



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα μελέτης: «Κριτική σύγκριση φυσικών συστημάτων
επεξεργασίας υγρών αποβλήτων»

Ονοματεπώνυμο φοιτήτριας: Ευαγγελία Τσίρλη

A.E.M: 3020074

Ονοματεπώνυμο Διδάσκοντα: Παπαπολυμέρου Γεώργιος

Ακαδημαϊκό έτος: 2023-2024

Πόλη: Λάρισα



SCHOOL OF TECHNOLOGY
ENVIRONMENT DEPARTMENT

Study topic: "Critical comparison of natural wastewater treatment systems. "

Student's name: Tsirli Evaggelia

A.E.M: 3020074

Teacher's Name: George Papapolymerou

Academic year: 2023-2024

City: Larissa

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
Κεφάλαιο 1^ο: Γενικά για τα απόβλητα.....	11
1.1 Ιστορική αναδρομή αποβλήτων	11
1.2 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων	12
1.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων.....	12
1.2.2 Χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων.....	13
1.2.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων	13
Κεφάλαιο 2^ο: Τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων.....	14
2.1 Στάδια επεξεργασίας.....	14
2.2 Προ επεξεργασία	14
2.2.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία	14
2.2.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία	15
2.2.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία	16
Κεφάλαιο 3^ο: Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων	21
3.1 Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	21
3.1.1 Συμβατικές μέθοδοι.....	21
3.1.2 Μέθοδοι προχωρημένης επεξεργασίας	21
3.1.3 Φυσικά συστήματα	21
Κεφάλαιο 4^ο: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	23
4.1 Ιστορική αναδρομή εξέλιξης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. 23	
4.2 Κατηγορίες φυσικών συστημάτων	24
4.3 Εδαφικά συστήματα διήθησης(κλίνες άμμου)	25
4.4 Λίμνες σταθεροποίησης.....	25
4.4.1 Αερόβιες- Αναερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης.....	27
4.4.2 Αερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης.....	27
4.4.3 Αναερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης.....	28
4.5 Εξισώσεις Σχεδιασμού Αεριζόμενων Λιμνών.....	29

4.5.1 Αερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες.....	29
4.5.4 Αερόβιες- Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες.....	32
4.5.5 Παραγωγή Ιλύος σε Αερόβιες-Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες	32
4.5.6 Απαιτούμενο Οξυγόνο στις Αερόβιες-Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες.....	33
4.5.7 Υπολογισμός θερμοκρασίας Αεριζόμενων Λιμνών.....	33
4.6 Εξισώσεις Σχεδιασμού Λιμνών Σταθεροποίησης.....	34
4.6.1 Μοντέλο Marais.....	35
4.7 Συστήματα Τεχνητών υδροβιότοπων.....	35
4.7.1 Υδροβιότοποι Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής	36
4.7.2 Υδροβιότοποι με υπόγεια οριζόντια (FWS) ή και κατακόρυφη ροή (SFS)	38
4.8 Σύγκριση τεχνητών υδροβιότοπων υπόγειας και επιφανειακής ροής.....	41
4.9 Συστήματα επιπλέοντων υδρόχαρων φυτών	42
Κεφάλαιο 5^ο: Σύνολο φυτικών ειδών των υδροβιότοπων.....	44
5.1 Προϋποθέσεις καταλληλότητας φυτών.....	44
5.2 Κατηγορίες φυτών	44
5.3 Ο ρόλος των φυτών στους υδροβιότοπους.....	50
Κεφάλαιο 6^ο: Σύγκριση συστημάτων	53
6.1 Σύγκριση φυσικών συστημάτων(τεχνητοί υδροβιότοποι) με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	56
ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	64
Παράρτημα Ι: Νομοθετικό πλαίσιο	65

