

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Α. Δ. Δημητριάδης

**Η επίδραση του ρέματος Σουλού
(Βιολογικός καθαρισμός Πτολεμαΐδας,
Δ.Ε.Η., ΑΕΒΑΛ) στην ποιότητα
Του νερού της λίμνης Βεγορίτιδα
και στους ιχθυοπληθυσμούς.**

Βόλος 2000



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

Αριθ. Εισ.: 1225/1

Ημερ. Εισ.: 01-07-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: Δ

551.482 094 95

ΔΗΜ

**Η επίδραση του ρέματος Σουλού
(Βιολογικός καθαρισμός Πτολεμαΐδας, Δ.Ε.Η., ΑΕΒΑΛ) στην
ποιότητα του νερού της λίμνης Βεγορίτιδα και στους
ιχθυοπληθυσμούς.**

Τα μέλη της επιτροπής

Χρήστος Νεοφύτου
Καθηγητής

Ιωάννης Μήτσιος
Καθηγητής

Αθανάσιος Σφουγγάρης
Λέκτορας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	4
2.1 Γεωγραφική θέση.....	4
2.2 Μορφομετρία.....	4
2.3 Γεωμορφολογία – Ορεογραφία – Γεωλογία.....	4
2.4 Κλίμα	5
3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	7
3.1 Γενικά για τη λίμνη	7
3.2 Υδατικό ισοζύγιο της λίμνης	10
3.3 Ποιοτική κατάσταση της λίμνης	14
3.4 Ίζημα	21
3.5 Οικολογικά στοιχεία	23
3.6 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων	24
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	26
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	30
5.1 Φυσικοχημικές παράμετροι	30
5.2 Αλιευτική δραστηριότητα	36
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	38
6.1 Φυσικοχημικές παράμετροι	38
6.2 Αλιευτική κατάσταση της λίμνης	43
6.3 Πτώση στάθμης της λίμνης – Υποβάθμιση	47
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	49
8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΑ	53
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	63

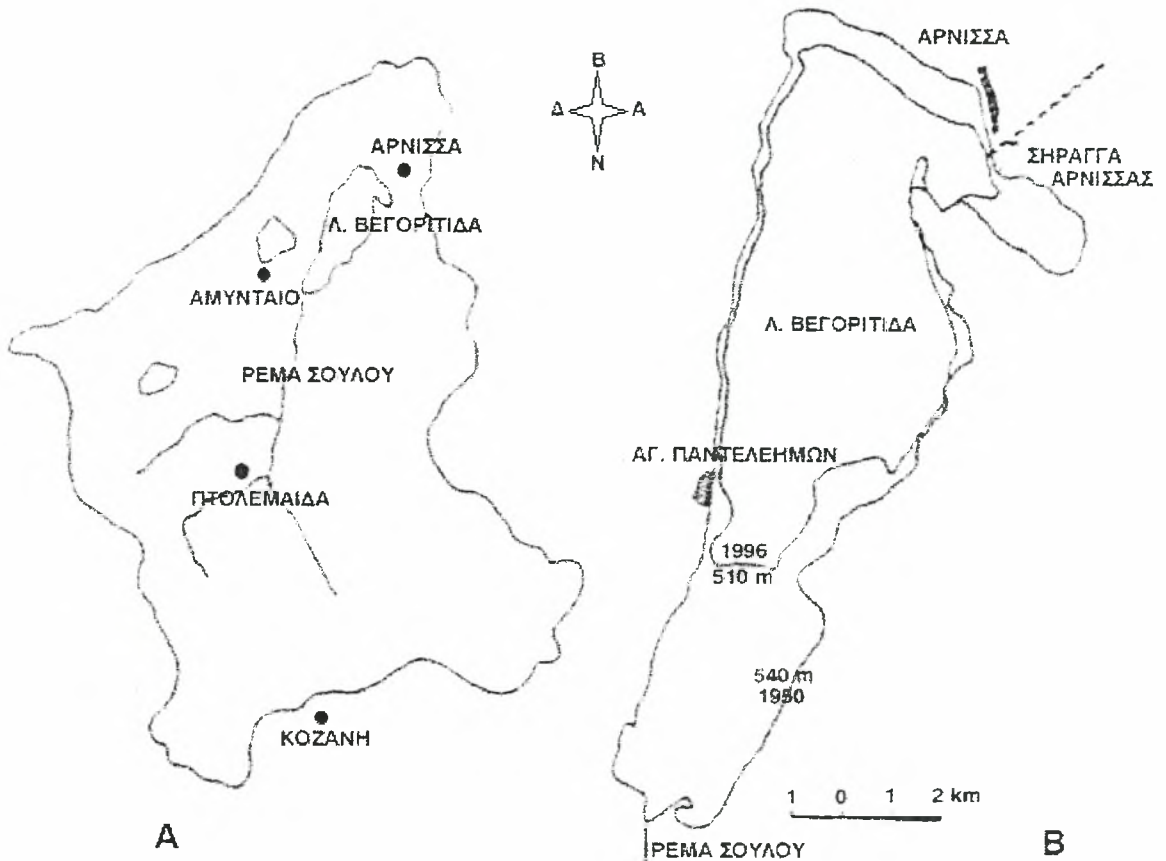
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Βεγορίτιδα, μια από τις σημαντικότερες λίμνες της Ελλάδας, βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία καταλαμβάνοντας τη χαμηλότερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Πτολεμαΐδας (γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ} 45'$ και μήκος $21^{\circ} 01'$). Χαρακτηρίζεται ως λίμνη αλπικού τύπου και περικλείεται από μεγάλους ασβεστολιθικούς ορεινούς όγκους.

Η λίμνη είναι ένας από τους σημαντικότερους υδάτινους πόρους της Δυτικής Μακεδονίας πολλαπλής χρήσης και ωφελιμότητας για τον άνθρωπο. Το νερό της λίμνης χρησιμοποιείται για την άρδευση των παραλίμνιων γεωργικών εκτάσεων, είτε με άμεση άντληση ή με έμμεση από τους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς από τη ΔΕΗ, η οποία αντλεί νερό για την κάλυψη των αναγκών των θερμοηλεκτρικών μονάδων και μέχρι το 1991 για τις υδροηλεκτρικές ανάγκες του σταθμού του Άγρα. Άλλες σημαντικές χρήσεις της λίμνης είναι η αλιεία και ο τουρισμός, χωρίς να παραβλέπονται οι γενικότερες σημαντικές λειτουργίες και αξίες της λίμνης, η οποία μαζί με τις γειτονικές λίμνες Χειμαδίτιδα, Ζάζαρη και Πετρών συνιστούν ένα σημαντικό υδροτοπικό σύστημα της περιοχής, υψίστης οικολογικής σπουδαιότητας.

Την τελευταία τριακονταετία έχουν διαπιστωθεί σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία της λίμνης Βεγορίτιδα. Το σπουδαιότερο από αυτά, που είναι και το πρόβλημα αιχμής της λίμνης, είναι η συνεχιζόμενη πτώση της στάθμης της και κατά συνέπεια η μείωση του όγκου της. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η οριζοντιογραφία της λίμνης, στην οποία σημειώνεται η υψομετρική των 540 m που αντιστοιχεί στη στάθμη της λίμνης στις αρχές της δεκαετίας του '50, ενώ η σημερινή στάθμη της λίμνης βρίσκεται κάτω από την ισοϋψή των 515 m. Άλλο σπουδαίο πρόβλημα της λίμνης είναι η ρύπανσή της λόγω της εισροής σ' αυτή των αποβλήτων της βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής δραστηριότητας της περιοχής. Πληθώρα μελετών έδειξαν ότι η λίμνη και ιδιαίτερα το νότιο τμήμα της, που επηρεάζεται από την εκβολή του ποταμού Πεντάβρυσος ή Σουλού, παρουσίαζε σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου και μάλιστα της τοξικής, για τα ψάρια, αμμωνιακής μορφής (Διαμαντίδης και Αντωνόπουλος, 1984, Φώτης κ.α., 1984). Επίσης διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της

ιχθυοπαραγωγής καθώς και μεταβολή στη σχέση των ιχθυοπληθυσμών (Φώτης κ.α., 1984).



Σχήμα 1: Περιοχή μελέτης:

Α. Η υδρολογική λεκάνη

Β. Οριζοντιογραφία της λίμνης Βεγορίτιδα με τις ισοϋψείς των 540 και 515 m, που αντιπροσωπεύουν τις στάθμες της λίμνης τη δεκαετία του '50 και την τελευταία 5ετία (Αντωνόπουλος κ.α., 1997).

Η μείωση της στάθμης της λίμνης επέδρασε αρνητικά στην τουριστική αξιοποίηση της λίμνης παρ' όλες τις προσπάθειες που έγιναν από τις παραλίμνιες κοινότητες του Αγίου Παντελεήμονα και της Άρνισσας.

Το μεγάλο ερώτημα που προκύπτει από τη συνεχή πτώση της στάθμης της λίμνης είναι αν η πτώση αυτή είναι φυσική ή ανθρωπογενής και αν είναι αναστρέψιμη. Στην περίπτωση που η πτώση δεν είναι αναστρέψιμη, η λίμνη θα οδηγηθεί στην εξαφάνιση, ενώ στην άλλη περίπτωση απαιτείται ένα διαχειριστικό σχέδιο που να οδηγεί στην αποτροπή της ρύπανσης και στη διακοπή της πτώσης της στάθμης και ακόμα στην ανύψωσή της μέχρι ένα άριστο οικονομοτεχνικό και οικολογικό επίπεδο.

Σκοπός της εργασίας είναι να καταγραφούν και αν υπάρχουν να ερμηνευθούν τα προβλήματα της λίμνης Βεγορίτιδας που προκύπτουν από την εισροή των νερών του ρέματος Σουλού και να προταθούν τρόποι επίλυσής τους αξιοποιώντας τις υπάρχουσες έρευνες και μελέτες που μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί για τη λίμνη αυτή. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο πρόβλημα του ισοζυγίου του νερού που παρουσιάζεται αρνητικό τα τελευταία χρόνια και από το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η κρισιμότητα των άλλων προβλημάτων της λίμνης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Γεωγραφική Θέση

Η λίμνη Βεγορίτιδα (Οστρόβου, Άρνισσας, Κέλλης, Αγίου Παντελεήμονα) βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία στο λεκανοπέδιο της Πτολεμαΐδας, βορειοδυτικά της Πόλης του Αμυνταίου με συντεταγμένες $40^{\circ} 45' \text{ B}$ και $21^{\circ} 47' \text{ A}$. Περικλείεται στα όρια των Νομών Πέλλας, Κοζάνης και Φλώρινας.

2.2. Μορφομετρία

Βάσει των μορφομετρικών στοιχείων που δόθηκαν από τις υπηρεσίες των Νομαρχιών Πέλλας, Κοζάνης, Φλώρινας και τη ΔΕΗ, η κατάσταση της λίμνης έχει ως εξής:

Η στάθμη σήμερα κυμαίνεται μεταξύ των υψομέτρων 509-511 πάνω από την μέση επιφάνεια της θάλασσας, ανάλογα πρώτον με την άντληση νερού για ψύξη των θερμοηλεκτρικών μονάδων της ΔΕΗ περιοχής Πτολεμαΐδας και δεύτερον από τις καταβόθρες που υπάρχουν στον πυθμένα της λίμνης και τρίτον την εξάτμιση. Η επιφάνειά της καταλαμβάνει μια έκταση περίπου 53 km^2 , ενώ η λεκάνη απορροής της φτάνει περίπου στα 1853 km^2 .

Το μεγαλύτερο βάθος της ξεπερνάει τα 70 m, ενώ το μεγαλύτερο μήκος της επιφάνειας είναι 15,5 km και το πλάτος δεν υπερβαίνει τα 6,5 km. Το μέσο βάθος της υπολογίζεται στα 20 m. Η ολική χωρητικότητα της λίμνης σε νερό υπολογίζεται ότι ξεπερνάει το $1 \times 10^9 \text{ m}^3$, ενώ η χρήσιμη χωρητικότητά της ανέρχεται στα $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ με στάθμη λίμνης στα 520-526 m (Φώτης κ.α., 1986).

2.3. Γεωμορφολογία – Ορεογραφία – Γεωλογία

Οι υδάτινες λεκάνες στη Μακεδονία είναι πολυάριθμες και θεωρούνται ότι είναι τα βαθύτερα τμήματα της Αιγαίας λεκάνης, η οποία διέσχιζε το σημερινό Αιγαίο Πέλαγος και έφτανε μέχρι και την περιοχή των Σκοπίων της Γιουγκοσλαβίας. Με την πρόοδο της ορογένεσης και τις αλληπάλληλες τεκτονικές κινήσεις κατά το τέλος της τριτογενούς γεωλογικής περιόδου, η στάθμη των νερών της Αιγαίας λεκάνης κατέβηκε. Έτσι, δημιουργήθηκαν πολυάριθμες, μικρές και μεγάλες υδατοσυλλογές, δηλαδή οι λίμνες της Αιγαίας Ζώνης (Stankovic, 1951) όπου κάθε μια από αυτές ακολούθησαν τη δική τους εξέλιξη. Οι λίμνες αυτές είναι τεκτονικής προέλευσης και είναι

πιθανό να προήλθαν από καρστικές προλιμναίες καθιζήσεις. Σχετίζονται με τη δημιουργία της μεγάλης τεκτονικής τάφρου Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας – Σερβίων.

Η λίμνη Βεγορίτιδα μαζί με τις γειτονικές λίμνες της περιοχής Αμυνταίου, δηλαδή τη λίμνη των Πετρών, Χειμαδίτιδας και Ζάζαρης, θεωρούνται ότι αποτελούν τα βαθύτερα κατάλοιπα της παλαιάς και μεγάλης Εορδαίας λεκάνης, η οποία, κάλυπτε μια έκταση της τάξης των 1000 km² με μέγιστο βάθος 250 m (Cvistic, 1911).

Η λίμνη Βεγορίτιδα είναι τοποθετημένη μέσα στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας (B.A περιοχή) πάνω σε ψάθυρες αποθέσεις (πλευρικά κορρήματα) λιμναίας και ποταμιαίας προέλευσης, οι οποίες σχηματίστηκαν κατά το τριπογενές και τεταρτογενές.

Η λίμνη βρίσκεται δυτικά του Βερμίου όρους, ανατολικά και νοτιοανατολικά του Καϊμακτσαλάν, Βόρεια της Εορδαίας πεδιάδας και δυτικά συνορεύει με το Άσκιο όρος.

Τα πετρώματα που συναντώνται στην περιοχή είναι ανθρακικά (ασβεστόλιθοι, δολομίτες), κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι, οφιόλιθοι, αργιλικά, άμμοι και μάργες.

Στα βαθύτερα στρώματα της λεκάνης της Πτολεμαΐδας, που είναι γνωστή για τα κοιτάσματα του άνθρακα (αποθέματα γύρω στους 2 δισεκατομμύρια τόννους), βρίσκονται τριαδικοί και τουρασικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα με έντονο παλαιοκαρστισμό. Δηλαδή τα πετρώματα έχουν διάκενα και δίνουν τη δυνατότητα σχηματισμού υδάτινων οριζόντων. Οι καρστικοποιημένοι αυτοί ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα που περιβάλλουν το μεγαλύτερο μέρος της λίμνης, αποστραγγίζουν υπόγεια τα νερά της ευρύτερης περιοχής, τα οποία στη συνέχεια επικοινωνούν υδραυλικά με αυτή (Anastopoulos – Koukouzas, 1972, Παπακωνσταντίνου, 1978).

2.4. Κλίμα

Οι επιδράσεις του κλίματος στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού, στη στρωμάτωση και στη μορφομετρία κάθε λίμνης είναι φανερές, όπως επίσης φανερές είναι στην παραγωγικότητά τους και στη φυτοζωογεωγραφία τους. Επομένως, το κλίμα θεωρείται ότι είναι ένας βασικός παράγοντας στα λιμναία οικοσυστήματα (Hutchinson, 1957).

Η περιοχή της λίμνης Βεγορίτιδας βρίσκεται στα όρια του Μεσογειακού και Κεντροευρωπαϊκού Κλιματικού Τύπου, δηλαδή πολύ ψυχρός χειμώνας και δροσερό καλοκαίρι. Οι περίοδοι άνοιξης και φθινοπώρου είναι μικρής διάρκειας, συμπίπτουν με τη βροχερή περίοδο και είναι αρκετά ψυχροί. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα που είναι 11,8 °C (μετρήσεις 14 χρόνων) χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής ως Κεντροευρωπαϊκό. Η μέση θερμοκρασία του χειμώνα είναι 3,1 °C και του καλοκαιριού 20 °C.

Οι βροχοπτώσεις στο Αμύνταιο (1967 – 1977) ήταν 445,5 mm και στην Άρνησσα 578,3 mm με διακύμανση 1,56 και 1,65 mm αντίστοιχα. Οι χιονοπτώσεις κάλυπταν περίοδο περίπου 25,7 ημέρες (1951-61). Αρχίζουν συνήθως το Νοέμβριο και διαρκούν μέχρι και τον Απρίλιο με μέγιστο ύψος το μήνα Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η εξάτμιση στη λίμνη ανέρχεται ετησίως γύρω στα 852,8 mm. Η μεγαλύτερη λαμβάνει χώρα τον Αύγουστο με μέσο 149,8 mm και ακολουθούν οι μήνες Ιούνιος (125,3 mm) και Ιούλιος (123,0 mm). Αντίθετα η μικρότερη λαμβάνει χώρα τον Ιανουάριο (18,4 mm) και μετά ακολουθούν ο Δεκέμβριος (23,0 mm) και ο Νοέμβριος (32,4 mm).

Η κατεύθυνση των ανέμων και η έντασή τους στην περιοχή, που εκτός των άλλων έχει ιδιαίτερη σημασία για ορισμένες μορφές αλιευτικής αξιοποίησης, είναι κατά 42,3% ΒΔ, 28,3% ΝΑ, 19,5% ΝΔ, 8,6% ΒΑ και σε μικρότερα ποσοστά κάτω του 0,5 βόρεια, δυτική, ανατολική και νότια (παρατηρήσεις 12 χρόνων)(Φώτης κ.α.,1986).

3. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

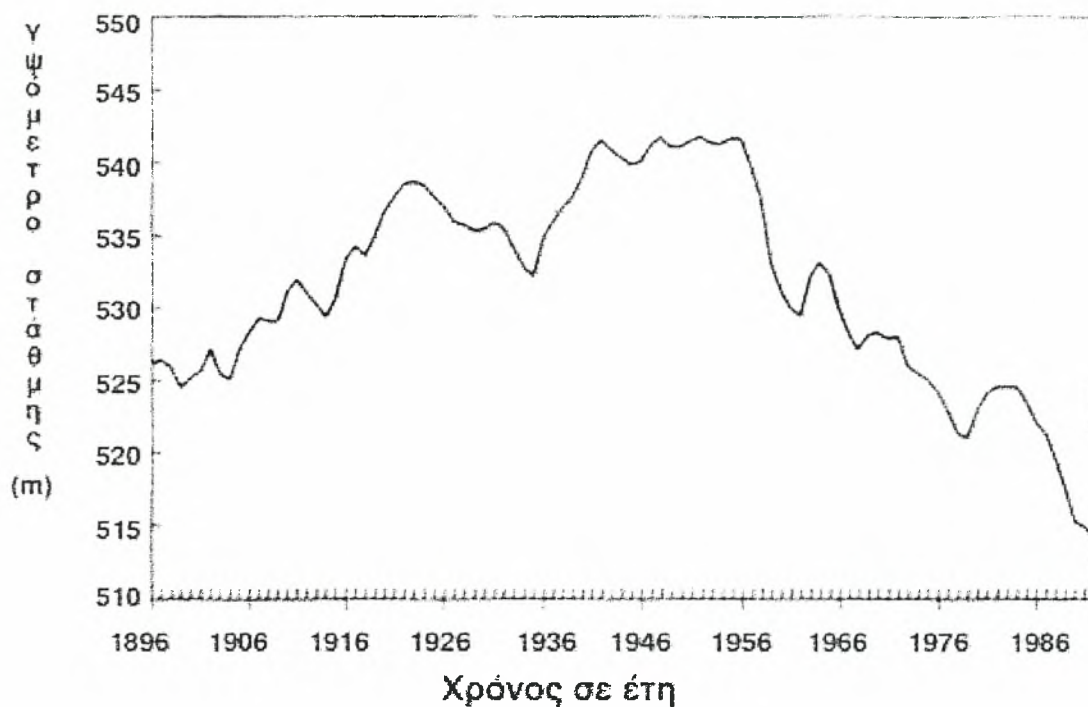
3.1 Γενικά για τη λίμνη

Η λίμνη Βεγορίτιδα βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο μιας ευρύτερης κλειστής λεκάνης απορροής συνολικής έκτασης 1853 km², που περιβάλλεται από τα βουνά – Βέρνον, Βόρας και Βέρμιο. Ο μορφολογικός υδροκρίτης δε συμπίπτει με τον καρστικό υδροφόρο. Στη λεκάνη απορροής δεν υπάρχουν σημαντικά επιφανειακά υδατορεύματα. Υπάρχουν όμως, εκτός της λίμνης Βεγορίτιδας, όπως προαναφέρθηκε σημαντικές υδατοσυλλογές οι οποίες επικοινωνούν επιφανειακά μεταξύ τους, όπως οι λίμνες Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα και Πετρών. Η εκφόρτιση της λεκάνης γινόταν επιφανειακά, μέχρι πριν λίγα χρόνια, μέσω της σήραγγας της Άρνισσας που είναι ένα τεχνητό έργο που άρχισε να λειτουργεί το 1955 με ελάχιστη στάθμη λειτουργίας τα 515,5 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Διαμέσου της σήραγγας αυτής, εκφορτιζόντουσαν μεγάλες ποσότητες νερού από τη λίμνη προς τη λίμνη Νησίου, για τις ανάγκες του υδροηλεκτρικού σταθμού του Άγρα και για την άρδευση της πεδιάδας της Έδεσσας (Papadopoulos κ.α., 1993). Επίσης ένας δεύτερος τρόπος εκφόρτισης είναι διαμέσου του υπόγειου υδροφόρου στρώματος.

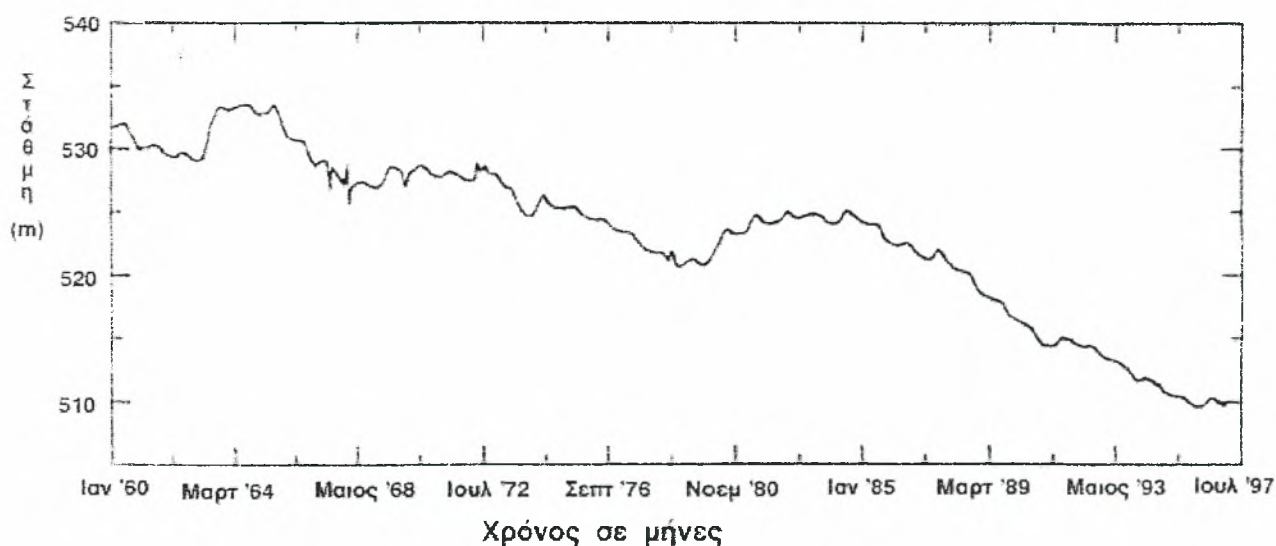
Τα φυσικά μεγέθη της λίμνης Βεγορίτιδας παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα στο χρόνο. Το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος, που είναι το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης, είναι ότι παρουσίασε έντονη διακύμανση κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Παρά τις μικρές αυξομειώσεις μεταξύ μικρών χρονικών περιόδων, διαχρονικά έχουν παρατηρηθεί δύο υποπερίοδοι. Την πρώτη υποπερίοδο που διήρκεσε από τις αρχές του αιώνα μέχρι τη δεκαετία του '40, υπήρχε μια συνεχής μέση αύξηση της στάθμης, ενώ κατά τη δεύτερη υποπερίοδο των τελευταίων χρόνων και ιδιαίτερα μετά το 1955, η μέση μείωση της στάθμης ήταν συνεχής (Σχήμα 3). Τα αίτια της αυξομείωσης της στάθμης απασχόλησαν από τη δεκαετία του '30 τους ερευνητές.

Στενά συνδεδεμένα με τη στάθμη της λίμνης είναι ο όγκος της και η έκταση που καταλαμβάνει η ελεύθερη επιφάνειά της. Υπήρξε έντονη μείωση του όγκου της λίμνης από το 1956 (υψόμετρο 540 m) μέχρι το 1994 (υψόμετρο 512 m). Τα μεγέθη της λίμνης διακυμάνθηκαν ως εξής: το μέγιστο μήκος μειώθηκε από 16,4 σε 10,5 km (μείωση 36%), το μέγιστο πλάτος

μειώθηκε από 7,1 σε 4,2 km (μείωση 44%), ενώ ο όγκος της λίμνης από $2200 \times 10^6 \text{ m}^3$ της δεκαετίας του '50 μειώθηκε στα $800 \times 10^6 \text{ m}^3$, ήτοι ποσοστό μείωσης 64%.



