

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥΣ**

υπό

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΤΑΓΚΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2016



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 14699/1
Ημερ. Εισ.: 13/09/2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2016
ΤΑΓ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥΣ**

υπό

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΤΑΓΚΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2016

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Χρυσή Λασπίδου
(Επιβλέπων) Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Ευάγγελος Κεραμάρης
Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Μάριος Σπηλιωτόπουλος
Μέλος Ε.Δ.Ι.Π, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Δρ. Χρυση Λασπίδου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Λέκτορα Δρ. Ευάγγελο Κεραμάρη και μέλος Ε.Δ.Ι.Π. Δρ. Μάριο Σπηλιωτόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύ σημαντικές υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στον Υποψήφιο Διδάκτορα, Στυλιανό Μίμη για την πολύτιμη βοήθεια, διορθώσεις και υποδείξεις του καθ'όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Θεόδωρο και Αφροδίτη Τάγκα και στην αδερφή μου Γλυκερία Τάγκα για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου.

Ελευθέριος Τάγκας

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥΣ

Ελευθέριος Τάγκας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2016

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ.Χρυσή Λασπίδου , Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
2.2. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
2.3. ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ	15
2.4. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ.....	16
2.4.1. Φυσικοί Υγρότοποι	17
2.4.2. Τεχνητοί Υγρότοποι	18
2.5. ΤΥΠΟΙ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ	19
2.5.1. Τεχνητοί Υγρότοποι Επιφανειακής Ροής.....	20
2.5.2. Τεχνητοί Υγρότοποι Υπόγειας Κατακόρυφης Ροής.....	22
2.5.3. Τεχνητοί Υγρότοποι Υπόγειας Οριζόντιας Ροής.....	23
2.5.4. Υβριδικοί Τεχνητοί Υγρότοποι	24
2.6. ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗΝ	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ.....	26
2.6.1. Έλεγχος Φορέων Εντόμων.....	26
2.6.2. Εξατμισοδιαπνοή.....	28
2.6.3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση	29
2.6.4. Περιορισμοί Ψυχρού Κλίματος	29
2.6.5. Σχηματισμός Πάγου.....	29
2.6.6. Βιοχημικές Αντιδράσεις Και Πρόσληψη Θρεπτικών	30
2.6.7. Αξιολόγηση Των Διαδικασιών Έμφραξης Υποστρώματος.....	31
2.6.8. Επιλογή Και Εκτίμηση Θέσης	32
2.6.8.1. Τοπογραφία	32
2.6.8.2. Εδαφολογία	32
2.6.8.3. Χρήση Γης.....	33
2.6.8.4. Υδρολογία	33
2.6.8.5. Κλίμα.....	34
2.6.9. Συνέπειες Τήξης.....	34

2.6.10.	Προπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων.....	34
2.6.11.	Βάθος Νερού.....	35
2.6.12.	Πορώδες Μέσο.....	35
2.6.13.	Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD_5	36
2.6.14.	Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης.....	38
2.6.15.	Παροχή Εισόδου.....	43
2.6.16.	Χρησιμοποιούμενα Είδη Βλάστησης.....	43
2.7.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ.....	48
2.8.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	51
2.8.1.	Φυσικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων.....	55
2.8.1.1.	Θερμοκρασία.....	55
2.8.1.2.	Οσμή.....	55
2.8.1.3.	Χρώμα.....	55
2.8.1.4.	Πυκνότητα.....	56
2.8.1.5.	Ολική Περιεκτικότητα Σε Στερεά Συστατικά.....	56
2.8.2.	Χημικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων.....	56
2.8.2.1.	Πρωτεΐνες.....	56
2.8.2.2.	Υδατάνθρακες.....	56
2.8.2.3.	Οργανικά Συστατικά.....	57
2.8.2.4.	Ανόργανα Συστατικά Και Ιχνοστοιχεία.....	57
2.8.2.5.	Χλωριούχα.....	58
2.8.2.6.	Λίπη Και Έλαια.....	58
2.8.2.7.	Βάρεα Μέταλλα.....	58
2.8.2.8.	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνου (BOD ΚΑΙ BOD_5).....	59
2.8.2.9.	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	59
2.8.2.10.	Ολικός Οργανικός Άνθρακας.....	59
2.8.2.11.	Διαλυμένο Οξυγόνο DO	60
2.8.2.12.	pH	60
2.8.2.13.	Αλκαλικότητα.....	61
2.8.3.	Βιολογικά Χαρακτηριστικά.....	62
2.8.3.1.	Παθογόνοι Μικροοργανισμοί.....	62
2.9.	ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΚΑΙ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ.....	63
2.9.1.	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	63
2.9.2.	Αιωρούμενα Στερεά.....	63
2.9.3.	Άζωτο.....	64
2.9.4.	Οργανικό Άζωτο.....	64
2.9.5.	Νιτρικό Άζώτο.....	64
2.9.6.	Αμμωνία.....	65
2.9.7.	Φόσφορος.....	66
2.9.8.	Μέταλλα.....	66
2.9.9.	Παθογόνοι Μικροοργανισμοί.....	67
2.9.10.	Αφαίρεση Οργανικής Ύλης.....	68
2.10.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ.....	69
2.10.1.	Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων Στην Ελλάδα.....	69
2.10.1.1.	Τεχνητός Υγρότοπος Θεσσαλονίκης.....	69
2.10.1.2.	Τεχνητός Υγρότοπος Βάσσοβας.....	70
2.10.1.3.	Τεχνητός Υγρότοπος Ν. Μαδύτου (Ν. Θεσσαλονίκης).....	70
2.10.1.4.	Τεχνητός Υγρότοπος Γοματίου Χαλκιδικής.....	71
2.10.1.5.	Τεχνητός Υγρότοπος Πομπηίας.....	72
2.10.2.	Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων Σε Παγκόσμια Κλίμακα.....	73
2.10.2.1.	Εφαρμογή Στην Τουρκία.....	73
2.10.2.2.	Εφαρμογή Στην Αυστρία.....	74
2.10.2.3.	Εφαρμογή Στην Δανία.....	75
2.10.2.4.	Εφαρμογή Στην Ολλανδία.....	75
2.10.2.5.	Εφαρμογή Στην Γαλλία.....	76
2.10.2.6.	Εφαρμογή Στο Βέλγιο.....	77

2.10.2.7.	Εφαρμογή Στην Τυνησία	78
2.10.2.8.	Εφαρμογή Στην Βραζιλία	78
2.10.2.9.	Εφαρμογή Στην Αυστραλία	79
2.10.2.10.	Εφαρμογή Στο Ηνωμένο Βασίλειο	79
2.10.2.11.	Άλλες Εφαρμογές	80
2.11.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	82
3.	ΕΠΕΞΕΡΑΣΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	84
3.1.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	84
3.2.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	86
3.3.	ΤΥΡΟΓΑΛΑ.....	89
3.4.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	91
3.5.	ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	97
3.6.	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	98
3.6.1.	<i>Ευρωπαϊκή Νομοθεσία</i>	98
3.6.2.	<i>Εθνική Νομοθεσία</i>	98
3.6.3.	<i>Οριακές Τιμές Παραμέτρων</i>	100
4.	ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	101
4.1.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ.....	101
4.2.	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	104
4.3.	ΤΟ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΕΙΟ	104
4.4.	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	105
5.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	107
5.1.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	107
5.2.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	110
5.3.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	114
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	119
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	150
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	154

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεχνητοί υγρότοποι χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία λυμάτων για περισσότερα από πενήντα έτη. Οι περισσότερες εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία δημοτικών ή οικιακών λυμάτων, αλλά τεχνητοί υγρότοποι έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε άλλους τύπους λυμάτων. Τεχνητοί υγρότοποι έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία διαφόρων βιομηχανικών αποβλήτων όπως πετροχημικών αποβλήτων, απόβλητα από σφαγεία, απόβλητα επεξεργασίας κρέατος, γαλακτοκομικών προϊόντων και απόβλητα από βιομηχανίες χαρτοπολτού και χαρτιού. Τεχνητοί υγρότοποι χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την επεξεργασία λυμάτων από τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ή από βιομηχανίες παραγωγής κρασιού. Οι πιο πρόσφατες εφαρμογές περιλαμβάνουν εκείνες για ζυθοποιία ή βυρσοδεψείο υγρών αποβλήτων, καθώς και λύματα ελαιολιβερίου. Οι τεχνητοί υγρότοποι διακρίνονται σε τεχνητούς υγροτόπους επιφανειακής ροής και τεχνητούς υγροτόπους υπόγειας ροής. Επιπρόσθετα, οι τεχνητοί υγρότοποι υπόγειας ροής διαχωρίζονται σε οριζόντιας ή κατακόρυφης ροής. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και υβρίδια τεχνητών υγροτόπων.

ABSTRACT

Constructed wetlands are being used for wastewater treatment for more than fifty years. Most applications have been designed to treat municipal or domestic wastewater but, constructed wetlands are successfully applied to many types of wastewater. The early constructed wetlands applied to industrial wastewaters included those for wastewaters from petrochemical, abattoir, meat processing, dairy and pulp and paper industries. Constructed wetlands were also used to treat effluents from textile and wine industries. The most recent applications include those for brewery or tannery wastewaters as well as olive mills effluents. Constructed wetlands are divided into surface flow and sub-surface flow. Moreover, constructed wetlands of underground flow are divided into

horizontal or vertical flow. In specific cases have been used hybrid constructed wetlands.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός Παρούσας Εργασίας

Οι τεχνητοί υγρότοποι είναι μια φυσική μέθοδος επεξεργασίας αστικών λυμάτων και διαφόρων βιομηχανικών αποβλήτων. Στην παρούσα εργασία αναφέρονται και αναπτύσσονται οι διάφορες κατηγορίες τεχνητών υγροτόπων. Επίσης, αναφέρονται τα είδη των ρύπων και λυμάτων τα οποία δέχονται επεξεργασία μέσω των τεχνητών υγροτόπων και ο τρόπος αυτής της επεξεργασίας. Επιπρόσθετα, αναπτύσσεται ο τρόπος μοντελοποίησης, κατασκευής και επιλογής θέσης των τεχνητών υγροτόπων καθώς και τα είδη βλάστησης τα οποία χρησιμοποιούνται, και οι διάφοροι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά τους. Ακόμα μνεία γίνεται σε παραδείγματα τεχνητών υγροτόπων ανά τον κόσμο και ανά την Ελλάδα. Επιπρόσθετα, γίνεται σύγκριση με τα συμβατικά προγράμματα επεξεργασίας αποβλήτων και αναπτύσσονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα έναντι αυτών. Το βασικό κομμάτι της εργασίας είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων από γαλακτοβιομηχανίες και πιο συγκεκριμένα ανάλυση πειραματικών δεδομένων που προέκυψαν από μετρήσεις υγρών αποβλήτων έπειτα από επεξεργασία με τεχνητούς υγροτόπους κατακόρυφης ροής στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης. Μέσω αυτής της ανάλυσης θέλουμε να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν την αποτελεσματικότητα των τεχνητών υγροτόπων στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, και κατά πόσο είναι ικανοί οι τεχνητοί υγρότοποι να αντικαταστήσουν τα συμβατικά προγράμματα επεξεργασίας. Γίνεται επίσης σύγκριση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας μας και με αποτελέσματα άλλων τεχνητών υγροτόπων που βρίσκονται στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Μέσω αυτής της σύγκρισης, αφενός ελέγχουμε αν το δικό μας μοντέλο τεχνητών υγροτόπων ήταν αρκετά αποτελεσματικό και αφετέρου εξετάζουμε αν παράγοντες όπως το κλίμα, η τοποθεσία, ο καιρός και η θερμοκρασία επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Ιστορικά Στοιχεία Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας

Κατά την αρχαιότητα οι Μινωίτες υδραυλικοί γνώριζαν βασικές αρχές της υδραυλικής και υγειονομικής μηχανικής κατασκευάζοντας εγκαταστάσεις αποχέτευσης στα Μινωικά Παλάτια (3000 έως 1100 π.Χ.) με υψηλά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Επίσης, διατυπώνεται η άποψη ότι κατά το Μινωικό πολιτισμό γινόταν εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος με σκοπό την άρδευση και την επεξεργασία τους (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ και άλλες χώρες χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870. Όπως στην Ευρώπη, έτσι και στις ΗΠΑ και άλλες περιοχές η «γεωργία με λύματα» έγινε γνωστή ως μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας είτε με: α) εφαρμογή σε ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (φάρμες), όπου οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, β) συστήματα άρδευσης διαφόρων περιβαλλόντων και κοινόχρηστων χώρων και γ) εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Αυτά τα σχετικά νέα συστήματα επεξεργασίας τείνουν να επικρατήσουν κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες των ΗΠΑ, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Με την ψήφιση νομοθεσίας στις ΗΠΑ που αφορά στο καθαρό νερό στις αρχές της δεκαετίας του 1970 το ενδιαφέρον για τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, που βασίζονται στο έδαφος, έχει αναθεωρηθεί σημαντικά, ως αποτέλεσμα της έμφασης που δίνεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλωσης του νερού, των θρεπτικών στοιχείων και τη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική

υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώρισή της, ως τεχνικής διαχείρισης στον τομέα μηχανικής υγρών αποβλήτων (Metcalf and Eddy, 1991).

Στη χώρα μας στην αρχή του 20^{ου} αιώνα, μερικές πόλεις και βιομηχανίες άρχισαν να αναγνωρίζουν ότι η απόρριψη των λυμάτων άμεσα σε ρεύματα προκαλούσε εκτός από προβλήματα υγείας, την υποβάθμιση υδατικών πόρων και αυτό οδήγησε στην κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Στην ίδια χρονική περίοδο, η σηπτική δεξαμενή εισήχθη ως μέσο διαχείρισης των οικιακών λυμάτων από τις μεμονωμένες οικογένειες τόσο στις προαστιακές όσο και στις αγροτικές περιοχές. Εντούτοις, και λόγω των αρκετά μεγάλων κοινωνικών και οικονομικών προβλημάτων και της απουσίας δημόσιας αντίληψης στα περιβαλλοντικά ζητήματα, κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 20ού αιώνα, λίγοι δήμοι και βιομηχανίες προέβλεπαν επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Ζουραράκη, 2002).

Οι πρώτες προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η βλάστηση υδροβιοτόπων για την απομάκρυνση διάφορων ρύπων από το νερό διεξήχθησαν από την γερμανοαυστριακή Kathrin Seidel στη Γερμανία στις αρχές του 1950 (Vymazal, 2005). Ο πρώτος πλήρους κλίμακας ελεύθερης επιφάνειας τεχνητός υδροβιότοπος κατασκευάστηκε στην Ολλανδία για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από τοποθεσία κατασκευών κατά τη διάρκεια της περιόδου 1967-1969. Εντός πολλών ετών, κατασκευάστηκαν περίπου 20 τεχνητοί υδροβιότοποι επιφανειακής ροής στην Ολλανδία. Εντούτοις, οι υδροβιότοποι επιφανειακής ροής δε διαδόθηκαν σε ολόκληρη την Ευρώπη, αλλά αυτοί με οριζόντια υπόγεια ροή έγιναν ο κύριος τύπος τεχνητών υδροβιοτόπων στην Ευρώπη. Ο πρώτος πλήρους κλίμακας οριζόντιας υπόγεια ροής τεχνητός υδροβιότοπος κατασκευάστηκε το 1974 στο Othfresen στη Γερμανία. Οι πρώτοι τεχνητοί υδροβιότοποι οριζόντιας ροής στη Γερμανία και τη Δανία χρησιμοποίησαν επικρατέστερα βαρέα εδάφη, συχνά με υψηλό περιεχόμενο αργίλου. Αυτά τα συστήματα έχουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα επεξεργασίας, αλλά λόγω της

χαμηλής υδραυλικής διαπερατότητας, συμβαίνουν εμφράξεις σε σύντομο χρονικό διάστημα και τα συστήματα μοιάζουν περισσότερο ή λιγότερο με συστήματα ελεύθερης επιφάνειας (Vymazal, 2005). Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 στο Ηνωμένο Βασίλειο, το έδαφος αντικαταστάθηκε με χοντρά υλικά (χαλίκι που είχε υποστεί έκπλυση) και αυτή η δομή θεωρείται επιτυχημένη από τότε. Τη δεκαετία του 1980, η τεχνολογία επεξεργασίας τεχνητών υγροβιότοπων ταχύτατα διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο.

Τη δεκαετία του 1990, η αυξανόμενη απαίτηση για απομάκρυνση θρεπτικών από υγρά απόβλητα οδήγησαν σε μεγαλύτερη χρήση κατακόρυφης ροής τεχνητών υγροβιότοπων που εξασφαλίζουν μεγαλύτερο βαθμό οξυγόνωσης της κλίνης φίλτρανσης και απορρέουσα απομάκρυνση αμμωνίας μέσω νιτροποίησης (Vymazal, 2005). Στα τέλη του 1990, η ανικανότητα να παρουσιάζεται ταυτόχρονα νιτροποίηση και απονιτροποίηση σε ένα απλό οριζόντιας ή κατακόρυφης ροής τεχνητό υγροβιότοπο και κατά συνέπεια η ελλιπής απομάκρυνση ολικού αζώτου οδήγησε στην χρήση υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν διάφορους τύπους τεχνητών υγροβιότοπων. Η γενική ιδέα του συνδυασμού διαφόρων τύπων κλινών φίλτρανσης στην πραγματικότητα προτάθηκε από την Seidel στη Γερμανία τη δεκαετία του 1960, αλλά μόνο ελάχιστα πλήρους κλίμακας συστήματα κατασκευάστηκαν κατασκευάστηκαν (π.χ. Saint Bohaire στη Γαλλία ή Oaklands Park στο Ηνωμένο Βασίλειο) τη δεκαετία του 1980 και στις αρχές του 1990. Στις μέρες μας, υβριδικοί τεχνητοί υγροβιότοποι συνήθως χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη, όπως και σε άλλα μέρη του κόσμου. Η κύρια δομή που εμφανίζεται είναι συνδυασμός κατακόρυφης–οριζόντιας ροής (Vymazal, 2005). Επίσης χρησιμοποιείται ο συνδυασμός οριζόντιας–κατακόρυφης ροής, ενώ και οι ελεύθερης επιφάνειας τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται σε υβριδικά συστήματα.

Τις δεκαετίες του 1970 και 1980, οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατασκευάζονταν σχεδόν αποκλειστικά για την επεξεργασία οικιακών ή δημοτικών αποβλήτων. Από τη

δεκαετία του 1990, χρησιμοποιούνται για όλα τα είδη υγρών αποβλήτων που περιλαμβάνουν στραγγίσματα εδαφικών εκτάσεων, απορροές (π.χ. αστικές, από δρόμους και αγροτικές), τροφικές διαδικασίες (π.χ. οινοποίηση, παραγωγή τυριού και γάλακτος), βιομηχανικά (π.χ. χημικά, εργοστάσια χαρτοποίησης και διυλιστήρια πετρελαίου), αγροκτήματα, αποστραγγίσεις ορυχείων ή απονέρωση ιλύος.

Ο κύριος στόχος της επεξεργασίας ρυπασμένων υδάτων είναι γενικά να επιτραπεί η απόρριψη των δημοτικών, βιομηχανικών, αγροτικών αποβλήτων χωρίς τον κίνδυνο στην ανθρώπινη υγεία ή κάποια απαράδεκτη βλάβη και υποβάθμιση στο περιβάλλον. Η διαχείριση των ρυπασμένων υδάτων και μέσω της επεξεργασίας και μέσω της επαναχρησιμοποίησης, είναι μια προϋπόθεση για την προστασία και βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων. Εάν οι μικρές κοινότητες πρόκειται να καλύψουν τις απαιτήσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του μέλλοντος, πρέπει να έχουν τα συστήματα επεξεργασίας που είναι όχι μόνο αποτελεσματικά και αξιόπιστα, αλλά και απλά και ανέξοδα, όσον αφορά στην κατασκευή και στη λειτουργία τους.

2.2. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας

Χημικές φυσικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους της ατμόσφαιρας και των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας όπως είναι η :

- Καθίζηση
- Το φιλτράρισμα
- Η μεταφορά αερίων

- Η προσρόφηση
- Η ιοντική εναλλαγή
- Η χημική κατακρήμνιση
- Η χημική οξείδωση και η αναγωγή
- Η βιολογική μετατροπή και αποδόμιση

και άλλες που είναι μοναδικές στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτο οξείδωση, και η πρόσληψη από τα φυτά. Στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας οι διεργασίες συντελούνται με φυσικές ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως σε ένα “οικοσυστημικό αντιδραστήρα” σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές με επιταχυνόμενες ταχύτητες ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας.

Γενικά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες όπως είναι οι φυσικές, χημικές, βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους που συμβαίνουν στο περιβάλλον “γήινοι σχηματισμοί φυτό-υγρό απόβλητο. Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Αυτά που βασίζονται στο έδαφος ή τα γήινα συστήματα επεξεργασίας μετά την εφαρμογή προεπεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμο. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής πρέπει να είναι συμβατά με το δυναμικό του κάθε συστήματος. Οι κύριοι τύποι συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι: α) βραδεία εφαρμογή , β)

ταχεία διήθηση , γ) επιφανειακή ροή δ) συνδυασμένοι τύποι.

2. Τα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλέοντων υδροχαρών φυτών (Meyer et al, 2014 ; Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

2.3. Βασικά Βήματα Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροτόπων

Τα πρωταρχικής σημασίας βήματα για τον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός τεχνητού υγροβιοτόπου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Metcalf and Eddy, 1991):

- Την ακριβή εκτίμηση των παροχών εισροής και των φορτίων ρύπων που εισέρχονται στον υγροβιότοπο.
- Την εκτίμηση απόδοσης του υγροβιοτόπου καθώς και της έκτασης και του όγκου που είναι απαραίτητα για την επίτευξη των ελάχιστων ορίων ποιότητας της εκροής.
- Το σχεδιασμό ελέγχων των υδρολογικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών του υγροβιοτόπου με σκοπό να επιτευχθεί επίπεδο απόδοσης συγκρίσιμο με την απόδοση των λειτουργούντων συστημάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή εμπειρικών τοπικών σταθερών.
- Τη δημιουργία και διατήρηση των χημικών, φυσικών και βιολογικών στοιχείων του συστήματος του υγροβιοτόπου που είναι αναγκαία για την επίτευξη των αναμενόμενων ρυθμών επεξεργασίας των ρύπων.

Αρκετά συμπληρωματικά ζητήματα είναι σημαντικά στο σχεδιασμό και στη λειτουργία τεχνητών υγροβιοτόπων επεξεργασίας. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τάφρους και αναχώματα, διατάξεις ελέγχου της εισόδου και εξόδου του νερού, συμπίεση και διαβάθμιση του εδάφους, στεγανοποίηση και άλλα. Επίσης, μηχανολογικά ζητήματα σχετικά με διατάξεις ελέγχου της ροής, θέματα κατασκευής και λειτουργίας είναι επίσης σημαντικά και περιλαμβάνουν απαιτήσεις σχετικές με την αποψίλωση των φυτών και τον καθαρισμό τους, τεχνικές επιλογής των φυτών, έλεγχο

του επιπέδου της επιφάνειας του νερού, αποφυγή ενοχλητικών συνθηκών λόγω κουνουπιών ή οσμών, ασφάλεια τόσο του κοινού όσο και του προσωπικού και διαχείριση της άγρια ζωής (Prescott and Tsanis, 1997).

2.4. Υγρότοποι

Ως υγρότοποι ορίζονται περιοχές οι οποίες είτε πλημμυρίζουν από επιφανειακό νερό, είτε τα εδάφη τους βρίσκονται σε κατάσταση κορεσμού λόγω της υψηλής στάθμης του υπόγειου νερού, τόσο συχνά και με τέτοια διάρκεια, ώστε να έχουν χαρακτηριστικά εδάφη, να υποστηρίζουν βλάστηση που έχει προσαρμοσθεί σε υγρές συνθήκες και να λαμβάνουν χώρα σε αυτές τις περιοχές βιολογικές λειτουργίες και δραστηριότητες προσαρμοσμένες στο υγρό περιβάλλον (Τσιχριντζής, 2000). Θεωρούνται μεταξύ των σπουδαιότερων οικοσυστημάτων του πλανήτη, καθώς παρέχουν το περιβάλλον διαβίωσης για μια μεγάλη ποικιλία ειδών πανίδας και χλωρίδας, επιτρέπουν την πραγματοποίηση πολύτιμων διεργασιών των υδρολογικών και χημικών κύκλων με τελικό αποτέλεσμα τον καθαρισμό των ρυπασμένων υδάτων, συμβάλλουν στην αποτροπή πλημμύρων, στην προστασία των ακτογραμμών και στην επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων, παρουσιάζοντας σημαντική οικονομική αξία στην παραγωγή τροφής και ενέργειας (Prescott and Tsanis, 1997).

Οι υγρότοποι αποτελούν τμήματα του εδάφους κατακλυζόμενα με νερό, συνήθως μικρού βάθους (μικρότερο των 0,6 m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά όπως είναι: διάφορα είδη κύπερης, καλάμια, είδη βούρλων και άλλα είδη ψαθιού και αφράτου. Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στη διήθηση και την προσρόφηση συστατικών των αποβλήτων, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα του νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των ρυπασμένων υδάτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο τεχνητοί, όσο και φυσικοί υγροβιότοποι. Οι φυσικοί

όμως υγρότοποι έχουν περιορισμένη χρήση που συνίσταται στην αποδοχή και/ή περαιτέρω επεξεργασία εκροών δευτεροβάθμιας ή ακόμη προωθημένης επεξεργασίας (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

2.4.1. Φυσικοί Υγρότοποι

Οι φυσικοί υγρότοποι θεωρούνται από τα πιο σημαντικά οικοσυστήματα του πλανήτη. Εντούτοις, η σπουδαιότητά τους δεν αναγνωρίστηκε παρά μόνο τα τελευταία χρόνια, ενώ παλαιότερα συχνά καταστρέφονταν με σκοπό την επέκταση αστικών και αγροτικών περιοχών. Έτσι, έχει χαθεί ένα μεγάλο μέρος τους, κάτι που επέφερε δραματικές επιπτώσεις και στην εξαιρετική ποικιλία πανίδας και χλωρίδας που αναπτύσσεται σε αυτούς (Τσιχριντζής, 2000). Στις ΗΠΑ υπολογίζεται ότι έχει καταστραφεί το 35 έως 50% των φυσικών υδροβιοτόπων λόγω αποστράγγισης ή επιχωμάτωσης της επιφάνειας έκτασης που καταλάμβαναν (Tsihrintzis, 1999). Τα τελευταία έτη, οι φυσικοί υδροβιότοποι προστατεύονται μέσω διεθνών συμβάσεων, όπως είναι η συνθήκη Ramsar (www.ramsar.org) και η Διάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (Agenda 21) (www.un.org), οι οποίες έχουν προσυπογραφεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελλάδα. Έτσι, η οποιαδήποτε μετατροπή της υδρολογικής κατάστασης κάποιου φυσικού υδροβιοτόπου είναι εξαιρετικά δύσκολο να λάβει χώρα (Τσιχριντζής, 2000). Οι περισσότεροι φυσικοί υδροβιότοποι είναι συστήματα επιφανειακής ροής που περιλαμβάνουν βαλτώδη βλάστηση (βασική βλάστηση βρυών, βλάστηση γρασιδιού και αναδυόμενα μακρόφυτα) (US.EPA, 2000).

Η χρήση φυσικών υδροβιοτόπων για άμεση επεξεργασία λυμάτων δημιουργεί προβλήματα μηχανικής απόψεως, έχοντας επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος. Το υδραυλικό καθεστώς στους περισσότερους φυσικούς υδροτόπους έχει αναπτυχθεί για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μπορεί να είναι «υγρό», όμως λόγω της δημιουργίας καναλιών στη ροή το μεγαλύτερο κομμάτι

της ροής διαμέσου του υγροτόπου εμφανίζεται διαμέσου ενός σχετικά μικρού μέρους της συνολικής περιοχής. Στην ακραία περίπτωση, μόνο 10% της επιφάνειας του υγροτόπου ίσως έλθει σε επαφή με τα λύματα που εισάγονται στον υγροβιότοπο, οπότε μόνο το 10% της συνολικής περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελεσματικό στην επεξεργασία. Θεωρείται απίθανο να διορθωθεί το πρόβλημα αυτό με ισοπέδωση του εδάφους ή κάποια άλλη δραστηριότητα του μηχανικού και να συνεχίζεται να συντηρείται η αξία που είχε αρχικά ο φυσικός υγροβιότοπος (Reed et al., 1995).

2.4.2. Τεχνητοί Υγρότοποι

Οι τεχνητοί υγρότοποι αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που βασίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών που αναφύονται όπως νεροκάλαμα, βούρλα και ψαθί. Σε τέτοια συστήματα η εφαρμογή αποβλήτου λαμβάνει χώρα πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Reed et al., 1984). Η δημιουργία και η απόδοση των υγροβιοτόπων πρέπει να πραγματοποιείται μέσω οικολογικά υγιών τρόπων. Η δημιουργία υγροβιοτόπου αναφέρεται στην κατασκευή του σε μια περιοχή όπου δεν υπήρχε υγροβιότοπος προηγουμένως. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι δεν έχουν υπολογισθεί με ακρίβεια στις ΗΠΑ, αλλά πιθανότατα είναι χιλιάδες (Mitsch, 1992).

Οι υγροβιότοποι θεωρούνται χαμηλού κόστους εναλλακτικές λύσεις για την επεξεργασία δημοτικών, βιομηχανικών και αγροτικών υγρών αποβλήτων. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι προτιμώνται επειδή έχουν περισσότερα μηχανικά συστήματα και είναι ευκολότερο να ελεγχθούν (Kadlec, 1995; Ayaz and Akca, 2001). Αυτή η νέα αναπτυσσόμενη τεχνολογία μπορεί να παρέχει χαμηλό κόστος και μικρές απαιτήσεις συντήρησης στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, χαρακτηριστικά που είναι ιδιαίτερα χρήσιμα ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες (Haberl et al., 1995; Hammer, 1989; Ayaz and Akca, 2001).

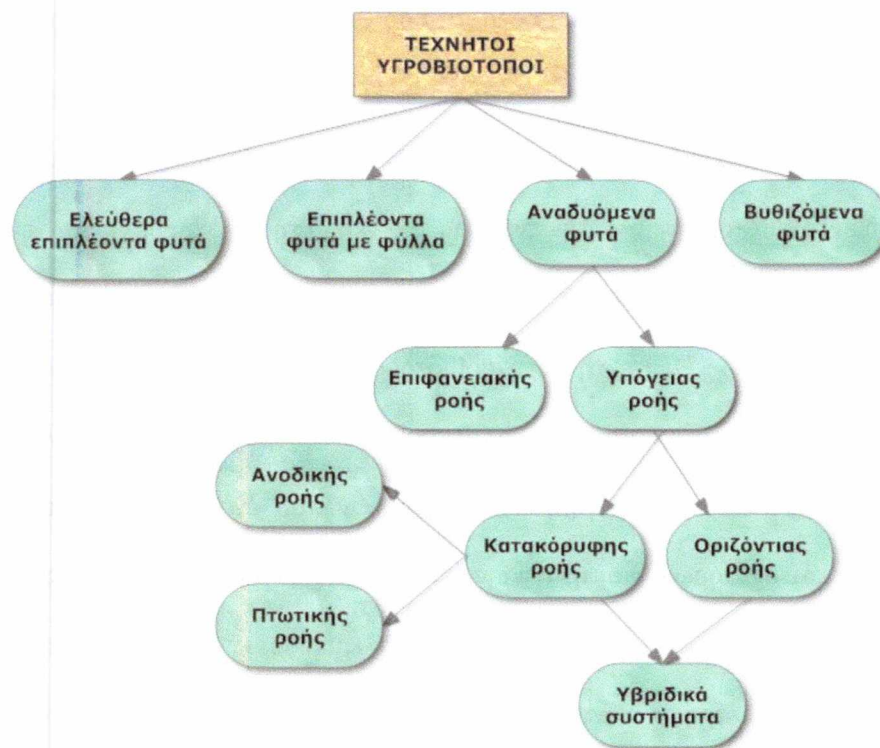
Η κατασκευή ενός υγροβιοτόπου σε μια περιοχή επιτρέπει την αποφυγή ρυθμίσεων και περιβαλλοντικών εμπλοκών που συνδέονται με τη διάθεση εκροών σε φυσικά

οικοσυστήματα (όπως θεωρούνται οι φυσικοί υγροβιότοποι) και επιτρέπουν το σχεδιασμό του υγροβιότοπου με σκοπό αποκλειστικά τη βέλτιστη επεξεργασία των ρυπασμένων υδάτων. Τυπικά, ένας τεχνητός υγροβιότοπος αποδίδει περισσότερο σε σχέση με ένα φυσικό ίσης έκτασης, εφόσον το έδαφος έχει προσεκτικά ισοπεδωθεί και στο υδραυλικό καθεστώς του συστήματος πραγματοποιείται σωστός έλεγχος. Η αξιοπιστία ενός τεχνητού υγροβιότοπου αυξάνεται εφόσον η βλάστηση και τα άλλα μέρη του συστήματος μπορούν να υποστούν την απαραίτητη διαχείριση, ώστε η απόδοσή του να βελτιστοποιηθεί (Bendoricchio et al., 2000). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι όπως όλα τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας βασίζονται (σε μικρό ή μεγάλο βαθμό) στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία, την κινητική ενέργεια του ανέμου, την ενέργεια του νερού της βροχής, το επιφανειακό νερό, το έδαφος και την αποθήκευση ενδεχόμενης ενέργειας σε βιομάζα και στα εδάφη (Ζουραράκη, 2002). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι σήμερα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων, αποστραγγίσεων ορυχείων, αστικών απορροών, κτηνοτροφικών αποβλήτων, σηπτικών δεξαμενών που έχουν αστοχήσει, αγροτικών απορροών και διαφόρων βιομηχανικών αποβλήτων. Τέτοια συστήματα επεξεργασίας εντοπίζονται σε περιοχές που βρίσκονται στο επίπεδο της θάλασσας έως περιοχές υψομέτρου 1500 μέτρων και από τροπικές έως ημιαρκτικές περιοχές, όπως στο Οντάριο των ΗΠΑ και σε σκανδιναβικές χώρες. Αφού η λειτουργία τους βασίζεται σε χημικές και βιολογικές διαδικασίες, η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης ρύπων μειώνεται σε κάποιο βαθμό κατά τη διάρκεια χαμηλών θερμοκρασιών, αλλά τα επίπεδα εκροής παραμένουν ικανοποιητικά κάτω από επιτρεπτά όρια (Hammer, 1997).

2.5. Τύποι Τεχνητών Υγροτόπων

Οι τεχνητοί υγροτόποι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους του σχεδιασμού, αλλά τρία είναι τα σημαντικότερα κριτήρια. Η υδρολογία

(επιφανειακής ή υπόγειας ροής), ο τύπος των μακροφύτων ανάπτυξης (αναδύομενα φυτά, βυθιζόμενα φυτά, ελεύθερα επιπλέοντα φυτά και επιπλέοντα φυτά με φύλλα.). Επίσης, οι τεχνητοί υγρότοποι υπόγειας ροής διακρίνονται ανάλογα με το είδος της ροής σε τεχνητούς υγρότοπους κατακόρυφης ή οριζόντιας ροής. Διαφορετικοί τύποι τεχνητών υγροτόπων μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους (δηλαδή, υβριδικά ή συνδυασμένα συστήματα) έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα των διαφόρων συστημάτων (Vymazal, 2005, 2010).



Σχήμα 2.1 Κατηγοριοποίηση τεχνητών υγροβιότοπων για επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

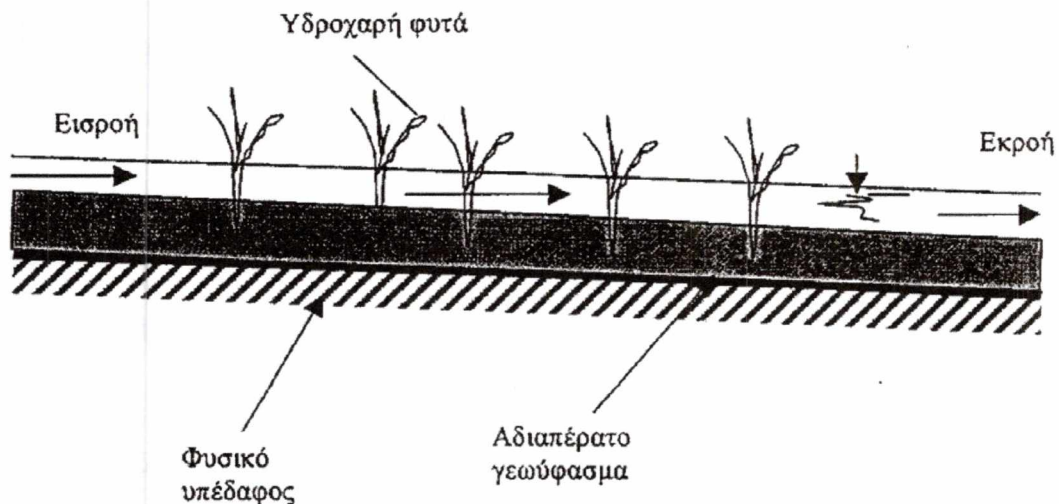
2.5.1. Τεχνητοί Υγρότοποι Επιφανειακής Ροής

Τα συστήματα επιφανειακής ροής αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1 ως 0,6 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη παροχή ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των

στελεχών των ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος. Επίσης, τα συστήματα αυτά είναι δυνατόν να σχεδιάζονται με σκοπό την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υγροβιοτόπων ή ενίσχυση υπαρχόντων φυσικών υγροβιοτόπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοικτών μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).



Εικόνα 2.1. Τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής (Πηγή: Μάρκου, 2000).

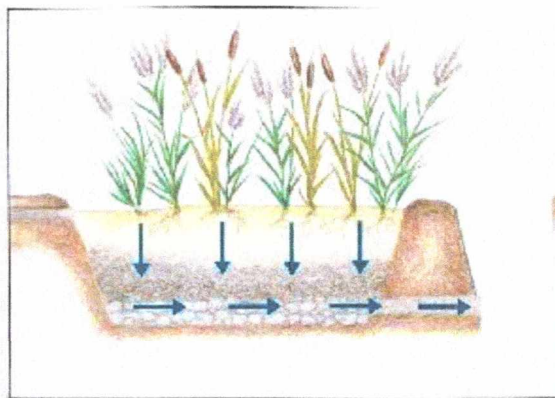


Σχήμα 2.2. Τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής (Πηγή: Μάρκου, 2000).

2.5.2. Τεχνητοί Υγρότοποι Υπόγειας Κατακόρυφης Ροής

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από την κατακόρυφη ροή των προς επεξεργασία λυμάτων μέσα από τις εδαφικές στρώσεις των λεκανών τους. Η λειτουργία τους προσομοιάζει αρκετά με το περιοδικό πότισμα μιας γλάστρας στην οποία το νερό αρχικά πλημμυρίζει τη λεκάνη και εν συνεχεία αφήνεται να στραγγίσει (Καραμούζης, 2003). Οι λεκάνες στα συστήματα αυτά κατασκευάζονται με ένα βάθος περίπου 0,90 έως 1,20 m, με μια μέση κλίση πυθμένα περίπου 1%. Ο πυθμένας και τα πρανή τους καλύπτονται από γεωμεμβράνη ή κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Στη συνέχεια, γίνεται πλήρωση των λεκανών με αδρανή υλικά συνολικού βάθους μέχρι ενός μέτρου, μειούμενης κοκκομετρίας από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Το επιφανειακό στρώμα της λεκάνης, βάθους 10 έως 30 cm, καλύπτεται με άμμο, μέσα στην οποία φυτεύονται και αναπτύσσονται είδη καλαμιών. Για τη λειτουργία αυτού του συστήματος οι λεκάνες κατακλύζονται περιοδικά με μεγάλες παροχές λυμάτων και η ροή γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τεχνητού υγροβιοτόπου έναντι των υπολοίπων είναι η απαίτηση μικρότερης έκτασης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και η διατήρηση αερόβιων συνθηκών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, εξαιτίας της περιοδικής ανάπαυσης και ως εκ τούτου και περιοδικής ξήρανσης κάθε λεκάνης. Αυτό το πλεονέκτημα των υγροβιοτόπων με περιοδική κατάκλυση αποδίδεται, κυρίως, στις συνθήκες ακόρεστης ροής και επιπρόσθετα στο μεγαλύτερο πάχος της εδαφικής στρώσης των λεκανών, με το οποίο επιτυγχάνεται ένα επιπρόσθετο φιλτράρισμα των υγρών αποβλήτων (Καραμούζης, 2003). Στις μέρες μας, οι κατακόρυφης ροής τεχνητοί υγροβιοτόποι με διακοπτόμενη τροφοδοσία χρησιμοποιούνται συχνά στην Ευρώπη λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους άλλους σχεδιασμούς. Οι κατακόρυφης ροής τεχνητοί υγροβιοτόποι παρουσιάζουν περισσότερο ισοδύναμη κατανομή ριζών και επαφή ριζών-νερού και λιγότερα προβλήματα κακοσμίας και πολλαπλασιασμού εντόμων, αφού δεν έχουν ελεύθερη επιφάνεια νερού. Ακόμη κι αν οι

κατακόρυφης ροής τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται κυρίως για απομάκρυνση COD, TSS και κολοβακτηριδίων, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον στη χρήση τους για απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Στους τεχνητούς υγροβιοτόπους, όπου δημιουργούνται αερόβια και αναερόβια περιβάλλοντα, ο μικροβιακός υποβιβασμός αποτελεί τον πιο σημαντικό μηχανισμό για νιτροποίηση και απονιτροποίηση, ενώ η προσρόφηση φωσφόρου στο υπόστρωμα είναι ένας σημαντικός μηχανισμός για την απομάκρυνσή του (IWA, 2000). Για τέτοιες διαδικασίες, τα υποστρώματα (κορεσμένα μέσα των τεχνητών υγροβιοτόπων) θεωρούνται επίσης πολύ σημαντικά. Με σκοπό τη βελτίωση κατακράτησης φωσφόρου, υποστρώματα με μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου, μεγαλύτερο περιεχόμενο σε ασβέστιο, σίδηρο και αργίλιο, μεγαλύτερη επιφάνεια σωματιδίων και κατάλληλη υδραυλική αγωγιμότητα χρησιμοποιούνται ευρέως. Για το λόγο αυτό, οι ερευνητές υγροβιοτόπων έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούν βιομηχανικά παραπροϊόντα, όπως μικρού βάρους τσιμεντολάσπη (LWA, LECA κτλ.) και απορρίμματα από βιομηχανίες, όπως και φυσικά υλικά με υψηλή ικανότητα προσρόφησης (Korkusuz et al., 2004).

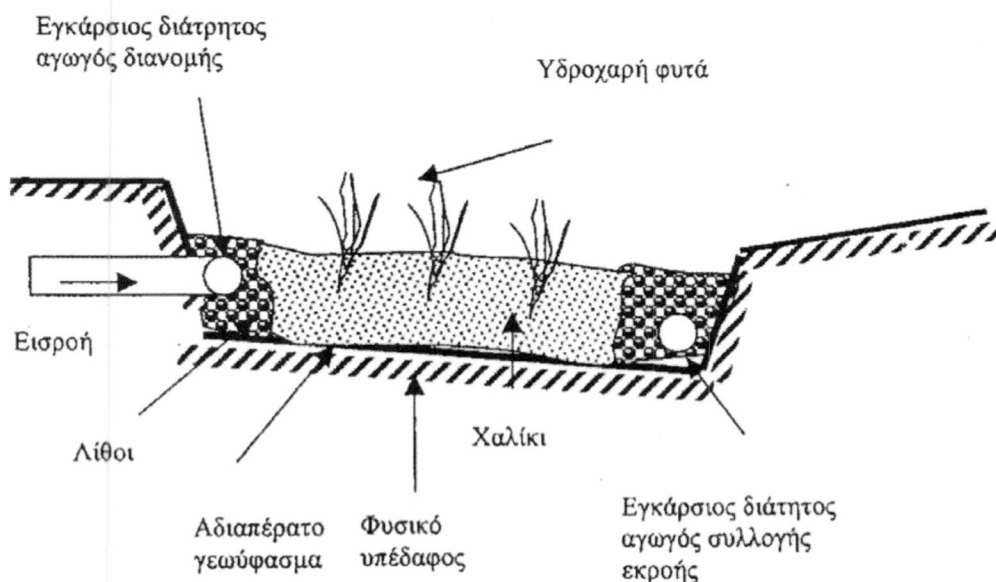


Σχήμα 2.3. Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής (Πηγή: www.uvm.edu).

2.5.3. Τεχνητοί Υγρότοποι Υπόγειας Οριζόντιας Ροής

Με ανάλογο τρόπο, τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα

καλούνται επίσης συστήματα «ριζόσφαιρας» ή «φίλτρων εδάφους- καλαμιών» και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης. Σε τεχνητούς υγρότοπους οριζόντιας υπόγειας ροής, τα λύματα τροφοδοτούνται στην ζώνη είσοδου και ρέουν αργά διαμέσου του πορώδους μέσου κάτω από την επιφάνεια της κλίνης σε μία άλλες φορές περισσότερο ή άλλες φορές λιγότερο οριζόντια διαδρομή μέχρι να φτάσουν στη ζώνη εξόδου, όπου συλλέγονται πριν από την αναχώρηση, μέσω της διάταξης ελέγχου στάθμης, στην έξοδο. Κατά τη διάρκεια του περάσματος τα λύματα θα έρθουν σε επαφή με ένα δίκτυο αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων ζωνών. Οι αερόβιες ζώνες εμφανίζονται γύρω από τις ρίζες και ριζώματα που απελευθερώνουν το οξυγόνο μέσα στο υπόστρωμα (Brix, 1992. Cooper et al, 1990).

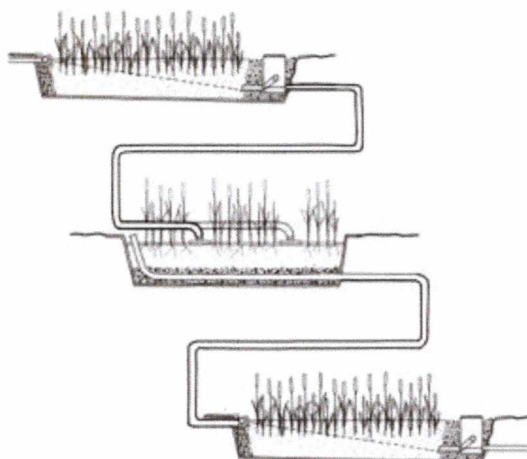


Σχήμα 2.4. Τεχνητός υγροβιότοπος οριζόντιας υπόγειας ροής (Πηγή: Μάρκου, 2000).

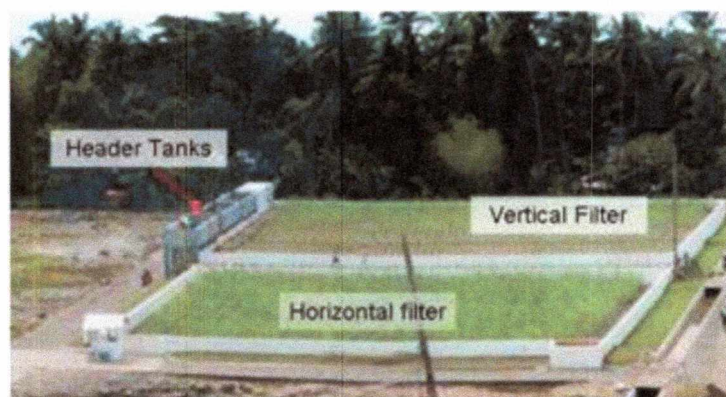
2.5.4. Υβριδικοί Τεχνητοί Υγρότοποι

Πολλά από τα υβριδικά συστήματα προέρχονται από το αρχικό υβριδικό σύστημα που αναπτύχθηκε από τη Seidel στο Ινστιτούτο Max Planck στο Κρεφελντ της Γερμανίας. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως το σύστημα Seidel, το σύστημα

Κρεφελντ ή της Διαδικασίας Ινστιτουτο Max Planck (Seidel, 1966). Το σχέδιο αποτελείται από δύο στάδια πολλών παράλληλων κλινών φιλτραρίσματος(στάδιο κατακόρυφης ροής) που ακολουθούνται από δύο η τρεις κλίνες αποβολής σε σειρά (στάδιο οριζόντιας ροής). Για το στάδιο οριζόντιας ροής συνήθως φυτεύονται τα *Phragmites australis*, ενώ το στάδιο κατακόρυφης ροής περιέχει μια σειρά από άλλα αναδυόμενα μακροφυτά,όπως *Iris*, *Schoeno-plectus (Scirpus)*, *Sparganium*, *Carex*, *Typha* και *Acorus*. Διάφοροι τύποι τεχνητών υγροτόπων μπορούν να συνδιαστούν έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη επίδραση της επεξεργασίας,ειδικά όσων αφορά την απομάκρυνση του αζώτου. Έχει υπάρξει αυξανόμενη ζήτηση για την επίτευξη πλήρους απομάκρυνσης του αζώτου από τα λύματα αλλά τα δευτερογενή συστήματα επεξεργασίας οριζόντιας ροής δεν μπορούν να το κάνουν αυτό λόγω της περιορισμένης ικανότητας τους μεταφοράς οξυγόνου. Τα κατακόρυφης ροής συστήματα προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου και συνεπώς προσφέρουν και μεγαλύτερη απομάκρυνση του αζώτου. Παρόλαυτα, πολύ περιορισμένη η σχεδόν καθόλου απομάκρυνση αζώτου δεν λαμβάνει χώρα στα συστήματα κατακόρυφης ροής (Vyzamal, 2014). Ως εκ τούτου,έχει υπάρξει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα υβριδικά συστήματα έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται και τα συστήματα κατακόρυφης ροής και τα οριζόντιας ροής συστήματα. Συνεπώς,στα υβριδικά συστήματα,τα πλεονεκτήματα των διαφόρων συστημάτων μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να αλληλοσυμπληρώνονται (Cooper, 1990).



Σχήμα 2.5. Υβριδικός Τεχνητός υγρότοπος (Πηγή: www.sswm.info).



Εικόνα 2.2. Υβριδικός Τεχνητός υγρότοπος (Πηγή: www.sswm.info).

2.6. Γενικά Κατασκευαστικά Στοιχεία Και Παράμετροι Που Ελέγχουν Την Αποτελεσματικότητα Των Τεχνητών Υγροτόπων

2.6.1. Έλεγχος Φορέων Εντόμων

Τα συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων επιφανειακής ροής αποτελούν ιδεώδεις κατοικίες αναπαραγωγής κουνουπιών. Κατά το σχεδιασμό τους, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή αφού τα κουνούπια μπορούν να γίνουν φορείς μεταδόσεως νόσων στις γύρω κοινότητες. Η φύση του υγροβιοτόπου επηρεάζει τα είδη των κουνουπιών που αναπτύσσονται και το ρυθμό αναπαραγωγής τους. Καινούριοι υγροβιοτόποι στους

οποίους αναπτύσσεται βλάστηση μπορεί να παρέχουν κατάλληλες συνθήκες για κάποια παθογενή είδη και να παράγεται μεγάλος αριθμός κουνουπιών μέσα σε λίγες εβδομάδες. Υγροβιότοποι με πιο σταθερές συνθήκες ροής στους οποίους έχει αναπτυχθεί ένα σύνθετο οικοσύστημα με διάφορα είδη ζώων και φυτών, γενικά φιλοξενούν μικρότερο αριθμό κουνουπιών αν και σε αυτούς μπορεί να εμφανισθεί μεγαλύτερη ποικιλία ειδών. Συγκεκριμένα, είναι δυνατόν να καταστούν φορείς διαφόρων ειδών παθογενών οργανισμών όπως ορισμένων πρωτοζώων (Μαλάρια), νηματοειδών (Φιλάρια) και κάποιων ιών (κυρίως ιών εγκεφαλίτιδας) (Walton, 2003).