Πίνακας περιεχομένων εικόνων

Εικόνα 1: Ανάκτορο Κνωσσού. Το σπουδαιότερο αποχετευτικό σύστημα του Δυτικού κόσμου μέχρι τη Ρωμαϊκή εποχή.....	11
Εικόνα 2: Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	15
Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ., γραμμή επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος.....	20
Εικόνα 4: Είδη Λιμνών Σταθεροποίησης	26
Εικόνα 5: Συστήματα Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής	37
Εικόνα 6: Τεχνητός Υγροβιότοπο Επιφανειακής Ροής (FWS)	38
Εικόνα 7: Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής	40
Εικόνα 8: Τεχνητός Υγροβιότοπος οριζόντιας υπόγειας ροής.....	41
Εικόνα 9: Ψαθί.....	45
Εικόνα 10: Σήφη (<i>Scirpus</i> spp.)	46
Εικόνα 11: Καλάμι (<i>Phragmites</i> spp.).....	47
Εικόνα 12: Καλάμι « <i>Phragmites australis</i> ».....	47
Εικόνα 13: Καλάμι « <i>Phragmites communis</i> ».....	48
Εικόνα 14: Γίουγκος ή Βούρλο.....	49
Εικόνα 15: Κάρηξ ή Σπαθόχορτο.....	50

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Γεώργιο Παπαπολυμέρου του τμήματος Περιβάλλοντος που μου ανάθεσε αλλά και επίβλεψε την πτυχιακή μου εργασία, καθώς και για την εμπιστοσύνη την στήριξη αλλά και τη βοήθεια που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια της υλοποίησής της.

Ακόμη, ένα τεράστιο ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξη που μου πρόσφεραν σε όλα τα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας και ειδικότερα τους γονείς μου που με δικούς τους κόπους και προσπάθειες κατάφερα να ολοκληρώσω των κύκλο των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ και το προσωπικό του τμήματος περιβάλλοντος για την βοήθεια που μας προσέφεραν σε ό,τι πρόβλημα και αν είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μόλυνση του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση η έλλειψη του νερού, είναι από τα πολλά ζητήματα που απασχολούν παγκοσμίως όλο και περισσότερο τον επιστημονικό κλάδο αλλά και τους απλούς πολίτες. Ένας μεγάλος αριθμός ρύπων διαφεύγουν στο περιβάλλον, με αυτό τον τρόπο τόσο τα οικοσυστήματα όσο και οι ανθρώπινες ζωές εκτίθενται καθημερινά όλο και περισσότερο σε κίνδυνο.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων μπορούν να γίνουν παραγωγοί νέων πηγών ενέργειας, κρατώντας από τα λύματα τα θετικά στοιχεία και δημιουργώντας τόσο νέους φορείς ενέργειας όσο και επαναχρησιμοποιούμενα προϊόντα (Mmontshi et al., 2019).

Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων στην χώρα μας, είναι αρκετά δύσκολη σε σύγκριση με άλλες χώρες. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους αλλά και τον διαμοιρασμό του πληθυσμού σε διάφορα σημεία, τα οποία πολλές φορές είναι δύσκολο να τα προσεγγίσουμε.

Λέξεις κλειδιά: ρύπανση, απόβλητα, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, φυσικά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων

ABSTRACT

Environmental contamination and therefore water deficiency is one of the many issues that concern the worldwide and more and more worldwide issues. A large number of pollutants escape the environment, in this way both ecosystems and human lives are increasingly at risk.

Wastewater treatment plants can become producers of new sources of energy by keeping the positive elements from the sewage and creating both new energy carriers and reusable products (Mmontshi et al., 2019).

Managing liquid waste in our country is quite difficult compared to other countries. This is due to the morphology of the soil and the sharing of the population at various points, which are often difficult to approach.

Keywords: Pollution, Waste, Waste Waste Processing, Natural Waste Treatment Systems

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα μελέτης την κριτική σύγκριση φυσικών συστημάτων των υγρών αποβλήτων. Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται η γενική αναφορά στα απόβλητα. Δηλαδή, πραγματοποιείται η απαραίτητη ιστορική αναδρομή των αποβλήτων ενώ παρουσιάζονται και τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά τους.

Ακόμη, στο **δεύτερο κεφάλαιο**, εμφανίζονται τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, αναφερόμαστε στην προ-επεξεργασία, στην πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια αλλά και τριτοβάθμια επεξεργασία. Επίσης, εμβαθύνουμε την έρευνά μας καθώς αναλύουμε τόσο το στάδιο της απολύμανσης όσο και τους φυσικούς και χημικούς αντιδραστήρες. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται τα μηχανικά μέσα και η ακτινοβολία. Κλείνοντας το δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσουμε τον συνδυασμό των μεθόδων απολύμανσης αλλά και τα συστήματα συνδυασμένων τύπων.