Σχήμα 2: Διακύμανση της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδα κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα (Αντωνόπουλος κ.α., 1996)

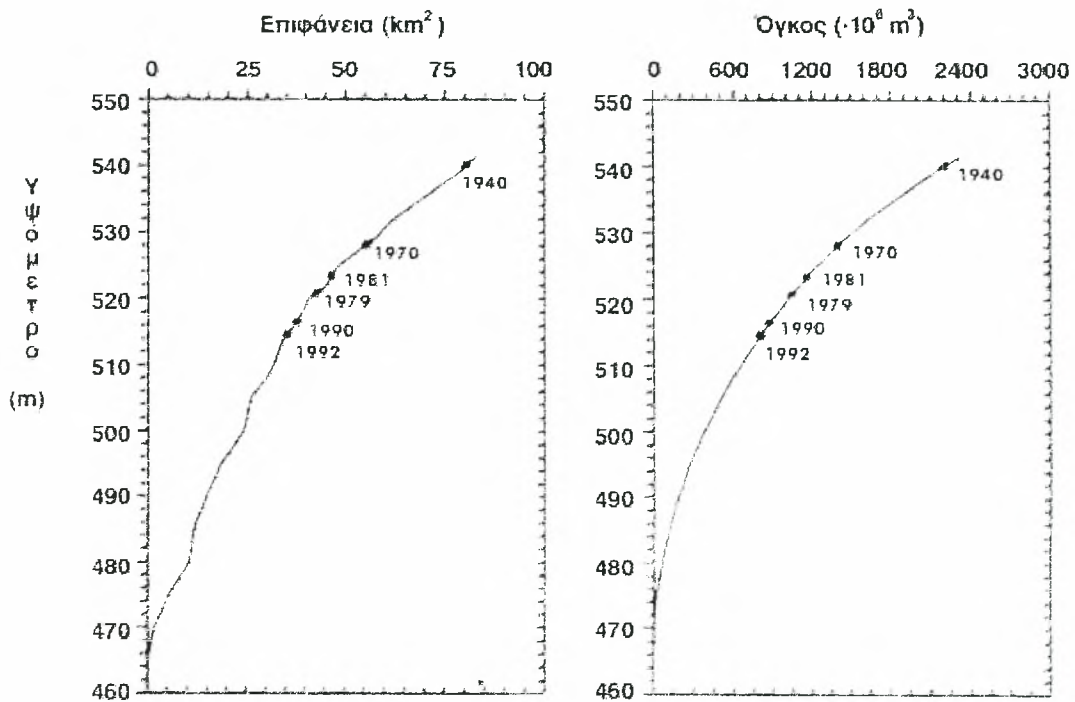


Σχήμα 3: Χρονική σειρά των μηνιαίων τιμών της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδα, των ετών 1960 – 1997 (Αντωνόπουλος κ.α., 1997)

Πίνακας 1: Η μεταβολή της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδα κατά την τελευταία εικοσαετία (Πηγή: Δ.Ε.Η., 1997)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΗΣ (m)
1-1-1977	523,47
1-1-1979	520,65
1-1-1980	521,28
1-1-1983	524,71
1-1-1984	524,05
1-1-1985	524,18
1-1-1986	522,44
1-1-1987	521,37
1-1-1990	516,53
1-1-1991	514,53
1-1-1994	511,65
1-1-1995	510,67
1-1-1996	509,60
1-5-1996	510,14

Οι σχέσεις του όγκου και της έκτασης της ελεύθερης επιφάνειας με τη στάθμη της λίμνης δίνονται στα διαγράμματα στάθμης της λίμνης – αποθήκευσης και στάθμης – απαραίτητες σχέσεις για οποιαδήποτε υδρολογική μελέτη. Οι δύο αυτές σχέσεις για τη λίμνη Βεγορίτιδα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 (Αντωνόπουλος κ.α., 1996).



Σχήμα 4: Σχέσεις στάθμης της λίμνης με την επιφάνεια και τον όγκο της. Σημειώνονται η επιφάνεια και ο όγκος της σε σχέση με τη στάθμη σε χαρακτηριστικά έτη (Αντωνόπουλος κ.α., 1996)

3.2 Υδατικό Ισοζύγιο της Λίμνης

Με βάση τα δεδομένα κλιματολογικών και υδρομετρικών στοιχείων των υπηρεσιών του Υπουργείου Γεωργίας και ΥΠΕΧΩΔΕ, η επιφανειακή εισροή νερού στη λίμνη Βεγορίτιδα πραγματοποιείται με τα επιφανειακά υδατορεύματα, του Πεντάβρυσου (Σουλού), τα ρέματα Άνω Γραμματικού, Παναγίτσας και Άρνισσας και την τεχνητή σήραγγα του Αγίου Παντελεήμονα, διαμέσου της οποίας εκφορτίζονται τα νερά της λίμνης Πετρών στη λίμνη Βεγορίτιδα. Το ρέμα Πεντάβρυσος είναι το μεγαλύτερο σε μήκος και ποσοτικά το σημαντικότερο επιφανειακό υδατόρευμα της λεκάνης απορροής. Αποτελεί τον τελικό αποδέκτη του στραγγιστικού δικτύου της κοιλάδας του τέως έλους Σαρί Γκιόλ. Η κύρια κοίτη του διαμορφώνεται μετά την τεχνητή λίμνη της ΔΕΗ στο εργοστάσιο ΛΙΠΤΟΛ και έχει μήκος περίπου 25 km.

Οι ποσότητες νερού που εισρέουν με τα επιφανειακά υδατορεύματα εκτιμώνται προσεγγιστικά, γιατί δεν υπάρχουν συστηματικές καταγραφές των παροχών των πέντε υδατορευμάτων. Οι υπάρχουσες μετρήσεις είναι

περιορισμένες με αποτέλεσμα να μην περιγράφουν την εποχική και διαχρονική μεταβολή των παροχών των υδατορευμάτων. Οι μόνες μετρήσεις που μπορούν να θεωρηθούν συστηματικές είναι οι μηνιαίες μετρήσεις στο ρέμα Σουλού κατά τα έτη (1983-1992) (ΥΠ.ΓΕ, 1993). Η μέση παροχή νερού του ρέματος Σουλού κατά τα έτη 1983-1992 εκτιμάται μεταξύ 15 και $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ανά έτος (ΥΠ.ΓΕ, 1993). Η εισροή νερού από την υπολεκάνη της περιοχής της Άρνισσας, λόγω της έλλειψης υδρομετρήσεων μπορεί να γίνει έμμεσα από τη μέση βροχόπτωση στην αντίστοιχη υπολεκάνη και την παραδοχή ενός συντελεστή απορροής της τάξης του 25%. Από την περιοχή της λίμνης Πετρών τα τελευταία χρόνια η εισροή έχει μηδενιστεί. Η εισροή νερού απευθείας στην επιφάνεια της λίμνης υπολογίζεται από την έκταση που καταλαμβάνει αυτή και τη μέση βροχόπτωση στην περιοχή.

Κατ' εκτίμηση επίσης υπολογίζονται οι ποσότητες υπογείων νερών που εισρέουν από τους υπόγειους υδροφορείς στη λίμνη Βεγορίτιδα επειδή δεν υπάρχουν αναλυτικά στοιχεία υπόγειας στάθμης ή πιεζομετρικού φορτίου στους υδροφορείς και της διαπερατότητας των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων, που είναι απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της φόρτισης ή εκφόρτισης από ή προς του υδροφορείς.

Στις γεωλογικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί αναφέρεται ότι, ενώ παλαιότερα γινόταν τροφοδοσία της λίμνης από τους καρστικούς υδροφορείς καθώς η πιεζομετρική επιφάνεια των χαλαρών υδροφόρων στρωμάτων της λεκάνης Πτολεμαΐδας βρισκόταν χαμηλότερα της στάθμης των καρστικών υδάτων του Βερμίου (Παπακωνσταντίνου, 1982, 1983), τα τελευταία χρόνια αυτό δε συμβαίνει, αλλά αντίθετα η λίμνη τροφοδοτεί τους υδροφορείς (Στάμου, 1994).

Οι εκροές νερού από τη λίμνη οφείλονται στο εξατμιζόμενο νερό απ' ευθείας από την ελεύθερη επιφάνεια, στις υπόγειες διαρροές μέσω του καρστικού υδροφορέα και στις διαρροές προς τους επιφανειακούς υδροφορείς που βρίσκονται γύρω από τη λίμνη και σε υδραυλική επικοινωνία με τη λίμνη.

Σημαντικές όμως είναι οι τεχνητές εκροές νερού από τη λίμνη. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι εκροές από τη σήραγγα της Άρνισσας μεταξύ 1955 και 1990, οι εκροές με τις συνεχείς αντλήσεις της ΔΕΗ μέσω του αντλιοστασίου του Αγίου Παντελεήμονα και οι άμεσες ή έμμεσες αντλήσεις

των αγροτών των παραλίμνιων γεωργικών περιοχών για την άρδευση των καλλιεργειών τους (πολύ σημαντική παράμετρος μείωσης της στάθμης).

Από τα στοιχεία των Δ/σεων Γεωργίας Κοζάνης, Φλώρινας και Πέλλας προκύπτει ότι υπάρχει μια τάση συνεχούς αύξησης των αρδευόμενων εκτάσεων και της ανόρυξης νέων γεωτρήσεων στις περιοχές κοντά στη λίμνη. Έτσι, για την περιοχή της Άρνισσας, οι αρδευόμενες εκτάσεις αυξήθηκαν από 17000 το 1981 σε 30600 στρέμματα το 1992, στην περιοχή Αμυνταίου από 15100 σε 57600 στρέμματα και στην περιοχή της Πτολεμαΐδας από 5400 σε 14800 στρέμματα την ίδια περίοδο. Μέρος των εκτάσεων που αρδεύονται αποτελούν οι αποκαλυπτόμενες εκτάσεις της λίμνης που καταλαμβάνονται από τους γεωργούς των παραλίμνιων οικισμών.

Η ελεύθερη εκροή από τη σήραγγα της Άρνισσας ήταν μια σημαντική συνιστώσα απωλειών νερού από τη λίμνη. Από τα στοιχεία που υπάρχουν, προκύπτει ότι τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας της σήραγγας έγινε αλόγιστη εκροή νερού που συνέβαλλε σημαντικά στην πτώση της στάθμης της λίμνης. Από τη σήραγγα αυτή εκτιμάται ότι στα 35 χρόνια λειτουργίας κατά μέσο όρο διέφευγαν $103,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως, με μέγιστη διαφυγή τα $325,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού το υδρολογικό έτος 1958-59 (Αντωνόπουλος κ.α., 1996).

Οι αντλήσεις της ΔΕΗ με το αντλιοστάσιο του Αγίου Παντελεήμονα, επίσης συνετέλεσαν σημαντικά στη συνεχή αφαίρεση νερού από τη λίμνη και κατά συνέπεια και στη πτώση της στάθμης της λίμνης. Η εκτίμηση των αντλούμενων ποσοτήτων νερού από το αντλιοστάσιο αυτό τα τελευταία χρόνια ήταν περίπου $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως. Η ποσότητα αυτή μπορεί να μην αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα γιατί η ΔΕΗ δεν καταγράφει τις αντλούμενες ποσότητες νερού. Οι Γκανούλης κ.α. (1983) είχαν εκτιμήσει ότι η ΔΕΗ το 1982 κατανάλωσε συνολικά $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού που προερχόταν από γεωτρήσεις και αντλήσεις από το Σουλού και τη Βεγορίτιδα και ότι οι ανάγκες της για την επόμενη εικοσαετία θα ανέρχονταν στα $72 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως. Μέρος από αυτές τις ανάγκες η ΔΕΗ, από τα μέσα της δεκαετίας του '80, έχει ικανοποιήσει με νερό που προμηθεύεται από τον Αλιάκμονα.

Τέλος, μια σημαντική εκροή νερού από τη λίμνη γίνεται διαμέσου του καρστικού υδροφορέα και των καταβοθρών. Για αυτή τη συνιστώσα εκροής υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις. Κατά τον Hutchinson (1975), που στηρίζει την άποψή του στις εργασίες της Hasluck (1937) που έγιναν την

περίοδο της δεκαετίας του '30, στον πυθμένα της λίμνης Βεγορίτιδα, υπάρχουν καταβόθρες οι οποίες λειτουργούν ανά τακτά ή τυχαία χρονικά διαστήματα προκαλώντας την πτώση της στάθμης της λίμνης. Στη διάνοιξη ή το κλείσιμο των καταβόθρων έχει αποδοθεί η αυξομείωση της στάθμης της λίμνης στις πρώτες δεκαετίες του αιώνα. Το άνοιγμα των καταβόθρων προκαλείται από σεισμούς ή από διαταραχή της ποσότητας και ποιότητας του υλικού που φράζει το στόμιο των καταβόθρων σε ακανόνιστα χρονικά διαστήματα. Ο λόγος της παραδοχής της ύπαρξης των καταβόθρων και της λειτουργίας τους, οφείλεται στις παρατηρήσεις που είχαν γίνει και οι οποίες έδειξαν ότι οι αυξομειώσεις της στάθμης δεν ακολουθούν τις μεταβολές του ύψους των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Τα τελευταία χρόνια οι υδρογεωλογικές μελέτες στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης της λίμνης έδειξαν ότι υπάρχει συνεχής υπόγεια εκφόρτιση μέσου του καρστικού υδροφορέα στο τμήμα αυτό προς τη λίμνη Νησίου και τις πηγές νερού της Έδεσσας. Η θεωρητική διερεύνηση της δυνατότητας παρεμπόδισης της εκφόρτισης αυτής δεν έδωσε εφικτές λύσεις (Στάμου, 1994).

Με βάση τα παραπάνω και τα στοιχεία βροχοπτώσεων και εξάτμισης στους μετεωρολογικούς σταθμούς Αμυνταίου, Άρνισσας και Πτολεμαϊδας, τις υδρομετρήσεις στο ρέμα Πεντάβρυσου και την έκταση της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης για την τετραετία 1989 μέχρι 1992, υπολογίσθηκαν οι ποσότητες του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης. Η μέση ετήσια εισροή νερού από το ρέμα Πεντάβρυσου ήταν $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ και η μέση ετήσια απορροή από την υπολεκάνη της Άρνισσας για συντελεστή επιφανειακής απορροής 0,25 και μέση ετήσια βροχόπτωση 484,5 mm ήταν $52 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η απευθείας βροχόπτωση στην επιφάνεια της λίμνης για μέση βροχόπτωση στην περιοχή 439 mm και μέση ελεύθερη επιφάνεια $37 \times 10^6 \text{ m}^3$, της χρονικής αυτής ήταν $16,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού. Η συνολική επιφανειακή εισροή στη λίμνη της περιόδου αυτή ήταν $93,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

Η μέση ετήσια εξάτμιση νερού από την ελεύθερη επιφάνεια της λίμνης με βάση τις τιμές των εξατμισίμετρων της Άρνισσας και του Αμυνταίου και συντελεστή διόρθωσης 0,7 (Hammer and MacKichan, 1981) της ίδιας χρονικής περιόδου ήταν $29 \times 10^6 \text{ m}^3$. Αν δεχτούμε ετήσιες αντλήσεις νερού από τη ΔΕΗ της τάξεως των $50 \times 10^6 \text{ m}^3$, τότε οι ετήσιες επιφανειακές εκροές νερού ήταν $79 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η μεταβολή στον όγκο του αποθηκευμένου νερού στη λίμνη την

ίδια περίοδο λόγω της μέσης ετήσιας πτώσης της στάθμης κατά 1.15 m, ισοδυναμούσε με $-42,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

Η μέση ετήσια απώλεια νερού ήταν $59,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ που οφείλεται σε υπόγειες διαρροές προς τον καρστικό υδροφόρα και τις καταβόθρες. Το ετήσιο αυτό έλλειμμα αν συγκριθεί με τις ετήσιες χρήσεις από τη ΔΕΗ και τη Γεωργία (50×10^6 και $50-70 \times 10^6 \text{ m}^3$, αντίστοιχα) δείχνει ότι επεμβάσεις στη διαχείριση της χρήσης του νερού που αντλείται άμεσα ή έμμεσα, μπορεί να οδηγήσουν στην σταθεροποίηση του όγκου της λίμνης σε ικανοποιητικά για τον υγρότοπο όρια.

3.3 Ποιοτική Κατάσταση της Λίμνης

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 άρχισε να εμφανίζεται το ενδιαφέρον της πολιτείας και των Ελλήνων επιστημόνων για την ποιοτική κατάσταση των λιμνών στον Ελλαδικό χώρο. Στα πλαίσια αυτά πραγματοποιήθηκαν μελέτες καταγραφής των φυσικοχημικών παραμέτρων της λίμνης Βεγορίτιδα (Μουρκίδης κ.α., 1978). Επίσης το 1961 έγινε καταγραφή ορισμένων φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως και του μικροβιακού φορτίου της Βεγορίτιδας (Oceviski, 1966).

Την περίοδο 1981-82 μελετήθηκαν συστηματικά οι εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας και του οξυγόνου, η εποχιακή μεταβολή της πρωτογενούς παραγωγικότητας και της βιομάζας της λίμνης (Διαμαντίδης, 1984), καθώς επίσης και η οριζόντια κατανομή των ανόργανων μορφών αζώτου και του ολικού φωσφόρου σε βάθος 2 m (Διαμαντίδης και Αντωνόπουλος, 1984). Την ίδια χρονική περίοδο πραγματοποιήθηκαν μελέτες για την εκτίμηση της τροφικής κατάστασης της λίμνης (Nikolaidis κ.α., 1985), καθώς και του βαθμού ρύπανσης και της παραγωγικότητάς της σε ιχθείς (Φώτης κ.α., 1984).

Με βάση τις παραπάνω μελέτες η λίμνη, της οποίας το απόλυτο υψόμετρο στάθμης την περίοδο των μελετών, κυμαινόταν γύρω στα 524 m, είχε χαρακτηριστεί ως ολιγοτροφική ή ως ευρισκόμενη σε μια μεταβατική περίοδο μετατροπής της σε ολιγο-μεσοτροφική. Κατά την περίοδο αυτή η διαύγεια των νερών της λίμνης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ήταν $>5\text{m}$ (δίσκος Secchi), η συγκέντρωση του φωσφόρου ήταν χαμηλή ($<15 \mu\text{g l}^{-1}$), και ικανοποιητική η ανάπτυξη του κορέγονου (*Coregonus lavaretus*), που είναι

χαρακτηριστικά γνωρίσματα των oligotροφικών λιμνών αλπικού τύπου, στην ομάδα των οποίων ανήκει η Βεγορίτιδα (Hutchinson, 1975). Η μέση ημερήσια πρωτογενής παραγωγικότητα που μετρήθηκε με το μέθοδο του ^{14}C εκτιμήθηκε σε $600\text{-}700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ($261\text{-}1450 \text{ mg } ^{14}\text{C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), ενώ η μέγιστη τιμή βιομάζας για ολόκληρη την τροφογενετική ζώνη (0-15 m) ήταν $44,4 \text{ mg Chl a m}^{-3}$ (4/6/1981). Η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης της χλωροφύλλης που μετρήθηκε ήταν $3,75 \text{ mg Chl a m}^{-3}$ σε βάθος 2 m (4/6/81). Με βάση την οριζόντια κατανομή του ολικού φωσφόρου και της χλωροφύλλης-α σε βάθος 2 m από την επιφάνεια της λίμνης, η λεκάνη της χωρίστηκε σε δύο ζώνες: την κύρια κεντρική ζώνη με μέση τιμή συγκέντρωσης φωσφόρου και χλωροφύλλης $12,2 \pm 2,29 \text{ } \mu\text{g P.l}^{-1}$ και $1,73 \pm 0,31 \text{ mg Chl a m}^{-3}$ αντίστοιχα και την αβαθή (μέγιστο βάθος 6 m) νοτιοδυτική ζώνη με μέσες τιμές $18,43 \pm 2,37 \text{ } \mu\text{g P.l}^{-1}$ και $2,27 \pm 0,27 \text{ mg Chl a m}^{-3}$. Ωστόσο η μέγιστη τιμή φωσφόρου σε μικρή απόσταση από τις εκβολές του Σουλίου ήταν $61,9 \text{ } \mu\text{g P.l}^{-1}$. Η συγκέντρωση του νιτρικού και του αμμωνιακού αζώτου στην κύρια λεκάνη της λίμνης (μέγιστο βάθος γύρω στα 60 m) κατά τη δειγματοληψία που έγινε στις 5/7/82, ήταν αντίστοιχα $1,36 \pm 0,036 \text{ mg.l}^{-1}$ και $24,33 \pm 9,55 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ (Διαμαντίδης και Αντωνόπουλος, 1984).

Την ίδια περίοδο καταγράφηκε η φυσικοχημική στρωμάτωση της λίμνης. Διαπιστώθηκε ότι αυτή άρχιζε στα τέλη της άνοιξης και ολοκληρωνόταν στα τέλη Ιουνίου με αρχές Ιουλίου. Ωστόσο υπήρχε συνεχής βύθιση του θερμοκλινούς της λίμνης κατά την περίοδο της στρωμάτωσης της σε μεγαλύτερα βάθη και έφτανε στα 20 m από την επιφάνεια της πριν από το στάδιο της ολόμιξης στο τέλος του φθινοπώρου. Έτσι η λίμνη από τα μέσα Ιουνίου μέχρι την πλήρη ολόμιξή της, διαχωριζόταν σε τρία διακριτά στρώματα: το ανώτερο στρώμα του επιλιμνίου όπου απαντάται το φυτοπλαγκτόν (τροφογενετική ζώνη), με μέγιστη θερμοκρασία τους $23 \text{ }^\circ\text{C}$, το στρώμα του μεταλιμνίου με χαρακτηριστικό γνώρισμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος (θερμοκλινές με μεταβολή της θερμοκρασίας της τάξης του ενός βαθμού ανά μέτρο υδάτινης στήλης) και το στρώμα του υπολιμνίου όπου η θερμοκρασία δεν ξεπερνούσε τους $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση του οξυγόνου στην κύρια λεκάνη της λίμνης κατά τη στρωμάτωση, διαπιστώθηκε η ύπαρξη στρωμάτων νερού στο

μεταλίμνιο με ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις O_2 (2,2 και 2,0 ppm στις 26/9/80 και στις 4/11/81 αντίστοιχα σε βάθος 20 m).

Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και σε άλλες λίμνες (Sharino, 1960, Antonescu 1931). Η δημιουργία της ζώνης αυτής του νερού στο επίπεδο του μεταλιμνίου με χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου είναι δυνατό να οφείλεται (Hutchinson 1975, Shapiro 1960, Wetzel 1983):

α) σε εγκλωβισμό μαζών νερού με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεταξύ μαζών νερού με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις,

β) στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της λεκάνης σε σχέση με την οριζόντια κίνηση του νερού, και

γ) στην *in situ* βιολογική ή χημική κατανάλωση οξυγόνου.

Το φαινόμενο αυτό μελετήθηκε στη λίμνη Washington των ΗΠΑ (Shapiro, 1960) και αποδόθηκε στην *in situ* κατανάλωση οξυγόνου από μεγάλους πληθυσμούς κωπετόδων που ενδημούν στο μεταλίμνιο και το ανώτερο τμήμα του υπολίμνιου. Ιδιαίτερης αναλυτικής αξίας είναι οι μεταβολές του μεγέθους της ελάχιστης συγκέντρωσης οξυγόνου στο μεταλίμνιο από έτος σε έτος. Στη λίμνη Washington (έκταση 87,6 km², μέγιστο βάθος 66 m, μέσο βάθος 33 m) είχε διαπιστωθεί με μετρήσεις που λαμβάνονταν την ίδια εποχή για πολλά χρόνια ότι ένα από τα γνωρίσματα της εξέλιξης της λίμνης από την oligοτροφική στην ευτροφική, καθώς δεχόταν τα οικιστικά λύματα παρακείμενης πόλης με πληθυσμό 750000 κατοίκους, ήταν η συνεχής και εντονότερη κάθε φορά μείωση της ελάχιστης συγκέντρωσης O_2 στο μεταλίμνιο.

Στην πρώτη καταγραφή συγκέντρωσης οξυγόνου το 1961 (Oceviski, 1966), η λίμνη εμφάνιζε μόνο δύο διακριτά στρώματα: το στρώμα του επιλίμνιου και το στρώμα του υπολίμνιου, με χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου από ότι στο επιλίμνιο. Χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στο μεταλίμνιο διαπιστώθηκαν στην πρώτη συστηματική μελέτη του 1978 (Μουρκίδης κ.α., 1978) (χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το φαινόμενο αυτό πρωτοεμφανίστηκε το χρόνο αυτό, δεδομένου ότι από το 1961 μέχρι το 1978 δεν πραγματοποιήθηκε καμία μέτρηση οξυγόνου στη λίμνη) και το φαινόμενο αυτό φαίνεται ότι εμφανίζεται κάθε χρόνο μέχρι και σήμερα (Παπαδόπουλος, 1994).

Τέλος, σε ότι αφορά τη συγκέντρωση οξυγόνου στο στρώμα νερού πάνω από τον πυθμένα κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης, διαπιστώθηκε ότι δεν ξεπερνούσε τα 0,5 ppm O₂ (Μουρκίδης κ.α., 1978: Διαμαντίδης, 1984: Τσέκος κ.α., 1988).

Η λίμνη για την περίοδο που αναφέρονται οι μελέτες (αρχές της δεκαετίας του 1980) δεχόταν τα νερά του υδατορεύματος του Σουλού, το οποίο με τη σειρά του μετέφερε στη λίμνη τα απόβλητα των θερμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ, του εργοστασίου παραγωγής αζωτούχων λιπασμάτων και τα λύματα της πόλης της Πτολεμαΐδας (πληθυσμός περίπου 10000 κάτοικοι). Σύμφωνα με τη συστηματική μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Αντωνόπουλο κ.α. (1984) στα νερά του Σουλού, η λίμνη εμπλουτιζόταν με φωσφορικά, νιτρικά και αμμωνιακά άλατα, όπως επίσης και με αιωρούμενα στερεά, σε ποσότητες που εξαρτιόνταν από την παροχή του υδατορεύματος και τις θερμοκρασίες. Τη χειμερινή περίοδο, η παροχή του υδατορεύματος ήταν μεγάλη, όπως επίσης και η ταχύτητα ροής. Έτσι οι ρύποι ουσιαστικά μεταφέρονταν και οδηγούνταν στη λίμνη χωρίς καμία ποσοτική και ποιοτική μεταβολή. Αντίθετα τη θερινή περίοδο το υδατόρευμα συμπεριφερόταν ως ανοιχτός υπόνομος. Μολονότι τα συνολικά φορτία παρέμειναν τα ίδια με αυτά της χειμερινής περιόδου, οι συγκεντρώσεις ανά μονάδα όγκου ήταν ιδιαίτερα υψηλές. Ωστόσο, λόγω της χαμηλής ταχύτητας ροής και των υψηλών θερμοκρασιών, τα φορτία των ρύπων μειώνονταν σημαντικά: η αμμωνία οξειδώνονταν βιολογικά σε νιτρικά ιόντα ή διέφευγε στην ατμόσφαιρα λόγω εξάτμισης, ενώ και τα φωσφορικά άλατα και τα αιωρούμενα στερεά καταβυθίζονταν στον πυθμένα του υδατορεύματος. Παρόλα αυτά όμως ο αυτοκαθαρισμός του υδατορεύματος δε θεωρήθηκε ικανοποιητικός, διότι τελικά οδηγούνταν στη λίμνη, κατά τη θερινή περίοδο, 10 g sec⁻¹ ανόργανων μορφών αζώτου, 160 μg sec⁻¹ φωσφόρου και 115 g sec⁻¹ αιωρούμενων στερεών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακού, νιτρικού και νιτρώδους αζώτου, όπως επίσης και ολικού φωσφόρου στο νοτιοδυτικό αβαθές τμήμα της λίμνης και κοντά στις εκβολές του Σουλού (Διαμαντίδης και Αντωνόπουλος, 1984). Στην ύπαρξη αυτών των ζωνών υψηλής συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου στις εκβολές του Σουλού αποδόθηκε και ο περιστασιακός θάνατος ιχθύων (Φώτης κ.α., 1984). Ταυτόχρονα όμως, λόγω των εισροών θρεπτικών στοιχείων, η

τροφοδοτική ικανότητα του νοτιοδυτικού τμήματος της λίμνης ήταν ιδιαίτερα αυξημένη, αυτό σε συνδυασμό με το μικρό βάθος και την ύπαρξη καλαμώνων, συνέβαλε στη δημιουργία καταλληλότερων τόπων αναπαραγωγής των ιχθύων (Τσέκος κ.α., 1988). Σήμερα λόγω της μείωσης της στάθμης της λίμνης το τμήμα αυτό έχει αποξηρανθεί.

