

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μ.Δ.Ε «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη της τροφικής κατάστασης
του ταμειευτήρα Πολυφύτου με τη
χρήση του μοντέλου WASP

Γιάννης Μαρκόνης

Εξεταστική Επιτροπή

Ν. Νικολαΐδης (Επιβλέπων)

Γ. Καρατζάς

Ν. Καλογεράκης

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
Α. Ευτροφισμός	10
Β. Διάχυτες πηγές ρύπανσης	14
Γ. Μοντέλα προσομοίωσης περιβαλλοντικών συστημάτων - Το μοντέλο WASP	20
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	26
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	31
Α. Ο ταμιευτήρας του Πολυφύτου και η ευρύτερη λεκάνη απορροής του	31
Β. Ποιοτική κατάσταση των υδάτων του ταμιευτήρα σήμερα	37
Θερμοκρασία	37
Ηλεκτραγωγιμότητα και Πυκνότητα	40
Θολερότητα	42
Διαλυμένο οξυγόνο	44
Θρεπτικά (Φωσφορικά, Νιτρικά, Αμμωνία και Πυρίτιο)	45
Σύγκριση με αποτελέσματα προηγούμενων μελετών	47
Ο ποταμός Αλιάκμονας	48
Γ. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα	52
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
Α. Ανάλυση των δεδομένων	58
Α.1 Μετρήσεις Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης στη θέση Ιλαρίωνα	58
Α.2 Μετρήσεις ΕΛΚΕΘΕ στον ταμιευτήρα Πολύφυτου	62
Α.3 Μοντέλο Dillon	63
Α.4 Προσδιορισμός φορτίων με τη μέθοδο των συντελεστών	66
Β. Διαμερισματοποίηση	69
Γ. Βαθμονομηση του μοντέλου	70
Δ. Ανάλυση ευαισθησίας	77
Ε. Προσδιορισμός αβεβαιότητας του συστήματος	79
Στ. Προσομοίωση Σεναρίων Μεταβολής της Τροφικής Κατάστασης	81
Σενάριο Πρόβλεψης - Business as usual	85
Σενάρια Αντίστροφης Πρόβλεψης - Policy Target Scenario & Deep Green Scenario	87
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
Παράρτημα Ι : Μετρήσεις Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης στη θέση Ιλαρίωνα	106
Παράρτημα ΙΙ : Προσδιορισμός Αβεβαιότητας Συστήματος - Προσαυξημένες τιμές παροχής	108
Παράρτημα ΙΙΙ : Σενάρια μείωσης θρεπτικών ανά τμήμα	116
Βιβλιογραφία	119
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	123
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	125

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στη γιαγιά μου, Ευγενία Κουτσοβασίλη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Νικολαΐδη για την αδιάκοπη υποστήριξη και καθοδήγηση για όλο αυτό το διάστημα, αλλά και για την έως τώρα συνεργασία μας. Ήταν δάσκαλος, με όλη τη σημασία της λέξης.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εξεταστική επιτροπή, όπως επίσης και στο ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για την παροχή των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη ανάπτυξη έχει οδηγήσει στην παγκόσμια υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Κάθε οικοσύστημα επηρεάζεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα ανάλογα με την ευαισθησία του και την ένταση της δραστηριότητας. Επειδή όμως κάθε οικοσύστημα δεν είναι κλειστό, έχει διαπιστωθεί (Novotny 2003, Behrendt et al. 2003) η τάση συσσώρευσης των ρυπαντών μέσω του υδρολογικού κύκλου στους υδατικούς αποδέκτες. Τα υδατικά οικοσυστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία για την επιβίωση των ειδών του πλανήτη, μεταξύ των οποίων και ο άνθρωπος. Για αυτό το λόγο είναι επιτακτική η ανάγκη προστασίας των υδατικών πόρων.

Οι σημαντικότερες μορφές αλλοίωσης των υδατικών συστημάτων περιλαμβάνουν την επιβάρυνση τους από οργανικούς ρυπαντές, θρεπτικά άλατα, βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και στερεά απόβλητα (Kremer et al., 2002). Η ποικιλία των ρυπαντών χαρακτηρίζει τις διάφορες μορφές της ανθρώπινης δραστηριότητας, που μπορεί να περιλαμβάνει πρωτογενή παραγωγή (γεωργία, κτηνοτροφία, μεταλλευτικές δραστηριότητες), δευτερογενή παραγωγή (βιομηχανία), τριτογενή παραγωγή (τουρισμός) και καθαρή αστική ανάπτυξη (αστικά στερεά και υγρά απόβλητα). Η πηγή αυτή των ρυπαντών, είτε είναι σημειακή (απόβλητα εργοστασίου) είτε είναι διάχυτη (γεωργικά φυτοφάρμακα), θα επηρεάσει τελικά την ποιότητα νερών κάποιου υδατικού αποδέκτη (ποταμός, λίμνη, παράκτιο σύστημα). Η συσχέτιση αυτή μεταξύ πηγής και τελικού αποδέκτη είναι το κλειδί της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Με αυτόν τον προσανατολισμό η ευρωπαϊκή ένωση εξέδωσε την οδηγία πλαίσιο 2000/60 για τη διαχείριση των υδατικών πόρων των κρατών μελών (λίμνες, ποτάμια, υπόγεια νερά και παράκτιες ζώνες). Πιο συγκεκριμένα στόχοι της, σύμφωνα με το Άρθρο 1 είναι :

- ❖ Η παρεμπόδιση της περαιτέρω υποβάθμισης των υδατικών πόρων καθώς και η προστασία και ενίσχυση τους.
- ❖ Η προώθηση της αειφορικής χρήσης των υδατικών πόρων βασισμένη στη μακροχρόνια μελλοντική προστασία τους.

- ❖ Η ενίσχυση της προστασίας και βελτίωσης των υδατικών οικοσυστημάτων μέσω συγκεκριμένων μέτρων για τη μείωση των απορροών, των εκπομπών και των απωλειών σε συγκεκριμένες ουσίες υψηλής προτεραιότητας.
- ❖ Η εξασφάλιση της σταδιακής μείωσης της μόλυνσης των υπογείων υδάτων και η παρεμπόδιση περαιτέρω ρύπανσης.
- ❖ Η άμβλυνση των επιπτώσεων των φαινομένων πλυμμήρας και ξηρασίας.

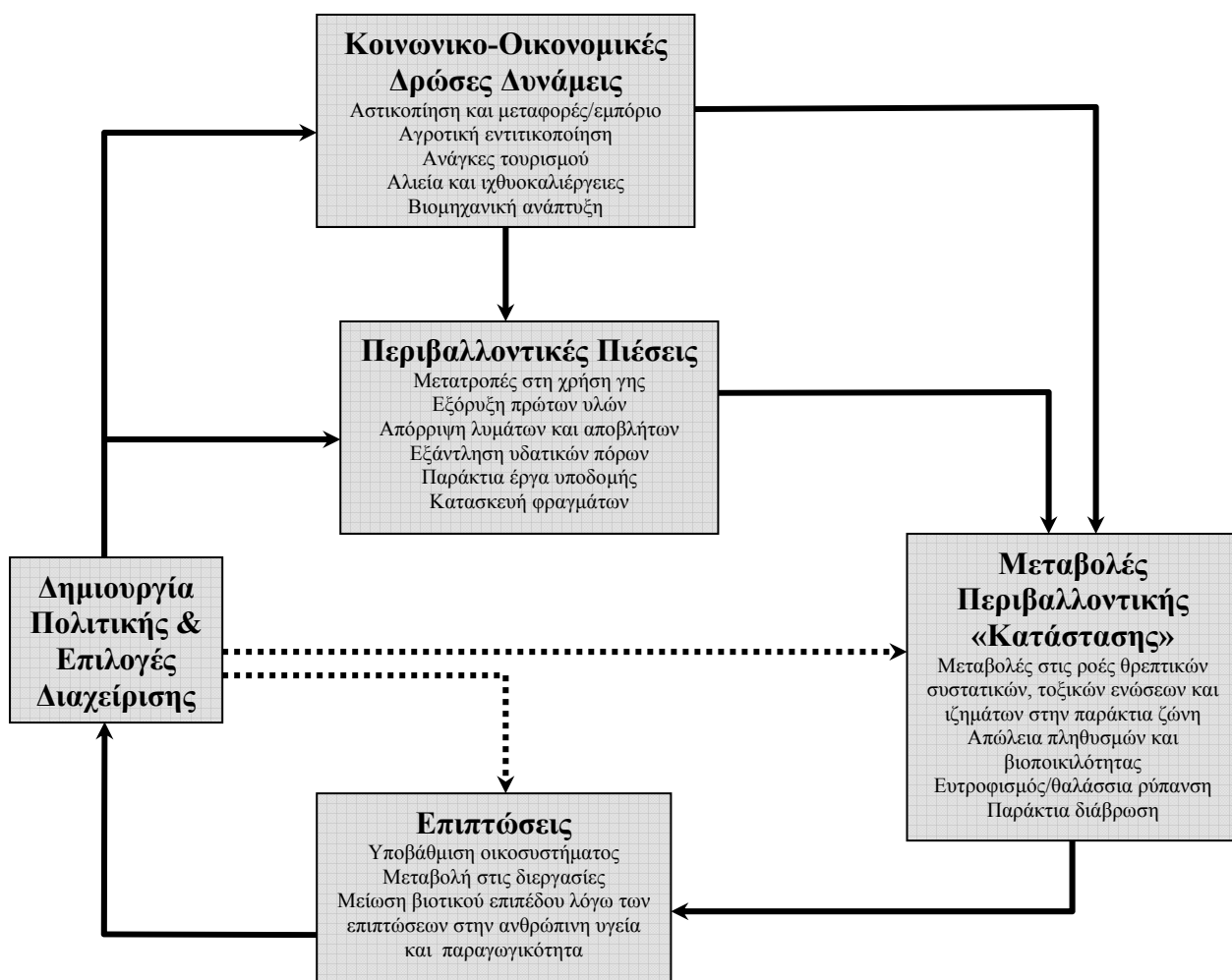
Ο απώτερος στόχος είναι η ικανοποίηση των κριτηρίων που ορίζουν την «καλή κατάσταση» στους υδατικούς πόρους των ευρωπαϊκών χωρών μέχρι το έτος 2015. Για να επιτευχθεί αυτό η οδηγία θέτει αυστηρό χρονοδιαγραμμα το οποίο προβλέπει :

- ❖ Να προσδιοριστούν οι λεκάνες απορροής και να ορισθεί ο αρμόδιος φορέας διαχείρισης τους μέχρι το 2003 (Άρθρα 3 & 24).
- ❖ Να χαρακτηριστούν οι λεκάνες απορροής με όρους πιέσεων, επιπτώσεων και οικονομικής σημασίας της χρήσης νερού, καθώς και να προσδιοριστούν οι προστατευόμενες περιοχές που βρίσκονται εντός λεκάνης απορροής, μέχρι το 2004 (Άρθρα 5 & 6, Παραρτήματα II & III)
- ❖ Να πραγματοποιηθεί ξεχωριστά για κάθε κράτος μέλος, αλλά και σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η βαθμονόμηση των κατηγοριών ταξινόμησης της οικολογικής κατάστασης των υδατικών πόρων, μέχρι το 2006 (Άρθρο 2 και Παράρτημα V).
- ❖ Να λειτουργούν τα δίκτυα παρακολούθησης των υδατικών πόρων μέχρι το 2006 (Άρθρο 8).
- ❖ Να ορισθούν τα μέτρα για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης απορροής, μέχρι το 2009 (Άρθρο 11, Παράρτημα III).
- ❖ Να δημιουργηθούν και να εκδοθούν τα Σχέδια Διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής, μέχρι το 2009 (Άρθρα 13 & 4.3).
- ❖ Να εφαρμοσθούν πολιτικές κοστολόγησης του νερού, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αειφορία των υδατικών πόρων, μέχρι το 2010 (Άρθρο 9).

- ❖ Να εφαρμοσθούν τα μέτρα σύμφωνα με τα Σχέδια Διαχείρισης μέχρι το 2012 (Άρθρο 11).
- ❖ Να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι μέχρι το 2015 (Άρθρο 4).

Η συγκεκριμένη οδηγία προτείνει ένα πλαίσιο μελέτης, που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ρυπαντικών φορτίων σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής ενός υδατικού αποδέκτη και όχι μόνο στον αποδέκτη αυτό καθαυτό. Έτσι οι διαχειριστικές προτάσεις και οι πιθανές λύσεις θα πρέπει να πηγάζουν από μια ολιστική προσέγγιση του προβλήματος, που θα συνδυάζει τόσο τις φυσικές όσο και τις κοινωνικο-οικονομικές διαστάσεις της κατάστασης (Salomon et al., 1999). Η σύνδεση λεκάνης απορροής με τον υδατικό αποδέκτη, σε συνδυασμό με την ανάλυση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτή, αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται στην προσέγγιση DPSIR.

Η προσέγγιση αυτή, που παίρνει το όνομα της από τα αρχικά των λέξεων Drivers - Pressures - Status - Impacts - Response (Δρώσες Δυνάμεις - Πιέσεις - Κατάσταση - Επιπτώσεις - Αντίδραση). Η ανάλυση περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κοινωνικο-οικονομικών δυνάμεων (αστικοποίηση, εντατικοποίηση της γεωργίας, τουριστικές απαιτήσεις, βιομηχανική ανάπτυξη, αλιεία και ιχθυοκαλλιέργεια κλπ.) που δημιουργεί τις πιέσεις στο σύστημα. Οι πιέσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη σταδιακή μετατροπή της χρήσης γης, την εξόρυξη πρώτων υλών, την παρατεταμένη άντληση των υδατικών πόρων, την απορροή αστικών λυμάτων και απορριμάτων στη θάλασσα, τη δημιουργία φραγμάτων και λιμενικών έργων, και μαζί με τις μεταβολές στο παγκόσμιο κλίμα και τις διεργασίες που κυριαρχούν σε κάθε παράκτιο σύστημα προκαλούν αλλαγές στην περιβαλλοντική κατάσταση του συστήματος. Οι αλλαγές αυτές, για παράδειγμα ευτροφισμός ή τοξική ρύπανση, γίνονται αργά ή γρήγορα αντιληπτές λόγω των επιπτώσεων τόσο στο οικοσύστημα όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις οδηγούν στην επιλογή της κατάλληλης περιβαλλοντικής πολιτικής που θα στηριχτεί στις διαθέσιμες διαχειριστικές επιλογές. Η εφαρμογή αυτής της πολιτικής με τη σειρά της θα οδηγήσει στη μεταβολή των κοινωνικο-οικονομικών οδηγών και περιβαλλοντικών πιέσεων, και στη συνέχεια σε όλα τα υπολοιπα βήματα του DPSIR, δημιουργώντας έτσι ένα επαναλήψιμο βρόγχο (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 Το πλαίσιο εργασίας DPSIR

Από τους παραπάνω ορισμούς είναι προφανές πως η ανάλυση των περιβαλλοντικών πιέσεων και επιπτώσεων πρέπει απαραίτητως να περιλαμβάνει και πληροφορίες για τις κοινωνικο-οικονομικές δρώσες δυνάμεις καθώς και για τις μεταβολές στην περιβαλλοντική κατάσταση. Ο διαχωρισμός μεταξύ των μεταβολών στην περιβαλλοντική κατάσταση και των επιπτώσεων κρίθηκε απαραίτητος γιατί, ενώ οι πρώτες αφορούν μετρήσιμες φυσικοχημικές ιδιότητες, οι επιπτώσεις δεν ποσοτικοποιούνται εύκολα σε κάποιες περιπτώσεις και αποτελούν ακόμη αντικείμενο έρευνας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιβαλλοντικοί στόχοι που ορίζονται από την οδηγία 2000/60/EC αναφέρονται τόσο στις μεταβολές της περιβαλλοντικής κατάστασης όσο και στις επιπτώσεις, αφού περιλαμβάνουν όρια για τη συγκεντρωση ρυπαντών στο νερό (περιβαλλοντική κατάσταση) αλλά και βιολογικούς δείκτες (επιπτώσεις).

Στην παρούσα μελέτη θα εξεταστεί, βάσει των αρχών της οδηγίας 2000/60 και της μεθοδολογίας DPSIR, η τροφική κατάσταση του υδατικού αποδέκτη, έτσι ώστε να προσδιοριστεί κατά πόσο το σύστημα είναι ευάλωτο σε φαινόμενα ευτροφισμού.

Το πρόβλημα του ευτροφισμού, που οφείλεται στα φορτία των θρεπτικών συστατικών που καταλήγουν σε ένα υδατικό αποδέκτη, είναι πλέον πολύ συνηθισμένο, αφού έχει κάνει την εμφάνιση του σε ποικίλα ποτάμια, λιμναία και θαλάσσια οικοσυστήματα στον πλανήτη όπως στην Πορτογαλία (Cabecadas et al., 1999.), στη Ταϊβάν (Fang, 1999), στη Βραζιλία (Braga et al., 2000), στην Ολλανδία (Jonge, 2000), στην κεντρική Ευρώπη (Schreiber et al., 2003), στο Χονγκ Κονγκ (Lee, 1999), στη Βαλτική (Yurkovskis, 1992), στην Αυστραλία (Gerritse, 1998), στη Σκανδιναβία (Venohr et al., 2003) και στη Ν.Αφρική (Grange et al., 1994).

Στον ελληνικό χώρο, φαινόμενα ευτροφισμού εμφανίζονται σε κάποιες λίμνες και ταμειευτήρες (Zacharias et al., 2002), όπως στην Καστοριά (Koussouris et al., 1990) στην Τριχωνίδα (Bertahas et al., 1997), στη Μικρή Πρέσπα (Tryphon 1997) και στην Αμβρακία (Economou-Amilli et al., 1991), ενώ η εμφάνιση τους είναι πιο δεδομένη σε κλειστούς κόλπους, όπως του Σαρωνικού (Lazarou et al., 1999, Pagou et al 2002), του Θερμαϊκού (Gotsis-Skretas et al. 1990, Balopoulos et al. 1993, ΕΚΘΕ Τεχνική Έκθεση, 1999), του Πατραϊκού (Lazarou et al. 1999) και του Κόλπου της Καλλονής στη Λέσβο (P. Panayotidis et al. 1999).

Στην περίπτωση του ταμειυτήρα Πολυφύτου, η γνώση μας για την προέλευση των θρεπτικών, μας επιτρέπει να επικεντρωθούμε στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (ΕΛΚΕΘΕ, 1997). Έτσι, ακολουθώντας το πλαίσιο εργασίας DPSIR, μια διαχειριστική πρόταση για τον ταμειυτήρα Πολυφύτου πρέπει να περιλαμβάνει τον καθορισμό των κοινωνικο-οικονομικών οδηγών, τον προσδιορισμό της ροής των θρεπτικών φορτίων από τη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα, την παρούσα κατάσταση στο υδατικό οικοσύστημα και τέλος τον εντοπισμό των επιπτώσεων του ευτροφισμού τόσο στο σύστημα όσο και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί να δημιουργήσει ένα σταθερό εργαλείο εκτίμησης της τροφικής κατάστασης μιας λίμνης, σε σχέση με το είδος και

την ένταση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται στη λεκάνη απορροής της. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται το μοντέλο *WASP 6.0* για την προσομοίωση της ποιότητας νερών στη λίμνη. Οι βασικές θεωρητικές έννοιες που περιλαμβάνονται στην εργασία είναι αυτές του ευτροφισμού, των διάχυτων πηγών και των μαθηματικών μοντέλων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

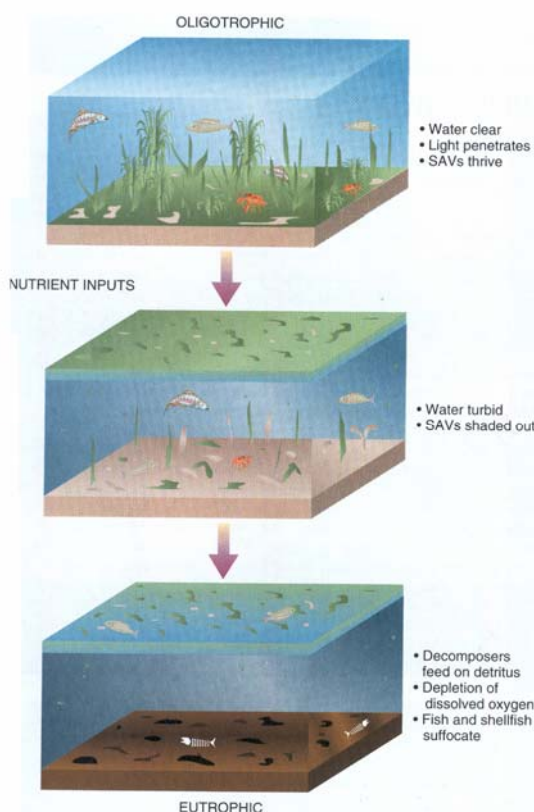
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

A. Ευτροφισμός

Τα αίτια της εμφάνισης του φαινομένου του ευτροφισμού είναι οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο οικοσύστημα που έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την εκρηκτική ανάπτυξη στο φυτοπλαγκτόν λόγω της υπεραφθονίας θρεπτικών συστατικών. Τα θρεπτικά συστατικά είναι το άζωτο και ο φώσφορος. Αυτά τα δύο συστατικά απαντώνται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε αστικά απόβλητα, στα επιφανειακά ρυάκια που δημιουργούν τα νερά της βροχής και στους υπόγειους υδροφορείς γεωργικών περιοχών (λόγω των λιπασμάτων), και τέλος στα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων. Σύμφωνα με την προσέγγιση του Redfield (Schnoor, Environmental Modeling, 1996) η σχέση αζώτου / φωσφόρου στους ιστούς των υδρόβιων φυτικών οργανισμών είναι 16 άτομα αζώτου προς 1 άτομο φωσφόρου και οι οργανισμοί καταναλώνουν τροφικά υλικά με αυτή την αναλογία για να αναπτυχθούν. Βασικό ρόλο παίζουν στη διαδικασία του ευτροφισμού τα δύο κύρια είδη της υδρόβιας βλάστησης : τα βενθικά φυτά και το φυτοπλαγκτόν.

Βενθικά ονομάζονται τα φυτά που έχουν ρίζες ή βρίσκονται προσκολλημένα στο βυθό. Τα βάθη αυτά, όπου μπορούν τα φυτά να φωτοσυνθέσουν, εξαρτώνται από τη θολερότητα του νερού και κυμαίνονται από 200 μέτρα μέχρι 2.5 εκατοστά. Το φυτοπλαγκτόν από την άλλη πλευρά περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αλγών και βακτηριών με χλωροφύλλη που αναπτύσσονται σαν μικροσκοπικά κύτταρα, μικρές ομάδες κυττάρων ή σαν νήματα. Το φυτοπλαγκτόν αντίθετα με τα βενθικά φυτά δε σχετίζεται με τον πυθμένα αλλά επιπλέει κοντά στην επιφάνεια και εξαρτάται αποκλειστικά από τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών στο νερό.

Εξαιτίας της διαφοροποίηση στις τροφικές απαιτήσεις των βενθικών φυτών και του φυτοπλαγκτού, μια αλλαγή στα επίπεδα των θρεπτικών του νερού διαταράσσει την ισορροπία μεταξύ τους. Όσο τα επίπεδα παραμένουν χαμηλά οι πληθυσμοί του φυτοπλαγκτού μειώνονται, και λόγω της απουσίας τους το νερό που είναι καθαρό επιτρέπει τη διέλευση του ηλιακού φωτός και τελικά την ανάπτυξη των βενθικών φυτών. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται ολιγοτροφική και παρουσιάζει ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό. Η ανάπτυξη των βενθικών φυτών υποστηρίζει γενικότερα την ανάπτυξη του οικοσυστήματος αφού προσφέρει τροφή, καταφύγιο αλλά και μέσω της φωτοσύνθεσης, το κυρίαρχο ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου. Το ποσοστό αυτό είναι τόσο μεγάλο, γιατί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο μεταφέρεται και αναμειγνύεται με πολύ πιο αργούς ρυθμούς στο υδατικό σύστημα. Γενικότερα τα περισσότερα υδατικά συστήματα ήταν ολιγοτροφικά, πριν από την ανθρώπινη παρέμβαση : τα χαρακτηρίζαν τα χαμηλά επίπεδα θρεπτικών, η χαμηλή θολερότητα και η πλούσια βενθική βλάστηση (Nebel, Environmental Science, 1996).

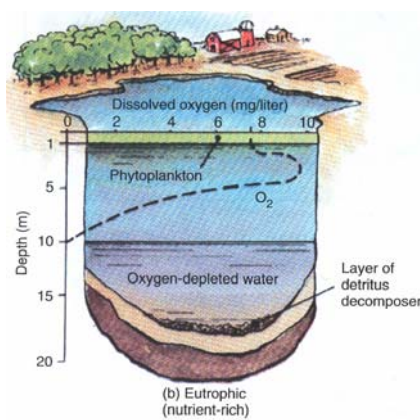
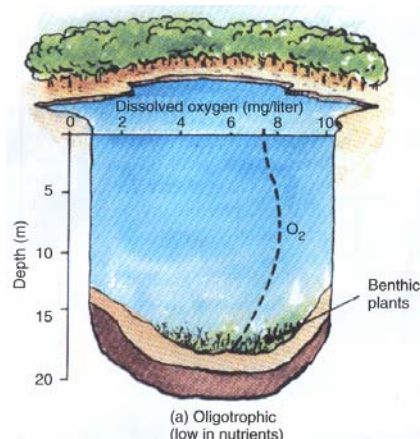


Σχήμα 2.1 Στάδια εξέλιξης ευτροφισμού (Environmental Science p. 303)

Καθώς τα χαμηλά αυτά επίπεδα θρεπτικών άρχισαν να ανατρέπονται, λόγω των ολοένα και αυξανόμενων φορτίων θρεπτικών που επιβάρυναν τους υδατικούς αποδέκτες, μια σειρά από αλλαγές αρχίζουν να συμβαίνουν. Κατ' αρχάς είναι αναμενόμενη η γρήγορη ανάπτυξη και πολλαπλασιασμός του φυτοπλαγκτού που σαν αποτέλεσμα έχει την αύξηση της θολερότητας. Έτσι η βενθική βλάστηση με τη σταδιακή εξασθένηση του φωτός που φτάνει στον πυθμένα αρχίζει να χάνει τη μάχη της επιβίωσης. Με την απομάκρυνση της υδρόβιας

βλάστησης, το οικοσύστημα παρουσιάζει απώλεια του διαλυμένου οξυγόνου. Όσο κι αν φωτοσυνθέτουν οι πληθυσμοί του φυτοπλαγκτού παρουσιάζεται μια θεμελιωδή διαφορά. Λίγο πιο πριν αναφέραμε πως το φυτοπλαγκτόν επιπλεεί κοντά στην επιφάνεια, επομένως καταλήγουμε στον υπερκορεσμό του επιφανειακού νερού και την απελευθέρωση οξυγόνου στην ατμόσφαιρα με τη μορφή φυσαλίδων. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα συχνό σε λίμνες αφού εκεί η κυκλοφορία του νερού είναι περιορισμένη και τα φαινόμενα της στρωμάτωσης πιο έντονα.

Αυτή η κατάσταση ονομάζεται ευτροφική και περιλαμβάνει και κάποιες λιγότερο προφανείς αλλαγές. Το φυτοπλαγκτόν έχει ένα πάρα πολύ υψηλό



Σχήμα 2.2 Μεταβολή διαλυμένου οξυγόνου για (α) ολιγοτροφικό και (β) ευτροφικό Περιβάλλον (Environmental Science p. 300)

ρυθμό αναπαραγωγής, σε βέλτιστες συνθήκες διπλασιάζεται κάθε 24 ώρες (Nebel, Environmental Science, 1996). Αυτό

σημαίνει πως φτάνει πολύ γρήγορα στη μέγιστη πληθυσμιακή πυκνότητα, η οποία ισορροπεί με τη θνησιμότητα. Το νεκρό φυτοπλαγκτόν καθιζάνει και βιοδιασπάται στον πυθμένα κυρίως από βακτήρια. Η εκρηκτική ανάπτυξη των βακτηρίων λόγω του πλεονάσματος τροφής αυξάνει τις απαιτήσεις σε διαλυμένο οξυγόνο, στο οποίο όπως είδαμε παρουσιάζονται ήδη ελλείψεις. Θα περιμέναμε να ακολουθήσει ο θάνατος και των βακτηρίων, πράγμα που δε συμβαίνει. Τα βακτήρια έχουν την ικανότητα να αλλάζουν το μεταβολικό τους μονοπάτι επιβιώνοντας σε αναερόβιες συνθήκες και καταναλώνοντας οξυγόνο μόνο όταν αυτό είναι διαθέσιμο. Έτσι η ύπαρξη ιζήματος νεκρού φυτοπλαγκτού οδηγεί στην ανυπαρξία οξυγόνου και συνεπακόλουθα την εξαφάνιση των άλλων ζωικών ειδών. Για αυτό το λόγο ευτροφικές μάζες νερού χαρακτηρίζονται συχνά νεκρές, αν και η συνολική παραγωγή βιομάζας μπορεί να ξεπερνάει εκείνη των προηγούμενων βενθικών πληθυσμών.

Πολύ σημαντική παράμετρος στη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών σε παράκτια οικοσυστήματα είναι η εξάλειψη των υδροβιότοπων, ελών και βάλτων γύρω από τις λίμνες ή στις εκβολές των ποταμών. Τα έλη αποτελούν την κύρια άμυνα της φύσης εναντίον του ευτροφισμού, γιατί από τη μια φιλτράρουν τα θρεπτικά συστατικά λόγω του μικρού βάθους του νερού και της υπερβολικής βλάστησης και από την άλλη ευνοούν την καθίζηση σωματιδίων πλούσια σε θρεπτικά λόγω της χαμηλής ροής των νερών. Έτσι σήμερα με τη συστηματική αποξήρανση ή συρρίκνωση των ελών γύρω από τις λίμνες ή στις περιοχές που εκβάλλουν οι ποταμοί εξαφανίζεται και ο τελευταίος μηχανισμός παρεμπόδισης του ευτροφισμού.

B. Διάχυτες πηγές ρύπανσης

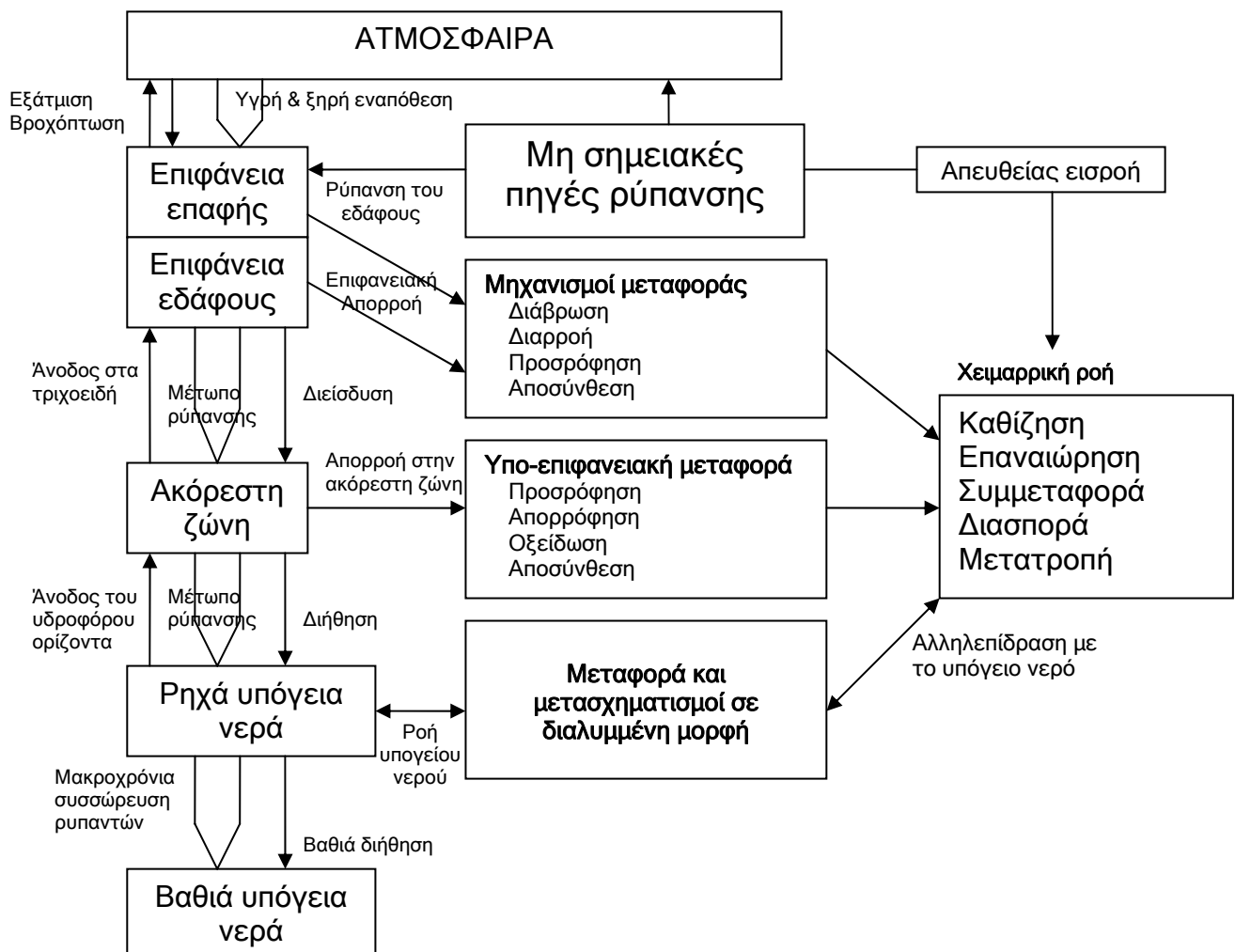
Οι πηγές ρύπανσης σε μια λεκάνη απορροής διαχωρίζονται σε σημειακές και διάχυτες, ανάλογα με το αν εντοπίζονται σε μια συγκεκριμένη θέση (π.χ. απόβλητα βιολογικού καθαρισμού) ή αν καλύπτουν μια ευρύτερη περιοχή (γεωργικά λιπάσματα). Όσο αφορά το πρόβλημα των θρεπτικών και τα φαινόμενα ευτροφισμού, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αποτελούν τη γενεσιουργό τους αιτία περιλαμβάνουν τόσο σημειακές όσο και διάχυτες πηγές ρύπανσης. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι αστικά απόβλητα, απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, απόβλητα βιομηχανιών λιπασμάτων, ιχθυοκαλλιέργειες (σημειακές πηγές), γεωργική δραστηριότητα, ελεύθερη κτηνοτροφία, υπόγεια νερά (διάχυτες πηγές).

Οι διάχυτες ή μη σημειακές πηγές ρύπανσης αποτελούν το πιο επίμονο είδος ρύπανσης, είναι ιδιαιτέρως δύσκολο να διαχειριστεί και να ελεγχθεί, ενώ παρουσιάζεται σε τοπικό, ευρύτερο, ή και διασυνοριακό επίπεδο. Με τον όρο διάχυτη ορίζουμε την ρύπανση που προκύπτει εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων χρήσης γης (αστικής και μη) και καλύπτει μια επιφάνεια στη λεκάνη απορροής ενός υδατικού αποδέκτη. Τα βασικά χαρακτηριστικά της διάχυτης ρύπανσης μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω :

- Η ρύπανση από μη σημειακές πηγές εισέρχεται στους υδατικούς αποδέκτες με ασυνεχή τρόπο, ο οποίος εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα.
- Η ρύπανση πραγματοποιείται σε μια εκτεταμένη περιοχή και μετακινείται πάνω στο έδαφος, πριν φτάσει στα επιφανειακά νερά ή διηθηθεί στον υπόγειο υδροφόρο.
- Οι διάχυτες πηγές είναι δύσκολο ή αδύνατο να παρακολουθηθούν στο σημείο δημιουργίας τους.
- Οι μη σημειακές πηγές μπορεί να είναι ασήμαντες αν εξεταστούν μεμονωμένα, αλλά συγκεντρωτικά να παρουσιάζουν σημαντικές επιπτώσεις.
- Η έκταση και η σημασία της διάχυτης ρύπανσης συσχετίζεται με τους ανεξέλεγκτες κλιματικές συνθήκες (π.χ. ένταση και διάρκεια των

καταιγίδων) καθώς και από τις γεωγραφικές συνθήκες (π.χ. τύπος εδάφους, διαβρωτικότητα, κλπ)

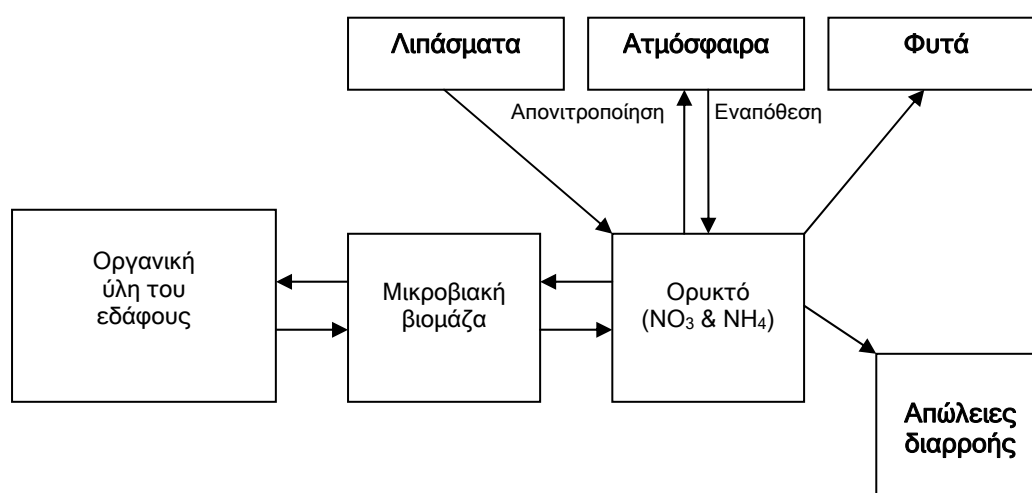
Ο υδρολογικός κύκλος παίζει τον κύριο ρόλο στο καθορισμό της εξάπλωσης της διάχυτης ρύπανσης. Τα βασικά συστατικά του καθορίζουν την κίνηση των ρυπαντών μέσα στο περιβάλλον. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι μηχανισμοί μεταφοράς από το έδαφος στον υδατικό αποδέκτη, τόσο στην επιφάνεια όσο και στο υπόγειο νερό. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τη διάβρωση, τη διαρροή, την προσρόφηση και την αποσύνθεση, ενώ οι ρυπαντές μπορούν να εισέρχονται στο υδατικό σύστημα και μέσω της υποεπιφανειακής ροής (ροή στην ακόρεστη ζώνη).



Σχήμα 2.3 Μηχανισμοί μεταφοράς των ρυπαντών διάχυτων πηγών ρύπανσης από το έδαφος στον υδατικό αποδέκτη

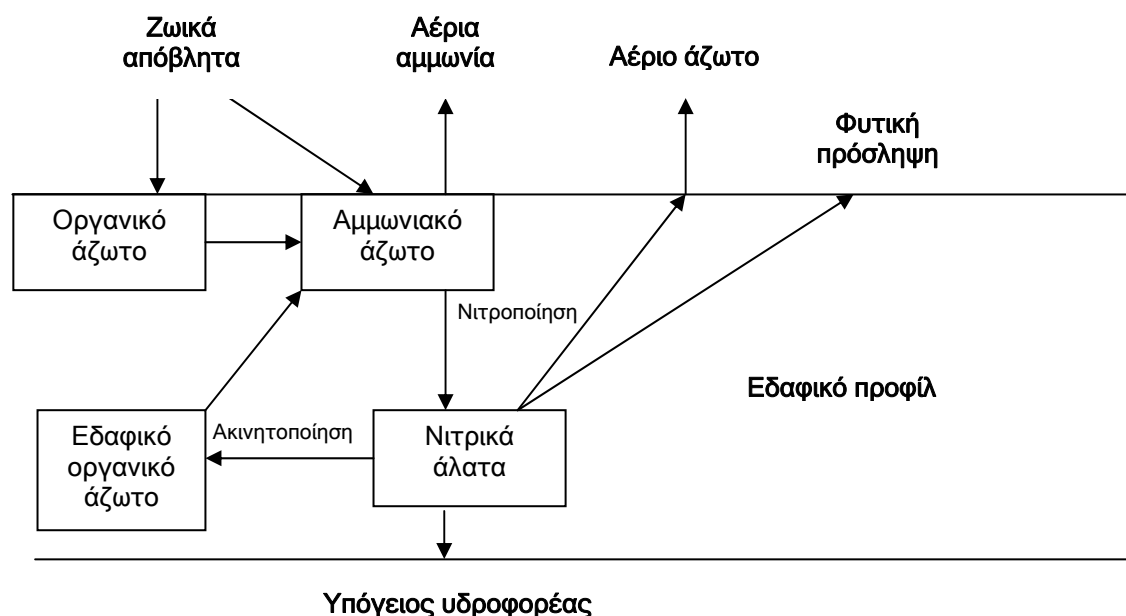
Η μεταφορά μέσα στο έδαφος περιλαμβάνει τις διεργασίες της προσρόφησης, της απορρόφησης, της οξείδωσης και της αποσύνθεσης. Τέλος, οι ρυπαντές μπορεί να διεισδύσουν στον υπόγειο υδροφόρα τότε και να προκαλέσουν μακροχρόνια υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Πρέπει να σημειωθεί πως κατά τη διαδικασία της μεταφοράς, οι ρυπαντές υπάγονται σε πληθώρα διεργασιών που διαφοροποιούν τη μορφή με την οποία τελικά εισέρχονται στον υδατικό αποδέκτη σε σχέση με την αρχική τους.

Όσο αφορά τα θρεπτικά συστατικά, το άζωτο (N) εισέρχεται στους υδατικούς αποδέκτες σαν ανόργανο νιτρικά, νιτρώδη άλατα και αμμωνία και σε διάφορες οργανικές μορφές (Σχ. 2.4). Τα νιτρικά άλατα είναι ιδιαίτερα διαλυτά και για αυτό αποτελούν και την κυρίαρχη μορφή που απαντάται το άζωτο στα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η εισροή του στους υδατικούς αποδέκτες εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η χρήση γης, ο τύπος εδάφους, οι κλιματικές συνθήκες, ο ρυθμός εφαρμογής λιπασμάτων, κ.ά. Η διαδικασία της ορυκτοποίησης από βακτήρια του εδάφους, που διευκολύνει τη μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμώνιο κι έπειτα σε νιτρικά άλατα, είναι η κύρια διεργασία που καθορίζει τα επίπεδα του διαθέσιμου προς πρόσληψη στα φυτά αζώτου και τι περισσεύει και υπόκειται σε διαρροή (leaching).



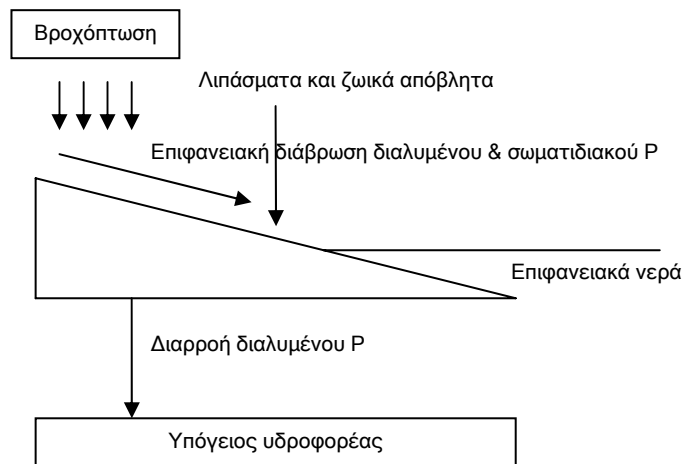
Σχήμα 2.4 Μηχανισμοί μεταφοράς των νιτρικών αλάτων

Το οργανικό άζωτο φτάνει συνήθως στους υδατικούς αποδέκτες μέσω επιφανειακής απορροής, μετά από επεισόδια έντονης βροχόπτωσης ή μετά από εναπόθεση ζωικών αποβλήτων (Σχ. 2.5). Τέλος, η ύπαρξη νιτρικών αλάτων και αμμωνίας στα υδατικά συστήματα είναι ενδεικτική της ελλειπούς οξυγόνωσης των νερών και παρουσιάζεται συνήθως σε περιπτώσεις ρύπανσης από οργανική ύλη, όπως τα αστικά ή κτηνοτροφικά απόβλητα.



Σχήμα 2.5 Μηχανισμοί μεταφοράς του οργανικού αζώτου

Η μεταφορά του φωσφόρου στα επιφανειακά ή στα υπόγεια νερά σχετίζεται κυρίως με την οργανική ύλη (Σχ. 2.6). Η διάβρωση του εδάφους από το νερό και η επιφανειακή απορροή αποτελούν τους δύο κυρίαρχους μηχανισμούς με τους οποίους ο φώσφορος απομακρύνεται από τη γη (MAFF, 1998) και για αυτό η απομάκρυνση του παρουσιάζει μέγιστο κατά τους χειμερινούς μήνες. Έτσι, σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα ο φώσφορος καταλήγει στους υδατικούς αποδέκτες σχετικά γρήγορα. Η ικανότητα του φωσφόρου να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται από το χρόνο διατήρησης του στα φέροντα νερά. Στις λίμνες, η κατακράτηση του είναι υψηλή εξαιτίας των μεγάλων ρυθμών εναπόθεσης ιζήματος. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει στα παράκτια συστήματα, ενώ στα ποτάμια εξαρτάται από την ένταση της παροχής.



Σχήμα 2.6 Μηχανισμοί μεταφοράς των φωσφορικών αλάτων

Η Μαύρη Θάλασσα, η Αδριατική, η Βόρεια Θάλασσα και ο κόλπος του Μεξικού είναι παραδείγματα ορισμένων μεγάλων υδατικών αποδεκτών που έχουν επηρεαστεί από ευρύτερη ή διασυννοριακή διάχυτη ρύπανση. Αυτοί οι υδατικοί αποδέκτες παρουσιάζουν ένα κοινό χαρακτηριστικό : η υποβάθμιση τους οφείλεται κατά κύριο λόγο στις υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών από τις γεωργικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εκατοντάδες ή και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά τους και που καταλήγουν σε αυτούς μέσω των μεγάλων ποταμών Δούναβη, Δον, Πο και Μισισισιπί (Novotny, 2003). Συγκεκριμένα για τον ποταμό Δούναβη (λεκάνη απορροής 802,890 km²) έχει προσδιοριστεί πως το 80% του αζώτου και το 58% του φωσφόρου έχει προέλευση από μη σημειακές πηγές (Schreiber et al. 2003).

Στη Μ.Βρετανία το 46% του μήκους των ποταμών της χώρας και το 45% των υπόγειων νερών απειλούνται ή εικάζεται πως απειλούνται από μη σημειακές πηγές νιτρικών, ενώ το 39% του μήκους των ποταμών και το 12% των υπογείων νερών απειλούνται από φωσφορικά (Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2004). Ενώ στις Η.Π.Α. είναι αποδεδειγμένο πως οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών στα ποτάμια και στα υπόγεια νερά συναντώνται στις γεωργικές περιοχές (US Geological Survey, 1999), έχουν δηλαδή μη σημειακό χαρακτήρα.

Αν και τα τελευταία 30 χρόνια έχει εντοπιστεί το πρόβλημα της διάχυτης ρύπανσης και έχουν γίνει προσπάθειες αντιμετώπισης του, δεν έχουν παρουσιαστεί κάποια σημαντικά αποτελέσματα, ειδικά στις περιπτώσεις ρύπανσης ευρείας κλίμακας. Στο ερώτημα αν τελικά η κατάσταση είναι αντιστρεπτή με τη μείωση ή και διακοπή των θρεπτικών

συστατικών, μια πρόσφατη μελέτη στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης έδειξε πως μέχρι στιγμής κάτι τέτοιο δε διαφαίνεται. Πιο συγκεκριμένα οι δραματικές πολιτικές αλλαγές του 1989, οδήγησαν σε μείωση των αγορών λιπασμάτων της Τσεχίας κατά 15 φορές και στη συρρίκνωση της ζωικής παραγωγής κατά 4 φορές. Αυτή η σημαντική μείωση στη χρήση λιπασμάτων δεν επηρέασε τη σοδειά στη λεκάνη απορροής που μελετήθηκε (Holas et al., 2002). Μάλιστα, στο διάστημα αυτό των 5 έως 10 ετών που έχει μεσολαβήσει, δεν έχουν παρατηρηθεί οι αναμενόμενες μειώσεις στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στους υδατικούς αποδέκτες (Stalnacke, 2003).

Το γεγονός αυτό, τονίζει την ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, έτσι ώστε να μη χρειαστεί να επιδεινωθεί η κατάσταση τόσο ώστε να είναι δύσκολη ή ακατόρθωτη η αποκατάσταση ενός υδατικού συστήματος. Τα περιβαλλοντικά μοντέλα είναι πλέον σε θέση μέσω των εκτιμήσεων τους να βοηθήσουν στην οργάνωση της σωστής διαχείρισης των φυσικών πόρων.

Γ. Μοντέλα προσομοίωσης περιβαλλοντικών συστημάτων – Το μοντέλο WASP

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιλογή ενός μοντέλου εξαρτάται από τη φύση της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί . Οι τρεις θεμελιώδεις λόγοι χρήσης των μοντέλων είναι (Jorgensen, 1994) :

- ❖ Η ανάγκη για καλύτερη κατανόηση και ποσοτικοποίηση των μηχανισμών που παρατηρούμε στη φύση, ειδικά όσων έχουν να κάνουν με τη μεταφορά και μεταβολή ρυπαντικών ουσιών.
- ❖ Ο προσδιορισμός του μεγέθους της μέχρι τώρα έκθεσης των ζώντων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, στη μόλυνση .
- ❖ Η δυνατότητα πρόβλεψης των μελλοντικών συνθηκών με τη χρήση διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης, έτσι ώστε να μπορούν να συγκριθούν οι εναλλακτικές δυνατότητες σαν επιλογές διαχείρισης και σχεδιασμού.

