτροπή και χωρίς).

Στον πίνακα 14 του Κεφ. 3, δίνονται οι μέσες ετήσιες παροχές στους ταμιευτήρες Σουλόπουλου, Βροσίνας και Μινίνας, χωρίς εκτροπή και με εκτροπή της ελάχιστης διαθέσιμης παροχής του Αώου.

Από το σχέδιο 1 του Κεφ. 3 προκύπτουν εξάλλου τα ακόλουθα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά των ταμιευτήρων.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Ταμιευτήρας	Χωρίς εκτροπή			Με εκτροπή		
	Επιφ. (km ²)	Μέσο βάθος (m)	Χρόνος παραμονής (έτη)	Επιφ. (km ²)	Μέσο βάθος (m)	Χρόνος παραμονής (έτη)
Σουλόπουλο	4,2	20,95	0,122	4,2	20,95	0,050
Βροσίνα	15,0	25,00	0,372	15,0	25,0	0,184
Μινίνα	4,0	15,25	0,044	4,0	15,25	0,025

Εκτίμηση φορτίσεων φωσφόρου

Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου στη λίμνη Ιωαννίνων και την τάφρο της Λαψίστας κυμαίνονται από 60-100 $\mu\text{g/l}$. Δεχόμενοι τη συντηρητική τιμή των 100 $\mu\text{g/l}$ και για μέση παροχή της τάφρου 3,6 m^3/sec προκύπτει ετήσια ποσότητα φωσφόρου ίση με 11 $\text{tn}/\text{έτη}$ (δηλ. περίπου 82-85% του εισερχόμενου φωσφόρου στη λίμνη).

Ο μελλοντικός πληθυσμός θα συνεισφέρει $\approx 120 \text{ tn}/\text{έτος}$. Έτσι αν υπολογισθούν και οι επιφανειακές απορροές της λεκάνης του Καλαμά θα έχουμε τις ακόλουθες ποσότητες P και συντελεστές των μοντέλων Jones-Backman και Walker.

Πηγές ρύπανσης	Χωρίς εκτροπή				Με εκτροπή			
	Φωσφ. (P)	L_p	H/τ	$\frac{L_p \times \tau}{H} / (1 + \sqrt{\tau})$	Φωσφ. (P)	L_p	H/τ	$\frac{L_p \times \tau}{H} / (1 + \sqrt{\tau})$
<u>Σουλόπουλο</u>								
Από τάρρο Λαμίστας	11,00							
Πόλη Ιωαννίνων	120,00							
Επιφ. απορροή	<u>5,00</u>							
	136,00	32,380	171,720	0,140	136,00	32,380	419,00	0,063
<u>Βροσάνα</u>								
Από τάρρο Λαμίστας	11,00							
Πόλη Ιωαννίνων	120,00							
Επιφ. απορροή	<u>10,00</u>							
	141,00	9,400	67,204	0,087	141,000	9,400	135,860	0,048
<u>Μινίνα</u>								
Από τάρρο Λαμίστας	11,00							
Πόλη Ιωαννίνων	120,00							
Επιφ. απορροή	<u>15,00</u>							
	146,00	36,500	346,600	0,087	146,000	36,500	610,000	0,052

*Δεν έχουν συνυπολογιστεί οι ποσότητες του φωσφόρου που θα περιέχονταν στον Αώο γιατί δεν υπάρχουν στοιχεία. Πάντως οι ποσότητες αυτές δεν θα πρέπει να είναι σημαντικές.

Σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα και τα διαγράμματα των σχημάτων 5 και 6 συμπεραίνουμε ότι:

- 1) Χωρίς την εκτροπή του Αώου οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στους ταμιευτήρες θα κυμαίνονται από 15-22 $\mu\text{g}/\text{l}$ ενώ η διαφάνεια από 1-1,5 m, θα έχουμε δηλαδή μεσοτροφικές-ευτροφικές καταστάσεις.
- 2) Με την εκτροπή του Αώου η χλωροφύλλη θα κυμαίνεται γύρω στα 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ και η διαφάνεια από 1,5-2 m, οι δε φορτίσεις των ταμιευτήρων θα είναι κατά τι μεγαλύτερες από τις κρίσιμες για δημιουργία ευτροφικών καταστάσεων, δεν θα διαφέρει δε η κατάσταση των ταμιευτήρων σημαντικά από τη σημερινή κατάσταση της λίμνης Ιωαννίνων.

Αν επιπλέον των παραπάνω ληφθεί υπόψη ότι

- οι υπολογισμοί έχουν γίνει με τις δυσμενέστερες φορτίσεις,
- η εκτροπή του Αώου σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών έργων φαίνεται να είναι η πιθανότερη λύση,
- η ανάπτυξη μεσοτροφικών έως ευτροφικών καταστάσεων δεν φαίνεται να αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα για τη δεδομένη χρήση των νερών, (υδροηλεκτρική ενέργεια),
- ο χρόνος παραμονής του φωσφόρου (κυρίως στον ταμιευτήρα Σουλόπουλου) μπορεί να είναι μικρότερος από τον υδραυλικό χρόνο (λόγω εξόδου των παροχών από μεγάλα βάθη),

μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν προβλέπεται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα προβλήματα λόγω ευτροφισμού των ταμιευτήρων και συνεπώς δεν θα απαιτηθεί απομάκρυνση του φωσφόρου των λυμάτων, αν τελικά διατεθούν στον ποταμό Καλαμά.

9.4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. L. Rich, "Environmental Systems Engineering", McGraw-Hill, 1973.
2. Sawyer and McCarty, "Chemistry for Sanitary Engineers", McGraw-Hill, 1967.
3. R.E. McKinney, "Microbiology for Sanitary Engineers", McGraw-Gill, 1962.
4. Rinaldi, Soncini-Sessa, Stehfest, Tamura, "Modeling and Control of River Quality", McGraw-Hill, 1979.
5. A. James, "Mathematical Models in Water Pollution Control", J. Wiley & Sons, 1978.
6. T.H.Y. Tebbutt, "Principles of Water Quality Control", Pergamon Press, 1971.
7. EPA-600/9-77-036, "Algae and Water Pollution", 1977.
8. R.A. Jones, G.F. Lee, "Recent Advances in Assessing Impact of Phosphorous Loads on Eutrophication - Related Water Quality", Water Research Vol. 16, pp. 503-515, 1982.
9. Parcella, Peterson, Larsen, "Index to Evaluate Lake Restoration", J. EED, ASCE, Vol. 106, No. 6, pp. 1151-1169, 1980.
10. Lambou et al., "Comparisons of trophic State Measurements", Water Research, Vol. 17, pp. 1619-1626, 1983.
11. D.S. Mahamah, S.K. Bhagat, "Performance of Some Empirical Phosphorus Models", JEED, ASCE, Vol. 108, EE4, pp. 722-729, 1982.
12. W. Rast, R.A. Jones, G.F. Lee, "Predictive Capacity of U.S. OECD Phosphorus Loading-Eutrophication Response Models", J. WPCF, Vol. 55, pp. 990-1003, 1983.
13. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Quality Criteria for Water", 1976.
14. A.K. Biswas, "Models for Water Quality Management", McGraw-Hill.
15. C.J. Velz, "Applied Stream Sanitation", Wiley, 1969.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΛΑΜΑ ΚΑΙ ΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ, (ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ)

10.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΧΡΗΣΗ

Στο Κεφ. 5 της παρούσας εκθέσεως περιγράφεται αναλυτικά το υπάρχον σήμερα καθεστώς χρήσεων (νομοθετημένες και μη) για τον Καλαμά και τη λίμνη Παμβώτιδα (Ιωαννίνων). Συνοπτικά οι χρήσεις αυτές είναι:

- α) Για τη λίμνη Παμβώτιδα: αλιεία σαλμονιδών, κολύμβηση, άρδευση, αναψυχή.
- β) Για την τάφρο Λαψίστας: αλιεία και άρδευση.
- γ) Για τον Βελτίστικο και σε απόσταση 1 km κατάντη της εκβολής της σήραγγας Λαψίστας, αλιεία και άρδευση.
- δ) Για το υπόλοιπο τμήμα του Βελτίστικου και για όλο τον Καλαμά: ύδρευση⁽¹⁾, αλιεία σαλμονιδών, άρδευση και κάθε άλλη χρήση.

Επίσης στην παραγρ. 5.3 αναφέρθηκαν οι κατηγορίες χρήσεων που καθορίζονται από τις κατευθυντήριες οδηγίες της ΕΟΚ και καθορίζουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα ή επιθυμητά όρια των παραμέτρων ποιότητας ώστε να καλύπτουν τις διάφορες χρήσεις.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ανώτατα επιθυμητά και ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των πιο χαρακτηριστικών παραμέτρων, για τις οποίες υπάρχουν και πρόσφατες αναλύσεις, για επαλληλία των χρήσεων ύδρευσης κατηγορίας A_1 και A_2 , αλιείας σαλμονιδών, κολύμβησης και άρδευσης, καθώς επίσης και η χρήση που έχει τις αυστηρότερες απαιτήσεις ως προς την κάθε παράμετρο. Έτσι για τις βασικές παραμέτρους, D.O., pH,

(1) Δεν προσδιορίζεται η κατηγορία ύδρευσης (π.χ. A_1 ή A_2), αλλά ο τρόπος ύδρευσης ορισμένων κοινοτήτων υπάγεται μάλλον στην κατηγορία A_1 .

θερμοκρασία, B.O.D.₅, ελεύθερη αμμωνία, ελεύθερο χλώριο και Zn, αυστηρότερη είναι η χρήση της αλιείας σαλμονίδων, ενώ η χρήση της ύδρευσης είναι αυστηρότερη ως προς τις παραμέτρους των θειικών, νιτρικών και των τοξικών μετάλλων.

Σύγκριση των παραμέτρων ποιότητας του πίνακα 1 με τις μετρημένες τιμές των παραμέτρων επιτρέπει μία άμεση εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης ρύπανσης και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι δυσμενέστερες τιμές των παραμέτρων που έχουν παρατηρηθεί στον ποταμό Καλαμά και τη λίμνη Ιωαννίνων αντίστοιχα, ενώ στους Πίνακες 3 ως 8 δίνονται οι τιμές που προκύπτουν από το μαθηματικό ομοίωμα για διάφορα σενάρια ρύπανσης των ετών 1986 (αποπεράτωση των δικτύων ακαθάρτων) και 2001, (25ετία).

Οι προτάσεις για τις άμεσα εφικτές και τις μελλοντικές χρήσεις των αποδεκτών, που παρουσιάζονται στις παραγρ. 10.2 και 10.3, στηρίζονται στη σύγκριση των παραμέτρων του Πίνακα 1 με τον Πίνακα 2 και τους 3 ως 8, (αποτελέσματα του μαθηματικού ομοιώματος).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Κριτήρια ποιότητας κατά χρήση

Παράμετροι	Υδρευση Α ₁		Υδρευση Α ₂		Αλλελα Σαλμονιδών		Υδρευση		Κολύμβηση		Περιοριστική χρήση
	G	I	G	I	G	I	G	I	G	I	
pH	6.5-8.5		5.5-9		6.5-8.5	6-9(0)	6.5-8.3	-	-	6.5-8.5	Κοινό όριο
Θερμοκρασία, °C	22	30(0)	22	30(0)	-	21.5(0)	28				Αλλελα Σαλμονιδών
Αγωγιμότητα, μS/cm	1000	-	1000	-			750				Υδρευση
Διαλυμένο οξυγόνο - ποσοστό δειγμάτων Α ₁ >8 mg/l - 1 κορεσμού	>70	-	>50	-		50% >9 100% >7	>3.0	-	80-120	-	Αλλελα Σαλμονιδών
B.O.D. ₅	3	-	5	-	3	-	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Αμμονία NH ₄ ⁺ mg/l	0.05	-	1	1.5	0.04	1.0	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Ελεύθερη NH ₃ , mg/l	-	-	-	-	0.005	0.025	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Ελεύθερο υπολειμμα- τικό χλώριο mg/l HXCl ⁻	-	-	-	-	0.005 (T = 16°C)	-	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Θειικά SO ₄ ²⁻ mg/l	150	250	150	250(0)	-	-	-	-			Υδρευση Α ₁ , Α ₂
Νιτρικά NO ₃ ⁻ mg/l	25	50(0)		50(0)	-	-	-	-			Υδρευση Α ₁ , Α ₂
Φωσφορικά PO ₄ ³⁻ mg/l	0,4	-	0,7	-	0,2	-	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Π.Α.Κ./100 ml	50	-	5000	-	-	-	100 (1)		500	2000	Κολύμβηση, Υδρευση
Ψευδάργυρος	0,5	3,0	1,0	5,0	-	0,3	-	-			Αλλελα Σαλμονιδών
Ολικά αιωρούμενα TSS ₂₀₀ mg/l	-	-	-	-	25	-	50	-	-	-	Αλλελα Σαλμονιδών
Λοιπά μέταλλα	Δεν αναμένεται υπέρβαση των ορίων										Υδρευση Α ₁ , Α ₂

Παρατηρήσεις στον Πίνακα 1

- (G) = Επιθυμητό όριο
 (I) = Επιτρεπόμενο όριο
 (0) = Δυνατή παρέκκλιση λόγω εξαιρετικών συνθηκών
 (1) = Όριο που προτείνεται από την Π.Ο.Υ. (WHO)
 (2) = Γενικό όριο που προτείνεται για τον έλεγχο του

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Συνοπτικός πίνακας ποιότητας των νερών του
Καλαμά και της λίμνης Παμβώτιδας

Παράμετροι	Καλαμάς	Παμβώτιδα
pH	μέγιστο 8,3 ελάχιστο 6,6	6,50-8,51
Θερμοκρασία, °C	μέγιστη 21.3°	μέγιστη 23.5°C
Αγωγιμότητα μS/cm		
Διαλυμένο οξυγόνο ποσοστό δειγμάτων A% $\geq$ B mg/l O ₂	50% >9 100% >6 mg/l	100% >6,1 mg/l
% κορεσμού	70-100%	70-115%
B.O.D. ₅ , mg/l	<2,0	<6,0
C.O.D., mg/l	25-30	<68
Ολική Αμμωνία NH ₃ -N mg/l	<0,47 mg/l	<0,086 mg/l
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l	0,013-0,026	<0,018
Ελεύθερο υπολειμμα- τικό χλώριο, Cl ⁻	0,012 mg/l	-
Θειικά, SO ₄ ⁼ mg/l	187-282	-
Π.Α.Κ./100 ml	70-2400	-
Νιτρικά, NO ₃ -N mg/l	<0,47	<0,40
Φωσφορικά, PO ₄ -P mg/l	<0,23	<0,50

10.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΩΝ ΚΑΛΑΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΩΝ

10.2.1 Υπάρχουσα κατάσταση ρύπανσης

Η σημερινή ποιοτική κατάσταση του Καλαμά όπως μετρήθηκε στα ερευνητικά προγράμματα αναλύσεων συνοψίζεται ως εξής:

1. Η δυσμενέστερη κατάσταση στον Καλαμά από άποψη ρύπανσης εμφανίστηκε στη δειγματοληψία της 30.5.84 και ειδικότερα για τις θέσεις (4) και (5). Με την εξαίρεση των δύο αυτών μετρήσεων-οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου σε όλες τις θέσεις του Καλαμά και σε όλες τις δειγματοληψίες ήταν >80% του κορεσμού.
2. Οι συγκεντρώσεις του B.O.D.₅ ήταν σε όλες τις θέσεις μικρότερες από 2 mg/l.
3. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου μετρήθηκαν συστηματικά στη θέση (5) και κυμάνθηκαν για όλη τη θερινή περίοδο από 0,23-0,47 mg/l. Για μέση θερμοκρασία 19°C και pH 8,0 η αντίστοιχη συγκέντρωση ελεύθερης αμμωνίας που αποτελεί και την τοξική συνιστώσα του αμμωνιακού αζώτου προκύπτει ίση με 0,013-0,026 mg/l.
4. Το ρυπαντικό φορτίο που μεταφέρεται στον Καλαμά από την τάφρο της Λαψίστας δεν είναι σημαντικό, λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση του COD ήταν της τάξης του 25-30 mg/l για τις ελάχιστες θερινές παροχές. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, αλλά και της μεγάλης αραίωσης που πραγματοποιείται μετά τη συμβολή στο Σουλόπουλο δεν παρατηρείται στον Καλαμά καμπύλη "sag-curve".
5. Οι τιμές των θειικών μετρήθηκαν μόνο στις δειγματοληψίες της 10/12/83 και 29/10/84, Στην τελευταία αυτή δειγματοληψία οι τιμές που μετρήθηκαν ήταν: στις θέσεις Σουλόπουλο και Βροσίνα 282 και 265 mg/l αντίστοιχα, (μεγαλύτερες του ορίου των 250 mg/l), και στις θέσεις Μινίνα και Κιοτέκι

απ'όπου και πραγματοποιείται σήμερα υδροληψία για πόσιμο νερό, ήταν της τάξης των 200 mg/l. Οι τιμές αυτές είναι κρίσιμες για τη χρήση της ύδρευσης τους καλοκαιρινούς μήνες και θα απαιτηθεί να διενεργηθούν και συμπληρωματικές αναλύσεις στον Καλαμά για να εξακριβωθεί το εύρος της διακύμανσης αυτής. Οι τιμές που μετρήθηκαν τους χειμερινούς μήνες ήταν της τάξης των 40 mg/l, ενώ η πηγή προέλευσης των θειικών φαίνεται πως βρίσκεται προς τις πηγές του Καλαμά.

6. Δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις μικροβιακού φορτίου εκτός από κάποιες σποραδικές τιμές παλαιότερων προγραμμάτων, που κυμαίνονται από 70-2400 ΠΑΚ/100 ml. Κατά συνέπεια δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί με βεβαιότητα αν καλύπτονται τα επιθυμητά όρια της άρδευσης, (Π.Α.Κ. 100/100 ml) και της κολύμβησης. Επισημαίνεται πάντως η ανάγκη χλωρίωσης του νερού που χρησιμοποιείται για πόσιμο από τους κατοίκους των παρακαλαμών περιοχών, ακόμα και όταν γίνεται περιστασιακή χρήση για να καλύπτουν έκτακτες ανάγκες ύδρευσης.

10.2.2 Άμεσα εφικτές χρήσεις

10.2.2.1 Γενικές αρχές

Οι προτεινόμενες και περιγραφόμενες στην παράγραφο αυτή άμεσα εφικτές χρήσεις των νερών του Καλαμά και των παραποτάμων του, προέκυψαν από τη μελέτη όλων των διαθέσιμων περιβαλλοντικών δεδομένων και αφορούν στις σημερινές συνθήκες ρύπανσης του Καλαμά. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για μία επιτυχημένη πρόταση άμεσου στόχου συνοψίζονται ως εξής:

- α) Οι προτεινόμενες χρήσεις του άμεσου στόχου πρέπει να είναι περιβαλλοντικά ικανοποιητικές σύμφωνα με τις ειδικές

συνθήκες της περιοχής αλλά και τα διεθνή δεδομένα ποιότητας επιφανειακών υδάτων και να καλύπτουν τόσο τις περιοχές όπου υπάρχουν νομοθετημένες σήμερα χρήσεις (εκτός από τις τυχόν περιπτώσεις όπου αυτές είναι υπερβολικές) όσο και τις περιοχές για τις οποίες δεν υπάρχουν σήμερα νομοθετημένες χρήσεις.

β) Οι προτεινόμενες χρήσεις του στόχου πρέπει να είναι άμεσα εφικτές για τις τοπικές συνθήκες και την ελληνική πραγματικότητα.

γ) Οι προτεινόμενες χρήσεις του στόχου πρέπει να επιτυγχάνονται με "λογική ασφάλεια σε σχέση με μία περίοδο ξηρασίας". Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των παραμέτρων ποιότητας για τις προτεινόμενες χρήσεις πρέπει να μην ξεπερνιούνται για μια σημαντική συχνότητα ελαχίστων παροχών. Στο Κεφ. 3 καθορίστηκαν και αιτιολογήθηκαν οι ελάχιστες παροχές σχεδιασμού των προτεινόμενων χρήσεων.

10.2.2.2 Προτάσεις χρήσεις νερών Καλαμά και παραποτάμων, άμεσα εφικτές

α) Για τον Βελτίστικο και τον Καλαμά κατάντη του Σουλόπουλου
Σύμφωνα με τις παραπάνω γενικές αρχές και για τη σημερινή κατάσταση ρύπανσης του ποταμού Καλαμά είναι εφικτές οι εξής επάλληλες χρήσεις:

- υδροληψία πόσιμου νερού κατηγορίας Α₁
- αλιεία σαλμονιδών
- άρδευση και κάθε άλλη χρήση συμπεριλαμβανόμενης της κολύμβησης.

β) Για τον Καλαμά ανάντη του Σουλόπουλου

Είναι εφικτές όλες οι παραπάνω επάλληλες χρήσεις με την εξαίρεση της ύδρευσης εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης θειικών ($\text{SO}_4^{=}$) που προέρχονται από τις πηγές του Καλαμά. Μια

πληρέστερη διερεύνηση της διακύμανσης των θειικών θα δείξει αν και οι χρήσεις ύδρευσης είναι, τελικά, εφικτές.

10.2.3 Μελλοντικός στόχος χρήσης νερών

10.2.3.1 Γενικές αρχές

Ισχύουν κατ'αρχήν όλα όσα αναφέρθηκαν στις γενικές αρχές για τον άμεσο στόχο με την παρατήρηση ότι οι προτεινόμενες χρήσεις θα πρέπει να καλύπτουν την προβλεπόμενη αστική και βιομηχανική ανάπτυξη για την προσεχή εικοσιπενταετία και με ρεαλιστικά τεχνικοοικονομικά δεδομένα.

Οι βασικές προτάσεις χρήσεων ελέγχονται για όλα τα σενάρια ρύπανσης τόσο για το 1986 (λειτουργία δικτύου ακαθάρτων, που τώρα είναι υπό κατασκευή) όσο και για το 2011 (25ετία). Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα αναμενόμενα (χωρίς επεξεργασία) για το 2011 φορτία ρύπανσης (8232 kg B.O.D.₅/ημ.) είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τα σημερινά (705 kg B.O.D.₅/ημ.) προτείνουμε για τον μελλοντικό στόχο τις εξής χρήσεις.

10.2.3.2 Προτάσεις μελλοντικών χρήσεων

α) Για τον Καλαμά κατάντη της θέσης Σουλόπουλο

- Υδροληψία πόσιμου νερού κατηγορίας A₂
- Αλιεία σαλμονιδών
- Άρδευση, και κάθε άλλη χρήση συμπεριλαμβανομένης της κολύμβησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προτεινόμενες χρήσεις για το μελλοντικό στόχο είναι πρακτικά οι ίδιες με τις χρήσεις του άμεσου στόχου με χαρακτηριστική τη χρήση της αλιείας σαλμονιδών, που απαιτεί τις αυστηρότερες τιμές των παραμέτρων B.O.D.₅, διαλυμένου οξυγόνου, αμμωνίας και που κατά

συνέπεια εξασφαλίζει μία υψηλή ποιότητα νερών. Όσον αφορά στην πρόταση για χαρακτηρισμό νερών ύδρευσης κατηγορίας A_2 αντί της A_1 που προτείνεται για τον άμεσο στόχο, αυτή αποσκοπεί στην εξασφάλιση των μέγιστων δυνατών προϋποθέσεων καταλληλότητας του νερού από υγειονομική άποψη και κατά συνέπεια προστασίας των καταναλωτών, καθόσον η κατηγορία A_2 προβλέπει προχωρημένη επεξεργασία νερού πριν την κατανάλωση, (κροκκίδωση, καθίζηση, διύλιση, απολύμανση).

β) Για τον Καλαμά ανάντη του Σουλόπουλου

Προτείνονται οι ίδιες χρήσεις που προτάθηκαν για τον άμεσο στόχο, δηλαδή αλιεία σαλμονίδων, άρδευση, κολύμβηση και κάθε άλλη χρήση.

γ) Για τον Βελτίστικο και μέχρι τη συμβολή με τον Καλαμά

Άρδευση και κάθε άλλη χρήση εκτός από ύδρευση, αλιεία και κολύμβηση.

10.2.4 Έλεγχος των προτεινόμενων χρήσεων των νερών

Στο Κεφάλαιο 8 εξετάστηκαν αναλυτικά, με τη βοήθεια του μαθηματικού ομοιώματος, οι επιπτώσεις από τη διάθεση των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στον Καλαμά ως προς τις βασικές παραμέτρους της ρύπανσης δηλαδή το B.O.D.₅, το διαλυμένο οξυγόνο, το αμμωνιακό άζωτο, τα νιτρικά, το φωσφόρο, τα αιωρούμενα στερεά και τα κολοβακτηριοειδή για τα φορτία του 1986 και του 2011.

Στους Πίνακες 3-8 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων στις θέσεις δειγματοληψίας του Καλαμά για τα σενάρια ρύπανσης που εξετάστηκαν στο Κεφ. 8. Οι επιπτώσεις από τη διάθεση των ρυπαντικών φορτίων στον

Καλαμά, σε σχέση με τις προτεινόμενες μελλοντικές χρήσεις του, προκύπτουν από τη σύγκριση των τιμών αυτών με τους "δείκτες ποιότητας" του Πίνακα 1 και συνοψίζονται ως εξής:

α) Φορτία 2011

Όπως προκύπτει από τη μαθηματική προσομοίωση, η διάθεση των ρυπαντικών φορτίων στον Καλαμά με μειωμένο βαθμό επεξεργασίας, (Πίνακες 3 και 4), ακόμα και μετά από πρωτοβάθμια καθίζηση, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα ρύπανσης κυρίως ως προς το B.O.D.₅, το αμμωνιακό N και τα κολοβακτηριοειδή. Η σοβαρότερη ρύπανση εμφανίζεται πάντως αμέσως μετά τον καταρράκτη της σήραγγας Λαψίστας εξαιτίας και της μικρής αραίωσης των λυμάτων στον Βελτίστικο.

Αντίθετα η διάθεση των λυμάτων μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία, (Πίνακας 5), με μείωση του B.O.D.₅ και των SS κατά 85%, του αμμωνιακού αζώτου κατά 50% και του Π.Α.Κ. κατά 95%. δεν δημιουργεί πρόβλημα υπέρβασης των ορίων με την εξαίρεση της συγκέντρωσης της ελεύθερης αμμωνίας και των κολοβακτηριδίων για τα οποία θα απαιτηθεί περαιτέρω μείωση με την πρόβλεψη νιτροποίησης και χλωρίωσης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι η εικόνα που παρουσιάζεται στους Πίνακες 3 ως 8 είναι δυσμενέστερη από την πραγματικά αναμενόμενη διότι δεν λαμβάνει υπόψη καμμία μείωση των ρυπαντικών φορτίων στην τάφρο της Λαψίστας.

β) Φορτία 1986

Οι επιπτώσεις από τη διάθεση των φορτίων του 1986 χωρίς επεξεργασία και μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6-7. Και στην περίπτωση των φορτίων 1986 η διάθεση των λυμάτων χωρίς επεξεργασία δημιουργεί μικρές υπερβάσεις των ορίων του B.O.D.₅ και του αμμωνιακού αζώτου ενώ δεν παρατηρείται κανένα πρόβλημα με το διαλυμένο

οξυγόνο. Ιδιαίτερα όμως αυξημένες εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηριοειδών, γεγονός που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα για τη χρήση της άρδευσης.

Το σενάριο II για τα φορτία του 1986 (δευτεροβάθμια επεξεργασία), φαίνεται τελείως επαρκές για την κάλυψη της πρότασης του μελλοντικού στόχου, γεγονός που αποδεικνύει ότι η πλήρης νιτροποίηση των λυμάτων δεν θα απαιτηθεί από το 1986, αλλά μπορεί να ενταχθεί στα έργα επεξεργασίας σταδιακά. Το ίδιο ισχύει και για τη χλωρίωση που προτείνεται να αρχίσει να εφαρμόζεται μετά από προσεκτική παρακολούθηση της ποιότητας των νερών (βλ. και παραγρ. 10.4).

Τέλος στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σημερινής κατάστασης ρύπανσης, για τις δυσμενείς συνθήκες μηδενικής παροχής στην τάφρο της Λαψίστας και τον Βελτίστικο. Τα αποτελέσματα αυτά προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις τιμές που έχουν μετρηθεί στα προγράμματα δειγματοληψιών και αναλύσεων, (Κεφ. 6), όπως παρουσιάστηκαν συνοπτικά στον Πίνακα 2 του παρόντος κεφαλαίου και παρέχουν συνεπώς μία ακόμα επαλήθευση για την κάλυψη της βασικής πρότασης για τον άμεσο στόχο, (παραγρ. 10.2.2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος
Φορτία 2011 - Σενάριο Ι (χωρίς επεξεργασία)

Παράμετροι Ποιότητας	Θ έ σ η			
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι
Θερμοκρασία, °C	17,70	18,31	20,71	22,33
D.O., mg/l	9,32	9,12	8,79	8,04
B.O.D. ₅ , mg/l	14,68	9,61	7,04	5,72
NH ₄ -N, mg/l	2,77	1,83	1,36	1,14
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l	0,15	0,10	0,07	0,06
NO ₃ -N, mg/l	0,00	0,01	0,03	0,1
PO ₄ -P, mg/l	0,61	0,41	0,32	0,29
ΠΑΚ 10 ⁶ /100 ml	1,4	0,75	0,36	0,14
TSS, mg/l	16,73	11,26	8,81	8,06

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος
Φορτία 2011.- Σενάριο II (πρωτοβάθμια επεξεργασία)

Παράμετροι Ποιότητας	Θ έ σ η			
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι
Θερμοκρασία, °C	17,54	18,51	19,77	20,71
D.O., mg/l	9,31	9,15	9,02	8,84
B.O.D. ₅ , mg/l	9,55	5,78	4,82	4,58
NH ₄ -N, mg/l	2,77	1,69	1,42	1,36
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l	0,15	0,09	0,078	0,075
NO ₃ -N, mg/l	0,00	0,01	0,02	0,03
PO ₄ -P, mg/l	0,61	0,41	0,33	0,32
ΠΑΚ 10 ⁶ /100 ml	691.591	328.495	222.523	180.653
TSS, mg/l	6.69	4.20	3.62	3.52

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος
 Φορτία 2011 - Σενάριο III (δευτεροβάθμια επεξεργασία)

Παράμετροι Ποιότητας	Θέση				Παρατηρήσεις
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι	
Θερμοκρασία, °C	17,54	18,51	19,77	20,8	
D.O., mg/l	9,34	9,26	9,12	8,92	
B.O.D. ₅ , mg/l	2,20	1,33	1,11	1,05	
NH ₄ -N, mg/l	1,39	0,85	0,71	0,68	Δεν καλύπτεται η χρήση αλιείας
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l	0,076	0,046	0,039	0,037	
NO ₃ -N, mg/l	1,41	0,89	0,77	0,76	
PO ₄ -P, mg/l	0,43	0,27	0,23	0,22	
ΠΑΚ 10 ⁶ /100 ml	46.106	21.900	14.835	11.702	Δεν καλύπτεται η χρήση κολύμβησης και άρδευσης
TSS, mg/l	2,51	1,58	1,36	1,32	

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος
 Φορτία 2011 - Σενάριο I (χωρίς επεξεργασία)
 1988

Παράμετροι Ποιότητας	Θ έ σ η			
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι
Θερμοκρασία, °C	17,49	18,20	20,75	23,34
D.O., mg/l	9,40	9,27	8,91	8,51
B.O.D. ₅ , mg/l	5,13	3,36	2,45	1,98
NH ₄ -N, mg/l	1,03	0,68	0,5	0,42
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l	0,055	0,038	0,025	
NO ₃ -N, mg/l	0,00	0,01	0,02	0,04
PO ₄ -P, mg/l	0,24	0,16	0,13	0,12
ΠΑΚ 10 ⁶ /100 ml	0,5	0,3	0,12	0,05
TSS, mg/l	6,16	4,15	3,23	2,94

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος
 Φορτία 2011 - Σενάριο II, (δευτεροβάθμια
 επεξεργασία)

Παράμετροι Ποιότητας	Θ έ σ η			
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι
Θερμοκρασία, °C	17,33	19,49	20,75	22,34
D.O., mg/l	9,38	9,20	8,96	8,69
B.O.D. ₅ , mg/l	0,77	0,39	0,37	0,30
NH ₄ -N, mg/l	0,52	0,27	0,25	0,21
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l				
NO ₃ -N, mg/l	0,53	0,29	0,29	0,28
PO ₄ -P, mg/l	0,17	0,09	0,09	0,08
ΠΑΧ 10 ⁶ /100 ml	16.620	5.587	4.232	1.593
TSS, mg/l	0,92	0,62	0,49	0,45

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Αποτελέσματα μαθηματικού ομοιώματος.
Σημερινή κατάσταση ρύπανσης.