Παράλληλα, την ίδια χρονική περίοδο που πραγματοποιούνταν οι μελέτες των φυσικο-χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών της λίμνης, όπως επίσης και οι πιθανές επιπτώσεις των εισροών των θρεπτικών στοιχείων, μελετήθηκε η τύχη των μεταλλικών ιόντων που αναμένονταν, λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή, τόσο μέσα στο υδατόρευμα του Σουλού όσο και στο ίζημα της λίμνης (Katsanos κ.α, 1986: Mourkides κ.α., 1983). Στις παραπάνω εργασίες διατυπώθηκε η άποψη ότι τα οικιστικά λύματα της Πτολεμαΐδας όπως επίσης και τα απόβλητα της ΔΕΗ δεν συνιστούσαν σοβαρή πηγή ρύπανσης μεταλλικών ιόντων τόσο του υδατορεύματος του Σουλού όσο και της λίμνης Βεγορίτιδας.

Τη σχετική αύξηση της στάθμης της λίμνης την περίοδο 1980-1984 ακολούθησε η συνεχής πτώση της, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου της και της επιφάνειάς της. Το υδρολογικό αυτό πρόβλημα συνδέεται άμεσα και με την ποιότητα των νερών της λίμνης. Η λίμνη δέχεται μέχρι και σήμερα τους ίδιους περίπου ρύπους και τα ίδια θρεπτικά στοιχεία (εικάζεται και τις ίδιες ποσότητες) όπως την περίοδο 1980-1985, αλλά λόγω μειωμένης μάζας νερού, η αραίωση τους είναι επίσης μειωμένη. Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε τη διετία 1987-88, από τους Τσέκο κ.α. (1988), παρά την εποχιακή και οριζόντια διακύμανσή τους, η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων δεν ξεπερνούσε τα $1,2 \text{ mg l}^{-1}$ και η συγκέντρωση του φωσφόρου τα 10 μg l^{-1} , τιμές που βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με αυτές που είχαν καταγραφεί στις προηγούμενες μελέτες. Αντίθετα η διαφάνεια του νερού σε τιμές του δίσκου Secchi κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης το καλοκαίρι του 1988, μειώθηκε γύρω στα 3 m. Άλλες αξιοσημείωτες παρατηρήσεις της παραπάνω μελέτης ήταν η διαπίστωση απουσίας ελεύθερων φωσφορικών ιόντων στο επιλίμνιο τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Συνήθως η εποχιακή απουσία φωσφορικών ιόντων συνδέεται με ταυτόχρονη άνθιση του φυτοπλαγκτού (άνθιση νερού). Η άνθιση αυτή εμφανίστηκε στις 5 Οκτωβρίου 1987 όταν η συγκέντρωση φωσφόρου κυμαινόταν γύρω στα 8 μg l^{-1} στο ανώτερο στρώμα νερού του

επιλίμνιου (0-7m) και η συγκέντρωση νιτρικών ιόντων κυμαίνονταν σε ολόκληρη τη στήλη νερού γύρω στο $800 \mu\text{g l}^{-1}$ (Τσέκος κ.α., 1988). Κατά την άνθιση επεκράτησε το κυανοφύκος *Microcystis aeruginosa*, γεγονός παράδοξο για ένα υδάτινο σώμα που περιέχει, σύμφωνα με τις μελέτες, μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων. Κατά κανόνα τα κυανοφύκη αναπτύσσονται σε υδάτινα σώματα όπου περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης της φυτομάζας είναι το άζωτο και όχι ο φώσφορος (ο τρίτος περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού είναι το CO_2 σε αντίθεση με τα φυτά της ξηράς που είναι το κάλιο). Αυτό το καταφέρνουν γιατί τα κυανοφύκη ως αζωτοδεσμευτικοί οργανισμοί καλύπτουν τις αζωτούχες ανάγκες τους δεσμεύοντας το ατμοσφαιρικό άζωτο. Έτσι η διαδοχή των ποικίλων ειδών φυκών που εποικίζουν ένα υδάτινο σώμα καθορίζεται κυρίως από τη σχετική συγκέντρωση των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων (στην πραγματικότητα η συγκέντρωση και άλλων ιόντων επηρεάζει την εποχιακή διαδοχή του φυτοπλαγκτού, όπως η συγκέντρωση πυριτικών αλάτων επηρεάζει την ανάπτυξη των διατόμων. Σε πρώτη φάση η επάρκεια των νιτρικών ιόντων καθορίζει τον πληθυσμό των ειδών που δεν αζωτοδεσμεύουν. Στη συνέχεια, εάν στο υδάτινο σώμα παραμένουν διαθέσιμα φωσφορικά ιόντα, αναπτύσσονται τα κυανοφύκη. Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, τα κυανοφύκη αναπτύσσονται σε βάρος των άλλων φυκών όταν η σχέση N/P της μάζας του φυτοπλαγκτού και όχι του νερού είναι μικρότερη από 7 (Feuillade, 1985; Ryding and Rast, 1989; Barroin 1991). Επομένως παρά τη συνεχή προσθήκη νιτρικών ιόντων, η συγκέντρωσή τους δεν ήταν απαγορευτική της ανάπτυξης των κυανοφυκών στη λίμνη Βεγορίτιδα, κάτι που θα ήταν ιδιαίτερα επιθυμητό. Άλλωστε, όταν επιδιώκεται η μη ανάπτυξη των κυανοφυκών σε ένα υδάτινο σώμα γίνεται παρέμβαση με την προσθήκη νιτρικών ιόντων στο υδάτινο σώμα (Ryding and Rast, 1989).

Η διαπίστωση ανάπτυξης ικανοποιητικού πληθυσμού κυανοφυκών στη λίμνη είναι ιδιαίτερης σημασίας για την αξιολόγηση της κατάστασής της και της εξέλιξής της στο άμεσο μέλλον. Η παρουσία τους είναι ικανή να τροποποιήσει ριζικά τη συμπεριφορά μιας λίμνης ταυτόχρονα με τη ριζική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Τα κυανοφύκη δεν ιζηματοποιούνται, όπως π.χ. τα διάτομα και δεν καταναλώνονται από το ζωοπλαγκτόν με αποτέλεσμα την πλήρη διατάραξη της ισορροπίας της τροφικής αλυσίδας (Barroin, 1991).

Μετά το θάνατό τους τα κυανοφύκη καθιζάνουν στο υπολίμνιο και στη συνέχεια εναποτίθενται στην επιφάνεια του πυθμένα της λίμνης όπου και διασπώνται από τα βακτήρια. Λόγω της έντονης βακτηριακής δράσης καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες οξυγόνου με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανοξικού περιβάλλοντος με όλες τις επακόλουθες δυσάρεστες συνέπειες (ομαδικός θάνατος ψαριών, παραγωγή υδροθείου, αμμωνίας και μεθανίου, όπως επίσης και άλλων ουσιών με δυσάρεστη οσμή). Πράγματι, στη λίμνη Βεγορίτιδα κατά τη στρωμάτωση, διαπιστώθηκε επί σειρά ετών η δημιουργία στρώματος νερού στην επιφάνεια του πυθμένα της λίμνης με πολύ μικρές συγκεντρώσεις οξυγόνου, έως και μηδενικές (Τσέκος, 1988: Παπαδόπουλος, 1994), που σημαίνει ότι η βακτηριακή δραστηριότητα ήταν ιδιαίτερα έντονη.

Πέρα όμως από τη δημιουργία ανοξικού περιβάλλοντος, ο βακτηριακός πληθυσμός εκκλύει ικανοποιητικές ποσότητες CO₂ και προκαλείται ελαφρά οξίνιση του στρώματος του νερού και του ιζήματος. Για τη Βεγορίτιδα η οξίνιση του νερού σε γεινίαση με το ίζημα θα είχε ως αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση του ασβεστολιθικού υποστρώματος της και τη διάνοιξη των καταβολών διαμέσου των οποίων διαφεύγουν τα νερά της. Είναι λοιπόν τα κυανοφύκη η κύρια αιτία της αύξησης των υπόγειων απωλειών της λίμνης που σε συνδυασμό με άλλες αιτίες είχε ως αποτέλεσμα τη συνεχή πτώση της στάθμης τα τελευταία χρόνια; Μια καταφατική απάντηση είναι δύσκολο να τεκμηριωθεί γιατί λείπουν οι απαραίτητες παρατηρήσεις. Για να αποφανθεί κανείς σήμερα για την κατάσταση της λίμνης θα πρέπει να πραγματοποιηθούν ολοκληρωμένες μελέτες και όχι αποσπασματικές και περιστασιακές, ώστε να προταθούν συγκεκριμένα μέτρα διατήρησής της σε μια κατάσταση που θα ανταποκρίνεται στους επιθυμητούς στόχους.

Ελαφρά οξίνιση του στρώματος νερού πάνω από το ίζημα σε συνδυασμό με τις ανοξικές συνθήκες συνεπάγεται και την πρόκληση έντονης απελευθέρωσης ιόντων εγκλωβισμένων στο ίζημα, όπως ιόντων σιδήρου, μαγγανίου, άλλων βαρέων μετάλλων και ιόντων φωσφόρου. Επομένως όταν συμβαίνουν όλα τα παραπάνω, η λειτουργία μια λίμνης καθίσταται ανεξάρτητη των φορτίων φωσφόρου που εισέρχονται σ' αυτήν από την υδρολογική της λεκάνη. Η ανάπτυξη των κυανοφυκών σε μεγάλους πληθυσμούς καθίσταται αυτόνομη και αέναη καθώς σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου και ελαφρά όξινου pH, το ίζημα απελευθερώνει φωσφορικά ιόντα, τον κυριότερο

παράγοντα ανάπτυξης των κυανοφυκών. Εάν η λίμνη Βεγορίτιδα εισήλθε σήμερα στον αέναο θανατηφόρο κύκλο των κυανοφυκών δεν είναι δυνατό να απαντηθεί. Σε μια τέτοια περίπτωση, η οποία πρέπει να διερευνηθεί το συντομότερο δυνατό, το σταμάτημα του αέναου κύκλου της ανάπτυξης των κυανοφυκών είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο με παρέμβαση στον κύκλο των φωσφόρου μέσα στη λίμνη, πέρα από τις παρεμβάσεις που στόχο θα είχαν την ελαχιστοποίηση εισροών φωσφόρου στη λίμνη από σημειακές ή μη πηγές.

Η παρέμβαση στον κύκλο του φωσφόρου είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή της μεθόδου Riplox που στόχο έχει την ακινητοποίηση του φωσφόρου στο ίζημα ταυτόχρονα με την οξειδωση της οργανικής ύλης (Ripl, 1976, 1979). Η μέθοδος αυτή με την προσθήκη διαλυμάτων νιτρικού ασβεστίου επιχειρεί να εντατικοποιήσει την απονιτροποιητική διαδικασία που λαμβάνει χώρα στη ζώνη του ιζήματος, όπου αναπτύσσονται μεγάλοι πληθυσμοί απονιτροποιητικών βακτηρίων με τελικό αποτέλεσμα:

- α) την πλήρη οξειδωση της οργανικής ύλης και των ενώσεων σιδήρου,
- β) την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα μοριακού αζώτου
- γ) την ιζηματοποίηση του φωσφόρου.

Ωστόσο για να έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα μια τέτοια παρέμβαση θα πρέπει προηγουμένως να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες μελέτες που αφορούν τη σύσταση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ιζήματος, όπως επίσης θα πρέπει να εξετασθούν και όλες εκείνες οι παράμετροι που είναι δυνατόν να επηρεάζουν τις ανοξικές συνθήκες του πυθμένα της λίμνης (μορφολογία βυθού, επικρατούντες άνεμοι κ.ά) (Bjork, 1988).

3.4 Ίζημα

Το ίζημα μιας λίμνης είναι το προϊόν της ζωής της. Ανόργανα και οργανικά άλατα, γεωργικά φάρμακα και κάθε άλλη ένωση που θα βρει το δρόμο της προς το νερό μιας λίμνης, τελικά θα καταλήξει στο ίζημά της όπου λαμβάνουν χώρα ποικίλες βιολογικές και χημικές δραστηριότητες. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του ιζήματος ως και η σύστασή του θα κρίνουν την

ικανότητά του να συγκρατεί ή να ανταλλάσσει τα διάφορα ιόντα ή μη ιόντα με εκείνα του υπερκείμενου υδατοσυστήματος.

Σε μια λίμνη που έχει καταστεί ευτροφική το πρώτο και το πιο σημαντικό βήμα για την αποκατάστασή της θεωρείται ο περιορισμός του φορτίου των θρεπτικών στοιχείων που δέχεται και κυρίως του φωσφόρου (P) που είναι ο κύριος παράγοντας για τη ρύθμιση του ευτροφισμού (Thomas, 1972: Edmondson, 1972). Όμως ο εξωτερικός περιορισμός του φορτίου δεν αρκεί για την αποκατάστασή της (Ryding κ.α., 1978: Batch, 1980: Hosper και Meyer, 1986: Marsden, 1989: Sondergaard κ.α., 1993: Perrow κ.α., 1994) και πιστεύεται πως είναι απαραίτητη μια περίοδος πέντε ετών για να διαπιστωθεί ο βαθμός αντίδρασής της, για να καθοριστεί το δεύτερο ή τρίτο βήμα επέμβασης (Sas, 1989). Υπερτροφικές λίμνες χρειάζονται δέκα και είκοσι έτη για να αποκατασταθούν (Somdergaard κ.α., 1993).

Οι διαπιστώσεις της σημασίας του εσωτερικού φορτίου μιας λίμνης κίνησαν έντονα το ενδιαφέρον των ερευνητών της εφαρμοσμένης λιμνολογίας. Διαπιστώνεται πως με την ελάττωση του εξωτερικού φορτίου παύει να υφίσταται σχέση ισορροπίας μεταξύ αυτού και του εσωτερικού και η μελέτη του πρώτου αποκτά ελάχισσα σημασία (Lijklema, 1986). Παρατηρείται στροφή από τη μελέτη της χημείας του νερού στη μελέτη χημείας του ιζήματος.

Χημικές αναλύσεις του ιζήματος της λίμνης Βεγορίτιδας έδειξαν ότι το pH του έχει τιμή 8.2, η συγκέντρωση της οργανικής ύλης κυμαίνεται από 9-12%, του ανθρακικού ασβεστίου από 11-12% και του ολικού αζώτου, ολικού φωσφορικού και του σιδήρου από 9-10, 0,9-12 και 40-45 mg.g⁻¹ ξηρού ιζήματος, αντίστοιχα (Μουρκίδης κ.α., 1995).

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι το ιζήμα της λίμνης δεν είναι κορεσμένο από φωσφορικά άλατα. Όμως αυτό δεν σημαίνει πως αυτή θα πρέπει να εξακολουθεί να είναι αποδέκτης των λυμάτων και αποβλήτων της περιοχής της Πτολεμαΐδας. Η αλλαγή της τροφικής κατάστασής της προς την ευτροφική θα έχει συνέπειες που δε θα θεραπεύονται ως οικονομικά ασύμφορες (Μουρκίδης κ.α., 1995). Η ανάλυση του ιζήματος έχει δείξει πως αυτό έχει υψηλές ποσότητες σιδήρου και επομένως μπορεί να δεσμεύει σοβαρές ποσότητες φωσφόρου. Αυτό είναι το κλάσμα που παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη κινητικότητα. Η κλασμάτωση του φωσφόρου του ιζήματος

έδειξε πως ο ενεργός προς τον ανενεργό φώσφορο βρίσκεται σε αναλογία 1:1. Η προσρόφηση φωσφορικών από το ίζημα της λίμνης Βεγορίτιδας κυμαίνεται στο επίπεδο του 30-66%, η έκλυση αυτών που είχαν προσροφηθεί κυμαίνεται στο επίπεδο του 40-44% και κατά την έκλυση το 12-27% των όσων αρχικά είχαν προστεθεί στο ίζημα παραμένουν σ' αυτό προσροφημένα. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν πως το ίζημα της λίμνης Βεγορίτιδας έχει ακόμη χωρητικότητα για μεγαλύτερες ποσότητες φωσφορικών και συνεπώς παρουσιάζει σχετική ανοχή στην ενδεχόμενη αύξηση του φωσφορικού φορτίου.

Στην περίπτωση της λίμνης Βεγορίτιδας, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την ποιότητα του νερού της, που υπάρχουν από το 1977 (Μουρκίδης κ.α., 1978), 1978 και 1981 (Φώτης κ.α., 1984) και ιδιαίτερα σε ότι αφορά το άζωτο και το φωσφόρο (NO_3 και $\text{PO}_4\text{-P}$), μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η σχέση N/P έχει ελαττωθεί σημαντικά και φτάνει στο διπλάσιο της άριστης σχέσης ($\text{N/P}=16$) για τη δημιουργία του ζωντανού πρωτοπλάσματος στα φυτά (Φώτης κ.α., 1986).

Η πιο πάνω ελάττωση της σχέσης N/P, μελετώντας τα αποτελέσματα, φανερώνει ότι:

- α) η συγκέντρωση φωσφόρου κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων έχει αυξηθεί σημαντικά
- β) ότι ο περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των φυτών είναι ο φώσφορος.

3.5 Οικολογικά Στοιχεία

Η δραματική πτώση της στάθμης του νερού της λίμνης καθιστά πιο σημαντικές τις αξίες εκείνες του υγρότοπου, που συνδέονται άμεσα με την ποσότητα και την ποιότητα του νερού και τις οποίες αντιλαμβάνονται οι περισσότεροι των κατοίκων των γύρω οικισμών. Τέτοιες αξίες είναι η αρδευτική, η αλιευτική, η υδρευτική και η υδροηλεκτρική. Υπάρχουν όμως και πολλές άλλες αξίες που προέρχονται από τη θεώρηση της λίμνης αυτής ως υγρότοπου και τη λειτουργική της σύνδεση με τους παρακείμενους υγρότοπους των λιμνών Πετρών, Ζάζαρης και Χειμαδίτιδας. Τέτοιες αξίες είναι η θηραματική, η αμμοληπτική, η επιστημονική, η πολιτιστική και η εκπαιδευτική (Τσιούρης και Γεράκης, 1991).

Οι υγρότοποι των λιμνών αυτών παρ' όλες τις ανθρωπογενείς πιέσεις εξακολουθούν να στηρίζουν αξιόλογους πληθυσμούς χλωρίδας και πανίδας (Ζαλίδης και Μαντζαβέλας, 1994). Υπάρχουν είδη οργανισμών που είναι αποτέλεσμα προσαρμογής σε αντίξοες συνθήκες, π.χ. τα υδρόφυτα *Polygonum amphibium*, σε έντονες διακυμάνσεις της στάθμης του νερού. Το είδος *Najas* και τα είδη ιχθύων *Rutilus rutilus* (τσιρόνι) και *Cyprinus carpio* (γριβάδι), τα οποία θεωρούνται γενικά ανθεκτικά στη ρύπανση. Είδη απαιτητικά σε καθαρό περιβάλλον έχουν εξαφανιστεί όπως το *Astacus fluviatilis* (καραβίδα) (Φώτης κ.α., 1984) και *Oncorhynchus mykiss* (πέστροφα) (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1984). Το 1990 είχε γίνει προσπάθεια εκτροφής πέστροφας και κυπρίνου σε ιχθυοκλωβούς, αλλά η προσπάθεια αυτή απέτυχε (ΑΤΕ, 1991).

Αξιόλογη είναι η орνιθοπανίδα που έχει παρατηρηθεί στους υγροτόπους αυτούς. Έχουν καταγραφεί περισσότερα από 20 είδη, τα περισσότερα αποδημητικά, ενώ πολλά φωλιάζουν στους υγρότοπους αυτούς (Ζαλίδης και Μαντζαβέλλας, 1994). Δύο είδη πουλιών το *Netta rufina* (φερεντίνι) και η *Buteo rufinus* (αετογερακίνα) είναι σπάνια, έξι είδη κατατάσσονται στα κινδυνεύοντα και τα υπόλοιπα ανήκουν στην κατηγορία των τρωτών (Καρανδεινός, 1992), τα οποία αν και έχουν υγιείς πληθυσμούς, αυτοί μειώνονται συνεχώς. Αναφέρεται (Δ/νση Γεωργίας Πέλλας, 1992) η εξαφάνιση της πρασινοκέφαλης πάπιας (*Anas platyrhynchos*). Πέντε από τα είδη ορνιθοπανίδας που υπάρχουν στην περιοχή θεωρούνται ιδιαίτερα προστατευόμενα σύμφωνα με την υπουργική απόφαση 414985/1985 ΥΠ.ΓΕ.

3.6 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων από τα απόβλητα είναι οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ). Οι ΕΕΑΑ έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμοί) των αστικών αποβλήτων από τα επιζήμια συστατικά που περιέχουν, ώστε αυτά να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον.

Ως επιζήμια συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά – φυσικά συστατικά (π.χ. υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φώσφορος) (Στάμου, 1995).

Αν τα απόβλητα διοχετευτούν χωρίς επεξεργασία σε έναν υδάτινο αποδέκτη, δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την καταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Και αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (δηλ. αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να το εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι όπως προαναφέρθηκε να προσδιοριστούν:

- α) τα φορτία των ρυπαντών – όπως το άζωτο, ο ολικός φώσφορος και τα φορτία άλλων ανόργανων ενώσεων – που δέχεται ο ποταμός από τις διάφορες πηγές ρύπανσης και
- β) η τύχη των ρυπαντών καθώς κινούνται προς τον τελικό αποδέκτη που είναι η λίμνη Βεγορίτιδα.

Οι θέσεις δειγματοληψίας επιλέχθηκαν κατάλληλα, ώστε τα παρακάτω στοιχεία να μπορούν να εκτιμηθούν αξιόπιστα:

- α) το είδος και η συγκέντρωση των ρυπαντών
- β) η επίδραση των πηγών ρύπανσης στην ποιότητα του νερού του ποταμού και η τύχη των ρυπαντών καθώς αυτοί μεταφέρονται προς τα κατάντη και
- γ) τα φαινόμενα αραίωσης.

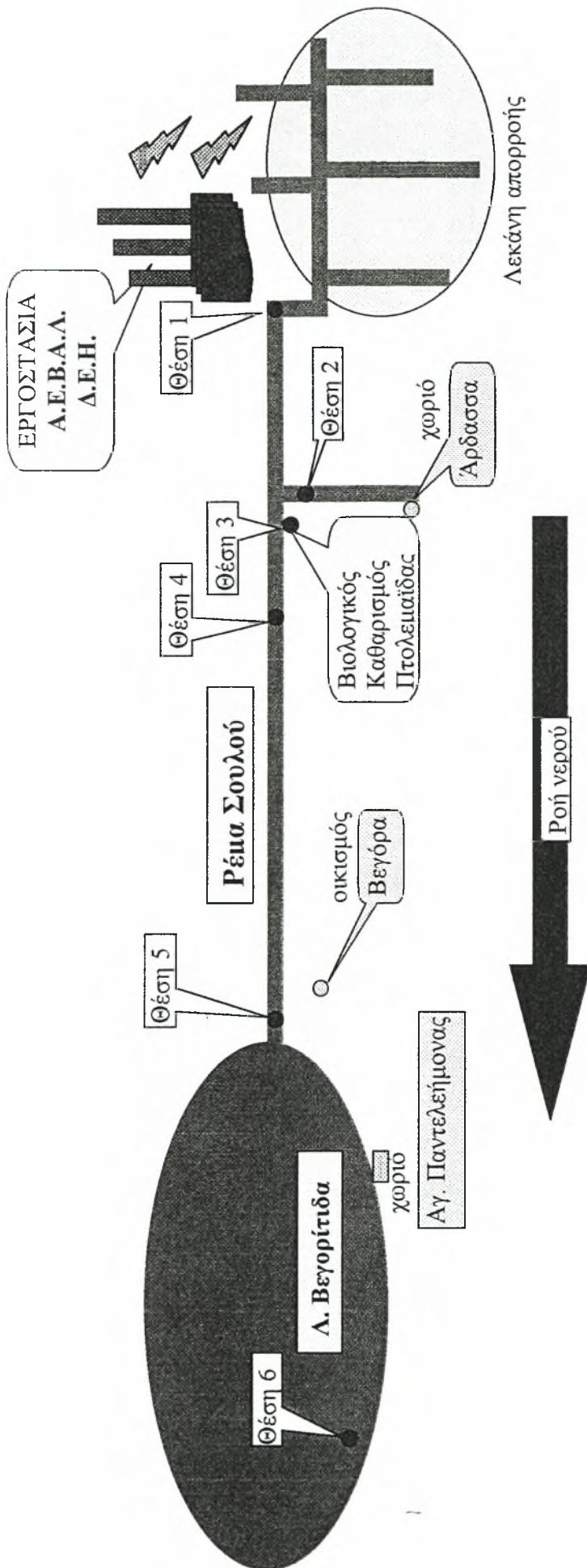
Το δίκτυο των θέσεων δειγματοληψίας περιλαμβάνει έξι τοποθεσίες (Σχήμα 5):

Η πρώτη θέση δειγματοληψίας (No 1) βρίσκεται στο ρέμα Σουλού σε τέτοιο σημείο ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή των ρύπων που εισέρχονται στην περιοχή μελέτης με κυριότερους αυτών:

α) Τα λύματα της βιομηχανίας λιπασμάτων ΑΕΒΑΛ. Η τοποθέτηση του σημείου δειγματοληψίας λίγα μέτρα από τον αγωγό της βιομηχανίας λιπασμάτων προς το ρέμα, μας επιτρέπει την πλήρη καταγραφή των στοιχείων που εισέρχονται στο Σουλού μέσω των λυμάτων της βιομηχανίας.

β) Τα λύματα του εργοστασίου της ΔΕΗ που βρίσκεται περίπου 500 μέτρα απέναντι και μετά το τέλος της λειτουργίας της βιομηχανίας λιπασμάτων είναι η κύρια πηγή ρύπανσης στην περιοχή.

Η επόμενη θέση δειγματοληψίας (No 2) βρίσκεται μερικά μέτρα πριν το κανάλι που περνώντας από τον οικισμό της Άρδασσας εκβάλλει στο Σουλού. Η εκβολή του καναλιού γίνεται λίγα μέτρα πριν το βιολογικό καθαρισμό της Πτολεμαΐδας και 500 περίπου μέτρα από το σημείο δειγματοληψίας No 1. Στόχος της επιλογής του συγκεκριμένου σημείου δειγματοληψίας κυρίως ήταν η καταγραφή των οικιακών λυμάτων του οικισμού της Άρδασσας που εισέρχονται στο ρέμα Σουλού.



Σχήμα 5: Σχεδιάγραμμα της περιοχής μελέτης, όπου φαίνονται οι σταθμοί δειγματοληψίας καθώς και οι κυριότεροι ρυπαντές.

Στη θέση δειγματοληψίας Νο 3 βρίσκεται ο αγωγός ο οποίος μεταφέρει τα προϊόντα του βιολογικού καθαρισμού της Πτολεμαΐδας στο ρέμα Σουλού. Τα δείγματα που πάρθηκαν στο σταθμό αυτό αποτελούνται αμιγώς από τα προϊόντα της λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού.

Η θέση δειγματοληψίας Νο 4 βρίσκεται στο ρέμα Σουλού, στο ύψος της Γέφυρας Ανατολικού. Η θέση αυτή απέχει περίπου 500 μέτρα από την έξοδο του βιολογικού καθαρισμού και επιλέχθηκε κατάλληλα ώστε να υπάρχει μια εικόνα του συνόλου των φορτίων των ρυπαντών που κατευθύνονται μέσω του ρέματος Σουλού στη λίμνη, αφού οι κύριες πηγές ρύπανσης είναι: το εργοστάσιο λιπασμάτων ΑΕΒΑΛ, το εργοστάσιο της ΔΕΗ και τα οικιακά αστικά λύματα κυρίως της Πτολεμαΐδας και δευτερευόντως της Άρδασσας.