Είναι χαρακτηριστικό ότι στους τεχνητούς υγροβιοτόπους η πυκνότητα κουνουπιών μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή που αναπτύσσεται σε φυσικούς υγροβιοτόπους. Τα κυριότερα είδη που αφορούν τη δημόσια υγεία είναι τα *Anopheles spp.*, *Culex spp.*, *Coquillettidia* και *Mansonia*. Μολονότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που σχετίζονται με ασθένειες που οφείλονται στα κουνούπια, ο κυριότερος που λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση επικινδυνότητας είναι η πυκνότητα του πληθυσμού τους. Είναι πολύ δύσκολο να καθορισθεί ένα ανώτατο όριο πέρα από το οποίο ο πληθυσμός των κουνουπιών αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία γιατί η επικινδυνότητα σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό και με την υπό μελέτη περιοχή. Η ανάλυση επικινδυνότητας απαιτεί ολοκληρωμένη παρακολούθηση, αναγνώριση των ειδών που εμφανίζονται, αξιολόγηση τόσο του ρυθμού με τον οποίο αυτά αναπτύσσονται όσο και της πιθανότητας να έρθουν σε επαφή με ανθρώπους και ζώα (Ντεντιδάκης, 2000). Έτσι, ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών πρέπει να περιλαμβάνει βιολογικό έλεγχο κουνουπιών, όπως η δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης του είδους ψαριού *Gambusia affinis*, σε συνδυασμό βέβαια με χημικό έλεγχό τους. Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου άνω του 1 mg/L για τη διατήρηση πληθυσμού ψαριών αυτού του είδους. Επίσης, αραίωση της φυτικής βλάστησης ίσως θεωρείται απαραίτητη για τον περιορισμό τμημάτων, που δεν είναι προσιτά στην ανάπτυξη ιχθυο-πληθυσμού (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Στον υγροβιότοπο επιφανειακής ροής στην Arcata της Καλιφόρνιας χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία το ψάρι *Gambusia* και μια χρυσαλίδα (*Altosid*) για τον έλεγχο των κουνουπιών. Βακτηριακά εντομοκτόνα (*Bacillus thuringiensis israeliensis* και *B. Sphaericus*) έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε αρκετά συστήματα υγροβιοτόπων. Η χρήση του *B. thuringiensis* συστήθηκε προς χρήση μετά από δοκιμές με αρκετά εντομοκτόνα σε συστήματα υγροβιοτόπων στο Kentucky. Οι κλίσεις των επιφανειών των περιεχόμενων αναχωμάτων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απότομες και οποιαδήποτε βλάστηση στις επιφάνειες αυτές πρέπει να ελέγχεται. Η παρουσία φυτικών ειδών όπως η λέμνα (*duckweed*) είναι δυνατόν να συμβάλλει επίσης στον έλεγχο των εντόμων καλύπτοντας την επιφάνεια του νερού, όμως αυτό θα παρέμβει και στη μεταφορά οξυγόνου από την ατμόσφαιρα (Ντεντιδάκης, 2000).

Ο έλεγχος των κουνουπιών με χρήση ψαριών είναι σχετικά εύκολος σε τεχνητούς υγροβιοτόπους υπό τον όρο ότι τα μόνιμα ύδατα εκρέουν και αποφεύγονται ιδιαίτερα ανοξικές συνθήκες. Πολλοί υγροβιοτόποι που λαμβάνουν μόνο εισροές μη σημειακής ρύπανσης ίσως περιοδικά καταστούν ξηροί, με αποτέλεσμα την ολική απώλεια των πληθυσμών ψαριών που τρέφονται με κουνούπια. Χωρίς φυσικό ή τεχνητό εφοδιασμό με τα ψάρια αυτά, οι τεχνητοί υγροβιοτόποι είναι πιθανόν να καταλήξουν σε ιδιαίτερα αρνητικές συνθήκες όταν είναι τοποθετημένοι κοντά σε κατοικημένες περιοχές (Knight, 1992).

2.6.2. Εξατμισοδιαπνοή

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των υγροβιοτόπων στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής. Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα εξατμιζόμενο είτε από την ελεύθερη επιφάνεια του υγροβιοτόπου είτε από τη διαπνοή των φυτών (Διαμαντής, 1999). Οι απώλειες αυτές δύναται να είναι αρκετά σημαντικές, επομένως είναι αναγκαίο να τις λαμβάνουμε σοβαρά υπ' όψιν για το σωστό σχεδιασμό του

συστήματος. Η εξαμισοδιαπνοή αυξάνει το χρόνο παραμονής και τη συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών των αποβλήτων, ενώ σημαντικό πρόβλημα μπορεί να προκληθεί όταν η εισερχόμενη παροχή των αποβλήτων είναι μικρότερη της εξαμισοδιαπνοής και δεν έχουμε βροχοπτώσεις (Ντεντιδάκης, 2000).

2.6.3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κι ιδιαίτερα οι επιφανειακής ροής, λειτουργούν ως χαμηλής απόδοσης «εξαεριστές» (air strippers). Πτητικά συστατικά εγκαταλείπουν τα υγρά απόβλητα και εισέρχονται στην ατμόσφαιρα μετατρέποντας με αυτόν τον τρόπο ένα ρύπο του νερού σε ατμοσφαιρικό ρύπο. Οπότε, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπ' όψιν η πιθανότητα υποβάθμισης του αέρα μέσω αυτής της διεργασίας. Για οργανικούς ρύπους χαμηλών συγκεντρώσεων, η αέρια ρύπανση που προξενείται με αυτόν τον τρόπο είναι αμελητέα. Όμως, στην περίπτωση εξαέρωσης της αμμωνίας είναι δυνατόν να προκληθεί τοπική ανησυχία. Μάλιστα, υπάρχει πιθανότητα, στο μέλλον, οι νόμοι που θα αφορούν την ποιότητα του αέρα να απαιτούν σχεδιαστικούς περιορισμούς που θα βασίζονται στις εκπομπές πτητικών ουσιών (Kadlec, 1999).

2.6.4. Περιορισμοί Ψυχρού Κλίματος

Μολονότι πολλοί τεχνητοί υγροβιότοποι στον πλανήτη βρίσκονται σε εύκρατες και ψυχρές-εύκρατες ζώνες, αυτές οι κλιματικές συνθήκες δεν είναι ιδανικές για επεξεργασία αποβλήτων. Όλες οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνονται όσο η θερμοκρασία ελαττώνεται κι αυτό συμβαίνει για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους τεχνητούς υγροβιότοπους (www.fujitaresearch.com, Mæhlum et al., 1995).

2.6.5. Σχηματισμός Πάγου

Ο πάγος έχει απρόβλεπτες επιδράσεις στους τεχνητούς υγροβιότοπους, ιδιαίτερα

στους επιφανειακής ροής. Σε χιονώδη κλίματα, αν αρκετό χιόνι συσσωρεύεται γύρω από τα φυτά κτλ., τότε η πήξη του νερού που βρίσκεται από κάτω εμποδίζεται σημαντικά. Εντούτοις, αν ο πάγος σχηματίζεται γύρω από τους μίσχους φυτών (και συγκρατείται από αυτούς) τότε ο πάγος αυξάνεται προς τα κάτω εντός του νερού, προκαλώντας τα όρια του νερού να χαμηλώσουν ταχύτατα. Η στένωση της ροής μπορεί να οδηγήσει σε πλημμύρα, περαιτέρω πήξη και υδραυλική αποτυχία. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με εφαρμογή οριζόντιας ροής τύπου υδροβιοτόπων με μεγαλύτερο βάθος νερού το χειμώνα. Πρωταρχικά αποτελέσματα από αριθμητικά μοντέλα επίσης προτείνουν ότι η κάλυψη επιφανειακής ροής υδροβιοτόπων με πολυστυρένιο (XPS, 10 cm) είναι επαρκής να αποτρέψει το σχηματισμό πάγου, ακόμη κι αν οι θερμοκρασίες πέφτουν στους -10°C για περιόδους διάρκειας εβδομάδων.

Η ευαισθησία των υδροβιοτόπων υπόγειας ροής στα προβλήματα πάγου είναι μικρότερη σε σχέση με τα προβλήματα των επιφανειακής ροής. Η ακόρεστη επιφάνεια στρώματος λειτουργεί ως μονωτής. Πιστεύεται ότι τα συστήματα κατακόρυφης ροής μπορούν να αντισταθούν περισσότερο στα προβλήματα που δημιουργεί ο πάγος σε σχέση με τα οριζόντιας ροής (www.fujitaresearch.com).

2.6.6. Βιοχημικές Αντιδράσεις Και Πρόσληψη Θρεπτικών

Η θερμοκρασία επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο λαμβάνουν χώρα οι βιογεωχημικές διεργασίες. Σε ψυχρά κλίματα, ο ρυθμός με τον οποίο η βιομάζα απορροφά θρεπτικά θα είναι σημαντικά χαμηλότερος σε σχέση με τα θερμά, υποτροπικά ή τροπικά κλίματα. Στην πραγματικότητα, η επιφάνεια επεξεργασίας που απαιτείται ώστε να μεταφέρει το 90% των θρεπτικών στη βιομάζα αυξάνεται από περίπου 7 ha στους 20°C στα 35 ha στους 0°C . Εντούτοις, αυτό δεν είναι πρακτικά σημαντικό αν δεν απαιτείται ανακύκλωση θρεπτικών (www.fujitaresearch.com)

2.6.7. Αξιολόγηση Των Διαδικασιών Έμφραξης Υποστρώματος

Πέραν πάσης αμφιβολίας, το μεγαλύτερο λειτουργικό πρόβλημα των τεχνητών υδροβιοτόπων στις ημέρες μας είναι οι εμφράξεις (clogging) της επιφάνειας του φίλτρου κλινών κατακόρυφης ροής. Ο όρος «έμφραξη υποστρώματος» περιλαμβάνει πολλές διεργασίες που οδηγούν σε μείωση της ικανότητας διήθησης της επιφάνειας του υποστρώματος. Η έμφραξη υποστρώματος οδηγεί σε εξαιρετικά γρήγορη αποτυχία της απόδοσης επεξεργασίας του συστήματος. Η αιτία της αποτυχίας είναι το περιορισμένο απόθεμα οξυγόνου σε έναν εμφραγμένο τεχνητό υδροβιότοπο. Η λειτουργία των τεχνητών υδροβιοτόπων σε υψηλούς ρυθμούς φόρτισης χωρίς τη δημιουργία προβλημάτων έμφραξης για μεγάλη περίοδο μπορεί συνεπώς να θεωρηθεί ως μια από τις σημαντικότερες μελλοντικές έρευνες στην τεχνολογία τεχνητών υδροβιοτόπων (Langergraber et al., 2003).

Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν σε έμφραξη είναι η συσσώρευση αιωρούμενων στερεών και η περίσσεια παραγωγή ιλύος των περιεχόμενων μικροοργανισμών. Επίσης, η χημική κατακρήμνιση και εναπόθεση στους πόρους, η ανάπτυξη ριζωμάτων και ριζών μπορούν να φράξουν ένα μέρος του υδραυλικά ενεργού όγκου πόρων. Ο σχηματισμός και η συσσώρευση χουμικών ουσιών επίσης θεωρείται ότι παίζει ρόλο έως ένα ορισμένο σημείο. Όλοι οι μηχανισμοί οδηγούν σε εσωτερικό και εξωτερικό μπλοκάρισμα του υποστρώματος του φίλτρου με τη μείωση του ενεργού όγκου πόρων και επομένως μειώνοντας την υδραυλική αγωγιμότητα του υποστρώματος. Έτσι, οι πόροι δεν μπορούν να αεριστούν όπως θα ήταν απαραίτητο για την επεξεργασία του υγρού αποβλήτου με νιτροποίηση.

Οι ακόλουθες παράμετροι επηρεάζουν την έμφραξη υποστρώματος (Langergraber et al., 2003):

- Υπόστρωμα: Είναι φανερό ότι η κατανομή του μεγέθους των κόκκων έχει καθοριστική επίδραση στην κατανομή μεγέθους των πόρων, στον υδραυλικά ενεργό όγκο πόρων και συνεπώς στη διεργασία έμφραξης.

- **Φορτίο Αιωρούμενων Στερεών:** Η φόρτιση αιωρούμενων στερεών έχει αναφερθεί ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την έμφραξη υποστρώματος.
- **Οργανικό φορτίο:** Το οργανικό υλικό οδηγεί σε παραγωγή ιλύος (περίσσεια ιλύος μικροοργανισμών) που θα συσσωρευούνται εντός του άνω στρώματος του τεχνητού υδροβιότοπου.
- **Στρατηγικές τροφοδοσίας:** Φαίνεται να υπάρχει σημαντική επίδραση του αριθμού τροφοδοσιών ανά ημέρα και της ποσότητας μιας απλής τροφοδοσίας στην ικανότητα φίλτρανσης του υποστρώματος.

2.6.8. Επιλογή Και Εκτίμηση Θέσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά της θέσης, που πρέπει να θεωρούνται κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υδροβιότοπων, είναι η τοπογραφία, η εδαφολογία, η χρήση γης, η υδρολογία και το κλίμα της περιοχής (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

2.6.8.1. Τοπογραφία

Με δεδομένο ότι τα συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων με επιφανειακής ροής σχεδιάζονται σε επίπεδες λεκάνες ή κανάλια και αυτά με υπόγεια ροή σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με κλίσεις 1% ή ελαφρώς μεγαλύτερες, γενικά απαιτείται ομοιόμορφη τοπογραφία (από επίπεδη ως ελαφρώς κεκλιμένη). Είναι φανερό ότι τέτοια συστήματα μπορούν να κατασκευασθούν και σε ανομοιόμορφες εκτάσεις με μεγάλες κλίσεις, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις το κόστος εκσκαφής, ίσως είναι απαγορευτικό. Επομένως, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι κατάλληλες θέσεις για υδροβιότοπους είναι αυτές με κλίσεις μικρότερες από 5 %.

2.6.8.2. Εδαφολογία

Θέσεις με εδάφη ή υπεδάφη με μικρή σχετικά περατότητα ($< 5 \text{ mm/h}$) είναι πιο

επιθυμητές για συστήματα υδροβιότοπων, εφόσον ο αντικειμενικός σκοπός τους είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε μία υδατική στρώση, πάνω από το χρησιμοποιούμενο εδαφικό υπόστρωμα. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι απώλειες των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων με διήθησή τους στο έδαφος. Σε συστήματα υδροβιότοπων, όπως είναι και τα επιφανειακής ροής, οι πόροι στο επιφανειακό έδαφος τείνουν να αποφράσσονται, εξαιτίας της κατακράτησης στερεών και των αναπτυσσόμενων αποικιών βακτηρίων. Επίσης, σε φυσικά εδάφη, είναι δυνατός ο περιορισμός της περατότητας τους με συμπίεση τους στη διάρκεια κατασκευής του έργου. Θέσεις με πολύ περατά εδάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην περίπτωση κατασκευής μικρών συστημάτων με αργιλικές βάσεις ή άλλα τεχνητά υποστρώματα.

2.6.8.3. Χρήση Γης

Γενικά, προτιμούνται ανοικτές γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα εκείνες που ευρίσκονται σε υπάρχοντες φυσικούς υδροβιότοπους. Οι τεχνητοί υδροβιότοποι επιδρούν αυξητικά και βελτιωτικά σε υπάρχοντες φυσικούς υδροβιότοπους με προσθήκη υδρόβιας δραστηριότητας και εξασφάλιση σταθεράς υδατοτροφοδοσίας τους. Σε πολλές περιπτώσεις επιδρούν θετικά στην ποιοτική αναβάθμιση των περιοχών εγκατάστασής τους.

2.6.8.4. Υδρολογία

Οι υδροβιότοποι πρέπει να βρίσκονται έξω από περιοχές επιδεκτικές σε πλημμύρες, εκτός αν παρέχεται ιδιαίτερη προστασία τους από πλημμυρικά συμβάντα. Σε περιπτώσεις που συμβαίνουν μικρής έκτασης πλημμυρικά γεγονότα, ιδιαίτερα στη χειμερινή περίοδο, που η λειτουργία τους περιορίζεται, δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία τους.

2.6.8.5. Κλίμα

Η χρήση τεχνητών υγροβιότοπων είναι δυνατή ακόμη και σε ψυχρά κλίματα. Ως παράδειγμα αναφέρεται το σύστημα επιφανειακής ροής του Listowel του Ontario, που λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και με θερμοκρασία λυμάτων μέχρι και 3 °C (US.EPA, 2001). Γενικά, όμως, η αποτελεσματικότητα λειτουργίας ενός συστήματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων και τον επιδιωκόμενο σκοπό της επεξεργασίας του. Έτσι, με δεδομένο ότι οι κύριοι μηχανισμοί επεξεργασίας είναι κυρίως βιολογικής φύσης, η απόδοση επεξεργασίας εξαρτάται σημαντικά από την επικρατούσα θερμοκρασία.

2.6.9. Συνέπειες Τήξης

Ένα δεύτερο πρόβλημα με τους υγροβιότοπους ψυχρών κλιμάτων είναι η τήξη που παρατηρείται την άνοιξη. Η σοβαρότητα του προβλήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος της περιοχής συλλογής αποβλήτων για τον υγροβιότοπο. Αν η περιοχή συλλογής είναι μεγάλη, η τήξη θα μειώσει σε έντονο βαθμό το χρόνο παραμονής των αποβλήτων εντός του συστήματος. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει το επίπεδο μείωσης BOD_5 και απομάκρυνσης θρεπτικών (www.fujitaresearch.com).

2.6.10. Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Το ελάχιστο επίπεδο προεπεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε συστήματα υγροβιότοπων είναι εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή αεριζόμενων τεχνητών λιμνών με μικρό χρόνο κράτησης ή άλλων ισοδύναμων με αυτές. Το επίπεδο προεπεξεργασίας εξαρτάται από τα ποιοτικά κριτήρια που πρέπει να πληροί η τελική εκροή και την ικανότητα απομάκρυνσης του δεδομένου συστήματος. Σημειώνεται ότι σε τεχνητούς υγροβιότοπους έχουν χρησιμοποιηθεί και εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ή ακόμη και προωθημένης επεξεργασίας, προκειμένου να

αντιμετωπισθούν τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις. Γενικά, όμως, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλγών, επειδή αυτά όπως και στα συστήματα επιφανειακής ροής, δεν απομακρύνονται αποτελεσματικά και δημιουργούν διάφορα λειτουργικά προβλήματα. Επίσης, επειδή η απομάκρυνση φωσφόρου με τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, συνιστάται η απομάκρυνσή του κατά την προεπεξεργασία των λυμάτων, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τη συγκέντρωσή του στην τελική εκροή.

2.6.11. Βάθος Νερού

Στα συστήματα επιφανειακής, το βάθος του νερού εξαρτάται από το βάθος, που απαιτεί η ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης που επιλέγεται. Γενικά, σε ψυχρά κλίματα το λειτουργικό βάθος αυξάνει τη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να επιτρέπεται η επιφανειακή ανάπτυξη πάγου και ο κατάλληλος αυξημένος χρόνος κράτησης, που απαιτείται σε τέτοιες συνθήκες. Γι' αυτό, στα συστήματα επιφανειακής ροής πρέπει κατά το σχεδιασμό τους να προβλέπεται μια κατασκευή εξόδου που να επιτρέπει μεταβαλλόμενο λειτουργικό βάθος. Ένα τέτοιο σύστημα στο Listowel του Ontario της California έχει αυτή τη δυνατότητα, ώστε να λειτουργεί σε βάθος 0,1 m τους θερινούς και 0,3 m τους χειμερινούς.

Στα συστήματα υπόγειας ροής το βάθος τους σχεδιάζεται έτσι, ώστε να ελέγχεται το βάθος ριζοβολίας της φυτικής βλάστησης, επειδή η τροφοδοσία με οξυγόνο διενεργείται ουσιαστικά διαμέσου του ριζικού συστήματος.

2.6.12. Πορώδες Μέσο

Είναι προφανές ότι το μέγεθος των κόκκων του πορώδους μέσου καθορίζει και την εκτιμώμενη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του πορώδους και της ειδικής απόδοσης σε νερό. Στον πίνακα 2.1 δίνονται οι αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών

αυτών μεγεθών διαφόρων πορωδών μέσων, σύμφωνα με τους Morris and Johnson (Vymazal, 2015).

Πίνακας 2.1. Αντιπροσωπευτικές τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών πορωδών μέσων

	Διάμετρος κόκκων			Υδραυλική
	Ενεργή (mm)	Ειδική		
Πολύ λεπτή άμμος	0,062 – 0,125	0,075		
Λεπτομερής άμμος	0,125-0,25	0,175	43	23
Μέση άμμος	0,25-0,5	0,375	39	28
Αδρομερής άμμος	0,5-1,0	0,75	39	27
Πολύ χονδρή άμμος	1,0-2,0	1,50	38	
Πολύ λεπτά χαλίκια	2,0-4,0	3,00	36	
Λεπτομερή χαλίκια	4,0-8,0	6,00	34	25
Μεσαία	8,0-16,0	12,00	32	24
Αδρομερή χαλίκια	16,0-32,0	24,00	28	23
Πολύ χονδρά χαλίκια	32,0-64,0	48,00		

2.6.13. Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD₅

Όπως στα συστήματα επιφανειακής ροής, έτσι και σε αυτά των τεχνητών υγροτόπων, τα φορτία BOD₅ θα πρέπει να ρυθμίζονται έτσι ώστε η ζήτηση οξυγόνου στα εφαρμοζόμενα απόβλητα να μην υπερβαίνει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου με

τη φυτική βλάστηση. Επίσης, απαιτείται εμπειρία στη χρήση των κριτηρίων έκτασης-φορτίου [(μάζα/(επιφάνεια x χρόνο)], επειδή το πραγματικό φορτίο δεν εφαρμόζεται ομοιόμορφα αλλά, συνήθως, παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του, κυρίως στις εισόδους, ενώ το οξυγόνο ουσιαστικά τροφοδοτείται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του συστήματος. Εκτιμούμενοι ρυθμοί μεταφοράς οξυγόνου για αναφυόμενα φυτά κυμαίνονται από 5 έως 45 g/m² d με μια μέση τιμή 20 g/m² d, που θεωρείται τυπική για τα περισσότερα συστήματα. Έτσι, αυτός ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου είναι συγκρίσιμος με τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου σε συστήματα σταλαγματικών φίλτρων, που είναι της τάξης 28,5 g/m² d. Το οξυγόνο μεταφέρεται από εκτιθεμένα στην ατμόσφαιρα φύλλα και στελέχη των φυτών στο ριζικό τους σύστημα. Στα συστήματα SFS, που οι ρίζες των φυτών είναι σε επαφή με την ροή της εκροής του εφαρμοζόμενου αποβλήτου, το μεταφερόμενο οξυγόνο στο ριζικό σύστημα είναι διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς, που αποικούν σε αυτό, και αποδοθούν το διαλυμένο BOD στην εκροή επαφής.

Το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο πρέπει να προσδιορίζεται στη βάση της τελικής απαίτησης, BOD_u. Βασιζόμενοι σε μια αναλογία BOD_u/BOD₅=1,5, ο μέγιστος ρυθμός εφαρμοζόμενης BOD₅ σε ένα σύστημα SFS πρέπει θεωρητικά να μην υπερβαίνει τα 13,3 kg/στρ.d. Τυπικά, το ανώτατο συνιστώμενο όριο είναι 11 kg/στρ.d. Επειδή το φορτίο BOD παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση στην είσοδο του συστήματος, συνιστάται όπως το τελικό φορτίο BOD να μην υπερβαίνει το ήμισυ του ρυθμού μεταφοράς οξυγόνου. Βασιζόμενοι σ' αυτό το κριτήριο και σε μια αναλογία BOD_u / BOD₅ =1,5, ο μέγιστος ρυθμός φορτίου BOD₅ θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 6,65 kg/στρ.d. Για συστήματα, που επεξεργάζονται υγρά απόβλητα με σημαντικό κλάσμα οργανικών στερεών, που καθιζάνουν, το φορτίο θα πρέπει να είναι ακόμη μικρότερο και να διανέμεται κατά μήκος της λεκάνης με σταδιακή τροφοδοσία, έτσι ώστε να

αποφεύγεται η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στην κορυφή-είσοδο της λεκάνης του συστήματος.

Στα συστήματα επιφανειακής ροής, ο εφοδιασμός με οξυγόνο σε μια θεωρούμενη στήλη νερού είναι περιορισμένος σε σύγκριση με τα συστήματα υπόγειας ροής. Αυτό οφείλεται στο ότι το ριζικό σύστημα ευρίσκεται στο εδαφικό υπόστρωμα κάτω από τη στήλη νερού και το μεταφερόμενο σε αυτό οξυγόνο καταναλώνεται στο εκτεταμένο βενθικό περιβάλλον, που συνήθως παρατηρείται σε συστήματα υγροτόπων. Επίσης, η μεταφορά οξυγόνου δια μέσου της επιφάνειας του εδάφους με επαναερισμό, που προξενείται με τον άνεμο και τη φωτοσύνθεση, είναι περιορισμένη, εξαιτίας της παρουσίας πυκνής φυτικής βλάστησης. Έτσι, συστήματα επιφανειακής ροής με πλήρη φυτική βλάστηση είναι κατάλληλα μόνο για μέσους ρυθμούς φορτίου BOD. Με δεδομένη την έλλειψη δεδομένων στη σημερινή βιβλιογραφία, συνιστώνται κατά το σχεδιασμό τους φορτία, που να μην υπερβαίνουν το όριο των 6,65 kg/στρ.d, που προαναφέρεται. Σε συστήματα υπόγειας ροής αυτό θεωρείται ως ανώτατο επιτρεπόμενο όριο.

Αναφέρεται πολύ επιτυχής επεξεργασία εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών με εφαρμογή τους σε συστήματα επιφανειακής ροής, πλήρους φυτικής βλάστησης και ρυθμούς φορτίου BOD μέχρι και 6,0 kg/στρ.d. Όπως προαναφέρεται, αυξημένη μεταφορά οξυγόνου μπορεί να επιτευχθεί σε συστήματα με αυξημένο πλάτος λεκάνης και χρησιμοποίηση εναλλακτικών τμημάτων με/και χωρίς φυτική βλάστηση, για βελτίωση του επιπέδου απομάκρυνσης αζώτου.

2.6.14. Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης

Για συστήματα επιφανειακής ροής, που σχεδιάζονται για την απομάκρυνση BOD, ο απαιτούμενος υδραυλικός χρόνος παρακράτησης μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση του ακόλουθου μοντέλου (Reed S.C,1988). Η εξίσωση, στην οποία βασίζεται το

μοντέλο αυτό είναι η ακόλουθη:

$$C_e/C_o = L_o * \exp(-0,7K_T * A_v^{1,75} * \frac{LWdn}{Q})$$

Όπου:

C_e : απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή (ML^{-3})

C_o : συγκέντρωση BOD στην εισροή (ML^{-3})

L_o : εμπειρικός συντελεστής, που βασίζεται στο κλάσμα BOD που δεν απομακρύνεται (0,52 περίπου για εκροή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας)

A_v : ειδική επιφάνεια (L^2L^{-3}), $15,7 m^2/m^3$ για τυπική φυτική βλάστηση

L : μήκος του συστήματος (L)

W : πλάτος του συστήματος (L)

d : βάθος νερού (L)

n : αποδοτικό πορώδες μέσω του συστήματος (0,75 για αναφυόμενη φυτική βλάστηση)

K_T : σταθερά κινητικής, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία (T^{-1})

$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$, όπου

K_{20} : σταθερά σε θερType equation here.μοκρασία $20^\circ C$ ($0,0057 d^{-1}$)

$\Theta = 1,10$ και T : θερμοκρασία νερού, $^\circ C$, και

$Q = (Q_e + Q_o)/2 [L^3 T^{-1}]$, όπου Q_o και Q_e : παροχές εισροής και εκροής αντίστοιχα, $[L^3 T^{-1}]$

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής δίνεται από την εξίσωση:

$$t = LWdn/Q$$

όπου $LWdn$ ορίζεται ως ο όγκος πορώδους τους υποστρώματος σε m^3 .

Για τα συστήματα υπόγειας ροής τεχνητών υγροτόπων έχει αναπτυχθεί ένα παρόμοιο μοντέλο υπολογισμού του χρόνου κράτησης, που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση

BOD(Reed S.C,1988). Γενικά, η ροή σ' ένα σύστημα υπόγειας ροής δίνεται από το νόμο του Darcy, δηλαδή:

$$Q = K \cdot A_s \cdot S \text{ ή } A_s = Q/K \cdot S$$

Όπου:

Q: ροή στη μονάδα του χρόνου [$L^3 T^{-1}$]

k: υδραυλική αγωγιμότητα [$L^3 L^{-2} T^{-1}$]

A_s: επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση ροής [L^2]

S: υδραυλική κλίση της λεκάνης dd/dx . Στη Δυτική Γερμανία χρησιμοποιούνται ταχύτητα ροής $< 8,6 \text{ m/d}$ και $S = 8,6/K$.

Επίσης,

$$A_s = d \cdot W$$

Όπου:

W: πλάτος υποστρώματος [L]

d: βάθος λεκάνης [L]. Συνιστάται η χρησιμοποίηση $d = 0,3, 0,6$ και $0,76$ για τα είδη των γενών *Typha*, *Phragmites* και *Scirpus* αντίστοιχα.

Από την παρακάτω εξίσωση :

$$W = A_s/d = Q/dKS$$

Η απομάκρυνση BOD σ' ένα σύστημα υπόγειας ροής υπολογίζεται με την εξίσωση κινητικής πρώτης τάξης, δηλαδή

$$C_e/C_0 = \exp(-K_T t')$$

Όπου:

C₀: συγκέντρωση BOD στην εισροή

t': χρόνος κράτησης πορώδους

C_e: απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή και

K_T: σταθερά εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία [T], που υπολογίζεται σύμφωνα με την

παρακάτω εξίσωση, δηλαδή

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$$

Στην επόμενη εξίσωση ο χρόνος t' ορίζεται ως ο θεωρητικός χρόνος κράτησης πορώδους, βασιζόμενος στο πορώδες του μέσου:

$$t' = Lwda/Q$$

όπου

a : πορώδες υποστρώματος της λεκάνης.

t : ο πραγματικός χρόνος παρακράτησης είναι συνάρτηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του μέσου και του μήκους της λεκάνης κι υπολογίζεται από την εξίσωση:

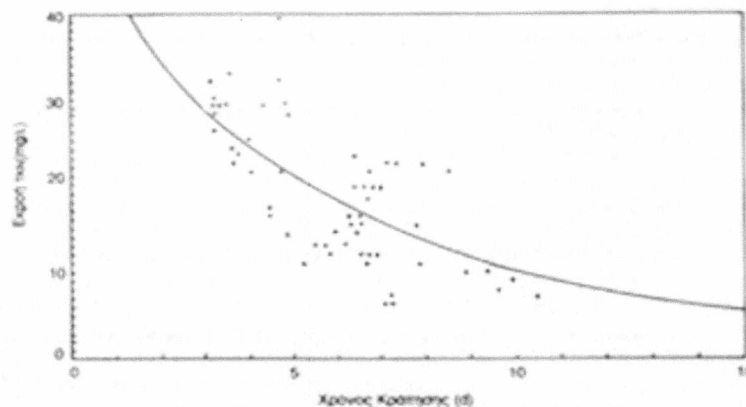
$$t = L/KS$$

Χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων, που θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα υπόγειας ροής, δίδονται στον Πίνακα 2.2. Σημειώνεται ότι απαιτείται προσοχή στη χρήση των παραπάνω εξισώσεων κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υδροτόπων επειδή οι περισσότερες από αυτές βασίστηκαν σε δεδομένα περιορισμένου αριθμού συστημάτων. Γι' αυτό, όλες οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων θα πρέπει προηγουμένως να ελέγχονται με τις συνιστώμενες τιμές τους, που δίδονται στον Πίνακα 2.2. Επίσης, σε μεγάλα έργα συνιστάται να προηγούνται πιλοτικές μελέτες.

Πίνακας 2.2. Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων, κατάλληλων για συστήματα υποεπιφανειακής ροής (Αγγελάκης Α.Ν, Tchabanoglous G, 1995)

Τύπος υποστρώματος	Μέγιστο 10% μέγεθος κόκκων (mm)	Πορώδες, a	Υδραυλική αγωγιμότητα, K , ($m^3/m^2 d$)	K_{20}
Μέτρια άμμος	1	0,42	420,62	1,84
Χονδρόκοκκη άμμος	2	0,39	480,06	1,35
Χαλικώδης άμμος	8	0,35	499,87	0,86

Γενικά, σε συστήματα τεχνητών υγροτόπων η απομάκρυνση του αζώτου σχετίζεται άμεσα με το χρόνο παρακράτησης. Όμως, δεν μπορεί να προσδιορισθεί με μοντέλα κινητικής πρώτης-τάξης, επειδή η επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η μορφή του αζώτου, η αναλογία C:N, η γεωμετρία του συστήματος και η δομή της φυτικής βλάστησης. Γι' αυτό, στο σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροτόπων ο χρόνος παρακράτησης, που απαιτείται για την απομάκρυνση του αζώτου, πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα πιλοτικών μελετών ή άλλων συστημάτων, που λειτουργούν σε σχετικές με αυτούς θέσεις και παρόμοια χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων. Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε ένα εκ περιτροπής ψαθιού /ανοικτής ροής/ με χαλικώδες υπόστρωμα σύστημα δίδονται στο Σχήμα 2.6. Σε συστήματα τύπου επιφανειακής ροής φαίνεται ότι, εδαφικοί σχηματισμοί εναλλαγής φυτικής βλάστησης και ζώνης ελεύθερης ροής, ίσως διασφαλίζουν τον κατάλληλο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών για βέλτιστη απομάκρυνση αζώτου. Η διατήρηση τέτοιων σχηματισμών απαιτεί περιοδική συγκομιδή της βλάστησης, που αναπτύσσεται στην ελεύθερη ζώνη, τουλάχιστον σε ετήσια βάση.



Σχήμα 2.6. Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης αζώτου με συστήματα τεχνητών υγροτόπων. Απομάκρυνση TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε σύστημα, που χρησιμοποιεί εναλλακτικά ψαθί /ανοικτή ροή/ χαλικώδες υπόστρωμα (Metcalf and Eddy, 1991)

2.6.15. Παροχή Εισόδου

Σε συστήματα τεχνητών υγροτόπων η ταχύτητα του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής, L_w , δεν είναι συνήθως πρωταρχική παράμετρος σχεδιασμού, αλλά είναι χρήσιμη, κυρίως, για τη σύγκριση διαφόρων συστημάτων μεταξύ τους. Οι ταχύτητες υδραυλικού φορτίου, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, κυμαίνονται από 15 έως 50 $m^3/στρ.d$. Το αντίστροφο της ταχύτητας του υδραυλικού φορτίου, δηλαδή η ειδική έκταση, A_c , χρησιμοποιείται επίσης, για τη σύγκριση μελετών διαφόρων συστημάτων και ταχείς προκαταρκτικούς προσδιορισμούς για την απαιτούμενη έκταση. Η απαιτούμενη ειδική έκταση, στην πράξη, κυμαίνεται από 0,21 έως 0,69 $στρ/(10^3 m^3 d)$. Σε κεντρικές παραλιακές πεδιάδες της California, που χρησιμοποιούνται εκροές δευτεροβάθμιας ή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, σε υγροβιότοπους για την ανάπτυξη υδρόβιας ζωής και υδροχαρούς βλάστησης σε κατοικημένες περιοχές, μια ειδική έκταση 0,21 $στρ/(10^3 m^3 d)$ αποδείχθηκε πολύ αποτελεσματική.

2.6.16. Χρησιμοποιούμενα Είδη Βλάστησης

Η παρουσία των μακρόφυτων είναι ένα από τα πιο εμφανή χαρακτηριστικά των τεχνητών υγροτόπων που τους διακρίνει από τους τεχνητούς υγροτόπους χωρίς βλάστηση ή από τις λιμνοθάλασσες. Τα μακρόφυτα που αναπτύσσονται στους τεχνητούς υγροτόπους έχουν βασικό ρόλο στην επεξεργασία των λυμάτων. Συνεπώς, η επιλογή τους αποτελεί βασική συνιστώσα του σχεδιασμού ενός τεχνητού υγροτόπου. Σύνηθες είναι τα φυτά που επιλέγονται να αποτελούν χαρακτηριστικά δείγματα της τοπικής χλωρίδας. Αυτό συμβαίνει τόσο για οικονομικό όφελος, όσο και λόγω της ασφάλειας που προσδίδει αυτή η επιλογή. Η ασφάλεια αυτή οφείλεται στο ότι ένα ιθαγενές είδος μπορεί να εγκαθιδρυθεί ευκολότερα και με μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας σε σχέση με κάποιο που μεταφέρεται από μια άλλη περιοχή. Επίσης, η εισαγωγή νέου φυτικού

είδους στην περιοχή ενέχει και άλλους κινδύνους με σημαντικότερο την πιθανή παρασιτική επέκταση του είδους αυτού και την αλλοίωση του περιβάλλοντος βιότοπου. Έχει καταστεί εμφανές ότι οι περιοχές με πυκνή βλάστηση απομακρύνουν περισσότερο τους ρυπαντές από ό,τι περιοχές με αραιή βλάστηση. Το πόρισμα αυτής της παρατήρησης είναι ότι τα φυτικά είδη που επιβιώνουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους έχουν καλύτερες αποδόσεις από αυτά που πεθαίνουν κάτω από το νερό με την έναρξη των χαμηλών θερμοκρασιών. Για αυτούς τους λόγους, τα γρήγορα ανεπτυγμένα ανερχόμενα είδη, που έχουν υψηλή ποσότητα λιγνίνης και προσαρμόζονται στα μεταβαλλόμενα βάθη νερού είναι πιο κατάλληλα για τα συστήματα επεξεργασίας των τεχνητών υδροβιοτόπων (Vymazal, 2014; Ντενιδάκης, 2000).

Πίνακας 2.3. Βασικοί Παράγοντες Επιλογής Μακροφύτων (Vymazal, 2014; Ντενιδάκης, 2000)

<ul style="list-style-type: none"> • Να έχουν ισχυρά υπόγεια όργανα (ρίζες και ριζώματα) ώστε να παρέχεται υπόστρωμα για τα επισυναπτόμενα βακτήρια και οξυγονοποίηση των περιοχών που γειτνιάζουν με τις ρίζες και τα ριζώματα.
<ul style="list-style-type: none"> • Να είναι ικανά να επεξεργαστούν μεγάλα οργανικά φορτία
<ul style="list-style-type: none"> • Να έχουν υψηλή υπέργεια βιομάζα έτσι ώστε να ανταποκριθούν στο κρύο του χειμώνα αλλά και στην απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών μέσω της συγκομιδής.
<ul style="list-style-type: none"> • Οικολογική αποδεκτότητα, για παράδειγμα μη σημαντικοί κίνδυνοι εμφάνισης ασθενειών από την παρουσία φυτών ή παρασιτικής διασποράς και λειτουργίας τους και γενικά αποφυγή κινδύνου οικολογικής ή γενετικής αλλοίωσης των περιβαλλόντων φυσικών συστημάτων.
<ul style="list-style-type: none"> • Αντοχή στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, στα ζιζάνια και στις ασθένειες που θα αντιμετωπίσει.
<ul style="list-style-type: none"> • Αντοχή στους μολυσματικούς παράγοντες και στις υπερτροφικές πλημμυρικές συνθήκες
<ul style="list-style-type: none"> • Δυνατότητα απομάκρυνσης υψηλού ποσοστού ρύπων, είτε μέσω άμεσης αφομοίωσης και αποθήκευσής τους είτε έμμεσα, μέσω εμπλουτισμού των μικροβιακών μετασχηματισμών και διαδικασιών όπως η νιτροποίηση (μέσω του εμπλουτισμού του ανοξικού περιβάλλοντος με οξυγόνο προερχόμενο από τις ρίζες των φυτών) και η απονιτροποίηση (μέσω της παραγωγής υποκατάστατων του άνθρακα).

Η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των τεχνητών υγροτόπων με η χωρίς φύτευση δεν είναι ομόφωνη. Παρόλαυτα, η βλάστηση έχει ως επι το πλείστον θετική

συνεισφορά όσων αφορά την απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών όπως το φόσφορο η το άζωτο(Vymazal, 2014). Τα φυτά που χρησιμοποιούνται σε υγροβιοτόπους επεξεργασίας μπορεί να είναι δενδρώδη, θαμνώδη ή ποώδη. Τα συνηθέστερα που συναντούμε είναι αυτά της οικογένειας *Typha* (ψαθί), όπως τα *Typha angustifolia* και *Typha Latifolia*, τα φυτά της οικογένειας *Scirpus* (σήφη), με κυριότερα τα *Scirpus lacustris* και *Scirpus validus* και αυτά της οικογένειας *Phragmites* (καλάμι) με κυριότερους εκπροσώπους τα *Phragmites australis* και *Phragmites communis*. Το ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε δέντρο ή φυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο τα συγκεκριμένα φυτά αντέχουν στη συνεχή κατάκλιση με νερό και γι' αυτό και βρίσκονται και στους φυσικούς υγροβιοτόπους. Πιο αναλυτικά τα φυτά που χρησιμοποιούνται σε τεχνητούς υγροβιοτόπους είναι (Τσιχριντζής 2000):

Ψαθί (*Typha spp.*): Είναι φυτά με επιμήκη φύλλα και κυλινδρικά καφέ άνθη. Βρίσκονται παντού, είναι πολύ ανθεκτικά, αναπτύσσονται καλά κάτω από πολλές περιβαλλοντικές συνθήκες και απλώνονται πολύ εύκολα. Είναι ιδεώδη για τεχνητούς υγροβιοτόπους.



Εικόνα 2.4. Φωτογραφία από *Typha latifolia* σε υγροβιοτόπους(Πηγή:www.naturesongs.com, www.fcps.edu/StratfordLandingES/Ecology/mpages/common_cattail.htm).

Σήφη (*Scirpus spp.*): Πολυετή φυτά, αναπτύσσονται σε συστάδες. Βρίσκονται

παντού και αναπτύσσονται σε ποικίλες συνθήκες, σε γλυκό, υφάλμυρο και αλμυρό περιβάλλον.

Καλάμι (*Phragmites spp.*): Είναι το είδος που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην Ευρώπη. Είναι ψηλά φυτά τύπου χόρτου που αναπτύσσονται ετήσια αλλά έχουν πολυετές ρίζωμα. Είναι το περισσότερο διαδεδομένο αναδυόμενο φυτό. Οι ακόλουθες ποικιλίες χρησιμοποιούνται στους υδροβιοτόπους: *Phragmites australis* , *Phragmites communis*. Το *Phragmites australis* είναι Ιθαγενές φυτό της Ευρώπης. Οι βλαστοί του είναι όρθιοι, με πολλά φύλλα, ξυλώδεις που φτάνουν σε ύψος και τα 8 μέτρα και αναπτύσσονται με πολλά υπόγεια ριζώματα. Τα φύλλα του φτάνουν σε μήκος τα 60-70 εκατοστά. Εξαιρετικά ανθεκτικό φυτό βρίσκεται κατά μήκος των ακτών, ποταμών, υδροβιότοπων και γενικά αρέσκειται σε υγρά εδάφη. Μπορεί όμως να υπάρξει και σε άνυδρα, ξηρά και χαλικώδη εδάφη. Μπορεί να καλλιεργηθεί για να προστατεύσει τη γη από τη διάβρωση, για τη δημιουργία διαφόρων ανεμοφρακτών και για την προστασία διαφόρων καλλιεργειών

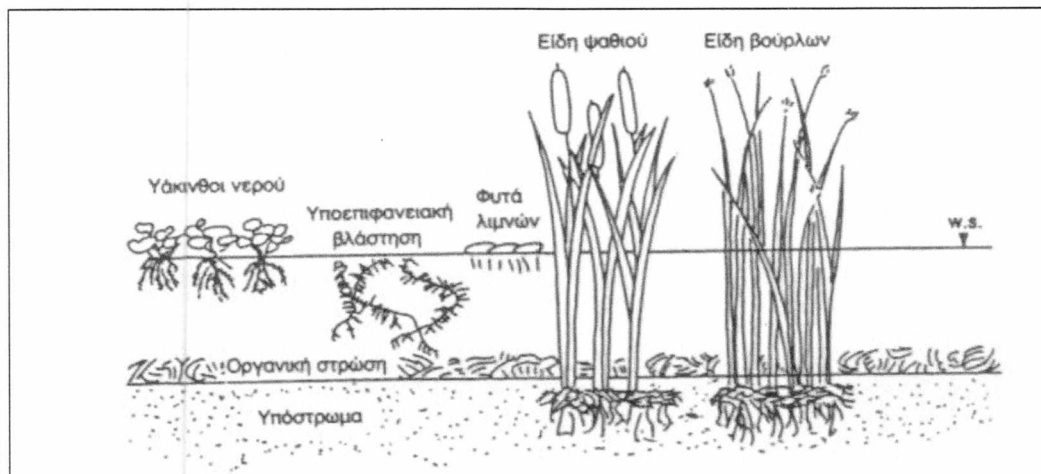


Εικόνα 2.5. Φωτογραφία από *Phragmites australis* σε υδροβιοτόπους της Florida(Πηγή: <http://tncweeds.ucdavis.edu/esadocs/phraaust.htm>).

Βούρλο (*Juncus spp.*): Συνήθως χρησιμοποιούνται περιφερειακά στους υδροβιοτόπους.

Σπαθόχορτο (*Carex spp.*): Συνήθως χρησιμοποιούνται περιφερειακά σε υγροβιοτόπους.

Τα πιο συνηθισμένα φυτά που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία νερού είναι τα καλάμια (*Phragmites spp.*), τα ψαθιά (*Typha spp.*) και τα βούρλα (*Scirpus spp.*). Τυπικά φυτά που χρησιμοποιούνται σε τεχνητούς υγροβιοτόπους φαίνονται επίσης στο Σχήμα 2.6. Αυτά τα φυτά μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (DO) και τη θερμοκρασία του νερού και σκιάζουν τα άλγη. Η βλάστηση ως επί το πλείστον δημιουργεί πρόσθετα οξικά περιβάλλοντα για μικροβιακούς πληθυσμούς μέσω αύξησης της επιφάνειας του υποστρώματος στη στήλη νερού και οξυγονώνοντας τα στερεά σωματίδια γύρω από τις ίνες των ριζών (Bachand and Horne, 2000).



Σχήμα 2.6. Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών (Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

2.7. Μοντελοποίηση Τεχνητών Υγροτόπων

Στους τεχνητούς υγροτόπους, οι ρύποι αντιμετωπίζονται από έναν συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών. Η βιολογική απομάκρυνση κάθε κατηγορίας ρύπου σχετίζεται με συγκεκριμένη μικροβιακή λειτουργική ομάδα. Πρωτοποριακές ερευνητικές εργασίες μοντελοποίησης έχουν χρησιμοποιήσει έμμεσες αποδείξεις (μάυρου κουτιού) για τον υπολογισμό βασικών παραδοχών κυρίως σε μοντέλα που αφορούν οικιακά λύματα. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν και μηχανιστικά

μοντέλα που προσπάθησαν να εξετάσουν την υδροδυναμική και της διεργασίες βιοαποδόμησης που πραγματοποιούνται στα συστήματα τεχνητών υγροτόπων για ένα μεγαλύτερο φάσμα πηγών υγρών αποβλήτων(βιομηχανικά κλπ.)(Meyer et al, 2014)

Η δημιουργία μοντέλων τεχνητών υγροτόπων είναι πολύ σημαντική για τους εξής λόγους(Meyer et al, 2014):

- Για την περιγραφή των φαινομένων που διαδραματίζονται σε ένα σύστημα τεχνητού υγρότοπου(ροή νερού, προσρόφηση, μεταφορά οξυγόνου)
- Χρησιμοποίηση μοντέλων για την σύγκριση της απόκρισης δύο παρόμοιων συστημάτων υπό διαφορετικές συνθήκες(π.χ., επίδραση των χαρακτηριστικών φόρτισης, επίδραση των φυτικών ειδών, επίδραση της εποχής, κλπ).
- Πρόβλεψη της απόδοσης ενός συγκεκριμένου συστήματος (π.χ., ανάπτυξη συστάσεων σχεδιασμού).
- Πρόβλεψη για την αντιμετώπιση διαφόρων σεναρίων(π.χ υπερβολικά μεγάλο φορτίο)
- Εκτέλεση ελέγχου του συστήματος

Η μοντελοποίηση συστημάτων τεχνητών υγροβιοτόπων γίνεται κυρίως με στατιστική ανάλυση δεδομένων εισροής και εκροής από λειτουργούσες εγκαταστάσεις. Ένας τρόπος αξιοποίησης των δεδομένων εισόδου και εξόδου είναι οι εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης (Kadlec and Knight, 1996; Rousseau et al., 2004a). Το μειονέκτημα των γραμμικών αυτών εξισώσεων είναι ότι αντιμετωπίζουν το σύστημα των τεχνητών υγροβιοτόπων σαν ένα μαύρο κουτί, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις εσωτερικές διεργασίες. Οι εξισώσεις αυτές καταλήγουν να περιγράφουν ένα περίπλοκο σύστημα με τη χρήση μόνο δύο ή τριών παραμέτρων (Rousseau et al., 2004).

Ένας άλλος τρόπος για τη μοντελοποίηση συστημάτων τεχνητών υγροβιοτόπων είναι τα μοντέλα πρώτης τάξης, τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα και

χρησιμοποιούνται ευρέως στο σχεδιασμό τους (Rousseau et al., 2004). Τα μοντέλα πρώτης τάξης ενσωματώνουν την επίδραση διαφόρων παραμέτρων, όπως είναι η συγκέντρωση εισροής, η παροχή και η θερμοκρασία, ενώ υποθέτουν ότι η συμπεριφορά των συστημάτων προσομοιώνεται από έναν αντιδραστήρα εμβολοειδούς ροής.

Τα μοντέλα σχεδιασμού τεχνητών υγροτόπων διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες.)(Meyer et al, 2014):

- **Βιοκινητικά Μοντέλα:** Τα πιο προηγμένα μοντέλα.Χρησιμοποιούν κορεσμένο νερό. Αναπτύχθηκαν από τους Rousseau (2005) και Langergraber (2009). Και οι δύο θεώρησαν βιοκινητικά μοντέλα που βασίζονται σε μοντέλα ενεργής ύλης. Για την μοντελοποίηση τεχνητών υγροτόπων κατακόρυφης ροής με διαλείπουσα φόρτιση απαιτούνται παροδικής κορεσμένης ροής μοντέλα. Τα συστήματα αυτά είναι υψηλής δυναμικής γεγονός που προσθέτει απαιτήσεις στην πολυπλοκότητα του συνολικού συστήματος. Τα πιο προηγμένα μοντέλα αντίδρασης που εφαρμόζονται είναι το πακέτο λογισμικού HYDRUS(Langergraber και Simu NEK, 2005) σε συνδυασμό με την μαθηματική διατύπωση των Asms.
- **Διαδικασία αφιερομένων μοντέλων:** Βασίζεται στην απλή κινητική για την διαμόρφωση μιας ενιαίας διαδικασίας που συνδέεται με την υποβάθμιση/μεταβίβαση μιας ένωσης ή μιας οικογένειας της ένωσης (π.χ., COD, NTK, O₂ κλπ).
- **Μοντέλα υποστήριξης:** Όπως το GSP-X επιτέποντας την μοντελοποίηση ενός συστήματος σύμφωνα με την ανάλυση Residence Time Distribution.