Παράμετροι Ποιότητας	Θ έ σ η			
	Σουλόπουλο	Βροσίνα	Μινίνα	Κιοτέκι
Θερμοκρασία, °C	17,18	18,01	20,62	22,27
D.O., mg/l	9,40	9,33	8,99	8,70
B.O.D. ₅ , mg/l	1,57	1,03	0,75	0,61
NH ₄ -N, mg/l	0,28	0,18	0,14	0,11
Ελεύθερη NH ₃ -N mg/l				
NO ₃ -N, mg/l	0,00	0,00	0,01	0,01
PO ₄ -P, mg/l	0,04	0,03	0,02	0,02
ΠΑΚ 10 ⁶ /100 ml	79.010	43.551	20.755	
TSS, mg/l	1,69	1,14	0,89	0,82

10.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ

Η σημερινή ποιότητα των νερών της λίμνης Παμβώτιδας και η κατάστασή της από άποψη ευτροφισμού σε σχέση με το ρυπαντικό φορτίο που δέχεται σήμερα η λίμνη από επιφανειακές και σημειακές πηγές, παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 8. Στο ίδιο κεφάλαιο διερευνήθηκαν οι προοπτικές εξέλιξης της ποιότητας των νερών της λίμνης σε περίπτωση αποχέτευσης σ' αυτή των καθαρισμένων αστικών λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις γενικές αρχές της παραγρ. 10.2 και τη σημερινή κατάσταση της λίμνης Παμβώτιδας, είναι εφικτές οι εξής επάλληλες χρήσεις:

- αλιεία σαλμονιδών.
- άρδευση
- κάθε άλλη χρήση συμπεριλαμβανομένης και της κολύμβησης.

Σε σχέση με την κολύμβηση θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχουν επαρκείς μετρήσεις κολοβακτηριδίων ώστε να τεκμηριώσουν με απόλυτη βεβαιότητα τη δυνατότητα αυτής της χρήσης. Σκόπιμο είναι να διενεργούνται συστηματικές μετρήσεις έτσι ώστε να διασφαλίζεται η δυνατότητα κολύμβησης χωρίς κινδύνους.

Ως προς τη δυνατότητα ύδρευσης θα μπορούσε να υλοποιηθεί, (μετά από υψηλό βαθμό καθαρισμού), σε περίπτωση έλλειψης οποιασδήποτε άλλης καταλληλότερης εναλλακτικής λύσης. Εντούτοις με δεδομένη τη σημερινή πρακτική (ύδρευση από πηγές), το υψηλό κόστος καθαρισμού που θα απαιτηθεί και κυρίως τα σοβαρά λειτουργικά προβλήματα που θα παρουσιαστούν στις εγκαταστάσεις καθαρισμού (λόγω ευτροφίας) καθιστούν μη ρεαλιστική τη χρήση των νερών της λίμνης για ύδρευση.

Οι ίδιες χρήσεις προτείνονται και για το μέλλον, για τη διασφάλιση δε των κατάλληλων ποιοτικών χαρακτηριστικών (περίπου στα σημερινά επίπεδα, που είναι οριακά) θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα το πρόβλημα του ευτροφισμού, όπως εκτενέστερα αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 9.

10.4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ

Οι πίνακες και τα συμπεράσματα της παραγρ. 10.2.2 για τις επιπτώσεις από τα προβλεπόμενα αστικά και ρυπαντικά φορτία στην ποιότητα των νερών του Καλαμά και η απαίτηση για την κάλυψη του μελλοντικού στόχου χρήσης των νερών, οδηγούν στις ακόλουθες προτάσεις για τεχνικά έργα:

- α) Κατασκευή έργων βιολογικής επεξεργασίας για τα αστικά λύματα με πρόβλεψη πλήρους νιτροποίησης του αζωτούχου οργανικού φορτίου. Οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις, (για νιτροποίηση), θα κατασκευαστούν και τεθούν σε λειτουργία ανάλογα και με το ρυθμό σύνδεσης του πληθυσμού στο δίκτυο και πάντως θα λειτουργούν μόνο κατά την περίοδο των χαμηλών παροχών του ποταμού, (2-3 μήνες).
- β) Κατασκευή έργων βιολογικής επεξεργασίας για τις νέες βιομηχανικές μονάδες που θα εγκατασταθούν στην περιοχή Λαψίστας καθώς και για την ΒΙ.ΠΕ. Ιωαννίνων.
- γ) Σταδιακή βελτίωση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υφιστάμενων βιομηχανικών μονάδων ή ένταξή τους για συνεπεξεργασία στις εγκαταστάσεις της πόλης εφόσον η ένταξη αυτή αποδειχθεί οικονομοτεχνικά συμφέρουσα.
- δ) Προσθήκη έργων απολύμανσης των αστικών λυμάτων μετά από συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας των νερών και λειτουργία τους κατά τους θερινούς μήνες, με ταυτόχρονο έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου.
- ε) Βελτίωση του σημερινού τρόπου διάθεσης των κτηνοτροφικών αποβλήτων με την εξάπλωσή τους σε μεγαλύτερες εκτάσεις ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια επιφανειακής διάθεσης που προτείνει η ΕΡΑ, (παραγρ. 7.2) και να αποφεύγεται η διαφυγή ρυπαντών στους αποδέκτες.

στ) Διατήρηση του συστήματος υπεδάφιας διάθεσης των αστικών λυμάτων με σηπτικούς/απορροφητικούς βόθρους για όλους τους μικρότερους οικισμούς που δεν εντάσσονται στην ευρύτερη πόλη Ιωαννίνων σύμφωνα με τις διατάξεις της 221/67 Υγειονομικής Διάταξης "Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων".

ζ) Τα μέγιστα επιτρεπόμενα ρυπαντικά φορτία στον Καλαμά δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα φορτία του σεναρίου III του 2011, δηλ.:

- B.O.D.₅ = 1235 kg/ημ.
- SS = 1375 "
- N = 155 "
- P = 260 "

10.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

10.5.1 Μόνιμο δίκτυο παρακολούθησης

Η υλοποίηση των απαιτήσεων για την κάλυψη τόσο του άμεσου όσο και του μελλοντικού στόχου των χρήσεων των επιφανειακών νερών του λεκανοπεδίου εξαρτάται απόλυτα από την οργάνωση ενός μόνιμου δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας σύμφωνα και με τις απαιτήσεις των σχετικών κατευθυντηρίων οδηγιών της Ε.Ο.Κ.

Ο στόχος ενός μόνιμου δικτύου παρακολούθησης μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- α) Έλεγχος της καταλληλότητας των νερών για τις πραγματοποιούμενες και επιθυμητές χρήσεις και ιδιαίτερα στις περιοχές όπου πραγματοποιούνται, συστηματική αλιεία ή ύδροληψία για ύδρευση.
- β) Ικανοποίηση των απαιτήσεων της ελληνικής νομοθεσίας και του κοινοτικού δικαίου για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών.
- γ) Εξακρίβωση των επιπτώσεων από τη διάθεση υγρών αποβλήτων στους αποδέκτες και της αποτελεσματικότητας των συγκεκριμένων μέτρων που έχουν ληφθεί για την αντιμετώπισή τους.
- δ) Επισημάνση επειγόντων περιστατικών ρύπανσης και λειτουργία συστήματος συναγερμού, π.χ. σε περιπτώσεις αστοχίας των έργων επεξεργασίας.
- ε) Καλύτερη ρύθμιση του μαθηματικού ομοιώματος χωροχρονικής εξέλιξης της ρύπανσης, για την αξιόπιστη χωροχρονική πρόβλεψη της ποιότητας των νερών, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση νέων βιομηχανικών μονάδων.

Τα βασικά δεδομένα σχεδιασμού ενός μόνιμου δικτύου παρακολούθησης είναι οι θέσεις δειγματοληψίας, οι παράμετροι

μετρήσεων, η συχνότητα δειγματοληψίας και οι μέθοδοι αναλύσεων. Όλα τα δεδομένα αυτά έχουν καλυφθεί αναλυτικά στα πλαίσια της έρευνας αυτής σε προηγούμενα κεφάλαια και συνοψίζονται ως εξής:

i) Θέσεις δειγματοληψίας

Όλες οι θέσεις δειγματοληψίας του παρόντος προγράμματος δειγματοληψιών και αναλύσεων προτείνεται να αποτελέσουν και τους μόνιμους σταθμούς δειγματοληψίας του δικτύου παρακολούθησης καθόσο ικανοποιούν τους στόχους του δικτύου και η επιλογή τους έγινε με βάση τα κριτήρια από τη διεθνή εμπειρία και πρακτική.

ii) Παράμετροι μετρήσεως και συχνότητας δειγματοληψίας

Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν στην παραγρ. 10.1 σχετικά με την επάλληλία των χρήσεων προκύπτει ότι οι παράμετροι του Πίνακα 1 και οι ελάχιστες τιμές τους αποτελούν και τα "πρότυπα ποιότητας" των δύο αποδεκτών της περιοχής.

Προτείνεται κατά συνέπεια η μέτρηση των παραμέτρων του Πίνακα 1 σε κάθε σταθμό με συχνότητα δειγματοληψίας για την κάθε παράμετρο, όπως ορίζεται στην αντίστοιχη κατευθυντήρια οδηγία της αυστηρότερης χρήσης.

10.5.2 Φορέας παρακολούθησής της ποιότητας των νερών

Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες όπου γίνεται εντατική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων έχουν δημιουργηθεί φορείς διαχείρισης των νερών οργανωμένοι στη βάση υδρολογικής λεκάνης ή συστήματος υδρολογικών λεκανών. Χαρακτηριστικοί τέτοιοι φορείς υπάρχουν στη Μ. Βρετανία, Γαλλία, Ολλανδία και Γερμανία με αρμοδιότητες που ποικίλουν από την καθολική διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης, (περίπτωση των Water Authorities της Μεγ. Βρετανίας) μέχρι την απλή παρακολούθηση της

ποιότητας και την κατανομή των αρμοδιοτήτων μεταξύ των διαφόρων κρατικών υπηρεσιών.

Η ύπαρξη ενός φορέα οργανωμένου στη βάση υδρολογικής λεκάνης και επιφορτισμένου με τον έλεγχο όλων των δραστηριοτήτων που επηρεάζουν τον υδάτινο κύκλο θα εξασφαλίζει ότι η κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη δεν θα έρχεται σε αντιφάσεις με τη διατήρηση της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο φορέας θα συμμετέχει στη χάραξη της περιβαλλοντικής αλλά και της αναπτυξιακής πολιτικής.

Το υδρολογικό σύστημα του Καλαμά και της λίμνης Παμβώτιδας αποτελεί μία χαρακτηριστική περίπτωση υδατικού πόρου που θα πρέπει να αντιμετωπισθεί συνολικά, διότι:

- α) Υπάγεται διοικητικά σε δύο νομούς, Ιωαννίνων και Θεσπρωτίας.
- β) Αποτελεί ζωτικό υδατικό πόρο για την περιοχή (άρδευση, αλιεία) και έχει μεγάλη αισθητική αξία για την ανάψυχή των κατοίκων.
- γ) Θα αποτελέσει τον αναγκαστικό αποδέκτη των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων της ευρύτερης περιοχής Ιωαννίνων και Θεσπρωτίας.
- δ) Αποτελεσματική παρακολούθηση της ποιότητας των νερών είναι αδύνατο να εφαρμοστεί με το ισχύο σήμερα νομικό καθεστώς και την πολυδιάσπαση των αρμοδιοτήτων.

Για την οργάνωση του φορέα Διαχείρισης Νερών θα πρέπει να μελετηθεί και να αξιοποιηθεί η εμπειρία των χωρών που έχουν οργανωμένες υπηρεσίες στη βάση αυτή καθώς επίσης και οι ιδιαιτερότητες του ελληνικού χώρου. Ήδη το Υπουργείο Ενεργείας και Φυσικών Πόρων επεξεργάζεται ένα σχέδιο Διαχείρισης Νερών με ιδιαίτερη έμφαση στην υδροηλεκτρική αξιοποίηση.

10.5.3 Πρόταση για άμεση σύσταση διανομαρχιακού οργάνου παρακολούθησης της ποιότητας

Με δεδομένη την άμεση ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας των νερών της περιοχής και το γεγονός ότι ήδη έχει σχεδιασθεί και εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας όπως αναλυτικά έχει περιγραφεί στην παραγρ. 10.4.1, το οποίο θα πρέπει να συνεχιστεί, προτείνεται η άμεση σύσταση ενός διανομαρχιακού συμβουλίου διαχείρισης των νερών του υδρολογικού συστήματος Καλαμά-Λίμνης Ιωαννίνων. Στο συμβούλιο θα πρέπει να εκπροσωπούνται, η Τοπική Αυτοδιοίκηση, οι συναρμόδιες Υπηρεσίες της Νομαρχίας (Υ.ΧΟ.Π., Γεωργίας, Υγιεινής, το ΤΕΕ) και οι ενδιαφερόμενοι φορείς πολιτών, βιομηχάνων.

Η εφαρμογή του προγράμματος ελέγχου και παρακολούθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την συνδρομή του φορέα της παρούσας έρευνας, δηλαδή του Εργαστηρίου Αναλυτικής Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και του τομέα Υδατικών Πόρων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, που θα λειτουργήσουν σαν φορείς προγραμματισμού και ελέγχου, καθώς επίσης και της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ιωαννίνων, αφού ενισχυθεί με το απαραίτητο προσωπικό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΟΤΙΔΑΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I

Δειγματοληψίες και Αναλύσεις Λίμνης Παμβώτιδας

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 8 Νοεμβρίου 1983

Σημείο δειγματο- ληψίας	Θερμοκρασία °C	pH	Αλκαλικότητα mg CaCO ₃ /lt	Ειδική αγωγιμότητα L ₂₀ μhos	D.O. mg/l	C.O.D. mg/lt	B.O.D. mg/lt
1	14,0	8,3	112	262	8,1	15,3	0,6
2	14,1	7,4	111	259	7,4	12,7	0,7
3	14,8	8,3	111	228	8,0	11,9	0,5
4	15,0	8,3	111	238	7,9	15,9	0,1
6	14,2	8,1	111	246	7,8	10,0	0,8
7	13,7	7,8	111	236	7,0	13,1	0,7
8	13,5	8,0	110	238	7,6	14,8	0,4
9	13,5	7,8	111	244	6,8	11,0	0,2
10	13,5	7,9	111	252	7,0	13,7	0,2
11 _I	14,5	8,1	108	244	8,2	15,0	0,1
11 _{II}	14,0	8,2	110	243	7,4	5,3	0,0
11 _{III}	14,0	7,9	110	242	7,8	7,2	0,1
12 _I	14,5	8,3	106	246	8,3	20,9	1,0
12 _{II}	14,0	8,4	110	246	8,7	10,0	0,7
12 _{III}	13,5	8,4	111	246	7,6	7,0	0,9
13	14,0	8,4	109	246	8,2	14,7	0,7
14	13,5	8,4	108	238	8,1	18,1	1,0
15	13,8	8,3	113	259	8,3	12,3	0,6
17	13,9	8,1	105	259	8,4	7,8	0,2

Σημείωση: Επιπλέον μετρήθηκαν τα δείγματα για σκληρότητα και βρέθηκαν τιμές 10,5-11,3 .

