



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΛΙΜΝΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΛΕΡΝΗ**

Πέτρος Λαμπρόπουλος

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Λέκτορας Κ. Νουτσόπουλος



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	16
2	EXTENDED ABSTRACT	19
3	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	39
4	ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ	41
4.1	Οδηγία 2000/60/ΕΚ Βασικές Αρχές.....	41
4.2	Η εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα	46
4.3	Οδηγία 2000/60/ΕΚ : Ανθρωπογενής Πιέσεις & επιπτώσεις τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα	47
4.3.1	Εισαγωγή.....	47
4.3.2	Η ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεων τους.....	47
4.3.2.1	Πιέσεις.....	49
4.3.2.2	Πιέσεις και Πιθανές επιπτώσεις στην υφιστάμενη κατάσταση	50
5	ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΜΝΩΝ	55
5.1	Ποιότητα του νερού των λιμνών - Ευτροφισμός	55
5.2	Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών.....	57
5.2.1	Μοντέλα Ορισμός	57
5.2.2	Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών	58
5.2.2.1	Ιστορική αναδρομή	58
5.2.2.2	Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών κατηγοριοποίηση.....	60
5.2.2.2.1	Γενικά	60
5.2.2.2.2	Ταξινόμηση των μοντέλων ποιότητας νερού.....	61
5.2.2.2.3	Κριτήρια επιλογής των μοντέλων	64
5.3	Μαθηματικό Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου	65
5.3.1	Γενική δομή μοντέλου.....	65
5.3.2	Χωρική διακριτοποίηση – Υδροδυναμικά δεδομένα.	66
5.3.3	Δομή του μοντέλου ως προς τις διεργασίες.....	67



5.3.3.1	Φυτοπλαγκτόν.....	67
5.3.3.2	Φώσφορος	71
5.3.3.3	Άζωτο.....	73
5.3.3.4	Οργανικός Άνθρακας.....	75
5.3.3.5	Διαλυμένο οξυγόνο	76
5.3.4	Σχηματική αναπαράσταση της δίαιτας - μεταβολής μάζας Chl-a, Φωσφόρου, Αζώτου, Οργανικού Άνθρακα, Διαλυμένου Οξυγόνο	77
5.3.5	Συγκεντρωτική παρουσίαση εξισώσεων δίαιτας ρύπων – μετασχηματισμός τους	80
6	Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου Λέρνη.....	83
6.1	Συνοπτική παρουσίαση.....	83
6.2	Αναλυτική Παρουσίαση	83
6.3	Μέθοδοι αριθμητικής ολοκλήρωσης.....	86
6.4	Στοχαστική προσομοίωση.....	86
6.5	Μοντέλο δίαιτας ρύπων Λέρνη συνοπτική παρουσίαση λογισμικού	88
7	Μελέτη εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων των ταμειυτήρων Υλικής & Πλαστήρα με εφαρμογή του λογισμικού Λέρνη	92
7.1	Συνοπτική Παρουσίαση της λίμνης Πλαστήρα & Υλικής	92
7.1.1	Παρουσίαση λίμνης Πλαστήρα.....	92
7.1.2	Παρουσίαση Λίμνης Υλικής.....	97
7.2	Πηγές ρύπανσης ταμειυτήρων Υλικής & Πλαστήρα	102
7.2.1	Γενικά	102
7.2.2	Σημειακές Πηγές Ρύπανσης στη "Λίμνη Πλαστήρα" Θεωρητική Παρουσίαση	103
7.2.2.1	Ιχθυοκαλλιέργειες	103
7.2.2.2	Ιχθυοκαλλιέργειες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις πλωτών Μονάδων στο υδάτινο περιβάλλον.....	104
7.2.3	Ιχθυοκαλλιέργειες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις χερσαίων εγκαταστάσεων	105
7.2.4	Λίμνη Υλική – Πλαστήρα: Διαχυτές Πηγές Ρύπανσης Θεωρητική Παρουσίαση	105
7.2.4.1	Γενικά	105



7.2.4.2	Ανεπεξέργαστα αστικά λύματα	105
7.2.4.3	Επιφανειακές απορροές	105
7.2.4.4	Απόβλητα Μονάδων Ιχθυοκαλλιέργειας Ξηράς & Κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων Θεωρητική Παρουσίαση	108
7.2.5	Πηγές ρύπανσης ταμιευτήρων Υλίκης & Πλαστήρα. Ποσοτική παρουσίαση	110
7.3	Λίμνη Υλίκη & Πλαστήρα: Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs " ελέγχου και περιορισμού των πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων.	111
7.3.1	Γενικά	111
7.3.2	Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs " ελέγχου και περιορισμού των πηγών ρύπανσης ..	112
7.3.2.1	Μη σημειακή ρύπανση υδάτων.....	112
7.3.2.1.1	Πηγές Μη σημειακής ρύπανσης από αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες.....	112
7.3.2.2	Μη Σημειακή Ρύπανση Υδάτων : "BMPs" για τον περιορισμό ρυπαντικών φορτίων αγροτικής γής (φορτία αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης)	115
7.3.2.2.1	Διαχείριση θρεπτικών - Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"	115
7.3.2.2.1.1	Διαχείριση θρεπτικών - Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων	116
7.3.2.2.2	Διαχείριση Καλλιέργειας Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"	117
7.3.2.2.2.1	Διαχείριση Καλλιέργειας Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων	118
7.3.2.2.3	Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου (κτηνοτροφικής παραγωγής) Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"	118
7.3.2.2.3.1	Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"	118
7.3.2.2.3.2	Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs": Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων	119
7.3.2.2.3.3	Εσταυλισμένη κτηνοτροφία Περιγραφή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs"	120
7.3.2.2.3.4	Εσταυλισμένη κτηνοτροφία : Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων	122
7.3.2.2.4	Διαχείριση Εδάφους Περιγραφή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs"	124
7.3.2.2.4.1	Διαχείριση Εδάφους Εφαρμογή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" ελέγχου διάβρωσης Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων	126



7.3.2.2.5	Διαχείριση Υδατικών Πόρων και απορροών στα πλαίσια αγρο-κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων	126
7.3.2.2.5.1	Γενικά	126
7.3.2.2.5.2	Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" απομείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών Αγροτο – κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων	127
7.3.2.2.5.3	Διαχείριση υδατικών πόρων & απορροών αγροκτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων "BMPs" μείωσης ρύπων στις απορροές. Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων.....	131
7.3.2.2.5.4	Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" άρδευσης - Εφαρμογή ορθής αρδευτικής πρακτικής	133
7.3.2.2.5.5	Σύγκριση Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" άρδευσης	135
7.3.2.2.6	Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs".....	137
7.3.2.2.6.1	Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων ύστερα από την εφαρμογή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" Υδάτινων αποδεκτών.....	138
7.3.2.2.7	Συγκεντρωτική Παρουσίαση των Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" αγροτικής γης και της απόδοσης τους.....	140
7.3.2.2.8	Σχέδιο διαχείρισης απορροών αγροτικής γης. Επιλογή των κατάλληλων BMPs.	143
7.3.2.3	Επιλογή βέλτιστων BMPs. περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σημειακών Πηγών Ρύπανσης.....	144
7.3.2.3.1	Επιλογή βέλτιστων BMPs. περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας	144
7.3.2.4	Σχέδιο διαχείρισης αστικών αποβλήτων μικρών οικισμών. Επιλογή των κατάλληλων BMPs	146
7.3.2.4.1	Μεμονωμένο (ιδιωτικό) ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.....	148
7.3.2.4.2	Ιδιωτικά Μηχανικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης	150
7.3.2.4.3	ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης.....	150
7.3.2.4.4	Επιλογή Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων Μικρών Οικισμών.	153
7.4	Μελέτη της ποιοτικής κατάστασης της Λίμνης Πλαστήρα με εφαρμογή του Μαθηματικού μοντέλου Λέρνη	157
7.4.1	Συσχέτιση γεωμετρικών χαρακτηριστικών Λίμνης Πλαστήρα.....	157
7.4.2	Εξωτερικές μεταβλητές	158
7.4.2.1	Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές	159
7.4.2.2	Φορτία.....	160



7.4.2.3	Θερμοκρασία	162
7.4.2.4	Ηλιοφάνεια και φωτοπερίοδος	162
7.4.2.5	Επιπρόσθετα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης.....	163
7.4.2.6	Σενάρια Λειτουργίας	164
7.4.2.7	Αποτελέσματα-σχολιασμός	166
7.4.2.7.1	Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων για κάθε κατώτατη στάθμη Προσδιοριστική απλή προσομοίωση.....	166
7.4.2.7.2	Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάσταση της Λίμνης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων	180
7.4.2.7.3	Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων για κάθε κατώτατη στάθμη Στοχαστική προσομοίωση . Συγκριτική παρουσίαση με Απλή προσομοίωση	182
7.4.2.7.4	Λίμνη Πλαστήρα : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής στοχαστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων	199
7.4.2.7.5	Λίμνη Πλαστήρα : Μελέτη της Ποιοτικής κατάστασης βάσει max τιμών Chl-a , TP , TN	199
7.4.2.7.6	Λίμνη Πλαστήρα : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων	200
7.4.2.7.7	Λίμνη Πλαστήρα Σενάρια Λειτουργίας με απομειωμένα εισερχόμενα φορτία.....	200
7.4.2.7.8	Λίμνη Πλαστήρα Διερεύνηση Προγνωστικής Ικανότητας Μοντέλου Λέρνη.....	201
7.5	Μελέτη της ποιοτικής κατάστασης της Λίμνης Υλίκη με εφαρμογή του Μαθηματικού μοντέλου Λέρνη	202
7.5.1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	202
7.5.2	Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές.....	202
7.5.3	Φορτία.....	204
7.5.4	Θερμοκρασία, Ηλιοφάνεια και φωτοπερίοδος	205
7.5.5	Επιπρόσθετα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης.....	205
7.5.6	Σενάρια Λειτουργίας	206
7.5.7	ΛΙΜΝΗ ΥΛΙΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	207
7.5.7.1	Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων.....	207
7.5.7.2	Λίμνη Υλίκη : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων	215
7.5.7.2.1	Λίμνη Υλίκη : Μελέτη της Ποιοτικής κατάστασης βάσει max αποδεκτών τιμών Chl-a ,TP,TN	215



7.5.7.2.2	Λίμνη Υλίκη : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων	215
7.5.7.3	Λίμνη Υλίκη Σενάρια Λειτουργίας με απομειωμένα εισερχόμενα φορτία.....	216
7.5.7.4	Λίμνη Υλίκη : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης με απομείωση ρυπαντικών φορτίων.....	223
7.5.7.4.1	Λίμνη Υλίκη : Ποιοτική κατάσταση βάσει μεθοδολογίας max αποδεκτών τιμών Chl-a , TP , TN	223
7.5.7.4.2	Λίμνη Υλίκη : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων	223
7.5.8	Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενα Μέτρα μείωσης ρυπαντικών φορτίων	224
8	Συμπεράσματα	230
8.1	Αξιολόγηση του μοντέλου Λέρνη.....	230
8.2	Λίμνη Υλίκη.....	230
8.3	Λίμνη Πλαστήρα.....	231
8.4	Προτάσεις.....	232
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	234

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1	Οδηγία 2000/60/ΕΕ Κατάταξη των Υδατικών Σωμάτων Στόχοι	41
Εικόνα 2	Στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής ενός μοντέλου	58
Εικόνα 3	Προσομοίωση με χρήση στοχαστικής μεθόδου	87
Εικόνα 4	Επανάληψη της προσομοίωσης πολλές φορές.....	88
Εικόνα 5	Καμπύλες ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης έπειτα από στατιστική επεξεργασία	88
Εικόνα 6	Χάρτης οικισμών στην περιοχή της τεχνητής Λίμνης Πλαστήρα	93
Εικόνα 7	Γεωμορφολογική απεικόνιση της Λίμνης Πλαστήρα	95
Εικόνα 8	Ένταση της πίεσης & χρήσεις γης στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	96
Εικόνα 9	Λίμνη Πλαστήρα Σημειακές Πηγές Ρύπανσης	97
Εικόνα 10	χρήσεις γης υπολεκάνη Υλίκης.....	99
Εικόνα 11	Φορτίο Αζώτου από καλλιέργειες	100



Εικόνα 12 Φορτίο Αζώτου από μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία.....	100
Εικόνα 13 Ένταση ανθρωπογενών πιέσεων στην υπολεκάνη της Λίμνης Υλίκης.....	101
Εικόνα 14 Ένταση πιέσεων / Καθεστώς Προστασίας της Λίμνης Υλίκης	102
Εικόνα 15 Φορτίο θρεπτικών που καταλήγει σε μια λίμνη συναρτήσσει της έκτασης	107
Εικόνα 16 Όγκος επιφανειακών απορροών αστικής και αγροτοδασικής προέλευσης συναρτήσσει.....	108
Εικόνα 17 Λίμνη Πλαστήρα: Μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας με επιφανειακά διάθεση των υγρών απόβλητων τους.....	109
Εικόνα 18 Αντιμετώπιση ρυπαντικών φορτίων αγροτοκτηνοτροφικών απορροών με τη χρήση υδροβιότοπων	227
Εικόνα 19 Αντιμετώπιση ρυπαντικών φορτίων απορροών με τη χρήση υδροβιότοπων, παρόχθιας βλάστησης & άλλων μέσων.....	228

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Χρονοδιάγραμμα Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.....	44
Πίνακας 2 Πιέσεις από απολήψεις.....	51
Πίνακας 3 Πιέσεις από διαχυτές πηγές.....	51
Πίνακας 4 Πιέσεις από σημειακές πηγές	52
Πίνακας 5 Πιέσεις από υδρομορφολογικές πηγές.....	52
Πίνακας 6 Διάκριση Λιμνών ανάλογα με το βαθμό ευτροφισμού τους.....	55
Πίνακας 7 Συγκεντρωτικός Πίνακας εξισώσεων του Μοντέλου Ευτροφισμού – Διαλυμένου Οξυγόνου	81
Πίνακας 8 Διαφορικές εξισώσεις μεταβολής συγκέντρωσης των εξεταζόμενων ρύπων στο στοιχείο πλήρους μίξης.....	85
Πίνακας 9 Απολήψεις από την τεχνητή Λίμνη Πλαστήρα	92
Πίνακας 10 Αναλυτική Παρουσίαση Οικισμών εντός της Λεκάνης Απορροής της Λίμνης Πλαστήρα	94
Πίνακας 11 Απολήψεις από τη Λίμνη Υλίκη.....	98
Πίνακας 12 Πληθυσμιακά & γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οικισμών πλησίον της Λίμνης Υλίκης	101
Πίνακας 13 Συντελεστές εκπομπής θρεπτικών από υδατοκαλλιέργειες)	104



Πίνακας 14	Τυπικοί συντελεστές ρύπων ανά χρήση γης.	107
Πίνακας 15	Χαρακτηριστικά ζωικών αποβλήτων (Kg/ημέρα /τόνο σωματικού βάρους)	109
Πίνακας 16:	Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές.....	110
Πίνακας 17	Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από σημειακές πηγές	110
Πίνακας 18:	Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές.....	111
Πίνακας 19	κύριες πηγές ρυπαντικών φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης	113
Πίνακας 20	Άλατα & παρασιτοκτόνα υδροβιότοποι: πηγές ρυπαντικών φορτίων & μέσα περιορισμού τους	114
Πίνακας 21	Απομάκρυνση φορτίων P, N μέσω της διαχείρισης θρεπτικών.....	117
Πίνακας 22	Παραγόμενα ρυπαντικά φορτία ανά είδος ζώου/ έτος.....	118
Πίνακας 23	Δέσμευση των φορτίων στο έδαφος (%)	118
Πίνακας 24	Αποδόσεις βαθμίδων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων	121
Πίνακας 25	Απομάκρυνση φορτίων P μέσω της διαχείρισης απορροών κτηνοτροφικών μονάδων	122
Πίνακας 26	μείωση ρυπαντικών φορτίων απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων	122
Πίνακας 27	Μείωση συγκεντρώσεων N, P, TS,COD των απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων	123
Πίνακας 28	Μείωση ρυπαντικών φορτίων με εφαρμογή βέλτιστων διαχειριστικών Τεχνικών (BMP's) περιορισμού της διάβρωσης	126
Πίνακας 29	Τεχνητές Λίμνες Πλεονεκτήματα Μειονεκτήματα.....	129
Πίνακας 30	Τεχνητές λίμνες : Διεργασίες απομάκρυνσης ρύπων	129
Πίνακας 31	Υδροβιότοποι : μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων	130
Πίνακας 32	Ποσοστό απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων με χρήση λεκανών κατακράτησης	132
Πίνακας 33	Ποσοστό απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων μέσω διήθησης και φυτοκάλυψης	132
Πίνακας 34.	Μέγιστη μη Διαβρωτική Παροχή	134
Πίνακας 35	Σύγκριση επιφανειακής άρδευσης με κανάλια και άρδευσης με καταϊωνισμό (Hill, 1994)...	136
Πίνακας 36	Σύγκριση συστημάτων άρδευσης	136
Πίνακας 37	Σύγκριση συστημάτων άρδευσης σταγόνας , καταϊωνισμού και με επιφανειακά κανάλια	137
Πίνακας 38	Απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων σε υδροβιότοπους	138
Πίνακας 39	Απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων σε συστήματα υδροβιότοπων & ζωνών με φυτοκάλυψη	139



Πίνακας 40 Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Σύνοψη BMPs	140
Πίνακας 41 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Σύνοψη BMPs.....	140
Πίνακας 42 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Σύνοψη BMPs.....	142
Πίνακας 43 Διαχείριση Υδατικών Πόρων & Απορροών Σύνοψη BMPs	142
Πίνακας 44 Διαχείριση Θρεπτικών Σύνοψη BMPs.....	143
Πίνακας 45 Διαχείριση Καλλιέργειας Σύνοψη BMPs	143
Πίνακας 46 Βαθμός απόδοσης, συστήματος σηπτικής δεξαμενής, χαλικοδυλιστήριου, αμμοδυλιστήριου	149
Πίνακας 47 Τεχνικά χαρακτηριστικά Μεμονωμένων (ιδιωτικών) ΣΕΑΛ	149
Πίνακας 48 Ιδιωτικά Μηχανικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης	150
Πίνακας 49 ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης Συμβατικά συστήματα	151
Πίνακας 50 ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης Φυσικά συστήματα	152
Πίνακας 51 Επιλογή Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων Μικρών Οικισμών	155
Πίνακας 52: Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές.....	161
Πίνακας 53 Ρυπαντικά φορτία από σημειακές πηγές	161
Πίνακας 54 Παράμετροι που εξετάζονται στοχαστικά	166
Πίνακας 55: Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του Χλωροφύλλης για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας Περίοδος προσομοίωσης 1994-2000.....	167
Πίνακας 56 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης 1994-2000.	167
Πίνακας 57 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης νιτρικών για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.	167
Πίνακας 58 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του ανόργανου φωσφόρου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.....	168
Πίνακας 59 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του οργανικού φωσφόρου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.....	168



Πίνακας 60	Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του οργανικού άνθρακα για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης, 1994-2000.	168
Πίνακας 61	Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.	169
Πίνακας 62	Ετήσιες Περίοδοι max και min τιμών των εξεταζόμενων παραμέτρων (κατά προσέγγιση)	171
Πίνακας 63	Σύγκριση τιμών IP για τις στάθμες 782, 784, 786	180
Πίνακας 64	: Μέση Τιμή Chl-a, TN, TP 7ετούς Προσομοίωσης ανά στάθμη.....	181
Πίνακας 65	: Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.	181
Πίνακας 66	Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 782 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης.....	199
Πίνακας 67	Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 784 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης	199
Πίνακας 68	Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 784 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης (στοχαστική προσομοίωση)	200
Πίνακας 69:	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.....	200
Πίνακας 70	Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 782,784,786m max τιμές Chl-a ανά καμπύλη μη υπέρβασης.....	200
Πίνακας 71	Λίμνη Πλαστήρα Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης – μετρήσεων πεδίου	201
Πίνακας 72:	Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές.....	204
Πίνακας 73	Εξισώσεις θερμοκρασίας - Ακτινοβολίας.....	205
Πίνακας 74	Λίμνη Υλίκη Μετρήσεις στάθμης, επιφάνειας και αποθέματος.....	205
Πίνακας 75	Λίμνη Υλίκη : Ετήσια Διακύμανση μελετώμενων παραμέτρων.....	210
Πίνακας 76	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.....	215
Πίνακας 77	Μέσες τιμές εξεταζόμενων παραμέτρων για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης	221
Πίνακας 78	Λίμνη Πλαστήρα Προσδιοριστική Προσομοίωση : Μέση τιμή TN, TP, Chl-a mg/lit	223
Πίνακας 79:	Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.....	223
Πίνακας 80	Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων από απορροές μη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας.....	224
Πίνακας 81	Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών εσταυλισμένης κτηνοτροφίας.....	225



Πίνακας 82 Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών αγροτικής προέλευσης 226

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Διαγραμματική απεικόνιση των απαιτούμενων σταδίων για την εφαρμογή της Οδηγίας.....	45
Σχήμα 2 Πρόγραμμα Παρακολούθησης και Πρόγραμμα των Μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων ...	48
Σχήμα 3 Μεθοδολογία ανάλυσης πιέσεων – εκτίμησης επιπτώσεων & δυνατότητας επίτευξης των στόχων	49
Σχήμα 4 Φυτικοί οργανισμοί των λιμνών	57
Σχήμα 5 Διάκριση μοντέλων υδατικών συστημάτων βάσει της χρονικής, χωρικής κλίμακας και τη μαθηματική δομή τους.....	63
Σχήμα 6 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Φυτοπλαγκτόν.....	78
Σχήμα 7 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Φωσφόρου	78
Σχήμα 8 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Αζώτου	79
Σχήμα 9 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Οργανικού Άνθρακα.....	79
Σχήμα 10 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Οργανικού DO	80
Σχήμα 11 Επεξεργασία απορροών κτηνοτροφικής μονάδας.....	121
Σχήμα 12 Επεξεργασία απορροών κτηνοτροφικής μονάδας με το σύστημα VTS –Vegetative treatment ...	123
Σχήμα 13 Μηχανικά συστήματα επεξεργασίας χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.....	156
Σχήμα 14 Συσχέτιση στάθμης-όγκου στη λίμνη Πλαστήρα.	158
Σχήμα 15 Συσχέτιση στάθμης-επιφάνειας στη λίμνη Πλαστήρα.....	158
Σχήμα 16 Χρονοσειρά στάθμης της λίμνης Πλαστήρα για τρία εναλλακτικά	159
Σχήμα 17 Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 782m.....	159
Σχήμα 18 Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 784m.....	160
Σχήμα 19 Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 786m.....	160
Σχήμα 20 Εποχιακή μεταβολή ηλιοφάνειας	163
Σχήμα 21 Εποχιακή μεταβολή φωτοπεριόδου	163



Σχήμα 22	Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 782	169
Σχήμα 23	Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 784	170
Σχήμα 24	Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 786	171
Σχήμα 25	Απλή Προσομοίωση Μεταβολή Όγκου-Επιφάνειας-Στάθμης στάθμες 782, 784, 786.....	172
Σχήμα 26	Chl-a mg/lit αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	173
Σχήμα 27	IP mg/lit (ανόργανος φώσφορος) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	174
Σχήμα 28	TP mg/lit (ολικός φώσφορος) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	174
Σχήμα 29	N-NO mg/lit (νιτρικά) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	175
Σχήμα 30	N-NH mg/lit (αμμωνιακό άζωτο) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786.....	176
Σχήμα 31	OC mg/lit (οργανικός άνθρακας) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	177
Σχήμα 32	DO mg/lit (διαλυμένο οξυγόνο) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786	178
Σχήμα 33	Chl-a mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782.....	183
Σχήμα 34	Chl-a mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784.....	184
Σχήμα 35	Chl-a mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786.....	185
Σχήμα 36	IP mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782.....	186
Σχήμα 37	IP mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784.....	187
Σχήμα 38	IP mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786.....	188
Σχήμα 39	N-NO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782, 784	189
Σχήμα 40	N-NO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786.....	190
Σχήμα 41	N-NH mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782.....	191
Σχήμα 42	N-NH mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784.....	192
Σχήμα 43	N-NH mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786.....	193
Σχήμα 44	OC mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782	194
Σχήμα 45	OC mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784 -786.....	195
Σχήμα 46	DO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782.....	196
Σχήμα 47	DO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784.....	197
Σχήμα 48	DO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786.....	198



Σχήμα 49 : Χρονοσειρά στάθμης λίμνης Υλίκη	202
Σχήμα 50 : Λίμνη Υλίκη εισροές και εκροές σε hm ³ στη διάρκεια της προσομοίωσης	203
Σχήμα 51 Συγκριτική παρουσίαση της διακύμανσης των εξεταζόμενων παραμέτρων από 1-1-78 έως και 31-12-09	208
Σχήμα 52 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση όγκου m ³ από 1-1-78 έως και 31-12-09	209
Σχήμα 53 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση επιφάνειας m ² από 1-1-78 έως και 31-12-09.....	209
Σχήμα 54 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση στάθμης m από 1-1-78 έως και 31-12-09	209
Σχήμα 55 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση IP & DO mg/lit από 1-1-78 έως και 31-12-09	212
Σχήμα 56 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση Chl-a OP , OC mg/lit από 1-1-78 έως και 31-12-09	213
Σχήμα 57 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση N-NH / N-NO mg/lit από 1-1-78 έως και 31-12-09.....	214
Σχήμα 58 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση TN για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης.....	216
Σχήμα 59 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση Chl-a για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης.....	217
Σχήμα 60 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση TP για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης.....	218
Σχήμα 61 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση OC για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης.....	219
Σχήμα 62 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση DO για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης.....	220
Σχήμα 63 Λίμνη Υλίκη Μέσες τιμές TN/ TP στο διάστημα της προσομοίωσης	221
Σχήμα 64 Λίμνη Υλίκη Μέσες τιμές DO/ OC / Chl-a στο διάστημα της προσομοίωσης	222



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ



1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της ποιοτικής κατάστασης των ταμιευτήρων Υλικής-Πλαστήρα με εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη, καθώς και η διερεύνηση χρήσης του μοντέλου Λέρνη ως εργαλείο εφαρμογής διαχειριστικών σεναρίων Λιμναίων συστημάτων. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκε στοχαστική και προσδιοριστική προσομοίωση της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων λιμναίων συστημάτων.

Αρχικά, παρουσιάζεται το υφιστάμενο νομικό καθεστώς διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελλάδα. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή της λειτουργίας λιμναίων συστημάτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο μοντέλο ευτροφισμού διαλυμένου οξυγόνου που θα εφαρμοσθεί για την αναπαραγωγή της λειτουργίας των εξεταζόμενων λιμνών Πλαστήρα και Υλικής.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται το μαθηματικό μοντέλο Λέρνη. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το λογισμικό - αλγόριθμος του μοντέλου Λέρνη βασίζεται στο μοντέλο ευτροφισμού διαλυμένου οξυγόνου

Ακολουθεί η μελέτη προσομοίωσης των Λιμναίων συστημάτων Υλικής και Πλαστήρα βάσει εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων. Στα πλαίσια της γίνεται :

1. Συνοπτική παρουσίαση των λιμναίων συστημάτων
2. Επισκόπηση των πηγών ρύπανσης τους
3. Περιγραφή των βέλτιστων διαχειριστικών πρακτικών ελέγχου και περιορισμού των παραπάνω πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων
4. Μαθηματική προσομοίωση της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων λιμνών με το λογισμικό ΛΕΡΝΗ. Μελέτη εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων και αποτίμηση των αποτελεσμάτων.
5. Προτεινόμενα μέτρα περιορισμού των ρυπαντικών φορτίων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης βασίστηκε στη χρησιμοποίηση ευρέως χρησιμοποιούμενων κριτηρίων κατάταξης λιμνών στην Ελλάδα. Αυτά κατατάσσουν τις λίμνες, είτε βάσει μέγιστων αποδεκτών τιμών θρεπτικών και χλωροφύλλης, είτε βάσει των παρατηρούμενων μέγιστων συγκεντρώσεων χλωροφύλλης.

Σύμφωνα με την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης προκύπτει ότι:

- δεδομένης της εγγύτητας των τιμών των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις μετρήσεις πεδίου, η προγνωστική ικανότητα του μαθηματικού μοντέλου Λέρνη κρίνεται αποδεκτή. Επομένως αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της ποιότητας λιμναίων συστημάτων, την εκτίμηση της διακύμανσης των υπεισερχόμενων παραμέτρων (Chl-a, TP, TN, OC, DO) και κατεπέκταση για την επιλογή των κατάλληλων μέτρων αντιρρύπανσης.
- Η ποιοτική κατάσταση της Λίμνης Πλαστήρα είναι αποδεκτή, η δε ποιότητα των υδάτων της πολύ καλή
- Η ποιοτική κατάσταση της Λίμνης Υλική είναι αποδεκτή, όσον αφορά τη χλωροφύλλη και το ολικό άζωτο, αλλά όχι για τον ολικό φώσφορο. Ειδικότερα καταγράφηκαν τιμές φωσφόρου μεγαλύτερες



κατά τουλάχιστον 60% έναντι των μέγιστων αποδεκτών τιμών. Για τη μείωση των τιμών φωσφόρου κρίθηκε αναγκαία η λήψη ήπιας φύσης μέτρων αντιρρύπανσης. Ειδικότερα συστήνεται η εφαρμογή μέτρων περιορισμού κατά 65% των ρυπαντικών φορτίων απορροών αγροτοκτηνοτροφικής προέλευσης που καταλήγουν στη λίμνη.

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με μια σύνοψη των κυριότερων συμπερασμάτων και τη διατύπωση ορισμένων προτάσεων στην κατεύθυνση της βελτίωσης και προστασίας της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων λιμναίων συστημάτων, της αειφόρου ανάπτυξης της περιοχής της λεκάνης απορροής τους και περαιτέρω διερεύνησης της προγνωστικής ικανότητας του μαθηματικού μοντέλου Λέρνη



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

EXTENDED ABSTRACT



2 EXTENDED ABSTRACT

I. Introduction

Lakes are included in the aquatic ecosystems and are indispensable part of the natural environment. Unfortunately they receive agricultural, livestock-farming, industrial and urban wastes. Increased loads of wastes lead to the degradation of the quality of the lake ecosystem

The quality of lake ecosystems is thoroughly investigated by the science community. Researchers in order to better understand lake ecosystems simulate their function via mathematical simulation models. Mathematical simulation of lakes quality status allows the detailed spatial and time study critical quality parameters such as total phosphorus(TP), total nitrogen(TN), dissolved oxygen(DO), BOD etc

In this dissertation at first we recorded lake Yliki's and Plastira's present quality status, incoming pollution loads and the rate of infows - outflows

Then we examined the time variation of lake quality status via the application of the software simulation model for lake water quality "Lerne". In the context of the simulation study we examined scenarios based on

1. the 100% of the incoming pollution loads
2. reduced incoming pollution loads

The aim of this investigation is to determine the maximum acceptable level of incoming pollution loads. Beyond that level the quality status of the lakes in question is seriously degraded and is not acceptable

II. Management of water resources in EU and Greece

The EU Water Framework Directive provides the major driver for achieving sustainable management of water throughout Europe, for many years to come. The directive has been implemented since the 22-12-2000

The purpose of the directive is to establish a framework for the protection of inland surface waters (rivers and lakes), transitional waters (estuaries), coastal waters and groundwater. The fundamental objective of the Water Framework Directive(WFD) is to prevent any deterioration in water quality and to achieve at least 'good status' for all waters by 2015.

For the first time, the WFD sets ecological criteria and objectives, designed to protect and, where necessary, restore the structure and function of aquatic ecosystems themselves, and thereby safeguard the sustainable use of water resources. Future success in managing Europe's water environment will be judged principally by the achievement of these ecological goals.

The WFD also introduces an integrated water resources management on the basis of river basins, rather than administrative borders. Furthermore, costs and benefits can be properly taken into account when setting environmental objectives and proportionate and cost-effective combinations of measures to achieve the objectives can be designed and implemented. It also provides new opportunities for anyone, including the general public, to become actively involved in shaping the management of river basin districts.



In line with the provisions of the Water Framework Directive, Greece has established and recently revised a national monitoring and management program and a water antipollution measures program. Via the monitoring and management program the government can assess the status of surface water and ground water, in order to obtain a coherent and comprehensive overview of water status within each river basin district.

The revised monitoring program takes, among others, into consideration the analysis of pressures and impacts associated with each water body. More than 600 surveillance and operational monitoring stations refer to surface waters (inland, transitional and coastal) and 800 stations refer to groundwater. The program monitors biological, general physicochemical, and specific chemical parameters, as well as priority pollutants and morphological and quantitative data. At the same time the implementation of water antipollution measures program improves the quality status of the surface and underground water resources.

The WFD implementation timetable include 3 periods : a) 2000-2015 b) 2015-2021 and c) 2021 – 2027. Following the completion of each implementation period the monitoring , management and antipollution measures programs are revised.

A key factor for the successive implementation of the WFD is the analysis the analysis of human made pressures and the consequent impacts associated with each water body. The main pressures include

- the increasing consumption of water resources for irrigation(agricultural livestock watering, human water supply) and industrial use.
- the point and no point pollution loads affection the water resources
- the hydro morphological interventions in water ecosystems such the construction of dams or the diversion water flow etc

These pressures have a negative impact on the status of water resources. So it is obvious that the detailed analysis of pressures and their impacts is a prerequisite for the study of the quality of water ecosystems. In addition this study is based on the reproduction of water ecosystems function via water quality models.

III. Implemented Lake quality model : eutrophication and dissolved oxygen

The model investigates key water quality parameters such as Chlorophyll-a (Chl-a) organic(OP) and inorganic phosphorus(IP), oxidized nitrogen (N-NO), ammoniacal nitrogen N-NH, dissolved oxygen(DO), Organic Carbon(BOD) and coefficient of transparency (Secchi Disk, SD).

The equations describing the fluctuation of Chl-a , P, N, DO, OC concentration take into account the concentration change due to mass transfer phenomena(diffusion, sedimentation, advection) along with chemical reactions(nitrification, denitrification, oxidation) and biological processes(phytoplagon growth, death, endogenous respiration, nutrients consumption, and physical reaeration).

As far as it concern the lake water body we acknowledge that the water body is comprised by a series of individual fully mixed water volume elements.

In the context of this dissertation we examined the variation of lake water quality via the application of the software simulation model for lake water quality "Lerne". Lerne simulation is performed based on the Chl-a , P, N, DO, OC concentration equations of the "Lake quality model : eutrophication and dissolved oxygen". The equation in question are listed in the following matrix.



Chl	$\frac{dM_{Chl}}{dt} = (\mu - K_{dA} - R_A - K_{SA}) \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ Chl}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{Chl}}{V}$	<p>M_{Chl} : mass of Phytoplankton-Chlorophyll (g) $C_{in\ chl}^i$: concentration of Phytoplankton-Chlorophyll in inflow- i (g/m³) K_{SA} : Phytoplankton removal rate due to sedimentation (day⁻¹) K_{dA} : Phytoplankton death rate at temperature T°C (day⁻¹) R_A : Phytoplankton endogenous respiration rate at T°C (day⁻¹) μ : Phytoplankton mean growth rate in water column (day⁻¹)</p>
OP	$\frac{dM_{OP}}{dt} = (K_{dA} + R_A) \cdot Y_1 \cdot M_{Chl} - (R_P + K_{SP}) \cdot M_{OP} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ OP}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OP}}{V}$	<p>M_{OP} : mass of OP in fully mixed water volume element (g) $C_{in\ OP}^i$: concentration of Organic Phosphorus (OP) in inflow- i (g/m³) R_P : conversion rate of OP to IP (inorganic phosphorus) at T°C (day⁻¹) K_{SP} : sedimentation coefficient of Organic Phosphorus (day⁻¹) Y_1 : g Phosphorus / g Chlorophyll</p>
IP	$\frac{dM_{IP}}{dt} = R_P \cdot M_{OP} + K_{RP} \cdot E - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_1 + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ IP}^i + \sum_j W_{IP}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{IP}}{V}$	<p>M_{IP} : mass of IP in fully mixed water volume element (g) $C_{in\ IP}^i$: concentration of Inorganic Phosphorus (IP) in inflow- i (g/m³) W_{IP}^j : supply rate of IP from the external source-j (g/day) K_{RP} : phosphorus benthic supply (g/m²/day)</p>
NH	$\frac{dM_{NH}}{dt} = (Y_2 \cdot K_{dA} - \mu \cdot Y_2 \cdot P_{NH}) \cdot M_{Chl} - R_N \cdot M_{NH} + K_{RN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ NH}^i + \sum_j W_{NH}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NH}}{V}$	<p>M_{NH} : mass of N-NH in fully mixed water volume element (g) $C_{in\ NH}^i$: concentration of N-NH in inflow- i (g/m³) W_{NH}^j : supply rate of N-NH from the external source-j (g/day) R_N : nitrification rate coefficient (day⁻¹) Y_2 : g N / g Chlorophyll K_{RN} : nitrogen benthic supply (g/m²/day) P_{NH} : preferential ammonium uptake,</p>
NO	$\frac{dM_{NO}}{dt} = R_N \cdot M_{NH} - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_2 \cdot (1 - P_{NH}) - K_{DN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ NO}^i + \sum_j W_{NO}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NO}}{V}$	<p>M_{NO} : mass of N-NO in fully mixed water volume element (g) $C_{in\ NO}^i$: concentration of N-O in inflow- i (g/m³) W_{NO}^j : supply rate of N-NO from the external source-j (g/day)</p>
OC	$\frac{dM_{OC}}{dt} = K_{dA} \cdot M_{Chl} \cdot Y_3 - (R_L + K_{SA}) \cdot M_{OC} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ OC}^i + \sum_j W_{OC}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OC}}{V}$	<p>M_{OC} : mass of OC(organic carbon) in fully mixed water volume element (g) R_L : BOD(OC) degradation rate at temperature T° C (day⁻¹) Y_3 : g BOD(OC) / g Chlorophyll</p>
DO	$\frac{dM_{DO}}{dt} = K_{at} \cdot \left(DO_{sat} - \frac{M_{DO}}{V} \right) \cdot E + Y_4 \cdot M_{Chl} \cdot \mu_{max} \cdot A_1^{T-20} \cdot \frac{e^{a_1} - e^{a_0}}{H \cdot K} - R_L \cdot M_{OC} - 4.5 \cdot R_N \cdot M_{NH} - Y_3 \cdot R_A \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ DO}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{DO}}{V}$	<p>M_{DO} : mass of DO(dissolved system) in fully mixed water volume element(g) Y_4 : g DO / g Chlorophyll K_{at} : natural reaeration constant (m/day)</p>

Q_{in}^i : inflow- i in fully mixed water volume element (m³/day) Q_{out}^k : outflow- k in fully mixed water volume element (m³/day) V : volume of fully mixed water element (m³)



IV. Software simulation model for lake water quality "Lerne"

In order to better evaluate the impact of the pollution loads in the quality status of Lake ecosystems, Researchers are recommended to perform lake water quality simulation. This is achieved by the application of proper mathematical models. In particular, the model Lerne was applied. The model was created by the Laboratory of Sanitary Technology, of the faculty of Civil engineering, of the National Technical University of Athens.

"Lerne" is an eutrophication – dissolved oxygen model which can be a powerful tool for assessing the water quality characteristics of a lake in relation with its water uses. The model involves the mathematical expression of all physical, biological and chemical processes which are taking place in the water column and are crucial for the fate of the pollutants, like advection, diffusion, phytoplankton growth, nutrients consumption, nitrification, denitrification and physical reaeration. The parameters being modeled are phytoplankton, nitrogen, phosphorus, organic carbon and dissolved oxygen.

In case of a stratified lake the model allows for the prediction of the concentrations in the top and the bottom layer. Finally in order to account for the random fluctuations in the kinetic constants and the model's input data, the model incorporates a stochastic approach technique which produces a set of possible values for each substance examined.

The interface of Lerne allows the user to input the data of external variables (temperature, radiation, outflows, inflows, pollution loads) as timeseries or fixed values. The Results of the simulation are displayed as timeseries that expand throughout the simulation period..

In the case of stochastic simulation the values parameters (kinetic constants or the model's input data) being randomly fluctuated are selected in the span

$$(X_{act} + A_1) - (X_{act} + A_4)]$$

or

$$\{ [X_{act} \cdot (1 + \frac{A_1}{100})] - [X_{act} \cdot (1 + \frac{A_4}{100})] \}$$

The values A1, A2, A3 and A4 used in stochastic simulation specify the type of probability allocation that shall be employed by the model for the production of a random value. Applicable values should be: $A1 \leq A2 \leq A3 \leq A4$ and $A1 < A4$.

The stochastic simulation is repeated several times. Due to the random fluctuation of the above variables the results of each individual simulation differ among the performed simulations. When the inputted number of repeated simulations is completed the results for the parameters Chl-a, P, N, DO, OC are statistically processed. Mean values and standard deviation is attributed to each parameter

Moreover in the event of stochastic simulation, where there are more than one timeseries for each pollutant (as many as the number of repeated simulations), then the user may select to classify the timeseries so they may view several statistic values referring to the timeseries aggregate for each pollutant. For example, by creating a 90% percentile referring to the pollutant "oxygen" (DO), the program shall create a new timeseries containing, at any time, the oxygen concentration that would not exceed the 90% of all dissolved oxygen concentrations for the particular instance. In general the results of stochastic simulation are statistically processed in order to create edited percentile timeseries for the pollutant selected, which contains concentrations of such pollutant not exceeding a certain percentage of all results for each individual instance. In particular 5, 10, 20, 50, 80, 90, and 95% percentile timeseries for all pollutants can be created.

V. Lake Yliki and Plastira : Brief presentation



A. Lake Plastira

1. It is incorporated in the river basin of Acheloos river, which is part of the Water resources district of western Sterea Ellada - Central Greece
2. Lake water consumption amounts to 120 hm³ per year. Annual inflows reach 153 hm³ . The lake faces severe pressure due to increased consumption of its resources for irrigation, water supply, industrial use etc
3. The ecological status of its surface water body is mediocre while the chemical one is below the below the desirable level
4. The quality of its underground water body is good
5. In total it is subjected to minor pressure due to human activities
6. It is affected by pollution loads of point(aquacultures) and no point source(agriculture, livestock farming and urban runoffs)
7. Its quality status is expected to be good by the year 2015

B. Lake Yliki

1. It is incorporated in the river basin of Viotikos Kifisos river, which is part of the Water resources district of eastern Sterea Ellada - Central Greece
2. Concerning Its water resources consumption, it is subjected to minor pressure due (Total consumption $\approx 40\text{h}^{\text{m}^3}$ /year)
3. The rejection in the lake of any sort of liquid wastes is forbidden
4. The quality of its underground and surface water resources is good
5. it is subjected to intermediate level of pressure due to human activities. The main pressure is attributed to agriculture and livestock farming runoffs
6. P concentration in surface runoffs flowing into the lake is over >1mg/lt.
7. Its quality status is expected to be good by the year 2015

VI. Lake Yliki and Plastira: Simulation via the mathematical model Lerne - Input Data

A. Evaluation Criteria

- Mean values of Chl-a, TP, TN should be less than $\text{Chl-a} \leq 10\mu\text{g/lt}$ $\text{TP} \leq 30\mu\text{g/lt}$, $\text{TN} \leq 1\text{mg/lt}$
- Ranking of lake ecosystems quality according to the value of maximum value of Chl-a

max Chl-a ($\mu\text{g/lt}$)	Quality Ranking
<5	Very good/ I
5-10	Good/ II
10-20	Mediocre/ III
20-50	Bad/ IV
>50	Very Bad/ V

- The values of the curve representing the variation of the concentration of Chl-a , P, N, DO, OC during the deterministic simulation should be within the span of the values of the corresponding 5, 10, 20, 50, 80, 90, and 95% percentile timeseries of Chl-a , P, N, DO, OC created from the results of stochastic simulation.

B. Initial conditions

Lake Plastira - Yliki : Initial concentrations of Chl-a, OP, IP, N-NH, N-NO, DO,OC

Chl-a 0,005 mg/lt N-NH 0,03 mg/lt DO 9 mg/lt



IP 0,03 mg/lit N-NO 0,5 mg/lit OC 0,02 mg/lit
OP 0,005 mg/lit OC 0,02 mg/lit

Initial Elevation

Lake Yliki = 48,7m(value recorded at the beginning of simulation) /

Lake Plastira = Investigation of three possible initial minimum lake elevations : 782-784-786 m

Data of lake's geometry parameters : Data of lake Elevation-Volume-Surface or equations relating these parameters

Lake Yliki : site geometry measurements available

Lake Plastira: Elevation(t) = 770,57 - 5,9E-05*[Volume(t)]² + 7,9E-02*[Volume(t)]

Surface(t) = 0,843184 * [Elevation(t)] – 643,22

C. External variables

For Both lakes : Temperature – Radiation

In both lakes the values of Temperature and Radiation are measured via the following equations

$$T = 3.8 + 10 \times \left(1 - \cos \frac{(t - 21) - 360}{365} \times 3.14 / 180 \right)$$

$$I_0 = 120 + 192 \left(1 - \cos \frac{(t - 30)360}{365} \right)$$

T = daily value of temperature °C, I₀ = mean daily radiation cal/cm²

t = count of days since the 1st of January

Lake Plastira - Yliki : Incoming pollution loads

Lake PLASTIRA Non Point Source Pollution Loads

	TN	TP	BOD	Loads Distribution
Urban origin runoffs	4557 kg/year N-NH 80% & N-NO 20%	100 kg/year 100% IP	15948 kg/year	Equally distributed throughout the year
Agricultural origin runoffs	3376 kg/year N-NO 80% & N-NH 20%	695 kg/year 100% IP	–	From May till September the lake receives 60% of the total load. This portion of the total load is equally distributed per month From October till April the lake receives 40% of the total load. This portion of the total load is equally distributed per month
Livestock-farming origin runoffs	10884 kg/year N-NO 30% & N-NH 70%	302 kg/year 100% IP	26198 kg/year	Equally distributed throughout the year



Lake PLASTIRA Point Source Pollution Loads

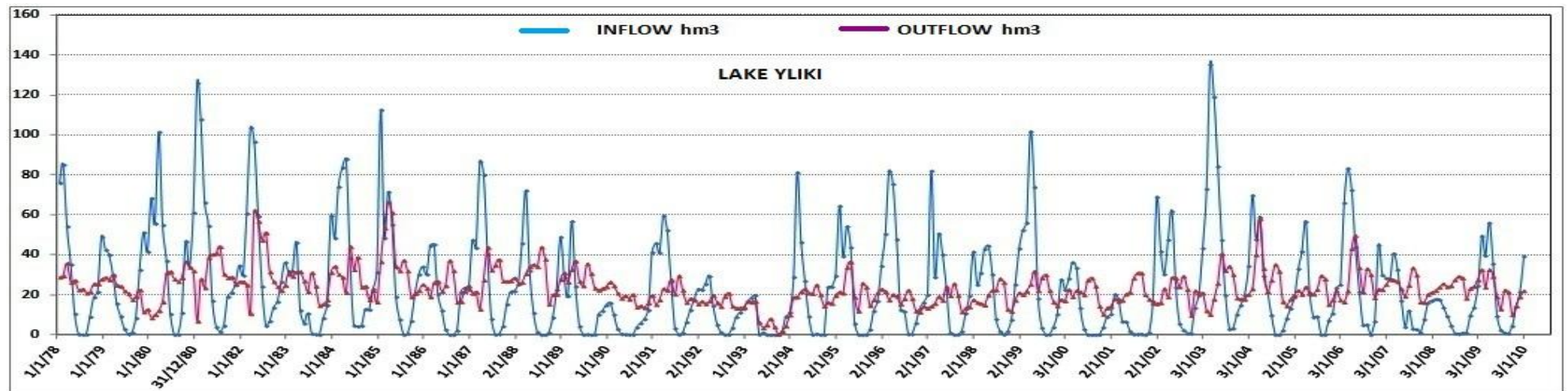
	TN	TP	BOD	Loads Distribution
Aquaculture	4100 kg/year 100% N-NH	435 kg/year 100% IP	16000 kg/year	Equally distributed throughout the year

Lake Yliki Non Point Source Pollution Loads

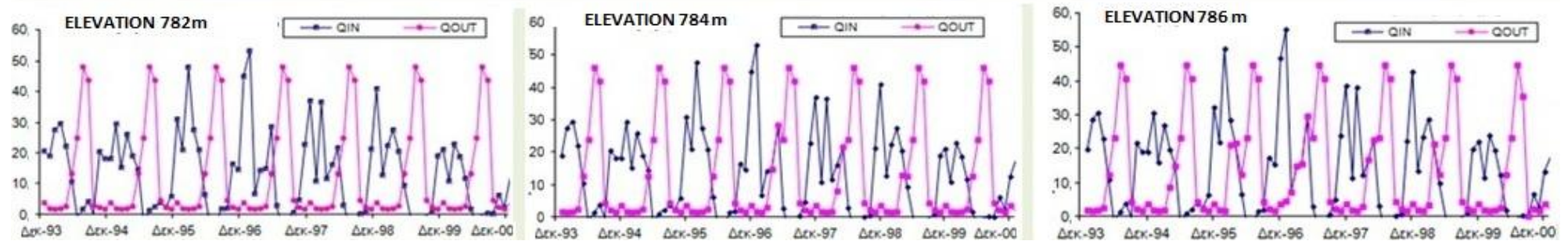
	TN	TP	BOD	Loads Distribution
Urban origin runoffs	27,8 kg/year N-NH 80% & N-NO 20%	1,45 kg/year 100% IP	486,48 kg/year	Equally distributed throughout the year
Agricultural origin runoffs	13154 kg/year N-NO 80% & N-NH 20%	19612 kg/year 100% IP	—	From May till September the lake receives 60% of the total load. This portion of the total load is equally distributed per month From October till April the lake receives 40% of the total load. This portion of the total load is equally distributed per month
Livestock-farming origin runoffs	1859 kg/year N-NO 30% & N-NH 70%	1042,5 kg/year 100% IP	26751,8 kg/year	Equally distributed throughout the year



Λίμνη Platira /Yliki : Inflows – Outflows



LAKE PLASTIRA : Inflow(Qin) & Outflow(Qout) hm3



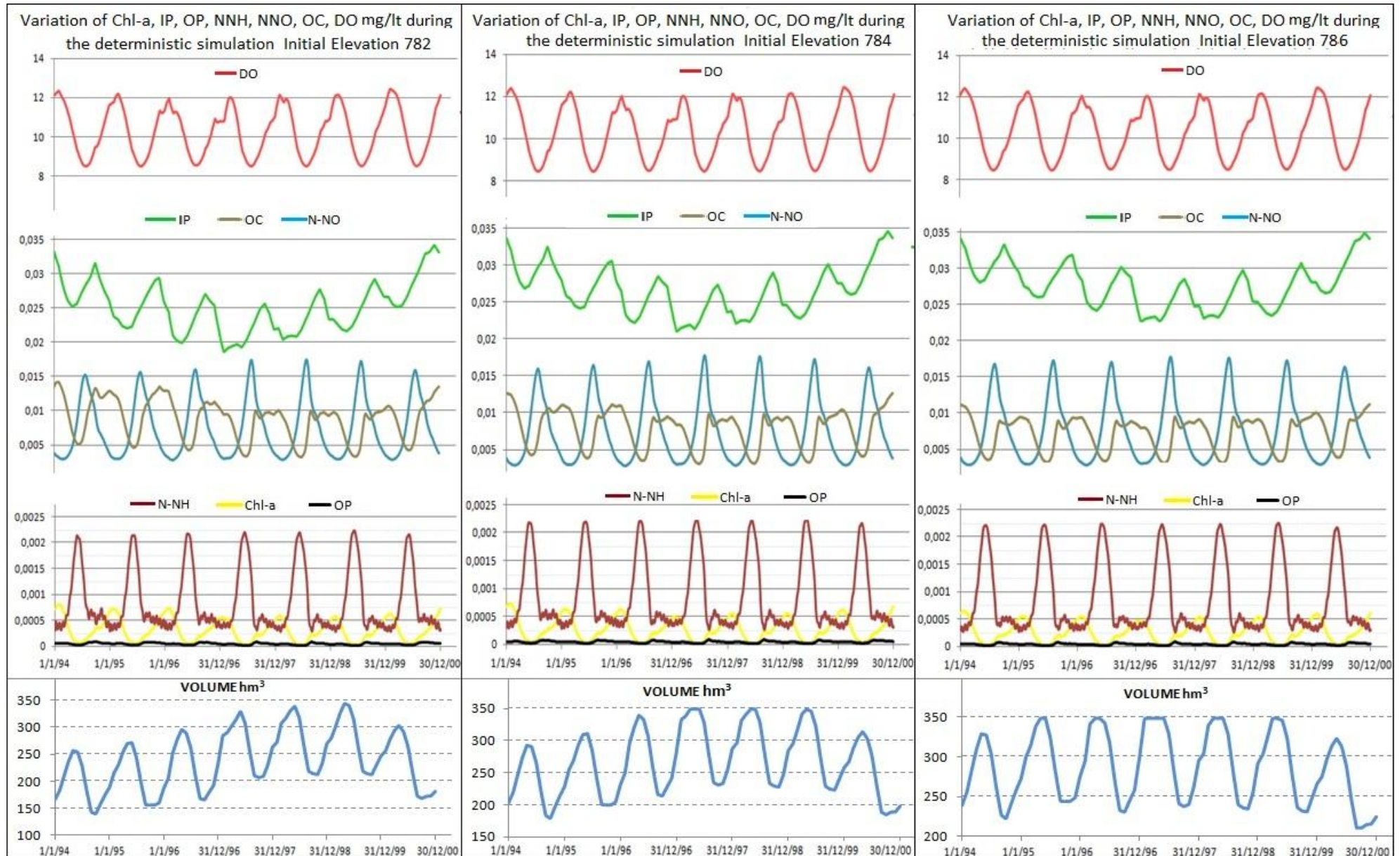
Lake Plastira / Yliki : Type of Simulation investigated

Lake Yliki : application of deterministic simulation during the period of 1-1-1978 till 31-12-2009

Lake Platira : application of deterministic and stochastic simulation during the period of 1-1-1994 till 31-12-2000

VII. Lake Yliki / Plastira : Evaluation of Simulation results

VII.1 Lake Plastira deterministic – simple simulation: The variation of Chl-a , P, N, DO, OC during the simulation period is depicted in the following charts





Screening the above charts we conclude that :

- The charts exported via the simulation results for initial elevation 782, 784, 786 m are similar. In particular they follow the same pattern regarding the fluctuation of Chl-a, P, N, OC, DO concentration during the simulation period.
- An increase in Chla - phytoplankton concentration corresponds to a consumption of nutrients and consequently to a decrease in IP, OP, NNO, NNH concentrations. At the same time the levels of DO increases as the photosynthesis capacity increases. OC concentration also increases since phytoplankton is in growth stage.
- Organic P is converted to IP which is then incorporated by phytoplankton. An increase in IP is related to a simultaneous decrease of OP. NNH is oxidized to NNO. An increase in NNO is related to a simultaneous decrease of NNH.
- An increase in lake volume corresponds to a decrease in Chl-a, P, N, OC, DO concentrations

The evaluation of deterministic simulation results for each initial elevation 782m, 784m, 786m is conducted according to the criteria previously mentioned. The findings of the evaluation suggest that for all the initial elevations the quality of lake Plastira water resources is acceptable. In particular

1. Average Chl-a 786 \leq Average Chl-a 784 \leq Average Chl-a 782 \leq 10 $\mu\text{g}/\text{lt}$
2. Average TP 782 \leq Average TP 784 \leq Average TP 786 \approx 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$
3. Average TN 782 \leq Average TN 784 \leq Average TN 786 \leq 1 mg/lt

Average values refer to the whole period of simulation

Among the initial elevations investigated, the best quality performance is achieved at 786 m. At this elevation the concentration of Chla - phytoplankton is minimum. Moreover the simulation results of Chl-a concentration in all initial elevations are not exceeding $1\mu\text{g} < 5\mu\text{g}/\text{lt}$. Consequently the quality of lake Plastira's water resources is very good .

VII.2 Lake Plastira stochastic simulation

The evaluation of stochastic simulation results for each initial elevation 782m, 784m, 786m is conducted according to the criteria previously mentioned. The findings of the evaluation suggest that for all the initial elevations the quality of lake Plastira water resources is acceptable. In particular

1. Average Chl-a 786 \leq Average Chl-a 784 \leq Average Chl-a 782 \leq 10 $\mu\text{g}/\text{lt}$
2. Average TP 782 \leq Average TP 784 \leq Average TP 786 \approx 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$
3. Average TN 782 \leq Average TN 784 \leq Average TN 786 \leq 1 mg/lt

Average values refer to the whole period of simulation

Among the initial elevations investigated, the best quality performance is achieved at 786 m. At this elevation the concentration of Chla - phytoplankton is minimum. Moreover the simulation results of Chl-a concentration in all initial elevations are not exceeding $1\mu\text{g} < 5\mu\text{g}/\text{lt}$. Consequently the quality of lake Plastira's water resources is very good .

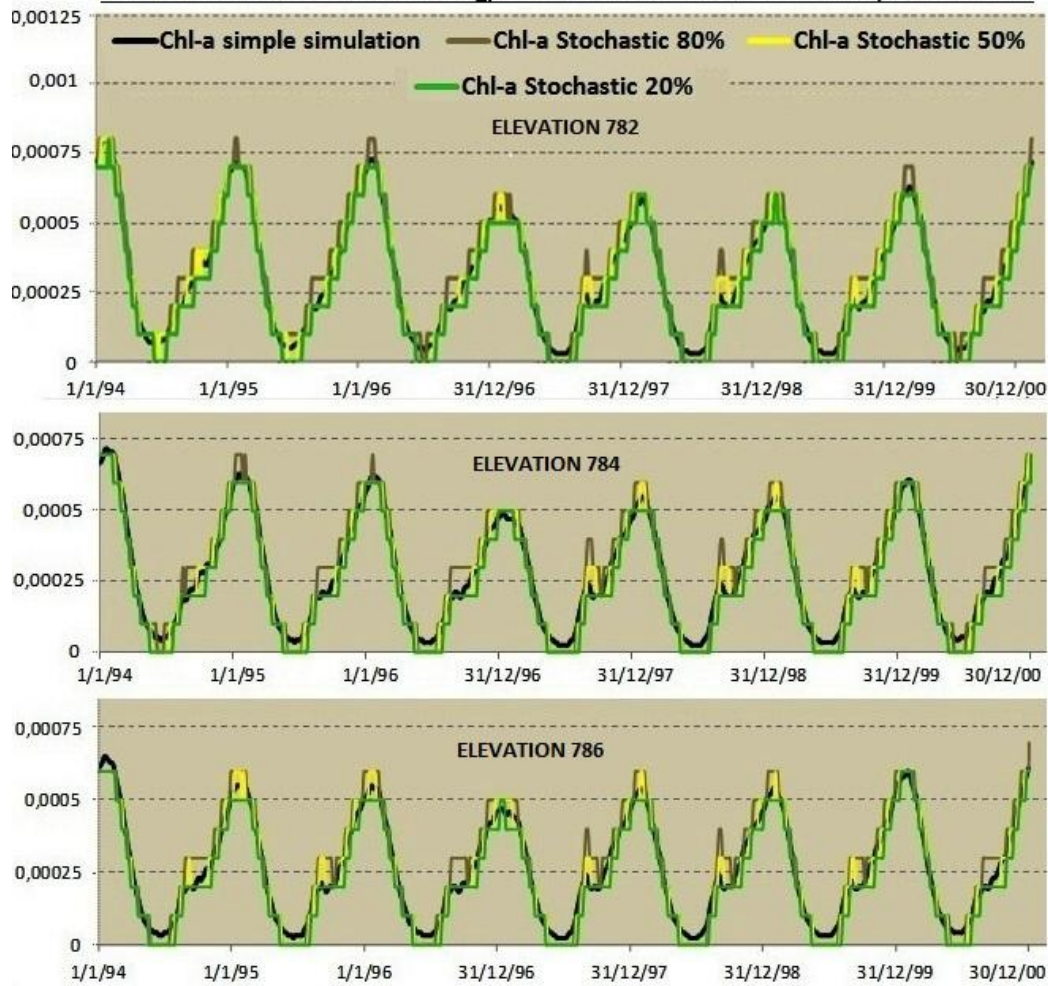


In addition the values of the curve representing the variation of the concentration of Chl-a , P, N, DO, OC during the deterministic simulation is within the span of the values of the corresponding 5, 10, 20, 50, 80, 90, and 95% percentile timeseries of Chl-a , P, N, DO, OC created from the results of stochastic simulation. This is observed in all the investigated initial elevations. In particular the curves of Chl-a , P, N, DO, OC derived from deterministic simulation fluctuate closely to the corresponding 50% percentile timeseries of Chl-a , P, N, DO, OC. The above findings verify the accuracy of the results exported from deterministic simulation.

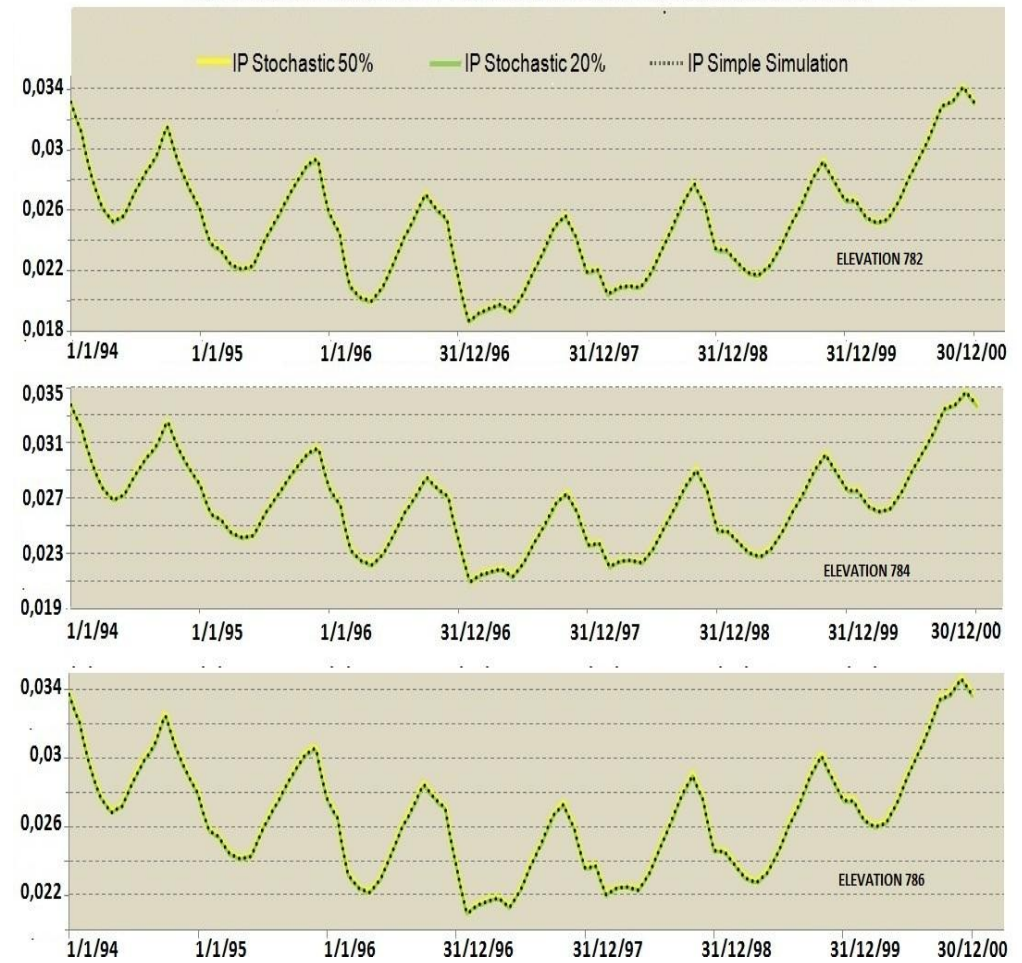
The following charts depict each parameter 's curve derived from deterministic simulation along with the corresponding 5 -95% percentile timeseries derived from stochastic simulation results. The chart presentation is done for all initial elevations: 782m, 784m,786m



Lake Plastira fluctuation of Chl-a mg/l: Stochastic & Deterministic - simple Simulation

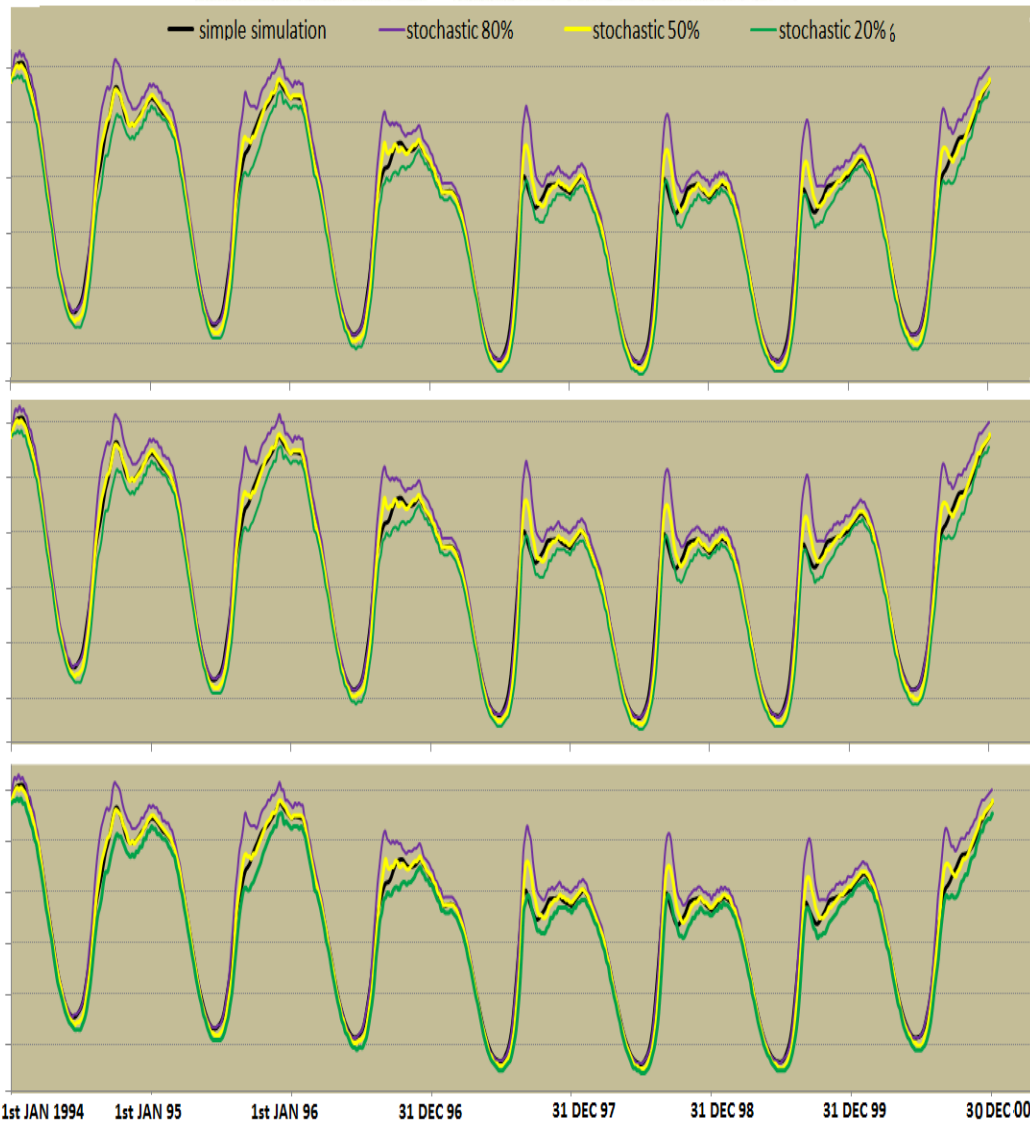


LAKE PLASTIRA FLUCTUATION OF IP mg/l: DETERMISTIC-SIMPLE & STOCHASTIC SIMULATION

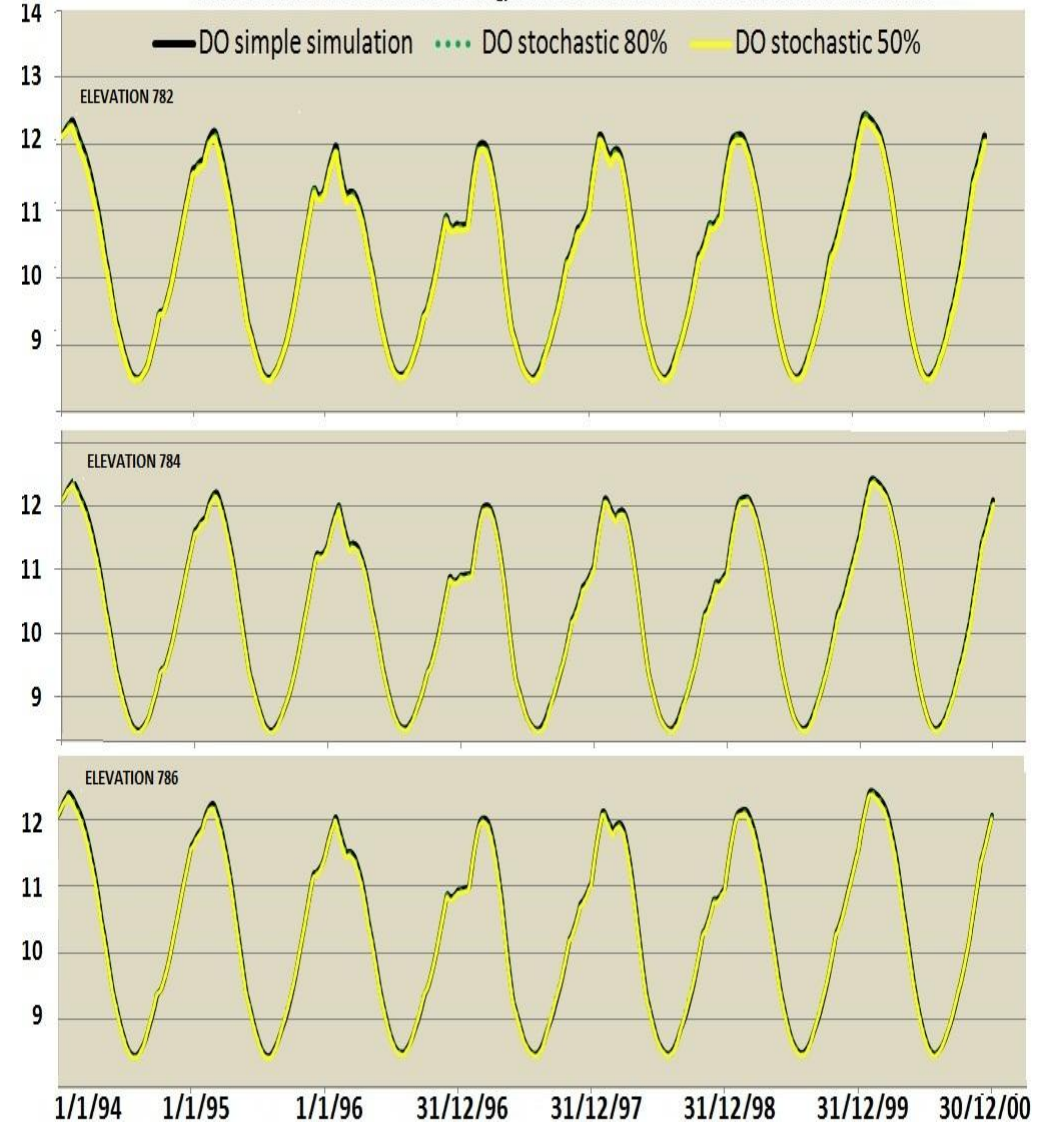


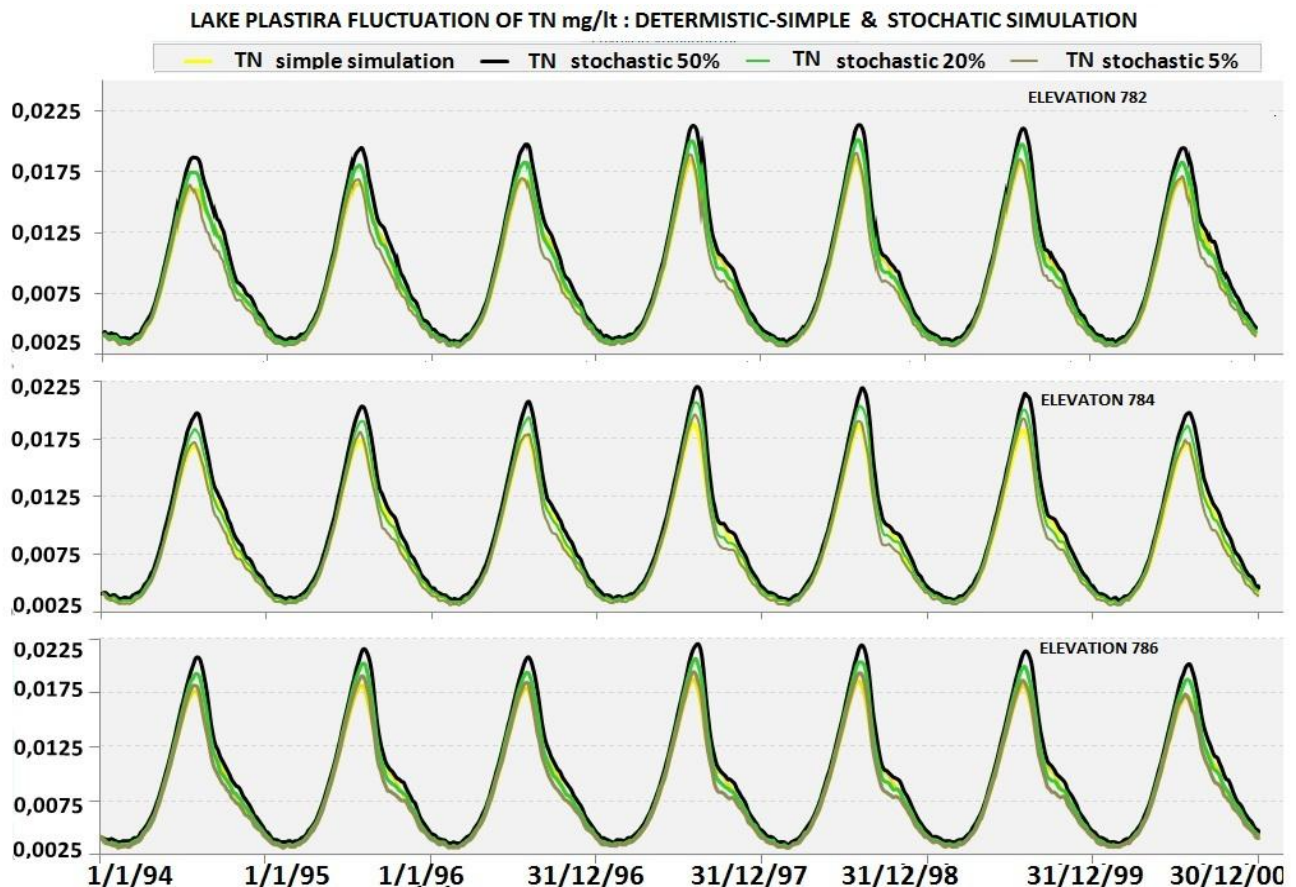


Lake Plastira fluctuation of OC mg/lit : Stochastic & Deterministic - simple Simulation



LAKE PLASTIRA FLUCTUATION OF DO mg/lit : DETERMISTIC-SIMPLE & STOCHATIC SIMULATION





Since the quality of lake water resources is acceptable, there is no immediate need to implement measures to decrease the incoming pollution loads. Consequently in the case of Lake Plastira we didn't perform simulation based on scenarios of reduced pollution loads.

VII.3 Lake Yliki Deterministic – Simple Simulation :

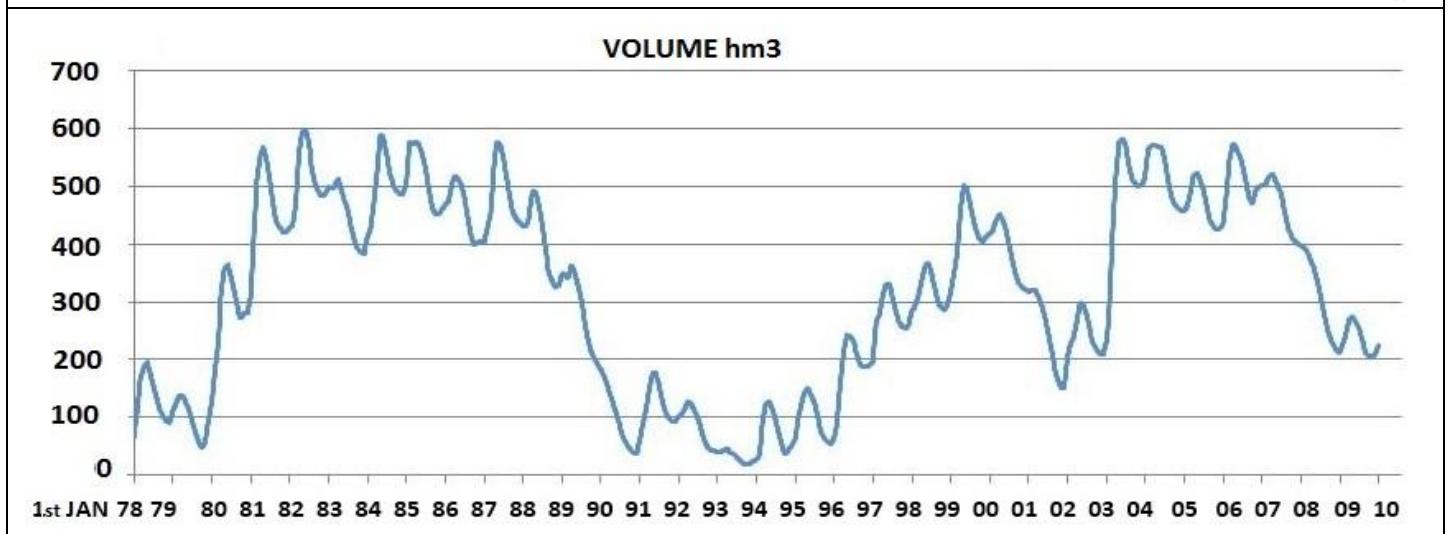
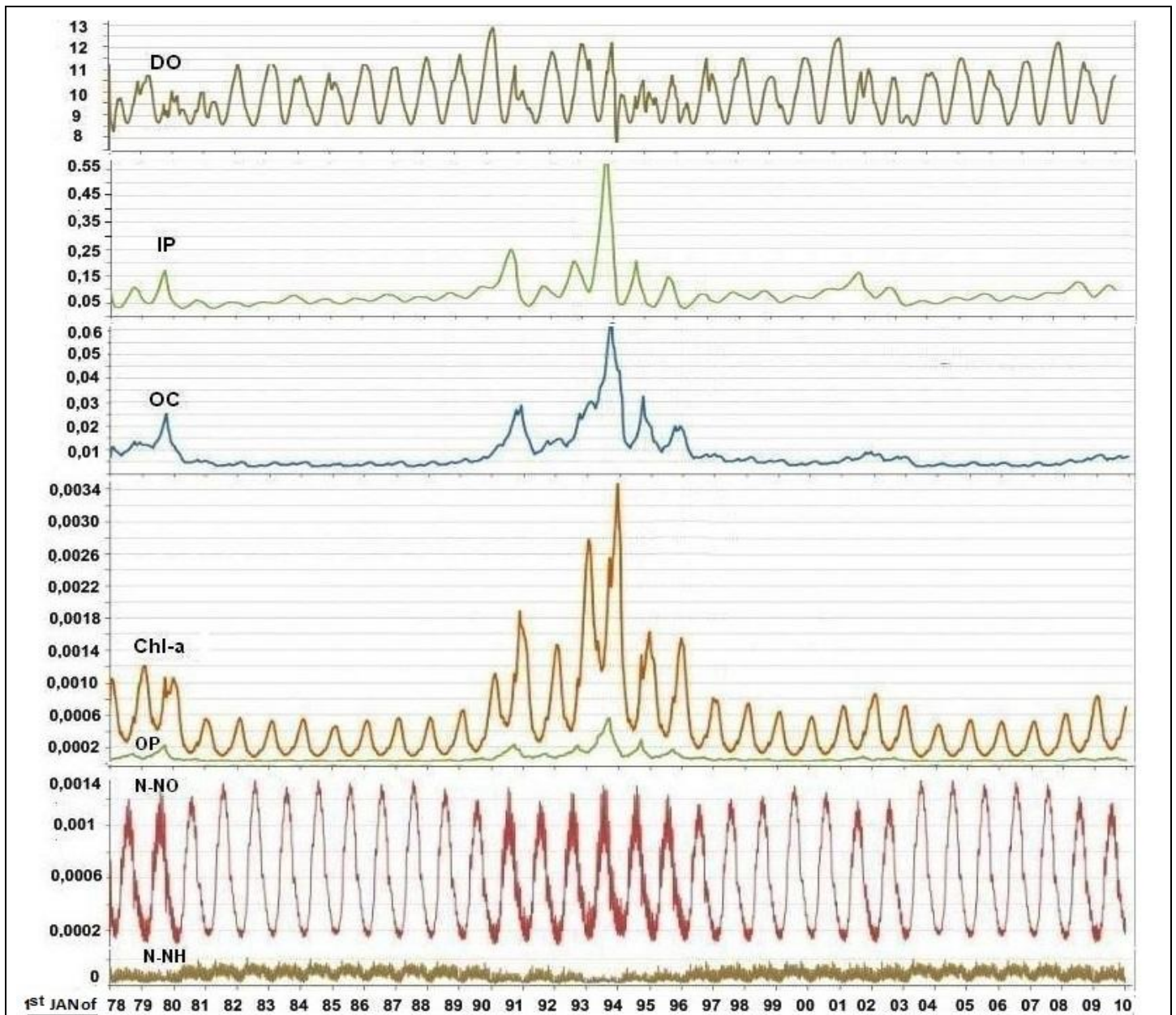
The evaluation of deterministic simulation results for lake Yliki is conducted according to the criteria previously mentioned. The findings of the evaluation suggest that for all the initial elevations the quality of lake Yliki water resources is acceptable. In particular

1. Average Chl-a = $4,99E-04 < 10 \mu\text{g/lit}$
2. Average TP = $8,32E-02 > 30 \mu\text{g/lit}$
3. Average TN = $8,84E-04 < 1 \text{ mg/lit}$

Average values refer to the whole period of simulation

Given the fact that the concentration of TP is beyond permissible limits the quality of lake Yliki is not acceptable. Antipollution measures should be implemented in order to reduce TP concentration to approximately $30\mu\text{g/lit}$.

The variation of Chl-a , P, N, DO, OC concentrations mg/lit and lake volume during the simulation period is depicted in the following chart





Studying the above curves we note that

- An increase in Chl-a - phytoplankton concentration corresponds to a consumption of nutrients and consequently to a decrease in IP, OP, NNO, NNH concentrations. At the same time the levels of DO increases as the photosynthesis capacity increases. OC concentration also increases since phytoplankton is in growth stage.
- Organic P is converted to IP which is then incorporated by phytoplankton. An increase in IP is related to a simultaneous decrease of OP. NNH is oxidized to NNO. An increase in NNO is related to a simultaneous decrease of NNH.
- A decrease in lake volume corresponds to an increase in Chl-a, P, N, OC, DO concentrations

To sum up , it is imperative that appropriate antipollution measures be implemented so that TP (total phosphorous) loads be diminished and the quality of lake can conform with the selected quality criteria

VII.4 Lake Yliki : Simulation based on Scenarios with reduced pollution loads

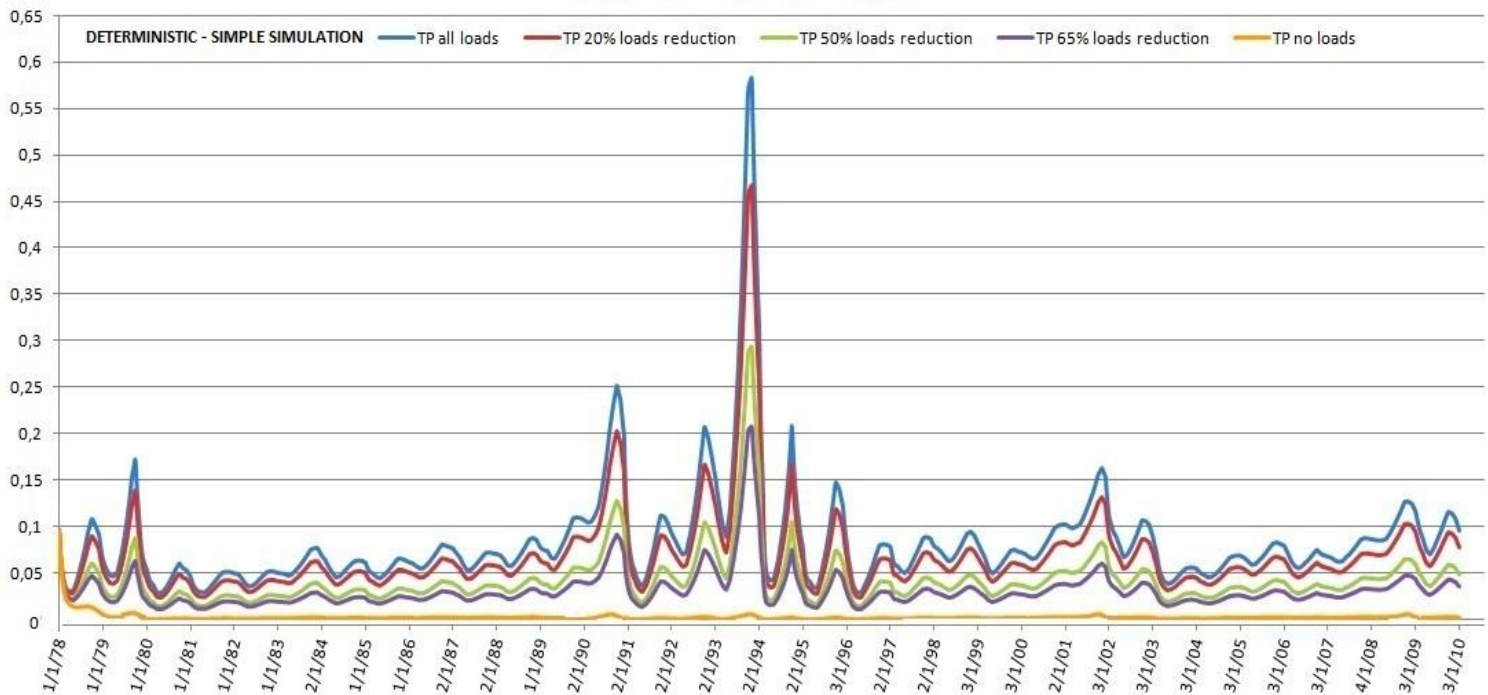
Studying the input data, we ascertain that the biggest pressure the lake faces is due to the pollution loads of agricultural and livestock-farming origin. The impact of pollution loads of urban origin is minor.

In this context scenarios of 20, 50 και 65% reduced pollution loads of agricultural and livestock-farming origin are investigated via deterministic simulation. When the 65% reduced pollution loads scenario is applied, acceptable simulation results for TP are obtained. That is: mean TP is $\approx 30 \mu\text{g/l}$ (the mean value refers to the whole period of simulation). The daily fluctuation of TP for the reduced loads scenario investigated. In addition the mean values of Chl-a, TP, TN, OC, DO mg/l, exported from the simulation results , in correlation to the simulated scenarios are cited below .

		Lake Yliki Deterministic Simulation 1-1-1978 till 31-12-2009				
		Mean value Chl-a mg/l	Mean value TP mg/l	Mean value TN mg/l	Mean value DO mg/l	Mean value OC mg/l
LOAD REDUCTION	0%	0,000498679	0,083246289	0,000884181	9,897012313	0,008515998
	20%	0,000456849	0,067093185	0,000874673	9,86769295	0,007504147
	50%	0,000394245	0,042863578	0,00086074	9,821891586	0,005986259
	65%	0,000362924	0,030749077	0,00085398	9,798150688	0,005227349
	100%	0,000289705	0,00248074	0,000838811	9,740384964	0,003456387



Lake Yliki reduced Agricultural & Livestock - Farming loads scenarios
Daily Fluctuation of TP mg/lt



VII.5 Lake Yliki recommended antipollution measures

As it was previously stated, it is imperative that antipollution measures - treatment of agricultural and livestock-farming pollution loads be applied. Via the antipollution treatment, these pollution loads should be reduced by min 65%. The process of treatment is designed take place before the flow of the loads in the lake. The demanding reduction is evenly distributed to the livestock-farming and agricultural pollution loads

The 65% reduction of livestock-farming pollution loads is evenly distributed to confined and no confined livestock – farming .

As far as it concern non confined livestock-farming loads the 65% reduction is accomplished via the simultaneous implementation of some of the following measures

		Loads Reduction		
		TP	TN	TSS - Sediment
Non Confined Livestock Farming	Off-Lake Watering With Fencing Provide alternative drinking water locations	30%	25%	–
	Off-Lake Watering Without Fencing Provide alternative drinking water locations	22%	15%	–
	Protect range, pasture and other grazing lands Increase the vegetation of grazing lands	60%	60%	–



Regarding the confined livestock farming loads the 65% reduction is accomplished via implementation of the following measures

		Loads Reduction		
	TP	TP	TP	TSS- Sediment
Confined livestock farming	Implementation of Elaborate management system: It includes methods of collecting, storing and disposing and treatment of runoff and process-generated wastewater	70-90%	80%	70-80%

The 65% reduction of agricultural pollution loads is achieved with :

1. With treatment of agricultural runoffs via infiltration practices and / or via vegetation strips. The expected TP, TN, TSS load reduction exceeds 65%
2. In the areas around the lake and streams or rivers that flow in lake it is recommended that:
 - The status riparian vegetation is preserved and its growth rate enhanced
 - Preservation and restoration of natural wetlands , construction of artificial wetlands.

The agricultural runoffs are subjected to biological treatment in wetlands and riparian vegetation areas. Consequently their pollution loads is diminished before they reach the lake Yliki. The succeeded reduction of TP, TN , TSS with the combined wetland–riparian vegetation treatment exceeds 65%.

VIII. Conclusions

This dissertation’s main object :

- Is the study of quality status of lake Yliki and Plastira via the application of Software simulation model for lake water quality "Lerne"
- and
- the investigation of whether Lerne can be used as an accurate tool for the study of lake ecosystems quality and relevant lake quality management scenarios

VIII.1 Evaluation Of mathematical model "Lerne"

Comparing the deterministic simulation results of lake Plastira with the available site measurements (measurements of quality parameters performed in lake Plastira’s water body) we ascertain that they are similar. So we conclude that

- the accuracy and forecasting capacity of model Lerne is acceptable
- Lerne can be successfully applied in lake quality research. Moreover it can be used in order to estimate and predict the fluctuation of Chl-a, TP, TN, OC, DO concentrations . Consequently Lerne contributes greatly in the selection the appropriate pollution control measures for lake ecosystems .

VIII.2 Lake Yliki conclusions



- In lake Yliki exist aerobic conditions.
- Yliki is subjected to substantial pressure due to pollution loads of agricultural runoffs and in lesser extent of livestock-farming runoffs
- The results of the deterministic simulation suggest that there is significant danger for eutrophication: In particular mean Chl-a & mean TN are below max permissible values mean Chl-a <10 µg/lit, mean TN 1mg/lit while meanTP exceeds the permissible value of 30µg/lit, meanTP > 80µg/lit
- In order to avoid eutrophication incidents TP must be decreased to 30µg/lit. This can be done by reducing by 65% pollution loads of agricultural runoffs and in lesser extent of livestock-farming runoffs
- max Chl-a is < 5 µg/lit and the lake is classified in the category "Very Good"
- It is estimated that the application of appropriate antipollution policies secures that the lake Yliki's quality status will be "Good" by the year 2015. In this way the quality status of the lake conforms with the goals of EU Water Framework Directive

VIII.3 Lake Plastira conclusions

- In lake Yliki exist aerobic conditions.
- According to the results of the deterministic and stochastic simulation lake Plastira's quality status is acceptable. In particular mean Chl-a, mean TN and mean TP are below max permissible values mean Chl-a <10 µg/lit, mean TN 1mg/lit, meanTP < 30µg/lit. This is happening in all investigated initial elevations.
- In all investigated initial elevations max Chl-a < 5 µg/lit and the lake is classified in the category "Very Good"
- The best quality status is achieved when the initial elevation is at 786m. At this elevation min Chl-a is achieved
- The accuracy of deterministic simulation results is verified by stochastic simulation results
- In the immediate future it is expected that the pressure due to agriculture and livestock-farming be diminished since employment in tourism sector is growing in expense of agriculture and livestock-farming sector
- The pressure due to municipal sewage and liquid waste is going to be limited since sewage treatment facilities are under in the area
- The pressure due to increased exploitation-consumption of lake Plastira's water reserves is great. Authorities of Karditsa prefecture should seek alternative irrigation and water supply sources to cover the corresponding demand.
- It is estimated that lake Yliki's quality status will be "Good" by the year 2015. In this way the quality status of the lake conforms with the goals of EU Water Framework Directive



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι λίμνες περιλαμβάνονται στα υδατικά οικοσυστήματα και είναι αναπόσπαστο κομμάτι του φυσικού περιβάλλοντος. Φιλοξενούν πολλά είδη χλωρίδας - πανίδας και το νερό τους χρησιμοποιείται στην ύδρευση άρδευση. Δυστυχώς η ανεξέλεγκτη οικιστική, γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη επιβαρύνει την ποιοτική κατάσταση των λιμνών και διαταράσσει την οικολογική ισορροπία τους.