Μέσα από αυτούς τους τρεις λόγους μπορούμε να προσδιορίσουμε και τη γενικότερη χρησιμότητα των περιβαλλοντικών μοντέλων. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται σαν εργαλεία επιστημονικής έρευνας, για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των ιδιοτήτων ενός φυσικού συστήματος και σαν εργαλεία περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Η περίπτωση της ποιοτικής αξιολόγησης περιλαμβάνει τον σαφή προσδιορισμό της σημερινής κατάστασης βάσει των μεταβολών που έχουν συμβεί στο παρελθόν και να είναι σε θέση να προβλέψει τη μελλοντική εξέλιξη της ελαχιστοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερο την αβεβαιότητα.

Η πιο χρήσιμη όμως χρήση των μοντέλων είναι σαν εργαλείο διαχείρισης και σχεδιασμού. Η πλευρά αυτή των μοντέλων συνδέεται άμεσα με τα πλαίσια ανάλυσης DPSIR και LOICZ Basins και είναι η πιο περίπλοκη γιατί όπως αναφέραμε στην εισαγωγή πέρα από τις διεργασίες που απαντώνται στη φύση, επιδιώκουμε την περιγραφή της παρέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα με οικονομικούς και κοινωνικούς όρους. Τα περιβαλλοντικά μοντέλα μέχρι στιγμής έχουν βρει εφαρμογή μόνο στο κομμάτι της κατάστρωσης της στρατηγικής που περιλαμβάνει την ποιοτική

αξιολόγηση και την πρόβλεψη μελλοντικών σεναρίων για την εφαρμογή πιθανών πολιτικών.

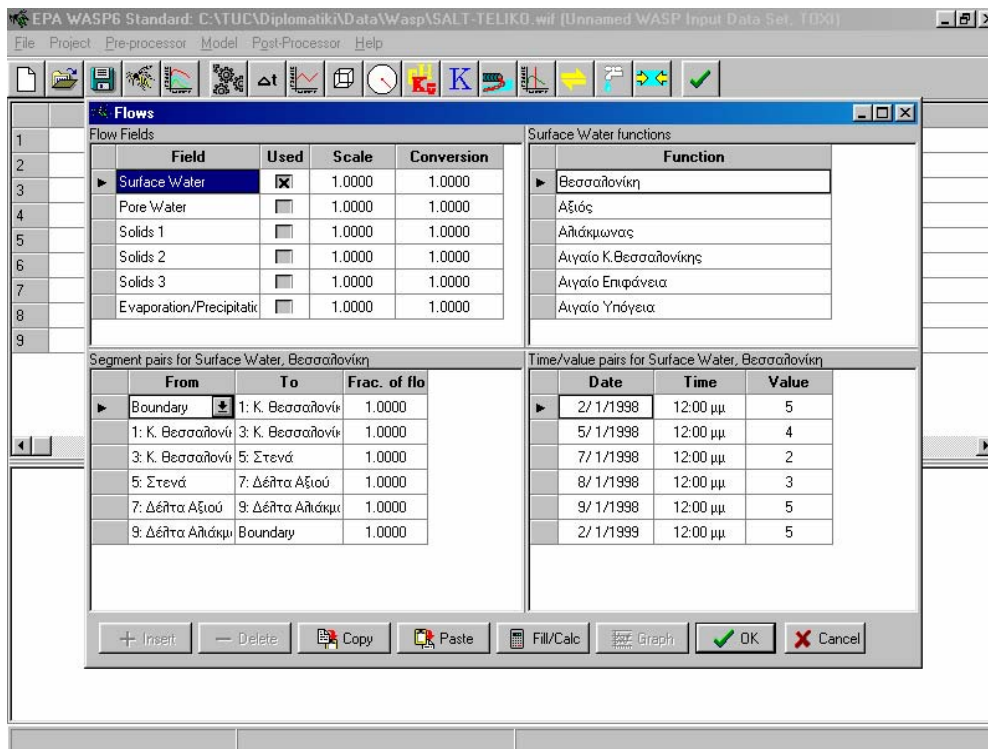
Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται WASP, από τα αρχικά των λέξεων Water quality Analysis Simulation Program, που σημαίνουν «Πρόγραμμα Εξομοίωσης για την Ανάλυση της Ποιότητας Νερών» (Wool et al. 2001). Η πρώτη του έκδοση, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του `70 για λογαριασμό του Υπουργείου Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών και πλέον στην έκτη έκδοση του αξιοποιεί τη σύγχρονη υπολογιστική τεχνολογία όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Από τότε μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά υδατικά οικοσυστήματα, με κυριότερα αυτά των Μεγάλων Λιμνών και των εκβολών των ποταμών Potomac, James, Delaware, Deep εξομοιώνοντας τη ρύπανση λόγω ευτροφισμού, PCB, πτητικών οργανικών και βαρέων μετάλλων (Lee et al. 1999, Rygwelski et al. 1999, Yosler et al. 1999, Gattie et al. 2001, Wool et al. 2001, D.C. Department of Health 2003, Triangle et al. 2003, Stansbury et al. 2004, USEPA 2004). Το ευρύ φάσμα εφαρμογών αντανακλά την ευελιξία του μοντέλου, που μαζί με την απλότητα στη χρήση, αποτελούν τους δύο κύριους λόγους της επιλογής του.



Σχήμα 2.7 Εισαγωγική Οθόνη του Μοντέλου WASP6 (WASP 6.0, 2001)

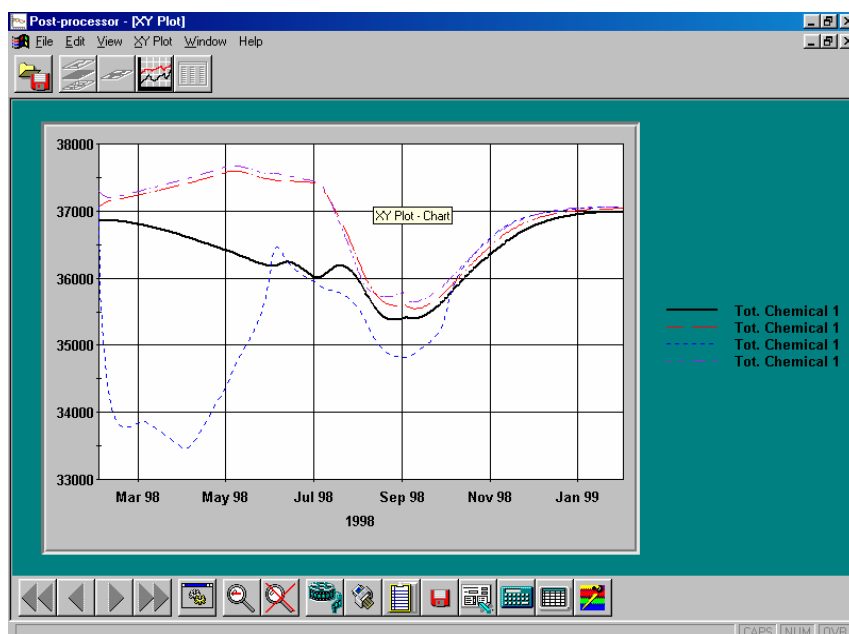
Το πρόγραμμα αποτελείται ουσιαστικά από δύο κύρια υποπρογράμματα, το DYNHYD και το WASP (Wool et al. 2001). Το πρώτο περιλαμβάνει το υδροδυναμικό «πακέτο» εξισώσεων που προσομοιώνει την κίνηση του νερού και το δεύτερο είναι το αυτό καθαυτό μοντέλο ποιότητας του νερού, αφού περιγράφει την κίνηση και την αλληλεπίδραση των ρυπαντών μέσα στο νερό. Λόγω του μεγάλου εύρους των ρυπαντών το υποπρόγραμμα αυτό χωρίζεται σε δυο κινητικά υπομοντέλα που περιγράφουν ξεχωριστά τις δύο βασικές κατηγορίες ρύπανσης : τη συμβατική ρύπανση (διαλυμένο οξυγόνο, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, θρεπτικά και ευτροφισμό) και την τοξική ρύπανση (οργανικά χημικά, βαρέα μέταλλα και ιζήματα).

Τα υπομοντέλα αυτά ονομάζονται EUTRO και TOXI αντίστοιχα. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η διατήρηση της μάζας. Τόσο η μάζα του νερού όσο και των μετρούμενων χαρακτηριστικών ποιότητας που μελετώνται μετρούνται στο χρόνο και το χώρο με τη χρήση μιας σειράς εξισώσεων διατήρησης της μάζας. Το ίδιο ισχύει και σε γενικές γραμμές για το υδροδυναμικό πρόγραμμα που επιπλέον διατηρεί την ορμή και την ενέργεια. Τέλος χαρακτηρίζεται σαν ντετερμινιστικό δυναμικό μοντέλο με διαγνωστικό και διαχειριστικό χαρακτήρα.



Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστική εικόνα του περιβάλλοντος εργασίας (WASP 6.0, 2001)

Τα βήματα που ακολουθεί ο χρήστης για να μπορέσει να θέσει σε λειτουργία το μοντέλο ξεκινούν με τον καθορισμό του υπομοντέλου που θα χρησιμοποιήσουμε (EUTRO - TOXI), τη χρονική περίοδο και το χρονικό βήμα που θα γίνονται οι υπολογισμοί. Ακολουθεί η «διαμερισματοποίηση» της περιοχής μελέτης, δηλαδή η διαίρεση της σε μικρότερες με σκοπό τη διαφοροποίηση των παραμέτρων και μεταβλητών στο χώρο. Κατόπιν πραγματοποιείται η επιλογή των συστημάτων που θα εξομοιωθούν. Για παράδειγμα, αν στόχος της μοντελοποίησης είναι απλά η ανάλυση της διακύμανσης του διαλυμένου οξυγόνου, αποφεύγεται η προσομοίωση των μεταβολών του φωσφόρου και του αζώτου, γλιτώνοντας έτσι χρόνο και όγκο δεδομένων. Ακολουθεί ο καθορισμός των σταθερών παραμέτρων, και των μεταβλητών συντελεστών διασποράς και τελικά εισάγονται τα δεδομένα που περιλαμβάνουν αρχικές και οριακές συνθήκες, τα φορτία που εισέρχονται στο σύστημα και τις ροές του νερού τόσο ποσοτικά (αριθμητικά), όσο και ποιοτικά (τον τρόπο με τον οποίο χωρίζονται από διαμέρισμα σε διαμέρισμα). Αφού το μοντέλο εκτελεσθεί, γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων στη μορφή γραφικών παραστάσεων.



Σχήμα 2.9 Το πρόγραμμα επεξεργασίας των αποτελεσμάτων (WASP 6.0, 2001)

Η βασική εξίσωση, που χρησιμοποιείται από το μοντέλο, είναι αυτή της διατήρησης της μάζας που για κάποια διαλυμένα συστατικά σε ένα δεδομένο

όγκο ελέγχου νερού. Περιλαμβάνει τη μάζα που εισέρχεται και εξέρχεται μέσω σημειακής ή διάχυτης φόρτισης, συμμεταφοράς ή διασποράς, ή μεταβάλλεται λόγω φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Αυτό σε ένα στοιχειώδη τρισδιάστατο χώρο μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) + S_L + S_B + S_K$$

όπου,

C η συγκέντρωση της παραμέτρου ποιότητας νερού

t ο χρόνος

U_x, U_y, U_z οι ταχύτητες συμμεταφοράς στις τρεις διαστάσεις

E_x, E_y, E_z οι συντελεστές διασποράς στις τρεις διαστάσεις

S_L ο ρυθμός φόρτισης από σημειακές και διάχυτες πηγές

S_B ο ρυθμός φόρτισης λόγω των οριακών συνθηκών

S_K ο ολικός ρυθμός μετατροπής από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες

Περνώντας τώρα από το στοιχειώδη τρισδιάστατο χώρο στα διαμερίσματα που αναφερθήκαμε παραπάνω μπορούμε να εκφράσουμε τη μεταφορά, τη φόρτιση και τη μετατροπή με τη μέθοδο των διακριτών διαφορών. Για παράδειγμα σε μια μονοδιάστατη αλληλουχία διαμερισμάτων με την παραδοχή της ομοιογένειας στους άξονες y και z θα έχουμε

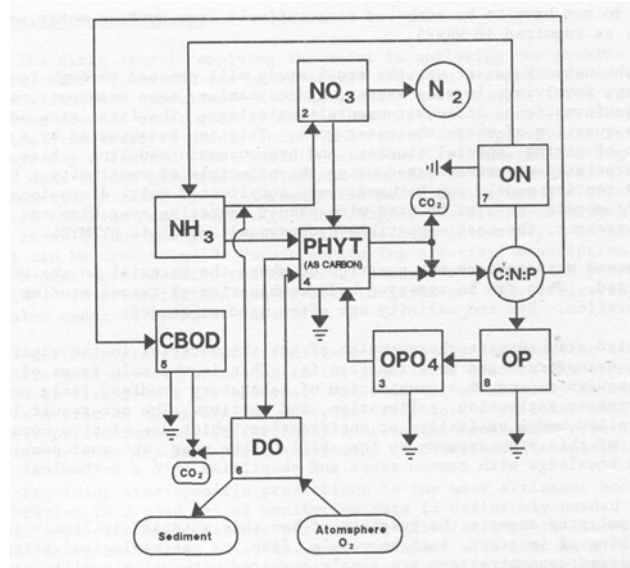
$$\frac{\partial}{\partial t}(A \cdot C) = \frac{\partial}{\partial x}(-U_x \cdot A \cdot C + E_x \cdot A \cdot \frac{\partial C}{\partial x}) + A \cdot (S_L + S_B) + A \cdot S_K,$$

με A τη επιφάνεια επαφής των δύο διαμερισμάτων.

Σε αυτή τη συνηθισμένη απλούστευση, που εκφράζει τους τρεις βασικούς όρους των διεργασιών, εφαρμόζεται η προσέγγιση του Euler και απλοποιούνται τα διαφορικά. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα του διαχωρίσμού του σύστημα σε μικρότερα διαμερίσματα, αρκεί αυτά να είναι

σε θέση να παρουσιάσουν την απαραίτητη ομοιογένεια που θα εξασφαλίσει αξιοπιστία στις απλουστεύσεις των μαθηματικών σχέσεων.

Όσον αφορά τώρα το επίπεδο του ευτροφισμού υπάρχουν αρκετές φυσικο-χημικές διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά και την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα θρεπτικά, το φυτοπλαγκτόν, τα οργανικά υλικά, το διαλυμένο οξυγόνο και το υδατικό περιβάλλον. Ο τρόπος με τον οποίο οι κύριες μεταβλητές σχετίζονται στο υπομοντέλο EUTRO, φαίνεται καλύτερα στο Σχήμα 2.3.



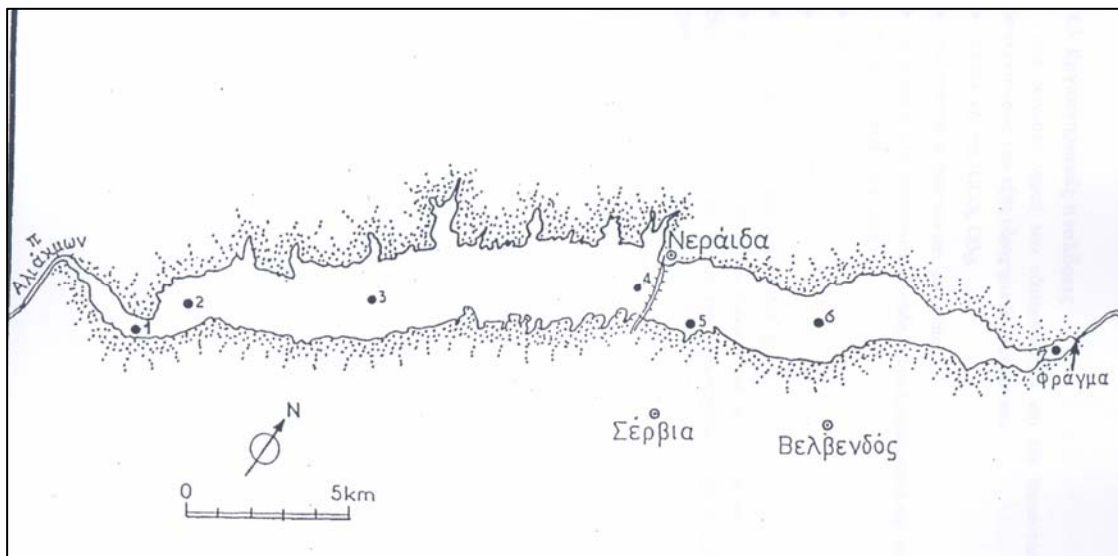
Σχήμα 2.10 Αλληλεπίδραση των Κύριων Μεταβλητών του EUTRO (Wool et. al. 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Με την επιλογή του μοντέλου ξεκινάει η διαδικασία της μοντελοποίησης. Στην περίπτωση του ταμιευτήρα Πολυφύτου, η εργασία μας χωρίζεται στα εξής διακριτά στάδια :

- Η ανάλυση των δεδομένων
- Η διαμερισματοποίηση του συστήματος
- Η βαθμονόμηση των κυρίων σταθερών ευτροφισμού
- Η ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου
- Η ανάλυση αβεβαιότητας του συστήματος
- Η δημιουργία σεναρίων

Ο προσδιορισμός των στόχων κάθε μοντελοποίησης εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια αναλύονται, έτσι ώστε να δώσουν κάποια πρώτα συμπεράσματα για την κατάσταση του συστήματος, αλλά και τις δυνατότητες της μοντελοποίησης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται :



Σχήμα 3.1 Δίκτυο Μετρήσεων ΕΛΚΕΘΕ (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

- Από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών και ειδικότερα από τα Ινστιτούτα Εσωτερικών Υδάτων και Ωκεανογραφίας, μετά από ανάθεση της Διεύθυνσης Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων (ΔΑΥΕ) της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, του ερευνητικού προγράμματος: «Μελέτη Περιβαλλοντικών Μετρήσεων στον Ταμιευτήρα Πολύφυτου».
- Από το Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης, στα πλαίσια της παρακολούθησης των φυσικοχημικών μεταβλητών των εσωτερικών υδάτων της χώρας.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος του ΕΛΚΕΘΕ λήφθηκαν εποχιακές μετρήσεις για έναν ετήσιο κύκλο (Ιούλιος 1996 - Μάρτιος 1997 - Σεπτέμβριος 1997). Οι 7 σταθμοί μέτρησης, οι οποίοι επιλέχθηκαν ήταν κατά σειρά οι εξής (Σχ. 3.1):

1. Είσοδος Αλιάκμονα
2. Ρύμνιο
3. Αυλές
4. Νεράιδα
5. Σέρβια
6. Βελβενδός
7. Πολύφυτος

Η δειγματοληψία περιλάμβανε την επιτόπου μέτρηση της θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο και θολερότητα από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα με το όργανο CTD και τη μετέπειτα εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων σε αλκαλικότητα (HCO_3^- , CO_3^{2-}), σκληρότητα ασβεστίου και μαγνησίου, θρεπτικά άλατα φωσφορικά, νιτρώδη, νιτρικά, αμμωνιακά και πυριτικά (P-PO_4^{3-} , N-NO_2^- , N-NO_3^- , N-NH_4^+ και SiO_2), θειικά ιόντα (SO_4^{2-}), ιόντα χλωρίου (Cl^-) ιόντα καλίου (K^+) και νατρίου (Na^+). Για την παροχή και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ποταμού Αλιάκμονα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης (<http://www.minagric.gr/>, 2000).

Η ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνει τον υπολογισμό των μέσων όρων πενταετίας (moving average) για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στον ταμιευτήρα, ο προσδιορισμός του περιοριστικού παράγοντα σύμφωνα με το λόγο N/P και την κατάταξη τροφικής κατάστασης σύμφωνα με τους

δείκτες της EPA. Επίσης υπολογίζονται μέση όροι και τυπικές αποκλίσεις για τα δεδομένα των εποχιακών μετρήσεων του ΕΛΚΕΘΕ και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης. Τέλος γίνεται μια εκτίμηση του ρυπαντικού φορτίου που καταλήγει στη λίμνη με τη χρήση του μοντέλου του Dillon.

Η διαμερισματοποίηση πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη του συστήματος μας, έτσι ώστε να περιγράφεται η ετερογένεια του χωρίς όμως να καταλήγουμε σε υπερβολές που θα μας κοστίσουν σε αύξηση του υπολογιστικού χρόνου. Έτσι μετά την προκαταρκτική ανάλυση, διαχωρίζονται οι περιοχές που εμφανίζουν κάποια ομοιογένεια. Ένας καλός δείκτης που είναι η θερμοκρασία των υδάτων. Μία αποτελεσματική μέθοδος είναι ο διαχωρισμός της λίμνης σε διαμερίσματα που θα παρουσιάζουν κοινή θερμοκρασία για τις τρεις διαφορετικές περιόδους δειγματοληψίας (ή τουλάχιστον δεν θα παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις).

Εκτός όμως από το ότι τα διαμερίσματα πρέπει να οριοθετούνται έτσι ώστε να ξεχωρίζουν περιοχές με κοινά χαρακτηριστικά στην ποιότητα νερού πρέπει ακόμα να διευκολύνουν το μοντέλο, έτσι ώστε τα τελικά αποτελέσματα να μπορούν να δώσουν την σωστή εικόνα της κατάστασης. Με άλλα λόγια όσο πιο καλά προβλεφθούν εκ των προτέρων τα αποτελέσματα που θα δώσει το μοντέλο τόσο πιο εύκολος είναι ο ορισμός διαμερισμάτων που να παρουσιάζουν τις διαφοροποιήσεις που υφίστανται και στο πεδίο.

Μετά την ολοκλήρωση της διαμερισματοποίησης ακολουθεί η βαθμονόμηση του μοντέλου για τα θρεπτικά. Βασικός στόχος είναι η βελτιστοποίηση της εκτίμησης των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν. Κάποιες από αυτές μπορούν να βρεθούν από τη βιβλιογραφία, όχι βεβαίως σαν ακριβείς τιμές αλλά σαν μέσες τιμές ή διαστήματα. Αν δεν υπάρχουν τότε πρέπει να εκτιμηθούν πειραματικά ή θεωρητικά, πράγμα που προϋποθέτει τη γνώση κάποιων τεκμηριωμένων μεθόδων εκτίμησης παραμέτρων. Ακόμη όμως κι όταν όλες οι τιμές είναι γνωστές, είτε από τη βιβλιογραφία είτε μέσω εκτιμήσεων, η βαθμονόμηση του μοντέλου με διάφορες ομάδες παραμέτρων, συγκρίνοντας τα τελικά αποτελέσματα με τις μετρήσεις στο πεδίο, είναι απαραίτητη. Στο τέλος επιλέγεται, εκείνη η ομάδα

παραμέτρων που θα κάνει το μοντέλο να δώσει αποτελέσματα πλησιέστερα σε αυτά που μετρήθηκαν στο πεδίο.

Για τον έλεγχο των της αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται στατιστικά εργαλεία όπως η Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Square Error), το οποίο ορίζεται από τη σχέση :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ob} - x_{exp})^2}{n}}$$

όπου x_{ob} η παρατηρούμενη τιμή και x_{exp} η προβλεπόμενη τιμή για συνολικά n τιμές. Ακόμα ελέγχουμε το συνολικό αριθμό των προβλεπόμενων τιμών που βρίσκονται εντός μίας τυπικής απόκλισης και υπολογίζουμε και το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης.

Γενικότερα, πριν ξεκινήσει τη διαδικασία της βαθμονόμησης, θα πρέπει να έχουν ελαχιστοποιηθεί οι αβεβαιότητες όσο το δυνατόν περισσότερο. Για να γίνει αυτό εφικτό είναι αναγκαία η προσεχτική επεξεργασία των δεδομένων του πεδίου και η εκτενής αναζήτηση στη σύγχρονη κυρίως βιβλιογραφία. Μόνο η σωστή βαθμονόμηση του μοντέλου οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα και τελικά σε χρήσιμα συμπεράσματα.

Η ανάλυση ευαισθησίας περιλαμβάνει την αυξομοίωση των σημαντικότερων σταθερών του συστήματος έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ευαισθησία τους. Η σύγκριση τους γίνεται βάση του συντελεστή ευαισθησίας που ορίζεται από την σχέση :

$$S_i = \left| \frac{\frac{\Delta O_k}{O_k}}{\frac{\Delta Y_i}{Y_i}} \right|$$

όπου Y_i η τιμή της σταθεράς i ,
 ΔY_i η μεταβολή της σταθεράς i ,
 O_i η τιμή της μεταβλητής k και
 ΔO_k η μεταβολή της k .

Ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας του συστήματος γίνεται με χρήση της μεθοδολογίας προσομοίωσης Monte-Carlo. Η προσομοίωση αυτή περιλαμβάνει την τυχαία αύξηση της παραμέτρου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα (π.χ. φορτίο φωσφορικών αλάτων) μέχρι 50% της αρχικής τιμής για έναν αριθμό επαναλήψεων λειτουργίας του μοντέλου. Έτσι παρατηρείται το διάστημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Το τελικό στάδιο της μοντελοποίησης περιλαμβάνει τη δημιουργία σεναρίων μεταβολής της τροφικής κατάστασης. Σε αυτό το στάδιο, αφ'ενός ελέγχεται η συνολική εργασία εξετάζοντας τα αποτελέσματα που μας προσφέρει το μοντέλο για μεταβολές των φορτίων και αφ'ετέρου εκτιμάται η ευαισθησία του ταμιευτήρα Πολυφύτου σε κάθε μία από τις πιέσεις που δέχεται το σύστημα. Τα σενάρια που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

- Business as usual : Σταθερή ανάπτυξη εικοσαετίας
- Policy Target : Στόχος η μεσοτροφική κατάσταση του ταμιευτήρα.
- Deep Green : Στόχος η ολιγοτροφική κατάσταση του ταμιευτήρα.

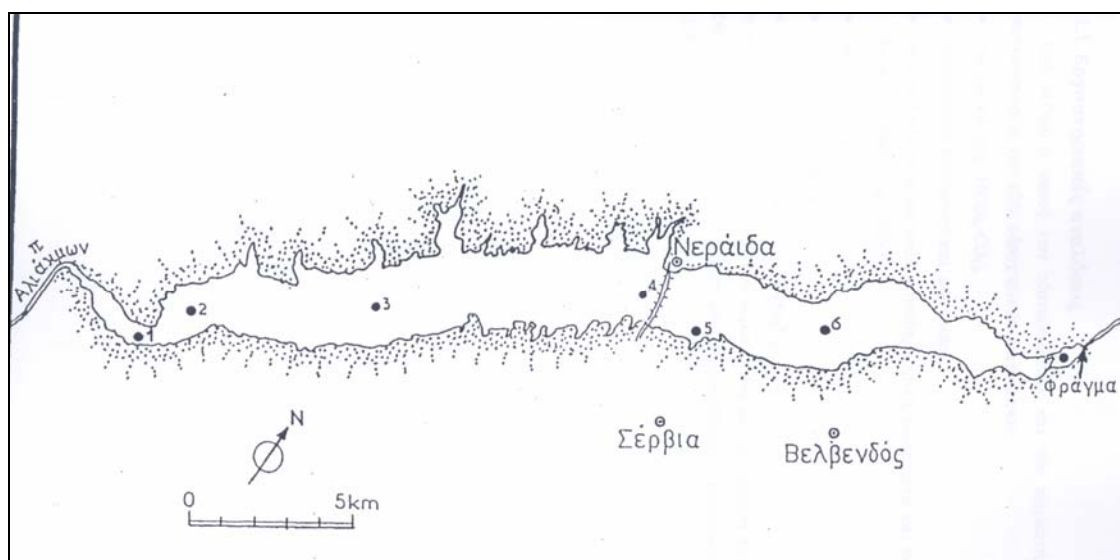
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

A. Ο ταμιευτήρας του Πολυφύτου και η ευρύτερη λεκάνη απορροής του

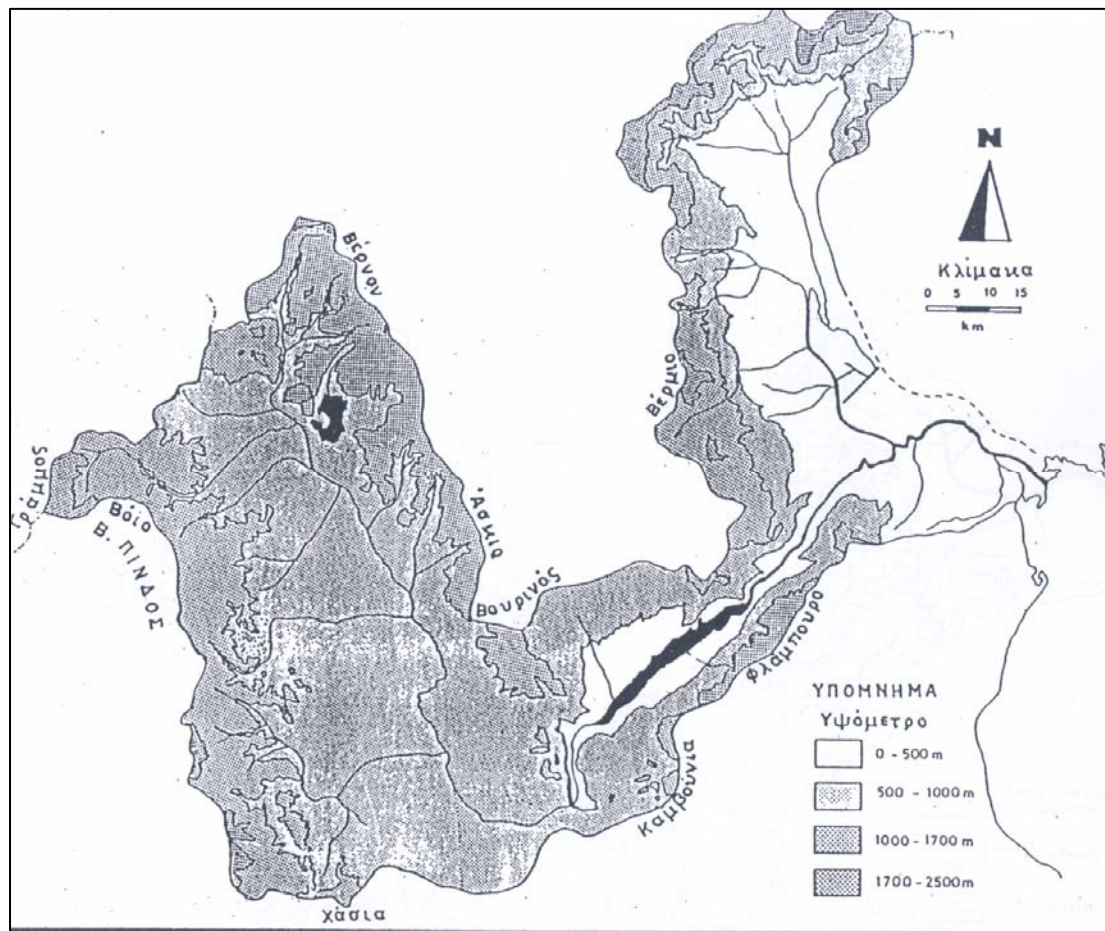
Ο ταμιευτήρας του Πολύφυτου δημιουργήθηκε στο Νομό Κοζάνης το 1973, όταν κατασκευάστηκε το ομώνυμο φράγμα στον ποταμό Αλιάκμονα, με σκοπό την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Έχει μήκος περίπου 30km και εκτείνεται από την περιοχή του Ρύμνιου μέχρι το φράγμα του Πολύφυτου. Το μέγιστο βάθος του έχει μετρηθεί στα 91m και ο μέγιστος όγκος του υπολογίζεται στα 1,940 km³. Ο ταμιευτήρας παρουσιάζει μέγιστη κατακλυζόμενη επιφάνεια περίπου 74 Km², στο υψόμετρο +293 m όταν παρατηρείται μέγιστη στάθμη πλημμύρας. Η στάθμη του που μπορεί όμως να φτάσει και μέχρι το υψόμετρο +271m, εξ' αιτίας της λειτουργίας του υδροηλεκτρικού σταθμού και του γενικότερου υδρολογικού καθεστώτος της ευρύτερης περιοχής.

Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα έχει συνολική έκταση 5.630km² και παρουσιάζει τοξοειδή σχηματισμό, με σχετικά υψηλό ανάγλυφο. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης οριοθετείται από τις νότιες παρυφές του Βερμίου προς βορρά και από τα Πιέρια προς νότο. Κατά μήκος της κοίλης πλευράς της λεκάνης απορροής εκτείνονται, από βορειοδυτικά προς νοτιανατολικά, η οροσειρά του Βέρνου και του Άσκιου και το όρος Βούρινος. Το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης ορίζεται από το Τρικάλιο όρος



Σχήμα 4.1 Η λίμνη Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

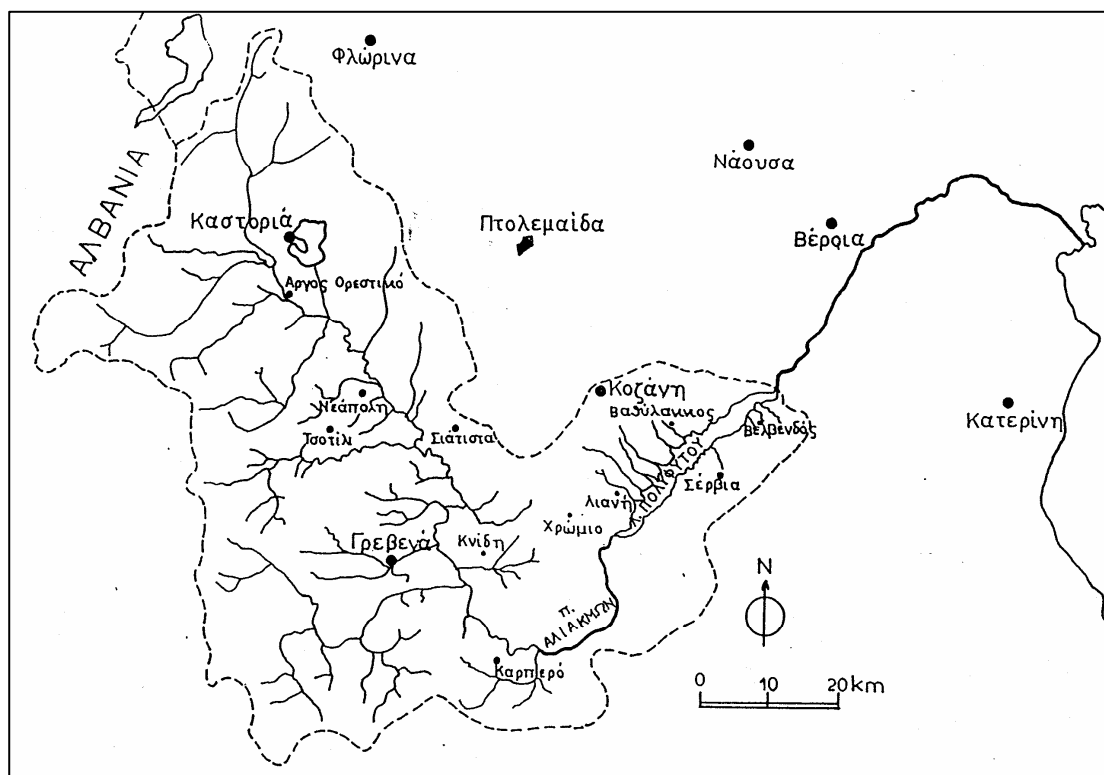
Στο δυτικό όριο της λεκάνης υψώνονται, από βορρά προς νότο, τα όρη Γράμμος και Σμόλικας και οι ανατολικές παρυφές της βόρειας Πίνδου. Η νότια πλευρά της λεκάνης οριοθετείται από τα όρη Χάσια και Καμβούνια. Η λεκάνη απορροής βρίσκεται μεταξύ των ισοϋψών των 500 και 1700m (Σχ. 4.2), αν και το τμήμα της λεκάνης απορροής, που βρίσκεται στις περιοχές των κορυφογραμμών των οροσειρών της Β. Πίνδου και του Βέρνου, υπερβαίνει τα 1700m, ενώ η περιοχή γύρω από τη λίμνη βρίσκεται χαμηλότερα από την ισοϋψή των 500m.



Σχήμα 4.2 Υψόμετρο λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Η μέση ετήσια απορροή της λεκάνης απορροής κυμαίνεται γύρω στα $1,5\text{km}^3$ νερού. Η λεκάνη περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των επαρχιών Κοζάνης και Βόιου του Νομού Κοζάνης καθώς και ολόκληρους τους Νομούς Καστοριάς και Γρεβενών. Το μεγαλύτερο μέρος των νερών της λεκάνης που προέρχεται από τους νομούς Καστοριάς και Γρεβενών έχει συνολική έκταση 4.450km^2 και συγκεντρώνεται από τον ποταμό Αλιάκμονα και τους παραποτάμους του, ενώ το υπόλοιπο, συνολικής έκτασης 1.180 km^2 ,

καταλήγει στη λίμνη μέσω χειμάρρων που βρίσκονται γύρω από τη λίμνη. Οι χείμαρροι αυτοί δεν έχουν συνεχή παροχή νερού, αλλά εποχιακή που διαρκεί μόνο κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων και μεταφέρουν τα λύματα και τις απορροές της γεωργικής γης και των αστικών περιοχών που βρίσκονται στον περίγυρο της λίμνης μέσα σ' αυτή.



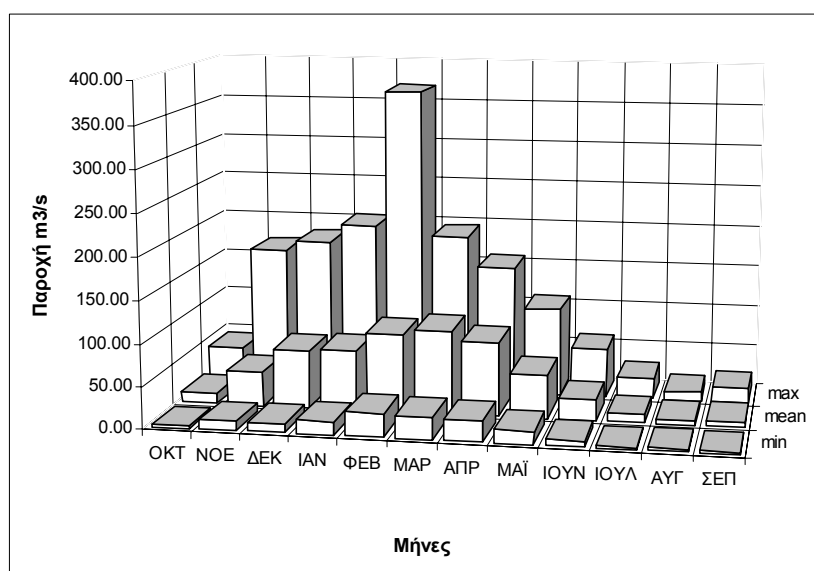
Σχήμα 4.3 Όρια λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Ο κύριος τροφοδότης του ταμιευτήρα Πολυφύτου με νερό και διαλυμένα συστατικά είναι ο ποταμός Αλιάκμονας, που είναι και ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός της χώρας (320km). Η παροχή του όμως έχει μειωθεί αισθητά μέσα στη δεκαετία του '90, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης νερού για γεωργικές χρήσεις. Αν και μέχρι το 1988, ο ποταμός Αλιάκμονας συνεισφερε στο ταμιευτήρα κατά μέσο όρο $1,533\text{km}^3$ νερό το χρόνο (ΔΕΗ, Δ/ση Μελετών Κατασκευών ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περιβάλλοντος, περίοδος 1962-88), τα τελευταία χρόνια συνεισφέρει μόλις κατά 160km^3 νερό το χρόνο (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης, 1996-2001).

Από τη μέση μηνιαία διακύμανση της παροχής του (Σχ. 4.4) ο Αλιάκμονας χαρακτηρίζεται, σαν ποταμός χινο-βρόχινο τύπου. Η ανάλυση της παροχής του χωρίζεται σε δύο περιόδους. Η πρώτη περιλαμβάνει την

χρονική περίοδο από το 1962 μέχρι το 1988 και στηρίζεται στα δεδομένα της ΔΕΗ και η δεύτερη περιλαμβάνει τη χρονική περίοδο από το 1996 μέχρι το 2001, με δεδομένα του ΥΠΕΧΩΔΕ. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων στους δυο φορείς είναι αισθητή.

Μέχρι το 1988, η παροχή του ποταμού είναι ελάχιστη κατά τον Αύγουστο ($6\text{m}^3/\text{s}$). Από τον Αύγουστο και μετά η παροχή αυξάνεται και ιδιαίτερα στο διάστημα Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου, για να φθάσει μέγιστες τιμές κατά τον Φεβρουάριο ($94,4\text{m}^3/\text{s}$) και το Μάρτιο ($100,3\text{m}^3/\text{s}$), όταν στο βρόχινο νερό προστίθεται και αυτό που προέρχεται από τη τήξη των χιονιών. Επίσης, η μέση ετήσια παροχή του Αλιάκμονα κατά το διάστημα αυτό παρουσιάζει πτωτική τάση (ΔΕΗ, Δ/ση Μελετών Κατασκευών ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περιβάλλοντος).



Σχήμα 4.4 Μηνιαία μεταβολή της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης παροχής του Αλιάκμονα (Ιλαρίων) για την περίοδο 1962-88 (δεδομένα ΔΕΗ, Δ/ση Μελετών Κατασκευών ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περιβάλλοντος)

Μετά το 1988 και ειδικότερα μετά το 1993, παρουσιάζεται μεγάλη μείωση της παροχής του Αλιάκμονα (βλ. Πίνακα 4.1). Σε γενικές γραμμές παρουσιάζει μέγιστα και ελάχιστα τις ίδιες χρονικές περιόδους, αλλά η μείωση στην παροχή είναι δέκα φορές μικρότερη.

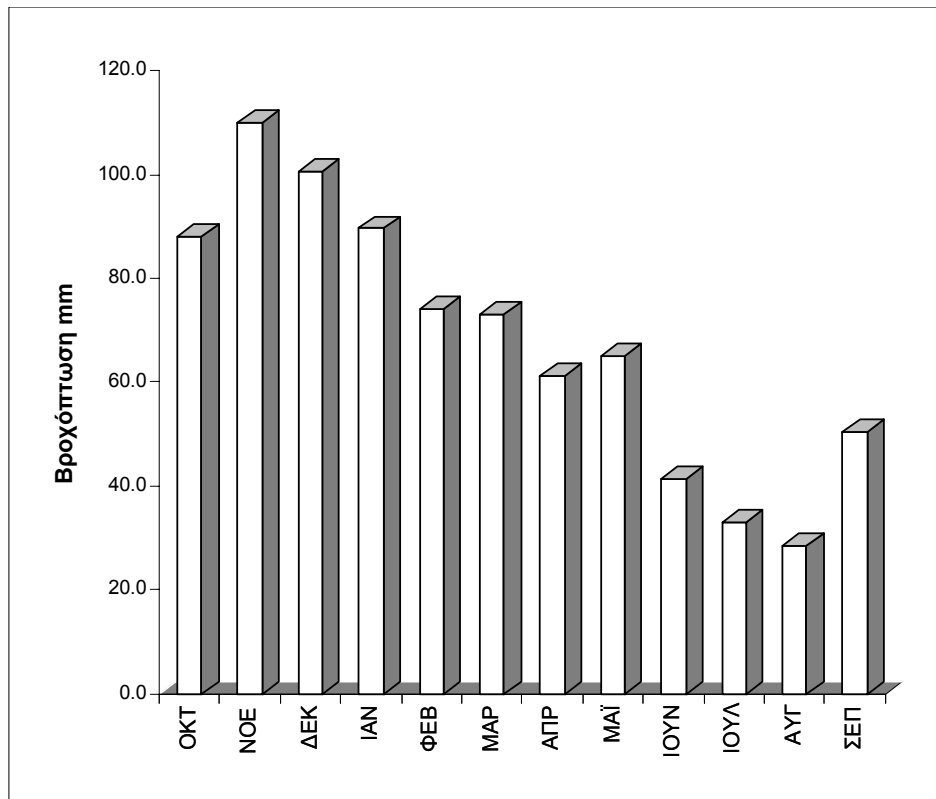
Τα υδατορεύματα που τροφοδοτούν τη λίμνη με νερό και ιζήματα, ασυνεχώς στη διάρκεια του έτους, είναι οι χείμαρροι της Αιανής, της Καισαρειάς, των Σερβίων, του Βελβενδού, ο Πλατανόλακκος, ο Θολόλακος και ο Λάφιστας. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν μηδενική παροχή τους μήνες του έτους, που παρουσιάζουν μικρές ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις

(Αιανής, Θολόλακα, Λάφιστας, Καισαριάς, Βελβενδού), ενώ μόνο το ρέμα των Σερβίων έχει παροχή, σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του έτους.

	30/1	17/2	27/3	22/4	25/5	30/6	31/7	14/8	15/9	27/10	30/11	7/12
Μέσος Όρος	5.83	5.40	8.00	6.67	6.00	3.50	2.83	2.30	2.88	3.67	6.20	6.50
Τυπ. Απόκλιση	1.47	1.14	4.05	1.21	2.19	1.41	0.98	0.67	1.44	0.82	2.49	2.65
Ελάχιστο	4.00	4.00	4.00	5.00	4.00	2.00	2.00	1.50	2.00	3.00	4.00	4.00
Μέγιστο	7.00	7.00	15.00	8.00	10.00	5.00	4.00	3.00	5.00	5.00	10.00	10.00

Πίνακας 4.1 Στατιστικά δεδομένα παροχής Αλιάκμονα (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης, 1996-2001)

Το κλίμα της λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου είναι ηπειρωτικό. Η χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρατηρείται κατά τον Ιανουάριο και υψηλότερη κατά τον Ιούλιο, με 2 και 24,3 °C αντίστοιχα (μετεωρολογικός σταθμός Κοζάνης). Σύμφωνα με τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Αγ. Ιλαρίωνα (Σχ. 4.5) ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Νοέμβριος (110 mm), ενώ ο ξηρότερος ο Αύγουστος 28,4 mm. Πρέπει να σημειωθεί όμως, πως οι μέσες τιμές των σταθμών Νεάπολης, Κοζάνης και Αιανής χαρακτηρίζουν σαν μήνες με τις περισσότερες βροχοπτώσεις το Δεκέμβριο και το Νοέμβριο, με 75 και 70 mm αντίστοιχα, ενώ τον πιο ξηρό μήνα τον Αύγουστο με μόλις 26,4 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 815 mm (μετεωρολογικός σταθμός Ιλαρίωνα, 1950-1981), 594 mm (μετεωρολογικός σταθμός Κοζάνης) και 475,6 mm (μετεωρολογικός σταθμός Πολυφύτου, 1977-1996) ήταν, ενώ το μέσο ύψος βροχής και η μέση εξατμηση για μία αρκετά ξηρή περίοδο (1989-94) ήταν αντίστοιχα 447,5 και 1043 mm. Το Σχ. 4.5 παρουσιάζει τη μέση μηνιαία διακύμανση των βροχοπτώσεων στο μετεωρολογικό σταθμό του Ιλαρίωνα.



Σχήμα 4.5 Βροχομετρικά στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού Αγ. Ιλαρίωνα (υδρολογικά έτη 1950-51 έως 1980-81, ΔΕΗ, Δ/ση Μελετών Κατασκ. ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περ/ος)

B. Ποιοτική κατάσταση των υδάτων του ταμιευτήρα σήμερα

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων του ταμιευτήρα Πολυφύτου που παρουσιάζονται βασίζονται στις εποχιακές μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ για την περίοδο 1996-97 (Ιούλιος 1996, Μάρτιος 1997, Σεπτέμβριος 1997). Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας, ηλεκτροαγωγιμότητας, πυκνότητας, θολερότητας, διαλυμένου οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών.

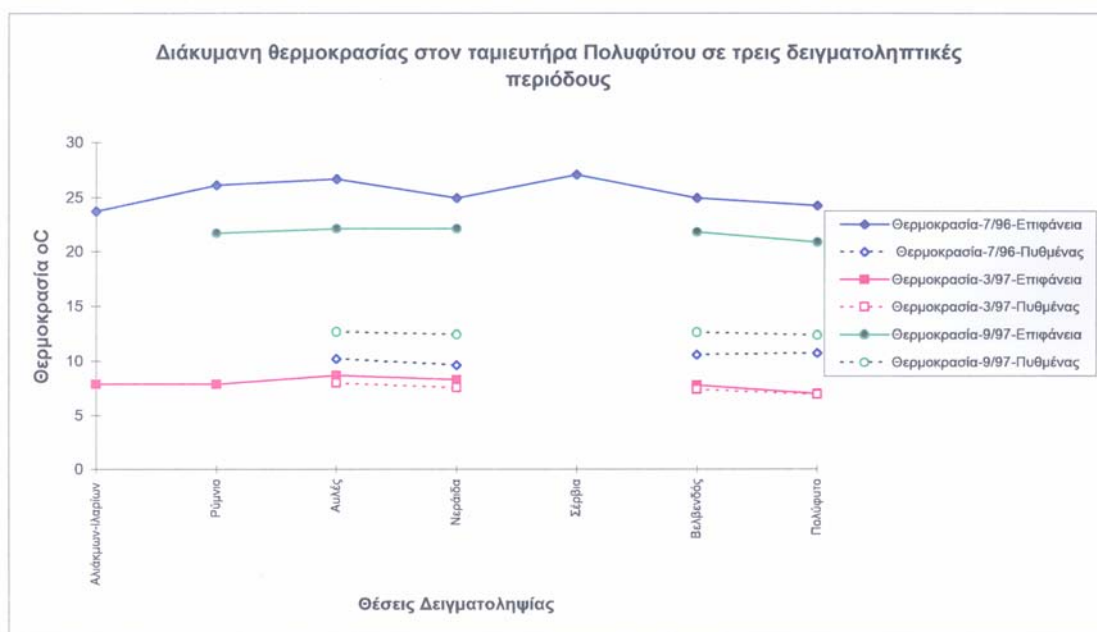
Θερμοκρασία

Η διαμόρφωση της κατακόρυφης στρωματοποίησης των μαζών του νερού σε ένα υδατικό σύστημα καθορίζονται από δύο βασικές παραμέτρους: την αλατότητα και τη θερμοκρασία. Στα λιμναία συστήματα η αλατότητα παραμένει σταθερή σε όλη την έκταση της λίμνης, επομένως η θερμοκρασία θα αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης των υδατινών μαζών.