Εν συνεχεία, στο **τρίτο κεφάλαιο** της πτυχιακής, γίνεται η αναφορά στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Αναλυτικότερα, αναπτύσσονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων αλλά και οι συμβατικές μέθοδοι. Παράλληλα, αναλύονται οι μέθοδοι προχωρημένης επεξεργασίας και τα φυσικά συστήματα.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, εμβαθύνουμε ακόμη περισσότερο την ερευνά μας, αφού παρουσιάζονται τα φυσικά συστήματα των υγρών αποβλήτων. Δηλαδή, πραγματοποιείται η ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Συνάμα, κατηγοριοποιούνται τα φυσικά συστήματα σε εδαφικά συστήματα διήθησης(κλίνες άμμου), λίμνες σταθεροποίησης και τις υποκατηγορίες τους. Στο ίδιο κεφάλαιο, αναφέρονται και οι εξισώσεις σχεδιασμού των αεριζόμενων λιμνών με τις απαραίτητες υποκατηγορίες όπως η παραγωγή ιλύος στις αερόβιες αεριζόμενες λίμνες και το απαιτούμενο οξυγόνο. Ταυτόχρονα, στην συγκεκριμένη ενότητα γίνεται αναφορά και στις αερόβιες-αναερόβιες αεριζόμενες λίμνες, οι οποίες επίσης ακολουθούνται από τις υποενότητές, στις οποίες απλά προστέθηκε ο υπολογισμός της θερμοκρασίας των αεριζόμενων λιμνών. Φυσικά, από το συγκεκριμένο κεφάλαιο δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε και τις εξισώσεις σχεδιασμού των λιμνών σταθεροποίησης αλλά και το μοντέλο Marais. Μια ακόμη ενότητα που βρίσκεται στο τέταρτο κεφάλαιο, είναι τα συστήματα των τεχνητών υδροβιότοπων, τα οποία χωρίζονται και αναλύονται σε δύο κατηγορίες. Πρώτον, στους υδροβιότοπους ελεύθερης επιφανειακής ροής και δεύτερον στους υδροβιότοπους με υπόγεια οριζόντια(FWS) ή και κατακόρυφη ροή(SFS). Αμέσως μετά την ανάλυση των δύο παραπάνω κατηγοριών ακολουθεί και η σύγκρισή τους. Ενώ κλείνοντας το τέταρτο κεφάλαιο, αναφερόμαστε στα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** της εργασίας, αναφέρεται στο σύνολο των φυτικών ειδών των υδροβιότοπων. Αρχικά, αναπτύσσονται οι προϋποθέσεις καταλληλότητας των φυτών. Αμέσως μετά γίνεται η κατηγοριοποίησή τους και τέλος αναφέρεται ο ρόλος των φυτών στους υδροβιότοπους.

Κλείνοντας, στο **έκτο και τελευταίο κεφάλαιο** της πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιείται η απαραίτητη σύγκριση των συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται η σύγκριση των φυσικών συστημάτων (τεχνητών υδροβιότοπων) με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Τέλος, στην εργασία εντάξαμε ένα παράρτημα, όπου εμφανίζεται το απαραίτητο νομοθετικό πλαίσιο ενώ μέσα στην εργασία έχουμε ενσωματώσει και το απαραίτητο φωτογραφικό υλικό. Σε όλα τα κεφάλαια υπάρχουν αναφορές στις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν ώστε να συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της εργασίας από τον αναγνώστη.

Κεφάλαιο 1^ο: Γενικά για τα απόβλητα

1.1 Ιστορική αναδρομή αποβλήτων

Είναι αξιοθαύμαστο πόση ανθρώπινη ιστορία μπορεί να έχει ένα σύστημα διαχείρισης λυμάτων. Αν ερευνήσουμε τη διαχείριση των λυμάτων, θα καταλάβουμε ότι τα κρύβεται μια μεγάλη ιστορία, η οποία συνδέεται άμεσα τόσο με αστική οικολογία όσο και με τη διάθεση των λυμάτων καθώς και τις κοινωνικοπολιτιστικές παραδόσεις (Lofrano & Brown, 2010).