Στις λίμνες εισρέουν ρυπαντικά φορτία κτηνοτροφικής, γεωργικής, βιομηχανικής και αστικής προέλευσης. Οι πηγές των αποβλήτων διακρίνονται σε σημειακές και διαχυτές. Αυξημένος όγκος ρυπαντικών φορτίων οδηγεί σε φαινόμενα ευτροφισμού και υποβάθμισης του λιμναίου οικοσυστήματος.

Η σπουδαιότητα των λιμνών, η πολυπλοκότητα της δομής-λειτουργιών τους και η ποιοτική τους υποβάθμιση λόγω ανθρωπογενών πιέσεων, αποτελούν αντικείμενο έρευνας της επιστημονικής κοινότητας. Στα πλαίσια της χρησιμοποιείται ως εργαλείο η μαθηματική προσομοίωση. Η μαθηματική προσομοίωση της ποιότητας του νερού των λιμνών δίνει τη δυνατότητα χωροχρονικής μελέτης των ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων. Σε αυτές περιλαμβάνεται ο ολικός φώσφορος (TP), το ολικό άζωτο (TN), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) κ.λ.π.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία καταγράφηκαν η υφιστάμενη κατάσταση των ταμιευτήρων Υλικής και Πλαστήρα, τα εισερχόμενα σε αυτούς ρυπαντικά φορτία, οι εισροές - εκροές και διερευνήθηκε η μεταβολή της ποιοτικής τους κατάστασης με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης ΛΕΡΝΗ (software simulation model for water quality "Lerne"). Κατά την εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη προσομοιώθηκε καταρχήν η κατάσταση των Λιμνών βάσει των υφιστάμενων ρυπαντικών φορτίων. Στη συνέχεια εξετάστηκαν σενάρια απομείωσης τους. Στόχος είναι ο προσδιορισμός επιπέδου ανθρωπογενών πιέσεων, που δεν υποβαθμίζει την ποιοτική κατάσταση των Λιμνών.

Όσον αφορά τη διάθρωση της, η μεταπτυχιακή εργασία περιλαμβάνει, εκτός από την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 3), άλλα 7 Κεφάλαια. Ακολουθεί συνοπτική τους παρουσίαση:

1. Κεφάλαιο 1 : περίληψη μεταπτυχιακής εργασίας
2. Κεφάλαιο 2 : εκτενής περίληψη της μεταπτυχιακής εργασίας στην αγγλική γλώσσα
3. Κεφάλαιο 3 : παρουσίαση του υφιστάμενου νομικού καθεστώτος διαχείρισης υδατικών πόρων στην Ελλάδα και ΕΕ
4. Κεφάλαιο 4: επισκόπηση των μοντέλων ποιότητας λιμναίων συστημάτων
5. Κεφάλαιο 5: παρουσίαση του εφαρμοζόμενου μοντέλου ποιότητας λιμνών "Ευτροφισμού- Διαλυμένου Οξυγόνου"
6. Κεφάλαιο 6: περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης ποιότητας λιμνών " Λέρνη "
7. Κεφάλαιο 7: Μελέτη προσομοίωσης της ποιοτικής κατάστασης των ταμιευτήρων Υλικής & Πλαστήρα με εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου " Λέρνη ". Το κεφάλαιο περιλαμβάνει
 - Συνοπτική παρουσίαση των λιμναίων συστημάτων
 - Επισκόπηση των πηγών ρύπανσης τους
 - Περιγραφή των βέλτιστων διαχειριστικών πρακτικών ελέγχου και περιορισμού των παραπάνω πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων
 - Μαθηματική προσομοίωση της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων λιμνών με το λογισμικό ΛΕΡΝΗ. Μελέτη εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων και αποτίμηση των αποτελεσμάτων.
 - Προτεινόμενα μέτρα περιορισμού των ρυπαντικών φορτίων
8. Κεφάλαιο 8: συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε

ΟΔΗΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟ 2000/60/ΕΚ



4 ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ

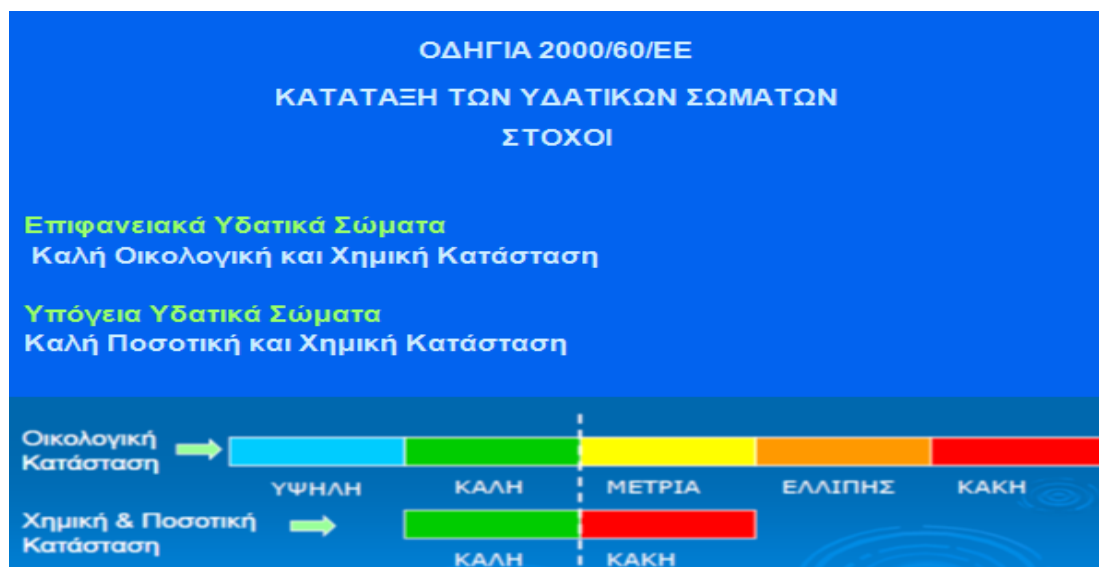
4.1 Οδηγία 2000/60/ΕΚ Βασικές Αρχές

Νερό και ζωή είναι αναπόσπαστα δεμένες έννοιες . Χωρίς νερό δεν μπορεί να υπάρξει ζωή, τουλάχιστον όπως τη γνωρίζουμε. Η εκτεταμένη έλλειψη του νερού, η σταδιακή καταστροφή και υποβάθμισή των υδατικών πόρων και η υποβάθμιση των πηγών ύδρευσης και άρδευσης, συνιστούν μια σοβαρή απειλή για την ανθρωπότητα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, κατανοώντας τη σημασία της προστασίας και διατήρησης του υδάτινου περιβάλλοντος, προχώρησε στην μιας νέας οδηγίας πλαίσιο. Αυτή αποτελεί μία ολιστική και καινοτόμο προσπάθεια προστασίας και διαχείρισης των Υδατικών Πόρων που προέκυψε μετά από μία μακροχρόνια περίοδο συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής υδάτων στην επικράτεια των 27 μελών κρατών της, η δε εφαρμογή της ξεκίνησε στις 22 Δεκεμβρίου 2000.

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΕ. αναμορφώνει την υφιστάμενη Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και θέτει το νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων. Η Οδηγία ενσωματώνει διάφορες Κοινοτικές Οδηγίες που σχετίζονται με τη διαχείριση του περιβάλλοντος και την προστασία των υδάτων. Αυτές είναι είτε για θυγατρικές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ (91/271/ΕΟΚ, 91/676/ΕΟΚ, 96/61/ΕΚ, 98/83/ΕΚ κλπ.) είτε νέες μεταγενέστερες της 2000/60/ΕΚ (2006/7/ΕΚ, 2006/118/ΕΚ, 2008/105/ΕΚ, 2009/90/ΕΚ) και έχουν κατά κύριο λόγο συμπληρωματικό χαρακτήρα.

Βασικός Σκοπός της Οδηγίας είναι η διατήρηση ή η επαναφορά με κατάλληλα μέτρα της «καλής κατάστασης» (οικολογικής ή/και χημικής) όλων των υδατικών σωμάτων (ποτάμια, λίμνες, υπόγεια, επιφανειακά, παράκτια)έως το 2015. Όσον αφορά τα επιφανειακά ύδατα «καλή κατάσταση» θεωρείται η «καλή οικολογική» και η «καλή χημική κατάσταση», ενώ όσον αφορά τα υπόγεια «καλή κατάσταση» θεωρείται η «καλή ποσοτική» και η «καλή χημική κατάσταση».



Εικόνα 1 Οδηγία 2000/60/ΕΕ Κατάταξη των Υδατικών Σωμάτων Στόχοι



Σαν οικολογική κατάσταση νοείται η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με τα επιφανειακά ύδατα. Η οικολογική κατάσταση ενός υδάτινου σώματος καθορίζεται από μία σειρά βιοτικών και αβιοτικών στοιχείων (ποιοτικά στοιχεία), που διακρίνονται σε:

1. Βιολογικά στοιχεία :

- Σύνθεση, αφθονία και βιομάζα του φυτοπλαγκτού
- Σύνθεση και αφθονία της λοιπής υδατικής χλωρίδας
- Σύνθεση και αφθονία της πανίδας βενθικών ασπονδύλων
- Σύνθεση, αφθονία και κατανομή κατά ηλικίες της ιχθυοπανίδας

2. Αβιοτικά στοιχεία, υποστηρίζουν τα βιολογικά και περιλαμβάνουν :

- Υδρολογικό καθεστώς
 - ☒ ποσότητα και δυναμική των υδάτινων ροών
 - ☒ χρόνος παραμονής
 - ☒ σύνδεση με το σύστημα υπόγειων υδάτων
- Μορφολογικές συνθήκες
 - ☒ διακύμανση του βάθους της λίμνης
 - ☒ ποσότητα, δομή και υπόστρωμα του πυθμένα της λίμνης
 - ☒ δομή της όχθης της λίμνη
- Χημικά & φυσικοχημικά στοιχεία :
 - ☒ Διαφάνεια
 - ☒ Θερμικές συνθήκες
 - ☒ Συνθήκες οξυγόνωσης
 - ☒ Αλατότητα
 - ☒ Κατάσταση οξίνισης
 - ☒ Συνθήκες θρεπτικών ουσιών
 - ☒ Συγκεκριμένοι ρύποι
 - ☒ Ρύπανση από όλες τις ουσίες προτεραιότητας οι οποίες είναι γνωστό ότι απορρίπτονται στο υδατικό σύστημα
 - ☒ Ρύπανση από άλλες ουσίες οι οποίες είναι γνωστό ότι απορρίπτονται σε σημαντικές ποσότητες στο υδατικό σύστημα

Η χημική κατάσταση αφορά στις ουσίες προτεραιότητας και λαμβάνει δύο χαρακτηρισμούς:



- καλή, όταν όλες οι παράμετροι πληρούν τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος που ορίζονται στο Παράρτημα Ι Μέρος Α της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010
- κατώτερη της καλής, όταν έστω και μία παράμετρος δεν τηρεί τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος που ορίζονται στο Παράρτημα Ι Μέρος Α της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010

Επιπλέον με την Οδηγία Πλαίσιο επιδιώκεται [ΥΠΕΚΑ, 2012(8)]:

- ο ολοκληρωμένος περιβαλλοντικό σχεδιασμός & η βιώσιμη διαχείριση των υδάτων.
- η προστασία του υδατικού περιβάλλοντος είτε με τον περιορισμό απόρριψης αποβλήτων-ρυπαντικών φορτίων, είτε με την απαγόρευση απόρριψης επικίνδυνων αποβλήτων σε υδατικά συστήματα. Οι προς απαγόρευση ουσίες, προσδιορίζονται και επικαιροποιούνται σε ειδικούς καταλόγους.
- η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και η σταδιακή αποκατάσταση της ποιότητάς τους.
- η αντιμετώπιση των επιπτώσεων ακραίων φαινομένων, πλημμύρων και ξηρασίας.

Για την επίτευξη των παραπάνω θεσπίζεται μια σειρά ρυθμίσεων, που επιχειρούν:

- να ενοποιήσουν και να συμπληρώσουν την προηγούμενη αποσπασματική ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα υδατικά συστήματα.
- να προσεγγίσουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο υδατικής περιφέρειας, η οποία νοείται αποτελούμενη από μία ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα, ορίζοντας για την άσκησή της την αρμόδια αρχή.
- να ασκήσουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων βάσει προγραμμάτων – σχεδίων διαχείρισης.
- να εξασφαλίσουν την κοινωνική συναίνεση μέσω προώθησης συμμετοχικών διαδικασιών.
- να προωθήσουν ορθολογικές αναλύσεις κόστους

Ειδικότερα, οι επιμέρους δράσεις που απαιτούνται σε εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ και του ΠΔ 51/2007, περιλαμβάνουν:

- τον προσδιορισμό των υδατικών διαμερισμάτων και καθορισμό και ένταξη υδατινών σωμάτων σε αυτά (Άρθρο 3 ΠΔ 51/2007).
- τον προσδιορισμό περιβαλλοντικών στόχων (Άρθρο 4 ΠΔ 51/2007).
- την εκτίμηση πιέσεων και ανάλυση επιπτώσεων τους (Άρθρο 5 ΠΔ 51/2007).
- την οικονομική ανάλυση (Άρθρο 8 ΠΔ 51/2007).
- τη σύνταξη μητρώου προστατευόμενων περιοχών (Άρθρα 6, 7 ΠΔ 51/2007).
- τη σύνταξη και εφαρμογή Προγραμμάτων Παρακολούθησης (Άρθρο 11 ΠΔ 51/2007). Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης αποτελεί ένα «διαγνωστικό εργαλείο» της κατάστασης των υδατικών σωμάτων. Περιλαμβάνει την εγκατάσταση και λειτουργία δικτύων παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης υδάτων Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης εφαρμόζεται καθόλη τη διάρκεια των



διαχειριστικών κύκλων της Οδηγίας(2000-2015, 2015 –2021 και 2021 – 2027), επανεξετάζεται και επικαιροποιείται σε κάθε διαχειριστικό κύκλο βάσει της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του.

- τη σύνταξη Προγραμμάτων Μέτρων (Άρθρο 12 ΠΔ 51/2007).
- τη σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης Υδατικών Διαμερισμάτων (Άρθρο 10 ΠΔ 51/2007). Το Σχέδιο Διαχείρισης θα δίνει πληροφορίες για όλα τα ύδατα, τους περιβαλλοντικούς στόχους, που έχουν τεθεί γι' αυτά και για τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν ώστε να επιτευχθεί καλή κατάσταση υδάτων.
- τη δημοσιοποίηση των Σχεδίων Διαχείρισης και διαδικασίες διαβούλευσης (Άρθρο 15 ΠΔ 51/2007).
- την εκπλήρωση υποχρεώσεων στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Άρθρο 16 ΠΔ 51/2007).

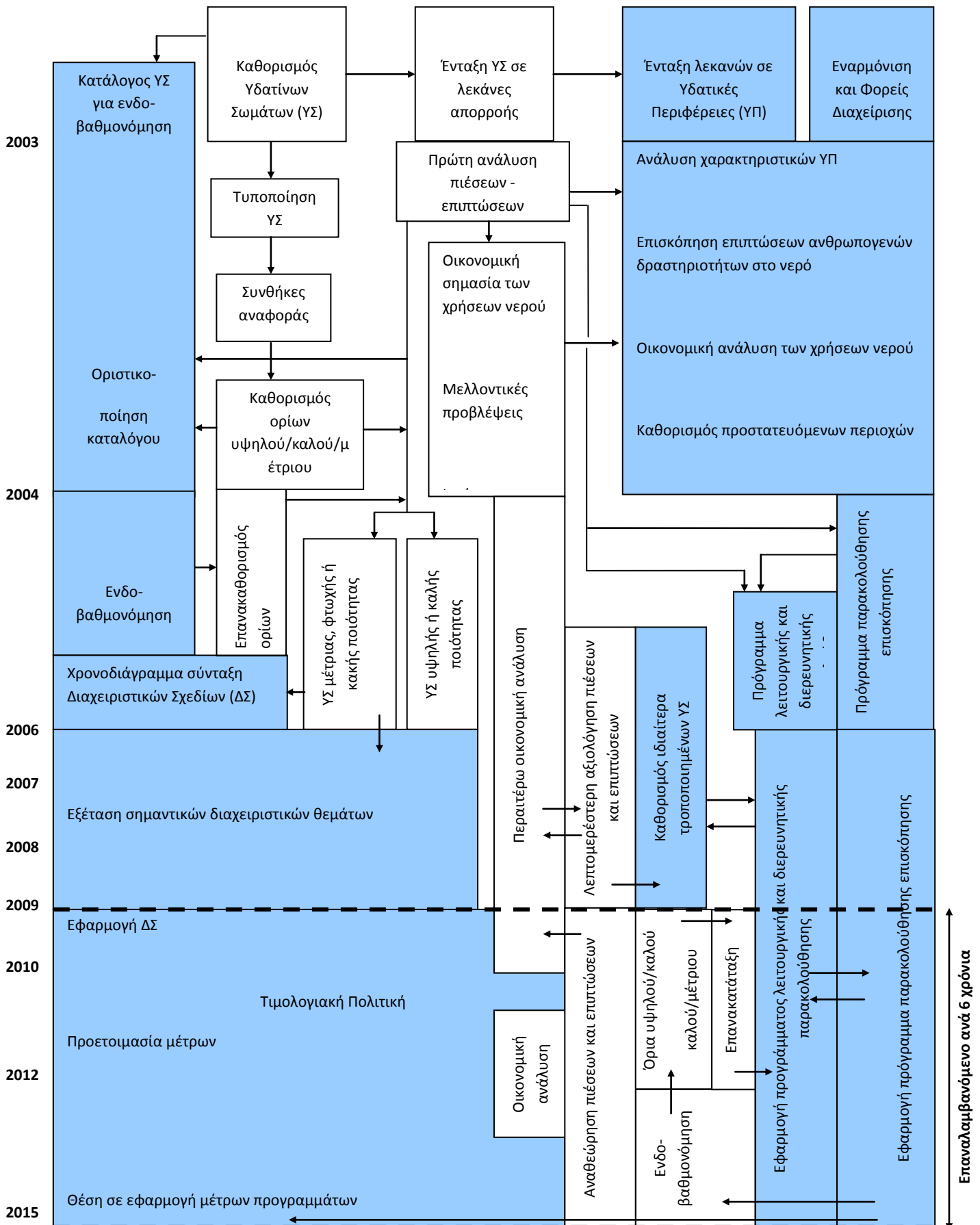
Μετά την ολοκλήρωση του 1ου κύκλου το 2015 τα Σχέδια Διαχείρισης υπόκεινται σε αναθεώρηση και ενημέρωση κάθε έξι χρόνια για δύο ακόμη περιόδους (2015 –2021 και 2021 – 2027)

Πίνακας 1 Χρονοδιάγραμμα Οδηγίας 2000/60/ΕΚ

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	2003	2004	2006	2009	2010	2012	2015	2021	2027
Λεκάνη Απορροής -Φορέας Διαχείρισης	•								
Πιέσεις, επιπτώσεις, οικονομικοί παράμετροι χρήσης νερού και προστατευόμενες περιοχές		•							
Προγράμματα παρακολούθησης κατάστασης υδάτων			•						
Προσδιορισμός Προγράμματος μέτρων επίτευξης στόχων				•					
Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνη Απορροής Ποταμού				•					
Εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής					•				
Εφαρμογή Προγράμματος μέτρων						•			
Ολοκλήρωση Α' κύκλου διαχείρισης και επίτευξη στόχων Οδηγίας - Αναθεώρηση							•		
Τέλος Β' κύκλου διαχείρισης - Αναθεώρηση								•	
Τέλος Γ' κύκλου διαχείρισης-Αναθεώρηση - Τελική προθεσμία επίτευξης στόχων									•



2000 Έκδοση Οδηγίας 2000/60



Σχήμα 1 Διαγραμματική απεικόνιση των απαιτούμενων σταδίων για την εφαρμογή της Οδηγίας (Ανδρεαδάκης, 2008)



4.2 Η εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα

Η συμμόρφωση της Ελλάδας στις απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ εμφανίζει μια χρονική υστέρηση. Καθίσταται λοιπόν αναγκαία η επίσπευση των σχετικών διαδικασιών, ειδικότερα όσον αφορά τους ποιοτικούς στόχους της Οδηγίας για καλή κατάσταση των υδατινών σωμάτων μέχρι το 2015.

Το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού αποτελεί το βασικό εργαλείο προγραμματισμού και τον κεντρικό μηχανισμό αναφοράς της Αρμόδιας Αρχής προς την ΕΕ. Οι στόχοι της Οδηγίας θα εκπληρωθούν μέσω των Σχεδίων Διαχείρισης. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα ρεαλιστικά μέτρα που πρόκειται να εφαρμοστούν προκειμένου να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι και γίνεται πρόβλεψη για την αντιμετώπιση τυχόν παρεκκλίσεων.

Η επιτυχής εφαρμογή των Σχεδίων Διαχείρισης στην Ελλάδα προϋποθέτει τη δημιουργία της απαραίτητης υποδομής, μακροπρόθεσμο προγραμματισμό, εκτενείς συμμετοχικές διαδικασίες, αλλαγή νοοτροπίας, πολιτική βούληση. Ταυτόχρονα θα δώσει τη δυνατότητα για την υλοποίηση μιας σταθερής πολιτικής διαχείρισης υδάτων, που θα διασφαλίσει την αποτελεσματική προστασία και ορθολογική χρήση των υδατικών μας πόρων.

Το θεσμικό πλαίσιο της χώρας έχει εναρμονισθεί με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, με τις ακόλουθες νομοθετικές διατάξεις:

- Το Νόμο 3199/9-12-2003 (ΦΕΚ 280 Α) για την “προστασία και διαχείριση των υδάτων – εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000”, όπως αυτός τροποποιήθηκε με τους νόμους Ν. 3481/2006, Ν. 3587/2007, Ν. 3621/2007 και Ν. 3734/2009.
- Το Προεδρικό Διάταγμα υπ’ αριθμό. 51/2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007) “Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000”, κατ’ εξουσιοδότηση των διατάξεων του Άρθρου 15, παράγρ. 1 του Νόμου 3199/2003.
- Κατ’ εξουσιοδότηση των διατάξεων του Νόμου 3199/2003, έχουν εκδοθεί 3 Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις με θέματα: α) την “Οργάνωση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων” (ΚΥΑ 49139/24-11-2005, ΦΕΚ 1695Β’/2-12-2005), β) την “Διάρθρωση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας” (ΚΥΑ 47630/16-11-2005, ΦΕΚ 1688Β/1-12-2005), με την οποία συγκροτήθηκαν οι Διευθύνσεις Υδάτων των 13 Περιφερειών της χώρας και γ) τις “Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών” (ΚΥΑ 43504/5-12-2005, ΦΕΚ 1784Β’/20-12-2005), καθώς επίσης και 2 Αποφάσεις Υπουργού Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (με αριθ.26798/22-6-2005 & 34685/6-12-2005, ΦΕΚ 1736 Β’/9-12-2005) για τη συγκρότηση και λειτουργία του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 39626/2208/Ε130 (ΦΕΚ 2075Β/25-09-2009), σχετικά με τον καθορισμό μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση και την υποβάθμιση, με την οποία ενσωματώθηκε η Θυγατρική Οδηγία 2006/118/ΕΚ σχετικά με “την προστασία των υπόγειων υδάτων



από τη ρύπανση και την υποβάθμιση”, κατ’ εφαρμογή των διατάξεων του Άρθρου 17 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

- Απόφαση Αριθμ. Οικ. 706/2010 (ΦΕΚ 1383B/2-9-2010) της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, σχετικά με τον Καθορισμό των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 51354/2641/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1909B/8-12-2010), σχετικά με τον Καθορισμό Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 “σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με την τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των Οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου”, καθώς και για τις συγκεντρώσεις ειδικών ρύπων στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα και άλλες διατάξεις.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 140384/2011 (ΦΕΚ 2017B/9-9-2011), σχετικά με τον Ορισμό Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στην λειτουργία τους, κατά το άρθρο 4, παράγραφος 4 του Ν.3199/2003.

4.3 Οδηγία 2000/60/ΕΚ : Ανθρωπογενής Πιέσεις & επιπτώσεις τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα

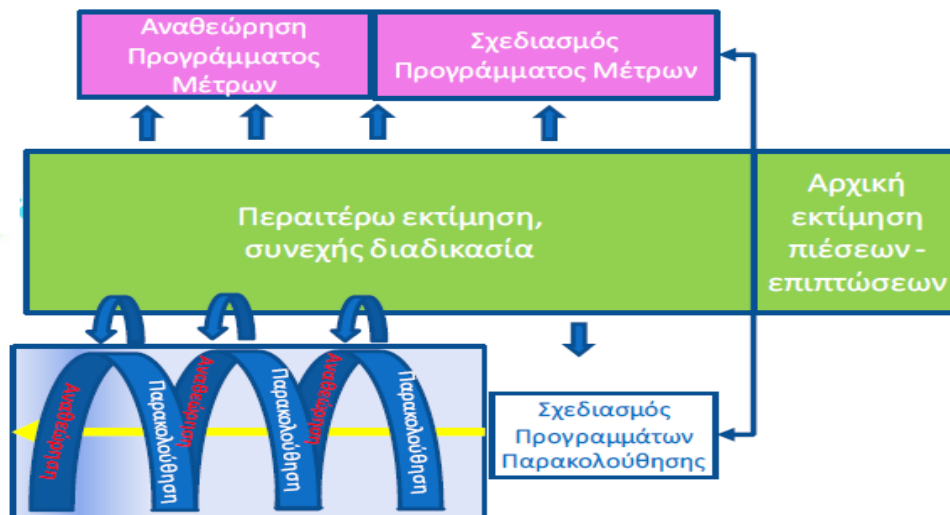
4.3.1 Εισαγωγή

Οι απαιτήσεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα υδάτινα σώματα καθορίζεται από το Άρθρο 5 σύμφωνα με το οποίο για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής πρέπει:

- να γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών της
- να εκτιμηθεί η επίπτωση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων
- να γίνει οικονομική ανάλυση της χρήσης του νερού

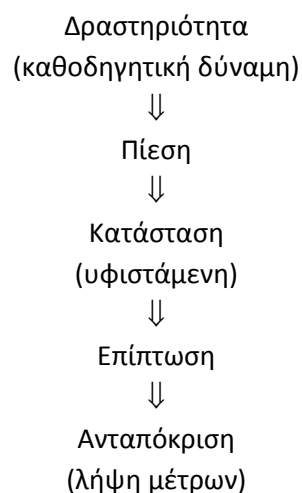
4.3.2 Η ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεών τους

Η ανάλυση των πιέσεων έχει ως στόχο την κατανόηση των σημαντικότερων διαχειριστικών προβλημάτων για κάθε λεκάνη απορροής και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι πιέσεις επηρεάζουν τα επιμέρους υδάτινα σώματα. Επιπλέον προσδιορίζει πού και σε ποιο βαθμό οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων και παρέχει δεδομένα για το σχεδιασμό του Προγράμματος Παρακολούθησης και του Προγράμματος των Μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων.

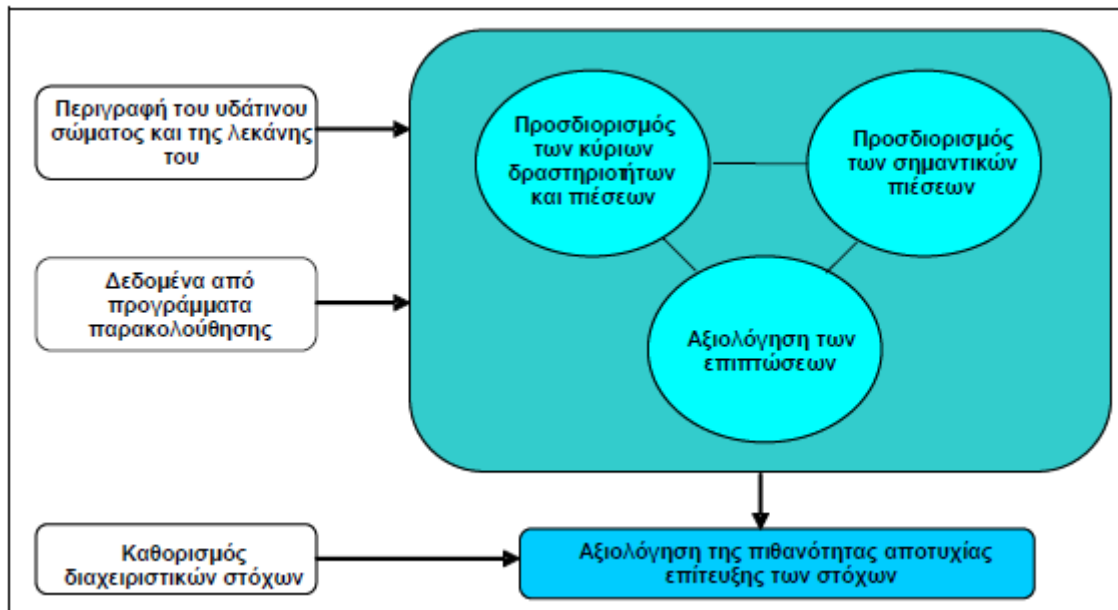


Σχήμα 2 Πρόγραμμα Παρακολούθησης και Πρόγραμμα των Μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων (Γκουβάτσου Ε., 2012)

Για την ανάλυση, καταγραφή των πιέσεων και την αρχική εκτίμηση των επιπτώσεων τους εφαρμόζεται η μεθοδολογία DPSIR(Driver, Pressure, State, Impact, Response). Η μέθοδος DPSIR είναι πολύτιμο εργαλείο, καθώς δίνει τη δυνατότητα συνδυαστικής εκτίμησης κοινωνικών-οικονομικών και περιβαλλοντικών πιέσεων και των επιπτώσεων τους σε μια λεκάνη απορροής. Στα πλαίσια της η Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους προσεγγίζεται από την παρακάτω αλληλουχία :



Η προσέγγιση αυτή δεν είναι πάντα γραμμική αφού στοιχεία παρακολούθησης του υδάτινου σώματος, που αποδεικνύουν ένα συγκεκριμένο είδος επίπτωσης, μπορεί να βοηθήσουν στην αναγνώριση των σχετιζόμενων πιέσεων. Η διαδικασία αξιολόγησης της δυνατότητας επίτευξης των στόχων της Οδηγίας, μέσω της ανάλυσης των πιέσεων και επιπτώσεων παρουσιάζεται παρακάτω



Σχήμα 3 Μεθοδολογία ανάλυσης πιέσεων – εκτίμησης επιπτώσεων & δυνατότητας επίτευξης των στόχων (ΥΠΕΚΑ, 2012(γ))

Για την εφαρμογή της μεθόδου DPSIR, απαιτούνται στοιχεία για το είδος και το μέγεθος των πιέσεων στις λεκάνες απορροής. Για την αναγνώριση των πιέσεων, λαμβάνονται υπόψη οι υδρολογικές σχέσεις μεταξύ των υδάτινων σωμάτων σε κάθε λεκάνη, όπως για παράδειγμα, οι σχέσεις που αφορούν στη ρύπανση των κατάντη λιμνών και της παράκτιας ζώνης (τροφικό επίπεδο, απόθεση ιζημάτων, βιοσυσσώρευση) και στη συνοχή των ποταμών στα ανάντη (φράγματα, διευθέτηση κ.ά) (Σεφερλής, 2006)

Ως «γενεσιουργές αιτίες» (Drivers) θεωρούνται όλες οι κοινωνικές οικονομικές δραστηριότητες (βιομηχανία, γεωργία, αστικοποίηση κ.λπ.) που συνιστούν πηγές πιέσεων. Για κάθε λεκάνη απορροής και υδάτινο σώμα οι γενεσιουργές αιτίες εκφράζονται ποσοτικά με την άθροιση δεδομένων, όπως οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, η πυκνότητα του πληθυσμού, η κατανομή βιομηχανιών κ.λπ. Συγκρίνοντας, στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά με δεδομένα παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, είναι δυνατή η εκτίμηση της πιθανότητας μία αιτία να ασκεί πίεση σε κάποιο υδάτινο σώμα. Οι «πιέσεις» λοιπόν αντιπροσωπεύουν τον τρόπο έκφρασης των αιτιών ρύπανσης και τον τρόπο με τον οποίο τα υδάτινα συστήματα διαταράσσονται. Από τις γεωργικές δραστηριότητες, για παράδειγμα, προκύπτει η πίεση των ενώσεων αζώτου και φωσφόρου. Οι πιέσεις αυτές υποβαθμίζουν την ποιοτική κατάσταση (State) του υδάτινου συστήματος και την υγεία του ανθρώπου. Οι αρνητικές συνέπειες των πιέσεων προκαλούν την αντίδραση (Response), που μετουσιώνεται στη λήψη μέτρων αντιμετώπισης τους (π.χ. ρυθμίσεις, πληροφόρηση κ.λπ.) (Σεφερλής, 2006)

4.3.2.1 Πιέσεις

Το εύρος των πιθανών ρυπαντικών πιέσεων στα υδάτινα σώματα είναι μεγάλο και η κατηγοριοποίησή τους απαραίτητη και ιδιαίτερα δύσκολη αφού ο ίδιος ρύπος μπορεί να προκύψει από διαφορετικές πηγές, να βρεθεί σε διαφορετικές μορφές ή να προκαλέσει ποικιλία επιπτώσεων. Η συνηθέστερη κατηγοριοποίησή διακρίνει τους ρύπους ανάλογα με την πηγή προέλευσης, σε σημειακές και μη σημειακές πηγές.



Οι σημειακές πηγές ρύπανσης, σχετίζονται με:

- τα αστικά υγρά απόβλητα από οικισμούς,
- την βιομηχανική δραστηριότητα,
- την εσταυλισμένη κτηνοτροφία,
- τα στραγγίδια από Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων,
- τις υδατοκαλλιέργειες,

Οι μη σημειακές πηγές - Διάχυτες πηγές ρύπανσης, σχετίζονται με

- τα αστικά υγρά απόβλητα από οικισμούς που δεν εξυπηρετούνται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων,
- απορροές από την αγροτική δραστηριότητα,
- την μη σταβλισμένη κτηνοτροφία & σε μικρότερο βαθμό με αποροές κτηνοτροφικών μονάδων
- τα στραγγίδια από Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

Άλλες κατηγοριοποιήσεις βασίζονται στην ένταση των επιπτώσεων των ρύπων, στη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού τους από φυσικές διεργασίες εντός του υδατικού σώματος και στην χρονική τους συνέχεια (σποραδική είτε χρόνια παρουσία). (Ανδρεαδάκης, 2008)

Τέλος στις σημαντικές ανθρωπογενείς πιέσεις στα συστήματα επιφανειακών & υπόγειων υδάτων συγκαταλέγονται:

- η Υδροληψία (άντληση υπόγειων υδροφορέων, κ.α.)
- η Ρύθμιση νερού (υδραυλικά έργα μεταφοράς νερού από μία λεκάνη σε άλλη, κ.α.)
- οι Μορφολογικές αλλοιώσεις (διευθετήσεις, εκτεταμένα υδραυλικά έργα, λιμενικά έργα, κ.α)

Γενικά για την καλύτερη εκτίμηση των επιπτώσεων των πιέσεων, απαιτείται η γνώση των χρήσεων γής.

4.3.2.2 Πιέσεις και Πιθανές επιπτώσεις στην υφιστάμενη κατάσταση

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ανάλυση των πιέσεων και των επιπτώσεων τους στην ποιοτική κατάσταση των υδατικών συστημάτων μιας λεκάνης απορροής

- αναδεικνύει τα διαχειριστικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η λεκάνη καθώς και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι πιέσεις επηρεάζουν τα επιμέρους υδάτινα σώματα
- προσδιορίζει πού και σε ποιο βαθμό οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων
- τροφοδοτεί το σχεδιασμό του Προγράμματος Παρακολούθησης και του Προγράμματος
- Μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων

Στη συνέχεια παρατίθενται μια σειρά από πίνακες (Γκουβάτσου, 2012) με τους οποίους συσχετίζονται οι ανθρωπογενείς πιέσεις με τις επιπτώσεις που επιφέρουν στην κατάσταση ενός υδατικού συστήματος



Πίνακας 2 Πιέσεις από απολήψεις

Δραστηριότητα	Πίεση	Πιθανή αλλαγή στην υφιστάμενη κατάσταση ή επίπτωση
Απόληψη από επιφανειακά ΥΣ για ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία	Μείωση της ροής ή των αποθεμάτων των υδροφορέων	Μειωμένη διάλυση των χημικών ροών. Μειωμένη αποθήκευση. Τροποποιημένη ροή και οικολογικό καθεστώς
Μεταφορά ύδατος	Αυξημένη/μειωμένη παροχή	Τροποποιημένο θερμοκρασιακό, οικολογικό καθεστώς καθώς και ροή

Πίνακας 3 Πιέσεις από διαχυτές πηγές

Δραστηριότητα	Πίεση	Πιθανή αλλαγή στην υφιστάμενη κατάσταση ή επίπτωση
Γεωργία , εκτατική κτηνοτροφία	Μεταφορά θρεπτικών μέσω της επιφανειακής απορροής, της εδαφικής διάβρωσης, των έργων αποστράγγισης και της διήθησης λόγω υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων ή κοπριάς	Τροποποίηση του οικοσυστήματος λόγω των θρεπτικών
	Μεταφορά προϊόντων φυτοπροστασίας	Τοξικότητα και μόλυνση του πόσιμου ύδατος
	Διάβρωση	Απώλεια ενδαιτημάτων



Πίνακας 4 Πιέσεις από σημειακές πηγές

Δραστηριότητα	Πίεση	Πιθανή αλλαγή στην υφιστάμενη κατάσταση ή επίπτωση
Βιομηχανία (IPPC και μη-IPPC) Απόρριψη αστικών λυμάτων	Διάθεση αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά	Άμεση επίδραση τοξικών ουσιών, αυξημένα αιωρούμενα στερεά, αλλαγή στο καθεστώς οξυγόνου λόγω της οργανικής ύλης, οι θρεπτικές ουσίες τροποποιούν το οικοσύστημα
Μεταλλεία – ορυχεία	Ρυπασμένες απορροές	
Διάθεση στερεών αποβλήτων	Ροή χημικών στα στραγγίσματα	
Ιχθυοκαλλιέργειες	Τροφές, φάρμακα και απόδραση ατόμων	Θρεπτικά, ασθένειες, εισαγωγή ξενικών ειδών

Πίνακας 5 Πιέσεις από υδρομορφολογικές πηγές

Δραστηριότητα	Πίεση	Πιθανή αλλαγή στην υφιστάμενη κατάσταση ή επίπτωση
Φυσικά εμπόδια (φράγματα, ρουφράκτες κ.λπ.)	Αλλαγή στα χαρακτηριστικά ροής (π.χ. όγκος, ταχύτητα, βάθος) ανάντη και κατόντη του εμποδίου	Αλλαγμένο καθεστώς ροής και ενδαιτήματος
Διευθετήσεις ποταμών	Αλλαγή στα χαρακτηριστικά ροής (π.χ. όγκος, ταχύτητα, βάθος)	
Βυθοκορήσεις - αμμοληψίες	Απομάκρυνση υποστρώματος, αλλαγή στο βάθος της ροής	Απώλεια ενδαιτημάτων & υγροτόπων

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα διαπιστώνουμε ότι η αναγνώριση των ανθρωπογενών πιέσεων και η εκτίμηση των επιπτώσεων τους παίζει καθοριστικό ρόλο στην μελέτη της ποιοτικής κατάστασης των υδατικών συστημάτων. Για την επίτευξη τους εφαρμόζεται μια συνδυαστική διερεύνηση που περιλαμβάνει

1. την καταγραφή δεδομένων παρακολούθησης των μελετώμενων υδατικών συστημάτων
2. την επεξεργασία των δεδομένων μέσω κατάλληλων μοντέλων ποιότητας
3. την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από ειδικούς (expert judgement).
4. τη διατύπωση προτάσεων σχετικά με τη διατήρηση ή βελτίωση της υφιστάμενης ποιοτικής κατάστασης



Στις επόμενες παραγράφους θα ασχοληθούμε με θέματα που αφορούν την ποιοτική κατάσταση των υδατικών οικοσυστημάτων και θα αναλύσουμε τα μοντέλα ποιότητας που την περιγράφουν.

Τα μοντέλα ποιότητας περιλαμβάνουν μια σειρά εξισώσεων, μέσω των οποίων υπολογίζεται η μεταβολή των παραμέτρων ποιότητας. Η γνώση της διακύμανσης των τελευταίων, καθιστά δυνατή την εκτίμηση των επιπτώσεων των ανθρωπογενών πιέσεων στην ποιοτική κατάσταση των μελετώμενων υδατικών οικοσυστημάτων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΜΝΩΝ



5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΜΝΩΝ

5.1 Ποιότητα του νερού των λιμνών - Ευτροφισμός

Η ποιότητα του νερού των λιμνών καθορίζεται από πλήθος βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, σπουδαιότεροι εκ των οποίων είναι η θερμοκρασία, η πρωτογενής παραγωγικότητα, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και των θρεπτικών στοιχείων. Η ποιοτική κατάσταση μιας λίμνης καθορίζεται και από την αλατότητα, το pH, τη συγκέντρωση λοιπών ανόργανων και οργανικών ουσιών πχ βαρέων μετάλλων - τοξικών ουσιών και άλλων ρύπων (Γιαννιού, 2009).

Η καλή ποιοτική κατάσταση του νερού αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για ένα υγιές λιμναίο οικοσύστημα. Ένας συνηθισμένος δείκτης της ποιοτικής κατάστασης των λιμνών είναι ο βαθμός ευτροφισμού τους. Ως ευτροφισμός ορίζεται η διαδικασία εμπλουτισμού της μάζας του νερού των λιμνών με θρεπτικά στοιχεία με αποτέλεσμα την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητάς τους (Γιαννιού, 2009), ήτοι του ρυθμού παραγωγής υδρόβιας φυτομάζας (π.χ. φυτοπλαγκτόν, μακρόφυτα) μέσω της φωτοσύνθεσης.

Ο ευτροφισμός είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο της ωρίμανσης μιας λίμνης, που συμβαίνει σταδιακά σε χρονικό διάστημα αιώνων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ευτροφισμό μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: 1) κλιματικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία, υδρολογία), 2) μορφολογικές συνθήκες (βάθος, επιφάνεια, όγκος λίμνης, μέγεθος λεκάνης απορροής), 3) ρυθμός εισροής θρεπτικών (γεωλογία, εδαφικές συνθήκες, υδρολογικές συνθήκες και βλάστηση λεκάνης απορροής, ανθρώπινες χρήσεις και διαχείριση).

Η ανθρωπογενής επιτάχυνση της διαδικασίας του ευτροφισμού καλείται επιταχυνόμενος ή ανθρωπογενής ευτροφισμός (cultural eutrophication) και προκαλείται από τον υπέρμετρο εμπλουτισμό με θρεπτικά στοιχεία των λιμνών λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και επεμβάσεων στη λεκάνη απορροής τους. Τα εισερχόμενα θρεπτικά (φώσφορος, άζωτο, οργανική ύλη) προέρχονται από τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, την εντατική χρήση λιπασμάτων στη γεωργία και τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες (κυρίως αυτές τη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας) (Γιαννιού Σ. 2009). Συνήθως όταν χρησιμοποιείται ο όρος ευτροφισμός εννοείται ο επιταχυνόμενος ευτροφισμός.

Οι λίμνες ανάλογα με το βαθμό ευτροφισμού τους διακρίνονται σε

Πίνακας 6 Διάκριση Λιμνών ανάλογα με το βαθμό ευτροφισμού τους

ΟΛΙΓΟΤΡΟΦΕΣ	ΜΕΣΟΤΡΟΦΕΣ	ΕΥΤΡΟΦΕΣ
Έχουν : – Μικρή παραγωγικότητα – Μικρή βιολογική δραστηριότητα – χαμηλή συγκέντρωση θρεπτικών – καθαρά και διαυγή νερά	Έχουν : Μέση παραγωγικότητα Είναι : Ισορροπημένο σύστημα με καλή ποιότητα νερού	Έχουν : – Μεγάλη παραγωγικότητα – Έντονη βιολογική δραστηριότητα – Μεγάλη συγκέντρωση θρεπτικών – Χαμηλή διαφάνεια – Ποιοτικά υποβαθμισμένο νερό – Περιορισμένη Ποικιλία φυτοπλακτονικών ειδών. Κυριαρχούν τα κυανοφύκη,



Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και οι όροι υπερολιγότροφες για πολύ φτωχές σε θρεπτικά λίμνες και υπερεύτροφες για εξαιρετικά παραγωγικές λίμνες.

Ο ευτροφισμός αποτελεί ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα ρύπανσης των υδάτων παγκοσμίως. Οι συνέπειές του είναι ποικίλες και εξαρτώνται και από τη χρήση του νερού.

Η έντονη ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν σε εύτροφες λίμνες έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων νεκρής οργανικής ύλης, για την αποσύνθεση της οποίας απαιτούνται σημαντικές ποσότητες οξυγόνου. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η εμφάνιση επεισοδίων ανοξίας στο υπολίμνιο ή και στο μεταλίμνιο, την ίδια στιγμή που μπορεί να παρατηρείται υπερκορεσμός οξυγόνου στο επιλίμνιο. Η έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες κατά τις οποίες παράγονται αέρια όπως μεθάνιο (CH_4), αμμωνία (NH_3) και υδρόθειο (H_2S). Αυτά τα αέρια εκτός του ότι αλλοιώνουν τη γεύση του νερού και παράγουν άσχημες οσμές είναι τοξικά (ειδικά το υδρόθειο) για τους οργανισμούς της λίμνης, κυρίως για τα ψάρια. Επιπλέον οι ανοξικές συνθήκες ευνοούν την απελευθέρωση φωσφορικών και αμμωνιακών ιόντων από τα ιζήματα του πυθμένα, με αποτέλεσμα τον επιπρόσθετο εμπλουτισμό του νερού με θρεπτικά στοιχεία.

Σε συνθήκες ευτροφισμού ευνοείται η ανάπτυξη φυτοπλαγκτονικών ειδών της ομάδας των κυανοφυκών, μερικά εκ των οποίων παρουσιάζουν έντονη τοξικότητα. Για την εκτίμηση του βαθμού ευτροφισμού σε μια λίμνη έχουν καθιερωθεί διάφορα κριτήρια που μετρούν τα συμπτώματα του (π.χ. πρωτογενής παραγωγικότητα), τις γεννεσιουργές αιτίες του (π.χ. συγκέντρωση φωσφόρου, φορτίο φωσφόρου) ή τις συνέπειες του (π.χ. υπολιμνική συγκέντρωση οξυγόνου (Γιαννιού, 2009)).

Η τροφική κατάσταση μιας λίμνης εκτιμάται με τη μέτρηση της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου / αζώτου, της χλωροφύλλης και το βάθος του δίσκου Secchi. Επιπλέον έχουν προταθεί διάφοροι τροφικοί δείκτες (Trophic State Indices) οι οποίοι ουσιαστικά είναι εξισώσεις που συσχετίζουν μεταξύ τους τα διάφορα κριτήρια. Ανάλογα με την τιμή του δείκτη η λίμνη κατατάσσεται στην αντίστοιχη τροφική κατηγορία (Γιαννιού Σ., 2009).

Ουσιαστικά η τροφική κατάσταση μιας λίμνης είναι δείκτης της πρωτογενούς της παραγωγικότητας των λιμνών, δηλαδή του ρυθμού παραγωγής βιομάζας από τους φυτικούς (αυτότροφους-πρωτογενείς παραγωγούς) οργανισμούς της.

Οι κυριότεροι φυτικοί οργανισμοί που συναντώνται σε λίμνες είναι τα φύκη και τα μακρόφυτα.

Τα φύκη διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

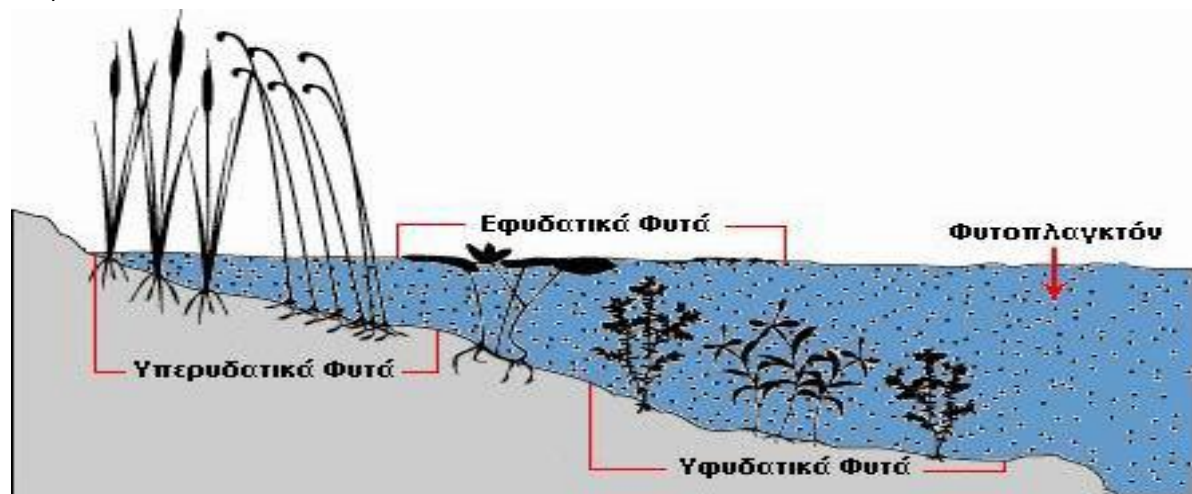
- 1) το φυτοπλαγκτόν που αποτελείται από διάφορα είδη μικροσκοπικών φυτών τα οποία ζουν εν αιωρήσει στη μάζα του νερού
- 2) το περίφυτον, φυτά που ζουν προσκολλημένα στον πυθμένα και τα τοιχώματα των λιμνών.

Τα μακρόφυτα είναι επιπλέοντα ή ριζωμένα αγγειόσπερμα φυτά, μεγαλύτερα από τα φύκη που αναπτύσσονται στην παρόχθια ζώνη των λιμνών. Τα μακρόφυτα διαιρούνται σε τέσσερις κατηγορίες:

- 1) τα υπερυδατικά μακρόφυτα: είναι ριζωμένα στον πυθμένα & προεξέχουν της επιφάνειας του νερού
- 2) τα εφυδατικά: είναι ριζωμένα στον πυθμένα. Τα φύλλα και τα άνθη τους επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού
- 3) τα υφυδατικά: είναι ριζωμένα στον πυθμένα και ζουν βυθισμένα εξολοκλήρου μέσα στο νερό



- 4) τα ελεύθερα πλέοντα μακρόφυτα : δεν είναι ριζωμένα ή προσκολλημένα στον πυθμένα, αλλά οι έρπουσες ρίζες τους επιτρέπουν να πλέουν ελεύθερα μέσα ή στην επιφάνεια του νερού (Γιαννιού Σ. 2009).



Σχήμα 4 Φυτικοί οργανισμοί των λιμνών

Όσον αφορά τη διαχείριση των λιμνών των εύκρατων περιοχών το φυτοπλαγκτόν είναι κρίσιμος δείκτης της ποιοτικής τους κατάστασης και αποτελεί συνήθως το κυρίαρχο ποσοστό της φυτομάζας τους. Αυτό συμβαίνει ιδίως στις βαθιές λίμνες όπου τα μακρόφυτα περιορίζονται στην παραλιακή ζώνη.

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα μοντέλα ποιότητας των υδατικών συστημάτων. Επιπλέον θα παρουσιαστούν το εφαρμοζόμενο στις Λίμνες Υλίκη & Πλαστήρα μοντέλο ευτροφισμού – ποιότητας, οι υπεισερχόμενες παράμετροι και οι εξισώσεις που περιγράφουν :

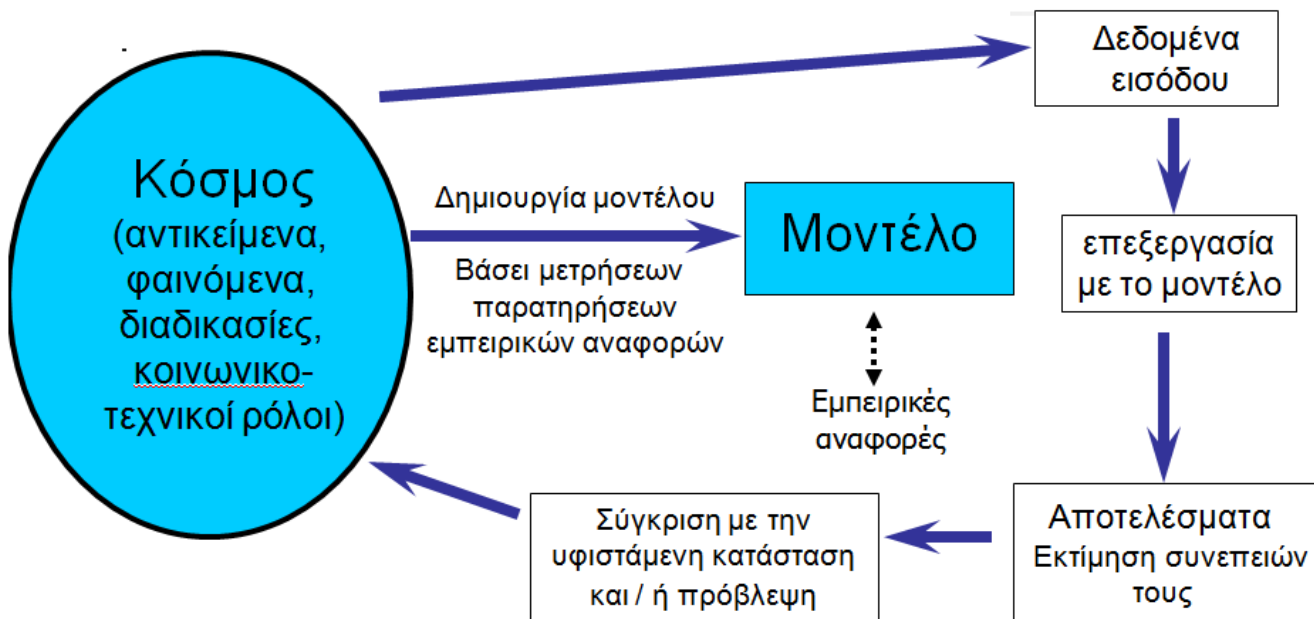
- τη διακύμανση των παραμέτρων
- τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις
- τους μετασχηματισμούς τους
- τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες στις οποίες συμμετέχουν

5.2 Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών

5.2.1 Μοντέλα Ορισμός

Οι άνθρωποι στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν , να προβλέψουν και να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά διαφόρων συστημάτων, δημιουργούν πραγματικά ή συμβολικά κατασκευάσματα που μιμούνται τη λειτουργία τους. Τα κατασκευάσματα αυτά ονομάζονται μοντέλα.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή ενός μοντέλου περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια



Εικόνα 2 Στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής ενός μοντέλου

Τα μοντέλα συνιστούν ένα πολύτιμο εργαλείο της μελέτης των φυσικών συστημάτων καθώς παρέχουν τη δυνατότητα αξιόπιστης αναπαραγωγής της Συμπεριφοράς και Απόκρισης τους.

5.2.2 Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών

5.2.2.1 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες προσπάθειες εκτίμησης της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων ξεκίνησαν στις αρχές του προηγούμενου αιώνα (Streeter and Phelps 1925, Velz 1947) και εντατικοποιήθηκαν τη δεκαετία του '60 και του '70, οπότε άρχισαν να εμφανίζονται έντονα προβλήματα ρύπανσης σε ποτάμια και λίμνες, κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, που προσομοιώνουν τις λειτουργίες ενός υδάτινου οικοσυστήματος, αποτελεί μια συνήθη ερευνητική πρακτική. (Γιαννίου, 2009)

Μαθηματικά μοντέλα ποιοτικής κατάστασης των λιμνών αναπτύχθηκαν αρχικά μέσω των μοντέλων θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία είναι μια από τις σημαντικότερες ποιοτικές παραμέτρους των λιμνών, καθώς αποτελεί βασικό ρυθμιστή των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών και της παραγωγικότητάς τους. Επιπλέον καθορίζει το ισοζύγιο ενέργειας των λιμνών.

Σημαντική πρόοδος των ερευνών σημειώθηκε τις δεκαετίες '60 και '70 κυρίως, με την ευρεία ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της θερμοκρασιακής κατανομής, τα περισσότερα εκ των οποίων είναι μονοδιάστατα (στην κατακόρυφη διεύθυνση). Στα μονοδιάστατα μοντέλα γίνεται η παραδοχή της ομοιογένειας της θερμοκρασίας κατά το οριζόντιο επίπεδο, κάτι που συχνά δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, ιδίως για τις μεγάλες λίμνες. Η πλήρης όμως γνώση της θερμικής κατάστασης των λιμνών απαιτεί τη μελέτη και των οριζόντιων κινήσεων του νερού που επιτυγχάνεται με μαθηματικά μοντέλα δύο



και τριών διαστάσεων. Αυτά τα μοντέλα είναι λιγότερο εξαρτημένα από εμπειρικές σχέσεις και απαιτούν την προσομοίωση της υδροδυναμικής κατάστασης της λίμνης και την ύπαρξη πολλών δεδομένων, μετρήσεων πεδίου για τη ρύθμιση και την επιβεβαίωσή τους. Μεταξύ των ερευνητών που εργάστηκαν σε δισδιάστατα ή τρισδιάστατα μοντέλα είναι οι King and Norton (1975), Paul and Lick (1981), Kim et al. (1983), Ogihara et al. (1996) κ.α.. Παράλληλα πραγματοποιούνταν μελέτες μεμονωμένα και για άλλες ποιοτικές παραμέτρους των λιμνών με πιο συνήθεις την πρωτογενή παραγωγικότητα-ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν, το διαλυμένο οξυγόνο και τα θρεπτικά στοιχεία (κύκλος φωσφόρου και αζώτου) (Γιαννίου Σ., 2009)

Στα πλαίσια της διερεύνησης ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν, πολλούς ερευνητές απασχόλησε η επίδραση της θερμοκρασίας (Smith 1980, Dauta et al. 1990), της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Smith 1980, Belay 1981, Eilers and Peeters 1988, Dauta et al. 1990) και της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων (Di Toro 1980, De Groot 1983) και των υδροδυναμικών συνθηκών των λιμνών (MacIntyre, 1993) Άλλοι εστίασαν στην κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου των λιμνών Martin et al. (1985), Walker and Snodgrass (1986), Stefan and Fang (1994), Fang and Stefan (1995). (Γιαννίου, 2009)

Η ταυτόχρονη μελέτη περισσότερων ποιοτικών παραμέτρων και η προσπάθεια πληρέστερης περιγραφής της ποιοτικής κατάστασης των λιμνών ξεκίνησε με τη σταδιακή προσθήκη, στα μοντέλα πρόβλεψης της θερμοκρασιακής κατανομής, και άλλων ποιοτικών μεταβλητών.

Τα μαθηματικά μοντέλα ποιοτικής κατάστασης των λιμνών, όπως και τα πρόδρομα μοντέλα θερμοκρασιακής κατανομής, είναι μίας, δύο ή τριών διαστάσεων και χρησιμοποιούν την προσέγγιση της τυρβώδους διάχυσης ή του στρώματος αναμίξεως. Βασική προϋπόθεση για τη σωστή εφαρμογή τους είναι ο όσο το δυνατόν ακριβέστερος υπολογισμός των θερμοκρασιακών προφίλ και των υδρολογικών συνθηκών. Τα μαθηματικά μοντέλα ποιοτικής κατάστασης των λιμνών περιλαμβάνουν μεγάλη γκάμα. Υπάρχουν πολύ απλά μοντέλα, που καλύπτουν απλές εμπειρικές και στατιστικές διαδικασίες, μέχρι πολύπλοκα μοντέλα δυναμικής προσομοίωσης. Αυτά ενσωματώνουν την ταυτόχρονη μαθηματική περιγραφή του συνόλου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο υδάτινο μέσο. (Γιαννίου Σ. 2009)

Τα μαθηματικά μοντέλα ποιοτικής κατάστασης των λιμνών διαφοροποιούνται ως προς τον αριθμό και το είδος των ποιοτικών μεταβλητών, τη χωροχρονική ικανότητα διακριτοποίησης των αποτελεσμάτων τους, την έκταση των λεπτομερειών των υδρολογικών και ποιοτικών διαδικασιών, το είδος και το μέγεθος των δεδομένων για μια ειδική εφαρμογή, την ευκολία εφαρμογής, την τεκμηρίωση και την χρησιμότητα (Αντωνόπουλος, 2003). Επιπλέον κάποια μπορούν να εφαρμοστούν μόνο στη λίμνη για την οποία αναπτύχθηκαν, ενώ άλλα έχουν ευρεία εφαρμογή.

Από την περασμένη δεκαετία στο πεδίο των μοντέλων προσομοίωσης ποιοτικής κατάστασης λιμνών, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συνένωση των φυσικών (υδροδυναμικών) με τα βιολογικά μοντέλα, ο δε βαθμός πολυπλοκότητας των περιγραφόμενων διαδικασιών ποικίλει σημαντικά από μοντέλο σε μοντέλο. Ενδεικτικά ο Thébault (2004) παρουσίασε το μοντέλο ASTER2000 που χρησιμεύει στην εκτίμηση της τροφικής και ποιοτικής κατάστασης των ταμιευτήρων. Οι ποιοτικές παράμετροι που περιγράφονται είναι δύο ομάδες φυτοπλαγκτόν, μία ζωοπλαγκτόν, ο βιο-διαθέσιμος φωσφόρος, το αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο, το διαλυμένο οξυγόνο και το πυρίτιο.

Οι Arhonditsis and Brett (2005) δημιούργησαν ένα σύνθετο μοντέλο ευτροφισμού για την προσομοίωση της δυναμικής των πλαγκτονικών οργανισμών στη λίμνη Washington των ΗΠΑ και τον έλεγχο εναλλακτικών



διαχειριστικών σεναρίων. Το μοντέλο περιγράφει τους κύκλους διαφόρων στοιχείων (οργανικός άνθρακας, άζωτο, φωσφόρος, πυρίτιο, οξυγόνο), τρεις ομάδες φυτοπλαγκτόν και δύο ζωοπλαγκτόν και λαμβάνει υπόψη τις πρόσφατες εξελίξεις στη θεωρία της στοιχειομετρίας των θρεπτικών στοιχείων. Η φυσική δομή του μοντέλου είναι απλή. Η λίμνη χωρίζεται σε δύο τμήματα το επιλίμνιο και το υπολίμνιο. (Γιαννίου, 2009)

Τα τελευταία χρόνια προς διευκόλυνση ερευνητών και επιστημόνων αναπτύχθηκαν πολύ-παραμετρικά μοντέλα, που προσαρμόζονται σε περιβάλλον Windows και διατίθενται με μορφή λογισμικού είτε ελεύθερα, είτε επί πληρωμή.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην προσομοίωση της ποιοτικής κατάστασης των λιμνών με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων αφορούν στη δημιουργία μοντέλων δυναμικής δομής (Structurally Dynamic Models). Σε αυτά τα μοντέλα οι τιμές των παραμέτρων μεταβάλλονται διαρκώς μέσω μιας τεχνικής βελτιστοποίησης, ο στόχος της οποίας καθορίζεται από τη θερμοδυναμική κατάσταση του συστήματος (Jørgensen 1999, Jørgensen et al. 2002, Zhang et al. 2003, Zhang et al. 2004). (Γιαννίου, 2009).

Η έρευνα συνεχίζεται και στο πεδίο των μοντέλων πρόβλεψης της θερμοκρασιακής κατανομής με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στις υδροδυναμικές συνθήκες της λίμνης, στον προσδιορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων όπως για παράδειγμα του διαλυμένου οξυγόνου, της πρωτογενούς παραγωγικότητας και της χλωροφύλλης. Επιπλέον μελετάται η επίδραση που έχουν οι κλιματολογικές συνθήκες στην κατανομή της θερμοκρασίας-στη θερμοκρασιακή στρωμάτωση.

Άλλες ενδιαφέρουσες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη μελέτη προβλημάτων ευτροφισμού των λιμνών είναι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και οι δορυφορικές εικόνες(για τη μελέτη τόσο της θερμοκρασίας, όσο και άλλων ποιοτικών χαρακτηριστικών των λιμνών, τα νευρωνικά δίκτυα και η μέθοδος Monte Carlo (Hongring and Yong, 2003)

Συνοψίζοντας διαπιστώνουμε ότι για τη μελέτη της ποιοτικής κατάστασης των λιμνών έχουν προταθεί μαθηματικά μοντέλα, που ποικίλουν από πολύ απλά, έως πολύ σύνθετα. Τα πολύπλοκα μοντέλα περιγράφουν καλύτερα το φυσικό πρόβλημα, υστερούν όμως στο γεγονός ότι σε αυτά υπεισέρχονται πολλές παράμετροι, που πρέπει να προσδιοριστούν. (Γιαννίου, 2009). Το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένα γενικό οικολογικό μοντέλο ικανό να περιγράψει με λεπτομέρεια τις πραγματικές και σύνθετες διεργασίες που παρατηρούνται σε ένα λιμναίο οικοσύστημα καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη νέων μαθηματικών μοντέλων για τη μελέτη της ποιοτικής κατάστασης των λιμνών - επιφανειακών υδάτων

5.2.2.2 Μοντέλα Ποιότητας Λιμνών κατηγοριοποίηση

5.2.2.2.1 Γενικά

Για την ευκολότερη μελέτη των μοντέλων ποιότητας των λιμναίων οικοσυστημάτων παρατίθεται η κατηγοριοποίηση των μοντέλων ποιότητας υδατικών συστημάτων, που προτείνεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος της πολιτείας της British Columbia στον Καναδά (WATER QUALITY BRANCH ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT MINISTRY OF ENVIRONMENT, 1995). Τα λιμναία οικοσυστήματα ανήκουν στα υδατικά οικοσυστήματα. Επομένως τα μοντέλα ποιότητας τους συμπεριλαμβάνονται στην ευρύτερη ομάδα των μοντέλων ποιότητας υδατικών συστημάτων.



5.2.2.2 Ταξινόμηση των μοντέλων ποιότητας νερού

Τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι κατά βάση μαθηματικά. Ένα μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει μια εξίσωση, ή ένα σύνολο εξισώσεων, το οποίο συσχετίζει τις μεταβλητές εισόδου (x_i) με τις εξαρτημένες από αυτές μεταβλητές (y_i). Ειδικότερα οι τιμές (y_i) υπολογίζονται βάσει των τιμών (x_i).

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος της πολιτείας της British Columbia τα μοντέλα ποιότητας νερού κατηγοριοποιούνται ως εξής

1. Εμπειρικά ή μηχανιστικά.

Προκύπτουν από την ανάλυση μιας σειράς δεδομένων. Για την ανάπτυξη τους δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα διαθέσιμα δεδομένα έναντι των θεωρητικών αρχών. Τα μηχανιστικά πρότυπα, λειτουργούν ως μαθηματικές περιγραφές των θεωρητικών αρχών.

Γενικά όλα τα μοντέλα έχουν τόσο εμπειρικά όσο και μηχανιστικά γνωρίσματα, η δε κατηγοριοποίηση τους γίνεται με κριτήριο το αν ο χαρακτήρας τους είναι έχουν περισσότερο εμπειρικό ή θεωρητικό χαρακτήρα.

2. Μοντέλα Προσομοίωσης ή βελτιστοποίησης.

Τα Μοντέλα προσομοίωσης σχεδιάζονται για να αναπαραστήσουν τη λειτουργία ενός συστήματος. Τα δε Μοντέλα βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η βέλτιστη λύση (ελάχιστη ή μέγιστη τιμή) πχ μιας εξεταζόμενης παραμέτρου. Ο σχεδιασμός και των δύο μοντέλων λαμβάνει υπόψη μια σειρά παραγόντων όπως το κόστος, η ποιότητα του περιβάλλοντος κλπ.

Κατά κανόνα τα Μοντέλα Προσομοίωσης, βελτιστοποίησης είναι συμβατά με το λειτουργικό περιβάλλον των Η/Υ. Έτσι απλοποιείται η χρήση τους για ερευνητικούς σκοπούς

3. Στατικά ή δυναμικά Μοντέλα

Τα στατικά ή μοντέλα κατάστασης περιγράφουν ένα υδατικό σύστημα του οποίου η ποιοτική κατάσταση είναι σταθερή με την πάροδο του χρόνου, είναι δηλαδή χρονικά ανεξάρτητη. Το αντίθετο ισχύει στα δυναμικά μοντέλα.

4. Μοντέλα Ενιαίας ή κατανεμημένης παραμέτρου (Lumped parameter or distributed parameter)

Πρόκειται για μοντέλα που λαμβάνουν ή δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη χωρική μεταβολή των χαρακτηριστικών του υδατικού συστήματος. Στα ενιαίας παραμέτρου μοντέλα θεωρούνται ότι επικρατούν ομοιόμορφες συνθήκες σε όλο το μελετώμενο σύστημα. Ένα παράδειγμα είναι ο υπό συνεχή ανάδευση αντιδραστήρας (CSTR) που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η συγκέντρωση ενός ρύπου συναρτήσει του χρόνου.

Αντίθετα, τα μοντέλα κατανεμημένης παραμέτρου, αναπτύσσονται για να περιγράψουν συστήματα των οποίων οι τιμές των παραμέτρων μεταβάλλονται χωρικά και δεν είναι ομοιόμορφες σε όλη την έκταση τους. Για παράδειγμα ένα τέτοιο πρότυπο θα μπορούσε χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τη συγκέντρωση- κατανομή του οξυγόνου σε μια στρωματωμένη λίμνη. Τα Μοντέλα κατανεμημένης παραμέτρου διακρίνονται στα μονοδιάστατα, στα διδιάστατα τρισδιάστατα. Τα μονοδιάστατα θεωρούνται τα απλούστερα. Στα πλαίσια τους μελετάται είτε η κατακόρυφος είτε η διαμήκη συμπεριφορά ενός υδατικού συστήματος. Στα διδιάστατα μελετάται η διαμήκη μεταβολή των παραμέτρων του υδατικού συστήματος σε συνδυασμό είτε με την εγκάρσια είτε με τη κατά βάθος μεταβολή. Τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι τα πιο σύνθετα. Εκτιμούν τη μεταβολή των παραμέτρων του υδατικού συστήματος μελετώντας τη μετακίνηση του νερού και ως προς τις τρεις (3)



διαστάσεις. Τα διαθέσιμα δεδομένα και ο επιδιωκόμενος στόχος καθορίζουν την επιλογή είτε του μονοδιάστατου είτε του 2σδιάστατου είτε του 3σδιάστατου μοντέλου.

5. Αιτιοκρατικά-Ντετερμινιστικά και Στοχαστικά – πιθανολογικά Μοντέλα .

Ως Αιτιοκρατικό ή Ντετερμινιστικό καλείται το μοντέλο χωρίς πιθανοτικά (τυχαία) τμήματα, που είναι ικανό να προσομοιώσει το μετασχηματισμό των εισόδων σε εξόδους. Στα ντετερμινιστικά μοντέλα η είσοδος είναι καθορισμένη με συνέπεια η εκτιμώμενη τιμή εξόδου να είναι αντιστοίχως καθορισμένη.

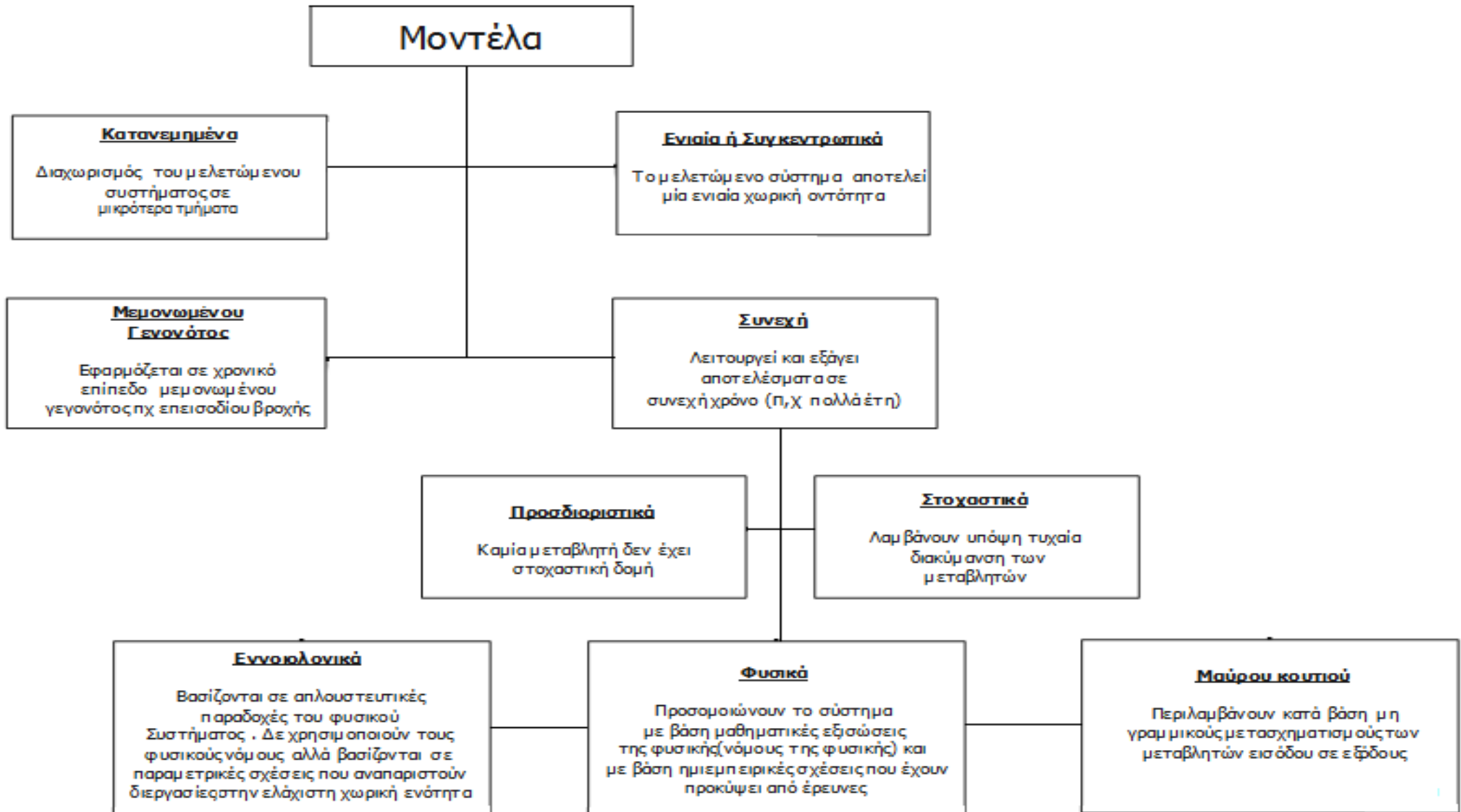
Γενικά στο ντετερμινιστικό μοντέλο όλες οι μη ελεγχόμενες μεταβλητές είναι γνωστές και δεν αποκλίνουν. Έτσι λοιπόν οι τιμές των μεταβλητών εισόδου είναι γνωστές, δεν αποκλίνουν και χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο, για τον υπολογισμό των τιμών εξόδου. Τα αποτελέσματα επίλυσης των εξισώσεων, δηλαδή οι τιμές εξόδου είναι ελεγχόμενες-αναμενόμενες.

Στα πιθανολογικά πρότυπα υπάρχει τουλάχιστον μία μη ελεγχόμενη μεταβλητή, που υπόκειται σε τυχαία διακύμανση.

6. Cross-sectional και longitudinal. Τα Cross-sectional

Είναι κυρίως εμπειρικά και μελετούν όχι μεμονωμένα υδατικά συστήματα αλλά αντιπροσωπευτικά δείγματα ομοειδών συστημάτων πχ ποιοτικά ομοειδής λίμνες. Τα longitudinal εφαρμόζονται σε μεμονωμένα συστήματα , σε μεμονωμένες cases και είναι είτε εμπειρικά είτε μηχανιστικά.

Εναλλακτικά εξετάζεται η δυνατότητα της Διάκριση των μοντέλων υδατικών συστημάτων βάσει της υπεισερχόμενης χρονικής και χωρικής κλίμακας αλλά και της μαθηματική δομή τους. Η εν λόγω κατηγοριοποίηση εφαρμόζεται στα υδρολογικά μοντέλα. Στα Υδρολογικά μοντέλα εκτελούνται Μαθηματικοί μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου (υδρολογικά, γεωμορφολογικά, κτλ.) και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους μηχανισμούς του υδρολογικού κύκλου, με σκοπό την αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών, σε κατάλληλη χωρική και χρονική κλίμακα.



Σχήμα 5 Διάκριση μοντέλων υδατικών συστημάτων βάσει της χρονικής, χωρικής κλίμακας & της μαθηματική δομή τους



5.2.2.2.3 Κριτήρια επιλογής των μοντέλων

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τα μοντέλα προκειμένου να εκτιμήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ρυπαντικών φορτίων σε υδατικά συστήματα. Επιπλέον τα μοντέλα βοηθούν στο να γίνει κατανοητή η συσχέτιση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Η αποτελεσματικότητα ενός μοντέλου εξαρτάται από το πόσο καλά αυτό περιγράφει το προς διερεύνηση σύστημα και από την ικανότητα του αναλυτή να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Για να είναι ένα μοντέλο επιτυχημένο πρέπει να έχει επαρκές θεωρητικό υπόβαθρο και πρέπει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό να συμφωνούν με αντίστοιχες πραγματικές μετρήσεις. Δεν υπάρχουν αψεγάδιαστα μοντέλα, πάντα υπάρχει ενδεχόμενο σφάλματος και αβεβαιότητα κατά τη διεξαγωγή των υπολογισμών.

Η διαθεσιμότητα δεδομένων είναι κρίσιμη για την επιτυχή εφαρμογή ενός μοντέλου. Η χρήση βιβλιογραφικών δεδομένων αντί μετρήσεων πεδίου αυξάνει την αβεβαιότητα και την πιθανότητα σφάλματος.

Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

- Ο ερευνητής – χρήστης του μοντέλου να διαθέτει τις απαιτούμενες γνώσεις προκειμένου να το χρησιμοποιήσει με επιτυχία. Πχ αν το μοντέλο απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού ,ο χρήστης θα πρέπει να τις διαθέτει
- Οι προδιαγραφές και σχεδιασμός του μοντέλου θα πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις χωρικής(πχ στρωματοποίηση) και χρονικής διακριτοποίησης (περίοδος προσομοίωσης). Επιπλέον το μοντέλο θα πρέπει να εκτελεί την προσομοίωση όλων των ζητούμενων παραμέτρων
- Επιδιώκεται η ορθή λειτουργία του μοντέλου χωρίς ταυτόχρονα να υπερβαίνετε ο σχετικός προϋπολογισμός. Για παράδειγμα αν δεν επαρκούν τα διαθέσιμα δεδομένα να αντικατασταθεί το παρόν μοντέλο με ένα απλούστερο που απαιτεί λιγότερα δεδομένα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται η διεξαγωγή πρόσθετων μετρήσεων πεδίου, γεγονός που αυξάνει το κόστος εφαρμογής του.
- Το μοντέλο θα πρέπει να είναι επαρκώς πιστοποιημένο και βαθμονομημένο
- Διασφάλιση της Επιστημονική Εγκυρότητας & Αξιοπιστίας του μοντέλου. Έλεγχος των επιδόσεων του κατά το παρελθόν
- Οι παραδοχές του μοντέλου θα πρέπει να είναι συμβατές με το προς μελέτη υδατικό οικοσύστημα
- Στους υπολογισμούς του μοντέλου απαιτείται η συνεκτίμηση της υπεισερχόμενης αβεβαιότητας
- Συνίσταται η επιλογή του απλούστερου δυνατού μοντέλου. Τα σύνθετα μοντέλα είναι πιο δύσκολα στην εφαρμογή τους και τα αποτελέσματα τους εμπεριέχουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα

Ακολουθεί η παρουσίαση του μοντέλου ποιότητας Λιμνών " ευτροφισμού – διαλυμένου Οξυγόνου, που εφαρμόζεται στα πλαίσια της μελέτης του Ταμιευτήρα Υλικής και Πλαστήρα



5.3 Μαθηματικό Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου

5.3.1 Γενική δομή μοντέλου

Το μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου είναι κατάλληλο για την εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης μιας λίμνης, για αυτό και θα εφαρμοστεί στα πλαίσια της προσομοίωσης των εξεταζόμενων Λιμνών.

Το μοντέλο βασίζεται στις διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο μελετώμενο σύστημα. Κάθε χημική ή βιολογική μεταβλητή που υπεισέρχεται στις παραπάνω διαδικασίες περιγράφεται με κατάλληλες εξισώσεις συνέχειας. (Νουτσόπουλος, 2012d)

Η λειτουργία του μοντέλου διαμορφώθηκε με βάση τις αρχές διατήρησης και συνέχειας της μάζας και διακρίνει δυο βασικές κατηγορίες διαδικασιών. Η πρώτη συσχετίζεται με μεταβολές συγκεντρώσεων των υπεισερχόμενων μεταβλητών σε ένα κλειστό σύστημα, λόγω διαταραχής μιας κατάστασης ισορροπίας. Η ταχύτητα των μεταβολών μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια κινητικών εξισώσεων που εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις, τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η δεύτερη κατηγορία συσχετίζεται με μεταβολές στις συγκεντρώσεις των υπεισερχόμενων μεταβλητών λόγω φαινομένων μεταφοράς ύλης (μεταγωγή, διασπορά, καθίζηση). Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση συνέχειας εκφράζεται ως εξής :

Συσσώρευση		Καθαρή είσοδος		Καθαρή είσοδος		Μεταβολή
μάζας	=	μάζας λόγω	+	μάζας λόγω	+	μάζας λόγω
		μεταγωγής		διασποράς		αντιδράσεων
						και καθίζησης

(1)

και με μαθηματική μορφή :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla E \nabla C - \nabla V C \pm r \quad (2)$$

C = συγκέντρωση (g/m³)

t = χρόνος (days)

E = συντελεστής διασποράς (m²/day)

V = ταχύτητα (m/day)

r = μεταβολή λόγω αντιδράσεων ή καθίζησης (g/m³/day)



Η άμεση επίλυση της εξίσωσης (2) σε φυσικά υδάτινα συστήματα είναι συνήθως αδύνατη. Η επίλυση διευκολύνεται με τη θεώρηση του συνεχούς υδάτινου μέσου ως δικτύου πεπερασμένων στοιχείων πλήρους μίξης, γεγονός που έχει ως συνέπεια τη δυνατότητα μετατροπής των μερικών διαφορικών εξισώσεων σε αλγεβρικές ή απλές διαφορικές εξισώσεις. Στη μορφή αυτή η εξίσωση συνέχειας για κάθε στοιχείο μπορεί να γραφτεί ως εξής :

$$V_k \frac{dC_k}{dt} = \sum \left| - Q_{kj} (a_{kj} C_k + \beta_{kj} C_j) + E'_{kj} (C_j - C_k) \right| \pm r_k \pm w_k \quad (3)$$

C_k = συγκέντρωση στο στοιχείο k (g/m^3)

C_j = συγκέντρωση στο στοιχείο j σε επαφή με το στοιχείο k (g/m^3)

V_k = όγκος στοιχείου k (m^3)

Q_{kj} = καθαρή είσοδος λόγω μεταγωγής από στοιχείο k στο j (m^3/day)

a_{kj} = συντελεστής (αδιάστατος)

$\beta_{kj} = 1 - a_{kj}$

E_{kj} = συντελεστής διασποράς (m^2/day)

A_{kj} = επιφάνεια διατομής μεταξύ k και j (m^2)

$E'_{kj} = E_{kj} A_{kj}/L_{kj}$ (m^3/day)

L_k = μήκος στοιχείου k (m)

L_j = μήκος στοιχείου j (m)

r_k = ταχύτητα μεταβολής (m/day)

w_k = φόρτιση στοιχείου k (g/day)

$L_{kj} = (L_k + L_j)/2$ (m)

Η μεθοδολογία αυτή οδηγεί σε ένα σύστημα εξισώσεων που περιγράφει τη μεταφορά και τις αντιδράσεις κάθε ρύπου σε ένα στοιχείο πλήρους μίξης. Ο τρόπος επίλυσης εξαρτάται τόσο από τη μορφή των κινητικών εξισώσεων όσο και από το εάν απαιτείται επίλυση για μόνιμες ή δυναμικές συνθήκες. Για τη δεύτερη περίπτωση είναι αναγκαία η αριθμητική ολοκλήρωση.

5.3.2 Χωρική διακριτοποίηση – Υδροδυναμικά δεδομένα.

Η επιλογή του αριθμού των στοιχείων πλήρους μίξης εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αποδέκτη, την πυκνότητα και τη διάταξη των σταθμών δειγματοληψίας και τη φύση των ποιοτικών παραμέτρων που προσομοιώνονται. (Νουτσόπουλος, 2012d)

Όσον αφορά τη φύση των ποιοτικών παραμέτρων, θα πρέπει να επισημανθεί ότι το μοντέλο είναι ένα ποιοτικό μοντέλο ευτροφισμού-διαλυμένου οξυγόνου και κατά συνέπεια αρκεί η εκτίμηση χωρικά μέσων ποιοτικών δεικτών για σχετικά μεγάλα τμήματα του υδάτινου σώματος. Ένα πρόσθετο στοιχείο που πρέπει



να ληφθεί υπόψη είναι η θερμοκρασιακή στρωμάτωση του αποδέκτη κατά τη θερινή και μέρους της εαρινής και φθινοπωρινής περιόδου.

Η εκτίμηση των παροχών προς και από κάθε στοιχείο πλήρους μίξης του ποιοτικού μοντέλου γίνεται με βάση τα πεδία ταχυτήτων που προκύπτουν από ρευματομετρήσεις και τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής προσομοίωσης της περιοχής μελέτης. Με βάση τις παραπάνω τιμές παροχών εκτιμάται η συνεισφορά της μεταγωγής. Για τον προσδιορισμό της μεταγωγικής συνεισφοράς της διάχυσης θα πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές των συντελεστών διασποράς E_{kj} . Οι συντελεστές αυτοί συχνά θεωρούνται ίδιοι για όλο το γεωμετρικό πεδίο.

Το ποιοτικό μοντέλο είναι σε θέση να εκτιμήσει ρεαλιστικά για σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα τις μέσες, ελάχιστες και μέγιστες τιμές των υπεισερχόμενων μεταβλητών. Οι μέσες τιμές και το διάστημα διακύμανσης των ποιοτικών παραμέτρων είναι απόλυτα επαρκείς για μία ικανοποιητική εκτίμηση των επιπτώσεων στην ποιοτική κατάσταση του υδατικού συστήματος.

5.3.3 Δομή του μοντέλου ως προς τις διεργασίες.

Για την επίλυση των εξισώσεων (3), εκτός των μεταγωγικών όρων και των όρων διασποράς, είναι απαραίτητη η έκφραση των διεργασιών που επιτελούνται. Οι ρύποι και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι το φυτοπλαγκτόν (σε όρους χλωροφύλλης), το αμμωνιακό και οξειδωμένο άζωτο (NH και NO αντίστοιχα), ο φώσφορος (P), ο οργανικός άνθρακας (C), το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και η διαφάνεια (σε όρους μέτρων Secchi Disk, SD).

5.3.3.1 Φυτοπλαγκτόν

Το φυτοπλαγκτόν χαρακτηρίζει το σύνολο των αλγών και εκφράζεται σε όρους χλωροφύλλης. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης εξαρτάται κυρίως από τους μηχανισμούς ανάπτυξης, ενδογενούς αναπνοής, θανάτου και καθίζησης. Λαμβάνοντας υπόψη και τα φαινόμενα μεταφοράς, η εξίσωση (3) για τη χλωροφύλλη μπορεί να διατυπωθεί ως εξής (Νουτσόπουλος, 2012d):

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum \left[-Q_{kj}(a_{kj}A_k + \beta_{kj}A_j) + E'_{kj}(A_j - A_k) \right] + \mu\mu A - K_{dA}A_k + R_A A_k - K_{SA}A_k + W_A A_k \quad (4)$$

A_k, A_j = οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης στα στοιχεία k και j ($g/(m^3)$)

Q_{kj} = η παροχή από το στοιχείο k στο j (m^3/day)

$a_{kj} = 1$ για $Q_{kj} > 0$ και 0 για $Q_{kj} < 0$

$\beta_{kj} = 0$ για $Q_{kj} > 0$ και 1 για $Q_{kj} < 0$

V_k = όγκος στοιχείου k (m^3)



E'_{kj} = (όπως ορίζεται στην εξίσωση 3)

μ = συντελεστής ταχύτητας ανάπτυξης (day^{-1})

K_{dA} = συντελεστής ταχύτητας θανάτου (day^{-1})

RA = συντελεστής ταχύτητας ενδογενούς αναπνοής (day^{-1})

K_{SA} = συντελεστής ταχύτητας καθίζησης (day^{-1})

W_{AK} = εξωτερική είσοδος χλωροφύλλης στο στοιχείο k (g/day)

Η ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και τα θρεπτικά συστατικά N, P. Μια πολλαπλή σχέση Monod είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη για την περιγραφή της επίδρασης των θρεπτικών.

Έτσι προκύπτει ότι:

$$\mu = \mu_{\max} f(T) f(I) \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P} \quad (5)$$

Η επίδραση της θερμοκρασίας περιγράφεται από τη σχέση :

$$\mu_{\max(T)} = \mu_{\max(20)} A_1^{(T-20)} \quad (6)$$

$\mu_{\max(T)}$ = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης σε $T^\circ\text{C}(\text{day}^{-1})$

$\mu_{\max(20)}$ = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης σε $20^\circ\text{C}(\text{day}^{-1})$

A_1 = θερμοκρασιακός συντελεστής αδιάστατος

T = θερμοκρασία $^\circ\text{C}$

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης είναι άμεση. Αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας που δέχονται τα κύτταρα προκαλεί εντονότερα φαινόμενα φωτοσύνθεσης και αντίστροφα. Αύξηση της ακτινοβολίας πέραν κάποιας οριακής τιμής, I_s , έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης λόγω αναχαίτισης. Η αναχαίτιση οφείλεται σε καταστροφές στη δομή του παραλήπτη της ακτινοβολίας, δηλαδή της χλωροφύλλης, λόγω της μεγάλης έντασης της εισερχόμενης ακτινοβολίας και μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση

$$\mu = \mu_{\max} \frac{I}{I_s} e^{-\frac{I}{I_s} + 1} \quad (7)$$



Η ακτινοβολία I την οποία δέχονται τα άλγη είναι μικρότερη από την ακτινοβολία I_0 που προσπίπτει στην επιφάνεια, λόγω μείωσης της κατά τη δίοδο της από την υδατινή μάζα. Η ακτινοβολία I_H σε βάθος H , , σχετίζεται με την ακτινοβολία στην επιφάνεια I_0 , μέσω της σχέσης :

$$I_H = I_0 e^{-KH} \quad (8)$$

H το βάθος (μέτρα)

K = συντελεστής απορρόφησης ακτινοβολίας (μέτρα⁻¹)

Η σταθερά απόσβεσης K μπορεί να αναλυθεί σε δύο επί μέρους συνιστώσες :

$$K = KW + KA \times A \quad (9)$$

KW = η σταθερά απόσβεσης λόγω του νερού και των αιωρούμενων σ' αυτό στερεών (μέτρα⁻¹)

KA = η σταθερά απόσβεσης που οφείλεται στη συγκέντρωση της χλωροφύλλης (1/mg.μέτρο)

Για να περιγραφεί η ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν που βρίσκεται σε ένα στρώμα νερού βάθους H , είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση της σχέσης (7) ως προς το βάθος (μεταβαλλόμενο I). Από την ολοκλήρωση προκύπτει η σχέση :

$$\mu = \mu_{\max} \frac{e}{HK} (e^{a_1} - e^{a_0}) \quad (10)$$

$$a_1 = -\frac{I_0}{I_s} e^{-KH} \quad (11)$$

$$a_0 = -\frac{I_0}{I_s} \quad (12)$$

Η ένταση της ακτινοβολίας I_0 παρουσιάζει έντονη διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ένας συνήθης τρόπος αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου συνίσταται στη χρησιμοποίηση της μέσης ημερήσιας έντασης ακτινοβολίας $\overline{I_0}$ με ταυτόχρονη χρήση της φωτοπεριόδου F (κλάσμα ημέρας), όποτε οι σχέσεις (10)-(12) γράφονται :

$$\mu = \mu_{\max} \frac{Fe}{HK} (e^{a_1} - e^{a_0}) \quad (13)$$

$$a_1 = -\frac{\overline{I_0}}{I_s} e^{-KH} \quad (14)$$



$$a_0 = -\frac{\overline{I_0}}{I_s} \quad (15)$$

$$\mu = \mu_{\max(20)} A_1^{(T-20)} \frac{Fe}{HK} (e^{a_1} - e^{a_0}) \frac{N}{K_N + N} \frac{P}{K_P + P} \quad (16)$$

Η μείωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης θεωρείται ότι επέρχεται με τρεις μηχανισμούς: την ενδογενή αναπνοή, τον θάνατο και την καθίζηση.