2.8. Κατηγορίες Ρύπων Και Υγρών Αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα περιέχουν κυρίως οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, έλαια, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα), και διάφορα στερεά. Περιέχουν επίσης ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία (NH_3), υδρόθειο (H_2S) κ.ά. Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών. Οι βασικές γνώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και η διάκριση των εννοιών «ρύπανση» και «μόλυνση» του νερού, θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την κατανόηση των διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Μια ουσία χαρακτηρίζεται ως ρύπος εφόσον η συγκέντρωσή της στο νερό είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' αυτή που συνήθως συναντάται στα φυσικά αποθέματα του γλυκού νερού. Ένας ρύπος χαρακτηρίζεται τοξικός όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα. Οι ρύποι του νερού διακρίνονται σε (Vymazal, 2014):

- συμβατικούς,
- μη συμβατικούς,
- θερμικούς και
- ρύπους (μολυντές) από μικρόβια.

Στους συμβατικούς ρύπους ανήκουν ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- νιτρικά άλατα NO_3^-), ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα PO_4^{-3}).

Στους μη συμβατικούς ρύπους του νερού περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα (Cd,

Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.λ.π.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις και ουσίες όπως το αρσενικό (As), τα θειούχα (S_2^-), τα κυανιούχα (CN^-) και τα ραδιενεργά υλικά. Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Σπουδαιότερες απ' αυτές είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα, τα οποία καταλήγουν στο νερό λόγω της ευρείας χρήσης τους στη γεωργία και στη βιομηχανία, οι διοξίνες, οι οποίες παράγονται εκεί όπου υπάρχουν καύσεις ή διεργασίες με χλώριο, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH's) και τα τριαλογονομεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM), τα οποία συνήθως σχηματίζονται κατά την προαπολύμανση του νερού, την απολύμανση των υγρών αποβλήτων κ.λ.π. Η θερμική ρύπανση του νερού προέρχεται κυρίως από τα θερμά απόβλητα βιομηχανιών και μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη δημιουργώντας δυσάρεστες και μη ανεκτές καταστάσεις στα υδατικό οικοσύστημα. Με βάση τα παραπάνω ρύπανση ονομάζεται η επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια, η ανεπιθύμητη δηλαδή μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού (φυσικών, χημικών, ραδιολογικών, βιολογικών-микροβιολογικών), εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε βαθμό που μπορεί να δημιουργηθεί κίνδυνος για την υγεία και να υποβαθμιστεί η ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Η ρύπανση προκαλεί βλάβη στα φυσικά οικοσυστήματα και παρεμποδίζει τις επιθυμητές χρήσεις των υδατικών πόρων. Μόλυνση ονομάζεται η παρουσία στο νερό παθογόνων μικροοργανισμών ή και μικροοργανισμών δεικτών, που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας παθογόνων, εξαιτίας κυρίως των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κύρια πηγή επιβάρυνσης των υδάτινων σωμάτων με παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή μικροβιακή μόλυνση του νερού, είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν. Ο προσδιορισμός και η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι

απολύτως απαραίτητος προκειμένου να καθοριστούν τα στάδια και ο βαθμός επεξεργασίας τους και να ελεγχθεί η επίτευξη των στόχων και των απαιτήσεων για την ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά αυτά κατατάσσονται σε φυσικά, χημικά και βιολογικά(Vymazal, 2014).

Ανάλογα τη χρήση από όπου προήλθαν, ορίζουμε τα υγρά απόβλητα στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οικιακά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από τις διάφορες ατομικές δραστηριότητες όπως είναι το μπάνιο και τα απόνερα τόσο σε οικιακό και ξενοδοχειακό επίπεδο όσο και σε εμπορικό, για παράδειγμα υγρά απόβλητα αεροδρομίων και εμπορικών καταστημάτων.
- Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται σε διάφορες βιομηχανίες,για παράδειγμα μεταλλουργικές, ηλεκτροπαραγωγικές ή κλωστοϋφαντουργικές,απόβλητα από σφαγεία ,απόβλητα επεξεργασίας κρέατος,γαλακτοκομικών προϊόντων και απόβλητα από βιομηχανίες χαρτοπολτού και χαρτιου.Επίσης απόβλητα από βιομηχανίες παραγωγής κρασιού,απόβλητα από ζυθοποιία ή βυρσοδεψείο υγρών αποβλήτων, καθώς και λύματα ελαιοτριβείου.
- Γεωργικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από κάθε γεωργική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα οι εντατικές κτηνοτροφικές μονάδες

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να χαρακτηριστούν από τη φυσική, χημική και βιολογική τους σύσταση(Vymazal, 2014).

Πίνακας 2.4. Κατηγορίες και Παραμέτροι αποβλήτων

Κατηγορία	Παράμετρος
Φυσικά	Θερμοκρασία
	Οσμή
	Χρώμα
	Πυκνότητα
	Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά
Χημικά	Πρωτεΐνες
	Υδατάνθρακες
	Οργανικά συστατικά
	Λίπη και έλαια
	Βαρέα μέταλλα
	Ανόργανα Συστατικά και Ιχνοστοιχεία
	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών (BOD ₅)
	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
	Ολικός Οργανικός άνθρακας
	Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)
	pH
	Αλκαλικότητα
Βιολογικά	Κολοβακτηρίδια
	Πρωτόζωα
	Βακτήρια
	Ιοί
	Μύκητες

2.8.1. Φυσικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων συμπεριλαμβάνουν την ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, την οσμή, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, το χρώμα και τη θολερότητα.

2.8.1.1. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία ανάλογα με την γεωγραφική θέση και μόνο κατά μέσο όρο κυμαίνεται στους 10-21 °C. Είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του πόσιμου νερού επειδή ένα μέρος του νερού θερμαίνεται κατά τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις, στην υδρόβια ζωή και στην καταλληλότητα του νερού για διάφορες χρήσεις γι' αυτό και ο προσδιορισμός της στα υγρά απόβλητα είναι σημαντικός. Αυξανόμενη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, επηρεάζοντας τους οργανισμούς που ζουν στους υδάτινους αποδέκτες.

2.8.1.2. Οσμή

Οι οσμές στα απόβλητα προκύπτουν συνήθως από εκλυόμενα αέρια στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών ή ουσιών που προστίθενται στο απόβλητο. Η οσμή μπορεί να μετρηθεί με οργανοληπτικές μεθόδους ή με ενόργανη ανάλυση.

2.8.1.3. Χρώμα

Το χρώμα συνδέεται με το χρόνο παραγωγής των υγρών αποβλήτων. Τα φρέσκα απόβλητα εμφανίζουν καφέ-γκρίζο χρώμα που μεταβάλλεται σταδιακά σε σκούρο γκρι και τέλος σε μαύρο όσο παραμένουν στο δίκτυο λόγω της δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών. Στην τελευταία περίπτωση το απόβλητο χαρακτηρίζεται σαν σηπτικό.

2.8.1.4. Πυκνότητα

Η πυκνότητα των αστικών λυμάτων που δεν περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων είναι ίδια με αυτή του νερού στην ίδια θερμοκρασία. Η πυκνότητα των βιομηχανικών αποβλήτων διαφέρει ανάλογα με το είδος των αποβλήτων (γαλακτοκομικά απόβλητα, ελαιοτριβείου κλπ).

2.8.1.5. Ολική Περιεκτικότητα Σε Στερεά Συστατικά

Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά υγρών αποβλήτων ονομάζεται το στερεό υλικό που απομένει μετά από εξάτμιση σε 103-105 °C.

Τα ολικά στερεά (Total Solids-TS) κατηγοριοποιούνται αρχικά σε διηθήσιμα (Filterable Solids-FS) και αιωρούμενα (Suspended Solids-SS) στερεά. Για τη διήθηση των ολικών στερεών χρησιμοποιούνται διηθητικές μεμβράνες από οργανικά πολυμερή ή γυάλινες ίνες. Η μάζα των στερεών αφυδατωμένων συστατικών που παραμένουν στο φίλτρο μετά εξάτμιση του νερού διαφοροποιούνται σε ολικά διηθήσιμα (TDS), δηλαδή μάζα του υπολείμματος που απομένει, και ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS).

2.8.2. Χημικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων

Στα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται χημικές ενώσεις και στοιχεία, οργανικής και ανόργανης προέλευσης. Τα οργανικά συστατικά διακρίνονται σε εύκολα και δύσκολα βιοαποικοδομήσιμα.

2.8.2.1. Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια που προέρχονται από τροφές φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Λόγω της ύπαρξης θείου στα μόρια τους, όταν βρίσκονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις κατά την αποσύνθεσή τους εκλύουν δυνατές οσμές.

2.8.2.2. Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο.

Είναι βιοδιασπάσιμες, (άμυλο, σάκχαρα, κυτταρίνη).

2.8.2.3. Οργανικά Συστατικά

Τα οργανικά συστατικά (άζωτο και φώσφορος) είναι θρεπτικά στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη πολλών οργανισμών όπως οι μικροοργανισμοί. Σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για την βιολογική επεξεργασία αλλά φαινόμενα όπως του ευτροφισμού κάνουν απαραίτητη την μέτρηση της συγκέντρωσής τους αφού αποτελούν σημαντική παράμετρο της ποιότητας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Το άζωτο στα απόβλητα περιέχεται στις μορφές:

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

Ο φώσφορος στα απόβλητα περιέχεται στις μορφές:

- Ανόργανος φώσφορος κυρίως ως ορθοφωσφορικά ή ως πολυφωσφορικά
- Οργανικός φώσφορος, σε μικρότερες ποσότητες από ότι ο ανόργανος

2.8.2.4. Ανόργανα Συστατικά Και Ιχνοστοιχεία

Τα ανόργανα συστατικά περιλαμβάνουν οξέα και βάσεις, άλατα, κυανιούχα, βαρέα μέταλλα αζωτούχες και φωσφορικές ενώσεις. Γενικά, ισχύει ότι όσο πιο σύνθετη είναι η συσταση ενός υγρού αποβλήτου τόσο πιο πολύπλοκη και η επεξεργασία του. Όταν έχουμε απόβλητα με λίγα επιμέρους συστατικά φθάνουμε με απλές διεργασίες στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε άλλες περιπτώσεις αποβλήτων με πολύπλοκη σύσταση αυξάνεται αντιστοίχως και ο αριθμός των απαραίτητων διεργασιών και ως εκ τούτου και το κόστος επεξεργασίας. Τα ανόργανα συστατικά των αποβλήτων όπως το Κάλιο, ο Φώσφορος, το Μαγνήσιο καθώς και πολλά ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης λιπαντικής τους αξίας.

Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε αμέταλλα στοιχεία, όπως το βόριο (B), το σελήνιο (Se), το αρσενικό (As), το νάτριο (Na), το θείο (S), το κάλιο (K), καθώς και στα οξείδια

και άλατα που σχηματίζουν. Η κύρια επίδραση των στοιχείων αυτών, στα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας, είναι στα φυτικά μέρη τους, καθώς και στην περατότητα ορισμένων αργίλων, όταν υπάρχει υψηλό φορτίο νατρίου στα υγρά απόβλητα. Μερικά, όπως είναι το κάλιο, είναι βασικά θρεπτικά συστατικά των φυτών, και άλλα προσφέρονται ως μικροστοιχεία σε χαμηλές συγκεντρώσεις, όμως μπορεί να γίνουν τοξικά για τα φυτά σε μεγαλύτερα επίπεδα.

2.8.2.5. Χλωριούχα

Τα χλωριούχα στο πόσιμο νερό προέρχονται από φυσικές πηγές, λύματα και βιομηχανικά απόβλητα, διείσδυση θαλασσινού νερού και από αστικές απορροές που περιέχουν ουσίες που χρησιμοποιούνται για την τήξη πάγου και χιονιού. Η κύρια όμως πηγή έκθεσης του ανθρώπου στα χλωριούχα είναι από την προσθήκη αλατιού στα τρόφιμα, μέσω των οποίων η πρόσληψη σε αλάτι είναι πολύ μεγαλύτερη από την πρόσληψη μέσω του πόσιμου νερού. Η αυξημένη συγκέντρωση χλωριούχων αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και κατ'επέκταση τον βαθμό διάβρωσης των μετάλλων στο σύστημα διανομής, σε συνάρτηση πάντα με την αλκαλικότητα του νερού.

2.8.2.6. Λίπη Και Έλαια

Τα λίπη και έλαια είναι ενώσεις που δεν διασπώνται εύκολα από βακτήρια, ενώ μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα αν δεν απομακρυνθούν από τα απόβλητα πριν την διάθεσή τους στην φύση δημιουργώντας προβλήματα σε πολλούς ζωντανούς οργανισμούς.

2.8.2.7. Βάρια Μέταλλα

Είναι στοιχεία, όπως ο χαλκός, το νικέλιο και ο υδράργυρος, που αντιδρούν με τα μικροβιακά ένζυμα, αναστέλλοντας ή επιβραδύνοντας το μεταβολισμό τους, γι' αυτό

και σε υψηλές συγκεντρώσεις πρέπει να απομακρύνονται από τα απόβλητα γιατί γίνονται τοξικά, τερατογόνα και καρκινογόνα.

2.8.2.8. Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνου (BOD ΚΑΙ BOD₅)

Όταν η οργανική ύλη αποσυντίθεται, οι μικροοργανισμοί (όπως τα βακτήρια και οι μύκητες) τρέφονται από τα υλικά της αποσύνθεσης και προκαλείται οξείδωση. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, ή BOD, μετρά την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς στη διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών ουσιών στο νερό. Όσο περισσότερο οξυγόνο χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί, τόσο μεγαλύτερο είναι και το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, αφήνοντας λιγότερο οξυγόνο για την υπόλοιπη υδρόβια χλωρίδα και πανίδα.

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών, BOD₅, είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l) που καταναλώνεται σε πέντε ημέρες από βιολογικές διαδικασίες στους 20C.

2.8.2.9. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ποσότητα οξυγόνου (mg/l) που απαιτείται για χημική οξείδωση των οργανικών στοιχείων ενός υγρού αποβλήτου. Χρησιμοποιείται συνήθως για την έμμεση μέτρηση της ποσότητας των οργανικών ενώσεων στο νερό.

2.8.2.10. Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) είναι το ποσό του άνθρακα που δεσμεύεται σε μια οργανική ένωση και χρησιμοποιείται συχνά ως ένας μη ειδικός δείκτης της ποιότητας του νερού. Εκφράζει το συνολικό οργανικό φορτίο σε ένα δείγμα ύδατος (mg C/l ύδατος).

2.8.2.11. Διαλυμένο Οξυγόνο DO

Η ύπαρξη του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι ζωτική για τους υδρόβιους οργανισμούς και τα ψάρια. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά νερά εξαρτάται από την θερμοκρασία, την ποσότητα των ιζημάτων, την ποσότητα που καταναλώνεται από τους υδρόβιους οργανισμούς, την ποσότητα που προκύπτει από την φωτοσύνθεση, την ταχύτητα ροής του νερού καθώς και τον αερισμό του. Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου συνήθως μετράται σε mg/l ή σε ppm. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό. Η παρουσία οργανικών υλών σε έναν αποδέκτη έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου του αποδέκτη λόγω της αερόβιας αναπνοής.

2.8.2.12. pH

Ο βαθμός οξύτητας (pH) ή αλκαλικότητας (pOH) είναι από τα πλέον σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά του νερού. Στους 25 °C, η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14 και χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της οξύτητας ενός διαλύματος. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH είναι μικρότερη από 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ διαλύματα με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται αλκαλικά. Τέλος, τα διαλύματα με pH=7 ονομάζονται ουδέτερα. Για τα περισσότερα διαλύματα η τιμή του pH βρίσκεται κάπου ανάμεσα στο 0 και το 14, ακριβέστερα μεταξύ 1 και 13 αφού οι μετρήσεις pH στα άκρα της κλίμακας εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Παρόλ' αυτά, ιδιαίτερα όξινα ή αλκαλικά διαλύματα είναι δυνατόν θεωρητικά να έχουν pH μικρότερο από 0 ή μεγαλύτερο από 14. Η ενεργός οξύτητα (pH) του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά., κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η ενεργός οξύτητα επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές

φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό των κυττάρων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα δυσχεραίνουν την πορεία των αντιδράσεων ή αναστέλλουν την πραγματοποίησή τους. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9, ενώ τιμές 6,5 - 8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η μέτρηση του pH είναι μία από τις σημαντικότερες μετρήσεις κατά την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Παλαιότερα οι μετρήσεις γίνονταν χρωματομετρικά, δηλαδή με τη βοήθεια των δεικτών, (ουσίες που αλλάζουν χρώμα σε διαφορετικές τιμές του pH), σήμερα όμως με την εμφάνιση και ανάπτυξη των ηλεκτροδίων υάλου και διαφόρων ρητινών, το pH μετράται πολύ εύκολα με σύγχρονα αναλογικά ή ψηφιακά πεχάμετρα.

2.8.2.13. Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητά του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Συνήθως οι κύριες συνιστώσες της είναι τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα που προκύπτουν από τον ιονισμό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και από τα υδροξύλια (OH^-). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) διαλύεται εύκολα στο νερό συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος κατάλληλου για τη ζωή, δεδομένου ότι συμμετέχει στις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής και αποτελεί ουσιαστική πηγή άνθρακα, άμεσα ή έμμεσα, για τις ενεργειακές απαιτήσεις των οργανισμών. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στα φυσικά νερά προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα. Τα φυσικά νερά παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, ανθίστανται δηλαδή, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, σε απότομες μεταβολές του pH. Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Χαμηλές τιμές του Ph οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στα φυσικά

νερά (όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά.). Εμπλουτισμός των νερών με θειικά οξέα συμβαίνει με τη βροχή (το νερό της βροχής περιέχει, μεταξύ άλλων ανιόντων και θειικά (SO_4^{2-}) ή μπορεί να οφείλεται στη σύσταση του υπεδάφους της λεκάνης απορροής. Αλκαλικές τιμές pH συναντώνται σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας - ευτροφισμός (κατά τη φωτοσύνθεση το φυτοπλαγκτόν μειώνει τη συγκέντρωση του CO_2 του νερού), σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά κ.ά. από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

2.8.3. Βιολογικά Χαρακτηριστικά

2.8.3.1. Παθογόνοι Μικροοργανισμοί

Τα βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι μικροοργανισμοί που προέρχονται από τις κοπρανώδεις ουσίες. Κυριότερες κατηγορίες είναι οι μύκητες, τα βακτήρια και οι ιοί. Επίσης μπορεί να περιέχονται εντερικά παράσιτα, όπως οι αμοιβάδες ή αβγά σκουληκιών. Πολλοί από αυτούς τους μικροοργανισμούς είναι παθογόνοι και μέσω του νερού μπορεί να μεταφέρουν ασθένειες όπως χολέρα, δυσεντερία και ηπατίτιδα. Για τον έλεγχο της μικροβιακής καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται δείκτες ρύπανσης. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι σήμερα δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι.

2.9. Απομάκρυνση και Αφαίρεση Ρύπων Σε Συστήματα Τεχνητών Υγροτόπων

2.9.1. Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Υγροβιότοποι που ελάμβαναν απόβλητα επεξεργασμένα από πρωτοβάθμιο έως τριτοβάθμιο επίπεδο, έδειξαν συνέπεια στην αφαίρεση BOD. Η συγκέντρωση BOD στην εκροή ήταν πάντοτε μικρότερη των 20 mg/l για συγκεντρώσεις εισροής μέχρι περίπου 80 mg/l (Reed et al., 1995). Ουσιαστικά όμως η συγκέντρωση που αναφέρθηκε παραπάνω είναι δυνατόν να επιτευχθεί ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση εισροής μέχρι 150 mg/l (Brix, 1992). Παρατηρήθηκε εντούτοις ότι δεν είναι δυνατόν να σχεδιασθεί ένα σύστημα υγροβιοτόπων έτσι ώστε η εκροή να έχει μηδενική συγκέντρωση BOD, όσο μεγάλος κι αν είναι ο χρόνος παραμονής και τούτο διότι παράγεται BOD από την αποσύνθεση της φυτικής ύλης μέσα στον υγροβιότοπο, με αποτέλεσμα το BOD να κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2 και 7 mg/l (Reed et al., 1995).

2.9.2. Αιωρούμενα Στερεά

Η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών είναι πολύ αποτελεσματική σχεδόν σε όλους τους τύπους υγροβιοτόπων. Μετρήσεις σε διάφορους υγροβιοτόπους έδειξαν συνέπεια σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων στην εκροή μικρότερες των 20 mg/L για συγκεντρώσεις στην εισροή μέχρι 160 mg/L. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με την αφαίρεση αιωρούμενων στερεών, το οποίο παρατηρήθηκε σε πολλές μελέτες, είναι η απόφραξη του πορώδους μέσου σε υγροβιοτόπους υπόγειας ροής. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται υπερχειλίση του φίλτρου, επιφανειακή ροή και χαμηλότερη απόδοση. Κατάλληλα σχεδιαστικά και κατασκευαστικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για την αποφυγή αυτού του προβλήματος. Άλλο πρόβλημα χαμηλής απόδοσης μπορεί να προκύψει επίσης από το φαινόμενο του υδραυλικού βραχυκυκλώματος (Reed et al., 1995).

2.9.3. Άζωτο

Όλοι οι τύποι υδροβιοτόπων παρουσιάζουν μεγάλη αποτελεσματικότητα όσον αφορά στην αφαίρεση αζώτου. Ο βαθμός αφαίρεσης όμως είναι συνάρτηση της μορφής με την οποία το άζωτο εισέρχεται στο σύστημα (δηλαδή οργανικό άζωτο, ενώσεις αμμωνίου NH_4^+ , διαλυμένη αέρια αμμωνία NH_3 , νιτρικό NO_3 και νιτρώδες άζωτο NO_2), του pH, της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου. Αυτές οι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό (Reed et al., 1995). Αν και η πρόσληψη αζώτου από τα φυτά λαμβάνει χώρα σε ένα σύστημα τεχνητών υδροβιοτόπων, μόνο ένα μικρό μέρος του ολικού αζώτου μπορεί να απομακρυνθεί από το συγκεκριμένο μηχανισμό.

2.9.4. Οργανικό Άζωτο

Το οργανικό άζωτο βρίσκεται κυρίως στα στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα και αφαιρείται αμέσως με την καθίζηση των στερεών, αποσυντίθεται ή δημιουργούνται άλατα και τελικά παράγεται αμμωνία. Οργανικό άζωτο επίσης εισέρχεται στο σύστημα με φυσικό τρόπο από τα υπολείμματα βλάστησης και πάλι παράγεται μετά την αποσύνθεσή του αμμωνία. Επομένως, η συνήθης συντηρητική υπόθεση στο σχεδιασμό είναι ότι το περισσότερο από το οργανικό άζωτο καταλήγει σε αμμωνία στο σύστημα και πρέπει να αφαιρεθεί (Reed et al., 1995).

2.9.5. Νιτρικό Αζώτο

Η αφαίρεση του νιτρικού αζώτου γίνεται με βιολογική απονιτροποίηση, διεργασία που απαιτεί: (1) αναερόβιες συνθήκες, (2) κατάλληλη θερμοκρασία και (3) αρκετή περιεκτικότητα άνθρακα. Η κύρια παράμετρος που επηρεάζει τη διεργασία σε υδροβιοτόπους είναι ο άνθρακας, αφού αναερόβιες συνθήκες επικρατούν συνήθως (εκτός γύρω από τις ρίζες) και η θερμοκρασία είναι απρόβλεπτη παράμετρος που εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής του υδροβιοτόπου (Reed et al., 1995). Ο άνθρακας

εξαρτάται από τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται είτε στα υγρά απόβλητα, είτε με φυσικό τρόπο στον υδροβιότοπο. Λόγω όμως του ότι η αφαίρεση BOD προηγείται της νιτροποίησης, η μόνη πηγή άνθρακα είναι οι φυσικές οργανικές ενώσεις από τα υπολείμματα φυτικής ύλης. Οι υδροβιότοποι επιφανειακής ροής είναι πιο αποτελεσματικοί στην απονιτροποίηση, λόγω ακριβώς της επαφής του αποβλήτου με τα υπολείμματα φυτικής ύλης. Μετρήσεις έδειξαν ότι αυτό είναι ιδίως αισθητό για συγκεντρώσεις NO_3^- -N μεγαλύτερες από 6 mg/l. Σε γενικές γραμμές, έχει παρατηρηθεί σημαντική απόδοση σε αφαίρεση νιτρικού αζώτου σε τεχνητούς υδροβιότοπους.

2.9.6. Αμμωνία

Η αφαίρεση της αμμωνίας γίνεται με βιολογική νιτροποίηση ακολουθούμενη από απονιτροποίηση και η διεργασία είναι η ίδια και για τους δύο τύπους υδροβιότοπων. Οι απαιτούμενες συνθήκες για νιτροποίηση είναι οι ακόλουθες: (1) οξυγόνο (απαιτούνται 4,6 g για την οξείδωση 1 g NH_4^+ -N) δηλαδή αερόβιες συνθήκες και να έχει αφαιρεθεί ήδη το BOD, (2) ικανοποιητική αλκαλικότητα και (3) κατάλληλη θερμοκρασία. Επίσης, οι μικροοργανισμοί νιτροποίησης προτιμούν προσκόλληση σε επιφάνειες (Reed et al., 1995). Μετρήσεις σε λειτουργούντες τεχνητούς υδροβιότοπους έδειξαν ότι σε πολλές περιπτώσεις η συγκέντρωση αμμωνίας στην εκροή ήταν μεγαλύτερη αυτής της εισροής. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αποσύνθεση του οργανικού αζώτου της εισροής ή/και του φυσικά παραγόμενου στον υδροβιότοπο, σε συνδυασμό με χαμηλό επίπεδο οξυγόνου για την αντίδραση της νιτροποίησης. Στους υδροβιότοπους επιφανειακής ροής η μεταφορά οξυγόνου γίνεται με αερισμό από την ατμόσφαιρα, ενώ στα συστήματα υποεπιφανειακής ροής η μεταφορά οξυγόνου γίνεται μέσω των υδροχαρών φυτών. Έτσι, στη δεύτερη περίπτωση παρατηρήθηκε ότι, όταν οι ρίζες των φυτών διεισδύουν σε όλο το βάθος του πορώδους μέσου, η απόδοση σε αφαίρεση αμμωνίας είναι μεγαλύτερη. Σε

πειράματα που δεν περιελάμβαναν φυτά αλλά μόνο το πορώδες μέσο, η αφαίρεση αμμωνίας ήταν ελάχιστη. Επομένως, ένα σχεδιαστικό κριτήριο είναι ότι όταν απαιτείται αφαίρεση αμμωνίας, τότε πρέπει οι ρίζες των φυτών να διεισδύουν σε όλο το πάχος του πορώδους μέσου. Επειδή η μεταφορά οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στις ρίζες είναι μια σχετικά αργή διαδικασία (ακόμη και για υψηλές θερμοκρασίες) απαιτείται για την αφαίρεση της αμμωνίας ένας ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής τουλάχιστον 6-8 ημερών (όταν η διείσδυση των ριζών είναι πλήρης). Όταν η διείσδυση των ριζών είναι μερική ή/και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ο χρόνος παραμονής πρέπει να αυξάνεται. Τέλος, η παρουσία φυκών επηρεάζει αρνητικά την αφαίρεση αμμωνίας και για το λόγο αυτό δε συνιστάται ο συνδυασμός σε σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης με υγροβιοτόπους.

2.9.7. Φώσφορος

Η απομάκρυνση φωσφόρου γίνεται συνήθως με απορρόφηση από τα φυτά, προσρόφηση στο έδαφος και κατακρήμνιση. Οι διεργασίες αυτές είναι περιορισμένες σε τεχνητούς υγροβιοτόπους, εκτός από τα 1-2 πρώτα χρόνια λειτουργίας τους, όταν μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί να προσροφηθεί στο έδαφος του πυθμένα πριν αυτό φθάσει σε κορεσμό. Επιπλέον, τα φυτά απορροφούν, ενώ αναπτύσσονται πριν φθάσουν σε ωριμότητα. Η δυνατότητα προσρόφησης στο έδαφος μειώνεται με το χρόνο. Τα φυτά συνεχίζουν να απορροφούν, αλλά μέρος του φωσφόρου που απορροφούν επανέρχεται πίσω στο σύστημα ως νεκρή φυτική ύλη. Μετρήσεις έδειξαν ότι μακροπρόθεσμα η αφαίρεση κυμαίνεται μεταξύ 30 και 50% (Reed et al., 1995).

2.9.8. Μέταλλα

Οι μηχανισμοί αφαίρεσης των μετάλλων σε υγροβιοτόπους είναι παρόμοιοι αυτών της αφαίρεσης φωσφόρου με κύρια την προσρόφηση στα ιζήματα του πυθμένα. Σε

αντίθεση με το φωσφόρο, τα ποσοστά αφαίρεσης μετάλλων από τεχνητούς υγροβιοτόπους όλων των τύπων είναι πολύ υψηλά και πλησιάζουν το 100%. Επίσης, το ποσοστό αυτό παρατηρείται και μακροπρόθεσμα κατά τη διάρκεια ζωής του υγροβιοτόπου. Ένα πρόβλημα με τα μέταλλα είναι η συνεχής συσσώρευση μέσα στον υγροβιοτόπο. Όταν πρόκειται για οικιακά λύματα, οι ποσότητες είναι μικρές και δεν προκαλείται πρόβλημα. Για βιομηχανικά λύματα όμως, με υψηλές περιεκτικότητες μετάλλων, αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό. Πρόβλημα πιθανόν να υπάρχει και με υγροβιοτόπους που γίνονται αποδέκτες αστικής επιφανειακής απορροής (Reed et al., 1995)

2.9.9. Παθογόνοι Μικροοργανισμοί

Οι διεργασίες απομάκρυνσης παθογόνων μικροοργανισμών σε τεχνητούς υγροβιοτόπους είναι παρόμοιες με αυτές σε λίμνες σταθεροποίησης με επιπλέον αφαίρεση λόγω διήθησης μέσω των φυτών και της φυτικής ύλης σε υγροβιοτόπους επιφανειακής ροής και συγκράτηση στο πορώδες μέσο στους υγροβιοτόπους υπόγειας και κατακόρυφης ροής. Βρέθηκε ότι το λεπτόκοκκο πορώδες μέσο είναι ανώτερο σε αφαίρεση μικροοργανισμών σε σύγκριση με πιο χονδρόκοκκο. Τα ποσοστά αφαίρεσης υπερβαίνουν το 90% και για περιττωματικά κολοβακτηρίδια και ιούς για χρόνους παραμονής από 3 έως 6 ημέρες. Γενικά, η αφαίρεση είναι 1-2 τάξεις μεγέθους για χρόνο παραμονής 3-7 ημέρες και 3-4 τάξεις μεγέθους για χρόνο παραμονής μεγαλύτερο των 14 ημερών (Reed et al., 1995). Μικρόβια-βακτήρια, μύκητες, άλγη και πρωτόζωα-μεταβάλλουν τους ρύπους ώστε να λαμβάνουν θρεπτικά ή ενέργεια και να εκτελούν τον κύκλο ζωής τους. Επιπλέον, πολλές φυσικά δημιουργούμενες ομάδες μικροβίων λειτουργούν ως θηρευτές, καταναλώνοντας παθογόνους οργανισμούς. Η αποτελεσματικότητα των υγροβιοτόπων στον καθαρισμό του νερού εξαρτάται από την ανάπτυξη και διατήρηση βέλτιστου περιβάλλοντος για τους επιθυμητούς μικροβιακούς πληθυσμούς. Οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί απαντώνται στα περισσότερα ύδατα

και συνήθως έχουν μεγάλους πληθυσμούς στους υγροβιοτόπους και στα ρυπασμένα με θρεπτικά ύδατα. Μόνο σπάνια, με πολύ ασυνήθεις ρύπους, θα χρειασθεί εμβολιασμός με ένα ειδικό τύπο ή είδος μικροβίων (Hammer, 1989).

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων και παρασίτων, όπως πρωτόζωα και έλμινθοι, που είναι συνήθη στα περισσότερα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, περιλαμβάνουν καθίζηση, προσρόφηση, ακτινοβολία, ξήρανση, εμπλοκή, ανταγωνιστικές επιδράσεις, φυσική φθορά και γενικά έκθεσή τους σε διάφορες αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι ιοί απομακρύνονται μόνο με φυσική φθορά και καταστροφή τους (US.EPA, 2001). Στα συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων παρατηρούνται διαφοροποιημένα ποσοστά απομάκρυνσης μικροοργανισμών, αλλά γενικά όχι σε τέτοιο βαθμό που να μην απαιτείται συμπληρωματική απολύμανση των λαμβανομένων από αυτά τελικών εκροών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που επιδιώκεται επαναχρησιμοποίησή τους (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

2.9.10. Αφαίρεση Οργανικής Ύλης

Η αφαίρεση των οργανικών ουσιών διενεργείται με μεγάλη ταχύτητα σε όλα τα συστήματα υγροβιοτόπων και οφείλεται στις αδιατάρακτες συνθήκες στα στο σημείο απόθεσης. Το υπολειπόμενο BOD₅, το οποίο είναι κολλοειδούς και διαλυμένης μορφής, συνεχίζει να αφαιρείται, καθώς το λύμα έρχεται σε επαφή με τα μικρόβια, τα οποία είναι προσκολλημένα στο πληρωτικό υλικό και στις ρίζες των φυτών (Reed et al., 1995, Vymazal, 2002). Η βιολογική αυτή διεργασία μπορεί να είναι αερόβια κοντά στην επιφάνεια των συστημάτων επιφανειακής ροής και σε αερόβιες μικροπεριοχές στα συστήματα υπόγειας ροής, αλλά η ανοξική αποσύνθεση επικρατεί σε όλο το σύστημα. Η αφαίρεση μπορεί να περιοριστεί από την αποσύνθεση φυτικής μάζας και άλλων φυσικών οργανικών που περιέχονται στο σύστημα. Συνεπώς, ο σχεδιασμός συστήματος υγροβιοτόπου για την επίτευξη μηδενικής συγκέντρωσης εκροής BOD₅ είναι αδύνατος.

Επίσης, η θερμοκρασία δείχνει να επηρεάζει τις συγκεντρώσεις BOD₅, όπως και η εποχιακή εναλλαγή, λόγω μεταβολών στην ανάπτυξη των φυτών, στο σχηματισμό νεκρής οργανικής ύλης άνωθεν των φίλτρων και στον κύκλο του άνθρακα. Τέλος, αναφέρεται ότι η αφαίρεση BOD₅ είναι ταχύτερη στους τεχνητούς υγροβιοτόπους υπόγειας ροής σε σχέση με τους επιφανειακής ροής (Kadlec and Knight, 1996)

2.10. Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων

2.10.1. Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων Στην Ελλάδα

2.10.1.1. Τεχνητός Υγρότοπος Θεσσαλονίκης

Οι στόχοι του έργου αυτού ήταν: α) Η παρακολούθηση των εποχιακών μεταβολών στη μείωση πληθυσμών κολοβακτηριδίων σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο, β) η μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ικανότητα του τεχνητού υγροβιοτόπου να περιορίσει τη συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηριδίων (total coliforms - TC) και γ) να εκτιμηθεί εφόσον η ικανότητα του υγροβιοτόπου να απομακρύνει *Salmonella spp.* μπορεί να προβλεφθεί από τη συγκέντρωση των TC στην εκροή του υγροβιοτόπου. Για το λόγο αυτό, ένας πρωτότυπος τεχνητός υγροβιότοπος κατασκευάστηκε το 1996 κοντά στο Γαλλικό ποταμό στη Θεσσαλονίκη και λειτουργεί από τον Απρίλιο του 1997. Ο υγροβιότοπος χρησιμοποιείται για δευτερογενή επεξεργασία παροχής 100 m³/day πρωτογενώς επεξεργασμένων δημοτικών λυμάτων και αποτελείται από τέσσερις παράλληλες κλίνες επιφανειακής ροής (φυτεμένες με *Typha latifolia*), μια λίμνη σταθεροποίησης και δύο κλίνες υπόγειας ροής (φυτεμένες με *Phragmites communis*).

Ο τεχνητός υγροβιότοπος απομάκρυνε επιτυχώς τα ολικά κολοβακτηρίδια κατά τη διάρκεια της άνοιξης, του φθινοπώρου και του καλοκαιριού. Η ποσοστιαία μείωση των κολοβακτηριδίων ήταν σημαντικά μικρότερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους μήνες. Ένα μοντέλο παλινδρόμησης της εκατοστιαίας

μείωσης κολοβακτηριδίων ως εξαρτημένης μεταβλητής και της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας ως ανεξάρτητες μεταβλητές παρουσίασε καλή προσαρμογή ($r^2 = 0,89$). Ιδιαίτερως, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είχαν θετική επίδραση στην εκατοστιαία μείωση κολοβακτηριδίων, με τη θερμοκρασία να έχει μικρότερη επιρροή (Ακράτος, 2006).

2.10.1.2. Τεχνητός Υγρότοπος Βάσσοβας

Στα πλαίσια του προγράμματος LIFE για τον ποταμό Νέστο, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε τεχνητός υδροβιότοπος επιφανειακής ροής στη λιμνοθάλασσα Βάσσοβα με σκοπό να δέχεται την αγροτική απορροή από παρακείμενο αποστραγγιστικό κανάλι (T-1) και, μετά από επεξεργασία για την αφαίρεση θρεπτικών αλάτων, να φορτίζει τη λιμνοθάλασσα με γλυκό νερό, αποκαθιστώντας έτσι την είσοδο γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα που είχε διακοπεί (Ακράτος, 2006). Ο τεχνητός υδροβιότοπος κατασκευάστηκε σε συνολική έκταση 38400 m² δίπλα στη λιμνοθάλασσα και είναι χωρισμένος κατά μήκος σε τρία κελιά, μέσω αναχωμάτων από περατό χαλίκι, ώστε να πραγματοποιείται ομοιόμορφη ροή σε όλο το πλάτος του υδροβιότοπου. Ο χώρος του υδροβιότοπου διαμορφώθηκε κατάλληλα ως προς την κλίση και φυτεύτηκε. Μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, από τα αποτελέσματα συχνών δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στον υδροβιότοπο, φαίνεται ότι ο σκοπός επετεύχθη, αφού τα θρεπτικά άλατα (νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά) απομακρύνονται ικανοποιητικά (Ακράτος, 2006).

2.10.1.3. Τεχνητός Υγρότοπος Ν. Μαδύτου (Ν. Θεσσαλονίκης)

Η μονάδα κατασκευάστηκε στην κοινότητα Ν. Μαδύτου σε μια επιφάνεια γης περίπου 2,5 ha και εξυπηρετεί τους οικισμούς Ν. Μαδύτου και Μοδίου (Ακράτος, 2006). Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 1995. Η μονάδα σχεδιάστηκε

με χρονικό ορίζοντα 20 ετών για να εξυπηρετεί 3000 κατοίκους, ενώ σήμερα εξυπηρετεί 2500. Τα λύματα προωθούνται στην εγκατάσταση μέσω αντλιοστασίου προώθησης των ακαθάρτων που αποτελείται από δύο αντλίες υγρού τύπου (βυθισμένες) παροχής $90 \text{ m}^3/\text{h}$ και μανομετρικού 20 m. Στην είσοδο της εγκατάστασης τα λύματα οδηγούνται σε δύο δεξαμενές Imhoff, όπου και υφίστανται πρωτοβάθμια καθίζηση. Η ιλύς, η οποία συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο τμήμα της δεξαμενής, οδηγείται με αγωγούς σε τακτά χρονικά διαστήματα σε κλίνες ιλύος για αφυδάτωση. Κάθε μία από τις κλίνες αυτές έχει επιφάνεια 140 m^2 , με τέσσερις στρώσεις διαφορετικών υλικών πλήρωσης. Στη συνέχεια, τα λύματα οδηγούνται σε κλίνες τεχνητών υγροβιοτόπων κατακόρυφης ροής (1^ο στάδιο επεξεργασίας) συνολικής έκτασης 1360 m^2 . Από τη μέχρι τώρα λειτουργία της εγκατάστασης γίνεται εμφανές ότι λειτουργεί ικανοποιητικά όσον αφορά την απομάκρυνση των ρύπων. Η απομάκρυνση BOD_5 και COD είναι της τάξεως του 90% και 80% αντιστοίχως και του TKN και της αμμωνίας περίπου 85%. Η απομάκρυνση ολικού φωσφόρου είναι σχετικά χαμηλή (22%). Επιπλέον, τα ολικά αιωρούμενα στερεά και τα ολικά κολοβακτηρίδια αφαιρούνται ικανοποιητικά (90% και 98% αντίστοιχα) (Ακράτος, 2006).

2.10.1.4. Τεχνητός Υγρότοπος Γοματίου Χαλκιδικής

Μια άλλη εγκατάσταση που λειτουργεί στη Βόρεια Ελλάδα είναι αυτή της κοινότητας Γοματίου του Δήμου Παναγιάς του Νομού Χαλκιδικής (Ακράτος, 2006). Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε για να εξυπηρετεί 1000 κατοίκους, ενώ σήμερα ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός είναι 800. Η εγκατάσταση αποτελείται από: εσχάρωση, πρωτοβάθμια καθίζηση, χώνευση ιλύος, κλίνες τεχνητού υγροβιοτόπου ξήρανσης ιλύος, 1^ο στάδιο κλινών τεχνητού υγροβιοτόπου κατακόρυφης ροής, 2^ο στάδιο κλινών τεχνητού υγροβιοτόπου κατακόρυφης ροής, 3^ο στάδιο τεχνητού υγροβιοτόπου υπόγειας ροής. Η εσχάρωση επιτυγχάνεται με κυκλικό αυτοκαθαριζόμενο περιστρεφόμενο τύμπανο με

οπές. Κατόπιν, το λύμα εισέρχεται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ολικού όγκου 48 m^3 , όπου παραμένει εκεί για τρεις μήνες και μετά οδηγείται στις κλίνες τεχνητών υδροβιότοπων κατακόρυφης ροής για επεξεργασία ύλους, οι οποίες είναι κυκλικής διατομής αποτελούμενες από 4 όμοια διαμερίσματα, έκτασης 60 m^2 το καθένα (συνολική έκταση 240 m^2). Το υγρό απόβλητο, μετά τη δεξαμενή καθίζησης, εισέρχεται περιοδικά στο 1^ο στάδιο τεχνητών υδροβιότοπων κατακόρυφης ροής μέσω ενός σιφώνα. Το στάδιο αυτό αποτελείται από 4 κελιά με επιφάνεια 160 m^2 το καθένα (συνολική έκταση 640 m^2). Κάθε κελί φορτίζεται περιοδικά κάθε δύο ημέρες. Η εκροή του εισέρχεται στο 2^ο στάδιο τεχνητών υδροβιότοπων κατακόρυφης ροής, το οποίο είναι σχεδόν όμοιο με το 1^ο με μόνη διαφορά ότι το κάθε κελί έχει έκταση 90 m^2 (συνολική έκταση 360 m^2). Τελικά, το απόβλητο εισέρχεται στον τεχνητό υδροβιότοπο οριζόντιας υπόγειας ροής, ο οποίος έχει συνολική έκταση 800 m^2 . Η εκροή της εγκατάστασης καταλήγει σε παρακείμενο ρέμα.

Από τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης του Γοματίου είναι εμφανές ότι αυτή λειτουργεί ικανοποιητικά για την απομάκρυνση των ρύπων. Παρατηρείται ότι η μέση απομάκρυνση BOD_5 και COD είναι πάνω από 90% και του TKN και της αμμωνίας περίπου 85%. Επίσης, τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και τα ολικά κολοβακτηρίδια (TC) αφαιρούνται ικανοποιητικά (93% και 99% αντιστοίχως), ενώ η αφαίρεση ορθοφωσφορικών και ολικού φωσφόρου είναι, όπως αναμένεται, σε μικρότερα ποσοστά (48% και 60% αντίστοιχα) (Ακράτος, 2006).

2.10.1.5. Τεχνητός Υγρότοπος Πομπηίας

Ο τεχνητός υδροβιότοπος που λειτουργεί στην Πομπηία της Κρήτης είναι επιφανειακής ροής, αποτελούμενος από δύο κελιά σε σειρά έκτασης 4300 m^2 και 1200 m^2 (Ακράτος, 2006). Το απόβλητο πριν την είσοδο στον υδροβιότοπο αποθηκεύεται σε σπητική δεξαμενή. Τα δύο κελιά είναι φυτεμένα με δύο είδη καλαμιών (*Phragmites*

australis και *Arundo donax*). Η εγκατάσταση ξεκίνησε τη λειτουργία της τον Αύγουστο του 1999, βρίσκεται ακόμη σε λειτουργία και εξυπηρετεί 1200 ισοδύναμους κατοίκους (p.e.). Η μέση ημερήσια παροχή είναι 144 m³/d και ο χρόνος παραμονής κυμάνθηκε από 5 έως 14 ημέρες (ανάλογα με την εποχή), ενώ η θερμοκρασία του αποβλήτου κυμάνθηκε από 10C⁰ έως 22C⁰ το καλοκαίρι. Η γενική αίσθηση για έναν επισκέπτη είναι ότι το σύστημα αυτό λειτουργεί σαν φυσικό έλος και φυσικό περιβάλλον πουλιών και άγριων ζώων. Οι μέσες αποδόσεις αφαίρεσης ρύπων για μια περίοδο λειτουργίας τριών χρόνων ήταν για το BOD₅ 94,4%, για το COD 96,1%, για τα TSS 95,5%, για το TKN 52,5% και για τον ολικό φώσφορο 53,1% (Ακράτος, 2006).

2.10.2. Εφαρμογές Τεχνητών Υγροτόπων Σε Παγκόσμια Κλίμακα

2.10.2.1. Εφαρμογή Στην Τουρκία

Το 2001, δύο κατακόρυφης ροής τεχνητοί υγροβιότοποι με διαστάσεις 6,5 m x 4,5 m x 0,60 m (L x W x D) και επιφάνειας 30 m² ο καθένας τέθηκαν σε εφαρμογή σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Άγκυρα (Korkusuz et al., 2004). Ο πυθμένας τους είχε σφραγιστεί με γεωφύλασμα. Μια κλίση 1% δημιουργήθηκε στον πυθμένα ώστε να επιτρέπεται ευκολότερα η συλλογή νερού. Ένας από τους υγροβιότοπους πληρώθηκε με χαλίκι (15 cm διαστάσεων 15-30 mm και 30 cm διαστάσεων 7-15 mm) από τον πυθμένα ως την κορυφή κι έπειτα με άμμο (15 cm διαστάσεων 0-3 mm), ενώ ο άλλος πληρώθηκε πρώτα με χαλίκι (15 cm διαστάσεων 15-30 mm), έπειτα με γαιώδης σκωρία (30 cm διαστάσεων 0-3 mm) και τελικά με άμμο (15 cm διαστάσεων 0-3 mm). Οι τεχνητοί υγροβιότοποι φυτεύθηκαν με βλαστούς του *Phragmites australis*, που μεταφέρθηκαν από φυσικές κλίνες καλαμιών στην πανεπιστημιούπολη και μεταφυτεύτηκαν με πυκνότητα 9 φυτών /m². Οι υγροβιότοποι λειτούργησαν με όμοιο τρόπο με ροή 3 m³/d και υδραυλικό ρυθμό εφαρμογής (HLR) 0,100 m/d, περιοδικά. Ο κύριος σκοπός της έρευνας ήταν να προσδιορισθεί η επίδραση διαφορετικών

υποστρωμάτων (χαλίκι και γαιώδης σκωρία) στην απομάκρυνση θρεπτικών στο επικρατών κλίμα της Άγκυρας. Σύμφωνα με την παρακολούθηση του συστήματος, ο μέσος όρος της αποτελεσματικότητας απομάκρυνσης για τις κλίνες καλαμιών με γαιώδη σκωρία και χαλίκι ήταν ως ακολούθως: TSS (64% και 62%), COD (49% και 40%), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (88% και 58%), TN (41% και 44%), TP (63% και 9%) και PO_4^{3-} (60% και 4%). Σε γενικές γραμμές, η επεξεργασία είναι αποδοτικότερη στο σύστημα με γαιώδης σκωρία σε σχέση με το σύστημα χαλικιού (Korkusuz et al., 2004).

2.10.2.2. Εφαρμογή Στην Αυστρία

Από το 1991, το ινστιτούτο για την πρόνοια του νερού λειτουργεί δύο κατακόρυφης ροής τεχνητούς υδροβιότοπους για επεξεργασία οικιακών υγρών αποβλήτων σε δύο αγροκτήματα (8 p.e.) στη Βόρεια Αυστρία (Laber et al., 1997). Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα για ελαχιστοποίηση οργανικών ενώσεων και νιτροποίηση. Το 1995, εξετάστηκαν δύο μέθοδοι ώστε να επιτευχθεί απονιτροποίηση επίσης στα συστήματα. Το σύστημα Α είναι ένα σύστημα ενός σταδίου, ενώ το σύστημα Β έχει δύο στάδια εφαρμοζόμενα σε σειρά. Η προσέγγιση στο σύστημα ενός σταδίου συνίσταται στην άντληση ενός μέρους της νιτροποιημένης εκροής από το φίλτρο εδάφους πίσω στη δεξαμενή καθίζησης της εισροής, όπου το ακατέργαστο υγρό απόβλητο αναμιγνύεται με τη νιτροποιημένη εκροή-νερό. Η προσέγγιση στο σύστημα δύο σταδίων Β συνίσταται στην προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα (μεθανόλη) στο δεύτερο, κορεσμένο σε νερό, στάδιο.

Η έρευνα έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια πολλών πειραματικών φάσεων ώστε να εξετασθεί η επίδραση του λόγου ανακυκλοφορίας (σύστημα Α) σε αντιστοιχία της τροφοδοσίας (σύστημα Β, διακοπτόμενη, συνεχής, batch). Οι υψηλότεροι ρυθμοί απομάκρυνσης επιτυγχάνονται με το σύστημα Β (δόση μεθανόλης) κατά τη διάρκεια πειραματικού σταδίου 1 (διακοπτόμενη φόρτιση 4 φορές την ημέρα). Οι μέσοι ρυθμοί ελαχιστοποίησης ήταν 82% για ανόργανο άζωτο και 78% για ολικό άζωτο. Η απόδοση

ελάττωσης του ολικού αζώτου του συστήματος A ήταν μόνο λίγο χαμηλότερη (72%). Η ελαχιστοποίηση των COD, BOD₅ και TOC δεν αντιμετώπισε πρόβλημα κατά τη διάρκεια όλης της πειραματικής περιόδου (οι συγκεντρώσεις εξόδου των συστημάτων ήταν κάτω από τα στάνταρ της Αυστρίας) (Laber et al., 1997).