Σύμφωνα με διάφορες μελέτες που έγιναν κατά την διάρκεια των ετών, ο πρώτος αποχετευτικός αγωγός εμφανίστηκε στην Βαβυλώνα το 4000 π.Χ και ήταν πήλινος. Βέβαια, υπήρχαν και άλλοι πολιτισμοί στους οποίους βρέθηκαν ευρήματα από συστήματα αποστράγγισης, ένας από αυτούς ήταν και ο ελληνικός πολιτισμός. Οι Μινωίτες, ήταν οι πρώτοι στον ελλαδικό χώρο που είχαν ένα οργανωμένο σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης (περίπου 3200 π.Χ- 1100 π.Χ).

Στον ελλαδικό χώρο, κατά τη διάρκεια των κλασσικών και των ελληνιστικών περιόδων, οι συνθήκες υγιεινής και η ποιότητα του νερού θεωρούνταν από τα πιο σημαντικά ζητήματα της κοινότητας, για αυτό τον λόγο εκείνες τις περιόδους υπάρχει μια ραγδαία ανάπτυξη, η οποία αφορά την κατασκευή λουτρών, τουαλετών και γενικά συστήματα αποχετεύσεων. Τα απόβλητα αρχικά χύνονταν από έναν αγωγό σε ένα μεγαλύτερο το κανάλι του δρόμου, το οποίο συνδέονταν με έναν πιο μεγάλο κύριο υπόνομο, και κατέληγαν σε έναν μοναδικό παραλήπτη (Lofrano & Brown, 2012).



Εικόνα 1: Ανάκτορο Κνωσού. Το σπουδαιότερο αποχετευτικό σύστημα του Δυτικού κόσμου μέχρι τη Ρωμαϊκή εποχή.

(Πηγή: <https://www.researchgate.net/publication/303863836>)

Αν και τα πρώτα σύγχρονα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων γίνονται γνωστά από τα μέσα του 19ου αιώνα, η επαναχρησιμοποίηση του νερού ξεκίνησε περίπου πριν από έναν αιώνα ποτίζοντας το Golden Gate Park στο Σαν Φρανσίσκο της Καλιφόρνια, με την χρήση επεξεργασμένων λυμάτων (Angelakis and Snyder, 2015; Angelakis et al., 2005; Hyde, 1937).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας(2014) *«Περισσότεροι από 2,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν χρησιμοποιούν βελτιωμένη αποχέτευση και τις περισσότερες φορές είναι χωρίς προστασία, με αποτέλεσμα να υπάρχει τεράστια ανάγκη για βιώσιμο και αποτελεσματικό από πλευράς κόστους εγκαταστάσεων αποχέτευσης, ιδιαίτερα στις πόλεις του αναπτυσσόμενου κόσμου».*

1.2 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Με τον όρο «λύματα» εννοούμε τα απόβλητα τα οποία προέρχονται από τα αστικά κέντρα και δημιουργούνται από τους ανθρώπους. Τα λύματά μπορεί να προέρχονται είτε από τα σπύτια είτε από εργοστάσια. Τα λύματα, διαφοροποιούνται από την γεωγραφική περιοχή, την πόλη αλλά και την χώρα. Έρευνες έχουν δείξει ότι τα λύματα που προέρχονται από τις μεσογειακές χώρες, έχουν αυξημένο στερεό υπόλειμμα και ρυπαντικό φορτίο σήψης. Αυτό εξαρτάται και από πολλούς παράγοντες όπως η αφθονία ή η έλλειψη του νερού στο νοικοκυριό, το κόστος του νερού αλλά και το πολιτιστικό και οικονομικό επίπεδο της εκάστοτε περιοχής (Βαγενάς, 2003). Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, φυσικά, χημικά και βιολογικά (Νταρακάς, 2010).

1.2.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι η ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων (Νταράκας 2014) αλλά και η θερμοκρασία, η οσμή, το χρώμα, η θολότητα και η πυκνότητα.

Η θερμοκρασία κατέχει σημαντικό ρόλο στα υγρά απόβλητα, καθώς ο ρόλος της είναι βοηθητικός. Αφορά κυρίως την διαλυτότητα και την δημιουργία μικροοργανισμών (<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/9/1501>). Επίσης, η οσμή είναι μια απόδειξη της κατάστασης που έχουν τα απόβλητα. Δηλαδή, τα απόβλητα που έχουν δεχτεί κάποια αποσύνθεση, μυρίζουν περισσότερο σε σύγκριση με τα απόβλητα που δεν έχουν δεχτεί ακόμη καμία σήψη, τα οποία όπως καταλαβαίνουμε μυρίζουν λιγότερο, εξαιτίας της έκκλησης υδρόθειου. Όσον αφορά το χρώμα, μας βοηθάει να καταλάβουμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα λύματα. Δηλαδή, εάν είναι φρέσκα ή αν υπάρχει αλλαγή στο χρώμα τους ξέρουμε ότι δεχτεί αποσύνθεση (Νταρακάς, 2010).