Η ταχύτητα ενδογενούς αναπνοής RA αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$RA = R_{A0} + A_2 T \quad (17)$$

Η ταχύτητα θανάτου εξαρτάται και αυτή από τη θερμοκρασία. Η εκθετική σχέση που περιγράφει τη συσχέτιση τους έχει τη μορφή :

$$KdA = KdA_{(20)} A_3^{(T-20)} \quad (18)$$

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο μοντέλο δεν υπεισέρχεται η κατανάλωση του φυτοπλαγκτόν από το ζωοπλαγκτόν. Η παράλειψη αυτή, αν και θεωρητικά είναι αρκετά σημαντική, εν τούτοις μπορεί να αντιμετωπισθεί ικανοποιητικά με θεώρηση αυξημένου τόσο του συντελεστή $KdA_{(20)}$ όσο και του συντελεστή A_3 , όπως θα φανεί κατά την εκτίμηση των παραμέτρων.

Οι απώλειες του φυτοπλαγκτόν λόγω καθίζησης περιγράφονται με τη βοήθεια του συντελεστή KSA, ο οποίος εύκολα αποδεικνύεται ότι συσχετίζεται με την ταχύτητα καθίζησης, με τη βοήθεια της σχέσης :

$$KSA = VA / H \quad (19)$$

VA = ταχύτητα καθίζησης φυτοπλαγκτόν (μέτρα/ημέρα)

H = βάθος (μέτρα)

Συχνά χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός αδιάστατος συντελεστής, FFA, ο οποίος εκφράζει εμπειρικά την εποχιακή μεταβολή της ταχύτητας καθίζησης λόγω διαφορών τύρβης, θερμοκρασίας και μορφολογικών χαρακτηριστικών των κυττάρων που καθιζάνουν.

$$KSA = VA / H \cdot FFA \quad (20)$$



Ο συντελεστής FFA έχει θεωρηθεί προς το παρόν ίσος με τη μονάδα, ελλείψει στοιχείων που θα επέτρεπαν τον προσδιορισμό του. Έχει εν τούτοις ληφθεί υπόψη ένας παράγοντας που επιδρά στην ποσότητα της καθιζάνουσας υλός και που σχετίζεται με το φαινόμενο της επαναιώρησης. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο σε μικρά βάθη. Έτσι έχει προταθεί και χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο η ακόλουθη συσχέτιση της ταχύτητας καθίζησης και του βάθους :

$$V_A = V_{Amax} H / (H+B) \quad (21)$$

όπου B είναι το βάθος (μέτρα) για το οποίο η ταχύτητα καθίζησης γίνεται ίση με το μισό της μεγίστης.

5.3.3.2 Φώσφορος

Ο φώσφορος στο υδάτινο περιβάλλον εμφανίζεται με τη μορφή του οργανικού, ανόργανου φωσφόρου και με σωματιδιακή μορφή. Η ποσοτική κατανομή μεταξύ των διαφόρων μορφών εξαρτάται από τις βιολογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που επιτελούνται. Εσωτερικές πηγές του σωματιδιακού οργανικού φωσφόρου είναι α) τα υπολείμματα της χρήσης του φυτοπλαγκτόν από το ζωπλαγκτόν, β) ο θάνατος του ζωπλαγκτόν και γ) η χρήση του ζωπλαγκτόν από ανώτερους οργανισμούς. (Νουτσόπουλος Κ. , 2012d)

Απώλειες του σωματιδιακού φωσφόρου οφείλονται κυρίως στην καθίζηση και στη μετατροπή του σε διαλυμένο οργανικό φώσφορο. Οι κυριότερες πηγές του διαλυμένου οργανικού φωσφόρου είναι ο θάνατος και η αναπνοή του φυτοπλαγκτόν και η μετατροπή του οργανικού σωματιδιακού φωσφόρου σε διαλυμένο ενώ οι απώλειες συνίστανται στη μετατροπή του σε ανόργανο διαλυμένο φώσφορο.

Ο ανόργανος διαλυμένος φώσφορος είναι η μορφή που μπορεί να προσληφθεί από το φυτοπλαγκτόν και προέρχεται κυρίως από τη μετατροπή του οργανικού διαλυμένου σε ανόργανο.

Μία άλλη εσωτερική πηγή φωσφόρου που μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι σημαντική (συνήθως κάτω από ανοξικές συνθήκες) είναι η τροφοδοσία με φώσφορο από τις πυθμενικές αποθέσεις. Το φαινόμενο αυτό περιλαμβάνει διαδικασίες επαναιώρησης του σωματιδιακού φωσφόρου αλλά κυρίως απελευθέρωσης διαλυμένου φωσφόρου με χημικές διαδικασίες. Έχει παρατηρηθεί ότι η μετατροπή του σωματιδιακού οργανικού φωσφόρου σε διαλυμένο οργανικό φώσφορο γίνεται ταχύτατα μέσω μηχανισμών ενζυμικής υδρόλυσης. Το γεγονός αυτό καθιστά την υδρόλυση μη κρίσιμη διαδικασία που μπορεί να παραλειφθεί κατά τη μαθηματική προσομοίωση.

Θεωρούνται κατά συνέπεια δύο μορφές φωσφόρου, οργανικός και ανόργανος φώσφορος.

Η τροφοδότηση με οργανικό φώσφορο λόγω θανάτου και ενδογενούς αναπνοής του φυτοπλαγκτόν μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση :

$$\frac{dOP}{dt} = (K_{dA} + R_A) A Y_1 \quad (22)$$



OP = συγκέντρωση οργανικού φωσφόρου (mg/l)

KdA,RA = συντελεστές ταχυτήτων θανάτου και ενδογενούς αναπνοής φυτοπλαγκτόν ($\eta\mu^{-1}$)
Επισημαίνεται ότι η αυξημένη τιμή του KdA επιτρέπει την προσμέτρηση του φωσφόρου που παράγεται από το ζωπλαγκτόν

A = συγκέντρωση χλωροφύλλης (mg/l)

Y1 = περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε φώσφορο (mgP/mg χλωροφύλλης)

Οι απώλειες του οργανικού φωσφόρου οφείλονται στη μετατροπή του σε ανόργανη μορφή και στην καθίζηση. Οι δύο αυτές διαδικασίες μπορούν να περιγραφθούν από τη σχέση :

$$\frac{dOP}{dt} = -R_p OP \quad (25)$$

RP = συντελεστής ταχύτητας μετατροπής οργανικού φωσφόρου σε ανόργανο ($\eta\mu^{-1}$)

Ο συντελεστής RP θεωρήθηκε εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία

$$R_p = R_{p0} + A_5 T \quad (26)$$

R_{p0} = τιμή του συντελεστή για T = °C ($\eta\mu^{-1}$)

T = θερμοκρασία °C

A₅ = θερμοκρασιακός συντελεστής

Ο συντελεστής ταχύτητας καθίζησης KSP σε αναλογία με τον συντελεστή καθίζησης φυτοπλαγκτόν KSA μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση :

$$KSP = VP_{max} / (H+B) \quad (27)$$

Η συνολική δίαιτα του οργανικού φωσφόρου προκύπτει με εφαρμογή της εξίσωσης (3):

$$\frac{dOP_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j \left[-Q_{kj} (a_{kj} OP_k + \beta_{kj} OP_j) + E'_{kj} (OP_j - OP_k) \right] + (K_{dA} + R_A) A_k Y_1 - (R_p + K_{SP}) OP_k + W_{OP_k} \quad (4.28)$$

W_{OP_k} = εξωτερική είσοδος οργανικού φώσφορου στο στοιχείο k (g/day)

Η εσωτερική τροφοδότηση με ανόργανο φώσφορο οφείλεται στη μετατροπή του οργανικού σε ανόργανο φώσφορο και στην τροφοδότηση με ανόργανο φώσφορο από τις πυθμενικές αποθέσεις. Η πρώτη διαδικασία, δίνεται από την εξίσωση (25). Η δεύτερη διαδικασία περιγράφεται με την ακόλουθη απλή έκφραση :

$$\frac{dIP}{dt} = KRPE / V \quad (29)$$



IP = συγκέντρωση ανόργανου φωσφόρου (mg/l)

KRP = συντελεστής τροφοδότησης (mg/ημ/m²)

E = επιφάνεια πυθμένα (m²)

V= όγκος υδάτινου σώματος (m³)

Οι απώλειες του ανόργανου φωσφόρου οφείλονται στην πρόσληψη του από το φυτοπλαγκτόν. Η διαδικασία πρόσληψης περιγράφεται από τη σχέση (30):

$$\frac{dIP}{dt} = \mu Y_1 A \quad (30)$$

Η δίαιτα του ανόργανου φωσφόρου μπορεί να περιγραφεί ως εξής :

$$\frac{dIP_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum \left[-Q_{kj} (a_{kj} IP_k + \beta_{kj} IP_j) + E'_{kj} (IP_j - IP_k) \right] + R_{PO} P_k + K_{RP} E/V - \mu A_k Y_1 + W_{IP_k} \quad (31)$$

W_{IP_k} = εξωτερική είσοδος ανόργανου φώσφορου στο στοιχείο k (g/day)

5.3.3.3 Άζωτο

Το άζωτο εμφανίζεται κατά κύριο λόγο ως οργανικό, αμμωνιακό και οξειδωμένο (νιτρώδη και νιτρικά) άζωτο με ποσοτική κατανομή που εξαρτάται από τις διεργασίες και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Γενικά θεωρείται επαρκής η θεώρηση δύο μόνο μορφών αζώτου, του αμμωνιακού αζώτου και των νιτρικών. Η απλούστευση αυτή βασίζεται επίσης στο γεγονός ότι η διαδικασία της αμμωνιοποίησης γίνεται κατά κανόνα με σημαντικά ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με τις άλλες διεργασίες καθώς επίσης και στο γεγονός ότι τα επεξεργασμένα λύματα (μετά από καθίζηση και πολύ περισσότερο μετά από βιολογική επεξεργασία) περιέχουν το άζωτο σε ανόργανη κυρίως μορφή (NH_4, NO_3).

Εσωτερικές πηγές αμμωνιακού αζώτου κανονικά δεν υπάρχουν, δεδομένου ότι τα περιττώματα του ζωοπλαγκτόν καθώς και ο θάνατος τόσο του ζωοπλαγκτόν όσο και του φυτοπλαγκτόν δημιουργούν οργανικό άζωτο. Επειδή όμως για τους λόγους που προαναφέρθηκαν δεν χρησιμοποιείται εξίσωση ισορροπίας για το οργανικό άζωτο στη φάση αυτή θεωρείται ότι οι παραπάνω διεργασίες συνεισφέρουν στην δημιουργία αμμωνιακού αζώτου, κάτι που οπωσδήποτε στην πραγματικότητα γίνεται έμμεσα με την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου. Η συνεισφορά του ζωοπλαγκτόν, όπως και στην περίπτωση του φωσφόρου, εμπεριέχεται στην αυξημένη ταχύτητα θανάτου του φυτοπλαγκτόν. Κατά συνέπεια η δημιουργία αμμωνιακού αζώτου περιγράφεται από τη σχέση :

$$\frac{dNH}{dt} = Y_2 K_{dA} A \quad (32)$$



Y_2 = περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε άζωτο (mg NH/mg χλωροφύλλης)

NH = συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου (mg/l)

A = συγκέντρωση χλωροφύλλης (mg/l)

Οι απώλειες του αμμωνιακού αζώτου οφείλονται στις διαδικασίες πρόσληψης κατά τη σύνθεση του φυτοπλαγκτόν και στη νιτροποίηση, δηλαδή τη βιοχημική οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου πρώτα σε νιτρώδη (NO₂) και στη συνέχεια σε νιτρικά (NO₃). Για τις τιμές του pH που επικρατούν, η διαφυγή αμμωνίας στην ατμόσφαιρα είναι αμελητέα.

Η χρησιμοποίηση του αμμωνιακού αζώτου από το φυτοπλαγκτόν εξαρτάται από την ποσοστιαία κατανομή των μορφών του ανόργανου αζώτου και συγκεκριμένα από τον λόγο αμμωνιακού αζώτου προς τα νιτρικά. Έχει προταθεί η χρήση ενός συντελεστή PNH, ο οποίος εξαρτάται από τον παραπάνω λόγο και ο οποίος εκφράζει την προτίμηση των αλγών προς την αμμωνία σε σχέση με την προτίμηση τους προς τα νιτρικά. Η σχέση που δίνει τον συντελεστή PNH είναι η ακόλουθη :

$$PNH = \frac{0.96(NH)}{0.96(NH)+0.04(NO)} \quad (33)$$

PNH = συντελεστής (αδιάστατος)

NH = συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου (mg/l)

NO = συγκέντρωση νιτρικών (mg/l)

Η χρησιμοποίηση του αμμωνιακού αζώτου από το φυτοπλαγκτόν μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$\frac{dNH}{dt} = -\mu Y_2 P_{NH} A \quad (34)$$

Η δεύτερη διαδικασία που συντελεί στη μείωση του αμμωνιακού αζώτου είναι η νιτροποίηση που μπορεί για τις μικρές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στα υδάτινα οικοσυστήματα να περιγραφεί με κινητική πρώτης τάξης :

$$\frac{dNH}{dt} = -R_N NH \quad (35)$$

R_N = συντελεστής της νιτροποίησης

Είναι γνωστό ότι η διαδικασία της νιτροποίησης επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία με την οποία συνεπώς θα πρέπει να συσχετισθεί ο συντελεστής R_N . Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι εκθετικής μορφής :

$$R_N = R_{N(20)} A_6^{(T-20)} \quad (36)$$

Η συνολική δίαιτα του αμμωνιακού αζώτου προκύπτει με εφαρμογή της σχέσης (3).



$$\frac{dNH_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j | -Q_{kj}(a_{kj}NH_k + \beta_{kj}NH_j) + E'_{kj}(NH_j - NH_k) | - \mu Y_2 P_{NH} A_k - R_N NH_k + Y_2 K_{dA} A_k + W_{NH_k} \quad (37)$$

Η εσωτερική δημιουργία νιτρικών οφείλεται στη διαδικασία της νιτροποίησης η οποία περιγράφεται από τη σχέση (35). Οι απώλειες οφείλονται στη χρησιμοποίηση των νιτρικών από το φυτοπλαγκτόν και την απονιτροποίηση. Η μείωση νιτρικών λόγω πρόσληψης από το φυτοπλαγκτόν μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση:

$$\frac{dNO}{dt} = -Y_2 \mu (1 - P_{NH}) A \quad (38)$$

NO = συγκέντρωση νιτρικού αζώτου (mg/l)

Η απονιτροποίηση είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που εξαρτάται από τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (ανοξικές συνθήκες) και την επάρκεια οργανικού άνθρακα και που έχει ως αποτέλεσμα την αναγωγή των νιτρικών σε μοριακό άζωτο και τη διαφυγή του τελευταίου στην ατμόσφαιρα. Συχνά σε μοντέλα ποιότητας υδατινών αποδεκτών χρησιμοποιείται η απλή σχέση

$$\frac{dNO}{dt} = -K_{DN} E / V \quad (39)$$

K_{DN} = συντελεστής απονιτροποίησης (mgN/ημ/m²)

Στο μοντέλο η διαδικασία αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη ($K_{DN} = 0$) και αυτό γιατί στα υδατικά συστήματα που εξετάζονται δεν δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες (με την έννοια της πολύ μικρής μέσης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου).

Με βάση τα παραπάνω και με εφαρμογή της εξίσωσης (3) η δίαιτα του ανόργανου αζώτου μπορεί να περιγραφεί ως εξής :

$$\frac{dNO_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j | -Q_{kj}(a_{kj}NO_k + \beta_{kj}NO_j) + E'_{kj}(NO_j - NO_k) | - Y_2 \mu (1 - P_{NH}) A_k - K_{DN} E / V + R_N NH_k + W_{NO_k} \quad (40)$$

5.3.3.4 Οργανικός Άνθρακας

Ο οργανικός άνθρακας βρίσκεται σε σωματιδιακή ή διαλυμένη μορφή και προέρχεται (εκτός από τις εξωτερικές συνεισφορές) από τον θάνατο του φυτοπλαγκτόν και το θάνατο και τα περιττώματα του ζωοπλαγκτόν. Η μετατροπή του σωματιδιακού άνθρακα σε διαλυμένο γίνεται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα με τη βοήθεια εξωκυτταρικών υδρολυτικών ενζύμων. Για το λόγο αυτό συχνά δεν γίνεται διάκριση μεταξύ σωματιδιακού και διαλυμένου άνθρακα, θεωρείται δε ότι η διεργασία του θανάτου του φυτοπλαγκτόν με την αυξημένη ταχύτητα με την οποία περιγράφεται περιλαμβάνει όλες τις εσωτερικές διαδικασίες παραγωγής άνθρακα που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Επίσης οργανικός άνθρακας (C) παράγεται λόγω τροφοδότησης από πυθμενικές αποθέσεις. (Νουτσόπουλος Κ. , 2012d)



Η απομάκρυνση του C θεωρείται ότι γίνεται με τις διαδικασίες της οξείδωσης και της καθίζησης. Για την τελευταία έχει χρησιμοποιηθεί ο συντελεστής καθίζησης K_{SA} που χρησιμοποιήθηκε για την καθίζηση του φυτοπλαγκτόν. Με εφαρμογή της εξίσωσης (3) η δίαιτα του C περιγράφεται ως εξής :

$$\frac{dC_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j | -Q_{kj}(a_{kj}C_k + \beta_{kj}C_j) + E_{kj}(C_j - C_k) | + Y_3 K_{dA} A_k - (R_L + K_{SA}) C_k + W_{Ck} \quad (41)$$

όπου : C = συγκέντρωση οργανικού άνθρακα

Y_3 = περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε άνθρακα (mg BOD/mg χλωροφύλλης)

R_L = συντελεστής ταχύτητας οξείδωσης του C

Η ταχύτητα διάσπασης του C (για μικρές συγκεντρώσεις του) περιγράφεται ικανοποιητικά με τη βοήθεια κινητικής πρώτης τάξης και με εξάρτηση του συντελεστή διάσπασης από τη θερμοκρασία.

$$R_L = R_{L(20)} A_7^{(T-20)} \quad (42)$$

5.3.3.5 Διαλυμένο οξυγόνο

Η δίαιτα του διαλυμένου οξυγόνου επηρεάζεται θετικά από τη φωτοσύνθεση και την είσοδο οξυγόνου από την ατμόσφαιρα. Αρνητική επίδραση έχουν τα φαινόμενα της οξείδωσης του οργανικού άνθρακα, της νιτροποίησης, της ενδογενούς αναπνοής του φυτοπλαγκτόν και της ζήτησης οξυγόνου των πυθμενικών αποθέσεων. (Νουτσόπουλος Κ. , 2012d)

Η παραγωγή οξυγόνου κατά τη φωτοσύνθεση είναι μία διαδικασία που εξαρτάται από τη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτόν και την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών επηρεάζουν την ταχύτητα σύνθεσης νέου πρωτοπλάσματος φυτοπλαγκτόν, όχι όμως την ταχύτητα παραγωγής οξυγόνου.

Με βάση τα παραπάνω, η παραγωγή οξυγόνου μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά ως εξής:

$$\frac{dDO}{dt} = Y_4 A_k \mu_{\max} \frac{Fe}{HK} | e^{a^1} - e^{a^0} | \quad (43)$$

DO = συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (mg/l)

Y_4 = O_2 ανά μονάδα βάρους χλωροφύλλης (mg O_2 /mg χλωροφύλλης)

Η τροφοδοσία οξυγόνου από την ατμόσφαιρα, σύμφωνα με τη θεωρία των δύο στιβάδων, δίνεται από την εξίσωση :

$$\frac{dDO}{dt} = K_{at} / H (DO_s - DO) \quad (44)$$

K_{at} = σταθερά επαναερισμού μέτρα/ ημέρα

DO_s = συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου (mg/l)



Η ζήτηση οξυγόνου λόγω ενδογενούς αναπνοής των αλγών, νιτροποίησης και οξείδωσης του C, περιγράφεται ως εξής :

$$\frac{dDO}{dt} = -R_L C - 4,5 R_N NH - Y_3 R_A A \quad (45)$$

Ζήτηση οξυγόνου από τις πυθμενικές αποθέσεις υπεισέρχεται με τη βοήθεια της σταθεράς SOD που έχει προκύψει βιβλιογραφικά.

$$\frac{dDO}{dt} = \frac{SOD}{H} \quad (46)$$

όπου SOD = ζήτηση οξυγόνου από τον πυθμένα (gr/m²/ημέρα)

Η συνολική διαίτα για το διαλυμένο οξυγόνο προκύπτει από την εξίσωση (3) :

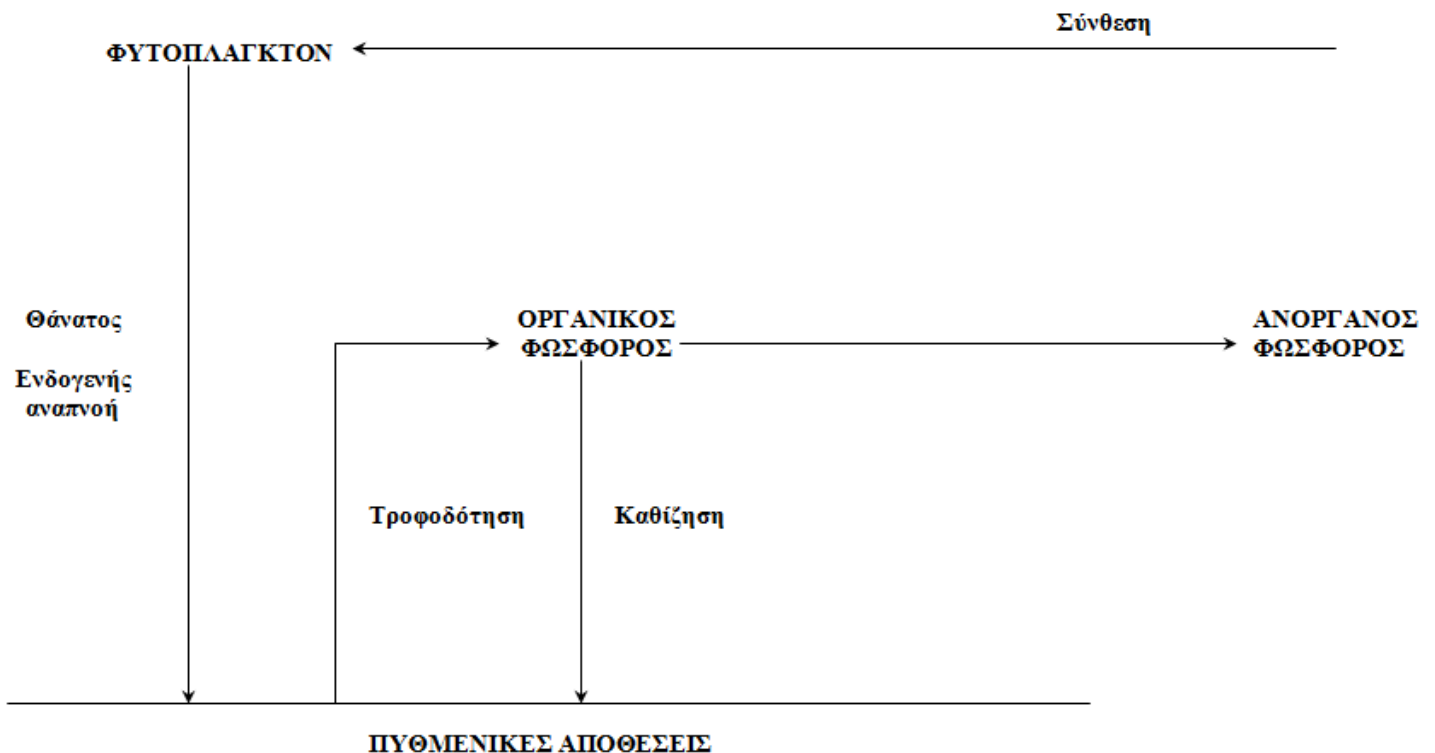
$$\begin{aligned} \frac{dDO_k}{dt} = & \frac{1}{V_k} \sum_j | -Q_{kj} (\alpha_{kj} DO_k + \beta_{kj} DO_j) + E'_{kj} (DO_j - DO_k) | + K_{ατ} / H (DO_s - DO_k) + \\ & + Y_4 A_k \mu_{\max} \frac{Fe}{H_s K} (e^{a1} - e^{a0}) - \frac{SOD_k}{H_s} - R_L C_k - 4,5 R_N NH_k - Y_3 R_A A_k + W_{DOk} \end{aligned} \quad (47)$$

5.3.4 Σχηματική αναπαράσταση της διαίτας - μεταβολής μάζας Chl-a, Φωσφόρου, Αζώτου, Οργανικού Άνθρακα, Διαλυμένου Οξυγόνου

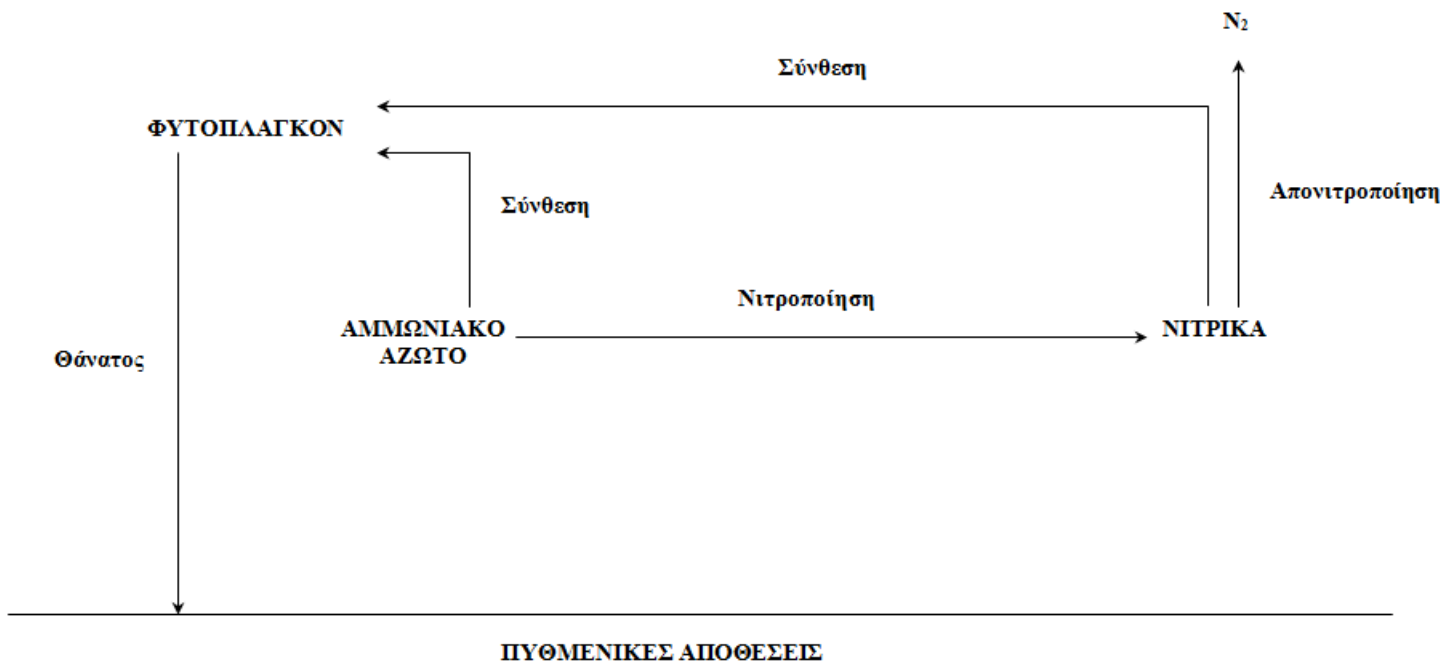
Για την καλύτερη κατανόηση της διαίτας - μεταβολής μάζας Chl-a, Φωσφόρου, Αζώτου, Οργανικού Άνθρακα, Διαλυμένου Οξυγόνου παρατίθεται στη συνέχεια η Σχηματική αναπαράσταση της διαίτας - ισοζυγίου μάζας τους



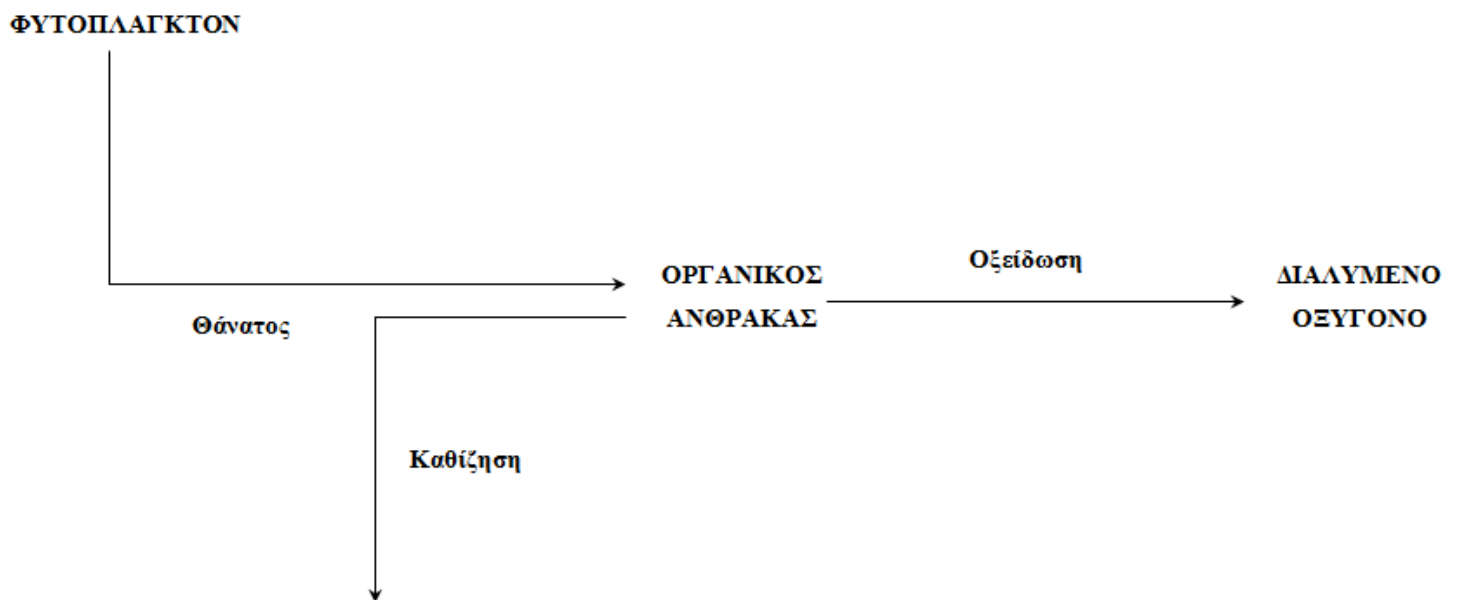
Σχήμα 6 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Φυτοπλαγκτόν



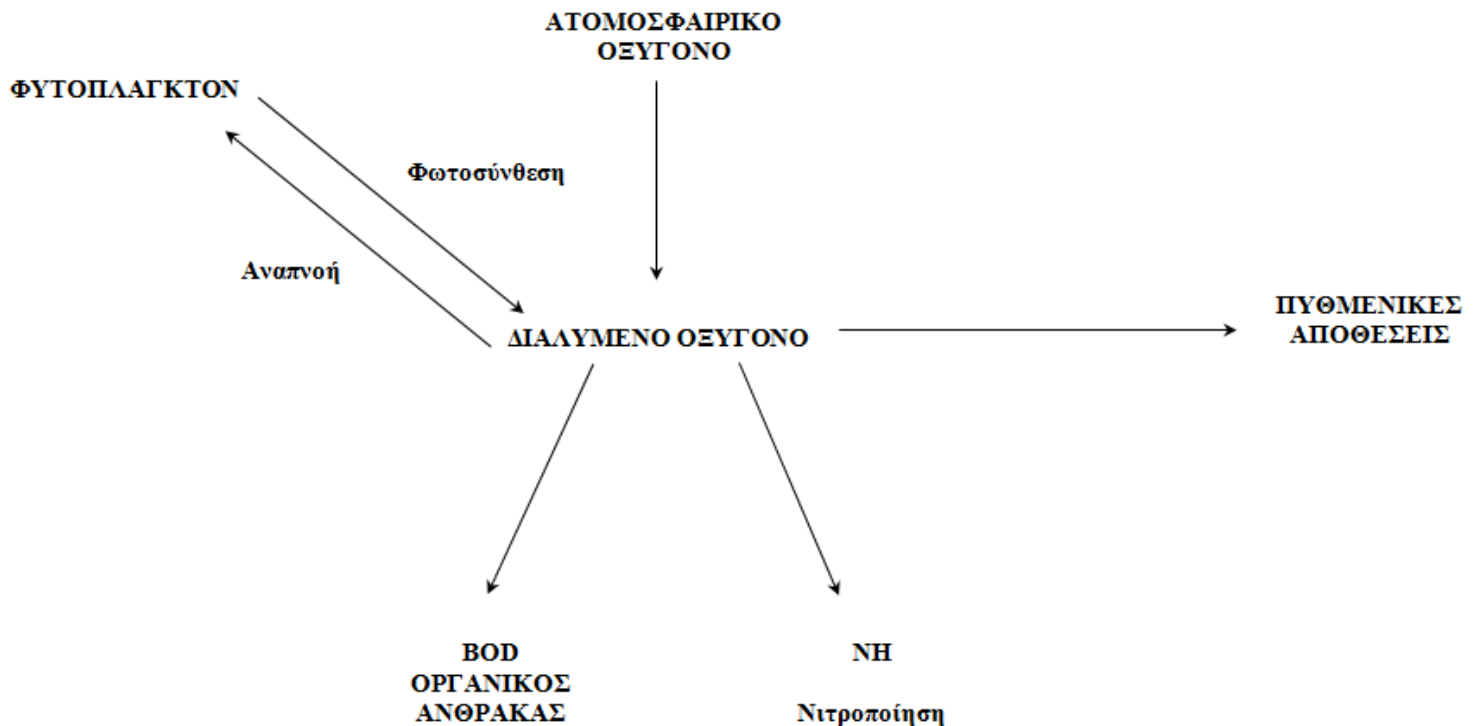
Σχήμα 7 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Φωσφόρου



Σχήμα 8 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Αζώτου



Σχήμα 9 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Οργανικού Άνθρακα



Σχήμα 10 Μοντέλο Ευτροφισμού Διαλυμένου Οξυγόνου Μεταβολή Οργανικού DO

5.3.5 Συγκεντρωτική παρουσίαση εξισώσεων διαίτας ρύπων – μετασχηματισμός τους

Τις εξισώσεις που περιγράφουν τη διαίτα των υπεισερχόμενων μεταβλητών, στο μοντέλο ευτροφισμού διαλυμένου οξυγόνου, μπορούμε να τις μετασχηματίσουμε αν τις ανάγουμε στο σύνολο του όγκου του υδατινού σώματος. Έτσι λοιπόν με δεδομένο ότι $C(\text{συγκέντρωση, g/m}^3) = M(\text{μάζα}) / V(\text{όγκος})$ και ότι φόρτιση $W(\text{g/day}) = Q_{\text{εισορής}} \times C_{\text{εισορής}} - Q_{\text{εκροής}} \times C_{\text{εκροής}} = C$ του υδατικού σώματος πλήρους μίξης, προκύπτει ότι :



Πίνακας 7 Συγκεντρωτικός Πίνακας εξισώσεων του Μοντέλου Ευτροφισμού – Διαλυμένου Οξυγόνου

	Υφιστάμενη εξίσωση	Μετασχηματισμός
Chl/A	$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum -Q_{kj}(a_{kj}A_k + \beta_{kj}A_j) + E'_{kj}(A_j - A_k) + \mu A_k - K_{dA}A_k + R_A A_k - K_{SA}A_k + W_{Ak}$	$\frac{dM_{Chl}}{dt} = (\mu - K_{dA} - R_A - K_{SA}) \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, Chl} \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{Chl}}{V}$
OP	$\frac{dOP_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j -Q_{kj}(a_{kj}OP_k + \beta_{kj}OP_j) + E'_{kj}(OP_j - OP_k) + (K_{dA} + R_A)A_k Y_1 - (R_P + K_{SP})OP_k + W_{OPk}$	$\frac{dM_{OP}}{dt} = (K_{dA} + R_A) \cdot Y_1 \cdot M_{Chl} - (R_P + K_{SP}) \cdot M_{OP} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, OP} \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OP}}{V}$
IP	$\frac{dIP_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum -Q_{kj}(a_{kj}IP_k + \beta_{kj}IP_j) + E'_{kj}(IP_j - IP_k) + R_P OP_k + K_{RP} E/V - \mu Y_1 A_k + W_{IPk}$	$\frac{dM_{IP}}{dt} = R_P \cdot M_{OP} + K_{RP} \cdot E - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_1 + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, IP} + \sum_j W_{IP}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{IP}}{V}$
NH	$\frac{dNH_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j -Q_{kj}(a_{kj}NH_k + \beta_{kj}NH_j) + E'_{kj}(NH_j - NH_k) - \mu Y_2 P_{NH} A_k - R_{NH} NH_k + Y_2 K_{dA} A_k + W_{NHk}$	$\frac{dM_{NH}}{dt} = (Y_2 \cdot K_{dA} - \mu \cdot Y_2 \cdot P_{NH}) \cdot M_{Chl} - R_{NH} \cdot M_{NH} + K_{RN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, NH} + \sum_j W_{NH}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NH}}{V}$
NO	$\frac{dNO_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j -Q_{kj}(a_{kj}NO_k + \beta_{kj}NO_j) + E'_{kj}(NO_j - NO_k) - Y_2 \mu (1 - P_{NH}) A_k - K_{DNE}/V + R_{NH} NH_k + W_{NOk}$	$\frac{dM_{NO}}{dt} = R_{NH} \cdot M_{NH} - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_2 \cdot (1 - P_{NH}) - K_{DN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, NO} + \sum_j W_{NO}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NO}}{V}$
C/OC	$\frac{dCk}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j -Q_{kj}(a_{kj}C_k + \beta_{kj}C_j) + E'_{kj}(C_j - C_k) + Y_3 K_{dA} A_k - (R_L + K_{SA})C_k + W_{Ck}$	$\frac{dM_{OC}}{dt} = K_{dA} \cdot M_{Chl} \cdot Y_3 - (R_L + K_{SA}) \cdot M_{OC} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, OC} + \sum_j W_{OC}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OC}}{V}$
DO	$\frac{dDO_k}{dt} = \frac{1}{V_k} \sum_j -Q_{kj}(a_{kj}DO_k + \beta_{kj}DO_j) + E'_{kj}(DO_j - DO_k) + K_{at}/H (DO_s - DO_k) + Y_4 A_k \mu_{max} \frac{Fe}{H_k K} (e^{a_1} - e^{a_0}) - \frac{SOD_k}{H_k} - R_L C_k - 4.5 R_{NH} NH_k - Y_3 R_A A_k + W_{DOk}$	$\frac{dM_{DO}}{dt} = K_{at} \cdot (DO_{sat} - \frac{M_{DO}}{V}) \cdot E + Y_4 \cdot M_{Chl} \cdot \mu_{max} \cdot A_1^{T-20} \cdot \frac{e^{a_1} - e^{a_0}}{H \cdot K} - R_L \cdot M_{OC} - 4.5 \cdot R_{NH} \cdot M_{NH} - Y_3 \cdot R_A \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in}^{i, DO} \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{DO}}{V}$

Στην πρώτη στήλη όπου A(Chl-a), OP, IP, NH, DO, C(OC) είναι οι συγκεντρώσεις των παραμέτρων

Στη δεύτερη στήλη όπου M είναι η μάζα των εξεταζόμενων παραμέτρων



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΟΝΤΕΛΟ - ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΛΙΜΝΩΝ " ΛΕΡΝΗ "



6 Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου Λέρνη

6.1 Συνοπτική παρουσίαση

Στόχος του μοντέλου: Η εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών μίας λίμνης σε συνάρτηση με την εκάστοτε χρήση των υδάτων της καθώς και η εκτίμηση της συνολικής ποιοτικής κατάστασης της λίμνης.

Μέθοδος Προσομοίωσης : Θεώρηση της λίμνης ως ένα σύνολο στοιχείων πλήρους μίξης στα οποία κάθε ρύπος υφίσταται τη δράση αραίωσης καθώς και φυσικών χημικών και βιολογικών διεργασιών.

- Δυνατότητα στοχαστικής προσομοίωσης (τεχνική Monte Carlo)
- Δυνατότητα προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των ρύπων σε στρωματωποιημένη λίμνη

Μελετώμενοι Παράμετροι: Για τον προσδιορισμό της τροφικής κατάστασης της λίμνης εξετάζεται η διακύμανση του: φυτοπλαγκτόν, αζώτου, φώσφορου, οργανικού άνθρακα, διαλυμένου οξυγόνου.

6.2 Αναλυτική Παρουσίαση

Με σκοπό την πιο ακριβή εκτίμηση των επιπτώσεων των ρυπαντικών φορτίων κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου. Συγκεκριμένα, θα εφαρμοστεί το μοντέλο δίαιτας ρύπων σε λίμνες «Λέρνη», που δημιουργήθηκε από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η Λέρνη είναι ένα μαθηματικό μοντέλο ευτροφισμού – διαλυμένου οξυγόνου με το οποίο γίνεται εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης μιας λίμνης συναρτήσει διαφόρων σεναρίων εισροών –εκροών. Μέσω της μαθηματικής έκφρασης των κυριότερων φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στην υγρή στήλη όπως η μεταγωγή, η διασπορά, η ανάπτυξη και ο θάνατος του φυτοπλαγκτόν, η κατανάλωση των θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος), η νιτροποίηση, η απονιτροποίηση, η ανταλλαγή οξυγόνου με την ατμόσφαιρα κ.α., το μοντέλο μπορεί να προβλέψει τη χρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων των κυριότερων ρύπων. Οι ρύποι οι οποίοι εξετάζονται είναι το φυτοπλαγκτόν, διάφορες μορφές αζώτου και φωσφόρου, ο οργανικός άνθρακας και το διαλυμένο οξυγόνο.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε ρύπου περιγράφεται από την αντίστοιχη διαφορική εξίσωση συνέχειας. Δεδομένου ότι ο όρος της μεταβολής λόγω διεργασιών κάθε ρύπου είναι συνήθως συνάρτηση και άλλων ρύπων, προκύπτει ένα σύστημα πεπλεγμένων διαφορικών εξισώσεων.

Καθώς η ανάπτυξη δισδιάστατου η τρισδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου θα αύξανε πάρα πολύ την πολυπλοκότητα του μοντέλου η λίμνη θεωρήθηκε ως ένα στοιχείο πλήρους μίξης. Παρόλα αυτά υπάρχει δυνατότητα κατακόρυφου διαχωρισμού της λίμνης σε δύο στρώματα και πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των ρύπων σε κάθε ένα από αυτά.



Η αναλυτική επίλυση του συστήματος των εξισώσεων που περιγράφουν τις διεργασίες και τη μεταβολή των ρύπων είναι αδύνατη σε φυσικά συστήματα, αφού τις περισσότερες φορές οι μεταγωγικοί όροι (εισροές και εκροές) δεν έχουν σταθερή τιμή στο χρόνο αλλά μεταβάλλονται στο χρόνο. Οι μεταβολές αυτές των εισροών και των εκροών από το στοιχείο πλήρους μίξης (λίμνη) σπανίως μπορούν να περιγραφούν από μαθηματικές συναρτήσεις. Συνήθως προέρχονται από μετρήσεις και εισάγονται στο μοντέλο με τη μορφή χρονοσειρών, καθιστώντας την ολοκλήρωση αυτών των όρων αδύνατη.

Επομένως για την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων σε δυναμικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η αριθμητική ολοκλήρωση. Τέλος για τη διερεύνηση της επίδρασης της τυχαίας διακύμανσης των δεδομένων εισόδου και των κινητικών σταθερών το μοντέλο περιλαμβάνει τη δυνατότητα στοχαστικής προσομοίωσης, μέσω της τεχνικής Monte Carlo και εξαγωγής των αποτελεσμάτων με τη μορφή ισοπίθανων καμπυλών



Πίνακας 8 Διαφορικές εξισώσεις μεταβολής συγκέντρωσης των εξεταζόμενων ρύπων στο στοιχείο πλήρους μίξης

Chl	$\frac{dM_{Chl}}{dt} = (\mu - K_{dA} - R_A - K_{SA}) \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ Chl}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{Chl}}{V}$	<p>M_{Chl} : μάζα φυτοπλαγκτόν σε όρους χλωροφύλλης-α (g) $C_{in\ chl}^i$: συγκέντρωση σε χλωροφύλλη-α της εισροής i (g/m³) K_{SA} : ρυθμός απομάκρυνσης φυτοπλαγκτόν λόγω καθίζησης (day⁻¹) K_{dA} : ρυθμός θανάτου φυτοπλαγκτόν σε θερμοκρασία T°C (day⁻¹) R_A : ρυθμός ενδογενούς φυτοπλαγκτόν αναπνοής σε θερμοκρασία T°C (day⁻¹) μ : μέση ταχύτητα ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν στην υγρή στήλη(day⁻¹)</p>
OP	$\frac{dM_{OP}}{dt} = (K_{dA} + R_A) \cdot Y_1 \cdot M_{Chl} - (R_P + K_{SP}) \cdot M_{OP} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ OP}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OP}}{V}$	<p>M_{OP} : μάζα οργανικού φωσφόρου στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) $C_{in\ OP}^i$: η συγκέντρωση σε οργανικό φώσφορο της εισροής i (g/m³) R_P : συντελεστής ταχύτητας μετατροπής OP σε IP σε θερμοκρασία T°C (day⁻¹) K_{SP}: συντελεστής καθίζησης οργανικού φωσφόρου(day⁻¹) Y_1: περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε φώσφορο (g P / g χλωροφύλλης)</p>
IP	$\frac{dM_{IP}}{dt} = R_P \cdot M_{OP} + K_{RP} \cdot E - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_1 + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ IP}^i + \sum_j W_{IP}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{IP}}{V}$	<p>M_{IP} : μάζα ανόργανου φωσφόρου στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) $C_{in\ IP}^i$: η συγκέντρωση ανόργανου φώσφορου στην εισροής i (g/m³) W_{IP}^j: ρυθμός προσθήκης IP από την εξωτερική πηγή j (g/day) K_{RP} : συντελεστής τροφοδότησης από πυθμένα (g/m²/day)</p>
NH	$\frac{dM_{NH}}{dt} = (Y_2 \cdot K_{dA} - \mu \cdot Y_2 \cdot P_{NH}) \cdot M_{Chl} - R_N \cdot M_{NH} + K_{RN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ NH}^i + \sum_j W_{NH}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NH}}{V}$	<p>M_{NH} : μάζα αμμωνιακού αζώτου στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) $C_{in\ NH}^i$: η συγκέντρωση σε αμμωνιακό άζωτο της εισροής i (g/m³) W_{NH}^j: ρυθμός προσθήκης NH από την εξωτερική πηγή j (g/day) R_N: συντελεστής νιτροποίησης(day⁻¹) Y_2: περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε άζωτο (g N / g χλωροφύλλης) K_{RN} : συντελεστής τροφοδότησης NH από πυθμένα (g/m²/day) P_{NH} : συντελεστής προτίμησης αμμωνίας (αδιάστατος)</p>
NO	$\frac{dM_{NO}}{dt} = R_N \cdot M_{NH} - \mu \cdot M_{Chl} \cdot Y_2 \cdot (1 - P_{NH}) - K_{DN} \cdot E + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ NO}^i + \sum_j W_{NO}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{NO}}{V}$	<p>M_{NO} : μάζα οξειδωμένου αζώτου στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) $C_{in\ NO}^i$: η συγκέντρωση σε οξειδωμένο άζωτο της εισροής i (g/m³) W_{NO}^j : ρυθμός προσθήκης NO από την εξωτερική πηγή j (g/day)</p>
OC	$\frac{dM_{OC}}{dt} = K_{dA} \cdot M_{Chl} \cdot Y_3 - (R_L + K_{SA}) \cdot M_{OC} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ OC}^i + \sum_j W_{OC}^j \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{OC}}{V}$	<p>M_{OC} : μάζα οργανικού άνθρακα στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) R_L : συντελεστής ταχύτητας οξείδωσης OC σε θερμοκρασία T° C (day⁻¹) Y_3: περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε OC (g BOD / g χλωροφύλλης)</p>
DO	$\frac{dM_{DO}}{dt} = K_{at} \cdot \left(DO_{sat} - \frac{M_{DO}}{V} \right) \cdot E + Y_4 \cdot M_{Chl} \cdot \mu_{max} \cdot A_1^{T-20} \cdot \frac{e^{a_1} - e^{a_0}}{H \cdot K} - R_L \cdot M_{OC} - 4.5 \cdot R_N \cdot M_{NH} - Y_3 \cdot R_A \cdot M_{Chl} + \left(\sum_i Q_{in}^i \cdot C_{in\ DO}^i \right) - \left(\sum_k Q_{out}^k \right) \cdot \frac{M_{DO}}{V}$	<p>M_{DO}: μάζα διαλυμένου οξυγόνου στο στοιχείο πλήρους μίξης (g) Y_4 : περιεκτικότητα φυτοπλαγκτόν σε οξυγόνο (g O / g χλωροφύλλης) Kat : σταθερά φυσικού επαναερισμού (m/day)</p>

Q_{in}^i : παροχή της εισροής i στο στοιχείο πλήρους μίξης (m³/day) Q_{out}^k : παροχή της εκροής k από το στοιχείο πλήρους μίξης (m³/day) V : όγκος στοιχείου πλήρους μίξης (m³)



6.3 Μέθοδοι αριθμητικής ολοκλήρωσης

Για την επίλυση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων, χρησιμοποιούνται δυο πολύ γνωστές μέθοδοι αριθμητικής ολοκλήρωσης, η ολοκλήρωση κατά Euler και η μέθοδος Runge – Kutta. Οι διαφορικές εξισώσεις που επιλύονται κατά την προσομοίωση είναι της μορφής

$$dY_i / dt = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$$

όπου Y_i είναι οι υπεισερχόμενες μεταβλητές: χλωροφύλλη-α, ανόργανος φώσφορος, οργανικός φώσφορος, αμμωνιακό άζωτο, οξειδωμένο άζωτο, οργανικός άνθρακας, διαλυμένο οξυγόνο, όγκος κ.λ.π. Στην περίπτωση προσομοίωσης δύο στρωμάτων ο αριθμός των εξισώσεων διπλασιάζεται αφού οι μεταβλητές αυτές υπολογίζονται και για τα δύο στρώματα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα σύστημα 10 ή 20 διαφορικών εξισώσεων σε περίπτωση προσομοίωσης δύο στρωμάτων, το οποίο επιλύεται σε κάθε χρονική στιγμή με μία από τις διαθέσιμες μεθόδους.

Η μέθοδος Euler είναι μια μέθοδος ενός βήματος. Η κλίση της συνάρτησης χρησιμοποιείται για την προέκταση της συνάρτησης κατά ένα διάστημα h και την εύρεση της καινούριας τιμής. Με άλλα λόγια η κλίση της συνάρτησης στην αρχή του διαστήματος h χρησιμοποιείται ως εκτίμηση της μέσης κλίσης ολόκληρου του διαστήματος. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή στην εφαρμογή, γρήγορη από άποψη υπολογιστικού χρόνου αλλά εμπεριέχει σημαντικό αριθμητικό σφάλμα δεδομένου ότι είναι 1ης τάξης ακρίβειας. Η μέθοδος Euler δίνει αποτελέσματα χωρίς αριθμητικό σφάλμα στην περίπτωση που η συνάρτηση (η λύση της διαφορικής εξίσωσης) είναι γραμμική, κάτι που συμβαίνει για παράδειγμα με τη διαφορική εξίσωση του όγκου. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το αριθμητικό σφάλμα είναι ανάλογο του h και επομένως μπορεί να περιοριστεί με μείωση του χρονικού βήματος.

Η μέθοδος Runge - Kutta είναι μια μέθοδος 4ης τάξης ακρίβειας, απαιτεί όμως περισσότερους ενδιάμεσους υπολογισμούς μιας και χρησιμοποιεί 4 εξισώσεις για την εκτίμηση της μέσης κλίσης αντί μιας που χρησιμοποιεί η κλασική μέθοδος Euler. Παρόλα αυτά, για τον ίδιο υπολογιστικό φόρτο, η μέθοδος Runge–Kutta δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την Euler.

6.4 Στοχαστική προσομοίωση

Ένα πολύ συχνό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη μαθηματική προσομοίωση των χαρακτηριστικών ενός υδατινού σώματος είναι η επιλογή των τιμών των σταθερών που εμπλέκονται στις διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Πολλές από τις μεταβλητές εισόδου του μαθηματικού μοντέλου όπως τα ρυπαντικά φορτία, η θερμοκρασία ή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, παρουσιάζουν έντονα στοχαστικό χαρακτήρα και διέπονται από νόμους που είναι σχεδόν αδύνατο να εκφραστούν μαθηματικά ή να ποσοτικοποιηθούν επακριβώς. Επιπλέον υπάρχει μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας κατά την επιλογή των τιμών των παραμέτρων που εμπλέκονται στις διεργασίες (κινητικές εξισώσεις) του μοντέλου.

Στο μαθηματικό μοντέλο ΛΕΡΝΗ υπάρχει ή δυνατότητα παράκαμψης της δυσκολίας αυτής, μέσω συνδυασμένης ντετερμινιστικής και στοχαστικής μαθηματικής προσομοίωσης των εξεταζόμενων ποιοτικών χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, το μοντέλο μπορεί να λάβει υπόψη την τυχαία διακύμανση των παραμέτρων και των εξωτερικών μεταβλητών, δημιουργώντας για κάθε μια από αυτές, ένα εύρος πιθανών τιμών και μια αντίστοιχη κατανομή πιθανότητας. Ειδικότερα επιλέγονται τυχαίες τιμές για όποια παράμετρο ζητηθεί μέσα από συγκεκριμένες ομοιόμορφες, τριγωνικές ή τραπεζοειδείς κατανομές σε χρονικά



διαστήματα που ορίζει ο χρήστης. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια των παραμέτρων A_1 , A_2 , A_3 και A_4 που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά σημεία μιας τραπεζοειδούς ή τριγωνικής κατανομής.

Η τυχαία τιμή X της μεταβλητής κυμαίνεται πάντα από $X_{act} + A_1$ έως $X_{act} + A_4$ σε περίπτωση χρήσης απόλυτων τιμών και σε περίπτωση χρήσης ποσοστιαίων τιμών

$$X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_1}{100}\right) \text{ έως } X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_4}{100}\right)$$

Η προσομοίωση λοιπόν επαναλαμβάνεται για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, κάθε φορά με τις διαφορετικές τιμές των παραμέτρων που επιλέγονται τυχαία από το μοντέλο, μέχρις ότου αποκτηθεί ένα σύνολο τιμών των προβλεπομένων μεταβλητών, του οποίου οι στατιστικές παράμετροι, όπως ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση, έχουν σταθεροποιηθεί.

Η παραπάνω διαδικασία βασίζεται στην τεχνική Monte Carlo και αποτελεί μια δυναμική λύση στα προβλήματα αβεβαιότητας που εμπλέκονται στα περιβαλλοντικά μοντέλα. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ότι η πρόβλεψη των συγκεντρώσεων κάθε εξεταζόμενης φυσικής ή βιολογικής παραμέτρου γίνεται με τη μορφή όχι μιας μόνο συγκεκριμένης τιμής, αλλά ενός εύρους πιθανών τιμών. Είναι επομένως δυνατή, η στατιστική επεξεργασία αυτού του δείγματος και η εκτίμηση, όχι μόνο του μέσου όρου των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων παραμέτρων, αλλά και επιπλέον στατιστικών στοιχείων, όπως είναι οι χαρακτηριστικές τιμές μη υπέρβασης για διάφορα επίπεδα εμπιστοσύνης.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απόκτηση μιας καλύτερης και πιο ολοκληρωμένης εικόνας της ποιοτικής κατάστασης του υδάτινου αποδέκτη, ενώ ο μεγαλύτερος όγκος πληροφορίας που παρέχει το μοντέλο που αναπτύχθηκε σε σχέση με τα συμβατικά, βοηθάει στη διεξαγωγή χρησιμότερων και ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

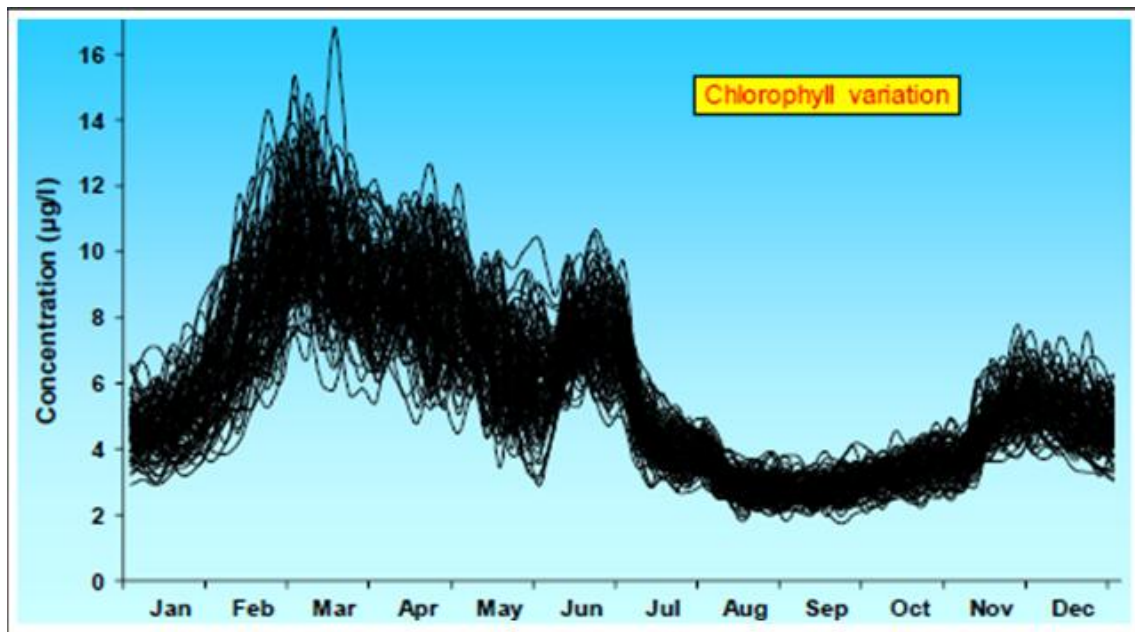
Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παρατίθενται στη συνέχεια αποτελέσματα στοχαστικής προσομοίωσης για την προσδιορισμό της συγκέντρωσης χλωροφύλλης



Εικόνα 3 Προσομοίωση με χρήση στοχαστικής μεθόδου

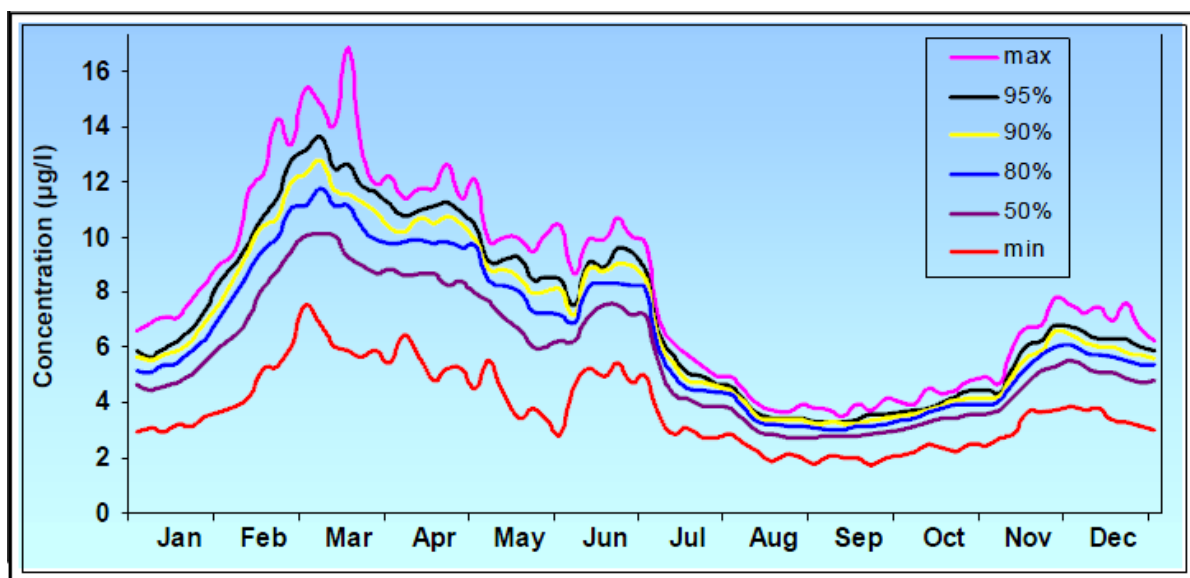
Λόγω της τυχαίας μεταβολής των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, είναι προφανές ότι κάθε φορά που εκτελούμε την προσομοίωση τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο είναι διαφορετικά. Αν επαναλάβουμε όμως την προσομοίωση πολλές φορές μπορούμε να αποκτήσουμε ένα σύνολο τιμών για

κάθε παράμετρο, του οποίου οι στατιστικές παράμετροι όπως η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση να έχουν αποκτήσει σταθερή τιμή.



Εικόνα 4 Επανάληψη της προσομοίωσης πολλές φορές

Έχοντας πλέον ένα ικανοποιητικό σύνολο τιμών μπορούμε ύστερα από στατιστική επεξεργασία να έχουμε τα αποτελέσματα για κάθε παράμετρο με τη μορφή καμπυλών ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης, από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα.



Εικόνα 5 Καμπύλες ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης έπειτα από στατιστική επεξεργασία

6.5 Μοντέλο διαίτας ρύπων Λέρνη συνοπτική παρουσίαση λογισμικού

Το λογισμικό του μοντέλου διαίτας ρύπων Λέρνη καθιστά εφικτή τη διερεύνηση διαχειριστικών σεναρίων λιμναίων οικοσυστημάτων. Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής μεμονωμένων σεναρίων ή ομάδας σεναρίων που περιλαμβάνονται σε ένα ενιαίο project – έργο.



Η εισαγωγή ενός σεναρίου συνίσταται στην καταχώρηση :

1. γενικών στοιχείων για την προσομοίωση, όπως

- χρονική διάρκεια, χρονικό βήμα, επιλογή μεθόδου αριθμητικής ολοκλήρωσης και τύπου προσομοίωσης,
- στρωματοποίηση του μελετώμενου λιμναίου σώματος και μέγιστης στάθμης του
- τιμές των παραμέτρων και σταθερών που υπεισέρχονται στις εξισώσεις δίκαιας των μελετώμενων ρύπων και της συχνότητας αποθήκευσης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τους ρύπους που μας ενδιαφέρουν.

2. δεδομένων των εξωτερικών μεταβλητών

- Θερμοκρασία νερού της λίμνης & Ηλιακή ακτινοβολία

προσδιορίζονται μέσω χρονοσειράς μετρήσεων που καλύπτουν όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Σε περίπτωση έλλειψης μετρήσεων, χρησιμοποιείται μια ημιτονοειδή καμπύλη για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του νερού κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης με τη χρήση 3 παραμέτρων(max & min θερμοκρασία/ ακτινοβολία και ημέρα του χρόνου, που παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία / ακτινοβολία)

- Βροχόπτωση & Εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης

προσδιορίζονται μέσω σταθερής τιμής ή χρονοσειράς μετρήσεων, που καλύπτουν όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης.

- Εισροές

για κάθε εισροή ο χρήστης καθορίζει την παροχή της μέσω σταθερής τιμής ή χρονοσειράς μετρήσεων, που καλύπτουν όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης. Επιπλέον ορίζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων των εισερχόμενων ρύπων. Οι εισροές εμφανίζονται σε μορφή πίνακα. Προκειμένου διαπιστωθεί η επίπτωση που αυτές έχουν στα αποτελέσματα, ο χρήστης μπορεί να απενεργοποιήσει όποιες από αυτές θελήσει (χωρίς να απαιτείται η διαγραφή τους από το σενάριο). Στη συνέχεια η δυνατότητα επαναφοράς τους. Μόνο οι ενεργοποιημένες εισροές με μη μηδενικές παροχές λαμβάνονται υπόψη κατά την προσομοίωση.

- Εκροές

καταχώρηση όλων των εκροών της λίμνης(π.χ. ποτάμια) και της παροχή τους, μέσω σταθερής τιμής ή χρονοσειράς. Βασική προϋπόθεση είναι να καλύπτεται όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης.

Σε περίπτωση προσομοίωσης δύο στρωμάτων προσδιορίζεται από ποιο στρώμα πραγματοποιείται η εκροή. Προκειμένου διαπιστωθεί η επίπτωση που αυτές έχουν στα αποτελέσματα, ο χρήστης μπορεί να απενεργοποιήσει όποιες από αυτές θελήσει (χωρίς να απαιτείται η διαγραφή τους από το σενάριο). Στη συνέχεια η δυνατότητα επαναφοράς τους.. Μόνο οι ενεργοποιημένες εκροές λαμβάνονται υπόψη κατά την προσομοίωση.

- Ρυπαντικά φορτία

εισαγωγή των ρυπαντικών φορτίων (kg/ημέρα), που δεν εισέρχονται με τις εισροές. Υπάρχει δυνατότητα ενεργοποίησης-απενεργοποίησης των φορτίων. Όσα από αυτά είναι ενεργοποιημένα λαμβάνονται υπόψη στην προσομοίωση.

Για τις παραπάνω μεταβλητές υπάρχει η δυνατότητα στοχαστικής προσομοίωσης. Ειδικότερα επιλέγονται τυχαίες τιμές τους μέσα από συγκεκριμένες ομοιόμορφες, τριγωνικές ή τραπεζοειδείς



κατανομές Αυτό γίνεται με τη βοήθεια των παραμέτρων A_1, A_2, A_3 και A_4 . Η τυχαία τιμή X της μεταβλητής κυμαίνεται πάντα από $X_{act} + A_1$ έως $X_{act} + A_4$ σε περίπτωση χρήσης απόλυτων τιμών και σε περίπτωση χρήσης ποσοσטיαίων τιμών

$$X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_1}{100}\right) \text{ έως } X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_4}{100}\right)$$

3. των αρχικών συνθηκών
 - τιμές παραμέτρων: θρεπτικών, χλωροφύλλης, διαλυμένου οξυγόνου
 - αρχική στάθμη υδάτινου σώματος
4. της γεωμετρίας του υδατικού συστήματος. Χρησιμοποιούνται μετρήσεις στάθμης, αποθέματος και επιφάνειας της εξεταζόμενης λίμνης. Αυτές συσχετίζονται και προκύπτουν οι καμπύλες στάθμης συναρτήσεως όγκου και επιφάνειας συναρτήσεως στάθμης. Τα δεδομένα γεωμετρίας της λίμνης συνδυάζονται με τις τιμές των εισροών και εκροών. Έτσι καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης θα είναι γνωστή η στάθμη, επιφάνεια και απόθεμα της λίμνης (όγκος V) και κατ'επέκταση η συγκέντρωση των ρύπων στη λίμνη.
5. των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις Διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη μεταβολή της συγκέντρωσης των εξεταζόμενων ρύπων. Υπάρχει η δυνατότητα στοχαστικής προσομοίωσης τους. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα χρήσης σετ παραμέτρων προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις συγκεκριμένων διαχειριστικών σενάριων.

Την εισαγωγή του σενάριου ακολουθεί η διαδικασία ελέγχου των δεδομένων. Αν εντοπιστούν λογικά σφάλματα και μη συμβατότητα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του λογισμικού, ο χρήστης ειδοποιείται προκειμένου να προβεί σε τυχόν διορθώσεις. Σε αντίθετη περίπτωση προχωρά η διαδικασία της προσομοίωσης.

Στη συνέχεια λαμβάνονται τα αποτελέσματα για τους ρύπους που έχουν επιλεγεί. Ο χρήστης μπορεί να δει τις χρονοσειρές των αποτελεσμάτων σε μορφή πίνακα ή σε μορφή γραφήματος. Σε περίπτωση στοχαστικής προσομοίωσης, όπου για κάθε ρύπο υπάρχουν περισσότερες χρονοσειρές (όσες οι φορές που έχει επαναληφθεί η προσομοίωση) τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την δημιουργία κατάταξης για να δει διάφορες στατιστικές τιμές του συνόλου των χρονοσειρών κάθε ρύπου. Για παράδειγμα επιλέγοντας ο χρήστης τη δημιουργία κατάταξης 90% για τον ρύπο οξυγόνο (DO), το πρόγραμμα δημιουργεί μια καινούργια χρονοσειρά που περιέχει σε κάθε χρονική στιγμή τη συγκέντρωση εκείνη του οξυγόνου, που δεν υπερβαίνει το 90% όλων των συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι στο μενού του λογισμικού υπάρχει ειδική επιλογή για την εισαγωγή και επεξεργασία χρονοσειρών δεδομένων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΥΛΙΚΗΣ & ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΛΕΡΝΗ



7 Μελέτη εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων των ταμιευτήρων Υλικής & Πλαστήρα με εφαρμογή του λογισμικού Λέρνη

Η Μελέτη των εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων της λίμνης Υλικής & Πλαστήρα διαρθρώνεται ως εξής :

- Συνοπτική παρουσίαση των λιμναίων συστημάτων
- Επισκόπηση των πηγών ρύπανσης τους
- Περιγραφή των βέλτιστων διαχειριστικών πρακτικών ελέγχου και περιορισμού των παραπάνω πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων
- Μαθηματική προσομοίωση της ποιοτικής κατάστασης των εξεταζόμενων λιμνών με το λογισμικό ΛΕΡΝΗ. Μελέτη εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων και αποτίμηση των αποτελεσμάτων.
- Προτεινόμενα μέτρα περιορισμού των ρυπαντικών φορτίων

7.1 Συνοπτική Παρουσίαση της λίμνης Πλαστήρα & Υλικής

7.1.1 Παρουσίαση λίμνης Πλαστήρα

Η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα είναι κατασκευασμένη στον ομώνυμο ποταμό και είχε σχεδιαστεί αρχικά για να υποστηρίξει υδροηλεκτρικό έργο. Η υδατόπτωση σχεδιασμού φτάνει τα 577 m κατά μέγιστο, γεγονός που συμβάλει στην παραγωγή πολύ μεγάλης ποσότητας ενέργειας συγκριτικά με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού. Με βάση τα στοιχεία που δόθηκαν από τη ΔΕΗ /Διεύθυνση Εκμετάλλευσης, η μέση ετήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει πτώση. Μέχρι το 1986-87 ήταν ίση με 220 GWh/έτος, ενώ μετά το 1986- 87 κυμαίνεται στα 136 GWh/έτος.

Το νερό που συλλέγεται και αποθηκεύεται, πέραν της χρήσης του για παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιείται για άρδευση της πεδιάδας της Καρδίτσας(τη θερινή περίοδο) και για ύδρευση της πόλης της Καρδίτσας και των γειτονικών δήμων(με συνολικό 85.000, κατοίκους, δηλ. το μεγαλύτερο τμήμα του Νομού Καρδίτσας). Οι ετήσιες απολήψεις για άρδευση και ύδρευση εκτιμώνται σε $\approx 120 \text{ hm}^3$ και κατανέμονται ως εξής :

-Ύδρευση: 195 hm³ -Άρδευση: 100 hm³

Πίνακας 9 Απολήψεις από την τεχνητή Λίμνη Πλαστήρα (ΥΠΕΚΑ, 2012(3))

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΩΜΑΤΑ	ΥΔΡΕΥΣΗ		ΑΡΔΕΥΣΗ	
		ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΜΕΣΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (m ³)	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (m ³)	ΜΕΣΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (m ³)
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	GR0415L00000001H	19,000,000	29,000	100,000,000	653,474

Η ένταση πίεσης απολήψεων που υφίσταται η λίμνη είναι υψηλή. Ετήσιος Όγκος Απολήψεων V (%της Μέσης Τιμής της Ετήσιας Απορροής)= 89%. Η Έκταση της Λεκάνης Απορροής του ταμιευτήρα είναι 92,46 km² και έχει συνολική χωρητικότητα 400 εκατομμύρια m³. Η κατώτατη στάθμη λειτουργίας στην υδροληψία, βρίσκεται στο υψόμετρο +776 m και η στάθμη του υπερχειλιστή βρίσκεται στο +792 m. Η διαφορά των δύο σταθμών δίνει τη δυνατότητα για ωφέλιμη χωρητικότητα 300 hm³, πλέον των 100 hm³ του νεκρού όγκου. Η σημερινή λειτουργία γίνεται με στάθμες που δεν κατεβαίνουν κάτω από τα +782 m. Σε



αυτές τις στάθμες λειτουργίας διασφαλίζεται διαθέσιμη ποσότητα νερού 134 ή 144 hm³ κατά έτος με αξιοπιστία 90% ή 80% αντιστοίχως. Οι μέσες ετήσιες εισροές φτάνουν τα 153 hm³. Από τα αποθέματα της λίμνης Πλαστήρα, έχει εκτιμηθεί ότι με μέτρα εξοικονόμησης νερού θα ήταν εφικτή η κάλυψη ζήτησης άρδευσης – ύδρευσης της τάξης των 130 hm³ ετησίως.

Η περιοχή Λίμνης Πλαστήρα εμπίπτει στη λεκάνη Αχελώου (GR15) του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04) και περιλαμβάνεται στις Περιοχές δικτύου Natura 2000 (Οδηγίες 92/43/ΕΟΚ -2009/47/ΕΕ). Επιπλέον χαρακτηρίζεται ως Ειδική Ζώνη Διατήρησης (ΕΖΔ ή Special Areas of Conservation - SAC) και τελεί υπο καθεστώς προστασίας, καθώς τα αποθέματα της χρησιμοποιούνται για ύδρευση. Η δε συνολική της έκταση ανέρχεται σε 29,82 km², το μέγιστο βάθος της είναι 60 m το μέγιστο πλάτος 4 km, ενώ το μέγιστο μήκος 14 km.

Η άμεση περιοχή της λεκάνης απορροής της λίμνης περιλαμβάνει 14 κοινότητες οι οποίες είναι οι εξής: Καρβασαράς, Καρίτσα, Καροπλέσι, Καστανιά, Κερασιά, Κρουονέρι, Λαμπερό, Μεσενικόλας, Μορφοβούνι, Μοσχάτο, Μπελοκομύτης, Νεοχώρι, Πεζούλα και Φυλακτή. Η μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού παρατηρείται στην κοινότητα Κρουονερίου, ενώ η μικρότερη στην κοινότητα του Καρβασαρά.



Εικόνα 6 Χάρτης οικισμών στην περιοχή της τεχνητής Λίμνης Πλαστήρα

Ο πρωτογενής τομέας επικρατεί κυρίως στις κοινότητες Καρβασαρά, Καροπλεσίου και Μεσενικόλα και ο τριτογενής στις κοινότητες Καρίτσας, Κερασιάς, Μπελοκομύτη, Πεζούλας και Νεοχωρίου. Αναπτυγμένο δευτερογενή τομέα συναντάμε στις κοινότητες Λαμπερό, Μορφοβούνι, Μοσχάτο και Φυλακτή. Γενικά η περιοχή έχει έντονο γεωργο-κτηνοτροφικό χαρακτήρα με τάσεις ανάπτυξης του τουρισμού και τις σχετικές με αυτόν υπηρεσίες.



Πίνακας 10 Αναλυτική Παρουσίαση Οικισμών εντός της Λεκάνης Απορροής της Λίμνης Πλαστήρα (Αργυρούλη 2005, Παρταλίδου 2005)

Δήμος Νεβρόπολης	Πληθυσμός		Δίκτυο αποχέτευσης	Σύστημα ΕΕΛ	Κατηγορία Οικισμού	Απορροή σε ταμειωτήρα ύδρευσης ή καλής οικολογικής ποιότητας	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Τα λύματα τους επηρεάζουν νερό χαρακτηρισμένο κατάλληλο για ύδρευση	Προβληματικά εδάφη (μη απορροφητικά) (κίνδυνος καθίζησης) (κίνδυνος διάβρωσης)	Τουριστική ανάπτυξη Περιορισμένη : 1-50 Μικρή : 50-200 Μεσαία : 200-1000	Χωροθέτηση εντός Natura
	ΕΣΥΕ 2001	ΕΠΟΧΙΚΟΣ+ΕΣΥΕ 2001								
Οικισμός										
Νεοχώρι	1119	1.409	ΟΧΙ	απορ. βόθροι	>2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Μεσαία	ΟΧΙ
Πεζούλα	248	342	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Μικρή	ΟΧΙ
Κρυονέρι	692	732	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Μικρή	ΟΧΙ
Φυλακτή Πεζούλας	248	342	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Μικρή	ΟΧΙ
Καλύβια Πεζούλας	377	431	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Μικρή	ΟΧΙ
Καλύβια Φυλακτής	55	55	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Κουτσοδήμος	126	126	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Καρίτσα	92	92	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Αγία Μαρίνα	44	44	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Καρβασαράς	86	86	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Μέγα Ρεύμα	22	22	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Ραφήνα	23	23	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Μπελοκομίτη	152	174	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Περιορισμένη	ΟΧΙ
Κέδρος	54	54	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ

**Δήμος
Πλαστήρα**

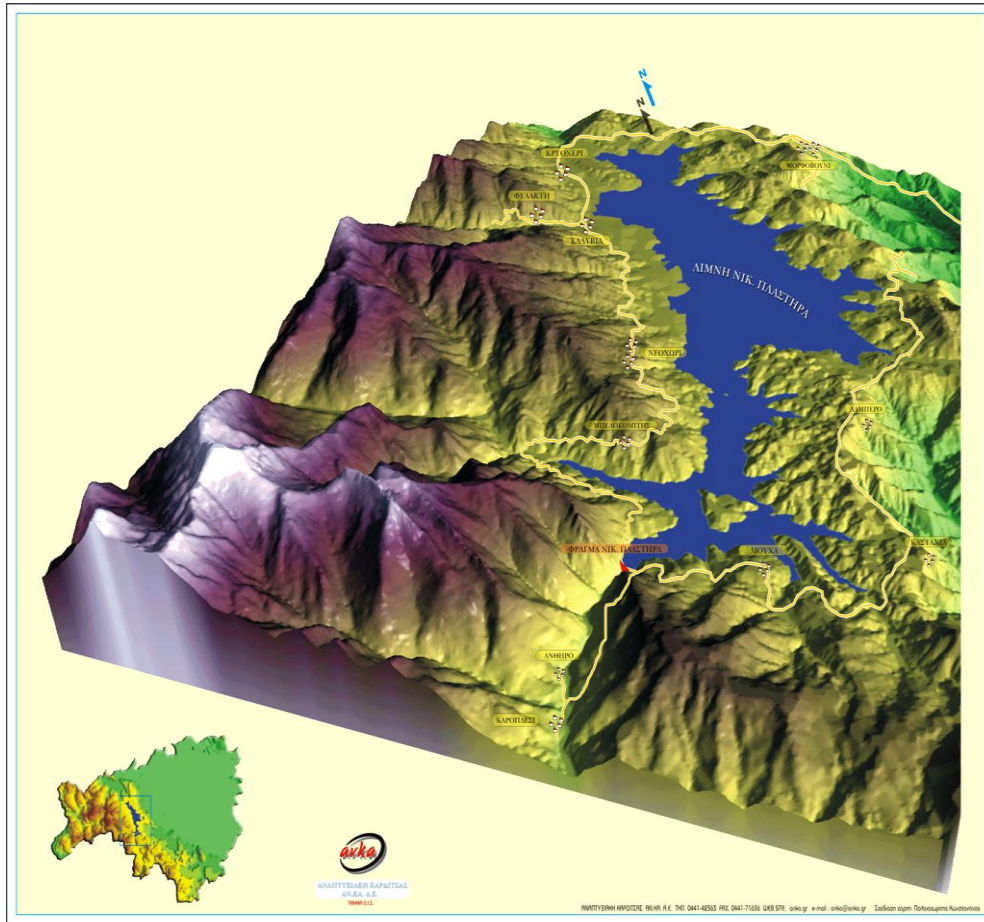
Νέος Οικισμός (Νεβρόπολη)	174	174	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Άγιος Αθανάσιος	212	212	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Λαμπερό	214	214	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	0	ΟΧΙ
Κερασιά	602	664	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.				Μικρή	

**Δήμος
Ιτάμου**

Μούχα	172	192	ΟΧΙ	.-/-	< 2000 ι.π.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Περιορισμένη	ΟΧΙ
-------	-----	-----	-----	------	-------------	-----	-----	-----	--------------	-----

Από το 2010 ο Δήμος Ιταμού υπάχθηκε στο Δήμο Καρδίτσας, ο Δήμος Πλαστήρα & Νεβρόπολης συνενώθηκαν και Δημιούργησαν το Δήμο Λίμνης Πλαστήρα

Στη στήλη " τουριστική ανάπτυξη" παρατίθεται ο αριθμός των κλιών



Η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα έχει εμπλουτισθεί με διάφορα ξενικά είδη ψαριών που πρέπει να μελετηθούν. Υπάρχουν επίσης μερικά αξιόλογα είδη χλωρίδας και σημαντικές φυτοκοινωνίες, όπως ελατοδάση, δρυο - δάση ή μεικτά δάση.

Το φυσικό περιβάλλον της τεχνητής λίμνης επιβαρύνεται από την αύξηση του τουρισμού, υλοτομίας, κυνηγιού θηραμάτων, από την οικιστική ανάπτυξη (χτίσιμο παραθεριστικών κατοικιών, τουριστικών μονάδων κλπ), τα αστικά απόβλητα και τις δραστηριότητες του πρωτογενούς & δευτερογενή τομέα.

Εικόνα 7 Γεωμορφολογική απεικόνιση της Λίμνης Πλαστήρα

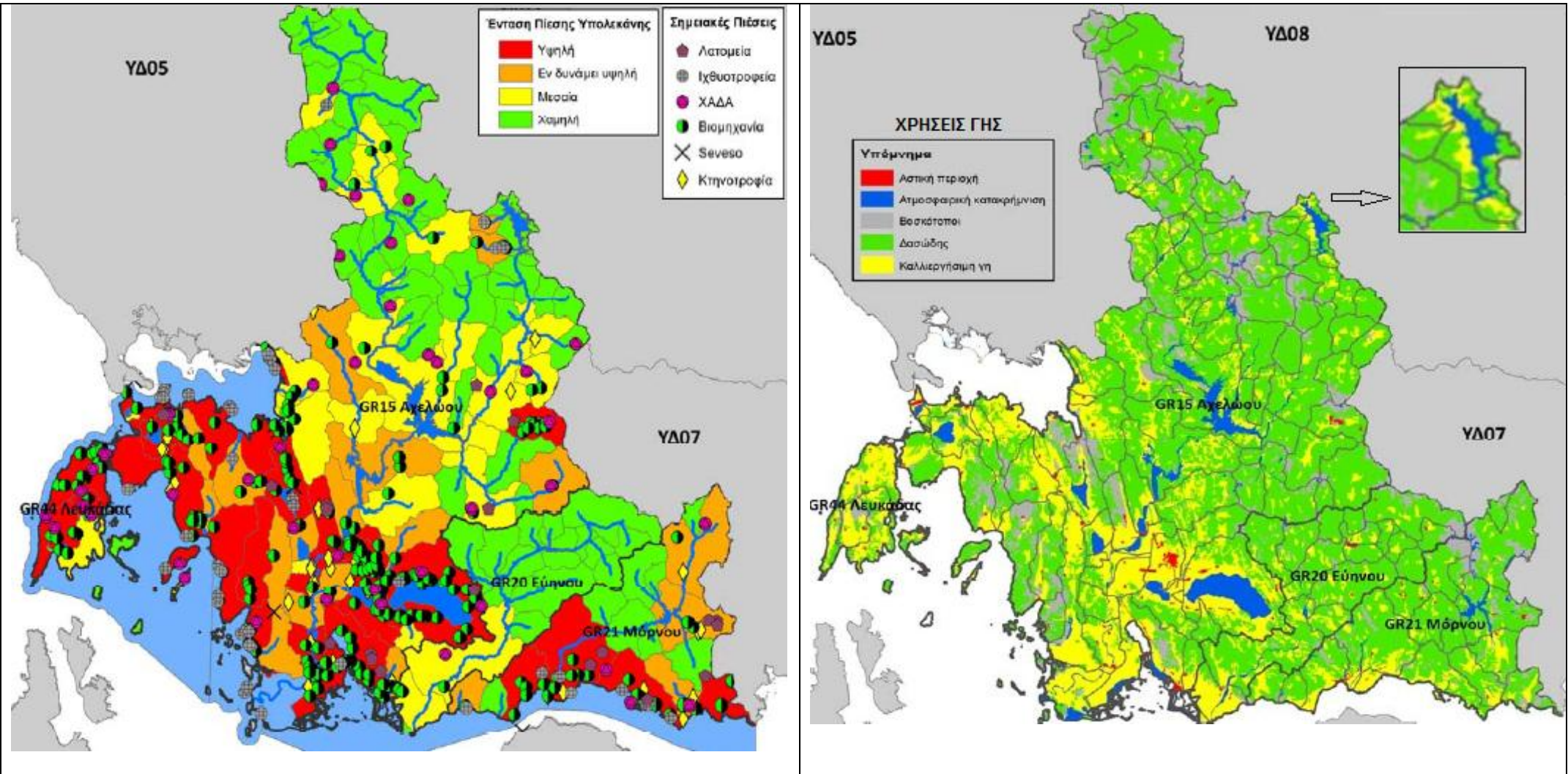
Όσον αφορά το υπόγειο υδατικό σύστημα που διατρέχει την περιοχή της λίμνης, η χημική του κατάσταση είναι καλή.

Η ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων της λίμνης έχει ως εξής : η οικολογική τους κατάσταση είναι μέτρια Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι μέσες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων της Λίμνης : NO_2 , Ολικός Φώσφορος (TP) & Άζωτο (TN) είναι κατώτερες των βέλτιστων. (ΥΠΕΚΑ, 2012(9)). Η δε χημική τους κατάσταση είναι κατώτερη της καλής,.

Οι κύριες πηγές Θρεπτικών (N, P) είναι οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες, και οι εκπομπές αστικών λυμάτων από ξενοδοχειακές μονάδες της περιοχής. Ο κύριος όγκος των εκπομπών θρεπτικών και ρυπαντικών φορτίων προέρχεται από το βόρειο και από το νοτιοδυτικό άκρο της λεκάνης (περιοχές Κρουονερίου, Μορφοβουνίου και Φυλακτής και περιοχές Νεοχωρίου, Καρίτσας αντίστοιχα).

Η ένταση των ανθρωπογενών πιέσεων στη λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα είναι χαμηλή. Εξαιρέση αποτελεί το Ποσοστό κάλυψης καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Αυτό κυμαίνεται από 20-50% με συνέπεια να υπάρχει αυξημένος κίνδυνος, να μεταφερθούν με τις αγροτικές απορροές θρεπτικά και άλλοι ρύποι στη λίμνη. Η ένταση πίεσης λόγω του ποσοστού κάλυψης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων είναι μεσαία.

Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των υφιστάμενων ανθρωπογενών πιέσεων και των χρήσεων γής στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04) :



Εικόνα 8 Εκτιμώμενη ένταση της πίεσης & χρήσεις γης στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΠΕΚΑ, 2012(8))



Σύμφωνα με την απεικόνιση της έντασης των ανθρωπογενών πιέσεων και των χρήσεων γης η λεκάνη της λίμνης Πλαστήρα δέχεται ρυπαντικά φορτία από διαχυτές πηγές ρύπανσης (αγροτοκτηνοτροφικές απορροές και αστικά υγρά απόβλητα). Επιπλέον στη περιοχή της υπολεκάνης υπάρχουν σημειακές πηγές ρύπανσης Ιχθυοκαλλιέργειες και συναφής μονάδες επεξεργασίας αλιευμάτων. Οι μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας είναι εγκαταστημένες στα ποτάμια σώματα Μεγάλο Π. & Καριτσιώτης. Αυτά εκβάλλουν στη λίμνη Πλαστήρα. Οι βιομηχανικές μονάδες βρίσκονται είτε πλησίον είτε στις όχθες των ποτάμιων σωμάτων. Η χωροθέτηση των ανωτέρω εγκαταστάσεων παρατίθεται στη συνέχεια.



Εικόνα 9 Λίμνη Πλαστήρα Σημειακές Πηγές Ρύπανσης (ΥΠΕΚΑ, 2012(8))

Για τη βελτίωση της συνολικής κατάστασης της λίμνης και τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης της ευρύτερης περιοχής η πολιτεία σε συνεργασία με τοπικούς φορείς υλοποιεί μια σειρά έργων έρευνας, ανάπτυξης και ανάδειξης. Το πλέον σημαντικό από αυτά είναι η κατασκευή δικτύου αποχέτευσης ακαθάρτων και εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής της.

Εν κατακλείδι εκτιμάται ότι η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων προστασίας και ανάπτυξης θα επιτύχει τη συμμόρφωση της ποιοτικής κατάστασης της Τεχνητής Λίμνης Πλαστήρα με τους στόχους της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

7.1.2 Παρουσίαση Λίμνης Υλίκης

Η υπολεκάνη του ταμιευτήρα Υλίκης (GR2309) είναι τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού (GR23). Τα υδατικά αυτά συστήματα περιλαμβάνονται στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07).



Η λίμνη Υλίκη αποτελεί βασικό στοιχείο στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας. Η έκταση της είναι 24,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα, η δε λεκάνη της περιβάλλεται τα όρη Μεσσήσιο (1021 μέτρα) ανατολικά, Πτώ (726 μέτρα) βόρεια, Σφίγγειο (565 μέτρα) δυτικά και από χαμηλούς λόφους νότια. Σε μικρή απόσταση βορειοανατολικά της Υλίκης βρίσκεται η μικρότερη Παραλίμνη, (15 τετραγ. χλμ.) που ως προς την επιφάνεια της στάθμης βρίσκεται 20 μέτρα χαμηλότερα έναντι της Υλίκης. Οι δύο λίμνες συνδέονται με διώρυγα μήκους 2,5 χιλιομέτρων. Παλαιότερα μέσω αυτής της διώρυγας, ανάλογα με τις εποχές, τα πλεονάζοντα νερά της Υλίκης διοχετεύονταν στην Παραλίμνη και από εκεί στον Ευβοϊκό Κόλπο. (ΥΠΕΚΑ,2012α)

Η περιοχή της λίμνης Υλίκης ανήκει γεωλογικά στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας. Λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης του πυθμένα της, υπάρχουν πολλά καρστικά υπόγεια έγκοιλα και καταβόθρες που συντελούν στην παροχέτευση πρόσθετου υδάτινου δυναμικού προς την Παραλίμνη και τον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο.

Όσον αφορά τα αποθέματα της, η Υλίκη τροφοδοτείται κυρίως από τις επιφανειακές απορροές της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού- πεδιάδας της Κωπαΐδας και σε μικρό ποσοστό από τις απορροές της ίδιας της λεκάνης. Η λίμνη χρησιμοποιείται για την άρδευση της πεδιάδας της Κωπαΐδας και για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης. Οι μέσες ετήσιες απολήψεις είναι :

Πίνακας 11 Απολήψεις από τη Λίμνη Υλίκη

Κωδικός ΥΣ	Όνομα ΥΣ	Μέση ετήσια απόληψη (10 ⁶ m ³)	Μέση μηνιαία απόληψη κατά τη θερινή περίοδο (10 ⁶ m ³)	Χρήστης
GR0723L000000003N	ΥΛΙΚΗ	κυμαινόμενη		ΕΥΔΑΠ
GR0723L000000003N	ΥΛΙΚΗ	30	7,8	ΟΡΓ. ΚΩΠΑΪΔΑΣ

Οι πιέσεις που δέχεται η λίμνη λόγω απολήψεων είναι περιορισμένες :

Μέση μηνιαία θερινή απόληψη/ μέση διαθέσιμη θερινή παροχή < 10%

Λοιπά χαρακτηριστικά Ταμιευτήρα Υλίκης:

- Επιφάνεια λεκάνης απορροής: 2.467 τετραγ. χιλιόμετρα
- Μέση βροχόπτωση: 648 χιλ./έτος (τυπ. απόκλιση 165 χιλ./έτος)
- Μέση εισροή: 300 εκατ. κ.μ. νερού/έτος
- Μέση εκροή: 113 εκατ. κ.μ. νερού/έτος
- Σχήμα ακανόνιστο, με βραχώδεις όχθες που παρουσιάζουν έντονο οριζόντιο διαμελισμό
- Μέση στάθμη βρίσκεται σε υψόμετρο 80 μέτρα
- Μέσο βάθος 28,8 μέτρα ενώ το μέγιστο φτάνει τα 38,5 μέτρα
- Κατώτατη στάθμη υδροληψίας: + 43,50 μ.υ.θ.
- Λόγω χαμηλής υψομετρικής της θέσης η παροχέτευση των αποθεμάτων της Υλίκης στη λίμνη Μαραθώνα και στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας απαιτεί άντληση.