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν το καθεστώς της θερμοκρασίας στον ταμιευτήρα περιλαμβάνουν τις καιρικές συνθήκες, την εισροή των υδάτων του Αλιάκμονα, τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού, καθώς και τη γενικότερη υδρολογική κατάσταση του ταμιευτήρα. Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται ομογενοποίηση των υδάτων εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών. Κατά την θερινή περίοδο, τα ύδατα της λίμνης θερμαίνονται και αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει αρχικά τα επιφανειακά στρώματα: θα εμφανιστεί ασθενής στρωμάτωση, η οποία σταδιακά γίνεται εντονότερη και τελικά κριαρχεί στο σύστημα. Η στρωμάτωση εμποδίζει τις κατακόρυφες κινήσεις του νερού με αποτέλεσμα οι μάζες νερού με τη μεγαλύτερη πυκνότητα να παραμένουν κοντά στον πυθμένα. Οι παρατηρούμενες μικρές διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των διαφόρων περιοχών της λίμνης εξηγούνται, από την είσοδο στη λίμνη υδάτων διαφορετικής θερμοκρασίας, τη μορφολογία και το βάθος του πυθμένα κάθε περιοχής.

Κατά την χρονική περίοδο των μετρήσεων του Ιουλίου 1996, η θερμοκρασία των νερών της λίμνης κυμάνθηκε από 9°C έως 26°C. Αυτή την περίοδο εμφανίζεται η θερμική στρωμάτωση του νερού και η λίμνη διαχωρίζεται σε τρία στρώματα, το επιλίμνιο, το θερμοκλινές και το υπολίμνιο. Το επιλίμνιο είναι το ανώτερο στρώμα με θερμοκρασίες που

κυμαίνονται από 26 °C έως 24 °C. Το πάχος του στρώματος αυτού κυμαίνεται από 7 έως 10 m και είναι το θερμότερο στρώμα στη λίμνη λόγω της άμεσης επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Το θερμοκλινές δεν έχει συγκεκριμένο βάθος γιατί εμφανίζεται το καλοκαίρι όταν η λίμνη θερμαίνεται και οφείλεται στην αυξανόμενη διαφορά πυκνότητας λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Στη συγκεκριμένη περίοδο των μετρήσεων το πάχος του θερμοκλινούς κυμάνθηκε από 8 έως 10m, ενώ το βάθος στο οποίο δημιουργήθηκε ήταν μεταξύ των 8 και 10 m και το θερμοκρασιακό του εύρος ήταν είναι μεταξύ 9 και 24 °C. Το υπολίμνιο είναι το βαθύτερο και ψυχρότερο στρώμα της λίμνης. Απαντάται στα 17 με 20 m και το πάχος του φθάνει μέχρι τον πυθμένα της λίμνης ενώ το εύρος των θερμοκρασιών του κυμανθηκε μεταξύ 9 και 11 °C.

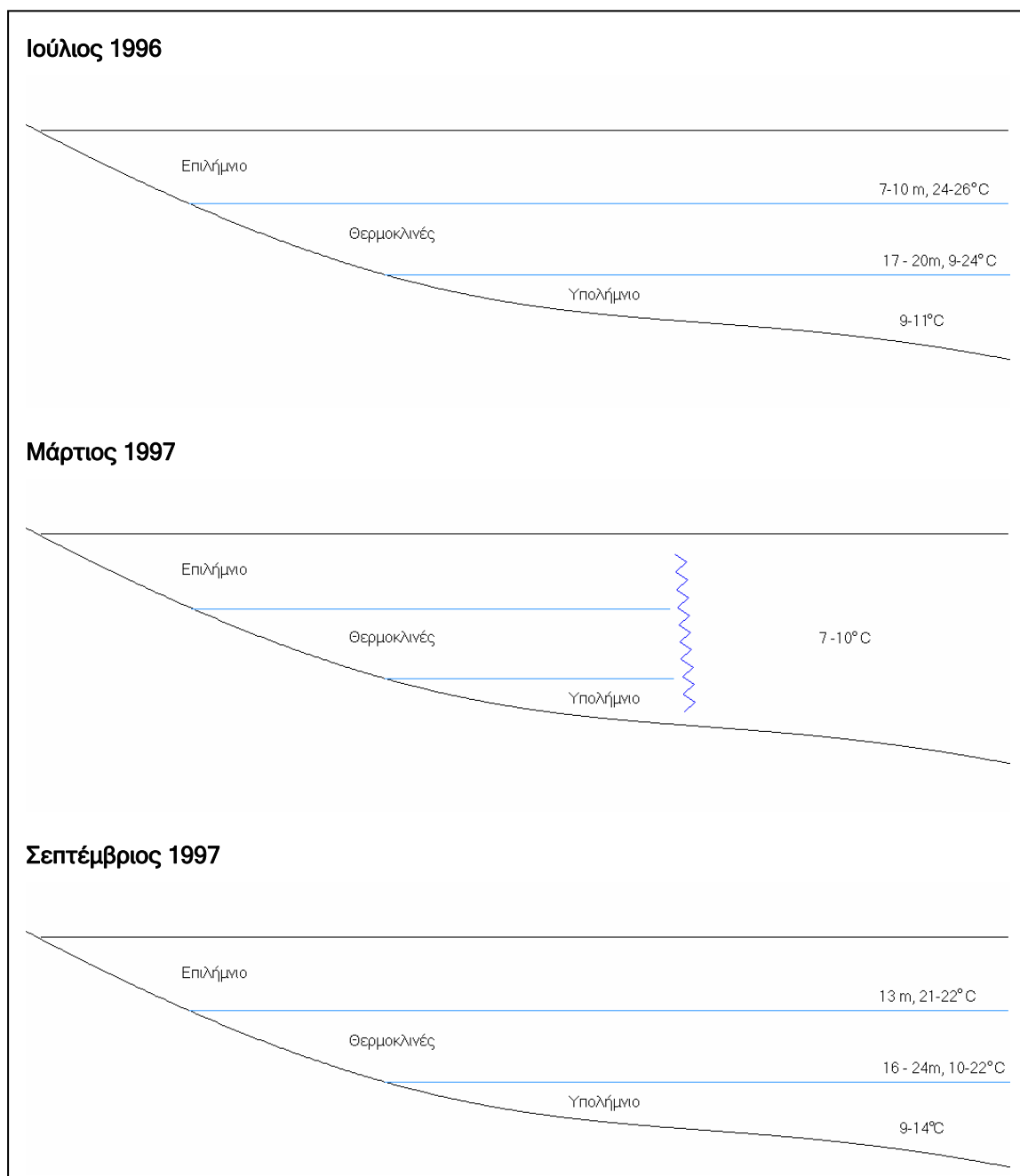


Σχήμα 4.6 Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Κατά τη χρονική περίοδο των μετρήσεων του Μαρτίου 1997 η θερμοκρασία του νερού του ταμιευτήρα κυμάνθηκε από 7 έως 10 °C. Την περίοδο αυτή δεν υπάρχει στρωμάτωση και η στήλη του νερού είναι ομογενοποιημένη. Πλησίον του φράγματος το νερό γίνεται ψυχρότερο πράγμα που οφείλεται στην εισροή ψυχρών νερών από τα ρέματα του ταμιευτήρα που εισρέουν κοντά στο φράγμα, καθώς τα ορεινά αυτά ρέματα

παρουσιάζουν χαμηλές θερμοκρασίες (5,4 °C ο Πλατανόλακκος και 7,2 °C ο Βελβενδός).

Τον Σεπτέμβριο του 1997 επανεμφανίζεται το θερμοκλινές. Το επιλίμνιο έχει θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 21 και 22 °C. Το πάχος του στρώματος αυτού φτάνει τα 13 m. Το θερμοκλινές δημιουργείται σε βάθος 12-14 m. Και εξαφανίζεται σε βάθος από 16 έως 24 m. Το θερμοκρασιακό του εύρος είναι μεταξύ 10 και 22 °C. Το πάχος του θερμοκλινούς κυμαίνεται μεταξύ 8 και 10μ. Το υπολίμνιο βρίσκεται σε βάθος από 16 έως 24 m και φθάνει μέχρι τον πυθμένα. Το θερμοκρασιακό του εύρος βρίσκεται μεταξύ 9 και 14 °C.



Σχήμα 4.7 Εποχιακή στρωμάτωση της στήλης νερού στον ταμειευτήρα Πολυφύτου

Ηλεκτραγωγιμότητα και Πυκνότητα

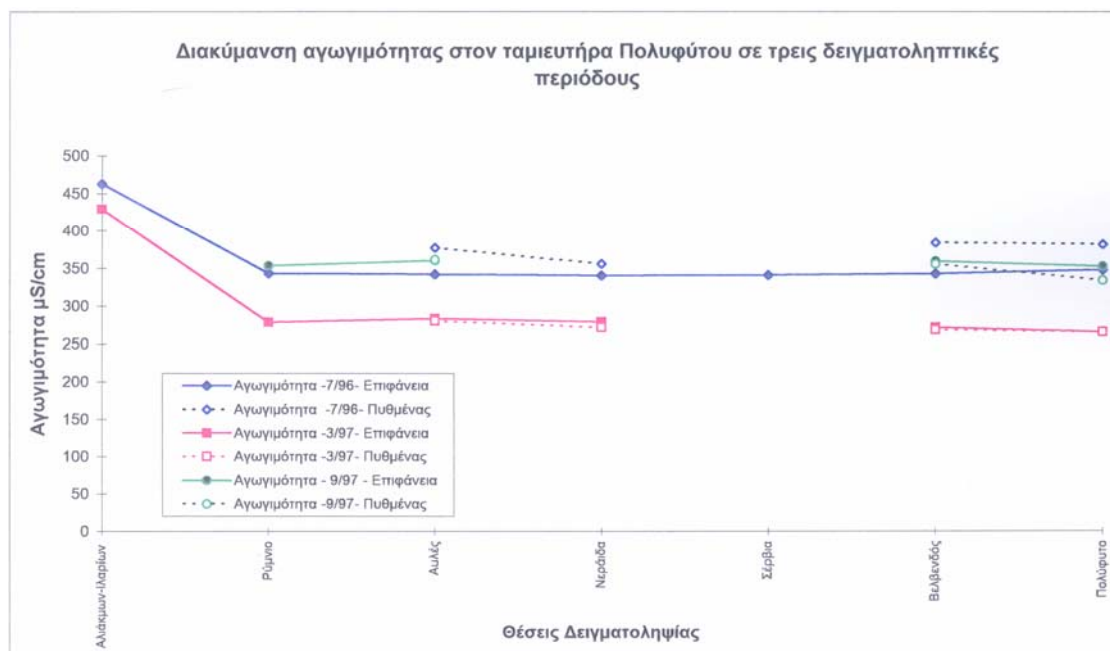
Οι δύο αυτές ιδιότητες σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους, όπως και με τη θερμοκρασία, αφού η ηλεκτραγωγιμότητα είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία και η πυκνότητα αντιστρόφως ανάλογη (τα ψυχρά νερά είναι πυκνότερα). Επομένως οι τιμές των παραμέτρων αυτών μελετώνται ως προς την κατακόρυφη διακύμανση τους και παρουσιάζουν εποχιακές και τοπικές διαφοροποιήσεις.

Κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιος), παρουσιάζεται ένα αραιό επιφανειακό στρώμα (υψηλές τιμές θερμοκρασίας και χαμηλές τιμές αγωγιμότητας) με σχετικά σταθερές συνθήκες. Η χαμηλή πυκνότητα του στρώματος αυτού οφείλεται και σε κάποιο ποσοστό και στην πρόσληψη του CO₂ από το φυτοπλαγκτό μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Απουσία CO₂, μειώνεται η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου και αυτό καθιζάνει σαν άλας. Έτσι, παρατηρείται μείωση και στις τιμές της αγωγιμότητας του επιλημνίου, γιατί μειώνονται οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και οξυανθρακικών. Στη συνέχεια, ακολουθεί το στρώμα περιορισμένου πάχους όπου οι παράμετροι μεταβάλλονται σχετικά γρήγορα (θερμοκλινές και πυκνοκλινές). Τέλος, δημιουργείται τρίτο πυκνότερο στρώμα μέχρι τον πυθμένα, με υψηλή αγωγιμότητα και χαμηλή θερμοκρασία, όπου οι συνθήκες μεταβάλλονται με το βάθος, αλλά με πολύ μικρότερο ρυθμό.

Η διάρκεια της στρωμάτωσης αυτής εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού καθώς και από τις φυσικοχημικές συνθήκες των νερών του Αλιάκμονα. Τα νερά του ποταμού βυθίζονται προς τον πυθμένα, παραμένουν στο υπολίμνιο και κινούνται, ακολουθώντας τη μορφολογία του πυθμένα, αφού διαθέτουν μεγαλύτερη πυκνότητα, υψηλότερη αγωγιμότητα και χαμηλότερη θερμοκρασία.

Τη φθινοπωρινή περίοδο (Σεπτέμβριος), η ηλεκτραγωγιμότητα, η θερμοκρασία και η πυκνότητα διατηρούν τα χαρακτηριστικά της θερινής περιόδου. Παρατηρείται, όμως μια σημαντική διαφορά: το θερμοκλινές, κατεβαίνει βαθύτερα και ελλατώνεται το πάχος του. Θα συνεχίσει να κατεβίνει βαθύτερα μέχρι το Νοέμβριο, μέχρι που θα έχει φτάσει τόσο βαθιά ώστε το πάχος του να μηδενιστεί. Η στρωμάτωση θα χαθεί και η λίμνη τελικά θα ομογενοποιηθεί. Θα παραμείνει έτσι για ολόκληρο το χειμώνα.

Κατά τη δειγματοληψία του Μαρτίου, οι τιμές των παραμέτρων φθάνουν στο ετήσιο ελάχιστο και η στήλη του νερού εξακολουθεί να μην εμφανίζει καμία στρωμάτωση. Παρατηρούνται κάποιες μικρές μεταβολές, αλλά οφείλονται στην ανάμειξη των νερών του ποταμού, που εισρέει στον ταμιευτήρα. Τα νερά του Αλιάκμονα, είναι πυκνότερα από αυτά του ταμιευτήρα, αλλά ενσωματώνονται στην υδάτινη μάζα, δίχως να παρουσιάσουν κάποια ετερογένεια.



Σχήμα 4.8 Διακύμανση της αγωγιμότητας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

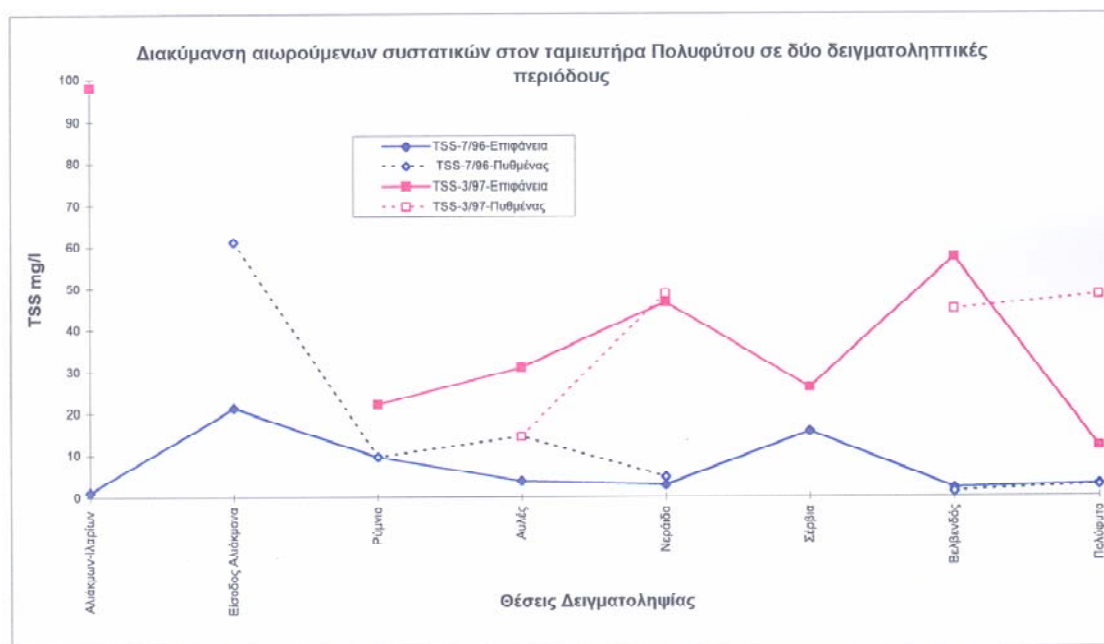
Θολερότητα

Η θολερότητα είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει το βαθμό διαφάνειας των νερών του ταμιευτήρα. Εξαρτάται κατ'αρχάς από τις παροχές αιωρούμενων στερεών στα νερά του Αλιάκμονα και των χειμάρρων, αλλά εξίσου σημαντικό ρόλο παίζει και η αφθονία του φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού. Έτσι η κατακόρυφη μεταβολή της θολερότητας οφείλεται στην κίνηση και απόθεση των φερτών υλικών του Αλιάκμονα και των χειμάρρων, καθώς και στην καθίζηση των πλαγκτονικών οργανισμών.

Κατά τις τρεις περιόδους μετρήσεων, τα νερά παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαφάνεια (ελάχιστες τιμές θολερότητας) το Σεπτέμβριο. Αυτή την περίοδο όλο το αιωρούμενο υλικό έχει πλέον καθιζάνει, ενώ παράλληλα ο ποταμός Αλιάκμονας παρουσιάζει την ελάχιστη παροχή και οι χείμαρροι απουσιάζουν. Παρόλα αυτά η μαζική ανάπτυξη των πλαγκτονικών οργανισμών μειώνει σε κάποιο βαθμό τη διαφάνεια του επιλιμνίου.

Το μήνα Ιούλιο ο ταμιευτήρας παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφάνεια σε σχέση με το Μάρτιο. Τον Ιούλιο, καθώς τα νερά του Αλιάκμονα, εμπλουτισμένα με φερτά υλικά, κινούνται κατά μήκος του πυθμένα του

ταμιευτήρα μεταφέρουν στο υπολίμνιο αιωρούμενο υλικό, που καθιζάνει μεταξύ της περιοχής Αυλών και Νεράιδας. Έτσι, τα νερά στην περιοχή Βελβενδού και φράγματος παρουσιάζουν, τόσο στην επιφάνεια, όσο και κοντά στον πυθμένα ελάχιστες συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού. Αντίστοιχα, στην παράκτια περιοχή των Σερβίων εμφανίζεται μικρή αύξηση λόγω της επίδρασης του ομώνυμου ρέματος.



Σχήμα 4.9 Διακύμανση της θολερότητας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

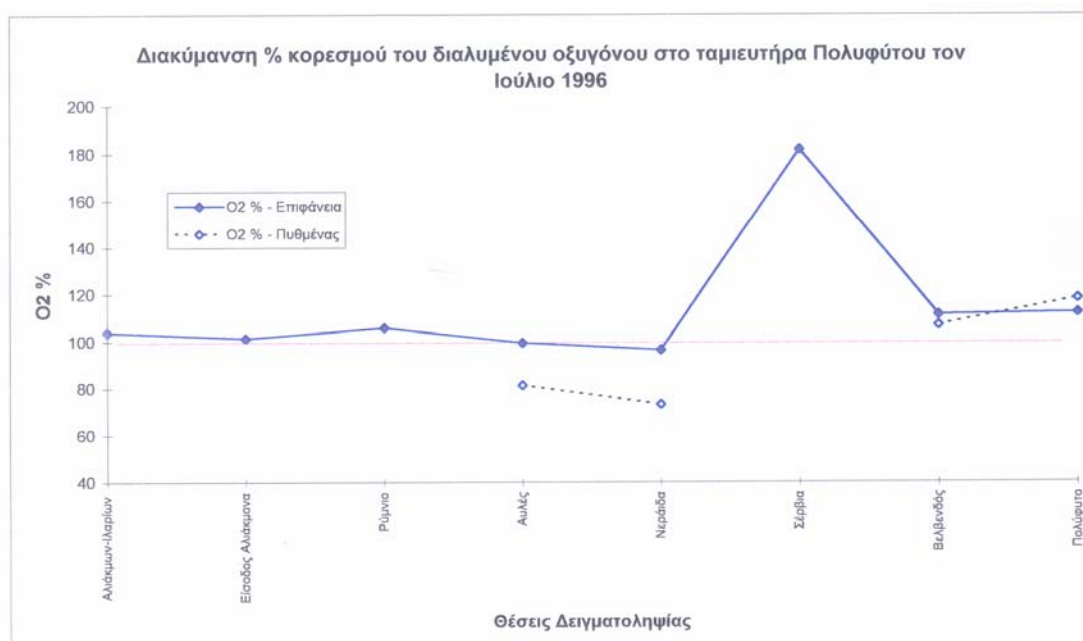
Τον Μάρτιο η τροφοδοσία της λίμνης από τον Αλιάκμονα και τους ποταμούς είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο περιόδους μετρήσεων. Αυτή την περίοδο, παρουσιάζεται ανάμειξη των νερών του Αλιάκμονα λίγο μετά την είσοδό τους στο ταμιευτήρα με τα νερά της λίμνης και το το αιωρούμενο υλικό να αποτίθεται γρήγορα. Έτσι, οι τιμές της συγκέντρωσής του στις περιοχές Ρύμνιο και Αυλές είναι πολύ χαμηλότερες αυτών στον Αλιάκμονα και ακόμη χαμηλότερες αυτών στη Νεράιδα, Σέρβια και Βελβενδό.

Διαλυμένο οξυγόνο

Δεδομένα του ΕΛΚΕΘΕ για το διαλυμένο οξυγόνο περιορίζονται μοναχά για την περίοδο του Ιουλίου, μία αρκετά δυσμενής για το διαλυμένο οξυγόνο εποχή, για την οποία οι μετρήσεις του CTD ήταν αξιόπιστες. Ειδικότερα, στην έκθεση αναφέρεται πως κατά τις δειγματοληψίες του Μαρτίου και Σεπτεμβρίου ο αισθητήρας του οξυγόνου δεν λειτούργησε ικανοποιητικά, επομένως δεν μπορούν να ληφθούν υπ' όψη.

Οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου κατά τη θερινή περίοδο ήταν αρκετά ικανοποιητικές σε όλο τον όγκο του ταμιευτήρα. Η διεργασία της φωτοσύνθεσης με την έκλυση οξυγόνου, προκαλεί υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου κοντά στην επιφάνεια (υπερκορες συνθήκες). Αντίθετα, στον πυθμένα του ταμιευτήρα κυριαρχεί η διεργασία της οξειδωσης του οργανικού υλικού που καθιζάνει και έτσι οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου μειώνονται αισθητά.

Η καλή εικόνα που παρατηρείται ως προς το διαλυμένο οξυγόνο οφείλεται, τόσο στο υδρολογικό καθεστώς του ταμιευτήρα, που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρό χρόνο παραμονής των υδάτων του, αλλά και στο γεγονός ότι τα νερά των ποταμών παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, αφού ο Αλιάκμονας, που είναι ο κύριος τροφοδότης του ταμιευτήρα σε νερό, είναι υπερκορεσμένος σε οξυγόνο.

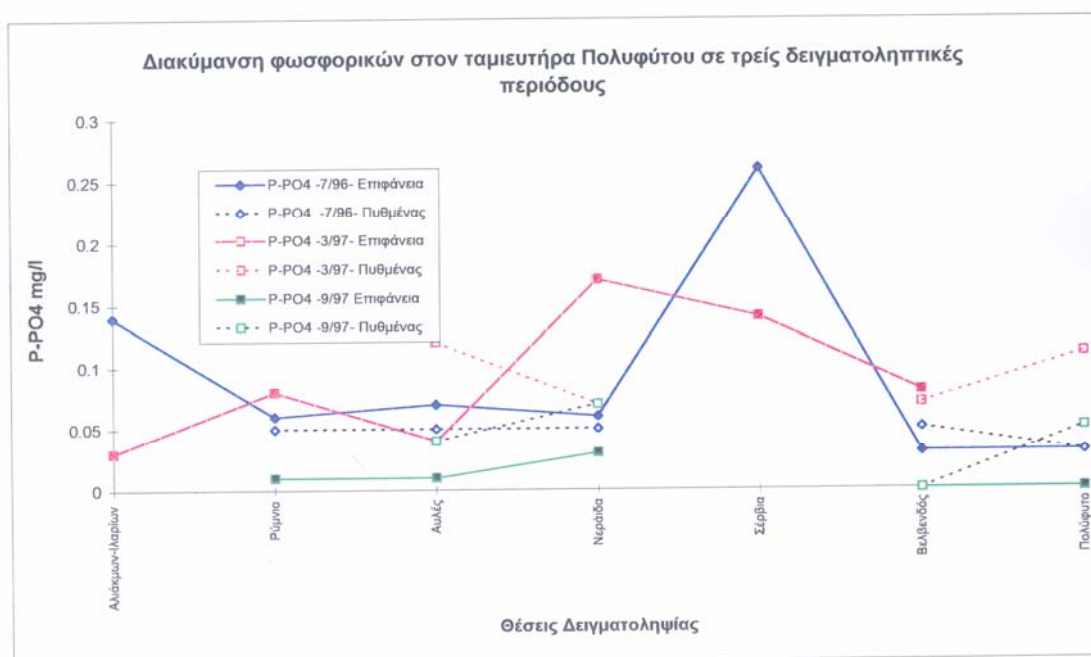


Σχήμα 4.10 Διακύμανση του % κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Θρεπτικά (Φωσφορικά, Νιτρικά, Αμμωνία και Πυρίτιο)

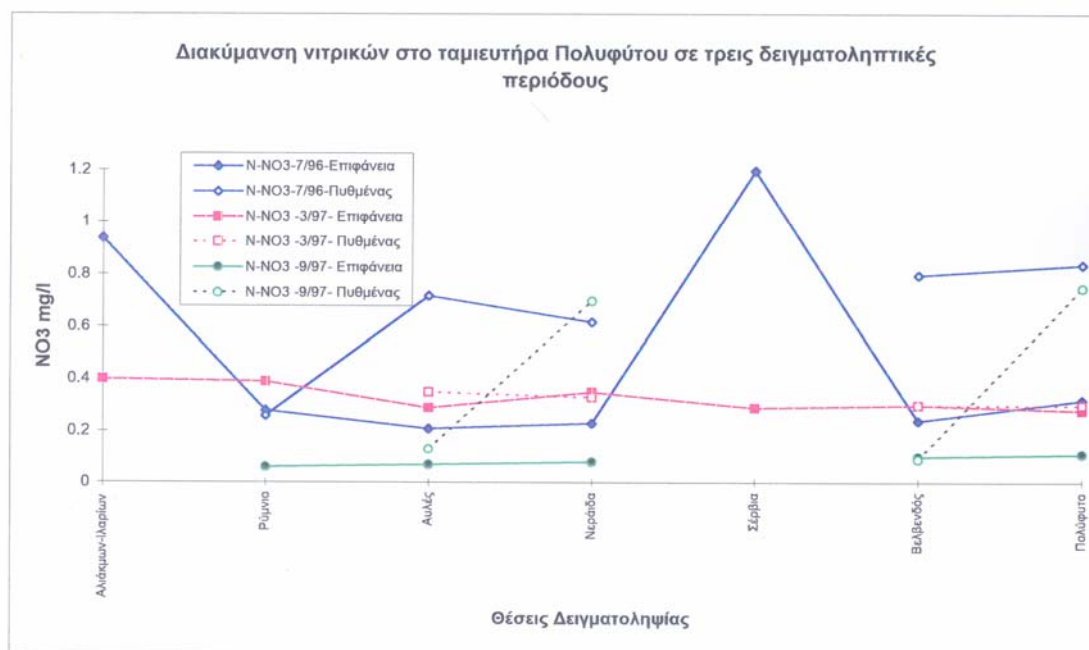
Ο ρόλος των θρεπτικών αναλύθηκε κατά τη θεωρητική ανάλυση της διεργασίας του ετροφισμού. Οι μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών και φωσφορικών στη λίμνη είναι σε ικανοποιητικά επίπεδα, ενώ η χρονική και χωρική μεταβολή της συγκέντρωσής τους εξαρτάται αφενός από τη βιολογική δραστηριότητα και αφ'ετέρου από τη στρωμάτωση των νερών του ταμιετήρα.

Τα φωσφορικά ιόντα έχουν καθοριστική σημασία στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, γιατί η απουσία τους είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση περιοριστικού παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής στα γλυκά νερά. Το Σεπτέμβριο, τα επιφανειακά στρώματα του ταμιευτήρα παρουσιάζουν ελάχιστες συγκεντρώσεις P-PO₄, εξαιτίας της έντασης της της πρωτογενούς παραγωγής. Κατά τον Ιούλιο οι επιφανειακές συγκεντρώσεις φωσφορικών είναι 0,05mg/l P-PO₄ κατά Μ.Ο., χωρίς να συμπεριληφθεί η παράκτια θέση στα Σέρβια που παρουσιάζει ετήσιο μέγιστο 0,26 mg/l P-PO₄, λόγω της επίδρασης των απορροών του ομώνυμου ρέματος. Επίσης και στο σύνολο του ταμιευτήρα οι συγκεντρώσεις φωσφορικών του Σεπτεμβρίου (0,025mg/l P-PO₄ κατά Μ.Ο.) είναι μικρότερες αυτών του Ιουλίου (0,065mg/l P-PO₄ κατά Μ.Ο.). Το Μάρτιο παρουσιάζονται μέγιστες τιμές φωσφορικών, τόσο στην επιφάνεια, όσο και στο βάθος (Μ.Ο. 0,094mg/l P-PO₄).



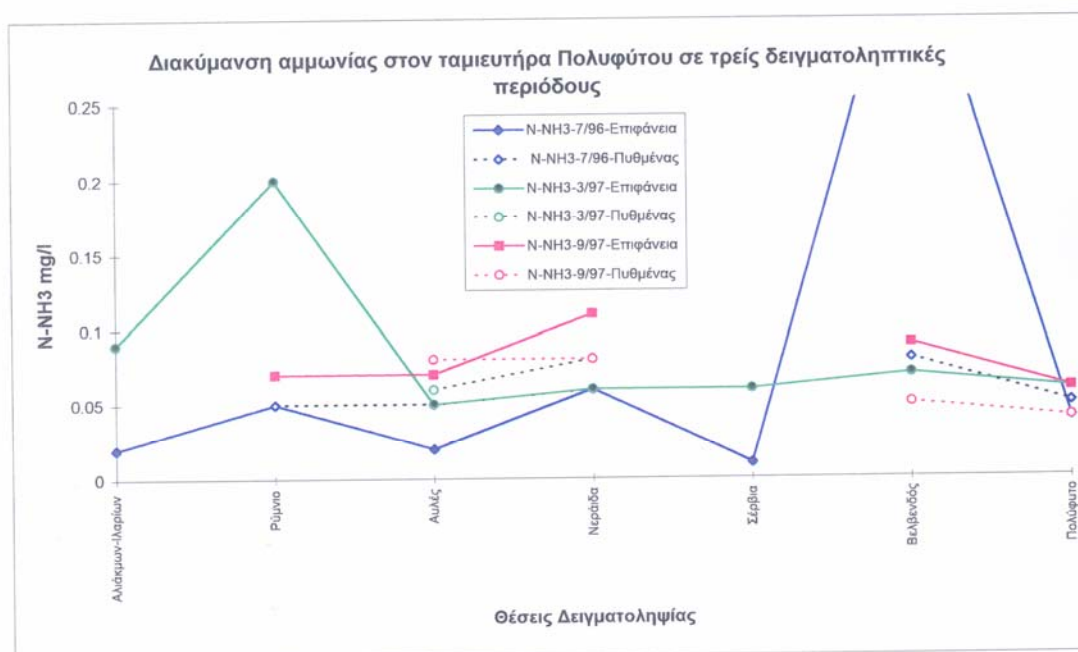
Σχήμα 4.11 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων κατα μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Τα νιτρικά παρουσιάζουν επίσης χαμηλότερες συγκεντρώσεις στην επιφάνεια κατά το Σεπτέμβριο και τον Ιούλιο, εξαιτίας της έντονης πρωτογενούς παραγωγής (0,1 και 0,25mg/l N-NO₃ αντίστοιχα), σε σχέση με τον πυθμένα (0,42 και 0,65mg/l N-NO₃ αντίστοιχα). Κατά την περίοδο του Μαρτίου, η ομογενοποίηση των υδάτων στον ταμιευτήρα εξαφανίζει κάθε διαφοροποίηση στις μέσες τιμές επιφάνειας και πυθμένα (0,32 mg/l N-NO₃).



Σχήμα 4.12 Διακύμανση των νιτρικών αλάτων κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Η αμμωνία παραμένει σε χαμηλές συγκεντρώσεις, χωρίς να παρουσιάζει κάποια εποχιακή διακύμανση. Αν δεν ληφθούν υπ' όψη οι μέγιστες τιμές που λαμβάνει τον Ιούλιο στη θέση Βελβενδός (0,38mg/l N-NH₃) και τον Σεπτέμβριο στο Ρύμνιο (0,11mg/l N-NH₃) δεν παρουσιάζει εξάρσεις στη διακύμανσή της.



Σχήμα 4.13 Διακύμανση της αμμωνίας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Σύγκριση με αποτελέσματα προηγούμενων μελετών

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τελευταίων μετρήσεων του ΕΛΚΕΘΕ στον ταμιευτήρα Πολύφυτου με τα αποτελέσματα αντίστοιχων μετρήσεων από παλιότερες μελέτες (Πίνακας 4.2), προκύπτει το συμπέρασμα ότι η σημαντικότερη μεταβολή στις φυσικοχημικές παραμέτρους της υδάτινης μάζας είναι η σταθερή αύξηση της συγκέντρωσης των φωσφορικών αλάτων. Αλλές ουσιώδεις μεταβολές δεν παρατηρούνται.

Φυσικοχημικές Παράμετροι	1		2		3	
	Ελάχιστο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μέγιστο
Θερμοκρασία °C	7.0	26.0	2.0	20.8	7 *	26.2 *
Διαλ. Οξυγόνο mg/l	1.0	11.2	5.2	14.6	4.4 *	11.5 *
pH	7.1	8.8	7.22	8.89	7.7 *	8.75 *
Θολερότητα	2.0 FTU	38.0 FTU	-	-	-	-
Αγωγιμότητα μS/cm	300	410	266	470	267 *	390 *
Διείσδυση φωτός %	-	-	-	-	36 *	86 *
Αλατότητα	170 mg/l NaCl	200 mg/l NaCl	12 mg/l CaCO3	23 mg/l CaCO3	-	-
Αλκαλικότητα HCO ₃ mg/l	-	-	117	215	142.3	237.1
CaCO ₃ CO ₃ >> >>	-	-	-	-	0.0	39.9
Σκληρ. Ολική (CaCO ₃) mg/l	70	120	-	-	173.7	266.7
Ca ⁺⁺ mg/l	-	-	32.8	74.4	30.04	55.33
Mg ⁺⁺ mg/l	-	-	7.3	31.8	21.97	38.70
SO ₄ mg/l	12.0	25.0	8.8	54.8	21	34
N-NO ₂ mg/l	0.003	0.034	0.00	0.042	0.002	0.079
N-NO ₃ mg/l	0.07	0.988	0.005	1.476	0.06	1.2
N-NH ₄ mg/l	0.05	0.85	0.008	0.42	0.01	0.38
P-PO ₄ mg/l	-	-	<0.010	0.077	0.01	0.26
Ολ. P μg/l	34	μέση τιμή	10	80	90	μέση τιμή
SiO ₂ mg/l	0.5	12.5	-	-	0.6	15.2
K ⁺ mg/l	-	-	-	-	1.1	1.6
Cl ⁻ mg/l	7	25	0.71	9.57	1.7	6.8
Mn ⁺⁺ μg/l	-	-	0.1	9.0	-	-
Cu ⁺ μg/l	-	-	0.1	8.0	-	-
Cd ⁺ μg/l	-	-	0.07	0.91	-	-
Cr μg/l	-	-	0.7	4.4	-	-
Pb μg/l	-	-	0.1	8.9	-	-
Διαλ. Στερεα mg/l	-	-	204	238.6	-	-
Αιωρ. Στερεά mg/l	-	-	0.3	430	1.2	67.5
Σωματιδιακός C mg/m ³	0.3	3.1	-	-	-	-
Απορρυπαντικά μg/l	2.0	85.0	-	-	-	-
Χλωρ. Υδρογον. ppt	2.6	5.9	-	-	-	-

* Οι μετρήσεις έγιναν με CTD

(1) Σ. Κιλικίδης κ.ά., 1987-88, (2) Θ. Κουιμπζής κ.ά., 1990-93, (3) Μετρήσεις του ΕΚΘΕ (1996-97)

Πίνακας 4.2 Διακύμανση φυσικοχημικών παραμέτρων στη λίμνη Πολυφύτου σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους

Ο ποταμός Αλιάκμονας

Συγκρίνοντας μετρήσεις της περιόδου 1983-84 (Skoulikidis, 1990) με τις μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ για τις ίδιες θέσεις του ποταμού Αλιάκμονα παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της ρύπανσης. Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής :

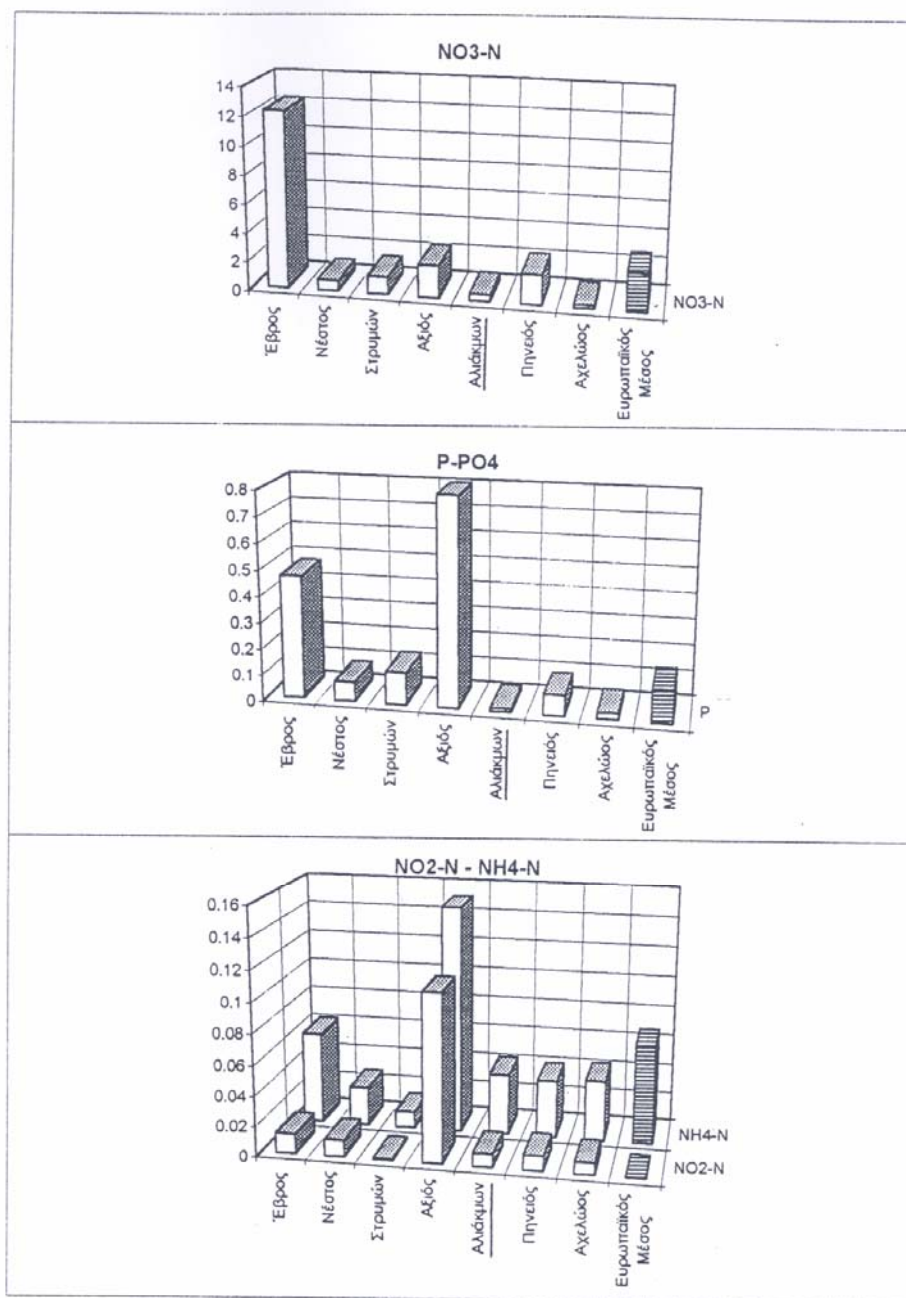
- Οι σημερινές συγκεντρώσεις νιτρικών, φωσφορικών και θεικών είναι αρκετά υψηλότερες, ενώ οι συγκεντρώσεις καλίου και χλωρίου εμφανίζονται ελαφρά μειωμένες.

- Τα νιτρικά παρουσιάζονται αυξημένα κατά 1,3 - 3.5 φορές.
- Τα φωσφορικά παρουσιάζονται αυξημένα κατά 1,7 - 3,3 φορές.
- Τα θειικά παρουσιάζουν μία αύξηση κατά 1,8 - 2,3 φορές.
- Μεγαλύτερη αύξηση νιτρικών, φωσφορικών και θειικών εμφανίζεται στις ενδιάμεσες θέσεις, δηλαδή στις γέφυρες Άργους Ορεστικού - Αμμουδάρας και Κοζάνης - Γρεβενών.

Η αύξηση στα θρεπτικά ιόντα, που παρατηρείται κατά τη διάρκεια των τελευταίων 13 ετών, αν και αισθητή, είναι πολύ μικρή σε σχέση με τα άλλα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας και της Ευρώπης. Στον Πίνακα 4.3 και στο Σχ. 4.13 παρουσιάζονται πρόσφατες (1990-94) μέσες συγκεντρώσεις θρεπτικών στον Αλιάκμονα (θέση Ιλαρίων) σε σχέση με δεδομένα άλλων ποταμών της χώρας (Υπ. Γεωργίας, Δ/ση Σχεδιασμού Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Αξιοποίησης Εδαφο-Υδατικών Πόρων, Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων) και με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο (Stanner & Bourdeau, 1995).

Έτη	Διακύμανση	SO ₄ meq/l	N-NO ₃ mg/l	N-NO ₂ mg/l	N-NH ₃ mg/l	P-ολικό mg/l
1990	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	1,14 2,20 0,30	0,21 0,36 < 0,10	0,015 0,14 < 0,0003	0,076 0,680 < 0,020	0,014 0,02 < 0,001
1991	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,94 1,20 0,30	0,83 1,73 0,46	0,004 0,020 < 0,0003	0,025 0,056 < 0,020	0,018 0,068 < 0,001
1992	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,58 1,4 0,2	0,31 0,63 0,10	0,010 0,047 < 0,0003	0,034 0,118 < 0,020	0,014 0,049 < 0,001
1993	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,59 1,0 0,1	0,48 1,44 0,18	0,006 0,056 < 0,0003	0,039 0,114 < 0,020	0,009 0,052 < 0,001
1944	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,5 1,0 0,2	-	-	-	-
1995	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,74 2,4 0,2	-	-	-	-
1996	Μέση Μέγιστη Ελάχιστη	0,67 0,9 0,3	-	-	-	-

Πίνακας 4.3 Διακύμανση των συγκεντρώσεων παραμέτρων ρύπανσης κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών στον Ιλαρίωνα, σύμφωνα με δεδομένα του Υπ. Γεωργίας (Δ/ση Σ.Ε.Ε. & Α.Ε.Π., Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων).



Σχήμα 4.14 Σύγκριση των θρεπτικών αλάτων του ποταμού Αλιάκμονα με άλλους ελληνικούς ποταμούς και τον ευρωπαϊκό μέσο (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Είναι φανερό ότι, τουλάχιστον ως προς τα θρεπτικά, ο Αλιάκμονας σήμερα είναι από τα λιγότερο επιβαρυμένα μεγάλα ποτάμια της χώρας, ενώ μόνο η συγκέντρωση των νιτρωδών υπερβαίνει τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Η μέση συγκέντρωση ανόργανου αζώτου στον Ιλαρίωνα είναι 0,73 mg/l, που αντιστοιχεί σε 1.073 τόνους μεταφερόμενου αζώτου το χρόνο στο

ταμιευτήρα. Αντίστοιχα για το φώσφορο ($P-PO_4$), με μέση συγκέντρωση στον Ιλαρίωνα $0,085 \text{ mg/l}$, το ετήσια εισερχόμενο φορτίο είναι 130 τόνοι.

Βάσει της υπολογισμένης παροχής των χειμάρρων του ταμιευτήρα ($0,227 \text{ km}^3$) και της μέσης σύστασης των χειμάρρων που εξετάστηκαν (ρέματα Σερβίων, Βελβενδού και Πλατανόλακκου) σε άζωτο και φώσφορο ($0,637 \text{ mg/l N}$ και $0,087 \text{ mg/l P}$) εκτιμάται στην τεχνική έκθεση του ΕΛΚΕΘΕ ότι το συνολικό φορτίο ανόργανου αζώτου και φωσφόρου-φωσφορικών που εισρέει ετήσια μέσω των χειμάρρων στον ταμιευτήρα είναι περί τους 140 τόνους άζωτο και 19,7 τόνους φώσφορο.

Έτσι, το συνολικό ετήσιο φορτίο αζώτου και φωσφόρου που εισρέει μέσω του Αλιάκμονα και των ποταμοχειμάρρων του ταμιευτήρα στη λίμνη εκτιμάται περίπου σε 1.213 τόνους ανόργανο άζωτο και 150 τόνους φώσφορο-φωσφορικών.

Γ. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα

Η κύρια αιτία για την διαχρονική αύξηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων στον ταμιευτήρα οφείλεται, όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 2B), στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη λεκάνη απορροής. Τα θρεπτικά άλατα προέρχονται από τη χρήση των λιπασμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες, από ρυπαντές προερχόμενους από κτηνοτροφικές δραστηριότητες, μικρές βιομηχανίες και βιοτεχνίες, σφαγεία, τυροκομεία, καθώς επίσης και αστικά λύματα. Αξίζει να σημειωθεί πως έχουν ήδη επισημανθεί σε παλιότερες έρευνες (Κιλικίδης 1989) οι τάσεις ευτροφισμού στον ταμιευτήρα εξαιτίας των ρύπων, που προέρχονταν τόσο από τη γεωργική, όσο και από την αστική περιοχή.

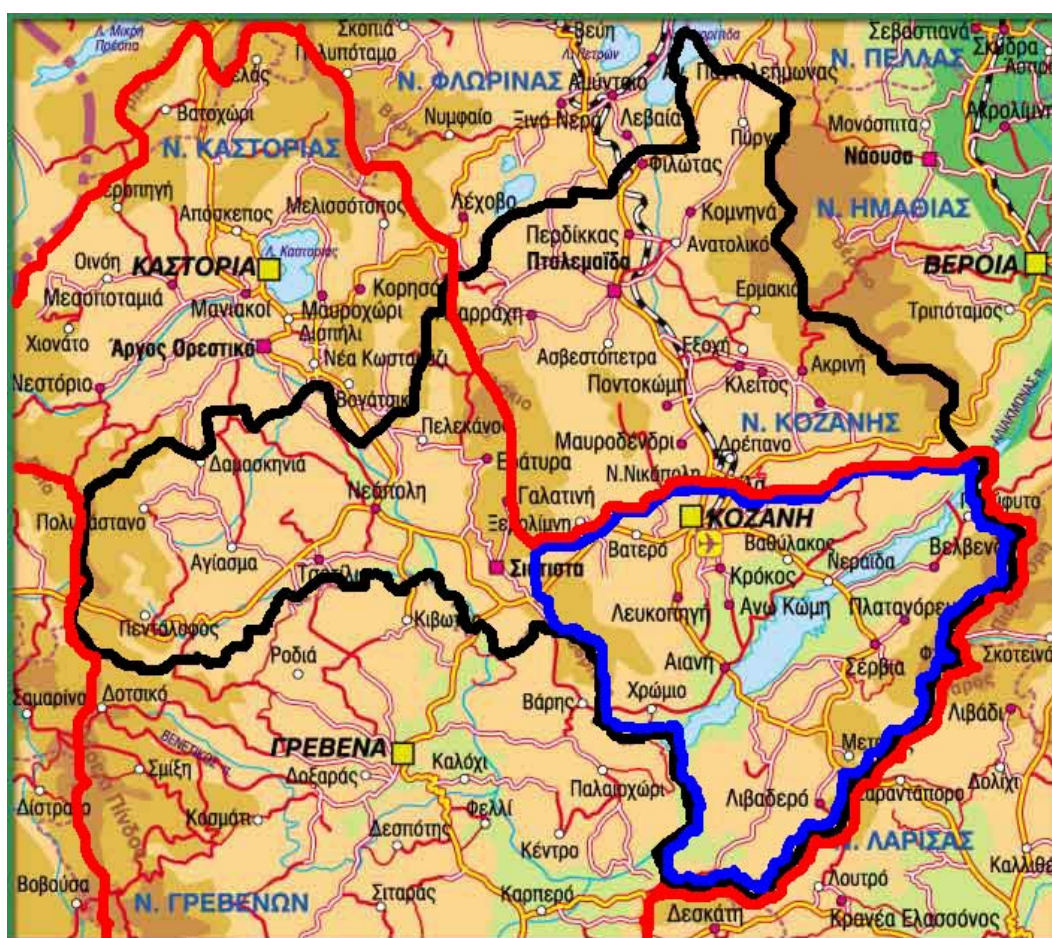
Η μελέτη των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα, περιλαμβάνει το διαχωρισμό τους σε εκείνες που ανήκουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα και σε εκείνες που ανήκουν μοναχά στη λεκάνη απορροής της λίμνης. Αυτό γίνεται γιατί η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα καλύπτει πολύ μεγάλο ποσοστό της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου.