2.10.2.3. Εφαρμογή Στην Δανία

Επίσημες οδηγίες για επεξεργασία οικιακών λυμάτων έχουν πρόσφατα δημοσιευθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Δανίας ως συνέπεια των νέων απαιτήσεων επεξεργασίας για σπίτια και κατοικίες σε αγροτικές περιοχές (Brix and Arias, 2005). Συνοψίζονται οι κατευθυντήριες γραμμές για τεχνητούς υγροβιοτόπους κατακόρυφης ροής (φυτεμένες κλίνες φίλτρων) που πραγματοποιούν 95% απομάκρυνση BOD και 90% νιτροποίηση. Το σύστημα μπορεί να επεκταθεί με χημική καθίζηση φωσφόρου με χλωριούχο αργίλιο στη δεξαμενή καθίζησης, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για 90% απομάκρυνση φωσφόρου. Η απαιτούμενη επιφάνεια της κλίνης του φίλτρου είναι ίση με 3,2 m²/ισοδύναμο άτομο και το αποτελεσματικό βάθος του φίλτρου είναι 1 m. Το μέσο του φίλτρου πρέπει να είναι άμμος με d₁₀ μεταξύ 0,25 και 1,2 mm, d₆₀ μεταξύ 1 και 4 mm και συντελεστή ομοιομορφίας ($U=d_{60}/d_{10}$) μικρότερο από 3,5. Τα λύματα, μετά την καθίζηση, τροφοδοτούνται στην επιφάνεια της κλίνης με χρήση αντλίας κι ένα δίκτυο σωλήνων διανομής. Το στρώμα αποστράγγισης στον πυθμένα της κλίνης αερίζεται παθητικά μέσω κάθετων σωλήνων που επεκτείνονται προς την ατμόσφαιρα με σκοπό να βελτιωθεί η μεταφορά οξυγόνου στο μέσο της κλίνης (Brix and Arias, 2005).

2.10.2.4. Εφαρμογή Στην Ολλανδία

Για να εκτιμηθεί η ικανότητα απομάκρυνσης των θρεπτικών και οργανικών υλικών (BOD₅ και COD) ενός τεχνητού υγροβιοτόπου κατακόρυφης ροής στην Ολλανδία, συντάχθηκε μια μελέτη προϋπολογισμού νερού και θρεπτικών (Meulemann et al.,

2003).. Το σύστημα είχε ως βλάστηση *Phragmites australis* και περιελάμβανε 4 παράλληλα διαμερίσματα με 0,25 ha το καθένα, που φορτίζονταν διαδοχικά με υγρά απόβλητα από ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Οι ετήσιοι ρυθμοί φόρτισης μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν να είναι 16700 kg COD ha⁻¹, 6700 kg BOD₅ ha⁻¹, 2400 kg N ha⁻¹, 355 kg P ha⁻¹.

Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για το COD (81%) και το BOD₅ (96%) ήταν υψηλή. Σχεδόν όλα τα *Escherichia coli* και F-specific RNA βακτηριοφάγοι (>99%) απομακρύνθηκαν από τα υγρά απόβλητα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για το άζωτο (30%) και το φώσφορο (24%) ήταν πολύ χαμηλότερη. Η απομάκρυνση των θρεπτικών ήταν αποτέλεσμα της πρόσληψης των φυτών και της συγκομιδής (15% του συνολικού N εισόδου, 10% του συνολικού P εισόδου), της απονιτροποίησης (8% του συνολικού N εισόδου) και της καθίζησης και συσσώρευσης οργανικού υλικού στο έδαφος (7% του συνολικού N εισόδου, 14% του συνολικού P εισόδου). Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για N και P μπορεί να αυξηθεί με συγκομιδή της βλάστησης *Phragmites* τον Οκτώβριο, σε σχέση με την χρησιμοποιούμενη πρακτική συγκομιδής το Δεκέμβριο. Αυτός ο υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής φαίνεται να είναι κορεσμένος σε P μετά από 15 έτη εφαρμογής. Η χρήση ιζημάτων άμμου με καλύτερες ιδιότητες προσρόφησης P συνιστάται ως κρίσιμο στοιχείο για το σχεδιασμό των συστημάτων αυτών (Meulemann et al., 2003).

2.10.2.5. Εφαρμογή Στην Γαλλία

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κατακόρυφης ροής έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς στη Γαλλία τα πέντε τελευταία έτη. Η Γαλλική διάταξη αφορά συστήματα δύο σταδίων όπου στο πρώτο στάδιο γίνεται απευθείας επεξεργασία ακατέργαστων υγρών αποβλήτων σε τρία φίλτρα εν παραλλήλω, με εναλλασσόμενες φάσεις τροφοδοσίας και παραμονής (Rousseau et al., 2004).. Η επιτυχία τους (περισσότερες από 400

εγκαταστάσεις σε λειτουργία και 100 κατασκευές ανά έτος) οφείλεται στην καλή απόδοση που παρουσιάζουν όσον αφορά στα αιωρούμενα στερεά, το COD και τη νιτροποίηση (Rousseau et al., 2004). και στην αποδοχή των ακατέργαστων υγρών αποβλήτων στα φίλτρα πρώτου σταδίου που οδηγούν σε ευκολότερη διαχείριση της ιλύος. Αν προσθέσουμε το χαμηλό κόστος εφαρμογής, γίνεται εύκολα κατανοητή η επιλογή αυτή για οικισμούς με λιγότερους από 2000 ισοδύναμους κατοίκους (p.e.) (Rousseau et al., 2004).

Η μελέτη του Colomieu έδειξε ότι μια αποσπασματική υπερφόρτιση μεγαλύτερη από 4 m/day (μεγαλύτερη 10 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) και συνεχείς υπερφορτίσεις πάνω από 5 μήνες με 1,8 m/day (μεγαλύτερη 5 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) μπορούν να διέλθουν μέσω των φίλτρων, επιδέχονται επεξεργασία και ικανοποιούν τους ποιοτικούς στόχους της Γαλλίας (COD: 125 mg/l, BOD: 25 mg/l) (Rousseau et al., 2004)..

2.10.2.6. Εφαρμογή Στο Βέλγιο

Έλαβε χώρα εκτεταμένη συλλογή δεδομένων από 107 τεχνητούς υγροβιοτόπους που λειτουργούσαν στο Βέλγιο και με βάση αυτά βγήκαν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα για την απόδοσή τους (Rousseau et al., 2004). Τα μεγέθη σχεδιασμού ποικίλαν μεταξύ 1 και 2000 ισοδύναμων κατοίκων (p.e.) με την πλειονότητα των κλινών καλαμιών να έχουν μέγεθος μικρότερο από 500 ισοδύναμους κατοίκους. Οι περισσότερες κλίνες καλαμιών χρησιμοποιήθηκαν ως απλές μονάδες, αν και μερικές φορές συνδυάζονταν με άλλες κλίνες καλαμιών ή ακόμη και με συμβατικά συστήματα. Ο κύριος σκοπός ήταν η επεξεργασία οικιακών και γαλακτοκομικών υγρών αποβλήτων. Βέλτιστη συνολική απόδοση παρουσιάστηκε με τους κατακόρυφης ροής υγροβιοτόπους και ήταν 94% για το COD, 98% για τα SS, 52% για το TN και 70% για τον TP, εκτός από το ολικό άζωτο όπου τα συνδυασμένα συστήματα κλινών καλαμιών είχαν μεγαλύτερη απόδοση (91% για το COD, 94% για τα SS, 65% για το TN και 52% για τον TP) (Rousseau et al., 2004).

2.10.2.7. Εφαρμογή Στην Τυνησία

Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε για να συγκρίνει την απόδοση δύο συνδυασμένων συστημάτων πιλοτικής κλίμακας: το πρώτο απαρτίζεται από κλίνη κατακόρυφης ροής φυτεμένη με *Phragmites* και οριζόντιας ροής φυτεμένη με *Typha*. Το δεύτερο συνδυασμένο σύστημα είναι αφύτευτο. Κάθε κατακόρυφης ροής κλίνη, τοποθετημένη στο άνω μέρος της οριζόντιας ροής κλίνης διοχετεύεται περιοδικά με ρυθμό ροής 0,144 m³/day που αντιστοιχεί σε υδραυλικό ρυθμό εφαρμογής 0,24 m³/m²/day. Η απομάκρυνση αζώτου στο φυτεμένο σύστημα ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με το αφύτευτο, ιδιαίτερα όσον αφορά το άζωτο Kjeldahl (27 και 5%) και την αμμωνία (19 και 6%). Ενώ, η απομάκρυνση νιτρικών-νιτρωδών στο φυτεμένο σύστημα είναι χαμηλότερη σε σχέση με το αφύτευτο (4 και 13%). Η απομάκρυνση βακτηρίων και στα δύο συστήματα ήταν παρόμοια (Keffala and Ghrabi, 2005).

2.10.2.8. Εφαρμογή Στην Βραζιλία

Η Πολιτεία Santa Catarina, της νοτίου Βραζιλίας, έχει τις μεγαλύτερες δραστηριότητες αναπαραγωγής χοίρων της Λατινικής Αμερικής. Γενικά, τα υγρά απόβλητα χοιροστασίων επεξεργάζονται σε συστήματα λιμνών που είναι ικανά να απομακρύνουν οργανικό υλικό, εντούτοις τα συστήματα αυτά δεν απομακρύνουν άζωτο και φώσφορο αποτελεσματικά. Η εργασία αυτή ασχολείται με ένα σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιεί τεχνητούς υγροβιοτόπους κατακόρυφης ροής (Sezerino et al., 2003). Η έρευνα διεξήχθη σε ένα αγρόκτημα παραγωγής χοίρων που έχει 45000 ζώα. Ένας πιλοτικός τεχνητός υγροβιοτόπος κατακόρυφης ροής τεσσάρων κλινών, που χρησιμοποιούσε *Typha spp.*, κατασκευάστηκε. Η πιλοτική εγκατάσταση λειτούργησε για 280 ημέρες για τις κλίνες 2 και 4 (άμμος 2). Ωστόσο, τα πειράματά με τις κλίνες 1 και 3 (άμμος 1) σταμάτησαν μετά το πέρας 111 ημερών εφαρμογής, όταν μια μείωση στο υγρό απόβλητο αποστράγγισης παρατηρήθηκε. Οι κλίνες με την άμμο 2 κατέδειξαν μια απομάκρυνση 33% σε COD και περίπου 49% νιτροποίηση παρατηρήθηκε από τις

111 ημέρες ως το τέλος της εφαρμογής. Η απομάκρυνση των $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ήταν 45% με ρυθμό φόρτισης περίπου $1,36 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Sezerino et al., 2003).

2.10.2.9. Εφαρμογή Στην Αυστραλία

Μια σειρά συστημάτων υγροβιοτόπων κατακόρυφης ροής εγκαταστάθηκε τα έτη 1989 και 1990 για την επεξεργασία έως $130 \text{ m}^3/\text{day}$ υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση στη βόρεια ακτή της New South Wales στην Αυστραλία ως πιλοτική κλίμακα του μικρόκοσμου υγροβιοτόπων με την υδρολογική αυτή διάταξη (Chick and Mitchell, 1995). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος της ποιότητας νερού εισόδου και εξόδου σε εβδομαδιαία βάση από τον Ιανουάριο του 1991 έως το Φεβρουάριο του 1992. Μερικές παράμετροι διαχείρισης (όπως ρυθμοί ροής) μεταβάλλονταν κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Σε γενικές γραμμές, η απομάκρυνση θρεπτικών ήταν χαμηλότερη από το αναμενόμενο, με μεταξύ 20% και 40% μείωση στις συγκεντρώσεις και απομάκρυνση φορτίων για περισσότερο από ένα χρόνο. Οι απομακρύνσεις σε αιωρούμενα στερεά και BOD ήταν εξαιρετικές και επίσης σημειώθηκε μη αναμενόμενα καλή απομάκρυνση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων. Η μείωση των ρυθμών ροής βελτίωσε την απόδοση σε έντονο βαθμό σε όλες τις παραμέτρους.

2.10.2.10. Εφαρμογή Στο Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο βασίλειο κατασκευάστηκε ένα υβριδικό μικτό σύστημα τον Ιούλιο 1989 για να εξυπηρετήσει την τοποθεσία Camphill Village Trust στην περιφέρεια του Newnham στην ελώδη εκβολή του ποταμού Severn (δυτική Αγγλία). Το κίνημα του Camphill είναι μία διεθνής φιλανθρωπική οργάνωση που κατασκευάζει και διαχειρίζεται κέντρα υποδοχής και διαβίωσης για αναξιοπαθούντες. Οι κοινότητες του Camphill εφαρμόζουν οργανικές μεθόδους καλλιέργειας και γεωργίας. Μετά την

κατασκευή αυτού του πρώτου συστήματος το 1989, πολλές άλλες εγκαταστάσεις αυτού του τύπου δημιουργήθηκαν σε άλλες κοινότητες του Camphill, όπως επίσης και από πολλές άλλες παρεμφερείς φιλανθρωπικές οργανώσεις. Το σύστημα του Oaklands Park, σχεδιάστηκε αρχικά για να εξυπηρετήσει 98 ι.κ. αλλά επεξεργάζεται στην πραγματικότητα μόνο τις απορρίψεις που αντιστοιχούν σε 65 ι.κ.. Το σύστημα του Oaklands Park, παρουσιάζει δύο μονάδες κάθετων φίλτρων που τροφοδοτούνται διαλειπτικά, συνολικής επιφάνειας 63 m² ακολουθούμενης από δύο μονάδες οριζόντιων φίλτρων που τροφοδοτούνται συνεχώς παρουσιάζοντας μία συνολική επιφάνεια των 28 m². Η συνολική επιφάνεια είναι μόνο 1,4 m²/ι.κ. Το σύστημα διαθέτει δύο φίλτρα σε πρώτο και δεύτερο στάδιο. Κάθε κάθετο φίλτρο τροφοδοτείται 1 με 2 μέρες και μετά αφήνεται σε στάση για 10 μέρες περίπου. Αυτό επιτρέπει την αποξήρανση των φίλτρων μεταξύ των τροφοδοσιών και εμποδίζει το φράξιμο από την καθαριστική βιομάζα. Ο έλεγχος της τροφοδοσίας γίνεται με το χέρι από τα μέλη της κοινότητας. Τα οριζόντια φίλτρα τροφοδοτούνται συνεχώς. (Bryan, D and Findlater, B., C, 1991)

2.10.2.11. Άλλες Εφαρμογές

Μια μέθοδος εξοικονόμησης νερού προτείνεται με ανακύκλωση των ελαφρώς επιβαρημένων αποβλήτων (greywater, GW) με σκοπό την άρδευση. Το GW αφορά οικιακά απόβλητα που περιέχουν μόνο απόνερα (π.χ. μπάνιο, πιάτα και νερό πλυντηρίου), ενώ τα ισχυρά επιβαρημένα απόβλητα (blackwater) αποτελούνται από νερό τουαλέτας. Λόγω της σημαντικής διαφοράς στην ποιότητα, ο διαχωρισμός GW και blackwater εξασφαλίζει περισσότερο αποτελεσματική επεξεργασία υγρών αποβλήτων, επιτρέποντας σε μεγάλο όγκο νερού να ανακυκλώνεται με αποτελεσματικό τρόπο (Lindstrom, 2000).

Η προτεινόμενη μέθοδος επεξεργασίας αποτελεί τροποποίηση του τεχνητού υδροβιότοπου κατακόρυφης ροής (VFCW) που περιγράφεται από την IWA (2000). Αρχικώς, το σύστημα απαρτιζόταν από δύο δεξαμενές (0,95 m μήκος, 0,95 m πλάτος

και 0,55 m ύψος, 500 l η καθεμιά) τοποθετημένες η μία επάνω στην άλλη. Η ανώτερη είναι ένας VFCW, ο οποίος είναι μια κλίνη τριών στρωμάτων που αποτελείται από 15 cm φυτεμένο οργανικό έδαφος πάνω από στρώμα 30 cm χοντρών χαλικιών ή πλαστικού μέσου και χαμηλότερο στρώμα 5 cm από ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Ο πυθμένας της δεξαμενής είναι διάτρητος. Η δεξαμενή που βρίσκεται χαμηλότερα χρησιμοποιείται ως δεξαμενή νερού και είναι τοποθετημένη ακριβώς κάτωθεν του VFCW.

Το ακατέργαστο GW ρέει μέσω μιας δεξαμενής καθίζησης η οποία κατέχει το 10% περίπου του συνολικού όγκου και όπου μόνο χοντρά υλικά συλλέγονταν. Από τη δεξαμενή αυτή αντλείται ή υπερχειλίζει στη ζώνη των ριζών των φυτών του τεχνητού υδροβιότοπου κατακόρυφης ροής κι έπειτα στάζει παρακάτω μέσω του φίλτρου τριών στρωμάτων στη δεξαμενή. Μια φυγόκεντρος αντλία διαρκώς ανακυκλώνει το GW με γνωστό ρυθμό από τη δεξαμενή πίσω στον VFCW. Το επεξεργασμένο νερό τότε χρησιμοποιείται για άρδευση απευθείας ή αφού ακολουθεί δευτερογενής καθίζηση. Ένας σωλήνας υπερχειλίσεως τοποθετείται από τον άνω υδροβιότοπο στη δεξαμενή για την προστασία υπερχειλίσεως λόγω έμφραξης του υδροβιότοπου (Gross et al., 2006).

Ο ανακυκλούμενος τεχνητός υδροβιότοπος κατακόρυφης ροής (RVFCW) ήταν αποτελεσματικός στην απομάκρυνση ουσιαστικά όλων των αιωρούμενων στερεών και του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου και περίπου του 80% του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου μετά από 8 ώρες, αλλά αυτό δεν είναι πάντα αρκετό ώστε να ικανοποιούνται οι τρέχουσες ρυθμίσεις για απεριόριστη άρδευση. Το επεξεργασμένο greywater δεν είχε σημαντική αρνητική επίπτωση στα φυτά ή το έδαφος κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.

2.11. Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Τεχνητών Υγροτόπων

Σε Σχέση Με Τα Συμβατικά Προγράμματα Επεξεργασίας

Πλεονεκτήματα :

Τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι οι τεχνητοί υγροβιότοποι αποτελούν αξιόπιστη τεχνολογία για την επεξεργασία ρυπασμένου ύδατος, ειδικά για περιοχές με μικρό πληθυσμό. Συγκρινόμενοι με τα συμβατικά συστήματα βιολογικού καθαρισμού οι τεχνητοί υγροβιότοποι επιφανειακής ροής παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονέκτημα (US.EPA, 2000):

- Τα συστήματα υγροβιοτόπων παρέχουν αποτελεσματική επεξεργασία με παθητικό τρόπο, ελαχιστοποιώντας το μηχανικό εξοπλισμό, την ενέργεια και εξειδικευμένους εξοπλισμούς για τον χειριστή.
- Τα συστήματα υγροβιοτόπων είναι λιγότερο ακριβά στην κατασκευή και κοστίζουν λιγότερο στο χειρισμό και στη συντήρηση.
- Η λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για δευτερογενή επεξεργασία είναι πιθανή σε όλους τους κλιματικούς τύπους, εκτός των ιδιαίτερα ψυχρών κλιμάτων. Η λειτουργία τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για προχωρημένη ή τριτογενή επεξεργασία είναι πιθανή σε θερμά έως μέτρια κλίματα.
- Τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν πολύτιμη προσθήκη στο «πράσινο» σε μια κοινωνία και περιέχουν τη συγχώνευση περιβάλλοντος και επαρκή ψυχαγωγία του κοινού.
- Δεν παράγουν υπολείμματα βιοστερεών ή ιλύος που απαιτούν επιπρόσθετη επεξεργασία ή απόθεση.

Μειονεκτήματα :

Ωστόσο, παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα (US.EPA, 2000):

- Η έκταση της γης που απαιτείται για υδροβιότοπους επιφανειακής ροής πρέπει να είναι μεγάλη, ειδικά όταν απαιτείται απομάκρυνση αζώτου ή φωσφόρου. Η απαίτηση έκτασης για διαφορετικές διατάξεις και διαφορετικούς σκοπούς επεξεργασίας (απομάκρυνση BOD, νιτροποίηση, κτλ.) έχει προσδιοριστεί από τους Cooper and Findlater (1990) ότι κυμαίνεται από 1,3 έως 10,3 m²/άτομο(1 m²/άτομο για απομάκρυνση BOD και 2 m²/άτομο για απομάκρυνση BOD και νιτροποίηση)
- Η απομάκρυνση BOD, COD και αζώτου είναι βιολογικές διαδικασίες και κατά βάση διαρκώς ανανεώνονται. Ο φώσφορος, τα μέταλλα και ορισμένα επίμονα οργανικά απομακρυνόμενα από το σύστημα κατευθύνονται στα ιζήματα του υδροβιότοπου και συσσωρεύονται με το πέρασμα του χρόνου.
- Σε ψυχρά κλίματα, οι χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες περιορίζουν το ρυθμό απομάκρυνσης του BOD και τις βιολογικές αντιδράσεις που είναι υπεύθυνες για νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Ο αυξημένος χρόνος κράτησης μπορεί να αντισταθμίσει αυτό, αλλά τότε το ιδιαίτερα μεγάλο μέγεθος του υδροβιότοπου πιθανόν να είναι αναποτελεσματικό όσον αφορά το κόστος ή να είναι τεχνικά ανέφικτο.
- Το μεγαλύτερο μέρος του νερού στην πλειονότητα των συστημάτων είναι κατά βάση ανοξικό, κάτι που περιορίζει την τάση για ταχεία βιολογική νιτροποίηση της αμμωνίας.
- Κουνούπια και άλλα έντομα που είναι φορείς ασθενειών μπορούν να αποτελέσουν πρόβλημα.
- Ο πληθυσμός των πτηνών σε ένα τεχνητό υδροβιότοπο μπορεί να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις αν βρίσκεται αεροδρόμιο κοντά.



3. ΕΠΕΞΕΡΑΣΙΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στα παραπάνω κεφάλαια διατυπώθηκε η δυνατότητα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τεχνητούς υγρότοπους που είναι παράγωγα είτε από αστικής,εμπορικής, γεωργικής η βιομηχανικής λειτουργίας. Στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων αναφέρθηκαν πετροχημικά απόβλητα, απόβλητα από σφαγεία, απόβλητα επεξεργασίας κρέατος, γαλακτοκομικών προϊόντων και απόβλητα από βιομηχανίες χαρτοπολτού και χαρτιού. Επίσης απόβλητα από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ή από βιομηχανίες παραγωγής κρασιού. Και τέλος,απόβλητα από ζυθοποιία ή βυρσοδεψείο, καθώς και λύματα ελαιολιπιδίου.Σε αυτό το κεφάλαιο θα εμβαθύνουμε στην επεξεργασία γαλακτοκομικών αποβλήτων.

3.1. Παραγωγή Υγρών Αποβλήτων

Ως απόβλητα των γαλακτοβιομηχανιών θεωρούνται όλα τα υποπροϊόντα ή παράγωγα της παραγωγικής διαδικασίας, που είτε έπαψαν να έχουν οποιαδήποτε οικονομική αξία για την επιχείρηση είτε η παραπέρα διαχείριση ή επεξεργασία τους κρίνεται οικονομικά ασύμφορη (Γεωργακάκης, 2003). Πιο σημαντικά και επιβαρυντικά για το περιβάλλον θεωρούνται τα υγρά απόβλητα των τυροκομικών μονάδων, τα οποία προκύπτουν από:

- Τις απώλειες γάλακτος. Η πλήρωση των δεξαμενών με το γάλα είναι μια μη συνεχής διαδικασία καθώς οι δεξαμενές ξαναγεμίζουν σε κάθε νέα παρτίδα. Στο τέλος κάθε παρτίδας, ένα μικρό μέρος του γάλατος παραμένει στο δοχείο επεξεργασίας.
- Τα υπολείμματα τυροπήγματος τα οποία συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών.
- Το διαχωρισμό των υγρών (τυρόγαλα ή ορός γάλακτος) κατά την παραγωγική διαδικασία.

- Διαρροές από υπερχειλίσεις των δεξαμενών, από ελαττωματική λειτουργία του εξοπλισμού, από τις σωληνώσεις, από ατυχήματα κατά τη μεταφορά του γάλακτος, κ.α.
- Απώλειες υλικών κατά την εκκίνηση και κατά την διακοπή των παραγωγικών διαδικασιών.
- Το πλύσιμο του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Το πλύσιμο των σκευών και των καλουπιών που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία.
- Το πλύσιμο των χώρων του εργοστασίου (δάπεδα, τοίχοι κλπ)
- Το πλύσιμο των βυτιοφόρων
- Την ψύξη των μηχανημάτων (εναλλάκτες θερμότητας, δεξαμενές κλπ)
- Λύματα προσωπικού



Εικόνα 3.1. Μηχανή πλυσίματος καλουπιών

Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι η παραγωγή αποβλήτων είναι περιοδική (Chen et al., 2007) ιδίως στις μικρές μονάδες. Ο όγκος και η συγκέντρωση τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος και η ποσότητα των προϊόντων που παράγονται, η παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται, το είδος και η κατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού παραγωγής καθώς και οι πρακτικές καθαρισμού.

Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι πρακτικές περιορισμού απωλειών προϊόντος και ελαχιστοποίησης των αποβλήτων που ακολουθούνται. 1 λίτρο επεξεργαζόμενο γάλα μπορεί να δώσει υγρά απόβλητα από 0,2 έως και 10 λίτρα (Balannec et al., 2005).

Πίνακας 3.1. Παραγωγή τυρογάλακτος (Πηγή: Δαλέζιος, 1986)

Είδος τυριού	Ποσότητα τυρογάλακτος (kg/kg τυριού)
Αγελαδινό γάλα – νωπά τυριά	2,8
Αγελαδινό γάλα – μαλακά	6,8
Αγελαδινό γάλα – σκληρά	8,9
Πρόβειο γάλα – μαλακά τυριά	2,9
Πρόβειο γάλα – σκληρά τυριά	5,1
Αίγειο γάλα – μαλακά τυριά	4,9
Αίγειο γάλα – σκληρά τυριά	8,2

3.2. Χαρακτηριστικά Γαλακτοκομικών Αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα μπορεί να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Τα νερά ψύξεως που αντιπροσωπεύουν τα 2/3 ή και περισσότερο του συνολικού όγκου και είναι σχετικά καθαρά και τα απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας που η σύνθεση τους εξαρτάται από το είδος της μονάδας παραγωγής. Το ρυπαντικό φορτίο μπορεί ουσιαστικά να περιορισθεί αν γίνει συστηματική στράγγιση των δοχείων και περιορισθούν οι απώλειες προϊόντων γιατί το γάλα και τα παράγωγα του έχουν ωηλό οργανικό φορτίο (Vymazal, 2014).

Πίνακας 3.2. Οργανικό φορτίο προϊόντων γάλακτος

Είδος	mg BOD_5/l
1.Πρόβειο γάλα	156.000
2.Αίγειο γάλα	116.000
3.Αγελαδινό γάλα	104.000
4. Αγελαδινό γάλα αποκορυφωμένο	73.000
5. Αγελαδινό γάλα άπαχο	67.000
6.Αγελαδινό βουτορόγαλα	68.000
7.Αγελαδινό τυρόγαλα	34.000
8.κρέμα 40%	399.000

Τα υγρά απόβλητα των τυροκομικών μονάδων περιέχουν κυρίως γάλα, πρωτεΐνες, λακτόζη, αλάτι, λιπαρές ουσίες καθώς και διάφορες χημικές ουσίες καθαρισμού (Thassitou and Arvanitoyannis 2001, Μακρής και Χαραλάμπους, 2001, Μάντης, 1993).

Πίνακας 3.3. Μέση περιεκτικότητα των κυριότερων συστατικών των τυροκομικών αποβλήτων (Πηγή: Ανυφαντάκης, 2004)

Συστατικό	Περιεκτικότητα (mg/l)
Πρωτεΐνες	350
Λίπη	309
Σάκχαρα	522
Άζωτο	76
Φώσφορος	50
Χλώριο	276

Τα χημικά καθαριστικά είναι διαλυμένα στα απόνερα που προκύπτουν από τον καθαρισμό του εξοπλισμού και των χώρων της παραγωγικής διαδικασίας. Γενικά τα τυροκομικά υγρά απόβλητα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Kosseva, 2009 & Μάντης, 1993):

- υψηλό οργανικό φορτίο,
- υψηλά επίπεδα αζώτου και φωσφόρου,
- μεγάλες διακυμάνσεις ως προς την θερμοκρασία ανάλογα με το είδος του τυριού,
- μεγάλες διακυμάνσεις ως προς το pH επειδή περιέχουν βασικές και όξινες απορρυπαντικές ουσίες.
- σχετικά μεγάλη ποσότητα αιωρούμενων στερεών (0,4-2 gr/l)

Πίνακας 3.4. Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων τυροκομείων

Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Εύρος τιμών	Μέση τιμή
BOD ₅ (mg/l)	40 – 48.000	2.300
COD(mg/l)	80 – 95.000	4.500
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) (mg/l)	24 – 4.500	820
Ολικά Στερεά (TS) (mg/l)	135 – 8.500	2.500
Λίπη (mg/l)	35 – 500	209
Άζωτο (N) (mg/l)	1 – 180	64
Φώσφορος με τη μορφή PO ₄ (mg/l)	3 – 70	48
Ασβέστιο (Ca) (mg/l)	55 - 115	37
Νάτριο (Na) (mg/l)	60 – 810	320
Κάλιο (K) (mg/l)	10 - 160	70
Συντελεστής Φόρτισης κιλά BOD ₅ / κιλό ανεπεξέργαστου γάλακτος	0,2 - 7,1	5,8
Όγκος Αποβλήτων m ³ / m ³ ανεπεξέργαστου γάλακτος	0,1 - 7,1	2,4
pH	4,4 - 9,5	7,2
Θερμοκρασία C ^ο	18 – 55	35

Πίνακας 3.5. Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων τυροκομείων.

Τελικό Προϊόν	Όγκος αποβλήτων (m ³ / τόνο προϊόντος)	BOD ₅ (kg / τόνο προϊόντος)	COD (kg / τόνο προϊόντος)	SS (kg / τόνο προϊόντος)
Γιαούρτη	3,87	3,21	5,63	1,5
Cottage τυρί (Μυζήθρα κλπ.) με ανάκτηση τυρόγαλου	79,4	137	239	3,4
Cottage τυρί (Μυζήθρα κλπ.) χωρίς ανάκτηση τυρόγαλου	80,3	609	953	3,4
Φυσικό τυρί με ανάκτηση τυρόγαλου	14,8	10,3	16,8	5
Φυσικό τυρί χωρίς ανάκτηση τυρόγαλου	15,7	482	731	5

3.3. Τυρόγαλα

Τυρόγαλα είναι το υγρό που διαχωρίζεται κατά τη διάρκεια της πήξης του γάλακτος και της στράγγισης του τυροπήγατος (οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται στην ενότητα 2.1). Το παραπροϊόν αυτό της βιομηχανίας των τυροκομείων περιγράφεται ξεχωριστά και πιο αναλυτικά καθώς αντιπροσωπεύει το 85-95% περίπου του όγκου του γάλακτος και περιέχει το 55% των θρεπτικών του συστατικών (Καραδήμα, 2009), αν και τα ποσοστά αυτά ποικίλουν ανάλογα με το είδος του τυριού που παρασκευάζεται και την τεχνολογία που εφαρμόζεται (Βαμβακάκη, κ.α., 2009). Η περιεκτικότητα του σε οργανική ύλη είναι υψηλή και παρουσιάζει τιμές BOD₅ που κυμαίνονται μεταξύ 30.000-50.000 ppm και τιμές COD που κυμαίνονται μεταξύ 60.000-80.000 ppm (Καραδήμα, 2000, Jelen, 2002). Για να αντιληφθεί κανείς πόσο σημαντικό είναι το πρόβλημα της διαχείρισης του τυρόγαλου για ένα τυροκομείο αρκεί να λάβει υπόψη του ότι για την παρασκευή ενός κιλού τυριού, παράγονται 9 κιλά τυρογάλακτος (Καραδήμα, 2009). Εκτιμάται ότι μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση παράγονται περίπου 50 εκατομμυρίων m³ τυρόγαλα ετησίως (Kosseva, 2009) ενώ παγκοσμίως παράγονται

περίπου 120 εκατομμύρια τόνοι τυρογάλακτος (Peters, 2006). Η ποσοστιαία αναλογία των συστατικών του δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από το είδος του γάλακτος που χρησιμοποιείται και το είδος του τυριού που παρασκευάζεται. Έτσι η περιεκτικότητά του σε στερεά συστατικά μ πορεί να κυμ αίνεται από 6-8%. Γενικά το τυρόγαλα από πρόβειο γάλα είναι σχετικά πλουσιότερο σε συνολικά στερεά από το αντίστοιχο αγελαδινό (Μάντης, 1993).

Πίνακας 3.6. Φυσικοχημικές ιδιότητες τυρογάλακτος από παραγωγή φέτας (Πηγή: Philiporoulos and Papadakis, 2001)

Ιδιότητα	Τυπική τιμή	Απόκλιση
pH	6,32	0,1
Πυκνότητα (Kg / m ³)	1029,2	1,4
Ολικά Στερεά (g / Kg)	69,8	5,6
Πρωτεΐνες (g / Kg)	13	0,7
Λίπη (g / Kg)	0,3	0,2
Λακτόζη (g / Kg)	50,7	3,5
Ασβέστιο (Ca) (mg / Kg)	356	36
Φωσφόρος (P) (mg / Kg)	385	28
Μαγνήσιο (Mg) (mg / Kg)	93	7
Κάλιο (K) (mg / Kg)	1154	85
Νάτριο (Na) (mg / Kg)	434	36
Χλώριο (Cl) (mg / Kg)	1246	377

Περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της λακτόζης (70-72% των ολικών στερεών), το σύνολο σχεδόν των οροπρωτεϊνών του γάλακτος (8-10% των ολικών στερεών) και μέταλλα (12-15% των ολικών στερεών) (Jelen, 2002). Στο τυρόγαλα βρίσκονται επίσης διάφορα διαλυτά άλατα, υδατοδιαλυτές βιταμίνες καθώς και μικρή ποσότητα λίπους η οποία όμως αυξάνεται όταν το τυρόπηγμα θερμαίνεται. Σε πολύ μικρότερες ποσότητες περιέχει και άλλα συστατικά, όπως γαλακτικό και κιτρικό οξύ, μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις όπως ουρία, ουρικό οξύ και βιταμίνες του συμπλέγματος Β (Καραδήμα, 2009). Υπήρξαν και περιπτώσεις που βρέθηκαν στο τυρόγαλα αν και σε πολύ μικρές ποσότητες και μερικά βαρέα μέταλλα. Παρατηρήθηκε όμως ότι σε αυτά τα περιστατικά το τυρόγαλα ή ήταν αναμιγμένο με νερά πλυσίματος, ή ήταν σε μορφή σκόνης (Καραδήμα, 2009). Ανάλογα με τη παραγωγική διαδικασία παρασκευής του

τυριού, το τυρόγαλα που παράγεται μπορεί να διακριθεί σε «όξινο τυρόγαλα» ή «γλυκό τυρόγαλα». Πιο αναλυτικά «όξινο τυρόγαλα» προκύπτει όταν ο σκοπός είναι η παρασκευή νωπών τυριών (π.χ. τύπου cottage) ενώ «γλυκό τυρόγαλα» όταν χρησιμοποιείται τυτιά και η πήξη του γάλακτος γίνεται σε pH 6,5. Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει αναλυτικά τη σύσταση των δύο κατηγοριών τυρογάλακτος.

Πίνακας 3.7. Σύσταση και pH τυρογάλακτος (Πηγή: Jelen, 2002, Καραδήμα, 2009).

Στοιχεία	όξινο τυρόγαλα	γλυκό τυρόγαλα
	gr / lt τυρογάλακτος	
Λακτόζη	44,0 – 46,0	46,0 – 52,0
Πρωτεΐνη	6,0 – 8,0	6,0 – 10,0
Ασβέστιο	1,2 – 1,6	0,4 – 0,6
Φωσφορικά άλατα	2,0 – 4,5	1,0 – 3,0
Λακτάση	6,4	2,0
pH	<5	6 – 7

Κατά το σχεδιασμό της διαχείρισης των αποβλήτων ενός τυροκομείου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μεταξύ άλλων και η κατηγορία του τυρογάλακτος. Για παράδειγμα το όξινο τυρόγαλα αποφεύγεται να χρησιμοποιηθεί για τη διατροφή ζώων γιατί έχει όξινη γεύση και μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα (Mawson, 1994).

3.4. Επιπτώσεις Γαλακτοκομικών Υγρών Αποβλήτων Στο Περιβάλλον

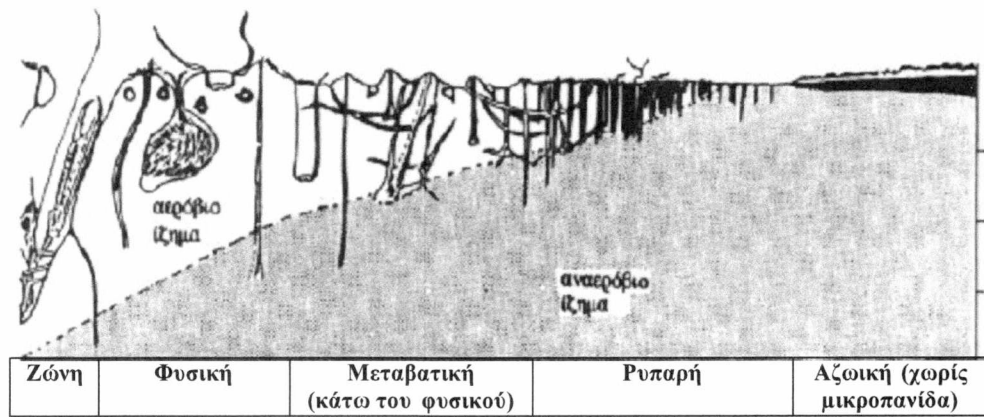
Οι επιστήμονες είναι πλέον βέβαιοι ότι ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα η μείωση της βιοποικιλότητας οφείλεται κυρίως στη ρύπανση (Χαϊδευτού, 2002). Τα διάφορα είδη ενός οικοσυστήματος συνδέονται μεταξύ τους με πολύπλοκες σχέσεις αλληλεξάρτησης (Στρογγυλούδη, 1995) και συχνά αν αποσταθεροποιηθεί μία τέτοια σχέση κλονίζεται ή και καταρρέει ολόκληρο το οικοσύστημα. Στα θαλάσσια

οικοσυστήματα ιδιαίτερα έχει παρατηρηθεί συχνά ότι ένα και μόνο είδος αν χαθεί από ένα βιότοπο το αποτέλεσμα θα είναι να εξαφανισθούν και άλλα είδη οργανισμών που έχουν κάποια σχέση με αυτό ακόμη και αν δεν ανήκουν στην ίδια τροφική αλυσίδα. Το ότι τα εν θέματι απόβλητα αποτελούν μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι προκαλούν 5 έως 15 φορές (ανάλογα με τη σύστασή τους) μεγαλύτερη ρύπανση από τα αστικά απόβλητα (Ανυφαντάκης, 2004). Οι Sienkiewicz & Riedel (1990) υπολόγισαν ότι κατά μέσο όρο, ένα τυροκομείο που επεξεργάζεται 100 τόνους γάλακτος την ημέρα, παράγει τυρόγαλα που ρυπαίνει όσο τα απόβλητα μιας πόλης 55.000 κατοίκων. Το τυρόγαλα ειδικά είναι από τους πιο σημαντικούς ρυπαντικούς παράγοντες για το περιβάλλον (Saddoud et al., 2007, Καμινारीδης 2007) και η απόρριψή του χωρίς προεπεξεργασία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία τους. Οι σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που περιέχονται στα υγρά απόβλητα των τυροκομείων, όταν διατίθενται σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες ή σε υπόγεια νερά μπορεί να είναι υπεύθυνες για τα ακόλουθα επιβαρυντικά για το περιβάλλον φαινόμενα (Μαμάης, 2008) :

- ευτροφισμό
- τοξικότητα αμμωνίας στα ψάρια
- αποξυγόνωση αποδεκτών λόγω νιτροποίησης αμμωνίας
- τοξικότητα από την παρουσία νιτρικών στο πόσιμο νερό (προκαλεί κυάνωση σε βρέφη)

Οι χημικές ουσίες καθαρισμού που περιέχουν τα συγκεκριμένα απόβλητα (π.χ. αλκάλια) ενώ δεν επηρεάζουν σημαντικά στην ολική χημική ζήτηση οξυγόνου (COD), έχει αποδειχθεί ότι είναι τοξικές για τους υδρόβιους οργανισμούς (Kosseva, 2009). Επίσης επειδή είναι ουσίες μη βιοδιασπώμενες παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και τελικά μέσα από τους βιογεωχημικούς κύκλους ένα μέρος τους καταλήγει στους οργανισμούς όπου λόγω του φαινομένου της

βιοσυσσώρευσης προκαλεί σοβαρές τοξικολογικές δράσεις ιδιαίτερα στους ανώτερους καταναλωτές, όπως είναι ο άνθρωπος. Οι μη βιοδιασπώμενες ουσίες δεν αποικοδομούνται, δεν διασπώνται, δεν μεταβολίζονται και δεν φεύγουν με τις απεκκρίσεις με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στους ιστούς των ανώτερων καταναλωτών σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλώντας προβλήματα στην αναπαραγωγή, καρκίνο, καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος και αναστολής της φυσιολογικής ανάπτυξης, κ.α. Ένα άλλο φαινόμενο το οποίο είναι σήμερα ιδιαίτερα συχνό σε πολλά παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα όπως εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες είναι αυτό του ευτροφισμού. Ο ευτροφισμός υποβαθμίζει και επηρεάζει αρνητικά τους πληθυσμούς κυρίως των ανώτερων καταναλωτών αφού ακόμη και όταν δεν ζουν εκεί καταστρέφονται οι χώροι αναπαραγωγής τους. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε υδάτινες περιοχές όταν αυξάνονται τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα σ' αυτές οπότε αυξάνονται ανάλογα και οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί (παραγωγοί) αυτών των οικοσυστημάτων και στη συνέχεια το ζωοπλαγκτόν και οι αποικοδομητές. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται η παραγωγικότητα του οικοσυστήματος πάνω από τα όριά του και να παρατηρούνται ανοξικές συνθήκες και θάνατοι των ανώτερων καταναλωτών, κυρίως ψαριών. Επίσης το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα για νιτροποίηση (μετατροπή σε νιτρικά ιόντα). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου (Λοϊζίδου, 2006). Οι πληθυσμοί της βενθικής μακροπανίδας επηρεάζονται επίσης σημαντικά εξαιτίας της συσσώρευσης οργανικού υλικού και γιαυτό αποτελούν και έναν πολυχρησιμοποιημένο δείκτη διατάραξης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Σεβαστού, 1999)

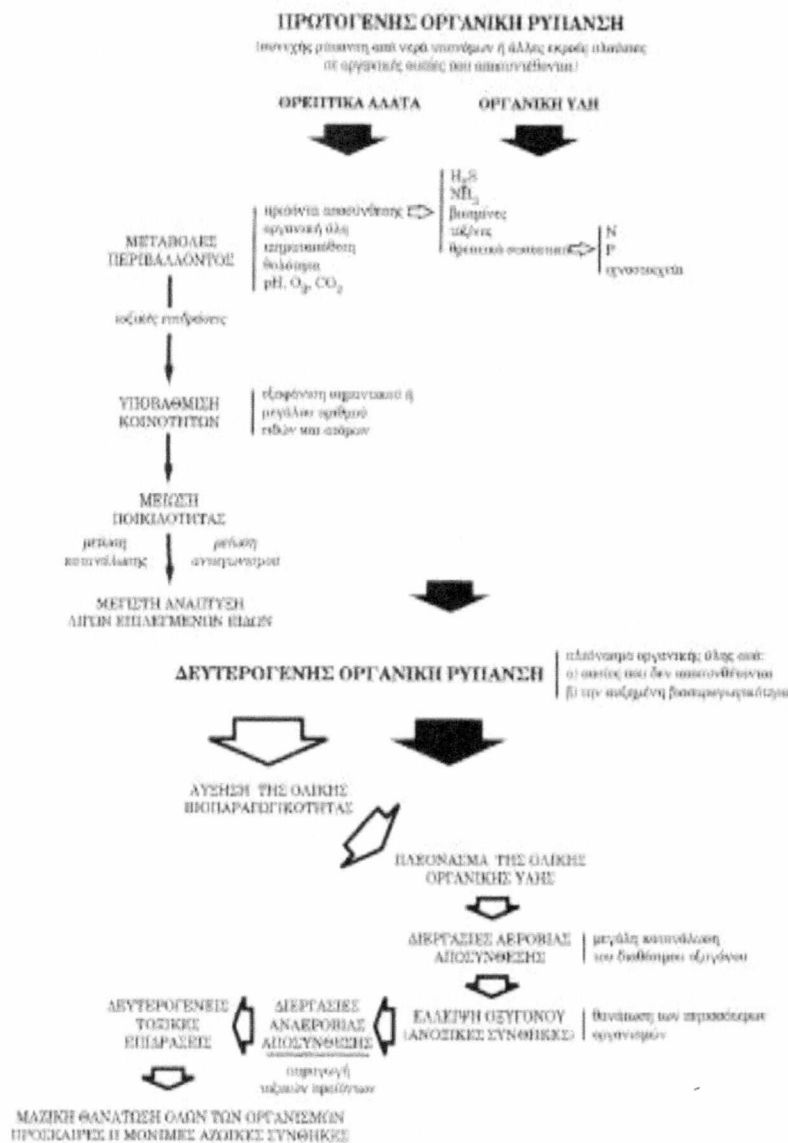


Εικόνα 3.2. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών των βενθικών βιοκοινοτήτων και του ιζήματος σε συνάρτηση με τον βαθμό αύξησης οργανικού φορτίου σε μια θαλάσσια περιοχή

Στην εικόνα 3.2 (Κούκουρα & Βουλτσιάδου-Κούκουρα, 1993) παριστάνεται διαγραμματικά πώς επηρεάζεται η εικόνα του βυθού γύρω από μία περιοχή απόθεσης οργανικού υλικού. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από έρευνα που έγινε για να εκτιμηθεί ο οικολογικός κίνδυνος από την απόρριψη των αποβλήτων μιας τυροκομικής μονάδας σε ποτάμι (Καραδήμα, 2009) έδωσαν κρίσιμα επίπεδα οικολογικού κινδύνου ιδίως το καλοκαίρι όπου η ροή νερού στο ποτάμι ήταν μικρή. Αξιοσημείωτο όμως αν και μικρότερο ήταν και το επίπεδο κινδύνου κατά το φθινόπωρο. Δεν πρέπει να παραβλέψουμε επίσης και το γεγονός ότι στις περιπτώσεις που το τυρόγαλα διοχετεύεται απευθείας σε υδάτινο αποδέκτη προκαλείται θολότητα και εμποδίζεται η διέλευση του φωτός. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμποδίζεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης των αυτότροφων οργανισμών (παραγωγών) και να διαταράσσεται επομένως ολόκληρο το τροφικό πλέγμα του οικοσυστήματος.

Πίνακας 3.8. Απαιτούμενο οξυγόνο για τη βιοαποδόμηση ουσιών που περιέχονται σε απόβλητα τυροκομείων (Πηγή: Ανυφαντάκης, 2002)

Συστατικό	Απαιτούμενο O₂ Kg O₂ / Kg συστατικού
Λακτόζη	0,65
Γλυκόζη	0,66
Σακχαρόζη	0,73
Γαλακτικό οξύ	0,63
Πρωτεΐνες	1,03
Λίπη	0,89



Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών των βιοκοινοτήτων σε ένα παράκτιο οικοσύστημα σε συνάρτηση με την οργανική ρύπανση (από Κούκουρας & Βουλτσιάδου- Κούκουρα, 1993).

Εξίσου αξιοσημείωτες είναι και οι αισθητικές επιπτώσεις όταν αναπτύσσονται δυσάρεστες οσμές και θολότητα στον υδάτινο αποδέκτη, ιδίως όταν ο τελευταίος βρίσκεται κοντά σε οικισμό ή σε περιοχές ιστορικού, πολιτιστικού και τουριστικού ενδιαφέροντος. Οι οσμές παρατηρούνται συνήθως σε φαινόμενα έντονου ευτροφισμού όταν τα επίπεδα συγκέντρωσης του οξυγόνου στα υδάτινα οικοσυστήματα γίνει μικρότερη των 3 ppm και κυριαρχούν οι αναερόβιοι αποικοδομητές. Κατά την αναερόβια αποικοδόμηση πολλά από τα τελικά προϊόντα προκαλούν προβλήματα δυσσομίας (Tchobanoglou, 1984). Σημαντική κατανάλωση οξυγόνου στα νερά γίνεται

και κατά τη διαδικασία της βιοαποικοδόμησης των ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα των τυροκομείων. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι για την πλήρη οξείδωση 1 Kg πλήρους γάλακτος απαιτείται δηλαδή το οξυγόνο 15 τόνων καθαρού νερού (Ζερφυρίδης κ.α., 1988). Όταν τα υγρά απόβλητα είναι νερό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως ψυκτικό μέσο και στη συνέχεια αποβλήθηκε σε υδάτινο οικοσύστημα με αυξημένη θερμοκρασία προκαλεί θερμική ρύπανση. Η αυξημένη θερμοκρασία του νερού προκαλεί μείωση της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο αλλά και άνοδο του ρυθμού μεταβολισμού των ζωικών οργανισμών με αποτέλεσμα να υπάρχει αδυναμία εξασφάλισης οξυγόνου και συχνά αν η θερμοκρασία υπερβεί κάποιο όριο να επέρχεται ο θάνατος (Roberts, 1978).

3.5.Στερεά Απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα των γαλακτοκοβιομηχανιών προέρχονται κυρίως από υλικά συσκευασιών πρώτων υλών και τελικών προϊόντων (το τυρί συσκευάζεται σε ξύλινα βαρέλια, μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία) καθώς και λάσπη από διεργασίες βιολογικών καθαρισμών. Επίσης μπορεί να είναι άχρηστα υλικά, παρόμοιας σύστασης με τα αστικά απορρίμματα τα οποία μπορούν να διαχειριστούν ανάλογα. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μία στροφή προς τη χρησιμοποίηση ανακυκλώσιμων και αποικοδομήσιμων υλικών συσκευασίας, αλλά οι παλαιού τύπου συσκευασίες εξακολουθούν να αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό. Στερεά απόβλητα προκύπτουν επίσης κατά την παραγωγική διαδικασία από τη διαύγαση του γάλακτος και τα τρίμματα τυρόμαζας και τυροπήγατος.

3.6. Νομοθεσία Που Αφορά Την Επεξεργασία Γαλακτοκομικών Αποβλήτων

3.6.1. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία περιλαμβάνονται αρκετές οδηγίες που αφορούν τα βιομηχανικά απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων. Πολλές από αυτές τις οδηγίες έχουν ενσωματωθεί στην Ελληνική νομοθεσία. Οι κυριότερες Ευρωπαϊκές Οδηγίες σε ότι αφορά το θέμα της παρούσας εργασίας είναι οι εξής:

- **Οδηγία 96/61/ΕΚ** του Συμβουλίου της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (Integrated Prevention Pollution Control, IPPC) (Επίσημη Εφημερίδα L257, 10.10.1996)
- **Οδηγία 1999/31/ΕΚ** του Συμβουλίου της 26^{ης} Απριλίου 1999 που αφορά την υγειονομική ταφή των αποβλήτων

3.6.2. Εθνική Νομοθεσία

- Νόμος 1650/1986(ΦΕΚ Α'160) για την προστασία του περιβάλλοντος, όπως τροποποιήθηκε από το Νόμο 3010/2002(ΦΕΚ Α' 91) ώστε να εναρμονιστεί με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε.
- Υγειονομική Διάταξη Ε1β/221/1965 (ΦΕΚ Β'138) «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων», όπως τροποποιήθηκε διαδοχικά με τις Γ1/17831/71 (ΦΕΚ Β'986) και Γ4/1305/74 (ΦΕΚ Β'801). Εκδόθηκε σε εφαρμογή του Α.Ν. 2520/1940 και προβλέπει όρους και προϋποθέσεις για την διάθεση λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.
- Εγκύκλιος ΥΚΥ Α5/4690/ΕΓΚ.62/26-4-1980 για την εφαρμογή της ανωτέρω Υ.Δ. Ε1β/221/65, η οποία διευκρίνισε τα βήματα ενεργειών για την έκδοση της Άδειας Διάθεσης των λυμάτων-βιομηχανικών αποβλήτων, είτε για απόρριψη σε επιφανειακούς υδατικούς αποδέκτες, είτε για υπεδάφια διάθεση. Αναφέρεται, επίσης, στον έλεγχο απόδοσης των

εγκαταστάσεων επεξεργασίας των λυμάτων-υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.