Με φυσική στάθμη: + 78,10 μ.υ.θ.

- Μέγιστη χωρητικότητα: 553 εκατ. κ.μ. νερού
- Μέγιστος ωφέλιμος όγκος: 543 εκατ. κ.μ. νερού



Με τεχνητή στάθμη: + 79,80 μ.υ.θ. , Υπερχείλιση (προς Παραλίμνη):

- Μέγιστη χωρητικότητα: 600 εκατ. κ.μ. νερού
- Μέγιστος ωφέλιμος όγκος: 590 εκατ. κ.μ. νερού

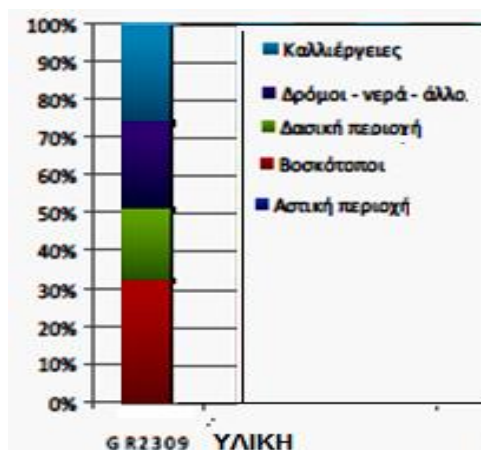
Οι ποσότητες που αντλούνται από την Υλίκη για την ύδρευση της Αθήνας είναι σημαντικές, ιδιαίτερα σε περιόδους χαμηλής υδροφορίας όπως την περίοδο 1989-1993, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκμετάλλευση των αποθεμάτων των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου. Σύμφωνα με την μελέτη του ΕΜΠ «Κατάρτιση Μεσοχρόνιου Προγράμματος Προστασίας και Διαχείρισης του Υδατικού Δυναμικού της Χώρας Αθήνα 2008», κατά την περίοδο 1980–2001, για την υδροδότηση της Αθήνας αντλήθηκαν κατά μέσο όρο από τη λίμνη Υλίκη $81 \text{ hm}^3 / \text{έτος}$. Ωστόσο μετά την ολοκλήρωση των έργων του Ευήνου, οι υδατικοί πόροι της Υλίκης χρησιμοποιούνται μόνο εφεδρικά. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι κατά την τριετία 2003–2005, οι απολήψεις από την Υλίκη κυμάνθηκαν στα επίπεδα των $2,9\text{--}7,0 \text{ hm}^3$. Κατά το υδρολογικό έτος 2000–01, οι απολήψεις ανήλθαν σε $73,5 \text{ hm}^3$, πλησίασαν δηλαδή τον μέσο όρο της προηγούμενης 20ετίας. Οι εκτιμήσεις αυτές αναφέρονται σε μέσα μεγέθη και δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά μιας ξηρής χρονιάς, οπότε οι απολήψεις από την Υλίκη εξαρτώνται από την εξέλιξη των αποθεμάτων των ταμιευτήρων Μόρνου και Ευήνου. Ακόμη, για περιβαλλοντικούς, λειτουργικούς και στατικούς λόγους, η ΕΥΔΑΠ κρίνει σκόπιμη την διατήρηση ελάχιστης ροής στο Υδραγωγείο Υλίκης σε συνεχή χρονική βάση $20.000 \text{ m}^3/\text{d}$. (ΥΠΕΚΑ, 2012γ)

Η συνολική κατάσταση των υδάτων της λίμνης Υλίκη κρίνεται ως καλή. Όσον αφορά τα επιφανειακά ύδατα, η οικολογική τους κατάσταση (τιμές βιολογικών παραμέτρων-Chla , φυσικοχημικών παραμέτρων & ειδικών ρύπων-Cu,Cr,Zn) χαρακτηρίζεται ως καλή. Ειδικότερα οι τιμές βιολογικών παραμέτρων-Chla ταξινομούν την οικολογική κατάσταση ως καλή. Αντίθετα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά δεν υποστηρίζουν την καλή οικολογική ποιότητα που προκύπτει με βάση το φυτοπλαγκτόν και υπογραμμίζουν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση. Ειδικότερα με βάσει μετρήσεις του 2007 επικρατούσαν υποοξικές συνθήκες $<2 \text{ mg/l}$ στο στρώμα νερού πάνω από τον πυθμένα, η δε διαφάνεια στη στήλη του νερού ήταν χαμηλή ($<1.5 \text{ m}$) λόγω αυξημένης ποσότητας αιωρούμενου σωματιδιακού υλικού (θρύμματα) (ΥΠΕΚΑ, 2012β).

Από την άλλη μεριά η κατάσταση των υπόγειων υδατικών συστημάτων στην υπολεκάνη της Υλίκης είναι καλή τόσο σε επίπεδο ποιοτικής κατάστασης όσο και σε επίπεδο χημικής κατάστασης.

Σημαντικό ρόλο στην ερμηνεία και κατανόηση της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης (επιφανειακά και υπόγεια ύδατα) και της έντασης των ανθρωπογενών πιέσεων, παίζουν οι υφιστάμενες χρήσεις γης.

Η έκταση της υπολεκάνης της λίμνης καλύπτεται κατά :



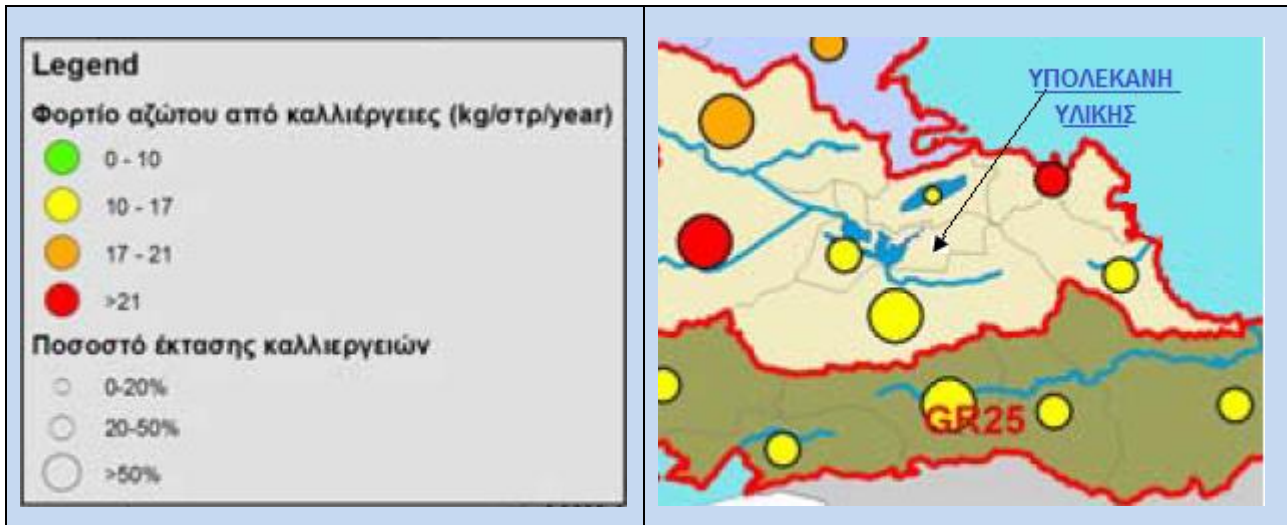
1. 32% από βοσκοτόπια
2. 27% από καλλιέργειες
3. 23% από νερό – δρόμους
4. 18% από δάσος

Βλέπουμε λοιπόν ότι περίπου το 60% της έκτασης διατίθεται σε αγροτοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Στη λίμνη Υλίκη καταλήγουν επιφανειακές απορροές, που μεταφέρουν φορτία αγροτοκτηνοτροφικής και αστικής προέλευσης. (ΥΠΕΚΑ, 2012γ).

Εικόνα 10 χρήσεις γης υπολεκάνη Υλίκης



Έτσι λοιπόν στην περιοχή νοτιοδυτικά της λίμνης Υλίκης(υπολεκάνη GR2309), όπου το ποσοστό της καλλιεργήσιμης έκτασης ξεπερνά το 50%, εντοπίζεται η μέγιστη φόρτιση Αζώτου από καλλιέργειες στη Λεκάνη Απορροής του Βοιωτικού Κηφισσού (GR23) (μεγαλύτερη από 21kg/στρέμμα/έτος . Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φορτίσεις αζώτου λόγω καλλιεργειών και λόγω μη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας (ζώα σε βοσκότοπους) στην υπολεκάνη της λίμνης Υλίκης.



Εικόνα 11 Φορτίο Αζώτου από καλλιέργειες(ΥΠΕΚΑ / ΕΓΥ 2012γ)



Εικόνα 12 Φορτίο Αζώτου από μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία(ΥΠΕΚΑ ,2012γ)

Εντός της Υπολεκάνης της λίμνης Υλίκης ή στα όρια της βρίσκονται πέντε οικισμοί : Ακραιφνιό, και Κόκκινο του Δήμου Ορχομενού, Μουρίκι και Ύπατο του Δήμου Θηβαίων και Υλίκη του Δήμου Χαλκιδέων(έως το 2010 άνηκε στον Καποδιστριακό δήμο Ανθήδωνος). Σε όλους τους παραπάνω οικισμούς δεν υπάρχει αποχετευτικό Δίκτυο. Επιπλέον ο πληθυσμός τους < 2000 ι.κ., δεν παρουσιάζει αξιόλογη εποχική διακύμανση. Σε αυτό συμβάλει και το γεγονός ότι στην περιοχή δεν υπάρχει τουριστική κίνηση.



Πίνακας 12 Πληθυσμικά & γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οικισμών πλησίον της Λίμνης Υλίκης

	Πληθυσμός	Μέσο Ύψος	Εντός Ζώνης Natura
Δ.Δ.Κοκκίνου	1.042	245	ΟΧΙ
Δ.Δ.Ακραιφνίου	1.256	180	ΟΧΙ
Δ.Δ.Μουρικού	593	160	ΣΤΑ ΟΡΙΑ
Δ.Δ.Υπάτου	374	204	ΟΧΙ
Δ.Δ.Υλίκης	36	-	ΝΑΙ
		Μέση Στάθμη Υλίκης 80m	

Το Δ.Δ. Υλίκης : άνηκε στον Καποδιστριακό δήμο Ανθήδωνος. Με βάση απογραφή του 2001 στο Δήμο το 96-97% των σπιτιών δεν ήταν συνδεδεμένο σε αποχετευτικό δίκτυο και χρησιμοποιούσε για αποχέτευση Βόθρους ή παρόμοια συστήματα

Στα υπόλοιπα Δ.Δ.: δεν υπάρχει επίσης αποχετευτικό δίκτυο και χρησιμοποιούνται βόθροι ή παρόμοια συστήματα

(Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Θηβαίων σελ 23,25,37)

(Πηγή: Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Ορχομενού σελ 13,14 44)

Οι Εκτιμώμενες συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων στις επιφανειακές απορροές της Υπολεκάνης της λίμνης Υλίκης(GR2309) του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) είναι :

- BOD : 6,945 mg/lit
- N: 5,311 mg/lit
- P : 7,467 mg/lit

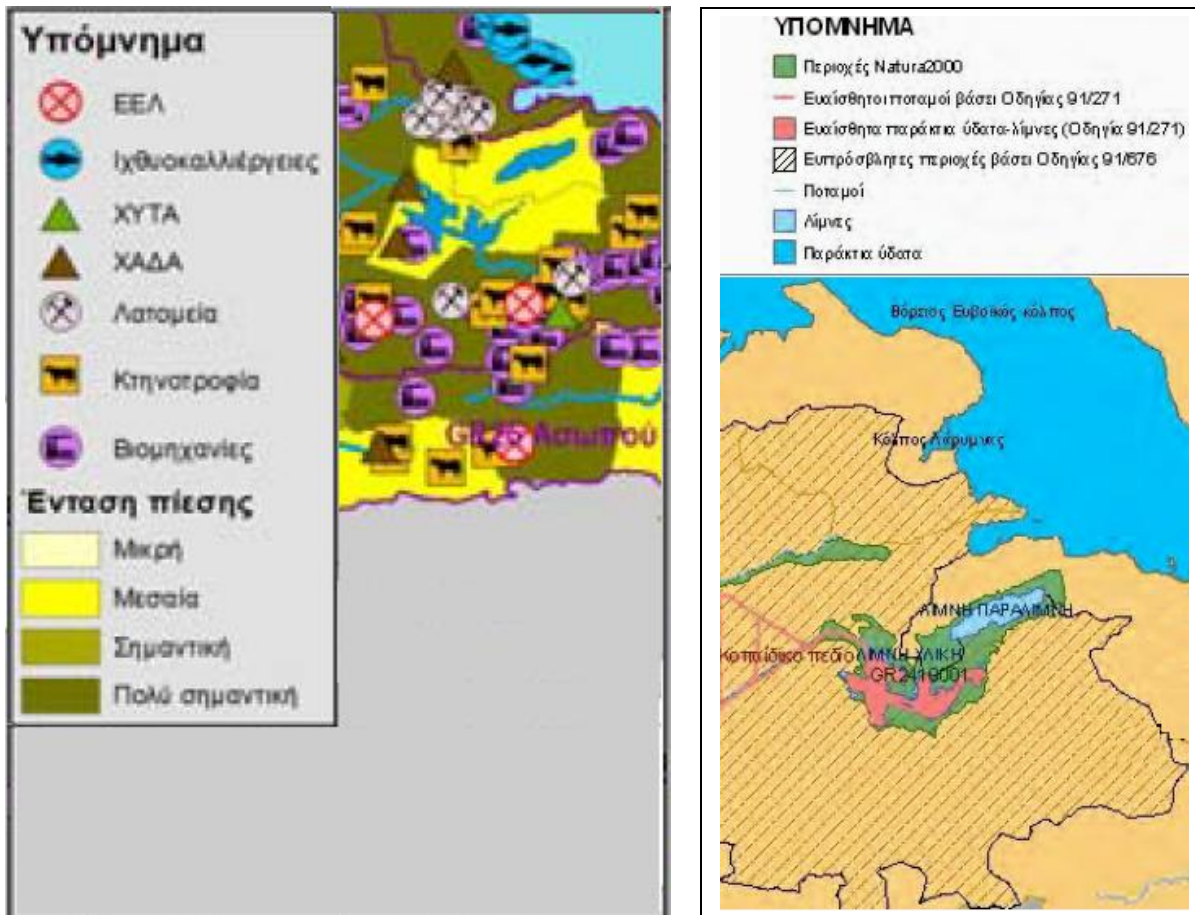
Ύστερα από τη συναξιολόγηση των ανθρωπογενών πιέσεων διαπιστώθηκε ότι η υπολεκάνη υπόκειται σε μεσαίου βαθμού έντασης ανθρωπογενών πιέσεων. Τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχουν οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις, καθώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι επιφανειακές τους απορροές μεταφέρουν θρεπτικά στη λίμνη και αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης ευτροφισμού.

Κωδικός υπολεκάνης	Αναγνωριστικό υπολεκάνης	Κριτήριο				Υψηλή				Μεσαία				Χαμηλή						
		Βαθμολογία				2				1				0						
GR2309	ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΣΟΣ	Οικισμοί με ΕΕΑ	Οικισμοί χωρίς ΕΕΑ	Αριθμός μονάδων IPCC	Αριθμός βιομηχανικών Μονάδων σχετιζόμενες με απορριψίσιμες ουσίες προτεραιότητας	Αριθμός βιομηχανικών μονάδων σχετιζόμενες με απορριψίσιμες άλλων ουσιών	Αριθμός μονάδων Seveso	Κτηνοτροφικές μονάδες	Ιχθυοκαλλιέργειες	Ποσοστό κάλυψης καλλιεργήσιμων εκτάσεων	Συγκέντρωση οργανικών φορτίου και θρεπτικών στις επιφανειακές απορροές	Συγκέντρωση BOD στις επιφαν. απορροές	Συγκέντρωση αζώτου στις επιφαν. απορροές	Συγκέντρωση φωσφόρου στις επιφαν. απορροές	Φόρτιση φορτίου φωσφόρου σε λιμνές/ταμιευτήρες (από επιφαν. απορροές)	Αριθμός μεταλλείων	Ποσοστό κάλυψης αστικής περιοχής	Αριθμός ενεργών ΧΑΔΑ	Τελική βαθμολογία	Χαρακτηρισμός έντασης πίεσης υπολεκάνης
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	4	Μεσαία

Εικόνα 13 Ένταση ανθρωπογενών πιέσεων στην υπολεκάνη της Λίμνης Υλίκης



Στη συνέχεια ακολουθεί απεικόνιση των παραπάνω πιέσεων. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι με στόχο τη διαφύλαξη και αναβάθμιση της ποιοτικής κατάστασης της , η λίμνη Υλίκη έχει ενταχθεί στο Natura 2000, περιλαμβάνεται στα ευαίσθητα παράκτια ύδατα – λίμνες(Οδηγία 91/271) και είναι τμήμα του Κωπαϊδικού πεδίου, το οποίο βάσει της Οδηγίας 91/676 αντιμετωπίζεται ως ευπρόσβλητη περιοχή. Επίσης σύμφωνα με την ΚΥΑ 19661/1982/1999, απαγορεύεται η διάθεση σε αυτήν κάθε είδους αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, ανεξάρτητα από το βαθμό καθαρισμού τους.



Εικόνα 14 Ένταση πιέσεων(ΥΠΕΚΑ, 2012γ) Καθεστώς Προστασίας της Λίμνης Υλίκης (ΥΠΕΚΑ, 2009)

Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ στην υπολεκάνη της λίμνης Υλίκης βρίσκονται 2 ανενεργοί ΧΑΔΑ και μια βιομηχανία (δε περιλαμβάνεται στις IPPC βιομηχανίες). Επιπλέον εκτιμάται ότι θα επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, δηλαδή μέχρι το 2015 η συνολική κατάσταση των υδάτων του λίμνης θα είναι καλή.

7.2 Πηγές ρύπανσης ταμειυτήρων Υλίκης & Πλαστήρα

7.2.1 Γενικά

Η διερεύνηση της κατάστασης ενός υδατινου σώματος επηρεάζεται όχι μόνο από τις διεργασίες στο εσωτερικό του, αλλά και από τις φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σημειώνονται στην ευρύτερη περιοχή. Επομένως απαιτείται συλλογή στοιχείων που αφορούν στη λεκάνη απορροής, καθώς η κατάστασή του.



Οι ανθρωπογενείς πιέσεις στις οποίες υπόκεινται οι Λίμνες Πλαστήρα & Υλίκη συνίστανται

- στην εκροή ρυπαντικών φορτίων στις Λίμνες
- σε απολήψεις υδάτινων αποθεμάτων και στη μορφολογία των υδάτινων σωμάτων (φράγματα, διευθετήσεις υδάτινων σωμάτων που καταλήγουν στη λίμνη, αμμοληψίες κλπ.)

Όσον αφορά τη ρύπανση, αυτή είναι δυνατόν να είναι σημειακή ή μη. Η σημειακή πηγή ρύπανσης μπορεί να εντοπιστεί σε περιορισμένα γεωγραφικά όρια. Ως σημειακές πηγές ρύπανσης λογίζονται τα σημεία εκροής δικτύου αποχέτευσης και συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων αστικής προέλευσης. Στην ίδια κατηγορία περιλαμβάνονται και τα σημεία διάθεσης ή εκροής αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων καθώς και οι βιομηχανικές μονάδες.

Στη μη σημειακή - διαχυτή, ρύπανση η πηγή ρύπανσης δεν είναι εντοπισμένη χωρικά. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται η ρύπανση λόγω μεταφοράς ρυπαντικών φορτίων με τις επιφανειακές απορροές.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα αλλά και τα διαχειριστικά σχέδια του Υδατικού διαμερίσματος Ανατολικής και Δυτικής Στερέας Ελλάδας, που εκπόνησε η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ στην περίπτωση των ταμιευτήρων Υλίκης, Πλαστήρα τα εισερχόμενα σε αυτούς ρυπαντικά φορτία προέρχονται κυρίως από διαχυτές πηγές ρύπανσης. Σημειακές πηγές ρύπανσης καταγράφονται μόνο στη λίμνη Πλαστήρα. Αυτές αντιστοιχούν στις τρεις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας που λειτουργούν στην λεκάνη απορροής της λίμνης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι βάσει των διαθέσιμων δεδομένων σε καμία λίμνη δεν έχει καταγραφεί σημειακή πηγή ρύπανσης αστικής προέλευσης. Επισήμως λοιπόν δεν έχει καταγραφεί κάποιο αποχετευτικό, παντοροϊκό δίκτυο ή σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων – ΕΕΛ που να εκρέει στις εξεταζόμενες λίμνες. Δεν μπορεί βέβαια να αποκλειστεί το ενδεχόμενο παράνομης διάθεσης αστικών απόβλητων στις Λίμνες μέσω σημειακών πηγών. Τα ρυπαντικά φορτία από διαχυτές πηγές ρύπανσης αστικής προέλευσης μπορούν να αποδοθούν

- σε επιφανειακή διαφυγή ρύπων λόγω υπερχειλίσης βόθρων και παράσυρσης τους με τις επιφανειακές απορροές
- σε διήθηση στο έδαφος & υπεδάφια διαφυγή αποβλήτων από απορροφητικούς βόθρους. Ακολουθεί εκροή τους σε υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα

Ακολουθεί παρουσίαση των μορφών ρύπανσης που συναντώνται σε κάθε μελετώμενη λίμνη τόσο σε θεωρητικό όσο και σε Ποσοτικό επίπεδο, δηλαδή τιμές φορτίων kg ρύπου/ έτος και χρονικής - ποιοτικής κατανομής τους .

7.2.2 Σημειακές Πηγές Ρύπανσης στη "Λίμνη Πλαστήρα" Θεωρητική Παρουσίαση

7.2.2.1 Ιχθυοκαλλιέργειες

Στη χώρα μας και εν προκειμένω στη λίμνη Πλαστήρα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιεργητικής δραστηριότητας, με τη μορφή που αυτή έχει αναπτυχθεί, αφορούν σε:

1. Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον(θάλασσα- λίμνες-ποτάμια) ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης και λειτουργίας:
 - Μονάδων εκτροφής (πλωτοί κλωβοί, σχεδίες εκτροφής μυδιών/οστράκων)



2. Επιπτώσεις στο χερσαίο περιβάλλον ως αποτέλεσμα της εγκατάστασης και λειτουργίας:
 - Σταθμών παραγωγής γόνου (εκκολαπτήρια ψαριών και λοιπών ειδών) και μονάδων προπάχυνσης ειδών θαλάσσιας ιχθυοκαλλιέργειας
 - Μονάδων συσκευασίας και παραγωγής μη μεταποιημένων αλιευτικών προϊόντων (συσκευαστήρια)
 - Υποστηρικτικών υποδομών μονάδων πλωτής υδατοκαλλιέργειας (αποθήκες, φυλάκια, δρόμοι πρόσβασης κλπ)
 - Χερσαίων μονάδων παραγωγής ειδών εσωτερικών υδάτων (ειδών γλυκού νερού)
 - Κέντρων Εξυγίανσης Οστράκων (ΚΕΟ), Κέντρων Αποστολής Οστράκων (ΚΑΟ)

7.2.2.2 Ιχθυοκαλλιέργειες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις πλωτών Μονάδων στο υδάτινο περιβάλλον

Τα απόβλητα μιας μονάδας ιχθυοκαλλιέργειας τα υπολείμματα των τροφών, τα περιττώματα και τα υγρά απεκκρίματα των ψαριών και σε μερικές περιπτώσεις νεκρά ψάρια διαφεύγουν ακαριαία στον υδάτινο αποδέκτη. Οι εκρέομενοι στο υδάτινο περιβάλλον ρύποι είναι το οργανικό φορτίο (BOD), το ολικό άζωτο και ο ολικός φώσφορος. Η φόρτιση των θρεπτικών στο περιβάλλον ουσιαστικά είναι η διαφορά μεταξύ της φόρτισης του συστήματος από την τροφή και εκείνης της ποσότητας που χρησιμοποιείται από τα ψάρια για την ανάπτυξή τους.

Το ποσοστό της απώλειας τροφής ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 9 ως 10% της ημερήσιας παροχής. Στις ιχθυοκαλλιέργειες με πλωτούς κλωβούς μεγάλο μέρος της τροφής που διαφεύγει καταναλώνεται από ελεύθερα ψάρια που συγκεντρώνονται κοντά στους κλωβούς με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το ποσοστό που επιβαρύνει το ίζημα.

Τα περιττώματα ανέρχονται κατά μέσο όρο στο 10% της παρεχόμενης ημερήσιας ποσότητας τροφής, θεωρώντας ότι η μέση πεπτικότητα των συστατικών της τροφής αγγίζει το 90%(BioMar, πρόγραμμα ecolife Νο 17-τσιπούρα). Άρα, για ένα τόνο ψαριών, από τα 90 kg τροφής που δίνονται καθημερινώς τα 9 kg διαφεύγουν και ταυτόχρονα απελευθερώνονται ως παραπροϊόντα του μεταβολισμού 8,1 kg άπεμπτης τροφής. (ΥΠΕΚΑ,2012γ)

Από τις προαναφερόμενες πηγές πληροφόρησης γίνεται αποδεκτό, ότι οι υγρές απεκκρίσεις από τα βράγχια των ψαριών ανέρχονται σε 10 gr/kg ημερησίως. Οπότε, για ένα τόνο ψαριών προκύπτει ότι 10 kg υγρών αποβλήτων αποβάλλονται ημερησίως στο θαλάσσιο σύστημα. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν μεταξύ άλλων 0,007% πρωτεΐνες και 2,3% καθαρή αμμωνία.

Εκτιμάται ότι ανά τόνο διαφόρων εκτρεφόμενων ψαριών παράγονται τα παρακάτω ρυπαντικά φορτία

Πίνακας 13 Συντελεστές εκπομπής θρεπτικών από υδατοκαλλιέργειες ΥΠΕΚΑ 2012(8)

Είδος	TN (kg/tn)	TP (kg/tn)	BOD (kg/tn)
Σολωμός	72,7	8,5	299,6
Πέστροφα	99,0	15,8	580,2
Χέλια	84,6	11,8	432,1
Τσιπούρα - λαυράκι	118,1	21,0	664,7
Τιλάπια	94,2	14,4	535,3
Κυπρίνος	99,0	15,8	580,2



Η διαφυγή των ρυπαντικών φορτίων στον υδάτινο αποδέκτη οδηγεί σε φαινόμενα ευτροφισμού. Το πρόβλημα είναι μεγαλύτερο όταν η εκτροφή γίνεται σε κλωβούς εντός του υδάτινου αποδέκτη. Η πιο ευπρόσβλητη περιοχή είναι αυτή κάτω και πέριξ του κλωβού. Επιπλέον ο ευρύτερος χώρος του κλωβού υπόκειται σε Οργανική Ρύπανση, καθώς σημαντικές ποσότητες οργανικών ουσιών που κυρίως προέρχονται από τα παραπροϊόντα του μεταβολισμού των ψαριών και τα υπολείμματα της ασύλληπτης τροφής καταβυθίζονται στο υποκείμενο ίζημα και το μετατρέπουν γρήγορα σε ένα ανοξικό και αφιλόξενο περιβάλλον.

7.2.3 Ιχθυοκαλλιέργειες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις χερσαίων εγκαταστάσεων

Για τις εγκαταστάσεις ξηράς γίνεται η παραδοχή ότι τα απόβλητα επεξεργάζονται με τη μέθοδο της μηχανικής καθίζησης και απομάκρυνσης της λάσπης, με τα παρακάτω ποσοστά απομείωσης των φορτίων [ΥΠΕΚΑ 2012(8)]:

- BOD : 40%

- TN: 10%

- TP: 40%

Η παραγόμενη λάσπη υπόκειται σε πάχυνση και σταθεροποίηση και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό. Τα υγρά απόβλητα ή μεταφέρονται σε άλλες ΕΕΛ προς περαιτέρω επεξεργασία ή εφαρμόζεται εδαφική διάθεση τους. Δε συνηθίζεται η παροχέτευση τους σε υδάτινο αποδέκτη.

7.2.4 Λίμνη Υλίκη – Πλαστήρα: Διαχυτές Πηγές Ρύπανσης Θεωρητική Παρουσίαση

7.2.4.1 Γενικά

Οι σημαντικότερες διάχυτες πηγές ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων στις λίμνες Πλαστήρα & Υλίκη, συνδέονται με ανθρώπινες δραστηριότητες και είναι (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2012):

- Τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα
- Οι επιφανειακές απορροές από χρήσεις γης
- Τα κτηνοτροφικά απόβλητα

7.2.4.2 Ανεπεξέργαστα αστικά λύματα

Τα αστικά λύματα καταλήγουν σε βόθρους, οι οποίοι μπορεί να είναι απορροφητικοί ή στεγανοί, με αποτέλεσμα ο αποδέκτης των ανεπεξέργαστων πλέον λυμάτων να είναι είτε το έδαφος και κατ' επέκταση ο εκάστοτε υπόγειος υδροφόρος είτε κάποιο επιφανειακό υδάτινο σώμα, ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα υδατικά οικοσυστήματα επιβαρύνονται από υπερχειλίσεις συστημάτων αποχέτευσης (βόθροι ή δίκτυο ακαθάρτων - όμβριων - παντοροϊκό) και από αστικά υγρά απόβλητα που διατίθενται σε καλλιεργούμενες ή χέρσες εκτάσεις και απορρέουν επιφανειακά μέσω της στράγγισης των εκτάσεων.

Από τα λύματα που καταλήγουν σε βόθρους, θεωρείται ότι γίνεται απομείωση κατά 30% του οργανικού φορτίου και το υπόλοιπο 70% τελικά καταλήγει στα επιφανειακά ή/και τα υπόγεια ύδατα. Σχετικά με το άζωτο και το φώσφορο δεν λαμβάνεται καμία μείωση.

7.2.4.3 Επιφανειακές απορροές



Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις που φτάνουν στην επιφάνεια του εδάφους είτε κινούνται υπό την επίδραση της βαρύτητας στην επιφάνεια του εδάφους, είτε διηθούνται στο έδαφος. Το μέρος της κατακρημνίσης που κινείται στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την επιφανειακή απορροή.

Οι Επιφανειακές απορροές, που εξετάζονται στη μελέτη της λίμνης Υλίκης και Πλαστήρα συμπεριλαμβάνονται στις διαχυτές πηγές ρύπανσης, σχετίζονται με τις χρήσεις γης και ευθύνονται για τον εμπλουτισμό των επιφανειακών όσο και των υπογείων υδάτων με θρεπτικά συστατικά (νιτρικά και φωσφορικά). Όσον αφορά στις αγροτικές χρήσεις γης, η ρύπανση αποδίδεται κυρίως στη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται ευρέως στις καλλιέργειες και με διάφορους τρόπους καταλήγουν, είτε άμεσα ή έμμεσα στους υδάτινους αποδέκτες. Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών και νιτρικών στις επιφανειακές απορροές ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τη χρήση γης. Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία για τους συντελεστές απορροής ανά έκταση (Ανδρεαδάκης, 1986).

Δασώδεις εκτάσεις:

Βιβλιογραφικά στοιχεία εκτιμούν την ετήσια ποσότητα φωσφόρου που απορρέει ανά τετραγωνικό μέτρο δασώδους εκτάσεως μεταξύ 0,005-0,02 gr/m²/έτος. Η υπηρεσία ΕΡΑ εκτιμά το συντελεστή αυτό σε 0,01 gr P/m²/έτος. Αντίστοιχα για το άζωτο η τιμή του συντελεστή κυμαίνεται από 0,25–0,90 gr/m²/έτος, με τυπική τιμή 0,30 gr N/m²/έτος.

Γεωργική γη – Βοσκότοποι:

Κύριες πηγές φωσφόρου αποτελούν ο φώσφορος που υπάρχει στο έδαφος ή που προστίθεται σαν λίπασμα και τα απόβλητα των ζώων. Οι συντελεστές εξαγωγής φωσφόρου κυμαίνονται από 0,006–0,29 grP/m²/έτος με χαρακτηριστικότερη τιμή 0,05 gr P/m²/έτος. Η διακύμανση του συντελεστή σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τον βαθμό διάβρωσης των εδαφών κατά την απορροή, η οποία συντελεί στην μεταφορά αδιάλυτου φώσφορου, αυξάνοντας την τιμή του συντελεστή. Αντίθετα με το φώσφορο, το άζωτο μπορεί να διοχετευτεί σχετικά εύκολα και στα υπόγεια νερά και να τροφοδοτήσει επιφανειακούς αποδέκτες, με συνέπεια να παρουσιάζονται υψηλοί συντελεστές απορροής στις αρδευόμενες εκτάσεις, που κυμαίνονται μεταξύ 0,20– 1,30 gr/m²/έτος με τυπική τιμή τα 0,50 grN/m²/έτος .

Χώρος εκτροφής ζώων – απόθεσης αποβλήτων:

Για βροχόπτωση της τάξεως των 1.000 mm/έτος εκτιμάται ότι περίπου 30–40% του όγκου των αποβλήτων ρέουν επιφανειακά, οι δε συγκεντρώσεις P είναι περίπου 40–50% των συγκεντρώσεων φωσφόρου στα απόβλητα. Επομένως τελικά το 15% του P εξάγεται και μπορεί να τροφοδοτήσει τον επιφανειακό αποδέκτη. Γενικότερα εκτιμάται ότι από τα απόβλητα των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων στους αποδέκτες φτάνει το 15% και 3% του συνολικού παραγόμενου φορτίου αζώτου και φωσφόρου αντίστοιχα.

Αστικές περιοχές:

Οι απορροές των αστικών περιοχών (κυρίως αυτές που συλλέγονται σε δίκτυο) τροφοδοτούν επιφανειακούς αποδέκτες με θρεπτικά που πηγάζουν από διάφορες δραστηριότητες συνυφασμένες με την πόλη. Η διακύμανση των συντελεστών για φώσφορο και άζωτο αντίστοιχα, είναι 0,03–0,16 gr/m²/έτος και 0,25- 0,90 gr/m²/έτος με συνηθέστερες τιμές 0,10 gr P/m²/έτος και 0,50 gr N/m²/έτος. Στις επιφανειακές απορροές αστικής προέλευσης συμπεριλαμβάνονται υγρά απόβλητα καθαρισμού αστικών περιοχών, που απορρέουν επιφανειακά ή υπεδάφια προς τους υδάτινους αποδέκτες

Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις:

Οι κατακρημνίσεις θρεπτικών εκτιμώνται σε 0,02 – 0,025 gr/m²/έτος συνήθως 0,025 grP/m²/έτος και 0,8–2,4 grN/m²/έτος με τυπική τιμή 2,0 gr N/m²/έτος. Σημειώνεται ότι εδώ η έκταση αφορά στην επιφάνεια του αποδέκτη.

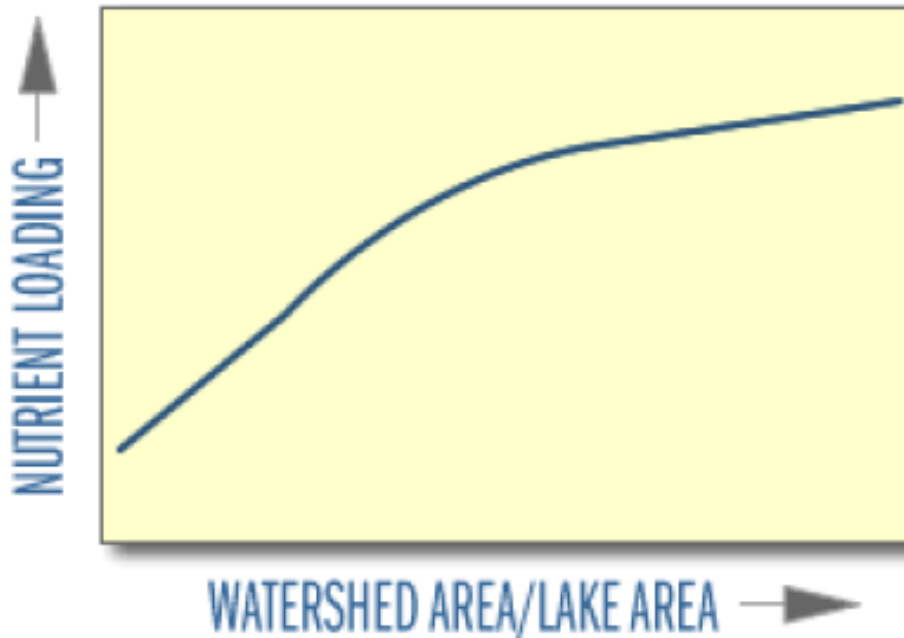


Πίνακας 14 Τυπικοί συντελεστές ρύπων ανά χρήση γης. (ΥΠΕΧΩΔΕ,2012)

Κατηγορία χρήσης γης	TN (kgN/ha.y)	TP (kgN/ha.y)
Δάση	3	0.1
Βοσκότοποι/λιβάδια	5	0.5
Καλλιέργειες	40	0.5
Αστικές περιοχές	5	1
Ατμοσφαιρικές αποθέσεις		
Χαμηλό υψόμετρο < 400 m	1.20	0.01
Υψηλό υψόμετρο	3.00	0.025

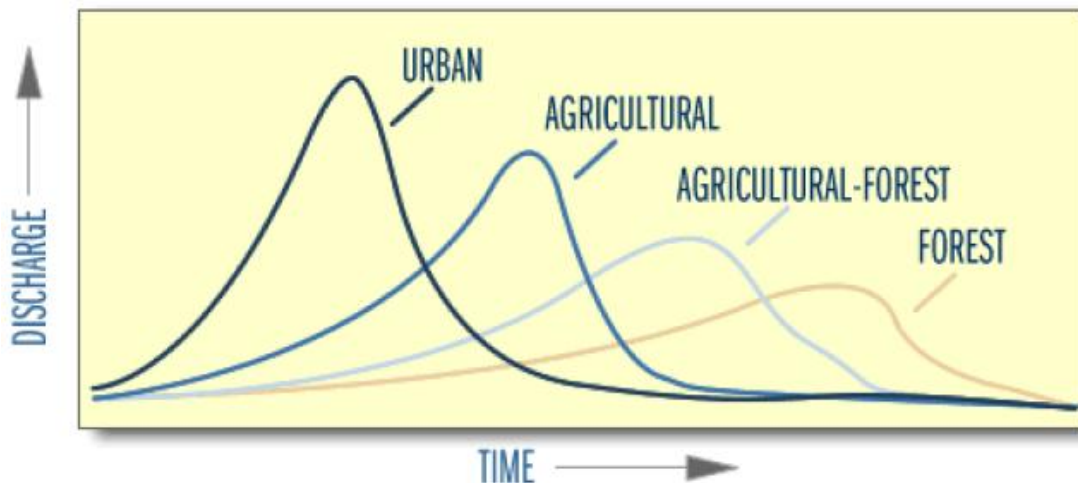
Γενικότερα πρέπει να τονισθεί ότι όσο αυξάνεται η έκταση της λεκάνης απορροής ενός λιμναίου συστήματος έναντι της έκτασης της λίμνης τόσο αυξάνεται και η ποσότητα φερτών υλικών – θρεπτικών που καταλήγει στη λίμνη.

Όπως ήδη είδαμε οι χρήσεις γης έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα και στην ποσότητα του νερού που εισέρχεται στις λίμνες. Για παράδειγμα οι επιφανειακές αστικές απορροές λόγω επεισοδίων βροχής είναι πολύ μεγαλύτερες σε όγκο από τις αντίστοιχες αγροτοδοασικές και εμφανίζονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μετά την έναρξη της βροχόπτωσης. Αντίθετα οι απορροές των αγροτοδοασικών εκτάσεων εκφορτίζονται με βραδύτερους ρυθμούς.



Εικόνα 15 Φορτίο θρεπτικών που καταλήγει σε μια λίμνη συναρτήσει της έκτασης της λεκάνης απορροής της ανηγμένης ως προς την έκταση της λίμνης (Horne et al., 1994)

STORMWATER DISCHARGES FROM VARIOUS LAND COVERS



Εικόνα 16 Όγκος επιφανειακών απορροών αστικής και αγροτοδοασικής προέλευσης συναρτήσει του χρόνου εκφόρτησης τους σε λιμναία σώματα (Horne et al., 1994)

7.2.4.4 Απόβλητα Μονάδων Ιχθυοκαλλιέργειας Ξηράς & Κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων Θεωρητική Παρουσίαση

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα γνωρίζουμε ότι στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα είναι χρωσθετημένες χερσαίες εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειών και κτηνοτροφικές μονάδες. Αντίθετα στη λεκάνη απορροής της λίμνης Υλίκη εντοπίζονται κτηνοτροφικές μονάδες και απουσιάζουν χερσαίες εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιέργειών.

Οι κύριοι ρύποι που σχετίζονται με κτηνοτροφικές μονάδες και τις δραστηριότητες τους περιλαμβάνουν το οργανικό υλικό κατανάλωσης οξυγόνου (BOD), άζωτο, φώσφορο.

Κατά την εκτροφή των ζώων, παράγονται ρυπαντικά φορτία που εντοπίζονται στα όρια ή μέσα στις εγκαταστάσεις της κτηνοτροφικής μονάδας. Αυτό συνεπάγεται ότι οι πιθανές επιπτώσεις τους αφορούν μόνο τα υδάτινα σώματα, που βρίσκονται σε στενή εγγύτητα με τις μονάδες αυτές. Η εφαρμοζόμενη πρακτική διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων, απουσία διαθέσιμων στοιχείων, θεωρείται ότι περιορίζεται στο διαχωρισμό των στερεών από τα υγρά απόβλητα.

Όσον αφορά τα υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, αυτά συνήθως διατίθενται σε αγροτικές εκτάσεις. Στη συνέχεια απορρέουν επιφανειακά μέσω της στράγγισης των εκτάσεων ή διηθούνται στο έδαφος και απορρέουν υπεδάφια προς τους υδάτινους αποδέκτες.

Στα κτηνοτροφικά υγρά απόβλητα συμπεριλαμβάνονται και τα υγρά απόβλητα καθαρισμού κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, τα υγρά απόβλητα μεταβολισμού και εκτροφής των ζώων και διερχόμενες από την κτηνοτροφική μονάδα επιφανειακές απορροές πχ βρόχινο νερό.

Με βάση στοιχεία από τη βιβλιογραφία, θεωρείται ότι το 30% των παραχθέντων φορτίων μπορεί να καταλήξει στο υδάτινο περιβάλλον. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το κλίμα, το έδαφος και τη βλάστηση της περιοχής. Για την ποσοτικοποίηση των παραπάνω φορτίων χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά των ζωικών αποβλήτων, που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα :



Πίνακας 15 Χαρακτηριστικά ζωικών αποβλήτων (Kg/ημέρα /τόνο σωματικού βάρους)

	ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΑ	ΧΟΙΡΟΙ	ΒΟΟΕΙΔΗ	ΠΟΥΛΕΡΙΚΑ
BOD	1.67	1	1.5	1.53
TN	0.41	0.48	0.45	0.33
TP	0.07	0.14	0.05	0.22

Στις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας ξηράς, στην περίπτωση εδαφικής διάθεσης των υγρών απόβλητων υπάρχει κίνδυνος επιφανειακής απορροής ή υπεδάφιας διαφυγής τους προς γειτονικούς υδάτινους αποδέκτες.

Στην περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα μία από τις τρεις μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας με την επωνυμία ΝΗΣΣΑΣ ΕΠΕ διαθέτει επιφανειακά τα υγρά απόβλητα από την επεξεργασία και συντήρηση των βρώσιμων αλιευμάτων και προϊόντων τους.

ΥΔ	ΛΑΠ	ID	Industcode	ΕΠΩΝΥΜΙΑ	ΣΤΑΚΟΔ 2003	ΣΤΑΚΟΔ 4ΨΗΦΙΟΣ 2003	ΝΟΜΟΣ	ΔΗΜΟΣ (Π. Καλλικράτης)	ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ
GR04	GR15	48	IND04-48	ΝΗΣΣΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	152	152.0	ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	Δ. ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ	Δ.Δ. ΚΑΡΙΤΣΗΣ ΔΟΛΟΠΩΝ

ΥΔ	ΛΑΠ	ID	Ixthycode	Stakod_03	Stakod_08	ΕΠΩΝΥΜΙΑ	Y_egsa	ΤΥΠΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
GR04	GR15	40	IXTH04-40	50.2	3.22	ΝΗΣΣΑΣ ΕΠΕ	4346924,34	ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΠΕΣΤΡΟΦΑ

ΥΔ	ΛΑΠ	ID	Ixthycode	Stakod_03	Stakod_08	ΕΠΩΝΥΜΙΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ (TN/ΕΤΟΣ)	BOD_Φορτίο (Kg/έτος)	TN_Φορτίο (kg/έτος)	TP_Φορτίο (kg/έτος)
GR04	GR15	40	IXTH04-40	50.2	3.22	ΝΗΣΣΑΣ ΕΠΕ	20	6962	1782	189

ΥΔ	ΛΑΠ	ID	Industcode	ΕΠΩΝΥΜΙΑ	Y_egsa	ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
GR04	GR15	48	IND04-48	ΝΗΣΣΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	4347396	ΚΥΡΙΩΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ

Εικόνα 17 Λίμνη Πλαστήρα : Μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας που διαθέτουν επιφανειακά τα υγρά τους απόβλητα (ΥΠΕΚΑ, 2012(8))



7.2.5 Πηγές ρύπανσης ταμιευτήρων Υλίκης & Πλαστήρα. Ποσοτική παρουσίαση

Η ποσοτική παρουσίαση των πηγών ρύπανσης των Ταμιευτήρων Υλίκης & Πλαστήρα περιλαμβάνει την παράθεση

- των εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων kg ρύπου/ έτος και
- της χρονικής - ποιοτικής κατανομής τους

Φορτία (kg/έτος) Μη σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 16: Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές

ΛΙΜΝΗ ΠΛΑΣΤΗΡΑ	TN	TP	BOD	Κατανομή φορτίων
Αστικές περιοχές	4557 kg/έτος N-NH 80% & N-NO 20%	100 kg/έτος 100% IP	15948 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος
Καλλιέργειες	3376 kg/έτος N-NO 80% & N-NH 20%	695 kg/έτος 100% IP	-	Μάιος έως Σεπτέμβριος 60% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα Οκτώβριος έως Απρίλιος 40% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα
Κτηνοτροφία	10884 kg/έτος N-NO 30% & N-NH 70%	302 kg/έτος 100% IP	26198 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος

Φορτία (kg/έτος) Σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 17 Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από σημειακές πηγές

ΛΙΜΝΗ ΠΛΑΣΤΗΡΑ	TN	TP	BOD	Κατανομή φορτίων
Ιχθυοκαλλιέργειες	4100 kg/έτος 100% N-NH	435 kg/έτος 100% IP	16000 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος



Φορτία (kg/έτος) Μη σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 18: Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές

ΛΙΜΝΗ ΥΛΙΚΗ	TN kg/έτος	TP kg/έτος	BOD kg/έτος	Κατανομή φορτίων
Αστικές περιοχές	27,8 N-NH 80% & N-NO 20%	1,45 100% IP	486,48	Ισοκατανομή σε όλο το έτος
Καλλιέργειες	13154 N-NO 80% & N-NH 20%	19612 100% IP	—	Μάιος έως Σεπτέμβριος 60% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα Οκτώβριος έως Απρίλιος 40% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα
Κτηνοτροφία	1859 N-NO 30% & N-NH 70%	1042,46 100% IP	26751,8	Ισοκατανομή σε όλο το έτος

Ακολουθεί η περιγραφή των Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών ελέγχου και περιορισμού των παραπάνω πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων.

7.3 Λίμνη Υλίκη & Πλαστήρα: Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" ελέγχου και περιορισμού των πηγών ρύπανσης και των συναφών ρυπαντικών φορτίων.

7.3.1 Γενικά

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι προτεινόμενες "BMPs" για τον έλεγχο των πηγών ρύπανσης, που συναντώνται στις εξεταζόμενες Λίμνες. Η επιλογή των "BMPs" έγινε βάσει της διεθνώς ακολουθούμενης πρακτικής σε παρόμοιες περιπτώσεις ρύπανσης. Οι "BMPs" κατηγοριοποιούνται με κριτήριο τις χρήσεις γης και τις εμπλεκόμενες ανθρωπογενείς πιέσεις. Η παρουσίαση που θα ακολουθήσει περιλαμβάνει τις βασικές αρχές των BMP's και τα ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων που επιτυγχάνουν.

Οι BMPs μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις :

- Μη δομικές BMPs :
εστιάζουν στη λήψη μέτρων πρόληψης της ρύπανσης. Περιλαμβάνουν κανονισμούς και ρυθμίσεις, που αποσκοπούν στην παρεμπόδιση του εμπλουτισμού των απορροών με ρύπους. Είναι προφανές ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η παρεμπόδιση της ρύπανσης προτού εμφανιστεί καθιστά τη διαχείριση της ευκολότερη και αποτελεσματικότερη.
- Δομικές BMPs :
επικεντρώνονται σε δομικές κατασκευές αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα της ρύπανσης μετά την εμφάνιση του.



7.3.2 Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" ελέγχου και περιορισμού των πηγών ρύπανσης

Στα πλαίσια της μελέτης προσομοίωσης των Λιμναίων Υδατικών συστημάτων Πλαστήρα και Υλίκης διαπιστώθηκε ότι τα εισερχόμενα ρυπαντικά φορτία προέρχονται κατά κύριο λόγο από διαχυτές πηγές ρύπανσης (κτηνοτροφικές, αστικές και γεωργικές). Είναι λοιπόν προφανές ότι ο περιορισμός των ρυπαντικών φορτίων προϋποθέτει τον έλεγχο των επιφανειακών απορροών.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στη μη σημειακή διαχυτή ρύπανση και θα περιγραφούν αναλυτικά τα μέτρα ελέγχου και περιορισμού της.

7.3.2.1 Μη σημειακή ρύπανση υδάτων

Διακρίνεται στην ατμοσφαιρική και στη ρύπανση υδάτων από διαχυτές πηγές. Στα πλαίσια της μη σημειακής ρύπανσης υδάτων, ο αέρας και οι επιφανειακές απορροές αγροτο-κτηνοτροφικών εκτάσεων μεταφέρουν τους ρύπους στους υδάτινους αποδέκτες.

Στις Λίμνες Υλίκη & Πλαστήρα η μη σημειακή ρύπανση από επιφανειακές απορροές αστικής προέλευσης κρίνεται ως περιορισμένη, για αυτό και δε θα περιγραφεί. Ο περιορισμός της ρύπανσης των υδατικών συστημάτων από αστικές πηγές θα μελετηθεί σε ξεχωριστή ενότητα. Σε αυτή προτείνεται η υιοθέτηση μιας σειράς BMP's που επιτυγχάνουν τον περιορισμό της διαχυτής και σημειακής ρύπανσης αστικής προέλευσης.

Η ατμοσφαιρική μη σημειακή ρύπανση αποδίδεται στις αέριες εκπομπές των εργοστασίων και των αυτοκινήτων. Η συγκεκριμένη περίπτωση ρύπανσης λογίζεται ως μη σημειακή λόγω της μεγάλης διασποράς των αέριων ρύπων και των πολλαπλών σημειακών πηγών εκπομπής τους.

7.3.2.1.1 Πηγές Μη σημειακής ρύπανσης από αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Τα ρυπαντικά φορτία αυτής της κατηγορίας οφείλονται σε επιφανειακά ρέοντα ύδατα τα οποία διερχόμενα από τις αγροτικές γαίες, βοσκοτόπους και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις παρασύρουν μια σειρά από υλικά και τα αποθέτουν στους υδάτινους αποδέκτες στους οποίους καταλήγουν. Συνέπεια των παραπάνω είναι η ρύπανση των αποδεκτών. Η περιγραφείσα φυσική διαδικασία σχετίζεται με τη στερεοαπορροή, την ποσότητα δηλαδή των φερτών υλικών (sediment yield) που διέρχονται από μία διατομή αναφοράς (πχ. διατομή ποταμού) σε μία καθορισμένη χρονική διάρκεια.

Η στερεοαπορροή εκφράζεται σε μονάδες μάζας και συχνά ανάγεται στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής ανάντη της διατομής αναφοράς (μάζα / επιφάνεια).

Αυξημένες τιμές στερεοαπορροής παρατηρούνται στις περιπτώσεις :

- Μικρού ποσοστού οργανικής ουσίας στο έδαφος
- Εκτεθειμένου έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα
- Υπερβολικής καλλιέργειας (αρόσεις – αρδεύσεις – λιπάνσεις -εξάντληση του εδάφους)
- Εφαρμογής μη ενδεδειγμένων καλλιεργειών σε επιρρεπή εδάφη
- Κεκλιμένων εδαφών

Δραστηριότητες που εντείνουν τη διαχυτή ρύπανση από αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες είναι: (EPA 2012a, Παναγόπουλος Γ. 2009)

- Η υπερβόσκηση
- Η προβληματική λειτουργία και χωροθέτηση κτηνοτροφικών μονάδων



(αναποτελεσματικές διαδικασίες εκτροφής, διαχείρισης αποβλήτων, εγγύτητα σε υδατικά συστήματα)

- Μη βέλτιστη χρήση παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων (υπερβολική χρήση, κακός χρονικός προγραμματισμός)
- Ανορθολογική άρδευση και όργωμα (μεγάλη συχνότητα, κακός χρονικός προγραμματισμός)

Οι κύριες πηγές ρυπαντικών φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης είναι τα θρεπτικά, τα ιζήματα, τα άλατα, τα απόβλητα ζώων και τα παρασιτοκτόνα. Οι επιπτώσεις των επιφανειακών αγροτικών απορροών μπορούν να μετριαστούν αν αυτές διοχετευτούν καταρχήν σε δευτερεύοντα οικοσυστήματα όπως υγρότοποι, παρόχθια οικοσυστήματα. Εκεί θα υποστούν μια μερική απομείωση. Στη συνέχεια μπορούν να καταλήξουν σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια) χωρίς να επιβαρύνουν υπέρμετρα την ποιοτική τους κατάσταση. Η δυνατότητα απομείωσης των ρυπαντικών φορτίων στους υγροτόπους και σε άλλα δευτερεύοντα οικοσυστήματα είναι μεγαλύτερη όσο καλύτερη είναι η ποιοτική τους κατάσταση. (EPA, 2010)

Πίνακας 19 κύριες πηγές ρυπαντικών φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης (EPA, 2010)

ΘΡΕΠΤΙΚΑ	ΙΖΗΜΑΤΑ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΖΩΩΝ
<p>Κυρίως N & P, άλατα, μέταλλα .</p> <p>Πηγές τους είναι</p> <ul style="list-style-type: none"> • Τα λιπάσματα, • υπολείμματα καλλιεργειών • Η κοπριά – απόβλητα ζώων • Αστικά απόβλητα • Υπολείμματα καλλιεργειών • Ατμοσφαιρική απόθεση • Νερό άρδευσης (διερχόμενο από πλούσιες σε θρεπτικά εκτάσεις) <p>Τα θρεπτικά, παρασύρονται από τα επιφανειακά νερά σε σωματιδιακή ή διαλυτή μορφή. Το N & P προκαλούν φαινόμενα ευτροφισμού</p>	<p>Είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης του εδάφους.</p> <p>Σε αυτά είναι προσροφημένα μια σειρά από χημικές ουσίες : παρασιτοκτόνα, N, P. Η απόθεση τους σε υδάτινους αποδέκτες συνεπάγεται</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μείωση της διαύγειας , της φωτοσύνθεσης, υποβάθμιση διαβίωσης των ψαριών (τοξικότητα, διατροφή, λειτουργία βράγχιων) • Φαινόμενα ευτροφισμού 	<p>Πρόκειται για την κοπριά.</p> <p>Αυτή είναι μίγμα</p> <ul style="list-style-type: none"> • Περιττωμάτων – ούρων • Υγρά απόβλητα εγκαταστάσεων Πχ από το άρμεγμα • τροφής, κλινοστρωμνής, απορριμμάτων, χύματος <p>Εκπλένεται με τα επιφανειακά νερά από τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις και τα συστατικά της (διαλυτά, σωματιδιακά) επιβαρύνουν τους υδάτινους αποδέκτες με:</p> <ul style="list-style-type: none"> • BOD , N , P , Οργανικά στερεά • Άλατα, μικροβιακό φορτίο



Πίνακας 20 Άλατα & παρασιτοκτόνα υδροβιότοποι: πηγές ρυπαντικών φορτίων & μέσα περιορισμού τους (ΕΡΑ,2010)

ΑΛΑΤΑ	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ & ΠΑΡΟΧΘΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
<p>Δημιουργούνται από τη διάβρωση του εδάφους, γεωλογικών υλικών, την έκπλυση κοπριάς, λιπασμάτων και προϊόντος κομποστοποίησης.</p> <p>Συναντώνται στα υδατικά συστήματα και στο έδαφος</p> <p>Αυξημένες συγκεντρώσεις Αλάτων όπως του Νάτριου καθιστούν τα εδάφη λιγότερα εύφορα και συχνά είναι τοξικά για την ανάπτυξη φυτών στη ξηρά και στα υδατικά συστήματα.</p> <p>Διαφεύγουν από το έδαφος μέσω της εξατμισοδιαπνοής, στραγγιδίων ενώ παρασύρονται από το νερό της βροχής και άρδευσης</p>	<p>Αυτά και τα προϊόντα αποικοδόμησης τους ανιχνεύονται υδατικά συστήματα ως αποτέλεσμα</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μεταφοράς τους με τον αέρα • Απευθείας εφαρμογής τους • Επιφανειακών απορροών • Εξάχνωσης και ατμο-σφαιρικής διασποράς • Λήψης από τα φυτά & ζώα <p>Ο βαθμός διαφυγής τους από τις αγροτικές εκτάσεις εξαρτάται από :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Την ένταση και διάρκεια βροχοπτώσεων & άρδευσης • Το μεσοδιάστημα μεταξύ εφαρμογής παρασιτοκτόνου και βροχόπτωσης • Την εφαρμοζόμενη ποσότητα, την τεχνική εφαρμογής, τη σύσταση του εδάφους, συντελεστές κάλυψης ρύπων μεταξύ εδάφους και νερού. • Την εγγύτητα υδατικών συστημάτων • Τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά : κλίση εδάφους, χρόνος έκθεσης χέρσας έκτασης • Μέτρα ελέγχου διάβρωσης και απορροών 	<p>Λειτουργούν ως αποδέκτες αγροτοκτηνοτροφικών απορροών</p> <p>Απομειώνουν τα εισερχόμενα ρυπαντικά φορτία, μέσω της χλωρίδας και πανίδας τους. Βασική προϋπόθεση για αυτό είναι η καλή ποιότητα τους κατάσταση.</p> <p>Η Βλάστηση τους παίζει κρίσιμο ρόλο:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Περιορίζει τη διάβρωση λόγω απορροών, λειτουργεί ως αντιπλημμυρικό μέσο • Φιλτράρουν το έδαφος και τα αποτιθέμενα ιζήματα • Συμβάλλουν στην απονιτροποίηση • Υποστηρίζουν την ανάπτυξη υγιούς οικοσυστήματος

Για τον περιορισμό της ρύπανσης υδάτινων αποδεκτών, λόγω στερεοαπορροής και γενικότερα των ρυπαντικών φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης εφαρμόζονται Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές BMPs.



7.3.2.2 Μη Σημειακή Ρύπανση Υδάτων : "BMPs" για τον περιορισμό ρυπαντικών φορτίων αγροτικής γης (φορτία αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης)

Η μελέτη των Βέλτιστων Διαχειριστών Πρακτικών BMPs Αγροτικής γης αποτελεί αντικείμενο διεθνούς επιστημονικής έρευνας. Η Ευρωπαϊκή δράση COST 869(Cooperation in Science and Technology), ασχολείται με τη μελέτη μέτρων μείωσης των απωλειών θρεπτικών σε επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα σώματα και προτείνει την παρακάτω κατηγοριοποίηση των BMPs

BMPs σχετικές με τη διαχείριση

1. θρεπτικών,
2. εδάφους,
3. καλλιέργειας,
4. χρήσεων γης και σχετικών υποδομών,
5. ζωικού κεφαλαίου και αποβλήτων,
6. συστήματος αποστράγγισης -άρδευσης
7. προστασίας ελέγχου επιφανειακών υδάτων.

Ακολουθεί παρουσίαση των BMPs αγροτικής γης βάσει της κατηγοριοποίησης που προτείνει η Ευρωπαϊκή δράση COST 869

7.3.2.2.1 Διαχείριση θρεπτικών - Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

Η Διαχείριση εφαρμογής θρεπτικών εστιάζει στη διαχείριση του καλλιεργούμενου εδάφους, των λιπασμάτων και άλλων θρεπτικών (πχ κοπριάς) , τον προγραμματισμό της χρήσης τους, και περιλαμβάνει τις παρακάτω Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές

- Μείωση χημικής λίπανσης
- Μετατροπή των συμβατικών καλλιεργειών σε βιολογικές καλλιέργειες (χρήση οργανικών αντί ανόργανων λιπασμάτων).
- Αποφυγή λίπανσης ή εφαρμογή ειδικών τεχνικών λίπανσης σε εδάφη υψηλού κινδύνου (δηλαδή εδάφη: 1) που κείτονται πλησίον επιφανειακών υδατοσυστημάτων 2) που αποστραγγίζουν σε μία κοντινή κοίτη 3) με υψηλά επίπεδα φωσφόρου ή με ρηχό υδροφόρο ορίζοντα 4) ευάλωτα στη διάβρωση, 5) με υψηλή διαπερατότητα, μικρή ικανότητα κατακράτησης νερού και αυξημένη παροχή στραγγιδίων, 6)ρηγματωμένα εδάφη άνωθεν του αποστραγγιστικού δίκτυου). Με την αποφυγή της λίπανσης θα μειωθεί το φορτίο νιτρικών και φωσφορικών στην επιφανειακή απορροή που καταλήγει στους υδάτινους αποδέκτες
- Αποφυγή χρήσης λιπασμάτων και κοπριάς σε περιόδους υψηλού κινδύνου. Συγκεκριμένα, το χειμώνα που υπάρχει μεγάλη επιφανειακή απορροή (παρουσιάζονται καταιγίδες μεγάλης έντασης). Με την



αποφυγή χρήσης λιπασμάτων και κοπριάς μειώνεται η εκχύλιση και απώλεια του αζώτου κατά την ιζηματομεταφορά προς τον υδάτινο αποδέκτη.

- Η ύπαρξη εγκαταστάσεων αποθήκευσης της κοπριάς είναι απαραίτητη, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης της κοπριάς στις καλλιέργειες σε περιόδους όπου δεν θα υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ξεπλύματος από επιφανειακή απορροή. Επιπλέον με αυτές τις εγκαταστάσεις περιορίζεται ο κίνδυνος έκπλυσης θρεπτικών από την κοπριά μέσω των επιφανειακών απορροών πχ βρόχινο νερό. (Πολυτεχνείο Κρήτης 2008)
- Σταθεροποίηση της κοπριάς, κομποστοποίηση, ή αναερόβια χώνευση της και στη συνέχεια διάθεσης της ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό.
- Αντικατάσταση των συνθετικών φυτοφαρμάκων με χρήση φυσικών τρόπων αντιμετώπισης ασθενειών. Η φύτευση γρήγορα αναπτυσσόμενων δευτερευόντων φυτών ανάμεσα στις καλλιέργειες συμβάλλει στη μείωση της κινητοποίησης των αγροφυτοκτόνων με την αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών και τη μείωση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης
- Αποφυγή χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων κοντά στα αποστραγγιστικά κανάλια. Το εν λόγω μέτρο συμβάλει στον περιορισμό της μεταφοράς υπολειμμάτων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων μέσω των καναλιών σε υδάτινους αποδέκτες.
- Διασφάλιση ορθής λειτουργίας εξοπλισμού τροφοδοσίας θρεπτικών – παρασιτοκτόνων (πλύσιμο, εφαρμογή κ.α.) πχ των ψεκαστικών μηχανημάτων.
- Εξορθολογισμός λειτουργίας αγροκτημάτων και κτηνοτροφικών μονάδων με στόχο τη μείωση των παραγόμενων υγρών αποβλήτων.
- Προγραμματισμός τροφοδοσίας θρεπτικών: εφαρμογή ποσότητας θρεπτικών που διασφαλίζει τη ρεαλιστική απόδοση της καλλιέργειας. Αποφυγή χρήσης πλεονάσματος θρεπτικών και συνεπαγόμενου κινδύνου διαφυγής τους. Συγχρονισμός εφαρμογής θρεπτικών με τις ανάγκες για θρεπτικά της καλλιέργειας πχ στην περίοδο ανάπτυξης των φυτών οι απαιτήσεις σε άζωτο είναι μεγαλύτερες.
- Εκτίμηση του pH , P , N , K στο έδαφος, γονιμότητας εδάφους
- Συνυπολογισμός της απόθεσης θρεπτικών στη καλλιεργήσιμη έκταση, από όλες τις δυνατές πηγές

7.3.2.2.1.1 Διαχείριση θρεπτικών - Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Σύμφωνα με τον EPA η διαχείριση εφαρμογής θρεπτικών μπορεί να μειώσει τα διαφυγόντα συναφή ρυπαντικά φορτία P(φώσφορου) και N (αζώτου), κατά 35 και 15% αντίστοιχα(Pennsylvania State University, 1992a.)



Πίνακας 21 Απομάκρυνση φορτίων P, N μέσω της διαχείρισης θρεπτικών

	Ολικός Φωσφόρος(TP)	Ολικό Άζωτο(TN)
Εφαρμογή ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης θρεπτικών	Μείωση φορτίων 35%	Μείωση φορτίων 15%

7.3.2.2 Διαχείριση Καλλιέργειας Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

Η διαχείριση Καλλιέργειας εστιάζει στις εφαρμοζόμενες τεχνικές καλλιέργειας, στον προγραμματισμό τους και περιλαμβάνει τις παρακάτω Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs":

- Αμειψισπορά, εναλλαγή καλλιεργειών: συμβάλει στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους(αυξάνει το οργανικό υλικό του), μειώνει τις απαιτήσεις σε λιπάσματα πχ τα όσπρια αυξάνουν τα επίπεδα αζώτου το έδαφος. Αν ακολουθήσει σπορά σιταριού, τα αυξημένα επίπεδα αζώτου καλύπτουν τις απαιτήσεις καλλιέργειας του σιταριού. Επομένως μειώνονται οι ανάγκες λίπανσης με άζωτο. (The Natural Resources Conservation Service Oregon state web site, 2012)
- Καλλιέργεια κατά ζώνες και κατά τις ισοϋψείς (contour farming)
- Ελαχιστοποίηση του οργώματος το φθινόπωρο λόγω του ότι η διάβρωση πραγματοποιείται κυρίως αυτή την περίοδο. Είναι προτιμότερο το όργωμα να γίνεται την άνοιξη.
- Συντηρητική (αβαθής) άροση - Conservation tillage: στα πλαίσια της καλύπτεται περί το 1/3 της καλλιεργήσιμης έκτασης με υπολείμματα της προηγούμενης συγκομιδής. Η επόμενη καλλιέργεια εφαρμόζεται στο έδαφος παρουσία των υπολειμμάτων. Η κάλυψη του εδάφους με τα παραπάνω υλικά επιτυγχάνει τη μείωση της ταχύτητας ροής των επιφανειακών υδάτων και της συνεπαγόμενης διάβρωσης και διαφυγής θρεπτικών.(Climatetechwiki, 2012)
- No till - αποφυγή άροσης : μετά το πέρας της συγκομιδής τα υπολείμματα της παραμένουν στην καλλιεργούμενη έκταση και την καλύπτουν. Καταυτόν τον τρόπο προστατεύουν το χώμα από τις έντονες βροχοπτώσεις, και τη διάβρωση που προκαλούν οι απορροές τους. Ειδικότερα το έδαφος δε συμπιέζεται από την έντονη βροχόπτωση, η ροή του βρόχινου νερού επιβραδύνεται και το νερό έχει περισσότερο χρόνο για να διηθηθεί. Η σπορά γίνεται χωρίς άροση με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού (United Nations University Press 1995)
- Δευτερεύουσες Καλλιέργειες- ανάπτυξη φυτοκάλυψης στο μεσοδιάστημα μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων Cover crops/Catch crops :πρόκειται για καλλιέργειες που στόχο έχουν (Rubæk et al., 2011)
 - να δεσμεύσουν τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά και έτσι να αποτραπεί η διαφυγή τους με τις απορροές (catch crops)
 - να περιορίσουν τον κίνδυνο διάβρωσης και παράσυρσης θρεπτικών (cover crops)



7.3.2.2.1 Διαχείριση Καλλιέργειας Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Σύμφωνα με τους Simpson et al. (2009) η μείωση που επιτυγχάνεται στο ρυπαντικό φορτίο N και P με τη χρήση των Cover Crops φτάνει το 23 και 11% αντίστοιχα. Οι ίδιοι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι μέσω της εφαρμογής συντηρητικής (αβαθούς) άρσης επιτυγχάνεται μείωση των ρυπαντικών φορτίων Simpson TN και TP κατά 8 και 22% αντίστοιχα.

7.3.2.2.3 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου (κτηνοτροφικής παραγωγής) Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

Η εφαρμογή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών διαχείρισης Ζωικού κεφαλαίου έχει στόχο την απομείωση των ρυπαντικών φορτίων, που παράγονται στα πλαίσια των δραστηριοτήτων της εσταυλισμένης και μη κτηνοτροφίας. Οι BMPs εστιάζουν σε θέματα βόσκησης, προγραμματισμού της διαχείρισης βοσκοτόπων και ελέγχου επιφανειακών απορροών και αποβλήτων των κτηνοτροφικών μονάδων. Στη συνέχεια ακολουθεί η εξειδίκευση των προτεινόμενων Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών τόσο στην εσταυλισμένη όσο και στη μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία.

7.3.2.2.3.1 Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

Η μη εσταυλισμένη κτηνοτροφική δραστηριότητα έχει ως συνέπεια την απευθείας αποδέσμευση στο περιβάλλον των αποβλήτων των ζώων. Για την καλύτερη εκτίμηση των προκαλούμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και την αποτελεσματικότερη εφαρμογή των Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των Παραγόμενων ρυπαντικών φορτίων ανά είδος ζώου/ έτος, καθώς και ο βαθμός δέσμευσης τους από το έδαφος

Πίνακας 22 Παραγόμενα ρυπαντικά φορτία ανά είδος ζώου/ έτος

Παράμετροι	Παραγόμενα ρυπαντικά φορτία (Kgr /είδος ζώου/ έτος)		
	Ιπποειδή (350 kgr ZB)	Βοοειδή (450 kgr ZB)	Αιγοπρόβατα (50 kgr ZB)
BOD	139,2	295,6	16,4
TN	11,5	51,1	8,6
TP	2,6	16,4	5,7

Πίνακας 23 Δέσμευση των φορτίων στο έδαφος (%)

Ποσοστά φορτίων από ποιμενικά ζώα που δεσμεύεται στο έδαφος	
BOD	0%
TN	85%
TP	97%



Στη συνέχεια περιγράφονται οι εφαρμοζόμενες Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

a. Βελτιστοποίηση της βόσκησης

- εξορθολογισμός της αναλογίας ζώα ανά στρέμμα βοσκότοπου σε συνάρτηση με την οικονομική απόδοση της εκτροφής ανά ζώο (stocking rate)
- βελτιστοποίηση κατανομής των ζώων στο βοσκότοπο
- Μείωση ημερήσιας χρονικής διάρκειας βόσκησης
- Μείωση χρονικής περιόδου βόσκησης
- Καθορισμός περιόδου βόσκησης κατ' έτος

Στόχος των παραπάνω είναι η αποτροπή της υπερβόσκησης, που συνεπάγεται τη καταστροφή βοσκότοπων, τη διάβρωση, την ένταση των επιφανειακών απορροών αγροτικής γής και των συναφών ρυπαντικών φορτίων. Με την εφαρμογή των παραπάνω μέτρων μπορεί να περιορισθεί η απαιτούμενη ποσότητα θρεπτικών για τη βρώση των ζώων καθώς και τα απόβλητα τους, γεγονός που επιτρέπει τη μείωση σχετικών διαφυγών προς τα γειτονικά υδατικά οικοσυστήματα

b. Off-Stream Watering With Fencing /Off-Stream Watering Without Fencing : Αποτροπή πόσης των ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα πχ ποτάμια, ρυάκια λίμνες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση περίφραξης ή με τη διασφάλιση πόσης και βόσκησης μακριά από τα υδατικά συστήματα.

c. Προστασία των βοσκοτόπων. Περιορισμός ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε αυτούς. Μέριμνα για τη διατήρηση και αύξηση της υφιστάμενης βλάστησης, εισαγωγή νέων ανθεκτικότερων και αποδοτικότερων ειδών . Περιορισμός της βόσκησης το διάστημα αναγέννησης της φυτοκάλυψης (έτσι ευδοκιμεί η φυτοκάλυψη και μπορεί να ελεγχθεί η ταχύτητα των απορροών, να περιορισθεί η διάβρωση - μεταφορά θρεπτικών).

7.3.2.2.3.2 Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs": Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Η εφαρμογή συστημάτων αποτροπής πόσης των ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα οδηγεί σε προστασία της παρόχθιας βλάστησης και κατ'έπекταση στον περιορισμό της διάβρωσης (η φυτοκάλυψη της περιοχής διατηρείται, δεν καταναλώνεται από τα ζώα). Επιπλέον αποφεύγεται η εκτεταμένη απόθεση θρεπτικών (από τα περιττώματα των ζώων) πλησίον των υδατικών συστημάτων. Ύστερα από την εφαρμογή της συγκεκριμένης BMP η μείωση που επιτυγχάνεται στα ρυπαντικά φορτία που μεταφέρονται με τις απορροές φτάνει το 15 και 22% για το TN και TP στα συστήματα χωρίς φράχτη., ενώ για τα συστήματα με φράχτη είναι 25% και 30% αντίστοιχα (Simpson et al., 2009)

Σύμφωνα με τον Lugbill (1990) η εφαρμογή τεχνικών προστασίας και αύξησης της υφιστάμενης φυτοκάλυψης, των βοσκοτόπων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ρυπαντικών φορτίων TN and TP κατά 60% .

Ο Meals (2001) μελέτησε τη δυνατότητα μείωσης των φορτίων φωσφόρου στις αγροτικές απορροές μέσω της αποκατάστασης βλάστησης και την απαγόρευση βόσκησης στις παρόχθιες εκτάσεις ευαίσθητων υδατικών οικοσυστημάτων. Ο Meals διαπίστωσε ότι η μέση συγκέντρωση του ολικού φώσφορου και το φορτίο του μειώθηκαν στις αγροτικές απορροές κατά 15 και 49% αντίστοιχα. Αυτό επιτεύχθηκε εντός



διαστήματος 3 ετών ύστερα από την αποκατάσταση βλάστηση και την απαγόρευση βόσκησης στις παρόχθιες εκτάσεις.

7.3.2.2.3.3 Εσταυλισμένη κτηνοτροφία Περιγραφή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs"

Οι συγκεκριμένες "BMPs" στόχο έχουν τον περιορισμό της παράσυρσης με τις επιφανειακές απορροές ρύπων-θρεπτικών ,

- Από τα κτηνοτροφικά απόβλητα των εξωτερικών εγκαταστάσεων εσταυλισμού
- Από τις λοιπές εγκαταστάσεων της κτηνοτροφικής μονάδας

Επιπλέον με τις εφαρμοζόμενες BMP's επιδιώκεται η επεξεργασία των απορροών των κτηνοτροφικών μονάδων και η απομείωση των ρυπαντικών φορτίων τους

Η διαφυγή ρυπαντικών φορτίων κτηνοτροφικών αποβλήτων μέσω των επιφανειακών απορροών μπορεί να μειωθεί αν υλοποιηθούν κάποια ή όλα από τα παρακάτω:

- a. Να χρησιμοποιηθεί εξελιγμένο σύστημα συλλογής, μεταφοράς αποθήκευσης και διάθεσης ζωικών αποβλήτων
- b. Να περιοριστεί η ποσότητα θρεπτικών στην κοπριά των ζώων, μέσω τροποποίησης τη διατροφή τους
- c. Η κτηνοτροφική μονάδα να χωροθετηθεί μακριά από υδατικά συστήματα, σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα, ανθεκτικά στη διάβρωση, όπου δεν παρατηρούνται συχνά πλημμυρικά φαινόμενα και ο υδροφόρος ορίζοντας δεν είναι κοντά στην επιφάνεια. Επιπλέον θα πρέπει να είναι διαθέσιμη επαρκής έκταση για την αποθήκευση-σταθεροποίηση(μείωση οργανικού φορτίου- κομποστοποίηση) της κοπριάς. Η εγκατάσταση αποθήκευσης-σταθεροποίησης θα πρέπει να αποτρέπει την έκλυση της κοπριάς από το επιφανειακό ή βρόχινο νερό και μπορεί να είναι ένα στέγαστρο, ένα πλαστικό κάλυμμα ή συνδυασμός τους με μια δεξαμενή.
- d. Να γίνει εκτροπή(diversion) των απορροών από τα όρια της κτηνοτροφικής μονάδας και το χώρο αποθήκευσης στερεών αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται αν κατασκευαστούν αναχώματα, πεζούλια, τάφροι, ή άλλες παρόμοιες δομές(dykes, terraces, ditches etc)
- e. Να χρησιμοποιηθεί σύστημα συλλογής ομβρίων της κτηνοτροφικής μονάδας, που να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα έκλυσης θρεπτικών, αποβλήτων, τροφής από το βρόχινο νερό
- f. Στην κτηνοτροφική μονάδα(εντός ή πέριξ) να διαμορφώνονται λωρίδες γής με φυτοκάλυψη (Feedlot/wastewater filter strips). Αυτές είναι χωροθετημένες στην περιοχή διέλευσης των επιφανειακών απορροών. Οι λωρίδες γής με φυτοκάλυψη επιτυγχάνουν την ανάσχεση των επιφανειακών απορροών και δεσμεύουν ένα μέρος των φερτών υλικών και ρυπαντικών τους φορτίων.
- g. Πρόνοια για τη διαμόρφωση περιοχών με φυτοκάλυψη (VFS) όπου μπορεί να γίνεται απευθείας διάθεση των επιφανειακών απορροών της κτηνοτροφικής εγκατάστασης.
- h. Οι επιφανειακές απορροές της κτηνοτροφικής εγκατάστασης να διοχετεύονται σε δεξαμενές – λεκάνες (settling-storage ponds, basins, lagoons), εκεί θα υπόκεινται σε βιολογική επεξεργασία. Στη συνέχεια



αν κριθεί σκόπιμο υπόκεινται σε μια δευτεροβάθμια επεξεργασία και μπορούν να διατίθενται σε κατάλληλες καλλιέργειες (vegetative filter strips, vegetative-treatment-systems) ή σε αναερόβιες – αερόβιες λίμνες, οξειδωτικές τάφρους (lagoons, detention ponds) ή υγροτόπους(wetlands).

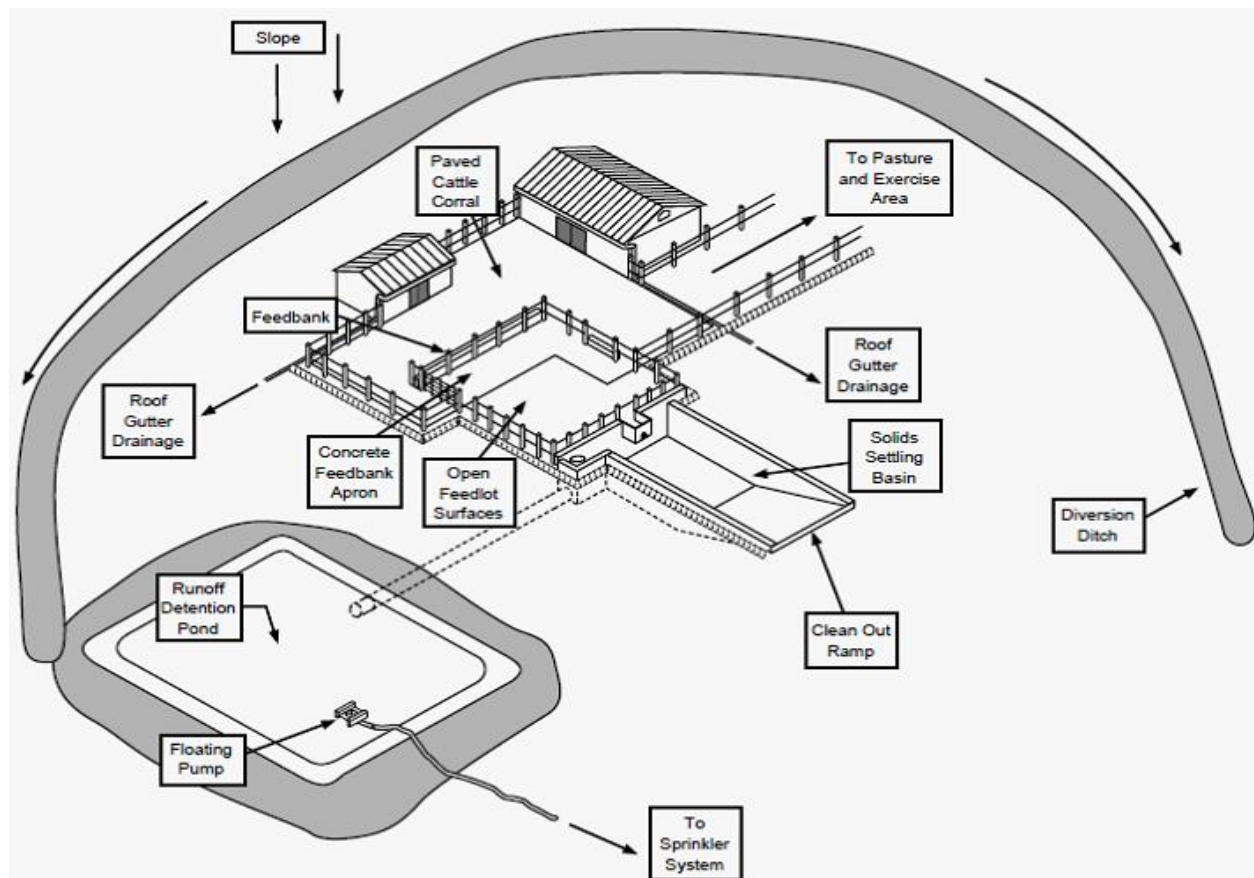
Η επεξεργασία των επιφανειακών απορροών μπορεί να γίνει μαζί με τα απόνερα πλύσεων, τα στερεά απόβλητα της εγκατάστασης, καθώς και το βρόχινο νερό. Για την ταυτόχρονη επεξεργασία αποβλήτων της κτηνοτροφικής μονάδας, επιφανειακών απορροών και βρόχινου νερού χρησιμοποιούνται γενικά οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τα αστικά λύματα. Ειδικότερα, η συνήθης μέθοδος επεξεργασίας που απαντάται στις κτηνοτροφικές μονάδες, είναι αυτή της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας με κύριες διεργασίες τον εσχαρισμό και την καθίζηση, σε συνδυασμό κατά περίπτωση με δευτεροβάθμια επεξεργασία με βασικές τη λίμνη σταθεροποίησης (αναερόβια ή αερόβια), την οξειδωτική τάφρο και τον παρατεταμένο αερισμό.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά οι βαθμίδες επεξεργασίας με το βαθμό απόδοσης.

Πίνακας 24 : Αποδόσεις βαθμίδων επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων (Μπάνου, 2007)

Βαθμίδα επεξεργασίας	BOD ₅	TSS	N	P
Πρωτοβάθμια	30%	80%	5-10%	5-8%
Δευτεροβάθμια	95%	95%	40-70%	50-80%

Η πιο συνήθης μέθοδος διάθεσης που απαντάται στις νήσους είναι η διάθεση στο έδαφος μέσω της άρδευσης ή της εδαφικής διασποράς, είτε σε ελάχιστες περιπτώσεις της χρήσης απορροφητικού βόθρου.



Σχήμα 11 Επεξεργασία απορροών κτηνοτροφικής μονάδας (Harris et al. , 1996)



7.3.2.2.3.4 Εσταυλισμένη κτηνοτροφία : Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Σύμφωνα με τον EPA , η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορροών κτηνοτροφικών μονάδων μπορεί να μειώσει τα φορτία φώσφορου (P) έως και 95%

Πίνακας 25 Απομάκρυνση φορτίων P μέσω της διαχείρισης απορροών κτηνοτροφικών μονάδων (DPRA, 1986).

	Μείωση φορτίων Φωσφόρου	Μείωση φορτίων Στερεών
Εφαρμογή ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορροών κτηνοτροφικών μονάδων	70-95%	80-90%

Στα πλαίσια άλλων δημοσιευμένων μελετών σχετικών με την επεξεργασία απορροών κτηνοτροφικών μονάδων μετρήθηκαν ποσοστά απομάκρυνσης Αζώτου(N) και φωσφόρου(P) που έφτασαν το 80 και 90 % αντίστοιχα. Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις όσον αφορά τα ποσοστά απομάκρυνσης αποδίδονται στην εφαρμοζόμενη μέθοδο απομάκρυνσης και στο ότι τα φορτία είναι συνάρτηση συγκέντρωσης και παροχής

Πίνακας 26 μείωση ρυπαντικών φορτίων απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων (EPA, 2003/4d)

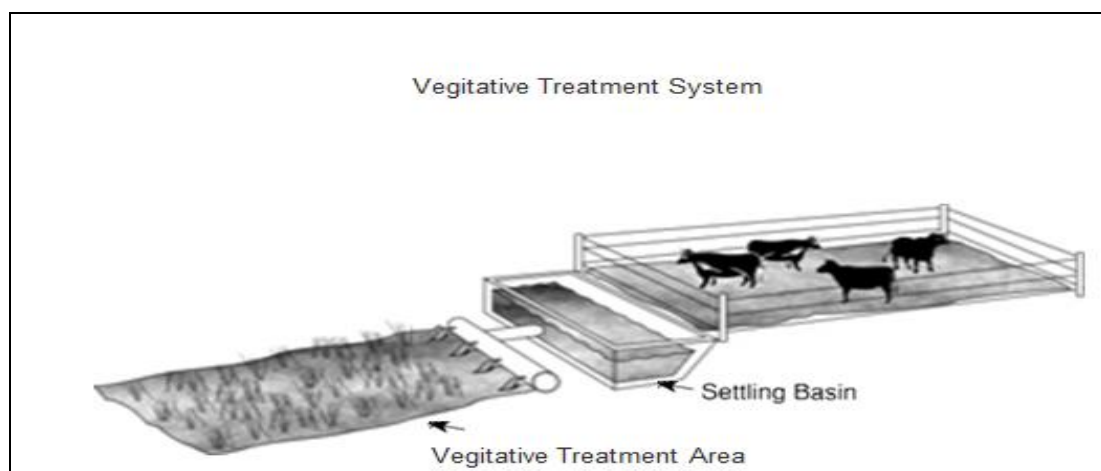
	Όγκος Απορροής	TP : μείωση φορτίου	TN : μείωση φορτίου	Στερεά: μείωση
ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ BMP				
Σύστημα συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης & διάθεσης επιφανειακών απορροών και υγρών αποβλήτων κτηνοτροφικής μονάδας	μειώνεται	90%	80%	60%
Συστήματα εκτροπής απορροών (Diversion systems)	μειώνεται	70%	45%	—
Επεξεργασία απορροών σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη (Filter strips)	μειώνεται	85%	—	60%
Κατασκευή αναχωμάτων - πεζούλες	μειώνεται	85%	55%	80%
Διατάξεις κατακράτησης αποθήκευσης & επεξεργασίας απορροών : Λεκάνες – λίμνες	μειώνεται	60%	65%	70%



Πίνακας 27 Μείωση συγκεντρώσεων N, P, TS,COD των απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων(EPA,2003/4d)

	COD : μείωση	TP : μείωση	N : μείωση	Στερεά(TS): μείωση
BMP επεξεργασίας απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων με ταυτόχρονη απομάκρυνση στερεών				
Λεκάνη κατακράτησης - καταβύθισης (εφαρμογή στο OHIO ΗΠΑ)	51-56%	21-41%	35%	49-54%
Λεκάνη κατακράτησης- καταβύθισης & επεξεργασία εκροής σε φίλτρα διήθησης (εφαρμογή στο OHIO ΗΠΑ)	85%	80%	—	82%
Επεξεργασία απορροών σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη (Vegetated filter strips)	89%	84%	83%	87%
Λεκάνη κατακράτησης - καταβύθισης (εφαρμογή στον Καναδά)	38%	—	14% (Οργανικό Άζωτο)	56%
Λεκάνη κατακράτησης- καταβύθισης & επεξεργασία εκροής σε φίλτρα διήθησης (εφαρμογή στον Καναδά)	>90% την Άνοιξη & Φθινόπωρο	>90% την Άνοιξη & Φθινόπωρο	>90% την Άνοιξη & Φθινόπωρο	>90% την Άνοιξη & Φθινόπωρο
Λεκάνη κατακράτησης- καταβύθισης & επεξεργασία εκροής σε φίλτρα διήθησης (εφαρμογή στο ILLINOI ΗΠΑ)	—	78%	80% (Οργανικό Άζωτο)	73%

Μεγάλα ποσοστά απομάκρυνσης αζώτου (N) και φωσφόρου(P) επιτυγχάνονται με την εφαρμογή της μεθόδου vegetative treatment system. Στα πλαίσια της οι επιφανειακές απορροές μόνες ή μαζί με άλλα κτηνοτροφικά απόβλητα οδηγούνται σε δεξαμενή καταβύθισης. Στη συνέχεια το υπερκείμενο υγρό της δεξαμενής καταβύθισης διατίθεται σε εκτάσεις με κατάλληλη φυτοκάλυψη. Εκεί διηθείται και υπόκειται σε περαιτέρω βιολογική επεξεργασία. Η απομάκρυνση TN φτάνει το 70% ενώ του TP το 80%. Η χρήση της δεξαμενής καθίζησης(settling basin) αυξάνει την απομάκρυνση των στερεών άρα και του TP. Ο βαθμός απομάκρυνσης εξαρτάται από το μέγεθος της λεκάνης και τη συντήρησή της. Η αύξηση της επιφάνειας της καλλιέργειας(vegetative treatment area ή vegetative filter strip) αυξάνει την απομάκρυνση του TN. Ο βαθμός απομάκρυνσης εξαρτάται από την καλλιέργεια(plant uptake) και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.