Η θέση δειγματοληψίας Νο 5 βρίσκεται επίσης στο ρέμα Σουλού, σε σημείο κοντά στις εκβολές του Σουλού στη λίμνη, στο ύψος του οικισμού Βεγόρα. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δειγμάτων νερού στο σημείο αυτό (το οποίο απέχει 20 περίπου χιλιόμετρα από το σημείο δειγματοληψίας Νο 4), θα μετρηθεί ο βαθμός αυτοκαθαρισμού του ρέματος Σουλού καθώς και οι πραγματικές τιμές ρύπων που εισέρχονται τελικά στη λίμνη Βεγορίτιδα.

Τέλος η θέση δειγματοληψίας Νο 6 βρίσκεται μέσα στη λίμνη Βεγορίτιδα, στη δυτική όχθη της και σε σημείο μεταξύ των οικισμών Αγ. Παντελεήμονα και Άρνισσας. Η θέση αυτή επιλέχθηκε για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων φυσικοχημικών παραγόντων που συναντάμε στη λίμνη χωρίς να υπάρχει άμεση επίδραση από την εισροή των υδάτων του ρέματος Σουλού, λόγω της ικανής απόστασης των εκβολών του από το σημείο δειγματοληψίας Νο 6.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, τρεις από τις θέσεις δειγματοληψίας εγκαταστάθηκαν στις σημειακές πηγές ρύπανσης και κοντά στις εκβολές τους στον ποταμό, δύο εγκαταστάθηκαν κατά μήκος του ποταμού, ενώ μία τελευταία εγκαταστάθηκε στη λίμνη σε ικανή απόσταση από την εκβολή του ποταμού (Σχήμα 5). Με ιδιαίτερη προσοχή επιλέχθηκε και η θέση του σταθμού Νο 5 ώστε να βρίσκεται αρκετά μακριά από τις κύριες πηγές ρύπανσης, αλλά παράλληλα πλησίον των εκβολών του ποταμού στη λίμνη, για να είναι δυνατή η εκτίμηση της ικανότητας αυτοκαθαρισμού του

υδατορεύματος και τα ολικά φορτία των ρυπαντών που τελικά φθάνουν στη λίμνη.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες. Η πρώτη δειγματοληψία έγινε στις 12-12-1999 και η επόμενη στις 7-1-2000.

Οι φυσικές και χημικές παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: O_2 , pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, NO_3 , NH_4 , NO_2 , SO_4 , και ολικός φώσφορος ($P_{ολ}$).

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε ισοθερμικό κιβώτιο σε χαμηλή θερμοκρασία και οι αναλύσεις γινόταν μέσα σε 8 ώρες από τη δειγματοληψία. Τα δείγματα για τον προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου διατηρήθηκαν με την προσθήκη 1 ml 30% H_2SO_4 ανά 100 ml δείγματος, ενώ τα δείγματα για τον προσδιορισμό των αζωτούχων ενώσεων, συντηρήθηκαν προσθέτοντας 3 ml HNO_3 1M ανά 200 ml δείγματος.

Οι μετρήσεις του O_2 έγιναν με φορητό όργανο WTW OX196. Οι μετρήσεις pH και αγωγιμότητας έγιναν επίσης με φορητό όργανο της B&C (electronics pH 125,2). Η μέτρηση των NO_3 πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της στήλης καδμίου, τα NO_2 υπολογίστηκαν χρωματομετρικά με τη μέθοδο Nessler, ενώ τα NH_4 υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της ινδοφαινόλης. Ο υπολογισμός των SO_4 πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο καταβύθισης του χλωριούχου βαρίου και τέλος, ο ολικός φώσφορος προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του μολυδβαϊνικού αμμωνίου. Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρίας "Hitachi" μοντέλο UV-vis, και όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έγιναν με βάση τη Standard Methods for the examination of water and wastewater, Fifteen Edition 1981.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Φυσικοχημικές Παράμετροι

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων που καταγράφηκαν στις θέσεις δειγματοληψίας της περιοχής μελέτης, παραθέτονται στους πίνακες 2 και 3.

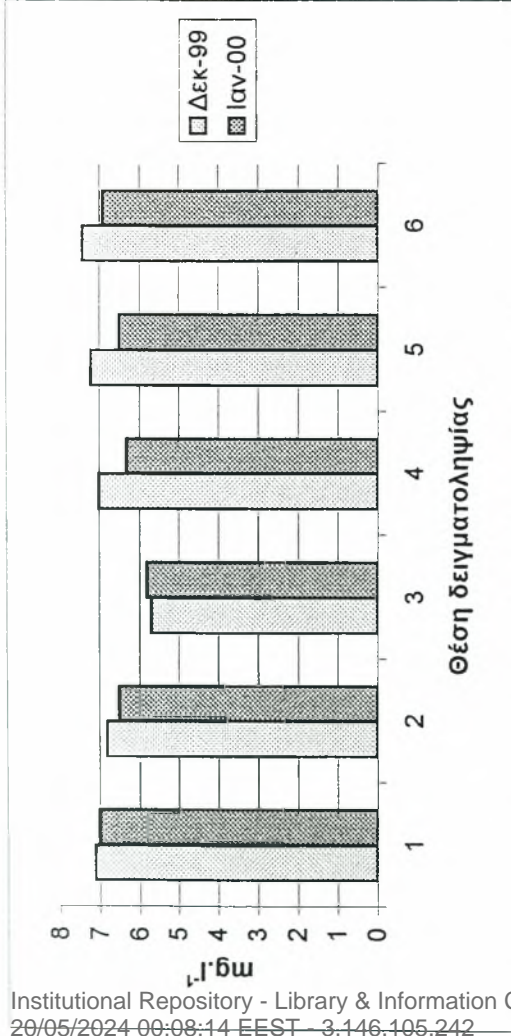
Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 1-16), δίνονται γραφικά η συγκέντρωση και η διακύμανση σε κάθε θέση και για την εποχή της κάθε δειγματοληψίας των τιμών των εξής παραμέτρων: Διαλυμένο οξυγόνο, pH, Αγωγιμότητα, NO₃, NH₄, NO₂, SO₄ και ολικός Φώσφορος.

Πίνακας 2: Φυσικοχημικές παράμετροι που μετρήθηκαν κατά τη δειγματοληψία της 12-12-1999

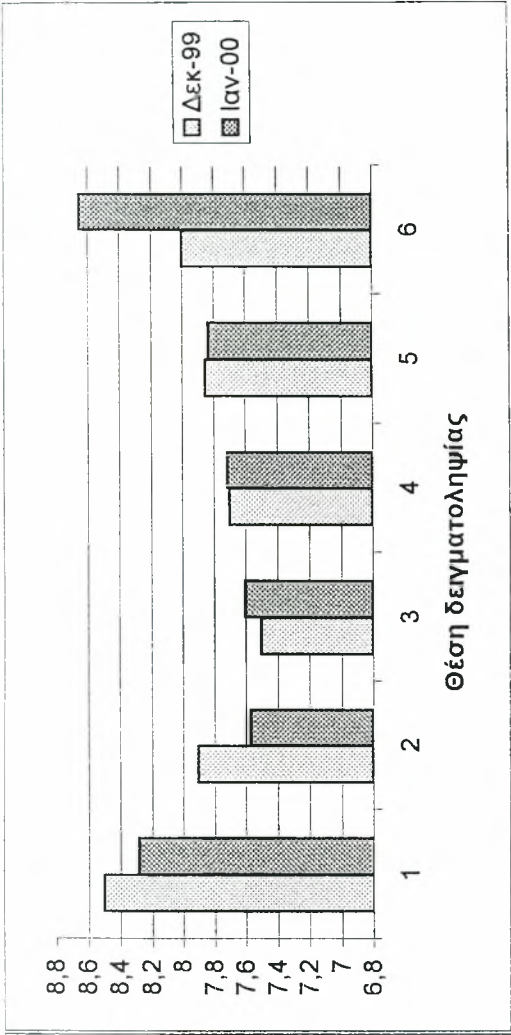
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3	Θέση 4	Θέση 5	Θέση 6
O ₂ mg.l ⁻¹	7.1	6.8	5.7	7	7.2	7.4
pH	8.5	7.9	7.5	7.7	7.85	8
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	875	530	950	925	880	635
NO ₃ mg.l ⁻¹	17.7	5.8	19.8	19.5	16	0.4
NH ₄ mg.l ⁻¹	25	6.4	52	20.25	15.8	0.065
NO ₂ mg.l ⁻¹	0.35	0.1	0.9	1	1.15	0.01
SO ₄ mg.l ⁻¹	195	82	110	160	147	58.9
P ολ mg.l ⁻¹	0.27	1.23	8.7	5.22	5.14	0.017

Πίνακας 3: Φυσικοχημικές παράμετροι που μετρήθηκαν κατά τη δειγματοληψία της 7-1-2000

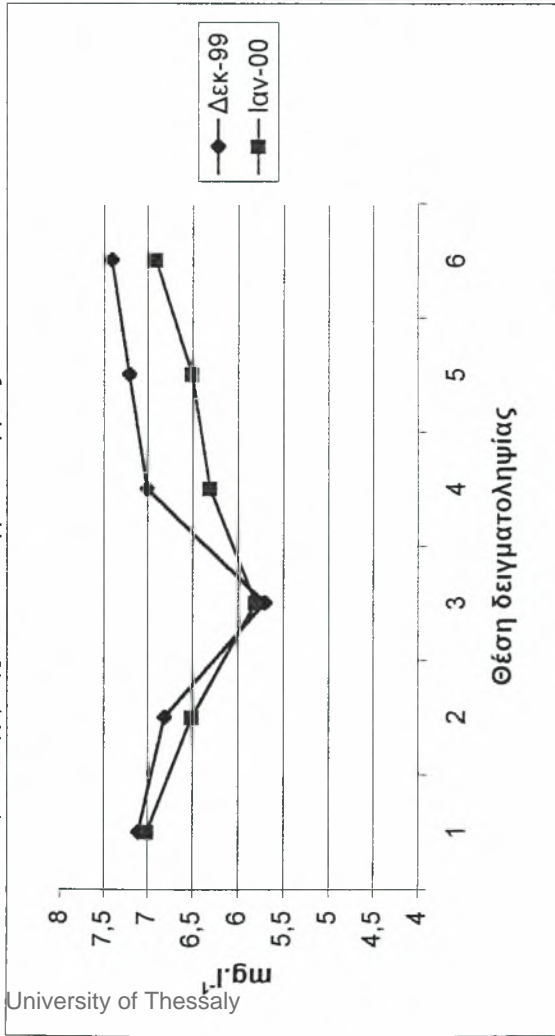
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Θέση 1	Θέση 2	Θέση 3	Θέση 4	Θέση 5	Θέση 6
O ₂ mg.l ⁻¹	7	6.5	5.8	6.3	6.5	6.9
pH	8.28	7.57	7.6	7.71	7.83	8.65
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	850	400	920	935	840	615
NO ₃ mg.l ⁻¹	18.1	17.6	24.2	20.4	23.5	0.6
NH ₄ mg.l ⁻¹	17.9	10.21	41.06	12.5	9.4	0.011
NO ₂ mg.l ⁻¹	0.15	0.2	1	0.5	0.25	0
SO ₄ mg.l ⁻¹	251.5	110.2	124.7	209	176.76	64.7
P ολ mg.l ⁻¹	0.33	1.6	7.9	4.82	4.65	0.02



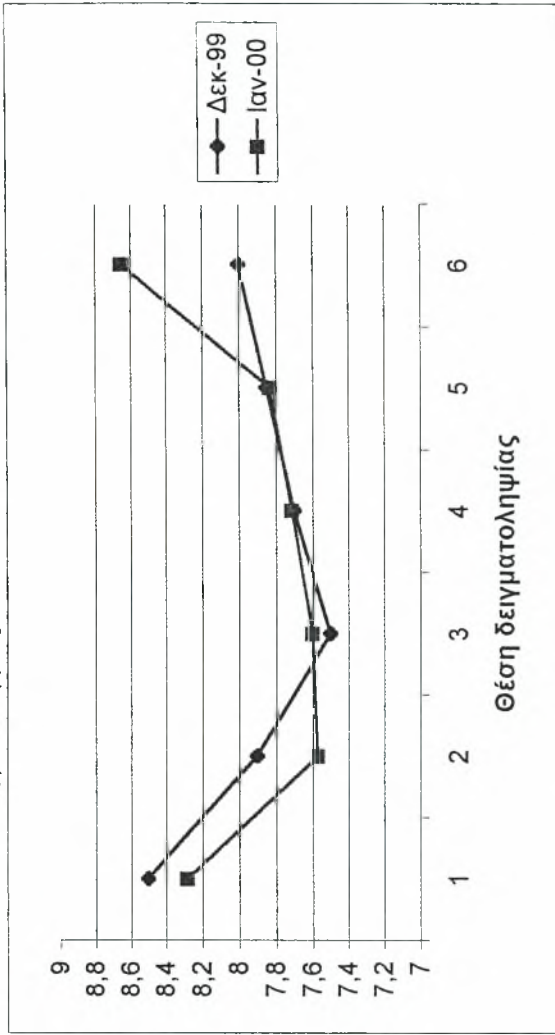
Διάγραμμα 1: Συγκέντρωση O₂ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



Διάγραμμα 3: Τιμές pH στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



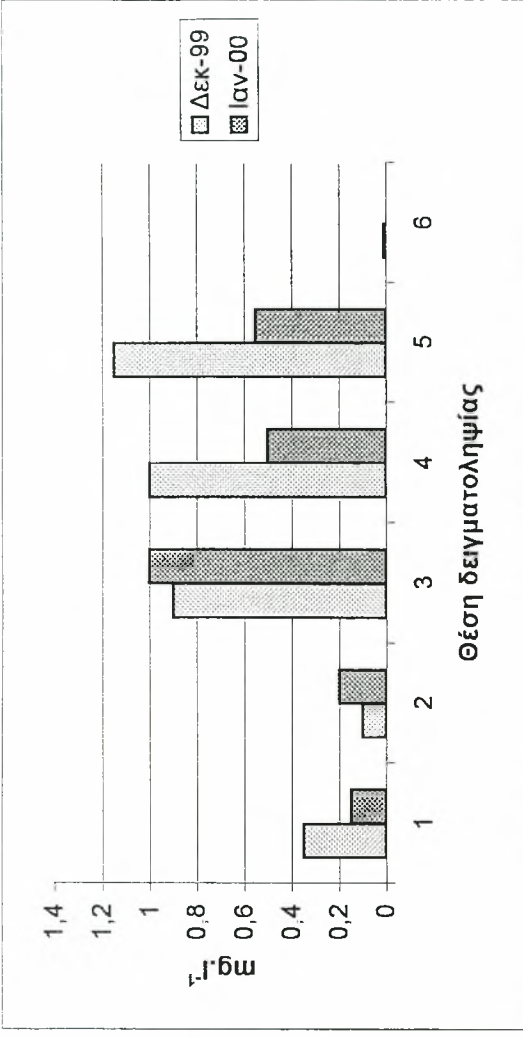
Διάγραμμα 2: Διακύμανση της συγκέντρωσης O₂ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



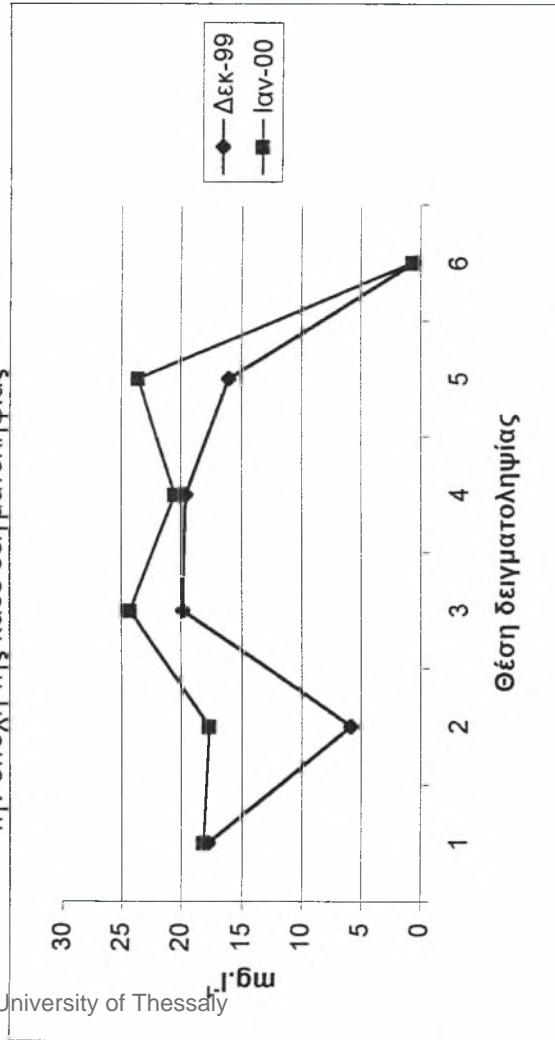
Διάγραμμα 4: Διακύμανση των τιμών pH στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



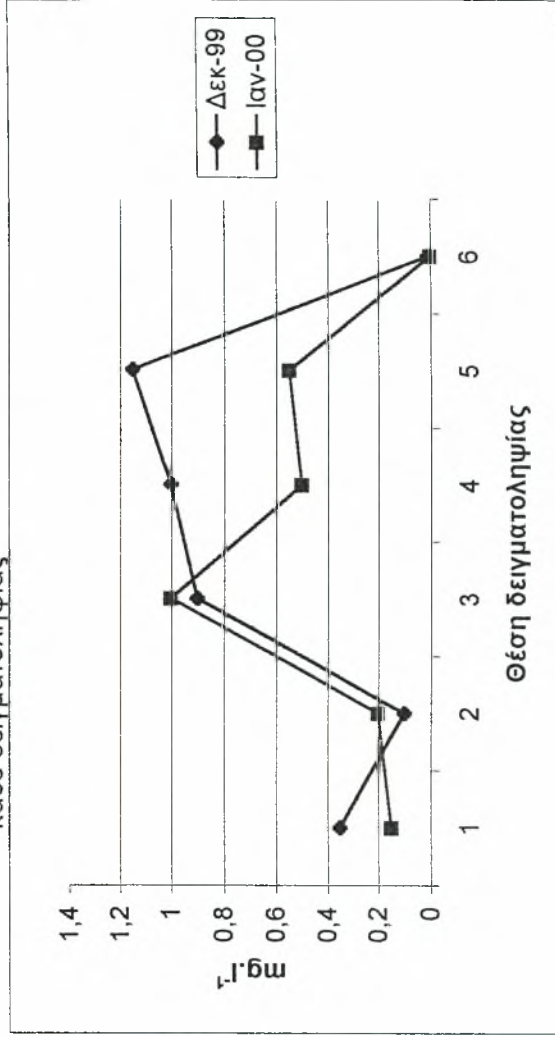
Διάγραμμα 5: Συγκέντρωση NO₃ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



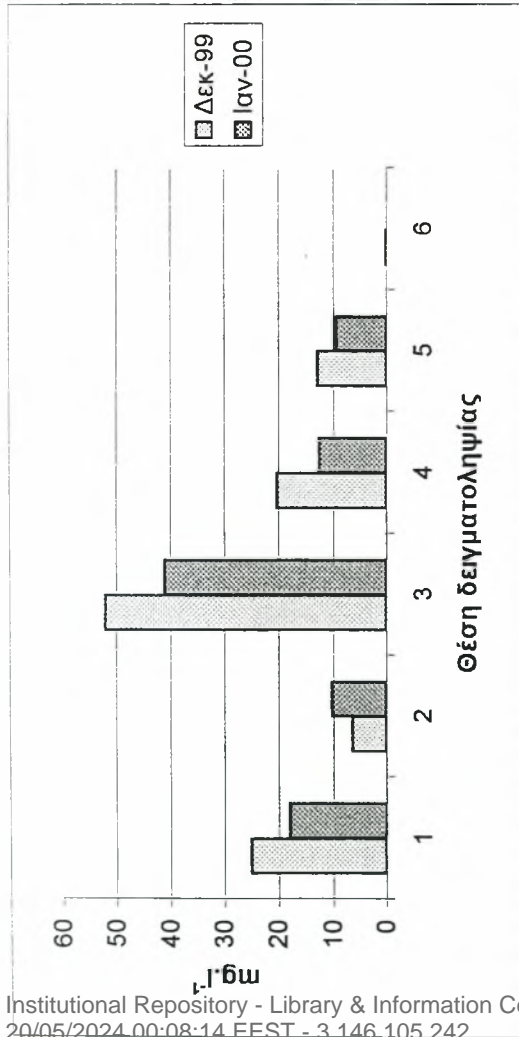
Διάγραμμα 7: Συγκέντρωση NO₂ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



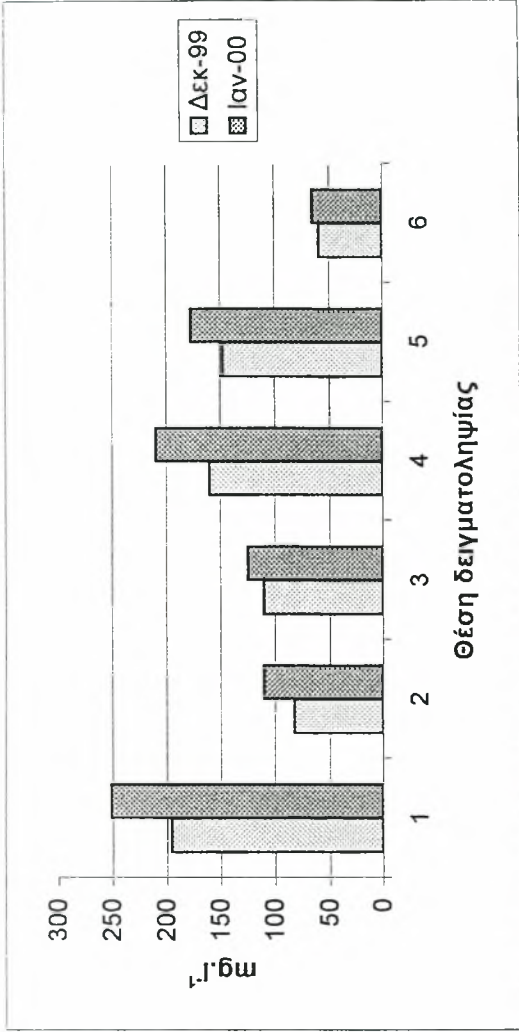
Διάγραμμα 6: Διακύμανση της συγκέντρωσης NO₃ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



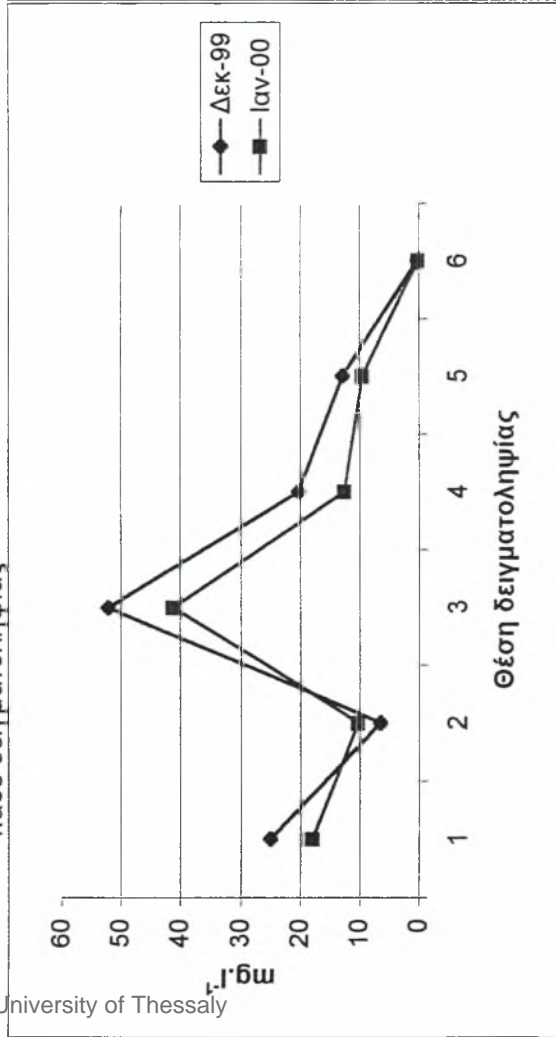
Διάγραμμα 8: Διακύμανση της συγκέντρωσης NO₂ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



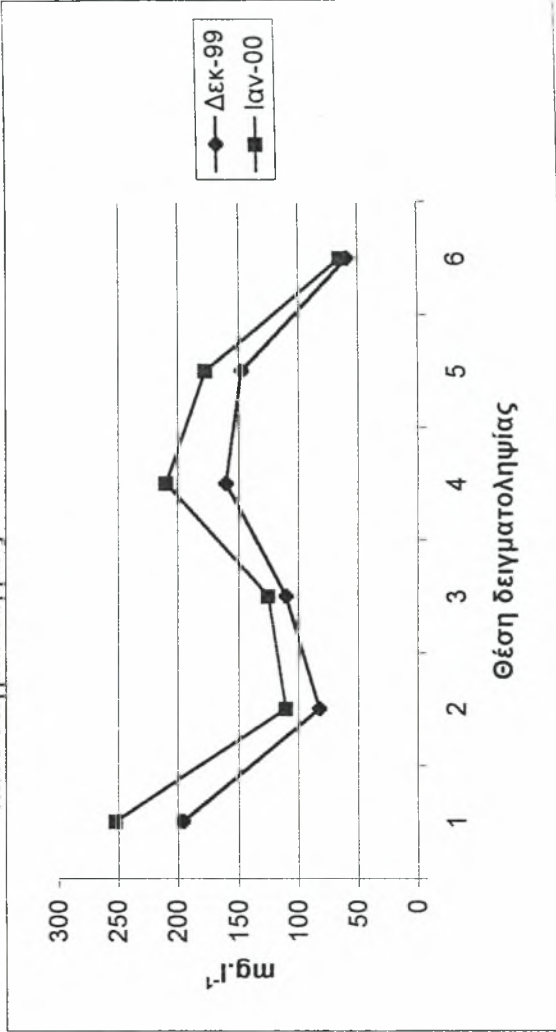
Διάγραμμα 9: Συγκέντρωση NH₄ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



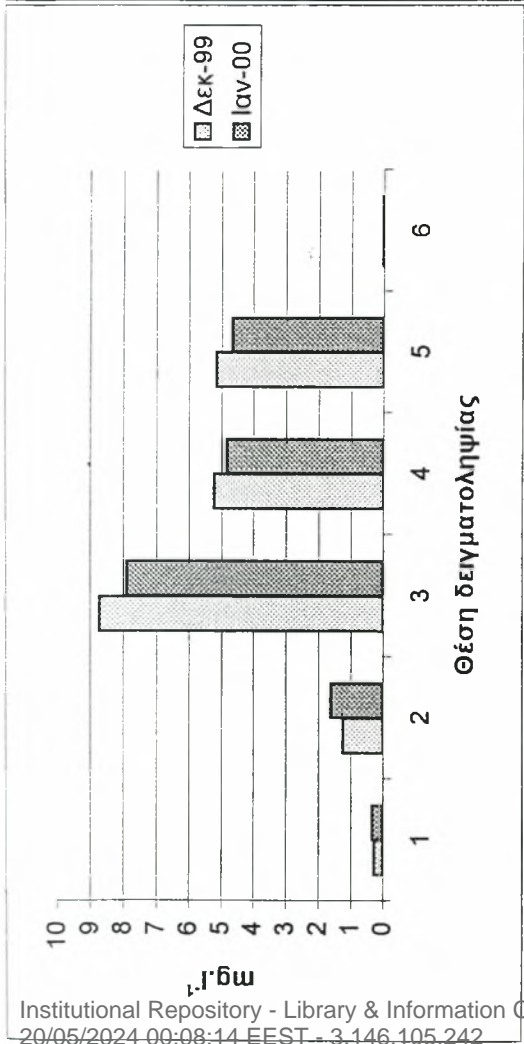
Διάγραμμα 11: Συγκέντρωση SO₄ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