- Π.Δ. 1180/1981 (ΦΕΚ Α΄ 293) «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγομένων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως του περιβάλλοντος εν γένει» με το οποίο αντιμετωπίζονται περιβαλλοντικά θέματα βιομηχανικών και λοιπών δραστηριοτήτων».
- Εγκύκλιος ΥΜ/2985/29-5-1991 του Υπουργείου Υγείας, Πρόνοιας & Κοινωνικών Ασφαλίσεων. Περιέχει οδηγίες εφαρμογής της ΕΙβ/221/65 Υγ. Δ/ξης όπως τροποποιήθηκε σε συνδυασμό με την 69269/5387/90 Υ.Α.».
- Ν. 3199/2003 (ΦΕΚ Α΄ 280) «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» εναρμονίστηκε το εθνικό Δίκαιο με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, για την προστασία και διαχείριση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.
- Π.Δ. 51/2007 (ΦΕΚ Α΄54) «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ». Εκδόθηκε σε εφαρμογή του Ν. 3199/2003 ώστε με τη θέσπιση του αναγκαίου πλαισίου μέτρων και διαδικασιών να επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη προστασία και ορθολογική διαχείριση των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και υπόγειων νερών. Μεταξύ άλλων προβλέπει «μέτρα για σημειακές πηγές απορρίψεων, οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση».
- ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ 354) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών

αποβλήτων και άλλες διατάξεις». Αντικαθιστά εν μέρει την απαρχαιωμένη υγειονομική Διάταξη Ε1β/221/1965 προωθώντας την αξιοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

3.6.3. Οριακές Τιμές Παραμέτρων

Στον παρακάτω πίνακα εκφράζονται οι οριακές τιμές και τα ποσοστά μείωσης, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου πέντε ημερών (BOD_5), του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), του ολικού φωσφόρου (TP) και του ολικού αζώτου (TKN).

Πίνακας 3.9. Οριακές Τιμές Παραμέτρων βάση Ελληνικής Νομοθεσίας

Παράμετρος	Οριακή Τιμή	Ελάχιστη Μείωση
BOD_5	60 mg/l	70%-90%
COD	180 mg/l	75%
SS	60 mg/l	90%
TP	6 mg/l	80%
TKN	45 mg/l	70%-80%
pH	6,9-9	-

4. ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

4.1. Περιοχή Έρευνας

Η Αμερικανική Γεωργική Σχολή από την έναρξη λειτουργίας της το 1913, ως μικρό Γεωργικό Σχολείο για τα ορφανά των Βαλκανικών πολέμων βρισκόταν έξω από τον κτιριακό όγκο της πόλης. Η εκτροφή ζώων και τα αστικά της απόβλητα δεν δημιουργούσαν οποιοδήποτε πρόβλημα οσμής ή ρύπανσης στον περιβάλλοντα χώρο. Σήμερα η περιοχή είναι οικιστική, υπάρχουν περίοικοι: Σχολεία, Οικισμοί, το Τεχνολογικό Πάρκο Θεσσαλονίκης, το μεγάλο κτίριο διοίκησης της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας CEDEFOP για την Τεχνική Εκπαίδευση, η οποία έχει δοθεί από την Ένωση μόνιμα στην Ελλάδα κ.α. Εξάλλου στα νότια της Σχολής ο κεντρικός οδικός άξονας για τη Χαλκιδική κόβει ένα κομμάτι από το 1.200 στρεμμάτων συνολικό κτήμα της και οι τυχόν άσχημες οσμές γίνονται κάποιες φορές αντιληπτές από τους ταξιδιώτες. Βόρεια του Αγροκτήματος της Σχολής βρίσκεται η οικιστική περιοχή της Πυλαίας, ανατολικά ο οικισμός του Πανοράματος και ο ορεινός όγκος του Χορτιάτη (υψόμετρο 1201 μέτρα), νότια ο οικισμός Λήδα - Μαρία και η οικιστική περιοχή της Θέρμης και δυτικά ο συνοικισμός του Φοίνικα. Στα δυτικά εκτείνεται ο Θερμαϊκός κόλπος. Η Α.Γ.Σ Θεσσαλονίκης λειτουργεί σαν ανεξάρτητο μη κερδοσκοπικό ίδρυμα γεωργικής εκπαίδευσης με ιστορία ενός αιώνα. Ο μόνιμος πληθυσμός της είναι 400 άτομα από τα οποία 240 είναι μαθητές και μαθήτριες, που φοιτούν στο Τεχνικό Επαγγελματικό Λύκειο και στην Τεχνική Επαγγελματική Σχολή. Στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή, φοιτούν επίσης και επιλεγμένες διεθνείς ομάδες μαθητών στο Κολέγιο Επαγγελματικής και Τεχνικής Εκπαίδευσης (Dimitris Perrotis).

Στο πλαίσιο των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στη Σχολή λειτουργεί το Αγρόκτημα, το οποίο αποτελεί και βασικό στοιχείο της εκπαίδευσης. Στο ζωντανό αυτό εργαστήριο όπου οι μαθητές εκπαιδεύονται στην γεωργική παραγωγή και τη διαχείριση κτηνοτροφικών μονάδων, εκτρέφονται βοοειδή, χοίροι και πουλερικά. Παράλληλα

λειτουργεί γαλακτοκομείο, πτηνοσφαγείο και καλλιεργούνται διάφορα φυτά σε θερμοκήπια. Όπως είναι φυσικό οι δραστηριότητες αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφόρων αποβλήτων σε στερεή, υγρή και αέρια μορφή. Σε ότι αφορά τη στάθμη των εκπεμπόμενων αερίων αυτή δεν ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια, γι' αυτό δεν απαιτείται καμία ειδική επεξεργασία για τον καθαρισμό τους. Αντίθετα τα παραγόμενα υγρά και στερεά απόβλητα λόγω της σύνθεσης και της ποσότητάς τους απαιτούν λήψη ειδικών μέτρων προστασίας. Για το σκοπό αυτό η Σχολή κατασκεύασε και λειτουργεί μονάδα επεξεργασίας στερεών και υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα διαθέτει μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας για παραγωγή βιοαερίου, μονάδα αερόβιας επεξεργασίας και περαιτέρω καθαρισμό των υγρών αποβλήτων και μονάδα κομποστοποίησης της στερεάς φάσης της κοπριάς.

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποθηκεύονται σε δύο λίμνες (20.000 m³ και 40.000 m³) και επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών. Το δυνάμενο να παραχθεί βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμικής ενέργειας, ενώ το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό υποπροϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας, μετά από κομποστοποίηση μαζί με τη στερεά φάση της αερόβιας επεξεργασίας των λοιπών αποβλήτων εφαρμόζεται στις καλλιέργειες, και ιδιαίτερα στους κήπους της οικολογικής καλλιέργειας στην Α.Γ.Σ.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας των αποβλήτων στην Α.Γ.Σ. έγινε, με βάση σχετικές περιβαλλοντικές μελέτες, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος της περιοχής, η δημόσια υγεία και να δημιουργούνται προϋποθέσεις ανάπτυξης μέσα από την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, την καύση του βιοαερίου και τη χρήση του εδαφοβελτιωτικού. Η Α.Γ.Σ. έλαβε οριστική άδεια διάθεσης λυμάτων - αποβλήτων της το 1996 (αριθμ. πρωτ. 30/οικ/2239/9-9-1996). Από τότε έγιναν και σχεδιάζονται να γίνουν στο μέλλον τροποποιήσεις στη λειτουργία των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού με βάση τις αλλαγές στο τρόπο διαχείρισης των ζώων, τις τεχνολογικές

εξελίξεις στον τομέα της ζωοτεχνίας και τα νέα έργα και δραστηριότητες μέσα και γύρω από τη Σχολή.

Συγκεκριμένα έχουν γίνει οι παρακάτω αλλαγές /τροποποιήσεις στα θέματα επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων:

- Η Σχολή έχει εγκαταλείψει σταδιακά την αρχή της "υγρής διαχείρισης" στο σταβλισμό των ζώων και υιοθέτησε την αρχή της "ξηρής διαχείρισης". Άμεση συνέπεια της μετάβασης στην "ξηρή διαχείριση" ήταν η μεγάλη μείωση του όγκου των υγρών ζωικών αποβλήτων. Αποτέλεσμα της αλλαγής αυτής ήταν και η διακοπή λειτουργίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης (μονάδα βιοαερίου), η οποία επεξεργαζόταν τα απόβλητα σε υγρή μορφή. Σε υγρή διαχείριση παραμένει μόνο ο στάβλος εκτροφής μοσχαριών. Η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων από το στάβλο αυτό είναι πολύ μικρή για να δικαιολογήσει τη συνέχιση λειτουργίας της μονάδας του βιοαερίου.
- Έχει μειωθεί ο αριθμός των γαλακτοφόρων αγελάδων από 170 σε 120.
- Η Σχολή έγινε αποδέκτης των ανεπεξέργαστων λυμάτων του Ευρωπαϊκού Κέντρου για την Επαγγελματική Κατάρτιση (CEDEFOP).
- Η Σχολή έχει εγκαταλείψει τον αρχικό σχεδιασμό της μονάδας κομποστοποίησης με στατικό σωρό και υλοποίησε μονάδα εγκιβωτισμένης κομποστοποίησης.
- Έχει κατασκευαστεί καταθλιπτικός αγωγός από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων της Σχολής μέχρι το αποχετευτικό δίκτυο της Ε.Υ.Α.Θ. στην οδό Μαρίνου Αντύπα. Ο αγωγός αυτός προορίζεται για τη μελλοντική σύνδεση της Σχολής με το αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής, όταν αυτό τεθεί σε λειτουργία, για την προώθηση των αστικών της λυμάτων στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης της Θεσσαλονίκης και όχι στη δική της μονάδα. Μετά τη σύνδεση αυτή οι εγκαταστάσεις του βιολογικού

καθαρισμού της θα λειτουργούν αποκλειστικά για την επεξεργασία μόνον των παραγόμενων ζωικών ποβλήτων της.

4.2. Ιστορικά Στοιχεία

Η Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης έγινε γνωστή για το γάλα της λίγο μετά την ίδρυσή της, περισσότερο από 100 χρόνια πριν. Μαθητές οδηγούσαν γαϊδουράκια τα οποία κουβαλούσαν το γάλα από τις αγελάδες ποικιλίας Guernsey της Σχολής στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, στο λιμάνι όπου και βρισκόταν ο κεντρικός σταθμός του Ερυθρού Σταυρού με σκοπό τη διανομή του στα βρέφη των προσφύγων του Πρώτου Παγκοσμίου πολέμου και αργότερα της Μικράς Ασίας. Αργότερα, το 1934, η Σχολή άρχισε να παράγει παστεριωμένο γάλα στην Ελλάδα ανοίγοντας το πρώτο εργοστάσιο παστερίωσης και εμφιάλωσης γάλακτος.

4.3. Το Γαλακτοκομείο

Το Βουστάσιο της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής είναι ένα εκπαιδευτικό κέντρο για την επίδειξη και διδασκαλία της ζωικής αναπαραγωγής, εκτροφής, στέγασης, κτηνιατρικής φροντίδας και της ζωοτεχνίας γενικότερα. Η αγέλη των αγελάδων φυλής Χόλσταϊν, τοποθετείται στο 12% των καλύτερων ποικιλιών παγκοσμίως. Στη Σχολή υπάρχουν 120 αγελάδες προς άρμεγμα και περίπου 80 μοσχίδες και ταύροι. Η παραγωγή κατά αγελάδα κυμαίνεται στα 9.340 κιλά κατά περίοδο αρμέγματος (305 μέρες). Για περισσότερες από τρεις δεκαετίες, έχει επιτευχθεί συνεχόμενη γενετική εξέλιξη στο κοπάδι, μέσω τεχνητής σπερματέγχυσης και της τεχνικής μεταφοράς εμβρύου. Τα παραγόμενα ζώα χρησιμοποιούνται είτε για την ανανέωση της αγέλης της Σχολής (μοσχίδες) είτε διατίθενται σε αγρότες από όλη την Ελλάδα, οι οποίοι τους χρησιμοποιούν για φυσική αναπαραγωγή. Όλες οι ζωοτροφές ελέγχονται εσωτερικά και από ανεξάρτητα εργαστήρια. Η Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης, ο

Διευθυντής του Αγροκτήματος και ο κτηνίατρός της είναι μέλη της Εθνικής Επιτροπής Γάλακτος καθώς και της Διεθνούς Ομοσπονδίας Γαλακτοκομείων.

Η μονάδα επεξεργάζεται (παστεριώνει) καθημερινά εκτός Κυριακής 3.600 κιλά γάλακτος. Η διαδικασία παραγωγής είναι η ακόλουθη:

Μετά το άρμεγμα το γάλα συγκεντρώνεται σε ανοξειδωτή δεξαμενή ψύξης (παγολεκάνη). Η δεξαμενή φέρει σύστημα ανάδευσης και διατάξεις παρακολούθησης της θερμοκρασίας και της στάθμης. Κατόπιν το γάλα οδηγείται στο συγκρότημα παστερίωσης-φυγοκέντρισης-ομογενοποίησης όπου ακολουθείται το παρακάτω πρόγραμμα θερμοκρασιών:

- είσοδος γάλακτος στους 4 °C
- έξοδος προς κορυφολόγο 40-42 °C
- έξοδος προς ομογενοποιό 55-57 °C
- Παστερίωση στους 72 °C
- Ψύξη του παστεριωμένου γάλακτος σε θερμοκρασία 4 °C

Στη συνέχεια το παστεριωμένο γάλα οδηγείται στη φάση της συσκευασίας που γίνεται σε πλαστικές φιάλες του ενός λίτρου. Τα υγρά απόβλητα του γαλακτοκομείου οδηγούνται προς την ΕΕΛ της Σχολής προς επεξεργασία μαζί με τα υπόλοιπα αστικά λύματα. Η μακρόχρονη αυτή πρακτική συνεχίζεται στη βάση του ότι δεν επηρεάζεται η αερόβια βιομάζα της εγκατάστασης. Οσμές, θόρυβος και άλλες οχλήσεις δεν παρατηρούνται.

4.4. Πληροφορίες Για Την Παραγωγή Γάλακτος

Περίπου ένα εκατομμύριο μπουκάλια με φρέσκο γάλα Γεωργικής Σχολής πωλούνται κάθε χρόνο στη Θεσσαλονίκη και στην Αθήνα. Η φρεσκάδα, η γεύση και η εμφάνιση του γάλακτος θεωρούνται ανώτερα από τους καταναλωτές και τους πωλητές, μερικοί από τους οποίους το χρησιμοποιούν για δεκαετίες. Η σύνδεση του γάλακτος με το

όνομα της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής και το κοπάδι με αγελάδες φυλής Holstein που αυτή διατηρεί, εξηγεί περαιτέρω την πρωτιά στην αγορά του γάλακτος.

Σχολή από τελεί πλέον δίοδο για την εκπαίδευση στην παραγωγή μιας ολοκληρωμένης σειράς γαλακτοκομικών προϊόντων (γάλα, βούτυρο, τυρί, γιαούρτι, παγωτό). Χάρη σε μια γενναιόδωρη δωρεά της Εφόρου κας Eve Labouisse, η καινούρια Αίθουσα Αρμέγματος Labouisse, κατασκευάστηκε κοντά στο νέο εκπαιδευτικό αρμεκτήριο του φημισμένου κοπαδιού ποικιλίας Holstein. Οι επισκέπτες μπορούν να παρατηρήσουν την διαδικασία αρμέγματος και οι μαθητές να δέχονται πρακτικές οδηγίες σε μία αίθουσα ενσωματωμένη στο κτίριο. Ένα βυτίο γάλακτος μεταφέρει το γάλα στο νέο Κέντρο Εκπαίδευσης Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων για την επεξεργασία και εμφιάλωσή του.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1. Μέθοδος Επεξεργασίας

Η μέθοδος επεξεργασίας που χρησιμοποιούμε στο συγκεκριμένο πείραμα για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων του γαλακτοκομείου της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης είναι φυσική καθώς, για την επεξεργασία των αποβλήτων χρησιμοποιούνται μέθοδοι που βρίσκονται στη φύση και καταναλώνονται οι ελάχιστες δυνατές ποσότητες ενέργειας. Συγκεκριμένα πρόκειται για την επεξεργασία των λυμάτων μέσα σε κλίνες όπου αναπτύσσονται υδρόβια φυτά. Πρόκειται για τα λεπτά καλάμια που συναντάμε στις όχθες των λιμνών όπως και σε αρδευτικά κανάλια, ρέματα, κ.α. Η μέθοδος αυτή ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων στην οποία περιλαμβάνονται και οι κατασκευασμένες λιμνοδεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων.

Οι τεχνητοί υγρότοποι αποτελούνται από κλίνες μικρού συνήθως βάθους από αδρανή και άμμο στις οποίες έχουμε κορεσμένες συνθήκες ροής και στις οποίες αναπτύσσονται υδροχαρή φυτά. Οι κλίνες αυτές χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων αλλά και αποβλήτων από βιομηχανίες, κτηνοτροφικές μονάδες, ορυχεία κλπ. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία γαλακτοκομικών αποβλήτων. Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ρυπαντών είναι: α) ο βακτηριακός μεταβολισμός τόσο στην μάζα του υλικού πλήρωσης όσο και στο ριζικό σύστημα των φυτών, β) προσρόφιση τόσο από μικροπόρους των ριζών όσο και των υλικών κατασκευής και γ) άλλες φυσικές διεργασίες όπως καθίζηση και φίλτραυση.

Οι τεχνητοί υγρότοποι κατασκευάζονται και λειτουργούν σε μεγάλο εύρος σχημάτων, υποστρώματος, βλάστησης και ροής υγρών. Με βάση το είδος της ροής νερού έχουμε υγροτόπους οριζόντιας ροής και υγροτόπους κατακόρυφης ροής. Τα φυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται στη φύτευση των υγροτόπων, βρίσκονται συνήθως

στους φυσικούς υγροτόπους και περιλαμβάνουν τα λεπτά καλάμια *Phragmites* sp., την τύφη *Typha* sp., το βούρλο *Scirpus* sp., κ.α.(Μίμης , 2006)

Τα καλάμια με την πάροδο του χρόνου μεγαλώνουν, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο και πυκνό ριζικό σύστημα. Έτσι, σταθεροποιούν τις στρώσεις των υλικών και βοηθούν στην ανάπτυξη της απαραίτητης μικροβιακής κοινότητας (που καταστρέφει τους διάφορους ρύπους) κατά μήκος των ριζών. Επιπλέον, οι ρίζες των καλάμιών μεταφέρουν οξυγόνο για την αναπνοή των μικροοργανισμών, ενώ και τα καλάμια απορροφούν μικρές ποσότητες θρεπτικών από το απόβλητο (άζωτο, φώσφορο), τοξικά και οργανικά συστατικά και νερό για τη δική τους ανάπτυξη. Ρύποι (π.χ. φώσφορος) απομακρύνονται και μέσω προσρόφησης – κατά κύριο λόγο – πάνω στους κόκκους των πορωδών υλικών. Γενικά, ευνοείται η απομάκρυνση οργανικού υλικού και αζώτου κυρίως, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου είναι πιο περιορισμένη.

Το βασικότερο πλεονέκτημα από λειτουργικής πλευράς των φυσικών συστημάτων έναντι των συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος σχετίζεται με την βιοκοινότητα μικροοργανισμών που επιτελεί την απομάκρυνση των ρύπων από τα υγρά απόβλητα. Τόσο η ποσότητα όσο και η ποικιλότητα βακτηριδιακού πληθυσμού του φυσικού συστήματος των τεχνητών υγροτόπων υπερτερεί έναντι της ενεργού ιλύος. Αυτό φαίνεται καθαρά στο γεγονός ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού για το σύστημα π.χ. του παρατεταμένου αερισμού είναι περίπου 24 ώρες ενώ στο σύστημα των τεχνητών υγροτόπων κατακόρυφης ροής (αυτό που εφαρμόζεται στο έργο) ο αντίστοιχος «χρόνος επεξεργασίας» είναι 15-30 λεπτά της ώρας. Στην πρώτη περίπτωση χρειαζόμαστε ενέργεια για την παροχή οξυγόνου και ανάμιξης ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιούμε τη βαρύτητα.

Δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνητών υγροτόπων είναι το χαμηλό μικροβιακό φορτίο στην έξοδο του συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί μια μικρή προσπάθεια απολύμανσης των καθαρών επεξεργασμένων νερών ενώ σε μερικές περιπτώσεις δεν απαιτείται καθόλου.

Τρίτο σημαντικό πλεονέκτημα είναι τα υψηλά επίπεδα διαλελυμένου οξυγόνου (D.O.) στα επεξεργασμένα νερά σε αντίθεση με την οριακή ή μηδενική πολλές φορές συγκέντρωση D.O. στην εκροή των συμβατικών μηχανικών συστημάτων ενεργού ιλύος. Αυτό σημαίνει πολύ μικρή έως αμελητέα επίπτωση στη βασική ζωτική παράμετρο των φυσικών αποδεκτών που είναι το D.O.(Μίμης , 2006)

Οι τεχνητοί υγρότοποι της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής κατασκευάστηκαν σε 16 συνολικά παρτέρια μέσα σε κυλινδρικά στοιχεία από σκυρόδεμα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Αριθμός παρτεριών 16
- Διάμετρος κάθε παρτεριού 2.0m
- Επιφάνεια $2.0^2 * 3.14 / 4 = 3.14 \text{m}^2$
- Παροχή λειτουργίας συστήματος $1.8 \text{ m}^3/\text{h} * 16 = 28.8 \text{ m}^3/\text{h}$
- Ημερήσια παροχή $28.8 * 24 = 691.2 \text{ m}^3/\text{d}$

Σε αυτά τα παρτέρια έγινε φύτευση καλαμιών (τα καλάμια ονομάζονται *Phragmites australis*, είναι απλά νεροκάλαμα τα οποία φύονται σε λίμνες), από γειτονική λίμνη περίπου 2 μηνών έπειτα από 12 μήνες από τη φύτευση τους έγινε έγχυση επεξεργασμένου υγρού αποβλήτου. Τα υγρά απόβλητα αφού έχουν περάσει από το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αφαιρώντας σημαντικό ποσοστό αιωρούμενων στερεών (σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος το σύστημα να φρακάρει) τότε γίνεται έγχυση στα παρτέρια με τους καλαμώνες του υγρού αποβλήτου, όταν απορροφηθεί από την επιφάνεια τα υγρά τότε καταλήγουν στην έξοδο του συστήματος όπου έγινε συλλογή του επεξεργασμένου υγρού το οποίο ήταν βελτιωμένο κατά πολύ όσον αφορά το χρώμα και αναλύθηκε στα εργαστήρια της σχολής. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν το pH, TNK, TP, COD, BOD₅ και SS .

5.2. Μεθοδολογία Αναλύσεων

Μέτρηση TNK:

Με τη φωτομετρική μέθοδο HACH:EN ISO 11905-1 υπολογίσαμε ποσοτικά το αζώτο, με τη μορφή της ελεύθερης αμμωνίας, αμμώνιο, νιτρώδη, νιτρικά και οργανικές ενώσεις αζώτου. Διαλυμένο αέριο άζωτο δεν προσδιορίζεται με τη μέθοδο αυτή. Το δείγμα θερμαίνεται σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον θειικού οξέος και θειικού καλίου παρουσία καταλύτη για τη μετατροπή του οργανικού αζώτου σε θειικό αμμώνιο. Ο καταλύτης είναι άλας Cu και κατά τη διάρκειας καύσης σχηματίζεται αμμωνιακός χαλκός που διαλυτοποιείται με την προσθήκη θειοθειικού νατρίου. Η θέρμανση του δείγματος με το οξειδωτικό μίγμα συνεχίζεται μισή ώρα μετά τη στιγμή που θα εμφανιστούν λευκοί ατμοί τριοξειδίου του θείου και το διάλυμα γίνει διαυγές. Στη συνέχεια με προσθήκη θειοθειικού νατρίου και περίσσειας υδροξειδίου του νατρίου αποστάζεται η ελεύθερη αμμωνία και δεσμεύεται σε βορικό οξύ.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Φιάλες χωρητικότητας 800 ή 1000 ml
- Συσκευή πέψης. Η πέψη πραγματοποιείται σε συσκευή με ρύθμιση θερμοκρασίας και σύστημα απομάκρυνσης και εξουδετέρωσης των παραγόμενων ατμών τριοξειδίου του θείου (απαγορεύεται η εισπνοή τους).
- Συσκευή απόσταξης.
- Αντιδραστήρας HACH
- Αντιδραστήρια HACH

Μέτρηση TP:

Τα φωσφορικά τα υπολογίσαμε με την φωτομετρική μέθοδο HACH: TP-ISO 6878. Στον ολικό φώσφορο περιλαμβάνονται ο διαλυμένος και ο αιωρούμενος φώσφορος (δηλ. όλες οι μορφές του φωσφόρου: ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά ιόντα και

οργανικός φώσφορος). Ο δεσμευμένος φώσφορος (σε οργανικές ή ανόργανες ενώσεις) αποδεσμεύεται υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων, με χώνευση σε όξινο περιβάλλον και σε υψηλή θερμοκρασία. Η συνηθέστερη μέθοδος χώνευσης πραγματοποιείται με νιτρικό και θειικό οξύ και είναι αρκετά δραστική, λιγότερο χρονοβόρα και συνιστάται για τα περισσότερα δείγματα.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Γυάλινα σκεύη. Χρησιμοποιούνται γυάλινα σκεύη αποκλειστικά για τη μέτρηση αυτή, τα οποία πλένονται με χλιαρό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος και ξεπλένονται καλά με απεσταγμένο νερό, ενώ, μετά από τη χρησιμοποίησή τους, φυλάσσονται καλυμμένα και πληρωμένα με νερό.
- Αντιδραστήρας HACH
- Αντιδραστήρια HACH

Μέτρηση BODs:

Αυτή η μέτρηση προσδιορίζει την ποσότητα των οργανικών ουσιών στα απόβλητα για τη μέτρηση του καταναλωθέντος οξυγόνου από μικροοργανισμούς. Ο προσδιορισμός λαμβάνεται από τον προσδιορισμό του διαλελυμένου οξυγόνου που έχει καταναλωθεί στα απόβλητα, οι αραιώσεις των δειγμάτων γίνονται με στάνταρ αραιωτικό νερό και το διαλελυμένο οξυγόνο (DO), προσδιορίζεται πριν και μετά την περίοδο των 5 ημερών της επώασης. Ο προσδιορισμός αυτός έγινε με τη μέθοδο BOD SENSOR.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Αντιδραστήρας BOD SENSOR VELP
- Αντιδραστήρια VELP
- Μπαταρίες λιθίου τύπου CR 2430 , για κάθε αισθητήρα BOD SENSOR
- Παγίδα KOH
- Μαύρα γυάλινα μπουκαλάκια 500 ml

- Μαγνητικές ράβδους ανάδευσης 6x35 mm
- BOD SENSOR check
- Δισκία ελέγχου

Μέτρηση COD:

Άλλο μέτρο του οργανικού φορτίου των αποβλήτων είναι το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο COD. Σαν COD ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξειδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σ' ένα δείγμα μεπροσθήκη ενός ισχυρού οξειδωτικού μέσου (συνήθως K_2Cr_7) σε ισχυρά όξινο περιβάλλον το οποίο επιτυγχάνεται με προθήκη θειικού οξέος. Το COD αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Έχει το πλεονέκτημα της ταχύτητας (η μέτρηση ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες ενώ η μέτρηση του BOD απαιτεί 5 ημέρες), αλλά έχει το μειονέκτημα ότι μετρά όχι μόνο τη βιοδιασπάσιμη αλλά και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Έχει ιδιαίτερη αξία για τα απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες οι οποίες νεκρώνουν τους μικροοργανισμούς και παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό του BOD. Το ποσό όμως των συνοξειδούμενων ανόργανων ενώσεων πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ώστε να μην αλλοιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ο λόγος COD/BOD είναι πάντα μεγαλύτερος από τη μονάδα, είναι δε τόσο μεγαλύτερος όσο λιγότερο βιοαποικοδομήσιμα είναι τα απόβλητα. Η μέτρηση του COD έγινε με τη μέθοδο HACH: ΕΛΟΤ EN ISO 15705.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Αντιδραστήρας HACH
- Αμπούλες με αντιδραστήρια της HACH. Περιοχή συγκέντρωσης 0-150 ppm για την έξοδο και 0-150 ppm για την είσοδο.
- Πυκνό Θειικό οξύ(98%)
- Εναμμώνιος θειικός σίδηρος FAS.
- Διάλυμα δείκτη φερροΐνης.

Μέτρηση SS:

Η μέτρηση αυτή έγινε με τη μέθοδο HACH:EN 872-H33. Μία ποσότητα δείγματος διέρχεται από προζυγισμένο φίλτρο ιών υάλου και το υπόλειμμα το οποίο συγκρατείται στο φίλτρο ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους στους 103 - 105C°. Η αύξηση του βάρους του φίλτρου είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά. . Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, γι. Αυτό απαιτείται καλή ανάδευση και αποκλεισμός τυχόν μεγάλων σωματιδίων επιπλεόντων ή συσσωματωμάτων. Ο όγκος του δείγματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε το στερεό υπόλειμμα να μην ξεπερνά τα 200 mg και να εξασφαλίζεται η πλήρης απομάκρυνση του ύδατος από αυτό.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Αντιδραστήρας HACH
- Αντιδραστήρια HACH
- Συσκευή διήθησης γυάλινη με αντλία κενού
- Ηθμοί ιών υάλου
- Ξηραντήριο

Μέτρηση pH:

Μερικά επικίνδυνα απόβλητα μπορούν να τύχουν επεξεργασίας ώστε το επικίνδυνο συστατικό που περιέχουν να αποβληθεί, καθιστώντας τα έτσι μη επικίνδυνα απόβλητα. Για παράδειγμα ένα διαβρωτικό οξύ δύναται να ουδετεροποιηθεί με μια βασική ουσία έτσι ώστε να μην είναι πλέον διαβρωτικό. Μια άλλη μέθοδος ουδετεροποίησης επικίνδυνων αποβλήτων είναι η ρύθμιση του pH. Το pH είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην δραστηριότητα διύλισης επικίνδυνων αποβλήτων. Ρυθμίζοντας το pH κάποιων τοξικών υλικών, μειώνουμε την δυνατότητα διύλισης των αποβλήτων. Η μέτρηση του pH σε μας έγινε με τη μέθοδο ST.MET 4500.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

- Πεχάμετρο ST.MET 4500

5.3. Περιγραφή Λειτουργίας της Εγκατάστασης

Στη Σχολή λειτουργεί εσωτερικό αποχετευτικό δίκτυο με το οποίο μεταφέρονται τα υγρά απόβλητα. Τα απόβλητα καταλήγουν στο φρεάτιο χονδρικής εσχάρωσης. Από το φρεάτιο της χονδρικής εσχάρωσης τα υγρά απόβλητα υπερχειλίζουν σε θάλαμο άντλησης. Στο θάλαμο είναι τοποθετημένα δυο ζεύγη αντλιών. Το ένα ζεύγος αντλεί τα λύματα προς επεξεργασία στις εγκαταστάσεις της Σχολής και το άλλο ενεργοποιείται για την άντληση των λυμάτων προς το αποχετευτικό δίκτυο της ΕΥΑΘ. Στη συνέχεια τα απόβλητα διέρχονται από σχάρα λεπτής σχισμής και μετά οδηγείται προς το τμήμα αερόβιας επεξεργασίας της εγκατάστασης. Το τμήμα αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας των εγκαταστάσεων αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο αποτελείται από ενιαία δεξαμενή όπου βρίσκονται σε επαφή ο αερισμός με την δευτεροβάθμια καθίζηση. Η παροχή του οξυγόνου γίνεται επί του παρόντος με υποβρύχια διάχυση αέρα χοντρής φυσαλίδας. Στο πρώτο στάδιο αερισμού έχουμε βιολογία υψηλής φόρτισης και χαμηλή σχετικά ηλικία λάσπης. Ακολουθεί ο διαχωρισμός των στερεών στη δεξαμενή καθίζησης. Η περίσσεια της ενεργού λάσπης απομακρύνεται περιοδικά με άντλησή της από τη δεξαμενή καθίζησης. Η άντληση γίνεται με διάταξη AIR-LIFT. Για την αντιμετώπιση της υψηλής φόρτισης του Α' σταδίου τοποθετείται ενίσχυση από στοιχεία βιολογίας σταθερής κλίνης.

Ακολουθεί το δεύτερο στάδιο αερισμού, το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλή φόρτιση και από μεγάλη σχετικά ηλικία λάσπης. Η παροχή οξυγόνου στο στάδιο αυτό όπως και στο πρώτο γίνεται με υποβρύχια διάχυση χοντρής φυσαλίδας. Στο στάδιο αυτό η δεξαμενή καθίζησης είναι ξεχωριστή από τη δεξαμενή αερισμού. Η δεξαμενή έχει στο κέντρο της τετράγωνο ηρεμίας για το εισερχόμενο ανάμικτο υγρό και διάταξη AIR-LIFT για την ανακυκλοφορία της ενεργού ίλύος και την απομάκρυνση της περισσειάς

της. Η περίσσεια λάσπης από τα δύο στάδια οδηγείται με άντληση προς τη Λιμνοδεξαμενή Α όπου και καθιζάνει για περαιτέρω χώνευση. Η επεξεργασία της χωνεμένης λάσπης γίνεται σε αραιά χρονικά διαστήματα και συνίσταται σε πάχυνση, αφυδάτωση και εν τέλει ενσωμάτωση στην παραγωγή κόμποστ.

Στη Λιμνοδεξαμενή Α όγκου 20.000m³ συγκεντρώνονται λοιπόν όλα τα προεπεξεργασμένα υγρά ζωικά απόβλητα. Στην ίδια δεξαμενή καταλήγει και η όμβρια απορροή από το χώρο υπαίθριας διαβίωσης των αγελάδων, η οποία εκτιμάται ότι περιέχει σημαντικό ρυπαντικό φορτίο. Ο χώρος υπαίθριας διαβίωσης είναι στο μεγαλύτερο μέρος του χωμάτινη επιφάνεια, η οποία φορτίζεται με τα κόπρανα και τα ούρα των ζώων. Στη Λιμνοδεξαμενή Α ο χρόνος παραμονής είναι της τάξεως των 6-8 μηνών.

Η αποθήκευση των υγρών γίνεται στη χωμάτινη Λιμνοδεξαμενή Β όγκου 40.000m³ όπου καταλήγουν τα νερά που υπερχειλίζουν από τη Λιμνοδεξαμενή Α. Πρόκειται τόσο για αποθήκευση όσο και ωρίμανση των νερών πριν από την εφαρμογή τους στα χωράφια της Σχολής. Ο μέσος χρόνος παραμονής των νερών στη λιμνοδεξαμενή Β (όπως και στην προηγούμενη) είναι της τάξεως των 6-8 μηνών περίπου. Το διάστημα αυτό αρχίζει από το φθινόπωρο που αρχίζει να γεμίζει μέχρι το τέλος περίπου της άνοιξης οπότε αρχίζει η άρδευση των χωραφιών.

Για την απολύμανση των νερών άρδευσης πριν από την εφαρμογή τους στο έδαφος τοποθετείται μονάδα υπεριώδους απολύμανσης (UV). Η μονάδα τοποθετείται στη Λιμνοδεξαμενή Β στο σημείο εξόδου των νερών προς άρδευση. Έτσι τα περιεχόμενα της χωμάτινης Λιμνοδεξαμενής θα είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς και κατάλληλα για άρδευση από υγειονομική άποψη.

Οι δεξαμενές είναι καλυμένες με καπάκια από πολυουρεθάνη και πλάκες από σίδηρο. Μέσα σε κάθε δεξαμενή είναι εγκατεστημένοι αναδευτήρες βιοαερίου από χυτοσίδηρο, επίσης σε όλες τις δεξαμενές έχει εγκατασταθεί σύστημα σωληνώσεων για

τη θέρμανση των περιεχομένων των δεξαμενών. Όλος αυτός ο εξοπλισμός θα πρέπει να απομακρυνθεί και να καθαριστούν οι δεξαμενές.

Επαναχρησιμοποιείται και η κυκλική δεξαμενή συλλογής του βιοαερίου η οποία είναι εξοπλισμένη με «καμπάνα» από πολυουρεθάνη. Αυτή θα πρέπει να απομακρυνθεί όπως και η διάταξη ολίσθησης ανύψωσης που υπάρχει.

Στις δεξαμενές χώνευσης κατασκευάζεται επίπεδο έδρασης με δοκούς από σκυρόδεμα σε ύψος 1,90m και 1,55m για το πρώτο και το δεύτερο στάδιο αντίστοιχα. Αυτό γίνεται επειδή οι υφιστάμενες δεξαμενές δεν έχουν το ίδιο βάθος. Κάθε μια από τις δεξαμενές θα αντιστοιχεί σε ένα στάδιο επεξεργασίας. Οι δεξαμενές είναι δίδυμες και για την υδραυλική ενοποίησή τους κατασκευάζεται οπή στα διαχωριστικά τοιχεία.

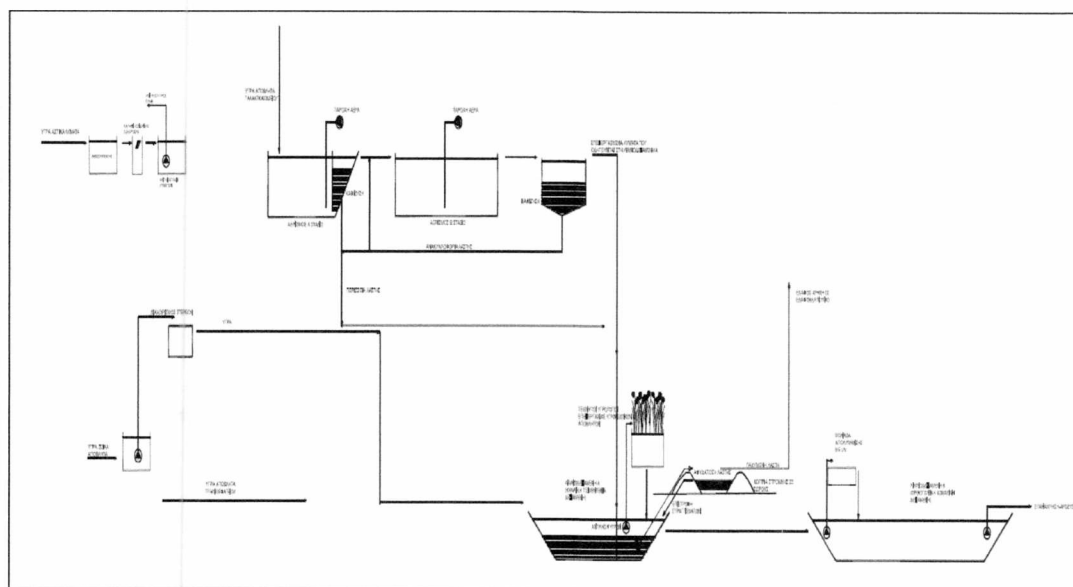
Επάνω στο επίπεδο έδρασης που δημιουργείται τοποθετούνται πλάκες σχαρωτές προκατασκευασμένες όπως αυτές που τοποθετούνται στα σχαρωτά δάπεδα των κτηνοτροφικών μονάδων. Έτσι σχηματίζεται ο πυθμένας των παρτεριών των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Κατόπιν γίνεται η διάστρωση των διαφόρων αδρανών υλικών πλήρωσης αρχίζοντας από την κροκάλα και φτάνοντας σταδιακά στην άμμο.

Πάνω στην άμμο φυτεύονται τα υδρόβια φυτά που προαναφέρθηκαν. Αναπτύσσονται επεξεργαζόμενα τα υγρά απόβλητα και κατά διαστήματα κόβονται για να γίνει ανανέωση της βλάστησης.

Η κυκλική δεξαμενή συλλογής βιοαερίου μετατρέπεται σε δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής και φορτίου. Στη δεξαμενή τοποθετείται ζεύγος αντλιών λυμάτων όπως και αναδευτήρας

Τα διαχωρισμένα υγρά από τις δύο διατάξεις διαχωρισμού εισέρχονται στη δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής και φορτίου. Στη δεξαμενή αυτή επίσης αντλείται μέρος των επεξεργασμένων νερών έτσι ώστε να μειωθούν τα επίπεδα του εισερχόμενου ρυπαντικού φορτίου αλλά και να δοθεί διαλελυμένο οξυγόνο στα εισερχόμενα υγρά. Αυτό μειώνει το shock που αναπόφευκτα προκαλεί η εισροή των ανεπεξεργαστων υγρών στα παρτέρια. Από τη δεξαμενή εξισορρόπησης και με βάση πρόγραμμα

τροφοδοσίας τα υγρά οδηγούνται στο Α στάδιο τεχνητών υδροτόπων. Εκεί διανέμεται με σωλήνες PVC σε όλο την έκταση της δεξαμενής. Τα υγρά στραγγίζουν στον πυθμένα των δεξαμενών και από εκεί αντλούνται προς το Β Στάδιο τεχνητών υδροτόπων. Εκεί γίνεται μια δεύτερη διέλευση και καθαρισμός. Εκτιμάται ότι κάθε στάδιο επιφέρει μείωση 60% περίπου στο ρυπαντικό φορτίο οπότε επιτυγχάνεται ο στόχος επεξεργασίας. Θα υπάρξει η δυνατότητα ανακυκλοφορίας των επεξεργασμένων νερών με το χειρισμό βαννών.(Νικολαΐδης, 2012)



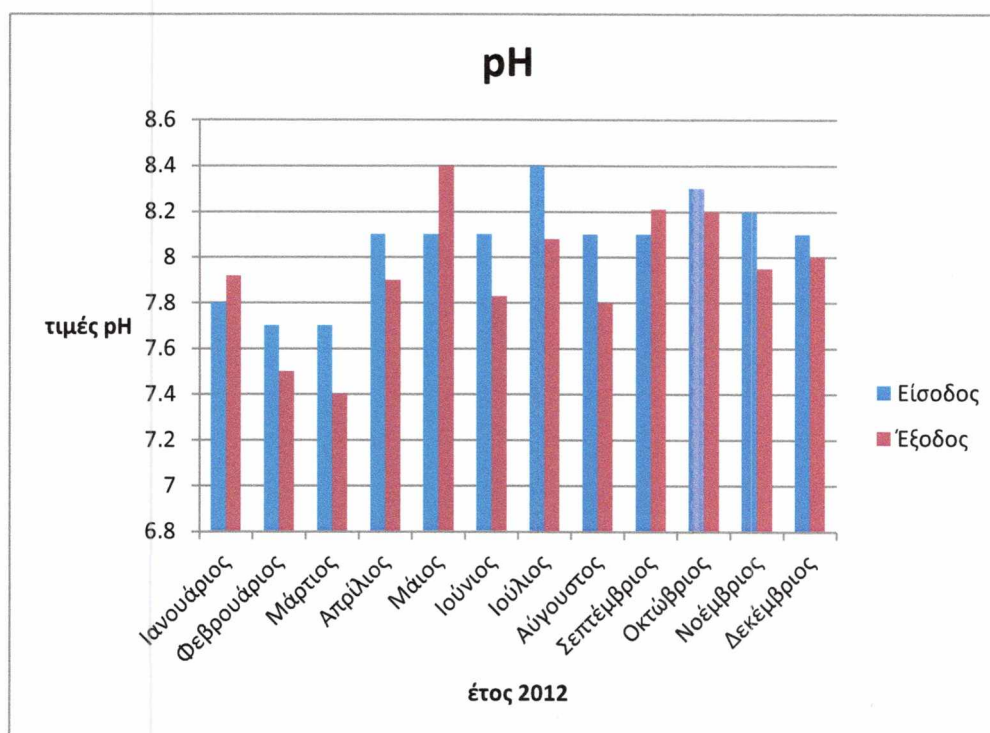
Σχήμα 5.1. Κάτοψη Βιολογικού Καθαρισμού Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

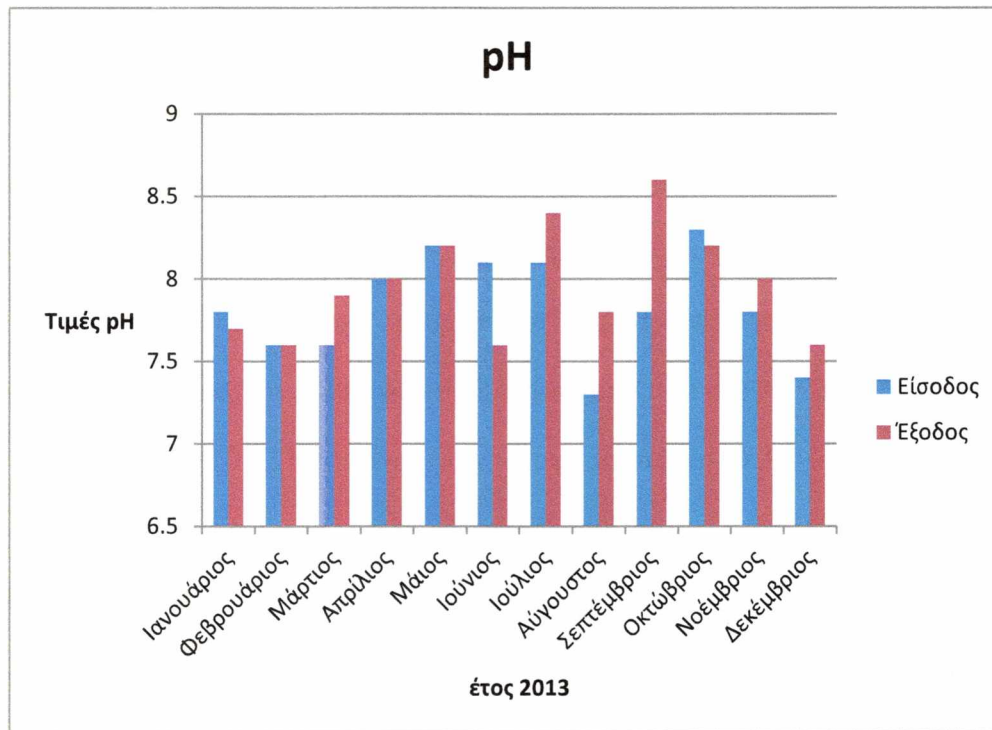
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που αφορούν την είσοδο και την έξοδο των υγρών αποβλήτων στους τεχνητούς υγροτόπους κατακόρυφης ροής της Αμερικανικής Γεωργικής Σχολής Θεσσαλονίκης. Οι μετρούμενες παράμετροι είναι το pH, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD, τα αιωρούμενα στερεά SS, το ολικό άζωτο TKN, και ο ολικός φώσφορος TP. Οι αναλύσεις αφορούν τις χρονιές 2012, 2013, 2014, 2015.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που δείχνουν τις τιμές των παραμέτρων κατά την είσοδο τους στους τεχνητούς υγροτόπους και κατά την έξοδο τους έπειτα από το πέρας της επεξεργασίας.

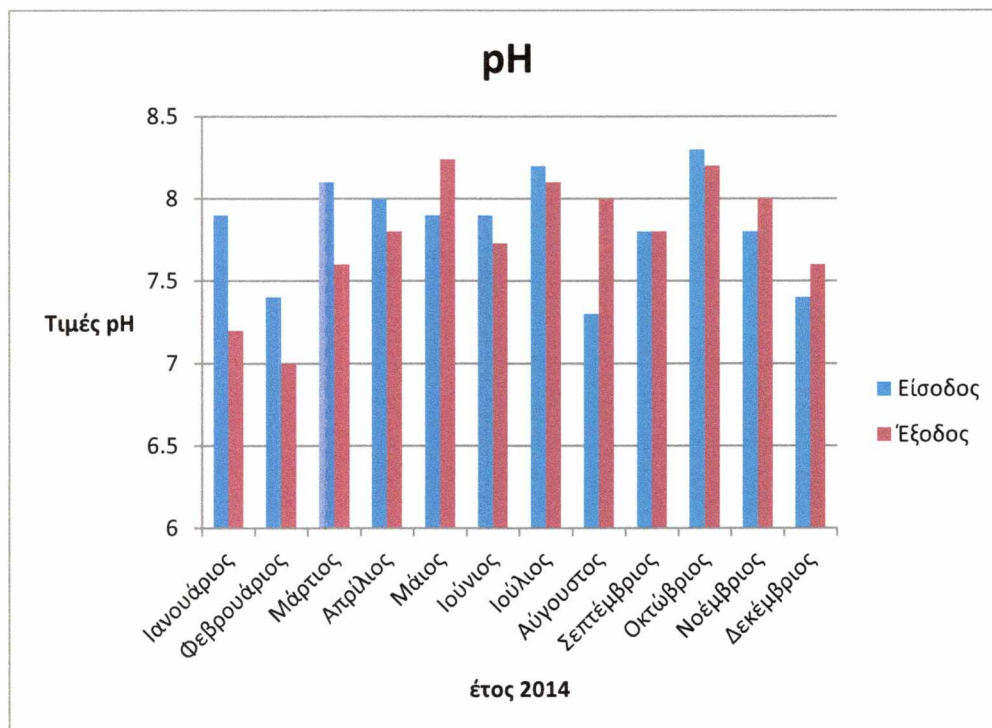
Είσοδος-Εξόδος pH :



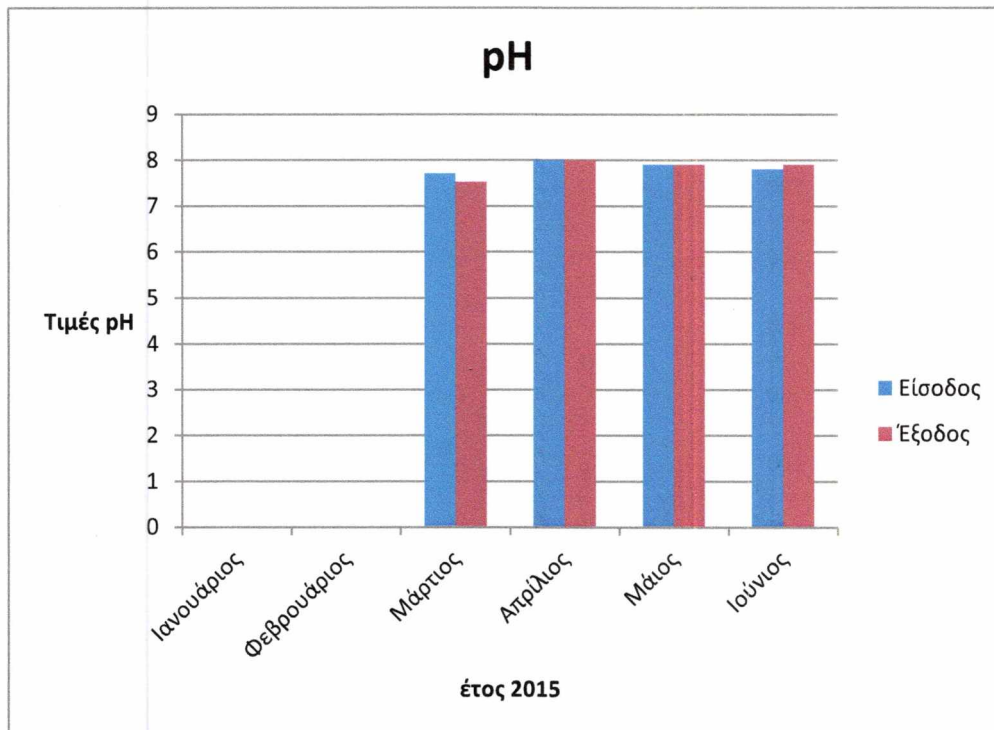
Διάγραμμα 6.1. Συγκριτικό Διάγραμμα pH Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων.