Σχήμα 12 Επεξεργασία απορροών κτηνοτροφικής μονάδας με το σύστημα VTS –Vegetative treatment (Extension, 2012)



Με βάση τις παραπάνω μελέτες προκύπτει ότι τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης απορροών κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων :

- περιλαμβάνουν διαδικασίες συλλογής, αποθήκευσης, επεξεργασίας και διάθεσης των απορροών εσταυλισμένης κτηνοτροφίας (Οι διαδικασίες αυτές αντιστοιχούν σε Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές που περιγράφηκαν)
- επιτυγχάνουν απομάκρυνση TP , TN και ιζημάτων της τάξης του 90, 80 και 75% αντίστοιχα

7.3.2.2.4 Διαχείριση Εδάφους Περιγραφή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs"

Η διαχείριση εδάφους εστιάζει στην αποτροπή της διάβρωσης και ενίσχυση της ικανότητας διήθησης στο έδαφος. Η διαχείριση εδάφους περιλαμβάνει τις παρακάτω Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

1. Πρακτικές για την αποτροπή της διάβρωσης και περιορισμού διαφυγής ιζημάτων – φερτών υλικών
 - Ανάπτυξη προστατευτικής φυτοκάλυψης(πχ γρασίδι) σε εδάφη εκτεθειμένων στη διάβρωση (Critical Area Planting)
 - Ανάπτυξη προστατευτικής φυτοκάλυψης(γρασίδι, δημητριακά, όσπρια) σε γεωργικές γαίες στο μεσοδιάστημα των καλλιεργητικών περιόδων (Conservation cover)
 - Άροση κατά τις ισοΰψεις και εγκάρσια στις κλίσεις(Contour farming)
 - (Contour buffer strips, Contour stripcropping):ενδιάμεσα στην καλλιεργημένη έκταση φυτεύονται λωρίδες με μόνιμη φυτοκάλυψη όσπριων ή γρασιδιού. Αυτές χρησιμοποιούνται για την ανάσχεση των απορροών και της διάβρωσης.
 - Σε περιόδους εμφάνισης έντονων φαινομένων διάβρωσης πχ περίοδος βροχοπτώσεων συνίσταται η κάλυψη της καλλιεργούμενης έκτασης με υπολείμματα προηγούμενης καλλιέργειας(crop residue use). Στόχος είναι η μείωση της ταχύτητας ροής των επιφανειακών απορροών και ο περιορισμός τυχόν διάβρωσης.
 - Κατασκευή αναχωμάτων που θα εκτρέπουν τις διερχόμενες επιφανειακές απορροές(Diversion system)
 - Ανάπτυξη προστατευτικής φυτοκάλυψης περιμετρικά της καλλιεργούμενης έκτασης(field border). Η φυτοκάλυψη θα ανακόπτει την ταχύτητα ροής των επιφανειακών απορροών, θα περιορίζει τη διάβρωση, θα συγκρατεί φερτά υλικά και θα μειώνει ρυπαντικά φορτία των επιφανειακών απορροών.
 - Κατασκευή Λεκάνης κατακράτησης (Water and Sediment Control Basin). Πρόκειται για ένα ανάχωμα – φράγμα που κατασκευάζεται στην κατωφέρεια ενός φυσικού αποστραγγιστικού καναλιού. Ουσιαστικά είναι ένα είδος φρεατίου κατάκλυσης. Στη Λεκάνη κατακράτησης συλλέγεται η επιφανειακή απορροή, ανακόπτεται προσωρινά η ροή της, τα δε φερτά υλικά της αποτίθενται στον πυθμένα της Λεκάνης. Υπάρχει δυνατότητα απόρριψης της κατακρατημένης απορροής μέσω δικτύου αποστράγγισης. Η κατασκευή Λεκάνης κατάκλυσης μεγαλύτερων διαστάσεων (ενδεικτικά 1 στρέμμα X 3-4 m) καλείται Farm Pond και επιτελεί την ίδια ακριβώς λειτουργία. (University of Illinois, 2012)



- Κατασκευή πεζούλων, αναβαθμίδων σε εδάφη με κλίση(Terraces)
- Αμειψισπορά, εναλλαγή καλλιεργειών: συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους(αυξάνει το οργανικό υλικό του). Έτσι λοιπόν το έδαφος δεν αποσαθρώνεται και είναι ανθεκτικότερο στη διάβρωση.
- Χρήση Φυσικών ή τεχνητών διαύλων με κατάλληλη φυτοκάλυψη. Οι διάυλοι διατρέχουν το αγρόκτημα, συλλέγουν τις επιφανειακές απορροές και διασφαλίζουν την ομαλή διέλευσή τους. (Grassed waterway)
- Συντηρητική (αβαθής) άροση - Conservation tillage. Πρόκειται για πρακτική που εφαρμόζεται και στα πλαίσια της Βελτιστοποίησης διαχείρισης καλλιέργειας.
- No till: αποφυγή άροσης . Πρόκειται για πρακτική που εφαρμόζεται και στα πλαίσια της Βελτιστοποίησης διαχείρισης καλλιέργειας

2. Πρακτικές για την ενίσχυση της διηθητικότητας του νερού στο έδαφος

Το πορώδες είναι κρίσιμη εδαφολογική παράμετρος. Όσο αυξάνεται η τιμή του:

- το έδαφος μπορεί να κατακρατά μεγαλύτερη ποσότητα νερού
- η διηθητικότητα του νερού, η δυνατότητα κίνησης του μέσω του πορώδους βελτιώνεται
- ο αερισμός του εδάφους γίνεται καλύτερος
- το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται γρήγορα (καλύπτει τις ανάγκες του σε νερό, θρεπτικά συστατικά διαλυτά στο νερό και οξυγόνο)
- διευκολύνεται η δράση εντόμων και μικροοργανισμών(έχουν πρόσβαση σε θρεπτικά συστατικά μέσω του νερού που διηθείται, μπορούν να αποικοδομούν ρυπαντικά φορτία, να ανοίγουν στοές, να δημιουργούν συσσωματώματα, βελτιώνοντας έτσι την εδαφική δομή)
- η θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται σε φυσιολογικά πλαίσια. Όταν αυξάνεται πάνω από τους 10° C υποβαθμίζεται

Είναι λοιπόν προφανές ότι η διηθητικότητα νερού είναι ένας σημαντικός δείκτης ποιότητας του εδάφους και είναι συνυφασμένη με άλλα ποιοτικά του χαρακτηριστικά: τη γονιμότητα, τη συνεκτικότητα και ανθεκτικότητα του έναντι της διάβρωσης. Συμπύεση του εδάφους συνεπάγεται μείωση της διηθητικότητας του και περιορισμό της γονιμότητας και ανθεκτικότητας του.(Γεωπόνου, 2012)

Οι Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" για την ενίσχυση της διηθητικότητας περιλαμβάνουν τα παρακάτω μέτρα αποτροπής της συμπύεσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων (University of Illinois 2012a)

- αποφυγή άροσης υγρών εδαφών , προσθήκη οργανικού υλικού
- περιορισμός της κίνησης τροχοφόρων, μείωση βάρους χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού και μηχανημάτων,
- χρήση τρακτέρ 4x4 εξοπλισμένα με φαρδιά λάστιχα
- ομαδοποίηση των γεωργικών εργασιών, έτσι ώστε να περιοριστούν τα φορτία συμπύεσης που δέχεται το έδαφος (μείωση αριθμού διελεύσεων τρακτέρ)



- συντήρηση του εξοπλισμού(πχ ο εξοπλισμός αναμόχλευσης του εδάφους να είναι σε καλή κατάσταση για να μπορεί να επαναφέρει το χώμα στο επιθυμητό βαθμό συμπίεσης)

7.3.2.2.4.1 Διαχείριση Εδάφους Εφαρμογή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" ελέγχου διάβρωσης Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Σύμφωνα με το κρατικό πανεπιστήμιο της Pennsylvania (1992b) κατά την εφαρμογή βέλτιστων διαχειριστικών τεχνικών περιορισμού της διάβρωσης επιτυγχάνεται μείωση των φορτίων TP και TN και των φερτών υλικών των αγροτικών απορροών έως και 75, 70% και 85% αντίστοιχα. Τις καλύτερες επιδόσεις εμφανίζουν τα συστήματα Filter Strips – Ζώνες με φυτοκάλυψη

Πίνακας 28 Μείωση ρυπαντικών φορτίων με εφαρμογή βέλτιστων διαχειριστικών Τεχνικών (BMP's) περιορισμού της διάβρωσης (Pennsylvania State University, 1992b).

BMP's	Όγκος Απορροής	TP : μείωση φορτίου	TN μείωση φορτίου	Στερεά μείωση φορτίου
Τεχνικές περιορισμένης άροσης : (reduced tillage systems) συντηρητική άροση, μη άροση, εφαρμογή υπολειμμάτων καλλιέργειας στο έδαφος	μείωση	45%	55%	75%
Συστήματα εκτροπής απορροών (Diversion systems)	μείωση	30%	10%	35%
Κατασκευή αναχωμάτων – πεζούλες (Terrace systems)	μείωση	70%	20%	85%
Ανάσχεση & επεξεργασία απορροών σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη (Vegetated filter strips)	μείωση	75%	70%	65%

7.3.2.2.5 Διαχείριση Υδατικών Πόρων και απορροών στα πλαίσια αγρο-κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων

7.3.2.2.5.1 Γενικά

Η εύρυθμη λειτουργία αγρο-κτηνοτροφικών μονάδων προϋποθέτει τη μείωση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων και την καλύτερη διαχείριση των εμπλεκόμενων υδατικών πόρων . Για να καταστεί αυτό δυνατό κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση ενός εξελιγμένου συστήματος άρδευσης – αποστράγγισης. Επιπλέον είναι αναγκαία η εφαρμογή τεχνικών μείωσης ρυπαντικών φορτίων των απορροών υδατικών πόρων(διαφυγές νερού άρδευσης, πόσης ζώων, απορροές καθαρισμού εγκαταστάσεων και βρόχινου νερού κλπ). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές σχετικές με

- τη λειτουργία αρδευτικού και αποστραγγιστικού συστήματος και με
- την απομείωση των ρυπαντικών φορτίων των απορροών υδατικών πόρων



7.3.2.2.5.2 Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" απομείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών Αγροτο – κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων

Πρόκειται για μια σειρά από τεχνικές, πολλές από τις οποίες εφαρμόζονται και στα πλαίσια διαχείρισης του εδάφους, της καλλιέργειας και εσταυλισμένης ή μη κτηνοτροφίας. Ακολουθεί η παρουσίαση τους :

1. Στις περιοχές διέλευσης των αγροτικών απορροών διαμορφώνονται εκτάσεις με φυτοκάλυψη. Σε αυτές :

- το ρυπασμένο νερό των απορροών επιβραδύνεται,
- ένα μέρος του διηθείται στο έδαφος, όπου και υπόκειται σε βιολογική επεξεργασία από την τοπική χλωρίδα και πανίδα. Κατά τη βιολογική επεξεργασία επιτυγχάνεται σημαντική απομάκρυνση αζώτου μέσω απονιτροποίησης
- κατακρατάται και υπόκειται σε βιολογική επεξεργασία μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών και οργανικών υλικών .

Η εφαρμογή της φυτοκάλυψης μπορεί να γίνει σε περιοχές εντός ή πλησίον αγροκτημάτων, κτηνοτροφικών μονάδων και περιμετρικά από υδατικά συστήματα(πχ ποτάμια, λίμνες κλπ)

Στη διεθνή βιβλιογραφία περιγράφονται τα παρακάτω συστήματα ελέγχου αγροτο-κτηνοτροφικών απορροών με φυτοκάλυψη

- Οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα (filter strips, Vegetation- Grass Filter strips) είναι επιφάνειες με βλάστηση, οι οποίες σχεδιάζονται για να καθαρίζουν τις επιφανειακές απορροές των παρακείμενων επιφανειών. Η λειτουργία τους βασίζεται στην μείωση της ταχύτητας της ροής, που επιτρέπει στα ιζήματα και σε άλλους ρύπους να επικαθονται ή να διηθούνται στις υπόγειες εδαφικές στρώσεις. Απαιτούν αρκετά μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με άλλες BMPs . Τα φυτικά φίλτρα ποικίλουν από χλοοτάπητες και γηγενή χλόη μέχρι ποώδη και ξυλώδη βλάστηση. (CSQA, 2003). Συνιστάνται για την απομάκρυνση επιφανειακών ρυπαντικών φορτίων σε έδαφη με κλίση < 5%. Για τον περιορισμό υπεδάφινων ρυπαντικών φορτίων συστήνεται η αποφυγή ταυτόχρονης χρησιμοποίησης Grass Filter strips και υπόγειου αποστραγγιστικού δικτύου. Οι λωρίδες με φυτοκάλυψη εφαρμόζονται και στα πλαίσια της διαχείρισης εσταυλισμένης ή μη κτηνοτροφίας (CSQA 2003)
- Οι τάφροι με βλάστηση (Vegetated Open Channels, bioswales) είναι κανάλια με αρκετά μεγάλο πλάτος. Έχουν πυκνή βλάστηση(χορτάρι, θάμνους, ποώδη φυτά, γκαζόν κλπ) στα πρηνή και στον πυθμένα τους. Χρησιμοποιούνται για τη συλλογή της απορροής του βρόχινου νερού και την ανάσχεση της ταχύτητας της. Η κατακρατημένη απορροή διηθείται στο έδαφος και τα τυχόν ρυπαντικά της φορτία απομειώνονται μέσω βιολογικής επεξεργασίας στο χώμα και στο ριζικό σύστημα.
- Grassed waterway : Χρήση φυσικών ή τεχνητών διαύλων με κατάλληλη φυτοκάλυψη. Σε αυτούς, συλλέγονται οι επιφανειακές απορροές, υφίστανται επεξεργασία και μείωση των θρεπτικών και ρύπων τους και διασφαλίζεται και εκτρέπονται μακριά από τις περιοχές που θέλουμε να προστατεύσουμε. Το σύστημα Grassed waterway χρησιμοποιείται και για τον περιορισμό της διάβρωσης.



- field border / Cover crops-Catch crops : περιγράφηκαν κατά την παρουσίαση των μέτρων Βελτιστοποίησης αντιδιαβρωτικής προστασίας και Βελτιστοποίησης διαχείρισης καλλιεργειών αντίστοιχα

2. Οι αγροτικές απορροές συλλέγονται σε Συστήματα συγκράτησης (αποθήκευσης). Σε αυτές
- αναλόγως της αποθηκευτικής τους ικανότητας οι απορροές συγκρατούνται μόνιμα ή προσωρινά
 - τα φερτά υλικά καθιζάνουν και τα ρυπαντικά φορτία αποικοδομούνται βιολογικά
 - ένα μέρος του νερού διηθείται στο έδαφος . Εκεί οι διαλυτοί ρύποι υπόκεινται σε βιολογική επεξεργασία
 - το επεξεργασμένο υπερκείμενο υγρό είτε παροχετεύεται ελεγχόμενα στις γειτονικές εκτάσεις είτε παρασύρεται λόγω εισερχόμενων απορροών προς συστήματα φυτοκάλυψης και υδάτινους αποδέκτες.

Στη διεθνή βιβλιογραφία περιγράφονται τα παρακάτω Συστήματα συγκράτησης (αποθήκευσης) επιφανειακών απορροών:

- a. Water Sediment Control Basin λεκάνη κατακράτησης : η χρησιμοποίηση της μελετήθηκε στα πλαίσια των Βέλτιστων αντιδιαβρωτικών πρακτικών.
- b. Farm Pond λεκάνη κατακράτησης, Η χρησιμοποίηση της συμπεριλαμβάνεται στις Βέλτιστες πρακτικές εσταυλισμένης κτηνοτροφίας. Επιπλέον μελετήθηκε στα πλαίσια των Βέλτιστων αντιδιαβρωτικών πρακτικών.
- c. Detention Pond : λεκάνη κατακράτησης Οι λεκάνες κατακράτησης (detention ponds) σχεδιάζονται κυρίως για τον έλεγχο και ανάσχεση της παροχής της απορροής. Ταυτόχρονα όμως βελτιώνουν και την ποιότητα του νερού, ενεργοποιώντας την καθίζηση του μεγαλύτερου μέρους των αιωρούμενων στερεών. Η επεξεργασμένη απορροή διοχετεύεται σε υδάτινους αποδέκτες ή σε περιοχές με φυτοκάλυψη.

Στις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών και ρύπων είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στις συμβατικές λεκάνες συγκράτησης, οι δε ρυθμοί αφαίρεσης είναι χαμηλοί.

Οι λεκάνες συγκράτησης και οι εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης πρέπει να είναι ξηρές (χωρίς νερό) μεταξύ των διαφόρων επεισοδίων βροχής. Ο χρόνος συγκράτησης είναι 1-2 ώρες για τις λεκάνες κατακράτησης και 6-12 ώρες για τις εκτεταμένες λεκάνες κατακράτησης (MWCOCG, 1983).

Οι δαπάνες κατασκευής των λεκανών αυτών είναι γενικά μικρότερες σε σχέση με τις δαπάνες των άλλων συστημάτων συγκράτησης, αλλά οι δαπάνες συντήρησης είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Γενικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου αναμένεται μεγάλη αύξηση της απορροής λόγω της ανάπτυξης(αγροτικής, οικιστικής κλπ).

- d. Οι "υγρές" λεκάνες κατακράτησης ("wet" ponds) σχεδιάζονται για να συλλέξουν και να συγκρατήσουν μόνιμα ένα μέρος των απορροών. Η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται αρχικά με ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών και με κάποιες βιολογικές διαδικασίες, που συνδράμουν στη μείωση των διαλυτών θρεπτικών ουσιών. Είναι ιδιαιτέρως κατάλληλες για οικιστική χρήση γης και για περιοχές όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών δημιουργούν προβλήματα (π.χ. γήπεδα γκολφ, καλλιεργούμενες εκτάσεις) (CSQA, 2003).



- e. Lagoons Τεχνητές Λίμνες σταθεροποίησης : συμπεριλαμβάνονται και στις Βέλτιστες πρακτικές εσταυλισμένης κτηνοτροφίας. Πρόκειται για λίμνες μεγαλύτερων διαστάσεων έναντι των Farm - Detention Pond. Συγκριτικά με τα προηγούμενα συστήματα επιτελούν την ίδια λειτουργία αλλά έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Οι εκροές τους οδηγούνται σε υδάτινους αποδέκτες ή για άρδευση σε περιοχές με φυτοκάλυψη. Μπορούν να συνδυαστούν και με τεχνητούς υδροβιότοπους.

Πίνακας 29 Τεχνητές Λίμνες Πλεονεκτήματα Μειονεκτήματα
(Alabama Cooperative Extension System, 1995)

Τεχνητές Λίμνες Πλεονεκτήματα	Τεχνητές Λίμνες Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλό κόστος επένδυσης, Μικρές απαιτήσεις λειτουργίας - Απομάκρυνση ιλύος ανά 10-20 έτη - Συμβατότητα με συστήματα εδαφικής διάθεσης ρυπασμένων απορροών - Στις λίμνες-lagoons επιτυγχάνονται μεγάλα ποσοστά απομάκρυνσης TP 90% (μέσω της καταβύθισης ιζημάτων) και TN 60-90% (μέσω της καταβύθισης και βιολογικής επεξεργασίας) 	<ul style="list-style-type: none"> - Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις, - Ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν, μπορεί να εμποδίσει τη διάθεση της εκροής σε επιφανειακά νερά - Η ποιότητα της τελικής εκροής, ιδίως των μη αεριζόμενων λιμνών είναι χαμηλή - Κίνδυνος μόλυνσης των υπογείων νερών αν οι λίμνες δεν είναι στεγανές. - Κακός ή ανεπαρκής σχεδιασμός μπορεί να δημιουργήσει κακοσμίες

Πίνακας 30 Τεχνητές λίμνες : Διεργασίες απομάκρυνσης ρύπων

Τεχνητές λίμνες : Διεργασίες απομάκρυνσης ρύπων	
Απομάκρυνση BOD	<ul style="list-style-type: none"> - Διαλυμένο BOD: αερόβια αποδόμηση από βακτηρίδια - Σωματιδιακό: Καθίζηση, αναερόβια αποδόμηση
Απομάκρυνση Αζώτου	<ul style="list-style-type: none"> - Συνδυασμός νιτροποίησης και απονιτροποίησης - Αφομοίωση από φυτοπλαγκτόν
Απομάκρυνση Φώσφορου	<ul style="list-style-type: none"> - Μικρή αφομοίωση από φυτοπλαγκτόν - Αν απαιτηθεί απομάκρυνση γίνεται προσθήκη χημικών (θειικό αργίλιο, τριχλωριούχος σίδηρος)



f. Υδροβιότοποι τεχνητοί φυσικοί :

Οι υγράτοποι σχεδιάζονται σαν σχετικά ρηχές λιμνούλες (βάθους μέχρι 60 cm), στις οποίες δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη υδροχαρών φυτών και τη μεγιστοποίηση της αφαίρεσης των ρύπων (Schueler et al., 1991). Η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται με την πρόσληψη – προσρόφηση τους από τα υδρόφιλα φυτά, τη διήθηση, την προσρόφηση, την καθίζηση με βαρύτητα και την αποσύνθεση τους από τη μικροβιακή πανίδα που αναπτύσσεται στο χώρο των ριζών. Οι μικροοργανισμοί της ριζικής ζώνης επιτυγχάνουν τη διάσπαση ανόργανων και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Τα αιωρούμενα στερεά αποσυντίθενται στην επιφάνεια του πυθμένα.

Για την κατασκευή των υγρατόπων χρειάζεται έκταση 3-4 φορές μεγαλύτερη από ότι με τις άλλες BMPs (λίμνες – ponds, lagoons, λεκάνες κατακράτησης). Οι υγράτοποι δεν μπορούν να κατασκευαστούν σε αμμώδη εδάφη, σε εδάφη με υψηλή διαπερατότητα και σε περιοχές με υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής. Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία: αστικών λυμάτων (κυρίως για μικρές κοινότητες και επιφανειακών απορροών (γεωργικές εκτάσεις, αυτοκινητόδρομους)

Το επεξεργασμένο νερό των υδροβιότοπων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, ή να διοχετευτεί σε υδάτινους αποδέκτες . (Βουδούρης, 2006)

Τα πλεονεκτήματα των τεχνητών υδροβιότοπων είναι

- Χαμηλό κόστος κατασκευής και χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Αντοχή σε διακυμάνσεις υδραυλικού και ρυπαντικού φορτίου (επεξεργάζονται πολύ μικρές παροχές – έως αρκετά μεγάλες)
- Επιτελούν τριτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων
- Προσαρμογή στο οικοσύστημα, βελτίωση αισθητικής, μέρος διαβίωσης πανίδας
- Επεξεργασία πλημμυρικών απορροών

Υδροβιότοποι : μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων

Πίνακας 31 Υδροβιότοποι : μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων (Νουτσόπουλος, 2012b)

Ρύπος	Μηχανισμοί
Αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση, Διήθηση Βιοαποδόμηση
Διαλυτός οργανικός άνθρακας	Αερόβια βιοαποδόμηση, Αναερόβια βιοαποδόμηση
Αζωτο	Αμμωνιοποίηση, Νιτροποίηση, Απονιτροποίηση, Προσρόφηση, Φυτοαπορρόφηση, Πτητικοποίηση
Φώσφορος	Προσρόφηση, Καθίζηση, Φυτοαπορρόφηση
Μέταλλα	Προσρόφηση, Ιονταλλαγή, Κατακρήμιση Φυτοαπορρόφηση, Βιοαποδόμηση
Παθογόνα	UV ακτινοβολία, Θάνατος, Καθίζηση, Διήθηση



g. Συστήματα διήθησης:

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τις λεκάνες διήθησης, τις τάφρους διήθησης, τα συστήματα βιοδιήθησης, τα φίλτρα άμμου και τα ξηρά φρεάτια.

- Οι λεκάνες διήθησης (infiltration basins) είναι μικρές αβαθείς λίμνες, στις οποίες η απορροή διηθείται καταρχήν και στη συνέχεια υπόκειται σε βιολογική επεξεργασία και χημικούς μετασχηματισμούς. Το αποτέλεσμα των παραπάνω διαδικασιών είναι η μείωση του ρυπαντικού φορτίου των απορροών.. Μια λεκάνη διήθησης δεν πρέπει να τίθεται σε λειτουργία, αν δεν έχει σταθεροποιηθεί εντελώς η συμβάλλουσα λεκάνη απορροής (NJ BMP Manual, 2004). Οι λεκάνες διήθησης δεν είναι κατάλληλες για περιοχές όπου αναμένεται υψηλή συγκέντρωση ρύπων ή ιζημάτων λόγω της πιθανότητας μόλυνσης των υπόγειων νερών.
- Οι τάφροι διήθησης (infiltration trenches) αποθηκεύουν μόνο μια μικρή ποσότητα της απορροής, οπότε και σχεδιάζονται για την πρώτη απορροή (first flush) επεισοδίου βροχής. Για το λόγο αυτό οι τάφροι διήθησης χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με άλλες BMPs(Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές), όπως είναι π.χ. οι λεκάνες κατακράτησης (USEPA, 1999).
- Τα συστήματα βιοδιήθησης και κατακράτησης (bioretention systems) ή αλλιώς κήποι βροχής (rain gardens), είναι ρηχές επιφάνειες, που φυτεύονται με ειδικά επιλεγμένα ενδημικά βλάστηση και έχουν ως σκοπό να συλλαμβάνουν και να καθαρίζουν την απορροή μέσω φυσικών, βιολογικών και χημικών διαδικασιών. Επειδή θέτουν σε λειτουργία διάφορους μηχανισμούς απομάκρυνσης των ρύπων, αποτελούν μια εξαιρετική BMP (Debo and Reese, 2003).
- Τα φίλτρα είναι δομικές κατασκευές ελέγχου απορροών. Μπορούν να είναι επιφανειακές ή υπόγειες κατασκευές και ως πληρωτικά τους υλικά χρησιμοποιείται άμμος (sand filters) ή πορώδη οργανικά υλικά . Οι απορροές των ομβρίων υδάτων συγκρατούνται, αποθηκεύονται προσωρινά στα φίλτρα και επεξεργάζονται βιολογικά εντός του πορώδους του πληρωτικού υλικού.(Debo and Reese, 2003). Τα φίλτρα άμμου είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για αστικές και οικιστικές περιοχές (EPA VICTORIA, 2005). Γενικά, προτιμούνται από τις υπόλοιπες τεχνικές, π.χ. τις τάφρους διήθησης, σε περιοχές όπου η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από συμβατικούς ρύπους χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Όμως, η επιλογή χρήση τους ή όχι εξαρτάται από το κόστος κατασκευής τους και τη δυνατότητα συντήρησής τους στην περιοχή εγκατάστασης (Debo and Reese, 2003).

7.3.2.2.5.3 Διαχείριση υδατικών πόρων & απορροών αγροκτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων "BMPs" μείωσης ρύπων στις απορροές. Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα μιας σειράς μελετών, που είχαν ως αντικείμενο τη διερεύνηση τεχνικών μείωσης ρύπων στις απορροές υδατικών πόρων (Simpson et al., 2009)



Πίνακας 32 Ποσοστό απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων με χρήση λεκανών κατακράτησης

BMP's	TP : μείωση φορτίου	TN μείωση φορτίου	Στερεά μείωση φορτίου
Ξηρές λεκάνες κατακράτησης διευρυμένων διαστάσεων Dry extended detention basins	20%	20%	60%
Ξηρές λεκάνες - λίμνες κατακράτησης & κατάλληλες υδροδυναμικές κατασκευές Dry detention basins/ponds & hydrodynamic structures	10%	10%	10%

Πίνακας 33 Ποσοστό απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων μέσω διήθησης και φυτοκάλυψης

BMP's	Όγκος Απορροής % μείωση	TP : μείωση φορτίου	TN μείωση φορτίου	Στερεά μείωση φορτίου
Τάφροι με βλάστηση (bioswales)	65%	75 ± 15%	70 ± 20%	80 ± 15%
Φίλτρα : άμμου, πορώδους οργανικού υλικού	0%	60 ± 15%	40 ± 10%	80 ± 10%
Συστήματα διήθησης (Infiltration practices) για εδάφη τύπου A ή B , χωρίς αποστραγγ. δίκτυο				
1. με άμμο ή φυτοκάλυψη	80%	85 ± 15%	80 ± 15%	95 ± 10%
2. χωρίς άμμο ή φυτοκάλυψη	80%	85 ± 15%	85 ± 10%	95 ± 10%
Συστήματα βιοδιήθησης-κατακράτησης (Bioretention systems)				
-εδάφη τύπου C ή D με αποστραγγιστικό δίκτυο	15%	45 ± 15%	25 ± 20%	55 ± 15%
-εδάφη τύπου A ή B με αποστραγγιστικό δίκτυο	65%	75 ± 15%	70 ± 20%	80 ± 15%
-εδάφη τύπου A ή B χωρίς αποστραγγ. δίκτυο	80%	85 ± 15%	80 ± 20%	90 ± 15%
Επεξεργασία σε ανοιχτά κανάλια με βλάστηση (Vegetated open channels)				
-εδάφη τύπου C ή D χωρίς αποστραγγιστικό δίκτυο	0%	0 - 30%	0 - 30%	50 ± 30%
-εδάφη τύπου A ή B χωρίς αποστραγγιστικό δίκτυο	40%	45 ± 20%	45 ± 20%	70 ± 30%
Κατάταξη εδαφών βάσει διαπερατότητας – infiltration : D(αδιαπέρατα) < C < B < A (υψηλή διαπερατότητα)				



Πέρα των παραπάνω μελετών, έχει μελετηθεί η απόδοση απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων απορροών μέσω της φυτοκάλυψης filter strips. Οι ζώνες φυτοκάλυψης (filter strips) έχουν παρόμοια χρήση με αυτή που περιγράφηκε στα BMP'S για την εσταυλισμένη κτηνοτροφία. Ειδικότερα σε αυτές διηθούνται μερικώς οι απορροές και μειώνεται ο όγκος τους. Επιπλέον στα Filter strips μειώνονται οι συγκεντρώσεις TP, TN και TSS των διερχόμενων απορροών έως 85%. Τα ίδια ποσοστά απομάκρυνσης επιτυγχάνονται και κατά τη χρήση Filter strips για την επεξεργασία απορροών εσταυλισμένης κτηνοτροφίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σε εδάφη υψηλής διαπερατότητας η μεγαλύτερη απομάκρυνση άνω του 80% για TP, TN και φερτά υλικά επιτυγχάνεται στα συστήματα επεξεργασίας απορροών με διήθηση και στις λεκάνες κατακράτησης.

Όσον αφορά τα εδάφη με χαμηλή διαπερατότητα τα μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης επιτυγχάνονται στις λεκάνες κατακράτησης και είναι 45, 25, 55% για το TP, TN και TSS αντίστοιχα.

7.3.2.2.5.4 Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs" άρδευσης - Εφαρμογή ορθής αρδευτικής πρακτικής

Στόχος της ορθής αρδευτικής πρακτικής είναι ο περιορισμός των ρυπαντικών φορτίων, που κατά την άρδευση παρασύρονται και καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες. Ειδικότερα λόγω αστοχίας του συστήματος άρδευσης ένα μέρος του νερού δεν απορροφάται από το έδαφος και διαφεύγει με τη μορφή επιφανειακών απορροών και στραγγιδίων. Ταυτόχρονα έχουν παρατηρηθεί αντίθετες ροές (αντεπίστροφες ροές) και αναρροφήσεις (Return flows) αποστραγγισμένων απορροών άρδευσης, μέσω του δικτύου αποστράγγισης προς την καλλιεργημένη έκταση. Οι επιφανειακές απορροές, τα στραγγίδια και οι αντεπίστροφες ροές παρασύρουν φερτά υλικά, παθογόνους μικροοργανισμούς και ρύπους σε διαλυτή και σωματιδιακή μορφή.

Με την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος άρδευσης επιτυγχάνεται :

- τροφοδοσία της καλλιέργειας με την ποσότητα νερού που καλύπτει τις ανάγκες των φυτών. Καταυτόν τον τρόπο τα φυτά ευδοκιμούν και η απόδοση της συγκομιδής αυξάνεται.
- περιορισμός της διάβρωσης, της απώλειας θρεπτικών και διαφυγής τοξικών ουσιών (το καλό πότισμα προσφέρει την αναγκαία υγρασία στο έδαφος και βοηθά στη διατήρηση της συνοχής του. Επιπλέον μειώνονται τυχόν διαφυγές με τη μορφή επιφανειακών απορροών ή στραγγιδίων. Καταυτόν τον τρόπο περιορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης)
- εξοικονόμηση αλλά και διασφάλιση του νερού για το μέλλον

Εκτιμάται ότι από το νερό άρδευσης που εφαρμόζεται μόνο το 55% χρησιμοποιείται από την καλλιέργεια, ενώ 12% χάνεται κατά τη μεταφορά, το 8% κατά την εφαρμογή του στον αγρό και το 25% χάνεται λόγω υπέρ-άρδευσης. Η υπέρ-άρδευση μπορεί να προκαλέσει περιοδική έλλειψη νερού σε άλλους παραγωγούς, ασφυκτικές συνθήκες στο έδαφος για την καλλιέργεια, ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη ασθενειών, απώλεια θρεπτικών στοιχείων λόγω έκπλυσης ή βαθιάς διήθησης, ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα από αγροχημικά, μείωση της παραγωγής και υποβάθμιση της ποιότητας και αύξηση του κόστους της. (Χαρτζουλάκης et al., 2009)



Η αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος άρδευσης καθίσταται δυνατή με την Εφαρμογή ορθής αρδευτικής πρακτικής, που περιλαμβάνει τις παρακάτω Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές BMP's :

- Μείωση των απωλειών νερού με τη βελτίωση ή αντικατάσταση του δικτύου μεταφοράς και διανομής του νερού
- Σχεδιασμό της άρδευσης με βάση τις συνθήκες κάθε περιοχής (κλίμα, έδαφος) και τις ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας.
- Εφαρμογή του κατάλληλου σχεδιασμού της άρδευσης (πότε και με πόσο νερό), που θα βασίζεται στις εδαφο-κλιματικές συνθήκες και το είδος της καλλιέργειας από τους ειδικούς των ΓΓΑ
- Λειτουργία ενός συστήματος ενημέρωσης των αγροτών για το σχεδιασμό της άρδευσης και τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό
- Εφαρμογή τεχνικών άρδευσης για αποφυγή της αλάτωσης των εδαφών
- Εφαρμογή τεχνικών άρδευσης που απαιτούν μειωμένη ποσότητα νερού, όπως η ελλειμματική άρδευση (RDI) και η υπόγεια άρδευση (SSI) σε περιόδους με έλλειψη νερού
- Άρδευση συνήθως κατά τις βραδινές ώρες για να μειώσουμε τις απώλειες λόγω εξάτμισης
- Καταγραφή με τη χρήση υδρομέτρου της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιήσαμε και ενημέρωση για το κόστος του νερού
- Χρησιμοποίηση συστήματος υδρολίπανσης για την εφαρμογή των λιπασμάτων
- Μεταφορά του νερού σε στεγανοποιημένα κανάλια ή μέσω δικτύου σωληνώσεων για περιορισμό των διαρροών.
- Η άρδευση πρέπει να γίνεται με τρόπους που να αποκλείουν την υδατική διάβρωση του εδάφους. Ένας σωστός τρόπος ποτίσματος είναι να αρχίζουμε το πότισμα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη, μη διαβρωτική παροχή, που δίνεται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 34. Μέγιστη μη Διαβρωτική Παροχή (ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, 2000)

Κλίση (%)	Μέγιστη μη διαβρωτική παροχή l/sec
0,05	3,0
0,1	3,0
0,2	2,5
0,3	2,0
0,5	1,2
1,0	0,6
1,5	0,5
2,0	0,3

Σε επικλινή εδάφη, που είναι ευάλωτα στη διάβρωση λόγω επιφανειακών απορροών, καταλληλότερη είναι η στάγδην άρδευση. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί επιφανειακή άρδευση καλό είναι να



ελέγχεται η παροχή και ταχύτητα ροής. Μπορούν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν φραγμοί ανάσχεσης ροής.

- Χρησιμοποίηση κατάλληλα σχεδιασμένου συστήματος αποστράγγισης

Το σύστημα αποστράγγισης απομακρύνει την περίσσεια νερού από την αρδευόμενη έκταση βαρυτικά ή με αντλίες. Η περίσσεια νερού συνίσταται σε διαρροές νερού άρδευσης (νερό που δε διηθείται, στραγγίδια, απώλειες στο δίκτυο μεταφοράς νερού) και σε επιφανειακές απορροές λόγω βροχόπτωσης. Οι διαρροές νερού άρδευσης εκπλένουν θρεπτικά και τοξικές ουσίες (παρασιτοκτόνα) από τις γεωργικές εκτάσεις και τα αποθέτουν σε υδατικά συστήματα.

Η περίσσεια επιφανειακού νερού απομακρύνεται συνήθως με ανοιχτά κανάλια. Η δε περίσσεια υπόγειου νερού απομακρύνεται με υπεδάφιο σύστημα σωληνώσεων. Στόχος είναι να μην ανυψωθεί ο υδροφόρος ορίζοντας, να παραμείνει ακόρεστο το έδαφος στο ευρύτερο ριζικό σύστημα. Κατ'αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η κατακράτηση του νερού άρδευσης στο έδαφος και αερίζεται καλύτερα το ριζικό σύστημα.

Υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού ανοιχτών και υπεδάφινων συστημάτων αποστράγγισης. Για παράδειγμα μπορεί το υπεδάφιο δίκτυο σωληνώσεων να εκρέει σε ανοιχτό κανάλι αποστράγγισης.

Υπεδάφια συστήματα αποστράγγισης χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση - απομάκρυνση περίσσειας νερού, με στόχο την έκπλυση αλάτων από τα ανώτερα στρώματα του εδάφους (πλησίον του ριζικού συστήματος). Επιπλέον τα υπεδάφια αποστραγγιστικά συλλέγουν αντίθετες ροές και αναρροφήσεις (Return flows) νερού άρδευσης. Πρόκειται για ροές εμπλουτισμένες με θρεπτικά από τις καλλιέργειες. Αν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού αποστράγγισης και των αντίθετων ροών άρδευσης είναι σε αποδεκτά επίπεδα, συνίσταται η επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση. EPA 2003a

- Υποχρεωτική εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης (σταγόνες κλπ.) που εξοικονομούν νερό, μετά από σχετική μελέτη

Τα συστήματα στάγδην άρδευσης (Drip, trickle, micro irrigation) ή με καταιονισμό (sprinkler) υπερτερούν των αντίστοιχων επιφανειακών, καθώς μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε ο ρυθμός άρδευσης να είναι ίσος με το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος και να μηδενίζονται οι διαρροές. Επιπλέον με τη χρήση τους επιτυγχάνεται αποδοτικότερη άρδευση, το νερό διοχετεύεται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση της καλλιέργειας. Αντίθετα στα συστήματα άρδευσης με κανάλια, το νερό κατανέμεται ανομοιόμορφα στην καλλιέργεια. Πιο συγκεκριμένα είναι περισσότερο κατά μήκος των τοιχωμάτων των καναλιών. Τα συστήματα στάγδην άρδευσης είναι κατάλληλα για γεωργικές εκτάσεις με μεγάλη κλίση, καθώς σε αυτές υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού απορροών.

Για την καλύτερη κατανόηση των προτεινόμενων πρακτικών άρδευσης – αποστράγγισης ακολουθεί η σύγκριση των τεχνικών τους προδιαγραφών.

7.3.2.2.5.5 Σύγκριση Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" άρδευσης

Στη συνέχεια παρατίθενται μια σειρά από δημοσιευμένες μελέτες, όπου αξιολογούνται οι διαθέσιμες μέθοδοι άρδευσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τους οι βέλτιστες μέθοδοι άρδευσης σε θέματα αποτελεσματικότητας, ομοιομορφίας και διαρροών είναι οι μέθοδοι σταγόνας και καταιονισμού.



Πίνακας 35 Σύγκριση επιφανειακής άρδευσης με κανάλια και άρδευσης με κατακλιση (Hill, 1994).

BMP's – Συστήματα Άρδευσης	Ένταση Παροχής Άρδευσης /Απαιτήσεις για νερό Άρδευσης		
	Υψηλή /Υψηλές	Χαμηλή/ Χαμηλές	Τυπική-Αναμενόμενη/Αναμενόμενες
Επιφανειακή άρδευση με κανάλια			
• % νερού άρδευσης που κατακρατείται (efficiency)	72%	24%	50%
• επιφανειακές διαφυγές –απορροές νερού άρδευσης(runoff)	55%	5%	20%
• απώλειες νερού άρδευσης λόγω διήθησης σε στρώματα χαμηλότερα του ριζικού συστήματος (Deep percolation losses)	65%	20%	30%
Συστήματα άρδευσης με κατακλιση			
• % νερού άρδευσης που κατακρατείται	84%	52%	70%
• επιφανειακές διαφυγές – απορροές νερού άρδευσης	45%	8%	12%
• απώλειες νερού άρδευσης λόγω διήθησης σε στρώματα χαμηλότερα του ριζικού συστήματος	37%	8%	18%

Πίνακας 36 Σύγκριση συστημάτων άρδευσης (California SWRCB, 1987).

BMP's – Συστήματα Άρδευσης	Σύγκριση απόδοσης συστημάτων άρδευσης (που εφαρμόστηκαν στην Καλιφόρνια – ΗΠΑ)		
	% νερού άρδευσης που κατακρατείται (Irrigation efficiency %)	Διαφυγές στο υπέδαφος λόγω διήθησης (percolation fraction %)	Απώλεια νερού ως επιφανειακή απορροή (Runoff fraction %)
Συμβατικά επιφανειακά κανάλια άρδευσης (conventional furrow)	60%	17,5%	22,5%
Άρδευση με διάτρητους επιφανειακούς σωλήνες (Gated pipe)	67,5%	14,2%	18,3%
Κύκλος άρδευσης μικρής περιόδου, μεγάλης συχνότητας (Shorter run)	70%	13,3%	16,7%
Άρδευση σε συνδυασμό με συλλογή & ανακύκλωση της περίσσειας νερού άρδευσης (απορροές-διαφυγές, νερό που συλλέγεται στο αποστραγγ. δίκτυο) (Tail water recovery)	73,2%	21,3%	5,5%
Άρδευση με κατακλιση (χειροκίνητα)	80%	8,75%	11,3%
Άρδευση με κατακλιση (αυτόματα) (Lateral move Sprinkler)	87,5%	5,5%	7%
Στάγδην άρδευση (Drip Irrigation)	95%	4%	1%



Πίνακας 37 Σύγκριση συστημάτων άρδευσης σταγόνας , καταωνισμού και με επιφανειακά κανάλια (California State Water Resources Control Board, 1992)

Συστήματα Άρδευσης	Σύγκριση απόδοσης συστημάτων άρδευσης Δεδομένα απόδοσης ύστερα από εφαρμογή των συστημάτων σε βαμβακοκαλλιέργειες			
	Εποχική άρδευση seasonal irrigation (inches)	% νερού άρδευσης που κατακρατείται Irrigation efficiency %	Ομοιόμορφη κατανομή νερού άρδευσης Distribution Uniformity %	Διαφυγές στο υπέδαφος λόγω διήθησης σε inch Deep percolation
Υποεπιφανειακή στάγδην άρδευση (Subsurface Drip Irrigation)	το 1989 :23,54 το 1990 :24,04	79 % 76 %	86 % 81 %	2,43 3,98
Εξελιγμένα συστήματα άρδευσης με επιφανειακά κανάλια(improved furrow)	το 1989 :19,89 το 1990 :26,55	80 % 92 %	82 % 74 %	2,88 6,13
Εξελιγμένο σύστημα άρδευσης με καταωνισμό (LEPA:Low energy precision application)	το 1989 :29,77 το 1990 :20,19	60 % 82 %	35 % 66 %	18,09 6,06
Συμβατικά επιφανειακά κανάλια άρδευσης (conventional furrow)	το 1989 :30,75 το 1990 :28,76	61 % 72 %	35 % 62 %	19,39 9,85

7.3.2.2.6 Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Βέλτιστες Διαχειριστικές Πρακτικές "BMPs"

Η Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών περιλαμβάνει μια σειρά από Βέλτιστες διαχειριστικές πρακτικές "BMP's" που σχετίζονται με τη διαχείριση χρήσεων γης, με μέτρα προστασίας αποδεκτών και αποκατάστασης τους . Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται:

- Απομόνωση-Οριοθέτηση υδάτινων αποδεκτών σε σχέση με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις και βοσκοτόπια
 - Field border : ανάπτυξη προστατευτικής φυτοκάλυψης περιμετρικά της καλλιεργούμενης έκτασης). Η φυτοκάλυψη θα λειτουργεί ως ένα φυσικό σύνορο ανάμεσα στους υδάτινους αποδέκτες και τις αγροτικές εκτάσεις. Επιπλέον θα μειώνει τη ταχύτητα ροής των επιφανειακών απορροών, θα συγκρατεί φερτά υλικά και θα περιορίζει τη διάβρωση και τα απορρέοντα ρυπαντικά φορτία. Η συγκεκριμένη πρακτική εφαρμόζεται και ως αντιδιαβρωτική πρακτική.
 - Riparian Forest Buffers και Riparian Grass Buffers : ανάπτυξη ζωνών φυτοκάλυψης με φυτά ή / και δέντρα στις όχθες των υδάτινων αποδεκτών. Η φυτοκάλυψη θα λειτουργεί ως ένα φυσικό σύνορο ανάμεσα στους υδάτινους αποδέκτες, τις αγροτικές εκτάσεις και τα βοσκοτόπια. Επιπλέον θα μειώνει τη ταχύτητα ροής των επιφανειακών απορροών, , θα συγκρατεί φερτά υλικά και θα περιορίζει τη διάβρωση και τα απορρέοντα ρυπαντικά φορτία
 - Off-Stream Watering With Fencing /Off-Stream Watering Without Fencing : αποτροπή πόσης των ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα πχ ποτάμια, ρυάκια. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση περίφραξης ή με τη διασφάλιση πόσης και βόσκησης μακριά από τα υδατικά συστήματα. Το αποτέλεσμα είναι η



μείωση της διάβρωσης και της απόθεσης θρεπτικών (κοπριάς) σε αυτά. Η συγκεκριμένη πρακτική εφαρμόζεται και ως βέλτιστη πρακτική μη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας.

- Αποκατάσταση φυσικών υδατικών συστημάτων ή / και κατασκευή τεχνητών φυσικών
 - Αποκατάσταση και προστασία ρεμάτων, φυσικών καναλιών (ditches, streams). Περιλαμβάνονται μέτρα προστασίας της φυτοκάλυψης τους, αντιστήριξης των όχθων τους, καθαρισμού της κοίτης τους.
 - Αποκατάσταση και προστασία φυσικών υδροβιότοπων. Δίνεται έμφαση σε αυτούς που βρίσκονται πλησίον των υδάτινων αποδεκτών.
 - Κατασκευή τεχνητών υδροβιότοπων πλησίον των υδάτινων αποδεκτών.

Οι παραπάνω υγράτοποι λειτουργούν ως ένα είδος αναχώματος(runoff buffers) έναντι της εισροής των ρυπασμένων επιφανειακών απορροών σε υδάτινους αποδέκτες. Πιο συγκεκριμένα οι επιφανειακές απορροές συλλέγονται στους υδροβιότοπους και υπόκεινται σε βιολογική επεξεργασία. Στη συνέχεια η εκροή τους, έχοντας πλέον μειωμένα ρυπαντικά φορτία, μπορεί να διοχετευθεί στους υδάτινους αποδέκτες. Η λειτουργία και σημασία των υδροβιότοπων παρουσιάστηκε αναλυτικά στη μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και απορροών στα πλαίσια αγρο-κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων και ειδικότερα κατά τη περιγραφή Συστημάτων συγκράτησης (αποθήκευσης) αγροτικών απορροών. Κρίσιμη παράμετρος για τη λειτουργία των υδροβιότοπων ως "runoff buffers " είναι η διευθέτηση των επιφανειακών απορροών κατά τέτοιο τρόπο ώστε αυτές να συλλέγονται και να κατακρατούνται στους υδροβιότοπους πριν καταλήξουν στους υδάτινους αποδέκτες.

7.3.2.2.6.1 Ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων ύστερα από την εφαρμογή Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" Υδάτινων αποδεκτών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας σειράς μελετών, που είχαν ως αντικείμενο τη διερεύνηση Βέλτιστων Τεχνικών Διαχείρισης Υδάτινων αποδεκτών και αγροτικών απορροών.

Πίνακας 38 Απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων σε υδροβιότοπους (EPA, 2012 (1))

Συστήματα Άρδευσης	Ποσοστό απομάκρυνσης ρυπαντικών φορτίων επιφανειακών απορροών κατά την επεξεργασία τους σε τεχνητούς υδροβιότοπους			
	Υδροβιότοπος Lake Jackson	Υδροβιότοπος Orange County	Υδροβιότοπος Tampa Office	Υδροβιότοπος Mwts
Στερεά				
Αιωρούμενα	94%	83 %	63 %	90%
Οργανικά	96%	–	–	89%
Ολικό Άζωτο	76%	30 %	10 %	50%
Όλικός Φώσφορος	90%	37 %	54 %	55%

ΠΗΓΕΣ **Lake Jackson:** Touvilal et al. 1987. *Anevaluation of the Lake Jackson (Florida) Filter System and Artificial Marsh on Nutrient and Particulate Removal from Stormwater Runoff.*
Orange County: Martin and Smoot. Undated. *Tampa Office Wet Detention Stormwater Treatment.*
Tampa Office: Rushton and Dye 1990. *Water Quality Effectiveness of a Detention/Wetland Treatment System and its Effect on an Urban Lake.*
MWTS: Oberts and Osgood 1991. *Constituent Load Changes in Urban Stormwater Runoff Routed Through a Detention Pond-Wetland System in Central Florida.*



Πίνακας 39 Απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων σε συστήματα υδροβιότοπων & ζωνών με φυτοκάλυψη πλησίον υδάτινων αποδεκτών (Simpson et al., 2009)

BMP's Εφαρμοζόμενη Πρακτική	Απομάκρυνση ρυπαντικών φορτίων σε συστήματα υδροβιότοπων, & ζωνών με φυτοκάλυψη πλησίον υδάτινων αποδεκτών		
	TN	TP	TSS
Παρόχθια ζώνη βλάστησης με δέντρα	45,22%	40%	53,33%
Παρόχθια ζώνη βλάστησης με χορτολιβαδική φυτοκάλυψη	31,55%	40%	53,33%
Αποκατεστημένοι ή τεχνητοί υδροβιότοποι	15,33%	29,33%	15%

Η εφαρμογή συστημάτων αποτροπής πόσης των ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα οδηγεί σε μείωση των ρυπαντικών φορτίων που μεταφέρονται με τις απορροές 15 και 22% για το TN και TP στα συστήματα χωρίς φράχτη, 25% και 30% αντίστοιχα για τα συστήματα χωρίς φράχτη (Simpson et al., 2009)

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει ότι στους υδροβιότοπους επιτυγχάνονται μέγιστες απομακρύνσεις φορτίων TN (ολικό άζωτο), TP (ολικός φώσφορος) και TSS (στερεά) της τάξης του 45-50%, 55-60% και 80% αντίστοιχα. Επιπλέον παρατηρείται ότι η απόδοση απομάκρυνσης των ρυπαντικών φορτίων αυξάνεται το ποσοστό της συνολικής απορροής, που κατακρατείται στο υδροβιότοπο.

Τέλος όσον αφορά τις παρόχθιες ζώνες βλάστησης, Riparian Forest Buffers και Riparian Grass Buffers σε αυτές μειώνονται τα ρυπαντικά φορτία TN (ολικό άζωτο), TP (ολικός φώσφορος) και TSS (στερεά) κατά 45,22%, 40%, 53,33% όταν χρησιμοποιούνται δέντρα ως φυτοκάλυψη. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται φυτά οι μειώσεις φτάνουν για το TN, TP και TSS το 31,55, 40, 53,33% αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι υπερτερούν τα συστήματα με τα δέντρα.



7.3.2.2.7 Συγκεντρωτική Παρουσίαση των Βέλτιστων Διαχειριστικών Πρακτικών "BMPs" αγροτικής γης και της απόδοσης τους

Όπως ήδη αναφέρθηκε με το όρο ρυπαντικά φορτία αγροτικής γης αναφερόμαστε σε φορτία αγροτοκτηνοτροφικής προέλευσης. Η παρουσίαση που ακολουθεί περιλαμβάνει τις σημαντικότερες "BMPs" αγροτικής γης, βάσει της κατηγοριοποίησης που προτείνει η Ευρωπαϊκή δράση COST 869. Για κάθε "BMP" γίνεται συνοπτική περιγραφή και παρατίθεται το ποσοστό απομείωσης TP, TN και Στερεών-φερτών υλικών, που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της.

Πίνακας 40 Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Σύνοψη BMPs

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών	Αποτροπή πόσης ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα χωρίς φράκτη	22%	15%	–
	Αποτροπή πόσης ζώων σε ευαίσθητα υδατικά συστήματα με χρήση φράκτη	30%	25%	–
Οριοθέτηση Απομόνωση - υδάτινων αποδεκτών από καλλιέργειες & βοσκοτόπια	Παρόχθιες ζώνες βλάστησης , Riparian Forest Buffers /	40%	45,2%	53,3%
	Παρόχθιες ζώνες βλάστησης Riparian Grass Buffers	40%	31,5%	53,3%
Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Αποκατάσταση φυσικών υδατικών συστημάτων ή / και κατασκευή τεχνητών	Αποκατάσταση υδροβιότοπων ή Κατασκευή υδροβιότοπων (Wetlands)	55-60%	45-50%,	80%

Πίνακας 41 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Σύνοψη BMPs



Πίνακας 41 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Σύνοψη BMPs

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά - Φερτά υλικά
Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία	Off-Stream Watering With Fencing Αποτροπή πόσης ζώων από ευαίσθητα υδατικά συστήματα με χρήση φράκτη	30%	25%	–
	Off-Stream Watering Without Fencing Αποτροπή πόσης ζώων από ευαίσθητα υδατικά συστήματα χωρίς φράκτη	22%	15%	–
	Προστασία βοσκοτόπων και αύξηση της φυτοκάλυψης τους	60%	60%	–
Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Εσταυλισμένη κτηνοτροφία	Ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης & διάθεσης επιφανειακών απορροών και υγρών αποβλήτων της κτηνοτροφικής μονάδας – Συλλογή ομβρίων Drainage systems – Συστήματα εκτροπής εισερχόμενων απορροών Diversion systems – Ζωικά απόβλητα και απορροές εξωτερικών χώρων εσταυλισμού σε λεκάνες καταβύθισης Settling basins – Η εκροή της καταβύθισης οδηγείται σε λεκάνη κατακράτησης, εκεί συλλέγονται και άλλες απορροές Detention ponds – Η λεκάνη κατακράτησης εκρέει σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη Filter Strips	70-90%	80%	70-80%
Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Εσταυλισμένη κτηνοτροφία	Diversion systems Απομάκρυνση μη ρυπασμένων Απορροών (πχ όμβρια) από εγκαταστάσεις εσταυλισμού	70%	45%	–
	Αναχώματα	85%	55%	80%
	Εγκαταστάσεις κατακράτησης αποβλήτων & απορροών storage ponds, treatment lagoons	60%	65%	70%
	Εγκαταστάσεις κατακράτησης αποβλήτων & απορροών χώρου βόσκησης settling basins/solid separation basins	21-41%	35%	49-54%
	Vegetative Filter strips (μειώνουν τις συγκεντρώσεις TP, TN, TSS)	85%	85%	85%
	Vegetative Treatment System Απορροές και απόβλητα χώρου βόσκησης προς λεκάνες – Η εκροή προς έκταση με φυτοκάλυψη Filter Strips	έως 90%	έως 90%	–



Πίνακας 42 Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου Σύνοψη BMPs

		ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Εδάφους Πρακτικές για αποτροπή της διάβρωσης	Conservation tillage (αβαθής άροση) No till Crop residue use	45%	55%	75%
	Grassed waterways Λωρίδες φυτοκάλυψης ενδιάμεσα στις καλλιέργειες για εκτροπή απορροών	30%	10%	35%
	Αναχώματα για εκτροπή & ανάσχεση απορροών	70%	20%	85%
	Ζώνες φυτοκάλυψης για ανάσχεση διερχόμενων απορροών και περιορισμό της διάβρωσης που προκαλούν	70%	70%	65%

Πίνακας 43 Διαχείριση Υδατικών Πόρων & Απορροών Σύνοψη BMPs

		ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά - Φερτά υλικά
Διαχείριση Υδατικών Πόρων & απορροών Μείωση ρυπαντικών φορτίων απορροών	Λεκάνες κατακράτησης απορροών Απομάκρυνση ρύπων με καθίζηση	έως 20%	έως 20%	έως 60%
	Επεξεργασία με φυτοκάλυψη σε κανάλια Vegetated open channels – bioswale	έως 65%	έως 65%	έως 100%
	Επεξεργασία σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη Filter strips (μείωση συγκεντρώσεων TP, TN, TSS)	έως 85%	έως 85%	έως 85%
	Λεκάνες διήθησης, φίλτρα διήθησης Απομάκρυνση ρύπων με διήθηση των απορροών Ποσοστό απομάκρυνσης εξαρτάται από τη διαπερατότητα του εδάφους	85%	85%	95%



Πίνακας 44 Διαχείριση Θρεπτικών Σύνοψη BMPs

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Θρεπτικών	<ul style="list-style-type: none"> - Διαχείριση εδάφους (εκτίμηση pH , P , N , K γονιμότητας) - Διαχείριση λιπασμάτων επιλογή και προγραμματισμό χρήσης τους - Επεξεργασία διάθεση κοπριάς 	35%	15%	–

Πίνακας 45 Διαχείριση Καλλιέργειας Σύνοψη BMPs

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Καλλιέργειας	Conservation tillage Συντηρητική (αβαθής) άροση -	22%	8%	–
	Cover crops/Catch crops φυτοκάλυψη στο μεσοδιάστημα των καλλιεργητικών περιόδων	11%	23%	–

7.3.2.2.8 Σχέδιο διαχείρισης απορροών αγροτικής γης. Επιλογή των κατάλληλων BMPs.

Στα σχέδια διαχείρισης απορροών, για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων κρίνεται σκόπιμος ο συνδυασμός πρακτικών που εστιάζουν στη πρόληψη της ρύπανσης (μη δομικών BMPs) και πρακτικών που εστιάζουν στη αντιμετώπιση της ρύπανσης (δομικών BMPs). Η χρήση των μη δομικών BMPs μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργία των δομικών BMPs, καθώς και τις απαιτήσεις για τη συντήρησή των εμπλεκόμενων μέσων αντιρύπανσης. Συνεπώς, ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορροών οφείλει να ενσωματώνει δομικές και μη-δομικές τεχνικές.

Η επιλογή των κατάλληλων BMPs είναι αποτέλεσμα συνεκτίμησης πολλών παραγόντων και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής. Όλες οι BMPs δεν είναι κατάλληλες για όλες τις περιοχές.

Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των καταλληλότερων δομικών BMPs για μια περιοχή, είναι (Woods et al., 2007):

- (α) Οι χρήσεις γης (αγροτική περιοχή, οικιστική περιοχή, προστατευόμενες περιοχές πχ στο δίκτυο NATURA, υδάτινοι αποδέκτες, οδικές αρτηρίες, περιοχές που βρίσκονται σε ανάπτυξη κλπ).
- (β) Τα χαρακτηριστικά της περιοχής (διαπερατότητα του εδάφους, εμβαδό απορρέουσας επιφάνειας, ελάχιστο βάθος υπόγειου ορίζοντα, απαιτούμενος χώρος για την εφαρμογή του BMP κ.λπ).



- (γ) Οι απαιτήσεις ποιοτικής και ποσοτικής απόδοσης BMP (δυνατότητα απομάκρυνσης των ρύπων, μείωσης του όγκου της απορροής κ.λπ.).
- (δ) Οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις (κοινωνική αποδοχή, συντήρηση, κόστος, δημιουργία ενδιαιτημάτων κ.λπ.).

Από σχετικές μελέτες που έχουν γίνει προέκυψαν ότι (Revitt et al., 2003):

- (α) Τα συστήματα διήθησης, οι τάφροι με βλάστηση και οι λεκάνες συγκράτησης πλεονεκτούν ως προς την τεχνολογία τους και τη βιωσιμότητα τους σε σχέση με τις άλλες δομικές BMPs.
- (β) Οι τάφροι με βλάστηση και οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα αποδίδουν καλύτερα από την άποψη του εμπλουτισμού των υπογείων υδροφόρων στρωμάτων και την ικανότητα αφαίρεσης των ρύπων.
- (γ) Οι τεχνητοί υγρότοποι, οι λεκάνες συγκράτησης και οι λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης παρουσιάζουν τους λιγότερους φυσικούς περιορισμούς στη χρήση τους.

Όσον αφορά τις μη δομικές BMPs, οι πλέον διαδεδομένες είναι:

- (α) Ο επιμελής καθαρισμός των εγκαταστάσεων των αγροκτημάτων και κτηνοτροφικών μονάδων.
- (β) Η μείωση χρήσης ρυπογόνων ουσιών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα κ.λπ.).
- (γ) Ο περιορισμός των αδιαπέρατων επιφανειών. (πχ σε κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις)
- (δ) Η αναδάσωση των παρόχθιων ζωνών υδάτινων αποδεκτών και λοιπών οικοσυστημάτων.
- (ε) Η καλή διαχείριση των εξωτερικών χώρων αποθήκευσης (πχ κοπριάς ζώων, ζωοτροφών).
- (στ) Η πρόληψη της ρύπανσης από τις βιομηχανικές περιοχές και οικισμούς.
- (ζ) Ο έλεγχος των διαδικασιών συντήρησης συστημάτων φυτοκάλυψης αγροτικών γαιών και υδάτινων συστημάτων.
- (η) Ο έλεγχος της διάθεσης των φυτικών καταλοίπων.
- (θ) Η συντήρηση των κατασκευών και συστημάτων που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια των δομικών (πχ συντήρηση τεχνητών λεκανών κατακράτησης απορροών, τεχνητών υδροβιοτόπων, σύστημα επεξεργασίας και ανακύκλωσης αποστραγγισμένων απορροών) και μη δομικών BMPs (πχ σύστημα αποστράγγισης, συλλογής όμβριων στις κτηνοτροφικές μονάδες).

7.3.2.3 Επιλογή βέλτιστων BMPs. περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων Σημειακών Πηγών Ρύπανσης.

Στα πλαίσια της μελέτης της λίμνης Πλαστήρα και Υλίκη οι μόνες πηγές σημειακής ρύπανσης που διαπιστώθηκαν είναι οι ιχθυοκαλλιέργειες. Μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας λειτουργούν μόνο στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα.

7.3.2.3.1 Επιλογή βέλτιστων BMPs. περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας



Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας διακρίνονται στις

1. Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον λόγω λειτουργίας των πλωτών εγκαταστάσεων τους
2. Επιπτώσεις στο χερσαίο περιβάλλον λόγω της λειτουργίας των χερσαίων εγκαταστάσεων τους

Για τον περιορισμό της υποβάθμισης του χερσαίου περιβάλλοντος, όπως ήδη αναφέρθηκε τα απόβλητα των εγκαταστάσεων ξηράς επεξεργάζονται με τη μέθοδο της μηχανικής καθίζησης και απομάκρυνσης της λάσπης. Τα επιτυγχανόμενα ποσοστά απομάκρυνσης των φορτίων είναι : [ΥΠΕΚΑ 2012(8)] για το BOD : 40% , για το TN: 10%, για το TP: 40%

Η παραγόμενη λάσπη υπόκειται σε πάχυνση και σταθεροποίηση και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό. Τα υγρά απόβλητα ή μεταφέρονται σε άλλες ΕΕΛ προς περαιτέρω επεξεργασία ή εφαρμόζεται εδαφική διάθεση τους. Δε συνηθίζεται η παροχέτευση τους σε υδάτινο αποδέκτη.

Για τον περιορισμό της υποβάθμισης του υδάτινου περιβάλλοντος, λόγω λειτουργίας πλωτών εγκαταστάσεων ιχθυοκαλλιέργειών, συνίσταται η εκτέλεση των παρακάτω Τεχνικών Έργων και Μέτρων Αντιρρύπανσης (ΥΠΕΧΩΔΕ 2009, ΥΠΕΚΑ 2009):

1. Το βάθος της θάλασσας στην περιοχή εγκατάστασης της μονάδας να μην είναι μικρότερο των 18 μέτρων.
2. Οι συστοιχίες των ιχθυοκλωβών να προσανατολισθούν υπό γωνία (μικρότερη των 90°) προς την κατεύθυνση των ρευμάτων, έτσι ώστε τα υπολείμματα τροφής και απεκρίσεις ιχθυών να διασπείρονται μακριά από τους κλωβούς
4. Η σχέση ύψους κλωβών- βάθους θάλασσας να είναι τουλάχιστον 1:2 και με την προϋπόθεση ότι στα 2/3 της υδάτινης ζώνης κάτω από τους ιχθυοκλωβούς να υπάρχουν μονίμως ρεύματα.
5. Χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων διανομής τροφής. Οι σωλήνες τους να βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, με στόχο την ελαχιστοποίηση της διαφυγής τροφής στο περιβάλλον. Επιπλέον η μονάδα πρέπει να διαθέτει μηχανήμα διαλογής και αντλία μεταφοράς ψαριών με μετρητή, απαραίτητο για τη διαλογή και τη μεταφορά ψαριών από τον ένα κλωβό στον άλλο.
6. Η ιχθυοφόρτιση στους κλωβούς να μην υπερβαίνει τα 8 Kg/m³ κατά το στάδιο της προπάχυνσης (μέχρι 180 g) και τα 15 Kg/m³ κατά το στάδιο της πάχυνσης.
7. Η χρησιμοποιούμενη τροφή (τεχνητή, συμπυκνωμένη-pellets) να είναι καλής ποιότητας και η διασπορά της να γίνεται σε όλη την έκταση των ιχθυοκλωβών. Για να εξασφαλίζεται ικανοποιητική πλευστότητα των ιχθυοτροφών και άμεση κατανάλωση τους από τα ψάρια, να γίνεται κοσκίνισμα των συμπύκτων πριν τη χορήγηση της τροφής. Με αυτό τον τρόπο απομακρύνεται η σκόνη που προκύπτει από τον θρυμματισμό των συμπύκτων. Τέλος συνίσταται η τροφή να χορηγείται σε πολλά γεύματα ημερησίως, τόσο μηχανικά (ταΐστρες), όσο και με το χέρι.
8. Για την προστασία των βενθικών οργανισμών και του βυθού (που βρίσκονται κάτω από τους κλωβούς) από τα παραπροϊόντα εκτροφής, συνίσταται να γίνεται περιοδική μετακίνηση των ιχθυοκλωβών . Αυτή η πρακτική κρίνεται απαραίτητη όταν τα βάθη δεν επιτρέπουν την περισυλλογή των απορριμμάτων και την αναρρόφηση των υπολειμμάτων τροφής και των παραπροϊόντων του μεταβολισμού των ψαριών από το βυθό. Ειδικότερα με την περιοδική μετακίνηση των κλωβών αποφεύγεται η συσσώρευση θρεπτικών λόγω εκτροφής στο ίδιο σημείο κάτω από τον κλωβό.



9. Τα δίκτυα των ιχθυοκλωβών να διατηρούνται καθαρά, ώστε να εξασφαλίζουν την μέγιστη δυνατή κυκλοφορία του νερού, και η αλλαγή τους να γίνεται κάθε φορά που η κατάσταση της καθαριότητάς τους, καθώς και το μέγεθος των περιεχόμενων ιχθύων το επιβάλλει. Επιπλέον κατά την πλύση των δικτύων συστήνεται η κατανάλωση νερού προερχόμενου από τον υδάτινο αποδέκτη. Μετά το πέρας της πλύσης το νερό να επιστρέφει στον αποδέκτη (τα υποπροϊόντα της πλύσης αποτελούνται αποκλειστικά και μόνο από τους υδάτινους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς που έχουν επικαθήσει στα δίκτυα)
10. Χρήση δικτύων νέας τεχνολογίας στα οποία υπάρχει περιορισμένη επικαθήση οργανισμών, με αποτέλεσμα τον περιορισμό ή/και εξάλειψη χρήσης antifouling ουσιών)
11. Στα πλαίσια της προστασίας της ποιοτικής κατάστασης του υδάτινου αποδέκτη παρακολουθούνται οι ακόλουθες παράμετροι
 - υδρόβιες βιοκοινωνίες (φυτοβένθος & ζωοβένθος) μια φορά ετήσια (περίοδος Απρίλιος-Ιούνιος)
 - θολερότητα με το δίσκο SECCHI, σε μηνιαία βάση
 - διαλυμένο οξυγόνο, αιωρούμενα στερεά και αμμώνιο (NH₄⁺), σε μηνιαία βάση
 - στο ίζημα: ολικός οργανικός άνθρακας, ολικός φωσφόρος και ολικό άζωτο μία φορά ετήσια, στο τέλος κάθε παραγωγικής περιόδου.
12. Χρήση ιχθυοτροφών προσαρμοσμένων στις ειδικές ανάγκες των εκτρεφόμενων ειδών

7.3.2.4 Σχέδιο διαχείρισης αστικών αποβλήτων μικρών οικισμών. Επιλογή των κατάλληλων BMPs

Τα συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων επίσης, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **Συμβατικά ή μηχανικά συστήματα επεξεργασίας** (αναφερόμενα συχνά και ως εντατικά συστήματα)
- **Φυσικά συστήματα επεξεργασίας** (αναφερόμενα συχνά και ως εκτατικά συστήματα)

Και στις δύο κατηγορίες οι βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μεγάλο ποσοστό είναι παρόμοιες. Η κύρια διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι οι διεργασίες στα φυσικά συστήματα πραγματοποιούνται με φυσικό τρόπο, ήτοι με χαμηλές ταχύτητες, ενώ στα συμβατικά συστήματα οι διεργασίες πραγματοποιούνται με αυξημένη ταχύτητα, εξαιτίας των επιβαλλόμενων τεχνητών συνθηκών. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/ 400 " Μέτρα και όροι για την διαχείριση αστικών λυμάτων" προβλέπεται ότι :

- Δίκτυα αποχέτευσης αστικών λυμάτων πρέπει να διαθέτουν μέχρι οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό (i.π.) μεταξύ 2000 και 15000. Στις περιπτώσεις όμως, που δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση των ως άνω δικτύων, είτε διότι δεν είναι επωφελής για το περιβάλλον, είτε λόγω υπερβολικού κόστους, χρησιμοποιούνται μεμονωμένα συστήματα (ιδιωτικά) ή άλλα κατάλληλα συστήματα που επιτυγχάνουν το ίδιο επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος (άρθρο 4).
- Τα λύματα που απορρίπτονται σε γλυκά νερά και σε εκβολές ποταμών από οικισμούς με i.π. μεταξύ 2.000 και 10.000 πρέπει να υποβάλλονται σε δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη επεξεργασία. Τα αστικά λύματα των οποίων η διάθεση γίνεται σε νερά ορεινών περιοχών (υψομέτρου άνω των 1.500 μ) όπου λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών είναι δυσχερής η βιολογική επεξεργασία τους, είναι δυνατόν να υποβάλλονται σε λιγότερο αυστηρή επεξεργασία με την προϋπόθεση ότι αποδεικνύεται από σχετικές μελέτες ότι η διάθεση αυτή δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (άρθρο 7 Α.1.α).
- Για οικισμούς με ισοδ. πληθυσμό μικρότερο από 2.000, εφόσον διαθέτουν αποχετευτικά δίκτυα και έχουν ως αποδέκτες των λυμάτων τους γλυκά νερά και εκβολές ποταμών, πρέπει τα λύματα αυτά να υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία με μέθοδο ή και σύστημα διάθεσης, που επιτρέπει στον υδάτινο αποδέκτη να



ανταποκρίνεται στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους, με βάση την καθοριζόμενη χρήση και τις συναφείς διατάξεις της παρούσας απόφασης και λοιπών ισχυουσών διατάξεων (άρθρο 7B και 2.9).

Στα όρια των υδατικών συστημάτων της λίμνης Πλαστήρα και Υλίκης, που μελετώνται, περιλαμβάνονται κατά βάση οικισμοί με ισοδ. πληθυσμό μικρότερο από 2.000. Σύμφωνα με το άρθρο 7 της Υπουργικής Απόφασης Ειβ.221/65 (ΦΕΚ 138B/24-2-65), προκειμένου να διατεθούν λύματα μεμονωμένων κατοικιών, μικρών ομάδων κατοικιών, σχολείων, στρατώνων, ξενοδοχείων, νοσοκομείων, κατασκηνώσεων και λοιπών παρομοίων ιδρυμάτων και εγκαταστάσεων, πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένοι όροι σχετικοί με την παροχή, την επεξεργασία και τη διάθεση, τις τεχνολογίες και τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό. Στην περίπτωση αυτή, προβλέπονται συγκεκριμένα συστήματα επεξεργασίας και ειδικότερα του λιποσυλλέκτη, της σηπτικής δεξαμενής, της δεξαμενής Imhoff, της υπεδάφιας διάθεσης, του απορροφητικού βόθρου, της στεγανής δεξαμενής, και επιπρόσθετα των μεθόδων απολύμανσης.

Τα Συστήματα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων (ΣΕΑΛ) μικρών οικισμών διακρίνονται σε:

- Μεμονωμένα συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων χωρίς δίκτυο αποχέτευσης (ή Ιδιωτικό Σύστημα), και
- Συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων μικρής κλίμακας, σε συνδυασμό με δίκτυο αποχέτευσης.

Τα μεμονωμένα συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων χωρίς δίκτυο αποχέτευσης, προτείνονται στις περιπτώσεις που δεν κρίνεται σκόπιμη η κατασκευή δικτύου αποχέτευσης και η επεξεργασία & διάθεση των λυμάτων γίνεται πρακτικά ανά μεμονωμένη κατοικία ή μικρή ομάδα κατοικιών. Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται συνήθως με υπεδάφια διάθεση ή άρδευση(σπανιότερα).

Τα συστήματα μικρής κλίμακας σε συνδυασμό με δίκτυο αποχέτευσης αποτελούν συστήματα επεξεργασίας τα οποία συνδυάζονται είτε με υπεδάφια διάθεση, είτε με επαναχρησιμοποίηση (κατά κανόνα εποχιακή), είτε με διάθεση σε επιφανειακού υδάτινου αποδέκτης.

Ως προς τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας για οικισμούς μικρότερους από 2.000 ι.κ. με δίκτυο αποχέτευσης και για μεμονωμένα συστήματα επεξεργασίας, προσφέρεται μια ευελιξία σε ό,τι αφορά : Το βαθμό μείωσης του οργανικού φορτίου (σε όρους BOD5), αιωρούμενων στερεών και το βαθμό της απαιτούμενης απολύμανσης. Στο πλαίσιο αυτό η επεξεργασία θα μπορούσε – υπό προϋποθέσεις - να περιορισθεί σε στάδιο πρωτοβάθμιας ή ισοδύναμης επεξεργασίας.

Ειδικότερα προτείνεται η ακόλουθη προσέγγιση (ΥΠΕΚΑ, 2012) :

- Απαιτήσεις Απομάκρυνσης Αζώτου στις περιπτώσεις διάθεσης στο έδαφος (διήθηση) και άρδευσης λυμάτων από ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας και ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης :

Είναι σκόπιμο να τηρείται το όριο των 15mg/l για το ολικό άζωτο μόνο στις περιπτώσεις ΣΕΑΛ με δίκτυο αποχέτευσης και με διάθεση σε ευαίσθητες σε νιτρορύπανση περιοχές και υπόγεια ύδατα με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών. Σε κάθε άλλη περίπτωση διάθεσης στο έδαφος, δεν απαιτείται απομάκρυνση αζώτου.

- Απαιτήσεις Απολύμανσης στις περιπτώσεις ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας και ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.

Συνίσταται απολύμανση η οποία εξασφαλίζει μέγιστη τιμή ίση με 1.000 EC/100ml στην περίπτωση περιορισμένης άρδευσης. Δεν είναι υποχρεωτική η απολύμανση σε περίπτωση υπεδάφιας διάθεσης, τόσο για ΣΕΑΛ με δίκτυο αποχέτευσης όσο και για ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης.

- Απομάκρυνση Οργανικού Φορτίου στις περιπτώσεις διάθεσης στο έδαφος (διήθηση) λυμάτων από ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας και ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης



Συστήνεται να επιτυγχάνεται ποιότητα, που αντιστοιχεί σε απλό σύστημα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας τύπου Σηπτικής δεξαμενής ήτοι :

- Απομείωση BOD₅ : 30-50% , Απομείωση SS : 50-60%

Στη συνέχεια εξετάζονται εναλλακτικά Συστήματα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων (ΣΕΑΛ) , σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση τους σε μεμονωμένα και μικρής κλίμακας που προηγήθηκε.

7.3.2.4.1 Μεμονωμένο (ιδιωτικό) ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης

Ένα ΣΕΑΛ χωρίς δίκτυο αποχέτευσης, περιλαμβάνει πρωτοβάθμια επεξεργασία και στη συνέχεια υπεδάφια διάθεση των λυμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, (κυρίως διάθεσης σε επιφανειακούς αποδέκτες ή άρδευσης) καλό θα είναι να χρησιμοποιείται και ένα σύστημα πρόσθετης επεξεργασίας.

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία γίνεται συνήθως σε σηπτική δεξαμενή ή εναλλακτικά σε δεξαμενή Imhoff. Στη μονάδα αυτή επιτυγχάνεται μερική μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Στη δεξαμενή καθιζάνουν οργανικά στερεά τα οποία απομακρύνονται με τη μορφή ιλύος (λάσπης) περιοδικά μέσω βυτιοφόρων οχημάτων και συνήθως οδηγούνται για περαιτέρω επεξεργασία σε κάποια κεντρική εγκατάσταση επεξεργασίας.

Όσον αφορά το σύστημα πρόσθετης επεξεργασίας, αυτό επιβραδύνει τη δημιουργία αποφρακτικού μανδύα, λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων BOD₅ και στερεών στην εκροή της σηπτικής δεξαμενής. Η μείωση του BOD₅ και των αιωρούμενων στερεών επιτυγχάνεται μέσω βιολογικής επεξεργασίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων πρόσθετης επεξεργασίας αποτελούν: τα διυλιστήρια άμμου, η ενεργός ιλύ, ο τεχνητός υγροβιότοπος κ.λπ.

Τέλος η υποεπιφανειακή διάθεση υλοποιείται μέσω διήθησης στο έδαφος σε απορροφητική τάφρο.

Μερικά από τα πιο διαδεδομένα συστήματα αυτής της κατηγορίας είναι :

- Σύστημα σηπτικής δεξαμενής και διάθεσης με απορροφητική τάφρο (ΣΗΠ-ΤΑΦ)
- Σύστημα σηπτικής δεξαμενής με πρόσθετη επεξεργασία μέσω χαλικοδιυλιστηρίου-αμμοδιυλιστηρίων και διάθεσης με απορροφητική τάφρο (ΣΗΠ-ΧΑΛ-ΑΜ-ΤΑΦ) Το Σύστημα (ΣΗΠ.ΧΑΛ.ΑΜ.ΤΑΦ) διακρίνεται από την ευκολία εφαρμογής του και συναντά μεγάλη κοινωνική αποδοχή. Επιπλέον μπορεί να αποτελέσει βασική επιλογή όχι μόνο σε Ιδιωτικά Συστήματα, αλλά και σε κοινοτικές εγκαταστάσεις σχετικά μικρού μεγέθους.



Πίνακας 46 Βαθμός απόδοσης, συστήματος σηπτικής δεξαμενής, χαλικοδιυλιστηρίου, αμμοδιυλιστήριου,

	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΡΟΗΣ
ΣΗΠΤΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ	μείωση BOD ₅ 30-50%, μείωση TSS 50-80% μείωση λιπών 60-80%
ΧΑΛΙΚΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	μείωση BOD ₅ 40-75% μείωση TSS 40-65%.
ΑΜΜΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	μείωση BOD ₅ 70% μείωση TSS 60%.
ΤΑΦΡΟΙ –ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ	μείωση BOD ₅ 90% μείωση TN/TP > 90% / 0-100%
ΣΥΣΤΗΜΑ (ΣΗΠ.ΧΑΛ.ΑΜ.ΤΑΦ) (ΥΠΕΚΑ 2012(ii))	BOD & TSS στην Εκροή ≈ 20 mg/lit , ανάλογο με συστήμα ενεργού ιλύος μείωση του BOD ₅ , TSS 70-90% Αξιόλογη απομάκρυνση αζώτου και παθογόνων

Πίνακας 47 Τεχνικά χαρακτηριστικά Μεμονωμένων (ιδιωτικών) ΣΕΑΛ (ΥΠΕΚΑ, 2012(ii))

	ΣΥΣΤΗΜΑ (ΣΗΠ.ΤΑΦ)	ΣΥΣΤΗΜΑ (ΣΗΠ.ΧΑΛ.ΑΜ.ΤΑΦ)
ΤΑΦΡΟΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (Βαρυτική τροφοδότηση)	-4,5m ² / ι.κ. -30m ² /ι.κ. in low permeability soils	μείωση μήκους τάφρων κατά μία ή δύο τάξεις μεγέθους έναντι του συστήματος (ΣΗΠ-ΤΑΦ).
ΕΚΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	Επιφάνεια Σηπτικής + Επιφάνεια Τάφρου (4,5 έως 30m ² /ι.κ)	Επιφάνεια Ιδίας Σηπτικής + Επιφάνεια Τάφρου (μείωση μία ή δύο τάξεις μεγέθους 0,45 έως 0,30m ² /ι.κ) + Έκταση διυλιστηρίων 0.5-0.6 m ² /κάτοικο
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΑΛΙΚΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ ΑΜΜΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟΥ	έντονη δημιουργία του αποφρακτικού μανδύα στις τάφρους	επιβραδύνεται η δημιουργία του αποφρακτικού μανδύα στις τάφρους (πλήρης λύση : εναλλακτική λειτουργία τάφρων
Μείωση ρυπαντικών φορτίων	σηπτική δεξ/νή μείωση BOD ₅ 30-50% σηπτική δεξ/νή μείωση TSS 50-80%	Στο χάλικο-άμμο διυλιστήριο περαιτέρω μείωση ρυπαντικών φορτίων (BOD ₅ , TSS κλπ) έναντι του συστήματος (ΣΗΠ-ΤΑΦ)

Σε πολλές περιπτώσεις αντί σηπτικής δεξαμενής χρησιμοποιείται είτε απορροφητικός βόθρος είτε συνδυασμός σηπτικής δεξαμενής με απορροφητικό βόθρο.



7.3.2.4.2 Ιδιωτικά Μηχανικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης

Πρόκειται για προκατασκευασμένα μικρά συστήματα επεξεργασίας τόσο για μεμονωμένες κατοικίες όσο και για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (π.χ. ομάδες κατοικιών, ξενοδοχεία κ.λπ.) Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι:

- Σύστημα ενεργού ιλύος και παραλλαγές του (π.χ. παρατεταμένος αερισμός, SBR)
- Βιολογικά φίλτρα
(συνήθως φίλτρα σύνθετων μέσων όπως πλαστικά, με ινώδες ύφασμα, με κεραμικά υλικά κ.λπ.)
- Βιολογικοί περιστρεφόμενοι δίσκοι (RBC)
- Σύστημα μεμβρανών (MBR)
- Συνδυασμός ή παραλλαγές των ως άνω συστημάτων

Πίνακας 48 Ιδιωτικά Μηχανικά συστήματα χωρίς δίκτυο αποχέτευσης (ΥΠΕΚΑ, 2012(1))

ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (επίπεδο τριτοβάθμιας επεξεργασίας)	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ
Σηπτικές δεξαμενές, Λειτουργούν κυρίως σαν μονάδα εξισορρόπησης της εισερχόμενης παροχής.	Εφαρμόζεται εφόσον απαιτείται -Απομάκρυνση των θρεπτικών (N,P) πχ υδροβιότοποι, Συστήματα βιοαντιδραστήρων μεμβρανών - Μείωση των στερεών (π.χ. με φίλτρο άμμου) χρήση εκροής για άρδευση - Απολύμανση	BOD ₅ , TSS ≈ 20 mg/l ή και μικρότερες στη περίπτωση προχωρημένης επεξεργασίας

7.3.2.4.3 ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται συστήματα βιολογικής επεξεργασίας τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν, τουλάχιστον, ως συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Μερικά από αυτά μπορούν να λειτουργήσουν εξασφαλίζοντας απ' ευθείας τριτοβάθμια ποιότητα.

Είναι δυνατός ο συνδυασμός ενός συστήματος βιολογικής επεξεργασίας με άλλο σύστημα (ικανό για δευτεροβάθμια ή και τριτοβάθμια επεξεργασία), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται υψηλότερη ποιότητα εκροής.



Τα βασικότερα συστήματα αυτής της κατηγορίας παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012a, ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012b, ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012c, North Carolina Extension Water Quality Information System 2012, Μαυρίδου 2010):

Πίνακας 49 ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης Συμβατικά συστήματα

ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ - ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ
1. Συστήματα Ενεργού Ιλύος ή παραλλαγές τους -Συμβατικό σύστημα -Παρατεταμένου αερισμού -Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης, -SBR / MBBR	- Μείωση οργανικής ύλης ως BOD ₅ : 85 – 95 % - Μείωση αιωρούμενων στερεών : 80 – 90 % - Μείωση βακτηρίων : 98 – 99 %.
2. Συστήματα προχωρημένης επεξεργασίας -Βιομεμβρανών MBR, -MBMR -Συνδυασμός με 3βάθμια επεξεργασία (φίλτραυση, υπερδιήθηση)	-MBR : Μείωση BOD ₅ > 90% Μείωση TSS ≈ 100% Επιτελεί και τριτοβάθμια επεξεργασία -Συνδυασμός συστημάτων : πρόσθετη απομάκρυνση επεξεργασίας με 3βάθμια BOD 50-70%, TSS 80-90% επεξεργασία (φίλτραυση)
3. Βιολογικά Φίλτρα - Χαλικόφιλτρα – αμμόφιλτρα(RSF/ISF) - Φίλτρα υφάσματος (textile filters) - Αναερόβια, Πλαστικά	Φίλτρα άμμου ISF : Μείωση BOD, TSS > 90% Νιτροποίηση 80% NH ₄ ΕΙΣΟΔΟΥ Φίλτρα άμμου RSF : Μείωση BOD, TSS > 90% Μείωση Αζώτου 40-60% Textile filters : Μείωση BOD ₅ , TSS > 90% Πλαστικά φίλτρα : Μείωση BOD ₅ , TSS 65-80%
4. Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι RBC	RBC Μείωση BOD ₅ , TSS 90-95% Μείωση TN / TP 80% / 40%



Πίνακας 50 ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης Φυσικά συστήματα

ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ
<p>Συστήματα διήθησης</p> <ul style="list-style-type: none"> -Βραδείας-Ταχείας διήθησης -Επιφανειακής Ροής 	<p>-Βραδείας διήθησης</p> <p>Μείωση BOD₅, TSS 90-99% Μείωση αζώτου 50-90% Μείωση φώσφορου 80-99%</p> <p>-Ταχείας</p> <p>Μείωση BOD₅ / TSS >86% / 100% Μείωση αζώτου 10-93% Εξαρτάται από την υδραυλική φόρτιση και τον κύκλο εφαρμογής Μείωση φώσφορου 30-99% Η απόδοση ευθέως ανάλογη της απόστασης</p> <p>-Επιφανειακής Ροής</p> <p>Μείωση BOD₅, TSS 80-95% Μείωση αζώτου 75-90%</p>
<p>Συστήματα Τεχνητών Υγροβιότοπων</p> <ul style="list-style-type: none"> -Επιφανειακής Ροής-FSW -Υποεπιφανειακής Ροής (οριζόντιας-HF, κατακόρυφης-VF) - Συστήματα Επιπλεόντων Υδροχαρών Φυτών 	<p>Μείωση BOD₅ TSS 67-80% Μείωση αζώτου 62-84% Μείωση φώσφορου ≈50%</p>
<p>Τεχνητές Λίμνες</p> <ul style="list-style-type: none"> -Επαμφοτερίζουσες, Αεριζόμενες - Αερόβιες, Αναερόβιες 	<p>Μείωση BOD₅, 75-90% Μείωση αζώτου 45-80% Μείωση φώσφορου μικρή, αν απαιτηθεί απομακρύνεται χημικά</p> <p>TSS είναι κυρίως φυτοπλαγκτόν, η συγκέντρωσή τους είναι μη ελεγχόμενη</p>

Σε κάθε ολοκληρωμένο σχήμα επεξεργασίας ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης, προηγείται η Προεπεξεργασία των λυμάτων η οποία κατά κανόνα αποτελείται από :

- Εσχάρωση
- Εξάμμωση – απολίπανση
- Για μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις (π.χ. έως 200 ι.κ.), η προεπεξεργασία των λυμάτων μπορεί να αποτελείται από σύστημα Σηπτικής δεξαμενής



Στα συστήματα ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης η εκροή των συστημάτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας πχ MBR διατίθεται με τρεις βασικές εναλλακτικές μεθόδους:

1. Διάθεση σε επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι μόνιμη ροής).
2. Διάθεση στο έδαφος (υπεδάφια).
3. Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση.

Μια άλλη σημαντική διαδικασία που περιλαμβάνεται στη λειτουργία των ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης είναι η απολύμανση. Η μέθοδος απολύμανσης εφόσον απαιτείται, μπορεί να διαχωριστεί στις ακόλουθες εναλλακτικές επιλογές, για μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις επεξεργασίας: Απολύμανση με ενεργό χλώριο, με υπεριώδη ακτινοβολία (UV).

Τέλος σε ότι αφορά την διαχείριση της ιλύος, ισχύουν τα ακόλουθα:

- Σε μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις ή/και σε εγκαταστάσεις που παράγονται μικρές ποσότητες πλεονάζουσας λάσπης, είναι δυνατή η περιοδική μεταφορά της με βυτιοφόρα σε κεντρική Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Εκεί θα υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία (ανά περίπτωση σταθεροποίηση, πάχυνση, αφυδάτωση)
- Σε μεγαλύτερου μεγέθους εγκαταστάσεις (π.χ.>1.000 ι.κ.), είναι τεχνο-οικονομικά ενδεδειγμένη η επιτόπου περαιτέρω επεξεργασία της λάσπης, με σκοπό τη μείωση του όγκου της και την ευκολία μεταφοράς και διαχείρισής της. Σημαντικό κριτήριο στην ως άνω επιλογή, αποτελεί και η ποσότητα της παραγόμενης πλεονάζουσας ιλύος. Για παράδειγμα σε τεχνολογίες που η παραγωγή πλεονάζουσας λάσπης είναι μικρή, πρέπει να εξετάζεται οικονομοτεχνικά η κάθε επιλογή, σε συνδυασμό με την απόσταση από την πλησιέστερη μονάδα υποδοχής-επεξεργασίας λάσπης και το συνολικό κόστος διαχείρισης αυτής.

7.3.2.4.4 Επιλογή Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων Μικρών Οικισμών.