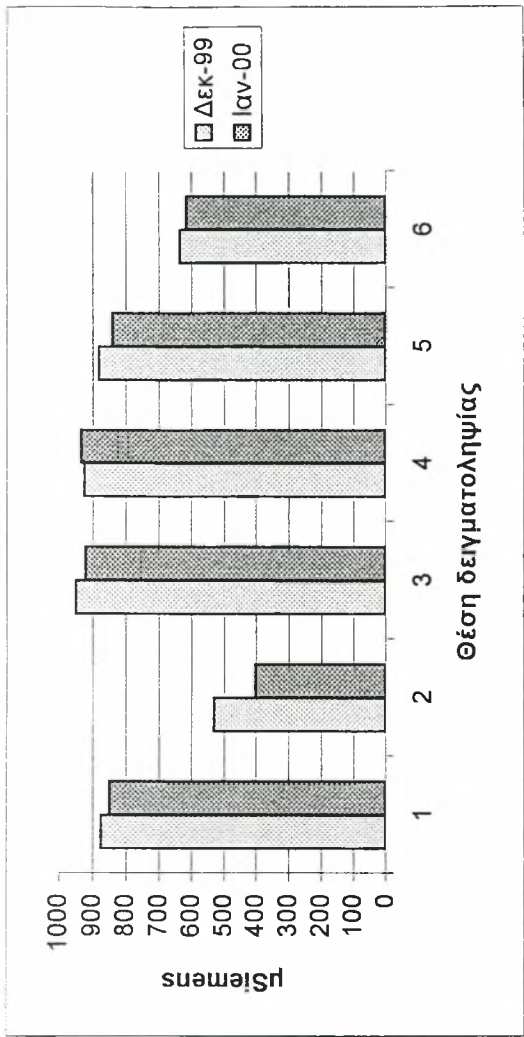
Διάγραμμα 10: Διακύμανση της συγκέντρωσης NH₄ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



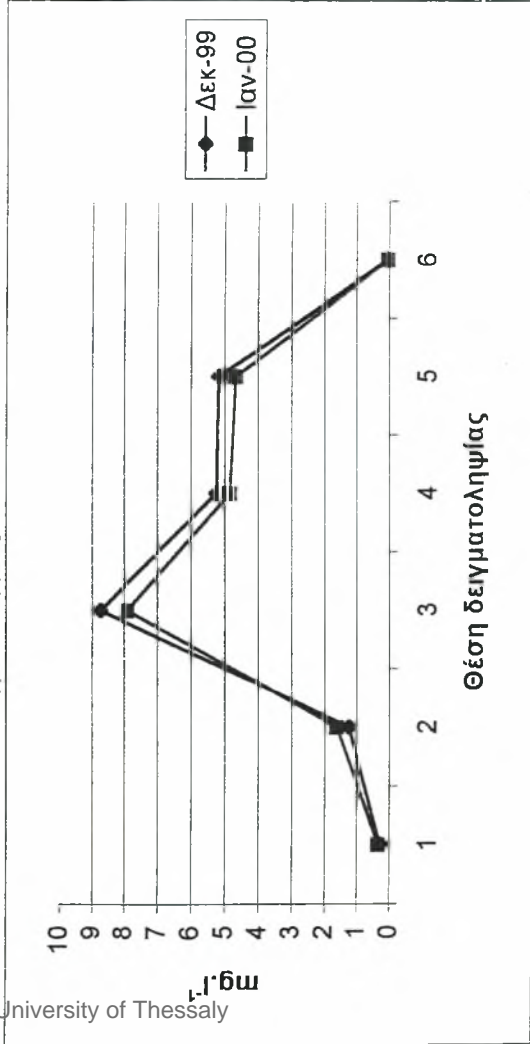
Διάγραμμα 12: Διακύμανση της συγκέντρωσης SO₄ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



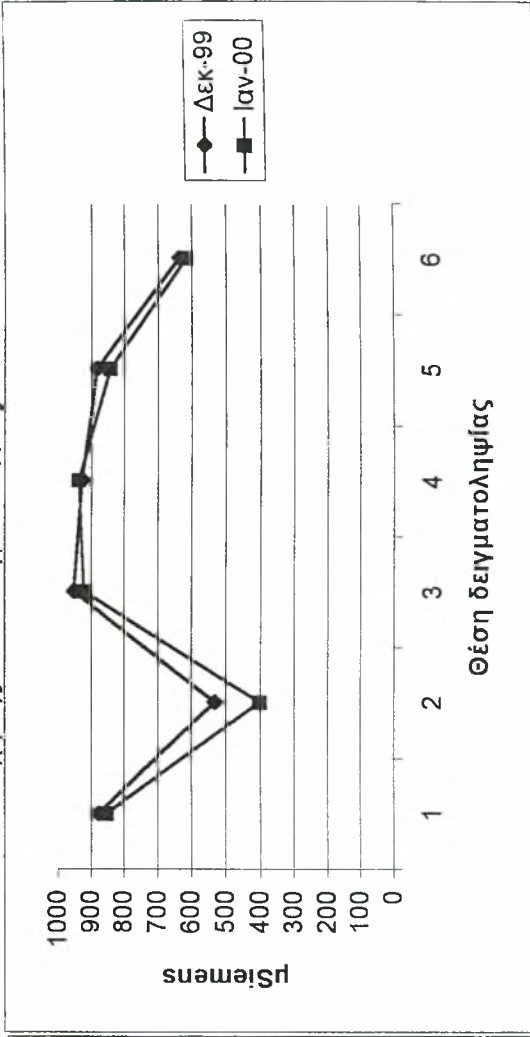
Διάγραμμα 13: Συγκέντρωση Ρολ (mg.l⁻¹) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



Διάγραμμα 15: Τιμές Αγωγιμότητας (μSiemens) στην κάθε θέση, την εποχή της κάθε δειγματοληψίας



Διάγραμμα 14: Διακύμανση της συγκέντρωσης Ρολ (mg.l⁻¹) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας



Διάγραμμα 16: Διακύμανση των τιμών Αγωγιμότητας (μSiemens) στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας

Το O_2 διατηρεί σταθερές τιμές μεταξύ 6,3-7,5 $mg\ l^{-1}$ σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας, πλην της θέσης 3 όπου οι τιμές είναι χαμηλές ($< 6\ mg\ l^{-1}$) και στις δύο δειγματοληψίες.

Το pH παρουσιάζει γενικά σταθερές τιμές μεταξύ 7,5 και 8 σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας εκτός της θέσης 1, όπου έχουμε υψηλότερες τιμές $>8,2$.

Η αγωγιμότητα παρουσιάζει μια σταθερότητα στις θέσεις 1, 3, 4 και 5, λαμβάνοντας τιμές λίγο υψηλότερες από τα 800 $\mu Siemens$ ενώ στις θέσεις 2 και 6 παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές.

Τα NO_2 , NO_3 και NH_4 παρά τις υψηλές τιμές που δέχεται το ρέμα κυρίως από τη θέση N° 3, καταλήγουν στις εκβολές με χαμηλότερες τιμές, ενώ στη λίμνη (θέση 6) οι συγκεντρώσεις τους είναι πολύ χαμηλές.

Ειδικότερα τα NO_3 παρουσιάζουν συνεχώς συγκεντρώσεις μεταξύ 15 και 25 $mg\ l^{-1}$ στις πρώτες 5 θέσεις δειγματοληψίας, ενώ στα NO_2 υψηλές συγκεντρώσεις (20,5 $mg\ l^{-1}$) στις θέσεις 3, 4 και 5 και στη NH_4 συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 25 mg συναντώνται μόνο στη θέση 3.

Σε όλες τις περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στη λίμνη είναι εξαιρετικά χαμηλές ($NO_3 < 0,6\ mg\ l^{-1}$, $NO_2 < 0,01\ mg\ l^{-1}$ και $NH_4 < 0,065\ mg\ l^{-1}$).

Σταθερότητα στις τιμές των SO_4 παρατηρείται στις θέσεις 1 και 3, τιμές που μαζί με τις αντίστοιχες στη θέση 6 είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των θέσεων 1, 4 και 5.

Τέλος το σημείο που φαίνεται να επιβαρύνει με τις μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου το υδατόρεμα, είναι το σημείο 3 το οποίο επηρεάζει και τις μετρήσεις στις θέσεις 4 και 5, χωρίς ωστόσο να μετρηθούν αντίστοιχα υψηλές τιμές στη θέση 6. ($P_{ολ} < 0,02\ mg\ l^{-1}$)

Γενικά οι τιμές των παραμέτρων αυτών μειώνονται προς τα κατάντη, εκτός από το νιτρώδες άζωτο που κατά τη δειγματοληψία του Δεκεμβρίου κυρίως, αλλά και τον Ιανουάριο αυξάνει προς τα κατάντη, σαν αποτέλεσμα της νιτροποίησης της αμμωνίας.

5.2 Αλιευτική Κατάσταση της Λίμνης

Η αλιευτική κατάσταση της λίμνης Βεγορίτιδα από την άποψη των προβλημάτων της ετήσιας αλιευτικής παραγωγής και της σύνθεσης των αλιευομένων ιχθυοπληθυσμών, προέρχεται από πρόσφατα αλιευτικά στοιχεία που μας παραχώρησαν οι αρμόδιες υπηρεσίες των Νομαρχιών και η Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδας. Τα στατιστικά αλιευτικά στοιχεία ίσως δεν αντιπροσωπεύουν την ακριβή εικόνα της αλιευτικής παραγωγής, αλλά πιστεύουμε ότι αποτελούν διαχρονικό μέτρο σύγκρισης της αλιευτικής κατάστασης.

Για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας της λίμνης υπολογίζουμε την έκταση της στα 35000 στρέμματα για τα έτη 1990-1994 και 29000 στρέμματα για τα έτη 1995-1999.

Σύμφωνα με τους Κουσουρή και Φώτη, (1984), οι κύριες χρήσεις της λίμνης κατανέμονται στην άρδευση, την αλιεία και τις απορρίψεις σε ποσοστά 43%, 36% και 20% αντίστοιχα.

Η αλιευτική παραγωγή της λίμνης τις δεκαετίες '70 και '80 κατά μέσο όρο έφτανε τους 65 τόνους, παρουσιάζει μια συνεχή πτωτική τάση και έφτασε σήμερα στα επίπεδα των 5,5 τόνων περίπου.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Αγροτικής Τράπεζας της Ελλάδας, η ετήσια αλιευτική παραγωγή της λίμνης Βεγορίτιδας (σε κιλά), ανά είδος εμπορεύσιμων ψαριών, για τη χρονική περίοδο 1990 έως το 1999, δίνεται στον Πίνακα 4, ενώ η παραγωγικότητα της λίμνης (σε kg.στρέμμα⁻¹) για το ίδιο διάστημα δίνεται στον Πίνακα 5.

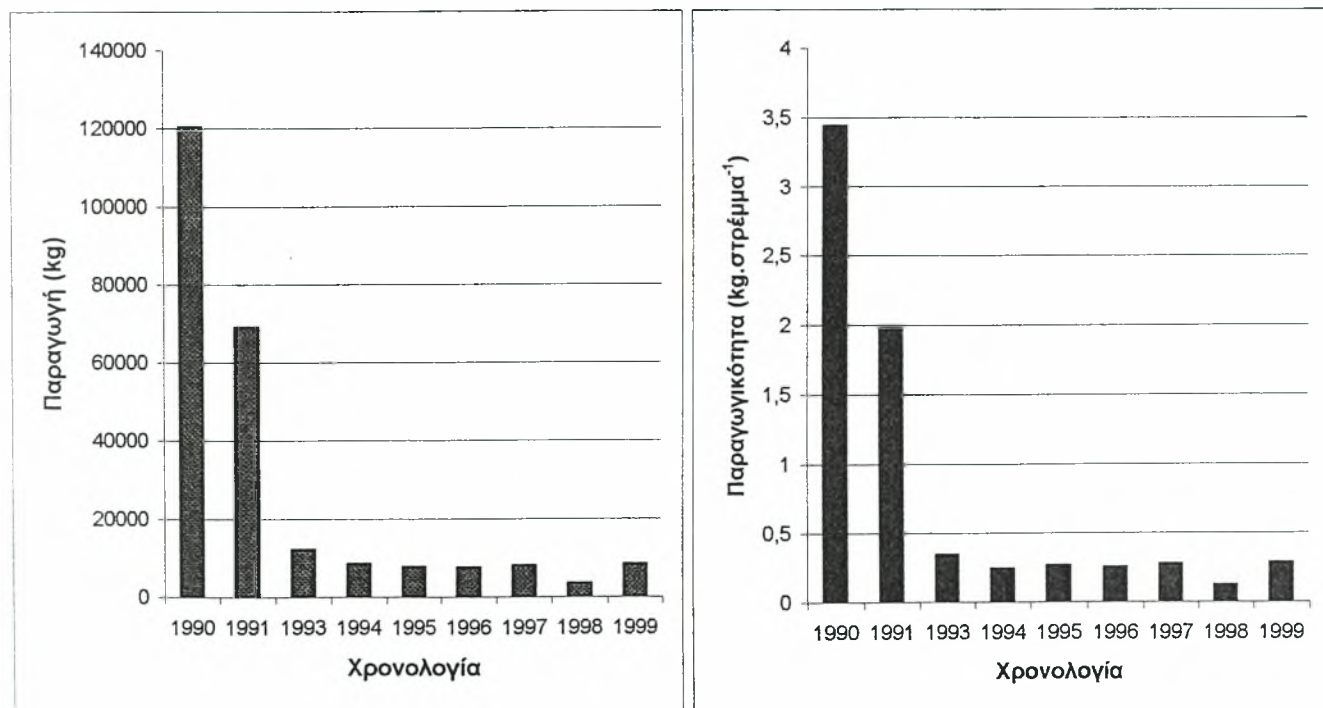
Πίνακας 4: Ετήσια παραγωγή των κυριότερων ειδών ψαριών στη λίμνη Βεγορίτιδα (kg)

ΕΙΔΟΣ	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Γριβάδι	810	704	399	679	3170	2391	2800	1750	5950
Τσοκάνι	5824	4946	3560,5	3271	2938	1968	2500		
Πεταλούδα						600	200	365	
Κορέγονος	5029	1288	93,5		30				
Πλατίκα	7720	8014	7131	3904	1422	2314	2200	1243	1933
Τούρνα	1083	839	175,5				180	60	307
Μυλωνάδες			443	10					
Πέστροφα		5152	6	16					
Γλίφι	76								30
Τσιρώνι	100000	48000	200	625	50				10
Γουλιανός		37	26	11	26	120	100		43
ΣΥΝΟΛΟ	120542	68980	12034,5	8516	7636	7493	7980	3418	8273

Πίνακας 5: Παραγωγικότητα της λίμνης Βεγορίτιδα (kg.στρέμμα⁻¹)

ΕΙΔΟΣ	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Γριβάδι	810	704	399	679	3170	2391	2800	1750	5950
Τσοκάνι	5824	4946	3560,5	3271	2938	1968	2500		
Πεταλούδα						600	200	365	
Κορέγονος	5029	1288	93,5		30				
Πλατίκα	7720	8014	7131	3904	1422	2314	2200	1243	1933
Τούρνα	1083	839	175,5				180	60	307
Μυλωνάδες			443	10					
Πέστροφα		5152	6	16					
Γλίφι	76								30
Τσιρώνι	100000	48000	200	625	50				10
Γουλιανός		37	26	11	26	120	100		43
ΣΥΝΟΛΟ	120542	68980	12034,5	8516	7636	7493	7980	3418	8273
kg.στρέμμα ⁻¹	3,44	1,97	0,34	0,24	0,26	0,25	0,27	0,12	0,28

Σχήμα 6: α) Γραφική απεικόνιση της ετήσιας συνολικής παραγωγής της λίμνης σε Kg

β) Γραφική απεικόνιση της ετήσιας παραγωγικότητας της λίμνης σε Kg.στρέμμα⁻¹

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. Φυσικοχημικές παράμετροι

Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών μετρήσεων συμφωνούν με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που δείχνουν πως το συγκρότημα του θερμοηλεκτρικού σταθμού της ΔΕΗ και το πολεοδομικό συγκρότημα της Πτολεμαΐδας είναι οι κύριες πηγές ρύπανσης των νερών του ρέματος Σουλού.

Το O_2 και στις δύο μετρήσεις σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας, εκτός της θέσης 3, παρουσιάζει συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των $6,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Οι τιμές αυτές είναι ικανοποιητικές αν ληφθεί υπόψη ότι η τιμή των $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ θεωρείται ως το ελάχιστο όριο διαβίωσης των περισσότερων κοινών ποταμίσινων ψαριών, σύμφωνα με τους Alabaster και Lloud, 1980, μονολότι υπάρχουν μελέτες (Beigheim κ.α., 1978) από τις οποίες βγαίνει το συμπέρασμα ότι η ελάχιστη ποσότητα οξυγόνου για την επιβίωση των ψαριών των ποταμών είναι της τάξης των $2-3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Στην περίπτωση των λιμναίων υδάτων, θα μπορούσε να δοθούν οι ίδιες περίπου τιμές (Everett, 1973).

Στη λίμνη Βεγορίτιδα υπάρχουν διάφορα είδη ψαριών, τα οποία είναι προσαρμοσμένα να ζουν σε διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Μεγαλύτερες απαιτήσεις έχουν τα είδη της οικογένειας *Salmonidae*, τα οποία ζουν σε συγκεντρώσεις $7-8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} O_2$, ενώ πολλά κυπρινοειδή (*Cyprinidae*) μπορούν να ζήσουν και σε συγκεντρώσεις κάτω των $3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ενδιάμεσες ποσότητες οξυγόνου ($4-7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) απαιτούν για την ομαλή διαβίωσή τους τα είδη *Rutilus rutilus*, *Leuciscus cephalus*, ενώ το είδος *Carassius carassius* μπορεί να επιβιώσει ακόμη και σε συγκεντρώσεις O_2 μικρότερες των $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι και οι δύο μετρήσεις έγιναν κατά τη διάρκεια του χειμώνα που η συγκέντρωση O_2 στο νερό είναι αυξημένη λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητας του στις χαμηλές θερμοκρασίες του νερού και της μείωσης του ρυθμού κατανάλωσης του από τους υδρόβιους οργανισμούς, αλλά και της μεγαλύτερης ποσότητας νερού στο Σουλού. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες εργασίες εξαιρετικά χαμηλές τιμές διαλυμένου οξυγόνου ($< 2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) καθώς η παροχή του ρέματος μειώνεται αισθητά φτάνοντας ακόμη και στο σημείο να αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από αστικά και βιομηχανικά λύματα.

Οι τιμές του pH κυμάνθηκαν μεταξύ 7,5 και 8,6. Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στις θέσεις δειγματοληψίας N^ο1 και N^ο6, όλες όμως οι τιμές βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια διαβίωσης των Σαλμονειδών και Κυπρινειδών, όπως αυτά ορίστηκαν σύμφωνα με το ΦΕΚ 438/3-8-1986 τεύχος Β, και σύμφωνα με τους Νεοφύτου, 1990 και Παππουτσόγλου, 1985.

Η αγωγιμότητα παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές στις θέσεις 1, 3, 4 και 5. Οι υψηλές τιμές στη θέση 1 οφείλονται στο υψηλό φορτίο αλάτων που αφήνει η καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας, έχουν δε μετρηθεί και αναφέρθηκαν στο παρελθόν (Μουρκίδης κ.α., 1992: Katsanos κ.α., 1987). Επίσης τα λύματα του βιολογικού καθαρισμού παρουσιάζουν υψηλές τιμές αγωγιμότητας. Οι τιμές της θέσης 1 συναντώνται και στις θέσεις 4 και 5 ακολουθώντας την πορεία των λυμάτων που μετρήθηκαν στις θέσεις 1 και 3.

Κύρια πηγή των NH₄ είναι ο βιολογικός σταθμός της Πτολεμαΐδας στη θέση 3 κατά πρώτο λόγο, αλλά και το εργοστάσιο της ΔΕΗ στη θέση 1. Είναι γνωστό ότι η είσοδος στο νερό υψηλών συγκεντρώσεων NH₄ οφείλεται στα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, καθώς και στη γεωργική εκμετάλλευση δια των λιπασμάτων. Τα πιο ευαίσθητα είδη είναι τα Σαλμονειδή και τα πιο ανθεκτικά τα Κυπρινοειδή.

Και στις δύο δειγματοληψίες το όριο διαβίωσης που είναι 1 mg·l⁻¹ έχει ξεπεραστεί κατά πολύ στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του ρέματος Σουλού (θέσεις 1-5), ενώ στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη θέση 6, οι τιμές των NH₄ (0,065 mg·l⁻¹ και 0,01 mg·l⁻¹) βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια εκτροφής Σαλμονειδών και Κυπρινειδών (0,04 mg·l⁻¹ και 0,2 mg·l⁻¹ αντίστοιχα).

Στα NO₂ μετρήθηκαν υψηλές τιμές στις θέσεις 3, 4 και 5. Η σημασία της ουσίας αυτής από άποψη της τοξικότητας είναι αξιόλογη σε περιοχές όπου παρέχονται νερά αστικών λυμάτων ή γεωργικών φαρμάκων. Έτσι εκτός από τον εμπλουτισμό του ρέματος με NO₂ στις θέσεις 3, 4 από την υπάρχουσα πηγή ρύπανσης (αστικά λύματα Πτολεμαΐδας), προστίθεται και η έκπλυση των εδαφών της περιοχής που παρεμβάλλεται μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας 4 και 5, η οποία είναι περίπου 15 Km. Ένας άλλος λόγος για τις υψηλές συγκεντρώσεις NO₂ που μετρήθηκαν, είναι ότι λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν την εποχή των δειγματοληψιών, ο βαθμός βακτηριακής απονιτροποίησης περιορίζεται στο ελάχιστο, και επομένως η

αποδόμηση των αλάτων NO_2 αλλά και NO_3 είναι ανάλογα μικρή (Καμαριανός κ.α., 1992). Σε κάθε περίπτωση όμως οι τιμές των NO_2 που μετρήθηκαν στη λίμνη (θέση 6) είναι μηδενικές.

Όσον αφορά τα NO_3 , η ουσία δεν επιδρά τοξικά στους υδρόβιους οργανισμούς ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Συγκεντρώσεις NO_3 της τάξεως των 400mg l^{-1} δεν προκάλεσαν θνησιμότητα, ούτε και μείωσαν το ρυθμό ανάπτυξης των ψαριών γλυκού νερού *Micropterus salmoides* και *Ictalurus punctatus* (Knepp και Arkin, 1973). Ο Nestin (1974), παρατήρησε ότι τα ιόντα NO_2 είναι κατά 2000 φορές περισσότερο τοξικά σε σχέση με τα ιόντα NO_3 στα ψάρια *Oncorhynchus tshawytscha* και *Salmo gairdneri*. Στην περιοχή έρευνας μετρήθηκαν συγκεντρώσεις μεταξύ 17 και 24 mg l^{-1} στις θέσεις 1-5, ενώ στη θέση 6, οι συγκεντρώσεις, όπως και στα NO_2 , πήραν τιμές κοντά στο μηδέν ($0,4\text{ mg l}^{-1}$ και $0,6\text{ mg l}^{-1}$).

Κύρια πηγή ρύπανσης από SO_4 φαίνεται να είναι το εργοστάσιο της ΔΕΗ στη θέση 1. Στις θέσεις 2 και 3, όπου έχουμε την επίδραση αστικών οικιακών λυμάτων οι τιμές είναι χαμηλότερες, ενώ στις θέσεις 4 και 5 έχουν υψηλότερες τιμές αφού επηρεάζονται από την υψηλή συγκέντρωση των SO_4 στη θέση 1.

Υψηλές συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου παρατηρήθηκαν στη θέση 3 (έξοδος βιολογικού καθαρισμού), αλλά και στις θέσεις 4 και 5. Σύμφωνα με τους Wetrel (1983), Vollenweider (1968) και Goldman and Horne (1983) τα αστικά λύματα εμπλουτίζονται με φώσφορο που κυμαίνεται από 2,5 έως 4 gr/κάτοικο/ημέρα . Στη λίμνη (θέση 6) η συγκέντρωση του φωσφόρου κυμαίνεται κοντά στο 0 αφού έχει προηγηθεί η βύθισή του και ο εγκλωβισμός του στο ίζημα (Διαμαντίδης και Αντωνόπουλος, 1984: Μουρκίδης κ.α., 1995).

Συνοπτικά, παρακολουθώντας τα φορτία των ρύπων όπως μετρήθηκαν στις επιλεγμένες θέσεις δειγματοληψίας, παρατηρείται το εξής:

Η ποιότητα του νερού που μετρήθηκε στη θέση 1 επηρεάζεται κυρίως από το εργοστάσιο της ΔΕΗ. Στη διαπίστωση αυτή οδηγεί η μέτρηση υψηλών τιμών αγωγιμότητας, που οφείλεται στο υψηλό φορτίο αλάτων που αφήνει η καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας (Katsanos κ.α., 1989). Οι υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων, που μετρήθηκαν στην περιοχή σε προηγούμενες εργασίες, δεν επαναλαμβάνονται, εξαιτίας κυρίως της

παύσης λειτουργίας της μονάδας παραγωγής λιπασμάτων ΑΕΒΑΛ. Επίσης, τα εργοστάσια της ΔΕΗ συμβάλλουν στις σχετικά υψηλές τιμές φωσφόρου που παρατηρούνται στην περιοχή δειγματοληψίας, αφού η περιεκτικότητα των λυμάτων τους σε ολικό φώσφορο ανέρχεται σε 300-400 mg l⁻¹ που είναι 10 φορές πιο υψηλές από τις αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών της περιοχής (Μουρκίδης κ.α, 1992).

Στη θέση δειγματοληψίας Ν^ο2 όλες οι μετρήσεις που έγιναν δείχνουν χαμηλότερους ρύπους σε σχέση με τη θέση 1, αφού η μόνη πηγή ρύπανσης είναι τα απόβλητα της κοινότητας Άρδασσας, που διοχετεύονται μέσω του καναλιού στο ρέμα Σουλού.

Η θέση δειγματοληψίας Ν^ο 3 φανερώνει το είδος της ρύπανσης που παρουσιάζουν τα απόβλητα της Πτολεμαΐδας αφού επεξεργαστούν στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης. Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων στοιχείων παρουσιάζουν μία ομοιότητα στις δύο μετρήσεις κάτι που οφείλεται στις πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες που επικρατούν κατά την επεξεργασία των λυμάτων από τον βιολογικό καθαρισμό (Στάμου, 1995).

Στη θέση δειγματοληψίας Ν^ο4 δίνεται μία εικόνα για τα συνολικά φορτία των ρυπαντών που μετρήθηκαν στις θέσεις δειγματοληψίας 1, 2 και 3. Σύμφωνα με τους Μουρκίδης κ.α., (1992) στο ρέμα λαμβάνουν χώρα πολυάριθμες αντιδράσεις στο σημείο εξόδου των αποβλήτων της ΑΕΒΑΛ και ΔΕΗ, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη πτώση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σ' αυτή την εργασία, λείπουν τα υψηλά φορτία αζώτου της ΑΕΒΑΛ, αλλά οι τιμές NH₄ που μετρήθηκαν στη θέση 4 είναι χαμηλότερες αυτών στη θέση 1 και μικρότερες του μισού αυτών της θέσης 3.