Λεκάνη απορροής γύρω από τη λίμνη

Η αστική περιοχή με λεκάνη απορροής αποκλειστικά τη λίμνη περιλαμβάνει πληθώρα οικισμών, με μεγαλύτερο εκείνο της Κοζάνης. Αν και υπάρχει αποχετευτικό σύστημα δεν υπάρχει καμιά μονάδα βιολογικού καθαρισμού και έτσι τα λύματα καταλήγουν ακατέργαστα στη λίμνη μέσω μικρών ρευμάτων. Τα λύματα της πόλεως της Κοζάνης αφού συλλεχθούν από το υπάρχον αποχετευτικό σύστημα κατευθύνονται με κλειστό αγωγό προς τη λίμνη με αγωγό για μία απόσταση περίπου 7 χιλιομέτρων και στη συνέχεια η ροή των αποβλήτων συνεχίζεται μέσω του ρέματος της Φτελιάς. Στο ίδιο ρέμα πέφτουν και τα απόβλητα των οικισμών της Καρυδίτσας (947 κατ.), Αγ. Παρασκευής (626 κατ.), Λευκοπηγής (1307 κατ.), Μηλέας (300 κατ.) και της Καισάρειας (942 κατ.). Ο συνολικός πληθυσμός της εγγύτερης περιοχής του ταμιευτήρα σύμφωνα με την απογραφή του 1991, ανέρχεται σε

48054 κατοίκους. Σύμφωνα δε με τη διεθνή βιβλιογραφία (WHO, 1982) η συνολική ποσότητα των παραγομένων λυμάτων είναι της τάξεως των 3364×10^3 τονο/έτος.

Η γεωργική περιοχή με λεκάνη απορροής αποκλειστικά τη λίμνη είναι περίπου το 35% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης του νομού, ενώ 35% είναι και το ποσοστό της καλλιεργήσιμης γης, που ανήκει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (Σχήμα 4.14). Η συνολική καλλιεργήσιμη γη υπολογίζεται σε 129.543 στρέμματα, με κύρια είδη καλλιέργειας το σιτάρι και το κριθάρι, σύμφωνα με τα στοιχεία της Διεύθυνσης Στατιστικής του Υπουργείου Γεωργίας για το νομό Κοζάνης (Πίνακας 4.4). Η εφαρμογή των λιπασμάτων στις εκτάσεις αυτές γίνεται την άνοιξη και το φθινόπωρο, πράγμα που σε συνδυασμό με τις αυξημένες βροχοπτώσεις και τη μικρή σχετικά απόσταση των καλλιεργειών από τον ταμιευτήρα, ευνοεί τη μεταφορά του αζώτου και του φωσφόρου, μέσω των απορροών, στον ταμιευτήρα.



Σχήμα 4.15 Νομός Κοζάνης (μαύρη γραμμή), λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα (κόκκινη γραμμή), λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα απευθείας στον ταμιευτήρα (μπλε γραμμή)

Είδος Καλλιέργειας	Έκταση (στρέμματα)	Είδος Καλλιέργειας	Έκταση (στρέμματα)
Μαλακό σιτάρι	3787	Βιομηχ. ντομάτα	50
Σκληρό σιτάρι	83649	Ρεβίθια	10
Καλαμπόκι	10844	Μπάμιες	11
Βρώμη	520	Αγγούρια	2
Σανός Βίκος	152	Μελιτζάνες	42
Κριθάρι	4377	Πιπεριές	111
Μηδική	5104	Κουνουπίδια	2
Σίκαλη	277	Καρότα	3
Χορτολίβαδα	300	Κουκιά	2
Πατάτες	558	Καρπούζια	278
Καπνός	4032	Πεπόνια	19
Βιομηχανικά φυτά	391	Ακτινίδια	50
Αρωματικά φυτά	8	Φράουλες	2
Ζαχαρότευτλα	1351	Αχλαδιές	91
Αμπέλια	2458	Μηλιές	590
Βαμβάκι	207	Αμυγδαλιές	1485
Φασόλια	42	Φουντουκιές	21
Κολοκύθια	7	Δαμασκηνιές	81
Λάχανα	108	Ροδακινιές	7384
Σπανάκι	218	Κερασιές	42
Πράσα	68	Βυσσινιές	1
Κρεμμύδια	58	Καρυδιές	175
Σκόρδα	48	Φιστικιές	2
Αρακάς	3	Καστανιές	40
Παζάρια	5	Ελιές	193
Μαρούλια	6	Βρώσιμες ελιές	6
Ντομάτες	257	Αλλά δένδρα	15
Σύνολο 129.543 στρέμματα			

Πίνακας 4.4 Στρεμματικές Καλλιέργειες ανά Είδος στην Περιοχή Γύρω από τη Λίμνη (Δ/ση Γεωργίας, Τμήμα Παραγωγής & Στατιστική Υπηρεσία)

Μία άλλη πηγή ρυπαντικού φορτίου γύρω από τον ταμιευτήρα του Πολύφυτου είναι η κτηνοτροφία ελεύθερης βόσκησης και η οικόσιτη κτηνοτροφία (Πίνακας 4.5). Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι λόγω της ελεύθερης, ως επί το πλείστον, βόσκησης, ένα μέρος των ρυπαντικών φορτίων αποικοδομείται επί του εδάφους με φυσικές διεργασίες. Η διάρκεια της αποικοδόμησης δεν είναι σταθερή αφού επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, όπως η υγρασία, ο αριθμός και ένταση των βροχοπτώσεων και η θερμοκρασία.

Είδος	Πλήθος
Βοοειδή	2032
Αιγοπρόβατα	50155
Χοίροι	763
Πουλερικά	31206

Πίνακας 4.5 Εκτίμηση της κτηνοτροφική δραστηριότητας γύρω από τη λίμνη του Πολυφύτου (Δ/ση Στατιστικής του Υπουργείου Γεωργίας, 1996)

Σύμφωνα με άλλους ερευνητές και για εκτιμήσεις που αφορούσαν άλλες περιοχές φαίνεται ότι (Ζιώγας 1986, Μποναζούντας 1988), κατά μέγιστη εκτίμηση ένα 30% του παραγόμενου αζώτου και ένα 15% του παραγόμενου φωσφόρου είναι δυνατόν να φθάσει στη λίμνη. Δηλαδή εκτιμάται, ότι από τις παραγόμενες ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, 137 τόνοι άζωτο και 13 τόνοι φώσφορος είναι πιθανόν να καταλήγουν στη λίμνη κάθε έτος σαν αποτέλεσμα της ελεύθερης βόσκησης των ζώων γύρω από αυτή.

Τέλος, σύμφωνα με την Διεύθυνση Υγιεινής Περιβάλλοντος του νομού Κοζάνης, στην περιοχή γύρω από τη λίμνη δεν φαίνεται να υπάρχει έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Η Διεύθυνση Υγιεινής, που έχει και την εποπτεία της περιβαλλοντικής κατάστασης του ταμιευτήρα, εκτιμά πως οι μονάδες διαλογής και συσκευασίας φρούτων, καθώς και τα τυροκομεία, δεν δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα στη λίμνη, λόγω της ύπαρξης και λειτουργίας συστήματος καθαρισμού αποβλήτων.

Ιδιαίτερη, όμως, αναφορά πρέπει να γίνει για τους χώρους ταφής των αποσυρόμενων φρούτων, λόγω της μεγάλης ποσότητας τους και της θέσεως ταφής, που βρίσκεται πολύ κοντά στην λίμνη (λιγότερο από 1000 μέτρα), καθώς και στην ύπαρξη του μεταλλείου αμιάντου, λίγο έξω από τις παρυφές της λίμνης. Έχουν εντοπιστεί επίσης και διάσπαρτες θέσεις απόθεσης στερεών οικιακών απορριμμάτων, εντός χειμάρρων και σε μικρή απόσταση από αυτή.

Λεκάνη απορροής ποταμού Αλιάκμονα

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα, που αποτελεί το 80% της λεκάνης απορροής της λίμνης, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 4Α), περιλαμβάνει τους εξ' ολοκλήρου τους νομούς Καστοριάς και Γρεβενών, όπως επίσης και το 35% του νομού Κοζάνης.

Στον Πίνακα 4.6 δίνεται ο πληθυσμός που κατοικεί στην ευρύτερη λεκάνη απορροής της λίμνης, η έκταση και η χρήση της γης, όπως επίσης και το ζωικό κεφάλαιο. Από τους άλλους δύο νομούς Καστοριάς και Γρεβενών, που διαρρέονται από τον ποταμό Αλιάκμονα και τους παραποτάμους του, ρύποι τόσο από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, όσο και από τις αστικές περιοχές είναι δυνατόν να φθάνουν στη λίμνη, αφού διανύσουν μία αρκετά σημαντική απόσταση. Αυτό σημαίνει ότι οι φυσικές διεργασίες που μεσολαβούν έχουν αποικοδόμησει σημαντικό μέρος από τους παραγόμενους ρύπους, εκτός εκείνων που δύσκολα βιοαποικοδομούνται.

ΕΠΑΡΧΙΕΣ	ΠΛΗΘ. ΕΚΤΑΣΗ (άτομα) (Km ²)		ΧΡΗΣΕ ΓΗΣ ΙΣ (Km ²)						ΖΩΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ (άτομα)			
			ΚΑΛΛΙ ΕΡΓΙΕΣ	ΒΟΣΚΟ ΤΟΠΟΙ	ΔΑΣΗ	ΝΕΡΑ	ΟΙΚΙΣ- ΜΟΙ	ΛΟΙΠΕΣ	ΒΟΟΕΙΔΗ	ΧΟΙΡΟΙ	ΑΙΓΟΠΡΟ ΒΑΤΑ	ΠΟΥΛΕΡΙ ΚΑ
ΒΟΙΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ (1)	173773	2733	691	1500	336	81	64	61	19380 ⁴	8240 ⁴	218397	264500 ⁴
ΓΡΕΒΕΝΩΝ (2)	36241	2291	457	764	985	29	39	17	5300	1600	222000	50000
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ (3)	50000	1689	322	657	580	52	44	34;	5983	9739	85370	63700
ΣΥΝΟΛΟ	260014	6713	1470	2921	1901	162	147	112	30663	19579	525767	378200

Πίνακας 4.6 Χρήσεις γης και ζωική παραγωγή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Τελική Τεχνική Έκθεση, Νοέμβριος 1997)

Στην περιοχή της Καστοριάς οι οικισμοί που ρίχνουν απ' ευθείας τα λύματά τους στον ποταμό, είναι οι εξής (απογραφή 1991) :

Κοινότητα	Κάτοικοι
Νεστόριο	1332
Μανιάκοι	2229
Αργος Ορεστικό	6663
Αμμουδάρα-Ασπροκκλησιά	1000
Σύνολο	11224

Στην περιοχή των Γρεβενών, σύμφωνα με πληροφορίες από την Διεύθυνση Υγιεινής του νομού, το τμήμα του ποταμού που διέρχεται μέσα από το νομό δέχεται μέσω του παραποτάμου του Γρεβενίτη τα αστικά λύματα της πόλεως των Γρεβενών, καθώς και όλων των μεγάλων οικισμών του νομού (36241 κάτοικοι).

Η συνολική περιοχή της λεκάνης απορροής δεν έχει μεγάλες βιομηχανικές μονάδες. Το ρυπαντικό φορτίο που προέρχεται από κάποιες τις

μικρές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες και τα προβλήματα που πιθανόν να δημιουργούνται είναι τοπικού χαρακτήρα και είναι σχετικά δύσκολο να εκτιμηθούν, λόγω ελλείψεως συστηματικής και κατάλληλης πληροφόρησης, αλλά σε καμία περίπτωση δεν επιβαρύνουν σημαντικά τον ταμιευτήρα.

Στο νομό Καστοριάς μία σημαντική πηγή ρύπανσης αποτελεί το σφαγείο στο Αργος Ορεστικό, που ενώ βρίσκεται πάρα πολύ κοντά στον ποταμό Αλιάκμονα, δεν έχει μονάδα καθαρισμού των αποβλήτων. Σύμφωνα με δεδομένα από την Διεύθυνση Κτηνιατρικής Καστοριάς, μόνο το έτος 1996 σφαγιάσθηκαν 2000 βοοειδή, 18.716 αιγοπρόβατα και 7755 χοίροι. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των αρμοδίων υπηρεσιών, οι υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην περιοχή του νομού, είτε βρίσκονται μακριά από τον Αλιάκμονα και τα απόβλητά τους δεν επηρεάζουν τον ποταμό, είτε έχουν σύστημα βιολογικού καθαρισμού, είτε είναι συνδεδεμένα με τον βιολογικό καθαρισμό της πόλεως της Καστοριάς

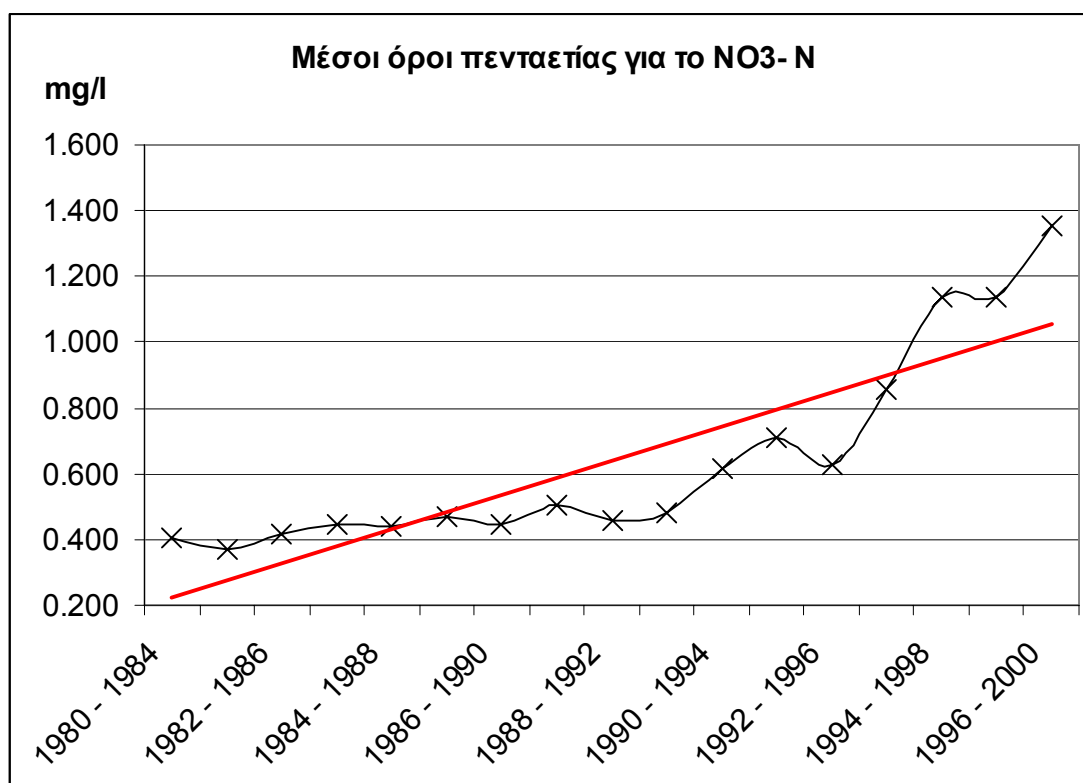
Πληροφορίες για σημαντικές σημειακές πηγές ρύπανσης στην περιοχή των Γρεβενών δεν κατέστη δυνατόν να συλλεχθούν και για αυτό πρέπει να υπάρξει κάποιος σκεπτικισμός, όσον αφορά την ύπαρξη κι άλλων δραστηριοτήτων που επιβαρύνουν τον ποταμό με ποικίλους ρύπους (ρίψη αδρανών και άλλων υλικών, στερεά απορρίμματα κ.ά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

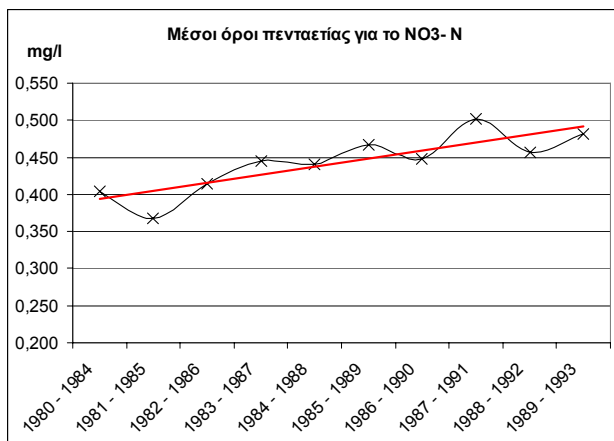
A. Ανάλυση των δεδομένων

A.1 Μετρήσεις Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης στη θέση Ιλαρίωνα

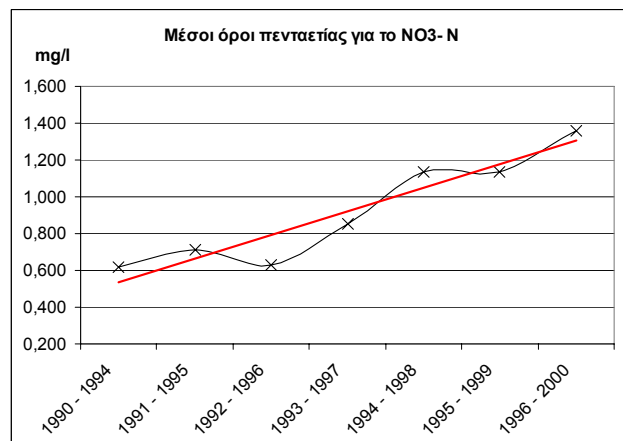
Η ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνει τον υπολογισμό των μέσων όρων πενταετίας (moving average) για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στον ταμιευτήρα (Σχήματα 5.1, 5.2 & 5.3) στη θέση Ιλαρίωνα σύμφωνα με τις μετρήσεις του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης, όπου φαίνεται η σταθερή αύξηση του αζώτου σε αντιπαράθεση με τη μείωση του φωσφόρου. Οι αναλυτικοί πίνακες των τιμών βρίσκονται στο Παράρτημα Ι.



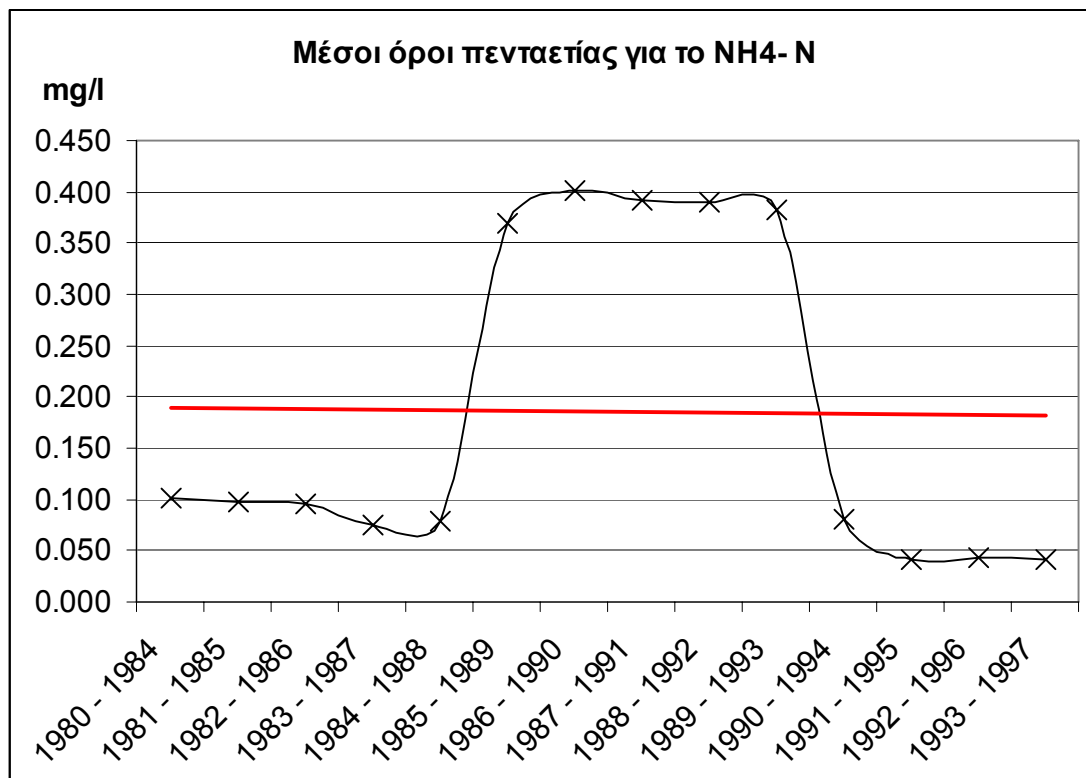
Σχήμα 5.1 Διακύμανση των νιτρικών αλάτων ανα πενταετία
(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)



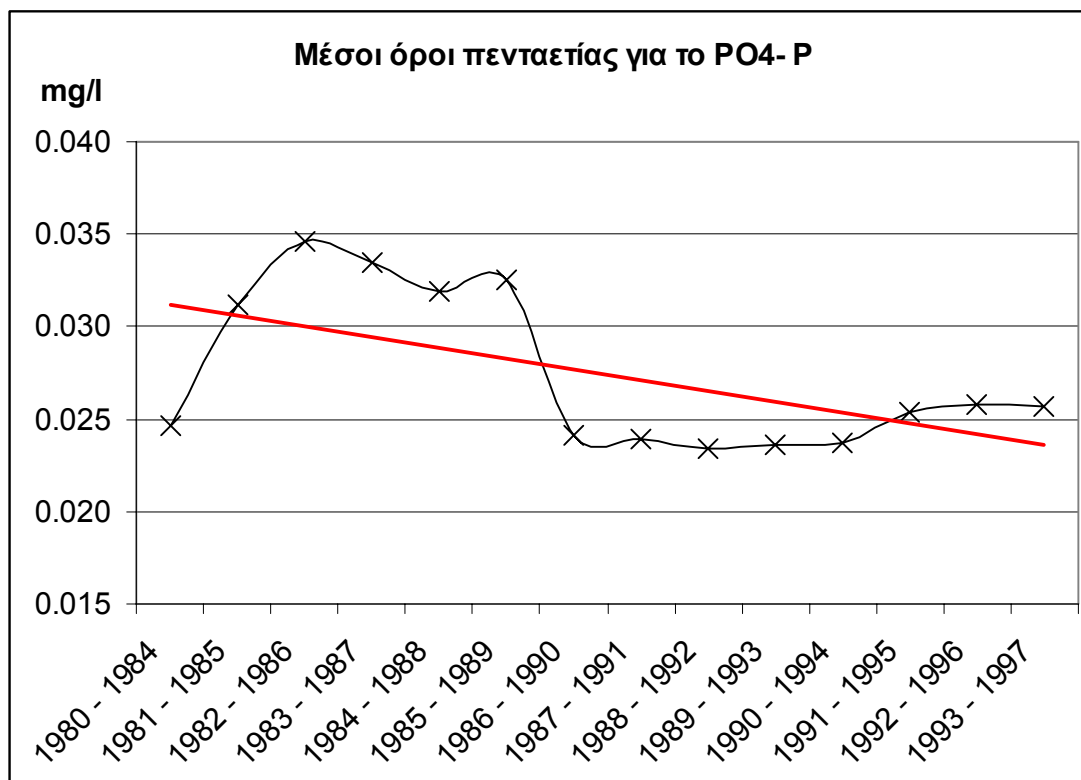
Σχήμα 5.1α Διακύμανση των νιτρικών αλάτων ανα πενταετία μέχρι το 1990 (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)



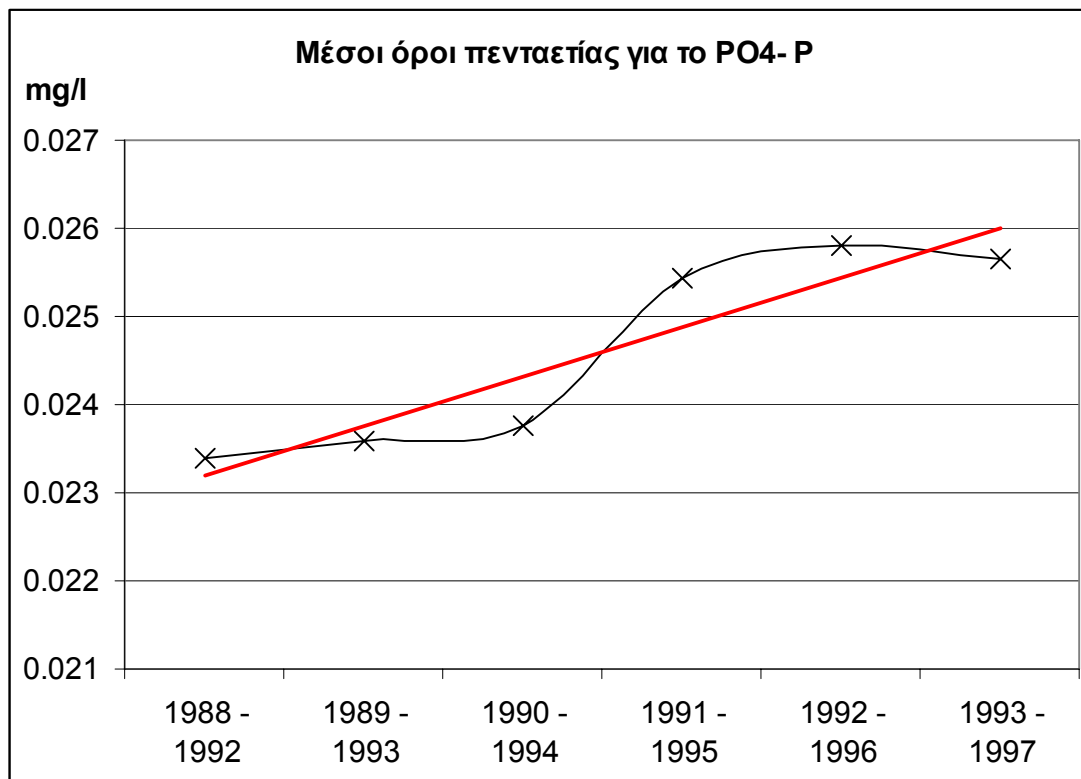
Σχήμα 5.1β Διακύμανση των νιτρικών αλάτων ανα πενταετία μετά το 1990 (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)



Σχήμα 5.2 Διακύμανση των αμμωνιακών αλάτων ανα πενταετία (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)



Σχήμα 5.3 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων ανα πενταετία
(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)



Σχήμα 5.4 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων ανα πενταετία μετά το 1988
(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων και τη δημιουργία των διαγραμμάτων παρουσιάζεται μία απόκλιση μεταξύ των δύο φορέων μέτρησης.

Για παράδειγμα αν χωριστεί η γραφική παράσταση για τα νιτρικά σε δύο (μία γραφική παράσταση για τη δεκαετία του '80 και μία για τη δεκαετία του '90), παρατηρούνται δύο διαφορετικές τάσεις στις μετρήσεις (Σχ. 5.1α και 5.1β). Η ηπιότερη τάση προηγείται τις εντονότερης, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε δύο παράγοντες: είτε στην ραγδαία αύξηση των φορτίων, είτε στην αλλαγή του φορέα μετρήσεων και της αναλυτικής μεθόδου που χρησιμοποιεί. Το δεύτερο ενδεχόμενο είναι πιθανότερο γιατί η άύξηση συμβαίνει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια ανάλυση παρατηρείται πως η τάση των θρεπτικών του φωσφόρου από το 1990 και μετά είναι αύξουσα (Σχήμα 5.4)., ενώ η συνολική τάση των φωσφορικών φαίνεται να είναι αρνητική.

Τέλος, η ανεξήγητη απότομη αύξηση της αμμωνίας για το διάστημα 1989 -1994 και η ακόλουθη απότομη πτώση, δεν μπορεί να συνδυαστεί με κάποιο άλλο δεδομένο ή παράγοντα. Αποτελεί σημαντική ένδειξη αναλυτικών προβλημάτων στις μετρήσεις, αφού με την αλλαγή του φορέα μετρήσεων, οι τιμές τις αμμωνίας επιστρέφουν στα προηγούμενα επίπεδα. Οι παραπάνω αποκλίσεις δεν είναι δυνατόν να περάσουν απαρατήρητες.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός του περιοριστικού παράγοντα (Πίνακας 5.1). Περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος αφού ο λόγος αζώτου-φωσφόρου είναι πολύ μεγαλύτερος του 16 και μάλιστα παρουσιάζει αυξητική τάση.

Πενταετία	NO ₃ -N (mol/l)	PO ₄ -P (mol/l)	Λόγος N/P
1980 - 1984	2.89E-05	7,95E-07	36.33
1981 - 1985	2.62E-05	1,00E-06	26.11
1982 - 1986	2.96E-05	1,11E-06	26.59
1983 - 1987	3.18E-05	1,08E-06	29.45
1984 - 1988	3.15E-05	1,03E-06	30.60
1985 - 1989	3.34E-05	1,05E-06	31.77
1986 - 1990	3.20E-05	7,78E-07	41.09
1987 - 1991	3.59E-05	7,72E-07	46.45
1988 - 1992	3.26E-05	7,55E-07	43.16
1989 - 1993	3.44E-05	7,61E-07	45.25
1990 - 1994	4.39E-05	7,66E-07	57.32
1991 - 1995	5.06E-05	8,20E-07	61.75

1992 - 1996	4.50E-05	8,32E-07	54.02
1993 - 1997	6.10E-05	8,27E-07	73.73

Πίνακας 5.1 Προσδιορισμός λόγου N/P για κάθε πενταετία

Εφόσον περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος, βάση της κατάταξης της λίμνης σε μια από της κατηγορίες ευτροφισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης της EPA (Πίνακας 5.2). Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη ο ταμιευτήρας του Πολύφυτου είναι ευτροφικός.

Τροφική κατάσταση	Chl-a, µg/L	Ολικός Φώσφορος, µg/L	Βάθος δίσκου Secchi
Ολιγοτροφική	<7	<10	>3.7
Μεσοτροφική	7-12	10 - 20	2 - 3.7
Ευτροφική	>12	>20	<2

Πίνακας 5.2 Δείκτης τροφικής κατάστασης της EPA

A.2 Μετρήσεις ΕΛΚΕΘΕ στον ταμιευτήρα Πολύφυτου

Όσο αφορά τις εποχιακές μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση του μοντέλου, υπολογίστικαν οι μέσες τιμές και η τυπική απόκλιση (Πίνακας 5.3, 5.4 & 5.5). Κατά τη σύγκριση με τις μετρήσεις του Υπουργείου παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις, οι οποίες δημιουργούν προβληματισμό για την ακεραιότητα και αντικειμενικότητα των δυο δειγματοληπτικών ομάδων. Οι λόγοι των μέσων συγκεντρώσεων θρεπτικών σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΕΛΚΕΘΕ προς τους μέσους όρους πενταετίας των μετρήσεων του Υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης είναι 0.38, 1.48 και 2.19 για τα νιτρικά, τα αμμωνιακά και τα φωσφορικά, αντίστοιχα.

Ιούλιος					
NO3-N (mg/l)		NH4-N (mg/l)		PO4-P (mg/l)	
Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας
0.95	0.25	0.02	0.05	0.14	0.03
0.25	0.70	0.05	0.05	0.06	0.03
0.20	0.60	0.02	0.05	0.06	0.06
0.20	0.80	0.06	0.07	0.05	0.04
0.20	0.80	0.01		0.04	0.05
0.20		0.05		0.04	
0.33	0.63	0.04	0.06	0.06	0.04
0.30	0.23	0.02	0.01	0.04	0.02

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Ιούλιος 1996), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).

Μάρτιος					
NO ₃ -N (mg/l)		NH ₄ -N (mg/l)		PO ₄ -P (mg/l)	
Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας
0.40	0.40	0.09	0.06	0.03	0.13
0.40	0.40	0.20	0.07	0.08	0.06
0.25	0.30	0.05		0.04	0.06
0.30	0.20	0.05		0.16	0.10
0.20	0.20	0.05		0.15	
0.20		0.06		0.09	
0.20		0.06			
0.28	0.30	0.08	0.07	0.09	0.09
0.09	0.10	0.05	0.01	0.05	0.03

Πίνακας 5.4 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Μάρτιος 1997), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).

Σεπτέμβριος					
NO ₃ -N (mg/l)		NH ₄ -N (mg/l)		PO ₄ -P (mg/l)	
Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας	Επιφάνεια	Πυθμένας
0.05	0.10	0.07	0.07	0.01	0.04
0.05	0.65	0.07	0.07	0.01	0.06
0.05	0.05	0.10	0.04	0.03	0.00
0.05	0.65	0.07	0.04	0.00	0.07
0.05		0.05		0.00	
0.05	0.36	0.07	0.06	0.01	0.04
0.00	0.33	0.02	0.02	0.01	0.03

Πίνακας 5.5 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Σεπτέμβριος 1997), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στον ταμιευτήρα έγινε η αρχική εκτίμηση του φορτίου των θρεπτικών που εισέρχεται στη λίμνη από τις μη σημειακές πηγές σύμφωνα με τη μεθοδολογία Dillon.

A.3 Μοντέλο Dillon

Για την επαλήθευση των συνολικών φορτίων θρεπτικών που καταλήγουν στον ταμιευτήρα χρησιμοποιείται το μοντέλο Dillon, που βασίζεται στο ισοζύγιο μάζας κάθε συστατικού. Θα ισχύει :

$$V \frac{dC}{dT} = QC_{in} - QC - k_s CV$$

όπου $k_s = \frac{V_s}{H}$ και V_s η ταχύτητα καθίζησης και H το μέσο βάθος

Σε συνθήκες σταθερής κατάστασης θα ισχύει :

$$QC_{in} = QC + k_s CV \Rightarrow \frac{QC_{in}}{A} = \frac{QC}{A} + \frac{k_s CV}{A}$$

Όμως $L = \frac{QC_{in}}{A}$ είναι ο ρυθμός φόρτισης του ταμιευτήρα από τα

θρεπτικά

$\frac{k_s CV}{A} = LR$ η ποσότητα που κατακρατείται στον ταμιευτήρα και

$\frac{QC}{A} = \frac{QC}{A} \times \frac{H}{H} = \frac{HC}{\tau}$ με τ το χρόνο παραμονής

Επομένως η εξίσωση θα είναι :

$$L - LR = \frac{HC}{\tau} \Rightarrow L(1 - R)\tau = HC \text{ και για } 1/\tau = \rho$$

$$\boxed{\frac{L(1 - R)}{\rho} = HC}$$

Όπου :

L το φορτίο θρεπτικών που εισέρχεται στη λίμνη

R ο συντελεστής κατακράτησης (καθίζηση)

ρ ο ρυθμός ξεπλύματος

H το μέσο βάθος της λίμνης

C η συγκέντρωση των θρεπτικών

Για τον υπολογισμό του ρυθμού ξεπλύματος, θα υπολογιστεί ο χρόνος παραμονής του ταμιευτήρα βάση των δεδομένων παροχής του Αλιάκμονα (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης, 1996-2001).

$$\rho = \frac{1}{\tau} = \frac{Q}{V} = \frac{157 \times 10^6}{1036.19 \times 10^6} = 0.15$$

Ο υπολογισμό του συντελεστή κατακράτησης θα γίνει με δύο τρόπους :

α) Έκφραση Kircher & Dillon

$$R = 0.426 \times e^{(-0.271 \frac{H}{\tau})} + 0.577 \times e^{(-0.000949 \frac{H}{\tau})}$$

$$R = 0.426 \times e^{-0.6229} + 0.577 \times e^{-0.0218} = 0.79$$

β) Έκφραση Vollenweider

$$R = \frac{\frac{V_s}{H} \tau}{1 + \frac{V_s}{H} \tau} = \frac{0.82 \times 6.59}{1 + 0.82 \times 6.59} = 0.84$$

Επομένως $R = \bar{R} = \frac{0.79 + 0.84}{2} = 0.815$ και

$$L = \frac{HC\rho}{(1-R)} = \frac{15.16 \cdot 0.15 \times C}{1 - 0.815} = 12.291C \frac{\mu g \cdot m}{10^{-3} m^3 \cdot yr} = 12,291C \frac{g}{m^2 \cdot yr}$$

Για όλη τη λίμνη θα ισχύει :

$$L = 12.291C \frac{g}{m^2 \cdot yr} \times 68.35 \times 10^6 m^2 = 840.15C \frac{tn}{yr} \text{ με C σε mg/l}$$

Επομένως για την άνοιξη, που παρουσιάζεται καλή ανάμειξη των νερών της λίμνης και οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αντικατοπτρίζουν το σύνολο της λίμνης θα ισχύει :

	Μέσος Όρος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Νιτρικά (tn N/yr)	268.9	168	336
Αμμωνιακά (tn N/yr)	33.6	8.5	42
Φωσφορικά (tn P/yr)	79	33	126

Να σημειωθεί πως τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν για τις συγκεντρώσεις των μετρήσεων του ΕΛΚΕΘΕ. Αν χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του υπουργείου Γεωργικής Ανάπτυξης για τα νιτρικά, τότε το ετήσιο φορτίο εκτιμάται στους 717.5 tn, δηλαδή 2.3 φορές μεγαλύτερο. Αυτά τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την ανάλυση που γίνεται στα δεδομένα χρήσης γης για τον προσδιορισμό των ρυπαντικών φορτίων με τη χρήση συντελεστών εκπομπής.

A.4 Προσδιορισμός φορτίων με τη μέθοδο των συντελεστών

Ο προσδιορισμός των φορτίων με τη μέθοδο συντελεστών κρίνεται απαραίτητος για την ανάλυση του συνολικού ρυπαντικού φορτίου σε επιμέρους ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση της μελλοντικής κατάστασης του συστήματος με τη δημιουργία σεναρίων οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης.

Η μέθοδος των συντελεστών χρησιμοποιεί συσχετίζει το μέγεθος κάθε ανθρωπογενούς δραστηριότητας στη λεκάνη απορροής (π.χ. κτηνοτροφική δραστηριότητα 5000 αγελάδων), με τις ποσότητες θρεπτικών συστατικών που παράγονται, μέσω εμπειρικών συντελεστών (Sogreah, 1974, Padilla et al., 1997, World Bank, 1993, Gianessi et al., 1984, World Health Organization (WHO), 1993, Valiela et al., 1997, Gonzales et al., 1996, Howarth et al., 1996).

Για τον προσδιορισμό των φορτίων με τη μέθοδο των συντελεστών χρησιμοποιήθηκε το λογιστικό φύλλο Excel, της μεθοδολογίας LOICZ (San Diego-McGlone et al., 2000). Στο εν λόγω φύλλο εισάγονται τα στατιστικά μεγέθη των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (Πίνακας 5.6) και στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου (Πίνακας 5.7).

Το λογιστικό φύλλο βαθμονομήθηκε ως προς το ποσοστό του ρυπαντή που καταλήγει στον υδατικό αποδέκτη. Θεωρήθηκε πως τα αστικά λύματα των οικισμών που δε διαθέτουν μονάδα επεξεργασίας των λυμμάτων καταλήγουν σε ποσοστό κοντά στο 100%, μέσω της διάθεσης τους σε χειμάρρους και τελικά στον αποδέκτη. Αντίθετα τα κτηνοτροφικά απόβλητα, λόγω της ελεύθερης βοσκησης που επικρατεί στην περιοχή, φτάνουν σε πολύ μικρά ποσοστά στον ποταμό και στο ταμιευτήρα.

Τα συνολικά ετήσια φορτία που καταλήγουν στη λίμνη είναι 237 τόνοι αζώτου και 102 τόνοι φωσφόρου. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν στο 88% του αζώτου και στο 128.75% του φωσφόρου που υπολογίστηκε με τη μεθοδολογία Dillon. Η απόκλιση αυτή θεωρείται εντός του στατιστικού λάθους που προκύπτει από την αβεβαιότητα των δεδομένων.

Activity	Discharge coef (unit)		Activity level (no) (unit)		Total N (kg/yr)	Total P (kg/yr)	% entering the bay	DIN (mol/yr)	DIP (mol/yr)
<i>Household</i>									
a. solid waste	1.9	kgN/prn/yr	47465	person	88284.9	17562.05	75	1797228	212444.2
	0.4	kgP/prn/yr							
b. domestic sewage	4	kgN/prn/yr	47465	person	189860	47465	90	4638009	689008.1
	1	kgP/prn/yr							
c. detergent	1	kgP/prn/yr	47465	person		47465	10	0	76556.45
<i>Urban runoff (unsewered areas)</i>	1.9	mgN/liter	12000000	avg rain(m/yr) x urban area(m2)	13680	2880	50	185657.1	23225.81
	0.4	mgP/liter							
<i>Livestock</i>									
a. cattle	85	kgN/cow/yr	11283	cow	959055	127497.9	1	260314.9	20564.18
	11	kgP/cow/yr							
b. horses	95	kgN/hor/yr		horse	0	0	1	0	0
	16	kgP/hor/yr							
c. sheep	8	kgN/shp/yr	307370	sheep	2458960	3534755	1	667432	570121.8
	12	kgP/shp/yr							
a. piggery	14	kgN/pig/yr	11339	pig	156478.2	26079.7	1	42472.65	4206.403
	2.3	kgP/pig/yr							
b. poultry	0.6	kgN/bird/yr	113700	bird	62535	79590	1	16973.79	12837.1
	0.7	kgP/bird/yr							
<i>Non-point agricultural runoff</i>									
a. cropland erosion	1.7	kgN/ton	12000	ton soil eroded/yr	20160	480	100	547200	7741.935
	0	kgP/ton							
<i>Manufacturing</i>									
a. slaughtering									
- cattle	0.3	kgN/cattle	2000	cattle/yr	600	40	25	4071.429	161.2903
	0	kgP/cattle							
- pig	0.1	kgN/pig	7755	pig/yr	620.4	46.53	25	4209.857	187.621
	0	kgP/pig							
- lamb	0	kgN/lamb	18716	lamb/yr	748.64	56.148	25	5080.057	226.4032
	0	kgP/lamb							

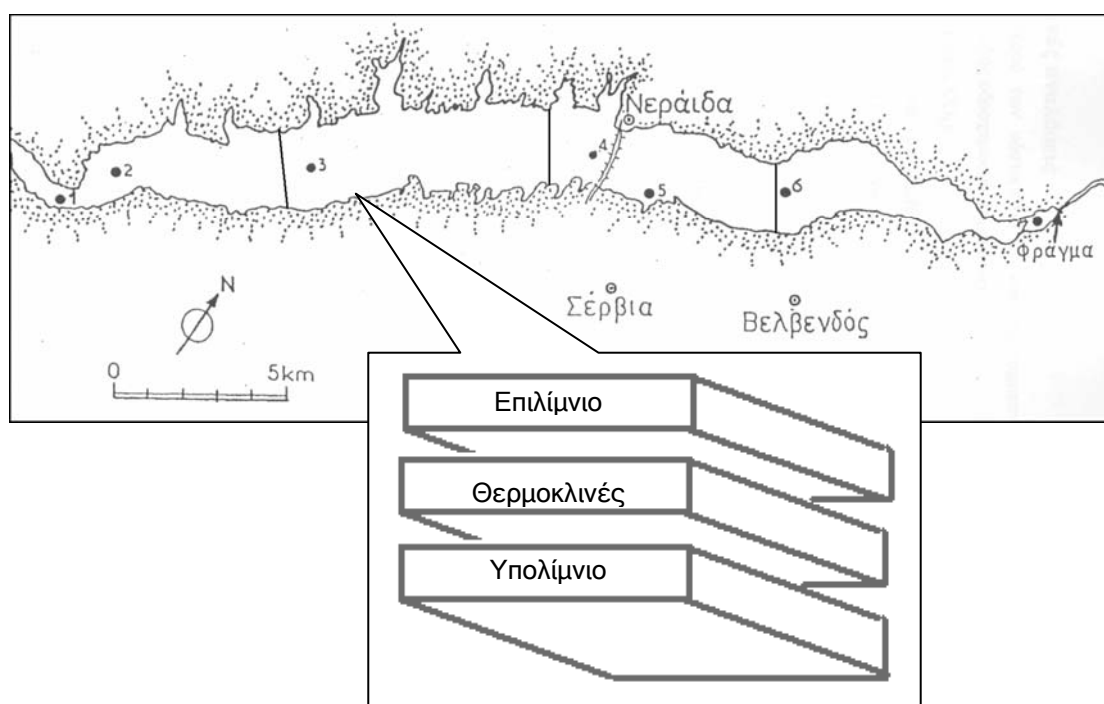
Πίνακας 5.6 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα

Activity	Discharge coef (unit)	Activity level (no) (unit)	Total N (kg/yr)	Total P (kg/yr)	% entering the bay	DIN (mol/yr)	DIP (mol/yr)
<i>Household</i>							
a. solid waste	1.9 kgN/prn/yr 0.4 kgP/prn/yr	48054 person	89380.44	17779.98	90	2183436	258096.5
b. domestic sewage	4 kgN/prn/yr 1 kgP/prn/yr	48054 person	192216	48054	100	5217291	775064.5
c. detergent	1 kgP/prn/yr	48054 person		48054	10	0	77506.45
<i>Urban runoff (unsewered areas)</i>	1.9 mgN/liter 0.4 mgP/liter	12500000 avg rain(m/yr) x urban area(m2)	14250	3000	100	386785.7	48387.1
<i>Livestock</i>							
a. cattle	85 kgN/cow/yr 11 kgP/cow/yr	2032 cow	172720	22961.6	5	234405.7	18517.42
b. horses	95 kgN/hor/yr 16 kgP/hor/yr	horse	0	0	1	0	0
c. sheep	8 kgN/shp/yr 12 kgP/shp/yr	50165 sheep	401320	576897.5	5	544648.6	465239.9
a. piggery	14 kgN/pig/yr 2.3 kgP/pig/yr	763 pig	10529.4	1754.9	5	14289.9	1415.242
b. poultry	0.6 kgN/bird/yr 0.7 kgP/bird/yr	31206 bird	17163.3	21844.2	5	23293.05	17616.29
<i>Non-point agricultural runoff</i>							
a. cropland erosion	1.7 kgN/ton 0 kgP/ton	3000 ton soil eroded/yr	5040	120	100	136800	1935.484

Πίνακας 5.7 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ταμειυτήρα
Πολύφυτου

B. Διαμερισματοποίηση

Ο ταμιευτήρας Πολύφυτου χωρίστηκε σε 4 τμήματα, κάθε ένα από τα οποία αποτελούταν από τρία παράλληλα τμήματα, δηλαδή χωρίστηκε συνολικά σε 12 τμήματα (Σχήμα 5.5). Ο διαχωρισμός αυτός έγινε σύμφωνα με τις θέσεις δειγματοληψίας και την εποχιακή στρωμάτωση των υδάτων του ταμιευτήρα όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4 (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 5.5 Διαμερισματοποίηση του ταμιευτήρα Πολύφυτου (ορίζοντια και κατακόρυφη)

Γ. Βαθμονόμηση του μοντέλου

Η διαδικασία της βαθμονόμησης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των καταλλήλων τιμών, μέσα από συνεχείς επαναλήψεις στην εκτέλεση του μοντέλου, για τις σταθερές που περιγράφουν τις διεργασίες του ευτροφισμού. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τον έλεγχο τριών βασικών κριτηρίων :

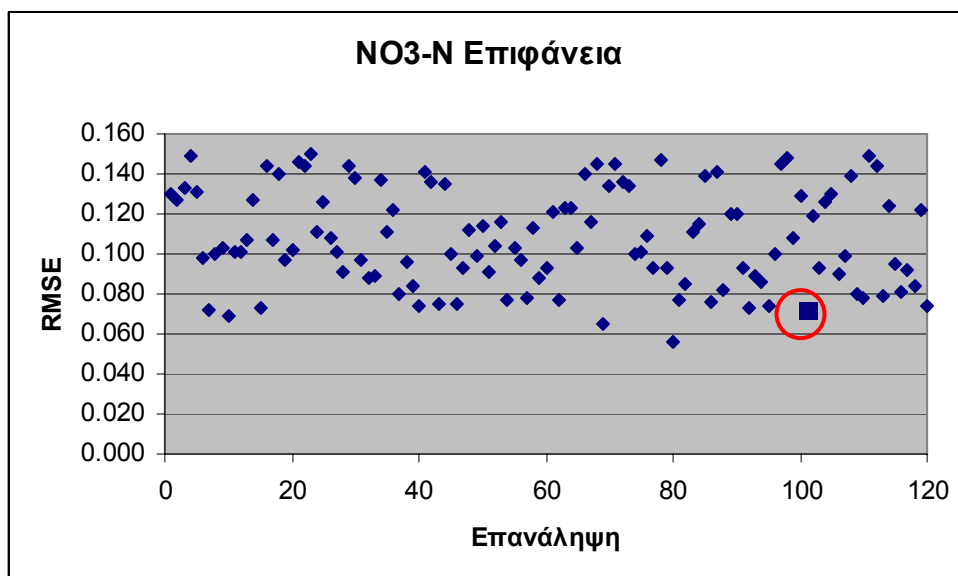
1. Την ελαχιστοποίηση του Root Mean Square Error για τις συγκεντρώσεις του νιτρικού N και του φωσφορικού P στην επιφάνεια και των πυθμένα, σε σχέση με κάθε σταθερά του συστήματος.
2. Το ποσοστό των προβλεπόμενων συγκεντρώσεων που βρίσκονται εντός της τυπικής απόκλισης των μετρούμενων.
3. Τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών και τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης.