* Όλες οι δειγματοληψίες και αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας του Παν/μίου Ιωαννίνων.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 8- Νοεμβρίου 1983

Σημείο δειγμα- τοληψίας	Ακριβείς μετρήσεις		NO_2^- ppb	Cl_2^0 ppb	Cl^- ppm	S^{2-} ppb	PO_4^{3-} ppb	SiO_3^{2-} ppm
	NH_4^+ ppm	NO_3^- ppm						
1	<0,1	<0,1	10	30	9,5	<10	100	2,9
2	<0,1	<0,1	12	50	9,6	<10	130	2,8
3	<0,1	<0,1	9	60	9,6	<10	380	2,7
4	<0,1	<0,1	10	30	9,2	<10	80	2,5
6	<0,1	<0,1	13	50	9,1	<10	180	2,4
7	<0,1	<0,1	55	30	9,5	<10	230	3,0
8	<0,1	<0,1	18	20	9,0	<10	180	3,2
9	<0,1	<0,1	10	30	8,7	<10	180	3,1
10	<0,1	<0,1	11	30	9,3	<10	220	2,6
11 _I	<0,1	<0,1	12	30	8,9	<10	330	2,6
11 _{II}	<0,1	<0,1	12	30	9,2	<10	490	3,0
11 _{III}	<0,1	<0,1	10	40	9,2	<10	230	2,8
12 _I	<0,1	<0,1	9	100	9,7	<10	180	2,3
12 _{II}	<0,1	<0,1	10	80	9,6	<10	80	2,3
12 _{III}	<0,1	<0,1	10	50	8,6	<10	130	2,8
13	<0,1	<0,1	11	20	9,3	<10	1750	3,2
14	<0,1	<0,1	<10	10	9,9	<10	120	3,1
15	<0,1	<0,1	11	30	10,5	<10	180	3,0
17	<0,1	<0,1	11	30	9,1	<10	170	2,9

Σημείωση: Ανάλυση θειικών ιόντων σε αντιπροσωπευτικό δείγμα της λίμνης έδωσε τιμή $28,95 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{lt}$ ή $28,95 \text{ ppm}$.

ΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 13 Μαρτίου 1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	Ώρα	Θερμο- κρασία °C	pH	Αλκαλικότητα mg. CaCO ₃ /lt	Ειδική αγωγιμότητα L ₂₀ μmohs	D.O. mg/lt	C.O.D. mg/lt	B.O.D. mg/lt
1	12:50	10,0	6,6	134	278	10,8	Δεν έγιναν μετρήσεις	2,3
4	10:00	9,0	6,7	133	284	9,2		2,2
6	10:20	9,8	6,8	133	278	9,7		2,4
7	10:26	9,5	6,9	132	284	9,4		1,7
9	10:45	9,5	7,5	131	265	11,0		2,2
11 _I	11:05	10,0	6,5	130	265	10,4		1,6
11 _{II}	11:12	9,0	6,7	131	265	11,0		2,7
11 _{III}	11:17	9,0	6,7	131	265	10,4		2,6
12 _I	11:53	10,0	6,8	131	265	11,2		2,1
12 _{II}	11:58	9,0	6,7	130	265	10,8		1,6
12 _{III}	12:05	9,0	6,6	130	280	11,0		2,2
14	12:30	10,5	6,7	133	242	9,6		2,4

Παρατηρήσεις: α) Οι δείκτες I,II,III στα δείγματα των σημείων 11 και 12 αντιστοιχούν σε βάθη από την επιφάνεια της λίμνης 0,2 και 4 μέτρα αντίστοιχα.

β) Οι τιμές BOD είναι για 5 μέρες. Για ένα δείγμα, το 14 μετρήθηκε BOD είκοσι ημερών και βρέθηκε 3,1 mg O₂/lt.

γ) Κατά την ημέρα της δειγματοληψίας επικρατούσε στη λίμνη υψηλή κατάσταση θολερότητας.

δ) Για το σημείο 1 μετρήθηκε η τιμή χλωροφύλλης και βρέθηκε: χλωροφύλλη a=0,001 mg/lt, χλωροφύλλη b=0,01 mg/lt και χλωροφύλλη c=0,028 g/lt.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 13 Μαρτίου 1984

Σημείο δειγμα- τοληψίας	NH_4^+ ppb	NO_3^- ppb	NO_2^- ppb	Cl_2^0 ppb	Cl^- ppm	S^{2-} ppb	PO_4^{3-} ως P_2O_5 ppb	SiO^{2-} ως SiO_2 ppm
1	63	95	8,5	39	47	5	26,0	3,5
4	84	393	7,9	19	45	10	39,0	3,2
6	67	187	7,9	53	46	10	65,0	3,0
7	49	349	7,6	20	48	12	26,0	3,2
9	47	334	7,5	30	44	90	234,0	3,0
11 _I	40	246	6,9	32	46	10	78,0	3,4
11 _{II}	42	157	6,6	31	46	5	39,0	3,2
11 _{III}	45	145	6,9	32	46	8	104,0	3,2
12 _I	42	120	6,4	51	48	5	78,0	3,2
12 _{II}	40	110	6,4	50	46	5	39,0	3,1
12 _{III}	43	118	6,5	50	48	5	91,0	3,4
14	86	230	9,6	11	50	10	143,0	3,8

Παρατήρηση: Η σκληρότητα των δειγμάτων βρέθηκε στην περιοχή
14,1-15,0 Γαλλ.Βαθμ.

ΠΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 11/5/1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	Ώρα	Θερμο- κρασία °C	pH	Αλκαλικότητα mg CaCO ₃ /lt	Ειδική αγωγιμότητα L ₂₀ μmohs	D.O. mg/lt	C.O.D. mg/lt	B.O.D. mg/lt
4	9:35	18,0	6,83	140	274	7,6	26	1,4
6	10:00	18,0	6,88	138	268	6,4	31	2,2
7	10:10	18,0	6,80	137	274	7,0	17	1,2
9	10:30	18,8	6,90	135	268	8,2	28	1,2
11 _I	10:55	19,0	7,00	137	268	7,8	33	1,8
11 _{II}	11:05	18,5	6,90	136	268	7,7	27	0,8
11 _{III}	11:15	18,0	6,90	137	268	6,4	19	0,5
12 _I	11:45	18,4	6,85	138	268	7,4	26	1,7
12 _{II}	11:50	18,5	7,50	138	268	6,8	13	1,1
12 _{III}	11:55	18,0	7,10	138	268	6,4	18	0,5
14	12:15	18,5	6,95	139	274	8,7	28	1,3
1	13:30	18,5	6,86	137	259	9,0	24,0	1,4

Παρατηρήσεις:

- 1) Οι δειγματοληψίες I, II, III αναφέρονται σε βάθη από την επιφάνεια 0,2 και 4 μέτρα αντίστοιχα.
- 2) Θολρότητα, διάκριση δίσκου στο 1 m.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 11/5/1984

Σημείο δειγμα- τοληψίας	NH_3^+ ppb	NO_2^- ppb	NO_2^- ppb	Cl_2^0 ppb	Cl^- ppm	S^{2-} ppb	PO_4^{3-} ως P_2O_5 ppb	SiO^{2-} ως SiO_2 ppm
1	47	87	7,3	28	39	8	100	2,1
4	88	280	6,7	12	35	5	162	2,2
6	53	158	6,9	45	35	5	138	2,5
7	50	317	6,5	21	38	5	138	2,1
9	47	306	6,2	23	35	5	100	1,2
11 _I	53	218	5,4	20	37	5	138	1,9
11 _{II}	41	126	5,1	21	36	5	138	1,9
11 _{III}	41	113	5,1	21	36	5	138	2,1
12 _I	66	107	5,4	45	39	5	125	2,4
12 _{II}	47	104	5,3	44	36	5	125	2,7
12 _{III}	47	103	5,1	44	36	5	138	2,7
14	50	211	8,3	10	44	10	162	2,1

Παρατηρήσεις:

- 1) Η σκληρότητα των δειγμάτων βρέθηκε στην περιοχή 14,4-15,0 Γαλλ. βαθμοί.
- 2) Μετρήθηκε στερεό υπόλειμμα στα σημεία 1,6 και 11_{II} και βρέθηκαν τιμές αντίστοιχα 6,4 , 6,4 και 6,0 mg/lit.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ
ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΛΙΜΝΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 11 Μαΐου 1984

<u>Σημείο</u>	<u>Χλωροφύλλη a</u>	<u>Χλωροφύλλη b</u>
4	0,005 mg/l	0,0006 mg/l
6	0,005 "	0,0013 "
7	0,004 "	0,0014 "
11	0,004 "	0,0009 "
12	0,007 "	0,0003 "

Μέτρηση θερμοκρασίας, pH και διαλυτού οξυγόνου (D.O.) σε δύο σημεία της Λίμνης Ιωαννίνων κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: 11/4/1984

Ώρα	ΜΩΛΟΣ			ΛΙΜΝΟΠΟΥΛΑ		
	Θερμοκρ.	pH	D.O. mg/l	Θερμοκρ. °C	pH	D.O. mg/l
08:00	12,9	7,4	8,2	13,3	7,1	9,3
11:00	12,5	7,3	7,5	12,8	7,5	7,9
14:00	13,1	7,5	7,9	13,6	7,5	8,3
17:00	13,7	7,4	8,2	13,8	7,6	8,5
20:00	12,6	7,6	8,1	13,2	7,4	8,7
22:00	12,1	7,6	8,3	12,8	7,4	8,8

Μέτρηση θερμοκρασίας, pH και διαλυτού οξυγόνου
(D.O.) σε δύο σημεία της Λίμνης Ιωαννίνων κατά
τη διάρκεια μιας ημέρας.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: 15/5/1984

Ώρα	ΜΩΛΟΣ			ΛΙΜΝΟΠΟΥΛΑ		
	Θερμοκρ. °C	pH	D.O. mg/l	Θερμοκρ. °C	pH	D.O. mg/l
08:00	18,0	7,4	7,2	18,0	7,6	7,6
11:00	18,0	7,3	6,8	18,0	7,6	8,3
14:00	19,0	8,0	8,6	19,0	7,9	8,2
15:00	20,0	7,7	9,2	20,0	7,5	8,8
20:00	19,0	7,4	8,4	19,0	7,3	7,8
22:00	18,5	7,3	7,9	18,5	7,2	7,2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΛΑΨΙΣΤΑΣ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 3 Απριλίου 1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	Ώρα	Θερμο- κρασία °C	pH	Αλκαλικότητα mg CaCO ₃ /lt	Ειδική αγωγιμότητα L ₂₀ μhos	D.O. mg/lt	Σκληροτ. Γαλλ. Βαθμοί	B.O.D. mg/lt
K ₁	10:00	14,5	7,7	132	264	8,2	15,0	0,3
K ₂	10:30	13,5	6,9	133	348	7,5	15,2	0,7
K ₃	11:00	13,5	6,8	142	381	7,4	16,2	2,5
K ₄	11:20	13,0	6,8	143	367	6,7	16,9	0,7
K ₅	11:40	13,0	6,7	158	372	7,2	18,4	0,5
K ₆	13:15	12,5	6,7	141	270	6,6	15,8	1,2

- Παρατηρήσεις: α) Τα σημεία K₁ μέχρι K₅ καλύπτουν το κανάλι από την έξοδο της λίμνης μέχρι την εκβολή του στον Βελτίτσικο
 β) Το σημείο K₆ βρίσκεται στην έξοδο του αντλιοστασίου στη Λίμνη, (έξοδος Καναλιού Λαγγίστας).
 γ) Η αλκαλικότητα των δειγμάτων K₁-K₆ κυμαίνεται στο διάστημα 132-158 mg CaCO₃/lt.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΛΑΨΙΣΤΑΣ (συνέχεια)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 3 Απριλίου 1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	NH_4^+ ppb	NO_3 ppb	NO_2^- ppb	S^{2-} ppb	PO_4^{3-} ppb	SiO_3^{2-} ppm
K ₁	48,5	187	6,7	15	487,5	1,1
K ₂	61,7	216	9,8	13	487,5	1,7
K ₃	50,0	497	12,5	15	437,5	1,8
K ₄	76,4	659	13,4	15	150,0	1,8
K ₅	97,1	718	21,3	20	187,5	2,15
K ₆	28,0	1058	10,9	10	262,5	0,7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΝΕΡΩΝ ΛΙΜΝΗΣ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 12/9/1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	Ώρα	Θερμο- κρασία °C	pH	Αλκαλικότητα mg CaCO ₃ /lt	Ειδική αγωγιμότητα L ₂₀ μmohs	D.O. mg/lt	C.O.D. mg/lt	B.O.D. mg/lt
4	9:45	22,0	6,92	103	252	7,6	6	3,0
6	9:50	22,0	6,92	102	241	6,9	6	2,0
7	10:10	23,2	8,40	103	236	8,8	49	2,3
9	10:30	23,5	8,06	109	232	10,2	68	5,9
11 _I	10:50	23,5	8,51	104	237	9,2	9	3,9
11 _{II}	11:00	22,5	7,47	103	244	6,2	3	2,4
11 _{III}	11:05	22,5	7,85	104	227	7,1	6	1,3
12 _I	11:25	22,8	6,9	103	242	6,2	23	2,0
12 _{II}	11:30	22,0	6,9	102	241	5,4	5	2,2
12 _{III}	11:36	22,0	6,9	103	240	6,1	17	1,7
14	11:51	22,8	6,92	100	253	7,8	17	1,9
1	12:00	23,2	7,52	101	247	8,1	23	1,6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΕ
ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΩΝ ΛΙΜΝΗΣ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 12/9/1984

Σημείο δειγματο- ληψίας	NO_2^- ppb	NH_4^+ ppb	NO_3^- ppb	Cl^- ppm	Cl_2 ppb	PO_4^{3-} P_2O_5 ppb	SiO_3^{2-} SiO_2 ppm	S^{2-} ppb	Σκληρότητα mg CaCO_3 (100 ml)
1	5,3	58	79	41	23	512	14,0	<5	11,2
4	6,1	71	250	37	9	475	15,8	5	10,6
6	5,5	63	134	39	29	638	14,0	10	11,0
7	4,3	40	265	43	18	462	12,6	12	10,8
9	6,5	45	238	36	16	850	13,6	50	11,0
11 _I	4,8	46	223	42	17	600	13,6	10	10,6
11 _{II}	4,6	43	210	40	19	562	13,9	15	10,8
11 _{III}	5,2	49	204	41	19	538	13,4	10	10,7
12 _I	9,2	55	94	47	32	538	14,1	5	10,6
12 _{II}	9,8	59	91	44	37	562	14,6	5	10,8
12 _{III}	11,5	59	90	44	34	588	14,3	<5	10,8
14	7,6	67	195	46	8	525	14,2	5	11,0

Παρατηρήσεις: Οι δειγματοληψίες I, II, III αναφέρονται σε βάθη από την επιφάνεια 0,2 και 4 μέτρα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ
ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΛΙΜΝΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: 12/9/84

Σημείο	Χλωροφύλλη <u>a</u> mg/lt
1	0,035
4	0,048
7	0,045
9	0,126
11	0,107
12	0,049
14	0,030

Παρατήρηση: Οι χλωροφύλλες b και c δεν ήταν μετρήσιμες
σε κανένα από τα δείγματα

Μέτρηση θερμοκρασίας, pH και διαλυτού
οξυγόνου (D.O.) σε δύο σημεία της
Λίμνης Ιωαννίνων κατά τη διάρκεια μιας
ημέρας.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: 24/9/1984

Ώρα	ΜΩΛΟΣ			ΛΙΜΝΟΠΟΥΛΑ		
	Θερμοκρ. °C	pH	D.O. mg/l	Θερμοκρ. °C	pH	D.O. mg/l
08:00	16,5	8,1	7,4	15,5	8,3	6,9
11:00	17,0	8,3	7,9	17,0	8,5	7,5
14:00	18,0	8,4	8,4	18,0	8,2	8,7
17:00	18,0	7,7	8,1	18,5	8,2	7,9
20:00	17,0	7,9	7,8	17,5	8,3	7,4
22:00	15,5	8,4	7,9	16,0	8,4	7,0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΙΜΝΗΣ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Μελέτη βιολογικών χαρακτηριστικών λίμνης Παμβώτιδας

Για μια πρώτη επισκόπηση των μικροοργανισμών της λίμνης Παμβώτιδας, (Ιωαννίνων), και την περαιτέρω εκτίμηση της ποιότητας των νερών της από βιολογική άποψη, κρίθηκε απαραίτητη η ποιοτική έρευνα του φυτοπλαγκτού και η μελέτη της εποχιακής του διακύμανσης.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Συστηματικής Βοτανικής του τομέα Οικολογίας-Ταξινομικής του Πανεπιστημίου της Αθήνας από τη βιολόγο Μ. Σπαρτινού με την καθοδήγηση της λέκτορος Αθηνάς Οικονόμου-Αμίλλη.