Η επόμενη θέση δειγματοληψίας Νο 5 βρίσκεται λίγο πριν την εκβολή του ποταμού στη λίμνη και μας πληροφορεί για την ποιότητα του νερού που εισέρχεται στη λίμνη. Σύμφωνα λοιπόν με τις μετρήσεις αυτές, το νερό που εισέρχεται στη λίμνη είναι ουδέτερο προς το αλκαλικό (pH 7,8) με τιμές αγωγιμότητας στα όρια του πόσιμου νερού (μέσος όρος τιμών 860 μSiemens), αλλά και υψηλές τιμές αμμωνιακού αζώτου. Η μείωση που παρατηρήθηκε στα αμμωνιακά από το σημείο 4 έως το σημείο 5 είναι πιθανό να οφείλεται στην εξάτμισή τους στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγουν και οι μελέτες των Μουρκίδη

κ.α., 1995 και 1992. Το pH βρέθηκε περισσότερο ουδέτερο από ότι είχε υπολογισθεί το 1992 (Μουρκίδης κ.α., 1992) όταν το νερό είχε βρεθεί έντονα αλκαλικό (Μ.Ο pH = 8.5). Παρατηρήθηκαν επίσης υψηλές ποσότητες φωσφόρου, NO_2 και NO_3 .

Εκτός από το οξυγόνο και το pH που αυξάνουν τις τιμές τους στη λίμνη όλες οι άλλες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων εμφανίζονται ιδιαίτερα χαμηλές στη θέση δειγματοληψίας Νο 6, επιβεβαιώνοντας παλαιότερες εργασίες οι οποίες εμφανίζουν τα νερά της λίμνης καθαρά και κατάλληλα για ιχθυοτροφική εκμετάλλευση.

Ως γενική παρατήρηση σημειώνεται ότι το φορτίο στο τέλος του ρέματος Σουλού δεν είναι απλώς το αλγεβρικό άθροισμα όλων των στοιχείων που εισέρχονται στα διάφορα σημεία, διότι λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές, φυσικές και βιοχημικές αντιδράσεις κατά την περίοδο της καθοδικής κινήσεώς του. Αυτές οι αντιδράσεις επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του νερού, καθώς και την όλη εικόνα του φορτίου. Επίσης η καύση του λιγνίτη αυξάνει τη συγκέντρωση των μετάλλων στο νερό της λίμνης (Μουρκίδης κ.α., 1985; Katsanos κ.α., 1987). Η κύρια πηγή ρύπανσης είναι η πόλη της Πτολεμαΐδας με το φορτίο των φωσφορικών της. Η σχετικά υψηλή τιμή του νερού της λίμνης σε νιτρικά που είχαν μετρηθεί το 1992 (Μουρκίδης κ.α., 1992) και είχαν αποδοθεί εν μέρει στα απόνερα της ΑΕΒΑΛ, αλλά και στα αστικά λύματα της Πτολεμαΐδας που πράγματι περιείχαν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, δεν συνεχίζει να υφίσταται σήμερα, αφού λόγω της μη λειτουργίας του εργοστασίου λιπασμάτων, αλλά κυρίως λόγω της λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού, το νερό της λίμνης είναι απαλλαγμένο από νιτρικά (μέγιστη συγκέντρωση $0,6 \text{ mg.l}^{-1}$, μέσος όρος τιμών $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$).

6.2. Αλιευτική κατάσταση τα λίμνης

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες αναφορές, η λίμνη Βεγορίτιδα είναι μια ολιγοτροφική λίμνη η οποία τα τελευταία χρόνια τείνει να γίνει μεσοτροφική λόγω των εισροών που δέχεται σε αστικά λύματα και της γεωργικής δραστηριότητας που παρατηρείται στη λεκάνη απορροής της (Αντωνόπουλος κ.α., 1996: Μουρκίδης, 1992) Vollenweider and Kevekes, 1980

Παρόλο που η πρωτογενής παραγωγικότητα της λίμνης παρουσιάζει σχετικά αυξημένα τα τελευταία χρόνια, συνέπεια των θρεπτικών στοιχείων που εισρέουν στη λίμνη (Μουρκίδης, 1992: Τσέκος κ.α., 1988) η αλιευτική παραγωγικότητα μειώνεται συνεχώς. Η ιχθυοπανίδα της λίμνης περιλαμβάνει τα παρακάτω είδη:

Πίνακας 17: Ιχθυοπανίδα της Βεγορίτιδας

<i>α/α</i>	<i>Επιστημονικό όνομα</i>	<i>Κοινό όνομα</i>
1	<i>Rutilus rutilus</i>	Τσιρώνι, πλατίκα
2	<i>Leuciscus cephalus</i>	Ποταμοκέφαλος
3	<i>Tinca tinca</i>	Γλήνι
4	<i>Barbus sp.</i>	Μπριάνα
5	<i>Cyprinus caprio</i>	Γριβάδι, γκοτζάρι
6*	<i>Coregonus lavaretus</i>	Κορέγονος
7*	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Πέστροφα
8	<i>Silurus glanis</i>	Γουλιανός
9	<i>Esox lucius</i>	Τούρνα
* Εισαγωγής		

Τα παραπάνω είδη βρέθηκαν είτε στη λίμνη είτε στα ποτάμια που χύνονται σ' αυτή (*Leuciscus cephalus* και *Barbus sp.*).

Στη βιβλιογραφία (Παναγιωτόπουλος, 1916, Athanassopoulos, 1917, Στεφανίδης, 1950) αναφέρεται η παρουσία στη λίμνη του είδους *Rhodeus sericus amarus* (βαβούκι) καθώς επίσης και του είδους *Gobio gobio* (γωβιός) (Αθανασόπουλος, 1917, Στεφανίδης, 1950). Όμως και τα δύο είδη - που δεν

παρουσιάζουν αλιευτικό ενδιαφέρον – δεν βρέθηκαν στη λίμνη και το σύστημα της και θεωρείται αμφίβολη η παρουσία τους. Ιδιαίτερα το *Rhodeus sericus amagus* απαιτεί για την αναπαραγωγή του την παρουσία στο σύστημα μεγάλων δίθυρων μαλακίων όπως είναι τα γένη *Anodonta* και *Unio*. Τα τελευταία αυτά λείπουν από τη Βεγορίτιδα και συνεπώς είναι αδύνατο και να υπήρξε ποτέ, για τον απλούστατο λόγο ότι ήταν αδύνατη η αναπαραγωγή του (απόθεση των αυγών από τα θηλυκά άτομα με ωοαποθετήρα στην μανδουακή κοιλότητα των διθύρων).

Από την άποψη του αριθμού αλλά και την οικολογική εξειδίκευση των ειδών, φαίνεται ότι η ιχθυοπανίδα δεν είναι η ενδεδειγμένη. Πρώτον γιατί το οικοσύστημα θα μπορούσε να έχει περισσότερα είδη αν ληφθεί υπόψη ότι η λίμνη Βόλβη, με παραπλήσιο μέγεθος έχει 22 είδη ψαριών. Δεύτερο διότι πιθανόν να υπάρχουν κενοί τροφικοί ορίζοντες που μένουν παραγωγικά ανεκμετάλλευτοι. Είναι ευτύχημα πάντως ότι η εισαγωγή του κερέγονου όχι μόνο δεν προκάλεσε διαταραχή, αλλά αντίθετα τον είδος ευδοκίμησε επειδή βρήκε κατάλληλες οικολογικές συνθήκες. Η αιτία για το μικρό αριθμό των ειδών ψαριών πρέπει να αναζητηθεί στις γεωμορφολογικές συνθήκες και στη ιστορία σχηματισμού της λίμνης καθώς και στις τροφικές της δυνατότητες (Τσέκος κ.α., 1988). Έτσι, σύμφωνα με τον Κουσουρή (1984) ή μέση αλιευτική παραγωγή κατά το διάστημα 1968- 1983 ήταν 65.183 Kg και παίρνοντας μια μέση έκταση της λίμνης τα 56.000 στρέμματα, προκύπτει μέση παραγωγικότητα 0,86 Kg.στρέμμα⁻¹. Αναλυτικότερα, η μέση ετήσια ποσότητα ψαριών που αλιεύθηκαν στη δεκαετία 1961-1970, έφτανε τους 150 τόνους με μέση παραγωγικότητα 2 Kg.στρέμμα⁻¹, ενώ τη δεκαετία 1971- 1980 η μέση παραγωγή μειώθηκε στους 68 τόνους με μέση παραγωγικότητα τα 0,94Kg.στρέμμα⁻¹ (Φώτης κ.α., 1986). Υπήρξε δηλαδή μείωση κατά 45% κάτι που σύμφωνα με τον Κουτσουμπίδη (1989) οφείλεται στη μεταβολή της ποιότητας του νερού.

Κατά τη δεκαετία του '90 σημειώθηκε μία κατακόρυφη πτώση της αλιευτικής παραγωγής, η οποία ξεκινώντας από τους 120 τόνους το 1990 φτάνει το 1999 να είναι μικρότερη των 8,5 τόνων.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των στατιστικών αλιευτικών στοιχείων της τελευταίας δεκαετίας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα αλιευτικά στοιχεία ίσως δεν αντιπροσωπεύουν την ακριβή εικόνα της αλιευτικής

παραγωγής, αλλά αποτελούν μέτρο σύγκρισης της αλιευτικής κατάστασης διαχρονικά και κατά είδος. Επίσης καλό θα ήταν να γίνει αναφορά στους εμπλουτισμούς που έλαβαν χώρα στη λίμνη για την τόνωση των ιχθυοαποθεμάτων κορέγονου, κυπρίνου και πέστροφας.

Πίνακας 6: Οι εμπλουτισμοί που έγιναν στη λίμνη Βεγορίτιδα μετά το έτος 1980 (πηγή: Ιχθυογεννητικός σταθμός Έδεσσας).

Έτος	Μέγεθος εμπλουτισμού			
1981	50.000 άτομα κορέγονου (0,1 gr. άτομο ⁻¹)			
1983	650.000	-//-	-//-	-//-
1984	600.000	-//-	-//-	-//-
Ιανουάρ. 1984	5 τόνοι (δηλαδή 62.500 – 83.500) άτομα κυπρίνου			
1986	650.000 άτομα κορέγονου (0,1 gr. άτομο ⁻¹)			
1987	800.000	-//-	-//-	-//-
1988	310.000	-//-	-//-	-//-
1989	20.000	-//-	πέστροφας (0,5 gr. άτομο ⁻¹)	
1990	35.000	-//-	-//-	-//-
1992	30.000	-//-	-//-	-//-
1993	20.000	-//-	-//-	-//-
1994	20.000	-//-	-//-	-//-
1996	25.000	-//-	-//-	-//-
1999	40.000	-//-	-//-	-//-

Παρατηρώντας τον Πίνακα 4, όπου φαίνεται η ετήσια παραγωγή των κυριότερων ειδών ψαριών στη λίμνη, είναι εμφανέστατη η μείωση της αλιευτικής παραγωγής χρόνο με το χρόνο, αλλά η μείωση αυτή δεν είναι η ίδια για όλα τα ψάρια.

Το γριβάδι παρουσιάζει αύξηση στις αλιευόμενες ποσότητες.

Το τσοκάνι και η πλατίκα έχουν μία μείωση που κυμαίνεται από 55 έως 70%.

Ο κορέγονος, η τούρνα και η πέστροφα έχουν εξαφανιστεί, παρότι υπήρχε σημαντική παραγωγή τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 90.

Τέλος, ο γουλιανός και η πεταλούδα, σημείωσαν μια μικρή αύξηση με μικρούς όμως πληθυσμούς.

Συγκρίνοντας τα αλιευτικά στοιχεία με το πρόγραμμα εμπλουτισμού της λίμνης φαίνεται ότι το 1990, δύο χρόνια μετά τον τελευταίο εμπλουτισμό που έγινε με γόνο κορέγονου, έχουμε την τελευταία σημαντική αλιευτική παραγωγή σε κορέγονο. Το 1991 η παραγωγή μειώθηκε στο 25% της προηγούμενης χρονιάς και μετά μηδενίστηκε. Αιτία του γεγονότος αυτού είναι το ότι ο κορέγονος δεν αναπαράγεται ικανοποιητικά στις φυσικές συνθήκες της λίμνης (Φώτης κ.α. 1984). Επίσης, το γεγονός ότι οι ψαράδες εκμεταλλεόμενοι την πτώση της στάθμης καθώς και το ότι ο κορέγονος ζει σε βάθος μέχρι 6-8 m, λόγω της ύπαρξης του θερμοκλινούς της λίμνης, κατάφεραν να αλιεύσουν σχεδόν όλο τον πληθυσμό του.

Για την πέστροφα, ενώ υπάρχουν συνεχείς εμπλουτισμοί καθόλη τη διάρκεια της δεκαετίας, εντούτοις σημαντική αλιευτική παραγωγή υπάρχει μόνο το 1991. Για το φαινόμενο αυτό δεν υπάρχει κάποιος προφανής λόγος και η πιο πιθανή εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι η ελλιπής καταγραφή της αλιευτικής παραγωγής για την περίοδο μετά το 1992.

Το γριβάδι έχει μια σταθερά αυξανόμενη παραγωγή παρότι ο τελευταίος εμπλουτισμός του είδους αυτού έλαβε χώρα το 1984. Η συνεχής παρουσία του γριβαδιού (όπως και της πεταλούδας), οφείλεται στις πολύ μικρές απαιτήσεις που έχουν τα παραπάνω είδη σε οξυγόνο (μπορούν να ζήσουν σε συγκεντρώσεις κάτω των 3 mg.l⁻¹, ενώ επιβιώνουν ακόμη και σε συγκεντρώσεις 0,5 mg.l⁻¹)(Νεοφύτου 1990). Επίσης τα προαναφερόμενα είδη είναι από τα πιο ανθεκτικά ψάρια στις χαμηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας.

6.3. Πτώση της στάθμης της λίμνης – Υποβάθμιση

Η μη ορθολογική υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων τα τελευταία 40 χρόνια για βιομηχανικούς, ενεργειακούς και γεωργικούς σκοπούς καθώς επίσης και οι σημαντικές φυσικές διαρροές μέσω καταβοθρών οδήγησαν στη σημαντική μείωση των υδάτινων αποθεμάτων, η οποία εκφράζεται με τη μείωση της στάθμης της λίμνης κατά 40 m περίπου και τον υποδιπλασιασμό του όγκου της από $2 \times 10^9 \text{ m}^3$ σε $0,8 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Οι κύριες αιτίες πτώσης της στάθμης της λίμνης αλλά και του καρστικού υδροφορέα προέρχονται από:

- i. Αντλήσεις της ΔΕΗ για τους ΑΗΣ και ΥΗΣ Άγρα.
- ii. Αντλήσεις ΑΕΒΑΛ.
- iii. Αρδεύσεις στη γεωργία.
- iv. Διαρροές από φυσικές καταβόθρες.
- v. Ανομβρία τελευταίων ετών.
- vi. Απώλειες λόγω εξάτμισης.

Σύμφωνα με πολυετείς υδρομετρήσεις, διαπιστώθηκε ότι στη λίμνη κατά μέσο όρο εισρέουν $48 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού το χρόνο από τα ρέματα που καταλήγουν στη λίμνη (επιφανειακή απορροή) (Ρέμα Σουλού $47 \times 10^6 \text{ m}^3$, ρέμα Παναγίτσας $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ και ρέμα Ζέρβης $0,2 \times 10^6 \text{ m}^3$) και $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ απευθείας από τα ετήσια κατακρηνίσματα. (Τεστεμπάσης, 1997)

Για τις μονάδες της ΔΕΗ, ΑΗΣ–Πτολεμαΐδας και ΑΗΣ–Αμύνταιου, αντλούνται σημαντικές ποσότητες νερού απευθείας από τη λίμνη και οι υπόλοιπες ανάγκες καλύπτονται από υδρογεωτρήσεις του υδροφορέα που επικοινωνεί με τη λίμνη και συνεπώς επιβαρύνεται το συνολικό υδρολογικό ισοζύγιο της υδρογεωλογικής λεκάνης της λίμνης (συνολικά περίπου $50 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{έτος}^{-1}$).

Τα επιστρεφόμενα νερά από τους σταθμούς της ΔΕΗ καθώς και τα νερά των γεωτρήσεων που διανοίγονται στα μέτωπα εξόρυξης λιγνίτη διοχετεύονται στο ρέμα Σουλού και υπολογίζονται σε $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{έτος}^{-1}$. Λόγω όμως των αρδεύσεων κατά μήκος του ρέματος και άλλων αιτιών φτάνουν στη λίμνη - ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες – αμελητέες ποσότητες νερού.

Για τις αρδευτικές χρήσεις στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης υπάρχουν στατιστικά στοιχεία της τριετίας 1991 – 1993 όπου το

σύνολο των αρδευόμενων εκτάσεων ανέρχεται σε 128.000 στρέμματα, όπου προσθέτοντας τα 3.500 περίπου στρέμματα που αποκαλύφθηκαν λόγω της πτώσης της στάθμης της τα τελευταία χρόνια, προκύπτουν 131.500 στρέμματα καλλιεργούμενης αρδευόμενης έκτασης. Η προσεγγιστική κατανάλωση νερού για την άρδευση της παραπάνω περιοχής με μέση ετήσια κατανάλωση νερού $500 \text{ m}^3 \cdot \text{στρέμμα}^{-1}$ για κάθε αρδευτική περίοδο, αντιστοιχεί σε κατανάλωση $65,75 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{έτος}^{-1}$.

Στην περιοχή σύμφωνα με εκτιμήσεις της ΥΕΒ Ν. Πέλλας λειτουργούν περισσότερες από 150 γεωτρήσεις, οι οποίες υπολογίζεται ότι αντλούν $100 \times 10^6 \cdot \text{m}^3$ νερού κάθε χρόνο.

Εκτός των παραπάνω ανθρωπογενών αιτιών, υπάρχουν και οι φυσικές αιτίες διαφυγής νερού από τη λίμνη, οι καταβόθρες. Από τις καταβόθρες που υπάρχουν στον πυθμένα της λίμνης εκτιμάται ότι διαφεύγουν πάνω από $50 \times 10^6 \cdot \text{m}^3 \cdot \text{έτος}^{-1}$ που τροφοδοτούν την υδρολογική λεκάνη Νησίου (καταρράκτες Εδέσσης).

Οι παραπάνω λόγοι συνεπικουρούμενοι και από τη συνεχή μείωση των βροχοπτώσεων στην περιοχή (ο μέσος όρος των βροχοπτώσεων βρισκόταν κάτω του μέσου όρου κατά τα έτη 1980 – 1994 με τιμή 380 mm βροχής) (πηγή μετεωρολογικός σταθμός Αμύνταιου), συνέβαλλαν στην επιδείνωση της κατάστασης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Βεγορίτιδα και γενικότερα η υδρογεωλογική της λεκάνη αποτελεί ένα κλασικό παράδειγμα και θύμα ανορθολογικής διαχείρισης με αυτουργούς τη βιομηχανία (κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού, επικίνδυνα απόβλητα), τη τοπική αυτοδιοίκηση (αστικά λύματα και απορρίμματα), την αγροτική εκμετάλλευση (κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού μέσω γεωτρήσεων και απευθείας αντλήσεων, αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων), καθώς και την πολιτεία η οποία δεν έχει παρέμβει μέχρι στιγμής δραστικά σε κάποιο από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η λίμνη.

Τα κυριότερα προβλήματα που εντοπίζονται στη λίμνη είναι τα εξής:

α) Ρύπανση

β) Πτώση της στάθμης της και επεκτάσεις χωραφιών από ιδιώτες σε αποκαλυφθείσες από την πτώση της στάθμης περιοχές.

γ) Σημαντική μείωση της ιχθυοπαραγωγής, καθώς και μεταβολές στη σχέση των ιχθυοπληθυσμών.

Γενικά υπάρχει μια συνεχής ποιοτική υποβάθμιση της λίμνης στην οποία συντελούν:

i. Η υπέρμετρη πτώση της στάθμης που αυξάνει τις παραμέτρους της ρύπανσης και συμβάλλει στη μείωση της πανίδας και στον συνεχώς αυξανόμενο ευτροφισμό της.

ii. Η αντιστροφή των υδρολογικών συνθηκών (τροφοδοσία υδροφορέα από τη λίμνη σε αντίθεση με τη διαδικασία τροφοδοσίας της λίμνης από τον υδροφορέα). Η εισροή μεγάλων ποσοτήτων καθαρού νερού από τον υπόγειο υδροφορέα προς τη λίμνη βοηθούσε στον αυτοκαθαρισμό της και την άριστη ποιοτική κατάσταση των νερών της, παρά το σημαντικό ρυπαντικό φορτίο που δεχόταν. Η μεγάλη όμως πτώση του υπόγειου υδροφορέα έχει σαν αποτέλεσμα η λίμνη, της οποίας η επιφάνεια βρίσκεται πλέον σε μεγαλύτερο υψόμετρο από την πιεζομετρική επιφάνεια του υδροφορέα, να εκφορτίζει τα νερά της προς τον καρστικό υδροφορέα χωρίς δυνατότητες παράλληλης εισροής καθαρών νερών προς αυτή. Η κύρια πηγή ρύπανσης της λίμνης είναι το Ρέμα Σουλού και συγκεκριμένα:

- Η Δ.Ε.Η που τροφοδοτεί το ρέμα αυτό και κατά συνέπεια τη λίμνη με υγρά απόβλητα, μη επεξεργασμένα ψυκτικά νερά και αιωρούμενα σωματίδια.
- Η ΑΕΒΑΛ, η οποία μέχρι το 1997 οπότε και σταμάτησε τη λειτουργία της, τροφοδοτούσε το ρέμα με υγρά απόβλητα όπου παρατηρούνταν υψηλές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων πάσης μορφής.
- Ο Δήμος Πτολεμαΐδας με την έναρξη λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού τον Αύγουστο του 1994 ελάττωσε δραστικά τη ρύπανση του ρέματος από τα αστικά απόβλητα, με εξαίρεση τις φωσφορικές ενώσεις, οι οποίες σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν στη θέση δειγματοληψίας Νο 3 εμφάνισαν σχετικά υψηλές τιμές (μέσος όρος τιμών $7,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
- Μια άλλη πηγή ρύπανσης του ρέματος είναι οι εκπλύσεις των γεωργικών εκτάσεων (νερά επιφανειακής απορροής από βροχοπτώσεις και υπερβολικές αρδεύσεις που μεταφέρουν ποσότητες λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων) λόγω της αλόγιστης χρήσης των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Συνέπεια της μεγάλης πτώσης της λίμνης είναι η σταδιακή αποκάλυψη μεγάλων χερσαίων εκτάσεων με εύφορο έδαφος. Στις εκτάσεις αυτές αναπτύχθηκε έντονη γεωργική δραστηριότητα, που με τη σειρά της απαιτούσε ολοένα και αυξανόμενες ποσότητες νερού, ενώ ταυτόχρονα οδηγεί μαζί με τα αστικά και τα βιομηχανικά απόβλητα στην καταστροφή της πανίδας και την τάση ανάπτυξης της ευτροφικής κατάστασης της λίμνης.

Υπάρχει μείωση της ιχθυοπαραγωγής και ελάττωση έως εξαφάνιση των ειδών (μείωση του κορέγονου, εξαφάνιση караβίδας – οργανισμοί καθαρών νερών). Η κατάσταση αυτή οφείλεται στην υποβάθμιση της ποιότητας των νερών που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της λίμνης (εκβολή ρέματος Σουλού) καθώς και την καταστροφή των αβαθών τμημάτων που αναπαράγονται τα είδη αυτά λόγω πτώσης της στάθμης.

Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας μείωσης των ιχθυοπληθυσμών – ο σημαντικότερος μετά την πτώση της στάθμης – είναι η λαθραλιεία και η υπεραλίευση. Ο εξοπλισμός των ψαράδων με σύγχρονα εργαλεία (πλαστικά δίχτυα), καθώς και η αλίευση σε απαγορευμένες περιοχές

και εποχές, οδήγησε ουσιαστικά στον αφανισμό των ιχθυοαποθεμάτων της λίμνης. Επίσης στην αυξημένη συγκέντρωση αμμωνίας που εμφανίζεται εποχιακά στην εκβολή του ρέματος Σουλού στη λίμνη, έχουν αποδοθεί περιστασιακοί θάνατοι ψαριών (Φώτης κ.α., 1984). Η εμφάνιση αμμωνίας και το υψηλό pH που παρατηρούνται ορισμένες φορές στα αβαθή νερά στο νότιο μέρος της λίμνης, δημιουργούν τοξικές συνθήκες για τα αυγά και τα νεοεκκολαπτόμενα ιχθύδια όλων των ειδών, κυρίως όμως του κορέγονου.

Μελετώντας τις διάφορες εργασίες που έγιναν για τη λίμνη Βεγορίτιδα την τελευταία δεκαετία και συγκρίνοντας με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο των μετρήσεων μας παρατηρούμε τα εξής:

- Η δημιουργία μικροπεριβάλλοντος στο αβαθές τμήμα Αγ. Παντελεήμονα – Βεγόρα με φωσφορικές ενώσεις και άζωτο δεν επηρεάζει την φυσικοχημική κατάσταση του κύριου όγκου της λίμνης.
- Στον κύριο όγκο της λίμνης (σε όλες τις μελέτες) δεν αναφέρονται σημαντικές συγκεντρώσεις αμμωνιακών και φωσφορικών ενώσεων, γεγονός που συμφωνεί και με τις μετρήσεις της παρούσης εργασίας στη θέση δειγματοληψίας Νο 6.
- Το αβαθές τμήμα του Σουλού που εκτιμάται από τις ιχθυολογικές μελέτες, ότι είναι το καταλληλότερο σημείο για την αναπαραγωγή των ιχθύων, δεν υπάρχει πλέον λόγω μείωσης των νερών σε αυτό το τμήμα και στο γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει και η συνεχώς φθίνουσα αλιευτική παραγωγή.
- Σχετικά με την τροφική κατάσταση της λίμνης ενώ στην αρχή της περιόδου μετρήσεων (προηγούμενη δεκαετία) διαπιστώθηκε oligotροφική κατάσταση, οι μετρήσεις χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου τα τελευταία χρόνια οδηγούν στη διαπίστωση ότι η λίμνη μεταβαίνει σε μεσοτροφική κατάσταση και ίσως ευτροφική.

Τέλος, συγκρίνοντας τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την παρούσα εργασία με δεδομένα παλαιότερων εργασιών στην ίδια περιοχή παρατηρείται μείωση των αζωτούχων και φωσφορικών φορτίων με τα οποία το ρέμα Σουλού εμπλουτίζει τη λίμνη. Αυτό οφείλεται σε δύο σημαντικά γεγονότα που έλαβαν χώρα μεταξύ της παρούσας και των προηγούμενων μετρήσεων, τη δημιουργία του βιολογικού καθαρισμού της Πτολεμαΐδας τον

Αύγουστο του 1994, καθώς και την οριστική διακοπή της λειτουργίας του εργοστασίου λιπασμάτων ΑΕΒΑΛ τον Ιούλιο του 1997.

8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΑ

Για την βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης και την όσο το δυνατό αποτελεσματική και σύντομη αποκατάσταση των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν στο ρέμα Σουλού, στη λίμνη και κατ'επέκταση στην ποσότητα και ποιότητα των ιχθυοαποθεμάτων, προτείνονται κάποια μέτρα. Κάποια από αυτά έχουν υποβληθεί στο παρελθόν από άλλους φορείς, τα περισσότερα όμως δεν έχουν υλοποιηθεί ή δεν εφαρμόστηκαν ακόμη.