Τα πρώτα δύο κριτήρια ελέγχονται μετά από κάθε επανάληψη για κάθε μια από τις μεταβλητές. Θα πρέπει να αναφερθεί ξανά ο ορισμός του RMSE που είναι :

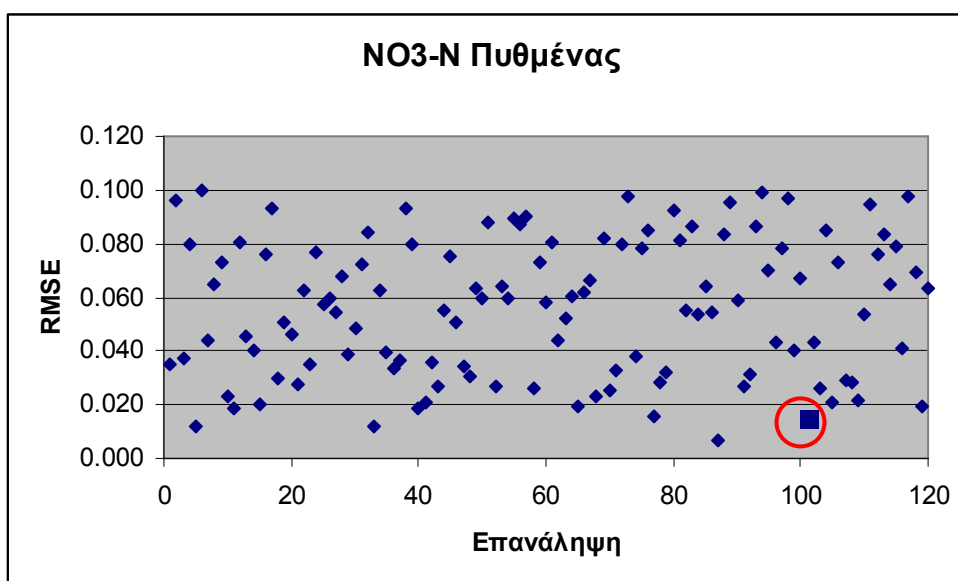
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ob} - x_{exp})^2}{n}}$$

όπου x_{ob} η παρατηρούμενη τιμή και x_{exp} η προβλεπόμενη τιμή για συνολικά n τιμές.

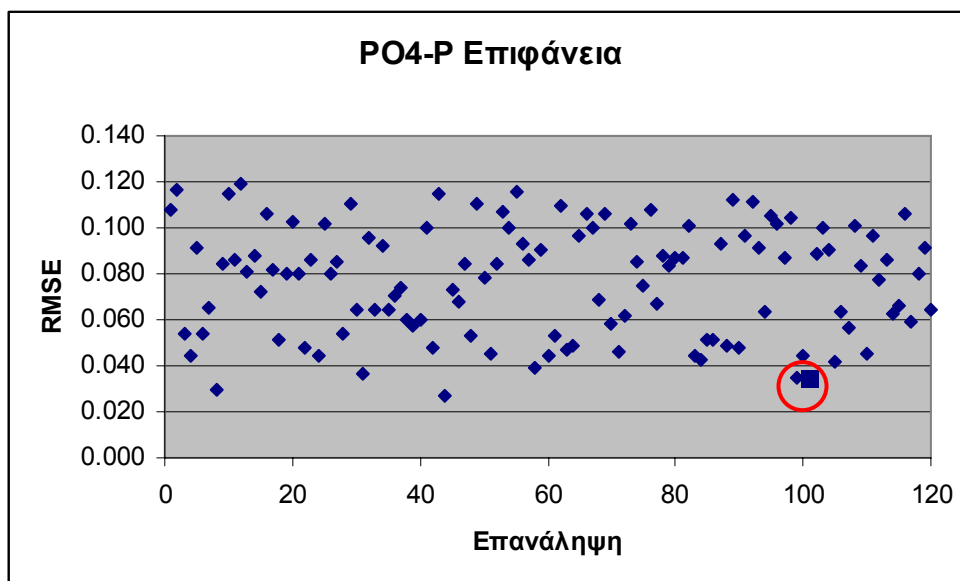
Παρατηρείται διαφορετική διακύμανση του RMSE για τα νιτρικά και τα φωσφορικά στην επιφάνεια και τον πυθμένα (Σχήματα 5.6 - 5.9), κι επομένως η ελαχιστοποίηση του για κάθε μεταβλητή λαμβάνει χώρα για διαφορετική τιμή της σταθεράς που βαθμονομείται.



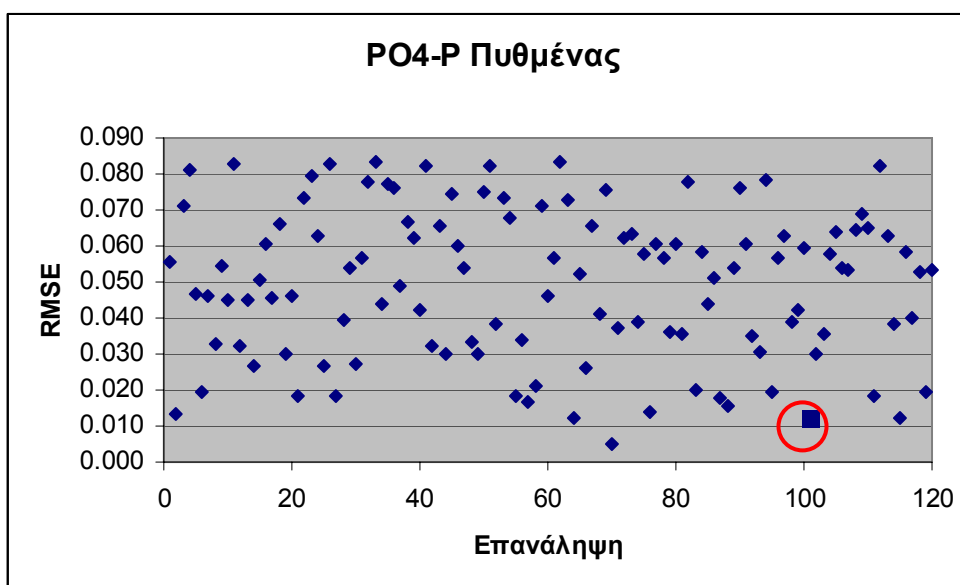
Σχήμα 5.6 Διακύμανση του RMSE του NO₃-N στην επιφάνεια κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο μες στον κύκλο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)



Σχήμα 5.7 Διακύμανση του RMSE του NO₃-N στον πυθμένα κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο μες στον κύκλο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)

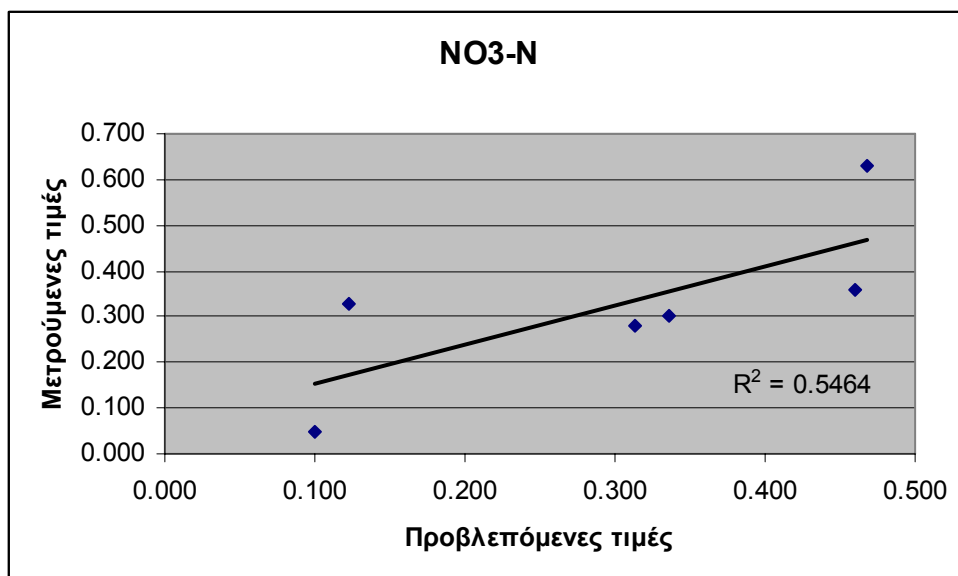


Σχήμα 5.8 Διακύμανση του RMSE του PO₄-P στην επιφάνεια κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο μες στον κύκλο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)

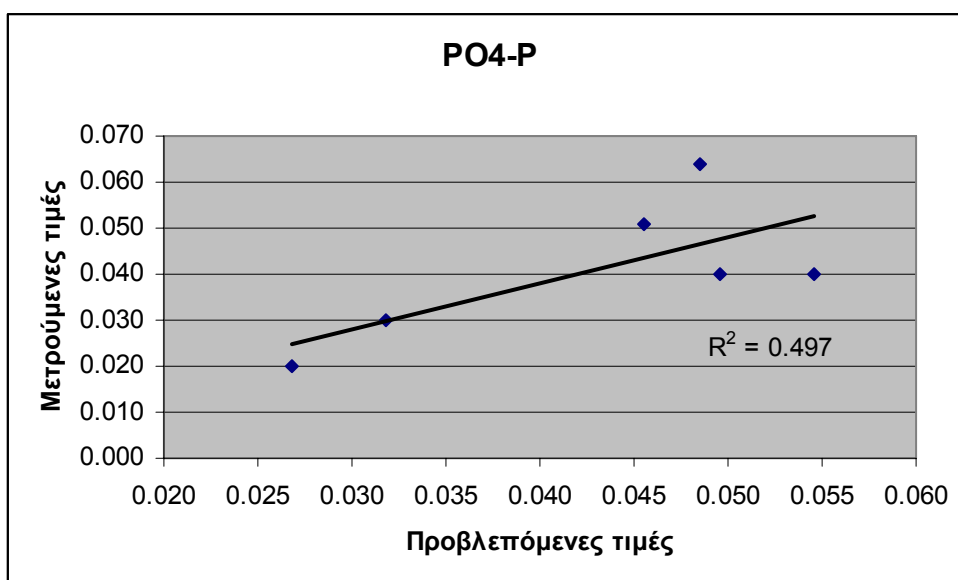


Σχήμα 5.9 Διακύμανση του RMSE του PO₄-P στον πυθμένα κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο μες στον κύκλο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)

Η γραμμική συσχέτιση ανάμεσα σε παρατηρούμενες και προβλεπόμενες τιμές παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.10 - 5.11, καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης R^2 . Η συσχέτιση είναι σχετικά καλή, αλλά οι παρατητούμενες τιμές θα έπρεπε να είναι περισσότερες για να αυξηθεί η αξιοπιστία της βαθμονόμησης. Οι τελικές τιμές των συντελεστών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8.



Σχήμα 5.10 Γραμμική συσχέτιση των μετρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών για το NO₃-N

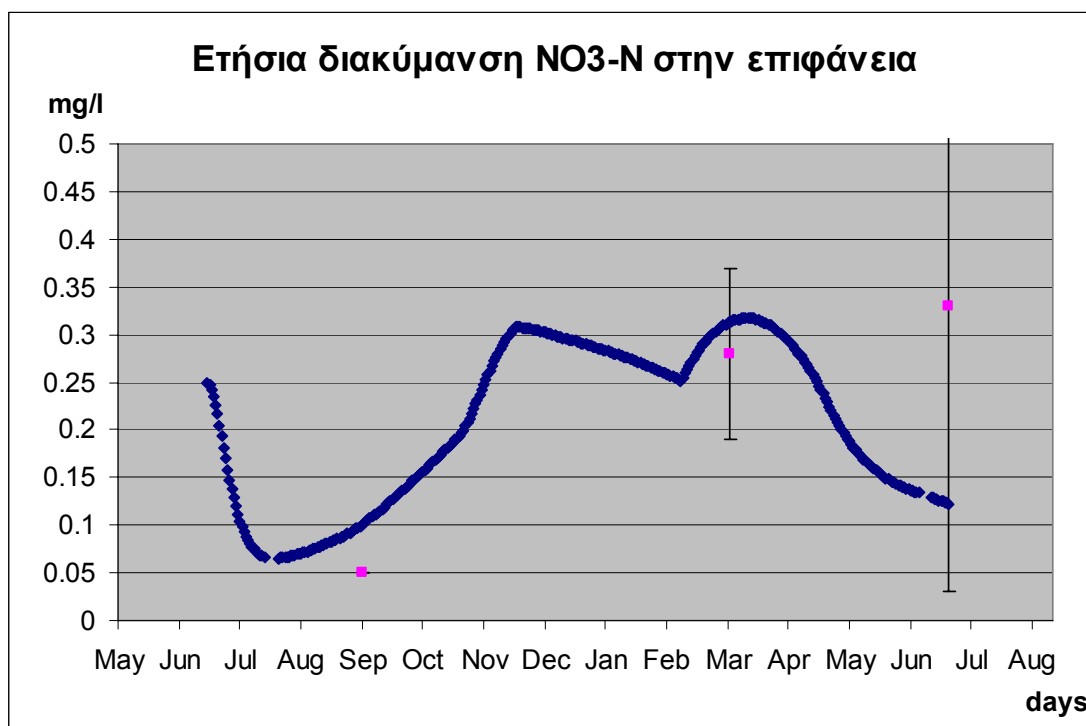


Σχήμα 5.11 Γραμμική συσχέτιση των μετρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών για το PO₄-P

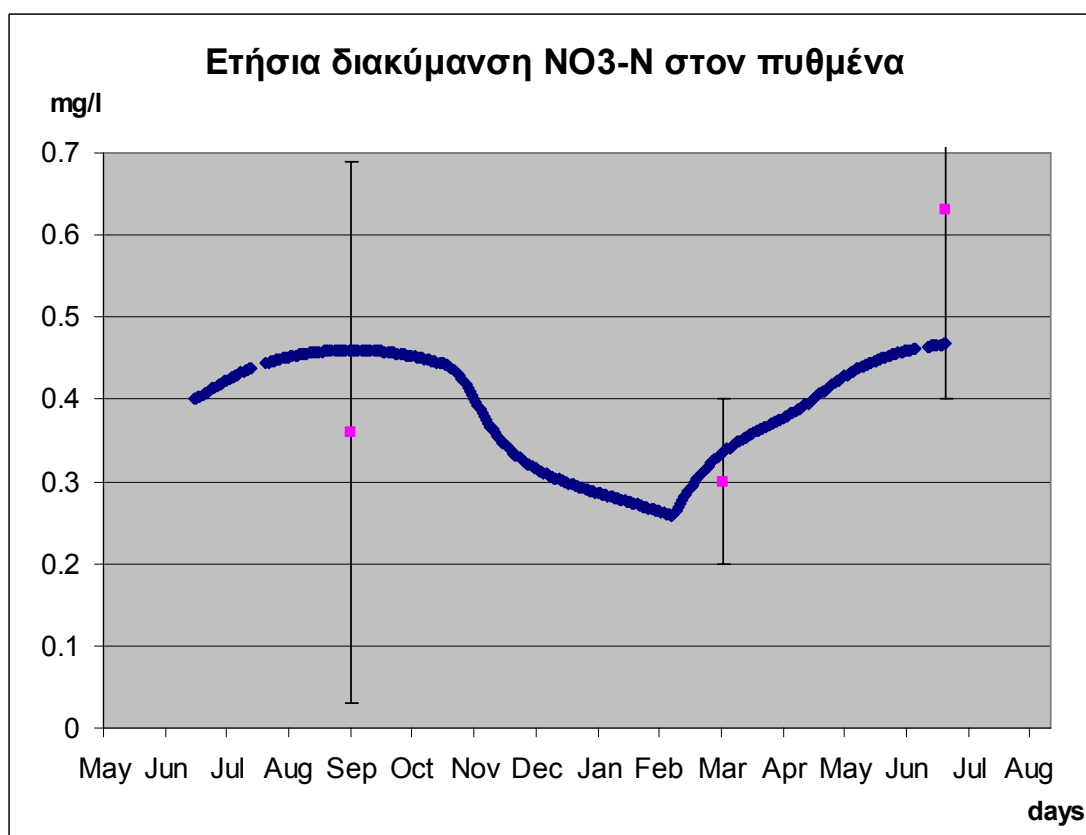
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές και την τυπική τους απόκλιση παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.12 - 5.15.

Σταθερά	Επιλεγμένη Τιμή	Μέγιστη Επιτρεπτή Τιμή
Oxygen::Carbon Stoichiometric Ratio	2.67	2.67
Reaeration Rate	0.3	10
Nitrification Rate @20 °C	0.08	10
Nitrification Temperature Coefficient	1.07	1.069
Denitrification Rate @20 °C	0.09	0.09
Denitrification Temperature Coefficient	1.04	1.045
Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Rate @20 °C	0.075	1.08
Dissolved Organic Nitrogen Mineralization Temperature Coefficient	1.08	1.08
Mineralization Rate of Dissolved Organic Phosphorus @20 °C	0.001	0.22
Dissolved Organic Phosphorus Mineralization Temperature Coefficient	1.047	1.08
Light Extinction Coefficient	0.22	-
Phytoplankton Maximum Growth Rate @20 °C	0.6	3.0
Phytoplankton Growth Temperature Coefficient	1.04	1.066
Phytoplankton Maximum Quantum Yield Constant	720	720
Phytoplankton Carbon::Chlorophyll Ratio	120	200
Phytoplankton Optimal Light Saturation	200	350
Phytoplankton Half-Saturation Constant for Nitrogen	0.05	0.05
Phytoplankton Half-Saturation Constant for Phosphorus	0.01	0.05
Phytoplankton Endogenous Respiration Rate @20 °C	0.08	0.5
Phytoplankton Respiration Temperature Coefficient	1.02	1.08
Phytoplankton Death Rate Non-Zooplankton Predation	0.02	0.25
Phytoplankton Decay Rate in Sediments	0.01	0.02
Phytoplankton Temperature Coefficient for Sediment Decay	1.01	1.08
Phytoplankton Carbon::Phosphorus Ratio	0.012	0.24
Phytoplankton Carbon:: Nitrogen Ratio	0.13	0.43

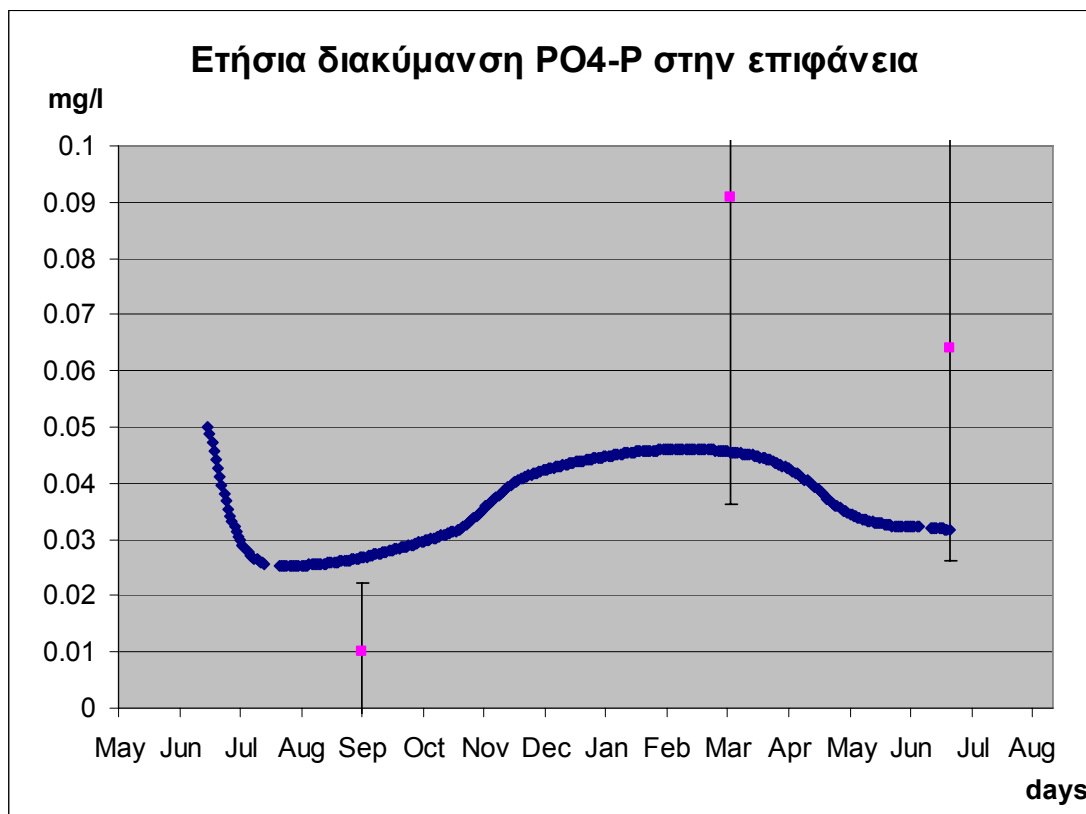
Πίνακας 5.8 Τελικές τιμές βαθμονόμησης των σταθερών του μοντέλου



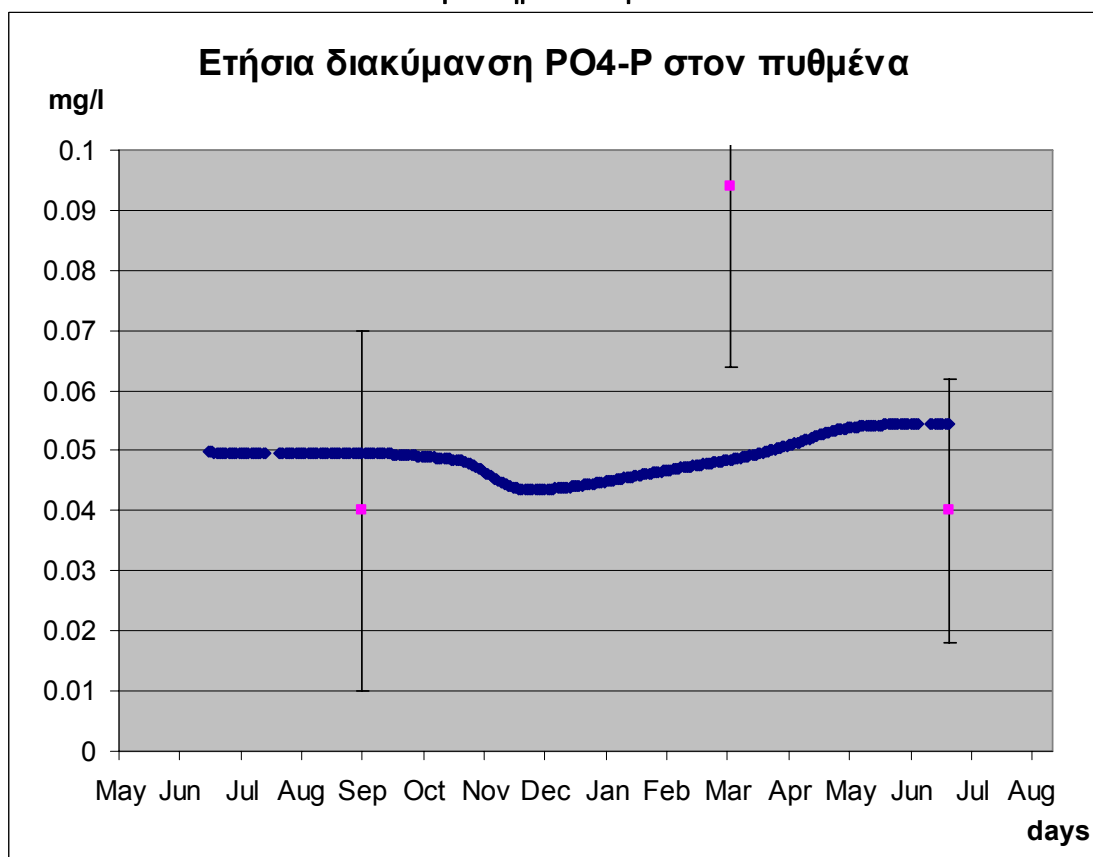
Σχήμα 5.12 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το NO₃-N στην επιφάνεια του ταμειυτήρα Πολύφυτου



Σχήμα 5.13 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το NO₃-N στον πυθμένα του ταμειυτήρα Πολύφυτου



Σχήμα 5.14 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το PO₄-P στην επιφάνεια του ταμιευτήρα Πολύφυτου



Σχήμα 5.15 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το PO₄-P στον πυθμένα του ταμιευτήρα Πολύφυτου

Δ. Ανάλυση ευαισθησίας

Για την ανάλυση ευαισθησίας επιλέχθηκαν οι εξής σταθερές του συστήματος : μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της Chl-a, λόγος φωσφόρου-άνθρακα, λόγος αζώτου-άνθρακα, συντελεστής νιτροποίησης, συντελεστής ορυκτοποίησης του φωσφόρου. Οι παραπάνω σταθερές αυξήθηκαν και μειώθηκαν κατά 10% της επιλεγμένης τιμής τους έτσι ώστε να προσδιοριστεί και να συγκριθεί η ευαισθησία τους. Ο προσδιορισμός και σύγκριση γίνεται μέσω του συντελεστή ευαισθησίας που ορίζεται από την σχέση :

$$S_i = \left| \frac{\frac{\Delta O_k}{O_k}}{\frac{\Delta Y_i}{Y_i}} \right|$$

όπου Y_i η τιμή της σταθεράς i ,
 ΔY_i η μεταβολή της σταθεράς i ,
 O_i η τιμή της μεταβλητής k και
 ΔO_k η μεταβολή της k .

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.9 - 5.18. Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση ευαισθησίας είναι τα εξής :

- Παρατηρείται πως το νιτρικό άζωτο παρουσιάζει γενικότερα μεγαλύτερες μεταβολές σε σχέση με το φωσφορικό φώσφορο κατά τις αυξομειώσεις των μεταβλητών.
- Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στα επιφανειακά στρώματα από ότι στον πυθμένα.
- Ο Μάρτιος, εξαιτίας της μειωμένης πρωτογενούς παραγωγής, παρουσιάζει τη μικρότερη ευαισθησία στις μεταβολές των σταθερών (τόσο εκείνων που αφορούν τη χλωροφύλλη όσο και των υπολοίπων).
- Η πιο ευαίσθητη σταθερά που επηρεάζει το σύστημα μας είναι ο λόγος φωσφόρου - άνθρακα στη σύσταση του φυτοπλαγκτού. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, εφόσον ο φώσφορος είναι ο περιοριστικός παράγοντας στον ταμιευτήρα Πολύφυτου.

Μείωση 10% του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης της Chl-a				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	1.86	0.80	0.00	0.00
Μάρτιος	0.85	0.53	0.52	0.18
Ιούλιος	2.14	0.92	0.02	0.05

Αύξηση 10% του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης της Chl-a				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	2.28	0.82	0.00	0.00
Μάρτιος	0.92	0.56	0.52	0.17
Ιούλιος	2.89	0.96	0.02	0.04

Μείωση 10% του λόγου P/C				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	7.82	4.60	0.00	0.01
Μάρτιος	0.18	0.45	0.02	0.12
Ιούλιος	7.38	4.15	0.00	0.05

Αύξηση 10% του λόγου P/C				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	0.44	0.57	0.00	0.01
Μάρτιος	0.04	0.20	0.02	0.12
Ιούλιος	0.52	0.78	0.00	0.05

Μείωση 10% του λόγου N/C				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	1.12	0.12	0.02	0.00
Μάρτιος	0.23	0.00	0.16	0.00
Ιούλιος	1.52	0.15	0.03	0.00

Αύξηση 10% του λόγου N/C				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	1.71	0.16	0.03	0.00
Μάρτιος	0.30	0.00	0.21	0.00
Ιούλιος	2.67	0.21	0.04	0.00

Μείωση 10% του συντελεστή νιτροποίησης				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	0.60	0.00	0.03	0.00
Μάρτιος	0.22	0.00	0.24	0.00
Ιούλιος	0.55	0.00	0.06	0.00

Αύξηση 10% του συντελεστή νιτροποίησης				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	0.48	0.00	0.02	0.00
Μάρτιος	0.19	0.00	0.20	0.00
Ιούλιος	0.43	0.00	0.04	0.00

Μείωση 10% του συντελεστή ορυκτοποίησης του P				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	0.22	0.33	0.00	0.01
Μάρτιος	0.03	0.15	0.02	0.12
Ιούλιος	0.22	0.21	0.00	0.12

Αύξηση 10% του συντελεστή ορυκτοποίησης του P				
Μήνας	Επιφάνεια		Πυθμένας	
	NO3-N	PO4-P	NO3-N	PO4-P
Σεπτέμβριος	0.23	0.30	0.00	0.01
Μάρτιος	0.03	0.15	0.02	0.14
Ιούλιος	0.23	0.31	0.00	0.12

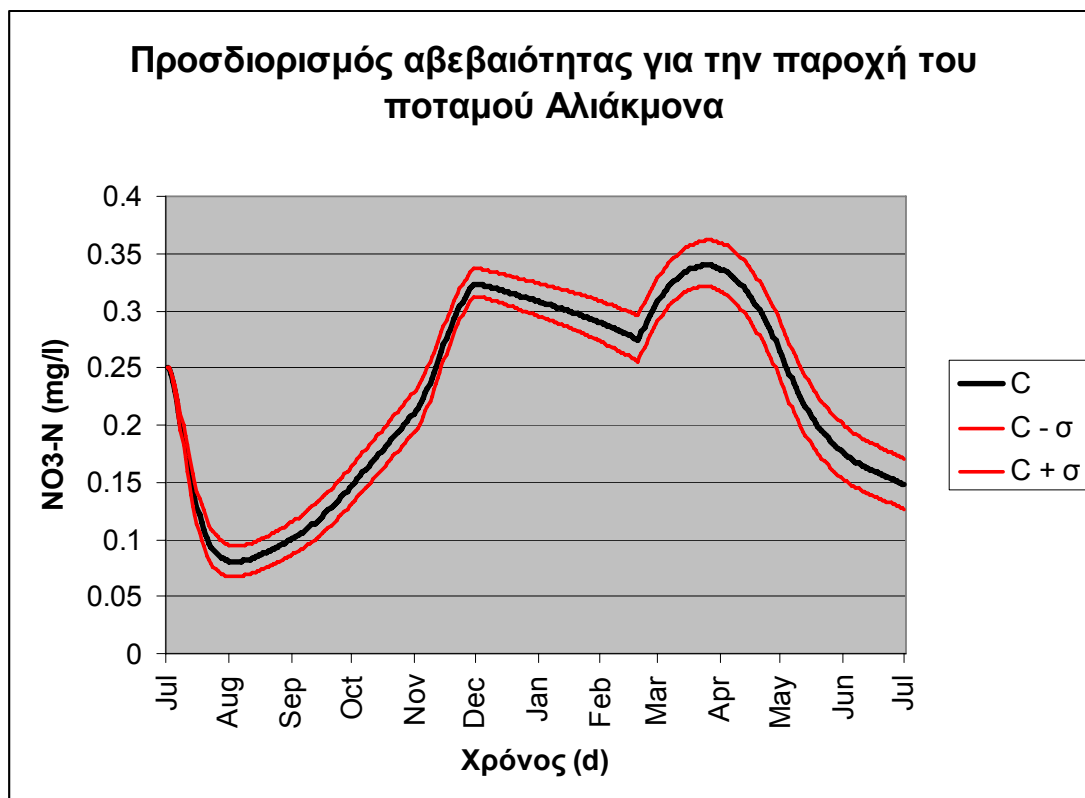
Πίνακες 5.9 - 5.18 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας του μοντέλου WASP

Ε. Προσδιορισμός αβεβαιότητας του συστήματος

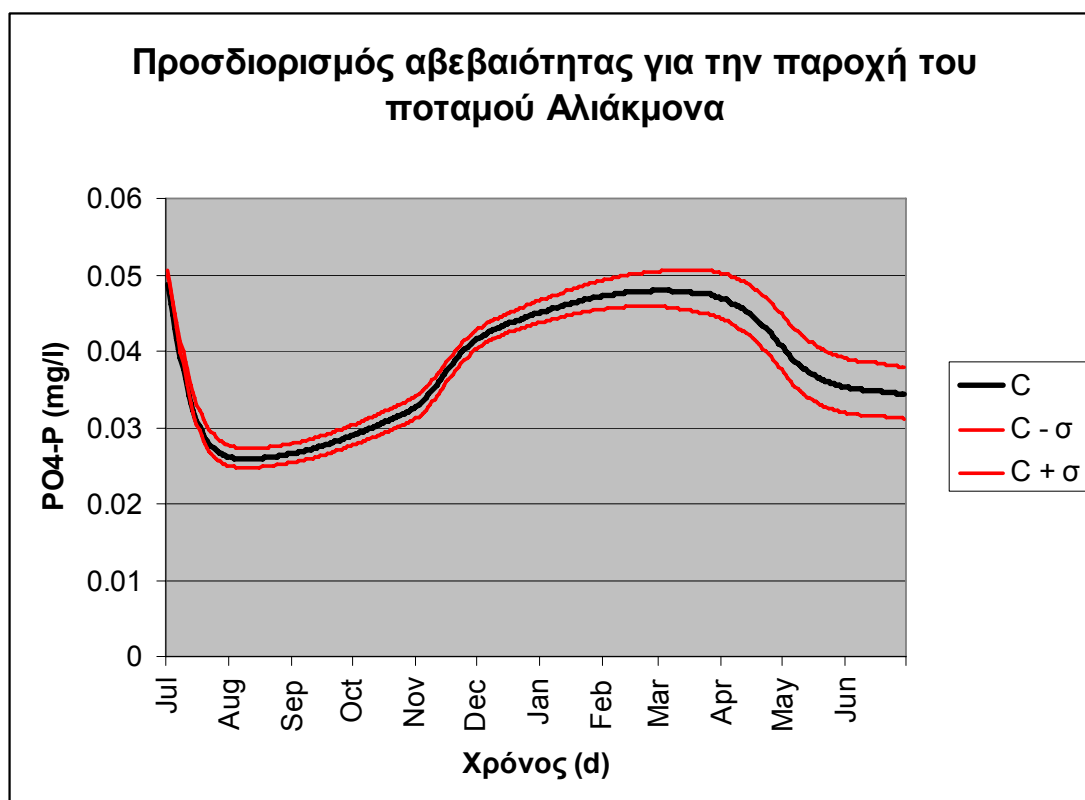
Ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας του συστήματος για κάποια μεταβλητή είναι απαραίτητος, γιατί έτσι παρουσιάζεται ο βαθμός αξιοπιστίας στα αποτελέσματα του μοντέλου σε σχέση με τα εισαγόμενα δεδομένα. Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο η αβεβαιότητα στα δεδομένα μεταφέρεται στα αποτελέσματα του μοντέλου. Επιλέγονται τα δεδομένα με το μέγιστο βαθμό αβεβαιότητας, έτσι ώστε να γίνει γνωστό το εύρος της πιθανής απόκλιση στα αποτελέσματα.

Στην παρούσα μελέτη μεγαλύτερη αβεβαιότητα παρουσιάζουν τα στοιχεία παροχής για τον ποταμό Αλιάκμονα. Οι αποκλίσεις στις μετρήσεις των δύο φορέων (ΥΠΕΧΩΔΕ και ΔΕΗ) παρουσιάζουν μεγέθη της τάξης του 1000% ! Ακόμα ο τρόπος της δειγματοληψίας δεν παρουσιάζει τη βέλτιστη αξιοπιστία για δύο λόγους. Πρώτον, διότι οι μετρήσεις είναι μηνιαίες (δηλαδή μία φορά κάθε μήνα) και έτσι δεν παρουσιάζεται η αντικειμενική εικόνα παροχής του μήνα. Δεύτερον, οι μετρήσεις δε λαμβάνονται σε σταθερές ημερομηνίες, λόγω των καιρικών συνθηκών κι επομένως δεν μετρώνται οι μέρες με έντονες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κι επομένως αυξημένη παροχή.

Για το λόγο αυτό, τα εισαγόμενα δεδομένα παροχής αυξάνονται μέχρι και 50% (βλ. Παράρτημα II) μέσω μιας μήτρας παραγωγής τυχαίων αριθμών και η προσομοίωση επαναλαμβάνεται για 30 διαφορετικά προσαυξημένα σετ δεδομένων. Από τα αποτελέσματα για τα θρεπτικά, αυτών των 30 προσομοιώσεων υπολογίζεται η μέση διακύμανση C των θρεπτικών και η τυπική τους απόκλιση σ (Σχήματα 5.16 & 5.17). Η μέση απόκλιση που παρατηρείται για αύξηση της παροχής μέχρι και 50% είναι 11% για τα νιτρικά άλατα και 6% για τα φωσφορικά.



Σχήμα 5.16 Μέση διακύμανση του NO₃-N και τυπική απόκλιση, για αύξηση της παροχής μέχρι και 50%



Σχήμα 5.17 Μέση διακύμανση του PO₄-P και τυπική απόκλιση, για αύξηση της παροχής μέχρι και 50%

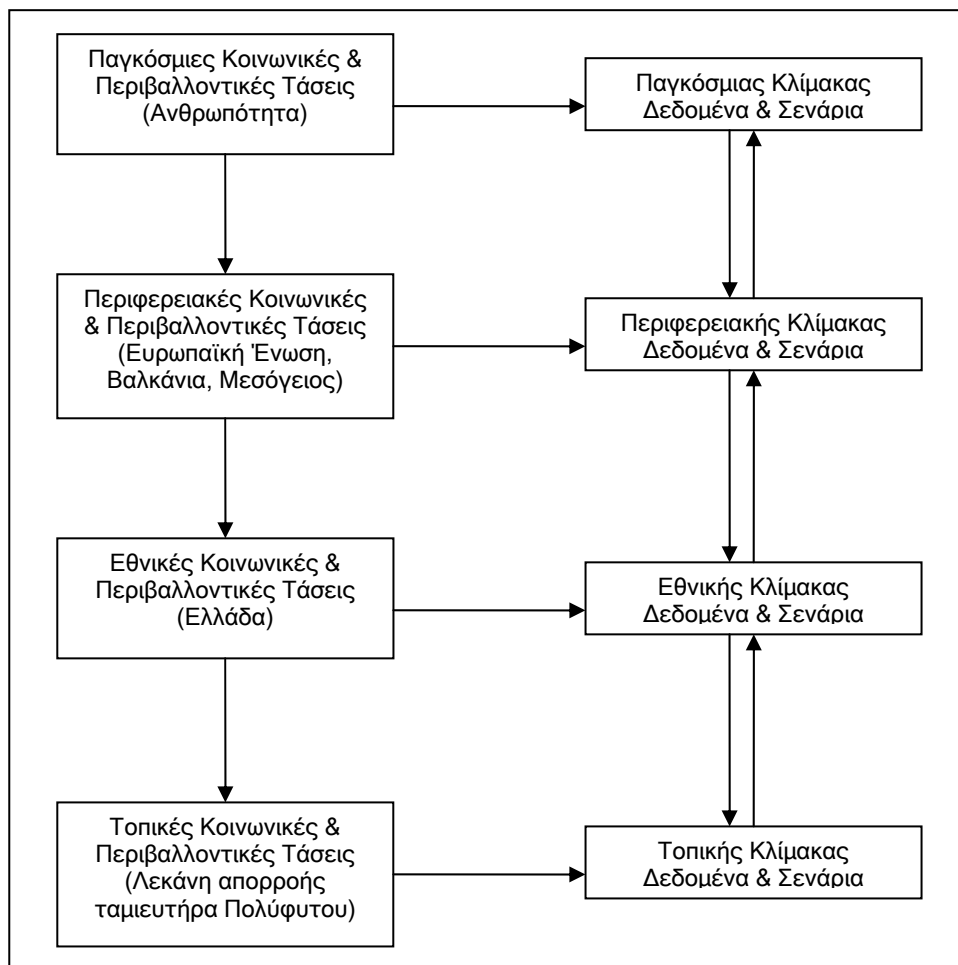
Στ. Προσομοίωση Σεναρίων Μεταβολής της Τροφικής Κατάστασης

Ως *σενάριο* ορίζουμε μια εύλογη, εσωτερικά σταθερή και αληθοφανής περιγραφή μιας πιθανής μελλοντικής κατάστασης του κόσμου (Parry & Carter, 1998). Πρέπει να διευκρινιστεί πως δεν αποτελεί πρόβλεψη, γιατί δεν προσδιορίζει την πιθανότητα πραγματοποίησης αυτής της μελλοντικής κατάστασης. Αντίθετα, τα σενάρια παρουσιάζουν διαφορετικές, δυνατές εικόνες της κοινωνικής και περιβαλλοντικής κατάστασης, ανάλογα με κάποιες παραδοχές στην εξέλιξη της. Το βασικότερο αίτιο δημιουργίας σεναρίων, είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Ledoux et al., 2002).

Αν και υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι σεναρίων, σύμφωνα με την τυπολογία της ΕΕΑ (Πίνακας 5.19), η διαδικασία σχηματισμού τους υπάγεται σε μια βασική μεθοδολογία. Η μεθοδολογία αυτή αναπτύσσεται συνήθως σε μια σειρά αλληλεπιδρούμενων χωρικών κλιμάκων, ξεκινώντας από τις παγκόσμιες κοινωνικοπεριβαλλοντικές τάσεις και καταλήγοντας στις τοπικές (Σχήμα 5.18).

Τύπος 1	<u>Σενάρια πρόβλεψης</u> : επιχειρούν να περιγράψουν εναλλακτικά, μελλοντικά μονοπάτια ανάπτυξης, έχοντας σαν σημείο εκκίνησης την παρούσα κατάσταση, περιλαμβάνοντας αναμενόμενες ή επιθυμητές πολιτικές μεταβολές.
Τύπος 2	<u>Σενάρια αντίστροφης πρόβλεψης</u> : ξεκινούν από τη μελλοντική επιθυμητή κατάσταση (μελλοντικό σημείο εκκίνησης) και επιστρέφουν σταδιακά στο παρόν, διερευνώντας στρατηγικές βέλτιστης ανάπτυξης.
Τύπος 3	<u>Περιγραφικά σενάρια</u> : παρουσιάζουν μια σειρά πιθανών γεγονότων με ουδέτερο τρόπο.
Τύπος 4	<u>Κανονιστικά σενάρια</u> : συγχωνεύουν διαφορετικά ενδιαφέροντα, αξίες και ηθικές
Τύπος 5	<u>Ποσοτικά σενάρια</u> : αποτελούν συνήθως υπολογιστικά σενάρια βασισμένα σε Η/Υ.
Τύπος 6	<u>Ποιοτικά σενάρια</u> : βασίζονται εξολοκλήρου σε ποιοτικές εκτιμήσεις
Τύπος 7	<u>Σενάρια τάσης</u> : βασίζονται στην χρονική προέκταση της σημερινής κατάστασης
Τύπος 8	<u>Περιφερειακά σενάρια</u> : επιχειρούν να συμπεριλάβουν απρόβλεπτα ή/και ακραία γεγονότα και τις συνέπειες τους.

Πίνακας 5.19 Τυπολογία βασικών χαρακτηριστικών των σεναρίων (ΕΕΑ, 2000)



Σχήμα 5.18 Κλίμακα Σεναρίων

Για παράδειγμα, η δημιουργία ενός σεναρίου τοπικής κλίμακας, σε επίπεδο νομού με χρονικό ορίζοντα 25 ετών και θέμα την εξέλιξη της αγροτική δραστηριότητας. Θα πρέπει να αναλυθεί αρχικά η πολιτική της τοπικής αυτοδιοίκησης (επενδύσεις-έργα για την αγροτική ανάπτυξη, χρέωση νερού, κλπ.), οι περιβαλλοντικές συνθήκες (διαθεσιμότητα νερού, ένταση παραγωγικότητας, κλπ.) καθώς και η κοινωνική διάσταση του θέματος (ανεργία, εσωτερική μετανάστευση). Στη συνέχεια θα πρέπει να διερευνηθούν οι πιθανές τάσεις στην εθνική αγροτική πολιτική (δανειοδοτήσεις, διαγραφή χρεών, φορολογία), αλλά και στην ευρωπαϊκή (επιδότησεις, σχεδιασμός ευρωπαϊκής αγροτικής πολιτικής). Τέλος, πρέπει να ληφθούν υπόψιν, οι παγκόσμιες τάσεις (προσφορά-ζήτηση αγροτικών προϊόντων, αύξηση πληθυσμού, αύξηση βιοτικού επιπέδου αναπτυσσόμενων χωρών), συμπεριλαμβανομένων και των παγκοσμιων περιβαλλοντικών

προβλημάτων (αλλαγή κλίματος, τρύπα του όζοντος, όξινη βροχή), που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση της αγροτικής δραστηριότητας.

Είναι προφανές, πως η δημιουργία σεναρίων, για ένα περιβαλλοντικό, διαχειριστικό θέμα όπως, αυτό της τροφικής κατάστασης του ταμειυτήρα Πολύφυτου, είναι μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, σύμφωνα με τη μεθοδολογία DPSIR, η μεταβολή της περιβαλλοντικής κατάστασης ενός συστήματος (λεκάνη απορροής ταμειυτήρα Πολύφυτου) εξαρτάται από α) τις περιβαλλοντικές πιέσεις και από β) τις κοινωνικο-οικονομικές δρώσες δυνάμεις. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται, οι μετατροπές στη χρήση γης (μη σημειακή ρύπανση), απόρριψη λυμμάτων (σημειακή ρύπανση) και η εξάντληση των φυσικών (ζωικών ή υδατικών) πόρων. Στη δεύτερη περίπτωση, η οποία επιδρά στην πρώτη, περιλαμβάνονται, η αγροτική εντατικοποίηση, η αστικοποίηση του πληθυσμού, η κτηνοτροφική ανάπτυξη, ο προγραμματισμός για έργα υποδομών (βιολογικοί καθαρισμοί, άρδευση) και η αποψίλωση των δασών.

Οι ανάλυση όλων των ανωτέρων παραμέτρων, θα οδηγούσε αναμφισβήτητα στη δημιουργία ρεαλιστικών σεναρίων μεταβολής τους, έτσι ώστε με χρήση των νέων παραμέτρων στο υπολογιστικό μοντέλο, να μπορούσε να υπάρξει σειρά προβλέψεων, της μελλοντικής τροφικής κατάστασης του ταμειυτήρα. Τόσο διεξοδική ανάλυση είναι πέραν του σκοπού της παρούσης εργασίας, αποτελεί όμως την πρότυπη διαδικασία εργασίας, για αυτό και αναφέρεται. Η εναλλακτική λύση, είναι η χρήση της έτοιμης μεθοδολογίας δημιουργίας σεναρίων, που προτάθηκε στο πρόγραμμα μελέτης και διαχείρισης ευρωπαϊκών λεκανών απορροής, EUROCAT (EEA, 2001).

Η μεθοδολογία αυτή προτείνει τρία σενάρια, που καθορίζουν τρεις εναλλακτικές κοινωνικο-οικονομικές προσεγγίσεις. Αυτές είναι :

1. Business as Usual (BAU). Είναι το σενάριο σταθερής εξέλιξης της σημερινής κατάστασης. Προκειται, δηλαδή, για την προβολή προς το μέλλον της τάσης των δεδομένων των τελευταίων 20 χρόνων. Αυτό στην περίπτωση του ταμειυτήρα Πολύφυτου, μεταφράζεται σε διατήρησης της σημερινής αδιαφορίας των αρχών και των πολιτών για τα περιβαλλοντικά προβλήματα στον ταμειυτήρα, καμία μείωση στην εντατικοποίηση των καλλιεργειών κι επομένως καμία μείωση στην

παροχή των νιτρικών, καμία κρατική παρέμβαση στον έλεγχο της χρήσης λιπασμάτων ή στην ολοκλήρωση και καλή λειτουργία των βιολογικών καθαρισμών (σενάριο πρόβλεψης).

2. Policy Target. Αποτελεί το σενάριο συμμόρφωσης με τους παρώντες ή μελλοντικούς περιβαλλοντικούς στόχους, που ορίζει η ευρωπαϊκή οδηγία για τους υδατικούς αποδέκτες. Στην περιοχή μελέτης αυτό θα σήμαινε κατ'αρχάς την ολοκλήρωση των έργων και την καλή λειτουργία των μονάδων βιολογικού καθαρισμού. Συγκεκριμένη νομοθεσία θα ρυθμίζει την εφαρμογή των λιπασμάτων, έτσι ώστε να ελλατωθεί η παροχή θρεπτικών στη λίμνη. Ποσοτικά, ο στόχος των παραπάνω ενεργειών είναι να μετατραπεί η τροφική κατάσταση της λίμνης από ευτροφική σε μεσοτροφική (σενάριο αντίστροφης πρόβλεψης).
3. Deep Green. Πρόκειται για το σενάριο στο οποίο η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα. Παρουσιάζει μια περιβαλλοντική κατάσταση πέρα από εκείνη που είναι δυνατόν να επιτευχθεί αν τηρηθεί στο έπακρο η σημερινή νομοθεσία. Θα μπορούσε να περιλαμβάνει κατασκευή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων, στα οποία να γίνεται η διάθεση της απορροής των βιολογικών καθαρισμών, δημιουργία ζωνών βλάστησης κατα μήκος των ποταμών, των υδατορρεμάτων και της όχθης του ταμιευτήρα. Ποσοτικά, αντιστοιχεί σε μετατροπή της τροφικής κατάστασης από ευτροφική σε oligotrophic (επίσης, σενάριο αντίστροφης πρόβλεψης).