Διάγραμμα 6.2. Συγκριτικό Διάγραμμα pH Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

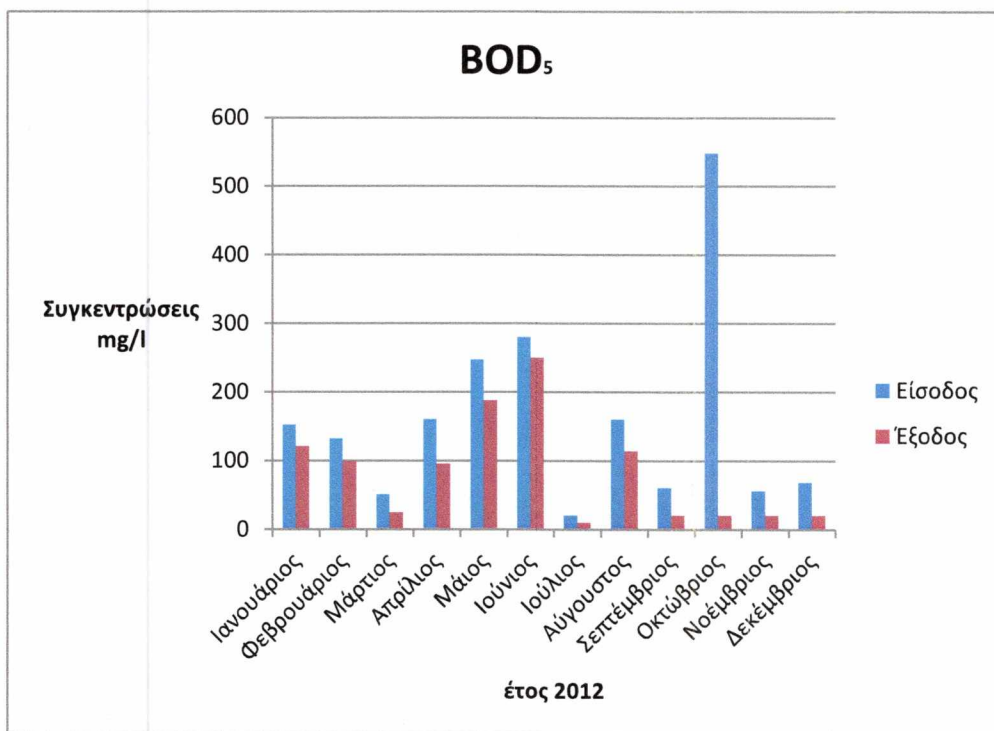


Διάγραμμα 6.3. Συγκριτικό Διάγραμμα pH Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων.

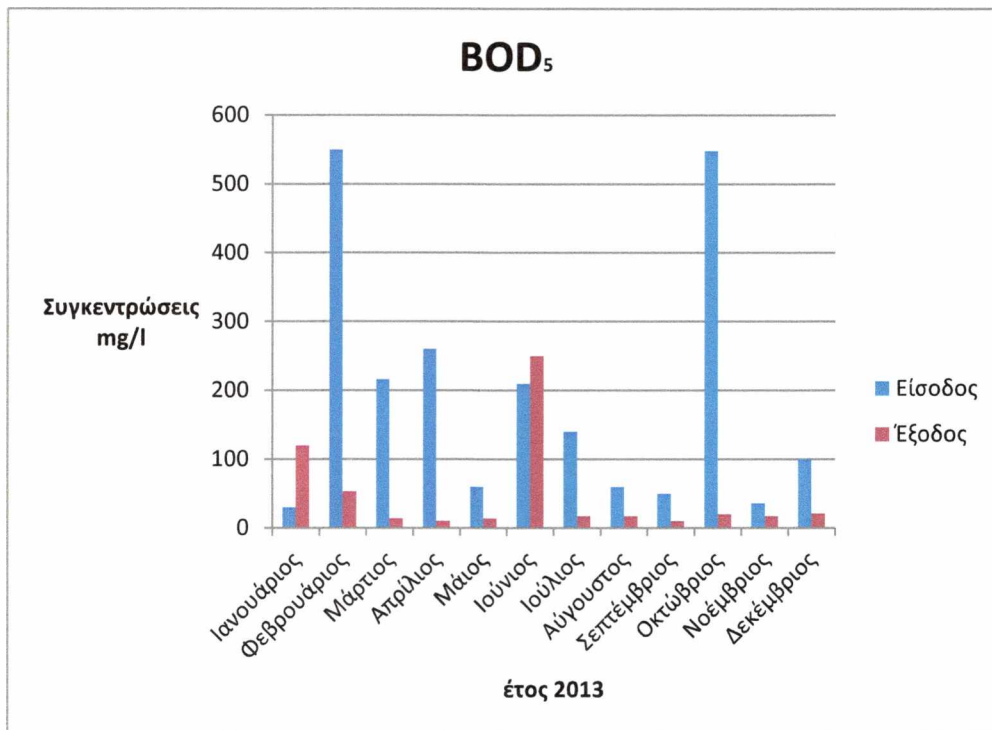


Διάγραμμα 6.4. Συγκριτικό Διάγραμμα pH Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

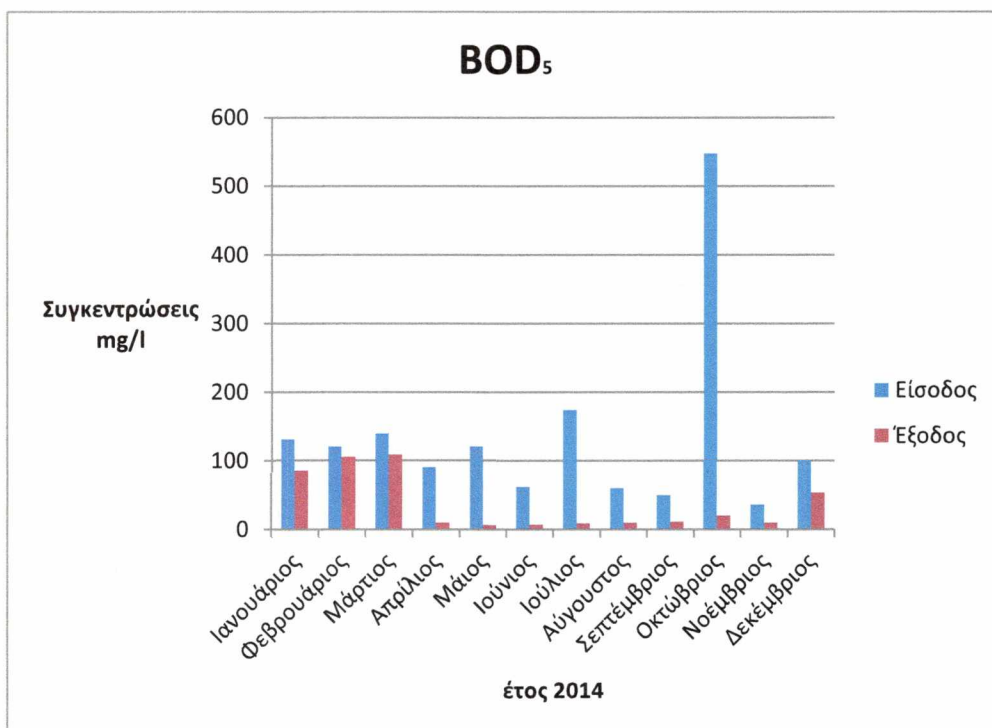
Είσοδος-Έξοδος BOD₅ :



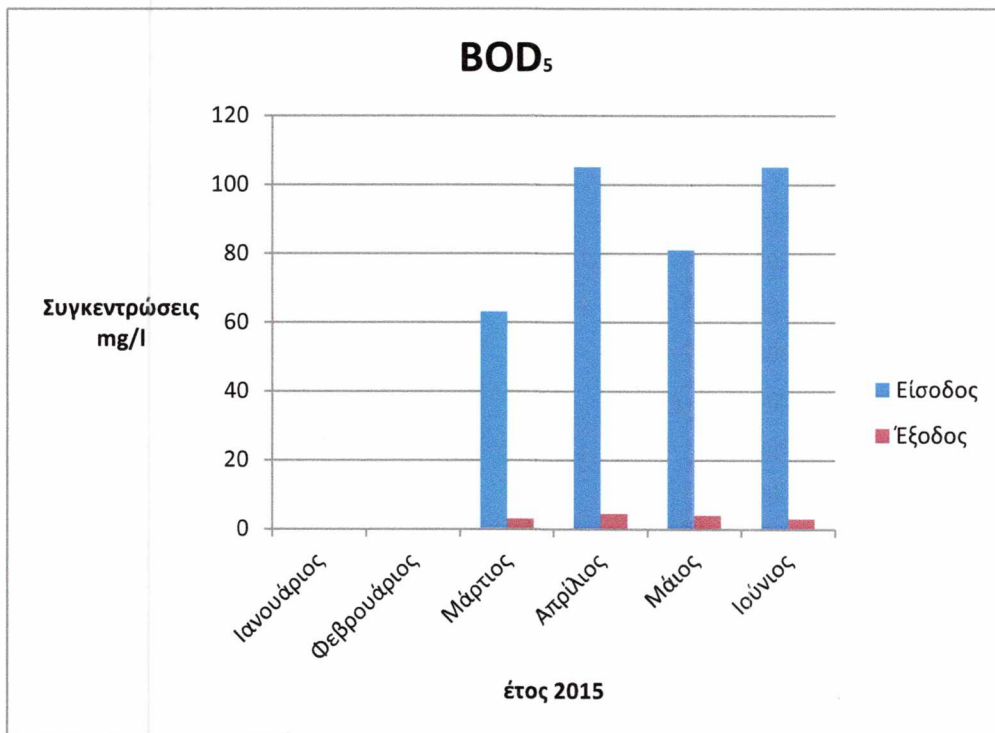
Διάγραμμα 6.5. Συγκριτικό Διάγραμμα BOD₅ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.6. Συγκριτικό Διάγραμμα BOD₅ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

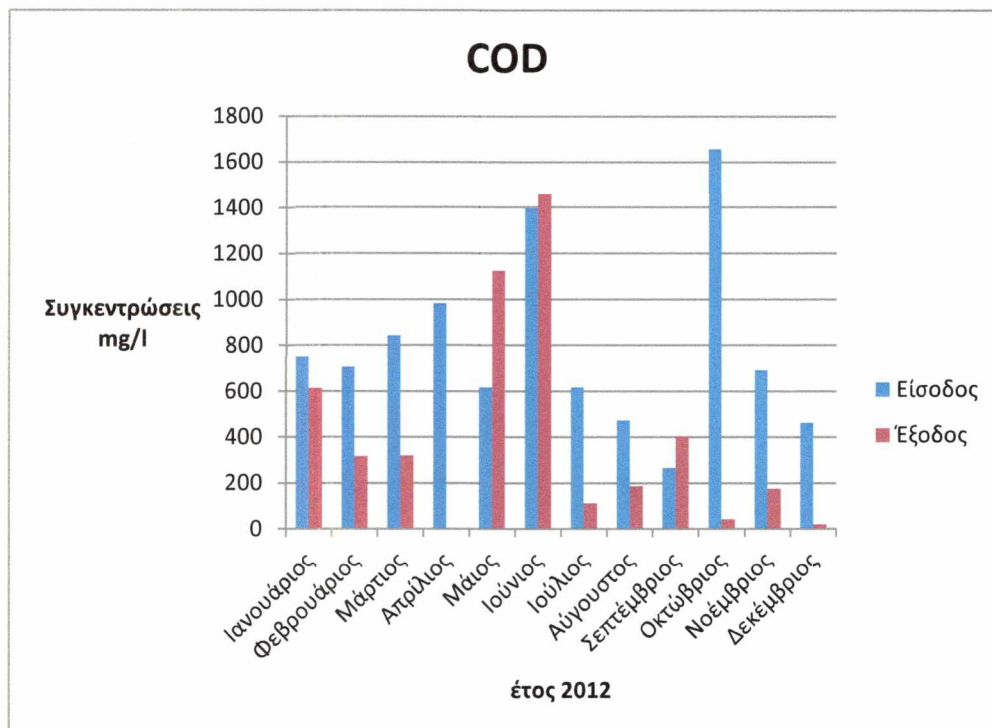


Διάγραμμα 6.7. Συγκριτικό Διάγραμμα BOD₅ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

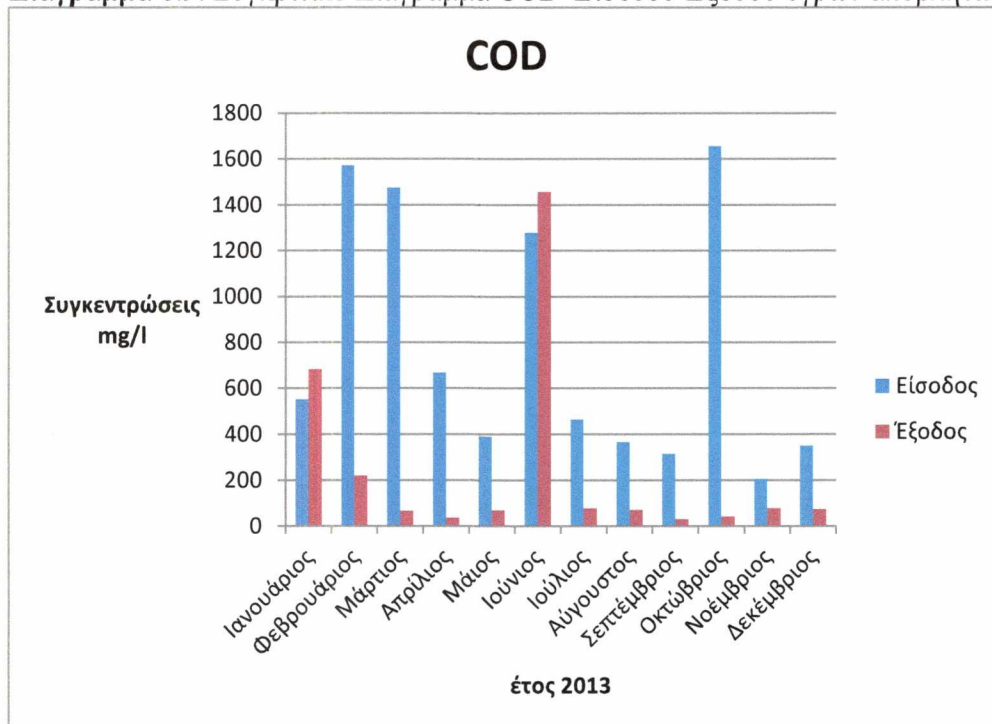


Διάγραμμα 6.8. Συγκριτικό Διάγραμμα BOD₅ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

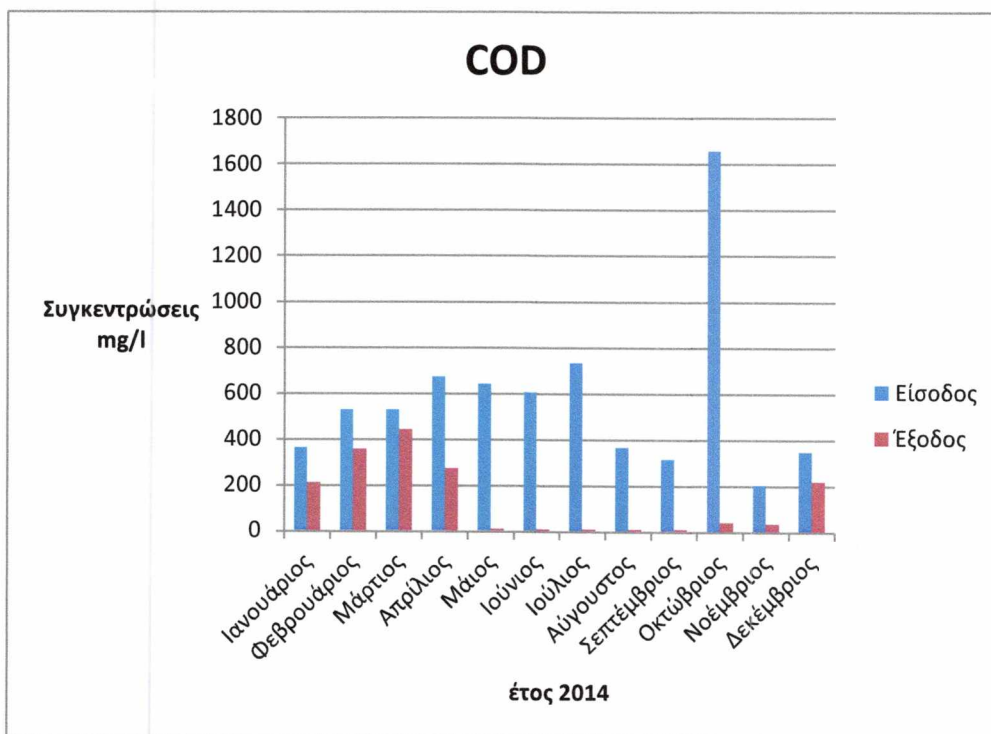
Είσοδος-Έξοδος COD :



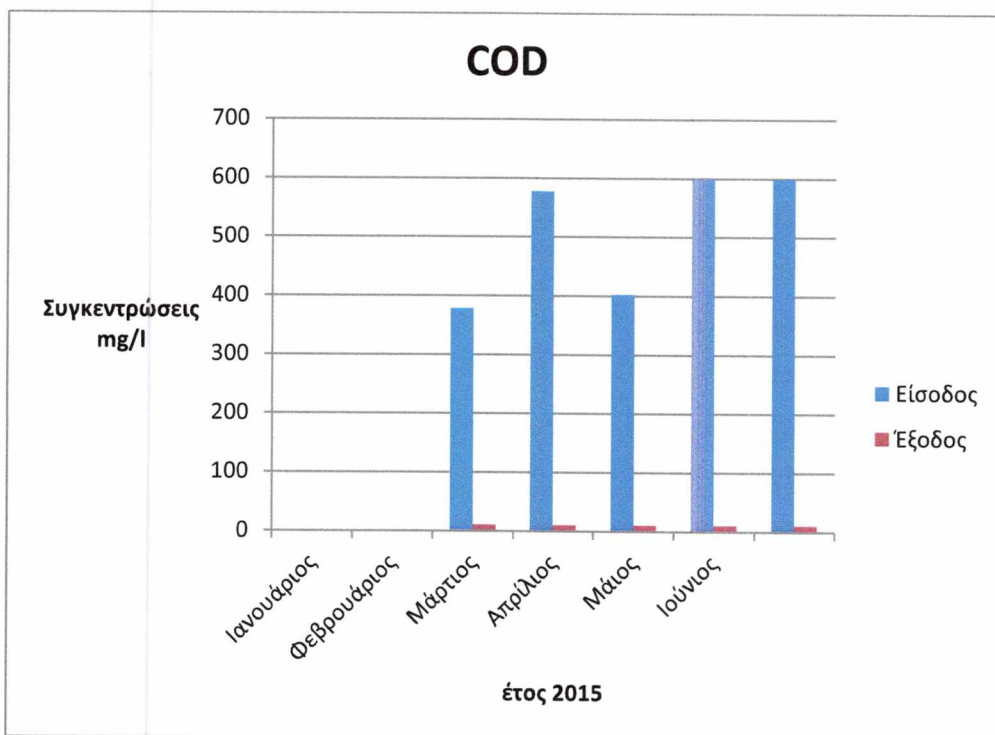
Διάγραμμα 6.9. Συγκριτικό Διάγραμμα COD Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.10. Συγκριτικό Διάγραμμα COD Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

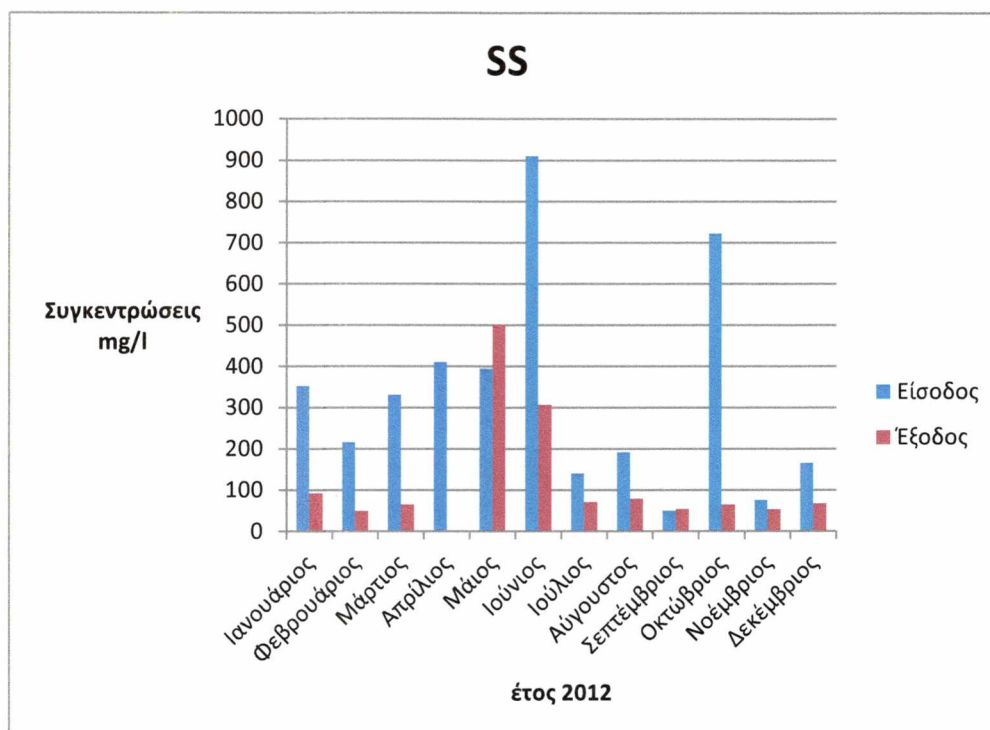


Διάγραμμα 6.11. Συγκριτικό Διάγραμμα COD Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

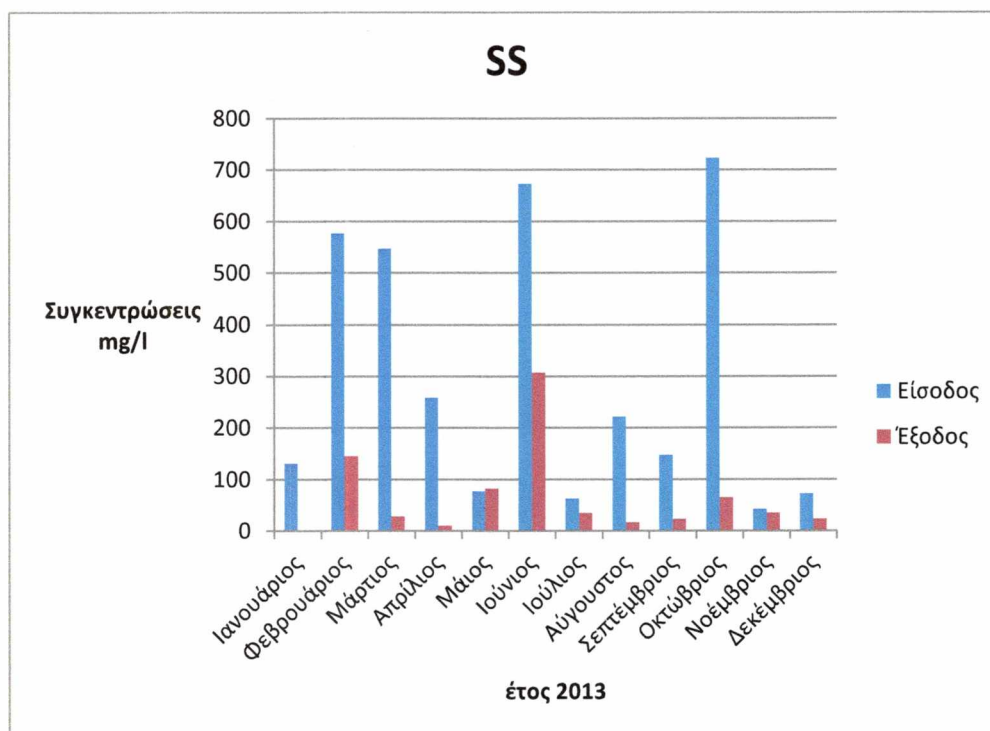


Διάγραμμα 6.12. Συγκριτικό Διάγραμμα COD Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

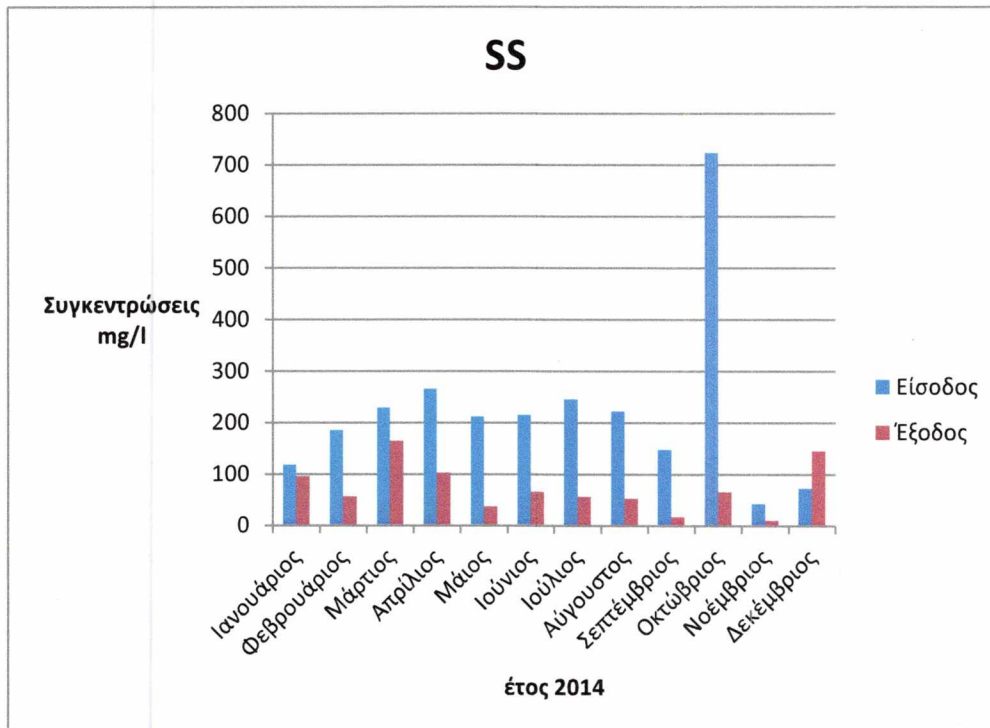
Είσοδος-Εξόδος SS :



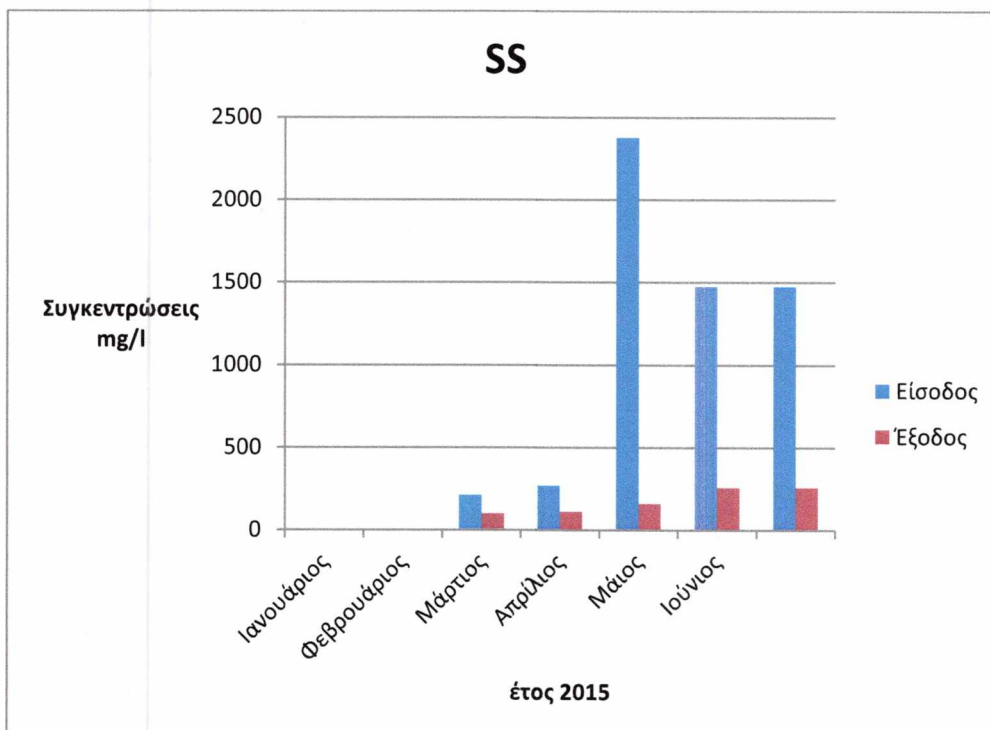
Διάγραμμα 6.13. Συγκριτικό Διάγραμμα SS Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.14. Συγκριτικό Διάγραμμα SS Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

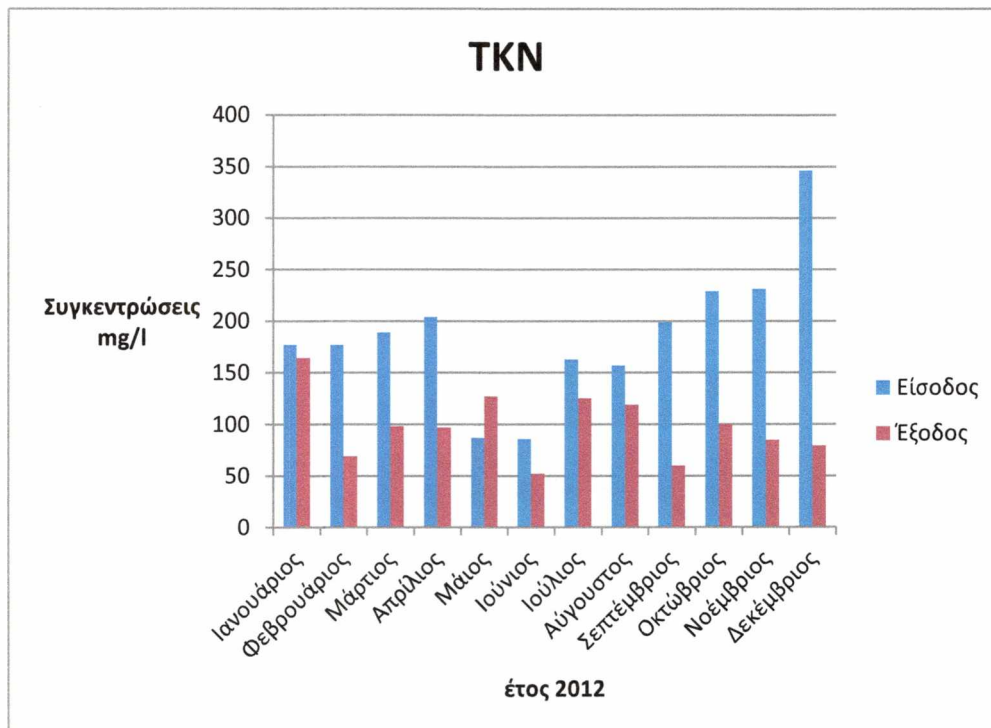


Διάγραμμα 6.15. Συγκριτικό Διάγραμμα SS Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

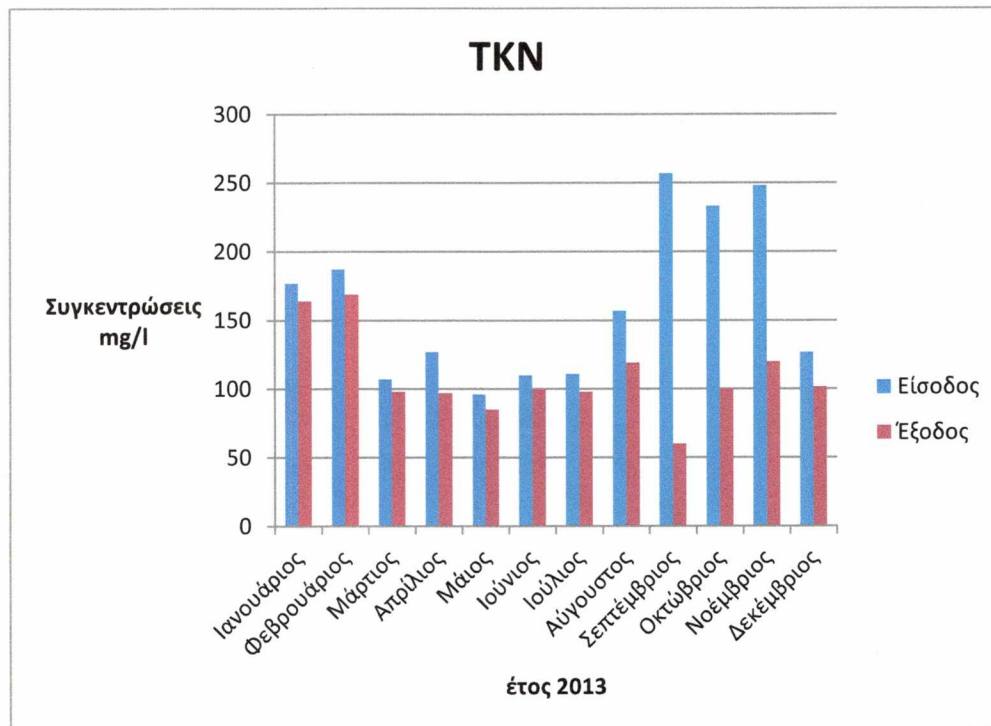


Διάγραμμα 6.16. Συγκριτικό Διάγραμμα SS Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

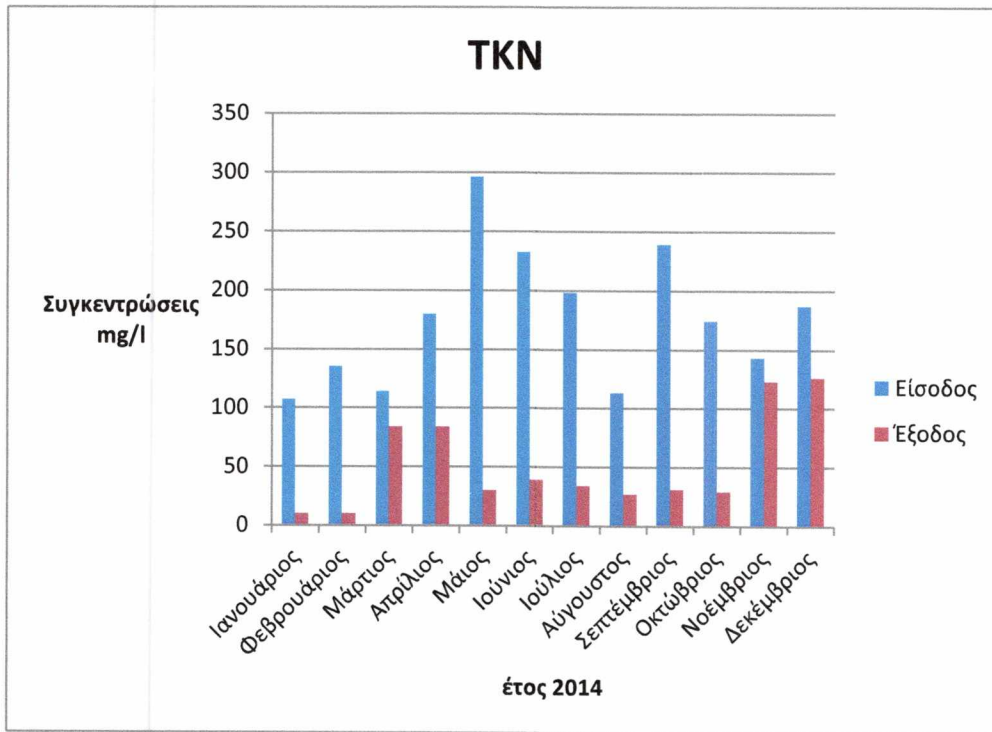
Είσοδος-Έξοδος ΤΚΝ :



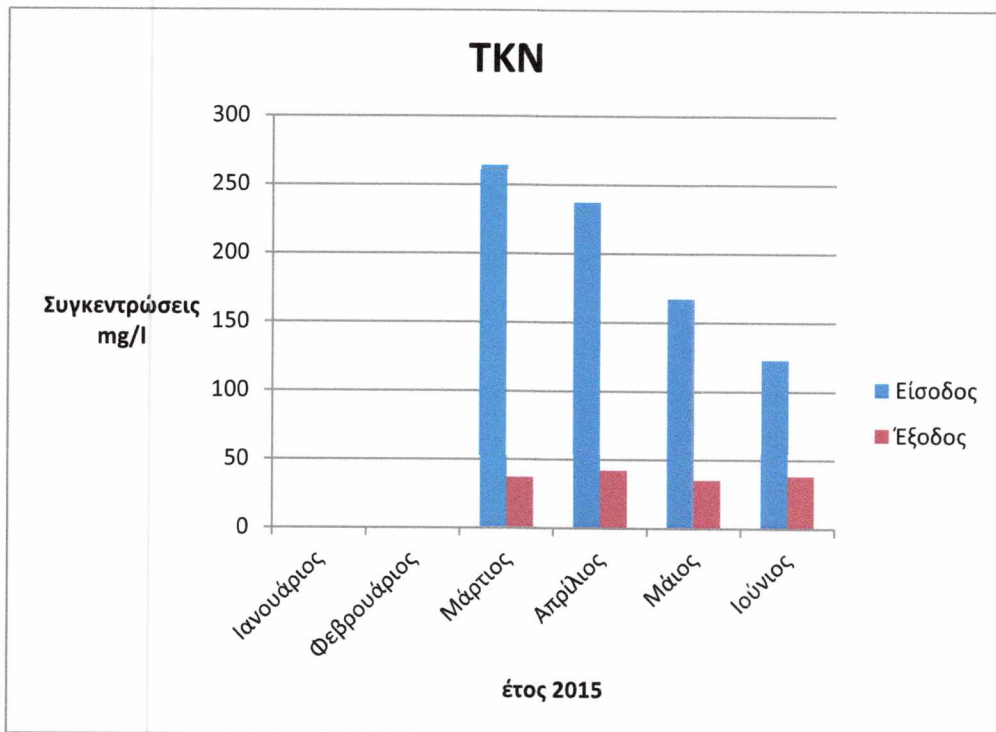
Διάγραμμα 6.17. Συγκριτικό Διάγραμμα ΤΚΝ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.18. Συγκριτικό Διάγραμμα ΤΚΝ Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

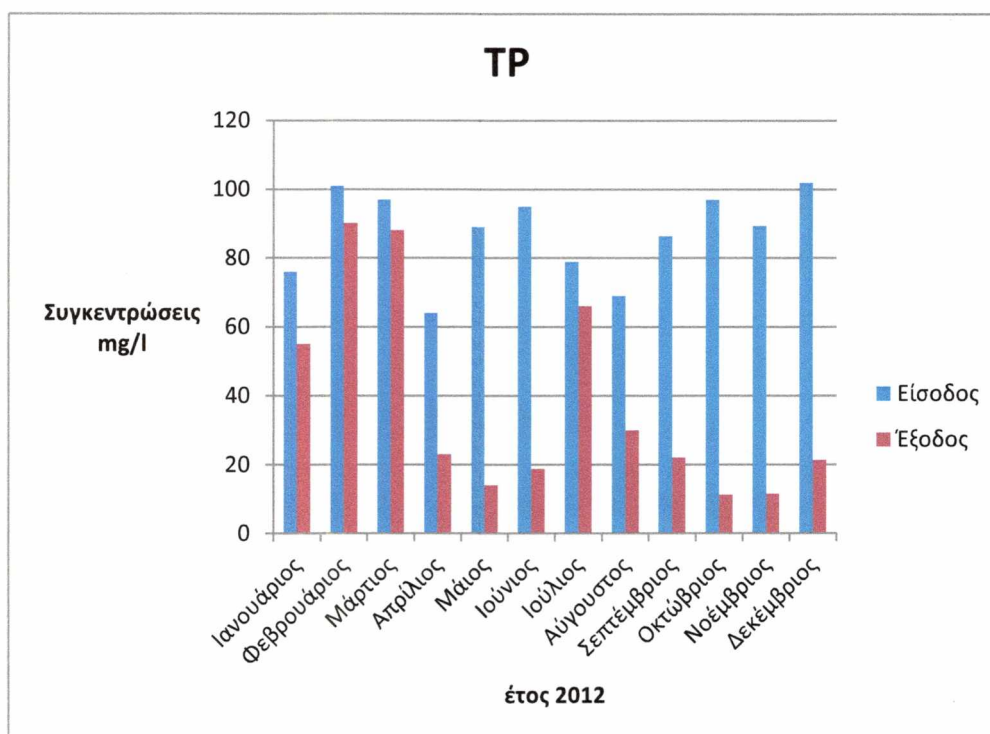


Διάγραμμα 6.19. Συγκριτικό Διάγραμμα TKN Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

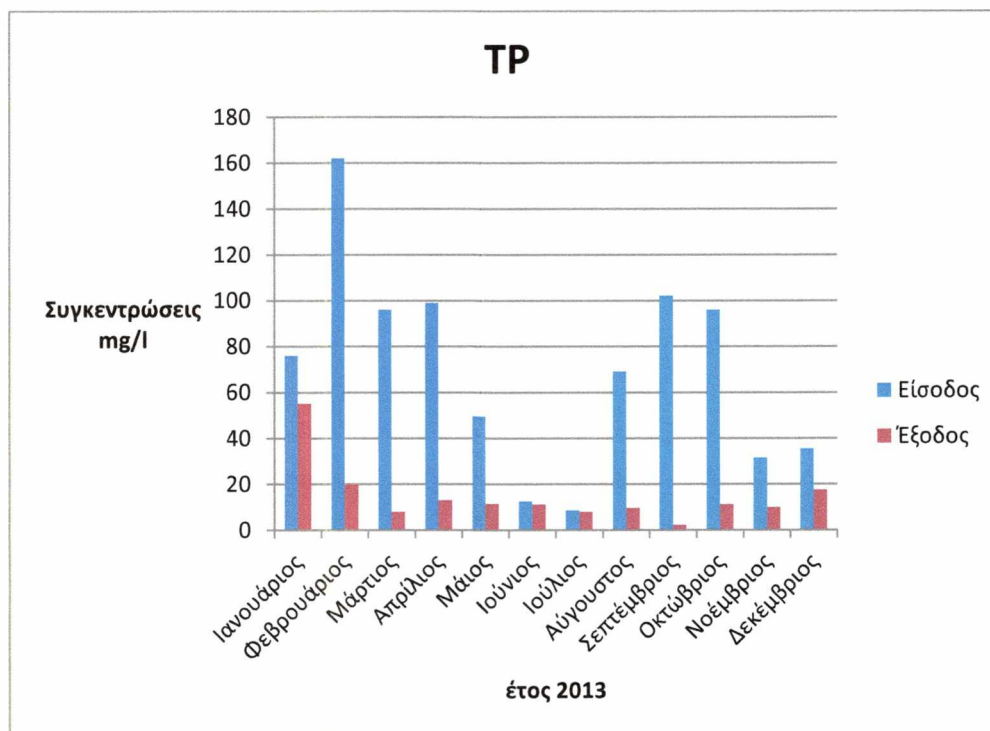


Διάγραμμα 6.20. Συγκριτικό Διάγραμμα TKN Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

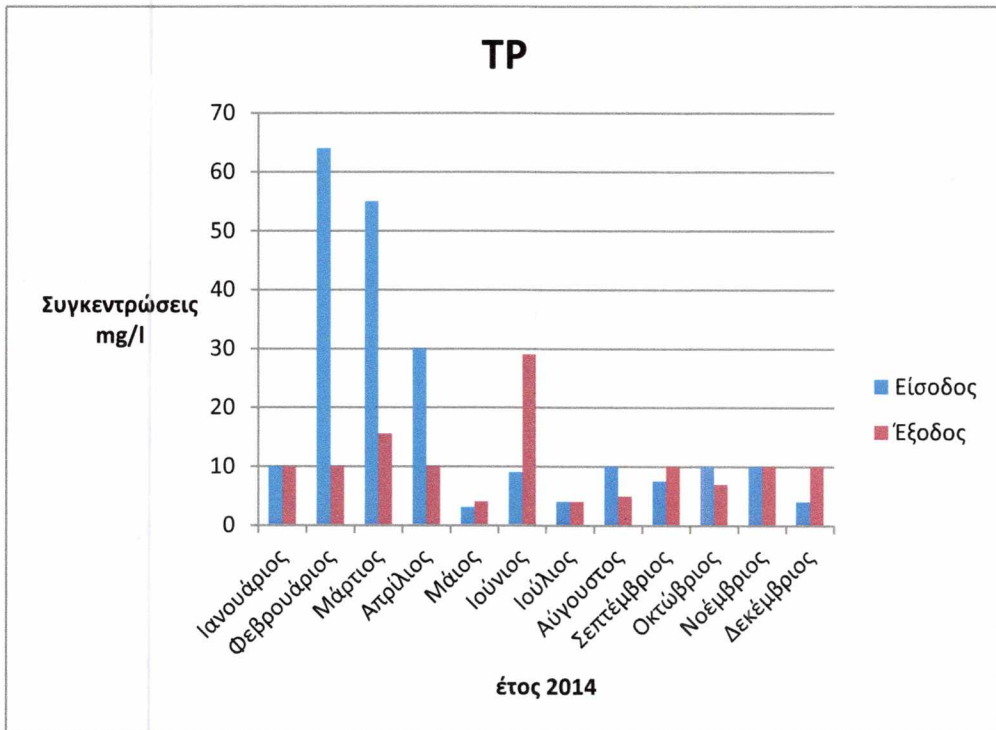
Είσοδος-Έξοδος TP :



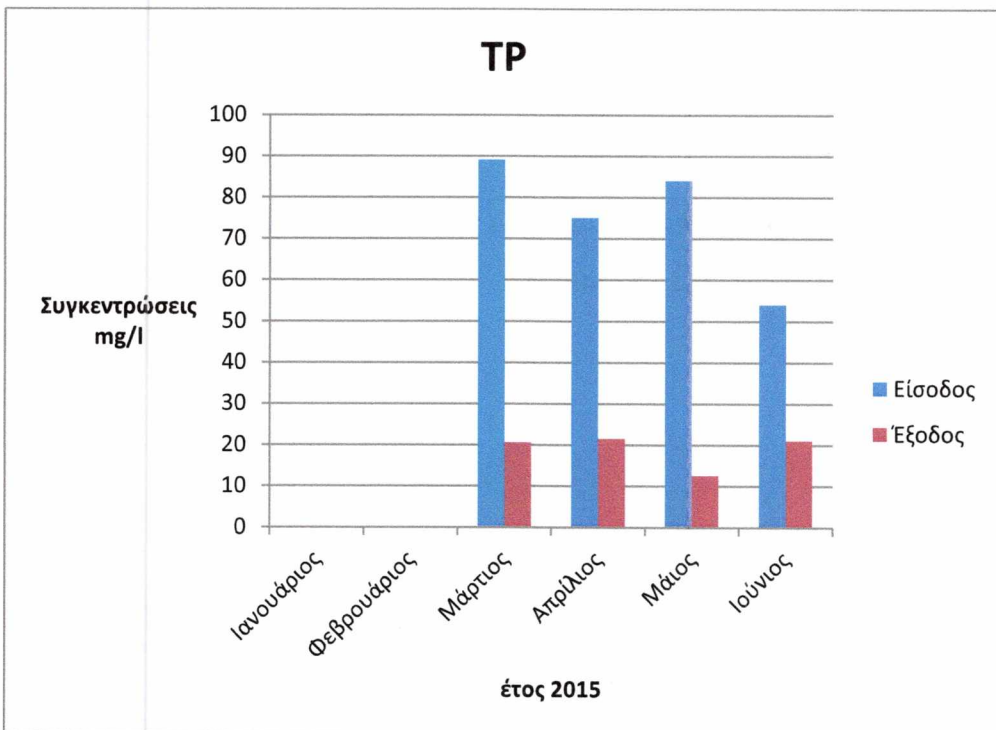
Διάγραμμα 6.21. Συγκριτικό Διάγραμμα TP Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.22. Συγκριτικό Διάγραμμα TP Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



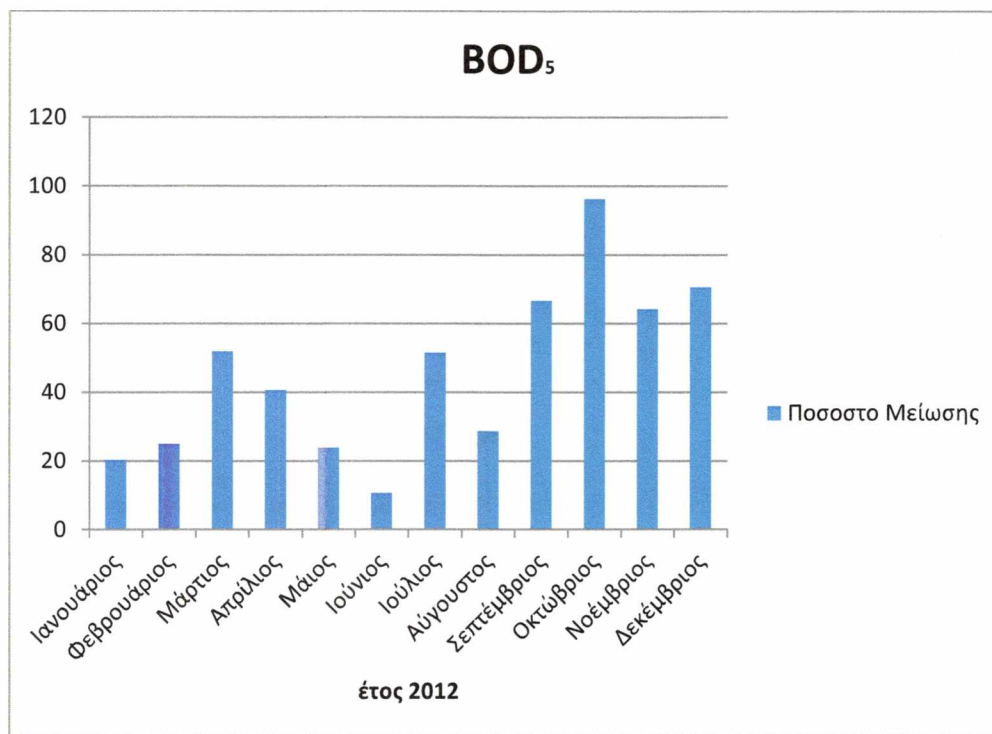
Διάγραμμα 6.23. Συγκριτικό Διάγραμμα TP Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων



Διάγραμμα 6.24. Συγκριτικό Διάγραμμα TP Εισόδου-Εξόδου υγρών αποβλήτων

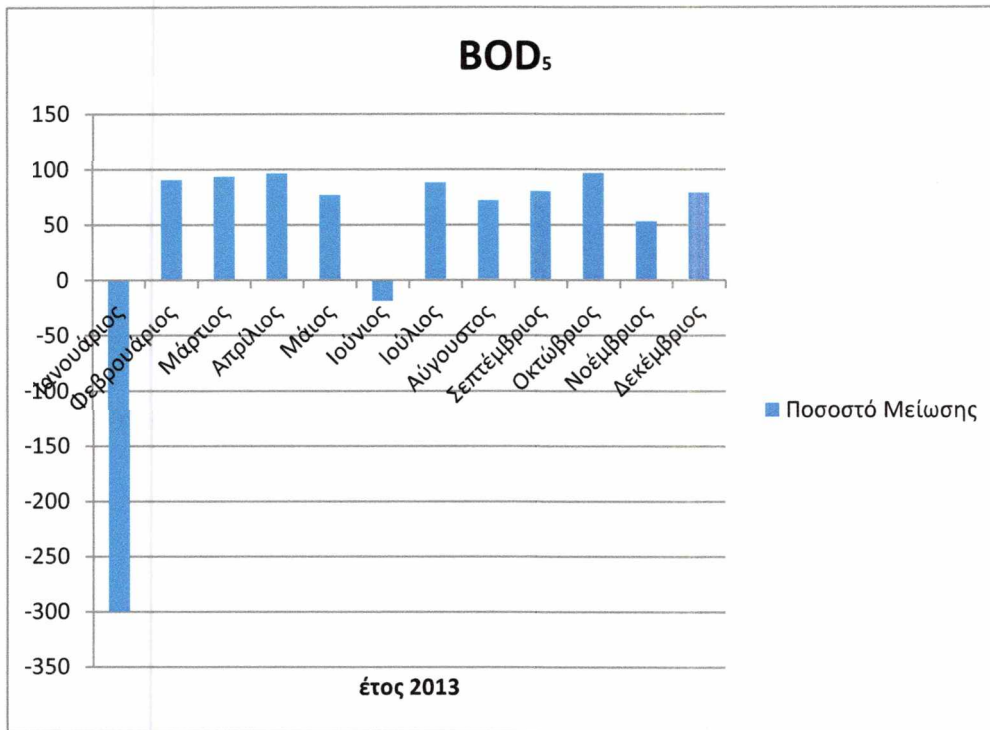
Παρακάτω παρουσιάζονται τα ποσοστά μείωσης των παραμέτρων λόγω της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Ποσοστό μείωσης BOD₅ :



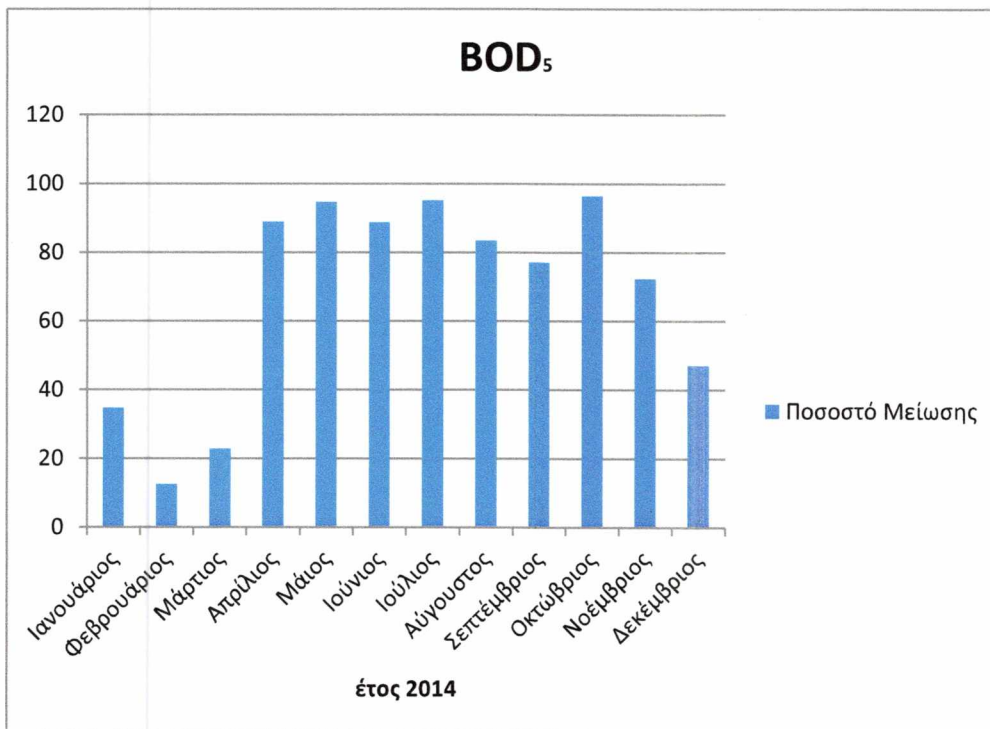
Διάγραμμα 6.25. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης BOD₅

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 32.54519%



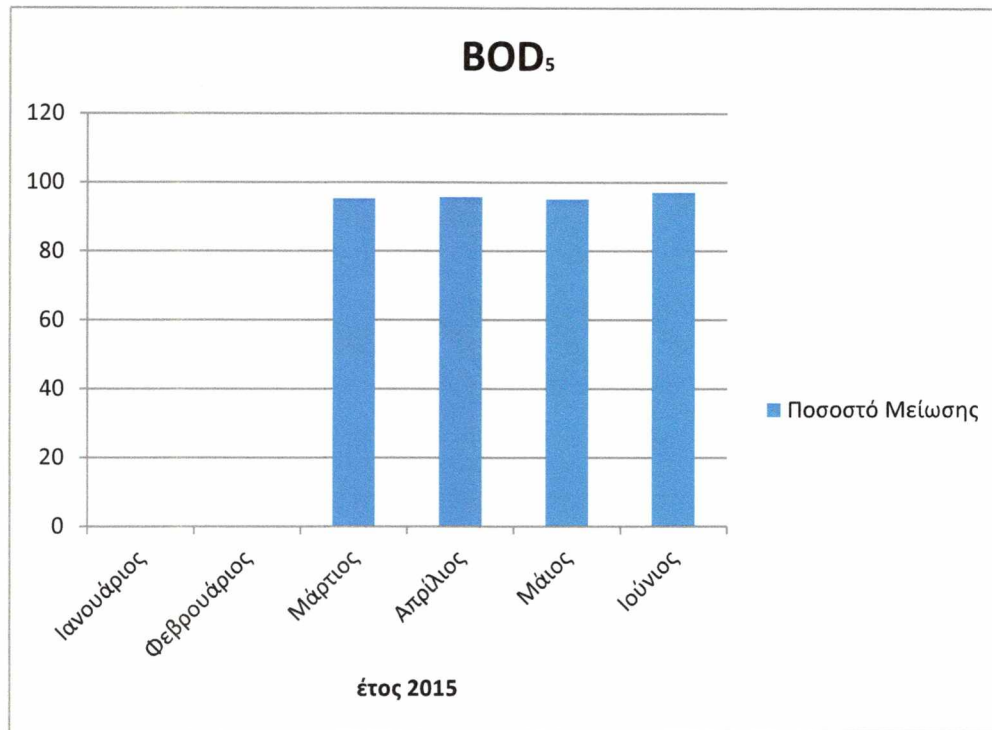
Διάγραμμα 6.26. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης BOD₅

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 42.10892%



Διάγραμμα 6.27. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης BOD₅

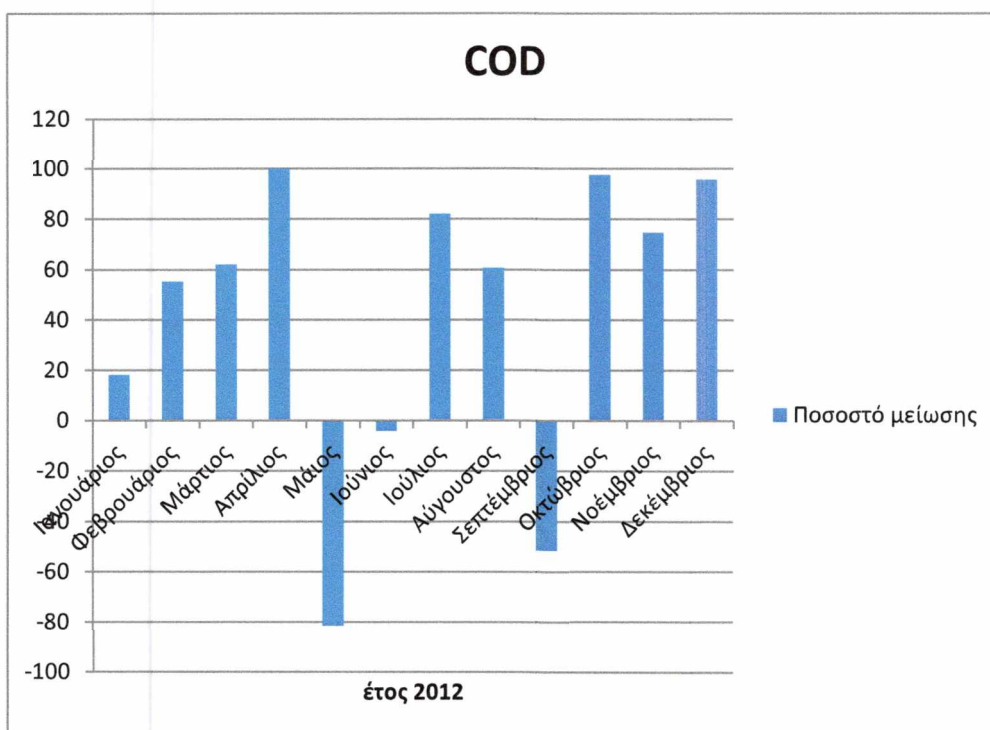
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 67.75982%



Διάγραμμα 6.28. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης BOD₅

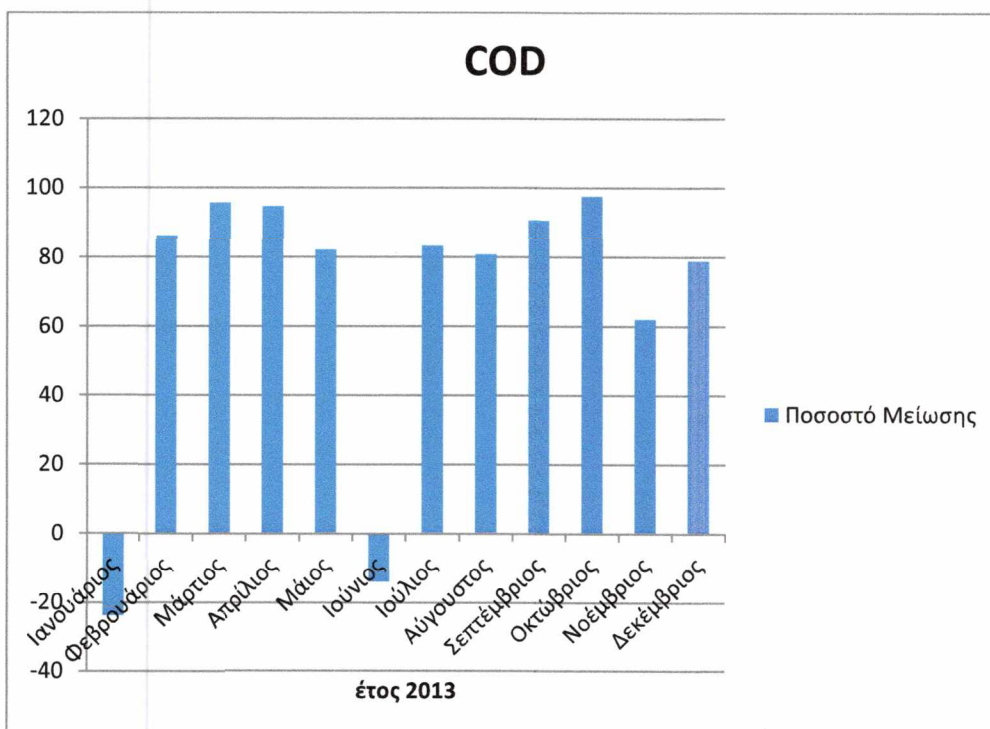
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 95.78924%

Ποσοστό Μείωσης COD :



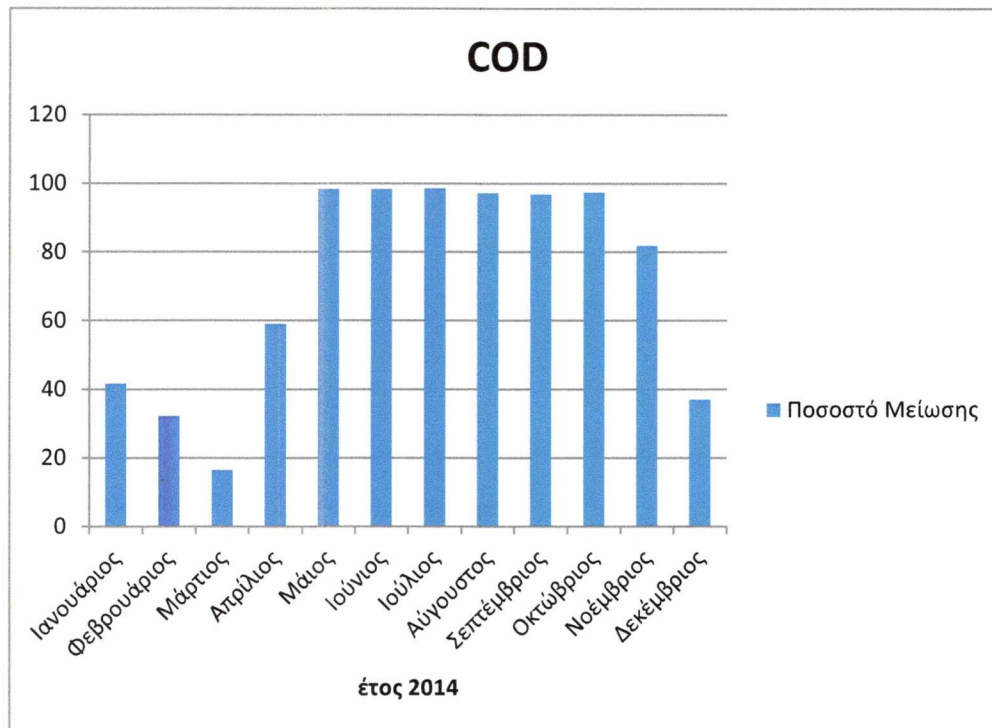
Διάγραμμα 6.29. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης COD

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 42.32222%



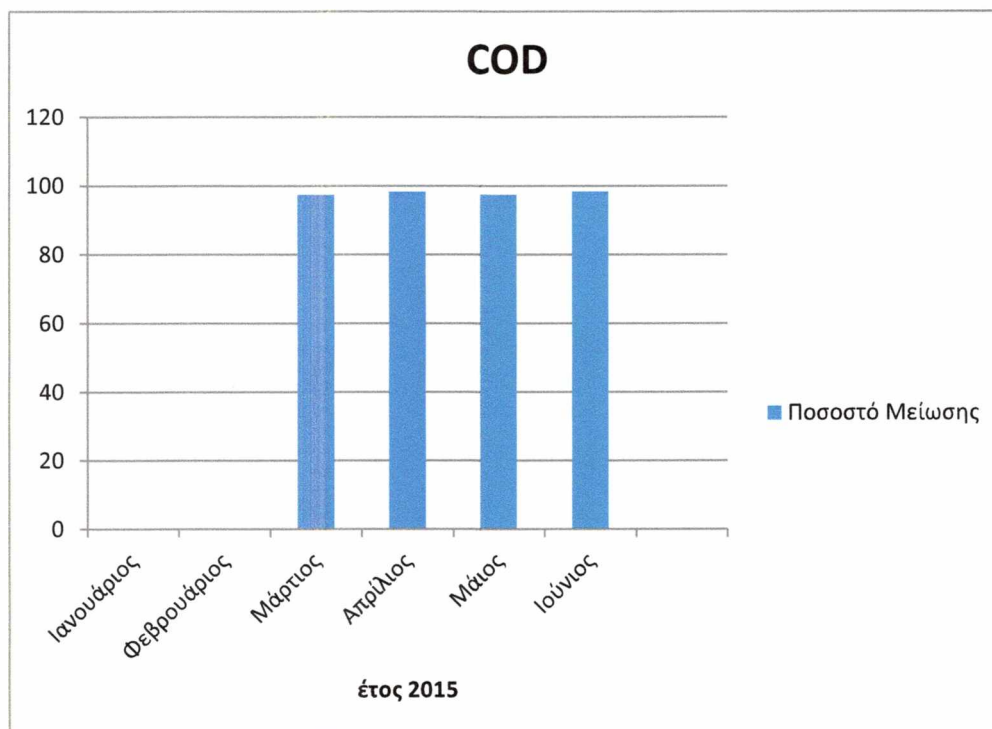
Διάγραμμα 6.30. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης COD

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 67.7175%



Διάγραμμα 6.31. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης COD

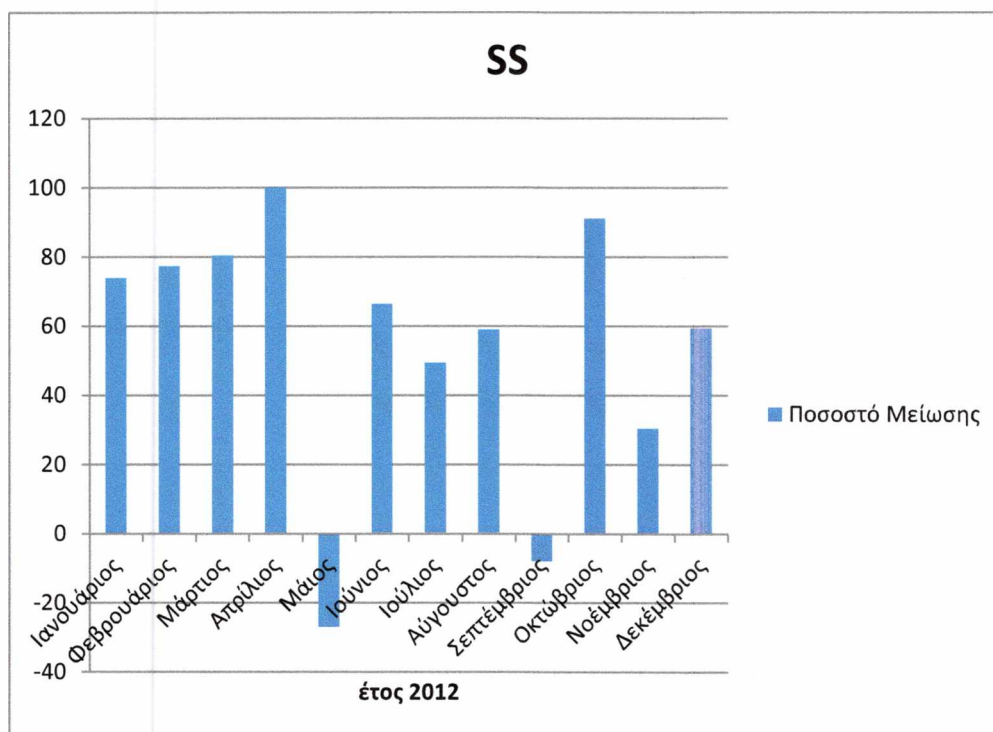
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 71.26482%



Διάγραμμα 6.32. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης COD

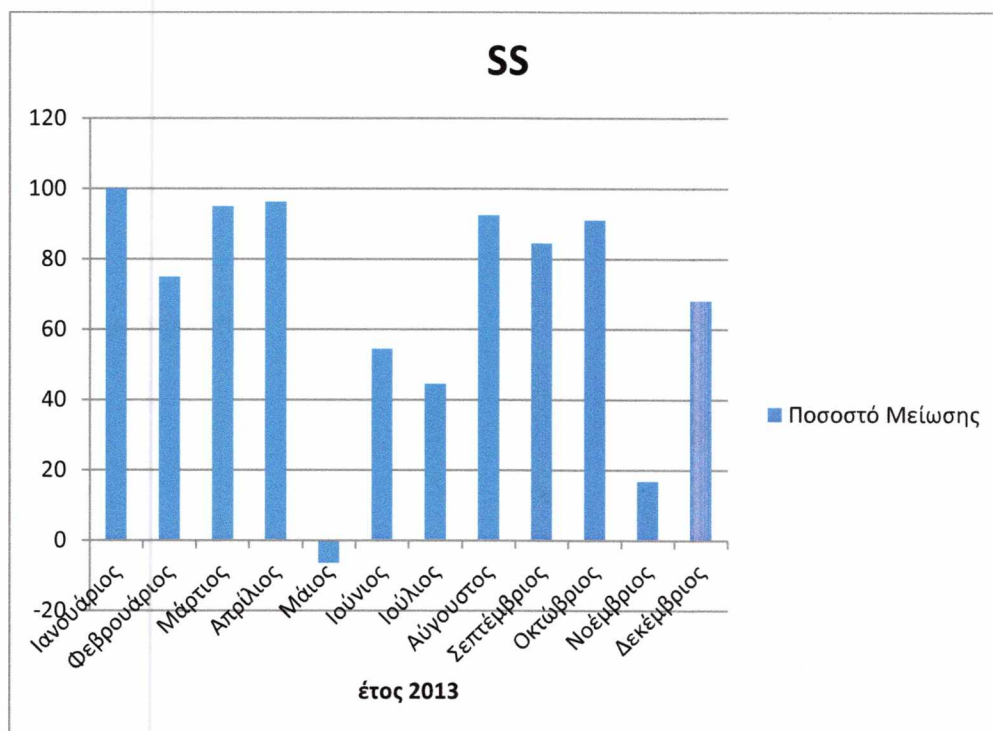
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 97.8661%

Ποσοστό Μείωσης SS :



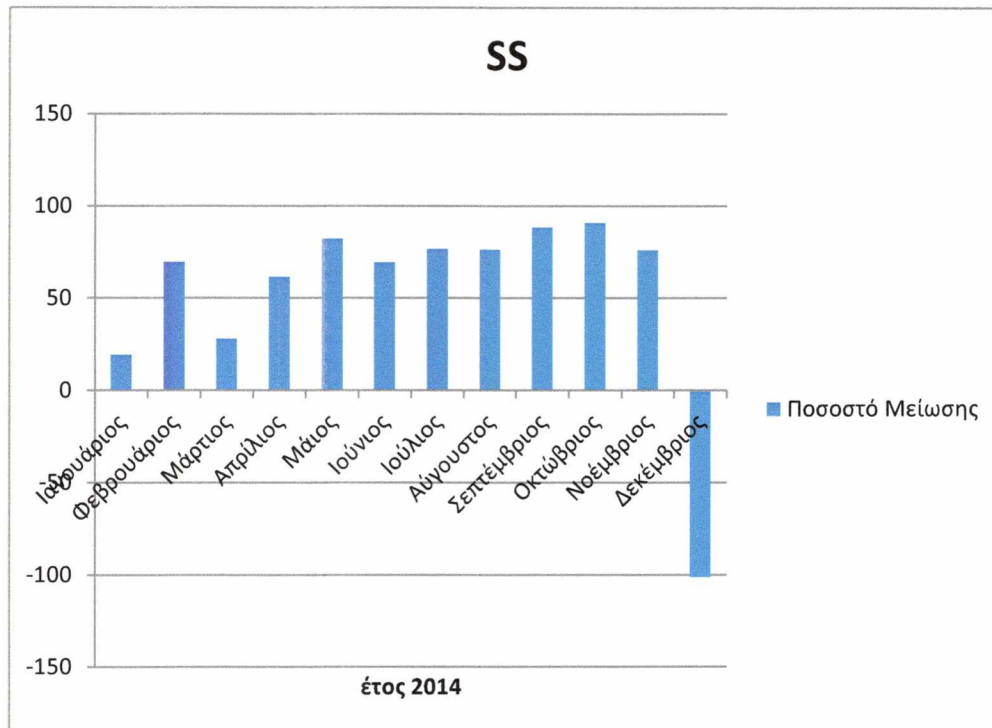
Διάγραμμα 6.33. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης SS

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 54.29665%



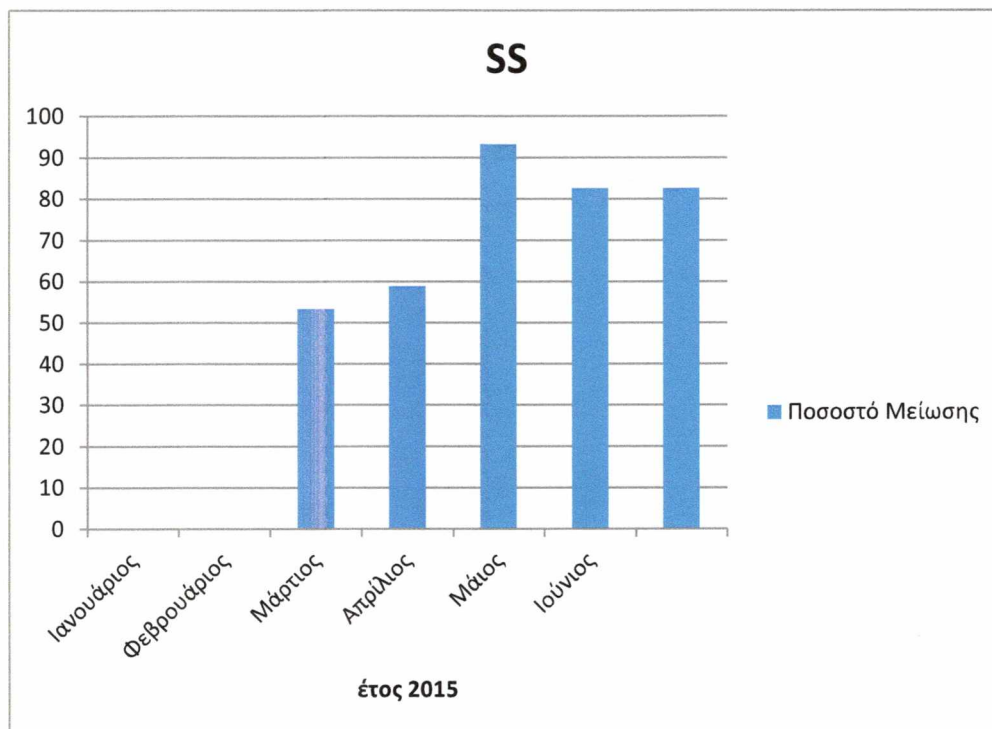
Διάγραμμα 6.34. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης SS

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 67.56318%



Διάγραμμα 6.35. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης SS

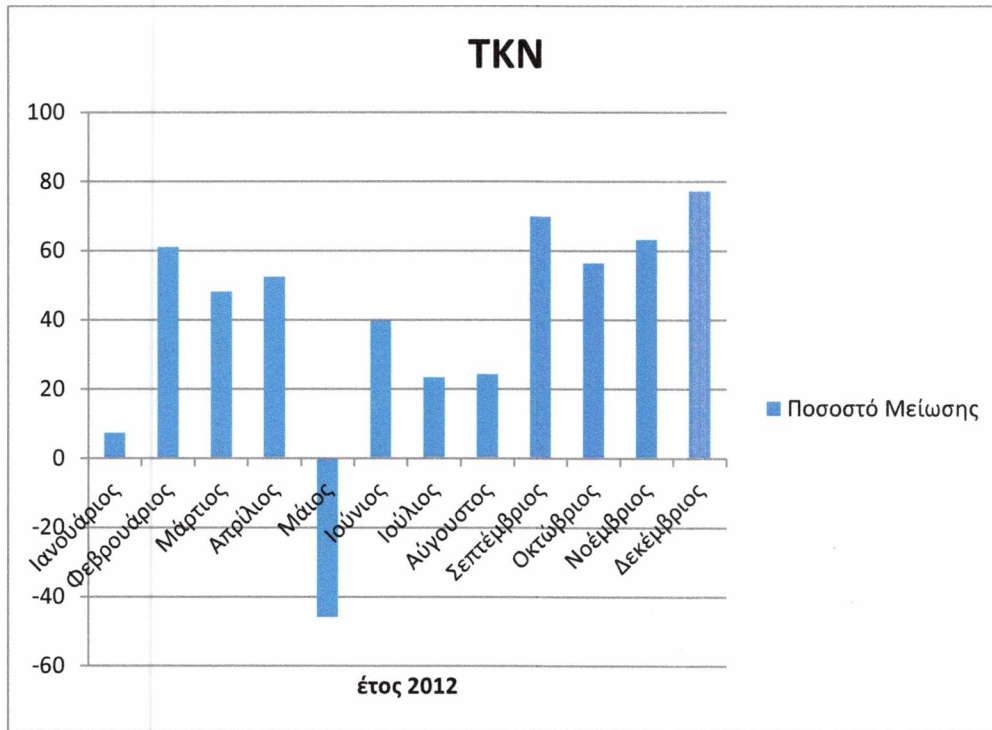
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 53.22764%



Διάγραμμα 6.36. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης SS

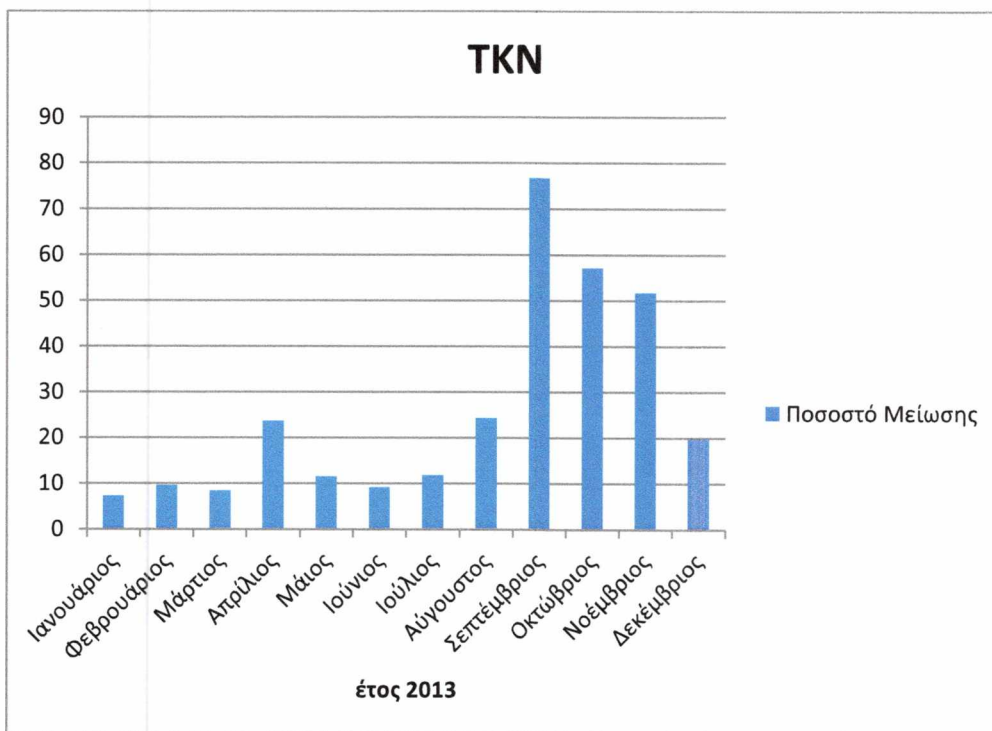
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 92.70391%

Ποσοστό Μείωσης ΤΚΝ :



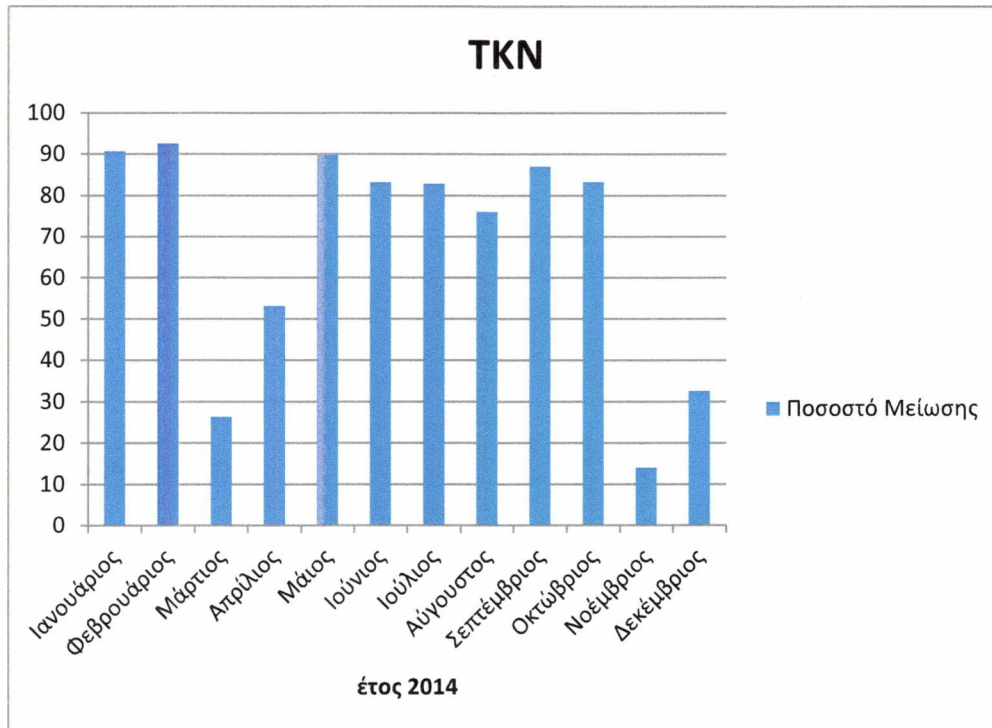
Διάγραμμα 6.37. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης ΤΚΝ

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 39.71563%



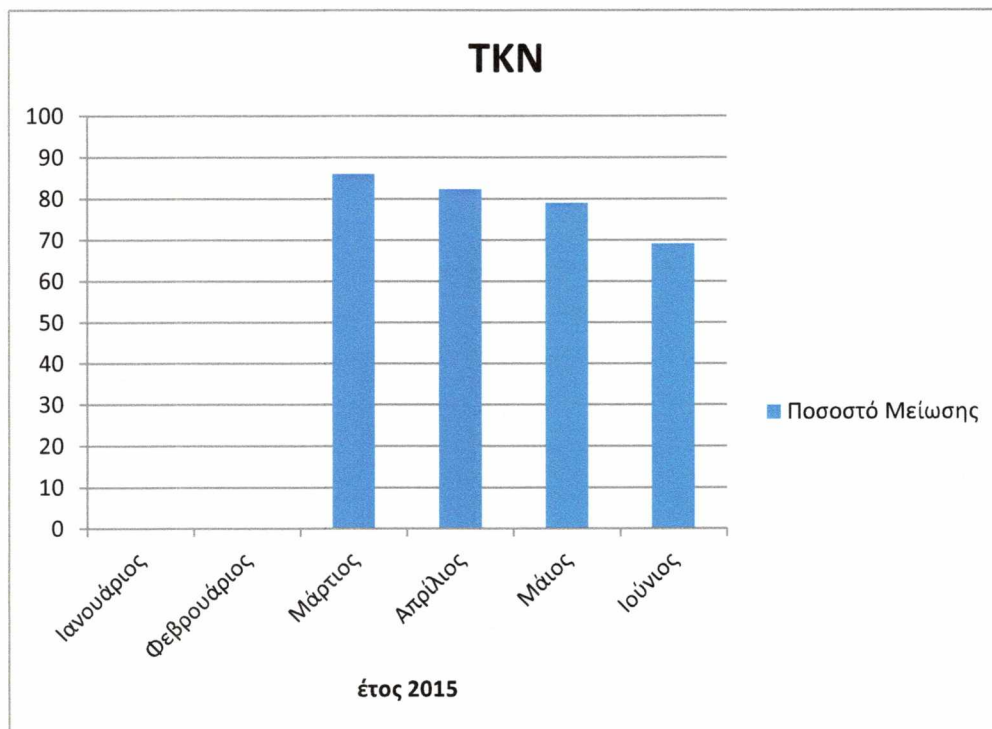
Διάγραμμα 6.38. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης ΤΚΝ

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 25.88161%



Διάγραμμα 6.39. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TKN

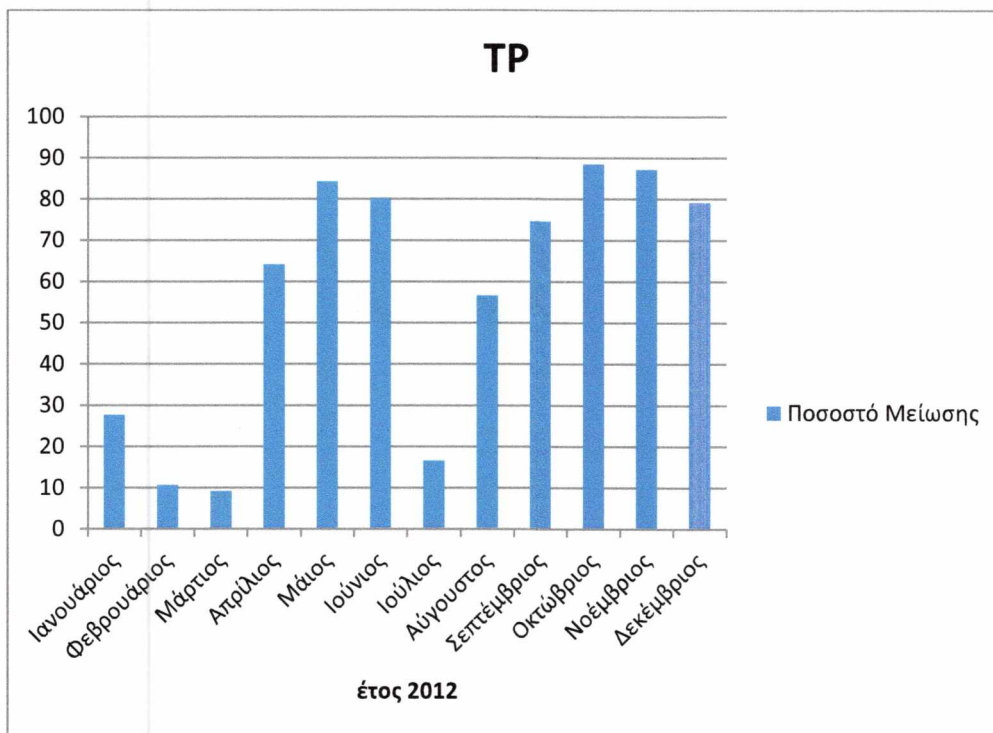
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 67.64366%



Διάγραμμα 6.40. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TKN

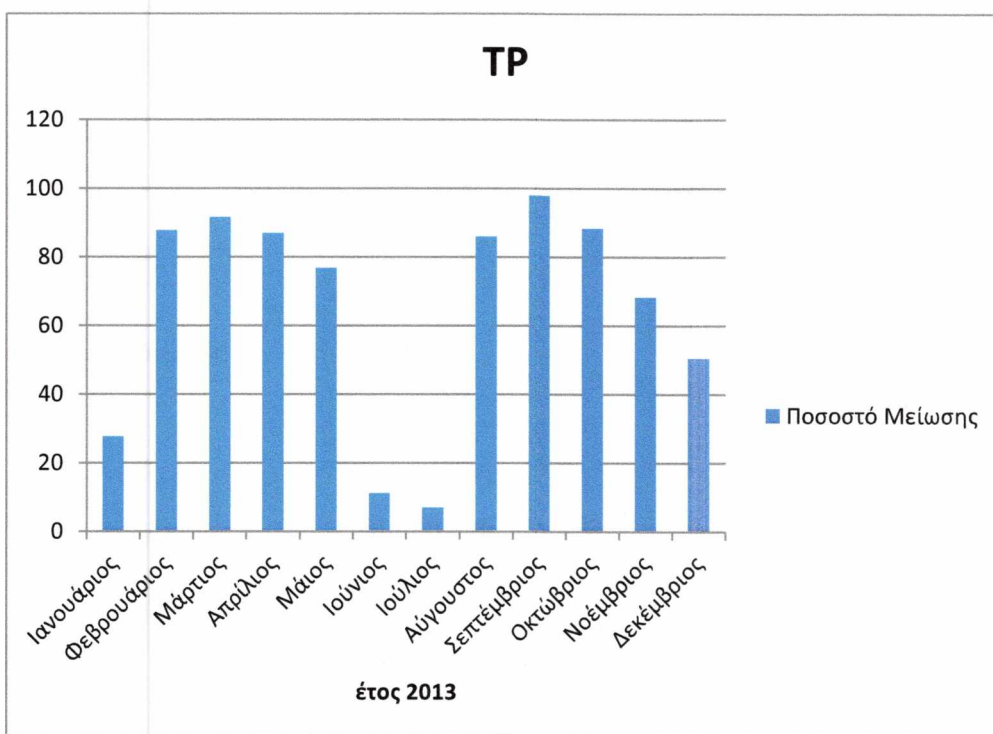
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 79.10273%

Ποσοστό Μείωσης TP :



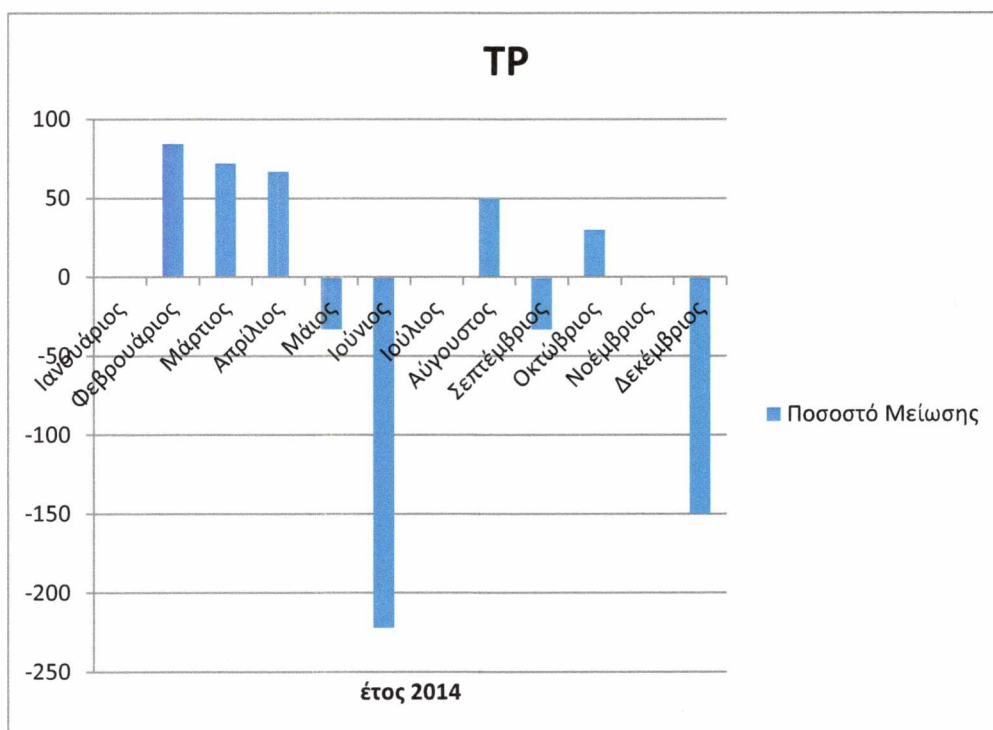
Διάγραμμα 6.41. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TP

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 39.71563%



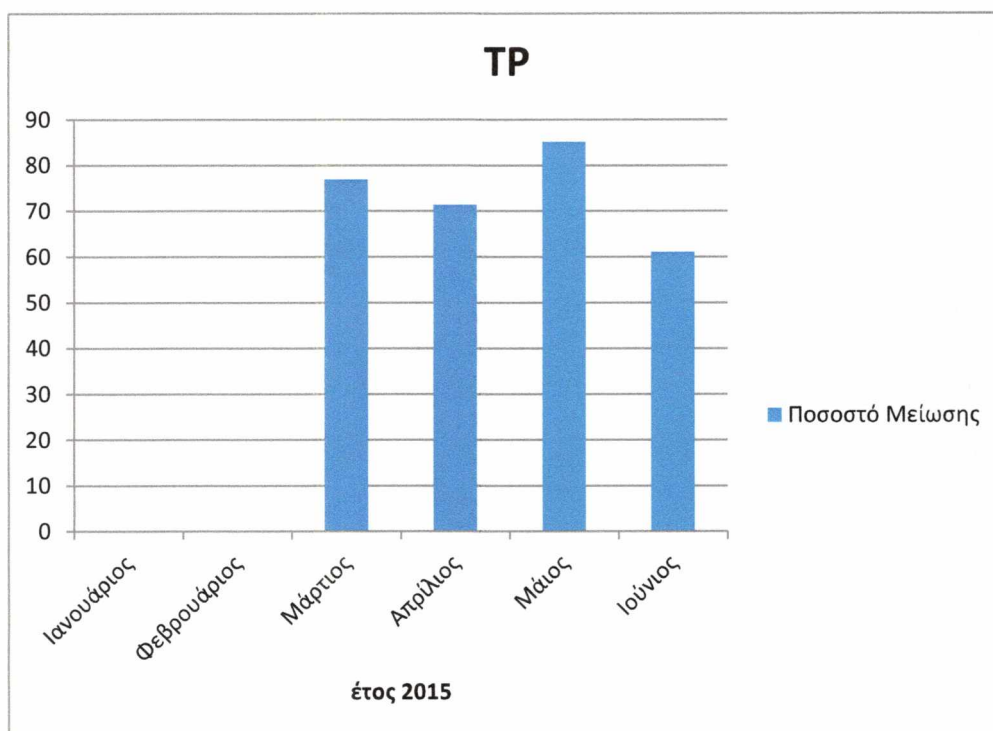
Διάγραμμα 6.42. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TP

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 64.94738%



Διάγραμμα 6.43. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TP

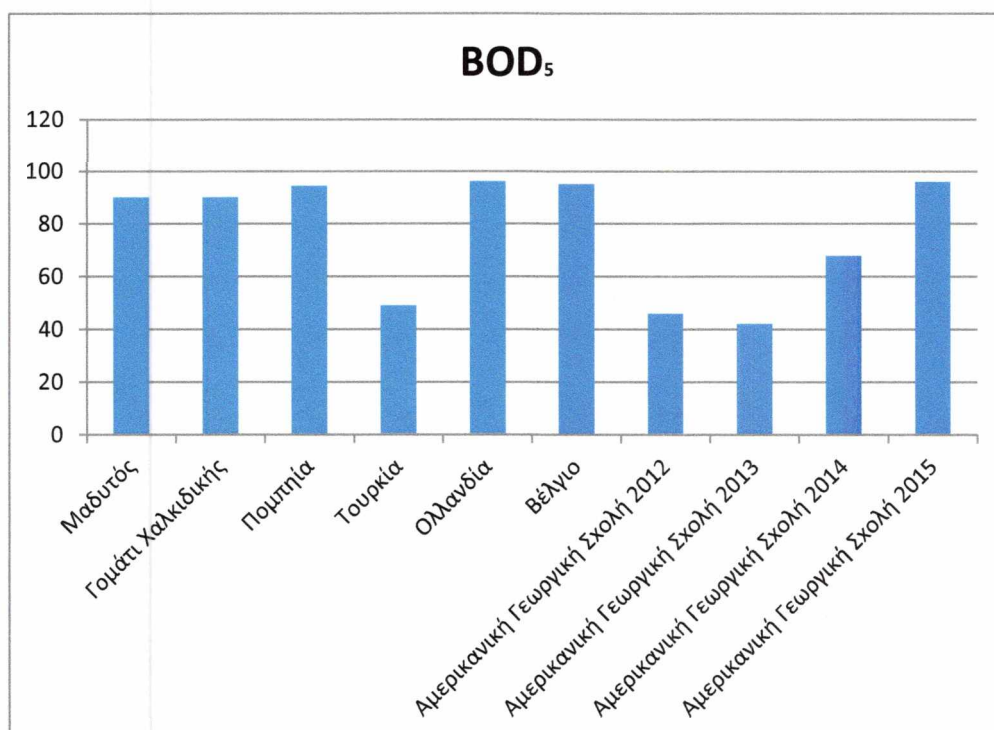
Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = -11.3358%



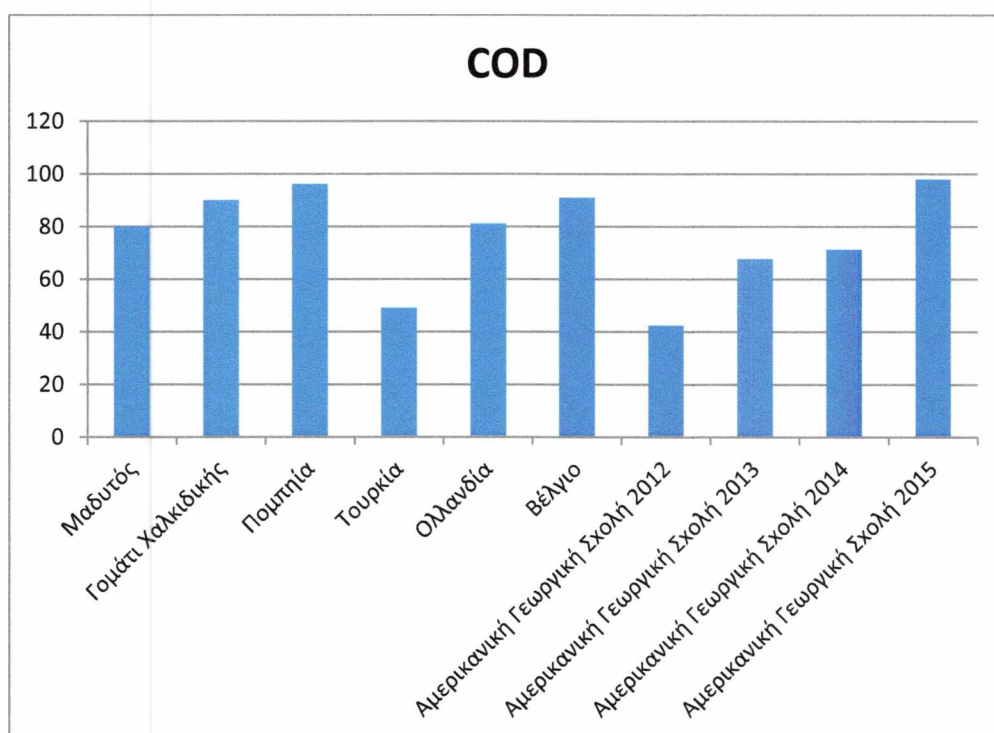
Διάγραμμα 6.44. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TP

Μέση τιμή ποσοστού μείωσης = 73.63245%

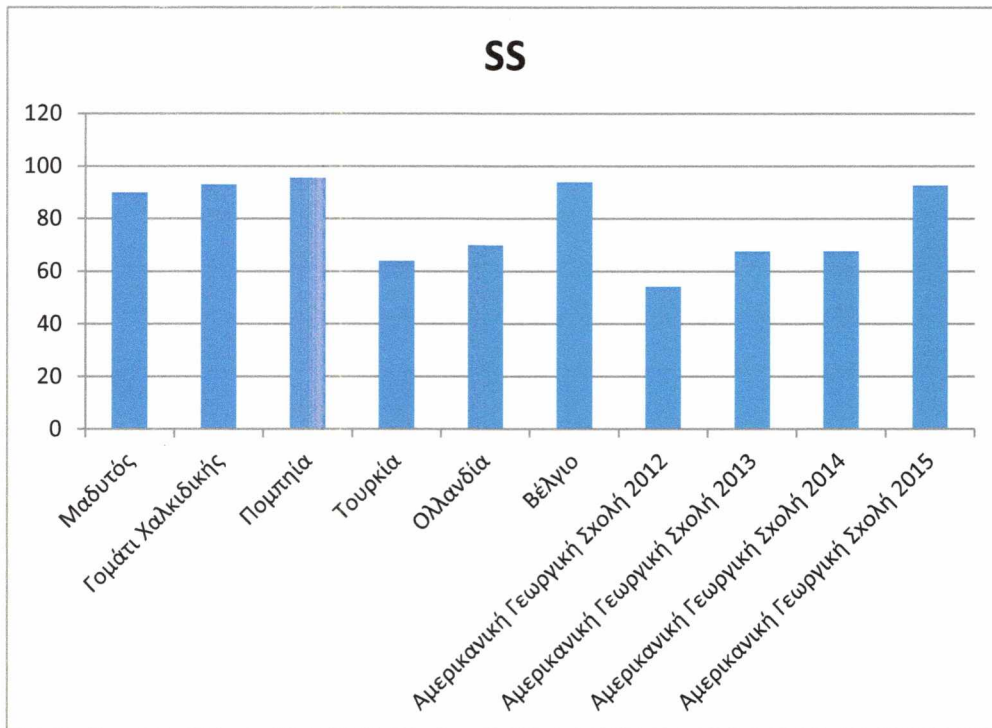
Παρακάτω παρουσιάζεται η σύγκριση των δικών μας αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από άλλους τεχνητούς υγροτόπους.