Η επιλογή του φυτοπλαγκτού έγινε για δύο λόγους:

- 1) Το φυτοπλαγκτό αποτελεί τον πρώτο κρίκο της τροφικής αλυσίδας μιας λίμνης, αφού περιλαμβάνει το σύνολο των μικροσκοπικών αυτότροφων οργανισμών του νερού.
- 2) Οι διάφορες κατηγορίες των φυτών του φυτοπλαγκτού περιλαμβάνονται σαν χαρακτηριστικοί βιολογικοί δείκτες και χρησιμοποιούνται ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία για την ποιοτική εκτίμηση των νερών.

Το φυτοπλαγκτό της λίμνης Ιωαννίνων μελετήθηκε ποιοτικά και ποσοτικά με πέντε δειγματοληψίες που κάλυψαν το διάστημα από το Δεκέμβριο του 1983 ως το Σεπτέμβριο του 1984.

Στις ποιοτικές αναλύσεις αναγνωρίστηκαν και προσδιορίστηκαν τα διάφορα επικρατούντα φύκη του φυτοπλαγκτού. Αυτή η ποιοτική ανάλυση αφενός συμβάλλει στη γνώση της χλωρίδας της περιοχής, αφετέρου σε συνδυασμό με μερικούς αβιοτικούς παράγοντες και τις ποσοτικές μετρήσεις, μπορεί να δώσει σαφείς ενδείξεις περί της τροφικότητας της λίμνης.

Οι ποσοτικές μετρήσεις συνίστανται στον υπολογισμό της εκατοστιαίας αναλογίας των ειδών του υλικού που συλλέχθηκε με πλακτονικό δίκτυο και στην εκτίμηση της συνολικής βιομάζας (κύτταρα/lit.).

Ο τρόπος δειγματοληψίας και συλλογής του υλικού, οι μέθοδοι ανάλυσης, μέτρησης και εξέτασης καθώς και η σχετική βιβλιογραφία παρουσιάζονται στο τέλος του παρόντος παραρτήματος. Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής είναι τα ακόλουθα:

1. Αναγνωρίστηκαν συνολικά 6 ομάδες φυκών με 40 γένη, 63 είδη και 1 ποικιλία, τα οποία κατανέμονται ως εξής:

1. Cyanophyta	:	6 γένη με 8 είδη
2. Chlorophyta	:	18 " 27 "
3. Chrysophyta	:	1 " 2 "
4. Pyrrophyta	:	2 " 2 "
5. Bacillariophyta	:	13 " 24 "
6. Flagellatae	:	(μέτριος αριθμός μη προσδιορισμένων γενών).

2. Από τα 63 συνολικά προσδιορισθέντα είδη διαπιστώθηκε βιβλιογραφικά, ότι τα 34 είναι δείκτες σαπροβιότητας (Πίνακας 11). Ως προς το βαθμό σαπροβιότητας (σύμφωνα με τον Sládeček, 1973) αυτά τα 34 είδη κατανέμονται ως εξής:

ολιγοσαπρόβια	:	3 είδη
α-μεσοσαπρόβια	:	2 "
β- "	:	20 "
α-β "	:	2 "
β-ο "	:	1 "
ο-β "	:	6 "

3. Γενικά διαπιστώθηκε στις ποσοτικές μετρήσεις, ότι επικρατούν τα Bacillariophyta και τα Chlorophyta. Απ'όλες δε τις ομάδες επικρατούν οι μορφές του nanoplankton - τάξη μεγέθους 10-50 μ - ενώ απουσιάζουν ή είναι ελάχιστες οι μορφές του Microplankton και Macroplankton, είδη των οποίων όμως διαπιστώθηκαν σε αφθονία μάλιστα, στο πλαγκτόν δικτύου.

4. Από την περιοδική διακύμανση του φυτοπλαγκτού αξιολογούμε τα εξής:

- α) Η έντονη αύξηση των κυανοφυκών κατά τη θερμή περίοδο του έτους (δειγματοληψίες της 11.5.84 και 12.9.84).
Εδώ πρέπει να τονίσουμε την παρατηρηθείσα το Σεπτέμβριο εμφάνιση του φαινομένου "άνθηση του νερού" (water bloom) από κυανοφύκη. Συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας της 12/9/84 παρατηρήθηκε το γεγονός η επιφάνεια των καταπράσινων νερών της λίμνης, σε πολλά σημεία, να είναι καλυμμένη σε μεγάλη έκταση από μία πράσινη, πυκνή "κρούστα". Στα δείγματα νερού διαπιστώθηκε:
- η κατά μάζες ανάπτυξη της *Microcystis aeruginosa* και *Aphanizomenon floss-aquae* και με μικρότερο βαθμό ανάπτυξης η εμφάνιση της *Microcystis incerta*, *Anabaena* sp. και *Lyngbya limnetica* (Πίνακας 9 και 10).
 - Η εξαφάνιση σχεδόν των χλωροφυκών με τυχαία εμφάνιση ατόμων των ειδών *Pedistrum simplex* και *P. dublex*.
- β) Η σαφής υπεροχή των διατόμων έναντι των άλλων ομάδων το Μάρτιο και Μάιο.
- γ) Η σαφής υπεροχή των χλωροφυκών το Δεκέμβριο.

Το Μάιο παρατηρούμε μία κατακόρυφη αύξηση στην παραγωγικότητα της λίμνης (180,848,640 κύτταρα/l) με μια ταυτόχρονη αύξηση της ποικιλομορφίας στη σύνθεση του φυτοπλαγκτού (Πίνακες 5-6).

5. Τα είδη των κυανοφυκών που παρατηρήθηκαν σε αφθονία σε όλες σχεδόν τις δειγματοληψίες και ιδιαίτερα κατά τις δειγματοληψίες του Ιουλίου και Σεπτεμβρίου, που βρέθηκαν σε υψηλούς πληθυσμούς/l, είναι η *Microcystis aeruginosa* και *Aphanizomenon floss-aquae*. Για τα δύο αυτά είδη διαπιστώθηκε βιβλιογραφικά (Prescot, 1962), ότι:

- α) Απαντώνται σε εύτροφικές λίμνες με σκληρά νερά.
- β) Το *A. floss-aquae* συναντάται σε νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα: επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης για υψηλό pH και υψηλή περιεκτικότητα για τις προαναφερόμενες ουσίες.
- γ) Το *A. floss-aquae* είτε μόνο του, είτε σε συνδυασμό με την *Microcystis aeruginosa* και *Anabaena spiroïdes* είναι συχνά υπεύθυνο για την έλλειψη οξυγόνου σε μικρές λίμνες, προκαλώντας έτσι το θάνατο πολλών ψαριών.
- δ) Και τα δύο αυτά είδη θεωρούνται υπεύθυνα για την παραγωγή θανατηφόρας τοξίνης, η σύνθεση της οποίας μελετάται σε πολλά εργαστήρια.
- ε) Η παρουσία τους καθιστά το νερό ακατάλληλο για οικιακή χρήση, κολύμπι, κλπ., ενώ η ύπαρξη του *A. flos-aquae* προκαλεί προβλήματα στην υγειονομική μηχανική.
- στ) Και τα δύο είδη θεωρούνται δείκτες για β-μεσοσαπρόβιο βαθμό σαπροβιότητας.

6. Τα είδη των διατόμων που παρατηρήθηκαν σε αφθονία σχεδόν καθ'όλη τη διάρκεια του έτους είναι: *Cyclotella ocellata*, *C. kützingeriana*, *Melosira granulata*, *M. granulata* var. *angustissima*, *Nitzschia fonticola*, *N. hantzschiana*. Εξάλλου, από το Μάιο και μετά αισθητή έγινε η παρουσία της *Attheya zachariasii*. Όλα τα προαναφερθέντα είδη, όπως και τα περισσότερα απ'αυτά που προσδιορίστηκαν στα δείγματά μας, διαπιστώθηκε βιβλιογραφικά (Lowe, 1974) ότι είναι αλκαλίφιλα και συγκεκριμένα η *Nitzschia fonticola* και *N. amphibia* είναι αλκαλίφιλες έως αλκαλόβιες. Επίσης η παρουσία τους είναι χαρακτηριστική νερών με υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων (εύτροφα) και ως προς το βαθμό σαπροβιότητας κατατάσσονται από ολιγοσαπρόβια έως β-μεσοσαπρόβια.

7. Από τα προσδιορισθέντα χλωροφύκη το *Monoraphidium tortile* παρατηρήθηκε καθ'όλη τη διάρκεια του έτους σε μεγάλη ανάπτυξη και μάλιστα το Μάιο έφτασε τα 48.280.260 άτομα/l. Το είδος αυτό αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Hindak, 1977) ότι συναντάται συχνά στο πλαγκτό ευτρόφων λιμνών. Επίσης μεγάλη ανάπτυξη παρατηρήθηκε στα *Kirchneriella* spp., *Closterium aciculare*, *Staurostrum paradoxum*, *Pedistrum dublex*, *P. simplex*, *Eudorina elegans* και για τις άλλες ομάδες του φυτοπλαγκτού στα *Dinobryon divergens* και *D. bavaricum*.

Γενικά δε για την οικολογία των χλωροφυκών και των υπόλοιπων ομάδων του φυτοπλαγκτού διαπιστώθηκε από τη βιβλιογραφία ότι:

- α) Το *Ankistrodesmus fuisiformis* συναντάται συνήθως σε μεσότροφα νερά.
- β) Τα είδη *Ceratium hirundinella*, *Dinobryon bavaricum*, *Botryococcus braunii*, *Volvox globator* και *Eudorina elegans* εμφανίζονται κυρίως σε σκληρά ή ημί-σκληρα νερά.

Όλα τα προαναφερθέντα είναι ενδεικτικά στοιχεία για την κατάσταση της λίμνης, η οποία φαίνεται να είναι ευτροφική. Ενισχυτικό του προηγούμενου χαρακτηρισμού είναι και το ότι από μετρήσεις πρωτογενούς παραγωγικότητας της λίμνης εκφράζεται η ίδια άποψη (Κουσουρής και Φριλίγκος, 1982).

Αξιοπρόσεκτο είναι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ότι από τα συνολικώς 63 ευρεθέντα είδη, τα 34 είναι δείκτες σαπροβιότητας και μάλιστα τα 20 θεωρούνται ως β-μεσοσαπρόβια, δηλ. κατάσταση μέσης ρύπανσης κατά την οποία η διαδικασία της αποσύνθεσης δεν ολοκληρώνεται, οι δε αζωτούχες ενώσεις βρίσκονται σε μορφή αμμωνιακών ενώσεων (Sladeczek 1973, Lowe, 1974).

Μ Ε Θ Ο Δ Ο Ι - Υ Λ Ι Κ Α

Η συλλογή του υλικού έγινε κατά την διάρκεια των πέντε δειγματοληψιών από την λίμνη Παμβώτιδα.

Κάθε φορά συλλέγονταν δείγματα πλακτού επιφανείας με την βοήθεια πλακτικού δικτύου (διαμέτρου πόρων 50 μm), το οποίο συρδάν για λίγη ώρα στην επιφάνεια των νερών, στο κέντρο περίπου της λίμνης. Η μετατόπιση του δικτύου έγινε, τις περισσότερες φορές, από τη θέση δειγματοληψίας 23 $\Rightarrow$ 11 και από τη θέση 11 $\Rightarrow$ 12. Τα δείγματα στερεώθηκαν με την προσθήκη διαλύματος φορμόλης 40% και χρησιμοποιήθηκαν για την ποιοτική ανάλυση και τον υπολογισμό της εκατοστιαίας αναλογίας. Δύο φορές έγινε προσπάθεια μεταφοράς ζωντανού υλικού, ώστε να παρατηρηθεί νωπό.

Ταυτόχρονα με τα δείγματα δικτύου συλλέγονταν από τις θέσεις 11 και 12, με την βοήθεια φιάλης Ruttner, 1lt υλικού επιφανείας και υλικό από τα βάθη 2 m και 4 m. Τα δείγματα αυτά στερεώθηκαν με διάλυμα Lugol και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της βιομάζας (κύτταρα/lit).

Οι ποιοτικές αναλύσεις και οι φωτογραφίες πραγματοποιήθηκαν σε φωτονικό μικροσκόπιο Zeiss-Photomicroscope II.

Για την ποιοτική επισκόπηση του φυτοπλακτού ακολουθήθηκαν οι εξής τρόποι:

α - παρασκευή, προς μικροσκοπική παρατήρηση, ημιμονίμων παρασκευασμάτων με υλικό αφ' ενός από τα δείγματα του πλακτικού δικτύου, αφ' ετέρου από το συμπυκνωμένο υλικό που λαμβάνονταν μετά από καθίζηση στους σωληνοειδείς θαλαμίσκους Utermöhl.

β - Για την μελέτη των μικρών μορφών του φυτοπλακτού (nanoplakton) - τάξη μεγέθους 10-50 μm - εφαρμόστηκε η, για ποσοτικές κυρίως μελέτες, μέθοδος των μεμβρανωδών ηθμών. Χρησιμοποιήθηκαν μεμβρανώδεις ηθμοί Millipore HA 0,45 μ . Εν τούτοις, με τη μέθοδο αυτή τ' αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά, γιατί παρατηρήθηκε καταστροφή των λεπτών μορφών του φυτοπλακτού και μόνο μερικές ανθεκτικές μορφές διατόμων παρέμεναν σε καλή κατάσταση.