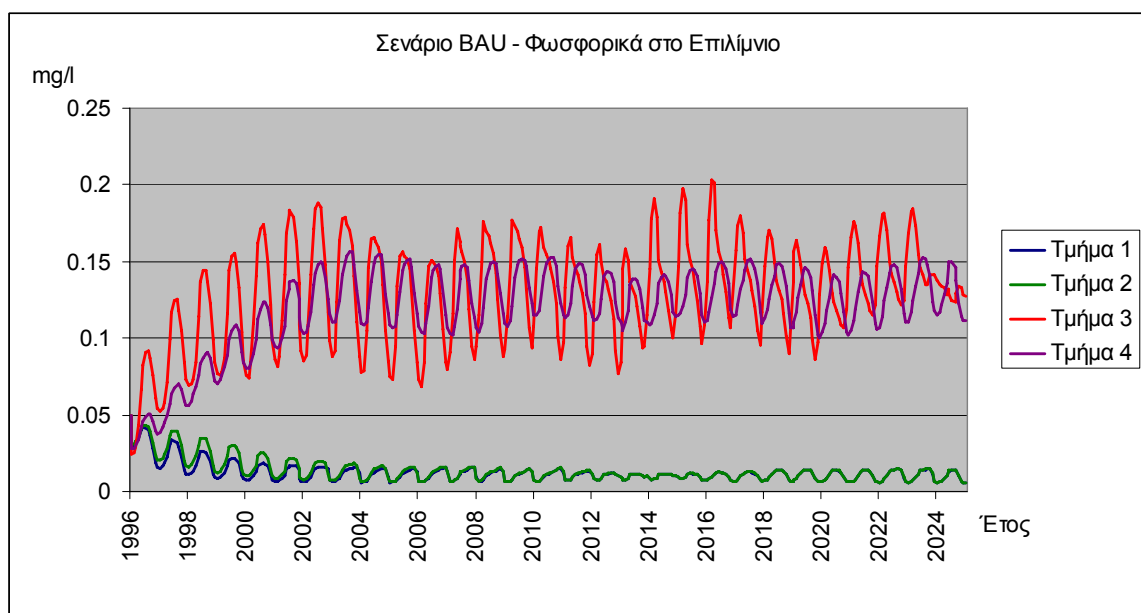
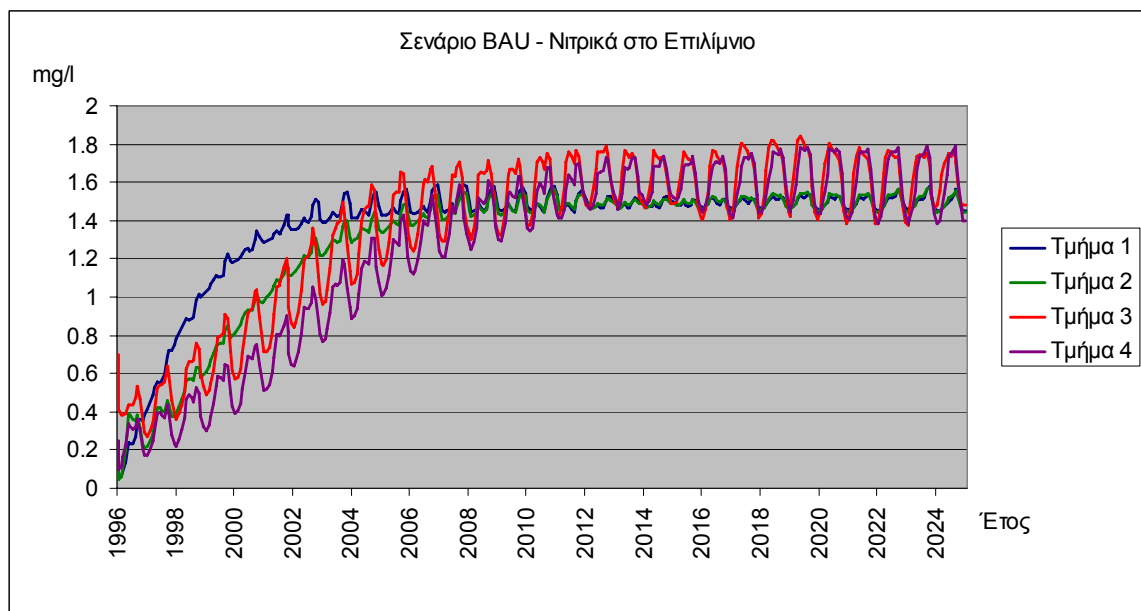
Η χρήση των σεναρίων BAU και Deep Green γίνεται για να οριοθετηθούν οι μελλοντικές τάσεις (χειρίστη και βέλτιστη), έτσι ώστε να προσδιοριστεί το εύρος λήψης αποφάσεων και η βαρύτητα τους. Πρέπει επίσης, να σημειωθεί, πως ο στόχος των σεναρίων τροφικής κατάστασης είναι ο καθορισμός, μέσω του μοντέλου WASP και της μεθόδου των συντελεστών, των θρεπτικών φορτίων στον ταμιευτήρα. Ο καθορισμός των φορτίων σε κάθε σενάριο είναι απαραίτητος για τη διαχείριση των φορτίων και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και θέσπισης πολιτικής.

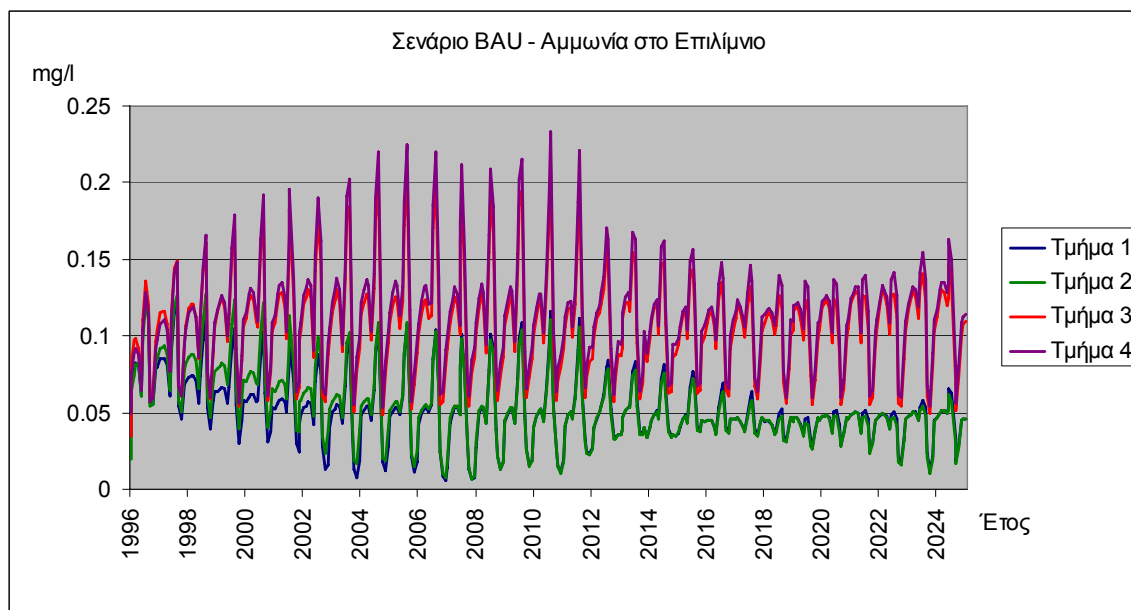
Σενάριο Πρόβλεψης - Business as usual

Τα μοντέλο WASP, δείχνει σημαντική υποβάθμιση του ταμιευτήρα στην περίπτωση που η κατάσταση θα παρέμενε σταθερή από την περίοδο των δειγματοληψιών μέχρι το 2025. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής :

- Ο ρυθμός μεταβολής των θρεπτικών αλάτων διαχωρίζεται σε δύο μοτίβα, που εξαρτώνται από την πηγή εισροής των θρεπτικών. Στο τμήμα 1 εισέρχονται τα νερά του Αλιάκμονα και επηρεάζουν τα τμήματα 1-2. Στο τμήμα 3, εισέρχονται τα φορτία από το τμήμα της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου, που ανήκει αποκλειστικά στον ταμιευτήρα και επηρεάζουν τα τμήματα 3-4.
- Μετά το 2005, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο τμήμα 3 φτάνουν και ξεπερνούν για κάποιες χρονικές περιόδους τις συγκεντρώσεις του τμήματος 1, οι οποίες και δείχνουν να σταθεροποιούνται. Οι συγκεντρώσεις στα τμήματα 3-4, συνεχίζουν την αυξητική τους πορεία. Το 2008 οι συγκεντρώσεις στο τμήμα 4, ξεπερνούν για πρώτη φορά τις συγκεντρώσεις του τμήματος 1 και το 2011 οι συγκεντρώσεις στα τμήματα 3-4, σταθεροποιούνται σε τιμές ανώτερες από αυτές των τμημάτων 1-2 (Σχήμα 5.19).
- Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών αλάτων δεν παρουσιάζουν ίδια συμπεριφορά με αυτή των νιτρικών (Σχήμα 5.20). Οι συγκεντρώσεις στα πρώτα δύο τμήματα παρουσιάζουν σταθερή μείωση, ενώ τα δύο τελευταία, αρχικά παρουσιάζουν αύξηση, διατηρώντας πάντα τα εποχιακά χαρακτηριστικά, η οποία τελικά σταθεροποιείται μετά το 2005. Οι τιμές των φωσφορικών στην έξοδο είναι τελικά πολύ μεγαλύτερες από ότι αυτές στην είσοδο, ενώ είναι χαρακτηριστική η εποχιακή μεταβολή της συγκέντρωσης, απόδειξη του ότι ο φώσφορος αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στον ταμιευτήρα (τα νιτρικά παρουσιάζουν πολύ μικρότερες εποχιακές διακυμάνσεις).
- Οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας ακολουθούν το ίδιο περίπου μοτίβο με αυτές των φωσφορικών, με τη διαφορά ότι το εύρος της εποχιακής διακύμανσης αυξάνεται (Σχήμα 5.21). Για παράδειγμα στο τμήμα 4, από 0,07 mg/l το 1996 (0.06 mg/l ελάχιστη τιμή και 0.13 mg/l μέγιστη) στα 0.17 mg/l το 2005 (0.05 mg/l ελάχιστη τιμή και 0.22 mg/l μέγιστη).

- Γενικότερα, παρουσιάζεται έντονη διαφοροποίηση της επιρροής του ποταμού Αλιάκμονα (ο οποίος συγκεντρώνει το κυρίαρχο ποσοστό των νερών της λεκάνης απορροής) και των μη σημειακών πηγών της εγγύτερης λεκάνης απορροής, στον ταμιευτήρα του Πολύφυτου. Οι μη σημειακές πηγές φαίνεται να επιβαρύνουν περισσότερο τον ταμιευτήρα.
- Η ποιότητα των νερών της λίμνης θα υποβαθμιστεί σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι ιδιαίτερα ευτροφικές συνθήκες, με τη σταθεροποίησή τους, είναι πολύ πιθανό να υποβαθμίσουν το οικοσύστημα σε πολύ μεγάλο βαθμό.



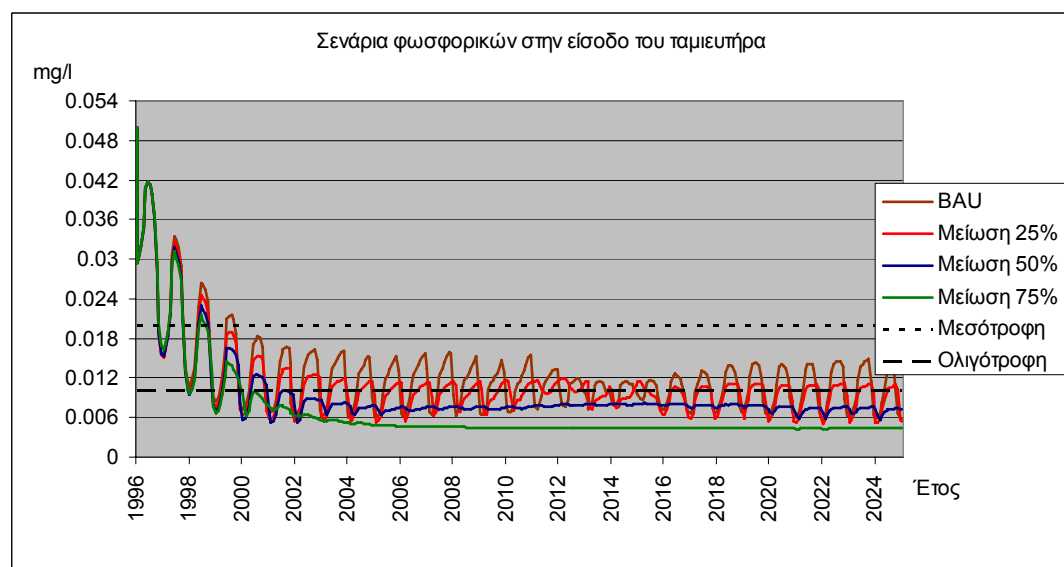
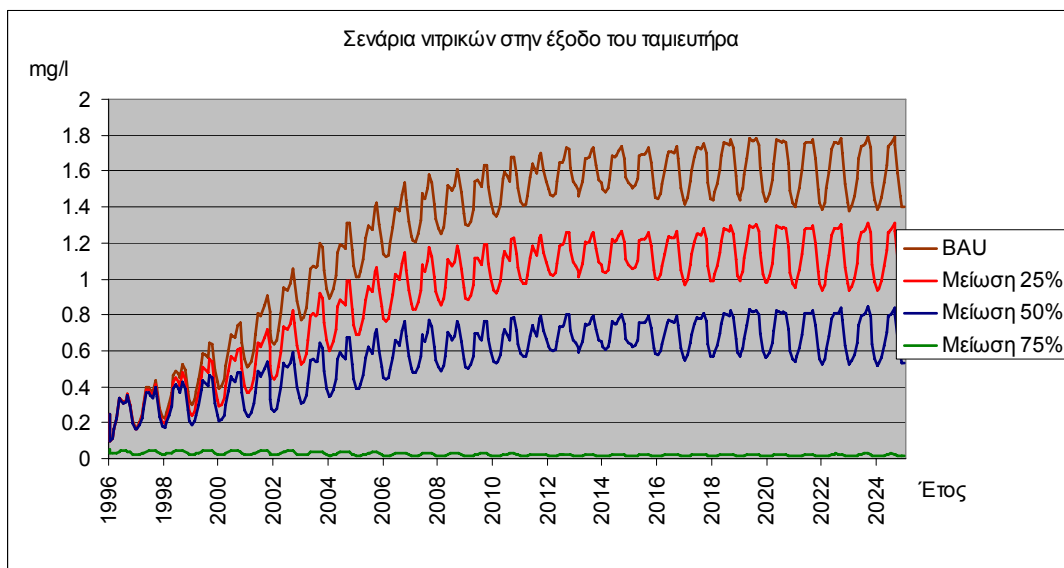
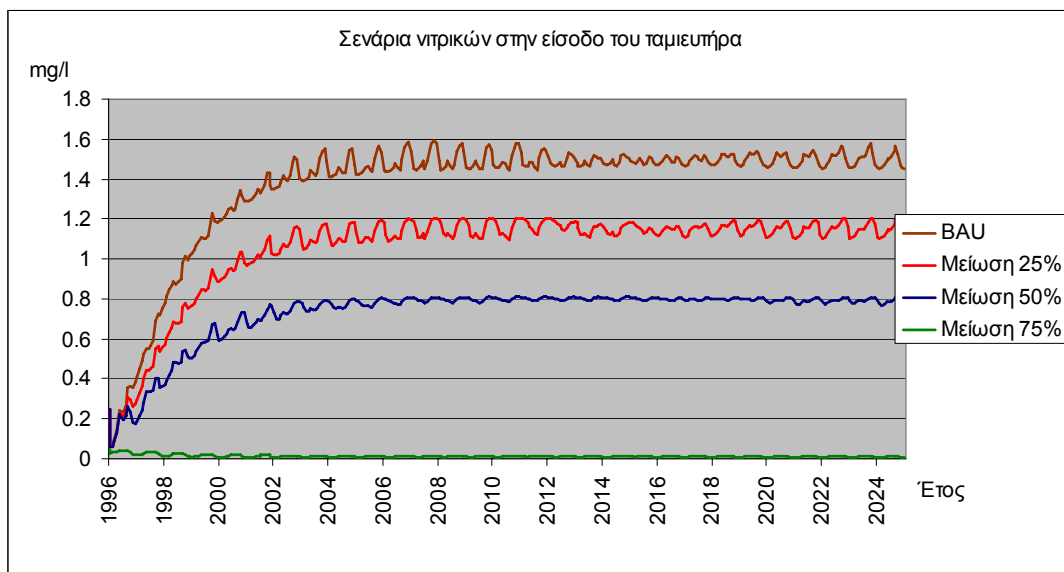


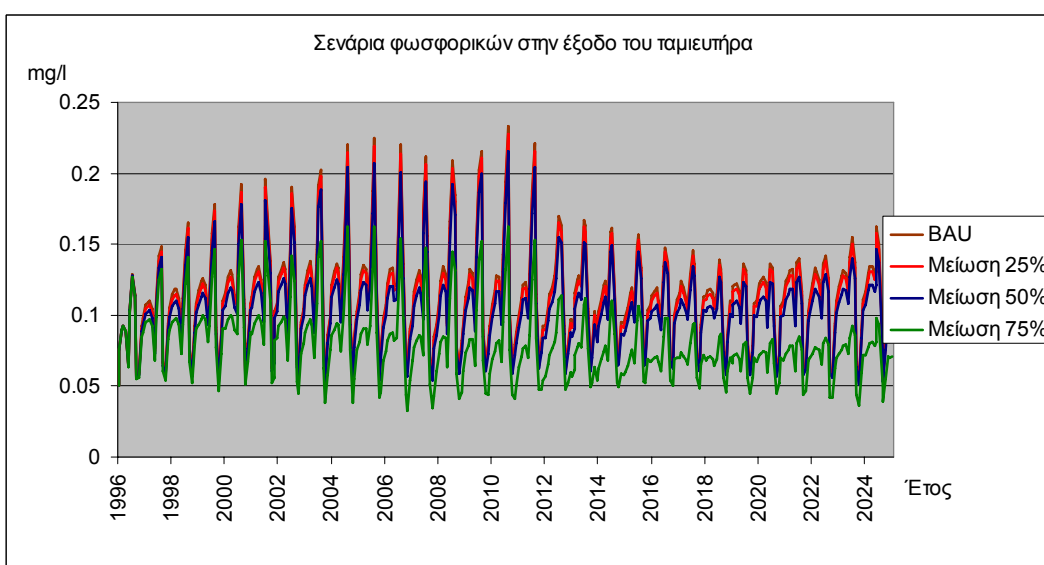
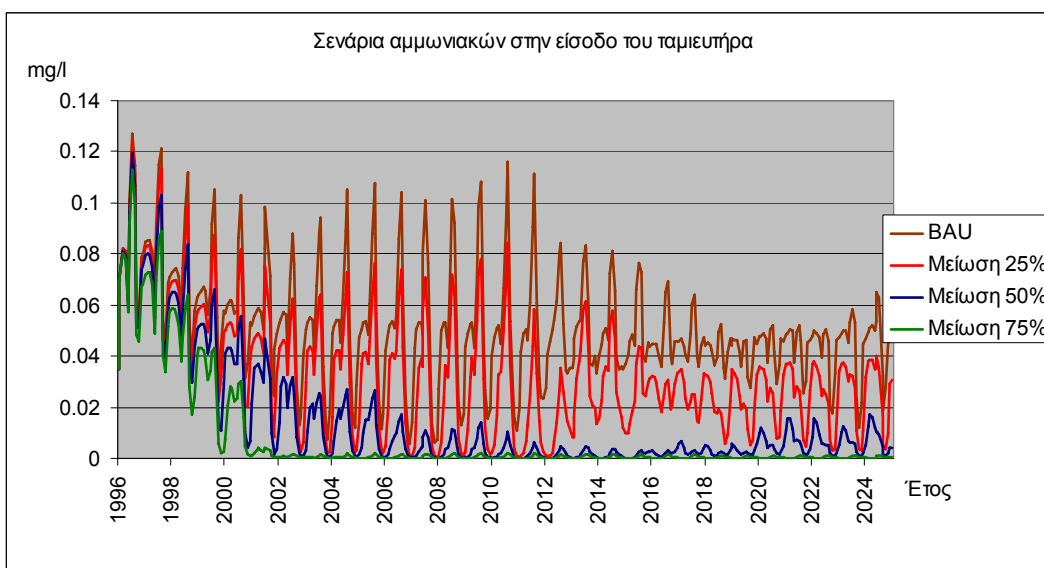
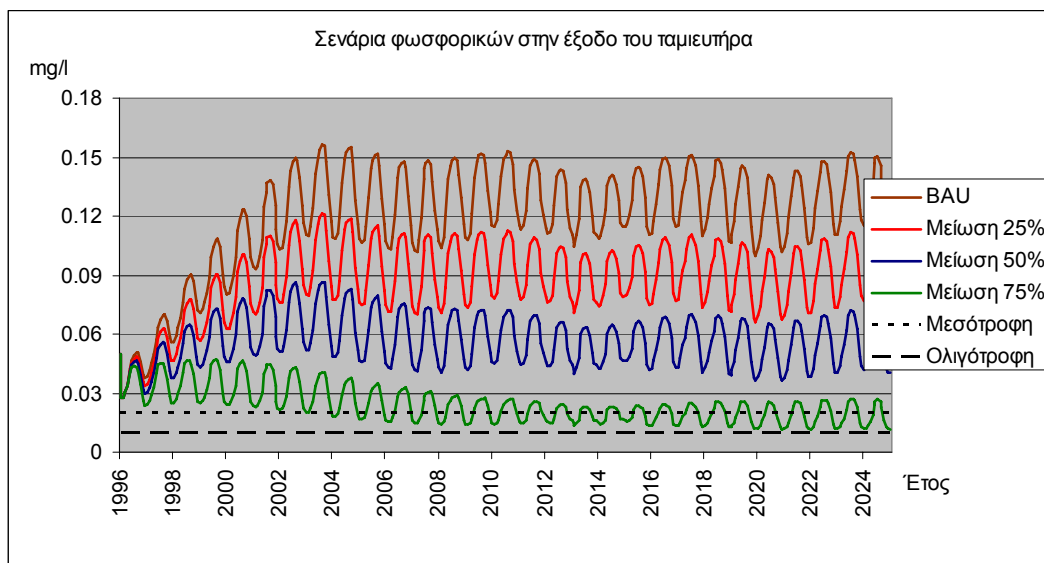
Σχήματα 5.19 - 5.21 Αποτελέσματα σεναρίου BAU για κάθε τμήμα του ταμιευτήρα

Σενάρια Αντίστροφης Πρόβλεψης - Policy Target Scenario & Deep Green Scenario

Με το σενάρια αυτό, γίνεται ο προσδιορισμός των φορτίων που καταλήγουν στον ταμιευτήρα ώστε να επικρατήσει μεσότροφος κατάσταση και ολιγότροφος κατάσταση. Για να επιτευχθεί αυτό, μειώνονται σταδιακά οι εισροές στο σύστημα, μέχρι να παρατηρηθούν συγκεντρώσεις στα φωσφορικά άλατα της τάξης των 10 - 20 $\mu\text{g/l}$, για τη μεσότροφη κατάσταση και κάτω των 10 $\mu\text{g/l}$ για την ολιγότροφη.

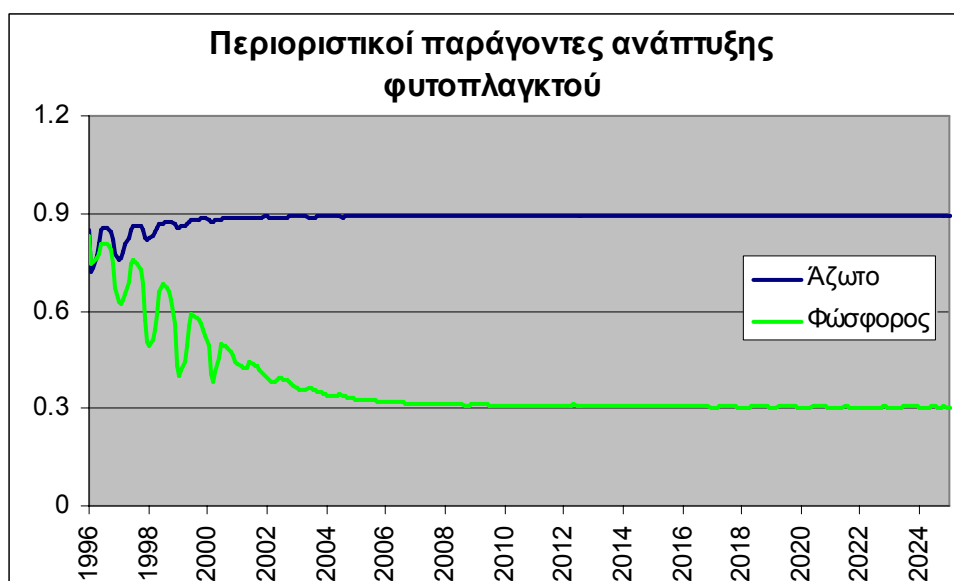
Μετά τη σταδιακή μείωση των θρεπτικών κατά 25, 50 & 75% (τα διαγράμματα για κάθε τμήμα βρίσκονται στο Παράρτημα ΙΙΙ), είναι ξεκάθαρο πως για να επιτευχθούν τα κριτήρια των σεναρίων, η μείωση στο φορτίο του Αλιάκμονα (συγκεντρώσεις στην είσοδο του ταμιευτήρα) και της εγγύτερης λεκάνης απορροής (συγκεντρώσεις στην έξοδο του ταμιευτήρα), δεν μειώνεται με τον ίδιο ρυθμό (Σχήματα 5.22 - 5.27).





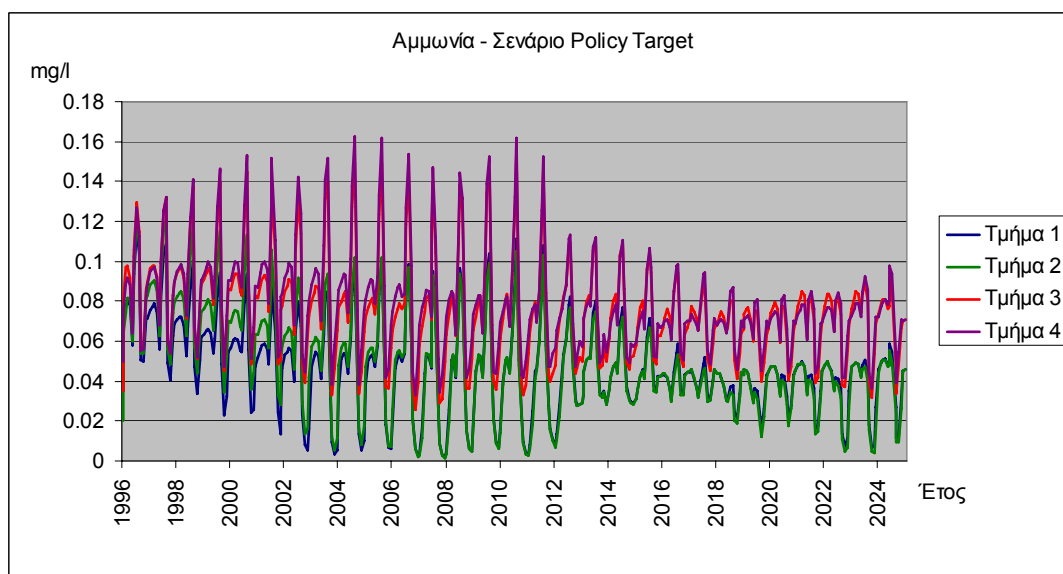
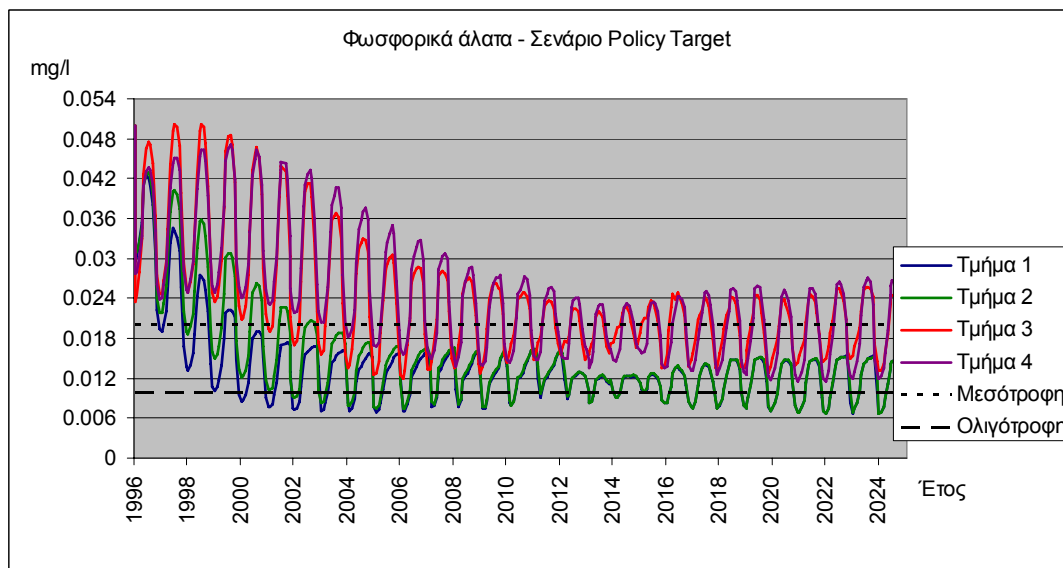
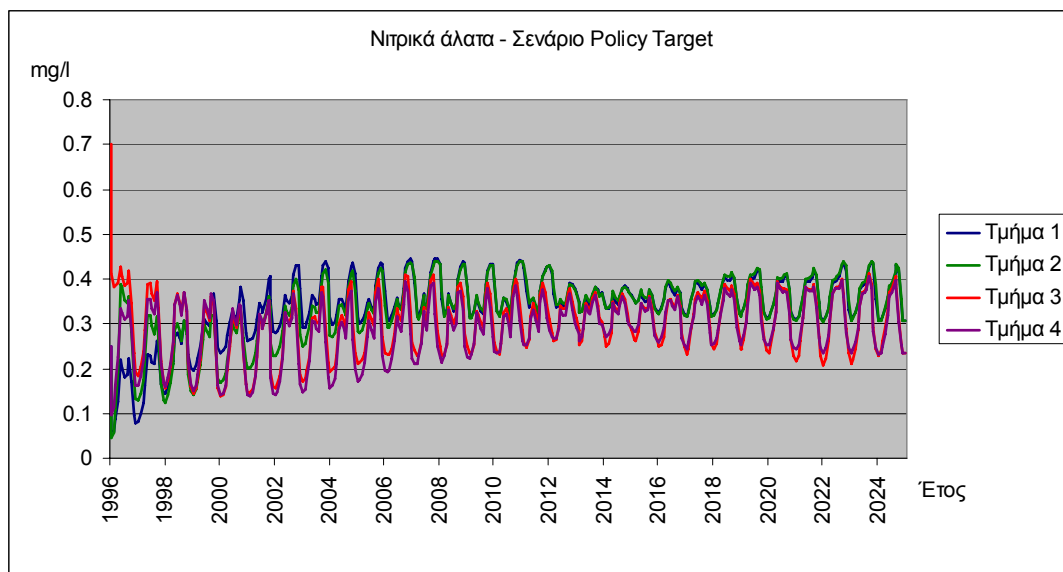
Σχήματα 5.22 - 5.27 Θρεπτικά συστατικά στην είσοδο/έξοδο του ταμιευτήρα για τα σενάρια Policy Target και Deep Green

Είναι χαρακτηριστικό, πως στην περίπτωση της μείωσης κατά 75% των φορτίων, εξαιτίας της μικρής οριζόντιας διασποράς, στα πρώτα δύο τμήματα παρουσιάζονται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι στα υπόλοιπα. Αυτό οφείλεται στην πολύ μεγάλη ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού στα τμήματα 3-4, τα οποία καταναλώνουν το φώσφορο (περιοριστικός παράγοντας). Στο Σχήμα 5.28 φαίνεται, πως η έλλειψη φωσφόρου εμποδίζει την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού.



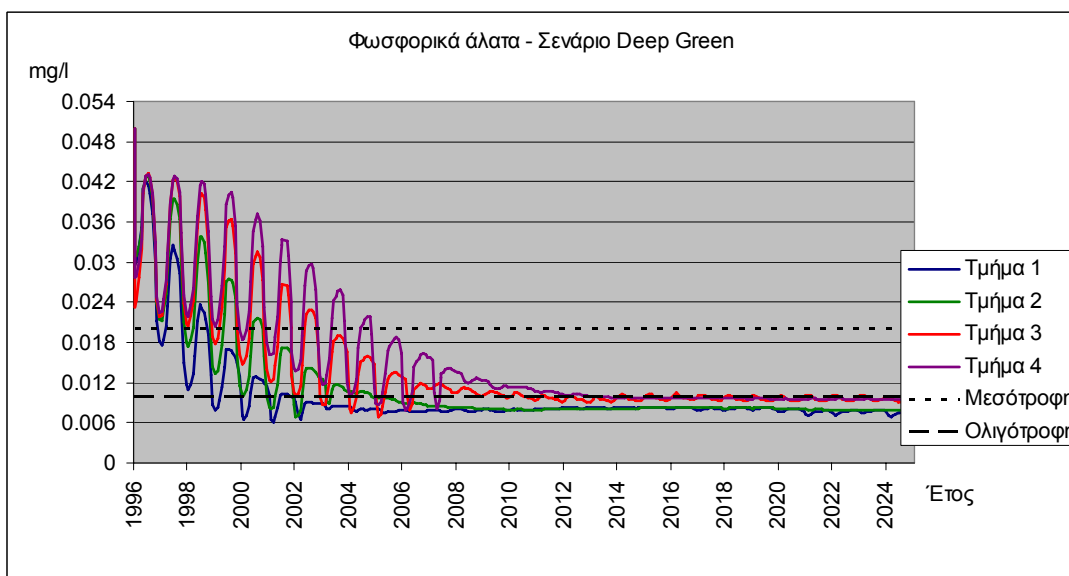
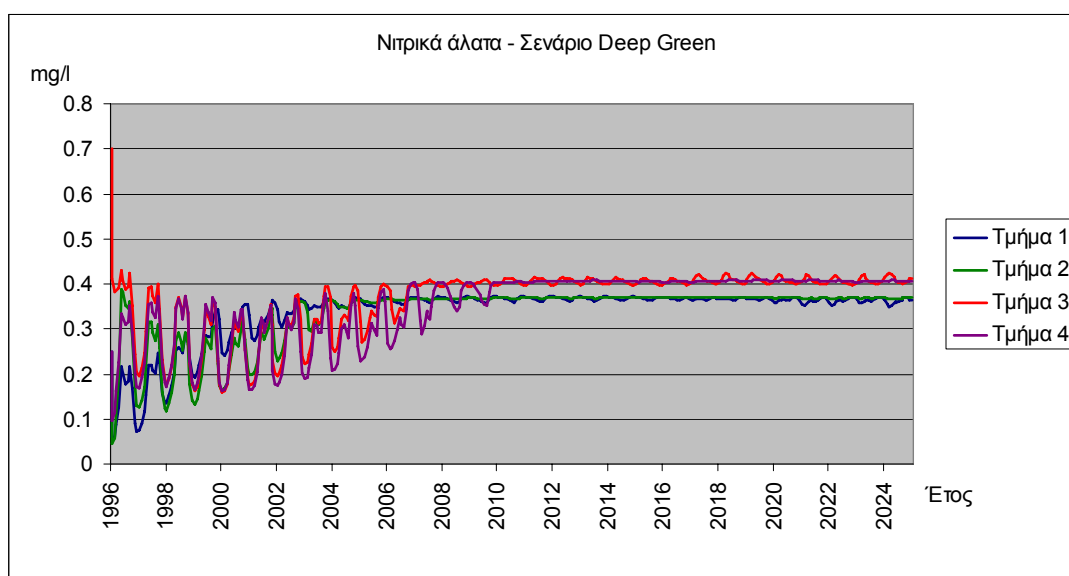
Σχήμα 5.28 Περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού

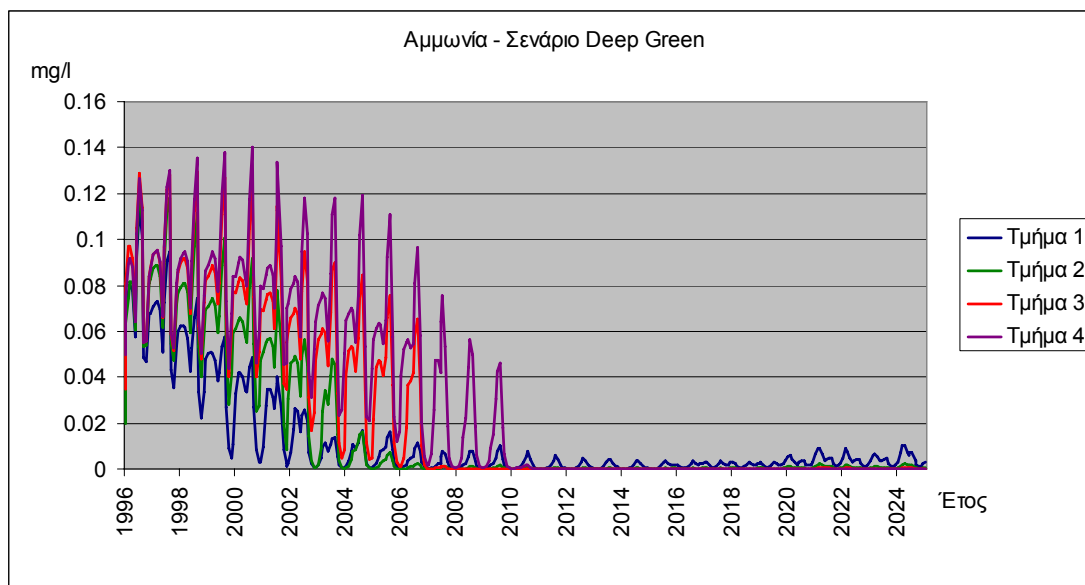
Είναι προφανές, πως για να επιτύχουμε την επιδιωκόμενη θρεπτική κατάσταση στη λίμνη (μεσότροφη - ολιγότροφη), δεν είναι απαραίτητο να μειωθούν οι δύο ρυπαντικές πηγές στον ίδιο βαθμό. Έτσι, με τη μέθοδο «δοκιμής-λάθους», προσδιορίζουμε πως για το Policy Target σενάριο η μείωση των θρεπτικών είναι 90% στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του νομού Κοζάνης και 75% μόνο για τα νιτρικά άλατα στον Αλιάκμονα (φωσφορικά και αμμωνία, καμία μείωση).



Σχήματα 5.29-5.31 Διακύμανση θρεπτικών για το σενάριο Policy Target

Για ολιγότροφη κατάσταση παρουσιάζεται ακόμη μεγαλύτερη μείωση στα θρεπτικά άλατα. Όσο αφορά τον ποταμό Αλιάκμονα, παρουσιάζεται μείωση της τάξης των 80% για τα νιτρικά και 50% για τα φωσφορικά, ενώ το ρυπαντικό φορτίο από τις μη σημειακές πηγές πλησίον του ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 99% για τα φωσφορικά 95% για τα νιτρικά και 90% για την αμμωνία. Πρέπει να σημειωθεί, πως παρά το μέγεθος των μειώσεων, η ολιγότροφη κατάσταση επέρχεται μετά την πάροδο περίπου 12 ετών (Σχήματα 5.32-5.34).





Σχήματα 5.32-5.34 Διακύμανση θρεπτικών για το σενάριο Deep Green

Η μείωση των φορτίων, σύμφωνα με την ανάλυση που έχει πραγματοποιηθεί για τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής, διαμορφώνει τις αντίστοιχες μειώσεις ανα δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (στόχος η μείωση των νιτρικών κατά 75%):

- Η μείωση των φορτίων της **κτηνοτροφικής δραστηριότητας** που καταλήγουν στον ποταμό κατά 75%, προκαλεί μείωση του συνολικού φορτίου αζώτου κατά περίπου 53%. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την κτηνοτροφική δραστηριότητα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N που καταλήγει στον ποταμό κατά 75%) είναι 65%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο από τη κτηνοτροφική δραστηριότητα, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,71%.
- Η μείωση των φορτίων των **γεωργικών δραστηριοτήτων** στη λεκάνη απορροής του ποταμού κατά 75%, προκαλεί μείωση του φορτίου αζώτου κατά περίπου 14%. Δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τις γεωργικές δραστηριότητες, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει

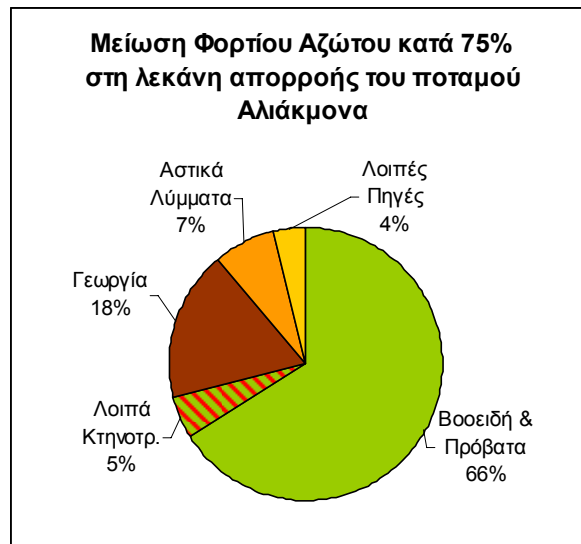
στον Αλιάκμονα μπορεί να μειωθεί κατά 75%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο της γεωργικής δραστηριότητας, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,18%.

- Η αντίστοιχη μείωση των φορτίων των **αστικών λυμάτων και στερεών απορριμμάτων**, προκαλεί μείωση του φορτίου αζώτου κατά μόλις 8%. Δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τα αστικά λύματα, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει στον Αλιάκμονα μπορεί να μειωθεί κατά 75%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο των αστικών λυμάτων, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,11%.

Το βασικό συμπέρασμα, από την παραπάνω ανάλυση είναι πως για να επιτευχθεί ο στόχος της μεσότροφης κατάστασης στον ταμειυτήρα, η διαχείριση των φορτίων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα θα πρέπει να γίνει έτσι ώστε να περιλαμβάνει μείωση των φορτίων της κτηνοτροφίας μεγαλύτερη του 65%.

Ενδεικτικά αναφέρεται, πως με 80% μείωση στα φορτία των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων και 50% στα φορτία της γεωργίας και των αστικών λυμάτων, επιτυγχάνεται η μείωση του αζώτου κατά 75% στον ποταμό, έτσι ώστε να διατηρηθεί η μεσότροφη κατάσταση της λίμνης.

Από την παραπάνω ανάλυση (Σχήμα 5.35), προκύπτει πως η κύρια πηγή επιβάρυνσης του ποταμού σε άζωτο είναι οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες και πιο συγκεκριμένα τις δραστηριότητες εκτροφής βοοειδών και προβάτων (93% του συνολικού φορτίου αζώτου). Η ανάλυση ανά νομό δείχνει πως το 65% του φορτίου προέρχεται από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες του νομού Γρεβενών και το 35% από το νομό Καστοριάς. Για τη γεωργία, το 58.6% προέρχεται από το νομό Γρεβενών και το 41.6% από το νομό Καστοριάς, ενώ για τα αστικά λύματα το 76% προέρχεται από το νομό Γρεβενών και το 24% από το νομό Καστοριάς, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.35 Συσχέτιση της μείωσης του φορτίου αζώτου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Για τη λεκάνη απορροής της εγγύτερης περιοχής του ταμιευτήρα Πολύφυτου, η μείωση των φορτίων θα είναι πιο περίπλοκη, αφού στόχος είναι η μείωση τόσο του αζώτου όσο και του φωσφόρου κατά 75%. Πιο συγκεκριμένα:

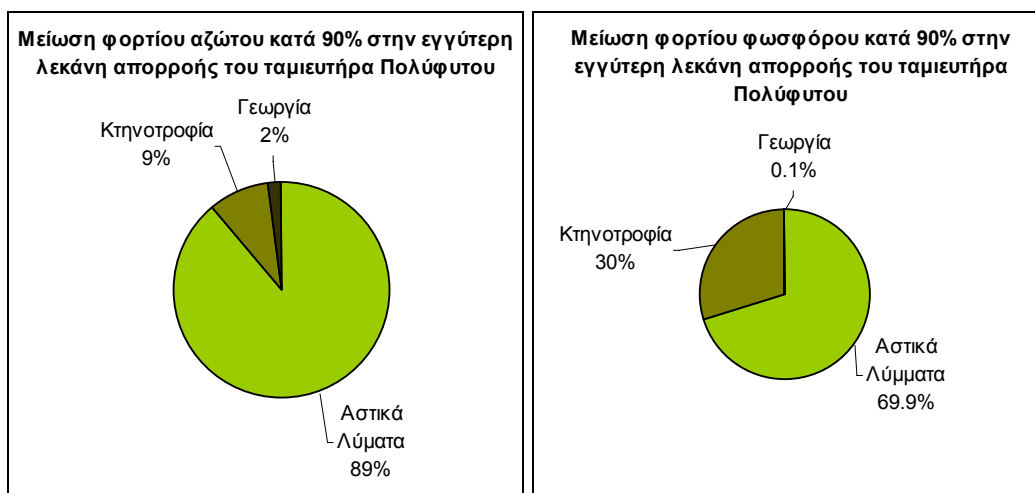
- Η μείωση των φορτίων της κτηνοτροφικής δραστηριότητας που καταλήγουν στον ταμιευτήρα Πολύφυτου κατά 90%, προκαλεί μείωση του συνολικού φορτίου αζώτου κατά περίπου 8% και του συνολικού φωσφόρου κατά 19%. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την κτηνοτροφική δραστηριότητα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N και του P που καταλήγει στον ταμιευτήρα κατά 90%) είναι 65%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο της κτηνοτροφικής δραστηριότητας, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 0,09%, ενώ το συνολικό φορτίο φωσφόρου μειώνεται κατά 0,30%.
- Η μείωση των φορτίων των γεωργικών δραστηριοτήτων στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου κατά 90%, επηρεάζει ελάχιστα τη συνολική μείωση των φορτίων, αφού τα μειώνει μόλις κατά 1,4% για το άζωτο και 0.6% για το φώσφορο, αντίστοιχα. Όπως είναι αναμενόμενο, δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τις γεωργικές δραστηριότητες, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης,

το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει στον ταμιευτήρα μπορεί να μειωθεί κατά 90%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο της γεωργικής δραστηριότητας, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 0,02% για το άζωτο και κατά 0,001% για το φώσφορο.

- Η αντίστοιχη μείωση των φορτίων των **αστικών λυμάτων και στερεών απορριμμάτων**, προκαλεί μείωση του φορτίου αζώτου κατά 80% και του φωσφόρου κατά 63%. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου των αστικών λυμάτων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N και του P που καταλήγει στον ταμιευτήρα κατά 90%) είναι 85%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο των αστικών λυμάτων, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 0,89%, ενώ το συνολικό φορτίο φωσφόρου μειώνεται κατά 0,69%.

Το βασικό συμπέρασμα, από την παραπάνω ανάλυση είναι πως για να επιτευχθεί ο στόχος της μεσότροφης κατάστασης στον ταμιευτήρα Πολύφυτου, η διαχείριση των φορτίων στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα θα πρέπει να γίνει έτσι ώστε να περιλαμβάνει μείωση των φορτίων της κτηνοτροφίας μεγαλύτερη του 65% και των αστικών λυμάτων κατά 85%. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως τα κριτήρια του σεναρίου επιτυγχάνονται μόνο με μείωση κατά 90% των φορτίων που προέρχονται από τα αστικά λύματα και την κτηνοτροφική δραστηριότητα.

Είναι προφανές (Σχήμα 5.36), πως η κύρια πηγή επιβάρυνσης του ταμιευτήρα σε άζωτο είναι τα αστικά απόβλητα των οικισμών (δε λειτουργεί μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στο νομό), που βρίσκονται στην εγγύτερη λεκάνη απορροής. Σημαντική είναι και η επιβάρυνση στο φώσφορο (Σχήμα 5.37), η οποία αποτελεί τα 2/3 του ολικού φορτίου, ενώ το υπόλοιπο 1/3 προέρχεται από τη κτηνοτροφική παραγωγή (92% από την εκτροφή προβάτων).



Σχήματα 5.36 - 5.37 Συσχέτιση της μείωσης του φορτίου αζώτου και του φωσφόρου στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Συνολικά, στον Πίνακα 5.20 παρουσιάζονται οι ελάχιστες τιμές μείωσης στα φορτία, που προκύπτουν από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, έτσι ώστε να επικρατήσει μεσοτροφική κατάσταση στη λίμνη, ενώ στον Πίνακα 5.21 φαίνεται συμμετοχή των φορτίων κάθε δραστηριότητας στο συνολικό φορτίο θρεπτικών που καταλήγει στη λίμνη. Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι, πως για να επικρατήσει μεσότροφη κατάσταση στον ταμιευτήρα Πολύφυτου θα πρέπει το διαχειριστικό σχέδιο να εστιαστεί :

1. Στις κτηνοτροφικές δραστηριότητες, προβάτων και βοοειδών, στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (νομοί Γρεβενών και Καστοριάς).
2. Στις κτηνοτροφικές δραστηριότητες, προβάτων και βοοειδών, στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολυφύτου (νομός Κοζάνης).
3. Στα αστικά λύματα και στερεά απορρίμματα του νομού Κοζάνης.