Για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων χρησιμοποιούνται μια σειρά από κριτήρια αξιολόγησης. Αυτά σχετίζονται με θέματα κόστους, αποδοτικότητας, ευκολίας λειτουργίας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Κριτήρια αξιολόγησης εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων:

- Βαθμός επεξεργασίας (BOD, SS, N, P, παθογόνοι, κ.α.), ευαισθησία αποδέκτη εκροών
- Προβλήματα κατά τη λειτουργία, Σύστημα παρακολούθησης
- Αναγκαιότητα διαχείρισης ιλύος, Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης εκροών
- Ευελιξία στις διακυμάνσεις παροχών και φορτίων



- Ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής, Μέγεθος του οικισμού,
- Απαιτούμενη έκταση συστήματος, Η/Μ εξοπλισμός – αυτοματισμός,
- Κόστος (κατασκευαστικό και λειτουργικό)
- Διαθεσιμότητα της τεχνογνωσίας, Εμπειρία από την εφαρμογή
- Περιβαλλοντικές οχλήσεις, βαθμός κοινωνικής αποδοχής

Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια το σύστημα Σηπτική Δεξαμενή, Αμμο-χάλικοδιυλιστήριο, είναι το πλέον κατάλληλο από τα διαθέσιμα μηχανικά και φυσικά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων μικρών οικισμών, μεμονωμένων οικιών ή συγκροτημάτων οικιών. Ειδικότερα επιτυγχάνει υψηλή ποιότητα εκροής έχει μικρό λειτουργικό κόστος, είναι σχετικά απλό στη λειτουργία του και φιλικό στο περιβάλλον (Νουτσόπουλος, 2012c). Επιπλέον δεν απαιτεί την προεπεξεργασία των λυμάτων και μπορεί να συνδυαστεί και με συστήματα πρόσθετης επεξεργασίας αποβλήτων πχ διάθεση στο έδαφος μέσω απορροφητικής τάφρου. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η ποιότητα εκροής που επιτυγχάνει για το BOD₅ TSS (≈ 20 mg/l) είναι παρόμοια με αυτή του συστήματος ενεργού ιλύος



	Έκταση	Απομ. BOD	Απομ. SS	Απομ. N	Απομ. Πυθόγονων	Αρχικό κόστος	Βιογενετική παραγωγή	Η/Μ εξοπλισμός	Αυτοματισμοί	Σύστημα παρακολούθησης	Οχλήσεις	Προσπεριγρασία	ΑΤΚ	Πρόβλημα διαγκωμένης ούσας
Τυπικό σύστημα ενεργού υλός (παρατεταμένος αερισμός με ανοξική δεξαμενή)	◐	○	○	○	◐	●	●	●	●	●	○	○	●	●
SBR	○	○	○	○	◐	●	●	●	●	◐	○	○	○	○
Αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης ενεργού υλός	○	○	○	○ (1)	◐	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Φίλτρα (χαλικοδωλιστήριο)	●	○	○	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	●	○
Φίλτρα (πλαστικά)	○	○	○	○ (1)	◐	●	◐	◐	◐	●	○	●	●	○
RBC	◐	○	○	○ (1)	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	○
Αναερόβιες λίμνες	●	◐	●	●	●	○ (2)	○	○	○	○	◐	○	○	○
Επαμφοτερίζουσες λίμνες	●	○	●	◐	◐	○ (2)	○	○	○	○	●	●	○	○
Αερόβιες λίμνες	●	○	●	◐	◐	○ (2)	○	○	○	○	○	●	○	○
Αεριζόμενες λίμνες	◐	○	○	●	◐	○ (2)	○	○	○	○	○	●	●	○
Τεχνητοί υγροβιότοποι	●	○	○	◐	◐	○ (2)	○	○	○	◐	◐	●	○	○
Σηπτική δεξαμενή – χαλικοδωλιστήριο - αμμοδωλιστήριο	○	○	○	◐	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○	○

○ Πλεονέκτημα
● Μειονέκτημα
◐ Ενδιάμεση κατάσταση
○ (1) με την προϋπόθεση ότι γίνεται κατάλληλη επέκταση του συστήματος
○ (2) στο βαθμό που δεν χρειάζεται στεγάνωση πυθμένα, που ωστόσο δεν είναι η τυπική περίπτωση

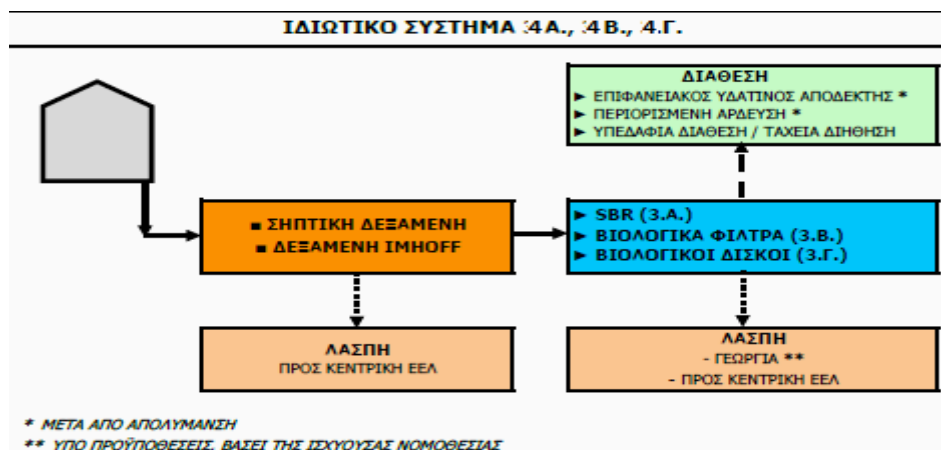
Πίνακας 51 Επιλογή Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων Μικρών Οικισμών (Νουτσόπουλος, 2012c)

Το σύστημα σηπτικής δεξαμενής – άμμο-χαλικοδιυλιστηρίου - απορροφητικής τάφρου αναδείχθηκε ως το βέλτιστο δυνατό και από την Τελική έκθεση του ΥΠΕΚΑ " για τον προσδιορισμό κατάλληλων συστημάτων και την ανάπτυξη κριτηρίων επιλογής για την επεξεργασία λυμάτων οικισμών Δ προτεραιότητας" (ΥΠΕΚΑ 2012). Η επιλογή του συστήματος σηπτικής δεξαμενής – άμμο-χαλικοδιυλιστηρίου - απορροφητικής τάφρου έγινε χρησιμοποιώντας ως κριτήρια

1. Την περιβαλλοντική προστασία, βάσει της απαιτούμενης ποιότητας εκροής.
2. Το περιορισμένο πάγιο και λειτουργικό κόστος σε συνδυασμό με την περιορισμένη απαίτηση εποπτείας και συντήρησης

Στα πλαίσια της έκθεσης του ΥΠΕΚΑ συγκρίθηκαν τα παρακάτω ιδιωτικά συστήματα :

- Σηπτική δεξαμενή – απορροφητική τάφρος
- Τροποποιημένο σύστημα σηπτικής δεξαμενής – άμμο-χαλικοδιυλιστηρίου - απορροφητικής τάφρου
- Σύστημα Σηπτικής δεξαμενής -Τεχνητού υγροβιότοπου- απορροφητικής τάφρου
- Μηχανικά συστήματα επεξεργασίας χωρίς δίκτυο αποχέτευσης



Σχήμα 13 Μηχανικά συστήματα επεξεργασίας χωρίς δίκτυο αποχέτευσης

- Μηχανικά συστήματα επεξεργασίας χωρίς δίκτυο αποχέτευσης : σε σχέση με τα συστήματα της κατηγορίας "4" πριν τη διάθεση των εκροών γίνεται περαιτέρω επεξεργασία μέσω διύλισης
- Μηχανικά συστήματα επεξεργασίας χωρίς δίκτυο αποχέτευσης : σε σχέση με τα συστήματα της κατηγορίας "4" για δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία βιοαντιδραστήρες μεμβρανών MBR

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύγκρισης, σε όσες περιπτώσεις τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υπόγειου ορίζοντα το επιτρέπουν, τα ιδιωτικά συστήματα τυπικής σηπτικής δεξαμενής απορροφητικής τάφρου και οι παραλλαγές τους (Ιδιωτικά Συστήματα 1 & 2) και στη συνέχεια το σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου (Ιδιωτικό Σύστημα 3), είναι προτιμητέα, καθώς εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας καθιστούν δυνατή μία απλή και αξιόπιστη λειτουργία σε αντίθεση με τα μικρά μηχανικά συστήματα (Ιδιωτικά Συστήματα 4, 5, 6), που η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά λόγω ελλιπούς συντήρησης - λειτουργικής παρέμβασης και ιδιαίτερων προβλημάτων που δημιουργεί η μικρή κλίμακα των έργων.



Στην περίπτωση διαθέσιμου δικτύου αποχέτευσης ή αν προκριθεί η κατασκευή αποχετευτικού δικτύου, η επιλογή του κατάλληλου ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης βασίζεται στη σύγκριση των συστημάτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας του Πίνακα "ΣΕΑΛ μικρής κλίμακας με δίκτυο αποχέτευσης" (ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012a, ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012b, ΝΟΥΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 2012c, North Carolina Extension Water Quality Information System 2012, Μαυρίδου 2010) Σύμφωνα με την Μαυρίδου Ε. (2006) το πλέον ενδεικνυόμενο σύστημα είναι οι Βιομεμβράνες MBR. Η εκροή από το MBR έχει υψηλή ποιότητα και δε χρειάζεται περαιτέρω τριτοβάθμια επεξεργασία.

7.4 Μελέτη της ποιοτικής κατάστασης της Λίμνης Πλαστήρα με εφαρμογή του Μαθηματικού μοντέλου Λέρνη

7.4.1 Συσχέτιση γεωμετρικών χαρακτηριστικών Λίμνης Πλαστήρα

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη η λίμνη Πλαστήρα θεωρήθηκε ως ένα ενιαίο στοιχείο πλήρους μίξης, με αποτέλεσμα οι διεργασίες της μεταγωγής και της διασποράς να παραληφθούν. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον υπολογισμό των διαστάσεων της λίμνης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η γεωμετρία της μεταβάλλεται χρονικά συναρτήσει των εισροών και των απολήψεων.

Από την ανάλυση των στοιχείων της υδρολογικής μελέτης (ΕΜΠ 2002), που αφορούν στη γεωμετρία της λίμνης και στη συσχέτιση όγκου (V), στάθμης ύδατος (ΣΥ) και επιφάνειας (E), προέκυψαν οι ακόλουθες σχέσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της μαθηματικής προσομοίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της λίμνης Πλαστήρα:

$$\Sigma Y(t) = 770,572 - 0,0000593 * V(t)^2 + 0,0791136 * V(t) \quad (1)$$

$$E(t) = 0,843184 * \Sigma Y(t) - 643,22 \quad (2)$$

$\Sigma Y(t)$: η στάθμη του νερού στη λίμνη στο χρόνο t σε m

$V(t)$: ο όγκος του νερού στη λίμνη στο χρόνο t σε εκατομ. m³

$E(t)$: η επιφάνεια της λίμνης στο χρόνο t σε εκατομ. m²

Ο υπολογισμός του όγκου της λίμνης σε κάθε χρονικό βήμα υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$V(t+\Delta t) = V(t) + \Delta Q * \Delta t \quad (3)$$

$$\Delta Q = Q_{\text{εισορών}} - Q_{\text{απολήψεων}} \quad (4)$$

$V(t+\Delta t)$: ο όγκος του νερού στη λίμνη στο χρόνο (t+Δt) σε εκατομ. m³

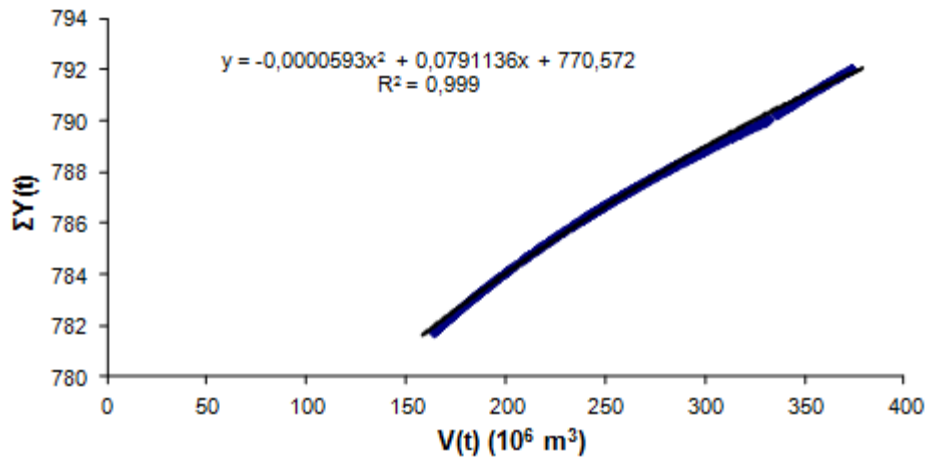
$V(t)$: ο όγκος του νερού στη λίμνη στο χρόνο t σε εκατομ. m³

ΔQ : η μεταβολή της παροχής στο χρονικό βήμα Δt σε εκατομ. m³ / ημέρα

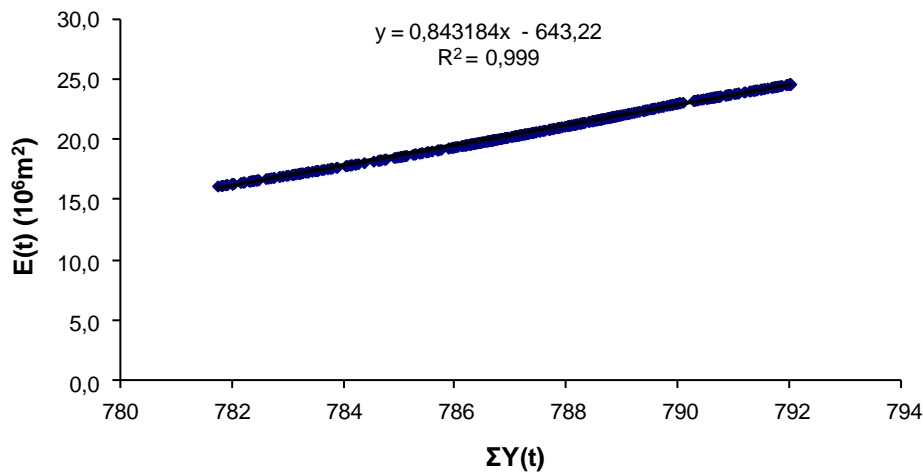
Δt : χρονικό βήμα σε ημέρες

$Q_{\text{εισορών}}$: παροχή του συνόλου των εισροών στη λίμνη Πλαστήρα σε εκατομ. m³ / ημέρα

$Q_{\text{απολήψεων}}$: παροχή του συνόλου των απολήψεων από τη λίμνη Πλαστήρα σε εκατομ. m³ / ημέρα



Σχήμα 14: Συσχέτιση στάθμης-όγκου στη λίμνη Πλαστήρα.



Σχήμα 15 : Συσχέτιση στάθμης-επιφάνειας στη λίμνη Πλαστήρα

7.4.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

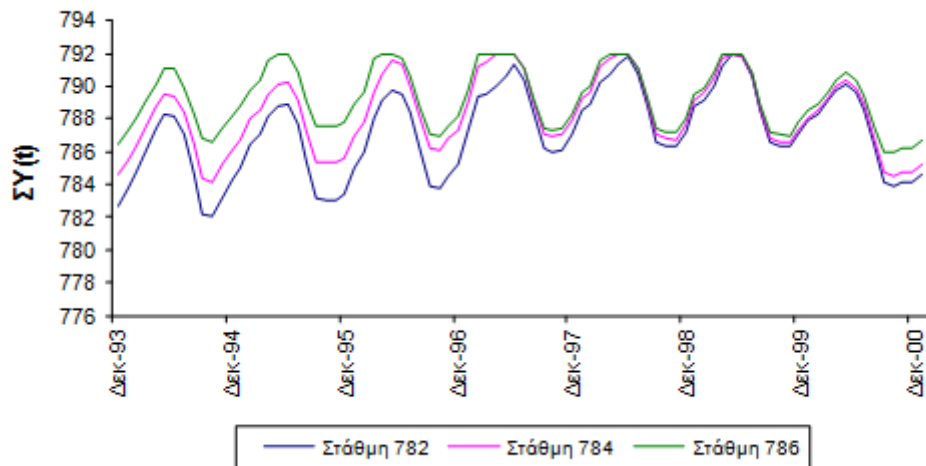
Για την επίλυση του μοντέλου είναι απαραίτητη η γνώση της χρονικής διακύμανσης των εξωτερικών μεταβλητών, οι οποίες είναι:

- α) οι εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές
- β) τα φορτία (θρεπτικών, οργανικού άνθρακα)
- γ) η θερμοκρασία
- δ) η ηλιοφάνεια και η φωτοπερίοδος



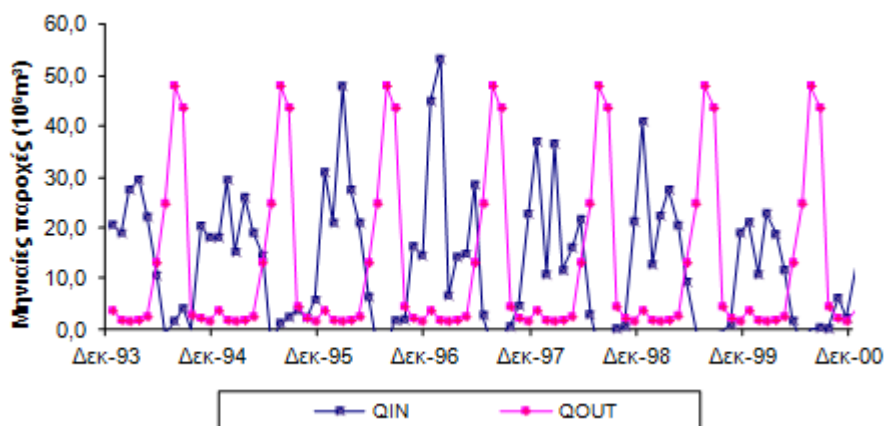
7.4.2.1 Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές

Συνολικά εξετάστηκαν τρία σενάρια λειτουργίας της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα. Τα σενάρια αυτά αφορούν στη λειτουργία της λίμνης Πλαστήρα με ελάχιστη στάθμη: α) στα 782m, β) στα 784m και γ) στα 786m. Βάσει της υδρολογικής μελέτης δημιουργήθηκαν τρεις χρονοσειρές, μία για κάθε σενάριο λειτουργίας. Οι χρονοσειρές περιγράφουν τη μεταβολή της στάθμης της λίμνης και καλύπτουν ένα διάστημα 7 ετών (Ιανουάριος 1994-Δεκέμβριος 2000). Η διαμόρφωσή τους έγινε βάσει των εισροών & εκροών του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος (ΕΜΠ 2002)

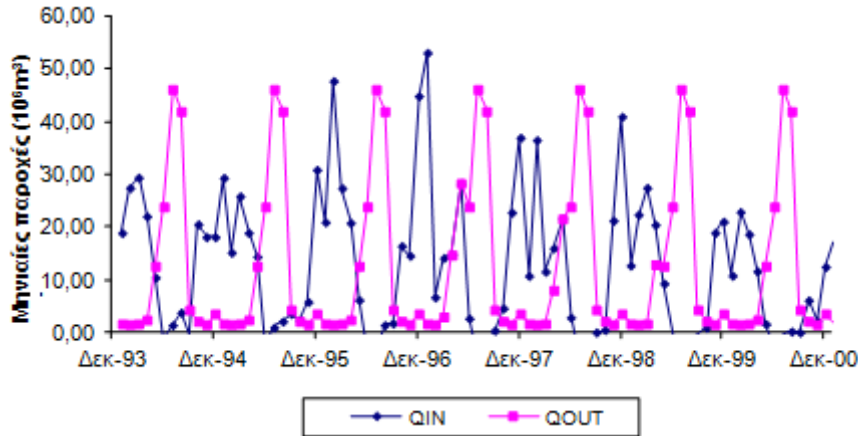


Σχήμα 16: Χρονοσειρά στάθμης της λίμνης Πλαστήρα για τρία εναλλακτικά σενάρια ελάχιστης στάθμης, για την περίοδο προσομοίωσης.

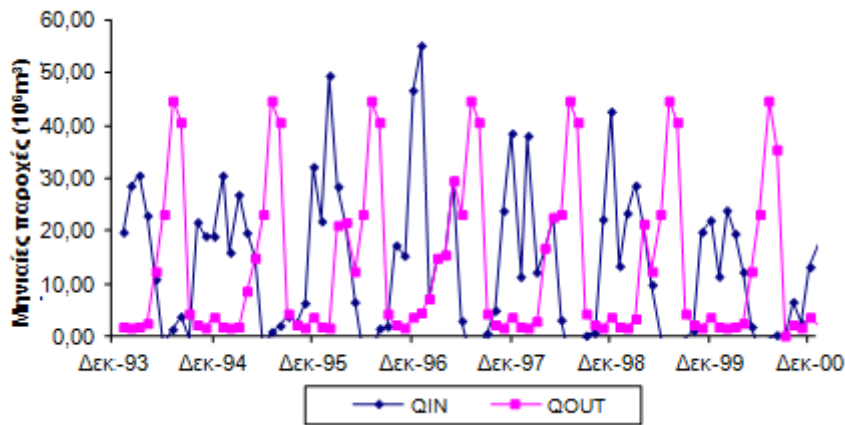
Οι παροχές εισροής και εκροής για καθένα από τα εξεταζόμενα σενάρια για την 7ετή περίοδο προσομοίωσης παρουσιάζονται διαγραμματικά στη συνέχεια.



Σχήμα 17 : Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 782m.



Σχήμα 18 : Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 784m.



Σχήμα 19 : Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Πλαστήρα για ελάχιστη στάθμη στα 786m.

Οι εισροές και εκροές είναι δυναμικές εξωτερικές μεταβλητές και μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια κάθε εξεταζόμενου έτους. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως με βάση τις τιμές τους αναπτύσσονται χρονοσειρές, που περιλαμβάνουν ημερήσιες παροχές συνολικής εισροής και εκροής. Οι χρονοσειρές καλύπτουν το διάστημα της προσομοίωσης από 1-1-1994 έως και 31-12-2000 και εισάγονται ως δεδομένα στο λογισμικό Λέρνη.

7.4.2.2 Φορτία

Τα ρυπαντικά φορτία που εισέρχονται στη λίμνη Πλαστήρα, προέρχονται από τις επιφανειακές απορροές (μη-σημειακές πηγές) αλλά και σημειακές πηγές ρύπανσης (ιχθυοκαλλιέργειες). Οι εισερχόμενες στη λίμνη φορτίσεις παρουσιάζονται παρακάτω



Φορτία (kg/έτος) Μη σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 52: Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές

	TN	TP	BOD	Κατανομή φορτίων
Αστικές περιοχές	4557 kg/έτος N-NH 80% & N-NO 20%	100 kg/έτος 100% IP	15948 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος
Καλλιέργειες	3376 kg/έτος N-NO 80% & N-NH 20%	695 kg/έτος 100% IP	-	Μάιος έως Σεπτέμβριος 60% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα Οκτώβριος έως Απρίλιος 40% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα
Κτηνοτροφία	10884 kg/έτος N-NO 30% & N-NH 70%	302 kg/έτος 100% IP	26198 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος

Για τα φορτία αγροτικής προέλευσης ελήφθησαν υπόψη οι ιδιαιτερότητες των καλλιεργούμενων εκτάσεων (χρήση λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων και περίοδοι χρήσης τους). Έτσι λοιπόν θεωρήθηκε ότι το συνολικό φορτίου του αζώτου κατανέμεται σε ποσοστό 20% στο αμμωνιακό άζωτο και 80% στις οξειδωμένες μορφές του αζώτου. Τέλος γίνεται η παραδοχή ότι το 40% του συνολικού ρυπαντικού φορτίου των καλλιεργειών καταγράφεται τους μήνες Οκτώβριο έως και Απρίλιο, ενώ το υπόλοιπο 60% ισομοιράστηκε στους μήνες Μάιο έως και Σεπτέμβριο.

Φορτία (kg/έτος) Σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 53 Ρυπαντικά φορτία από σημειακές πηγές

	TN	TP	BOD	Κατανομή φορτίων
Ιχθυοκαλλιέργειες	4100 kg/έτος 100% N-NH	435 kg/έτος 100% IP	16000 kg/έτος	Ισοκατανομή σε όλο το έτος

Η καταχώρηση των εισερχόμενων θρεπτικών στο λογισμικό Λέρνη γίνεται,

- είτε με τη μορφή χρονοσειρών με ημερήσιες τιμές εισερχόμενων φορτίων που καλύπτουν το διάστημα της προσομοίωσης από 1-1-1994 έως και 31-12-2000,
- είτε με τη μορφή σταθερών τιμών ημερήσιων εισερχόμενων φορτίων. Οι σταθερές αυτές τιμές αντιστοιχούν στα kg ρύπου που εισέρχονται καθημερινά στη λίμνη, καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Τα φορτία με ισοκατανομή σε όλο το έτος καταχωρούνται στη Λέρνη με τη μορφή σταθερής τιμής kg / day, ενώ τα φορτία που μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους καταχωρούνται με τη μορφή χρονοσειρών ημερήσιων εισερχόμενων φορτίων. Για κάθε έτος της προσομοίωσης θα ληφθούν οι τιμές



που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων για τον πρώτο χρόνο δηλαδή το 1994. Για τα δέκα ετη θα συμπεριληφθεί σχετική διόρθωση για το μήνα Φεβρουάριο.

7.4.2.3 Θερμοκρασία

Η αναμενόμενη εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας των νερών της λίμνης Πλαστήρα δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$T = 3.8 + 10 \times \left(1 - \cos \frac{(t-21) \cdot 360}{365} \right) \times 3.14 / 180$$

όπου T, η θερμοκρασία °C και t ο χρόνος σε ημέρες με αρχή την 1η Ιανουαρίου.

Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους, χρησιμοποιείται η παραπάνω εξίσωση για την ανάπτυξη χρονοσειράς με ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας. Η χρονοσειρά αυτή καλύπτει το διάστημα της προσομοίωσης 1-1-1994 έως 31-12-2000 και εισάγεται ως δεδομένο στο λογισμικό Λέρνη. Για κάθε έτος της προσομοίωσης θα ληφθούν οι τιμές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων για τον πρώτο χρόνο δηλαδή το 1994. Για τα δέκα ετη θα συμπεριληφθεί σχετική διόρθωση για το μήνα Φεβρουάριο.

7.4.2.4 Ηλιοφάνεια και φωτοπερίοδος

Η ταχύτητα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν εξαρτάται τόσο από την προσπίπτουσα ακτινοβολία I₀, όσο και από τη διάρκειά της που εκφράζεται με την φωτοπερίοδο F ως κλάσμα της ημέρας.

Με βάση τιμές από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και προηγούμενες μελέτες οι διακυμάνσεις της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και του συντελεστή φωτοπεριόδου εκφράστηκαν με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$I_0 = 120 + 192 \left(1 - \cos \frac{(t-30)360}{365} \right)$$

I₀ η μέση ημερήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε cal/cm²

t = ο χρόνος σε ημέρες με αρχή την 1η Ιανουαρίου.

Με δεδομένο ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους, χρησιμοποιείται η παραπάνω εξίσωση για την ανάπτυξη χρονοσειράς με ημερήσιες μετρήσεις I₀. Η χρονοσειρά αυτή καλύπτει το διάστημα της προσομοίωσης 1-1-1994 έως 31-12-2000 και εισάγεται ως δεδομένο στο λογισμικό Λέρνη. Για κάθε έτος της προσομοίωσης θα ληφθούν οι τιμές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων για τον πρώτο χρόνο δηλαδή το 1994. Για τα δέκα ετη θα συμπεριληφθεί σχετική διόρθωση για το μήνα Φεβρουάριο.

Όσον αφορά τη φωτοπερίοδο ισχύει ότι :

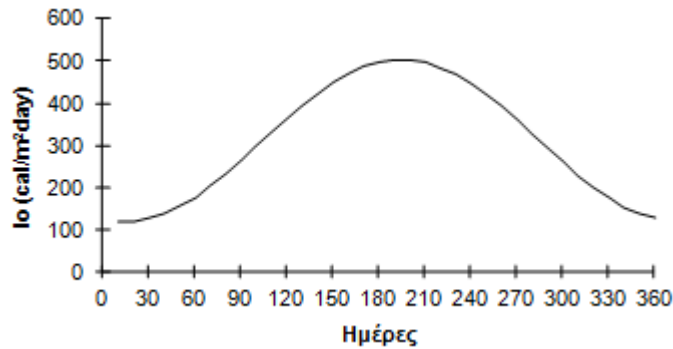
$$F = 0.320 + 0.200 \left(1 - \cos \frac{(t-30)360}{365} \right)$$

F : η φωτοπερίοδος ως κλάσμα της ημέρας.

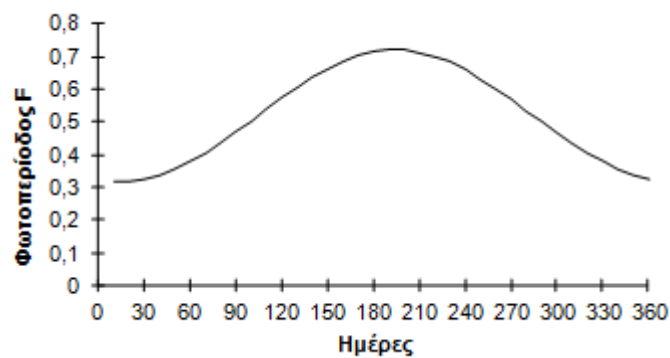


t = ο χρόνος σε ημέρες με αρχή την 1η Ιανουαρίου

Οι γραφικές παραστάσεις της φωτοπεριόδου και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας εξισώσεων παρουσιάζονται παρακάτω



Σχήμα 20 : Εποχιακή μεταβολή ηλιοφάνειας



Σχήμα 21: Εποχιακή μεταβολή φωτοπεριόδου

7.4.2.5 Επιπρόσθετα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης

Γεωμετρία (βαθυμετρία)

Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της λίμνης προκύπτει από τις εξισώσεις (1) & (2), που περιγράφηκαν προηγουμένως

$$\Sigma Y(t) = 770,572 - 0,0000593 * V(t)^2 + 0,0791136 * V(t) \quad (1)$$

$$E(t) = 0,843184 * \Sigma Y(t) - 643,22 \quad (2)$$

Οι εξισώσεις (1) & (2) συσχετίζουν τη στάθμη $\Sigma Y(t)$, επιφάνεια $E(t)$ και όγκο της λίμνης $V(t)$. Ειδικότερα υπολογίζεται η στάθμη και επιφάνεια της λίμνης συναρτήσεως του όγκου - αποθέματος της. Για κάθε εξεταζόμενη στάθμη λειτουργίας 782, 784, 786 χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα στάθμης $\Sigma Y(t)$, επιφάνειας $E(t)$ και όγκου λίμνης $V(t)$



ΣΤΑΘΜΗ 782 m			ΣΤΑΘΜΗ 784 m			ΣΤΑΘΜΗ 786 m		
ΣΥ(t)m	E(t) m ²	V(t) m ³	ΣΥ(t)m	E(t) m ²	V(t) m ³	ΣΥ(t)m	E(t) m ²	V(t) m ³
772,0076	18400000	7724468	774,001	44850000	9405227	776,0031	72600000	11093391
772,7407	28000000	8342586	775,1053	60000000	10336418	777,8904	1E+08	12684705
773,5926	39340000	9060864	776,0031	72600000	11093391	779,2117	1,2E+08	13798848
774,001	44850000	9405227	777,8904	1E+08	12684705	780,5506	1,41E+08	14927752
775,1053	60000000	10336418	779,2117	1,2E+08	13798848	786,6442	2,5E+08	20065761
776,0031	72600000	11093391	780,5506	1,41E+08	14927752	787,6097	2,7E+08	20879899
777,8904	1E+08	12684705	786,6442	2,5E+08	20065761	788,5278	2,9E+08	21654036
779,2117	1,2E+08	13798848	787,6097	2,7E+08	20879899	790,2333	3,3E+08	23092080
780,5506	1,41E+08	14927752	788,5278	2,9E+08	21654036	790,9975	3,5E+08	23736444
786,6442	2,5E+08	20065761	790,2333	3,3E+08	23092080	791,5482	3,65E+08	24200796
787,6097	2,7E+08	20879899	790,9975	3,5E+08	23736444	792,0381	3,79E+08	24613890
788,5278	2,9E+08	21654036	791,5482	3,65E+08	24200796	792,2468	3,85E+08	24789836
790,2333	3,3E+08	23092080	792,0381	3,79E+08	24613890	793,3392	4,2E+08	25710913
790,9975	3,5E+08	23736444	792,2468	3,85E+08	24789836	794,1649	4,5E+08	26407112
791,5482	3,65E+08	24200796	793,3392	4,2E+08	25710913	794,8838	4,8E+08	27013309
792,0381	3,79E+08	24613890	794,1649	4,5E+08	26407112	796,7356	6,06E+08	28574745

Αρχικές Συνθήκες

Η αρχική ποιοτική κατάσταση της λίμνης καθορίζεται από τις παρακάτω συγκέντρωσεις Chl-a (χλωροφύλλης), IP(ανόργανου φώσφορου), OP(οργανικού φώσφορου), N-NH(αμμωνιακού αζώτου), N-NO(νιτρικών), DO(διαλυμένου οξυγόνου), OC(BOD)

Chl-a	0,005 mg/lt	N-NH	0,03 mg/lt	DO	9 mg/lt
IP	0,03 mg/lt	N-NO	0,5 mg/lt	OC	0,02 mg/lt
OP	0,005 mg/lt	OC	0,02 mg/lt		

Η αρχική στάθμη της Λίμνης επιλέγεται με βάση το σενάριο στάθμης λειτουργίας που εξετάζεται. Έτσι λοιπόν για το σενάριο στάθμης λειτουργίας 782m 784m και 786m, η αρχική στάθμη είναι 782m 784m και 786m αντίστοιχα.

7.4.2.6 Σενάρια Λειτουργίας

Τα σενάρια λειτουργίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

1. Σε αυτά που μελετάται το σύνολο των εισερχόμενων φορτίων
2. Σε αυτά που μελετώνται απομειωμένα εισερχόμενα φορτία. Η χρήση απομειωμένων φορτίων εξετάζεται στα πλαίσια της διερεύνησης περιορισμού των επιπτώσεων τους στην ποιοτική κατάσταση της λίμνης



Όπως έχει, ήδη, αναφερθεί προσομοιώθηκε η λειτουργία της λίμνης για 3 εναλλακτικές κατώτατες στάθμες στα **1) 782m, 2) 784m και 3) 786m**. Η μελέτη των σταθμών 782, 784, 786 m είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ανάλυσης οποιουδήποτε σεναρίου.

Η αναγκαιότητα ορισμού μίας κατώτατης στάθμης προκύπτει, από την σκοπιμότητα σταθεροποίησης της τιμής της ετήσιας απόληψης νερού από τη λίμνη Πλαστήρα. Ο ορισμός όμως μίας εγγυημένης τιμής ετήσιας απόληψης δεν αποτελεί το μοναδικό κριτήριο επιλογής της κατώτατης στάθμης λειτουργίας της λίμνης. Δύο εξίσου σημαντικές συνιστώσες για τον καθορισμό της κατώτατης στάθμης λειτουργίας της λίμνης, είναι η ποιότητα των υδάτων και η αισθητική του τοπίου. Με την παρούσα μαθηματική προσομοίωση διερευνήθηκε η συνιστώσα της ποιότητας των υδάτων στην επιλογή της κατώτατης στάθμης λειτουργίας της λίμνης Πλαστήρα.

Για κάθε σενάριο λειτουργίας θα εκτελεστούν δύο είδη προσομοίωσης :

1. Προσδιοριστική προσομοίωση (απλή προσομοίωση) για την περίοδο 1-1-1994 έως και 31-12-2000

- Μέθοδος ολοκλήρωσης Euler, χρονικό βήμα ολοκλήρωσης μισή ώρα
- Η Λίμνη θεωρείται στοιχείο πλήρους μίξης και δεν είναι στρωματοποιημένη
- Η προσομοίωση επαναλήφθηκε 3 φορές, έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές των παραμέτρων (α) να είναι ανεξάρτητες από τις αρχικές συνθήκες και (β) να χαρακτηρίζονται από περιοδικότητα.(γ) να αντιστοιχούν σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας της λίμνης, δηλαδή όσες φορές και αν επαναληφθεί η προσομοίωση τα αποτελέσματα δε διαφοροποιούνται. Στη 2η και 3η προσομοίωση ως αρχικές συνθήκες χρησιμοποιούνται οι τιμές της 31-12-2000 της 1ης και 2ης προσομοίωσης αντίστοιχα. Λαμβάνουμε υπόψη τα αποτελέσματα της τρίτης προσομοίωσης .

2. Στοχαστική προσομοίωση.

Η προσομοίωση βασίστηκε στην τεχνική Monte-Carlo και επαναλαμβάνεται πολλές φορές με τυχαίες αλλαγές στις τιμές ορισμένων παραμέτρων. Επιπλέον

- αναπτύχθηκε για ένα υδρολογικό έτος
- Εφαρμόζεται η μέθοδος ολοκλήρωσης Euler, χρονικό βήμα ολοκλήρωσης μισή ώρα
- Η λίμνη θεωρείται στοιχείο πλήρους μίξης και δεν είναι στρωματοποιημένη
- έχει χρονική συχνότητα των τυχαίων αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων : κάθε 10 ημέρες
- στα πλαίσια της εκτελούνται 300 προσομοιώσεις που αντιστοιχούν σε 300 έτη προσομοίωσης
- για τις παραμέτρους, που θα μελετηθούν στοχαστικά επιλέγονται τυχαίες τιμές μέσα από συγκεκριμένες ομοιόμορφες, τριγωνικές ή τραπεζοειδείς κατανομές. Οι κατανομές καθορίζονται με τη βοήθεια των μεταβλητών A1, A2, A3 και A4 που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά σημεία μιας τραπεζοειδούς ή τριγωνικής κατανομής . Το εύρος διακύμανσης των παραμέτρων είναι :

$$X_{act} + A_1 \text{ έως } X_{act} + A_4 \quad \text{ή} \quad X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_1}{100}\right) \text{ έως } X_{act} \cdot \left(1 + \frac{A_4}{100}\right)$$



Πίνακας 54 Παράμετροι που εξετάζονται στοχαστικά

	Ορισμός Παραμέτρου	Εύρος Τιμών Παραμέτρου	Τιμές A1, A2, A3, A4
μmax(20)	Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν στους 20°C	$\mu_{max} = 2,25 \pm 0,25(\text{day}^{-1})$	A1 = A2= -0,25 A3=A4=0,25
Kda(20)	Ρυθμός θανάτου φυτοπλαγκτόν σε θερμοκρασία 20°C	$K_{da} = 0,1 \pm 0,02(\text{day}^{-1})$	A1 = A2= -0,02 A3=A4=0,02
Kw	Σταθερά απόσβεσης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω του νερού & των αιωρούμενων σ' αυτό στερεών	$K_w = 0,075 \pm 0,025(\text{m}^{-1})$	A1 = A2= -0,025 A3=A4=0,025
Kchl	Σταθερά απόσβεσης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της συγκέντρωσης χλωροφύλλης	$K_{chl} = 100 \pm 50(\text{l/mg Chl/m})$	A1 = A2= -50 A3=A4=50
Φορτία	Εισερχόμενα φορτία θρεπτικών (TP, TN) BOD (kg/ημέρα)	Διακύμανση τους κατά $\pm 20\%$	A1=A2 = -20% A3=A4 =20%

Η ποιοτική κατάσταση των μελετώμενων ταμιευτήρων κρίνεται ικανοποιητική εφόσον στα αποτελέσματα της προσομοίωσης :

1. ο Ολικός Φώσφορος (TP) $\leq 30 \mu\text{g/l}$
2. το Ολικό Άζωτο(TN) $\leq 1\text{mg/l}$
3. η Χλωροφύλλη (Chl-a) $\leq 10 \mu\text{g/l}$

Η τήρηση των παραπάνω ορίων διασφαλίζει την αποφυγή φαινομένων ευτροφισμού.

Η χρήση των max αποδεκτών τιμών TP(30 $\mu\text{g/l}$), TN(1mg/l), Chl-a(10 $\mu\text{g/l}$) ως κριτηρίου ελέγχου ποιοτικής κατάστασης Λιμνών , βασίστηκε σε μελέτες του JRC (Joint Research Centre – European Commission) (Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, 2004) και περιλαμβάνεται στα ευρέως χρησιμοποιούμενα κριτήρια κατάταξης Λιμνών στην Ελλάδα.

7.4.2.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

7.4.2.7.1 Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων για κάθε κατώτατη στάθμη Προσδιοριστική απλή προσομοίωση

Στα πλαίσια του αρχικού σεναρίου εκτελείται μαθηματική προσομοίωση για τον προσδιορισμό της μεταβολής της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Πλαστήρα. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το Λογισμικό ΛΕΡΝΗ και λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των εξωτερικών μεταβλητών που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε εξεταζόμενη στάθμη.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου Λέρνη για κάθε ποιοτική παράμετρο παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και Σχήματα . Ειδικότερα στους Πίνακες σημειώνονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες ετήσιες συγκεντρώσεις κάθε εξεταζόμενης παραμέτρου για την 7ετή περίοδο προσομοίωσης και για τις τρεις κατώτατες στάθμης λειτουργίας. Στα δε Σχήματα απεικονίζεται η χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε παραμέτρου για τις στάθμες 782, 784 & 786 m.



Πίνακας 55: Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του Χλωροφύλλης για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.

Συγκεντρώσεις Χλωροφύλλης (Chl-a-mg/l)

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	8,000E-04	3,619E-04	6,000E-05	7,200E-04	3,130E-04	4,000E-05	6,500E-04	2,742E-04	3,000E-05
1995	7,200E-04	3,477E-04	5,000E-05	6,300E-04	2,963E-04	3,000E-05	5,500E-04	2,573E-04	2,000E-05
1996	7,300E-04	3,215E-04	4,000E-05	6,200E-04	2,741E-04	3,000E-05	5,500E-04	2,509E-04	3,000E-05
1997	5,600E-04	2,707E-04	3,000E-05	4,900E-04	2,436E-04	2,000E-05	4,700E-04	2,378E-04	2,000E-05
1998	5,900E-04	2,679E-04	3,000E-05	5,500E-04	2,536E-04	2,000E-05	5,400E-04	2,485E-04	2,000E-05
1999	5,800E-04	2,696E-04	3,000E-05	5,500E-04	2,599E-04	3,000E-05	5,400E-04	2,545E-04	3,000E-05
2000	7,200E-04	3,227E-04	4,000E-05	6,700E-04	3,070E-04	4,000E-05	6,100E-04	2,886E-04	4,000E-05

Πίνακας 56 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.

Συγκεντρώσεις N-NH mg/l

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	2,13E-03	8,52E-04	3,10E-04	2,18E-03	8,52E-04	3,00E-04	2,21E-03	8,56E-04	2,80E-04
1995	2,14E-03	8,42E-04	3,00E-04	2,19E-03	8,46E-04	2,90E-04	2,22E-03	8,53E-04	2,80E-04
1996	2,17E-03	8,52E-04	3,30E-04	2,20E-03	8,56E-04	3,20E-04	2,24E-03	8,60E-04	3,10E-04
1997	2,19E-03	8,62E-04	3,20E-04	2,25E-03	8,72E-04	2,70E-04	2,23E-03	8,67E-04	2,70E-04
1998	2,19E-03	8,60E-04	2,90E-04	2,22E-03	8,65E-04	2,70E-04	2,23E-03	8,63E-04	2,70E-04
1999	2,23E-03	8,58E-04	2,90E-04	2,24E-03	8,59E-04	2,90E-04	2,25E-03	8,57E-04	2,90E-04
2000	2,15E-03	8,21E-04	2,90E-04	2,16E-03	8,20E-04	2,90E-04	2,17E-03	8,17E-04	2,90E-04

Πίνακας 57 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης νιτρικών για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.

Συγκεντρώσεις N-NO mg/l

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	1,523E-02	7,477E-03	2,980E-03	1,595E-02	7,514E-03	2,910E-03	1,669E-02	7,568E-03	2,870E-03
1995	1,562E-02	7,485E-03	3,020E-03	1,645E-02	7,546E-03	2,980E-03	1,722E-02	7,616E-03	2,950E-03
1996	1,599E-02	7,451E-03	2,850E-03	1,693E-02	7,520E-03	2,830E-03	1,697E-02	7,549E-03	2,820E-03
1997	1,740E-02	7,567E-03	3,030E-03	1,774E-02	7,610E-03	3,020E-03	1,767E-02	7,626E-03	3,030E-03
1998	1,745E-02	7,583E-03	2,880E-03	1,763E-02	7,605E-03	2,870E-03	1,756E-02	7,614E-03	2,870E-03
1999	1,721E-02	7,594E-03	2,950E-03	1,727E-02	7,608E-03	2,950E-03	1,721E-02	7,617E-03	2,950E-03
2000	1,591E-02	7,488E-03	2,910E-03	1,613E-02	7,507E-03	2,910E-03	1,631E-02	7,531E-03	2,900E-03



Πίνακας 58 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του ανόργανου φωσφόρου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης, 1994-2000.

Συγκεντρώσεις IP (PO₄-P mg/l)

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	3,320E-02	2,836E-02	2,527E-02	3,376E-02	2,970E-02	2,688E-02	3,412E-02	3,074E-02	2,812E-02
1995	2,942E-02	2,518E-02	2,212E-02	3,061E-02	2,694E-02	2,417E-02	3,186E-02	2,856E-02	2,601E-02
1996	2,706E-02	2,343E-02	2,000E-02	2,849E-02	2,534E-02	2,220E-02	3,024E-02	2,718E-02	2,414E-02
1997	2,566E-02	2,156E-02	1,870E-02	2,733E-02	2,353E-02	2,102E-02	2,855E-02	2,486E-02	2,257E-02
1998	2,778E-02	2,327E-02	2,047E-02	2,901E-02	2,469E-02	2,209E-02	2,981E-02	2,557E-02	2,307E-02
1999	2,925E-02	2,481E-02	2,171E-02	3,016E-02	2,585E-02	2,279E-02	3,071E-02	2,648E-02	2,344E-02
2000	3,420E-02	2,916E-02	2,522E-02	3,467E-02	2,986E-02	2,606E-02	3,488E-02	3,031E-02	2,662E-02

Πίνακας 59 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του οργανικού φωσφόρου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης, 1994-2000.

Συγκεντρώσεις OP mg/l

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	8,000E-05	4,904E-05	2,000E-05	7,000E-05	4,164E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,603E-05	1,000E-05
1995	7,000E-05	4,726E-05	2,000E-05	7,000E-05	3,959E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,342E-05	1,000E-05
1996	7,000E-05	4,284E-05	2,000E-05	7,000E-05	3,622E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,270E-05	1,000E-05
1997	8,000E-05	3,671E-05	1,000E-05	8,000E-05	3,356E-05	1,000E-05	8,000E-05	3,260E-05	1,000E-05
1998	8,000E-05	3,575E-05	1,000E-05	8,000E-05	3,479E-05	1,000E-05	8,000E-05	3,384E-05	1,000E-05
1999	7,000E-05	3,616E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,493E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,438E-05	1,000E-05
2000	7,000E-05	4,419E-05	2,000E-05	7,000E-05	4,108E-05	1,000E-05	7,000E-05	3,797E-05	1,000E-05

Πίνακας 60 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του οργανικού άνθρακα για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης, 1994-2000.

Συγκεντρώσεις OC mg/l

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	1,420E-02	1,041E-02	5,110E-03	1,257E-02	8,849E-03	4,250E-03	1,126E-02	7,648E-03	3,570E-03
1995	1,354E-02	9,932E-03	4,650E-03	1,106E-02	8,339E-03	3,840E-03	9,490E-03	7,164E-03	3,240E-03
1996	1,296E-02	9,171E-03	4,290E-03	1,089E-02	7,686E-03	3,500E-03	9,430E-03	7,098E-03	3,400E-03
1997	1,039E-02	7,770E-03	3,370E-03	9,760E-03	7,005E-03	3,070E-03	9,540E-03	6,860E-03	3,090E-03
1998	1,008E-02	7,603E-03	3,260E-03	9,760E-03	7,183E-03	3,110E-03	9,520E-03	7,054E-03	3,120E-03
1999	1,013E-02	7,609E-03	3,340E-03	9,800E-03	7,343E-03	3,270E-03	9,550E-03	7,195E-03	3,280E-03
2000	1,353E-02	9,086E-03	4,290E-03	1,257E-02	8,594E-03	4,070E-03	1,126E-02	8,027E-03	3,890E-03

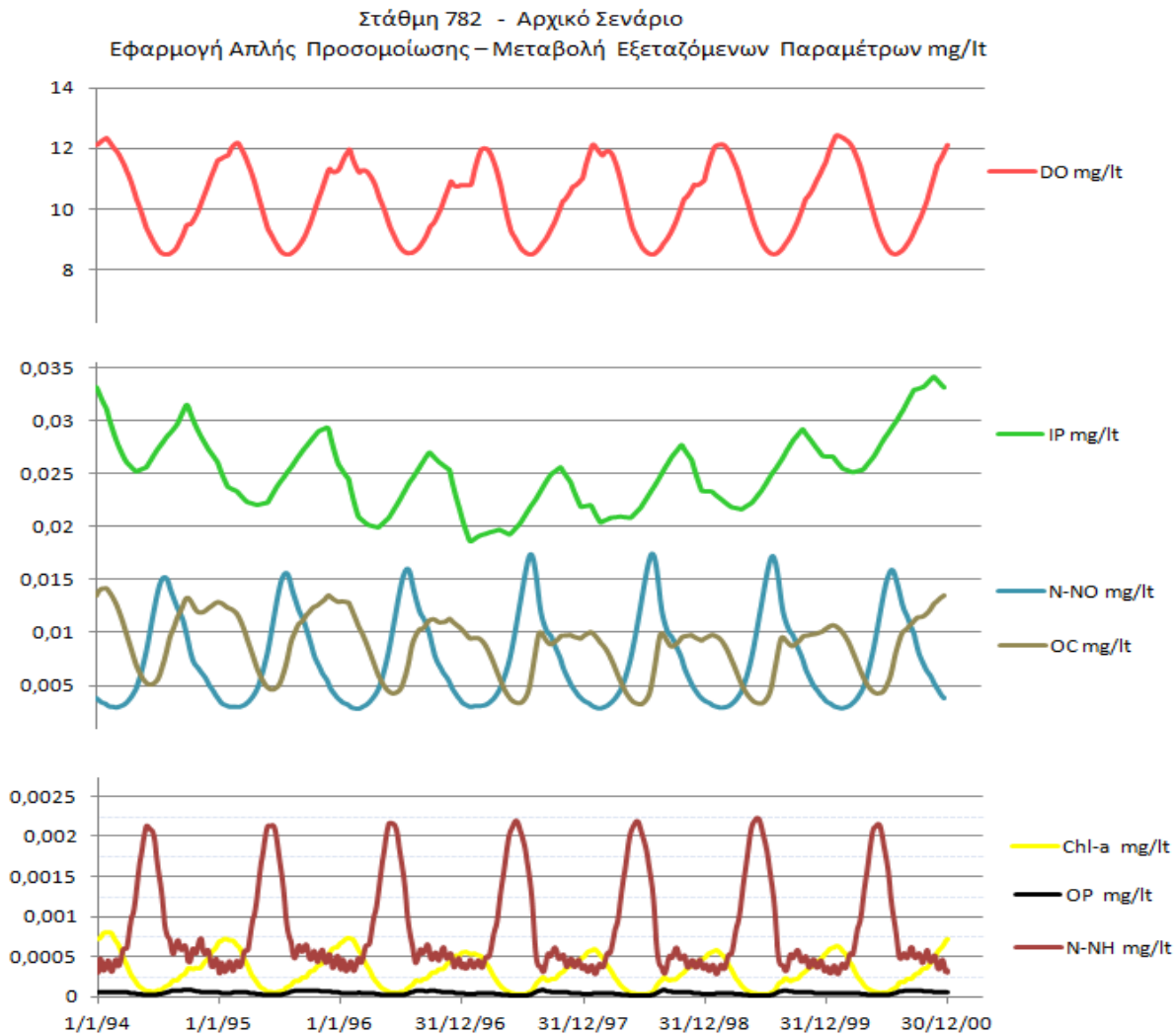


Πίνακας 61 Λίμνη Πλαστήρα: Χαρακτηριστικές Ετήσιες τιμές της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου για τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας. Περίοδος προσομοίωσης. 1994-2000.

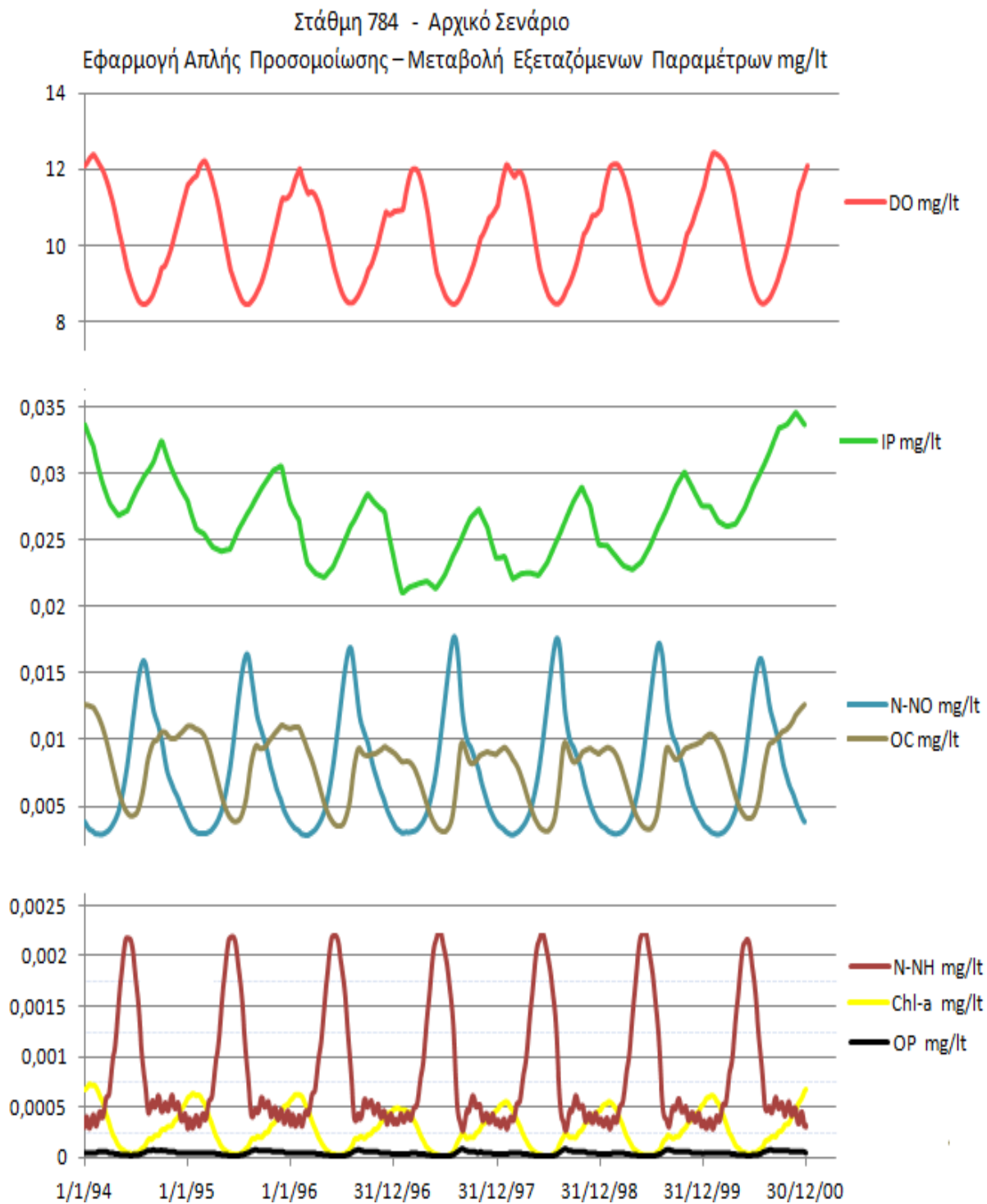
Συγκεντρώσεις DO mg/lit

ΕΤΟΣ	Ελάχ. Στάθμη 782			Ελάχ. Στάθμη 784			Ελάχ. Στάθμη 786		
	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.	ΜΕΓ.	ΜΕΣΗ	ΕΛΑΧ.
1994	12,3509	10,25649589	8,49552	12,38983	10,27964507	8,48178	12,40038	10,29508384	8,46426
1995	12,18271	10,3118463	8,4948	12,2144	10,31882973	8,47584	12,23102	10,32436315	8,45813
1996	11,971	10,12956892	8,54203	12,0125	10,16376703	8,51469	12,03436	10,18540081	8,51162
1997	12,01044	10,1374074	8,49571	12,01759	10,16048479	8,4868	12,01901	10,16377726	8,48752
1998	12,12989	10,25847411	8,49357	12,11857	10,26452986	8,48891	12,11394	10,26484425	8,49001
1999	12,13895	10,29703644	8,50351	12,14386	10,29901205	8,50126	12,14577	10,29869	8,5019
2000	12,44212	10,50654811	8,50058	12,43527	10,50020527	8,49489	12,42914	10,48935027	8,48993

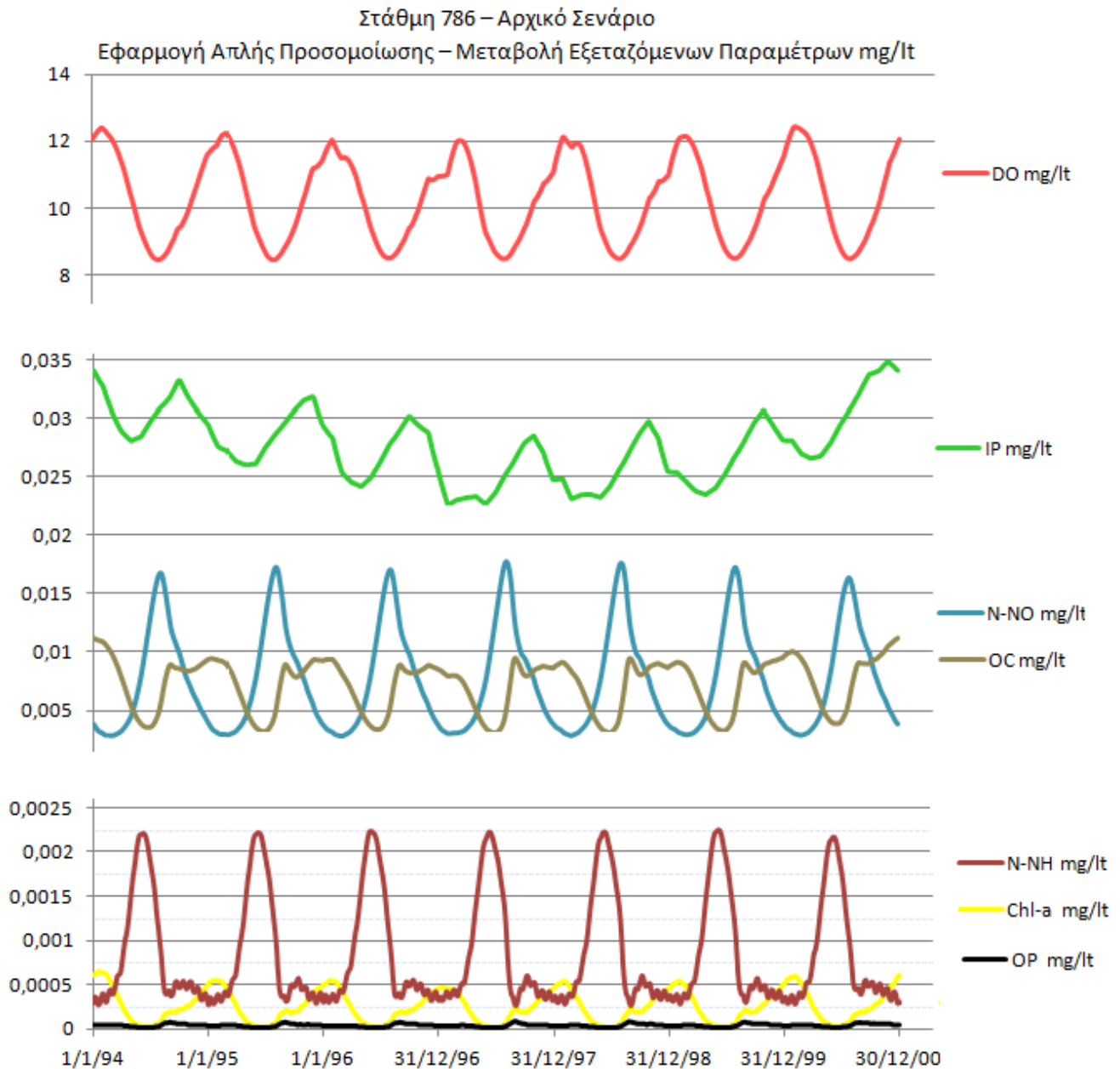
Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ειδικότερα απεικονίζεται η χρονική διακύμανση είτε των μελετώμενων παραμέτρων για κάθε στάθμη ξεχωριστά, είτε κάθε μεμονωμένης παραμέτρου για το σύνολο των εξεταζόμενων σταθμών.



Σχήμα 22 Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 782



Σχήμα 23 Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 784

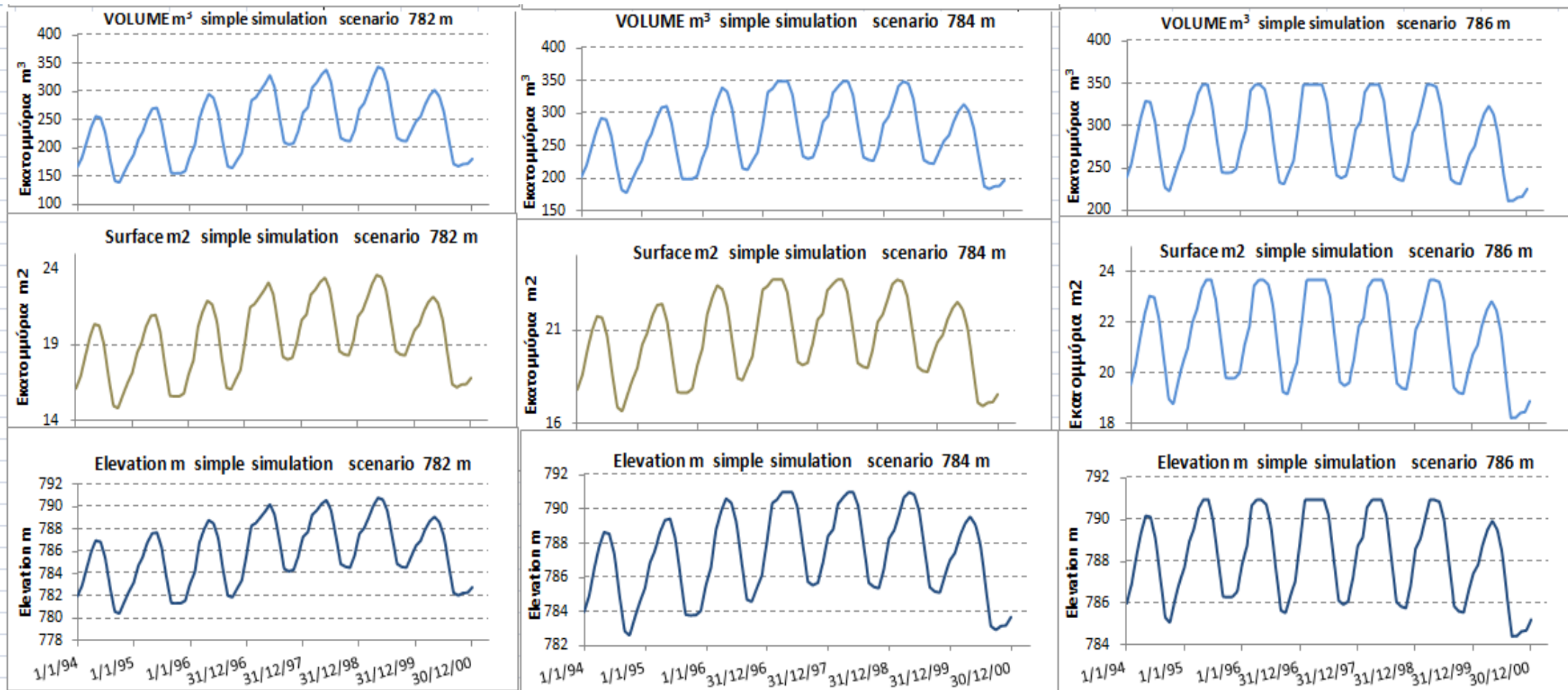


Σχήμα 24 Αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμη 786

Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων σε όλες τις στάθμες παρατηρείται :

Πίνακας 62 Ετήσιες Περίοδοι max και min τιμών των εξεταζόμενων παραμέτρων (κατά προσέγγιση)

	Chl-a mg/lit	TP mg/lit	N-NH mg/lit	N-NO mg/lit	OC mg/lit
Περίοδος Max τιμής	Ιανουάριος	Σεπτέμβριος – Οκτώβριος	Μάιος – Ιούνιος	Ιούλιος – Αύγουστος	Νοέμβριος(τέλη) – Ιανουάριος
Περίοδος Min τιμής	Ιούνιος	Μάρτιος – Μάιος	Δεκέμβριος – Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Ιούνιος



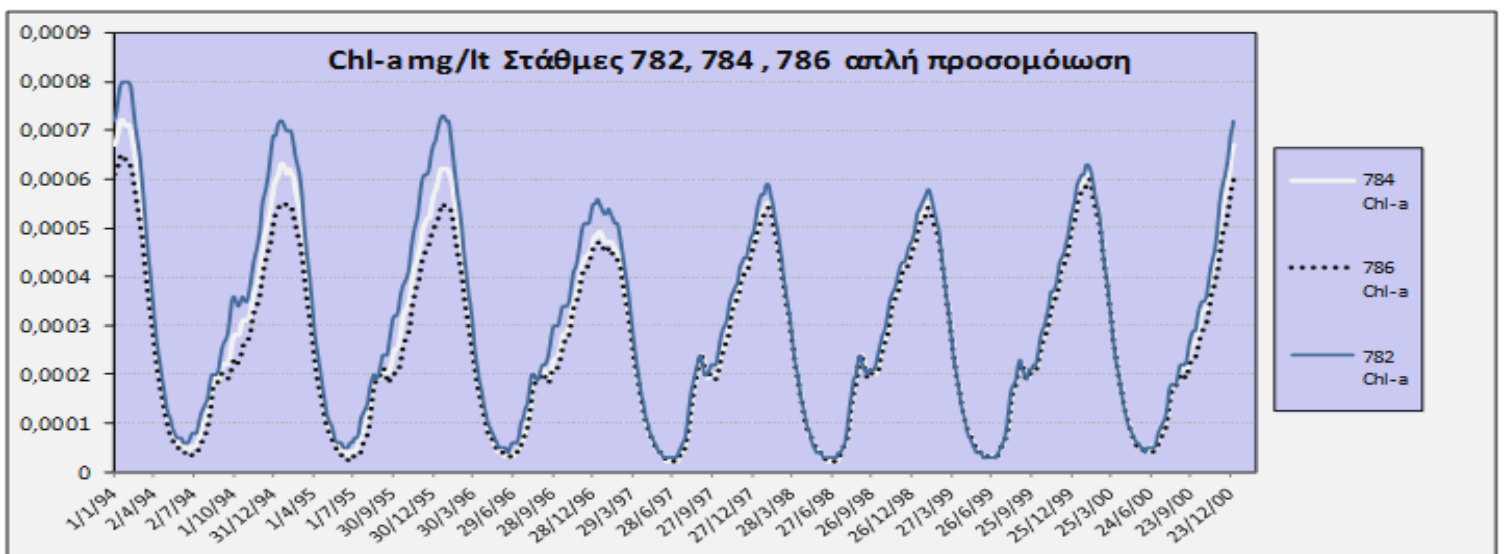
Σχήμα 25 Απλή Προσομοίωση Μεταβολή Όγκου-Επιφάνειας-Στάθμης στάθμες 782, 784, 786



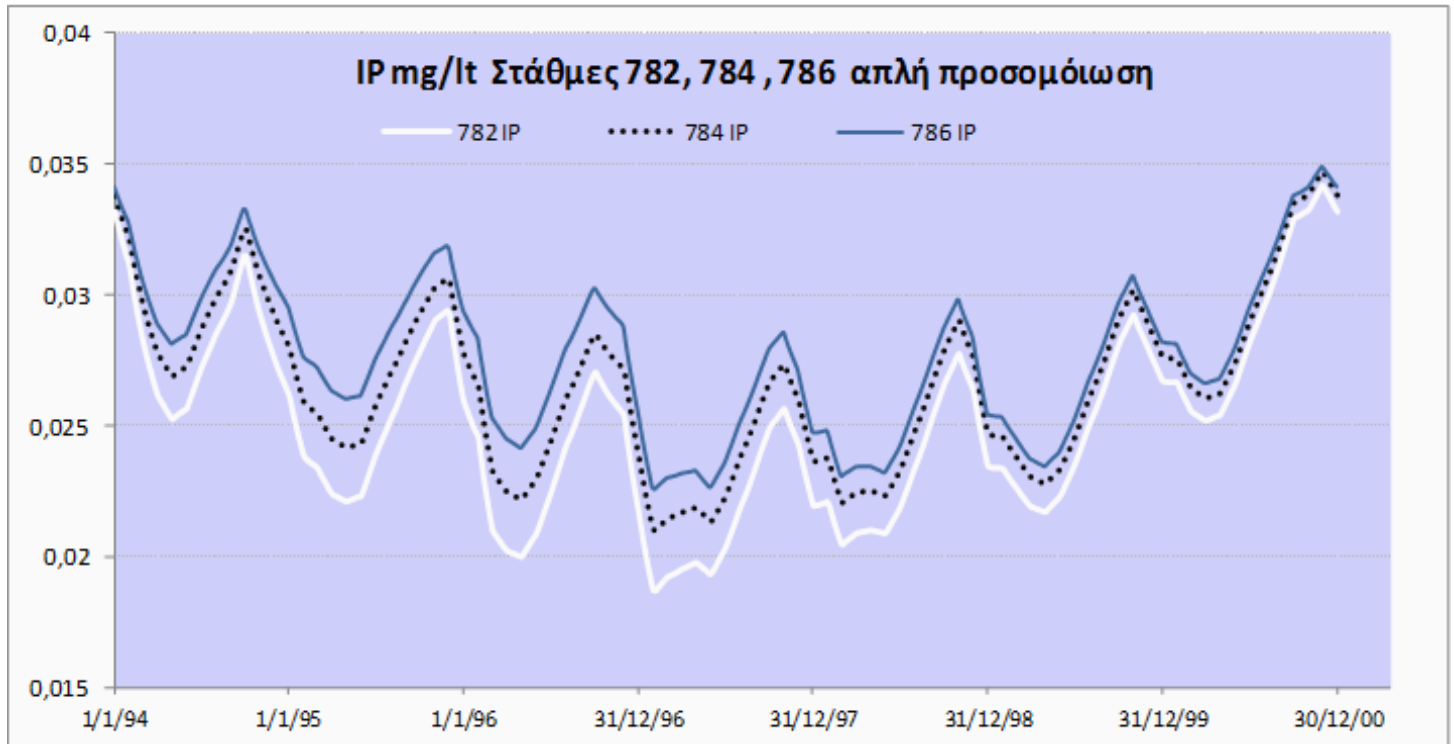
Με βάση την παραπάνω συγκριτική παρουσίαση της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των παραμέτρων για κάθε εξεταζόμενη στάθμη παρατηρείται ότι :

1. Αύξηση ή μείωση του όγκου της λίμνης συνεπάγεται μείωση ή αύξηση των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων παραμέτρων
2. η αύξηση ή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου συμβαδίζει με την αντίστοιχη η αύξηση ή μείωση της χλωροφύλλης.
3. για να αναπτυχθεί το φυτοπλαγκτόν δεσμεύει ολόένα και περισσότερα IP, N-NH και δευτερεύοντος N-NO. Έτσι λοιπόν όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της Chl-a τόσο μειώνεται η αντίστοιχη των IP, N-NH και N-NO. Ειδικότερα ο IP και οι επιμέρους μορφές του ολικού αζώτου μειώνονται την ίδια στιγμή που η χλωροφύλλη-φυτοπλαγκτόν αυξάνεται.
4. καταγράφεται χρονική υστέρηση στη μεγιστοποίηση του N-NO έναντι του N-NH. Καταρχήν μεγιστοποιείται το N-NH ταυτόχρονα όμως νιτροποιείται προς N-NO με συνέπεια να άρχεται η μείωση του και να ακολουθεί η μεγιστοποίηση του N-NO.
5. η μεγιστοποίηση και ελαχιστοποίηση του οργανικού άνθρακα (OC) γίνεται ταυτόχρονα με την αντίστοιχη του φυτοπλαγκτόν. Σύμφωνα με το μοντέλο ευτροφισμού διαλυμένου οξυγόνου κατά τη μείωση του φυτοπλαγκτόν ο περιεχόμενος σε αυτά οργανικός άνθρακας είτε οξειδώνεται προς CO₂ είτε καθιζάνει και εν μέρει ακινητοποιείται στο βυθό. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης του οργανικού άνθρακα στο στοιχείο πλήρους μίξης, δηλαδή την εξεταζόμενη λίμνη.
6. οι αυξημένες τιμές του ανόργανου φωσφόρου σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η χλωροφύλλη δεν παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν είναι ο φώσφορος περιοριστικός παράγοντας αλλά το άζωτο. Έτσι λοιπόν οι ποσότητες του φωσφόρου που εισρέουν στη λίμνη είναι αυξημένες και τα άγια έχοντας σε αφθονία τον φώσφορο αναπτύσσονται εξαρτώμενα κυρίως από το νιτρικό ή αμμωνιακό άζωτο.
7. Στην περίπτωση του οργανικού φωσφόρου(OP) οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρές , δεν ξεπερνούν το δέκατο του μg και δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την ποιοτική κατάσταση της λίμνης. Οι χαμηλές τιμές τους αποδίδονται κυρίως στην μετατροπή τους σε ανόργανο φώσφορο. Ως αποτέλεσμα καταγράφεται χρονική υστέρηση στη μεγιστοποίηση του IP έναντι του OP. Καταρχήν μεγιστοποιείται το OP ταυτόχρονα όμως μετασχηματίζεται προς IP με συνέπεια να άρχεται η μείωση του και να ακολουθεί η μεγιστοποίηση του IP.

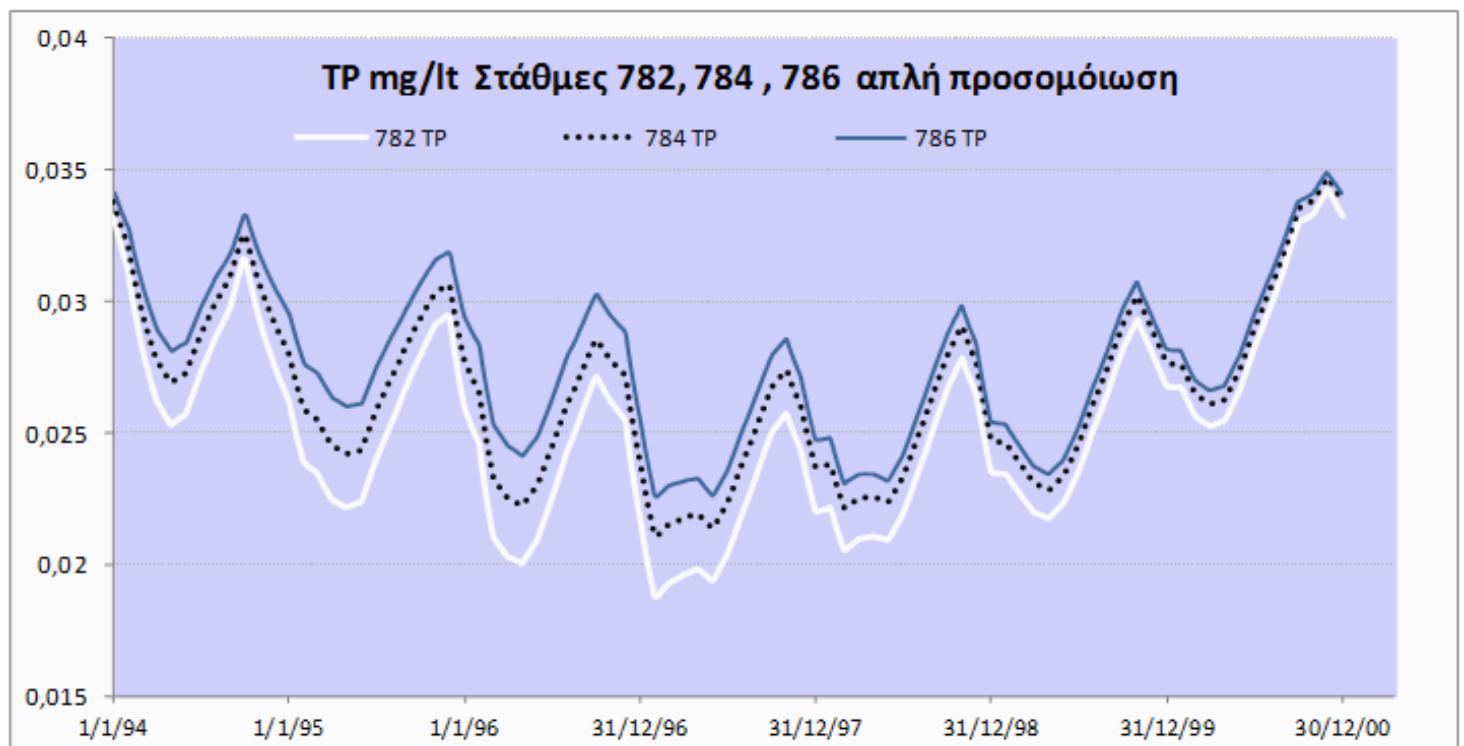
Στη συνέχεια μελετάται μεμονωμένα η διακύμανση κάθε εξεταζόμενης παραμέτρου και για τις 3 Στάθμες



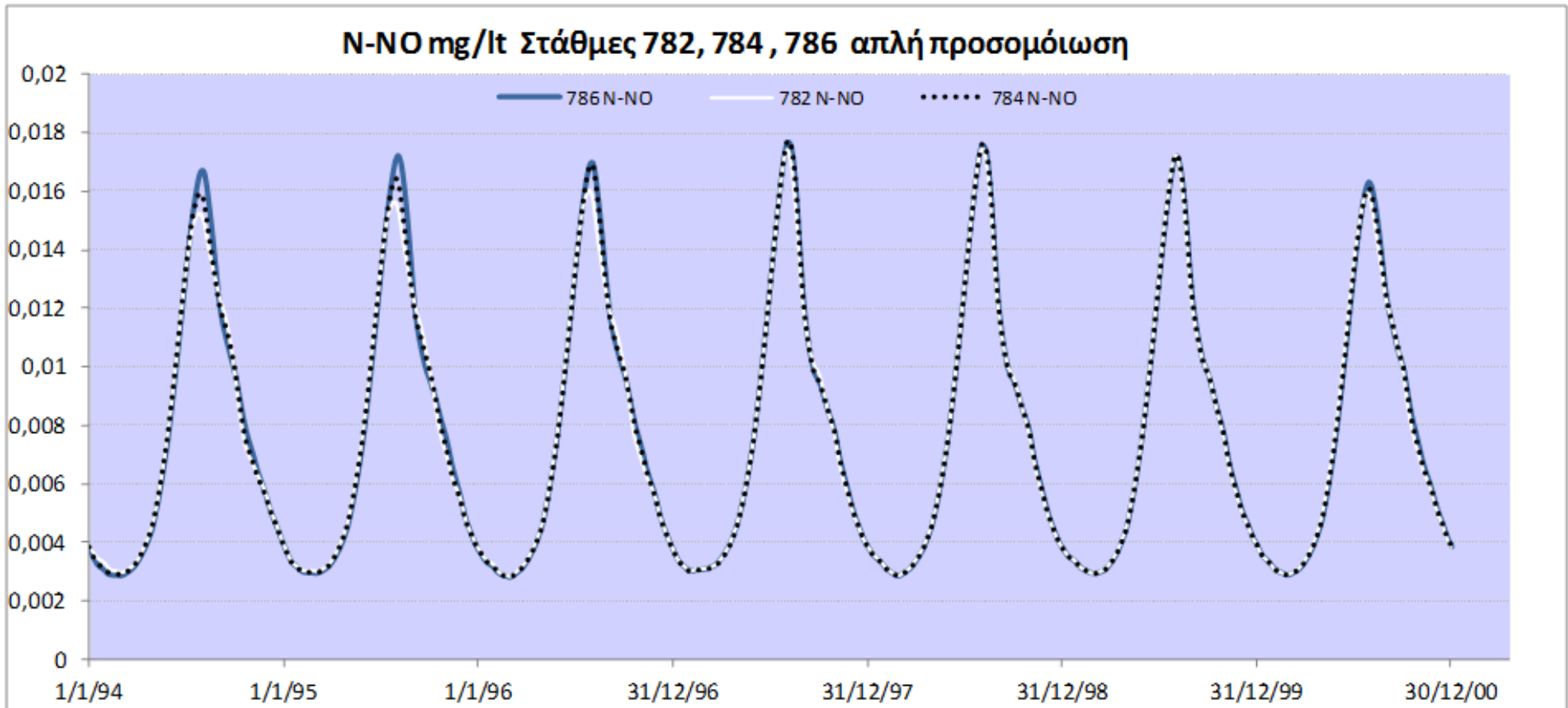
Σχήμα 26 Chl-a mg/Lt αποτελέσματα Προσομύωσης στάθμες 782, 784, 786



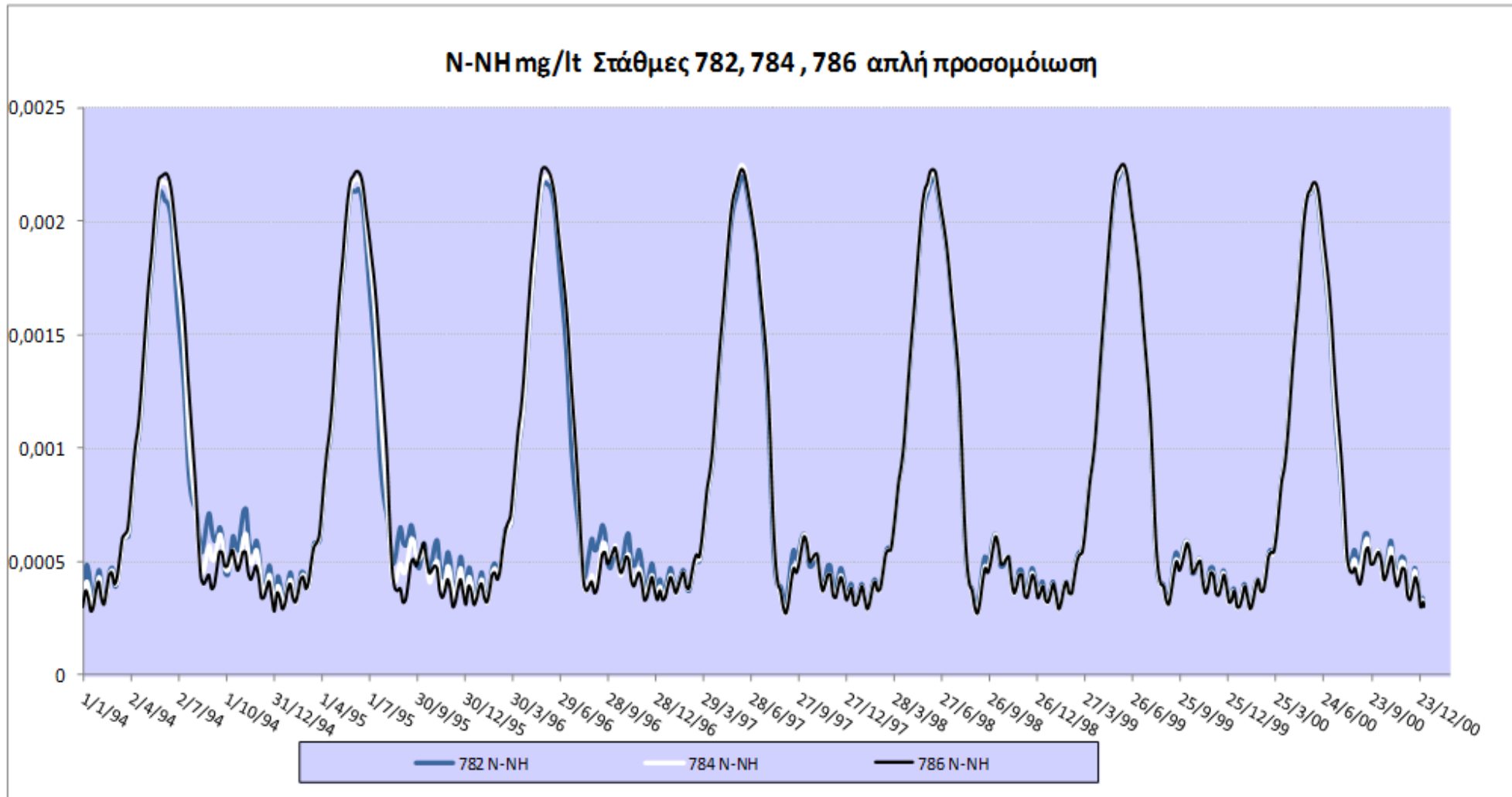
Σχήμα 27 IP mg/Lt (ανόργανος φώσφορος) αποτελέσματα Προσομίωσης στάθμες 782, 784, 786



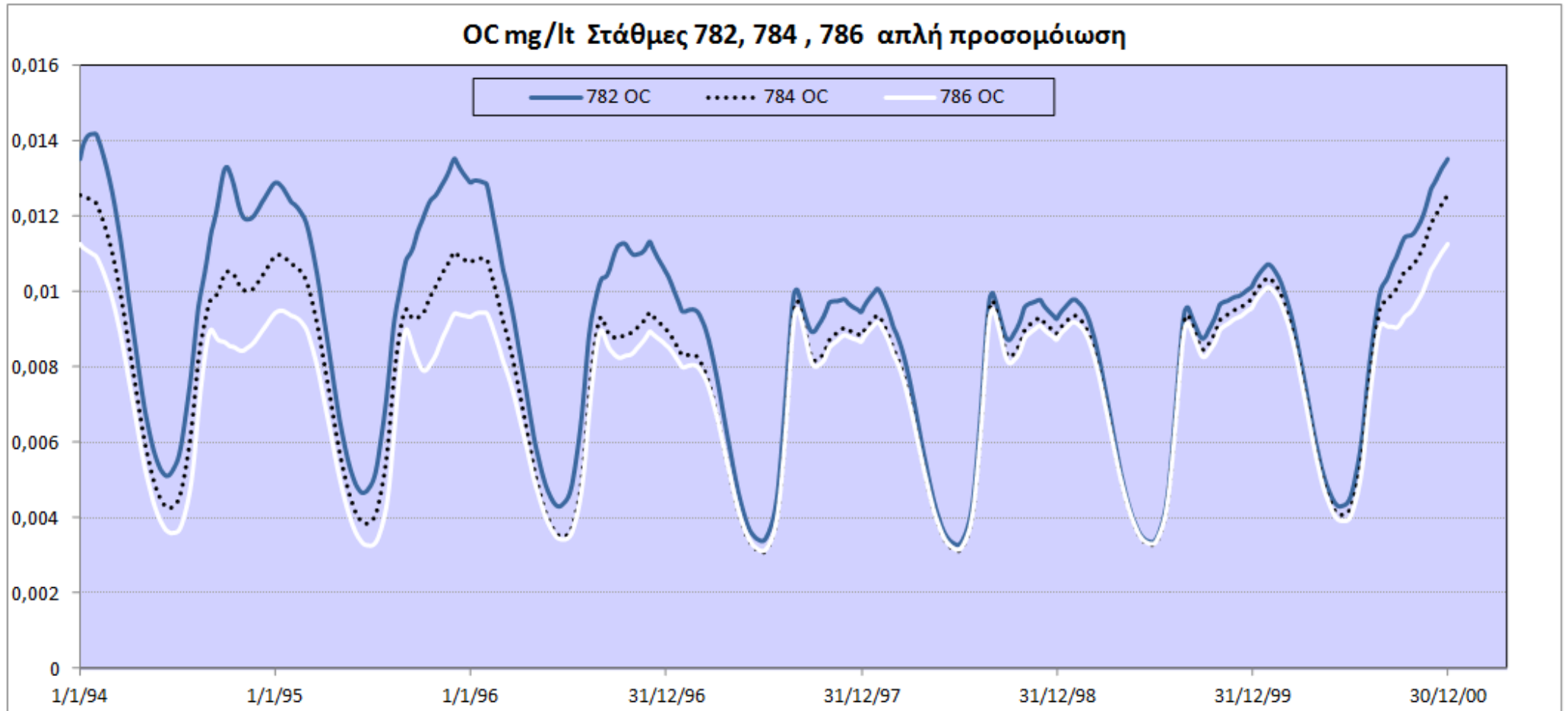
Σχήμα 28 TP mg/Lt (ολικός φώσφορος) αποτελέσματα Προσομίωσης στάθμες 782, 784, 786



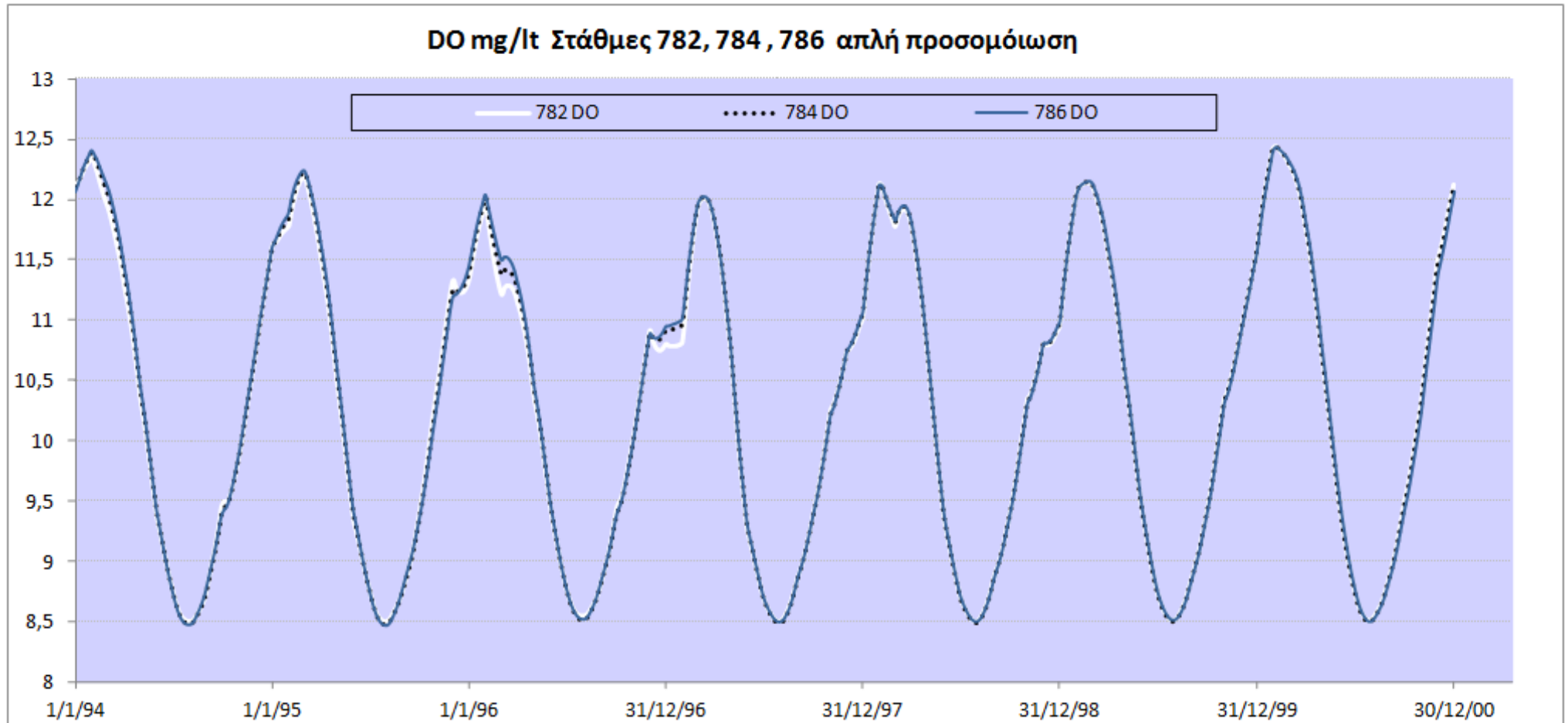
Σχήμα 29 N-NO mg/lit (νιτρικά) αποτελέσματα Προσομύωσης στάθμες 782, 784, 786



Σχήμα 30 N-NH mg/lit (αμμωνιακό άζωτο) αποτελέσματα Προσομύωσης στάθμες 782, 784, 786



Σχήμα 31 OC mg/lit (οργανικός άνθρακας) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786



Σχήμα 32 DO mg/lit (διαλυμένο οξυγόνο) αποτελέσματα Προσομοίωσης στάθμες 782, 784, 786



Τα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της μαθηματικής προσομοίωσης της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Πλαστήρα για τρία εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας βάσει μίας κατώτατης στάθμης είναι τα ακόλουθα:

Καταρχήν υπολογίστηκε ένα εύρος συγκεντρώσεων χλωροφύλλης που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το εύρος των διαθέσιμων μετρήσεων ($0.7 \cdot 10^{-3}$ - $3.7 \cdot 10^{-3}$ mg/l). (ΕΜΠ 2002). Ειδικότερα οι μέσες τιμές ανά στάθμη για την περίοδο προσομοίωσης κυμαίνονται από 0,27 – 0,36 $\cdot 10^{-3}$ mg/l (στάθμη 782), 0,25 - 0,32 $\cdot 10^{-3}$ mg/l (στάθμη 784), 0,24 – 0,29 $\cdot 10^{-3}$ mg/l (στάθμη 786). Οι υπολογισμοί λοιπόν Chl-a mg/l του μοντέλου ΛΕΡΝΗ προσεγγίζουν τις διαθέσιμες μετρήσεις. Επομένως η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου κρίνεται καταρχήν αποδεκτή. Συνίσταται η περαιτέρω διερεύνηση της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου μέσω της :

1. της λήψης νέων μετρήσεων πεδίου
2. επιλογής τιμών για τις παραμέτρους των εξισώσεων δίαιτας του μοντέλου ευτροφισμού – διαλυμένου οξυγόνου , που περιγράφουν καλύτερα την ποιοτική κατάσταση της λίμνης
3. της επανάληψης της προσομοίωσης με εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη και της εκ νέου σύγκρισης των αποτελεσμάτων της με τις μετρήσεις του πεδίου

Στην περίπτωση του αμμωνιακού αζώτου δεν παρατηρείται ουσιαστική διαφοροποίηση των μέγιστων συγκεντρώσεων του (καταγράφονται την άνοιξη) για τα τρία εναλλακτικά σενάρια κατώτατης στάθμης λειτουργίας της λίμνης. Αντίθετα ανάμεσα στα τρία εναλλακτικά σενάρια λειτουργίας. παρατηρούνται αξιόλογες διαφορές όσον αφορά την ελάχιστη συγκέντρωση N-NH, την περίοδο Αύγουστος – Φεβρουάριος. Ειδικότερα οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στη στάθμη 786 και οι υψηλότερες στη στάθμη 782. Συγκριτικά στη ζώνη των χαμηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακού αζώτου (Αύγουστος – Φεβρουάριος) οι τιμές N-NH της στάθμης 782 είναι μεγαλύτερες έναντι των αντίστοιχων της στάθμης 784 έως και 14% και έναντι της στάθμης 786 έως και 40%.

Η μείωση του N-NH mg/l ξεκινά στις αρχές το καλοκαιριού. Οφείλεται τόσο στην αυξημένη νιτροποίηση (ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού) όσο και στον περιορισμό της εισροής N-NH μέσω αγροτικών απορροών (από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο). Επιπλέον η μείωση αποδίδεται και στη μεγαλύτερη δέσμευση N-NH από το φυτοπλαγκτόν. Την περίοδο Αύγουστος – Φεβρουάριος καταγράφεται μεγάλη ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν, γεγονός που συσχετίζεται τόσο με την αυξημένη την αυξημένη από το Μάιο έως και Σεπτέμβριο εισροή θρεπτικών αγροτικής προέλευσης (απορρέει στη λίμνη το 60% των συνολικών εισροών από καλλιέργειες), όσο και με τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο τέλος καλοκαιριού και τους πρώτους μήνες του φθινόπωρου. Με δεδομένο ότι οι ελάχιστες συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου για όλα τα εναλλακτικά σενάρια είναι ιδιαίτερα χαμηλές (μικρότερες από 0.0008 mg/l) οι διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται δεν θεωρούνται ως κρίσιμες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, σημειώνονται σε αντιστοιχία με τις ελάχιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης, ενώ οι ελάχιστες σε συνδυασμό με τις μέγιστες θερινές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης. Όσον αφορά τη διακύμανση των νιτρικών, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στις τρεις στάθμες.