Η υδροδότηση της ΔΕΗ από την ευρύτερη υδρογεωλογική λεκάνη της Βεγορίτιδας πρέπει να διακοπεί στο αμέσως κοντινό μέλλον εφόσον είναι τεχνικά εφικτό. Υποχρέωση της επιχείρησης με τη συνεργασία και την εποπτεία της πολιτείας είναι να διερευνήσει και να εφαρμόσει εναλλακτικές λύσεις που ήδη έχουν αρχίσει να συζητούνται. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Η κάλυψη των υδροδοτικών αναγκών που ικανοποιεί η Βεγορίτιδα με ισόποση αύξηση της παροχής από το φράγμα του Πολυφύτου.

- Η χρήση νερών από το υδατόρεμα Σουλού μετά από επεξεργασία για την κάλυψη του ΑΗΣ Αμυνταίου ή και την ανακύκλωση των αποβαλλόμενων ποσοτήτων νερού του σταθμού για επαναχρησιμοποίηση.

Η εξέταση της δυνατότητας ενίσχυσης της λίμνης από άλλες υδρολογικές λεκάνες όπως είναι τα νερά του ποταμού Τριποτάμου Φλώρινας. Τα νερά αυτά οδεύουν σήμερα μέσω του κρατιδίου της FYROM και αποτελούν έναν από τους βασικούς παραποτάμους του ποταμού Αξιού όπου κατά τη χειμερινή περίοδο χύνονται μέσω του Αξιού στο Θερμαϊκό κόλπο.

Τα νερά αυτά είναι δυνατόν να οδηγηθούν με την κατασκευή μιας σύραγγας στην περιοχή του Δήμου Κλειδίου στη λίμνη Πετρών, από όπου και θα οδηγηθούν μέσω του τεχνητού καναλιού που υπάρχει στη λίμνη Βεγορίτιδα.

Η μέση παροχή των μετρήσεων του ποταμού Τριποτάμου που πραγματοποιήθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. Κοζάνης την τετραετία (1990 – 1994) κατά μέσο όρο ανέρχεται ετησίως στα 130.000.000 m³.

- Από ποτάμια και υδατορέματα των ορέων Καϊμακτσαλάν – Βορρά τη χειμερινή περίοδο με μικρά απαιτούμενα νέα έργα. Εκτιμάται ότι μπορούν να παροχετευθούν 5x10⁶ m³ νερού έτος⁻¹ από τη Ζέρβη, Παναγίτσα, Άγιο Αθανάσιο και άλλα 5x10⁶ m³ νερού έτος⁻¹ από Αλμωπό.

- Μελέτη για τη διάσωση των νερών που αποβάλλονται από τους βιομηχανικούς χρήστες στο Σουλού και χάνονται καθοδόν προς Βεγορίτιδα είτε λόγω αρδεύσεων για γεωργική χρήση είτε λόγω διαρροής από τη «διάτρητη» κοίτη του Σουλού.

- Απαγόρευση εγκαταστάσεων οποιασδήποτε λιγνιτικής μονάδας στο νομό Φλώρινας αν δεν συνοδεύεται από πλήρη, εγκεκριμένη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων με ενσωματωμένη υδρογεωλογική μελέτη για τον τρόπο υδροδότησης και τις συνολικές επιπτώσεις στο υδάτινο δυναμικό.

- Να οριοθετηθεί μια ζώνη γύρω από τη λίμνη με τον καθορισμό μιας άριστης υψομετρικής καμπύλης κάτω από την οποία θα απαγορεύεται οποιαδήποτε γεωργική δραστηριότητα.

- Εγκατάσταση υδρομετρητών στις γεωτρήσεις. Να θεσμοθετηθούν όρια τιμολόγησης (κλιμάκωση) της ηλεκτρικής κατανάλωσης για τον περιορισμό του αντλούμενου νερού (απόδοση χρημάτων υπερκατανάλωσης στον προτεινόμενο για σύσταση φορέα διαχείρισης). Όλες οι κοινοτικές και ιδιωτικές γεωτρήσεις που υπάρχουν στις παραλίμνιες περιοχές θα πρέπει να υπαχθούν σε ενιαίο φορέα ο οποίος θα ρυθμίσει τις πραγματικές ανάγκες των καλλιεργειών και θα περιορίσει στο ελάχιστο τις σπατάλες που γίνονται σήμερα.

Στον περιορισμό της σπατάλης θα βοηθήσει κατά πολύ η μέθοδος στάγδην άρδευση (TRICLE IRRIGATION), που εφαρμόζεται με επιτυχία εδώ και 20 χρόνια στην περιοχή της Ιεράπετρας Κρήτης, όπου αρδεύονται 9.000 στρέμματα θερμοκηπίων και 130.000 ελαιόδεντρα. Η περιοχή της Ιεράπετρας θεωρείται η πιο άνυδρος περιοχή της χώρας μας όπου η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 150 έως 180 mm.

- Ενημέρωση των παραγωγών και οικονομική ενίσχυση για την εγκατάσταση των συστημάτων οικονομικής άρδευσης.

- Μέτρα προστασίας του υδροφορέα με τεκμηριωμένες αποφάσεις ανόρυξης νέων γεωτρήσεων ή την παντελή απαγόρευση της ανόρυξης νέων γεωτρήσεων για αρδευτικές και βιομηχανικές χρήσεις.

- Μείωση του ποσοστού αρδευόμενων εκτάσεων με παράλληλη εξασφάλιση του εισοδήματος αυτών που θα σταματήσουν να καλλιεργούν αρδευόμενες εκτάσεις (κανονισμός ΕΟΚ 2078/92).

- Αναδιάρθρωση των καλλιεργειών προς σύγχρονες καλλιέργειες. Σήμερα οι εκτάσεις των παραλίμνιων περιοχών καλλιεργούνται με μήλα, ροδάκινα, αραβόσιπο, ζαχαρότευτλα και μηδική όπου κατεξοχήν είναι υδροβόρες καλλιέργειες, που οι απαιτήσεις τους ανά στρέμμα κυμαίνονται από 350 έως 400 m³. Οι καλλιέργειες αυτές είναι δυνατόν να αντικατασταθούν με υδροδίαιτες και περοσσότερο προσοδοφόρες, όπως είναι τα κεράσια, τα σταφύλια, το σπαράγγι και ο καπνός, όπου οι απαιτήσεις τους σε νερό ανά στρέμμα κυμαίνεται σε 120 έως 130 m³.

- Διερεύνηση της ανάπτυξης της βιολογικής γεωργίας στην περιοχή με την εξασφάλιση επιδοτήσεων από ΕΟΚ και κράτος.

- Μελέτη συνδυασμένης ποσοτικής και ποιοτικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων του συστήματος των λιμνών.

- Επιστημονικός προσδιορισμός για τον καθορισμό του ελάχιστου ύψους στάθμης για τη λίμνη – ελάχιστης διατηρητέας παροχής των ποταμών για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας.

- Εγκαταστάσεις καθαρισμού και επεξεργασίας των αποβλήτων των βιομηχανικών μονάδων στην περιοχή του ρέματος Σουλού και της λίμνης.

- Όλα τα λύματα των πόλεων, οικισμών και βιομηχανιών που γεινιάζουν με την περιοχή του ρέματος Σουλού και της λίμνης να υφίστανται επεξεργασία πριν τη διοχέτευση τους στους υδατικούς και εδαφικούς αποδέκτες, ώστε η χρήση νερού για άρδευση να είναι ικανοποιητικής ποιότητας.

- Ορθολογική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με την ενημέρωση των αγροτών και κατοίκων της ευρύτερης περιοχής από τις Δ/νσεις Γεωργίας (οργάνωση θεματικών σεμιναρίων με χρηματοδότηση από το ΕΚΤ). Ευαισθητοποίησή τους για τους κινδύνους που εμπεριέχονται από την υπερβολική χρήση.

- Εκπόνηση μελέτης ποιοτικής επιβάρυνσης του νερού των ρεμάτων από τα φυτοφάρμακα και λιπάσματα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

- Διεξοδική εξέταση της διάθεσης των απορριμάτων στην υδρογεωλογική λεκάνη.

- Εγκατάσταση νέων και συμπλήρωση των μετεωρολογικών σταθμών με πλήρη σειρά οργάνων ώστε να είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου (εξατμισοδιαπνοή κ.α).

- Μελέτες του κύκλου του αζώτου και του φωσφόρου με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων στην υδρολογική λεκάνη, στη λίμνη Βεγορίτιδα και τα υδατορεύματα.

- Διασφάλιση διαχρονικότητας στην καταγραφή της ποιοτικής κατάστασης της περιοχής για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα.

- Δημιουργία μικρών φραγμάτων σταθεροποίησης και ποιοτικής αναβάθμισης στο ρέμα Σουλού, διαμόρφωση της κοίτης με διατήρηση της χλωρίδας (δενδροφυτεύσεις), εργασίες καθαρισμού και διευθέτησης της κοίτης, παρεμβάσεις ελάχιστης ποσότητας νερού και άλλες γενικότερες παρεμβάσεις.

Όσον αφορά τις αποκαλυπτόμενες εκτάσεις από την πτώση της στάθμης της λίμνης θα μπορούσαν να προταθούν τα παρακάτω:

- Να μη δίνονται σε καλλιέργεια και να αναπτυχθεί χαμηλή βλάστηση σαν μηχανισμός προστασίας όσον αφορά τα νερά απορροής που φθάνουν στη λίμνη (επιφανειακά).

- Απαγόρευση ανάπτυξης καλλιεργειών σε περιοχές που προέρχονται από υποχώρηση της στάθμης της λίμνης και μη παραχώρηση των αποκαλυπτόμενων εκτάσεων στους γεωργούς.

- Άμεση ενεργοποίηση του ήδη υπάρχοντος ελεγκτικού μηχανισμού και επιβολή κυρώσεων με βάση τα υφιστάμενα όρια διάθεσης των ρύπων στους αποδέκτες.

- Θεσμοθέτηση επιτρεπτών ορίων συγκέντρωσης για τις διάφορες ουσίες στους ρυπαντές.

- Δημιουργία ποιοτικού ενδαιτήματος εκεί όπου αυτό έχει υποβαθμιστεί.

- Διατήρηση της ποιότητας του ενδαιτήματος όπως αυτή είναι στα φυσικά οικοσυστήματα σε ότι αφορά τη διαχείριση της άγριας πανίδας.

- Εκπαίδευση – ενημέρωση – ευαισθητοποίηση αγροτών και αλιέων.

- Καθορισμός κανονισμών αλιείας και αστυνόμευσή τους.

- Απαγόρευση αλιείας στην περίοδο ωοτοκίας (Απρίλιος – Μάιος).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Barroin, G., 1991. La rehabilitation des plan d' eau. La Recherche, 22: 1412-1422.
- Bartsch, A.F., 1980. The eutrophication story since Madison. 1967. pp. 10-16. In *Restoration of Lakes And Inland Waters by USERA*. Washington. D.C.
- Bjork, G., 1988. Redevelopment of lake ecosystems – A case study approach, *Ambio*, 17:90-98
- Dix, H.M., (1981). Environmental pollution. John Wiley and sons. Chichester, N.Y.Toronto.
- Edmonson, W.T., 1972. Nutrients and phytoplankton in Lake Washington. In *Nutrients and Eutrophication*. Likens G.E (ed). ASLO. Special Symposia, 1:172-93.
- Feuillade, J. (ed.), 1985. Le lac de Nantua. INRA, Paris, pp. 165.
- Goldman, C.R., Horne, A.J., 1983. Limnology. McGraw-Hill.
- Halsuck, M., 1937. Causes of the fluctuations in level of lake Ostrovo, West Macedonia. *Geographical J.*, vol. 90(4): 447-457.
- Hammer, J.M. and K.A. MacKichan, 1981. Hydrology and Quality of Water Resources. John Wiley and Sons, New York.
- Hosper, H. and H.L. Meyer, 1986. Control of phosphorus loading and flushing as restoration methods for Lake Valuwe. The Netherlands. *Hydrobiologia* 20:183-194.
- Hutchinson, G.E., 1957: A Treatise on Limnology, Vol 1. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley, New York and London.
- Hutchinson, G.E., 1975. A Treatise on Limnology. Vol. 1, Geography, Physics and Chemistry, John Wiley, New York.
- Katsanos, A.A., N. Panayotakis and M. Tzoumezi, 1987. Elemental analysis of water and sediments by external beam PIXE. Part 2. Industrial zone of Ptolemais. Greece. *Chemistry in Ecology*, 3:75-100.
- Lijklema, L.*, 1986. Phosphorus accumulation in sediments and internal loading. *Hydrobiol. Bull.* 20: 224-231.

- Marsden, M. W. 1989. Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment release. *Freshwater Biol.* 21:139-162.
- Mourkides, A.G., A.A. Katsanos and Tzoumezi, 1983. Elemental analysis of waters and sediments by external beam PIXE. Part 2. Vegoritida lake. Greece. *Chemistry in Ecology*, 1:245-259.
- Nikolaidis, N., Th. Cousouris, G. Fotis and E. Papachristou, 1985. Trophic status assessment of lake Vegoritida, Greece. *ISEM Journal*, 7:11-26.
- Ocevski, B., 1966. Microbial investigations of the Balkan lake Ostrovo, Petersko, Rudnik and Zazerci. *Veth. Int Ver. Limnol.*, 16:1519-1525.
- Papadopoulos, Fr., Ar. Papadopoulos and N. Gantidis, 1993. The water level fluctuation of lake Vegoritida (Greece) during this century. *Proceedings of Diachronic Climate Impact on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region*, Iraklio, Greece.
- Perrow, M.R., B. Moss and J. Stansfield. 1994. Trophic interactions in a shallow lake following a reduction in nutrient loading: along term study. *Hydrobiologia* 275/276:43-52.
- Ripl, W., 1976. Biochemical oxidation of polluted lake sediment with nitrate – A new lake restoration method. *Ambio*, 5:132-135.
- Ripl, W., 1979. Sediment manipulation and oxidation with nitrate, In Bjork S. (ed.), *Lake Management Studies at the Institute of Limnology in Lund*. *Arch. Hydrobiol. Beich. Ergebn. Limnol.*, 13:48-52.
- Ryding, O.S., and W. Rast, 1989. *The control of eutrofication of lakes and reservoirs*, UNESCO, Man and Biosphere Series, 1.
- Ryding, S-O, A. Claessond and A. Forsberg, 1978. Research on recovery of polluted lakes. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 20:833-839.
- Sas, H. 1989. *Lake restoration by reduction of nutrient loading*. Academia Verlag St. Augustin, pp. 427.
- Shapiro, j., 1960. The cause of a metalimnetic minimum of dissolved oxygen, *Limn. And Oceanorg.*, 5:216-227.
- Sondergaard, M., P. Kristensen and E. Jeppensen. 1983. Eight years of internal phosphorus loading and changes in the sediment phosphorus profile of lake Sobygaard. Denmark. *Hydrobiologia* 252:345-356.

- Thomas, E.A., 1969. The process of eutrophication in Central European lakes. In *Nat. Acad. Sci. (ed)*. Eutrophication: Causes, consequences, correctives. pp. 29-49. National Res. Council Publ. 1700.
- Vollenweider, R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD, Paris, Tech. Report DA 5/SCI/68.27.250 p.
- Wetzel, R.G., 1983. Limnology, CBS Publ., N.Y.

B. Ελληνική βιβλιογραφία

- Αναγνωστόπουλος, Κ.Α., 1989. Η ρύπανση του περιβάλλοντος. Θασσαλονίκη 1989, έκδοση δεύτερη.
- Αντωνόπουλος, Β., Διαμαντίδης, Γ., Τσιούρης, Σ., 1996. λίμνη Βεγορίτιδα. Διαχρονική εξέλιξη των υδρολογικών και ποιοτικών παραμέτρων της.
- Αντωνόπουλος, Β., Παπαμιχαήλ, Δ., 1997. Έλλειμμα στο ισοζύγιο του νερού της λίμνης Βεγορίτιδας – Διερεύνηση με στοχαστικές διαδικασίες.
- Αντωνόπουλος, Β., Τσικριτοής, Γ., Διαμαντίδης, Γρ., 1984. Επίδραση των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων στην ποιότητα νερού του μικρού ποταμού της Πτολεμαΐδας, στη Βορ. Ελλάδα. Γεωτεχνική τεύχος 5, Νοε 1984, σελ. 131-141.
- Αντωνόπουλος, Β., Γ. Τσικριτοής και Γρ. Διαμαντίδης, 1984. Επίδραση των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων στην ποιότητα του μικρού ποταμού της Πτολεμαΐδας στη Β. Ελλάδα. Γεωτεχνικά, τεύχος 5, Νοε 1984, σελ. 134-141.
- ΑΤΕ/28^η Γεωτ/κή Επιθ/ση Φλώρινας – Καστοριάς, 1991. Ετήσια έκθεση πορείας αλιευτικής παραγωγής και υδατοκαλλιεργειών.
- Γκανούλης, Ιακ., Α. Παπακωνσταντίνου, Π. Λατινόπουλος και Δ. Τολίκας, 1983. Υδρογεωλογική θεώρηση και πρόγνωση διαχείρισης υδροφορέα εσωτερικής λεκάνης Πτολεμαΐδας. Υδροτεχνικά, 1(1): Ι111 – Ι122.
- Δ/νση Γεωργίας Πέλλας, 1992. Συνοδευτική αιτιολογική έκθεση κ.2078/92 Ν. Πέλλας.

- Διαμαντίδης, Γρ. Και Β. Αντωνόπουλος, 1984. Κατανομή ανόργανου αζώτου, ολικού φώσφορου και μερικών άλλων ποιοτικών παραμέτρων στη Βεγορίτιδα λίμνη. Γεωτεχνικά, τεύχος 6, Νοε 1984, σελ. 37-47.
- Διαμαντίδης, Γρ., 1984. Εποχιακές μεταβολές της πρωτογενούς παραγωγικότητας και της βιομάζας της λίμνης Βεγορίτιδας. Γεωτεχνικά, τεύχος 4, Νοε 1984, σελ. 93-107.
- Ζαλίδης, Γ. και Α. Μαντζαβέλας (Συντονιστές έκδοσης), 1994. Απογραφή των ελληνικών υγροτόπων ως φυσικών πόρων (πρώτη προσέγγιση). Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), xviii+587 σελ.
- Καμαριανός, Α., Φώτης, Γ., Καραμανλής, Ξ., Κουσουρή, Θ., Λαμπροπούλου-Τζάρου, Α. και Κιλικίδης, Σ., 1992. Η επίδραση της λεκάνης απορροής στο οικοσύστημα της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου Κοζάνης. Γεωτεχνικά, τόμος 3, τεύχος 2, 1992, σελ. 21-28.
- Καρανδεινός, Μ., Λεγάκης, Α., 1992. Το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων σπονδυλόζων της Ελλάδας. Αθήνα, σελ. 356.
- Κουσουρή, Θ., 1984. η αλιευτική κατάσταση στις κυριότερες ελληνικές λίμνες. Αίτια – Προτάσεις, Γεωτεχνική τεύχος 5, 1984, σελ. 111-130.
- Κουσουρή, Θ., Φώτης, Γ., 1984. Λίμνη Βιστωνίδα: Διαπιστώσεις και προτεινόμενες επιλύσεις των προβληματικών καταστάσεων.
- Μουρκίδης, Γ., Π. Φαχατίδης, Α. Μυλωθρίδου, Ε. Παπαδοπούλου, 1995. Το ίζημα της λίμνης Βεγορίτιδας: Κλασμάτωση, Προσρόφηση και Έκλυση Φωσφορικών. Γεωτεχνική, τεύχος 3/1995 σελ. 47-52.
- Μουρκίδης, Γ.Α. Π. Φαχαντίδης, Α. Μυλωθρίδου και Ε. Παπαδοπούλου – Μουρκίδου. 1992. Βεγορίτιδα. Η τροφική κατάστασή της, η χρήση γης και τα φορτία αζώτου και φώσφορου της λεκάνης απορροής της. *Επιστημονική Επετηρίδα Τμήματος Δασολογίας*, ΑΠΘ. Τόμος ΛΕ (1992), σ.σ. 473-88.
- Μουρκίδης, Γ., Γ. Τσικριτής, Σ. Τσιούρης και Ο. Μενκίσογλου, 1978. λίμνες της Βόρειας Ελλάδας. Ι. Βαθμός ευτροφισμού, Επιστ. Επετ. της Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής, Τμήμα Γεωπονίας, τ. 21(5), σελ. 94-131.

- Νεοφύτου, Χ., 1990. Ιχθυοπονία β' έκδοση University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Παπαδόπουλος, Φρ., 1994. Προσωπική Επικοινωνία, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης.
- Παπακωνσταντίνου, Α., 1983. Υδρογεωλογικές έρευνες στο καρστ της ορεινής μάζας του Βερμίου. Υδροτεχνικά, 1(1) 191-1100.
- Παπακωνσταντίνου, Α., 1982. Η λίμνη της Βεγορίτιδας. ΙΓΜΕ, Κοζάνη.
- Παπουτσόγλου, Σ., 1985. Εφαρμοσμένη υδροβιολογία, εισαγωγή στις υδατοκαλλιέργειες, τόμος Α'. Εκδόσεις Καραμπερόπουλος.
- Στάμου, Α., 1960. Προσωπική επικοινωνία, ΙΓΜΕ Κοζάνης.
- Στάμου, Α., 1995. Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Τσέκος, Ι., Π. Οικονομίδης, Σ. Χαριτωνίδης, Α. Σίνης, Γ. Νικολαΐδης, Γ. Οικονομίδης, Μ. Μουστάκας, Μ.- Ε. Ζαρφατζιάν και Α. Κοκκινάκης, 1988. Λιμνολογική μελέτη της λίμνης Βεγορίτιδας, Νομού Πέλλας. Δ/νση Αλιείας Υπ. Γεωργίας, Έργο 8686703/ΣΑΜ 086/1986.
- Τσιούρης, Σ. Και Π. Γεράκης. 1991. Υγρότοποι της Ελλάδας: αξίες, αλλοιώσεις , προστασία. WWF, Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος τμ. Γεωπονίας Α.Π.Θ., IUCN, Θεσσαλονίκη, 96 σελ.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, 1984. Πρόγραμμα αναγνώρισης φυσικού περιβάλλοντος χώρας (τελική έκθεση εργασιών πεδίου πρώτης φάσης ν. Φλώρινας).
- Φώτης, Γ., Παπαχρήστου, Ε., Κουσουρή, Θ., Κουτουμπίδης, Ε., 1986. λίμνη Βεγορίτιδα. Προβλήματα και προτάσεις για βελτίωση.
- Φώτης, Γ., Σ. Κιλικίδης και Α. Καμαριανός, 1984. Μελέτη ρύπανσης και παραγωγικότητας της λίμνης Βεγορίτιδας, Ν. Φλώρινας (πρόδρομη ανακοίνωση). Γεωτεχνικά, 3: 74-79.

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΡΥΠΑΝΣΗ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων από τα απόβλητα είναι οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ). Οι ΕΕΑΑ έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμοί) των αστικών αποβλήτων από τα «βλαβερά» συστατικά που περιέχουν, ώστε αυτοί να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον.

Ως «βλαβερά» συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά – φυσικά συστατικά (π.χ. υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φώσφορος).

Αν τα απόβλητα διοχετευτούν χωρίς επεξεργασία σε έναν υδάτινο αποδέκτη δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσарέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την καταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Και αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (δηλ. αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να το εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο «φαινόμενο του ευτροφισμού», που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.

ΒΑΘΜΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ – ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της Ε.Ε. εξέδωσε οδηγία (19/3/92) για τον καθαρισμό των αστικών αποβλήτων, στην οποία προβλέπεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν ΕΕΑΑ σε όλες τις πόλεις της Κοινότητας.

Συγκεκριμένα, προτείνεται η πραγματοποίηση βιολογικού καθαρισμού για όλες τις πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 15000 κατοίκους μέχρι το 2000 και για τις μικρότερες μέχρι το 2005. Επιπλέον, για τις πόλεις που βρίσκονται σε περισσότερο ευαίσθητες περιοχές προβλέπεται και τριτοβάθμιος καθαρισμός, ενώ για τις πόλεις σε λιγότερο ευαίσθητες περιοχές με λιγότερους από 150000 κατοίκους, ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός θεωρείται ότι είναι αρκετός.

Όπως αναφέρει και η οδηγία της ΕΟΚ, μια ΕΕΑΑ χαρακτηρίζεται από το βαθμό καθαρισμού, ο οποίος καθορίζεται από το ποια από τα βλαβερά συστατικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται σχεδόν πάντα σε μια ΕΕΑΑ, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται ως πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος ή συχνά αποκαλούμενος βιολογικός καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση και των οργανικών συστατικών και συχνά των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο τριτοβάθμιος αφορά την απομάκρυνση και των θρεπτικών στοιχείων (φώσφορο και άζωτο).

Οι βασικές μονάδες σε μια ΕΕΑΑ με πρωτοβάθμιο καθαρισμό είναι οι εσχάρες (μια σειρά από μεταλλικές ράβδους στις οποίες συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά), οι εξαμμωτές (ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες ροής που προκαλούν την καθίζηση της άμμου σε αυτές) και οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (όπου καθιζάνει και απομακρύνεται μεγάλο μέρος των οργανικών συστατικών, 30%). Συχνά ένας εξαμμωτής περιέχει και διάταξη για την απομάκρυνση των ελαίων και λιπών που περιέχονται στα απόβλητα. Τα αιωρούμενα στερεά που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελούν την πρωτοβάθμια λάσπη.

Μια ΕΕΑΑ με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει όχι μόνο πρωτοβάθμιο, αλλά και δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλ. σχεδόν πλήρη απομάκρυνση (μεγαλύτερη από 95%) των οργανικών συστατικών. Η ιδέα του βιολογικού καθαρισμού στηρίζεται στην πραγματοποίηση των βιοχημικών διεργασιών που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές γι' αυτό το σκοπό δεξαμενές. Στις δεξαμενές αυτές δίνονται οι ιδανικές συνθήκες στους μικροοργανισμούς που είναι η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι, η θέση των βλαβερών οργανικών συστατικών παίρνουν οι μικροοργανισμοί αυτοί (κυρίως βακτηρίδια), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια ΕΕΑΑ. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά με διατάξεις αερισμού που καλούνται αεριστήρες, οπότε και οι δεξαμενές ονομάζονται δεξαμενές αερισμού. Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό ιλύ», οπότε και η μέθοδος αυτή του βιολογικού καθαρισμού καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς αυτή απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων, αφήνοντας τα απόβλητα να περάσουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών (δευτεροβάθμια λάσπη), ενώ τα καθαρισμένα απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών. Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα καθαρισμένα απόβλητα μπορεί να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη εφόσον ο αποδέκτης δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτείται τρίτοβάθμια επεξεργασία. Τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση (με την προσθήκη απολυμαντικού χλωρίου), για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται πλέον χωρίς κανένα φόβο στον αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται σε μια ΕΕΑΑ όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα διοχετεύονται σε έναν αποδέκτη, όπου είναι πιθανή η δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού ή όταν αναμένονται λειτουργικά προβλήματα στην ΕΕΑΑ, όπως π.χ. η ανύψωση ή η διόγκωση της λάσπης.

Τότε γίνεται η απομάκρυνση του φωσφόρου ή/και του αζώτου με βιολογικές μεθόδους ή/και με τη χρήση χημικών.

Τα ογκώδη στερεά που συγκρατούνται στις εσχάρες και η άμμος που καθιζάνει στους εξαμμωτές, αφυδατώνονται και μεταφέρονται με απορριμματοφόρα σε χωματερές.

Η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης υφίσταται συμπύκνωση (αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει), σταθεροποίηση (μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει σηπτική) και αφυδάτωση-ξήρανση. Η σταθεροποίηση γίνεται αερόβια με τον αερισμό της λάσπης σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές αερισμού ή αναερόβια.