Λεκάνη Απορροής	Κτηνοτροφία	Γεωργία	Αστικά Λύματα
N Αλιάκμονα	>65%	>0%	>0%
Πολύφυτου	>65%	>0%	>85%

Πίνακας 5.20 Ελάχιστες μειώσεις σε φορτία για μεσοτροφική κατάσταση

Φορτίο	Κτηνοτροφία	Γεωργία	Αστικά Λύματα
N Αλιάκμονα	71.0%	18.0%	11.0%
N Πολύφυτου	9.0%	2.0%	89.0%
P Πολύφυτου	30.0%	0.1%	69.9%

Πίνακας 5.21 Επιβάρυνση για κάθε ανθρωπογεννή δραστηριότητα

Για ολιγότροφη κατάσταση παρουσιάζεται ακόμη μεγαλύτερη μείωση στα θρεπτικά άλατα. Όσο αφορά τον ποταμό Αλιάκμονα, παρουσιάζεται μείωση της τάξης των 80% για τα νιτρικά και 50% για τα φωσφορικά, ενώ το ρυπαντικό φορτίο από τις μη σημειακές πηγές πλησίον του ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 99% για τα φωσφορικά 95% για τα νιτρικά και 90% για την αμμωνία. Πρέπει να σημειωθεί, πως παρά το μέγεθος των μειώσεων, η ολιγότροφη κατάσταση επέρχεται μετά την πάροδο περίπου 12 ετών. Ακόμα, επειδή η μείωση είναι διαφορετική για κάθε θρεπτικό συστατικό θα,

Πιο συγκεκριμένα για τον ποταμό τον ποταμό Αλιάκμονα:

- Η μείωση των φορτίων της **κτηνοτροφικής δραστηριότητας** που καταλήγουν στον ποταμό κατά 80%, προκαλεί μείωση του συνολικού φορτίου αζώτου κατά περίπου 57% και κατά 79% του φωσφόρου. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την κτηνοτροφική δραστηριότητα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N που καταλήγει στον ποταμό κατά 80% και φωσφόρου κατά 50%) είναι 72%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο από τη κτηνοτροφική δραστηριότητα, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,71% και το συνολικό φορτίο φωσφόρου κατά 0,98%.
- Η μείωση των φορτίων των **γεωργικών δραστηριοτήτων** στη λεκάνη απορροής του ποταμού κατά 80%, προκαλεί μείωση μόνο στο φορτίο του αζώτου κατά περίπου 15%. Δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τις γεωργικές δραστηριότητες, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει στον Αλιάκμονα μπορεί να μειωθεί κατά 80%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο της γεωργικής

δραστηριότητας, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,18%.

- Η αντίστοιχη μείωση των φορτίων των **αστικών λυμάτων και στερεών απορριμμάτων**, προκαλεί μείωση του φορτίου αζώτου κατά μόλις 8,5%. Δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τα αστικά λύματα, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει στον Αλιάκμονα μπορεί να μειωθεί κατά 80%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο των αστικών λυμάτων, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0.13, ενώ του φωσφόρου κατά 0.03%.

Τέλος, για τον ταμιευτήρα Πολύφυτου:

- Η μείωση των φορτίων της **κτηνοτροφικής δραστηριότητας** που καταλήγουν στον ταμιευτήρα κατά 99%, προκαλεί μείωση του συνολικού φορτίου αζώτου κατά περίπου 9.5% και του συνολικού φωσφόρου κατά 30%. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την κτηνοτροφική δραστηριότητα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N και του P που καταλήγει στον ποταμό κατά 90%) είναι 67%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο από τη κτηνοτροφική δραστηριότητα, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 0,09%, ενώ το συνολικό φορτίο φωσφόρου μειώνεται κατά 0,30%.
- Η μείωση των φορτίων των **γεωργικών δραστηριοτήτων** στη λεκάνη απορροής του ποταμού κατά 90%, επηρεάζει ελάχιστα τη συνολική μείωση των φορτίων, αφού τα μειώνει μόλις κατά 1,4% για το άζωτο και 0.6% για το φώσφορο, αντίστοιχα. Όπως είναι αναμενόμενο, δεν υπάρχει ελάχιστη δυνατή μείωση για τις γεωργικές δραστηριότητες, αφού και με διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης, το συνολικό φορτίο αζώτου που καταλήγει στον Αλιάκμονα μπορεί να μειωθεί κατά 90%, με μείωση των φορτίων στις άλλες δραστηριότητες. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο από τη κτηνοτροφική δραστηριότητα, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,02% για το άζωτο και κατά 0,001% για το φώσφορο.

- Η αντίστοιχη μείωση των φορτίων των **αστικών λυμάτων και στερεών απορριμμάτων**, προκαλεί μείωση του φορτίου αζώτου κατά 80% και του φωσφόρου κατά 63%. Η ελάχιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την κτηνοτροφική δραστηριότητα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο στόχος του σεναρίου (μείωση του N και του P που καταλήγει στον ποταμό κατά 90%) είναι 85%. Μικρότερη μείωση από αυτή δεν επιτρέπει την επίτευξη του στόχου, ακόμη κι αν η μείωση στα φορτία των άλλων δραστηριοτήτων είναι 100%. Τέλος, για 1% μείωση στο φορτίο από τη κτηνοτροφική δραστηριότητα, το συνολικό φορτίο αζώτου, που καταλήγει στον ποταμό, μειώνεται κατά 0,89%, ενώ το συνολικό φορτίο φωσφόρου μειώνεται κατά 0,69%.

Όπως ήταν αναμενόμενο, το Deep Green σενάριο, συμφωνεί ποιοτικά με το Policy Target προσδιορίζοντας τις ίδιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που πρέπει να μειωθούν, αυξάνοντας όμως το ποσοστό μείωσης. Έτσι, οι ελάχιστες τιμές μείωσης θα είναι ακόμα μεγαλύτερες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.22.

Λεκάνη Απορροής	Κτηνοτροφία	Γεωργία	Αστικά Λύματα
N Αλιάκμονα	>72%	>0%	>0%
Πολύφυτου	>67%	>0%	>89%

Πίνακας 5.22 Ελάχιστες μειώσεις σε φορτία για ολιγοτροφική κατάσταση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, ο ταμιευτήρας Πολύφυτου παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- ▶ Είναι ένας **τεχνητός ταμιευτήρας** που δημιουργήθηκε μετά την κατασκευή του ομώνυμου φράγματος, με μέσο όγκο νερού 1.940 m^3 , επιφάνεια 74 km^2 και μέγιστο βάθος 91 m . Βρίσκεται σε υψόμετρο $+293 \text{ m}$ και το μήκος του είναι περίπου 30 km .
- ▶ Η **λεκάνη απορροής** έχει έκταση 6.630 km^2 και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των επαρχιών Κοζάνης και Βόιου του Νομού Κοζάνης καθώς και ολόκληρους των Νομών Καστοριάς και Γρεβενών.
- ▶ Η **μέση ετήσια τροφοδοσία** σε νερό του ταμιευτήρα έχει παρουσιάσει αισθητή μείωση και από τα 1.533 km^3 , της περιόδου 1962-1988 έχει μειωθεί σήμερα σε 160 km^3 . Όπως θα ήταν αναμενόμενο οι μέγιστες παροχές παρατηρούνται κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο με μέσες παροχές εξαιτίας (1996-2001) $8 \text{ m}^3/\text{s}$ και $6.67 \text{ m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα.
- ▶ Ο ταμιευτήρας παρουσιάζει **εποχιακή στρωμάτωση** τους θερμότερους μήνες του χρόνου, κατά την οποία το επιλήμνιο έχει βάθος 7-13 μέτρα και το θερμοκλινές 3-8 μέτρα.
- ▶ Τα **θρεπτικά άλατα** (νιτρικά, φωσφορικά, θειικά), παρουσιάζουν σταθερή αύξηση, από το 1980, με αποτέλεσμα από ολιγοτροφικός ο ταμιευτήρας σταδιακά να μετατραπεί σε ευτροφικό (μέσος ολικός φώσφορος $26 \mu\text{g/l}$). Οι διακυμάνσεις στις υπόλοιπες φυσικοχημικές παραμέτρους συνηγορούν με αυτό το συμπέρασμα.
- ▶ Οι **ανθρωπογενείς δραστηριότητες** που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής και τροφοδοτούν τον ταμιευτήρα με θρεπτικά συστατικά στον ταμιευτήρα, περιλαμβάνουν γεωργικές, κτηνοτροφικές και αστικές δραστηριότητες (αστικά λύματα).

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση των παραπάνω δεδομένων με σκοπό το συσχετισμό των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα με την ποιότητα νερών του και πιο

συγκεκριμένα με την τροφική του κατάσταση. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Βήμα 1^ο Στατιστική επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Οι μέσοι όροι πενταετίας για τα νιτρικά άλατα παρουσιάζουν αύξηση, ενώ για τα αμμωνιακά παρουσιάζουν στασιμότητα. Τα φωσφορικά αν και παρουσιάζουν μείωση σε σχέση με τις τιμές του '80, από το 90 και μετά ακολουθούν και αυτά αυξητική πορεία. Ανοδική είναι και η τάση του λόγου P/N (με περιοριστικό παράγοντα το φώσφορο), ενώ σύμφωνα με τα κριτήρια της ΕΡΑ για το φώσφορο, ο ταμιευτήρας χαρακτηρίζεται πλέον ευτροφικός.

Βήμα 2^ο Εφαρμογή του μοντέλου Dillon

Η ετήσια ροή των θρεπτικών από τη λεκάνη απορροής προς τον ταμιευτήρα, για τις μετρούμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών, υπολογίστηκε σε 402.5tn N/y και 79tn P/y.

Βήμα 3^ο Εφαρμογή του μοντέλου των συντελεστών

Σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής και τον πληθυσμό των οικισμών κάθε νομού, η ετησία ροή των θρεπτικών από τη λεκάνη απορροής προς τον ταμιευτήρα είναι 237.5tn N/y και 102tn P/y. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν στο 88% του αζώτου και στο 128.75% του φωσφόρου που υπολογίστηκε με τη μεθοδολογία Dillon.

Βήμα 4^ο Διαμερισματοποίηση του ταμιευτήρα

Για να εφαρμοστεί στην περιοχή μελέτης το μοντέλο WASP ο ταμιευτήρας χωρίστηκε σε 12 ομογενή τμήματα. Καθοριστικό ρόλο στο διαχωρισμό έπαιξε η εποχιακή στρωμάτωση του ταμιευτήρα και οι θέσεις δειγματοληψίας.

Βήμα 5^ο Βαθμονόμηση του μοντέλου WASP

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε με τη χρήση του RMSE για τα νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Μετά τη βαθμονόμηση η γραμμική συσχέτιση (R^2) μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών ήταν 0.54 για το νιτρικό άζωτο και 0.49 για το φωσφορικό φώσφορο.

- Βήμα 6^ο** Ανάλυση ευαισθησίας για 6 σταθερές του συστήματος
Επιλέχθηκαν οι σταθερές: μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης της Chl-a, λόγος φωσφόρου-άνθρακα, λόγος αζώτου-άνθρακα, συντελεστής νιτροποίησης, συντελεστής ορυκτοποίησης του φωσφόρου. Από αυτές πιο ευαίσθητη παρουσιάστηκε ο λόγος φωσφόρου-άνθρακα στο φυτοπλαγκτόν, το οποίο έμμεσα επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας του ταμιευτήρα.
- Βήμα 7^ο** Προσδιορισμός αβεβαιότητας του συστήματος
Η μέση απόκλιση για την τυχαία αύξηση της παροχής του ποταμού Αλιάκμονα μέχρι και 50% είναι 11% για τα νιτρικά και 6% για τα φωσφορικά άλατα.
- Βήμα 8^ο** Προσομοίωση σεναρίων μεταβολής τροφικής κατάστασης
Επιλέχθηκαν τρία σενάρια: Business as usual, όπου οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες διατηρούνται ως έχουν. Deep Green, για την επίτευξη oligotrophic κατάστασης στον ταμιευτήρα. Policy Target, για την επίτευξη mesotrophic κατάστασης στον ταμιευτήρα.

Τα βασικά συμπεράσματα για το μέλλον του ταμιευτήρα προκύπτουν από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, όπως παρουσιάστηκε στα τρία εξεταζόμενα σενάρια. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα εξής:

- Γενικότερα, παρουσιάζεται έντονη διαφοροποίηση της επιρροής του ποταμού Αλιάκμονα (ο οποίος συγκεντρώνει το κυρίαρχο ποσοστό των νερών της λεκάνης απορροής) και των μη σημειακών πηγών της εγγύτερης λεκάνης απορροής, στον ταμιευτήρα του Πολύφυτου. Οι μη σημειακές πηγές φαίνεται να επιβαρύνουν περισσότερο τον ταμιευτήρα
- Αν η κατάσταση συνεχιστεί ως έχει, η ποιότητα των νερών της λίμνης θα υποβαθμιστεί σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι ιδιαίτερα ευτροφικές συνθήκες μετά από 15 χρόνια (2010) σταθεροποιούνται σε πολύ υψηλές τιμές και είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν στη δημιουργία ανοξικών συνθηκών.

- ▶ Με τη μέθοδο «δοκιμής-λάθους», για το Policy Target σενάριο η μείωση των θρεπτικών είναι 90% στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του νομού Κοζάνης και 75% μόνο για τα νιτρικά άλατα στον Αλιάκμονα (φωσφορικά και αμμωνία, καμία μείωση).
- ▶ Για ολιγότροφη κατάσταση παρουσιάζεται ακόμη μεγαλύτερη μείωση στα θρεπτικά άλατα. Όσο αφορά τον ποταμό Αλιάκμονα, παρουσιάζεται μείωση της τάξης των 80% για τα νιτρικά και 50% για τα φωσφορικά, ενώ το ρυπαντικό φορτίο από τις μη σημειακές πηγές πλησίον του ταμιευτήρα, μειώνεται κατά 99% για τα φωσφορικά 95% για τα νιτρικά και 90% για την αμμωνία. Πρέπει να σημειωθεί, πως παρά το μέγεθος των μειώσεων, η ολιγότροφη κατάσταση επέρχεται μετά την πάροδο περίπου 12 ετών.
- ▶ Για να επικρατήσει μεσότροφη κατάσταση (Policy Target) στον ταμιευτήρα Πολύφυτου θα πρέπει να περιοριστούν οι ρύποι από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες, προβάτων και βοοειδών, τόσο στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (νομοί Γρεβενών και Καστοριάς), όσο και στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολυφύτου (νομός Κοζάνης), καθώς και να μειωθούν τα αστικά λύματα και στερεά απορρίμματα του νομού Κοζάνης (Λειτουργία μονάδων βιολογικού καθαρισμού & ΧΥΤΑ).
- ▶ Το Deep Green σενάριο, συμφωνεί ποιοτικά με το Policy Target προσδιορίζοντας τις ίδιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που πρέπει να μειωθούν, αυξάνοντας όμως το ποσοστό μείωσης. Και στις δύο περιπτώσεις το σύστημα προσεγγίζει τις προσδοκώμενες τροφικές συνθήκες μετά την πάροδο σημαντικού χρονικού διαστήματος (10-15 χρόνια).

Η παραπάνω μεθοδολογία είναι σε θέση να δώσει μια σαφή εικόνα για τη συσχέτιση λεκάνης απορροής και τροφικής κατάστασης υδάτινου αποδέκτη. Η μεθοδολογία συμφωνεί με τις αρχές της μεθοδολογίας DPSIR και την ευρωπαϊκή οδηγία πλαίσιο 2000/60 για τους υδατικούς πόρους. Είναι ένα απλουστευμένο εργαλείο διαχείρισης, που σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα προσφέρει ποσοτικά αποτελέσματα με σημαντική ακρίβεια. Βασικό πλεονέκτημα του η ευχρηστία του, καθώς και η ευελιξία του στο θέμα της

πολυπλοκότητας (αν υπάρχουν κατάλληλα δεδομένα, μπορεί να συνδυαστεί με πιο περίπλοκα μοντέλα για τον υπολογισμό των μη σημειακών πηγών ρύπανσης ή με μοντέλα προσομοίωσης του υπόγειου υδροφορέα). Είναι αναμφισβήτητο πως εργαλεία σαν και αυτό, αποτελούν χρήσιμους βοηθούς στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την κατάρτιση περιβαλλοντικών διαχειριστικών σχεδίων.

Παράρτημα Ι : Μετρήσεις Υπουργείου Γεωργικής
Ανάπτυξης στη θέση Ιλαρίωνα

Έτος	Νιτρικά (mg/l)	Αμμωνιακά (mg/l)	Ολικός Φώσφορος (mg/l)
1980	2.33	0.120	0.030
1981	1.40	0.107	0.009
1982	1.92	0.215	0.038
1983	1.66	0.087	0.034
1984	1.65	0.117	0.026
1985	1.50	0.096	0.066
1986	2.46	0.105	0.028
1987	2.59	0.075	0.032
1988	1.55	0.118	0.025
1989	2.25	1.982	0.030
1990	1.06	0.299	0.019
1991	3.67	0.048	0.027
1992	1.57	0.062	0.029
1993	2.12	0.067	0.026
1994	5.20	0.038	0.031
1995	-	-	-
1996	2.26	-	-
1997	5.55	-	-
1998	7.12	-	-
1999	5.18	-	-
2000	9.93	-	-

Πενταετία	Νιτρικά (mg/l)	Αμμωνιακά (mg/l)	Ολικός Φώσφορος (mg/l)
1980 - 1984	1.79	0.13	0.027
1981 - 1985	1.63	0.12	0.035
1982 - 1986	1.84	0.12	0.038
1983 - 1987	1.97	0.10	0.037
1984 - 1988	1.95	0.10	0.035
1985 - 1989	2.07	0.48	0.036
1986 - 1990	1.98	0.52	0.027
1987 - 1991	2.22	0.50	0.027
1988 - 1992	2.02	0.50	0.026
1989 - 1993	2.13	0.49	0.026
1990 - 1994	2.72	0.10	0.026
1991 - 1995	3.14	0.05	0.028
1992 - 1996	2.79	0.06	0.029
1993 - 1997	3.78	0.05	0.029
1994 - 1998	5.033	-	-
1995 - 1999	5.028	-	-
1996 - 2000	6.008	-	-

Γίνεται η παραδοχή πως ο ο ανόργανος φώσφορος είναι το 90% του ολικού

Πενταετία	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)
1980 - 1984	0.405	0.100	0.025
1981 - 1985	0.367	0.097	0.031
1982 - 1986	0.415	0.096	0.035
1983 - 1987	0.445	0.075	0.033
1984 - 1988	0.440	0.079	0.032
1985 - 1989	0.467	0.370	0.033
1986 - 1990	0.448	0.401	0.024
1987 - 1991	0.502	0.392	0.024
1988 - 1992	0.456	0.390	0.023
1989 - 1993	0.482	0.382	0.024
1990 - 1994	0.615	0.080	0.024
1991 - 1995	0.709	0.042	0.025
1992 - 1996	0.629	0.043	0.026
1993 - 1997	0.854	0.041	0.026
1994 - 1998	1.14	-	-
1995 - 1999	1.14	-	-
1996 - 2000	1.36	-	-

Πενταετία	NO ₃ -N (mol/l)	PO ₄ -P (mol/l)	Λόγος N/P
1980 - 1984	2.89E-05	2.88E-07	36.33
1981 - 1985	2.62E-05	3.64E-07	26.11
1982 - 1986	2.96E-05	4.04E-07	26.59
1983 - 1987	3.18E-05	3.92E-07	29.45
1984 - 1988	3.15E-05	3.73E-07	30.60
1985 - 1989	3.34E-05	3.81E-07	31.77
1986 - 1990	3.20E-05	2.82E-07	41.09
1987 - 1991	3.59E-05	2.80E-07	46.45
1988 - 1992	3.26E-05	2.74E-07	43.16
1989 - 1993	3.44E-05	2.76E-07	45.25
1990 - 1994	4.39E-05	2.78E-07	57.32
1991 - 1995	5.06E-05	2.97E-07	61.75
1992 - 1996	4.50E-05	3.02E-07	54.02
1993 - 1997	6.10E-05	3.00E-07	73.73

Παράρτημα II : Προσδιορισμός Αβεβαιότητας Συστήματος - Προσαυξημένες τιμές παροχής

Ημερομηνία	Ώρα	Αρχική Τιμή	Πολλαπλασιαστής προσαύξησης & προσαυξημένες τιμές							
			1.05	1.18	1.31	1.02	1.33	1.13	1.22	1.23
7/1/1996	8:11:00 AM	4.72	4.94	5.57	6.20	4.82	6.29	5.33	5.78	5.79
7/2/1996	8:11:00 AM	3.59	3.76	4.24	4.72	3.67	4.78	4.05	4.39	4.41
7/3/1996	8:11:00 AM	2.69	2.82	3.18	3.53	2.75	3.58	3.04	3.29	3.30
7/4/1996	8:11:00 AM	3.91	4.09	4.62	5.14	3.99	5.21	4.41	4.79	4.80
7/5/1996	8:11:00 AM	3.35	3.51	3.96	4.40	3.42	4.46	3.78	4.10	4.11
7/6/1996	8:11:00 AM	2.70	2.83	3.19	3.55	2.76	3.60	3.05	3.30	3.31
7/7/1996	8:11:00 AM	3.19	3.34	3.77	4.19	3.26	4.25	3.60	3.90	3.92
7/8/1996	8:11:00 AM	3.32	3.48	3.92	4.36	3.39	4.42	3.75	4.06	4.08
7/9/1996	8:11:00 AM	3.09	3.24	3.65	4.06	3.16	4.12	3.49	3.78	3.79
7/10/1996	8:11:00 AM	4.00	4.19	4.72	5.25	4.09	5.33	4.52	4.90	4.91
7/11/1996	8:11:00 AM	2.28	2.39	2.69	2.99	2.33	3.04	2.57	2.79	2.80
7/12/1996	8:11:00 AM	3.58	3.75	4.23	4.70	3.66	4.77	4.04	4.38	4.39
7/13/1996	8:11:00 AM	3.10	3.25	3.66	4.07	3.17	4.13	3.50	3.79	3.81
7/14/1996	8:11:00 AM	4.68	4.90	5.53	6.15	4.78	6.23	5.28	5.73	5.74
7/15/1996	8:11:00 AM	2.03	2.13	2.40	2.67	2.07	2.70	2.29	2.48	2.49
7/16/1996	8:11:00 AM	1.92	2.01	2.27	2.52	1.96	2.56	2.17	2.35	2.36
7/17/1996	8:11:00 AM	3.08	3.23	3.64	4.05	3.15	4.10	3.48	3.77	3.78
7/18/1996	8:11:00 AM	3.32	3.48	3.92	4.36	3.39	4.42	3.75	4.06	4.08
7/19/1996	8:11:00 AM	3.06	3.20	3.61	4.02	3.13	4.08	3.46	3.75	3.76
7/20/1996	8:11:00 AM	3.02	3.16	3.57	3.97	3.09	4.02	3.41	3.70	3.71
7/21/1996	8:11:00 AM	3.09	3.24	3.65	4.06	3.16	4.12	3.49	3.78	3.79
7/22/1996	8:11:00 AM	2.79	2.92	3.29	3.66	2.85	3.72	3.15	3.41	3.42
7/23/1996	8:11:00 AM	3.13	3.28	3.70	4.11	3.20	4.17	3.53	3.83	3.84
7/24/1996	8:11:00 AM	2.60	2.72	3.07	3.42	2.66	3.46	2.94	3.18	3.19
7/25/1996	8:11:00 AM	3.28	3.44	3.87	4.31	3.35	4.37	3.70	4.01	4.03
7/26/1996	8:11:00 AM	2.52	2.64	2.98	3.31	2.57	3.36	2.85	3.08	3.09
7/27/1996	8:11:00 AM	3.41	3.57	4.03	4.48	3.48	4.54	3.85	4.17	4.19
7/28/1996	8:11:00 AM	3.49	3.65	4.12	4.58	3.57	4.65	3.94	4.27	4.28
7/29/1996	8:11:00 AM	3.42	3.58	4.04	4.49	3.49	4.55	3.86	4.19	4.20
7/30/1996	8:11:00 AM	3.67	3.84	4.33	4.82	3.75	4.89	4.14	4.49	4.50
7/31/1996	8:11:00 AM	2.15	2.25	2.54	2.82	2.20	2.86	2.43	2.63	2.64
8/1/1996	8:11:00 AM	2.29	2.40	2.70	3.01	2.34	3.05	2.59	2.80	2.81
8/2/1996	8:11:00 AM	2.55	2.67	3.01	3.35	2.61	3.40	2.88	3.12	3.13
8/3/1996	8:11:00 AM	3.28	3.44	3.87	4.31	3.35	4.37	3.70	4.01	4.03
8/4/1996	8:11:00 AM	1.99	2.08	2.35	2.61	2.03	2.65	2.25	2.44	2.44
8/5/1996	8:11:00 AM	3.31	3.47	3.91	4.35	3.38	4.41	3.74	4.05	4.06
8/6/1996	8:11:00 AM	3.74	3.92	4.42	4.91	3.82	4.98	4.22	4.58	4.59
8/7/1996	8:11:00 AM	2.29	2.40	2.70	3.01	2.34	3.05	2.59	2.80	2.81
8/8/1996	8:11:00 AM	2.21	2.31	2.61	2.90	2.26	2.94	2.50	2.70	2.71
8/9/1996	8:11:00 AM	2.20	2.30	2.60	2.89	2.25	2.93	2.48	2.69	2.70
8/10/1996	8:11:00 AM	2.39	2.50	2.82	3.14	2.44	3.18	2.70	2.93	2.93
8/11/1996	8:11:00 AM	1.94	2.03	2.29	2.55	1.98	2.58	2.19	2.37	2.38
8/12/1996	8:11:00 AM	2.47	2.59	2.92	3.24	2.52	3.29	2.79	3.02	3.03
8/13/1996	8:11:00 AM	1.94	2.03	2.29	2.55	1.98	2.58	2.19	2.37	2.38
8/14/1996	8:11:00 AM	2.98	3.12	3.52	3.91	3.04	3.97	3.36	3.65	3.66
8/15/1996	8:11:00 AM	3.03	3.17	3.58	3.98	3.10	4.04	3.42	3.71	3.72

8/16/1996	8:11:00 AM	2.83	2.96	3.34	3.72	2.89	3.77	3.20	3.46	3.47
8/17/1996	8:11:00 AM	1.96	2.05	2.31	2.57	2.00	2.61	2.21	2.40	2.41
8/18/1996	8:11:00 AM	2.19	2.29	2.59	2.88	2.24	2.92	2.47	2.68	2.69
8/19/1996	8:11:00 AM	2.53	2.65	2.99	3.32	2.58	3.37	2.86	3.10	3.11
8/20/1996	8:11:00 AM	2.46	2.58	2.90	3.23	2.51	3.28	2.78	3.01	3.02
8/21/1996	8:11:00 AM	2.86	3.00	3.38	3.76	2.92	3.81	3.23	3.50	3.51
8/22/1996	8:11:00 AM	1.86	1.95	2.20	2.44	1.90	2.48	2.10	2.28	2.28
8/23/1996	8:11:00 AM	2.68	2.81	3.16	3.52	2.74	3.57	3.03	3.28	3.29
8/24/1996	8:11:00 AM	2.88	3.02	3.40	3.78	2.94	3.84	3.25	3.53	3.54
8/25/1996	8:11:00 AM	2.83	2.96	3.34	3.72	2.89	3.77	3.20	3.46	3.47
8/26/1996	8:11:00 AM	1.65	1.73	1.95	2.17	1.69	2.20	1.86	2.02	2.03
8/27/1996	8:11:00 AM	2.88	3.02	3.40	3.78	2.94	3.84	3.25	3.53	3.54
8/28/1996	8:11:00 AM	2.59	2.71	3.06	3.40	2.65	3.45	2.92	3.17	3.18
8/29/1996	8:11:00 AM	2.74	2.87	3.23	3.60	2.80	3.65	3.09	3.35	3.36
8/30/1996	8:11:00 AM	2.84	2.97	3.35	3.73	2.90	3.78	3.21	3.48	3.49
8/31/1996	8:11:00 AM	2.60	2.72	3.07	3.42	2.66	3.46	2.94	3.18	3.19
9/1/1996	8:11:00 AM	1.69	1.77	2.00	2.22	1.73	2.25	1.91	2.07	2.07
9/2/1996	8:11:00 AM	2.83	2.96	3.34	3.72	2.89	3.77	3.20	3.46	3.47
9/3/1996	8:11:00 AM	2.00	2.09	2.36	2.63	2.04	2.66	2.26	2.45	2.45
9/4/1996	8:11:00 AM	2.82	2.95	3.33	3.70	2.88	3.76	3.18	3.45	3.46
9/5/1996	8:11:00 AM	2.42	2.53	2.86	3.18	2.47	3.22	2.73	2.96	2.97
9/6/1996	8:11:00 AM	2.54	2.66	3.00	3.34	2.59	3.38	2.87	3.11	3.12
9/7/1996	8:11:00 AM	2.25	2.36	2.66	2.96	2.30	3.00	2.54	2.75	2.76
9/8/1996	8:11:00 AM	2.03	2.13	2.40	2.67	2.07	2.70	2.29	2.48	2.49
9/9/1996	8:11:00 AM	1.66	1.74	1.96	2.18	1.70	2.21	1.87	2.03	2.04
9/10/1996	8:11:00 AM	2.48	2.60	2.93	3.26	2.53	3.30	2.80	3.04	3.04
9/11/1996	8:11:00 AM	1.69	1.77	2.00	2.22	1.73	2.25	1.91	2.07	2.07
9/12/1996	8:11:00 AM	2.06	2.16	2.43	2.71	2.10	2.74	2.33	2.52	2.53
9/13/1996	8:11:00 AM	2.58	2.70	3.05	3.39	2.64	3.44	2.91	3.16	3.17
9/14/1996	8:11:00 AM	1.76	1.84	2.08	2.31	1.80	2.34	1.99	2.15	2.16
9/15/1996	8:11:00 AM	2.09	2.19	2.47	2.75	2.14	2.78	2.36	2.56	2.57
9/16/1996	8:11:00 AM	2.02	2.12	2.38	2.65	2.06	2.69	2.28	2.47	2.48
9/17/1996	8:11:00 AM	3.11	3.26	3.67	4.09	3.18	4.14	3.51	3.81	3.82
9/18/1996	8:11:00 AM	1.74	1.82	2.05	2.29	1.78	2.32	1.96	2.13	2.14
9/19/1996	8:11:00 AM	1.93	2.02	2.28	2.54	1.97	2.57	2.18	2.36	2.37
9/20/1996	8:11:00 AM	2.65	2.78	3.13	3.48	2.71	3.53	2.99	3.24	3.25
9/21/1996	8:11:00 AM	2.96	3.10	3.49	3.89	3.02	3.94	3.34	3.62	3.63
9/22/1996	8:11:00 AM	1.69	1.77	2.00	2.22	1.73	2.25	1.91	2.07	2.07
9/23/1996	8:11:00 AM	1.52	1.59	1.79	2.00	1.55	2.02	1.72	1.86	1.87
9/24/1996	8:11:00 AM	3.42	3.58	4.04	4.49	3.49	4.55	3.86	4.19	4.20
9/25/1996	8:11:00 AM	2.66	2.79	3.14	3.49	2.72	3.54	3.00	3.26	3.27
9/26/1996	8:11:00 AM	1.61	1.69	1.90	2.11	1.64	2.14	1.82	1.97	1.98
9/27/1996	8:11:00 AM	4.12	4.31	4.86	5.41	4.21	5.49	4.65	5.04	5.06
9/28/1996	8:11:00 AM	3.05	3.19	3.60	4.01	3.12	4.06	3.44	3.73	3.74
9/29/1996	8:11:00 AM	1.46	1.53	1.72	1.92	1.49	1.94	1.65	1.79	1.79
9/30/1996	8:11:00 AM	3.90	4.08	4.60	5.12	3.98	5.19	4.40	4.77	4.79
10/1/1996	8:11:00 AM	2.03	2.13	2.40	2.67	2.07	2.70	2.29	2.48	2.49
10/2/1996	8:11:00 AM	2.41	2.52	2.85	3.17	2.46	3.21	2.72	2.95	2.96
10/3/1996	8:11:00 AM	3.96	4.15	4.68	5.20	4.05	5.27	4.47	4.85	4.86
10/4/1996	8:11:00 AM	2.44	2.56	2.88	3.21	2.49	3.25	2.76	2.99	3.00
10/5/1996	8:11:00 AM	3.34	3.50	3.94	4.39	3.41	4.45	3.77	4.09	4.10
10/6/1996	8:11:00 AM	3.35	3.51	3.96	4.40	3.42	4.46	3.78	4.10	4.11

10/7/1996	8:11:00 AM	1.73	1.81	2.04	2.27	1.77	2.30	1.95	2.12	2.12
10/8/1996	8:11:00 AM	2.13	2.23	2.51	2.80	2.18	2.84	2.41	2.61	2.61
10/9/1996	8:11:00 AM	3.12	3.27	3.68	4.10	3.19	4.16	3.52	3.82	3.83
10/10/1996	8:11:00 AM	3.15	3.30	3.72	4.14	3.22	4.20	3.56	3.86	3.87
10/11/1996	8:11:00 AM	1.77	1.85	2.09	2.33	1.81	2.36	2.00	2.17	2.17
10/12/1996	8:11:00 AM	2.84	2.97	3.35	3.73	2.90	3.78	3.21	3.48	3.49
10/13/1996	8:11:00 AM	2.82	2.95	3.33	3.70	2.88	3.76	3.18	3.45	3.46
10/14/1996	8:11:00 AM	2.90	3.04	3.42	3.81	2.96	3.86	3.27	3.55	3.56
10/15/1996	8:11:00 AM	1.51	1.58	1.78	1.98	1.54	2.01	1.70	1.85	1.85
10/16/1996	8:11:00 AM	4.17	4.37	4.92	5.48	4.26	5.55	4.71	5.10	5.12
10/17/1996	8:11:00 AM	4.31	4.51	5.09	5.66	4.40	5.74	4.87	5.28	5.29
10/18/1996	8:11:00 AM	3.04	3.18	3.59	3.99	3.11	4.05	3.43	3.72	3.73
10/19/1996	8:11:00 AM	4.23	4.43	4.99	5.56	4.32	5.63	4.78	5.18	5.19
10/20/1996	8:11:00 AM	3.50	3.67	4.13	4.60	3.58	4.66	3.95	4.28	4.30
10/21/1996	8:11:00 AM	2.94	3.08	3.47	3.86	3.00	3.92	3.32	3.60	3.61
10/22/1996	8:11:00 AM	4.02	4.21	4.75	5.28	4.11	5.35	4.54	4.92	4.93
10/23/1996	8:11:00 AM	3.54	3.71	4.18	4.65	3.62	4.71	4.00	4.33	4.35
10/24/1996	8:11:00 AM	3.69	3.86	4.36	4.85	3.77	4.91	4.17	4.52	4.53
10/25/1996	8:11:00 AM	3.19	3.34	3.77	4.19	3.26	4.25	3.60	3.90	3.92
10/26/1996	8:11:00 AM	3.29	3.45	3.88	4.32	3.36	4.38	3.71	4.03	4.04
10/27/1996	8:11:00 AM	3.74	3.92	4.42	4.91	3.82	4.98	4.22	4.58	4.59
10/28/1996	8:11:00 AM	3.98	4.17	4.70	5.23	4.07	5.30	4.49	4.87	4.89
10/29/1996	8:11:00 AM	4.07	4.26	4.81	5.35	4.16	5.42	4.60	4.98	5.00
10/30/1996	8:11:00 AM	4.24	4.44	5.01	5.57	4.33	5.65	4.79	5.19	5.20
10/31/1996	8:11:00 AM	3.87	4.05	4.57	5.08	3.95	5.15	4.37	4.74	4.75
11/1/1996	8:11:00 AM	3.80	3.98	4.49	4.99	3.88	5.06	4.29	4.65	4.66
11/2/1996	8:11:00 AM	3.21	3.36	3.79	4.22	3.28	4.28	3.62	3.93	3.94
11/3/1996	8:11:00 AM	3.34	3.50	3.94	4.39	3.41	4.45	3.77	4.09	4.10
11/4/1996	8:11:00 AM	3.29	3.45	3.88	4.32	3.36	4.38	3.71	4.03	4.04

11/5/1996	8:11:00 AM	3.50	3.67	4.13	4.60	3.58	4.66	3.95	4.28	4.30
11/6/1996	8:11:00 AM	3.81	3.99	4.50	5.00	3.89	5.07	4.30	4.66	4.68
11/7/1996	8:11:00 AM	2.87	3.01	3.39	3.77	2.93	3.82	3.24	3.51	3.52
11/8/1996	8:11:00 AM	3.34	3.50	3.94	4.39	3.41	4.45	3.77	4.09	4.10
11/9/1996	8:11:00 AM	3.68	3.85	4.34	4.83	3.76	4.90	4.16	4.50	4.52
11/10/1996	8:11:00 AM	3.11	3.26	3.67	4.09	3.18	4.14	3.51	3.81	3.82
11/11/1996	8:11:00 AM	3.84	4.02	4.53	5.04	3.92	5.11	4.34	4.70	4.71
11/12/1996	8:11:00 AM	4.17	4.37	4.92	5.48	4.26	5.55	4.71	5.10	5.12
11/13/1996	8:11:00 AM	2.87	3.01	3.39	3.77	2.93	3.82	3.24	3.51	3.52
11/14/1996	8:11:00 AM	2.96	3.10	3.49	3.89	3.02	3.94	3.34	3.62	3.63
11/15/1996	8:11:00 AM	6.09	6.38	7.19	8.00	6.22	8.11	6.88	7.45	7.48
11/16/1996	8:11:00 AM	7.31	7.66	8.63	9.60	7.47	9.74	8.25	8.95	8.97
11/17/1996	8:11:00 AM	4.65	4.87	5.49	6.11	4.75	6.19	5.25	5.69	5.71
11/18/1996	8:11:00 AM	7.20	7.54	8.50	9.46	7.36	9.59	8.13	8.81	8.84
11/19/1996	8:11:00 AM	6.88	7.21	8.12	9.04	7.03	9.16	7.77	8.42	8.45
11/20/1996	8:11:00 AM	8.04	8.42	9.49	10.56	8.21	10.71	9.08	9.84	9.87
11/21/1996	8:11:00 AM	6.67	6.99	7.87	8.76	6.81	8.88	7.53	8.16	8.19
11/22/1996	8:11:00 AM	6.31	6.61	7.45	8.29	6.45	8.40	7.12	7.72	7.75
11/23/1996	8:11:00 AM	7.23	7.57	8.54	9.50	7.39	9.63	8.16	8.85	8.87
11/24/1996	8:11:00 AM	8.03	8.41	9.48	10.55	8.20	10.69	9.07	9.83	9.86
11/25/1996	8:11:00 AM	6.19	6.48	7.31	8.13	6.32	8.24	6.99	7.58	7.60
11/26/1996	8:11:00 AM	6.90	7.23	8.15	9.06	7.05	9.19	7.79	8.45	8.47

11/27/1996	8:11:00 AM	6.66	6.97	7.86	8.75	6.80	8.87	7.52	8.15	8.17
11/28/1996	8:11:00 AM	7.90	8.27	9.33	10.38	8.07	10.52	8.92	9.67	9.70
11/29/1996	8:11:00 AM	7.80	8.17	9.21	10.25	7.97	10.39	8.81	9.55	9.57
11/30/1996	8:11:00 AM	3.84	4.02	4.53	5.04	3.92	5.11	4.34	4.70	4.71
12/1/1996	8:11:00 AM	6.58	6.89	7.77	8.64	6.72	8.76	7.43	8.05	8.08
12/2/1996	8:11:00 AM	3.97	4.16	4.69	5.21	4.06	5.29	4.48	4.86	4.87
12/3/1996	8:11:00 AM	5.29	5.54	6.25	6.95	5.40	7.05	5.97	6.47	6.49
12/4/1996	8:11:00 AM	8.27	8.66	9.76	10.86	8.45	11.01	9.34	10.12	10.15
12/5/1996	8:11:00 AM	7.83	8.20	9.24	10.29	8.00	10.43	8.84	9.58	9.61
12/6/1996	8:11:00 AM	4.52	4.73	5.34	5.94	4.62	6.02	5.10	5.53	5.55
12/7/1996	8:11:00 AM	4.27	4.47	5.04	5.61	4.36	5.69	4.82	5.23	5.24
12/8/1996	8:11:00 AM	5.69	5.96	6.72	7.47	5.81	7.58	6.42	6.96	6.98
12/9/1996	8:11:00 AM	5.83	6.11	6.88	7.66	5.96	7.76	6.58	7.14	7.16
12/10/1996	8:11:00 AM	5.50	5.76	6.49	7.22	5.62	7.32	6.21	6.73	6.75
12/11/1996	8:11:00 AM	6.67	6.99	7.87	8.76	6.81	8.88	7.53	8.16	8.19
12/12/1996	8:11:00 AM	7.33	7.68	8.65	9.63	7.49	9.76	8.28	8.97	9.00
12/13/1996	8:11:00 AM	5.79	6.06	6.84	7.61	5.92	7.71	6.54	7.09	7.11
12/14/1996	8:11:00 AM	6.64	6.95	7.84	8.72	6.78	8.84	7.50	8.13	8.15
12/15/1996	8:11:00 AM	4.06	4.25	4.79	5.33	4.15	5.41	4.58	4.97	4.98
12/16/1996	8:11:00 AM	8.76	9.17	10.34	11.51	8.95	11.67	9.89	10.72	10.75
12/17/1996	8:11:00 AM	4.83	5.06	5.70	6.34	4.93	6.43	5.45	5.91	5.93
12/18/1996	8:11:00 AM	6.48	6.79	7.65	8.51	6.62	8.63	7.32	7.93	7.95
12/19/1996	8:11:00 AM	5.60	5.86	6.61	7.36	5.72	7.46	6.32	6.85	6.87
12/20/1996	8:11:00 AM	4.22	4.42	4.98	5.54	4.31	5.62	4.76	5.17	5.18
12/21/1996	8:11:00 AM	4.75	4.97	5.61	6.24	4.85	6.33	5.36	5.81	5.83
12/22/1996	8:11:00 AM	6.95	7.28	8.21	9.13	7.10	9.26	7.85	8.51	8.53
12/23/1996	8:11:00 AM	4.59	4.81	5.42	6.03	4.69	6.11	5.18	5.62	5.63
12/24/1996	8:11:00 AM	7.95	8.33	9.39	10.44	8.12	10.59	8.98	9.73	9.76
12/25/1996	8:11:00 AM	7.75	8.12	9.15	10.18	7.92	10.32	8.75	9.49	9.51
12/26/1996	8:11:00 AM	6.16	6.45	7.27	8.09	6.29	8.20	6.96	7.54	7.56
12/27/1996	8:11:00 AM	7.51	7.86	8.87	9.87	7.67	10.00	8.48	9.19	9.22
12/28/1996	8:11:00 AM	7.09	7.43	8.37	9.31	7.24	9.44	8.01	8.68	8.70
12/29/1996	8:11:00 AM	8.95	9.37	10.57	11.76	9.14	11.92	10.11	10.95	10.99
12/30/1996	8:11:00 AM	6.40	6.70	7.56	8.41	6.54	8.52	7.23	7.83	7.86
12/31/1996	8:11:00 AM	3.97	4.16	4.69	5.21	4.06	5.29	4.48	4.86	4.87
1/1/1997	8:11:00 AM	3.88	4.06	4.58	5.10	3.96	5.17	4.38	4.75	4.76
1/2/1997	8:11:00 AM	7.79	8.16	9.20	10.23	7.96	10.37	8.80	9.53	9.56
1/3/1997	8:11:00 AM	6.17	6.46	7.28	8.10	6.30	8.22	6.97	7.55	7.57
1/4/1997	8:11:00 AM	3.87	4.05	4.57	5.08	3.95	5.15	4.37	4.74	4.75
1/5/1997	8:11:00 AM	6.93	7.26	8.18	9.10	7.08	9.23	7.82	8.48	8.51
1/6/1997	8:11:00 AM	8.05	8.43	9.50	10.57	8.22	10.72	9.09	9.85	9.88
1/7/1997	8:11:00 AM	8.06	8.44	9.52	10.59	8.23	10.73	9.10	9.87	9.89
1/8/1997	8:11:00 AM	3.90	4.08	4.60	5.12	3.98	5.19	4.40	4.77	4.79
1/9/1997	8:11:00 AM	4.35	4.56	5.14	5.71	4.44	5.79	4.91	5.32	5.34
1/10/1997	8:11:00 AM	4.34	4.55	5.12	5.70	4.43	5.78	4.90	5.31	5.33
1/11/1997	8:11:00 AM	8.73	9.14	10.31	11.47	8.92	11.63	9.86	10.69	10.72
1/12/1997	8:11:00 AM	4.63	4.85	5.47	6.08	4.73	6.17	5.23	5.67	5.68
1/13/1997	8:11:00 AM	8.34	8.73	9.85	10.96	8.52	11.11	9.42	10.21	10.24
1/14/1997	8:11:00 AM	8.22	8.61	9.70	10.80	8.40	10.95	9.28	10.06	10.09
1/15/1997	8:11:00 AM	5.48	5.74	6.47	7.20	5.60	7.30	6.19	6.71	6.73
1/16/1997	8:11:00 AM	4.60	4.82	5.43	6.04	4.70	6.13	5.19	5.63	5.65
1/17/1997	8:11:00 AM	7.00	7.33	8.26	9.20	7.15	9.32	7.90	8.57	8.59