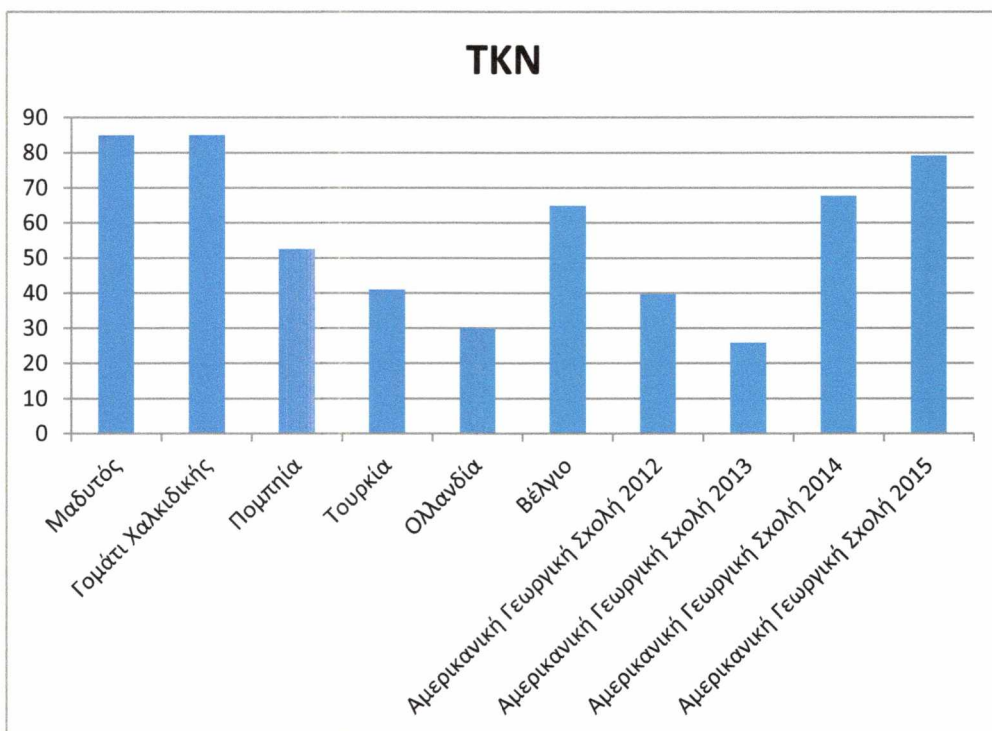
Διάγραμμα 6.45. Διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού μείωσης BOD₅ με άλλους τεχνητούς υγροτόπους



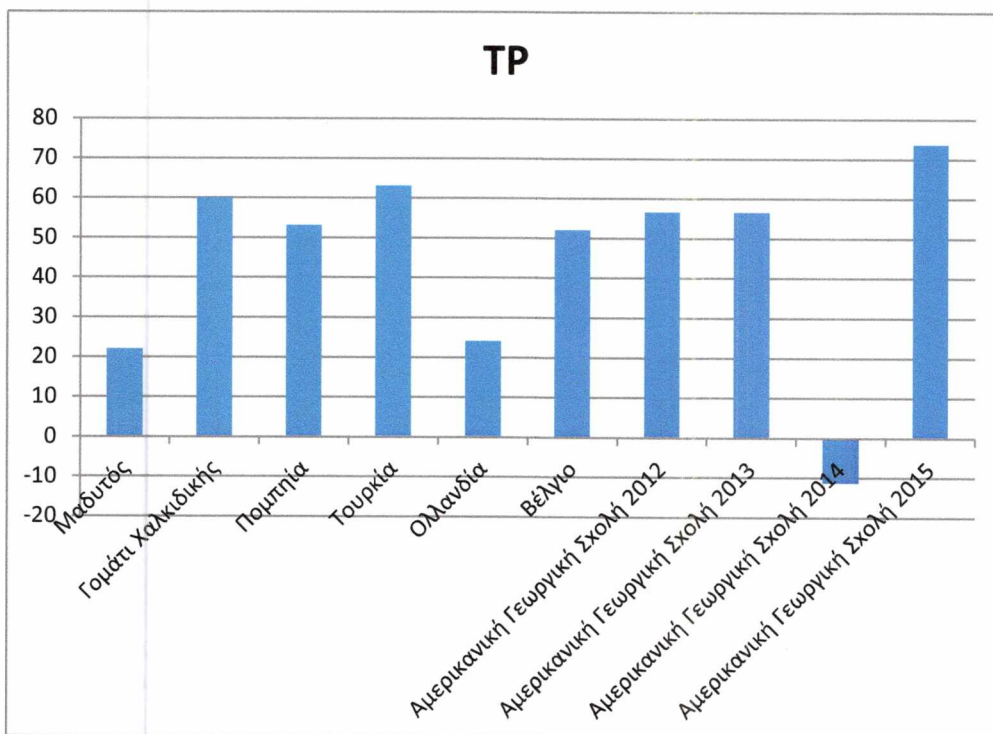
Διάγραμμα 6.46. Διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού μείωσης COD με άλλους τεχνητούς υγροτόπους



Διάγραμμα 6.47. Διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού μείωσης SS με άλλους τεχνητούς υγροτόπους

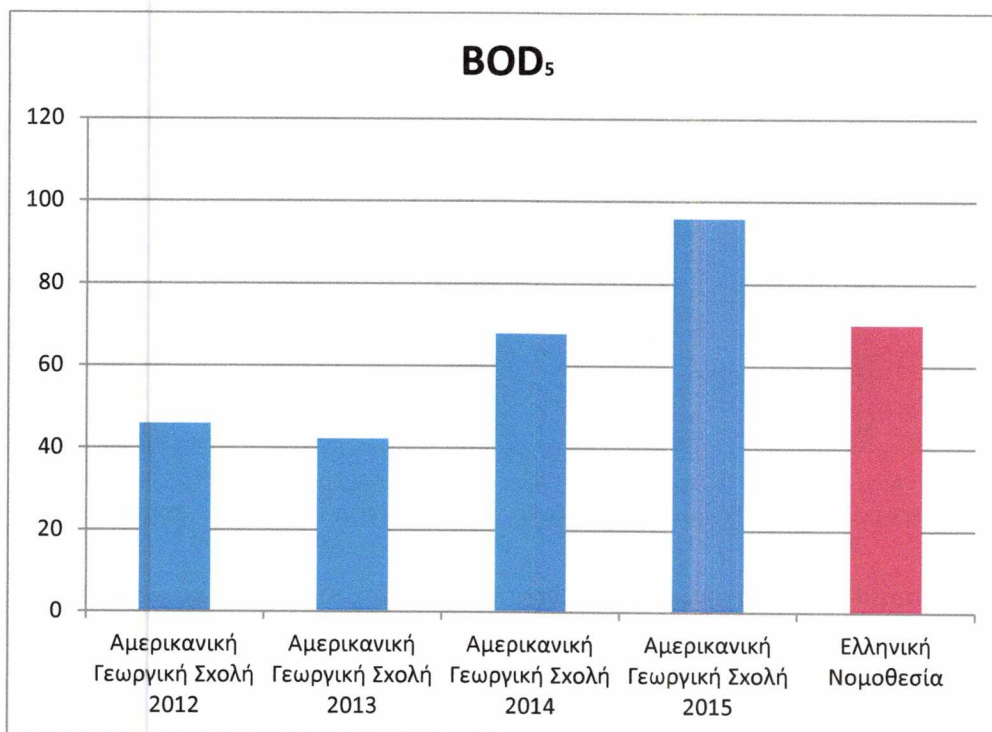


Διάγραμμα 6.48. Διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού μείωσης TKN με άλλους τεχνητούς υγροτόπους

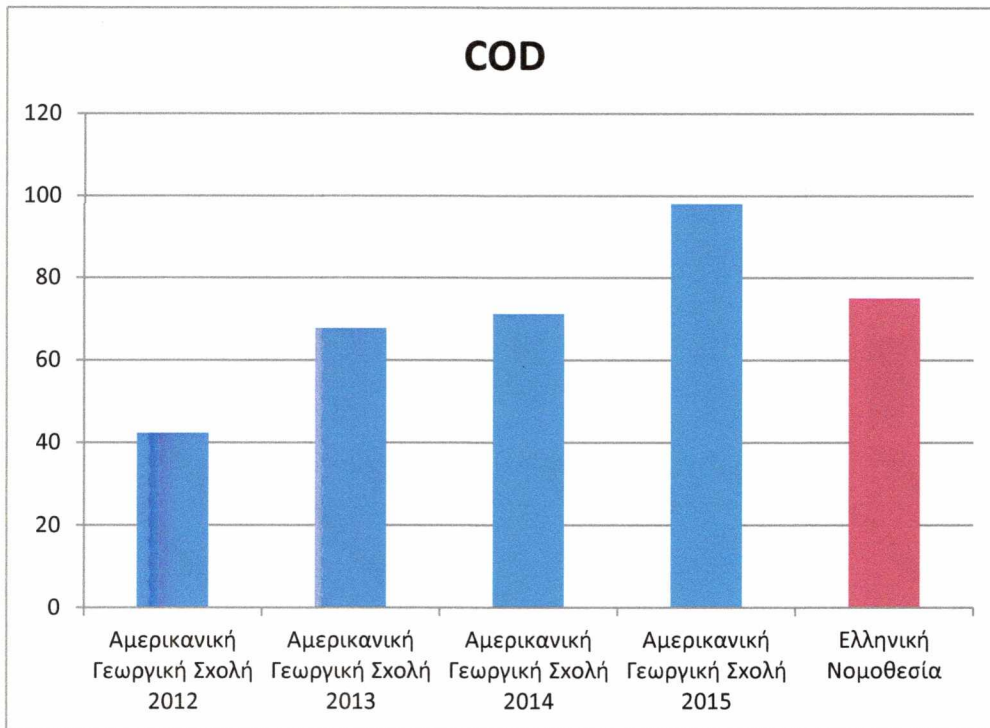


Διάγραμμα 6.49. Διάγραμμα σύγκρισης του ποσοστού μείωσης TP με άλλους τεχνητούς υδροτόπους

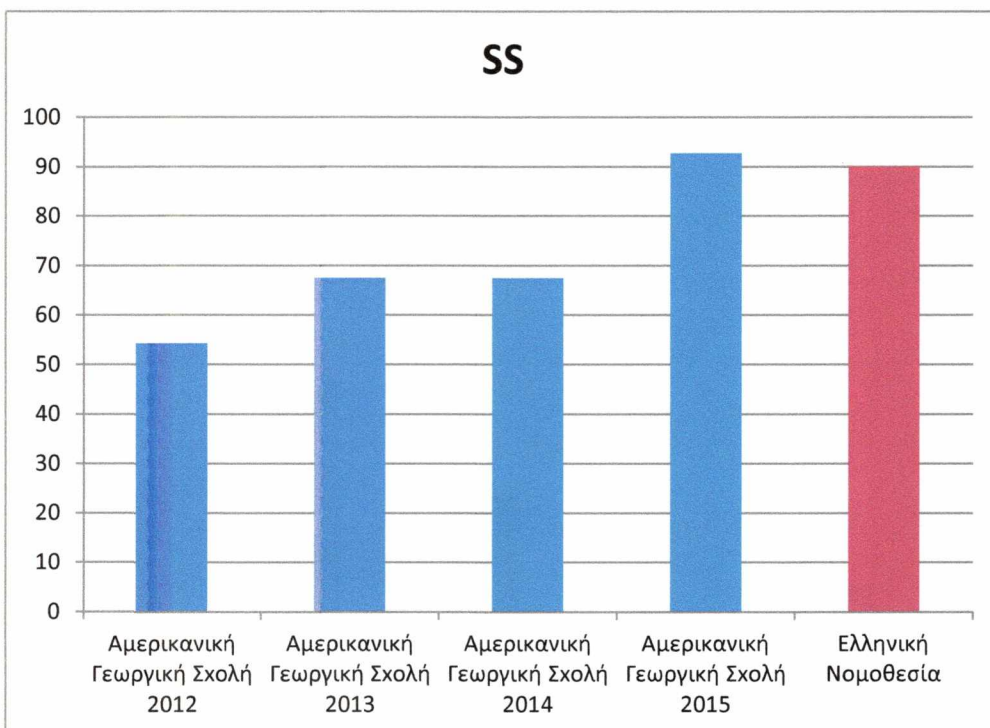
Παρακάτω παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με τις οριακές τιμές που ορίζει η ελληνική νομοθεσία.



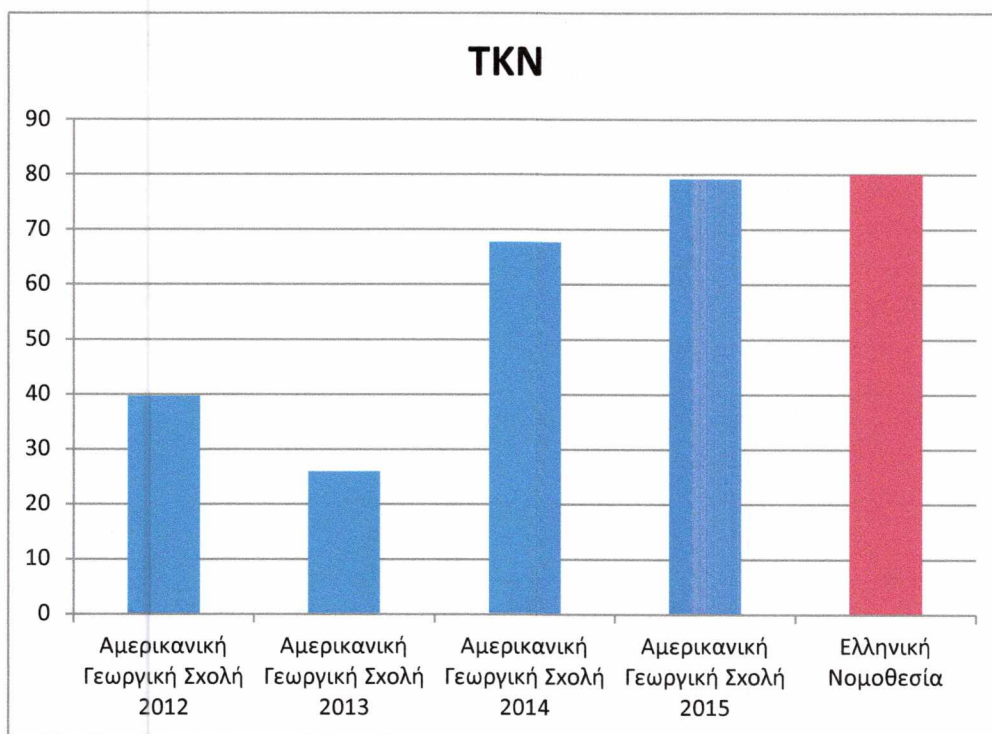
Διάγραμμα 6.50. Διάγραμμα σύγκρισης της μείωσης BOD₅ με τις οριακές τιμές της Ελληνικής νομοθεσίας



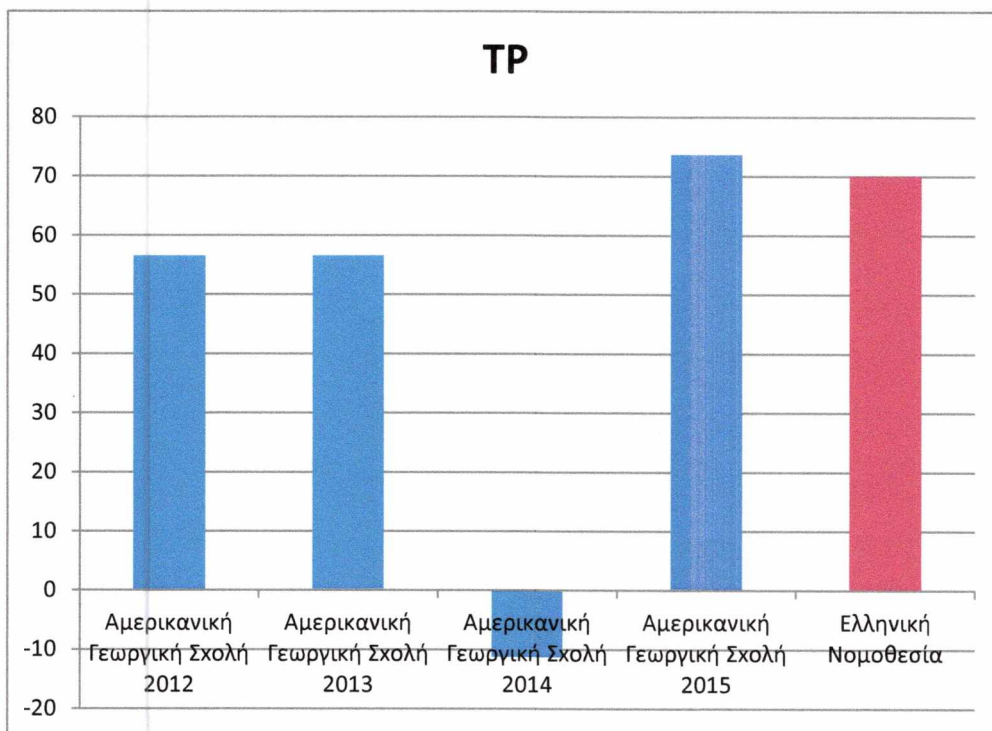
Διάγραμμα 6.51. Διάγραμμα σύγκρισης της μείωσης COD με τις οριακές τιμές της Ελληνικής νομοθεσίας



Διάγραμμα 6.52. Διάγραμμα σύγκρισης της μείωσης SS με τις οριακές τιμές της Ελληνικής νομοθεσίας

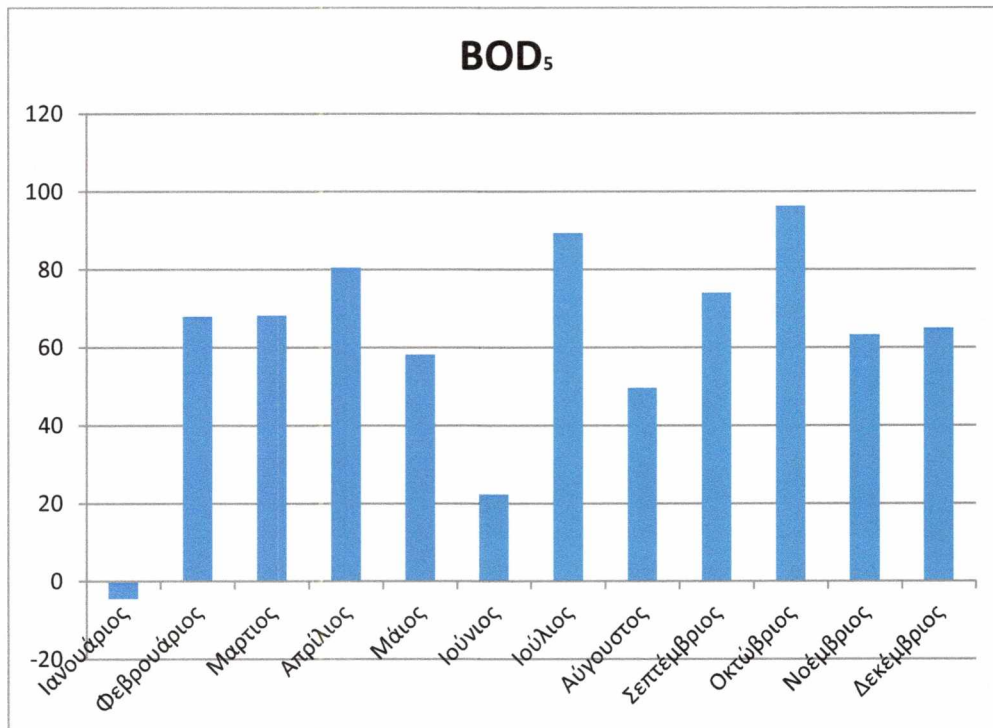


Διάγραμμα 6.53. Διάγραμμα σύγκρισης της μείωσης TKN με τις οριακές τιμές της Ελληνικής νομοθεσίας

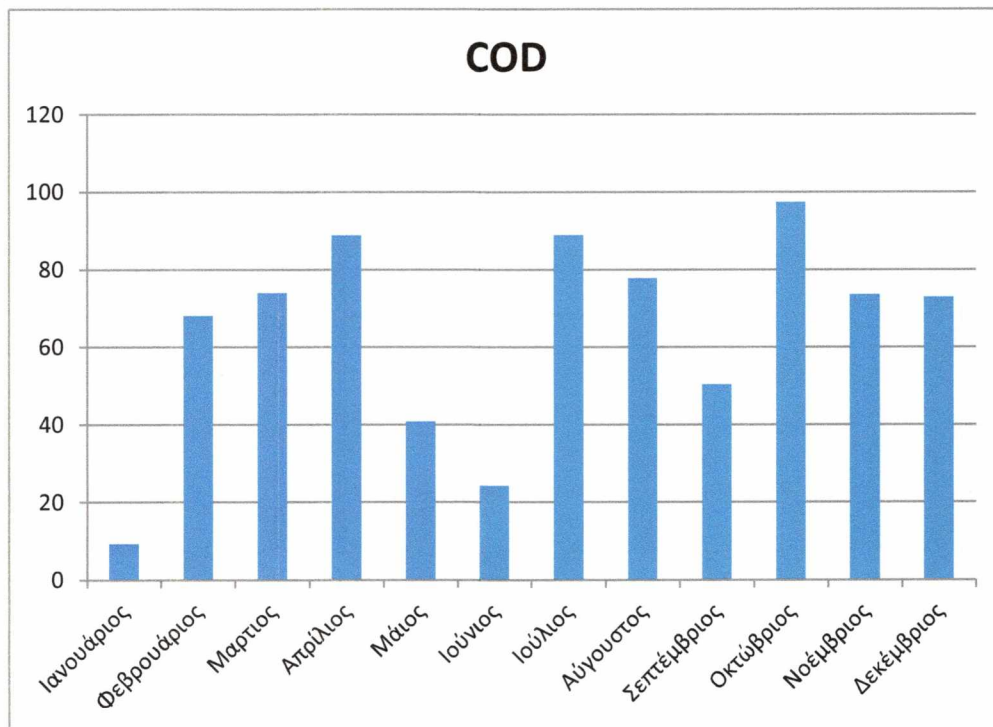


Διάγραμμα 6.54. Διάγραμμα σύγκρισης της μείωσης TP με τις οριακές τιμές της Ελληνικής νομοθεσίας

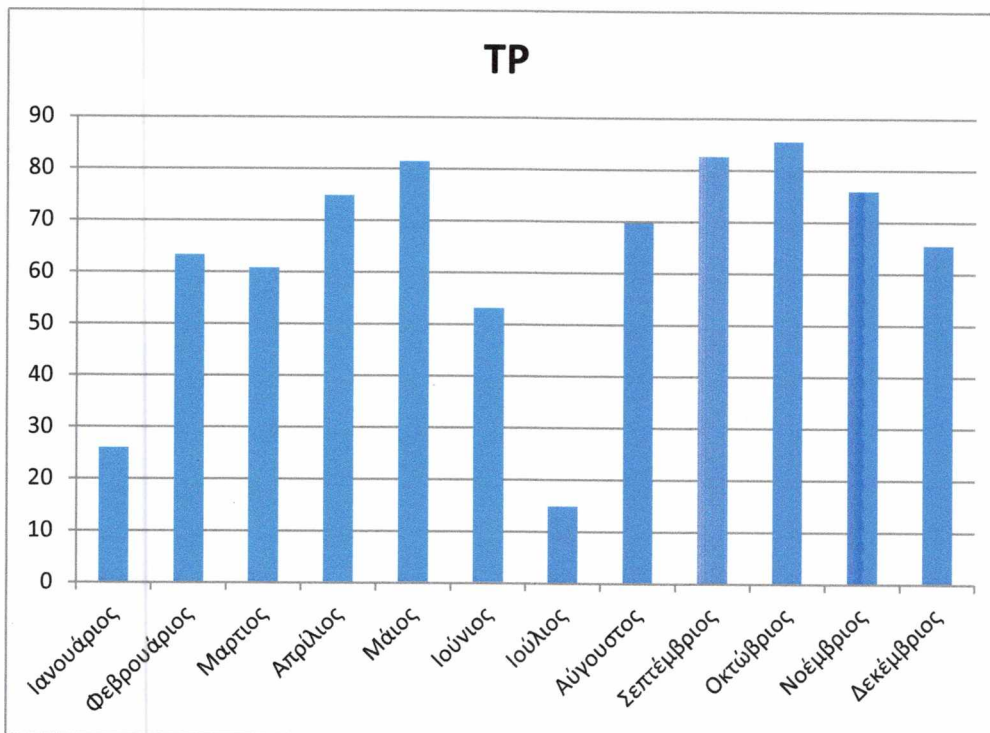
Παρακάτω τοποθετούνται τα μηνιαία ποσοστά μείωσης των παραμέτρων :



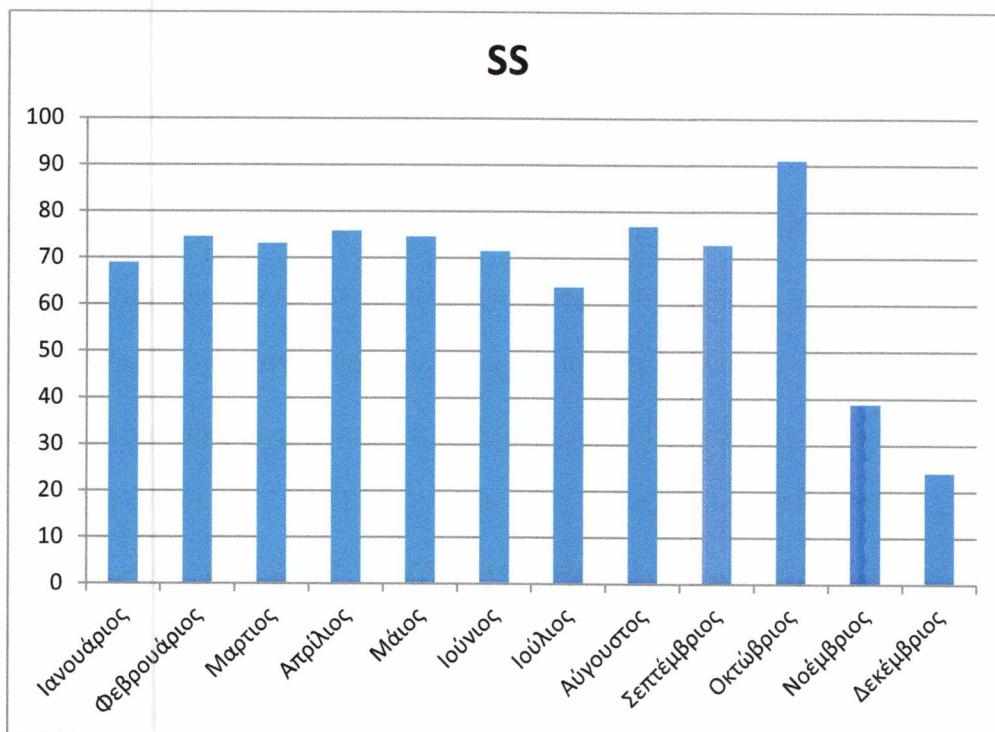
Διάγραμμα 6.55. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης BOD₅ ανά μήνα για όλα τα χρόνια



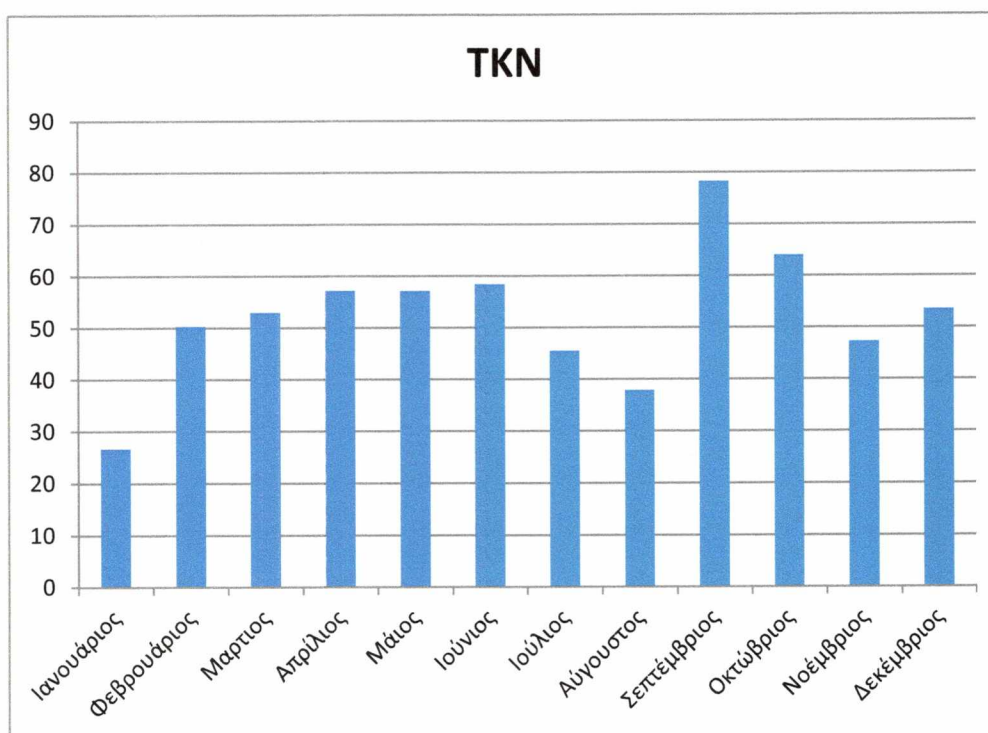
Διάγραμμα 6.56. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης COD ανά μήνα για όλα τα χρόνια



Διάγραμμα 6.57. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TP ανά μήνα για όλα τα χρόνια



Διάγραμμα 6.58. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης SS ανά μήνα για όλα τα χρόνια



Διάγραμμα 6.59. Διάγραμμα ποσοστού μείωσης TKN ανά μήνα για όλα τα χρόνια

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων γαλακτοβιομηχανίας στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή Θεσσαλονίκης με τεχνητούς υγροτόπους κατά μέσο όρο ήταν αρκετά αποδοτική, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Παρόλαυτα, δεν έλειψαν και κάποιες αστοχίες. Για το έτος 2012 ο μέσος όρος μείωσης BOD₅ ήταν 32,54% , COD 42,32% , SS 34,29% , TKN 39,71% και TP 39,71%. Για το έτος 2013 ο μέσος όρος μείωσης BOD₅ ήταν 42,10% , COD 67,71% , SS 67,56% , TKN 25,88% και TP 64,94%. Για το έτος 2014 ο μέσος όρος μείωσης BOD₅ ήταν 67,75% , COD 71,26% , SS 53,22% , TKN 67,64% και TP -11,33% (λόγω αστοχίας στους μήνες Μάιο, Σεπτέμβριο, Δεκέμβριο). Για το έτος 2015 ο μέσος όρος μείωσης BOD₅ ήταν 95,78% , COD 97,86% , SS 92,70% , TKN 79,10% και TP 73,63%. Σε όλες τις επεξεργασίες είχαμε εξισορρόπηση του pH σε ουδέτερο. Ένας από τους βασικούς λόγους των αστοχιών, δηλαδή να έχουμε μεγαλύτερη έξοδο μιας παραμέτρου από την ποσότητα

που εισάχθηκε, συνεπώς να έχουμε αύξηση αντί για μείωση που επιθυμούμε, είναι λόγω παλινδρόμησης των δεξαμενών.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα των παραμέτρων για την είσοδο και έξοδο των υγρών αποβλήτων στους τεχνητούς υγροτόπους κατακόρυφης ροής αλλά και τα διαγράμματα μηνιαίου ποσοστού μείωσης βλέπουμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες το ποσοστό απομάκρυνσης των ρύπων δεν είναι τόσο μεγάλο όσο τους μήνες με πιο ήπιες θερμοκρασίες. Οι μεταβολές της ποιότητας επεξεργασίας είναι συνυφασμένες με τις μεταβολές του φορτίου, της θερμοκρασίας και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που οφείλονται στις εποχές. Συνεπώς παρατηρούμε μια εποχικότητα στους τεχνητούς υγροτόπους η οποία επηρεάζει την απόδοση και την αποτελεσματικότητά τους. Αυτό συμβαίνει διότι όλες οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνονται όσο η θερμοκρασία ελαττώνεται. Επίσης, στους χειμερινούς μήνες μπορεί να εμφανιστεί ο σχηματισμός πάγου ο οποίος έχει δυσάρεστες επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα των τεχνητών υγροτόπων. (κεφάλαια 2.6.4. και 2.6.5.). Για παράδειγμα, η μείωση του BOD₅ κατά μέσο όρο τον μήνα Ιούλιο είναι 89,43% ενώ για την ίδια παράμετρο η μείωση τον μήνα Δεκέμβριο είναι 64,93%. Βέβαια παρατηρούμε και σε κάποιους μήνες με πιο χαμηλές θερμοκρασίες να έχουμε μεγαλύτερη αποδοτικότητα αφαίρεσης ρύπου σε σύγκριση με κάποιον μήνα με υψηλότερες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα το μήνα Δεκέμβριο κατά μέσο όρο έχουμε ποσοστό απομάκρυνσης COD 72,95% ενώ τον Ιούνιο 22,37. Μία από τις αιτίες αυτού του γεγονότος είναι να έχουμε μεγάλο όγκο ρυπαντικού φορτίου τον θερμό μήνα και συνεπώς να επηρεάζεται και η αποδοτικότητα της επεξεργασίας. Σε αντίθεση τον ψυχρότερο μήνα ενώ θα περιμέναμε μικρότερο ποσοστό απομάκρυνσης, είχαμε μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης εξαιτίας των παραπάνω, δηλαδή είχαμε αρκετά μικρό όγκο ρυπαντικού φορτίου. Αυτό συμβαίνει διότι όσο περισσότερο ο όγκος των λυμάτων τόσο μικρότερος ο χρόνος κατακράτησης, συνεπώς και τόσο μικρότερος ο χρόνος που δέχονται επεξεργασία τα λύματα.

Παρατηρούμε ότι με την πάροδο των ετών η επεξεργασία γίνεται όλο και αποδοτικότερη. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο πρόγραμμα ξεκίνησε το 2012 και τα καλάμια που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία αυτού του έτους ήταν μόλις 6 μηνών. Τα καλάμια μόλις φτάσουν την ηλικία των 2 ετών αποδίδουν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους. Γι αυτό εξάλλου και το έτος 2015 έχουμε και τα καλύτερα αποτελέσματα στην επεξεργασία μας.

Όσον αφορά τη σύγκριση με παραδείγματα άλλων τεχνητών υγροτόπων παρατηρούμε ότι η επεξεργασίας μας ήταν αρκετά αποτελεσματική καθώς παρατηρούμε παρόμοια ποσοστά απομάκρυνσης ρύπων με τους άλλους υγροτόπους, και σε κάποιες περιπτώσεις είχαμε και μεγαλύτερη απομάκρυνση. Στους τεχνητούς υγροτόπους στο Μαδυτό τα ποσοστά απομάκρυνσης ήταν BOD₅ 90%, COD 80%, SS 90%, TKN 85%, TP 22%. Στο Γομάτι Χαλκιδικής BOD₅ 90%, COD 90%, SS 93%, TKN 85%, TP 60%. Στην Πομπηία BOD₅ 94,4%, COD 96,1%, SS 95,5%, TKN 52,5%, TP 53,1%. Στην Τουρκία BOD₅ 49%, COD 49%, SS 64%, TKN 41%, TP 63%. Στην Ολλανδία BOD₅ 96%, COD 81%, SS 70%, TKN 30%, TP 24%. Στο Βέλγιο BOD₅ 95%, COD 91%, SS 94%, TKN 65%, TP 52%.

Στα διαγράμματα 6.50 έως 6.54 παρουσιάζεται αναλυτικά η μείωση των παραμέτρων μας με τα όρια που ορίζει η Ελληνική Νομοθεσία, και κατά μέσο όρο βρισκόμαστε εντός ορίων. Ο τεχνητός υγρότοπος κατακόρυφης ροής που ασχοληθήκαμε ανταποκρίνεται πολύ καλά στις μεταβολές του φορτίου και της θερμοκρασίας δίνοντας πολύ σημαντικά ποσοστά μείωσης των ρύπων.

Συνεπώς, οι τεχνητοί υγρότοποι αποτελούν ένα αξιόπιστο φυσικό σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι η απλότητα σχεδιασμού, το χαμηλό κόστος κατασκευής, οι μηδενικές ανάγκες σε τεχνητή προσθήκη ενέργειας, αλλά κυρίως η ελαχιστοποίηση των εκροών προς το περιβάλλον, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης των διαχωρισμένων στερεών του ρυπαντικού φορτίου. Βέβαια, παρατηρούνται και πολύ σημαντικές ανομοιομορφίες στην αποδοτικότητα

τους. Άλλους μήνες έχουμε σχεδόν τέλεια αποτελέσματα και άλλους μήνες παρατηρούνται πολύ σημαντικές αστοχίες. Συνεπώς, προτείνεται η χρήση των τεχνητών υγροτόπων αλλά όχι προς αντικατάσταση των συμβατικών προγραμμάτων επεξεργασίας. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων μπορεί να δώσει το τέλειο αποτέλεσμα. Δηλαδή, έπειτα από την επεξεργασία των αποβλήτων από τα συμβατικά προγράμματα επεξεργασίας να υπάρξει ένα δεύτερο στάδιο επεξεργασίας που θα γίνεται μέσω των τεχνητών υγροτόπων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελάκης, Α.Ν., και Tchobanoglous, G., (1995). Υγρά Απόβλητα – Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Ακράτος, Χ.Σ., (2006). Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιοτόπων Υπόγειας Ροής με Χρήση Πιλοτικών Μονάδων. Διδακτορική Διατριβή. Δημοκρίτειο Πανεπιστημίου Θράκης
- Ανυφαντάκης, Ε., (2004). Τυροκομία Χημεία-Φυσικοχημεία. Μικροβιολογία, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Βαμβακάκη, Α., Κανδαράκης, Ι., Γαλιώτου-Παναγιώτου, Μ., Κωμαΐτης, Μ., Παπανικολάου, Σ., (2009). Παραγωγή κυτταρικής μάζα και μικροβιακού λίπους κατά την ανάπτυξη του μύκητα *Mucor* sp. LGAM 366 σε τυρόγαλα. Περιοδικό Επιστήμη και τεχνολογία γάλακτος. Εθνική Επιτροπή Γάλακτος Ελλάδας.
- Γεωργακάκης, Δ., (2003). Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Τόμος Γ', Στερεά Γεωργικά Απόβλητα. Πανεπιστήμιο Πατρών, Ε.Α.Π.
- Δαλέζιος, Γ., (1986). Κτηνοτροφικά Απόβλητα. Σημειώσεις σεμιναρίου ΕΛΚΕΠΑ. Αθήνα.
- Διαμαντής, Ι.Β., (1999). Επιλεγμένα Θέματα Υδρογεωλογίας. Δημοκρήτσιο Πανεπιστήμιο Θράκης
- Ζουραράκη, Ε., (2002). Σχεδιασμός και Λειτουργία Τεχνητών Υγροβιοτόπων Επεξεργασίας Λυμάτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εκδόσεις Δημοκriteίου Πανεπιστημίου Θράκης.
- Καμινάρη, Σ., (2007). Αξιοποίηση τυρογάλακτος. Συνέδριο, Η προστασία της ελληνικής παραγωγής γαλακτοκομικών και τυροκομικών προϊόντων και η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς τους στην ελληνική και διεθνή αγορά. Φεστιβάλ Ελληνικού Γάλακτος και Τυριού. Πειραιάς.
- Καραδήμα, Κ., (2009). Εκτίμηση της τοξικότητας διαφόρων σταδίων επεξεργασίας αποβλήτων τυροκομικών μονάδων με χρήση βιοδεικτών. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας ζώων.
- Κούκουρας, Α. και Βουλτσιάδου-Κούκουρα, Ε., (1993). Ασκήσεις Θαλάσσιας Βιολογίας. Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη, 118 Σελ.
- Λοϊζίδου, Μ., (2006). Μονάδα περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας. Ε.Μ.Π

- Καραμούζης, Δ., (2003). Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων Τεύχος 1, Τεχνητοί Υγρότοποι, Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Μαμάης, Δ., (2008) Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Χημική και Βιολογική Απομάκρυνση Φωσφόρου. Ε.Μ.Π. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο
- Μάρκου, Δ.Α., (2000). Χρήση Φυσικών Συστημάτων για την Επεξεργασία και Διαχείριση των Υγρών Αποβλήτων της Πανεπιστημιούπολης Ξάνθης στα Κιμμέρια. Διπλωματική Εργασία για το Δίπλωμα του Μηχανικού Περιβάλλοντος, Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.
- Μακρής Γ., Χαράλαμπος Α. και Χατζηευσταθίου Μ., (2001). Πρόληψη της ρύπανσης στη βιομηχανία παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων – παγωτού. Μεταπτυχιακή διατριβή, Ηράκλειο.
- Μάντης, Α., (1993). Υγιεινή και τεχνολογία του γάλακτος και των προϊόντων του. Θεσσαλονίκη.
- Μίμης, Σ., (2006). Φυσικά Συστήματα, Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Εφαρμογές και Συγκριτικά Αποτελέσματα. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Νικολαΐδης, Μ., (2012). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Αμερικανική Γεωργική και Βιοτεχνική Σχολή Θεσσαλονίκης
- Ντεντιδάκης, Μ., (2000). Επεξεργασία Λυμάτων σε Τεχνητούς Υγροβιότοπους, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εκδόσεις Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.
- Σεβαστού, Κ., (1999). Μελέτη της δομής και διανομής των ταξοκοινωνιών των πολύχαιτων στην περιοχή εξόδου του υποθαλάσσιου αγωγού λυμάτων της πόλης του Ηρακλείου. Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας Κρήτης.
- Στρογγυλούδη, Ε., (1995). Μελέτη βιοσυσσώρευσης χαλκού, νικελίου και χρωμίου από επτά περιοχές της Ελλάδας. Διπλωματική εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Τσιχριντζής, Β.Α., (2000). Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία ,Τόμος Ι ,Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών και Τόμος ΙΙ ,Φυσικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων - Πρόληψη Ρύπανσης. Εκδόσεις Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.
- Χαΐδευτού, Ε., (2002). Βιοποικιλότητα και ηθική. Επιστημονική ανακοίνωση στο 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Βιολογικών Επιστημών για το Περιβάλλον. Αθήνα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ayaz, S.C., and Akca, L., (2001). "Treatment of Wastewater by Natural Systems", *Environmental International*, Vol. 26, pp.189-195.
- Bachand, A.M.P. and Horne, J.A., 2000, "Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature.", *Ecological Engineering*, Vol. 14, pp.17-32.
- Balannec B., Vourch M., Rabiller-Baudry M., Chauferet B., (2005). Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration, *Separation and Purification Technology* 42, 195–200.
- Bendoricchio, G., Cin, L.D. and Persson J., (2000). *Guidelines for Free Water Surface Wetland Design*, EcoSys Bd., Vol. 8, pp. 51-91
- Brix, H., (1992). *An Overview of the Use of Wetlands for Water Pollution in Europe*, Proceedings: IAWQ Wetlands Systems Conference, Sydney, Australia.
- Brix, H., and Arias, C.A., (2005). *The Use of Vertical Flow Constructed Wetlands for On-Site Treatment of Domestic Wastewater: New Danish Guidelines*, *Ecological Engineering*, Vol. 25, pp. 491-500.
- Bryan, D., and Findlater, B. C., (1991). *The modified Max Planck Institute Process- a review of the operation of a vertical flow Reed Bed Treatment System at Oaklands Park*, WRc Report UC 1264, WRc Swindon, UK.
- Chick, A.J. and Mitchell, D.S., (1995). *A Pilot Study of Vertical Flow Wetlands at Coffs Harbour, New South Wales, Australia*, *Water Science and Technology*, Vol. 32 (3), pp. 103-109.
- Cooper, P.F. and Findlater, B.C., (1990). *Constructed Wetlands in Water Pollution*, Pergamon, Oxford, UK
- Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z. and Raveh, E., (2006). *Recycled Vertical Flow Constructed Wetland (RVFCW) – a Novel Method of Recycling Greywater for Irrigation in Small Communities and Households*.
- Hammer, D.A., 1989, "Constructed Wetlands for Treatment of Agricultural Waste and Urban Stormwater", MI: Lewis Publishers, Chelsea, UK.
- Kadlec, R. and Knight, R., (1996). *Treatment Wetlands*, CRC Press.
- Kadlec, R.H., (1999). *Constructed Wetlands for Treating Landfill Leachate*, In: Mulamootil G., McBean E.A. and Rovers F. (Eds), *Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL., pp 187-204.

- Keffala, C. and Ghrabi, A., (2005). Nitrogen and Bacterial Removal in Constructed Wetlands Treating Domestic Waste Water, *Desalination*, Vol. 185, pp. 383-389.
- Knight, R.L., (1992). Ancillary Benefits and Potential Problems with the Use of Wetlands for Nonpoint Source Pollution Control, *Ecological Engineering*, Vol. 1, pp. 97-113.
- Korkusuz, E.A., Beklioglu, M. and Demirer, G.N., (2004). Treatment Efficiencies of the Vertical Flow Pilot-Scale Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, Vol. 28, pp. 333-344.
- Kosikowski, F. V., (1977). *Cheese and fermented milk foods*. 2nd edit. New York.
- Kosseva R. M., (2009). *Processing of Food Wastes*. *Advances in Food and Nutrition Research*, Vol. 58, pp. 57-136. Elsevier Science Ltd.
- Laber, J., Perfler, R. and Haberl, R., (1997). Two Strategies for Advanced Nitrogen Elimination in Vertical Flow Constructed Wetlands, *Water Science and Technology*, Vol. 35, Is. 5, pp. 71-77.
- Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J. and Pressl, A., (2003). Evaluation of Substrate Clogging Processes in Vertical Flow Constructed Wetlands, *Water Science Technology*, Vol. 48 (5), pp. 25-34.
- Lindstorm, C.R., (2000). *Graywater: Facts about Graywater – What It Is, How to Treat It, When and Where to Use it*, Cambridge, MA, Electronic manuscript, Available from: (www.graywater.com).
- Mawson A. J.,(1994). Bioconversions for whey utilization and waste abatement. *Bioresource Technology*, 47, 195-203.
- Metcalf and Eddy, (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- Mitsch, W.J., (1992). Landscape Design and the Role of Created, Restored, and Natural Riparian Wetlands in Controlling Nonpoint Source Pollution, *Ecological Engineering*, Vol. 1, pp. 27-47.
- Mæhlum, T., Jenssen, P.D. and Warner, W.S., (1995). Cold-climate Constructed Wetlands, *Water Science Technology*, Vol. 32 (3), pp.95-101.
- Meuleman, A.F.M., van Logtestijn, R., Rijs, G.B.J. and Verhoeven, J.T.A., (2003). Water and Mass Budgets of a Vertical-Flow Constructed Wetland Used for Wastewater Treatment, *Ecological Engineering*, Vol. 20, pp. 31-44
- Peters, D., 2006. *Raw Materials*. *Adv Biochem Eng Biotechnol* 105, pp. 1-30.
- Philippopoulos, C., and Papadakis M., (2001). Current trends in whey processing

- and utilization in Greece, *International Journal of Dairy Technology*, Vol 54, No 1, 14-19.
- Phillippopoulos, C., Papadakis, M., (2001). Current trends in whey processing and utilization in Greece. *International Journal of Dairy Technology*.
- Prescott, K.L. and Tsanis, I.K., (1997). Mass balance modeling and wetland restoration., *Ecological Engineering*, Vol. 9, pp. 1-18
- Reed, S.C. and Crites, R.W., (1984), *Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Wastes*, Noyes Publications, Park Ridge.
- Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W., (1988). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill, New York
- Reed, S.C. and Crites, R.W., Middlebrooks E.J., (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Rousseau, D.P.L., Vanrolleghem, P.A. and Pauw, N.D., (2004). Model-based Design of Horizontal Subsurface Flow Constructed Treatment Wetlands: A Review, *Water Research*, Vol. 38, pp. 1484-1493.
- Saddoud A., Hassairi I., Sayadi S., (2007). Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey. *Bioresource Technology*, 98, 2102–2108.
- Seidel, K., (1966). *Reinigung von Gewässern Durch Höhere Pflanzen* (in German), *Deutsche Naturwiss*, Vol. 12, pp.297-298.
- Sezerino, P.H., Reginatto, V., Santos, M.A., Kayser, K., Kunst, S., Philippi, L.S. and Soares, H.M., (2003). Nutrient Removal from Piggery Effluent Using Vertical Flow Constructed Wetlands in Southern Brazil, *Water Science and Technology*, Vol. 48 (2), pp. 129-135.
- Thassitou P.K., and Arvanitoyannis I.S., (2001). Bioremediation: a novel approach to food waste management. *Trends in Food Science & Technology* 12, 185-196.
- Tsihrintzis, V.A., (1999). Protection of Wetlands from Development Impacts. *Proceedings of the International Conference ECOSUD 99 – Ecosystems and Sustainable Development*, Wessex Institute of Technology, May 31 – June 2, Lemnos, Greece, pp.273-282.
- US EPA, (2001). *A Citizen's Guide to Phytoremediation*.
- US EPA, (2000). *Introduction to Phytoremediation*.
- Vymazal, J., (2005). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, *Ecological Engineering*, Vol. 25, pp. 475-477.
- Vymazal, J., (2014). *Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A*

review

Vymazal, J., Březinová, T., (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review

Walton, W.E., (2003). Managing Mosquitoes in Surface-Flow Constructed Treatment Wetlands, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Riverside.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

www.fcps.edu/StratfordLandingES/Ecology/mpages/common_cattail.htm

www.fujitaresearch.com

www.naturesongs.com

www.ramsar.org

<http://tncweeds.ucdavis.edu/esadocs/phraaust.html>

www.tu-berlin.de www.umt.edu/chemistry/wetlands/data.htm

www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm

www.uvm.edu

www.wastreat.gr



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125597