Σε μια παραλλαγή της μεθόδου ενεργού ιλύος που καλείται παρατεταμένος αερισμός και εφαρμόζεται ευρύτατα στην Ελλάδα η αερόβια σταθεροποίηση της λάσπης γίνεται στις ίδιες τις δεξαμενές αερισμού χωρίς να απαιτούνται χωριστές δεξαμενές αερόβιας σταθεροποίησης.

Η αφυδάτωση της λάσπης αποσκοπεί στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους του νερού που περιέχει και γίνεται με μηχανήματα (ταινιοφιλτρόπρεςες), ή με εξάτμιση απλώνοντας τη λάσπη σε ειδικές κλίνες (κλίνες ξήρανσης). Μετά την αφυδάτωση-ξήρανσή της, που δεν είναι πάντα απαραίτητα, η λάσπη διατίθεται σε χωματερή ή για λίπασμα.

ΣΤΕΡΕΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Γενικά – Περιβαλλοντική σημασία

Τα ολικά στερεά συστατικά (Total Solids, TS) βρίσκονται αιωρημένα (αιωρούμενα στερεά, Suspended Solids – SS) ή διαλυμένα (διαλυμένα στερεά, Dissolved Solids – DS) στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά (ή εξαερώσιμα) στερεά (Volatile Solids – VS) και ανόργανα (αδρανή, σταθερά ή μη εξαερώσιμα, Non – Volatile ή Fixed Solids – FS) στερεά.

Από άποψη ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος μεγάλη σημασία έχουν τα SS, γιατί κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο φορέα συσσωρεύονται στον πυθμένα δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα. Τα DS προκαλούν τη θολότητα του υδάτινου αποδέκτη.

Προσδιορισμός

Τα ολικά στερεά προσδιορίζονται ως το υπόλειμμα (σε mg) 1l δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμισή του στους 105° C σε κατάλληλο κλίβανο ξήρανσης.

Τα διαλυμένα στερεά που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή, αποτελούν τα στερεά (σε mg) 1l δείγματος, που διέρχονται από ειδικό χάρτινο φίλτρο και στη συνέχεια εξατμίζονται στους 105° C σε κατάλληλο κλίβανο ξήρανσης.

Τα αιωρούμενα στερεά ορίζονται ως τα mg του δείγματος 1l αποβλήτων, που συγκρατούνται στο ειδικό χάρτινο φίλτρο. Διακρίνονται σε καθιζάνοντα (settleable) και μη καθιζάνοντα. Ως καθιζάνοντα στερεά ορίζονται αυτά που καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας, σε ειδικά βαθμονομημένο κώνο μέσα σε διάστημα μίας ώρας και μετρούνται σε ml στερεών ανά 1l δείγματος.

Τα οργανικά εξαερώσιμα στερεά προσδιορίζονται ως το υπόλειμμα (σε mg) 1l δείγματος μετά από θέρμανσή του στους 600° C. Τα ανόργανα – μη εξαερώσιμα αδρανή στερεά μένουν ως στάχτη.

ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Γενικά – Περιβαλλοντική σημασία

Τα κυριότερα οργανικά συστατικά των αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- Πρωτεΐνες: Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις αποτελούμενες κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο που αποσυντίθενται εύκολα από τους μικροοργανισμούς.
- Υδρογονάνθρακες: Περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Ορισμένοι (ζάχαρες) διασπώνται εύκολα από μικροοργανισμούς, ενώ άλλοι (άμυλο) δυσκολότερα.
- Λιπίδια: Αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου. Βρίσκονται και στα νερά των επιφανειακών απορροών από την έκπλυση των δρόμων (λάδια, πετρέλαια κ.λπ.). Είναι ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες, που δεν διαλύονται στη μάζα των αποβλήτων. Τα πιο σημαντικά λιπίδια είναι τα λάδια (υγρά λιπίδια) και τα λίπη (στερεά λιπίδια).

Η τυπική σύσταση των αστικών αποβλήτων είναι 40 – 60% πρωτεΐνες, 25-50% υδρογονάνθρακες και 10% λιπίδια.

- Επιφανειακά ενεργές ουσίες: Περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, σαπουνιών κ.λπ. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού – αέρα δημιουργώντας αφρούς. Ορισμένες δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς, ενώ άλλες είναι παράλληλα και τοξικές.
- Φαινόλες (C_6H_5OH): Περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα. Δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις ($>500 \text{ mg.l}^{-1}$).
- Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα: Είναι τοξικές ενώσεις επικίνδυνες για όλες τις μορφές ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα με τις απορροές γεωργικών φαρμάκων.

Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος όταν οι οργανικές ουσίες διοχετευτούν σε ένα υδάτινο φορέα, οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα τις χρησιμοποιούν ως τροφή καταναλώνοντας παράλληλα το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Όταν ο ρυθμός κατανάλωσης

του διαλυμένου οξυγόνου ξεπεράσει την ικανότητα επανοξυγόνωσης του φορέα και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου γίνει μικρότερη από μια ορισμένη τιμή, ανατρέπεται η ισορροπία του οικοσυστήματος του φορέα με αποτέλεσμα το θάνατο ψαριών και τη δημιουργία σηπτικών συνθηκών. Εκτός από τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, που είναι η κύρια επίπτωση της διοχέτευσης οργανικών ουσιών στο περιβάλλον, άλλα προβλήματα είναι η δημιουργία επιφανειακού αντιαισθητικού στρώματος από τα λιπίδια, ενδεικτικού της ρύπανσης (που παράλληλα δυσκολεύει τη μεταφορά του οξυγόνου και του ηλιακού φωτός στο φορέα), η δημιουργία αφρών από τις επιφανειακά ενεργές ουσίες και ο άμεσος θάνατος οργανισμών από τις τοξικές ουσίες.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας, επειδή η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών γίνεται κυρίως από μικροοργανισμούς με κάποια βιολογική διαδικασία, προβλήματα μπορεί να προέλθουν από τη παρουσία οργανικών ουσιών που διασπώνται δύσκολα ή καθόλου, από την παρουσία τοξικών ουσιών θανατηφόρων για τους μικροοργανισμούς και από την παρουσία λιπιδίων, που εμποδίζουν τη μεταφορά οξυγόνου στους μικροοργανισμούς. Ιδιαίτερα τα λιπίδια παρά το γεγονός ότι επιπλέουν και μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα, δημιουργούν προβλήματα στη μεταφορά των αποβλήτων μέσα από τους αγωγούς καθώς και στη λειτουργία διαφόρων μονάδων επεξεργασίας (π.χ. με τη δημιουργία επιφανειακού στρώματος στις δεξαμενές των ΕΕΑΑ που μειώνει τον ωφέλιμο όγκο τους ή τη λειτουργικότητά τους).

Προσδιορισμός

Η μέτρηση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων είναι πρακτικά αδύνατο λόγω της πολύπλοκης σύστασής τους. Έτσι ως μέτρο των οργανικών συστατικών, αλλά και γενικότερα του ρυπαντικού φορτίου τους, χρησιμοποιείται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδώσει πλήρως τα οργανικά συστατικά τους, που εκφράζεται συνήθως ως BOD ή COD.

1. Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen demand – BOD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες.

Τα απόβλητα περιέχουν και οργανικά αμμωνιακά συστατικά που οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από ειδικά νιτροποιητικά βακτηρίδια με σχετικά αργό ρυθμό. Η οξειδωση αυτή (νιτροποίηση) αρχίζει να γίνεται σημαντική μετά από 8-12 ημέρες, όταν τα νιτροποιητικά βακτηρίδια έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλους σχετικά ρυθμούς. Το BOD που εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την αερόβια βιολογική οξειδωση των αμμωνιακών οργανικών συστατικών λέγεται BOD δευτέρου σταδίου.

Ο πειραματικός προσδιορισμός του BOD γίνεται με την τοποθέτηση δείγματος αποβλήτων σε ειδικές φιάλες μέσα σε ειδική συσκευή κάτω από κατάλληλες συνθήκες και τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που καταναλώνεται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Με τη μέτρηση του BOD σε διάφορα χρονικά διαστήματα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ρυθμού κατανάλωσης των οργανικών ουσιών, αλλά και του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς, κάτι που δεν μπορεί να γίνει με άλλες παραμέτρους μέτρησης των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του BOD είναι σχετικά απλή, αλλά χρονοβόρα, και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται δεν είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικότητας (διαφορετικό περιβάλλον, διαφορετικά είδη μικροοργανισμών κ.λπ.).

2. Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξειδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) και σε όξινες συνθήκες.

Κατά τον προσδιορισμό του COD που γίνεται σε ειδική συσκευή οξειδώνονται όλες οι οργανικές ουσίες, ανεξάρτητα από το αν είναι βιολογικά διασπάσιμες ή όχι. Έπομένως οι βιολογικά διασπάσιμες οργανικές ουσίες καθώς και ο ρυθμός βιολογικής διάσπασής τους δεν προσδιορίζονται από το COD.

Το βασικό πλεονέκτημα του COD είναι ο σχετικά γρήγορος προσδιορισμός του (περίπου 3 ώρες), που επιτρέπει ανάλογα και την

γρήγορη χρήση των σχετικών πληροφοριών. Έτσι, όταν υπάρχει δυνατότητα συσχέτισης του COD με το BOD, το COD μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου της λειτουργίας μιας ΕΕΑΑ. Επίσης, με τη συσχέτιση COD και BOD διαπιστώνεται η ύπαρξη τοξικών και δύσκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ουσιών στα απόβλητα.

ΑΖΩΤΟ

Γενικά – Περιβαλλοντική σημασία

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα αστικά απόβλητα στις παρακάτω μορφές:

- Οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, ουρία και αμινοξέα) και
- Αμμωνιακό άζωτο (αμμωνιακά άλατα ή αμμωνία).

Ως προϊόν οξειδωσης των προηγούμενων μορφών το άζωτο μπορεί να υπάρχει ως νιτρικά και νιτρώδη.

Οι κύριες μετατροπές που υφίστανται οι παραπάνω μορφές αζώτου κατά τη διχέτευσή τους σε κάποιο υδάτινο φορέα ή στις μονάδες μιας ΕΕΑΑ είναι οι παρακάτω:

α) Μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνιακό από αερόβια ή αναερόβια βακτηρίδια.

β) Οξειδωση του αμμωνιακού αζώτου σε αμμωνιακό από αερόβια ή αναερόβια βακτηρίδια (Nitrosomonas).

γ) Περαιτέρω οξειδωση των νιτρωδών σε νιτρικά από ειδικά αερόβια – νιτροποιητικά βακτηρίδια (Nitrobacter).

δ) Αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και τελικά σε αέριο άζωτο από αερόβια – αναερόβια βακτηρίδια. Η αναγωγή γίνεται κυρίως σε αέριο άζωτο σε αναερόβιες συνθήκες και σε μικρό ποσοστό σε αμμωνία.

Οι μετατροπές (β) και (γ) αποτελούν τη νιτροποίηση και η (δ) την απονιτροποίηση.

Από άποψη επίδρασης στο περιβάλλον ή διοχέτευση αποβλήτων που περιέχουν αμμωνιακό άζωτο σε ένα υδάτινο φορέα δημιουργεί απαίτηση οξυγόνου, για την οξειδωσή του σε νιτρώδη και νιτρικά. Επίσης η αμμωνία είναι τοξική στα ψάρια (ανώτατο επιτρεπτό όριο $0,025 \text{ mg.l}^{-1}$), ενώ τα νιτρικά χρησιμοποιούνται από τα φύκια και διάφορα υδρόβια φυτά του φορέα για την ανάπτυξή τους. Έτσι μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου σε υδάτινους φορείς, σε

συνδυασμό με την παρουσία φωσφόρου, μπορεί να οδηγήσουν σε κατάσταση που ευνοεί την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών και των διαφόρων υδρόβιων φυτών (ευτροφισμός), με αποτέλεσμα την έμφραξη του φορέα (π.χ σε ποταμό), την εμφάνιση επιπλεόντων φυτών, την αύξηση της θολότητας, την αδυναμία χρήσης του νερού για ύδρευση, τη συσσώρευση φυκιών στις ακτές, τη δημιουργία αισθητικών προβλημάτων κ.λπ.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας το άζωτο έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί μια από τις κυριότερες θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διαδικασίες. Γενικά, στα αστικά απόβλητα το άζωτο βρίσκεται σε επαρκείς ποσότητες. Σε ορισμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας όπου οι συνθήκες ευνοούν τη μετατροπή της αμμωνία σε νιτρικά με την ταυτόχρονη κατανάλωση οξυγόνου (νιτροποίηση) πρέπει να εξασφαλίζεται και η παροχή αυτής της ποσότητας οξυγόνου, επί πλέον αυτής που είναι απαραίτητη για την οξειδωση των οργανικών ουσιών (BOD). Σε αντίθετη περίπτωση καταναλώνεται το οξυγόνο για τη νιτροποίηση με αποτέλεσμα να μην επαρκεί για την απαιτούμενη απομάκρυνση των οργανικών ουσιών. Στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν τη διαδικασία της απονιτροποίησης, δημιουργείται πρόβλημα ανύψωσης των στερεών που προσκολλώνται στο αέριο άζωτο που απελευθερώνεται (ανύψωση λάσπης). Στη διαδικασία της χλωρίωσης η παρουσία αμμωνίας οδηγεί στο σχηματισμό χλωραμινών που μειώνουν την απόδοση της χλωρίωσης, αλλά και τη συγκέντρωση της αμμωνίας στην εκροή. Η απομάκρυνση του αζώτου σε μια ΕΕΑΑ γίνεται συνήθως με τις διαδικασίες της νιτροποίησης και απονιτροποίησης.

Προσδιορισμός

Το άζωτο εκφράζεται συνήθως ως οργανικό άζωτο (N_{org}), ως ολικό άζωτο (ολικό N ή TKN) και ως νιτρικά ($NO_3 - N$) ή νιτρώδη ($NO_2 - N$).

Το ολικό άζωτο που αποτελεί το άθροισμα του οργανικού αζώτου (N_{org}) και της αμμωνίας προσδιορίζεται με τη μέθοδο Kjeldahl, σε ειδικά φασματοφωτόμετρα.

Το αμμωνιακό άζωτο, τα νιτρικά και τα νιτρώδη προσδιορίζονται οπτικά σε ειδικά φασματοφωτόμετρα, σε χρωματομέτρα, με ειδικά τεστ κίτ ή

και ηλεκτροχημικά (μόνο τα νιτρικά και το αμμωνιακό άζωτο). Το οργανικό άζωτο υπολογίζεται με αφαίρεση του αμμωνιακού αζώτου από το ολικό άζωτο

ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Γενικά – Περιβαλλοντική και βιολογική σημασία

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα απόβλητα στις παρακάτω μορφές:

- Ανόργανος φώσφορος, κυρίως ως ορθοφωσφορικά (PO_4^{-3} , HPO_4^{-3} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$) ή και ως πολυφωσφορικά (π.χ. $\text{P}_3\text{O}_{10}^{-5}$, $\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$).
- Οργανικός φώσφορος, σε μικρότερες ποσότητες απ' ότι ο ανόργανος.

Τα πολυφωσφορικά σε υδατικό διάλυμα υδρολύονται σε ορθοφωσφορικά που μπορούν να καταναλωθούν απ' ευθείας από διάφορους μικροοργανισμούς. Η διοχέτευση αποβλήτων που περιέχουν φώσφορο σε ένα υδάτινο φορέα ευνοεί, σε συνδυασμό με την παρουσία αζώτου, το φαινόμενο του ευτροφισμού. Σημειώνεται ότι συχνά ο φώσφορος είναι ο καθοριστικός παράγοντας του φαινομένου του ευτροφισμού και έτσι η απομάκρυνσή του από τα απόβλητα έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, ιδίως λόγω της αυξανόμενης χρήσης του στην παραγωγή απορρυπαντικών.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας ο φώσφορος είναι απαραίτητος στους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διαδικασίες. Στα αστικά απόβλητα βρίσκεται σε επαρκείς ποσότητες. Στις βιολογικές διαδικασίες τα πολυφωσφορικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά και έτσι η εκροή των ΕΕΑΑ περιέχει κυρίως ορθοφωσφορικά σε ποσοστό περίπου 80%.

Ο φώσφορος εκφράζεται ως ολικός φώσφορος (οργανικός και ανόργανος) και ως ανόργανος φώσφορος (ορθοφωσφορικά και πολυφωσφορικά).

Προσδιορισμός

Ο προσδιορισμός των διαφόρων μορφών του φωσφόρου γίνεται σε ειδικά φασματοόμετρα, σε χρωματοόμετρα ή και με ειδικά τεστ – κίτ.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι ένας σημαντικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει γρηγορότερη ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια επιτάχυνση των βιοχημικών αντιδράσεων. Παράλληλα, επιφέρει και μείωση του βαθμού διαλυτότητας των αερίων (π.χ. του διαλυμένου οξυγόνου) στη μάζα των αποβλήτων.

Η υψηλή θερμοκρασία είναι ευεργετική σε πολλές διεργασίες επεξεργασίας (καθίζηση, βιολογική επεξεργασία, απολύμανση κ.λ.π.), αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, όπως π.χ. μειωμένη διαλυτότητα του οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού, ταχύτερη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών κ.α.

Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα (τόσο λόγω της μειωμένης διαλυτότητας του οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, όσο και λόγω του αυξημένου ρυθμού κατανάλωσής του στις βιολογικές διεργασίες), αλλά και επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα του φορέα (θάνατος οργανισμών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών).

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι γενικά μεγαλύτερη από εκείνη του πόσιμου νερού γιατί επηρεάζεται από τα θερμά απόβλητα κατοικιών, βιομηχανιών κ.λπ.

ρΗ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Το ρΗ είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο υδάτινο περιβάλλον. Οι αυξομειώσεις του μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές δημιουργώντας ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Το ρΗ επηρεάζει σχεδόν όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (βιολογική επεξεργασία, απολύμανση, επεξεργασία λάσπης κ.λπ.) και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κ.λπ. Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν συγκεκριμένες τιμές ρΗ για τη βέλτιστη απόδοσή τους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχός του.

Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία ιόντων HCO_3^- , CO_3^{2-} , ή OH^- που βρίσκονται ενωμένα με τα Ca, Mg, Na ή K. Η παρουσία των παραπάνω ιόντων στα αστικά απόβλητα οφείλεται στο πόσιμο νερό καθώς και στις εισροές στο αποχετευτικό σύστημα.

Η αλκαλικότητα των αποβλήτων είναι σημαντική παράμετρος γιατί ρυθμίζει το ρΗ των αποβλήτων και κατά συνέπεια επηρεάζει διάφορες διεργασίες επεξεργασίας. Η αλκαλικότητα εκφράζεται συνήθως ως mg.l^{-1} CaCO_3 .

ΑΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Άλλα χαρακτηριστικά που έχουν σημασία για μια ΕΕΑΑ είναι τα ακόλουθα:

1. Χλωριούχα
2. Θείο
3. Βαριά μέταλλα.

1. Χλωριούχα

Περιέχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απόβλητα (περίπου 6 gr.κατοικο⁻¹), αλλά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα.

Η διοχέτευσή τους σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί στην ένωσή τους με ορισμένα οργανικά συστατικά. Το προϊόν της αντίδρασης αυτής είναι τοξικές ενώσεις που έχουν μακροπρόθεσμα αρνητικά αποτελέσματα στην ποιότητα των νερών του φορέα. Η παρουσία τους σε μεγάλες συγκεντρώσεις και όταν το νερό του φορέα χρησιμοποιείται για ύδρευση, δίνει στο νερό υφάλμυρη γεύση.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας η κύρια επίδραση της παρουσίας των χλωριούχων στα απόβλητα είναι η μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου. Επηρεάζουν επίσης τον προσδιορισμό του COD.

2. Θείο

Το θείο είναι βασικό συστατικό των ζώντων οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα σε διάφορες μορφές. Η σημαντικότερη από τις ενώσεις του θείου είναι τα θειικά, γιατί η παρουσία τους στα απόβλητα δημιουργεί προβλήματα που οφείλονται στο σχηματισμό υδρόθειου και θειικού οξέος. Σε αναερόβιες συνθήκες τα θειικά ανάγονται σε θειούχα και στη συνέχεια σε υδρόθειο και θειικό οξύ από ειδικά βακτηρίδια.

Βασικό πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία του υδρόθειου είναι η έκλυση δυσάρεστων οσμών, που είναι δυνατό να συμβεί στο αποχετευτικό δίκτυο και στις ΕΕΑΑ. Όταν στη μάζα των αποβλήτων περιέχεται σίδηρος, αυτός ενώνεται με το υδρόθειο σχηματίζοντας θειούχο σίδηρο, που δίνει ένα μαύρο χρώμα τόσο στα απόβλητα όσο και στην παραγόμενη λάσπη. Το κύριο

πρόβλημα της παρουσίας του θειικού οξέος είναι η διάβρωση που προκαλεί στους αγωγούς αποχέτευσης.

3. Βαριά μέταλλα

Περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά, αλλά και στα αστικά απόβλητα (εξαιτίας του πόσιμου νερού). Διάφορα ιόντα, όπως π.χ. Cu, Pb, Cr, As, Bo, Ag, Ni, Mn, Cd, Zn, Fe, Hg, σε ορισμένες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για διάφορους οργανισμούς, όπως ακριβώς και διάφορες οργανικές ενώσεις που περιέχονται σε εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα κ.λπ. Σημειώνεται πάντως, ότι πολλά από τα παραπάνω ιόντα σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις όχι μόνο δεν είναι τοξικά, αλλά είναι και απαραίτητα για τη ζωή σημαντικών ειδών μικροοργανισμών.

Η διοχέτευση βαριών μετάλλων σε ένα οικοσύστημα (υδάτινος φορέας ή βιολογική διεργασία επεξεργασίας) μπορεί να επιφέρει το θάνατο πολλών οργανισμών με τις ανάλογες συνέπειες.

ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται τυπικές τιμές συγκεντρώσεων (σε mg.l^{-1}) των κυριότερων ρυπαντών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1: Τυπικές τιμές συγκεντρώσεων ρυπαντών		
Συγκέντρωση (mg.l^{-1})		
Παράμετρος	Όρια	Μέση τιμή
BOD ₅	110-400	220
SS	100-350	220
Ολικό - N	20-85	40
Ολικός - P	4-15	8

Στις διάφορες ΕΕΑΑ στην Ελλάδα έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις με μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ τους οι οποίες οφείλονται κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες:

- Στην παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων ή βοθρολυμάτων
- Στην παρουσία εισροών στο αποχετευτικό δίκτυο, που σε αρκετές περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων σε διάφορες ΕΕΑΑ στην Ελλάδα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2: Ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων ρυπαντών					
Πόλη / Παράμετρος	BOD ₅ (mg.l^{-1}) ¹⁾	SS (mg.l^{-1})	Ολικός N (mg.l^{-1})	Ολικός P (mg.l^{-1})	COD / BOD ₅
Βόλος	330	300	56	9	2,2
Ιωάννινα	290	360	33	-	2,1
Καβάλα	355	282	43	27	2,1
Κατερίνη	280	230	35	6	1,6
Κοζάνη	265	300	28	6	-
Κως	240	300	45	20	2,6
Λάρισα	390	230	68	-	-
Σπάρτη	323	230	31	18	2,2

Με βάση τις τιμές του Πίνακα 2-2 και θεωρώντας μία τυπική παροχή ανά άτομο $200 \text{ l.κατοικο}^{-1} \cdot \text{ημέρα}$ προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα 2-3. Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζονται και τα όρια τιμών ρυπαντών ανά άτομο (σε $\text{g.κατοικο}^{-1} \cdot \text{ημέρα}$) που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα στις περισσότερες μελέτες ΕΕΑΑ.

Πίνακας 2-3: Τυπικές τιμές ρυπαντών για τις Ελληνικές συνθήκες

Παράμετρος	Συγκέντρωση (mg.l^{-1})	Τιμή ανά άτομο ($\text{g. κατοικο}^{-1} \cdot \text{d}$)	Τιμή ανά άτομο από μελέτες ΕΕΑΑ ($\text{g. κατοικο}^{-1} \cdot \text{d}$)
BOD ₅	310	62	60-70
SS	280	56	70-80
Ολικό N	40	8	7-12
Ολικός P	14	28	3-5

Από τις τιμές του Πίνακα 2-3 διαπιστώνεται ότι οι τιμές των ρυπαντών που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα στις μελέτες ΕΕΑΑ είναι μάλλον συντηρητικές και προς τη μεριά της ασφάλειας των έργων.

Έτσι, κατά το σχεδιασμό μιας ΕΕΑΑ μπορεί να χρησιμοποιούνται οι τιμές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία των αποβλήτων έχει παρατηρηθεί ότι αυτή κυμαίνεται από συνήθως $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ το χειμώνα μέχρι $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι. Οι τιμές αυτές μπορεί να χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό μιας ΕΕΑΑ.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΛΑΣΠΗΣ

Τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων αποβλήτων και την παραγόμενης λάσπης για μια συγκεκριμένη ΕΕΑΑ καθορίζονται συνήθως από Οδηγίες Ε.Ε., Νομαρχιακές Αποφάσεις, Προεδρικά Διατάγματα ή άλλης μορφής νομοθετήματα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αποδέκτη των λυμάτων και της λάσπης.

Ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας έχει η Οδηγία 91/271 της Ε.Ε. για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, που αφορούν τη συλλογή, την επεξεργασία και την απόρριψη αστικών λυμάτων και την επεξεργασία και την απόρριψη λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς. Τα σημαντικότερα σημεία της Οδηγίας αυτής περιέχονται στα άρθρα 3, 4 και 5 και στα Παραρτήματα Ι και ΙΙ. Συνοπτικά αναφέρεται ότι για την απόρριψη λυμάτων σε «ευαίσθητες περιοχές» θα πρέπει να γίνεται και τριτοβάθμια επεξεργασία, ώστε τα επεξεργασμένα λύματα να πληρούν τις προδιαγραφές του Πίνακα 2-4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4: Προδιαγραφές επεξεργασμένων αποβλήτων για διάθεση σε «ευαίσθητες περιοχές»	
Παράμετρος	Μέγιστη συγκέντρωση (mg.l⁻¹)
BOD ₅	25
COD	125
SS	35
Ολικό – N	10 μέχρι 15
Ολικός – P	1 μέχρι 2

Πίνακας 2-5: Πρότυπα ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για τη διαβίωση ψαριών. Φ.Ε.Κ. 438 τεύχος Β, 3/7/86

α/α	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Κατηγορίες νερών			
		Νερά Σαλμονίδων		Νερά Κυπρινοειδών	
		Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπτό Όριο	Επιθυμητό όριο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
1.	Θερμοκρασία, °C		21,5	25	28
2.	Διαλυμένο οξυγόνο, mg.l ⁻¹ O ₂	>9	>9	>8	>7
3.	pH, μονάδες	6,5-8,5	6-9	5,5-8,5	6-9
4.	Αιωρούμενα Στερεά, mg.l ⁻¹ SS	25		25	
5.	BOD ₅ , mg.l ⁻¹ O ₂	3		6	
6.	Ολικός φώσφορος, mg.l ⁻¹ P	0,2		0,4	
7.	Νιτρώδη, mg.l ⁻¹ NO ₂	0,01	<0,05	0,03	<0,5
8.	Ελεύθερη Αμμωνία, mg.l ⁻¹ NH ₃	0,005	0,025	0,005	0,025
9.	Ολική Αμμωνία, mg.l ⁻¹ NH ₄	0,04	1	0,2	1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072395