Επιπλέον, η θολότητα θεωρείται το κριτήριο διαύγειας του νερού, έτσι σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και για την μέτρηση της εκροής των αποβλήτων (Βλυσίδης, 2007). Τέλος, σχετικά με την πυκνότητα, είναι εξίσου σημαντικό κομμάτι για τα απόβλητα καθώς μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τα απόβλητα κατά την διαδικασία της καθίζησης (Metcalf & Eddy, 2012a).

1.2.2 Χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Στην κατηγορία των χημικών χαρακτηριστικών ανήκουν τα οργανικά συστατικά, τα ανόργανα συστατικά και τα αέρια.

Στα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ), τα οργανικά απόβλητα μπορεί να αποτελούν περίπου 30% έως 50% του συνολικού βάρους των απορριμμάτων. Αυτά τα ποσοστά μπορούν να ποικίλουν ευρέως, ανάλογα με τον τρόπο ζωής, τις διατροφικές συνήθειες, και τις πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων σε κάθε περιοχή. Το ποσοστό του 15-25% εμφανίζεται στις πρωτεΐνες, το αμέσως επόμενο ποσοστό είναι 25%-50% βρίσκεται στους υδατάνθρακες. Ενώ το μικρότερο ποσοστό το εντοπίζουμε στα λίπη και στα έλαια, αφού είναι μόλις 10-30%. Τέλος, υπάρχει και μια ακόμη κατηγορία, αυτή των επιφανειακών ενεργών ουσιών, οι φαινόλες, τα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα, για τα οποία δεν γνωρίζουμε το ποσοστό τους. (<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/9/1501>)

Στην κατηγορία των ανόργανων συστατικών μπορούμε να βρούμε το pH, το άζωτο (είτε σε μορφή αμμωνίας είτε σε μορφή οργανικού αζώτου), τα χλωρίδια, την αλκαλικότητα, θειικά και μέταλλα και διάφορα ήδη αερίων (Metcalf & Eddy, 1991).

1.2.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων

Στην κατηγορία των βιολογικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων εντάσσονται οι μικροοργανισμοί που πηγάζουν από τις κοπρανώδεις ουσίες. Οι πιο γνωστές κατηγορίες είναι οι μύκητες, τα βακτήρια και οι ιοί. Σπανιότερα μπορεί να προέχονται και από εντερικά παράσιτα, όπως οι αμοιβάδες ή αβγά σκουληκιών (Pettygrove and Asano 1984; Pepper et al., 2006; Ζιώγας 2015). Λόγω του ότι πολλοί μικροοργανισμοί είναι παθογόνοι, μέσω του νερού μπορούν να μεταφέρουν εύκολα ασθένειες όπως για παράδειγμα χολέρα, ηπατίτιδα κ.α. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούμε τους δείκτες ρύπανσης (Νταρακάς, 2010).

Κεφάλαιο 2º: Τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων

2.1 Στάδια επεξεργασίας

Τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων όπως είναι φανερό έχουν μια σειρά από διαδικασίες (φυσικές, χημικές, βιολογικές). Αυτές τις διαδικασίες τις χωρίζουμε σε αρχική επεξεργασία, πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία.