γ - Ειδικά για την επισκόπηση των διατόμων ακολουθήθηκαν

οι εξής τρόποι:

- 1) Μέθοδος αποτέφρωσης. Συγκεκριμένα μετά από καλή ανακίνηση του υλικού, για την ομοιόμορφη κατανομή των ατόμων, λαμβάνονταν και τοποθετούνταν μερικές σταγόνες σε καλυπτρίδα, πάνω σε λεία, θερμαινόμενη ηλεκτρική εστία. Αφού το υλικό αποτεφρωνόταν, μεταφερόταν προς έγκλειση με αναστροφή της καλυπτρίδας σε αντικειμενοφόρο πλάκα με υλικό έγκλεισης.
- 2) Καθαρισμός των διατόμων με την μέθοδο της εν θερμώ επεξεργασίας του υλικού με οξέα (Hustedt 1930, Kalbe 1973). Συγκεκριμένα, αφού με απόπλυση επιτυγχάνετο η απομάκρυνση της φορμόλης, ακολουθείτο η εξής διαδικασία:
 - α. Σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml λαμβάναμε λίγη ποσότητα του δείγματος και το εξατμίζαμε αργά, θερμαίνοντας ήπια μέχρι να μείνει η μισή ποσότητα.
 - β. Αφού κρύωνε το υλικό προσθέταμε ίση ποσότητα πυκνού θειϊκού οξέος (H_2SO_4) και θερμαίναμε χωρίς να φτάνουμε σε έντονο βρασμό.
 - γ. Αφού και πάλι το δείγμα κρύωνε, προσθέταμε υπερμαγγανικό κάλι (KMnO_4) σιγά-σιγά, αναταράσσοντας κάθε φορά, έως ότου το χρώμα του δείγματος παρέμεινε πορφυρό.
 - δ. Μετά από 24 h περίπου προσθέταμε κεκορεσμένο οξεικό οξύ (CH_3COOH), έως ότου επιτυγχάναμε αποχρωματισμό του δείγματος.
 - ε. Απομακρύνουμε την περίσσεια των οξέων με απόπλυση με απεσταγμένο νερό με την μέθοδο της καθίζησης και των συνεχών αποχύσεων.

Οι ποσοτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο ανάστροφο φωτονικό μικροσκόπιο Zeiss με την μέθοδο των θαλαμίσκων Utermöhl. Η επιλογή του μεγέθους των θαλαμίσκων έγινε σύμφωνα με την πυκνότητα των κυττάρων του μετρούμενου δείγματος. Τελικά χρησιμοποιήθηκαν, κατόπιν πειραματισμού, θαλαμίσκοι των 0,5 ml, 1,0 ml και 10 ml. Από κάθε καθίζηση καταμετρούντα τα άτομα 100 οπτικών πεδίων δύο κάθετων κεντρικών ζωνοειδών περιοχών της καλυπτρίδας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνετο η καταμέτρηση 100 τουλάχιστον ατόμων από τα επικρατούντα είδη, γεγονός που προτείνει ο Utermöhl (1958) για την επίτευξη ικανοποιητικού βαθμού στατιστικής ακρίβειας.

Εξ'άλλου, για την εκτίμηση της αφθονίας των ειδών γίνεται χρήση της κλίμακας αφθονίας των Pantle και Buck (in Schwoerbel 1970).

Για την εύρεση της εκατοστιαίας αναλογίας των ειδών του πλακτού δικτύου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- α. Το υλικό αναδευόταν καλά για την ομοιόμορφη κατανομή των διαφόρων ατόμων.
- β. Λαμβάνονταν λίγο υλικό και ετοιμάζονταν δύο ημιμόνιμα παρασκευάσματα.
- γ. Στο φωτονικό μικροσκόπιο καταμετρούνταν τα άτομα κάθε είδους σε όλη την έκταση κάθε καλυπτρίδας.

Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό

Αναγνωστίδης Κ.(1961), Bourrelly P.(1966), Edmondson W.(1959), Geitler L.(1932), Hindák F.(1977), Huber-Pestalozzi G.(1941-1983), Nygaard G.(1976), Οικονόμου-Αμίλλη Α.(1976), Patrick R. and Reimer Ch.(1975), Prescott G.(1951), Uherkovich C. (1966-), West, W. and West, G.S.(1904, 1905, 1908, 1912), West, W. and West, G.S. and Carten, N.(1923).

Π Ι Ν Α Κ Ε Σ 1-10

1. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή.
2. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας.

Υπόμνημα Πινάκων

n = αριθμός αποικιών, νημάτων ή μονοκυττάρων οργανισμών.

% = η επί της εκατό συμμετοχή των ατόμων κάθε είδους εις το συνολικό πλακτό δικτύου.

z = κλίμακα αφθονίας κατά Pantle & Buck σύμφωνα με την οποία:

1 : τυχαία εύρεση

3 : πολυάριθμα

5 : άφθονα

K = αριθμός αποικιών, νημάτων ή μονοκυττάρων οργανισμών που καταμετρήθηκαν σε 100 οπτικά πεδία, μετά από καθίζηση ορισμένης ποσότητας δείγματος.

Γραφικές παραστάσεις των πειραματικών δεδομένων των πινάκων 1-10 δείχνονται στα ιστογράμματα 1-10 στο παράρτημα Α.

Δειγματοληψία της 20-12-83Πίνακας 1. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή

Είδη	n	%	z
<i>Microcystis aeruginosa</i>	168	16,42	5
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	+	—	5
<i>Anabaena</i> sp	+	—	3
<i>Pediastrum simplex</i>	8	0,78	3
" <i>dublex</i>	7	0,68	3
<i>Closterium aciculare</i>	69	6,74	5
" <i>prorum</i>	—	—	1
" sp	—	—	1
<i>Volvox globator</i>	8	0,78	3
<i>Eudorina elegans</i> ?	70	6,83	5
<i>Staurastrum paradoxum</i>	3	0,29	3
<i>Cocystis</i> sp	—	—	1
<i>Scenedesmus</i> sp	—	—	1
<i>Gyrosigma</i> sp	2	0,19	1
<i>Melosira granulata</i>	4	0,39	3
Λοιπά διάτομα	560	54,59	5
Ζωοπλακτό	125	12,21	—
Σύνολο	1024	100,00	

+ : ύπαρξη αφθόνων αλλά καταστραμμένων νημάτων, ως εκ τούτου η υπολογισθείσα εκατοστιαία συμμετοχή δεν ανταποκρίνεται απόλυτα στην πραγματικότητα.

Πίνακας 2. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας.

Είδη	K *	<u>Αριθμός ατόμων</u> lt
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1	5.789
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	15	86.835
<i>Closterium aciculare</i>	1	5.789
<i>Kirchneriella pinguis</i> ?	117	677.313
" spp	36	208.404
<i>Monoraphidium tortile</i>	18	104.202
<i>Diplochloris</i> sp ?	2	11.578
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	2	11.578
" <i>dispar</i> ?	1	5.789
" sp	2	11.578
<i>Oocystis</i> sp	3	17.367
Μη προσδιοριζόμενα χλωροφύκη	67	387.863
Flagellatae	106	613.634
<i>Melosira</i> sp	5	28.945
Σύνολο	376	2176.664

* Η μέτρηση των ατόμων αναφέρεται σε 100 οπτικά πεδία μετά από καθίζηση 10 ml δείγματος.

Δειγματοληψία της 13-3-84Πίνακας 3. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή

Είδη	n	%	z
<i>Microcystis aeruginosa</i>	196	21,40	5
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	63	6,88	5
<i>Closterium aciculare</i>	107	11,68	5
" <i>acerosum</i> ?	—	—	1
" <i>moniliferum</i> ?	—	—	1
" sp	—	—	1
<i>Pediastrum simplex</i>	2	0,22	3
" <i>dublex</i>	5	0,55	3
<i>Staurastrum paradoxum</i>	1	0,11	3
<i>Eudorina elegans</i> ?	1	0,11	3
<i>Botryococcus braunii</i>	9	0,98	3
<i>Crusigenia fenestrata</i>	—	—	1
<i>Monoraphidium tortile</i>	31	3,38	3
<i>Dinobryon bavaricum</i> ?	41*	4,48	3
" <i>divergens</i>	32*	3,49	3
<i>Ceratium hirundinella</i>	—	—	1
<i>Peridinium</i> sp	—	—	3
<i>Melosira granulata</i>	4	0,44	3
Λοιπά διέτομα	343	37,88	3
Ζωοπλακτό	77	8,45	—
Σύνολο	918	100,00	

* : οι μετρήσεις στα *Dinobryon* αναφέρονται σε loricae.

Πίνακας 4. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας.

Είδη	Κ *	Αριθμός ατόμων lt
Monoraphidium tortile	50	2.894.500
Kirchneriella pinguis ?	12	694.680
" spp	179	10.362.310
Tetrastrum staurogeniforme	2	115.780
Diplochloris sp ?	2	115.780
Scenedesmus sp	2	115.780
Μη προσδιοριζόμενα χλωροφύκη	105	6.078.450
Flagellatae	6	347.340
Cyclotella spp ζωνιτ.	622	36.007.580
" " νεκ.	124	7.178.360
Melosira sp	2	115.780
Λοιπά διάτομα	18	1.042.020
Σύνολο	1124	65.068.360

* Η μέτρηση των ατόμων αναφέρεται σε 100 οπτικά πεδία μετά από καθίζηση 1,0 ml δείγματος.

Δειγματοληψία της 11-5-84Πίνακας 5. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή

Είδη	n	%	z
<i>Microcystis aeruginosa</i>	23	3,05	3
<i>Phormidium mucicola</i> ?	—	—	1
<i>Merismopedia punctata</i> ?	—	—	1
<i>Closterium aciculare</i>	1	0,13	3
" <i>pronum</i>	1	0,13	1
<i>Staurastrum paradoxum</i>	—	—	1
<i>Eudorina elegans</i> ?	—	—	1
<i>Volvox globator</i>	3	0,40	3
<i>Pediastrum simplex</i>	—	—	1
" <i>dublex</i>	—	—	1
<i>Botryococcus braunii</i>	—	—	3
<i>Crusigenia fenestrata</i> ?	—	—	1
<i>Actinastrum hantzschii</i> ?	—	—	1
<i>Coelastrum microporum</i>	—	—	1
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	—	—	1
<i>Schroederia antillarum</i>	—	—	1
<i>Monoraphidium tortile</i>	226	29,93	5
<i>Dinobryon divergens</i>	30*	3,97	5
" <i>bavaricum</i>	178*	23,58	5
<i>Peridinium</i> sp	—	—	1
<i>Ceratium hirudinella</i>	—	—	1
Μη προσδιορισθέντα χλωροφύκη	4	0,53	3
<i>Melosira</i>	17	2,25	3
<i>Cyclotella</i> sp	184	24,37	5
Λοιπά διάτομα	44	5,83	5
Ζωοπλακτό	44	5,83	—
Σύνολο	755	100%	

* Οι μετρήσεις στα *Dinobryon* αναφέρονται σε loricae.

Πίνακας 6. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας

Είδη	K*	Αριθμός ατόμων lt
Staurostrum paradoxum	1	115.780
Kirchneriella pinguis ?	1	115.780
" spp	77	8.915.060
Monoraphidium tortile	417	48.280.260
Diplochloris sp ?	2	231.560
Scenedesmus sp	2	231.560
Crusigenia fenestrata	2	231.560
Schroederia untillarum ?	10	1.157.880
Μη προσδιοριζόμενα χλωροφύτη	63	7.294.140
Flagellatae	30	3.473.400
Peridinium sp	1	115.780
Cyclotella spp ζωντ.	667	77.225.260
" " νεκ.	286	33.113.280
Melosira sp	2	231.560
Λοιπά διάτομα	1	115.780
Σύνολο	1562	180.848.640

* Η μέτρηση των ατόμων αγαφύρεται σε 100 οπτικά πεδία μετά από καθίζηση 0,5 ml δείγματος.

Δειγματοληψία της 4-7-84Πίνακας 7. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή *

Είδη	z
<i>Microcystis aeruginosa</i>	5
" <i>inserta</i>	3
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	5
<i>Lyngbya limnetica</i> ?	1
<i>Closterium aciculare</i>	3
<i>Staurastrum paradoxum</i>	1
<i>Pediastrum simplex</i>	3
" <i>dublex</i>	3
<i>Eudorina elegans</i> ?	1
<i>Monoraphidium tortile</i>	5
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	1
<i>Schroederia antillarum</i>	1
<i>Coelastrum microporum</i>	1
<i>Hoffmania lauterbonii</i>	1
<i>Melosira</i> sp	3
<i>Attheya</i> sp	3
<i>Cyclotella</i> sp	3
Λοιπά διάτομα	3

* Δεν υπολογίστηκε η % συμμετοχή, γιατί τα νήματα του *Aphanizomeno flos-aquae*, που βρισκόταν σε μεγάλες ποσότητες ήταν καταστραμμένα και οποιοσδήποτε υπολογισμός δεν θα ανταποκρινόταν καθόλου στην πραγματικότητα.

Πίνακας 8. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας

Είδη	Κ*	Αριθμός ατόμων lt
<i>Microcystis aeruginosa</i>	18	2.084.040
" <i>inserta</i>	3	347.340
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	12	1.389.360
<i>Monoraphidium tortile</i>	5	578.900
<i>Kirchneriella</i> spp	5	578.900
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	1	115.780
<i>Diplochloris</i> sp. ?	2	231.560
<i>Scenedesmus</i> spp	1	115.780
Μη προσδιοριζόμενα χλωροφύκη	9	1.042.020
Flagellatae	25	2.894.500
<i>Cyclotella</i> πυκν.	108	12.504.240
" νεκ.	23	2.662.940
Λοιπά διάτομα	16	1.852.480
Σύνολο	228	26.397.840

* Η μέτρηση των ατόμων αναφέρεται σε 100 οπτικά πεδία μετά από καθίζηση 0,5 ml δείγματος.

Δειγματοληψία της 12-9-84Πίνακας 9. Είδη πλακτού δικτύου και ποσοτική τους συμμετοχή *

Είδη	z
<i>Microcystis aeruginosa</i>	5
" <i>inserta</i>	5
<i>Aphanizomeno flos-aquae</i>	5
<i>Lyngbya limnetica</i>	3
<i>Merismopedia tenuissima</i>	1
<i>Anabaena</i> sp	3
<i>Pediastrum simplex</i>	1
" <i>dublex</i>	1
<i>Eudorina elegans</i> ?	1
Λοιπά διάτομα	1
<i>Melosira</i> sp	3
<i>Attheya</i> sp	3

* Δεν υπολογίστηκε η % συμμετοχή. Παρατηρήθηκε "άνθιση του νερού" από κυανοφύκη, τα οποία είχαν αναπτυχθεί κατά μάζες.

Πίνακας 10. Ποσοτική συμμετοχή ειδών πλακτού επιφανείας *

Είδη	Αριθμός ατόμων	Αριθμός ατόμων lt
<i>Microcystis aeruginosa</i>	50	5.789.000
" <i>inserta</i>	5	578.900
<i>Lyngbya limnetica</i>	2	231.560
Flagellatae	79	9.146.620
<i>Cyclotella</i> sp	58	6.715.240
<i>Melosira</i> sp	33	3.820.740
Λοιπά διάτομα	27	3.126.060
Σύνολο	254	29.408.120

* Η μέτρηση των ατόμων αναφέρεται σε 100 οπτικά πεδία, μετά από καθίζηση 0,5 ml δείγματος.

Πίνακας II. Συνοπτικός πίνακας προσδιορισθέντων ειδών πλαγκτ
της Α. Ιωαννίνων με ενδείξεις για τον βαθμό σαπρ
βιότητας και την συχνότητα ανευρέσεώς τους

Είδη	S	Z				
		Δειγματοληψίες				
		1	2	3	4	5
C y a n o p h y t a						
CYANOPHYCEAE						
Chroococcales						
Chroococcaceae						
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz. em. W.L. TEILING	β	5	5	3	5	5
" <i>inserta</i> LEMM.	β				3	5
<i>Merismopedia punctata</i> ? MEYEN				1		
" <i>tenuissima</i> LEMM.	β-α					1
Hormogonales						
Nostocaceae						
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) RALES	β	5	3		5	5
<i>Anabaena</i> sp.		3				3
Oscillatoriaceae						
<i>Lyngbya limnetica</i> ? LEMM.					1	3
<i>Phormidium mucicola</i> ? HUB.-PESTAL. & NAUMANN				3		
C h l o r o p h y t a						
CHLOROPHYCEAE						
Volvocales						
Volvocaceae						
<i>Eudorina elegans</i> ? EHR.	β	5	3	1	1	1
<i>Volvox globator</i> (L.) EHR.	o-β	3		3		
Chlorococcales						
Hydrodictyaceae						
<i>Pediastrum simplex</i> MEYEN		3	3	1	3	1
" <i>duplex</i> MEYEN.	b	3	3	1	3	1
Botryococcaceae						
<i>Quadricoccus ellipticus</i> ? HORTOB.						1
<i>Botryococcus braunii</i> KÜTZ.	o-β		3	3		
Chlorellaceae						
<i>Diplochloris</i> sp.?		1	1	1	1	

Είδη

S

Z

Δειγματοληψίες

1 2 3 4 5

Kirchneriella pinguis? HIND. 1977

" spp.