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις του φωσφόρου στη λίμνη δεν ξεπερνούν τα 35μg Η δε μέση τιμή TP για τα 7 έτη της προσομοίωσης δεν ξεπερνά τα 30 μg για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Οι μεγαλύτερες τιμές IP καταγράφονται στη στάθμη 786 και οι μικρότερες στη στάθμη 782, με διακυμάνσεις που δεν ξεπερνούν το 18%. Με δεδομένο ότι και στις 3 στάθμες, η μέση τιμή TP είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο των 30μg/l κρίνουμε ότι οι παραπάνω διακυμάνσεις δεν αντιστοιχούν σε έντονη διαφοροποίηση της εξεταζόμενης ποιοτικής κατάστασης και επομένως δεν είναι κρίσιμες.



Πίνακας 63 Σύγκριση τιμών IP για τις στάθμες 782, 784, 786

	ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ IP ΣΤΑΘΜΗΣ 786 ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΑΘΜΗΣ 782			ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ IP ΣΤΑΘΜΗΣ 786 ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΑΘΜΗΣ 784		
	MAX	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	MIN	MAX	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	MIN
1994	2,70%	7,74%	10,14%	1,06%	3,38%	4,41%
1995	7,66%	11,83%	14,96%	3,92%	5,67%	7,07%
1996	10,52%	13,80%	17,15%	5,79%	6,77%	8,04%
1997	10,12%	13,27%	17,15%	4,27%	5,35%	6,87%
1998	6,81%	8,99%	11,27%	2,68%	3,44%	4,25%
1999	4,75%	6,31%	7,38%	1,79%	2,38%	2,77%
2000	1,95%	3,79%	5,26%	0,60%	1,48%	2,10%

Στην περίπτωση του οργανικού φώσφορου(OP) οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρές , δεν ξεπερνούν το εκατοστό του μg και δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την ποιοτική κατάσταση της λίμνης. Οι χαμηλές τιμές τους αποδίδονται κυρίως στην μετατροπή τους σε ανόργανο φώσφορο. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις OP καταγράφονται στη στάθμη 782 και οι μικρότερες στη 786.

Σημαντικές είναι οι διαφορές στις συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα. Οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται στη στάθμη 782. Η μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή του Οργανικού άνθρακα στη στάθμη 782 είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες τιμές της στάθμης 784 έως και 20%. Όσον αφορά τη στάθμη 786 η μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή του οργανικού άνθρακα είναι μικρότερες έναντι των αντίστοιχων τιμών της στάθμης 782 έως και 40%.

Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου είναι της τάξης των τιμών κορεσμού, κυμαίνονται από 8,5 - 12,5 mg/lit και δεν παρατηρούνται αξιόλογες διαφοροποιήσεις στις τιμές τους ανάμεσα στα μελετώμενα σενάρια.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου για τα τρία εναλλακτικά σενάρια ελάχιστης στάθμης λειτουργίας, δεν παρατηρείται μία σημαντική διαφοροποίηση στις προβλεπόμενες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης. Οι όποιες διαφοροποιήσεις είναι μικρότερες από 0,5 μg. Επιπλέον οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις είναι μικρότερες από την ανώτερη αποδεκτή τιμή Chl-a των 10μg/lit. Οι μεγαλύτερες τιμές είναι της τάξης των 0,3 - 0,8μg και καταγράφονται στο σενάριο στάθμης 782m. Αντίθετα οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται στο σενάριο 786m, και κυμαίνονται από 0,2 – 0,65 μg.

7.4.2.7.2 Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης της Λίμνης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων

Η ποιοτική κατάσταση του μελετώμενου λιμναίου οικοσυστήματος κρίνεται ως αποδεκτή όταν

- στην εφαρμοζόμενη στάθμη λειτουργίας οι μέσες τιμές Chl-a , TP , TN είναι \leq από 10 , 30, 1000μg/lit αντίστοιχα, έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα ευτροφισμού. Τα όρια περιλαμβάνονται στα ευρέως χρησιμοποιούμενα κριτήρια κατάταξης Λιμνών στην Ελλάδα.
- διασφαλίζεται καλή ποιότητα των υδάτων του λιμναίου οικοσυστήματος

Ποιοτική κατάσταση Λιμναίου οικοσυστήματος βάσει max επιτρεπτών τιμών Chl-a, TN, TP



Η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Υλίκη βάσει max επιτρεπτών τιμών Chl-a, TN, TP περιλαμβάνει

- τον έλεγχο της συμμόρφωσης ή μη συμμόρφωσης της ποιοτικής κατάστασης της στα ανώτερα αποδεκτά όρια θρεπτικών (Chl-a, TP, TN είναι \leq από 10, 30, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$).
- στην επιλογή της βέλτιστης στάθμης λειτουργίας της λίμνης στην οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμμόρφωση λίμνης.

Ειδικότερα θα πρέπει οι μέσες τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τις παραμέτρους Chl-a, TP, TN να είναι \leq από 10, 30, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$ αντίστοιχα. Με βάση τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι

1. $\text{Chl-a } 786 \leq \text{Chl-a } 784 \leq \text{Chl-a } 782 \leq 10 \mu\text{g}/\text{lt}$
2. $\text{TP } 782 \leq \text{TP } 784 \leq \text{TP } 786 \approx 30 \mu\text{g}/\text{lt}$

Ανά έτος προσομοίωσης οι μέσες τιμές IP 782 & 784m $< 30 \mu\text{g}/\text{lt}$. Οι αντίστοιχες μέσες τιμές 786m είναι λίγο μεγαλύτερες και για κάποια έτη υπερβαίνουν κατά λίγα δέκατα του μg το όριο των 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$

3. $\text{TN } 782 \leq \text{TN } 784 \leq \text{TN } 786 \leq 1 \text{ mg}/\text{lt}$

Πίνακας 64 : Μέση Τιμή Chl-a, TN, TP 7ετούς Προσομοίωσης ανά στάθμη

	Μέση Τιμή Chl-a, TN, TP 7ετούς Προσομοίωσης ανά στάθμη		
	782m	784m	786m
Chla-mg/lt	3,09E-04	2,78E-04	2,59E-04
TN mg/lt (TN = N-NO + N-NH)	8,37E-03	8,41E-03	8,44E-03
TP mg/lt (TP = IP + OP)	2,52E-02	2,66E-02	2,77E-02

Παρατηρείται ότι και στις τρεις στάθμες καταγράφεται αποδεκτή ποιοτική κατάσταση, οι τιμές TP, TN, Chl-a δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα αποδεκτά όρια των 10, 1000, 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Ως βέλτιστη στάθμη λειτουργίας επιλέγεται εκείνη στην οποία η τιμή της χλωροφύλλης είναι min. Αυτή είναι η στάθμη 786m.

Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων του λιμναίου οικοσυστήματος

Τα λιμναία οικοσυστήματα βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους και ειδικότερα των μέγιστων ετησίων συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης κατηγοριοποιούνται ως εξής

Πίνακας 65 : Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.

Μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Χαρακτηρισμός/κατηγορία
<5	Πολύ καλή ποιότητα/ I
5-10	Καλή ποιότητα / II
10-20	Μέτρια ποιότητα/ III
20-50	Κακή ποιότητα/ IV
>50	Πολύ κακή ποιότητα/ V

Σύμφωνα με τη διαγραμματική παρουσίαση της ημερήσιας διακύμανσης Chl-a mg/lt που παρατέθηκε προηγουμένως, στη διάρκεια της προσομοίωσης οι μέγιστες τιμές Chl-a mg/lt για όλες τις προτεινόμενες στάθμες λειτουργίας δεν ξεπερνούν το 1 μg . Η συγκέντρωση της Chl-a mg/lt είναι <5 $\mu\text{g}/\text{lt}$ και επομένως η λίμνη κατατάσσεται στην κατηγορία I.



7.4.2.7.3 Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων για κάθε κατώτατη στάθμη Στοχαστική προσομοίωση . Συγκριτική παρουσίαση με Απλή προσομοίωση

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η Στοχαστική προσομοίωση εφαρμόζεται προκειμένου να περιορισθεί ο βαθμός αβεβαιότητας κατά την επιλογή των τιμών των παραμέτρων που εμπλέκονται στις διεργασίες του μοντέλου (φορτία, παράμετροι κινητικών και εξισώσεων δίκαιας). Συγκεκριμένα, το μοντέλο μπορεί να λάβει υπόψη την τυχαία διακύμανση των υπεισερχόμενων παραμέτρων και των εξωτερικών μεταβλητών, δημιουργώντας για κάθε μια από αυτές, ένα εύρος πιθανών τιμών και μια αντίστοιχη κατανομή πιθανότητας. Η προσομοίωση περιορίζεται στη χρονική διάρκεια ενός υδρολογικού έτους και επαναλαμβάνεται 300 φορές.

Με την εφαρμογή της στοχαστικής προσομοίωσης εξάγεται ένα ικανοποιητικό σύνολο τιμών για τις μελετώμενες παραμέτρους (Chl-a, TP, TN, OC, DO) το οποίο ύστερα από στατιστική επεξεργασία δίνει αποτελέσματα για κάθε παράμετρο με τη μορφή καμπυλών ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης (95,80,50,20,10,5%), από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα. Ουσιαστικά για κάθε παράμετρο προκύπτουν 300 χρονοσειρές αποτελεσμάτων, μία για κάθε επανάληψη προσομοίωσης.

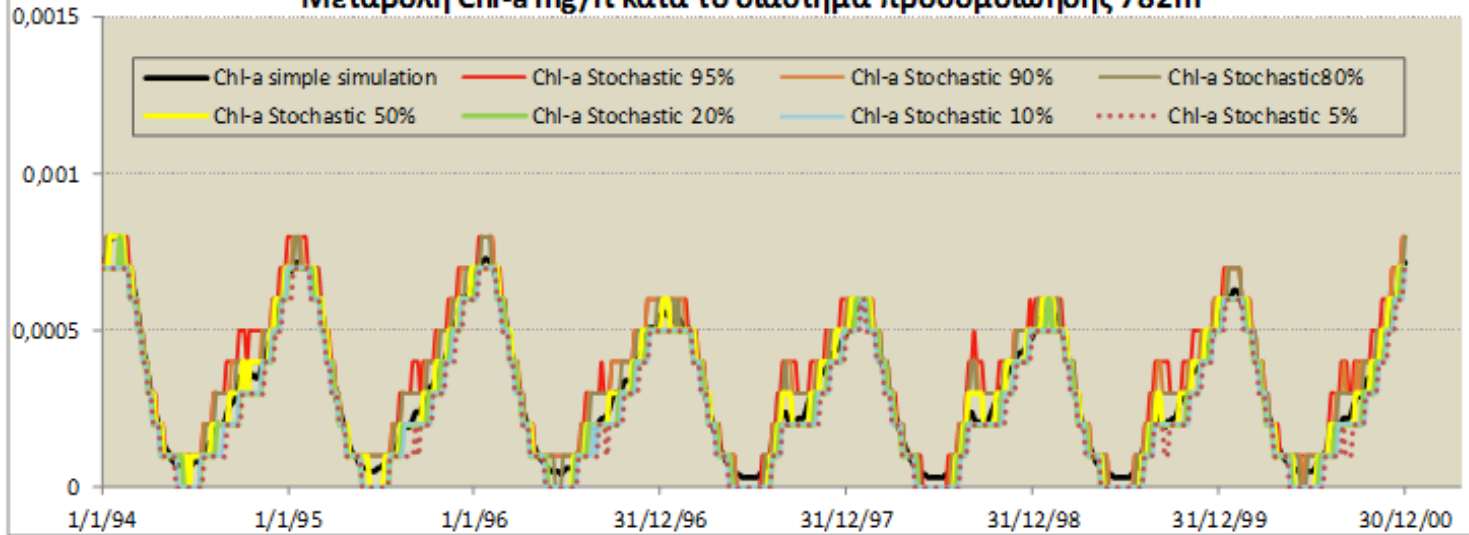
Οι καμπύλες ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης (95,80,50,20,10,5%) είναι επεξεργασμένες χρονοσειρές κατάταξης του επιλεγμένου ρύπου, που περιλαμβάνουν συγκεντρώσεις του ρύπου που δεν υπερβαίνονται από ένα συγκεκριμένο ποσοστό όλων των αποτελεσμάτων για κάθε χρονική στιγμή. Έτσι λοιπόν στην καμπύλη ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 95% σε κάθε χρονική στιγμή το 95% των αποτελεσμάτων του συνόλου των 300 προσομοιώσεων - χρονοσειρών δεν την υπερβαίνει, ενώ μόλις το 5% κυμαίνεται σε υψηλότερες τιμές και την υπερβαίνει. Για παράδειγμα επιλέγοντας ο χρήστης στο λογισμικό Λέρνη τη δημιουργία κατάταξης 95% για τον ρύπο οξυγόνο (DO), το πρόγραμμα δημιουργεί μια καινούργια χρονοσειρά που περιέχει σε κάθε χρονική στιγμή τη συγκέντρωση εκείνη του οξυγόνου, που δεν υπερβαίνει το 95% όλων των συγκεντρώσεων (των 300 προσομοιώσεων) διαλυμένου οξυγόνου για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όσον αφορά το υπόλοιπο 5% των μετρήσεων, για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, έχει μεγαλύτερη τιμή έναντι εκείνης του οξυγόνου της καμπύλης 95%

Η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου Λέρνη και τα αποτελέσματα των παραμέτρων Chl-a, TP, TN, OC, DO της απλής προσομοίωσης κρίνονται ως αποδεκτά όταν η καμπύλη διακύμανσης τους βρίσκεται εντός του εύρους των καμπυλών ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 5-95% της στοχαστικής ανάλυσης.

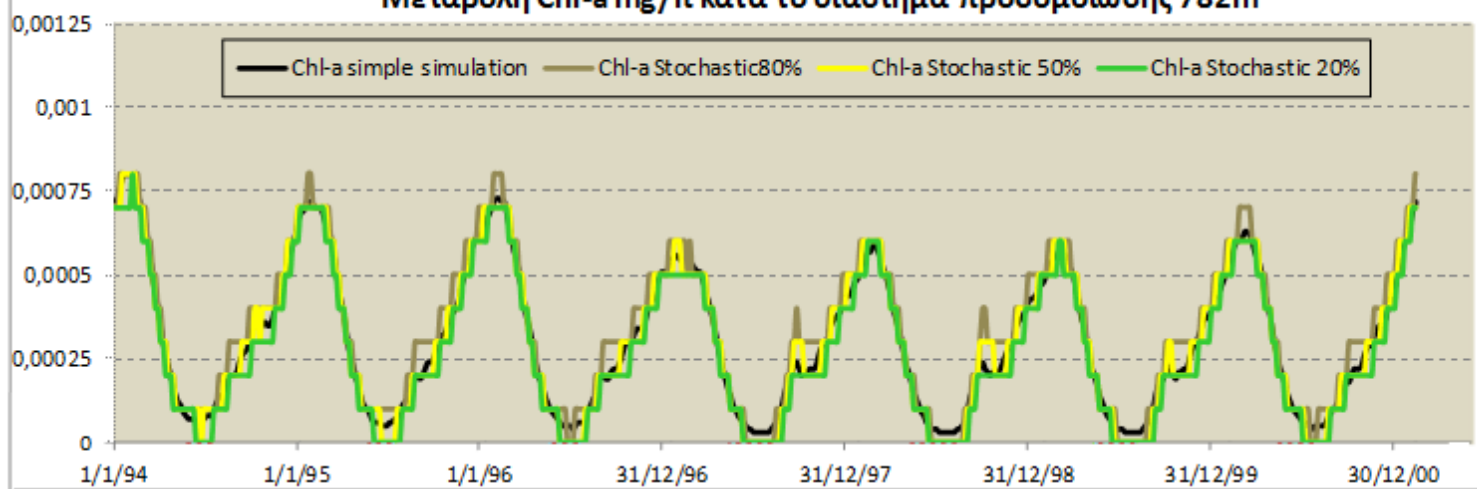
Στη συνέχεια παρατίθενται οι καμπύλες ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης για κάθε στάθμη και εξεταζόμενη μεταβλητή συγκριτικά με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης προσδιοριστικής απλής προσομοίωσης.



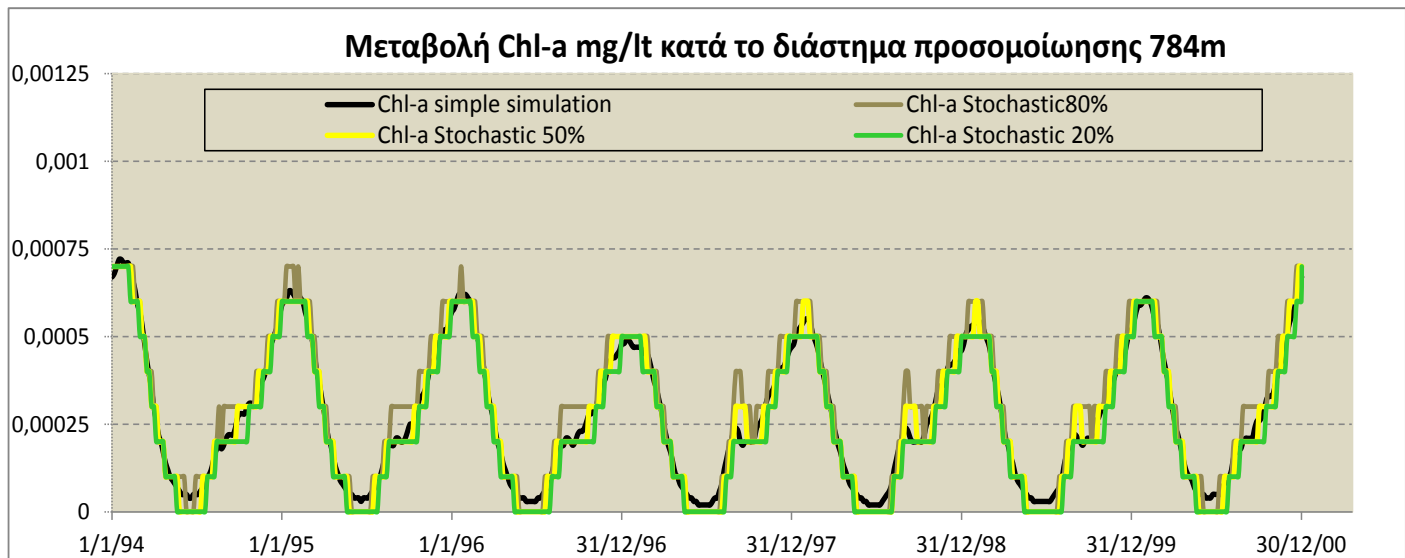
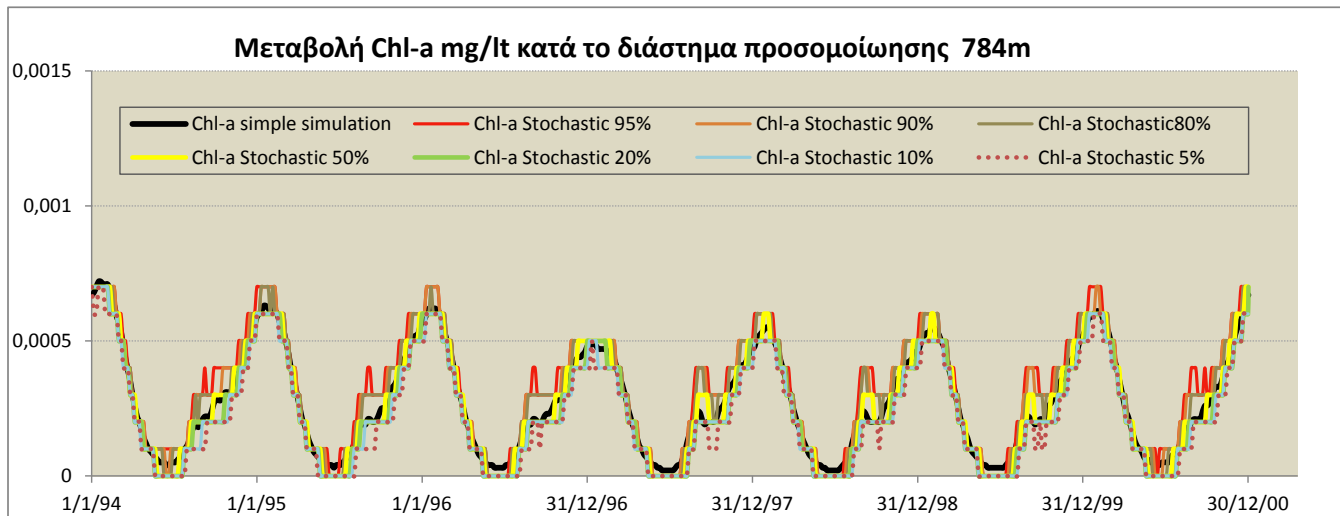
Μεταβολή Chl-a mg/lit κατά το διάστημα προσομοίωσης 782m



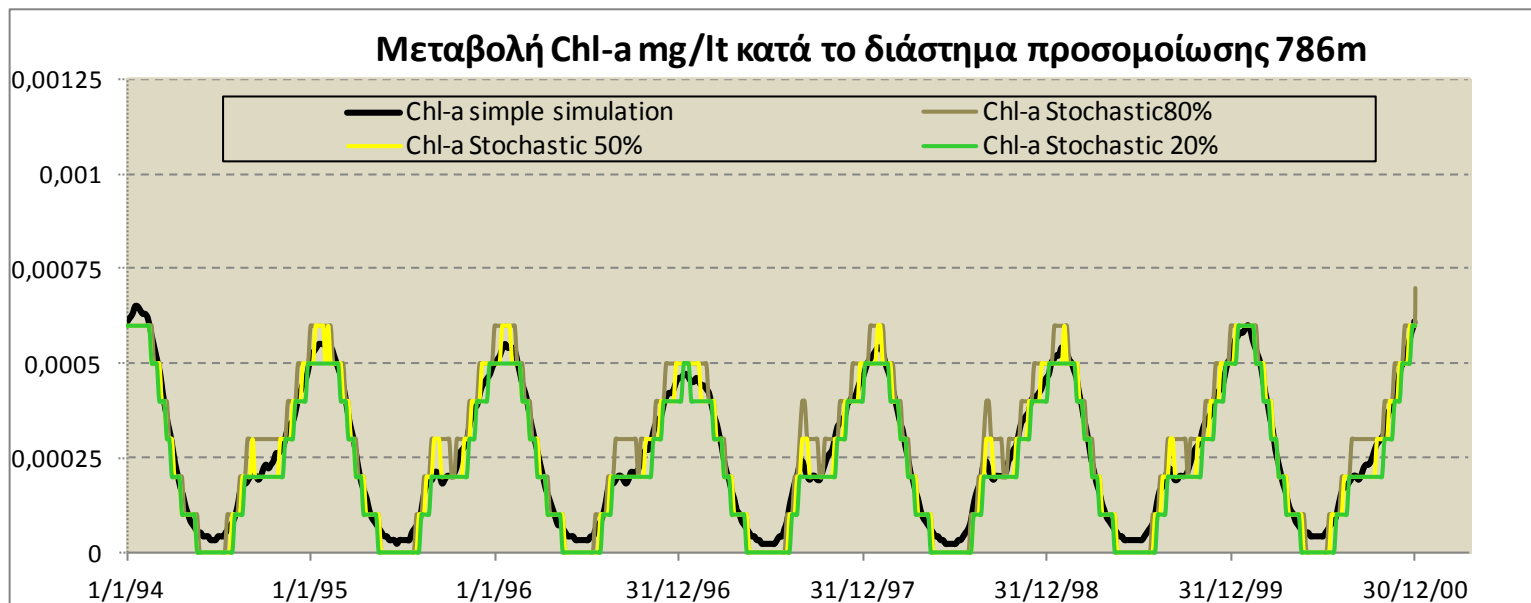
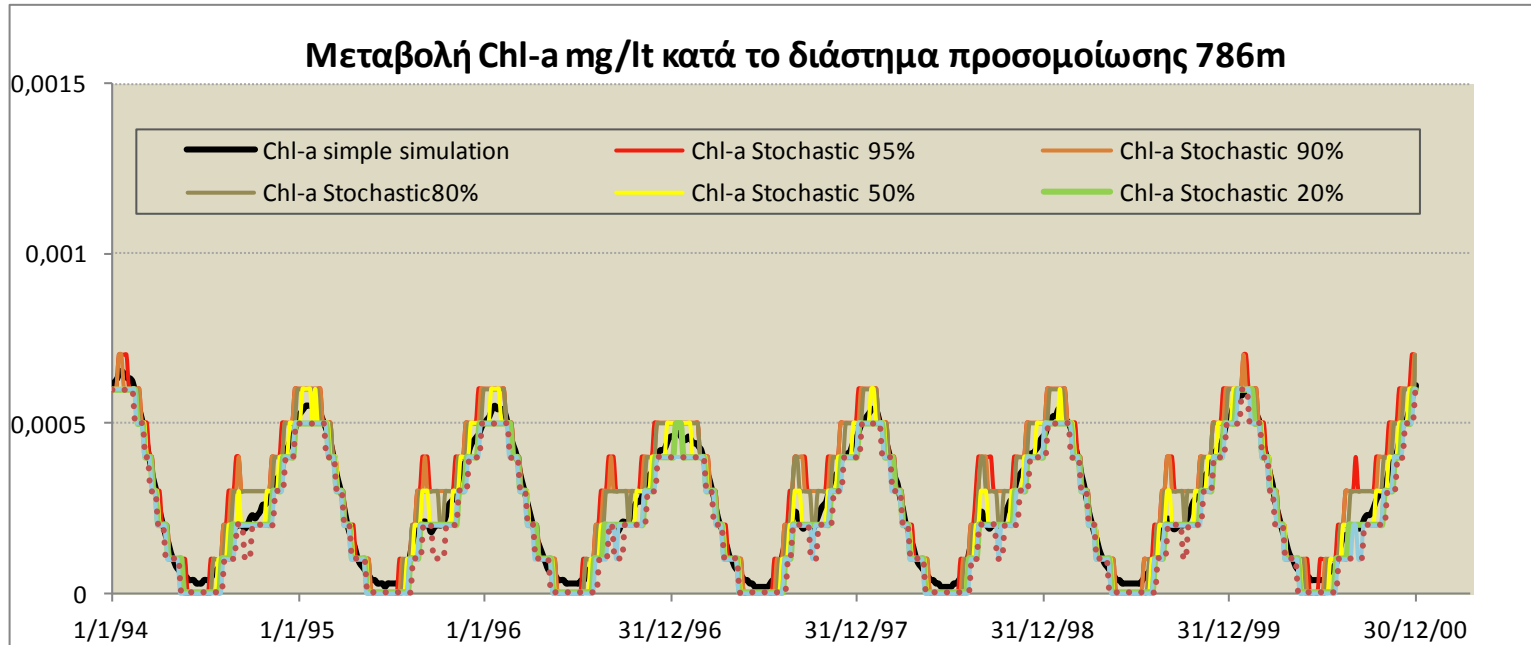
Μεταβολή Chl-a mg/lit κατά το διάστημα προσομοίωσης 782m



Σχήμα 33 Chl-a mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782

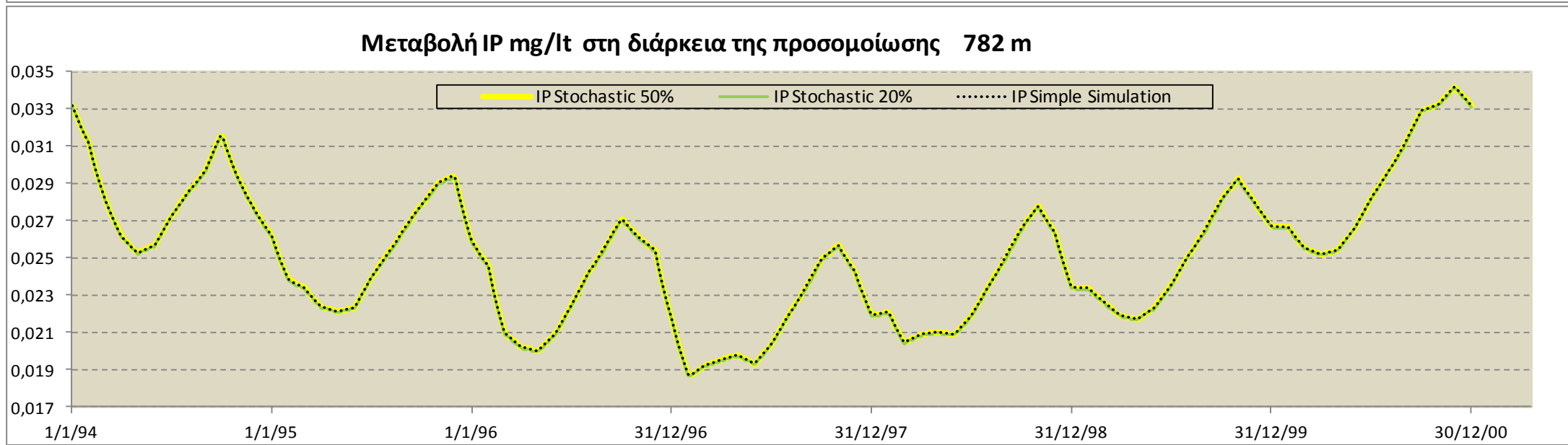
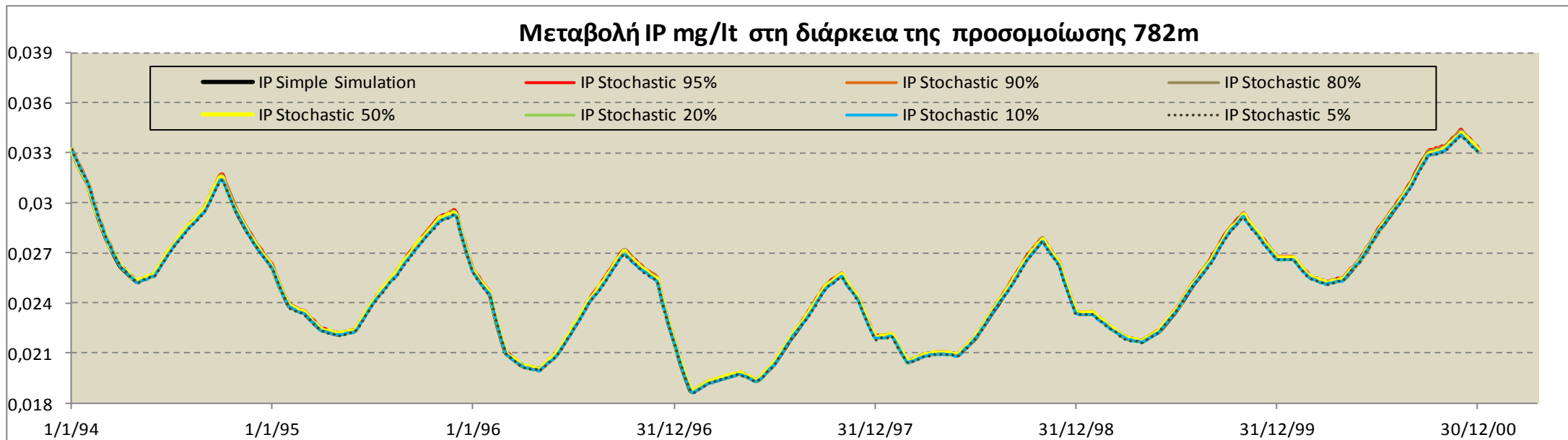


Σχήμα 34 Chl-a mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784

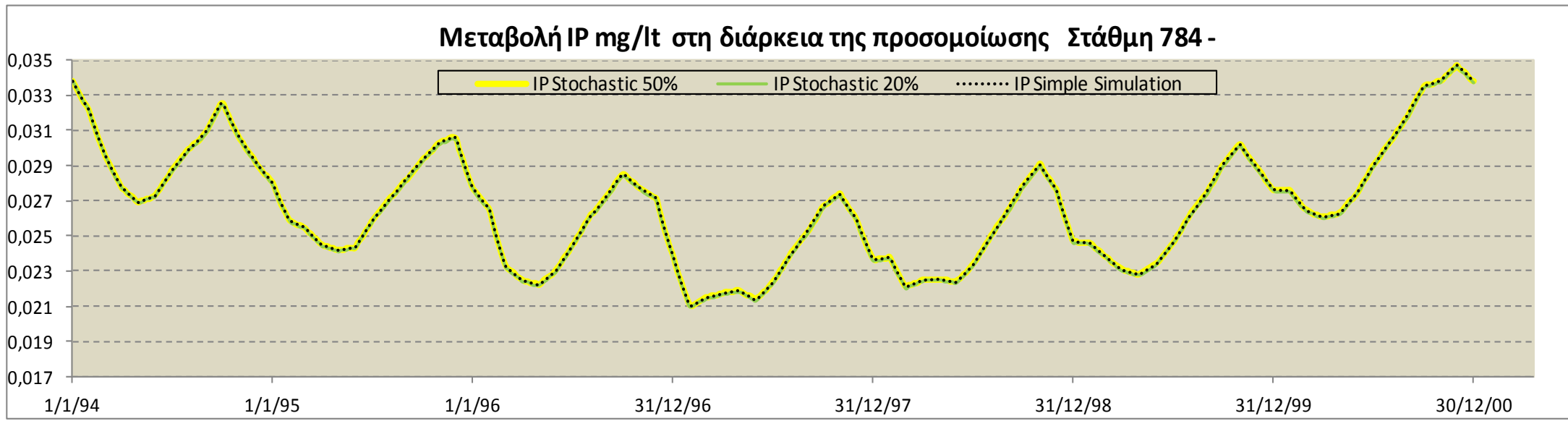
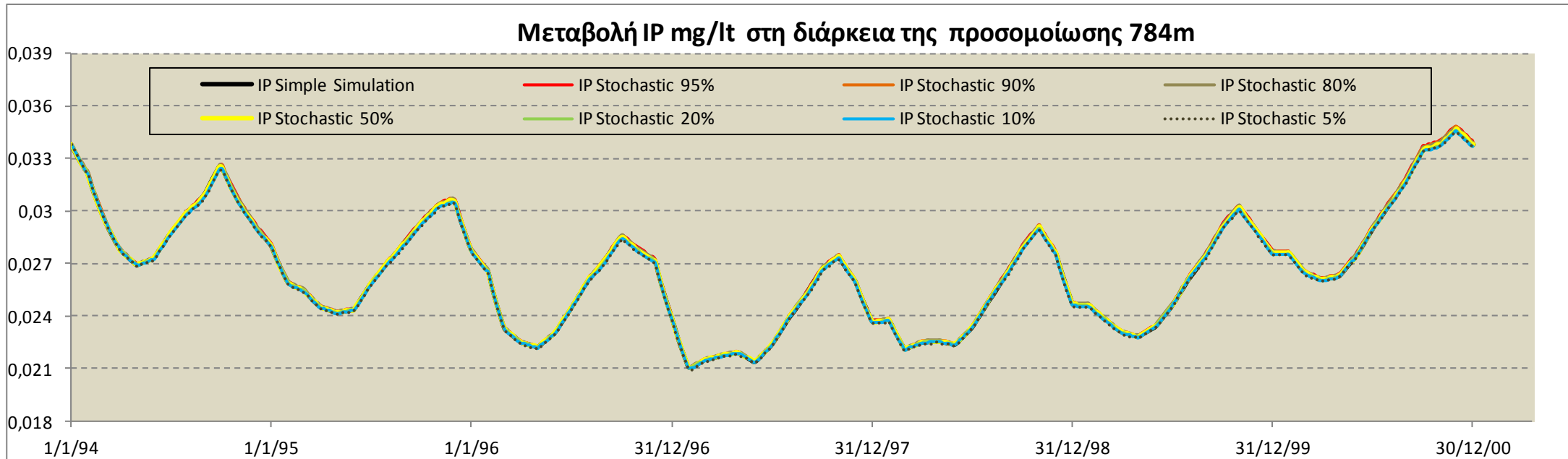


Σχήμα 35 Chl-a mg/lt Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786

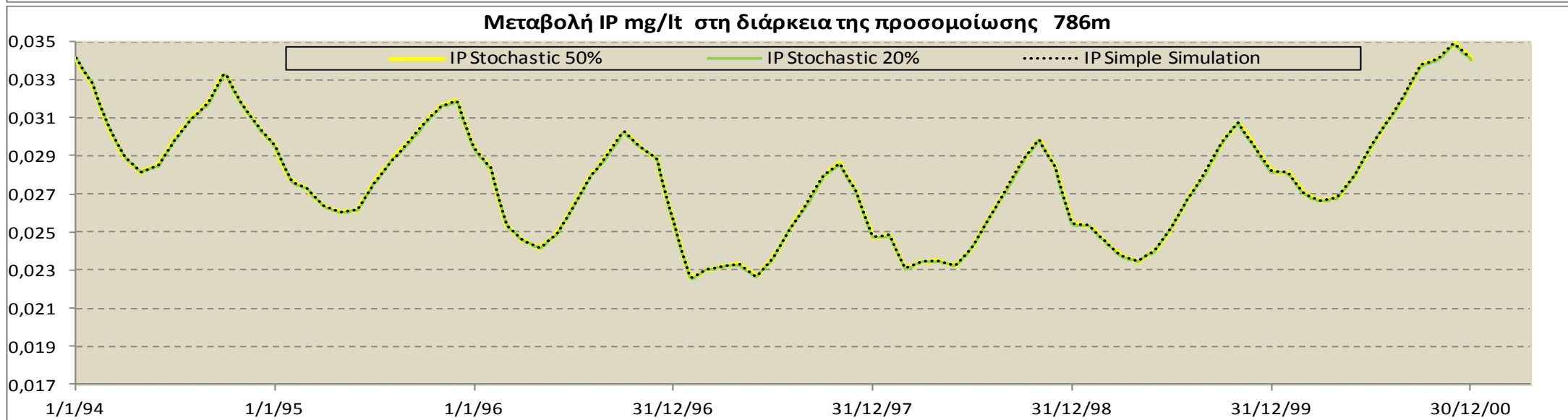
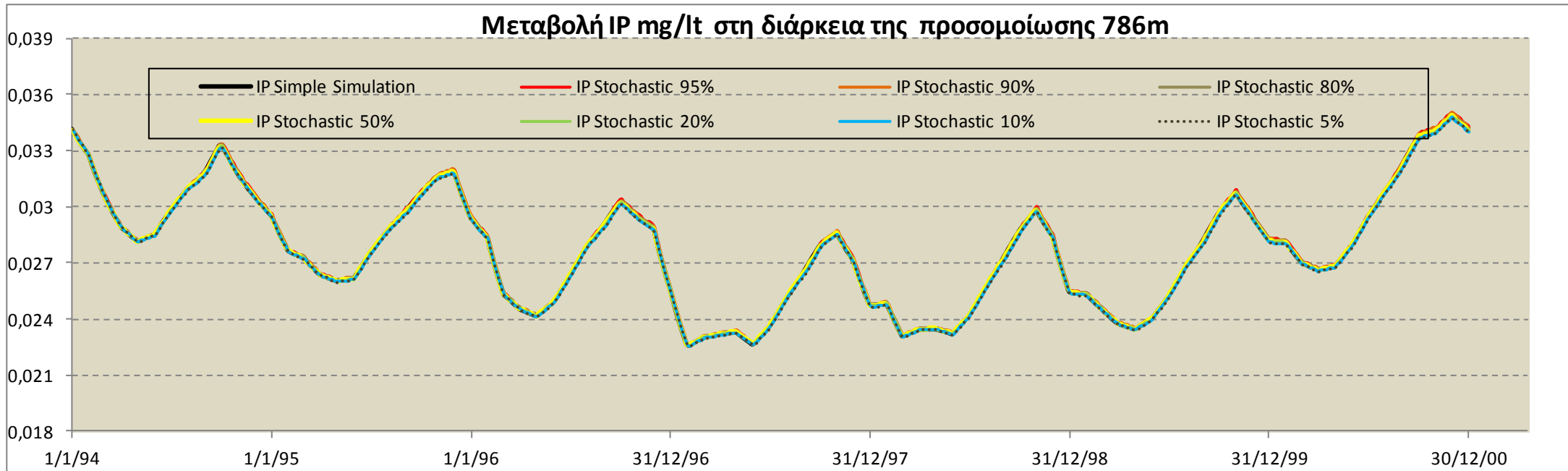
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι και στις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση απλής και στοχαστικής προσομοίωσης, παρατηρείται ότι και στις 3 στάθμες τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης βρίσκονται μεταξύ των καμπύλων μη υπέρβασης 5-95% γεγονός που τα καθιστά ικανοποιητικά. Ειδικότερα συμπίπτουν ή βρίσκονται πλησίον της καμπύλης ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 50%..



Σχήμα 36 IP mg/l_t Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782



Σχήμα 37 IP mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784

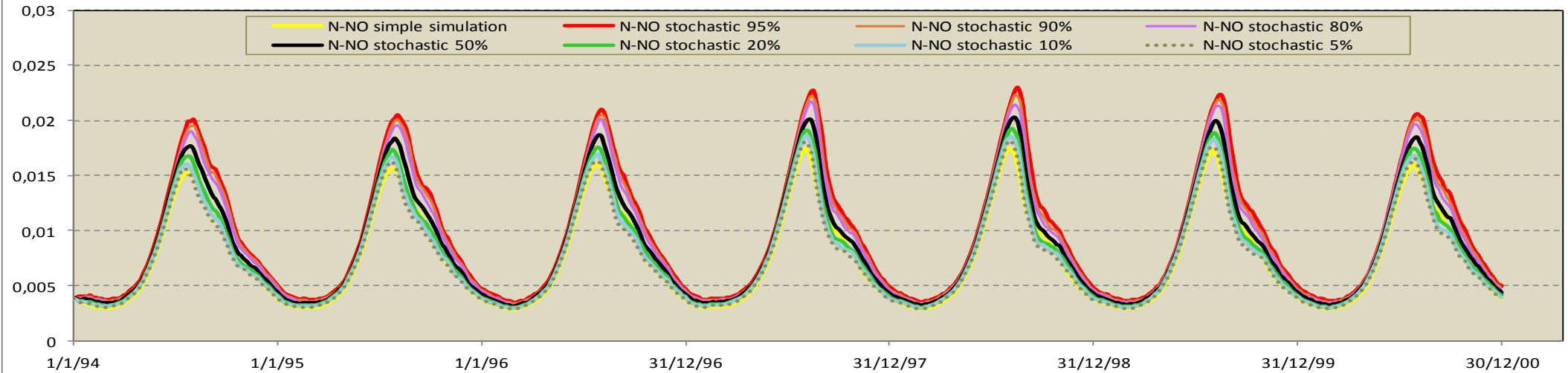


Σχήμα 38 IP mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786

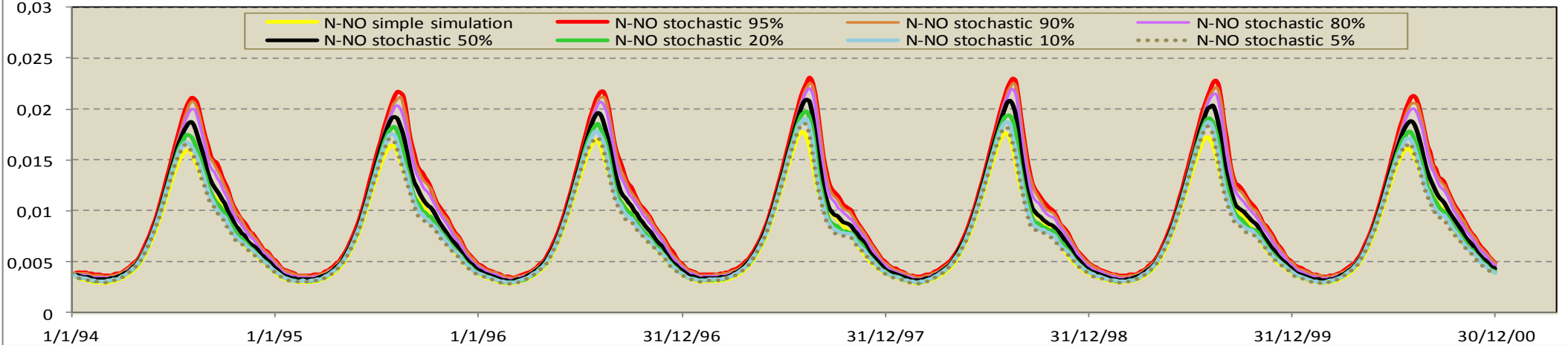


Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι και στις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση απλής και στοχαστικής προσομοίωσης, παρατηρείται ότι και στις 3 στάθμες τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης βρίσκονται μεταξύ των καμπύλων μη υπέρβασης 5-95% γεγονός που τα καθιστά ικανοποιητικά. Ειδικότερα συμπίπτουν ή βρίσκονται πλησίον της καμπύλης ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 50%.

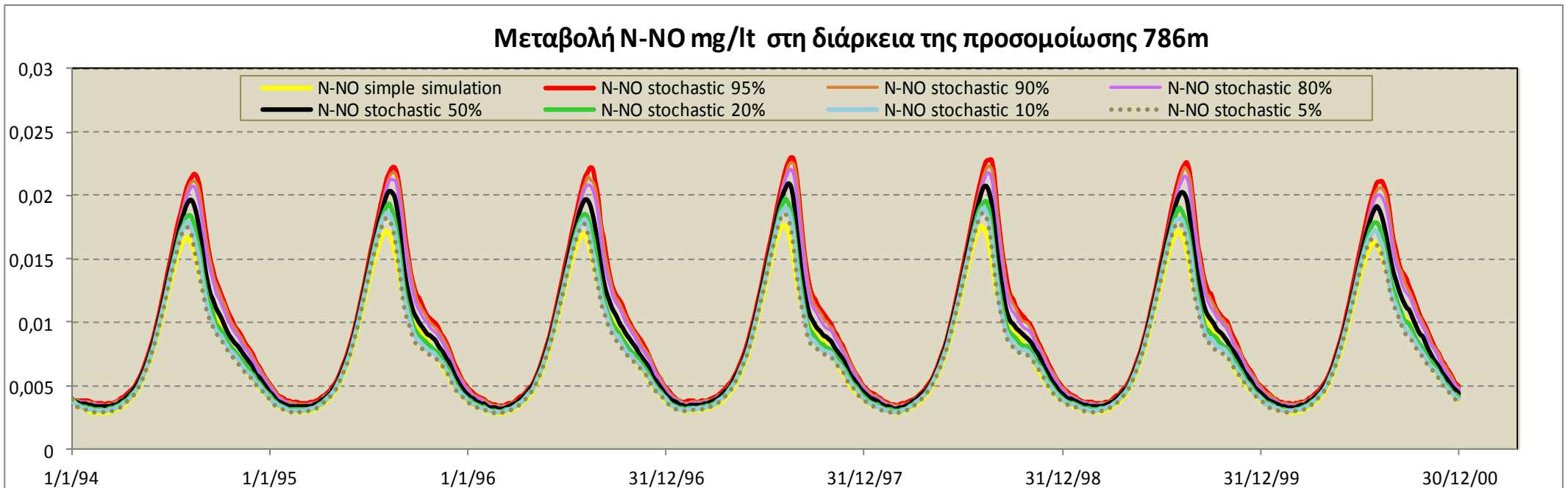
Μεταβολή N-NO mg/lit στη διάρκεια της προσομοίωσης Στάθμη 782 - Αρχικό Σενάριο



Μεταβολή N-NO mg/lit στη διάρκεια της προσομοίωσης 784 m



Σχήμα 39 N-NO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782, 784

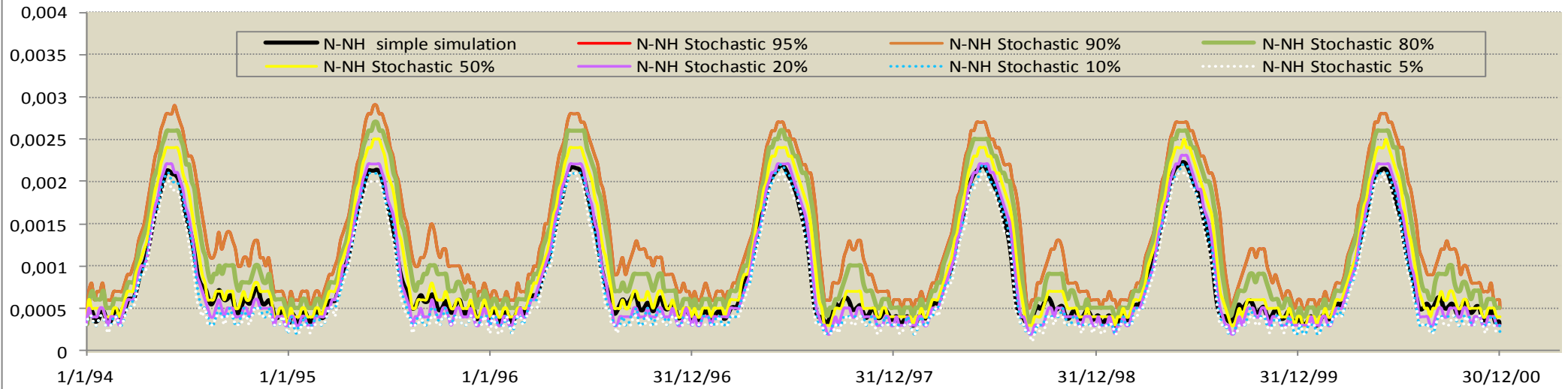


Σχήμα 40 N-NO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786

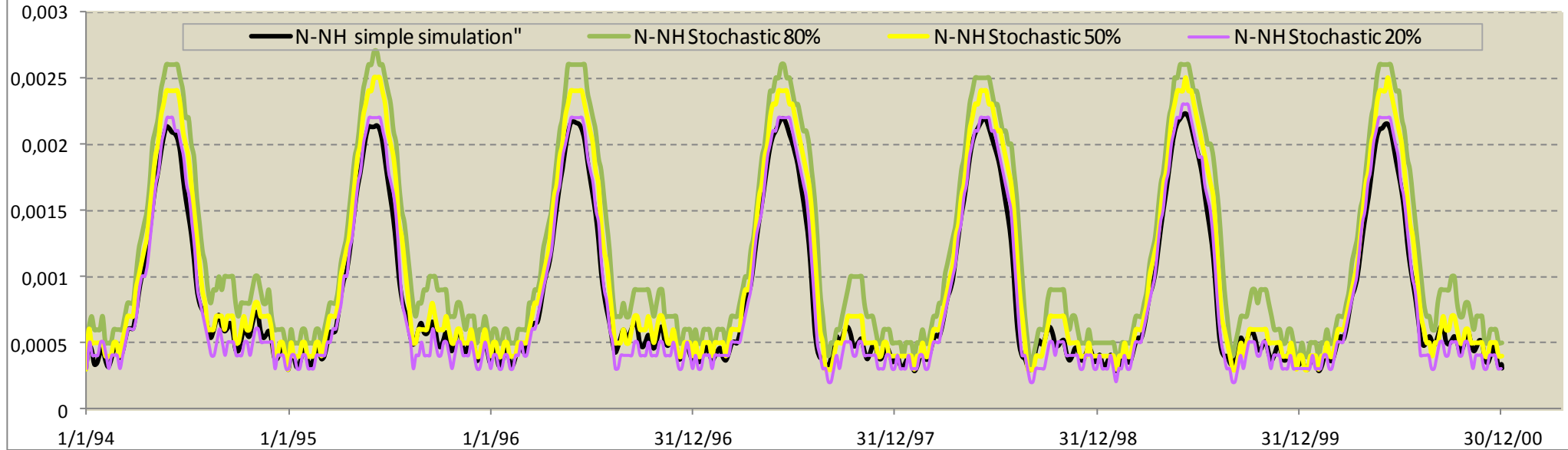
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι και στις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων απλής και στοχαστικής προσομοίωσης, παρατηρείται ότι και στις 3 στάθμες τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης κυμαίνονται εντός του εύρους των καμπύλων ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 5-95% και κρίνονται ως αποδεκτά.



Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 782m



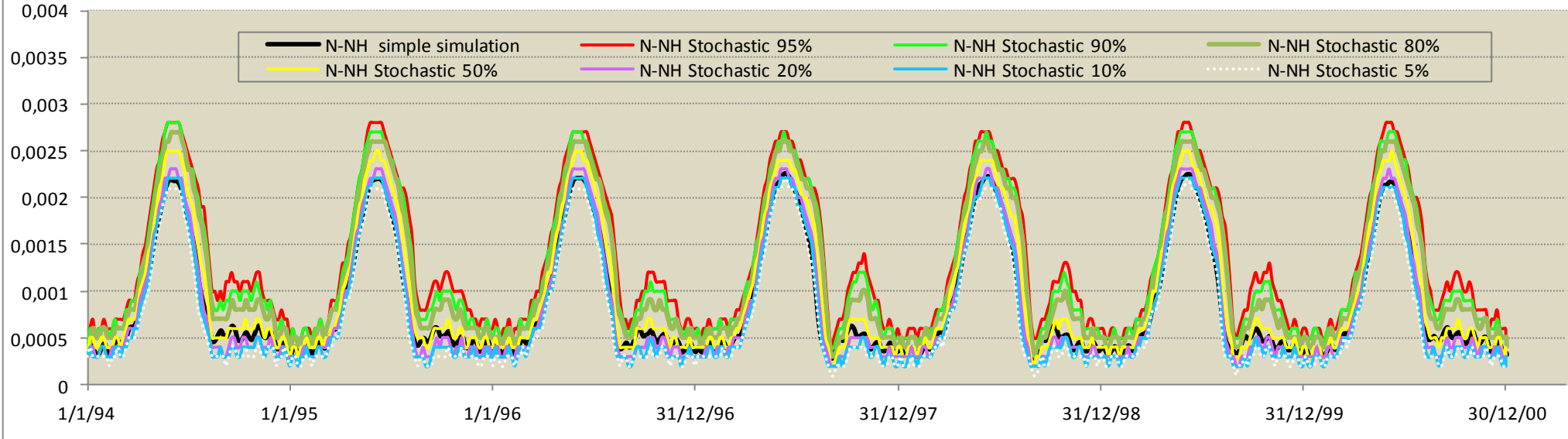
Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 782m



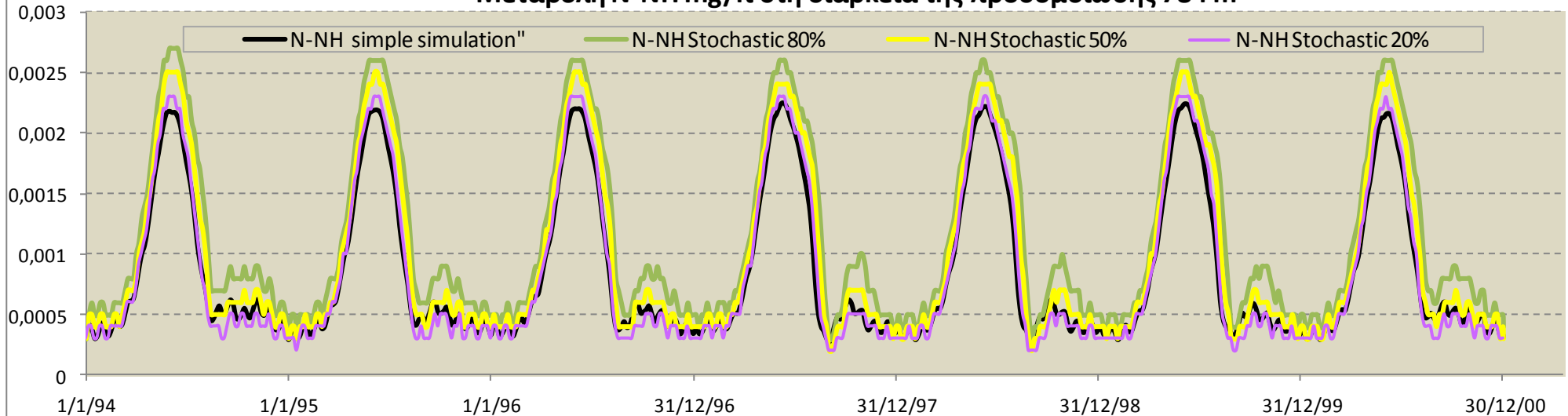
Σχήμα 41 N-NH mg/lτ Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782



Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 784 m



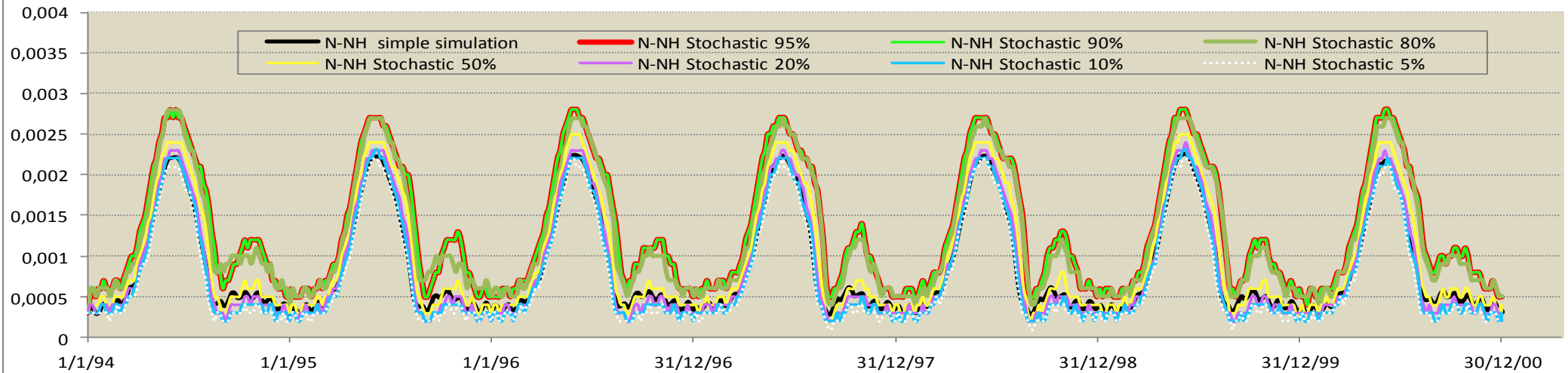
Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 784 m



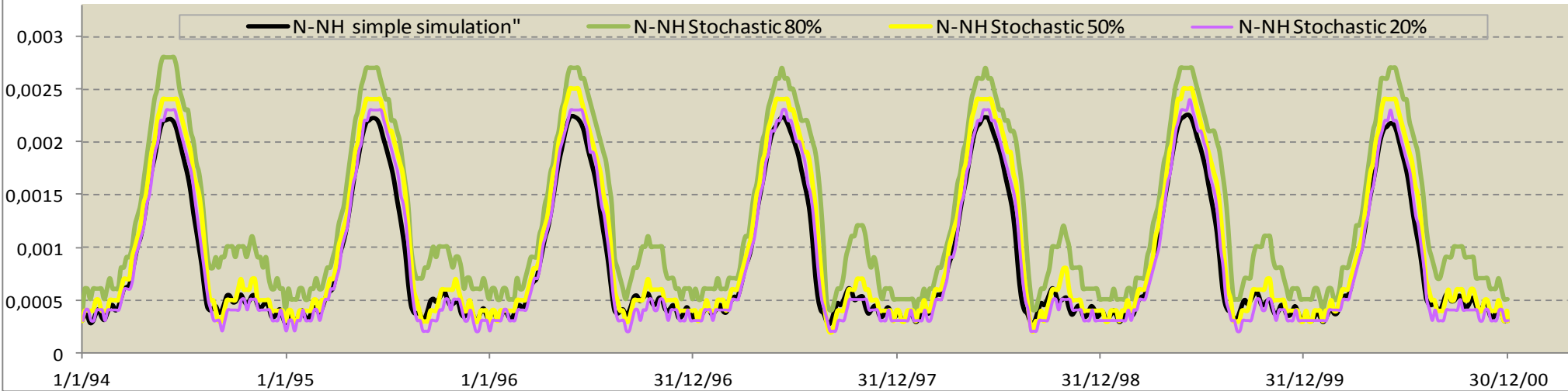
Σχήμα 42 N-NH mg/lτ Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784



Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 786m



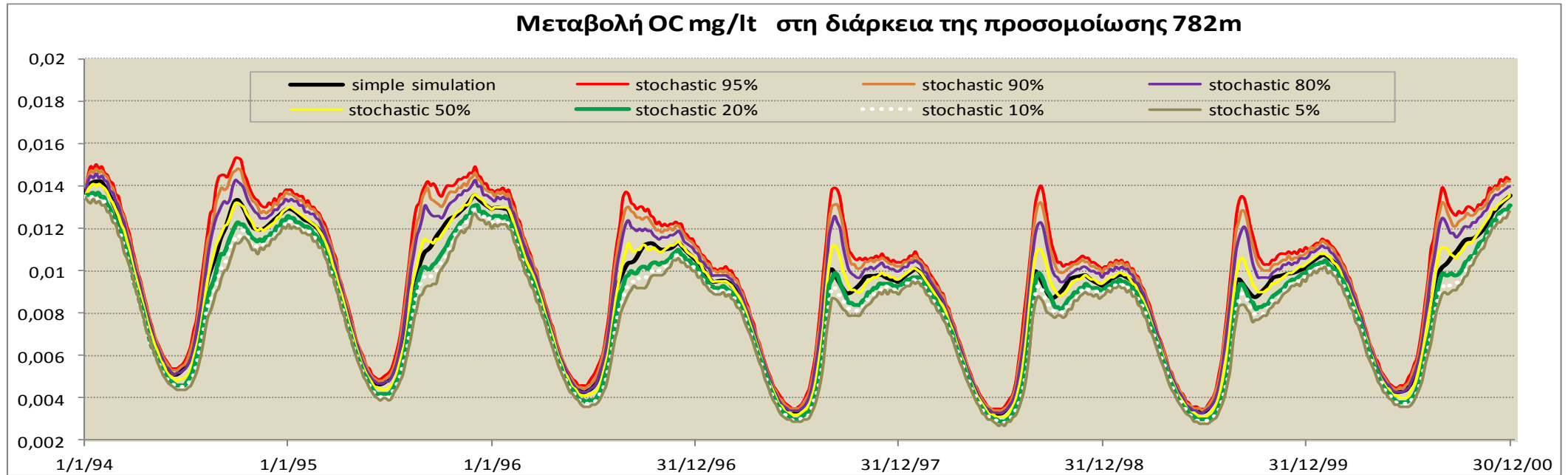
Μεταβολή N-NH mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 786m



Σχήμα 43 N-NH mg/lτ Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786



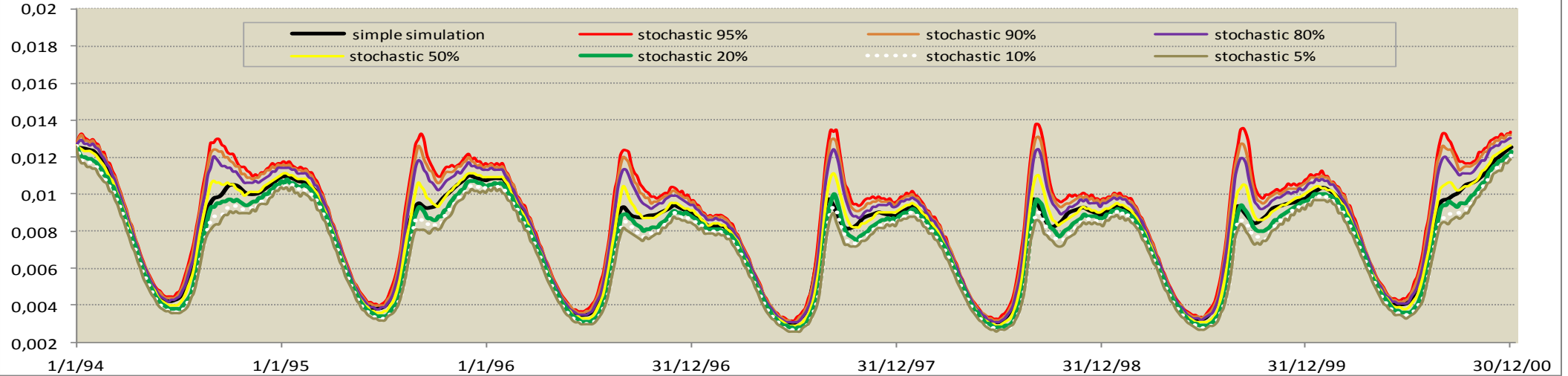
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι για τις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων απλής και στοχαστικής προσομοίωσης και στις 3 στάθμες παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης κυμαίνονται εντός του εύρους των καμπύλων ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 5-95% και κρίνονται ως αποδεκτά.



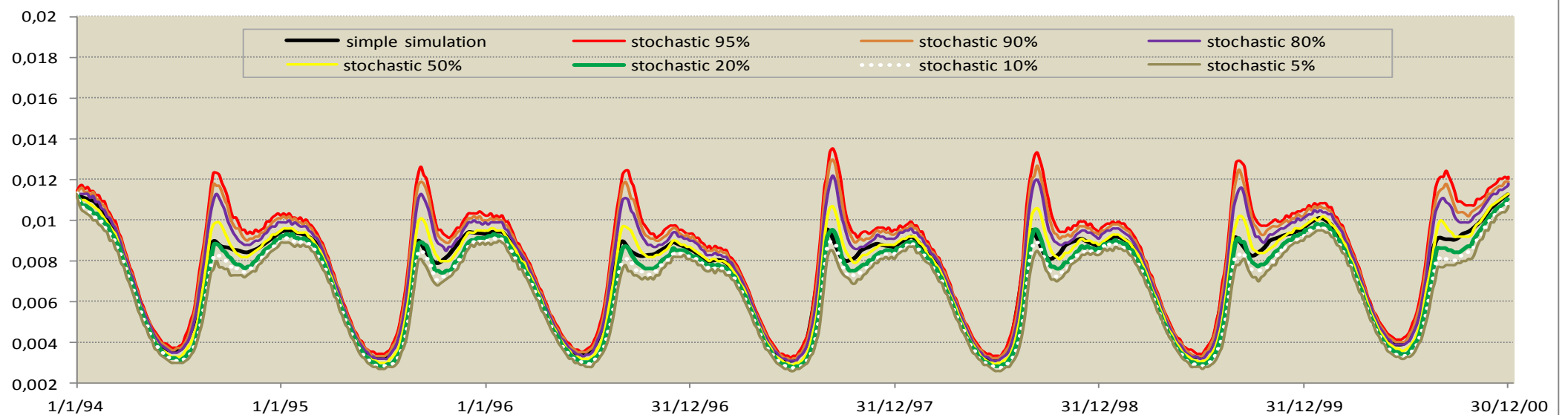
Σχήμα 44 OC mg/l_t Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782



Μεταβολή OC mg/lit στη διάρκεια της προσομοίωσης 784m



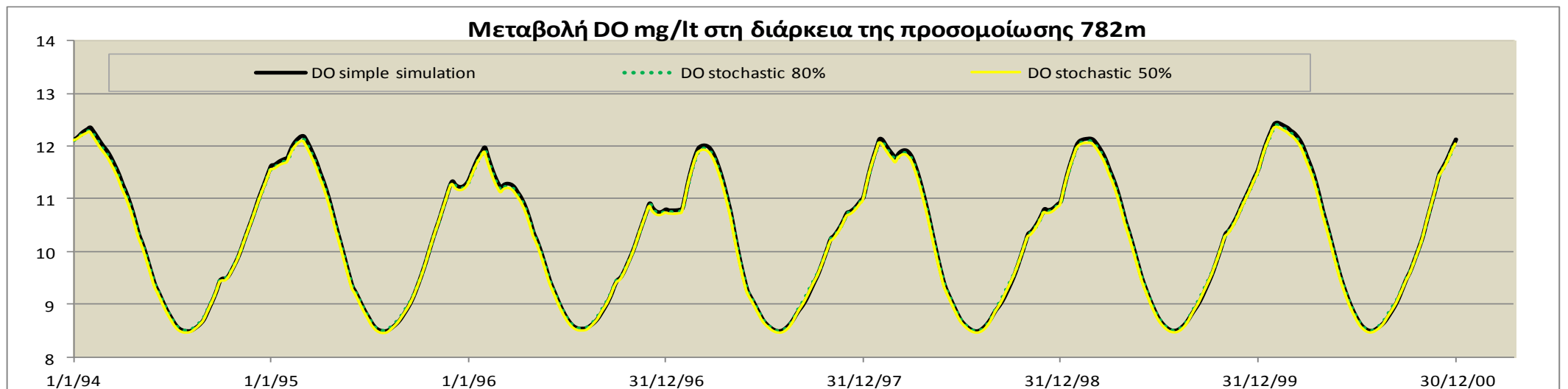
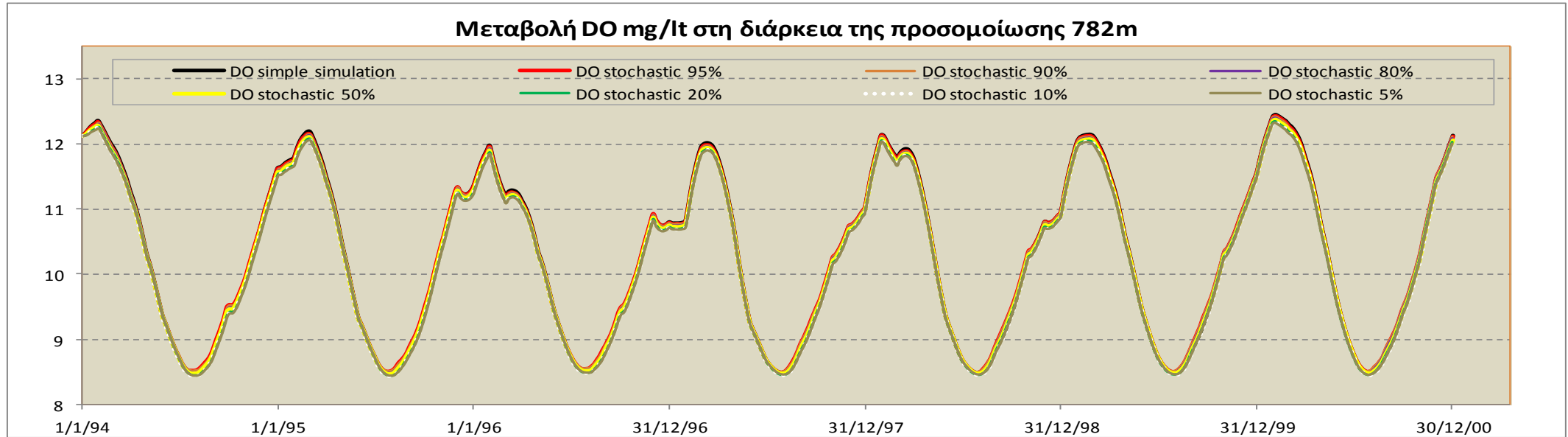
Μεταβολή OC mg/lit στη διάρκεια της προσομοίωσης 786m



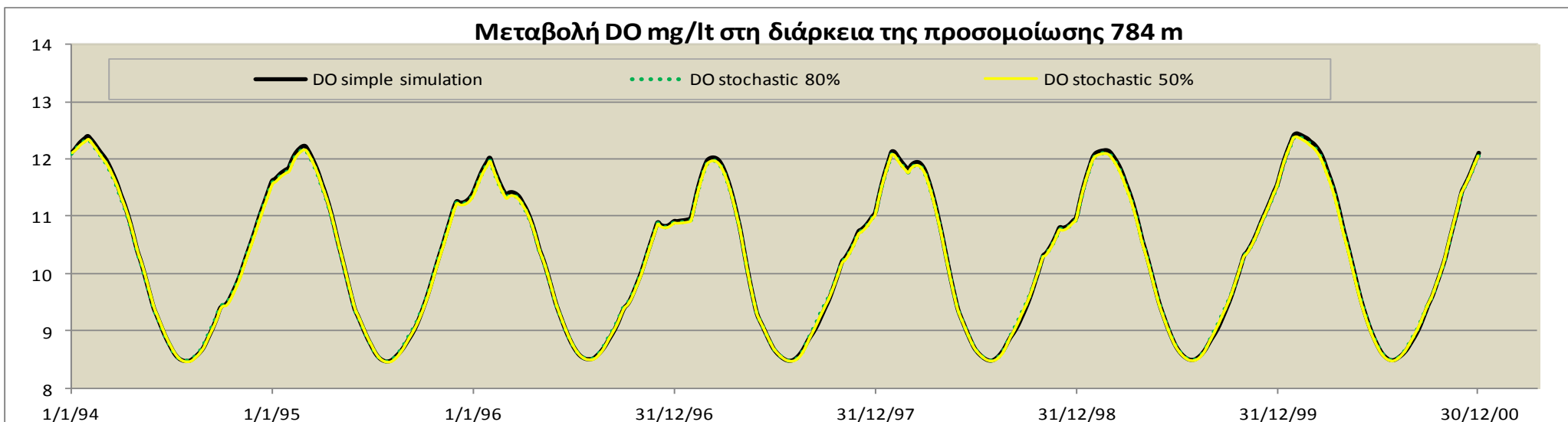
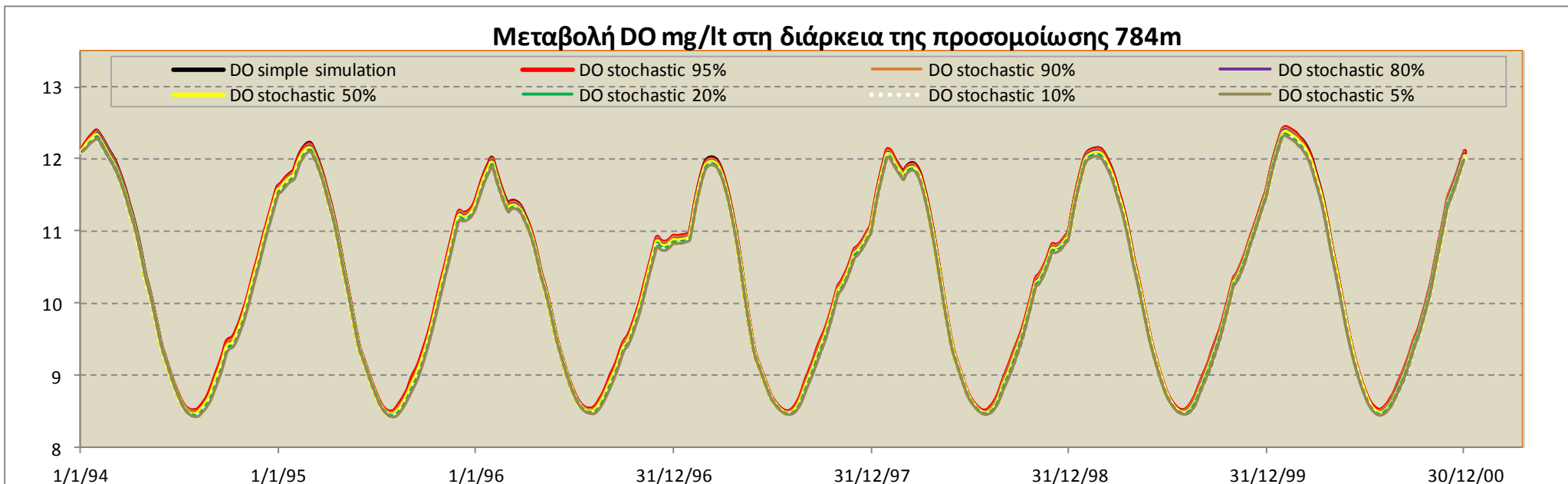
Σχήμα 45 OC mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784 -786



Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι και στις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση απλής και στοχαστικής προσομοίωσης, παρατηρείται ότι και στις 3 στάθμες τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης βρίσκονται μεταξύ των καμπύλων μη υπέρβασης 5-95% γεγονός που τα καθιστά ικανοποιητικά. Ειδικότερα συμπίπτουν ή βρίσκονται πλησίον της καμπύλης ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 50%.



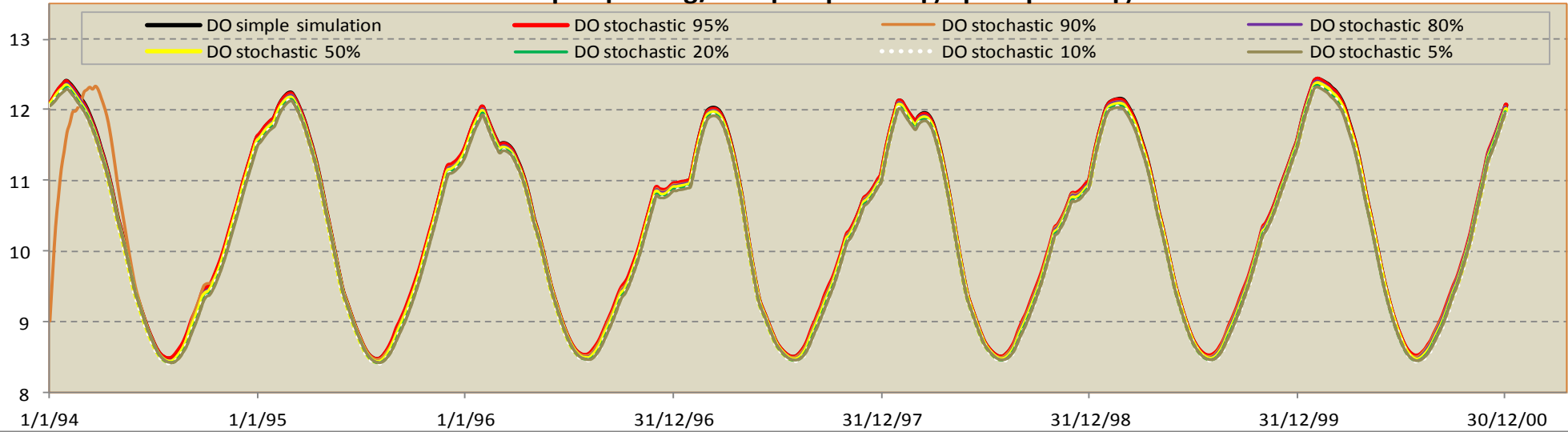
Σχήμα 46 DO mg/lτ Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 782



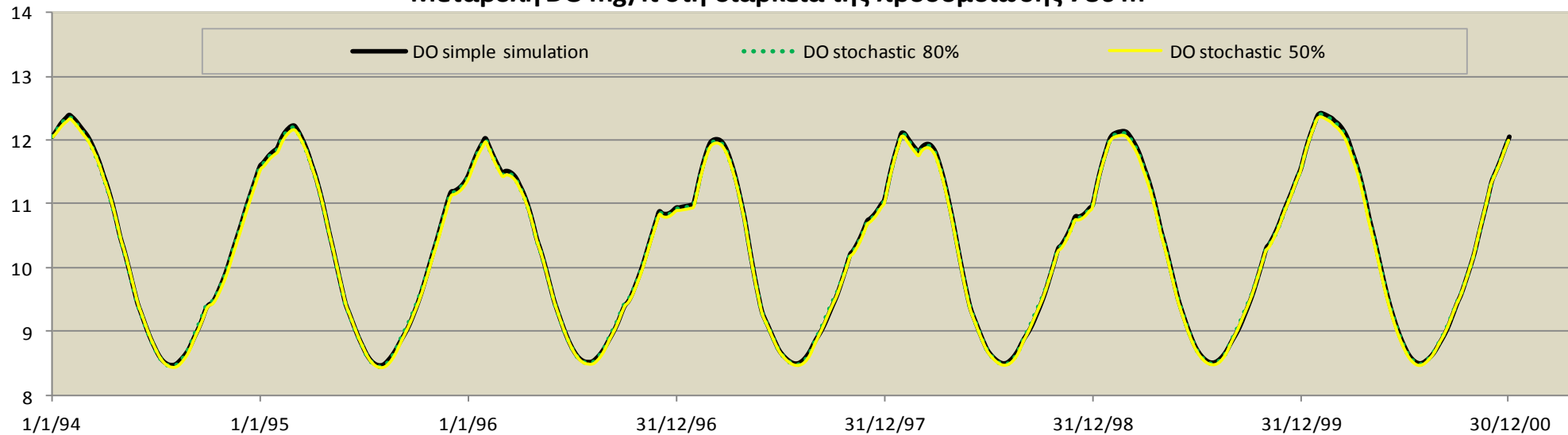
Σχήμα 47 DO mg/lit Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 784



Μεταβολή DO mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 786m



Μεταβολή DO mg/lτ στη διάρκεια της προσομοίωσης 786 m



Σχήμα 48 DO mg/lτ Σύγκριση Απλής-Στοχαστικής Προσομοίωσης στάθμη 786



Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι και στις τρεις στάθμες 782, 784, 786m τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι παραπλήσια. Όσον αφορά τη σύγκριση απλής και στοχαστικής προσομοίωσης, παρατηρείται ότι και στις 3 στάθμες τα αποτελέσματα της απλής προσομοίωσης βρίσκονται μεταξύ των καμπύλων μη υπέρβασης 5-95% γεγονός που τα καθιστά ικανοποιητικά. Ειδικότερα συμπίπτουν ή βρίσκονται πλησίον της καμπύλης ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης 50%.

7.4.2.7.4 Λίμνη Πλαστήρα : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής στοχαστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων

Η ποιοτική κατάσταση του μελετώμενου Λιμναίου οικοσυστήματος κρίνεται ως αποδεκτή όταν

1. Στην στάθμη λειτουργίας οι μέσες τιμές Chl-a , TP , TN είναι \leq από 10 , 30, 1000 μ g/l αντίστοιχα. Έτσι αποφεύγονται φαινόμενα ευτροφισμού. Τα παραπάνω όρια περιλαμβάνονται στα ευρέως χρησιμοποιούμενα κριτήρια κατάταξης Λιμνών στην Ελλάδα.
2. διασφαλίζεται καλή ποιότητα των υδάτων του λιμναίου οικοσυστήματος

7.4.2.7.5 Λίμνη Πλαστήρα : Μελέτη της Ποιοτικής κατάστασης βάσει max τιμών Chl-a , TP , TN

Ο έλεγχος της συμμόρφωσης ή μη συμμόρφωσης της ποιοτικής κατάστασης βασίζεται στη σύγκριση των max αποδεκτών τιμών Chl-a , TP , TN με τις μέσες τιμές της διακύμανσης Chl-a, IP, OP, N-NH, N-NO για το διάστημα των 7 ετών της στοχαστικής προσομοίωσης. Ειδικότερα θα πρέπει οι μέσες τιμές Chl-a , TP , TN για κάθε καμπύλη ίσης πιθανότητας μη υπέρβασης να είναι \leq από 10 , 30, 1000 μ g/l αντίστοιχα.

Πίνακας 66 Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 782 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης (στοχαστική προσομοίωση)

AVERAGE mg/lit 782m

	Καμπύλη 100%	Καμπύλη 95%	Καμπύλη 90%	Καμπύλη 80%	Καμπύλη 50%	Καμπύλη 20%	Καμπύλη 10%	Καμπύλη 5%
Chl-a	0,000377	0,00036725	0,00035185	0,000337622	0,000305	0,000279	0,000268	0,000261
TP	0,02529	0,02527232	0,02524542	0,025209552	0,025144	0,025077	0,025036	0,025005
TN	0,01092	0,01077973	0,0105616	0,010110136	0,009394	0,008714	0,008383	0,008114

Πίνακας 67 Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 784 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης (στοχαστική προσομοίωση)

AVERAGE mg/lit 784m

	Καμπύλη 100%	Καμπύλη 95%	Καμπύλη 90%	Καμπύλη 80%	Καμπύλη 50%	Καμπύλη 20%	Καμπύλη 10%	Καμπύλη 5%
Chl-a	0,000377	0,000329	0,000316	0,000303	0,000273	0,00025	0,000242	0,000233
TP	0,026809	0,026719	0,026691	0,026659	0,026595	0,02653	0,026494	0,026469
TN	0,011781	0,010795	0,010499	0,010129	0,009447	0,008795	0,008459	0,008195



Πίνακας 68 Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 784 μέσες τιμές παραμέτρων ανά καμπύλη μη υπέρβασης (στοχαστική προσομοίωση)

AVERAGE mg/lit 786m

	Καμπύλη 100%	Καμπύλη 95%	Καμπύλη 90%	Καμπύλη 80%	Καμπύλη 50%	Καμπύλη 20%	Καμπύλη 10%	Καμπύλη 5%
Chl-a	0,000356	0,000306	0,000296	0,000284	0,000252	0,000231	0,000225	0,000216
TP	0,027863	0,027814	0,027788	0,027758	0,027697	0,027637	0,027607	0,027581
TN	0,010298	0,01082	0,010608	0,010327	0,009495	0,008841	0,008512	0,008254

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις στάθμες οι μέσες τιμές της Chl-a, TP (IP+OP) και TN(N-NH + N-NO) είναι εντός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή Chl-a, TP, TN να είναι \leq από 10,30, 1000 μ g/lit αντίστοιχα. Επομένως βάσει των αποτελεσμάτων της στοχαστικής προσομοίωσης η ποιοτική κατάσταση της λίμνης είναι αποδεκτή.

7.4.2.7.6 Λίμνη Πλαστήρα : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων

Τα λιμναία οικοσυστήματα βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους και ειδικότερα των μέγιστων ετησίων συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης κατηγοριοποιούνται ως εξής

Πίνακας 69: Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.

Μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης (μ g/l)	Χαρακτηρισμός/κατηγορία
<5	Πολύ καλή ποιότητα/ I
5-10	Καλή ποιότητα / II
10-20	Μέτρια ποιότητα/ III
20-50	Κακή ποιότητα/ IV
>50	Πολύ κακή ποιότητα/ V

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης η μέγιστη τιμή Chl-a mg/lit για κάθε στάθμη είναι <5 μ g/lit . Επομένως η λίμνη κατατάσσεται στην κατηγορία I.

Πίνακας 70 Λίμνη Πλαστήρα Στάθμη 782,784,786m max τιμές Chl-a ανά καμπύλη μη υπέρβασης

	Καμπύλη 100%	Καμπύλη 95%	Καμπύλη 90%	Καμπύλη 80%	Καμπύλη 50%	Καμπύλη 20%	Καμπύλη 10%	Καμπύλη 5%
max Chl-a 786m	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
max Chl-a 784m	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
max Chl-a 782m	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007

7.4.2.7.7 Λίμνη Πλαστήρα Σενάρια Λειτουργίας με απομειωμένα εισερχόμενα φορτία



Όπως ήδη αναφέρθηκε για την αποφυγή του ευτροφισμού στα γλυκά νερά θα πρέπει

ο Ολικός Φώσφορος (TP) $\leq 30 \mu\text{g/lit}$

το Ολικό Άζωτο(TN) $\leq 1\text{mg/lit}$

η Χλωροφύλλη (Chl-a) $\leq 10 \mu\text{g/lit}$

Στη λίμνη Πλαστήρα οι τιμές των συγκεντρώσεων Chl-a, και TN είναι \leq των ανώτερων αποδεκτών τιμών, ενώ οι τιμές του TP είναι της τάξης των $30 \mu\text{g/lit}$. Επομένως η ποιοτική κατάσταση της λίμνης είναι ικανοποιητική και προς το παρόν δεν απαιτείται η λήψη μέτρων περιορισμού των υφιστάμενων ρυπαντικών φορτίων και η προσομοίωση σεναρίων λειτουργίας με μειωμένα ρυπαντικά φορτία.

7.4.2.7.8 Λίμνη Πλαστήρα Διερεύνηση Προγνωστικής Ικανότητας Μοντέλου Λέρνη

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα που παρατίθεται παρακάτω, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της Προσομοίωσης για το N-NO, Chl-a, IP με το Λογισμικό Λέρνη προσεγγίζουν ή και υπερβαίνουν τις ελάχιστες τιμές των μετρήσεων πεδίου. Το DO βρίσκεται εντός του εύρους των αντίστοιχων μετρήσεων πεδίου. Μεγαλύτερη απόκλιση καταγράφεται στις τιμές του N-NH. Οι τιμές N-NH από το μοντέλο Λέρνη είναι μικρότερες από αυτές του πεδίου.

Συνολικά αποτιμάται ως αποδεκτή και αξιόπιστη η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου. Επομένως λογισμικό Λέρνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο μελέτης της ποιότητας Λιμναίων συστημάτων.

Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις μπορούν να αποδοθούν 1) στο ότι δεν έγινε προσομοίωση στρωματοποιημένης λίμνης, 2) σε ενδεχόμενη αστοχία μετρήσεων πεδίου ή δεδομένων των εξωτερικών μεταβλητών-γεωμετρίας της λίμνης, 3)σε λάθος επιλογή τιμών των σταθερών που υπεισέρχονται στις εξισώσεις δίαιτας των ρύπων.

Συνίσταται εκ νέου εφαρμογή του Λογισμικού προκειμένου να αποκτηθούν αποτελέσματα επαναλήψιμα και συγκρίσιμα με τις μετρήσεις πεδίου.

Πίνακας 71 Λίμνη Πλαστήρα Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης – μετρήσεων πεδίου

Παράμετρος	Υπολογισμοί μοντέλου Πλήρης ανάμιξη	Μετρήσεις πεδίου Στρωματοποιημενη Λίμνη
Χλωροφύλλη ($\mu\text{g/l}$)	0,24 – 0,36	0,7 - 3,7
Αμμωνιακό άζωτο ($\mu\text{g/l}$)	0,3 – 2,25	10 - 180
Νιτρικό άζωτο ($\mu\text{g/l}$)	3 – 16,5	5 - 50
Ανόργανος φώσφορος ($\mu\text{g/l}$)	25 – 35	30 - 60
Διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)	8,5 – 12,5	6,8 - 10,3



7.5 Μελέτη της ποιοτικής κατάστασης της Λίμνης Υλίκη με εφαρμογή του Μαθηματικού μοντέλου Λέρνη

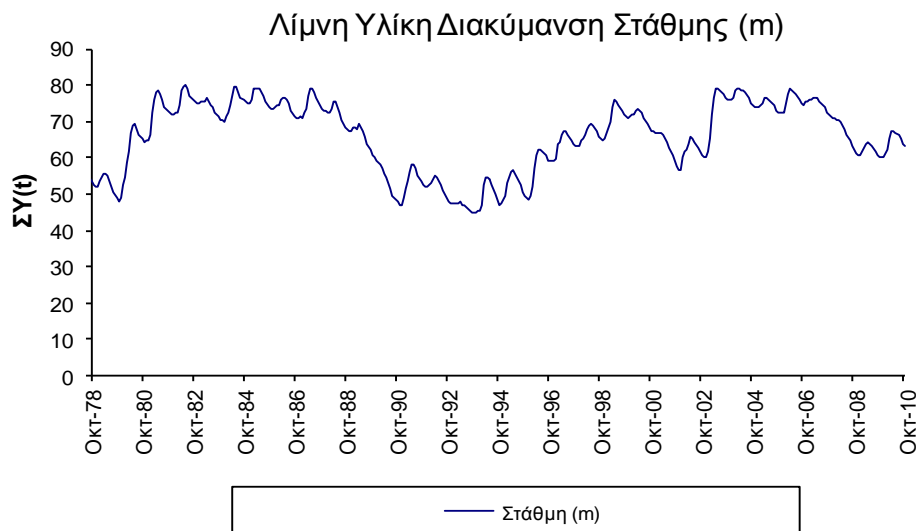
7.5.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Για την επίλυση του μοντέλου είναι απαραίτητη η γνώση της χρονικής διακύμανσης των εξωτερικών μεταβλητών, οι οποίες είναι:

- α) οι εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές
- β) τα φορτία (θρεπτικών, οργανικού άνθρακα)
- γ) η θερμοκρασία
- δ) η ηλιοφάνεια και η φωτοπερίοδος

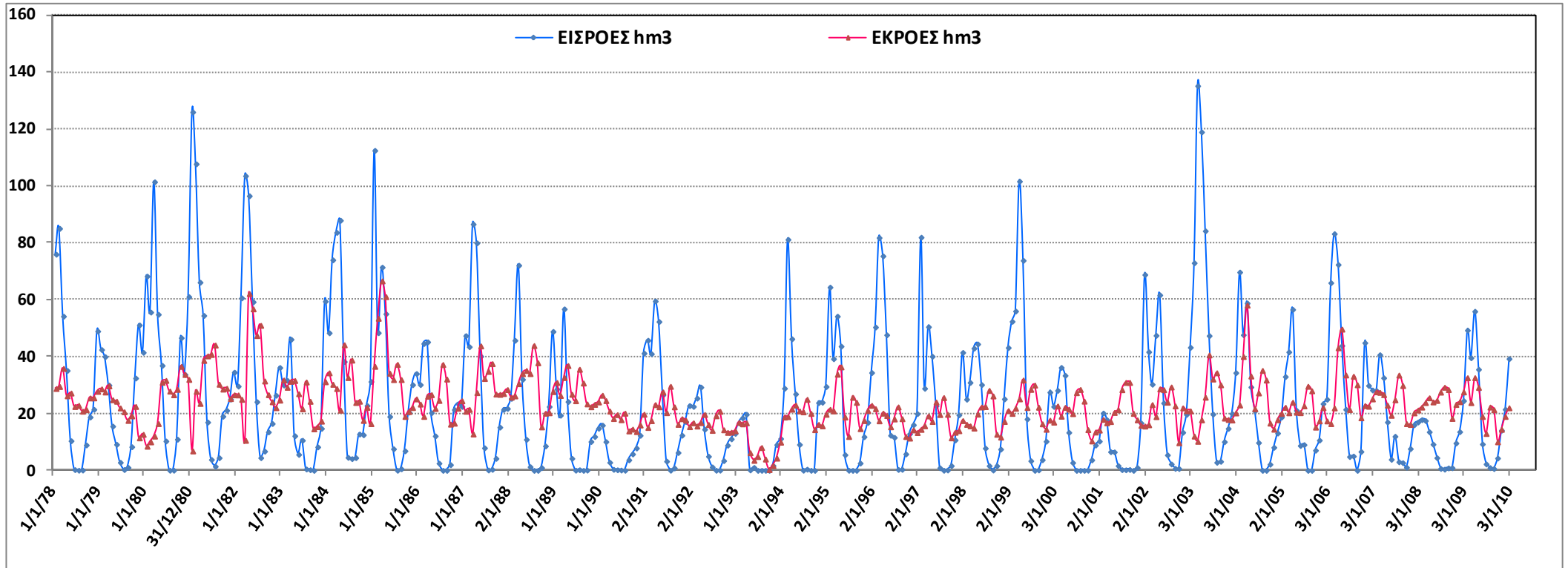
7.5.2 Εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές

Κρίσιμος παράμετρος της μελέτης της ποιοτικής κατάστασης ενός λιμναίου συστήματος είναι η μεταβολή της στάθμης του. Αυτή εξαρτάται από τις εισροές (διαχυτές επιφανειακές απορροές, σημειακές εισροές ποταμών, ρεμάτων κλπ) και τις εκροές (απολήψεις, διαφυγές κλπ) Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεταβολή της στάθμης της λίμνης Υλίκη για το διάστημα της προσομοίωσης των 32 ετών(1978-2009)



Σχήμα 49 : Χρονοσειρά στάθμης λίμνης Υλίκη

Οι αντίστοιχες παροχές εισροής και εκροής από τη λίμνη την 32ετή περίοδο προσομοίωσης παρουσιάζονται στη συνέχεια



Σχήμα 50 : Λίμνη Γλίκη εισροές και εκροές σε hm³ στη διάρκεια της προσομοίωσης



Οι εισροές και εκροές είναι δυναμικές εξωτερικές μεταβλητές και μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια κάθε εξεταζόμενου έτους. Με βάση τις τιμές τους αναπτύσσονται χρονοσειρές, που περιλαμβάνουν ημερήσιες παροχές συνολικής εισροής και εκροής. Οι χρονοσειρές καλύπτουν το διάστημα της προσομοίωσης από 1-1-1978 έως και 31-12-2009 και εισάγονται ως δεδομένα στο λογισμικό Λέρνη.