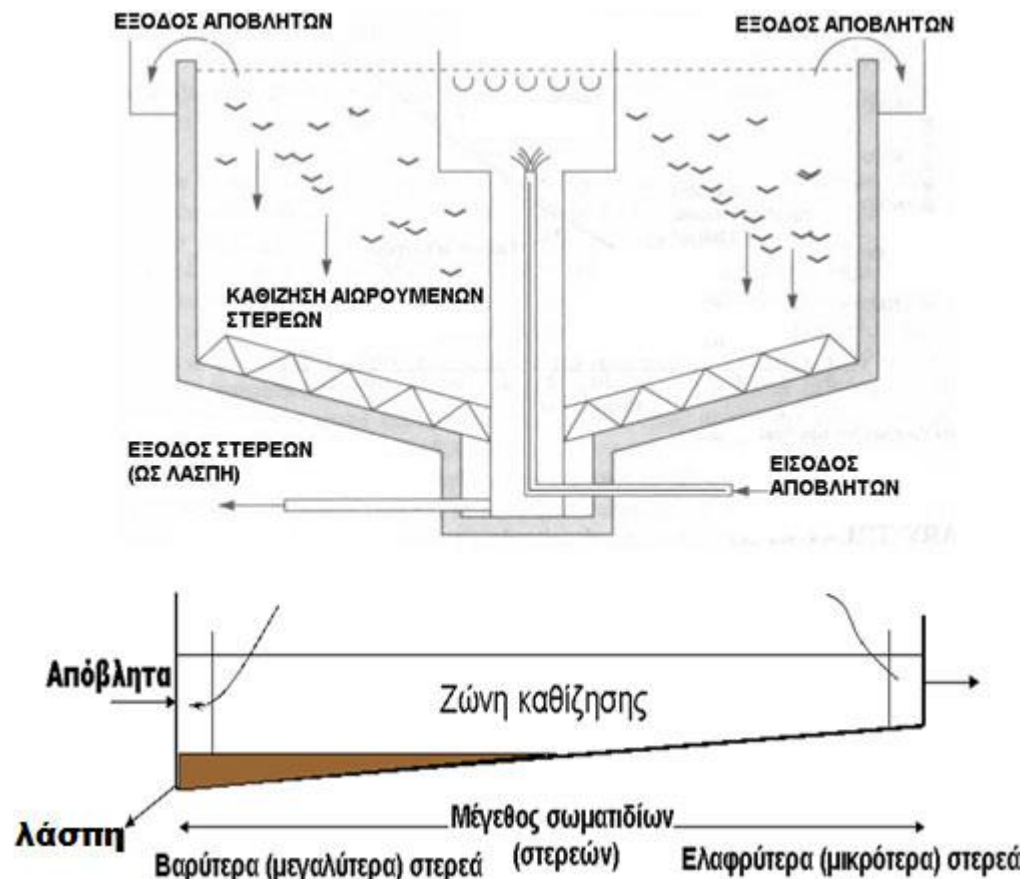
2.2 Προ επεξεργασία

Στο συγκεκριμένο στάδιο, αφαιρούνται από τα απόβλητα όλα τα στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν υλικές ζημιές στον τρόπο με τον οποίο εργάζονται τα υπόλοιπα συστήματα επεξεργασίας. Μερικά στοιχεία που μπορεί να προκαλέσουν τέτοιου είδους ζημιές είναι τα χαρτιά, τα λίπη και τα έλαια, τα υφάσματα αλλά και διάφορα αντικείμενα μεγάλου μεγέθους.

Οι διεργασίες που περιλαμβάνονται στην αρχική ή προκαταρκτική φάση είναι α) η εσχάρωση, ξεχωρίζει τα μεγάλα αντικείμενα, με την βοήθεια από τις σχάρες που έχει, β) αμμοσυλλογή κατά την οποία απομακρύνονται χαλίκια, κομμάτια άμμου και άλλα ορυκτά υλικά, γ) λιποσυλλογή, όπως φανερώνει και η λέξη αφαιρούνται τα λίπη και τα έλαια (Shamas et al., 2015).

2.2.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, απομακρύνονται τα στερεά απόβλητα. Η συγκεκριμένη επεξεργασία έχει δύο κομμάτια. Το πρώτο είναι η καθίζηση ή αλλιώς επίπλευση και το δεύτερο είναι η χημική επεξεργασία με καθίζηση. Πολλές φορές, χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν χημικά ώστε να απομακρυνθούν τόσο τα στερεά όσο και να επιτευχθεί και η καθίζηση. Για να μπορέσουμε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα στην απομάκρυνση η ταχύτητα επίλυσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την ταχύτητα υπερχειλίσης. Όσον αφορά το χρονικό διάστημα που έχει να κάνει με την συγκράτηση διάφορων υγρών ουσιών πρέπει να είναι εξίσου επαρκής για να επιτευχθεί ο ορθός διαχωρισμός των στερεών (Shamas et al., 2015).