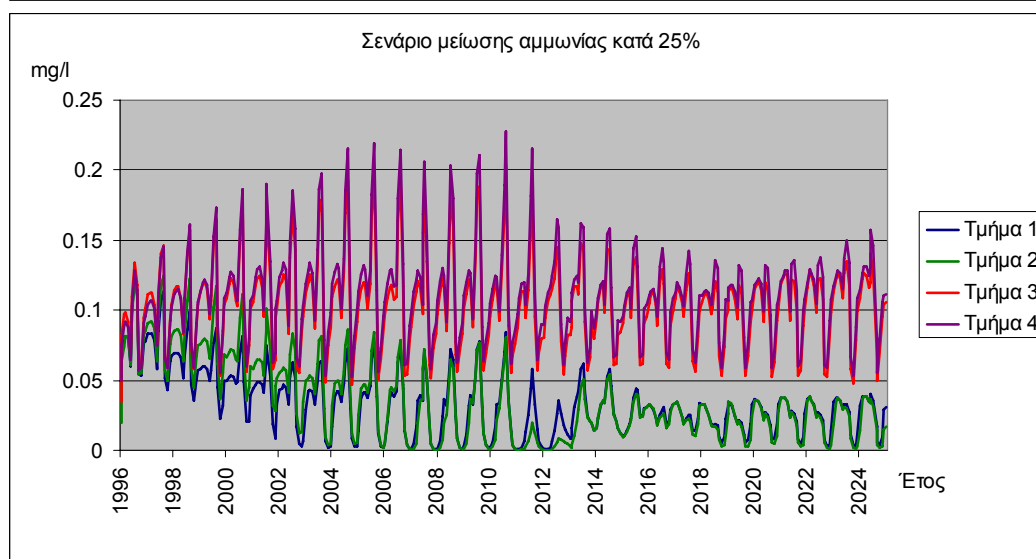
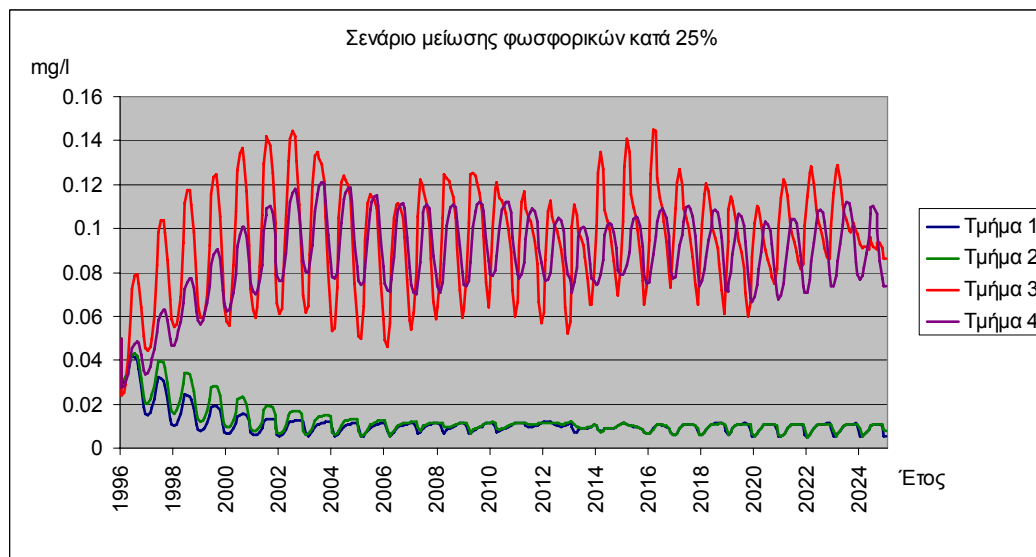
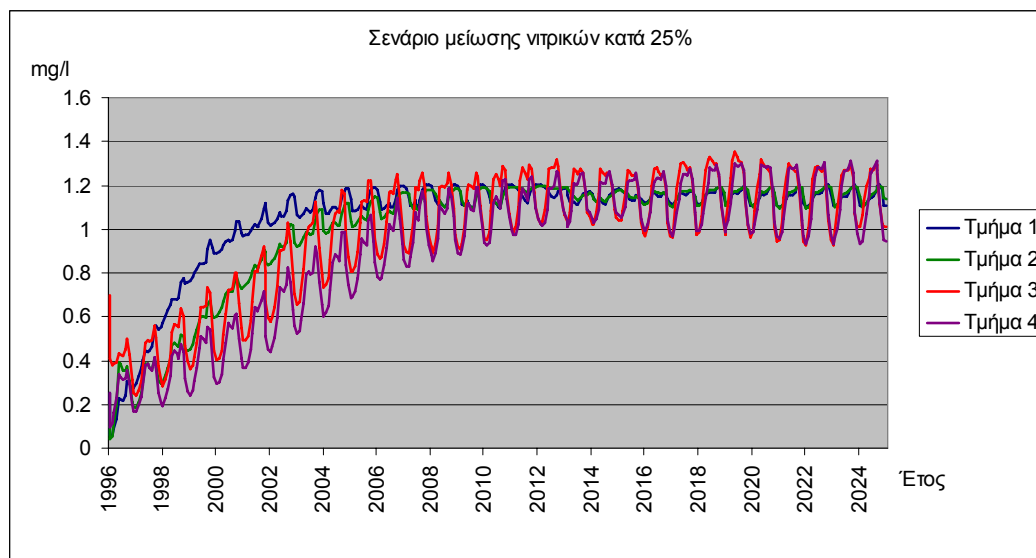
1/18/1997	8:11:00 AM	6.14	6.43	7.25	8.07	6.27	8.18	6.93	7.52	7.54
1/19/1997	8:11:00 AM	5.18	5.42	6.12	6.80	5.29	6.90	5.85	6.34	6.36
1/20/1997	8:11:00 AM	7.13	7.47	8.42	9.37	7.28	9.50	8.05	8.73	8.75
1/21/1997	8:11:00 AM	6.16	6.45	7.27	8.09	6.29	8.20	6.96	7.54	7.56
1/22/1997	8:11:00 AM	6.25	6.55	7.38	8.21	6.39	8.32	7.06	7.65	7.67
1/23/1997	8:11:00 AM	6.97	7.30	8.23	9.16	7.12	9.28	7.87	8.53	8.56
1/24/1997	8:11:00 AM	5.59	5.85	6.60	7.34	5.71	7.44	6.31	6.84	6.86
1/25/1997	8:11:00 AM	5.88	6.16	6.94	7.72	6.01	7.83	6.64	7.20	7.22
1/26/1997	8:11:00 AM	6.80	7.12	8.03	8.93	6.95	9.06	7.68	8.32	8.35
1/27/1997	8:11:00 AM	5.95	6.23	7.02	7.82	6.08	7.92	6.72	7.28	7.30
1/28/1997	8:11:00 AM	6.02	6.30	7.11	7.91	6.15	8.02	6.80	7.37	7.39
1/29/1997	8:11:00 AM	5.27	5.52	6.22	6.92	5.38	7.02	5.95	6.45	6.47
1/30/1997	8:11:00 AM	6.84	7.16	8.08	8.98	6.99	9.11	7.72	8.37	8.40
1/31/1997	8:11:00 AM	5.82	6.10	6.87	7.65	5.95	7.75	6.57	7.12	7.14
2/1/1997	8:11:00 AM	6.05	6.34	7.14	7.95	6.18	8.06	6.83	7.40	7.43
2/2/1997	8:11:00 AM	4.61	4.83	5.44	6.06	4.71	6.14	5.21	5.64	5.66
2/3/1997	8:11:00 AM	5.93	6.21	7.00	7.79	6.06	7.90	6.70	7.26	7.28
2/4/1997	8:11:00 AM	6.43	6.73	7.59	8.45	6.57	8.56	7.26	7.87	7.89
2/5/1997	8:11:00 AM	5.38	5.63	6.35	7.07	5.50	7.17	6.07	6.58	6.60
2/6/1997	8:11:00 AM	4.63	4.85	5.47	6.08	4.73	6.17	5.23	5.67	5.68
2/7/1997	8:11:00 AM	5.65	5.92	6.67	7.42	5.77	7.52	6.38	6.92	6.94
2/8/1997	8:11:00 AM	4.93	5.16	5.82	6.48	5.04	6.57	5.57	6.03	6.05
2/9/1997	8:11:00 AM	5.56	5.82	6.56	7.30	5.68	7.40	6.28	6.81	6.82
2/10/1997	8:11:00 AM	7.30	7.65	8.62	9.59	7.46	9.72	8.24	8.93	8.96
2/11/1997	8:11:00 AM	5.25	5.50	6.20	6.90	5.36	6.99	5.93	6.43	6.44
2/12/1997	8:11:00 AM	6.77	7.09	7.99	8.89	6.92	9.02	7.64	8.29	8.31
2/13/1997	8:11:00 AM	6.30	6.60	7.44	8.28	6.44	8.39	7.11	7.71	7.73
2/14/1997	8:11:00 AM	6.91	7.24	8.16	9.08	7.06	9.20	7.80	8.46	8.48
2/15/1997	8:11:00 AM	5.26	5.51	6.21	6.91	5.37	7.01	5.94	6.44	6.46
2/16/1997	8:11:00 AM	6.26	6.56	7.39	8.22	6.40	8.34	7.07	7.66	7.68
2/17/1997	8:11:00 AM	4.44	4.65	5.24	5.83	4.54	5.91	5.01	5.43	5.45
2/18/1997	8:11:00 AM	4.40	4.61	5.19	5.78	4.50	5.86	4.97	5.39	5.40
2/19/1997	8:11:00 AM	5.51	5.77	6.51	7.24	5.63	7.34	6.22	6.74	6.76
2/20/1997	8:11:00 AM	5.43	5.69	6.41	7.13	5.55	7.23	6.13	6.65	6.67
2/21/1997	8:11:00 AM	6.41	6.71	7.57	8.42	6.55	8.54	7.24	7.85	7.87
2/22/1997	8:11:00 AM	5.13	5.37	6.06	6.74	5.24	6.83	5.79	6.28	6.30
2/23/1997	8:11:00 AM	6.13	6.42	7.24	8.05	6.26	8.16	6.92	7.50	7.52
2/24/1997	8:11:00 AM	4.55	4.77	5.37	5.98	4.65	6.06	5.14	5.57	5.59
2/25/1997	8:11:00 AM	4.85	5.08	5.73	6.37	4.95	6.46	5.48	5.94	5.95
2/26/1997	8:11:00 AM	5.74	6.01	6.78	7.54	5.86	7.64	6.48	7.03	7.05
2/27/1997	8:11:00 AM	6.39	6.69	7.54	8.39	6.53	8.51	7.22	7.82	7.84
2/28/1997	8:11:00 AM	5.88	6.16	6.94	7.72	6.01	7.83	6.64	7.20	7.22
3/1/1997	8:11:00 AM	4.97	5.20	5.87	6.53	5.08	6.62	5.61	6.08	6.10
3/2/1997	8:11:00 AM	6.18	6.47	7.30	8.12	6.31	8.23	6.98	7.56	7.59
3/3/1997	8:11:00 AM	6.45	6.75	7.62	8.47	6.59	8.59	7.28	7.89	7.92
3/4/1997	8:11:00 AM	5.13	5.37	6.06	6.74	5.24	6.83	5.79	6.28	6.30
3/5/1997	8:11:00 AM	5.57	5.83	6.58	7.32	5.69	7.42	6.29	6.82	6.84
3/6/1997	8:11:00 AM	6.07	6.36	7.17	7.97	6.20	8.08	6.85	7.43	7.45
3/7/1997	8:11:00 AM	5.08	5.32	6.00	6.67	5.19	6.77	5.74	6.22	6.24
3/8/1997	8:11:00 AM	5.43	5.69	6.41	7.13	5.55	7.23	6.13	6.65	6.67
3/9/1997	8:11:00 AM	5.89	6.17	6.95	7.74	6.02	7.84	6.65	7.21	7.23
3/10/1997	8:11:00 AM	5.82	6.10	6.87	7.65	5.95	7.75	6.57	7.12	7.14

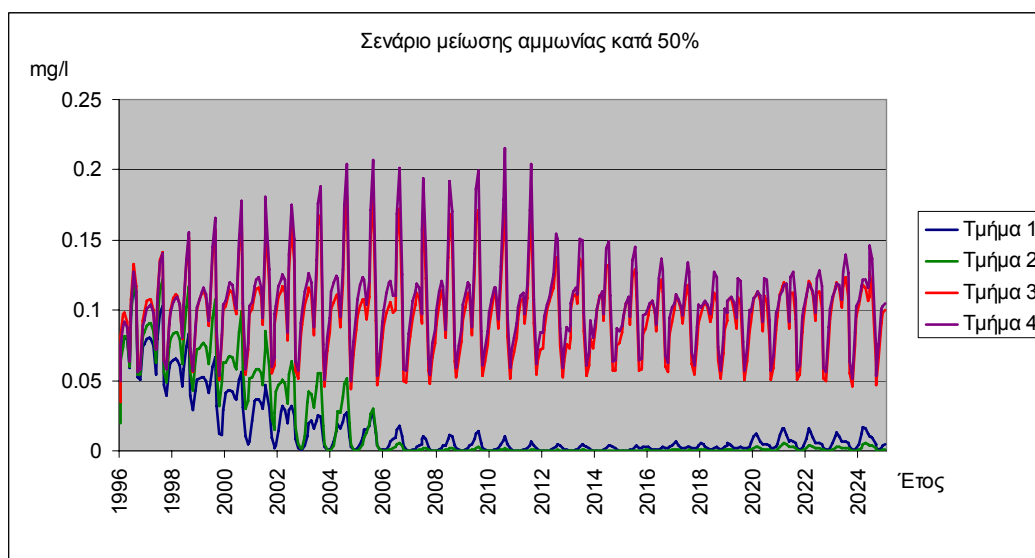
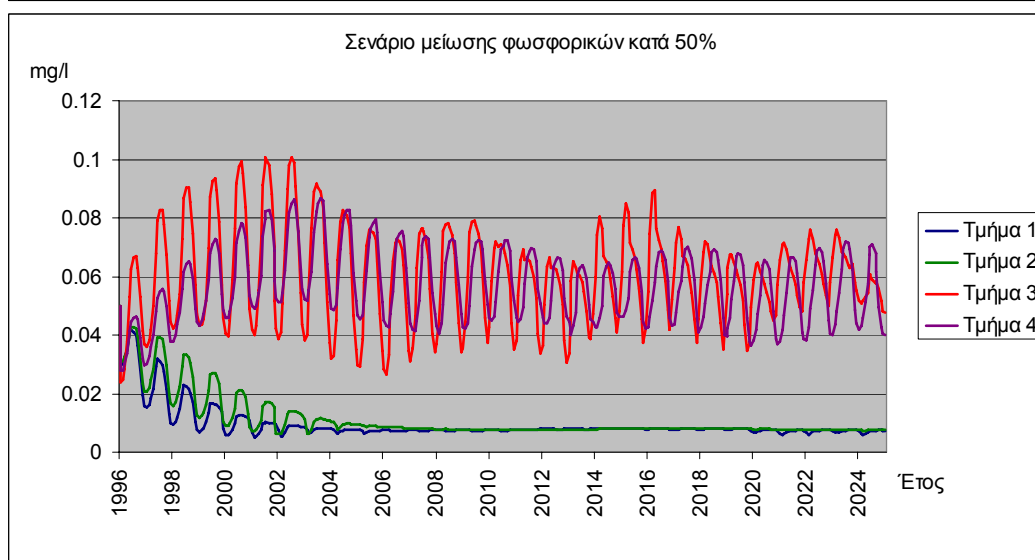
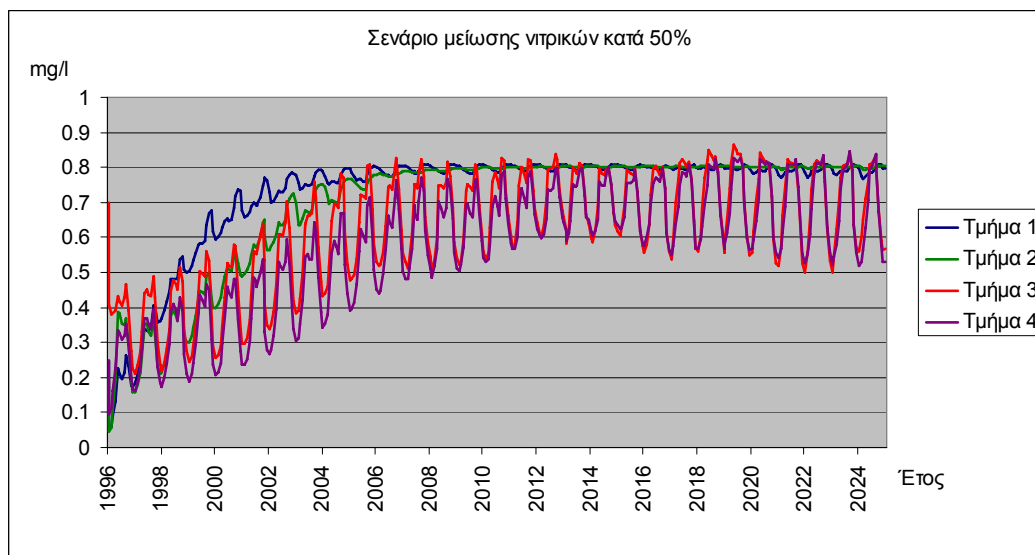
3/11/1997	8:11:00 AM	4.52	4.73	5.34	5.94	4.62	6.02	5.10	5.53	5.55
3/12/1997	8:11:00 AM	6.00	6.28	7.08	7.88	6.13	7.99	6.77	7.34	7.36
3/13/1997	8:11:00 AM	6.35	6.65	7.50	8.34	6.49	8.46	7.17	7.77	7.79
3/14/1997	8:11:00 AM	6.35	6.65	7.50	8.34	6.49	8.46	7.17	7.77	7.79
3/15/1997	8:11:00 AM	6.19	6.48	7.31	8.13	6.32	8.24	6.99	7.58	7.60
3/16/1997	8:11:00 AM	6.61	6.92	7.80	8.68	6.75	8.80	7.46	8.09	8.11
3/17/1997	8:11:00 AM	8.36	8.76	9.87	10.98	8.54	11.13	9.44	10.23	10.26
3/18/1997	8:11:00 AM	5.84	6.12	6.89	7.67	5.97	7.78	6.59	7.15	7.17
3/19/1997	8:11:00 AM	5.25	5.50	6.20	6.90	5.36	6.99	5.93	6.43	6.44
3/20/1997	8:11:00 AM	7.53	7.89	8.89	9.89	7.69	10.03	8.50	9.22	9.24
3/21/1997	8:11:00 AM	7.37	7.72	8.70	9.68	7.53	9.82	8.32	9.02	9.05
3/22/1997	8:11:00 AM	9.97	10.44	11.77	13.10	10.19	13.28	11.26	12.20	12.24
3/23/1997	8:11:00 AM	11.51	12.05	13.59	15.12	11.76	15.33	13.00	14.09	14.13
3/24/1997	8:11:00 AM	6.09	6.38	7.19	8.00	6.22	8.11	6.88	7.45	7.48
3/25/1997	8:11:00 AM	9.48	9.93	11.19	12.45	9.69	12.63	10.70	11.60	11.64
3/26/1997	8:11:00 AM	9.82	10.28	11.59	12.90	10.03	13.08	11.09	12.02	12.05
3/27/1997	8:11:00 AM	8.66	9.07	10.22	11.38	8.85	11.53	9.78	10.60	10.63
3/28/1997	8:11:00 AM	4.29	4.49	5.06	5.64	4.38	5.71	4.84	5.25	5.27
3/29/1997	8:11:00 AM	11.27	11.80	13.31	14.80	11.51	15.01	12.73	13.79	13.83
3/30/1997	8:11:00 AM	5.32	5.57	6.28	6.99	5.44	7.09	6.01	6.51	6.53
3/31/1997	8:11:00 AM	4.13	4.33	4.88	5.43	4.22	5.50	4.66	5.05	5.07
4/1/1997	8:11:00 AM	10.80	11.31	12.75	14.19	11.03	14.38	12.19	13.22	13.26
4/2/1997	8:11:00 AM	11.19	11.72	13.21	14.70	11.43	14.90	12.63	13.70	13.74
4/3/1997	8:11:00 AM	11.12	11.65	13.13	14.61	11.36	14.81	12.56	13.61	13.65
4/4/1997	8:11:00 AM	9.31	9.75	10.99	12.23	9.51	12.40	10.51	11.40	11.43
4/5/1997	8:11:00 AM	5.17	5.41	6.10	6.79	5.28	6.89	5.84	6.33	6.35
4/6/1997	8:11:00 AM	4.42	4.63	5.22	5.81	4.52	5.89	4.99	5.41	5.43
4/7/1997	8:11:00 AM	4.04	4.23	4.77	5.31	4.13	5.38	4.56	4.94	4.96
4/8/1997	8:11:00 AM	6.59	6.90	7.78	8.66	6.73	8.78	7.44	8.07	8.09
4/9/1997	8:11:00 AM	9.20	9.63	10.86	12.09	9.40	12.25	10.39	11.26	11.29
4/10/1997	8:11:00 AM	10.77	11.28	12.72	14.15	11.00	14.34	12.16	13.18	13.22
4/11/1997	8:11:00 AM	9.76	10.22	11.52	12.82	9.97	13.00	11.02	11.95	11.98
4/12/1997	8:11:00 AM	10.14	10.62	11.97	13.32	10.36	13.50	11.45	12.41	12.45
4/13/1997	8:11:00 AM	8.58	8.99	10.13	11.27	8.77	11.43	9.69	10.50	10.53
4/14/1997	8:11:00 AM	5.21	5.46	6.15	6.84	5.32	6.94	5.88	6.38	6.40
4/15/1997	8:11:00 AM	5.39	5.64	6.36	7.08	5.51	7.18	6.09	6.60	6.62
4/16/1997	8:11:00 AM	5.60	5.86	6.61	7.36	5.72	7.46	6.32	6.85	6.87
4/17/1997	8:11:00 AM	6.26	6.56	7.39	8.22	6.40	8.34	7.07	7.66	7.68
4/18/1997	8:11:00 AM	7.26	7.60	8.57	9.54	7.42	9.67	8.20	8.89	8.91
4/19/1997	8:11:00 AM	6.10	6.39	7.20	8.01	6.23	8.12	6.89	7.47	7.49
4/20/1997	8:11:00 AM	7.70	8.06	9.09	10.11	7.87	10.25	8.69	9.42	9.45
4/21/1997	8:11:00 AM	5.55	5.81	6.55	7.29	5.67	7.39	6.27	6.79	6.81
4/22/1997	8:11:00 AM	7.46	7.81	8.81	9.80	7.62	9.94	8.42	9.13	9.16
4/23/1997	8:11:00 AM	7.84	8.21	9.26	10.30	8.01	10.44	8.85	9.60	9.62
4/24/1997	8:11:00 AM	7.43	7.78	8.77	9.76	7.59	9.90	8.39	9.09	9.12
4/25/1997	8:11:00 AM	7.03	7.36	8.30	9.23	7.18	9.36	7.94	8.60	8.63
4/26/1997	8:11:00 AM	6.14	6.43	7.25	8.07	6.27	8.18	6.93	7.52	7.54
4/27/1997	8:11:00 AM	6.07	6.36	7.17	7.97	6.20	8.08	6.85	7.43	7.45
4/28/1997	8:11:00 AM	5.75	6.02	6.79	7.55	5.87	7.66	6.49	7.04	7.06
4/29/1997	8:11:00 AM	6.77	7.09	7.99	8.89	6.92	9.02	7.64	8.29	8.31
4/30/1997	8:11:00 AM	7.79	8.16	9.20	10.23	7.96	10.37	8.80	9.53	9.56
5/1/1997	8:11:00 AM	7.03	7.36	8.30	9.23	7.18	9.36	7.94	8.60	8.63

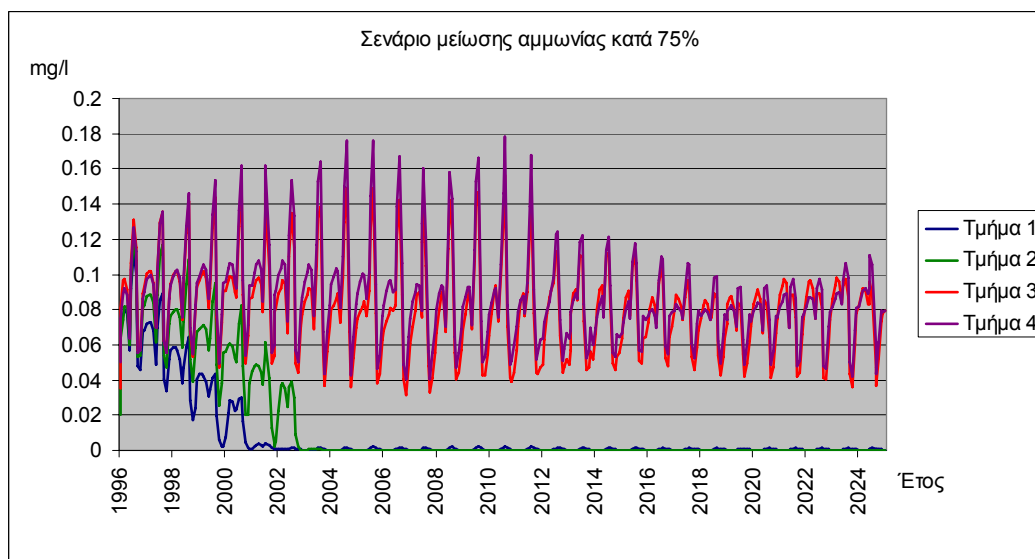
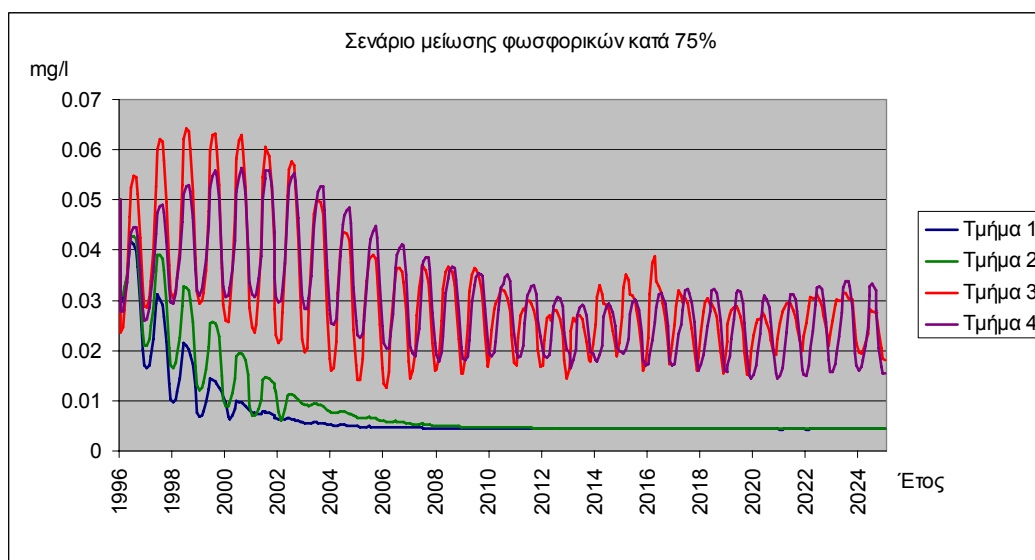
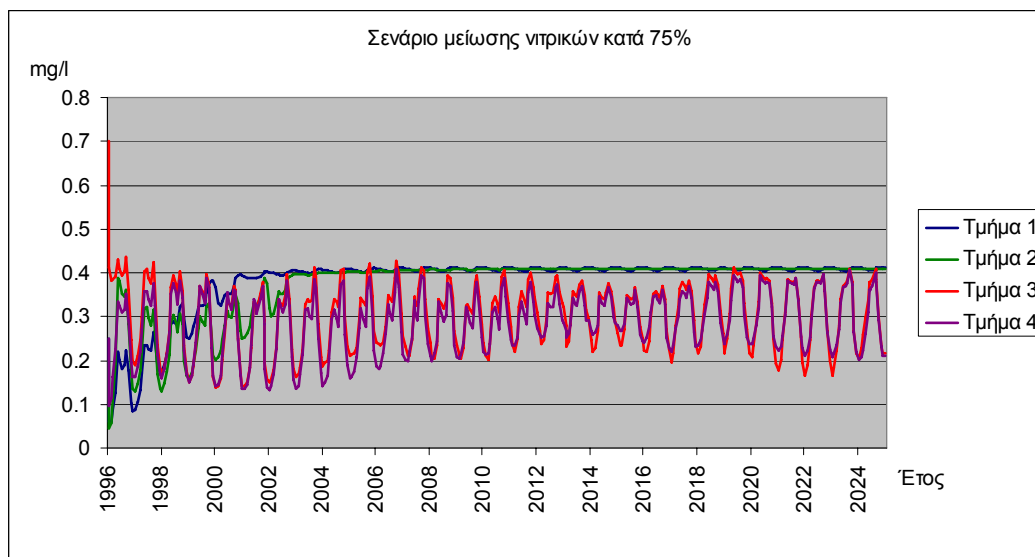
5/2/1997	8:11:00 AM	7.28	7.62	8.60	9.56	7.44	9.70	8.22	8.91	8.94
5/3/1997	8:11:00 AM	7.74	8.11	9.14	10.17	7.91	10.31	8.74	9.47	9.50
5/4/1997	8:11:00 AM	5.88	6.16	6.94	7.72	6.01	7.83	6.64	7.20	7.22
5/5/1997	8:11:00 AM	7.30	7.65	8.62	9.59	7.46	9.72	8.24	8.93	8.96
5/6/1997	8:11:00 AM	7.22	7.56	8.52	9.48	7.38	9.62	8.15	8.84	8.86
5/7/1997	8:11:00 AM	6.77	7.09	7.99	8.89	6.92	9.02	7.64	8.29	8.31
5/8/1997	8:11:00 AM	6.51	6.82	7.69	8.55	6.65	8.67	7.35	7.97	7.99
5/9/1997	8:11:00 AM	7.71	8.07	9.10	10.13	7.88	10.27	8.71	9.44	9.46
5/10/1997	8:11:00 AM	6.39	6.69	7.54	8.39	6.53	8.51	7.22	7.82	7.84
5/11/1997	8:11:00 AM	5.85	6.13	6.91	7.68	5.98	7.79	6.61	7.16	7.18
5/12/1997	8:11:00 AM	7.04	7.37	8.31	9.25	7.19	9.38	7.95	8.62	8.64
5/13/1997	8:11:00 AM	6.51	6.82	7.69	8.55	6.65	8.67	7.35	7.97	7.99
5/14/1997	8:11:00 AM	6.23	6.52	7.36	8.18	6.36	8.30	7.03	7.63	7.65
5/15/1997	8:11:00 AM	7.02	7.35	8.29	9.22	7.17	9.35	7.93	8.59	8.62
5/16/1997	8:11:00 AM	4.70	4.92	5.55	6.17	4.80	6.26	5.31	5.75	5.77
5/17/1997	8:11:00 AM	7.64	8.00	9.02	10.04	7.81	10.18	8.63	9.35	9.38
5/18/1997	8:11:00 AM	5.09	5.33	6.01	6.69	5.20	6.78	5.75	6.23	6.25
5/19/1997	8:11:00 AM	5.25	5.50	6.20	6.90	5.36	6.99	5.93	6.43	6.44
5/20/1997	8:11:00 AM	6.57	6.88	7.76	8.63	6.71	8.75	7.42	8.04	8.06
5/21/1997	8:11:00 AM	6.67	6.99	7.87	8.76	6.81	8.88	7.53	8.16	8.19
5/22/1997	8:11:00 AM	5.03	5.27	5.94	6.61	5.14	6.70	5.68	6.16	6.17
5/23/1997	8:11:00 AM	4.50	4.71	5.31	5.91	4.60	5.99	5.08	5.51	5.52
5/24/1997	8:11:00 AM	5.52	5.78	6.52	7.25	5.64	7.35	6.23	6.76	6.78
5/25/1997	8:11:00 AM	4.99	5.23	5.89	6.55	5.10	6.65	5.63	6.11	6.13
5/26/1997	8:11:00 AM	6.61	6.92	7.80	8.68	6.75	8.80	7.46	8.09	8.11
5/27/1997	8:11:00 AM	5.48	5.74	6.47	7.20	5.60	7.30	6.19	6.71	6.73
5/28/1997	8:11:00 AM	6.84	7.16	8.08	8.98	6.99	9.11	7.72	8.37	8.40
5/29/1997	8:11:00 AM	5.86	6.14	6.92	7.70	5.99	7.80	6.62	7.17	7.19
5/30/1997	8:11:00 AM	3.84	4.02	4.53	5.04	3.92	5.11	4.34	4.70	4.71
5/31/1997	8:11:00 AM	4.93	5.16	5.82	6.48	5.04	6.57	5.57	6.03	6.05
6/1/1997	8:11:00 AM	4.15	4.35	4.90	5.45	4.24	5.53	4.69	5.08	5.09
6/2/1997	8:11:00 AM	6.38	6.68	7.53	8.38	6.52	8.50	7.20	7.81	7.83
6/3/1997	8:11:00 AM	6.23	6.52	7.36	8.18	6.36	8.30	7.03	7.63	7.65
6/4/1997	8:11:00 AM	7.58	7.94	8.95	9.96	7.74	10.10	8.56	9.28	9.30
6/5/1997	8:11:00 AM	3.97	4.16	4.69	5.21	4.06	5.29	4.48	4.86	4.87
6/6/1997	8:11:00 AM	5.21	5.46	6.15	6.84	5.32	6.94	5.88	6.38	6.40
6/7/1997	8:11:00 AM	7.94	8.32	9.37	10.43	8.11	10.57	8.97	9.72	9.75
6/8/1997	8:11:00 AM	6.01	6.29	7.10	7.89	6.14	8.00	6.79	7.36	7.38
6/9/1997	8:11:00 AM	4.15	4.35	4.90	5.45	4.24	5.53	4.69	5.08	5.09
6/10/1997	8:11:00 AM	5.72	5.99	6.75	7.51	5.84	7.62	6.46	7.00	7.02
6/11/1997	8:11:00 AM	7.19	7.53	8.49	9.44	7.35	9.58	8.12	8.80	8.83
6/12/1997	8:11:00 AM	7.40	7.75	8.74	9.72	7.56	9.86	8.36	9.06	9.08
6/13/1997	8:11:00 AM	7.25	7.59	8.56	9.52	7.41	9.66	8.19	8.87	8.90
6/14/1997	8:11:00 AM	4.57	4.79	5.40	6.00	4.67	6.09	5.16	5.59	5.61
6/15/1997	8:11:00 AM	8.13	8.51	9.60	10.68	8.31	10.83	9.18	9.95	9.98
6/16/1997	8:11:00 AM	3.93	4.12	4.64	5.16	4.02	5.23	4.44	4.81	4.82
6/17/1997	8:11:00 AM	3.13	3.28	3.70	4.11	3.20	4.17	3.53	3.83	3.84
6/18/1997	8:11:00 AM	4.87	5.10	5.75	6.40	4.98	6.49	5.50	5.96	5.98
6/19/1997	8:11:00 AM	3.03	3.17	3.58	3.98	3.10	4.04	3.42	3.71	3.72
6/20/1997	8:11:00 AM	3.73	3.91	4.40	4.90	3.81	4.97	4.21	4.57	4.58
6/21/1997	8:11:00 AM	4.86	5.09	5.74	6.38	4.97	6.47	5.49	5.95	5.97
6/22/1997	8:11:00 AM	4.66	4.88	5.50	6.12	4.76	6.21	5.26	5.70	5.72

6/23/1997	8:11:00 AM	3.16	3.31	3.73	4.15	3.23	4.21	3.57	3.87	3.88
6/24/1997	8:11:00 AM	4.87	5.10	5.75	6.40	4.98	6.49	5.50	5.96	5.98
6/25/1997	8:11:00 AM	4.50	4.71	5.31	5.91	4.60	5.99	5.08	5.51	5.52
6/26/1997	8:11:00 AM	2.79	2.92	3.29	3.66	2.85	3.72	3.15	3.41	3.42
6/27/1997	8:11:00 AM	2.85	2.98	3.36	3.74	2.91	3.80	3.22	3.49	3.50
6/28/1997	8:11:00 AM	3.35	3.51	3.96	4.40	3.42	4.46	3.78	4.10	4.11
6/29/1997	8:11:00 AM	2.72	2.85	3.21	3.57	2.78	3.62	3.07	3.33	3.34
6/30/1997	8:11:00 AM	2.18	2.28	2.57	2.86	2.23	2.90	2.46	2.67	2.68

Παράρτημα III : Σενάρια μείωσης θρεπτικών ανά τμήμα







Βιβλιογραφία

- Ζιώγας , Γ., Γ. Σταμουλάκης, Κ. Κωνσταντής & Β. Καλφακάκου (1986). Η ρύπανση και τα περιβαλλοντικά προβλήματα στο λεκανοπέδιο των Ιωαννίνων . Τεχνική Έκθεση ΤΕΕ., παράρτημα Ιωαννίνων, σελ. 144.
- Κιλικίδης, Σ., Γ. Φωτης, Α. Καμαριανός, Ξ. Καραμανλής, Θ. Κουσουρήs και Α. Λαμπροπούλου- Τζάρου (1989). Οικολογική έρευνα για την προστασία της λίμνης Πολυφύτου Κοζάνης και τη βελτίωση της ιχθυοπαραγωγής της. Τεχν. Έκθεση, Α.Π.Θ., Τμημ. Κτην., Εργ. Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος σελ .77.
- Κιλικίδης, Σ., Γ. Φωτης, Α. Καμαριανός, Ξ. Καραμανλής, Θ. Κουσουρήs και Α. Λαμπροπούλου-Τζάρου (1993-94). Οικολογική έρευνα για την προστασία της λίμνης Πολυφύτου Κοζάνης και τη βελτίωση της ιχθυοπαραγωγής της. Τεχν. Έκθεση, Α.Π.Θ., Τμημ. Κτην., Εργ. Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τόμος 25, σελ. 13-89.
- Κουσουρήs Θ., Σκουλικίδης Ν., Λυκούσης Β. (1997). Μελέτη περιβαλλοντικών μετρήσεων στον ταμιευτήρα Πολύφυτου: Τελική τεχνική έκθεση. ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Νοέμβριος 1997
- Μπερταχάς, Ι., Φώτης, Γ., Κουσουρήs. (1997). Τάσεις τροφισμού, πηγές ρύπανσης και ρυπαντικά φορτία στη λίμνη Τριχωνίδα (Δυτική Ελλάδα), Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Καβάλα, Απρίλιος 1997 : 329-332
- Μπονάζούντας, Μ., Δ. Καλλιδρομίτου, Π. Καρατσούλης (1987). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αρδευτικού δικτύου λίμνης Μικρής Πρέσπας. Προκαταρκτική εκτίμηση. Τεχνική Έκθεση ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα , 1-1, 6-7 & Παράρτημα.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (2002). Agriculture and Water : A diffuse pollution review, London, United Kingdom
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (2004). Water Quality: A diffuse pollution review, London, United Kingdom
- D.C. Department of Health (2003) District of Columbia final total maximum daily loads for organics and metals in Kingman lake. Technical Report. Bureau of Environmental Quality, Water Quality Division

- Economou-Amilli, A. & Spartinou M. (1991). The diversity of Cyanodiktion Imperfectum in lake Amvrakia, Greece, *Algological Studies* 64:105-114
- Gattie K. David, Smith C. Matt, Smith M. Hillary, Byne F. Wes, Jarrin Veronica (2001). Watershed Assessment within a Georgia Coastal Plain Municipality. Paper number 012003, 2001 ASAE Annual Meeting
- Gianessi, L. and Peskin H. (1984). An overview of the RFF Environmental Data Inventory Methods, Sources and Preliminary Results. Vol 1. N.W., Washington, D.C.: Renewable Resources Division, Resources for the Future.
- Gonzales, J.A., H.J. Gonzales, R.C. Sanares, and E.T. Tabernal (1996). River pollution: an investigation of the influence of aquaculture and other agro-industrial effluents on communal waterways. Institute of Aquaculture, College of Fisheries, University of the Philippines in the Visayas. 89pp.
- Holas, J., and Hrnecir, M. (2002). Integrated watershed approach in controlling point and nonpoint source pollution within Elivka drinking water reservoir, *Water Sci. & Technol.* 45(9):293-300
- Howarth, R.W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend, N. Jaworski, K/ Lajitha, J.A. Downing, R. Elmgren, N. Caraco, T. Jordan, F. Berendse, J. Freney, V. Kudeyarov, P. Murdoch, and Z. Zhao-Liang (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for drainages to the North Atlantic Ocean; Natural human influences. *Biogeochemistry*. 35:75-139.
- Koussouris Th., Bertahas I., Diapoulis A. (1990). Lake management in a eutrophic lake in Greece (lake Kastoria), 4th International Conference in the Conservation and Management of Lakes "Hangzhou '90", China, September 1990, p.195 - 196
- Lee J.H.W., Arega F. (1999). Eutrophication dynamics of Tolo Harbour, Hong Kong, *Marine Pollution Bulletin* 39 : 187 - 192
- MAFF (1998). Phosphorus loss from agriculture, Project Reference NT1003, London, United Kingdom
- Novotny, V. (2003). The next step - Incorporating diffuse pollution abatement into watershed management, Keynote presentation at the 7th International specialized conference on diffuse pollution and basin management, Dublin, Ireland

- Padilla, J., L. Castro, A. Morales, C. Naz. (1997). Evaluation of economy-environment interactions in the Lingayen Gulf Basin: A partial area-based environmental accounting approach. DENR and USAID, Philippines.
- Rygwelski, K.; Richardson, W.; Endicott, D. (1999). A Screening-Level Model Evaluation of Atrazine in the Lake Michigan Basin. J. Great Lakes Res. 25(1): 94-106.
- San Diego-McGlone, M. L., Smith, S. V., and Nicolas, V. F. (2000). Stoichiometric Interpretations of C:N:P Ratios in Organic Waste Materials. Marine Pollution Bulletin, 40(4): 325-330.
- Schreiber, H., Behrendt, H., Constantinescu, L.T., Cvitanic, I., Drumea, D., Jabucar, D., Juran, S., Pataki, B., Snishko, S. and Zessner, M. (2003). Nutrient emissions from diffuse sources into the river Danube and its main tributaries for the period 1998-2000 - Results and problems, 7th International specialized conference on diffuse pollution and basin management, Dublin, Ireland
- Skoulikidis N. (1990). Biogeochemie der groessten Fluesse Griechenlands. Ph.D Thesis, Univers. of Hamburg, 313 pp.
- Stalnacke, P. (2003). Changes in nutrient levels in rivers in response to large-scale changes in emissions, Presentation at the European Conference of Coastal Zone Research: an ELOISE approach, European Commission-DG Research, Brussels, Belgium
- Sogreah. (1974). Laguna de Bay Water Resources Development Study. Laguna Lake Development Authority, Pasig City, Philippines.
- Stansbury John, Admiraal David M. (2004). Modeling to evaluate macrophyte induced impacts to dissolved oxygen in a tailwater reservoir. Journal of the American Water Resources Association,
- Triangle J Council of Governments (2003). Jordan Lake Nutrient Response Model Enhancement. Technical Report
- Tryphon E. (1997). Εποχιακή κατανομή της χλωροφύλλης-α, στη λίμνη Μικρή Πρέσπα, Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Καβάλα, Απρίλιος 1997 : 353-354
- US. Geological Survey (1999). The Quality of Our Nation's Waters, Nutrients and Pesticides. SGS Circular 1225, U.S. Department of Interior Washington, DC

- Valiela, I., G. Collins, J. Kremer, K. Lajitna, M. Geist, B. Seely, J. Brawley, and C.H. Sham. (1997). Nitrogen loading from coastal watersheds to receiving estuaries: New methods and application. *Ecological Applications*. 7(2):358-380.
- USEPA (2004). Draft TMDL for DO and BOD in Itchepackesassa Creek, Technical Report
- Wool T.A., Ambrose R.B., Martin J.L., Comer E.A., (2004) Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.1 : User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA
- World Bank. (1993). Environmental Sector Study. Towards Improved Management of Environmental Impacts. Washington, D.C., USA.
- World Health Organization (WHO). (1993). Rapid Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. Geneva, Switzerland
- Yosler P., Sea T., Robison D. (1999). The lake Seminole watershed management plan: Evaluation of quantity and quality objectives. Sixth Biennial Stormwater Research & Watershed Management Conference September 14-17, 1999

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<http://www.loicz.org>

<http://www.epa.gov>

<http://www.minagric.gr>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Το πλαίσιο εργασίας DPSIR	7
Σχήμα 2.1 Στάδια εξέλιξης ευτροφισμού (Environmental Science p. 303)	11
Σχήμα 2.2 Μεταβολή διαλυμένου οξυγόνου για (α) ολιγοτροφικό και (β) ευτροφικό Περιβάλλον (Environmental Science p. 300)	12
Σχήμα 2.3 Μηχανισμοί μεταφοράς των ρυπαντών διάχυτων πηγών ρύπανσης από το έδαφος στον υδατικό αποδέκτη	15
Σχήμα 2.4 Μηχανισμοί μεταφοράς των νιτρικών αλάτων	16
Σχήμα 2.5 Μηχανισμοί μεταφοράς του οργανικού αζώτου	17
Σχήμα 2.6 Μηχανισμοί μεταφοράς των φωσφορικών αλάτων	18
Σχήμα 2.7 Εισαγωγική Οθόνη του Μοντέλου WASP6 (WASP 6.0, 2001)	22
Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστική εικόνα του περιβάλλοντος εργασίας (WASP 6.0, 2001)	22
Σχήμα 2.9 Το πρόγραμμα επεξεργασίας των αποτελεσμάτων (WASP 6.0, 2001)	23
Σχήμα 2.10 Αλληλεπίδραση των Κύριων Μεταβλητών του EUTRO	25
Σχήμα 3.1 Δίκτυο Μετρήσεων ΕΛΚΕΘΕ (Τεχνική έκθεση, 2004)	26
Σχήμα 4.1 Η λίμνη Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	31
Σχήμα 4.2 Υψόμετρο λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	32
Σχήμα 4.3 Όρια λεκάνης απορροής της λίμνης Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	33
Σχήμα 4.4 Μηνιαία μεταβολή της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης παροχής του Αλιάκμονα (Ιλαρίων) για την περίοδο 1962-88 (δεδομένα ΔΕΗ, Δ/νση Μελετών Κατασκευών ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περιβάλλοντος)	34
Σχήμα 4.5 Βροχομετρικά στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού Αγ. Ιλαρίωνα (υδρολογικά έτη 1950-51 έως 1980-81, ΔΕΗ, Δ/νση Μελετών Κατασκ. ΥΗΣ, Κέντρο Συλλογής Στοιχείων Περι/ος)	36
Σχήμα 4.6 Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	38
Σχήμα 4.7 Εποχιακή στρωμάτωση της στήλης νερού στον ταμιευτήρα Πολυφύτου	40
Σχήμα 4.8 Διακύμανση της αγωγιμότητας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	42
Σχήμα 4.9 Διακύμανση της θολερότητας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	43
Σχήμα 4.10 Διακύμανση του % κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	44
Σχήμα 4.11 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	45
Σχήμα 4.12 Διακύμανση των νιτρικών αλάτων κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	46
Σχήμα 4.13 Διακύμανση της αμμωνίας κατά μήκος του ταμιευτήρα Πολυφύτου (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	47
Σχήμα 4.14 Σύγκριση των θρεπτικών αλάτων του ποταμού Αλιάκμονα με άλλους ελληνικούς ποταμούς και τον ευρωπαϊκό μέσο (Τεχνική Έκθεση ΕΛΚΕΘΕ, 2004)	50
Σχήμα 4.15 Νομός Κοζάνης (μαύρη γραμμή), λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα (κόκκινη γραμμή), λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα απευθείας στον ταμιευτήρα (μπλε γραμμή)	53
Σχήμα 5.1 Διακύμανση των νιτρικών αλάτων ανα πενταετία (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)	58
Σχήμα 5.2 Διακύμανση των αμμωνιακών αλάτων ανα πενταετία	59

(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)	59
Σχήμα 5.3 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων ανα πενταετία	60
(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)	60
Σχήμα 5.4 Διακύμανση των φωσφορικών αλάτων ανα πενταετία μετά το 1988	60
(Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης 2000)	60
Σχήμα 5.5 Διαμερισματοποίηση του ταμιευτήρα Πολύφυτου (ορίζοντια και κατακόρυφη)	69
Σχήμα 5.6 Διακύμανση του RMSE του $\text{NO}_3\text{-N}$ στην επιφάνεια κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)	71
Σχήμα 5.7 Διακύμανση του RMSE του $\text{NO}_3\text{-N}$ στον πυθμένα κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)	71
Σχήμα 5.8 Διακύμανση του RMSE του $\text{PO}_4\text{-P}$ στην επιφάνεια κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)	72
Σχήμα 5.9 Διακύμανση του RMSE του $\text{PO}_4\text{-P}$ στον πυθμένα κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου (με το τετράγωνο σημείο παρουσιάζεται η επιλεγμένη τιμή)	72
Σχήμα 5.10 Γραμμική συσχέτιση των μετρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών για το $\text{NO}_3\text{-N}$	73
Σχήμα 5.11 Γραμμική συσχέτιση των μετρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών για το $\text{PO}_4\text{-P}$	73
Σχήμα 5.12 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το $\text{NO}_3\text{-N}$ στην επιφάνεια του ταμιευτήρα Πολύφυτου	75
Σχήμα 5.13 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το $\text{NO}_3\text{-N}$ στον πυθμένα του ταμιευτήρα Πολύφυτου	75
Σχήμα 5.14 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το $\text{PO}_4\text{-P}$ στην επιφάνεια του ταμιευτήρα Πολύφυτου	76
Σχήμα 5.15 Αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου για το $\text{PO}_4\text{-P}$ στον πυθμένα του ταμιευτήρα Πολύφυτου	76
Σχήμα 5.16 Μέση διακύμανση του $\text{NO}_3\text{-N}$ και τυπική απόκλιση, για αύξηση της παροχής μέχρι και 50%	80
Σχήμα 5.17 Μέση διακύμανση του $\text{PO}_4\text{-P}$ και τυπική απόκλιση, για αύξηση της παροχής μέχρι και 50%	80
Σχήμα 5.18 Κλίμακα Σεναρίων	82
Σχήματα 5.19 - 5.21 Αποτελέσματα σεναρίου BAU για κάθε τμήμα του ταμιευτήρα	87
Σχήματα 5.22 - 5.27 Θρεπτικά συστατικά στην είσοδο/έξοδο του ταμιευτήρα για τα σενάρια Policy Target και Deep Green	89
Σχήμα 5.28 Περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού	90
Σχήματα 5.29-5.31 Διακύμανση θρεπτικών για το σενάριο Policy Target	91
Σχήματα 5.32-5.34 Διακύμανση θρεπτικών για το σενάριο Deep Green	93
Σχήμα 5.35 Συσχέτιση της μείωσης του φορτίου αζώτου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.	95
Σχήματα 5.36 - 5.37 Συσχέτιση της μείωσης του φορτίου αζώτου και του φωσφόρου στην εγγύτερη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.	97

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Στατιστικά δεδομένα παροχής Αλιάκμονα (Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης, 1996-2001)	35
Πίνακας 4.2 Διακύμανση φυσικοχημικών παραμέτρων στη λίμνη Πολυφύτου σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους	48
Πίνακας 4.3 Διακύμανση των συγκεντρώσεων παραμέτρων ρύπανσης κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών στον Ιλαρίωνα, σύμφωνα με δεδομένα του Υπ. Γεωργίας (Δ/νση Σ.Ε.Ε. & Α.Ε.Π., Τμήμα Προστασίας Αρδευτικών Υδάτων).	49
Πίνακας 4.4 Στρεμματικές Καλλιέργειες ανά Είδος στην Περιοχή Γύρω από τη Λίμνη (Δ/νση Γεωργίας, Τμήμα Παραγωγής & Στατιστική Υπηρεσία)	54
Πίνακας 4.5 Εκτίμηση της κτηνοτροφική δραστηριότητας γύρω από τη λίμνη του Πολυφύτου (Δ/νση Στατιστικής του Υπουργείου Γεωργίας, 1996)	55
Πίνακας 4.6 Χρήσεις γης και ζωική παραγωγή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα	56
Πίνακας 5.1 Προσδιορισμός λόγου N/P για κάθε πενταετία	62
Πίνακας 5.2 Δείκτης τροφικής κατάστασης της ΕΡΑ	62
Πίνακας 5.3 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Ιούλιος 1996), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).	62
Πίνακας 5.4 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Μάρτιος 1997), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).	63
Πίνακας 5.5 Μετρήσεις σε διάφορα σημεία του ταμιευτήρα (Σεπτέμβριος 1997), μέσος όρος (κίτρινη γραμμή) και τυπική απόκλιση (καφέ γραμμή).	63
Πίνακας 5.6 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα	67
Πίνακας 5.7 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Πολύφυτου	68
Πίνακας 5.8 Τελικές τιμές βαθμονόμησης των σταθερών του μοντέλου	74
Πίνακες 5.9 - 5.18 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας του μοντέλου WASP	78
Πίνακας 5.19 Τυπολογία βασικών χαρακτηριστικών των σεναρίων (ΕΕΑ, 2000)	81
Πίνακας 5.20 Ελάχιστες μειώσεις σε φορτία για μεσοτροφική κατάσταση	97
Πίνακας 5.21 Επιβάρυνση για κάθε ανθρωπογεννή δραστηριότητα	98
Πίνακας 5.22 Ελάχιστες μειώσεις σε φορτία για ολιγοτροφική κατάσταση	100