7.5.3 Φορτία

Τα ρυπαντικά φορτία που καταλήγουν στην λίμνη Υλίκη είναι αγροτοκτηνοτροφικής και αστικής προέλευσης. Μεταφέρονται μέσω των επιφανειακών απορροών, οι δε πηγές τους κατατάσσονται στις μη σημειακές – διαχυτές πηγές ρύπανσης.

Φορτία (kg/έτος) Μη σημειακές Πηγές Ρύπανσης

Πίνακας 72: Λίμνη Υλίκη Ρυπαντικά φορτία από μη-σημειακές πηγές

	TN kg/έτος	TP kg/έτος	BOD kg/έτος	Κατανομή φορτίων
Αστικές περιοχές	27,8 N-NH 80% & N-NO 20%	1,45 100% IP	486,48	Ισοκατανομή σε όλο το έτος
Καλλιέργειες	13154 N-NO 80% & N-NH 20%	19612 100% IP	—	Μάϊος έως Σεπτέμβριος 60% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα Οκτώβριος έως Απρίλιος 40% των φορτίων Φορτία ισοκατανεμημένα ανά μήνα
Κτηνοτροφία	1859 N-NO 30% & N-NH 70%	1042,46 100% IP	26751,8	Ισοκατανομή σε όλο το έτος

Για τα φορτία αγροτικής προέλευσης ελήφθησαν υπόψη οι ιδιαιτερότητες των καλλιεργούμενων εκτάσεων (χρήση λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων και περίοδοι χρήσης τους). Έτσι λοιπόν θεωρήθηκε ότι το 20% του συνολικού φορτίου του αζώτου αντιστοιχεί στο αμμωνιακό άζωτο και το 80% στις οξειδωμένες μορφές του αζώτου. Τέλος γίνεται η παραδοχή ότι το 40% του συνολικού ρυπαντικού φορτίου των καλλιεργειών καταγράφεται τους μήνες Οκτώβριο έως και Απρίλιο, ενώ το υπόλοιπο 60% ισομοιράστηκε στους μήνες Μάϊο έως και Σεπτέμβριο..

Η καταχώρηση των εισερχόμενων θρεπτικών στο λογισμικό Λέρνη γίνεται,

- είτε με τη μορφή χρονοσειρών με ημερήσιες τιμές εισερχόμενων φορτίων που καλύπτουν το διάστημα της προσομοίωσης από 1-1-1978 έως και 31-12-2009,
- είτε με τη μορφή σταθερών τιμών ημερήσιων εισερχόμενων φορτίων. Οι σταθερές αυτές τιμές αντιστοιχούν στα kg ρύπου που εισέρχονται καθημερινά στη λίμνη, καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Τα φορτία με ισοκατανομή σε όλο το έτος καταχωρούνται στη Λέρνη με τη μορφή σταθερής τιμής kg / day, ενώ τα φορτία που μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους καταχωρούνται με τη μορφή χρονοσειρών ημερήσιων εισερχόμενων φορτίων. Για κάθε έτος της προσομοίωσης θα ληφθούν οι τιμές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων για τον πρώτο χρόνο δηλαδή το 1978. Για τα δέκα έτη θα συμπεριληφθεί σχετική διόρθωση για το μήνα Φεβρουάριο.



7.5.4 Θερμοκρασία, Ηλιοφάνεια και φωτοπερίοδος

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη θερμοκρασία, ηλιοφάνεια και φωτοπερίοδο είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης της λίμνης Πλαστήρα.

Πίνακας 73 Εξισώσεις θερμοκρασίας - Ακτινοβολίας

Θερμοκρασία (T, °C)	$T = 3.8 + 10 \times (1 - \cos \frac{(t-21) \cdot 360}{365}) \times 3.14 / 180)$
Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (I ₀ cal/cm ²)	$I_0 = 120 + 192 (1 - \cos \frac{(t-30)360}{365})$
Φωτοπερίοδος ως κλάσμα της ημέρας (F)	$F = 0.320 + 0.200 (1 - \cos \frac{(t-30)360}{365})$

Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία και ένταση της ακτινοβολίας μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους, οι παραπάνω εξισώσεις χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη χρονοσειρών με ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας και έντασης ακτινοβολίας. Οι χρονοσειρές καλύπτουν το διάστημα της προσομοίωσης 1-1-1978 έως 31-12-2009 και εισάγονται ως δεδομένο στο λογισμικό Λέρνη. Για κάθε έτος της προσομοίωσης θα ληφθούν οι τιμές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων για τον πρώτο χρόνο δηλαδή το 1978. Για τα δίσεκτα έτη θα συμπεριληφθεί σχετική διόρθωση για το μήνα Φεβρουάριο.

7.5.5 Επιπρόσθετα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης

Γεωμετρία (βαθυμετρία)

Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της λίμνης γίνεται βάσει των διαθέσιμων μετρήσεων στάθμης, επιφάνειας και αποθέματος - όγκου

Πίνακας 74 Λίμνη Υλίκη Μετρήσεις στάθμης, επιφάνειας και αποθέματος

Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (hm ³)
40	0,0	0,0
41	1,0	0,4
42	3,6	2,5
43	5,8	7,2
44	7,4	13,8
45	8,3	21,7
46	8,8	30,2
47	9,3	39,3
48	9,7	48,8
49	10,2	58,7
50	10,7	69,2
51	11,3	80,2
52	11,9	91,8
53	12,5	104,0
54	13,1	116,8
55	13,6	130,2
56	14,1	144,0
57	14,5	158,3
58	15,0	173,1
59	15,4	188,3
60	15,8	203,9



Στάθμη (m)	Επιφάνεια (km ²)	Απόθεμα (hm ³)
61	16,2	219,9
62	16,6	236,3
63	16,9	253,0
64	17,3	270,1
65	17,7	287,6
66	18,0	305,5
67	18,4	323,7
68	18,8	342,3
69	19,2	361,3
70	19,6	380,7
71	20,0	400,5
72	20,4	420,7
73	20,8	441,3
74	21,2	462,3
75	21,7	483,7
76	22,5	505,8
77	22,8	528,5
78	23,3	551,5
79	24,1	575,2
80	24,9	599,7

Για την εκτέλεση της προσομοίωσης καταχωρήθηκαν στο λογισμικό Λέρνη τα παραπάνω δεδομένα γεωμετρίας της λίμνης με μόνη διαφοροποίηση αντί της στάθμης 40 m χρησιμοποιήθηκε η στάθμη 40.3 m που αντιστοιχεί σε μη μηδενικές τιμές επιφάνειας και αποθέματος. Ο προσδιορισμός των δεδομένων για τη στάθμη 40,3 m έγινε με γραμμική παρεμβολή

Αρχικές Συνθήκες

Η αρχική ποιοτική κατάσταση της λίμνης καθορίζεται από τις παρακάτω συγκέντρωσεις Chl-a (χλωροφύλλης), IP(ανόργανου φώσφορου), OP(οργανικού φώσφορου), N-NH(αμμωνιακού αζώτου), N-NO(νιτρικών), DO(διαλυμένου οξυγόνου), OC(BOD)

Chl-a	0,005	mg/lit	N-NH	0,03	mg/lit
IP	0,03	mg/lit	N-NO	0,5	mg/lit
OP	0,005	mg/lit	DO	9	mg/lit
OC	0,02	mg/lit			

Η αρχική στάθμη αντιστοιχεί στην τιμή της στάθμης την ημέρα έναρξης της προσομοίωσης δηλαδή την 1-1-1978. Αυτή είναι 49,7m

7.5.6 Σενάρια Λειτουργίας

Τα σενάρια λειτουργίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

1. Σε αυτά που μελετάται το σύνολο των εισερχόμενων φορτίων



2. Σε αυτά που μελετώνται απομειωμένα εισερχόμενα φορτία. Η χρήση απομειωμένων φορτίων εξετάζεται στα πλαίσια διερεύνησης του περιορισμού των επιπτώσεων τους στην ποιοτική κατάσταση της λίμνης

Για κάθε σενάριο λειτουργίας του ταμιευτήρα Υλίκης θα εκτελεστεί Προσδιοριστική προσομοίωση (απλή προσομοίωση) για την περίοδο 1-1-1978 έως και 31-12-2009. Επιπλέον κατά τη διεξαγωγή της προσομοίωσης εφαρμόζονται τα παρακάτω:

- Μέθοδος ολοκλήρωσης Euler, χρονικό βήμα ολοκλήρωσης μισή ώρα
- Η λίμνη θεωρείται στοιχείο πλήρους μίξης και δεν είναι στρωματοποιημένη
- Η προσομοίωση επαναλήφθηκε 3 φορές, έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές των παραμέτρων (α) να είναι ανεξάρτητες από τις αρχικές συνθήκες και (β) να χαρακτηρίζονται από περιοδικότητα.(γ) να αντιστοιχούν σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας της λίμνης. Δηλαδή για σταθερές τιμές εξωτερικών μεταβλητών και γεωμετρίας λίμνης όσες φορές και αν επαναληφθεί η προσομοίωση τα αποτελέσματα δε διαφοροποιούνται. Στη 2η και 3η προσομοίωση ως αρχικές συνθήκες χρησιμοποιούνται οι τιμές της 31-12-2000 της 1ης και 2ης προσομοίωσης αντίστοιχα. Λαμβάνουμε υπόψη τα αποτελέσματα της τρίτης προσομοίωσης .

Η ποιοτική κατάσταση του μελετώμενου ταμιευτήρα κρίνεται ικανοποιητική εφόσον στα αποτελέσματα της προσομοίωσης :

4. ο Ολικός Φώσφορος (TP) $\leq 30 \mu\text{g/l}$
5. το Ολικό Άζωτο(TN) $\leq 1\text{mg/l}$
6. η Χλωροφύλλη (Chl-a) $\leq 10 \mu\text{g/l}$

7.5.7 ΛΙΜΝΗ ΥΛΙΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

7.5.7.1 Αρχικό σενάριο : Μελέτη του συνόλου των εισερχόμενων φορτίων

Στα πλαίσια του αρχικού σεναρίου εκτελείται μαθηματική προσομοίωση για τον προσδιορισμό της μεταβολής της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Υλίκη. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το Λογισμικό ΛΕΡΝΗ και λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των εξωτερικών μεταβλητών.

Ακολουθεί η Συγκριτική ή μεμονωμένη παρουσίαση της διακύμανσης των εξεταζόμενων παραμέτρων από 1-1-78 έως και 31-12-09.



Σχήμα 51 Συγκριτική παρουσίαση της διακύμανσης των εξεταζόμενων παραμέτρων από 1-1-78 έως και 31-12-09



Σχήμα 52 Λίμνη Γλίκη Διακύμανση όγκου m^3 από 1-1-78 έως και 31-12-09



Σχήμα 53 Λίμνη Γλίκη Διακύμανση επιφάνειας m^2 από 1-1-78 έως και 31-12-09



Σχήμα 54 Λίμνη Γλίκη Διακύμανση στάθμης m από 1-1-78 έως και 31-12-09



Πίνακας 75 Λίμνη Υλίκη : Ετήσια Διακύμανση μελετώμενων παραμέτρων

	Chl-a mg/lit	IP mg/lit	OP mg/lit	N-NH mg/lit	N-NO mg/lit	OC mg/lit
Περίοδος Μαχ τιμής κατά προσέγγιση	Ιανουάριος Φεβρουάριος	Οκτώβριος Νοέμβριος	Αύγουστος Σεπτέμβριος	Απρίλιος Μάιος	Ιούλιος	Ιανουάριος Φεβρουάριος
Περίοδος Μίν τιμής κατά προσέγγιση	Ιούλιος	Απρίλιος	Ιανουάριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Ιούλιος

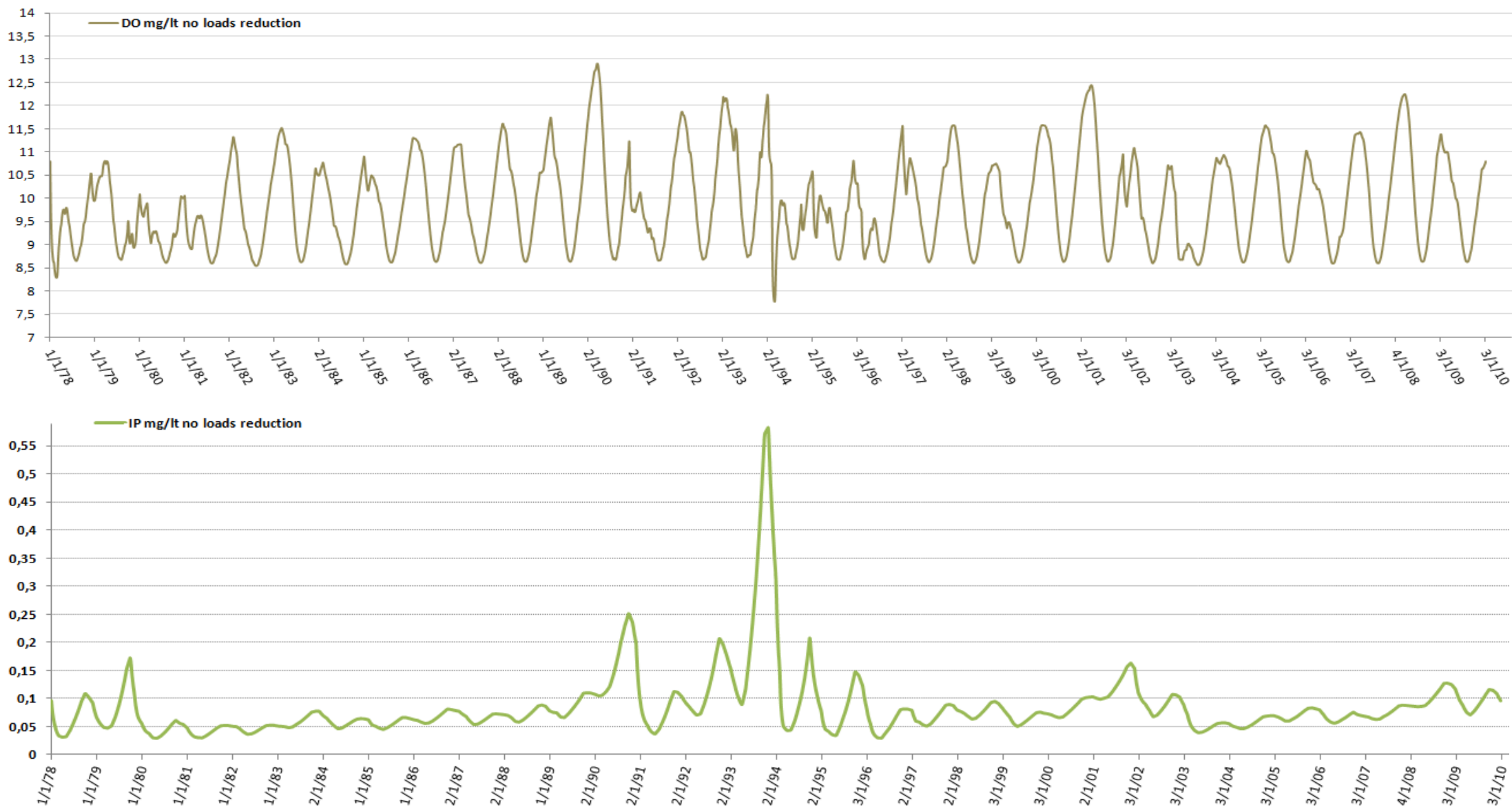
Με βάση την παραπάνω συγκριτική παρουσίαση της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των παραμέτρων για κάθε εξεταζόμενη στάθμη παρατηρείται ότι :

- η διακύμανση των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων παραμέτρων εξαρτάται από την τιμή του όγκου της λίμνης. Ειδικότερα όταν καταγράφεται μείωση του όγκου-αποθέματος παρατηρείται αύξηση των τιμών των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων παραμέτρων. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις μειώνονται στην περίπτωση που καταγράφεται αύξηση του όγκου-αποθέματος. Μεγιστοποίηση των τιμών των συγκεντρώσεων των εξεταζόμενων παραμέτρων λόγω μείωσης του όγκου της λίμνης, παρατηρείται από τις αρχές μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990.
- την περίοδο Αύγουστος – Φεβρουάριος καταγράφεται μεγάλη ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί
 - στην αυξημένη εισροή θρεπτικών αγροτικής προέλευσης που προηγείται. Ειδικότερα από το Μάιο έως και Σεπτέμβριο απορρέει στη λίμνη το 60% των συνολικών εισροών από καλλιέργειες
 - στις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο τέλος καλοκαιριού και τους πρώτους μήνες του φθινόπωρου
- οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου (DO) είναι της τάξης των τιμών κορεσμού, κυμαίνονται από 8 - 13 mg/lit. Η αύξηση ή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου συμβαδίζει με την αντίστοιχη αύξηση ή μείωση της χλωροφύλλης. Έτσι λοιπόν οι χαμηλότερες τιμές DO παρατηρούνται στο μέσο του καλοκαιριού οπότε και καταγράφονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις Chl-a, καθώς και διαφυγές DO λόγω αυξημένων θερμοκρασιών.
- για να αναπτυχθεί το φυτοπλαγκτόν δεσμεύει ολόένα και περισσότερα IP, N-NH και δευτερεύοντος N-NO. Έτσι λοιπόν όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της Chl-a τόσο μειώνεται η αντίστοιχη των IP, N-NH και N-NO. Ειδικότερα ο IP και οι επιμέρους μορφές του ολικού αζώτου μειώνονται την ίδια στιγμή που η χλωροφύλλη-φυτοπλαγκτόν αυξάνεται. Κατά προσέγγιση οι μέγιστες συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, σημειώνονται σε αντιστοιχία με τις ελάχιστες συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης Chl-a, ενώ οι ελάχιστες σε αντιστοιχία με τις μέγιστες συγκεντρώσεις Chl-a .
- καταγράφεται χρονική υστέρηση στη μεγιστοποίηση του N-NO έναντι του N-NH. Καταρχήν μεγιστοποιείται το N-NH ταυτόχρονα όμως νιτροποιείται προς N-NO με συνέπεια να άρχεται η μείωση του και να ακολουθεί η μεγιστοποίηση του N-NO.

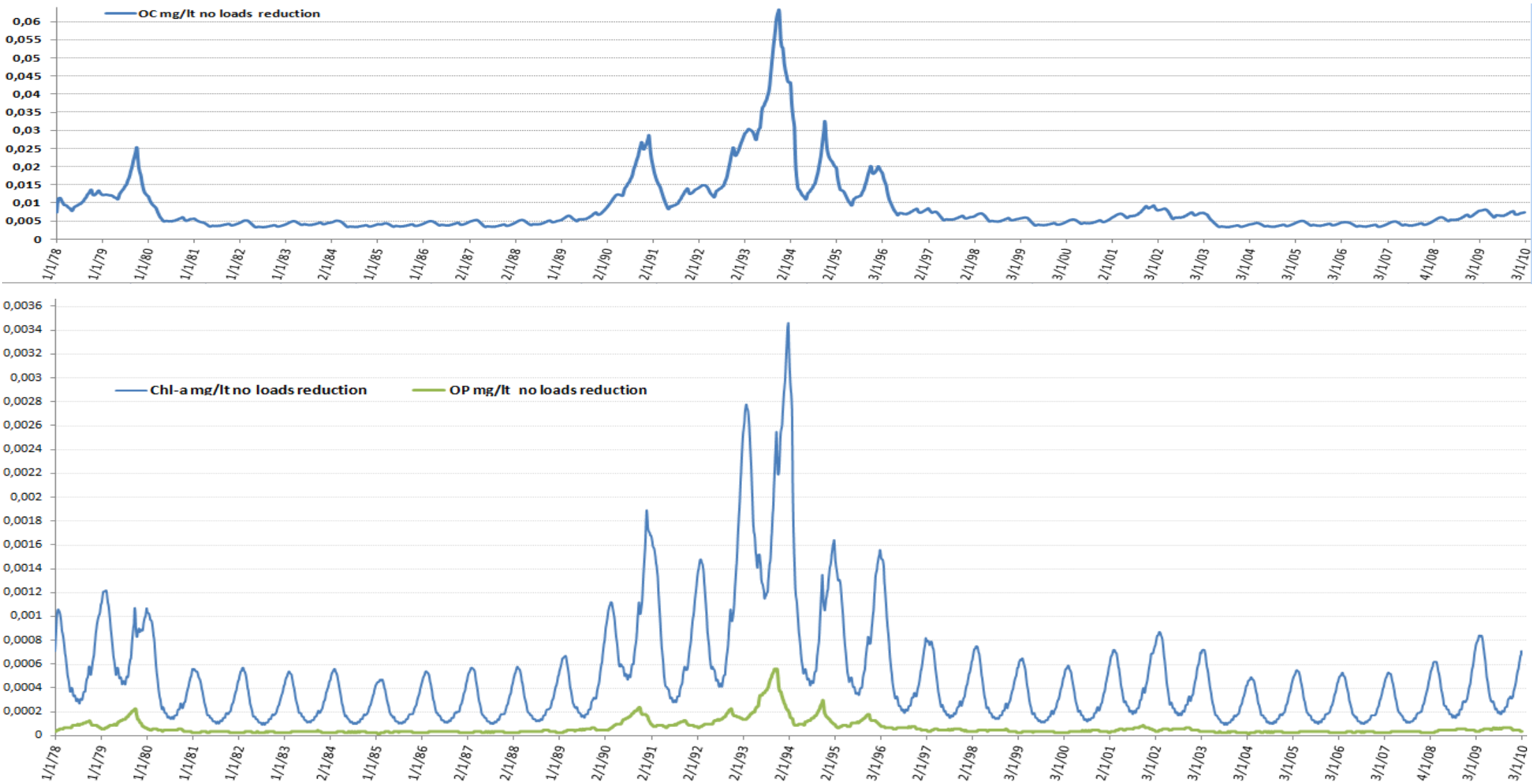


6. Στην περίπτωση του οργανικού φώσφορου(OP) οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρές , δεν ξεπερνούν το δέκατο του μg και δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την ποιοτική κατάσταση της λίμνης. Οι χαμηλές τιμές τους αποδίδονται κυρίως στην μετατροπή τους σε ανόργανο φώσφορο. Ως αποτέλεσμα καταγράφεται χρονική υστέρηση στη μεγιστοποίηση του IP έναντι του OP. Καταρχήν μεγιστοποιείται το OP ταυτόχρονα όμως μετασχηματίζεται προς IP με συνέπεια να άρχεται η μείωση του και να ακολουθεί η μεγιστοποίηση του IP.
7. η μεγιστοποίηση και ελαχιστοποίηση του οργανικού άνθρακα (OC) συμβαδίζει σε γενικές γραμμές με την αντίστοιχη του φυτοπλαγκτόν. Σύμφωνα με το μοντέλο ευτροφισμού διαλυμένου οξυγόνου κατά τη μείωση του φυτοπλαγκτόν ο περιεχόμενος σε αυτά οργανικός άνθρακας είτε οξειδώνεται προς CO_2 είτε καθιζάνει και εν μέρει ακινητοποιείται στο βυθό. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης του οργανικού άνθρακα στο στοιχείο πλήρους μίξης, δηλαδή την εξεταζόμενη λίμνη.
8. οι αυξημένες τιμές του ανόργανου φωσφόρου σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η χλωροφύλλη δεν παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν είναι ο φώσφορος περιοριστικός παράγοντας αλλά το άζωτο. Έτσι λοιπόν οι ποσότητες του φωσφόρου που εισρέουν στη λίμνη είναι αυξημένες και τα άλγη έχοντας σε αφθονία τον φώσφορο αναπτύσσονται εξαρτώμενα κυρίως από το νιτρικό ή αμμωνιακό άζωτο.
9. Η μείωση του N-NH mg/l ξεκινά μετά το μέσον της άνοιξης. Οφείλεται τόσο στην αυξημένη νιτροποίηση(ευνοείται από στις αυξημένες θερμοκρασίες άνοιξης - καλοκαιριού) όσο και στον περιορισμό της εισροής N-NH μέσω αγροτικών απορροών(από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο). Επιπλέον η μείωση αποδίδεται και στη μεγαλύτερη δέσμευση N-NH από το φυτοπλαγκτόν. Την περίοδο Αυγούστος – Φεβρουάριος καταγράφεται μεγάλη ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν, γεγονός που συσχετίζεται τόσο με την αυξημένη από το Μάιο έως και Σεπτέμβριο εισροή θρεπτικών αγροτικής προέλευσης (απορρέει στη λίμνη το 60% των συνολικών εισροών από καλλιέργειες), όσο και με τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο τέλος καλοκαιριού και τους πρώτους μήνες του φθινόπωρου.

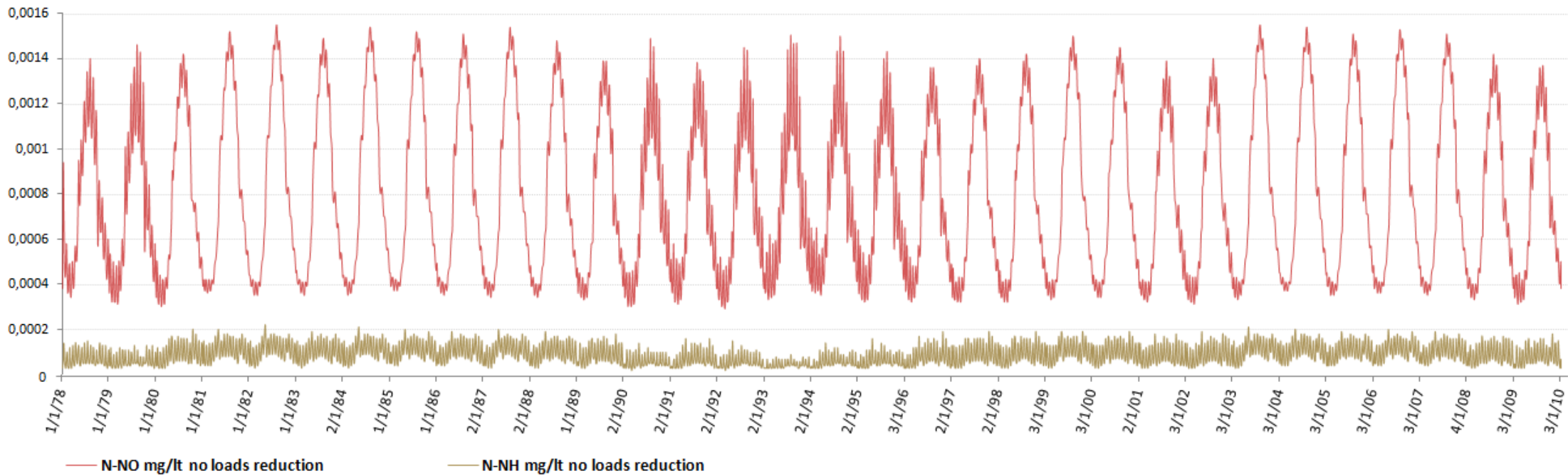
Ακολουθεί μεμονωμένη παρουσίαση της διακύμανσης των εξεταζόμενων παραμέτρων από 1-1-78 έως και 31-12-09.



Σχήμα 55 Λίμνη Γλίκη Διακύμανση IP & DO mg/Lt από 1-1-78 έως και 31-12-09



Σχήμα 56 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση Chl-a OP , OC mg/Lt από 1-1-78 έως και 31-12-09



Σχήμα 57 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση N-NH / N-NO mg/lt από 1-1-78 έως και 31-12-09



7.5.7.2 Λίμνη Υλίκη : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης χωρίς απομείωση ρυπαντικών φορτίων

Η ποιοτική κατάσταση του μελετώμενου Λιμναίου οικοσυστήματος κρίνεται ως αποδεκτή όταν

- στην εφαρμοζόμενη στάθμη λειτουργίας οι μέγιστες τιμές Chl-a , TP , TN να είναι \leq από 10 , 30, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$ αντίστοιχα
- διασφαλίζεται καλή ποιότητα των υδάτων του λιμναίου οικοσυστήματος

7.5.7.2.1 Λίμνη Υλίκη : Μελέτη της Ποιοτικής κατάστασης βάσει max αποδεκτών τιμών Chl-a , TP , TN

Η αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης Υλίκη βάσει max επιτρεπτών τιμών Chl-a, TN, TP περιλαμβάνει τον έλεγχο της συμμόρφωσης ή μη συμμόρφωσης της ποιοτικής κατάστασης της στα ανώτερα αποδεκτά όρια θρεπτικών (Chl-a , TP , TN είναι \leq από 10 , 30, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$).

	Chl-a	IP	OP	N-NH	N-NO
AVERAGE mg/lt	0,000499	0,083178	6,82E-05	8,93E-05	0,000795

Παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές της Chl-a και TN(N-NH + N-NO) είναι εντός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή Chl-a, TN να είναι \leq από 10, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$ αντίστοιχα. Αντίθετα οι τιμές IP και TP υπερβαίνουν τις ανώτατες επιθυμητές τιμές των 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Επομένως απαιτείται η λήψη μέτρων περιορισμού των ρυπαντικών φορτίων TP και η προσομοίωση σεναρίων λειτουργίας με μειωμένα ρυπαντικά φορτία. Στόχος είναι οι μέσες τιμές TP για το διάστημα των 32 ετών της προσομοίωσης να είναι της τάξης των 30 μg

7.5.7.2.2 Λίμνη Υλίκη : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων

Τα λιμναία οικοσυστήματα βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους και ειδικότερα των μέγιστων ετησίων συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης κατηγοριοποιούνται ως εξής

Πίνακας 76: Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.

Μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Χαρακτηρισμός/κατηγορία
<5	Πολύ καλή ποιότητα/ I
5-10	Καλή ποιότητα / II
10-20	Μέτρια ποιότητα/ III
20-50	Κακή ποιότητα/ IV
>50	Πολύ κακή ποιότητα/ V

Σύμφωνα με τη διαγραμματική παρουσίαση της διακύμανσης Chl-a mg/lt , που προηγήθηκε, κατά τη διάρκεια της απλής προσομοίωσης η μέγιστη τιμή Chl-a mg/lt είναι της τάξης των 3,6 $\mu\text{g}/\text{lt}$ < 5 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Επομένως η λίμνη κατατάσσεται στην κατηγορία I.

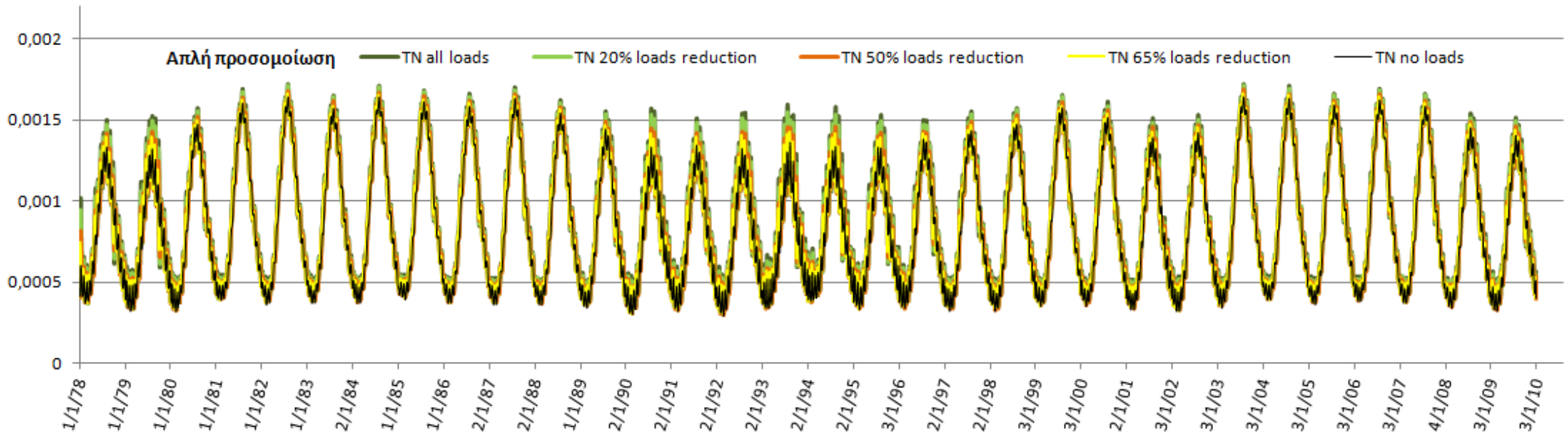


7.5.7.3 Λίμνη Υλίκη Σενάρια Λειτουργίας με απομειωμένα εισερχόμενα φορτία

Η επίτευξη μέσω των τιμών TP της τάξης των 30 μg για το διάστημα των 32 ετών της προσομοίωσης καθίσταται δυνατή μέσω της απομείωσης των εισερχόμενων φορτίων αγροτικής και κτηνοτροφικής προέλευσης. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω φορτίων αστικής προέλευσης είναι περιορισμένη, για αυτό το λόγο δεν εξετάζεται η απομείωση τους.

Μελετήθηκαν σενάρια ταυτόχρονης μείωσης φορτίων αγροτικής και κτηνοτροφικής προέλευσης κατά 20, 50 και 65%. Στο σενάριο απομείωσης 65% οι μέσες τιμές TP, που επιτυγχάνονται για το διάστημα των 32 ετών της προσομοίωσης είναι της τάξης των 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των εξεταζόμενων σεναρίων για τη χλωροφύλλη, τις επιμέρους μορφές φωσφόρου και αζώτου, το διαλυμένο οξυγόνο και τον οργανικό άνθρακα. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τις ημερήσιες και μέσες τιμές των Chl-a, TP, TN, OC, DO για το διάστημα της 32ετούς απλής - προσδιοριστικής προσομοίωσης.

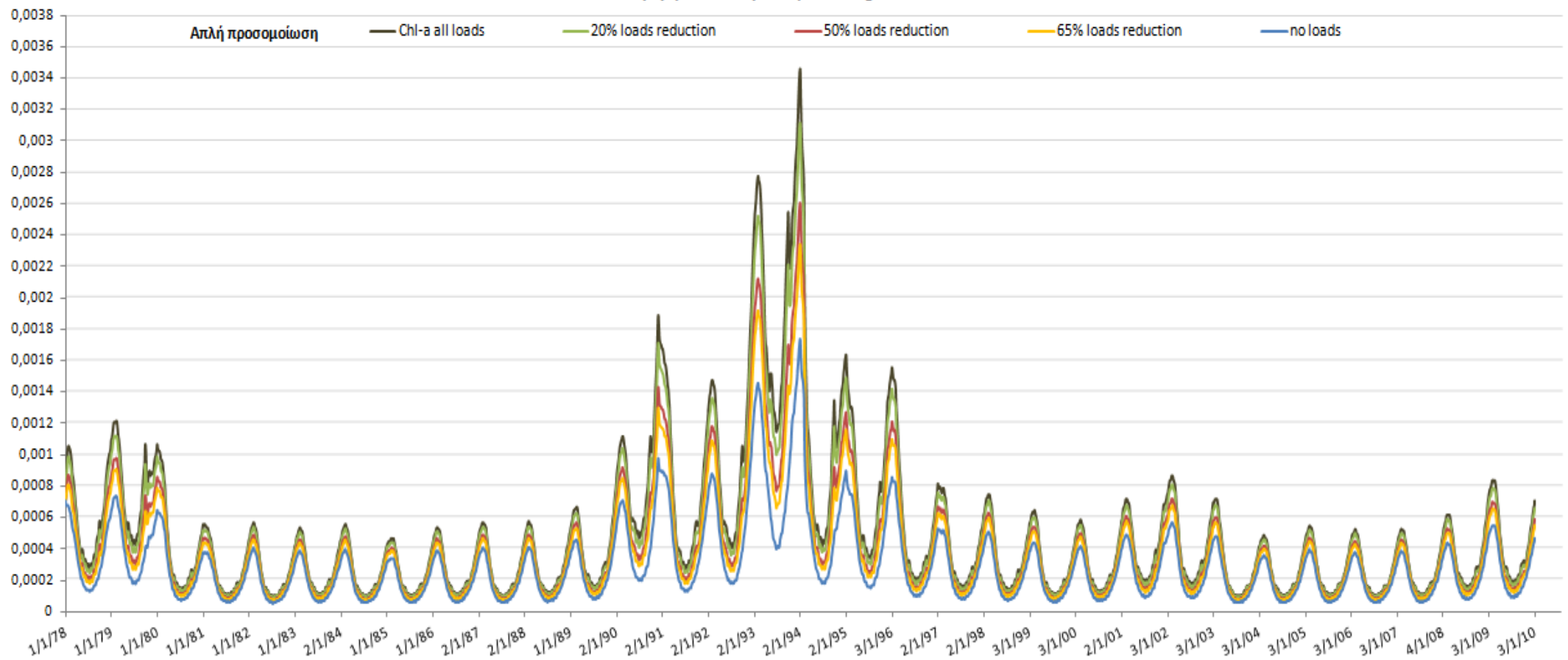
Λίμνη Υλίκη Σενάρια απομείωσης Φορτίων
Ημερήσια Διακύμανση TN mg/lt



Σχήμα 58 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση TN για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης



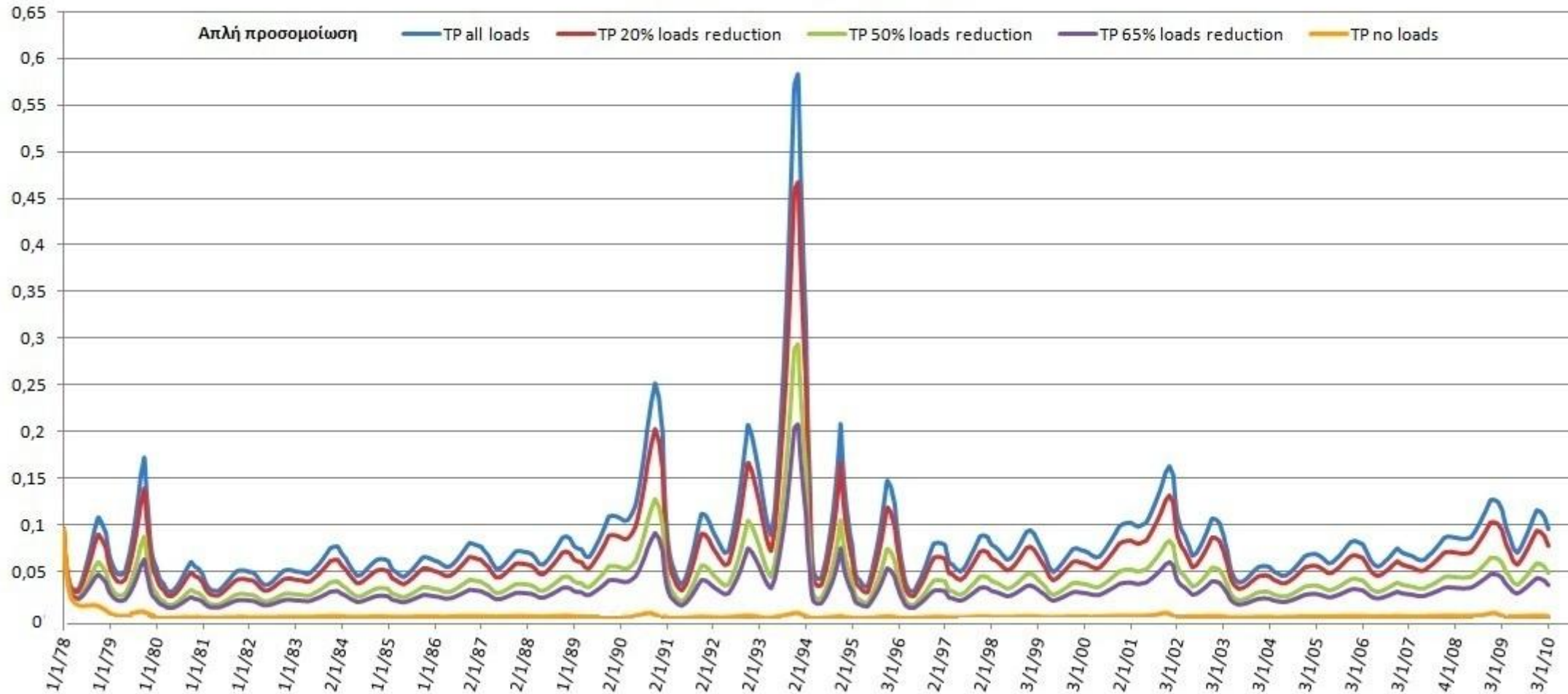
Λίμνη Υλίκη Σενάρια απομειωμένων φορτίων
Ημερήσια διακύμανση Chl-a mg/l



Σχήμα 59 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση Chl-a για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης



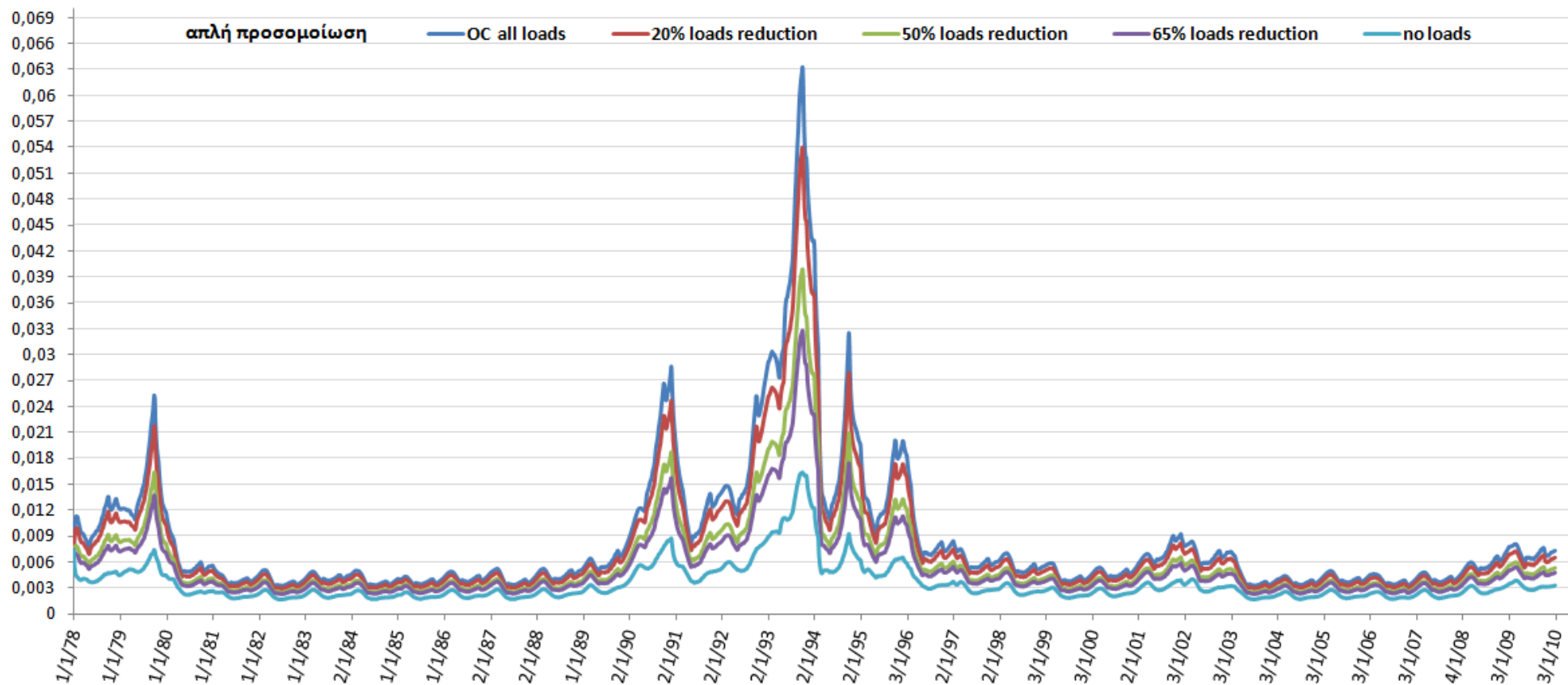
Λίμνη Υλίκη Σενάρια απομειωμένων φορτίων Ημερήσια διακύμανση TP mg/l



Σχήμα 60 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση TP για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης



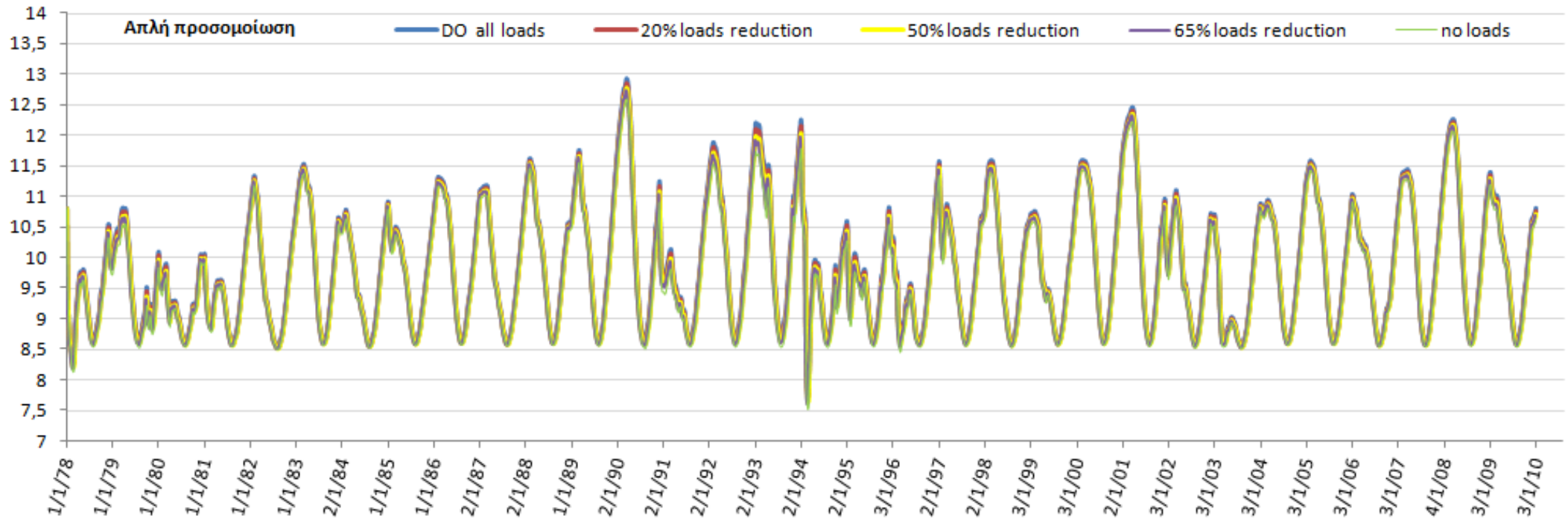
Λίμνη Υλίκη Σενάρια απομείωσης φορτίων
Ημερήσια διακύμανση OC mg/l



Σχήμα 61 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση OC για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης



Λίμνη Υλίκη Σενάρια απομείωσης Φορτίων Ημερήσια Διακύμανση DO mg/l

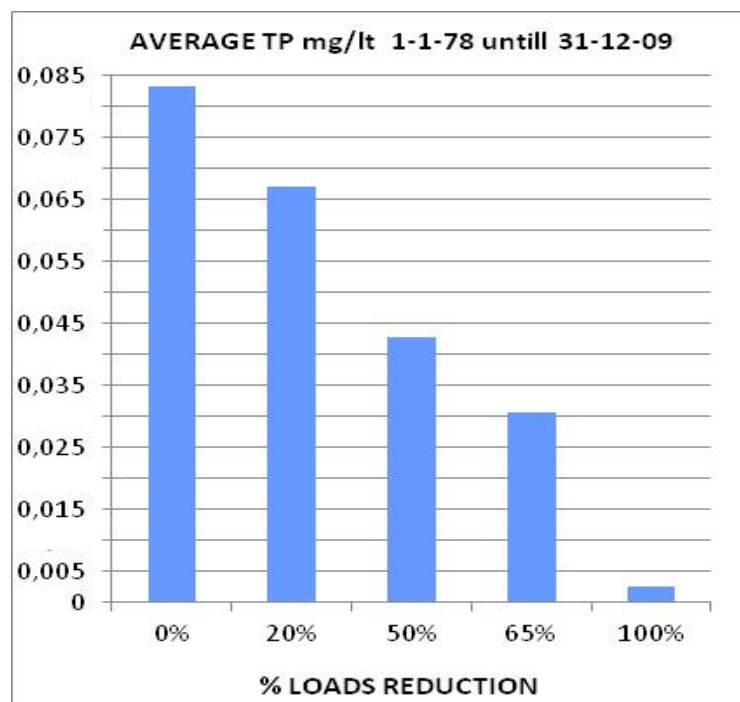
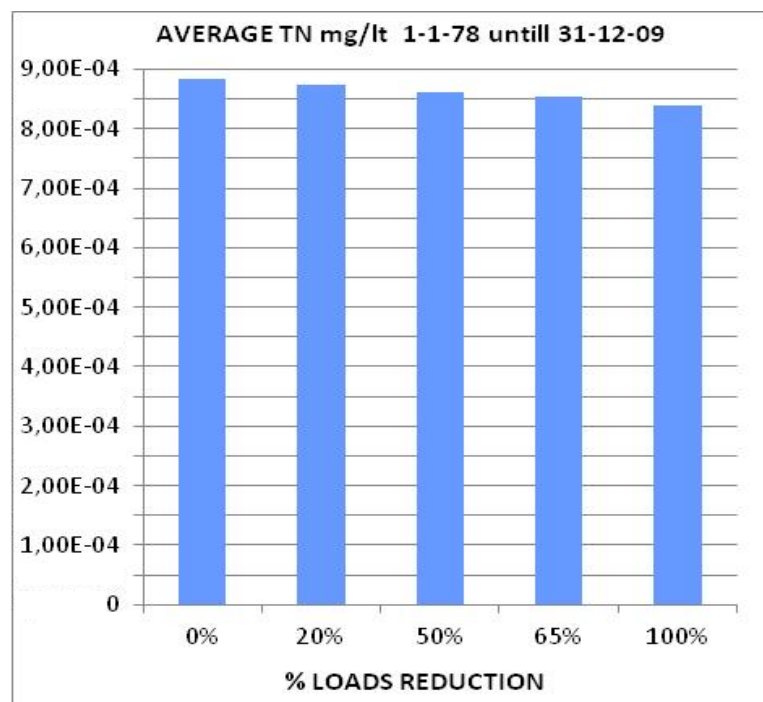


Σχήμα 62 Λίμνη Υλίκη Διακύμανση DO για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης

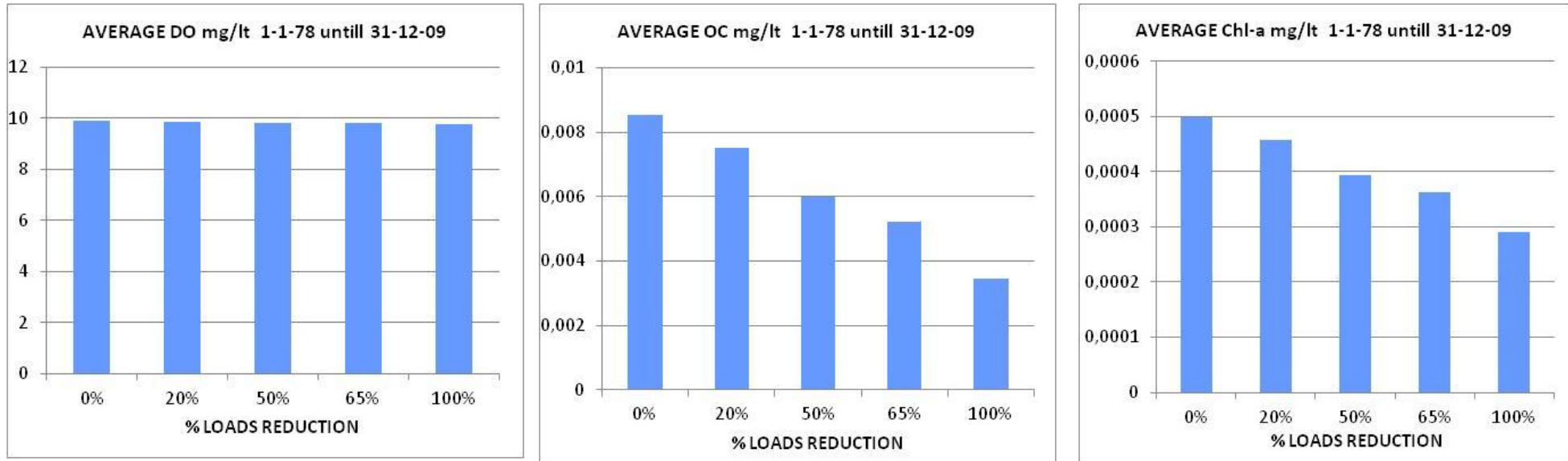


Πίνακας 77 Μέσες τιμές εξεταζόμενων παραμέτρων για διάφορα σενάρια μείωσης φορτίων αγροκτηνοτροφικής προέλευσης

		Μέση τιμή Chl-a mg/l 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή TP mg/l 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή TN mg/l 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή DO mg/l 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή OC mg/l 1-1-78 έως 31-12-09
LOAD REDUCTION	0%	0,000498679	0,083246289	0,000884181	9,897012313	0,008515998
	20%	0,000456849	0,067093185	0,000874673	9,86769295	0,007504147
	50%	0,000394245	0,042863578	0,00086074	9,821891586	0,005986259
	65%	0,000362924	0,030749077	0,00085398	9,798150688	0,005227349
	100%	0,000289705	0,00248074	0,000838811	9,740384964	0,003456387



Σχήμα 63 Λίμνη Υλίκη Μέσες τιμές TN/ TP στο διάστημα της προσομοίωσης



Σχήμα 64 Λίμνη Υλίκη Μέσες τιμές DO/ OC / Chl-a στο διάστημα της προσομοίωσης



7.5.7.4 Λίμνη Υλίκη : Αξιολόγηση της Ποιοτικής Κατάστασης βάσει της απλής προσδιοριστικής προσομοίωσης με απομείωση ρυπαντικών φορτίων

Η διαδικασία αξιολόγησης της ποιοτικής κατάστασης στην περίπτωση εφαρμογής απομειωμένων ρυπαντικών φορτίων είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στην περίπτωση της μελέτης του 100% των φορτίων (παράγραφος 5.5.7.2)

7.5.7.4.1 Λίμνη Υλίκη : Ποιοτική κατάσταση βάσει μεθοδολογίας max αποδεκτών τιμών Chl-a , TP , TN

Για να είναι αποδεκτή η ποιοτική κατάσταση της λίμνης θα πρέπει οι μέσες τιμές Chl-a, TP και TN που προέκυψαν από την εφαρμογή της απλής προσομοίωσης 32 ετών για απομειωμένα φορτία αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης να είναι \leq από 10 , 30, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$ αντίστοιχα.

Πίνακας 78 Λίμνη Πλαστήρα Προσδιοριστική Προσομοίωση : Μέση τιμή TN, TP, Chl-a mg/lt

		Μέση τιμή Chl-a mg/lt 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή TP mg/lt 1-1-78 έως 31-12-09	Μέση τιμή TN mg/lt 1-1-78 έως 31-12-09
LOAD REDUCTION	0%	0,000498679	0,083246289	0,000884181
	20%	0,000456849	0,067093185	0,000874673
	50%	0,000394245	0,042863578	0,00086074
	65%	0,000362924	0,030749077	0,00085398
	100%	0,000289705	0,00248074	0,000838811

Παρατηρούμε ότι σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια οι μέσες τιμές της Chl-a και TN(N-NH + N-NO) είναι εντός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή Chl-a, TN να είναι \leq από 10, 1000 $\mu\text{g}/\text{lt}$ αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές TP προσεγγίζουν το ανώτερο αποδεκτό όριο των 30 $\mu\text{g}/\text{lt}$ στο σενάριο μείωσης 65%. Επομένως η ποιοτική κατάσταση της λίμνης είναι αποδεκτή εφόσον προηγηθεί μείωση φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης κατά τουλάχιστον 65%.

7.5.7.4.2 Λίμνη Υλίκη : Διασφάλιση καλής ποιότητας των υδάτων

Τα λιμναία οικοσυστήματα κατηγοριοποιούνται βάσει των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους και ειδικότερα των μέγιστων ετησίων συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης ως εξής

Πίνακας 79: Χαρακτηρισμός ποιότητας νερού και κατάταξης λιμνών.

Μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Χαρακτηρισμός/κατηγορία
<5	Πολύ καλή ποιότητα/ I
5-10	Καλή ποιότητα / II
10-20	Μέτρια ποιότητα/ III
20-50	Κακή ποιότητα/ IV
>50	Πολύ κακή ποιότητα/ V



Σύμφωνα με τη διαγραμματική παρουσίαση της ημερήσιας διακύμανσης Chl-a mg/l, που παρατέθηκε στην παράγραφο "λίμνη Υλίκη Σενάρια Λειτουργίας με απομειωμένα εισερχόμενα φορτία" η μέγιστη τιμή Chl-a mg/l κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια απομείωσης φορτίων είναι της τάξης των 3,6μg/ <5 μg/l. Επομένως η λίμνη κατατάσσεται στην κατηγορία Ι.

7.5.8 Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενα Μέτρα μείωσης ρυπαντικών φορτίων

Όπως ήδη αναφέρθηκε η επίτευξη αποδεκτής ποιοτικής κατάστασης απαιτεί την απομείωση των εισερχόμενων σε αυτή φορτίων αγροτο-κτηνοτροφικής προέλευσης κατά τουλάχιστον 65%. Η απομείωση των ρυπαντικών φορτίων γίνεται πριν την εκροή των απορροών στη λίμνη ή σε υδατικά συστήματα-που καταλήγουν στη λίμνη.

Ο περιορισμός των φορτίων κτηνοτροφικής προέλευσης επιμερίζεται στη μείωση των φορτίων εσταυλισμένης και μη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας κατά 65% αντίστοιχα.

Ειδικότερα για την μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία συστήνεται η αποτροπή πόσης των εκτρεφόμενων ζώων στη λίμνη Υλίκη ή σε υδάτινους αποδέκτες που καταλήγουν σε αυτή. Ταυτόχρονα απαιτείται η προστασία της ποιοτικής κατάστασης των υφιστάμενων βοσκοτόπων, διατήρησης και περαιτέρω ανάπτυξης της φυτοκάλυψης τους. Η εφαρμογή των παραπάνω δράσης εξασφαλίζει τη μείωση των φορτίων TP, TN σε ποσοστό άνω του 65%.

Πίνακας 80 Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων από απορροές μη εσταυλισμένης κτηνοτροφίας

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου	Off-Stream Watering With Fencing Αποτροπή πόσης ζώων από ευαίσθητα υδατικά συστήματα με χρήση φράκτη	30%	25%	—
Μη εσταυλισμένη κτηνοτροφία	Off-Stream Watering Without Fencing Αποτροπή πόσης ζώων από ευαίσθητα υδατικά συστήματα χωρίς φράκτη	22%	15%	—
	Προστασία βοσκοτόπων και αύξηση της φυτοκάλυψης τους	60%	60%	—

Για την εσταυλισμένη κτηνοτροφία συστήνεται η εφαρμογή Ολοκληρωμένου συστήματος συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης & διάθεσης επιφανειακών απορροών και υγρών αποβλήτων της



κτηνοτροφικής μονάδας. Η εφαρμογή του εν λόγω συστήματος διασφαλίζει τη μείωση των φορτίων TP, TN και στερεών σε ποσοστό άνω του 70%.

Πίνακας 81 Λίμνη Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών εσταυλισμένης κτηνοτροφίας

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
<p>Διαχείριση Ζωικού Κεφαλαίου</p> <p>Εσταυλισμένη κτηνοτροφία</p>	<p>Ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης & διάθεσης επιφανειακών απορροών και υγρών αποβλήτων της κτηνοτροφικής μονάδας</p> <ul style="list-style-type: none"> - Συλλογή ομβρίων Drainage systems - Συστήματα εκτροπής εισερχόμενων απορροών Diversion systems - Ζωικά απόβλητα και απορροές εξωτερικών χώρων εσταυλισμού σε λεκάνες καταβύθισης Settling basins - Η εκροή της καταβύθισης οδηγείται σε λεκάνη κατακράτησης , εκεί συλλέγονται και άλλες απορροές Detention ponds - Η λεκάνη κατακράτησης εκρέει σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη Filter Strips 	70-90%	80%	70-80%

Όσον αφορά τον περιορισμό κατά 65% των φορτίων αγροτικής προέλευσης, που καταλήγουν στη λίμνη Υλίκη συστήνεται

1. Η επεξεργασία των αγροτικών απορροών με συστήματα διήθησης ή / και σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη. Η επιτυγχάνόμενη απομάκρυνση TP, TN και στερεών ξεπερνά το 65%.
2. Πέριξ της λίμνης και των υδάτινων αποδέκτων που καταλήγουν σε αυτή απαιτείται
 - η διατήρηση και περαιτέρω ανάπτυξη της παρόχθιας βλάστησης
 - η Διατήρηση - Αποκατάσταση υδροβιότοπων ή η Κατασκευή τεχνητών.

Τόσο στους υδροβιότοπους, όσο και στην παρόχθια βλάστηση οι απορροές αγροτικής γής υπόκεινται σε βιολογική επεξεργασία και μειώνονται τα φορτία τους, πριν καταλήξουν στη λίμνη. Η επιτυγχάνόμενη απομάκρυνση TP, TN και στερεών με την ταυτόχρονη επεξεργασία των απορροών σε υδροβιότοπους και στην παρόχθια βλάστηση ξεπερνά το 65%.



Πίνακας 82 Υλίκη Προτεινόμενες BMP's μείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών αγροτικής προέλευσης

	BMPs	ΠΟΣΟΣΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΩΝ		
		TP	TN	Στερεά -Φερτά υλικά
Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών	Παρόχθιες ζώνες βλάστησης , Riparian Forest Buffers /	40%	45,2%	53,3%
Οριοθέτηση Απομόνωση - υδάτινων αποδεκτών από καλλιέργειες & βοσκοτόπια	Παρόχθιες ζώνες βλάστησης Riparian Grass Buffers	40%	31,5%	53,3%
Διαχείριση Υδάτινων αποδεκτών Αποκατάσταση φυσικών υδατικών συστημάτων ή / και κατασκευή τεχνητών	Αποκατάσταση υδροβιότοπων ή Κατασκευή υδροβιότοπων (Wetlands)	55-60%	45-50%,	80%
Διαχείριση Υδατικών Πόρων & απορροών	Επεξεργασία με φυτοκάλυψη σε κανάλια Vegetated open channels – bioswale	έως 65%	έως 65%	έως 100%
	Επεξεργασία σε εκτάσεις με φυτοκάλυψη Filter strips (μείωση συγκεντρώσεων TP, TN, TSS)	έως 85%	έως 85%	έως 85%
	Μείωση ρυπαντικών φορτίων απορροών	Λεκάνες διήθησης, φίλτρα διήθησης Απομάκρυνση ρύπων με διήθηση των απορροών Ποσοστό απομάκρυνσης εξαρτάται από τη διαπερατότητα του εδάφους	85%	85%

Για την καλύτερη κατανόηση των προτεινόμενων μέτρων παρουσιάζεται παρακάτω φωτογραφικό υλικό από περιπτώσεις εφαρμογής τους



Εικόνα 18 Αντιμετώπιση ρυπαντικών φορτίων αγροτοκτηνοτροφικών απορροών με τη χρήση υδροβιότοπων



Εικόνα 19 Αντιμετώπιση ρυπαντικών φορτίων απορροών με τη χρήση υδροβιότοπων, παρόχθιας βλάστησης & άλλων μέσων φυτοκάλυψης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ



8 Συμπεράσματα

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

- η μελέτη της ποιοτικής κατάστασης των ταμιευτήρων Υλικής-Πλαστήρα με εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη.
- Η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του μοντέλου Λέρνη ως εργαλείο διαμόρφωσης και εφαρμογής εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων Λιμναίων συστημάτων

Τα συμπεράσματα της διεξαχθείσας μελέτης διερεύνησης παρατίθενται στη συνέχεια.

8.1 Αξιολόγηση του μοντέλου Λέρνη

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των παραμέτρων (Chl-a, TP, TN, OC, DO) της απλής προσομοίωσης της Λίμνης Πλαστήρα, με τις διαθέσιμες μετρήσεις πεδίου, διαπιστώθηκε ότι αυτά ήταν παραπλήσια. Επομένως

- η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου κρίνεται αποδεκτή
- το λογισμικό Λέρνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της ποιότητας λιμναίων συστημάτων, την εκτίμηση της διακύμανσης των υπεισερχόμενων παραμέτρων (Chl-a, TP, TN, OC, DO) και κατεπέκταση για την επιλογή των κατάλληλων μέτρων αντιρρύπανσης.

Βεβαίως η αξιολόγηση της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

8.2 Λίμνη Υλίκη

Η ποιοτική κατάσταση της λίμνης Υλίκη παρουσιάζει ανάμικτη εικόνα. Σε αυτήν επικρατούν αερόβιες συνθήκες (DO > 8 mg/l), οι δε τιμές φωσφόρου είναι μεγαλύτερες των τιμών αζώτου και αποτελούν τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν.

Για τη μελέτη της ποιοτικής κατάστασης εφαρμόσθηκε απλή προσδιοριστική προσομοίωση της με χρήση του μοντέλου Λέρνη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τη μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης η λίμνη Υλίκη κατατάσσεται στα Λιμναία συστήματα με πολύ καλή ποιότητα υδάτων (max Chl-a < 5 μg/l). Αντίθετα κατά τη μελέτη με βάση τα ευρέως χρησιμοποιούμενα κριτήρια κατάταξης Λιμνών Chl-a < 10μg/l, TP < 30μg/l, TN < 1mg/l, παρουσιάζεται πρόβλημα με τις τιμές του TP. Αυτές υπερβαίνουν υπέρβασης σχετικά με τις ανώτερα αποδεκτές τιμές TP (ολικού φώσφορου).

Η υπέρβαση αποδίδεται στην επιβάρυνση της λίμνης με ρυπαντικά φορτία κυρίως αγροτικών απορροών και δευτερεύοντος κτηνοτροφικών απορροών. Εκτιμήθηκε ότι για τη μείωση του TP σε τιμές της τάξης των 30μg/l απαιτείται περιορισμός του min κατά 65%. Για αυτό προτάθηκε η λήψη μέτρων αντιρρύπανσης. Τα μέτρα αυτά :

- περιλαμβάνουν βέλτιστες διαχειριστικές πρακτικές ζωικού κεφαλαίου, πρακτικές μείωσης ρυπαντικών φορτίων απορροών με βιολογική επεξεργασία μέσω φυτοκάλυψης και άλλων φυσικών ή τεχνητών συστημάτων (υδροβιότοποι, λεκάνες κατακράτησης κλπ).
- μπορούν να εφαρμοστούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά και να επιτύχουν μείωση των ρυπαντικών φορτίων φωσφόρου των αγροτοκτηνοτροφικών απορροών και του TP της λίμνης κατά τουλάχιστον 65%



Με δεδομένη τη χρήση των αποθεμάτων της λίμνης για ύδρευση, η εφαρμογή μέτρων προστασίας και η παρακολούθηση της ποιοτικής της κατάστασης κρίνεται ως απαραίτητη. Καταυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η επίτευξη των απαιτήσεων της Οδηγίας Πλαίσιο, δηλαδή η λίμνη να έχει καλή ποιοτική κατάσταση το 2015.

8.3 Λίμνη Πλαστήρα

Η ποιοτική κατάσταση της λίμνης παρουσιάζει πολύ καλή εικόνα. Σε αυτήν επικρατούν αερόβιες συνθήκες ($DO > 8 \text{ mg/l}$), οι δε τιμές φωσφόρου είναι μεγαλύτερες των τιμών αζώτου και αποτελούν τον περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του φυτοπλαγκτόν. Τα εισερχόμενα ρυπαντικά φορτία είναι σε μεγαλύτερο ποσοστό κτηνοτροφικής και γεωργικής προέλευσης.

Για τη μελέτη της ποιοτικής κατάστασης εξετάσθηκαν τρεις κατώτερες στάθμες λειτουργίας 782, 784, 786m και εφαρμόσθηκε απλή προσδιοριστική / στοχαστική προσομοίωση με χρήση του μοντέλου Λέρνη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσδιοριστικής προσομοίωσης και χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τη μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης, η λίμνη κατατάσσεται στα λιμναία συστήματα με πολύ καλή ποιότητα υδάτων. Αυτό ισχύει και στις τρεις στάθμες. Αποδεκτή ποιοτική κατάσταση της λίμνης διαπιστώνεται για όλες τις στάθμες, κατά τη μελέτη της βάση των \max αποδεκτών τιμών Chl-a ($10 \text{ } \mu\text{g/l}$), TP ($30 \text{ } \mu\text{g/l}$), TN (1 mg/l). Ως βέλτιστη στάθμη λειτουργίας επιλέγεται η στάθμη λειτουργίας 786m, σε αυτήν καταγράφονται οι χαμηλότερες τιμές Chl-a, οι δε τιμές TN, TP είναι εντός των αποδεκτών ορίων.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της στοχαστικής προσομοίωσης βάσει των κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στην απλή-προσδιοριστική προσομοίωση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποιοτική κατάσταση της λίμνης είναι πολύ καλή. Αυτό ισχύει και για τις τρεις εξεταζόμενες στάθμες.

Επιπλέον μελετώντας τα αποτελέσματα της στοχαστικής και προσδιοριστικής προσομοίωσης καταλήγουμε ότι αυτά είναι συγκρίσιμα. Ειδικότερα η καμπύλη της προσδιοριστικής προσομοίωσης για κάθε παράμετρο και στάθμη κυμαίνεται μεταξύ των αντίστοιχων καμπύλων μη υπέρβασης 5% - 95% της στοχαστικής ανάλυσης.

Με δεδομένη τη χρήση της λίμνης για ύδρευση, η εφαρμογή μέτρων προστασίας και η παρακολούθηση της ποιοτικής της κατάστασης κρίνεται ως απαραίτητη. Καταυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η επίτευξη των απαιτήσεων της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, δηλαδή η λίμνη να έχει καλή ποιοτική κατάσταση το 2015.

Στα πλαίσια της προστασίας και της παρακολούθησης της ποιοτικής κατάστασης της λίμνης πρέπει να επισημανθεί ότι:

- Οι αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας και κτηνοτροφίας αναμένεται να περιορισθούν, καθώς εκτιμάται ότι θα αναπτυχθεί ο τουρισμός και θα περιορισθούν οι απασχολούμενοι στον πρωτογενή τομέα.
- Το προς κατασκευή σύστημα βιολογικού καθαρισμού 9 κοινοτήτων της περιοχής της λίμνης, αναμένεται να περιορίσει την επιβάρυνση με φορτία αστικής προέλευσης
- Πέραν της λίμνης Πλαστήρα πρέπει να χρησιμοποιηθούν πρόσθετοι υδατικοί πόροι για την ύδρευση –άρδευση του κάμπου της Καρδίτσας. Η πίεση που δέχεται η λίμνη λόγω απολήψεων είναι πολύ μεγάλη με κίνδυνο αλλοίωσης του φυσικού τοπίου και της ποιοτικής της κατάστασης.



8.4 Προτάσεις

Όσον αφορά τη διασφάλιση της ποιοτικής κατάστασης των ταμιευτήρων Υλίκης, Πλαστήρα, συστήνεται η σχεδίαση-εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου Προγράμματος Παρακολούθησης και Προγράμματος Μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων ανθρωπογενών πιέσεων. Η σχεδίαση-εφαρμογή θα γίνει με βάση τις αρχές και απαιτήσεις της Οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα και περιλαμβάνει :

- 1 την καταγραφή δεδομένων παρακολούθησης των μελετώμενων υδατικών συστημάτων
- 2 την επεξεργασία των δεδομένων μέσω κατάλληλων μοντέλων ποιότητας
- 3 την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από ειδικούς (expert judgement).
- 4 τη διατύπωση προτάσεων σχετικά με τη διατήρηση ή βελτίωση της υφιστάμενης ποιοτικής κατάστασης
- 5 τη συνεργασία και ενημέρωση της τοπικής κοινωνίας
- 6 ανάπτυξη μηχανισμών επιτήρησης των μέτρων προστασίας

Στην περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, πρέπει να εξευρεθούν πέραν αυτής πρόσθετοι υδατικοί πόροι για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης –άρδευσης του κάμπου της Καρδίτσας. Η πίεση που δέχεται η λίμνη λόγω απολήψεων είναι πολύ μεγάλη με κίνδυνο αλλοίωσης του φυσικού τοπίου και της ποιοτικής της κατάστασης.

Στις εξεταζόμενες Λίμνες θα μπορούσε διερευνηθεί η δυνατότητα προστασίας & βελτίωσης της ποιοτικής κατάστασης τους μέσω αλλαγών χρήσεων γής (βοσκότοπων, καλλιεργειών κλπ) στην περιοχή της Λεκάνης απορροής τους. Προτείνεται λοιπόν η προσομοίωση ενός σεναρίου ποσοτικής διαχείρισης της λίμνης, αξιοποιώντας στοιχεία για τα είδη των καλλιεργειών που βρίσκονται στην περιοχή των Λιμνών και αρδεύονται από αυτές καθώς και στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση νερού ανά είδος καλλιέργειας. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε τη μεταβολή της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασής της, σε κάθε περίπτωση αλλαγής των καλλιεργούμενων ειδών.

Στα πλαίσια της περαιτέρω διερεύνησης της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου Λέρνη και καλύτερης εκτίμησης της ποιοτικής κατάστασης των Λιμνών συνίσταται η :

1. Λήψη νέων μετρήσεων πεδίου και έλεγχος των τιμών των εξωτερικών μεταβλητών-γεωμετρίας της λίμνης
2. Προσομοίωση στρωματοποιημένης λίμνης
3. Επιλογή τιμών για τις παραμέτρους των εξισώσεων διαίτας του μοντέλου ευτροφισμού – διαλυμένου οξυγόνου , που περιγράφουν καλύτερα την ποιοτική κατάσταση της λίμνης
4. Επανάληψη της προσομοίωσης με εφαρμογή του μοντέλου Λέρνη και της εκ νέου σύγκρισης των αποτελεσμάτων της με τις μετρήσεις του πεδίου
5. Εφαρμογή και άλλων μοντέλων προσομοίωσης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων
6. Μελέτη τυχαίας διακύμανσης περισσότερων παραμέτρων



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρεαδάκης, Α. (2008). ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗΣ Οδηγία –πλαίσιο 2000/60 για τη Διαχείριση Υδατινών Πόρων (σελ 5-16), Μάιος 2008.
2. Αργυρούλη, Φ. (2005). Μελέτη Σκοπιμότητας και Χωροθέτησης Βιολογικών Καθαρισμών Τουριστικών και Παραλιακών Περιοχών Θεσσαλίας (σελ 184 – 189 , 323, 342, 366,393). Διαθέσιμο: http://www.argioulifotini.gr/portal/images/stories/pdf/meleti_skopimotitas_xorothetisis_viol_katharism_on_n_larisas.pdf
3. Βουδούρης, Κ. (2006). Υδρογεωλογία περιβάλλοντος. Υπόγεια νερά και περιβάλλον Εδαφική διάθεση υγρών αποβλήτων (σελ. 206). Διαθέσιμο: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_8.pdf
4. Γεωπόνιοι, (2012). Έδαφος : Φυσικά χαρακτηριστικά (σελ 1-35). Διαθέσιμο: [http://www.gewponoi.com/misc/genikh%20gewrgia/7\)%20edafos%20fusika%20xarakthristika.ppt](http://www.gewponoi.com/misc/genikh%20gewrgia/7)%20edafos%20fusika%20xarakthristika.ppt)
5. Γιαννιού, Κ. Σ. (2009). Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης της ποιότητας του νερού, του ισοζυγίου ενέργειας και της εξάτμισης των λιμνών. Εφαρμογή στη λίμνη Βεγορίτιδα. Διδακτορική διατριβή, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών πόρων, Γεωπονική Σχολή, ΑΠΘ (σελ 16-25 & 59-63).
6. Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, (2004). Τεύχος ταξινόμησης και κωδικοποίησης ποιοτικών παραμέτρων (σελ. 95-102). Διαθέσιμο: http://itia.ntua.gr/getfile/670/1/documents/report_12.pdf
7. Γκράτζιου, Μ. (χ.χ). Εναλλακτικές προτάσεις για τη διαχείριση υγρών αποβλήτων του Ν. Καρδίτσας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
8. Γκουβάτσου, Ε (χ.χ). Ανάλυση των ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους Διαβούλευση Σχεδίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (σελ 2, 5-6). 17-19). Διαθέσιμο: http://dl.dropbox.com/u/54267798/Parousiaseis/4a_PRESSURES_12.pdf
9. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2002). Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας της Λίμνης Πλαστήρα. Τεύχος 3: Μελέτη ποιότητας νερού (σελ 6, 31-32,46,96). Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων. Διαθέσιμο: http://itia.ntua.gr/getfile/532/2/documents/2002PlastirasQuality_I.pdf
10. Ράπτης, Α., & Ράπτη, Α. (2001). Μάθηση και διδασκαλία στην εποχή της Πληροφορίας, Τόμος Α'. Αθήνα: ιδίων.
11. Μαυρίδου, Ε. (2006). Αξιολόγηση συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας (σελ.26). Διαθέσιμο: http://postgrasrv.hydro.ntua.gr/gr/edmaterial/thesis/presentation/mavridou_eirini_pres.pdf



- 12.Μαυρίδου, Ο. (2010). Διερεύνηση των δυνατοτήτων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων (αστικών λυμάτων) από μικρούς ΟΤΑ α΄ βαθμού ΕΣΤΑ. Εθνική Σχολή Τοπικής Αυτοδιοίκησης (σελ. 32-84). Διαθέσιμο: http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esta/T2/028/10129.pdf
- 13.Μπάνου, Σ. (2007). Διαχείριση υδατικών πόρων Κυκλάδων, ευρύτερη περιοχή νήσων Πάρου και Νάξου (σελ. 83). Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Βιώσιμης Ανάπτυξης, Κατεύθυνση Διαχείρισης Περιβάλλοντος,Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- 14.Σεφερλής, Μ. (2006). Εκτίμηση ανθρωπογενών πιέσεων και επιπτώσεων στα επιφανειακά ύδατα της Βορείου Ελλάδος. Αμφίβιον, Διμηνιαία Έκδοση του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων - Υγροτόπων, 66, 5-7. Διαθέσιμο: http://www.ekby.gr/ekby/el/amphivion_el/issue66.pdf
- 15.Νουστόπουλος (2012a).Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων- διάθεση λυμάτων στο έδαφος (σελ. 14, 29). Διαθέσιμο: http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1044/document/%C4%E9%E1%F6%DC%ED%E5%E9%E5%F2/Land_treatment.pdf
- 16.Νουστόπουλος (2012b).Τεχνητοί Υγροβιότοποι (σελ. 27) Διαθέσιμο: <http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1044/document/%C4%E9%E1%F6%DC%ED%E5%E9%E5%F2/wetlands.pdf>
- 17.Νουστόπουλος (2012c). Αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Διαθέσιμο: http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1044/document/%C4%E9%E1%F6%DC%ED%E5%E9%E5%F2/apokentromeni_diaxeirisi.pdf
- 18.Νουστόπουλος (2012d). Μαθηματική προσομοίωση ευτροφισμού επιφανειακών υδατινών σωμάτων (σελ 1-27). Διαθέσιμο: http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1048/document/%D0%EF%E9%FC%F4%E7%F4%E1_%C5%F0%E9%F6%E1%ED%E5%E9%E1%EA%FE%ED_%D5%E4%DC%F4%F9%ED/Sineioseis_eutrophication_model.pdf
19. Παναγόπουλος, Γ. (2012). Υδρολογικό Μοντέλο SWAT (σελ 6). Διαθέσιμο: http://itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/SWAT12.pdf
20. Παρταλίδου, Μ. (2005). Η Προτυποποίηση ως Παράγοντας Διαχείρισης και Προώθησης του Αγροτικού Τουρισμού (παραρτήματα σελ 16).Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ.
- 21.Πολυτεχνείο Κρήτης, (2008). Πρόγραμμα life Οδηγός προστασίας, αποκατάστασης και διαχείρισης αποστραγγιστικών καναλιών για βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη (σελ 6).Τμήμα ΜηχανικώνΠεριβάλλοντος. Διαθέσιμο:<http://www.envfriendly.tuc.gr/en/docs/techs/DrainageCanalManualofPractice.pdf>
- 22.ΥΠΕΚΑ (2009). Μελέτη Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Π.Χ.Σ.Α.Α.) για τις Υδατοκαλλιέργειες (σελ 118-128).Διαθέσιμο: <http://ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=c5CDJ0JkLnU%3D&tabid=367&language=el-GRa>



23. ΥΠΕΚΑ (2009). Ολοκλήρωση του σχεδιασμού των υπολειπόμενων έργων Δ.Α και ΕΕΛ οικισμών Γ' προτεραιότητας με πληθυσμό αιχμής > 2.000 Μ.Ι.Π., ωρίμανση έργων Δ.Α. και ΕΕΛ οικισμών Γ' προτεραιότητας με χαμηλή ή καμία ωριμότητα και πρόγραμμα αποκατάστασης λειτουργικότητας ΕΕΛ σε αδράνεια. (σελ. 42). Διαθέσιμο:
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=yyM0CZmH6gE%3D&tabid=251&language=el-GR>
24. ΥΠΕΚΑ 2012 ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών (σελ. 9). Διαθέσιμο:
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=0yUWZWCWi3s%3d&tabid=251&language=el-GR>
25. ΥΠΕΚΑ (2012(1)). Τεχνική Υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων (νυν Ειδική Γραμματεία Υδάτων) για τον προσδιορισμό κατάλληλων συστημάτων και την ανάπτυξη κριτηρίων επιλογής για την επεξεργασία λυμάτων οικισμών Δ' προτεραιότητας. Τελική έκθεση (σελ 16-70, 81-89). Διαθέσιμο:
http://www.roikos.gr/wp-content/uploads/mikra_systimata_epeksergasias.pdf
26. ΥΠΕΚΑ (2012(3)). Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Οικονομική Ανάλυση Χρήσεων Ύδατος και Προσδιορισμός Υφιστάμενου Βαθμού Ανάκτησης Υπηρεσιών Ύδατος (σελ. 53). Διαθέσιμο:
<http://dl.dropbox.com/u/50948065/KeimenaTekmiriosis/3Paradoteo.pdf>
27. ΥΠΕΚΑ (2012(8)). Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεων τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα (σελ 84-87, 189, 195, 201, 283,332). Διαθέσιμο:
<http://dl.dropbox.com/u/50948065/KeimenaTekmiriosis/8Paradoteo.pdf>
28. ΥΠΕΚΑ (2012(9)). Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Αξιολόγηση και Ταξινόμηση της Ποιοτικής Κατάστασης των Επιφανειακών Υδατικών Συστημάτων (σελ 118-125). Διαθέσιμο:
<http://dl.dropbox.com/u/50948065/KeimenaTekmiriosis/9Paradoteo.pdf>
29. ΥΠΕΚΑ (2012α). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμού Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) Α' ΦΑΣΗ Οριστικός Προσδιορισμός των Ιδιαιτέρως Τροποποιημένων και Τεχνητών Υδατικών Συστημάτων (σελ. 49, 50). Διαθέσιμο:
http://dl.dropbox.com/u/56943937/KEIMENA_TEKMHRIWSHS/P07_WD07.pdf
30. ΥΠΕΚΑ (2012β). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμού Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) Α' ΦΑΣΗ Αξιολόγηση και ταξινόμηση της ποιοτικής (οικολογικής και χημικής) κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων (σελ.51,52). Διαθέσιμο:
http://dl.dropbox.com/u/56943937/KEIMENA_TEKMHRIWSHS/P09_WD07.pdf
31. ΥΠΕΚΑ (2012γ). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμού Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) Α' ΦΑΣΗ Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα (σελ. 52-59, 162-164, 191-4 203, 215 216, 258-263, 293, 301-3).



Διαθέσιμο: http://dl.dropbox.com/u/56943937/ΚΕΙΜΕΝΑ_ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ/P08_WD07.pdf

32. ΥΠΕΧΩΔΕ (2009). ΚΟΙΝΗ ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ 12.06.2009 Α.Π. οικ.: 121570/1866 "Ρύθμιση θεμάτων υδατοκαλλιεργητικών μονάδων" (σελ 5-19).
33. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ (2000). Έγκριση Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής. Αριθ. Πρωτ.: 85167/820.
34. Χατζουλάκης Μ., Μπερτάκη Μ., Ορθολογική διαχείριση του νερού άρδευσης 2009 στο 23ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών (Τεύχος Α : 20-24), 2009.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alabama Cooperative Extension System (1995). ANR-790 Water Quality 4.6.3 (σελ. 2).α Available at <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0790/WQ4.6.3.pdf>
2. California State Water Resources Control Board. (1992). Demonstration of Emerging Technologies. Water Conservation Office, Department of Water Resources for Division of Water Quality, Publication No. 91-20-WQ, July.
3. California SWRCB (1987). Regulation of Agricultural Drainage to the San Joaquin River: Executive Summary. California State Water Resources Control Board. Doc. No. WQ-85-1.
4. CSQA (California Stormwater Quality Association) (2003). Stormwater Best Management Practice Handbook: New Development and Redevelopment.
5. Debo T.N. and Reese A.J. (2003). Municipal stormwater management (2nd ed.). Lewis Publishers.
6. DPRA. (1986). *An Evaluation of the Cost Effectiveness of Agricultural Best Management Practices and Publicly Owned Treatment Works in Controlling Phosphorus Pollution in the Great Lakes Basin*. Prepared by DPRA Inc. for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
7. EPA (2003a) Management Measure for Irrigation Water : 186-7. Available at http://water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture/upload/2003_09_24_NPS_agmm_chap4f.pdf
8. EPA (2003/4d) National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture, Chapter 4D: Animal Feeding Operations (AFOs), 4.122. Available at http://water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture/upload/2003_09_24_NPS_agmm_chap4d.pdf
9. EPA VICTORIA (2005). Water Sensitive Urban Design (WSUD) Engineering Procedures: Stormwater. CSIRO Publications.
10. Harris B.L., Hoffman D.W., Mazac, and F.J. 1996 Reducing Contamination by Improving Livestock Holding Pen Management (σελ. 4). Available at http://publications.tamu.edu/WATER/PUB_water_Reducing%20the%20Risk%20of%20Water%20Contamination%20-%20Livestock%20Holding.pdf



11. Hill, R.W. (1994). Consumptive Use of Irrigated Crops in Utah. Submitted to Utah Division of Natural Resources, Division of Water Resources and Division of Water Rights. Utah Agricultural Experiment Station Research Report No. 145, Utah State University, Logan, Utah.
12. Lugbill, J. (1990). *Potomac River Basin Nutrient Inventory*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.
13. Meals, D.W. (2001). Lake Champlain Basin Agricultural Watersheds Section 319 National Monitoring Program Project: Final Project Report, May, 1994 - November 2000. Vermont Department of Environmental Conservation, Waterbury.
14. MWCOG (Metropolitan Washington Council of Governments) (1983). Nationwide Urban Runoff Program: Pollutant Removal Capability of Urban Best Management Practices in the Washington Metropolitan Area, Final Report. Water Resources Planning Board, Washington, DC.
15. NJ BMP Manual, 2004. New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual. New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Watershed Management, N.J.
16. North Carolina Extension Water Quality Information System (2012). Values of Wetlands. Available at <http://www.water.ncsu.edu/watershedss/info/wetlands/values.html>
17. Pennsylvania State University (1992a). Nonpoint Source Database. Pennsylvania State University, Dept. of Agricultural and Biological Engineering, University Park, PA.
18. Pennsylvania State University (1992b). *Nonpoint Source Database*. Pennsylvania State University, Department of Agricultural and Biological Engineering, University Park, PA.
19. Rubæk G.H. and Jørgensen U. (2011). Catch crops and cover crops 1-2 Available at http://www.cost869.alterra.nl/Fs/FS_Catch_cover_crops.pdf
20. Schueler T.R., Kumble P.A. and Heraty M.A. 1991. A Current Assessment of Urban Best Management Practices, Techniques for Reducing Non-Point Source Pollution in the Coastal Zone. Review Draft, Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D.C.
22. Schueler T.R., Kumble P.A. and Heraty M.A. (1991). A Current Assessment of Urban Best Management Practices, Techniques for Reducing Non-Point Source Pollution in the Coastal Zone. Review Draft, Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D.C.
23. Revitt M., Ellis B. and Scholes L. (2003). Review of the use of stormwater BMPs in Europe, Day Water Project, D5.1-version 2. WPS/T5.1/D5.1-PU.
24. Simpson T. and Weammert S. (2009). Developing best management practice definitions and effectiveness estimates for nitrogen, phosphorus and sediment in the Chesapeake bay watershed, Final Report 5-10, 347-356.



25. Stefan H. (1994). Lake and reservoir eutrophication: Prediction and protection. In Hino M. (ed.). Water quality and its control, IAHR, A. A. Balkema, Netherlands, pp. 45-76.
26. United Nations University Press (1995). Sustainable Management of Soil Resources in the Humid Tropics, 76.
27. USEPA (1999). Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench. USEPA-832-F-99-109.
28. Water quality branch environmental protection department ministry of environment, lands and parks (1995). A Compendium of Water Quality Models. Available at :
<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/reference/wqmodels.pdf> , 1-6.
29. Woods B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R. and Shaffer P. (2007). The SUDs Manual. CIRIA C697.
30. Yannopoulos St., Petsalis N. and Basbas S. (2005). Management of pollution of water bodies from the stormwater runoff of interurban roads with the use of structural Best Management Practices (BMPs). Proc. 2nd Pan-Hellenic Conf. Highway, Volos, Greece.

ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

1. EPA 2012(1) Effectiveness of constructed wetlands
<http://www.epa.gov/owow/NPS/MMGI/Chapter7/table710.gif>
2. EPA 2012a Agriculture <http://water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture.cfm>
3. EPA 2010 Management Measures for Agricultural Sources
<http://www.epa.gov/owow/NPS/MMGI/Chapter2/ch2-1.html>
4. Extension 2012 Introduction to Vegetative Treatment Systems
<http://www.extension.org/pages/8852/introduction-to-vegetative-treatment-systems>
5. The Natural Resources Conservation Service Oregon state web site 2012 Crop Rotation.
<http://www.or.nrcs.usda.gov/technical/conservation-planning-and-conservation-records/croprotation.html>
6. Climatetechwiki 2012 Conservation tillage <http://climatetechwiki.org/content/conservation-tillage>
7. University of Illinois 2012 College of Agricultural, Consumer and Environmental Science "This Land" project Install A Farm Pond http://www.thisland.illinois.edu/60ways/60ways_22.html
8. University of Illinois College of Agricultural, Consumer and Environmental SciencesN "This Land" project: Reduce Soil Compaction and Increase Filtration
http://www.thisland.illinois.edu/60ways/60ways_13.html