Monoraghdium tortile (W. & G.S. WEST) KOM. - LEGN. 1969*Ankistrodesmus fuiformis* CORDACharariaceae*Schroederia antillarum* KOM.Scenedesmaceae*Scenedesmus quadricauda* ? TURP. em. CHOD." *dispar*

" sp.

Crucigenia lauterbornii (SCHMIDLE) SCHMIDLE 1900" *fenestrata* (SCHMIDLE) SCHMIDLE*Tetrastrum staurogeniaeforme* (SCHROD.) LEMM.Coelastraceae*Coelastrum microporum* NÄG.*Actinastrum hantzschii?* LAGERM.Oocystaceae*Oocystis* sp.

CONJUGATOPHYCEAE

Desmidiales

Closteriaceae*Closterium aciculare* TUFFEN WEST" *pronum* BREB." *acerosum?* (SCHRANK) EHR. ex RALES" *moniliferum?* EHRENB.

" sp.

Desmidiaceae*Tetrastrum paradoxum* MEYEN.

C h r y s o p h y t a

CHRYSOPHYCEAE

chromonadales

chromonadaceae*inobryon divergens* IMHOF." *bavaricum* ? IMHOF.

Είδος	S	Z			
		Δειγματοληψ			
		1	2	3	4
P y r r h o p h y t a					
DINOPHYCEAE					
Peridinales					
Peridiniaceae					
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.MÜLLER) SCHRANK s.l.	o		1	1	
Cymnodiaceae					
<i>Peridinium</i> sp.			3	1	
B a c i l l a r i o p h y t a					
BACILLARIOPHYCEAE					
Centrales					
Coscinodiscaceae					
<i>Cyclotella ocellata</i> PANT.		1	5	5	5
" <i>kützingeriana</i> THWAITES	β		3		
<i>Melosira granulata</i> (EHR.) RALFS.	β	1	3	3	3
" " var. <i>angustissima</i> MÜLL.	β	3	3	5	5
Chaetoceraceae					
<i>Althea zachariasii</i> ? J. Brun.				1	3
Pennales					
Fragilariaceae					
<i>Synedra ulna</i>			3		
" <i>capitata</i> EHR.	β		3		
" <i>acus</i> KÜTZ.	β		1		
" <i>vaucheriae</i> KÜTZ. var. <i>capitellata</i> GRÜN.				1	1
Achnantheae					
<i>Cocconeis placentula</i> EHR. var. <i>euglypta</i> (EHR.) CLEVE	β		1	1	
<i>Achnanthes</i> sp.			1		
Naviculaceae					
<i>Navicula pupula</i> KÜTZ.	β		3		1
" <i>gracilis</i> EHR.	β-o		1		
" <i>cryptocephala</i> KÜTZ. var. <i>veneta</i> RABH.	α		1		1
<i>Diploneis oculata</i> ? (BREBISSON) CLEVE			1		
<i>Amphora ovalis</i> KÜTZ. var. <i>pediculus</i> KÜTZ.	o-β		3	1	
<i>Cyrosigma</i> sp.		1	1		
Cymbellaceae					
<i>Cymbella cistula</i> ? (HEMPRICH) GRÜN	β		3	3	1
" <i>affinis</i> KÜTZ.	o-β		3		

Είδη	S	Z				
		Δειγματοληψίες				
		1	2	3	4	5
<u>Gomphonemaceae</u>						
<i>Gomphonema parvulum</i> (KUTZ.) var. <i>micropus</i> CLEVE	β		3	1	1	
<u>Nitzschiaceae</u>						
<i>Nitzschia hantzschiana</i> ? RABENH.	ο	5	3	5	3	3
" <i>heufleriana</i> ? GRUN.	ο-β	1	3	1	1	
" <i>amphibia</i> GRUN.			1	1	1	1
" <i>fonticola</i> GRUN.	ο-β	5	3	5	3	3

S: Δείκτης βαθμού σαπροβιότητας

ο: ολιγοσαπρόβιο

β: β-μεσοσαπρόβιο

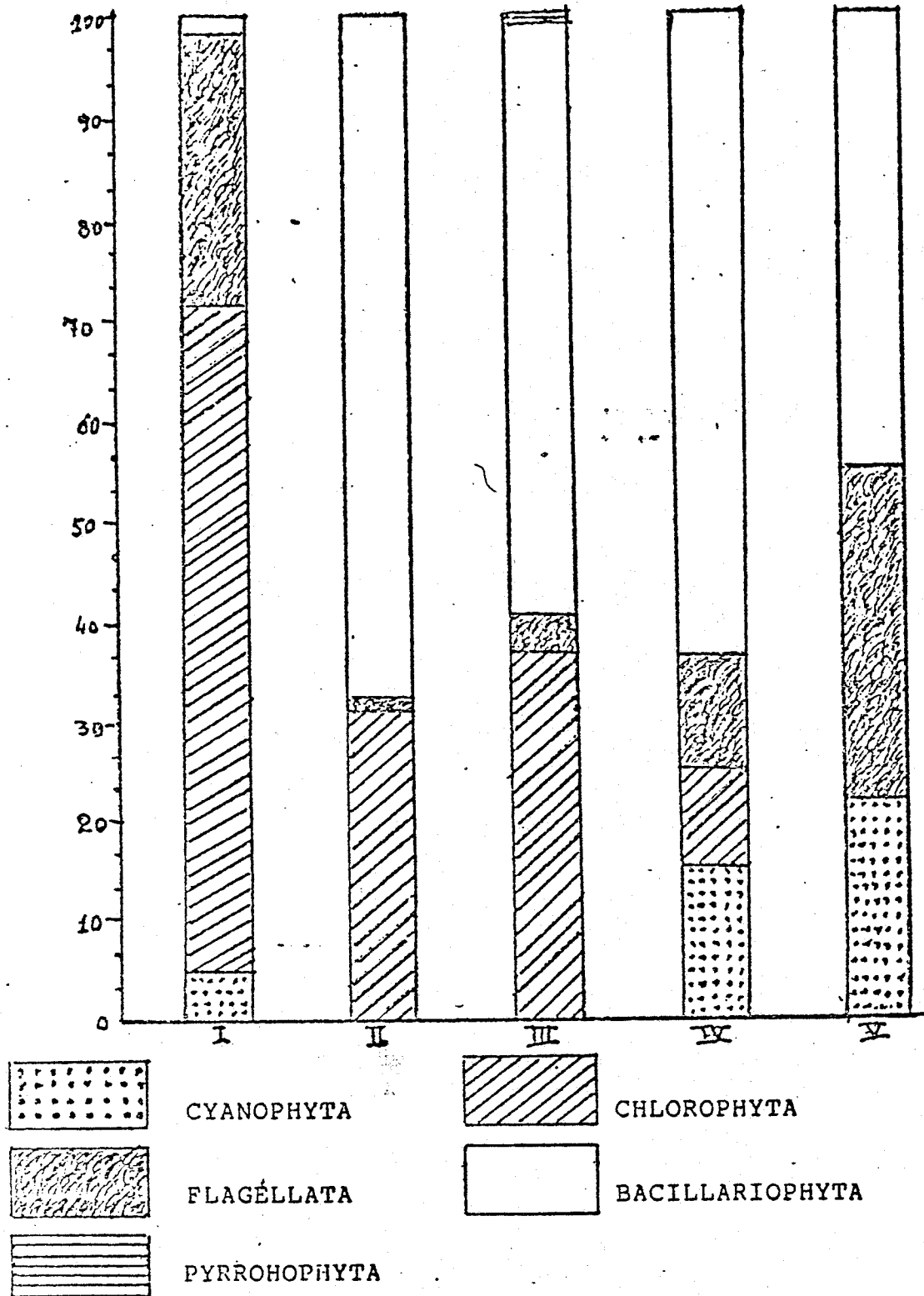
α: α-μεσοσαπρόβιο

Z: Κλίμακα αφθονίας κατά Pantle & Buck

1: τυχαία εύρεση

3: πολυάριθμα

5: άφθονα

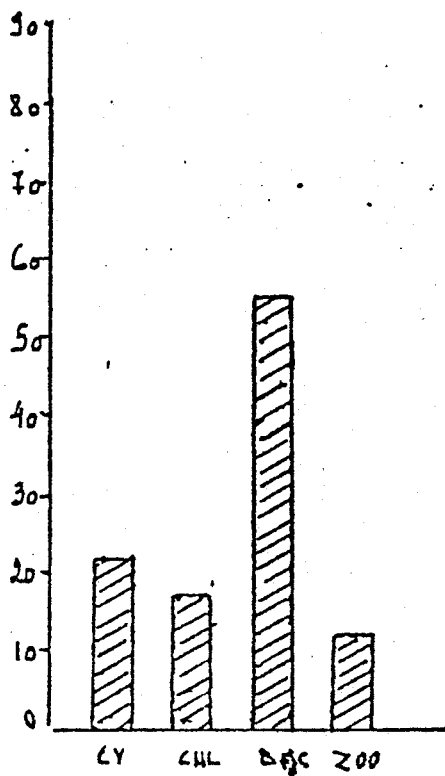


ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ

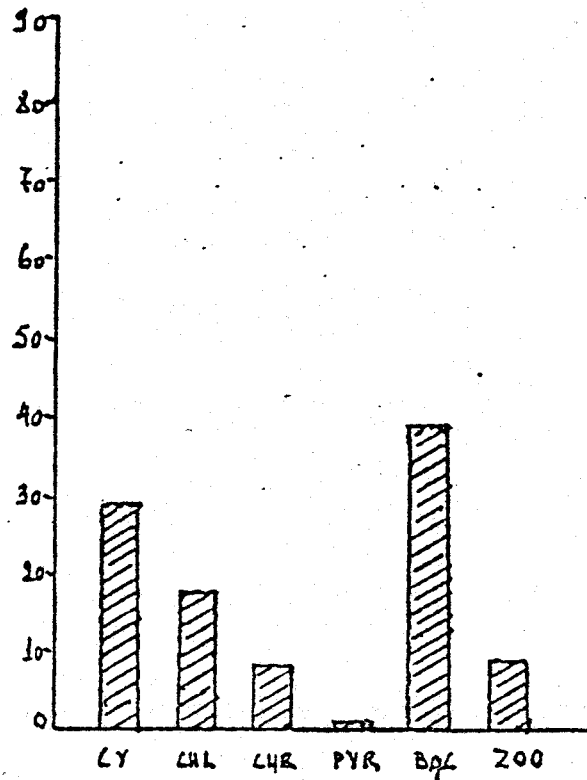
ΕΤΗΛΗΣ : I: 20-12-83 II: 13-3-84 III: 11-5-84
 IV: 4-7-84 V: 12-9-84

Σχηματική απεικόνιση της εποχιακής διακύμανσης της
 σύνθεσης του φυτοπλακτού επιφανείας της λίμνης
 Ιωαννίνων.

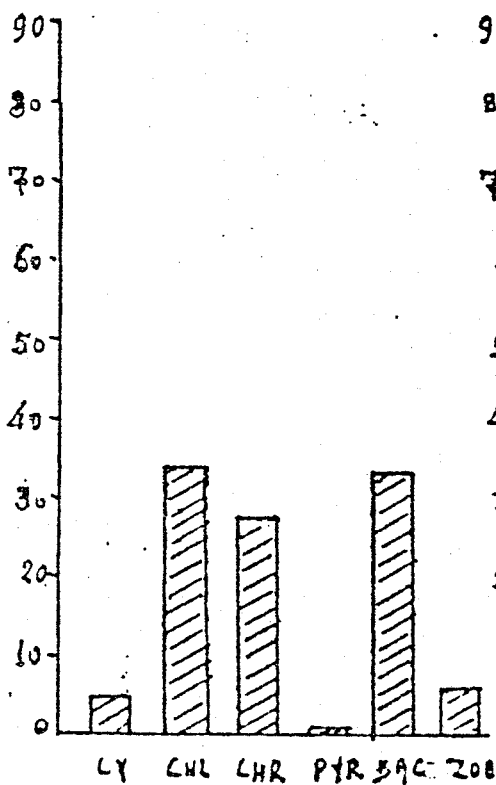
Cy : Cyanophyta
 Chl : Chlorophyta
 Bac : Bacillariophyta
 Chr : Chrysophyta
 Pyr : Pyrrophyta
 Fl : Flagellata
 Zoo : Zooplankton



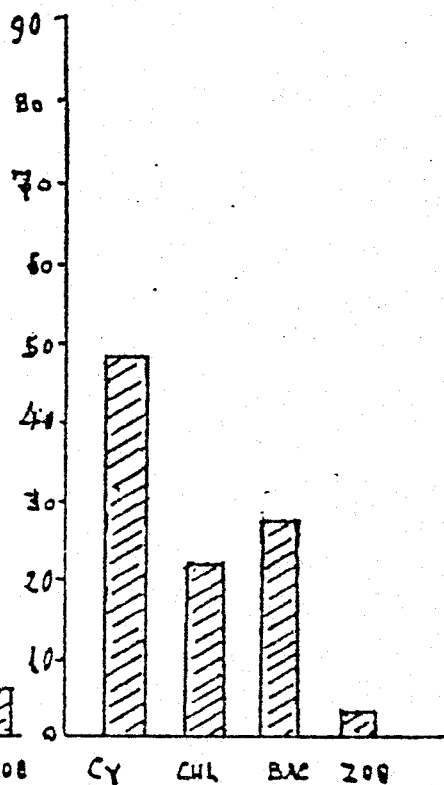
Σχ. 1 Δειγματοληψία 20/12/83



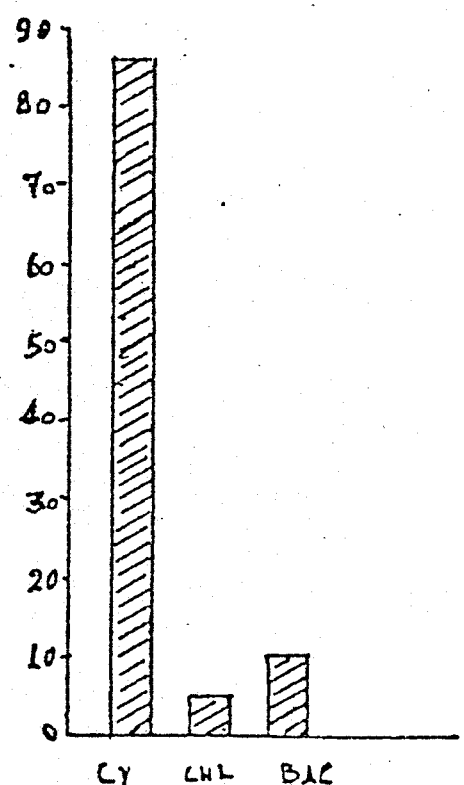
Σχ. 2 Δειγματοληψία 13/3/84



Σχ. 3 Δειγματοληψία 11/5/84



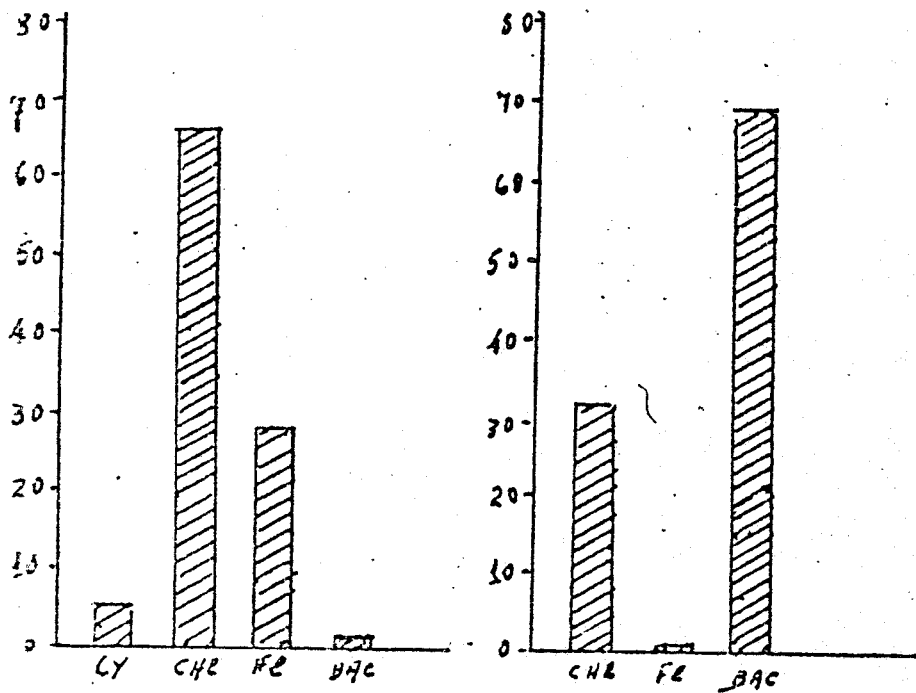
Σχ. 4 Δειγματοληψία 1/7/84



Σχ. 5 Δειγματοληψία 12/9/84

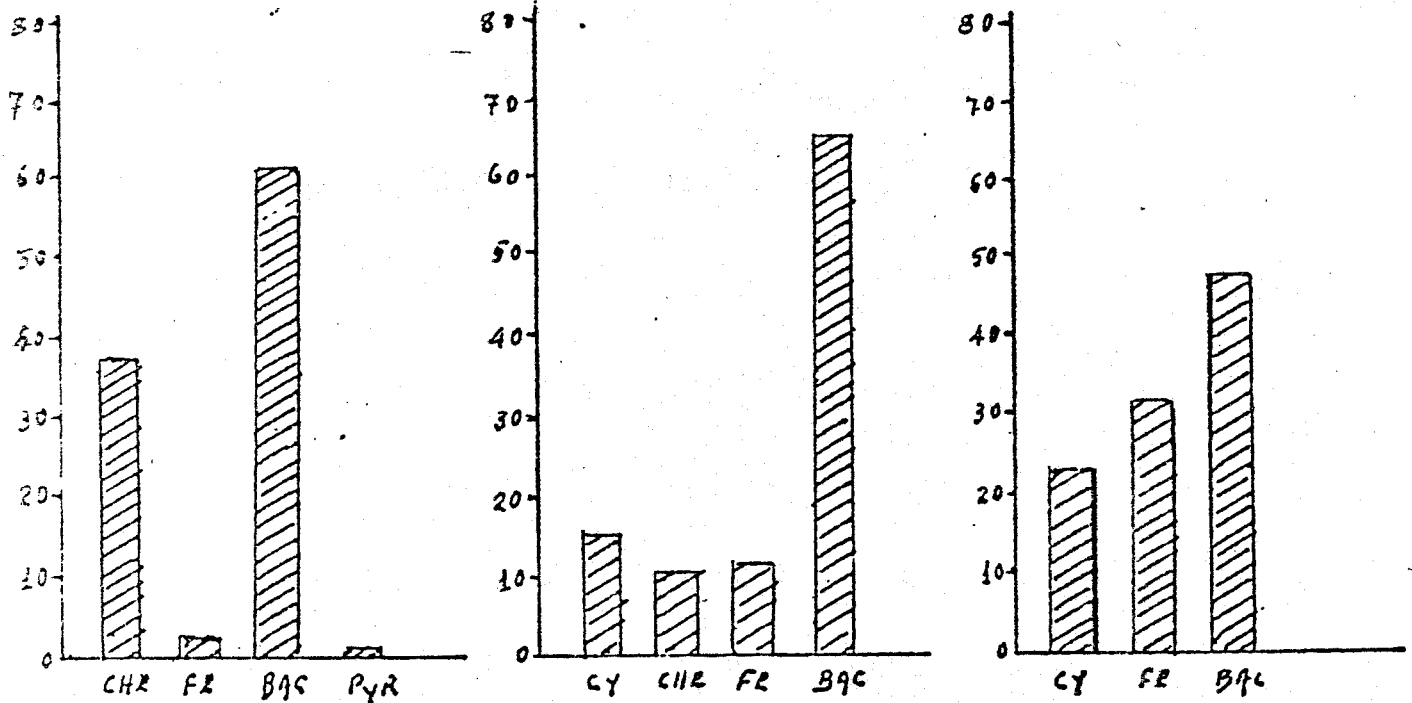
Ποσοτική συμμετοχή ομάδων πλάκτου δίκτυου

Σημ: Τα ισογράμματα υπ' αριθ. 4 & 5 έχουν και εκτιμήσεις



Cy : Cyanophyta
 Chl : Chlorophyta
 Bac : Bacillariophyta
 Chl : Chrysophyta
 Pyr : Pyrrhophyta
 Fl : Flagellata
 Zoo : Zooplankton

Ex. 6 Δειγμ. στις 20/12/83 Ex. 7 Δειγμ. στις 13/3/84



Ex. 8 Δειγμ. 11/5/84 Ex. 9 Δειγμ. 4/7/84

Ex. 10 Δειγμ. 12/9/84

Γεωγραφία υπ. αρ. 6-10

Ποσοτική συγκριτική οργάνωση ολόγων ελισσείας

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

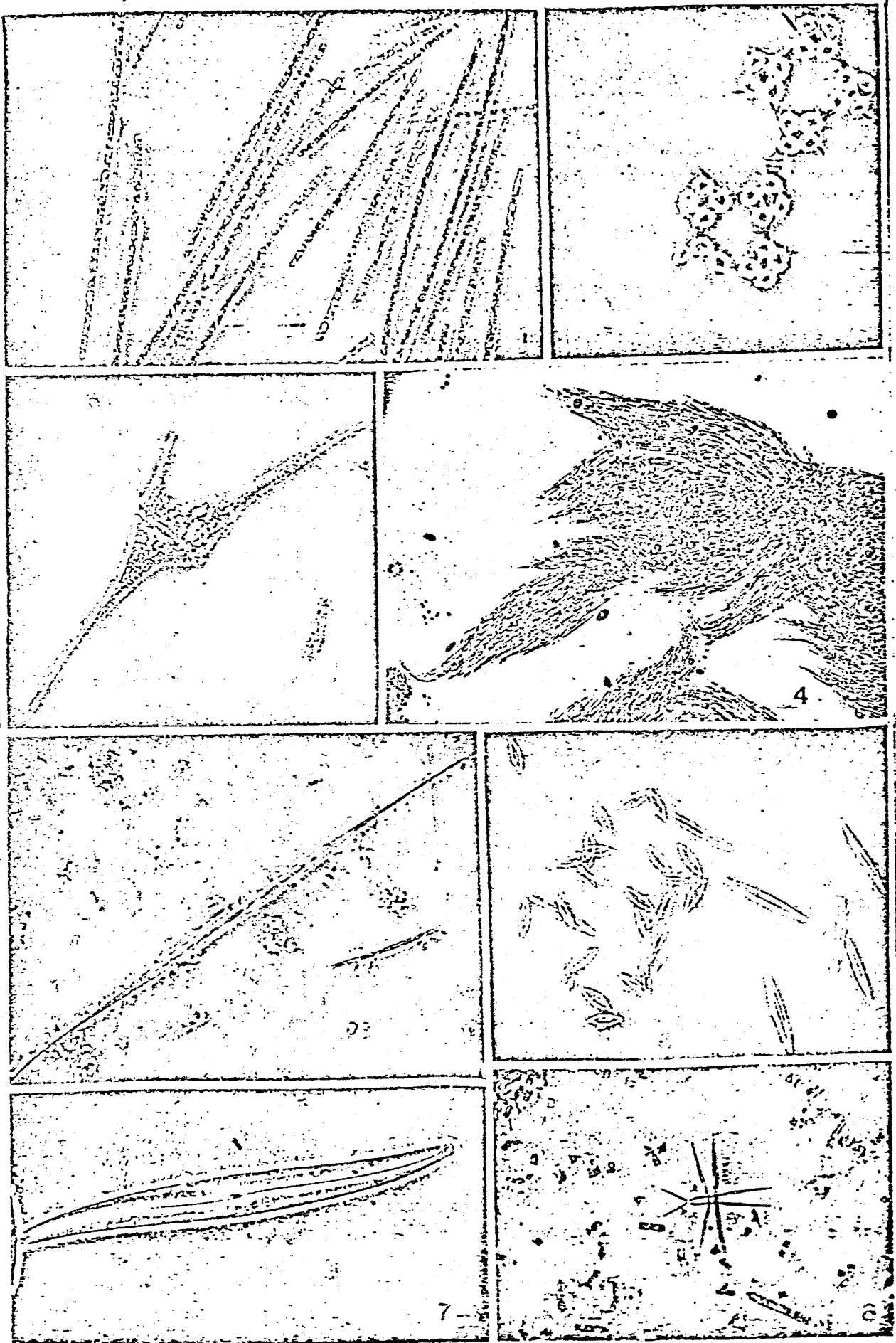
- ANAGNOSTIDIS, K. : 1961. Ερευναί επί των Κυαναφυκών θερμοληγών τινών της Ελλάδος. Διατριβή. Εργαστ. Συστ. Βοτ. & Φυτογεωγρ. Παν/μίου Θεσ/νίκης.
- ANAGNOSTIDIS, K. and A. ECONOMOU-AMILLI : 1980. Limnological studies on Lake Pamvotis (Icannina), Greece. Hydroclimatology, phytoplankton-periphyton with special reference to the valency of some microorganisms from sulphureta as bioindicators. - Arch. Hydrobiol. 89, 8 : 313-342.
- BOURRELLY, P. : 1966. Les Algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome 1: Les Algues vertes. N. Boubée and Cie, Paris.
- EDMONDSON, W. T. : 1959. Fresh-water biology. 2nd Ed. 1963. J. Wiley and Sons, Inc. New York, London.
- GEITLER, L. : 1932. Cyanophyceae. In: L. RAVENHORST: Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, Akadem. Verlagsqes, Leipzig.
- HINDAK, F. : 1977. Studies on the Chlorococcal Algae (Chlorophyceae). I. - Biologické Práce, Bratislava.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1941-1955) : Das Phytoplankton des Sübwassers. Systematik und Biologie. - In: A. THIENEMANN: Die Binnengewässer, 2,1 : Taf. 1-365 (Chrysophyceen, Farblose Flagellaten, Heterokonten, 1941)* 2,2 : 367-549 (Diatomeen, 1942)* 3: 1-310 (Cryptophyceen, Chloromonaden, Peridineen, 1950)* 4 : 1-606, Taf. 1-114 (Euglenophyceen, 1955), Schweizerbart, Stuttgart.
- HUBER-PESTALOZZI, G. and K. FÖRSTER. 1982. Das Phytoplankton des Sübwassers. Systematik und Biologie. - In : ELSTER H. and Ohle, W. : Die Binnengewässer. Teil 8. Hälfte 1. (Conjugatophyceae, Zygnematales und Desmidiaceae) Schweizerbart, Stuttgart.
- HUBER-PESTALOZZI, G. and KOMÁREK, J. and FOH, B. 1983. Das phytoplankton des Sübwassers. Systematik und Biologie. - In: ELSTER, M. and W. Ohle : Die Binnengewässer. Teil 7. Hälfte 1. (Chlorophyceae = Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales). Schweizerbart, Stuttgart.

- ΚΟΥΣΟΥΡΗΣ Θ. - ΦΡΙΑΛΙΓΚΟΣ Ν. 1982 : Υδροβιολογικές παρατηρήσεις στη λίμνη των Ιωαννίνων. Τόμος Α. Πρακτικά συνεδρίου: Προστασία περιβάλλοντος - Συνθήκες εργασίας. Γιάννενα 1982.
- KUZNETSOV S. 1970 : The Microflora of lakes and its geochemical activity. Univ. of Texas Press, Austin and London.
- LOWE L. 1974 : Pollution tolerance of freshwater diatoms. National environmental research center-office of research and development U.S.Environmental Protection agency Cincinnati, Ohio.
- NYGAARD G. 1976 : Tavlerne fra "Dansk Planteplankton". Gyldendal, Denmark.
- ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ-ΑΜΙΛΛΗ Α. 1976.: Ερευνα επί των διατόμων θερμοπηγών τινών της Ελλάδος. Ταξινομική, Οικολογική, Χλωριδική, Φυτογεωγραφική μελέτη. Διατριβή. Αθήναι.
- PATRICK R. and REIMER Ch. 1975. The Diatoms of the United States. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- PRESCOTT G.W. 1951. Algae of the Western Great Lakes Area. Granbrook Inst. Sci. Bloomfield Hills. Michigan.
- 1969. The algae : a review. Great Britain.
- Schwoerbel J. 1970 : Methods of Hydrobiology (Freshwater biology). Pergamon Press.
- SLÁDECEK, V. 1973 : System of water quality from the biological point of view. - Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 7 : 1-218.
- ΤΣΑΓΚΡΙΑΔΗ, Α. 1982 : Ερευνες επί Κυανοφυκών και Χλωροφυκών οροζώνων της περιοχής Καλυχωρίου - Θεσ/νίκης. Ταξινομική, Χλωριδική, Φυτογεωγραφική, Οικολογική μελέτη. Αθήνα.
- UHERKOVICH G. 1966 : Die Scenedesmus - Arten Ungarns. - Akadémiai Kiadó, Budapest.
- WEST, W. and WEST, G.S. (1904, 1905, 1908, 1912) : A monograph of the British Desmidiaceae. - Ray Society, London.
- WEST, W., WEST, G.S. and CARTER, N. 1923 : A monograph of the British Desmidiaceae. - Ray Society, London.
- WETZEL R. 1975. Limnology. - Saunders Company Philadelphia - London - Toronto.
- Willén E. 1976. A simplified method of Phytoplankton counting. Bri phycol. J. 11: 265-278.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

1. *Aphanizomenon flos-aquae* (L) RALES.
2. *Crucigenia lauterbornii* (SCHMIDLE) SCHMIDLE 1900
3. *Ceratium hirundinella* (O.F.MÜLLER) SCHRANK
4. Δέσμες του *Aphanizomenon flos-aquae*
5. *Closterium aciculare* TUFFEN WEST.
6. *Nitzschia fonticola* GRUN.
7. *Gyrosigma* sp.
8. *Ankistrodesmus fusiformis* CORDA

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.



Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2

1. *Pediastrum simplex* MEYEN
2. *Dinobryon divergens* IMHOF.
3. *Botryococcus braunii* Kütz.
4. *Staurostrum paradoxum* ? MEYEN
5. *Microcystis aeruginosa* Kütz.em.W.L.TEILING
6. *Dinobryon bavaricum* ? IMHOF.
7. *Closterium pronum* BRÉB.
8. " *acerosum* ? (SCHRANK)EMR.ex.RALES.
9. *Pediastrum duplex* MEYEN.
10. *Lyngbya limnetica* ? LEMM.
11. *Straurostrum paradoxum* MEYEN.
12. *Tetrastrum staurogeniaeforme* (SCHROD) LEMM.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.