Εικόνα 2: Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

(Πηγή: http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_3.html)

2.2.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία ασχολείται με την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών, με την βοήθεια βιολογικών εργασιών και κατά συνέπεια μικροοργανισμών, οι οποίοι με την σειρά τους «τρώνε» τις οργανικές ουσίες. Η διαδικασία αυτή, αναβαθμίζεται με την χορήγηση οξυγόνου ενώ οι απαιτήσεις που αφορούν το χρονικό διάστημα είναι περιορισμένες.

Υπάρχει ένα πλήθος μεθόδων βιολογικής επεξεργασίας. Οι πιο γνωστές είναι η μέθοδος ενεργού ιλύος και η διαδικασία της διήθησης. Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, οι μικροοργανισμοί έχουν την δυνατότητα της αερόβιας διάσπασης των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Η ενεργής ιλύς αποτελείται από δύο συστήματα. Το πρώτο ονομάζεται δεξαμενή αερισμού, στο οποίο οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες έχοντας βοηθό τους το οξυγόνο είτε αυτό προέρχεται από τις ανακινήσεις είτε με τεχνικούς τρόπους. Το δεύτερο σύστημα, ονομάζεται δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης, στόχος της είναι η απορρόφηση-αφομοίωση και η χημική επεξεργασία της καθίζησης (Κούγκολος, 2005, Μαρκαντωνάτος, 1990).

Σχετικά με την δεύτερη μέθοδο, την διαδικασία της διήθησης, είναι ίδια με την μέθοδο της ενεργού ιλύος, με την μονή διαφορά ότι στην διαδικασία της διήθησης τα απόβλητα κινούνται σε μια ειδική επιφάνεια και οι μικροοργανισμοί κολλάνε πάνω τους. Τέλος,

και στην διαδικασία της διήθησης τόσο το οξυγόνο, η επαρκής τροφή αλλά και τα θρεπτικά συστατικά θεωρούνται εξίσου σημαντικά (Shamas et al, 2015).

Βέβαια, στη δευτεροβάθμια επεξεργασία εντάσσονται και άλλες μέθοδοι. Μερικές από αυτές είναι οι αεριζόμενες λίμνες, πολλές φορές τις συναντάμε και με την ονομασία λίμνες σταθεροποίησης, τα βιολογικά φίλτρα και οι βιολογικοί δίσκοι.

2.2.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία

Ο στόχος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας δεν είναι άλλος από την απομάκρυνση κάποιων ουσιών που ρυπαίνουν. Αυτές οι ουσίες όπως καταλαβαίνουμε δεν διώχνονται στα στάδια που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Το συγκεκριμένο στάδιο μπορούμε να το παραλείψουμε σε κάποια απόβλητα. Σκοπός της επεξεργασίας είναι αφενός η προστασία του περιβάλλοντος και αφετέρου την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων (Κούγκολος, 2005, Μαρκαντωνάτος, 1990).

2.2.4 Απολύμανση

Πριν την διήθηση στον τελικό αποδέκτη, τα υγρά απόβλητα περνάνε και από ένα ακόμα στάδιο που το ονομάζουμε απολύμανση. Η απολύμανση έχει ως κύριο στόχο της, να εξουδετερώσει τους μικροοργανισμούς που βρίσκονται σε μέσα στο νερό που δεν μπορούσαν να διωχθούν από τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας. Για την υλοποίηση της απολύμανσης, κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούμε «εργαλεία» όπως χημικούς αλλά και φυσικούς αντιδραστήρες, μηχανικά μέσα και τέλος την ακτινοβολία.

2.2.4.1 Χημικοί αντιδραστήρες

Στα χημικά αντιδραστήρια για να μπορέσει να επιτευχθεί η απολύμανση, γίνεται χρήση υλικών όπως το βρώμιο, το χλώριο, τις αλκοόλες, το όζον, την φαινόλη, το ιώδιο, τα βαρέα μέταλλα, ποικίλες χρωστικές ενώσεις, διάφορα οξέα, πλήθος σαπουνιών αλλά και απορρυπαντικών κ.α. Τα πιο γνωστά υλικά- απολυμαντικά που χρησιμοποιούνται είναι αυτού του είδους τα χημικά που προκαλούν οξείδωση αλλά και το χλώριο. Τα συγκεκριμένα απολυμαντικά εξουδετερώνουν τα κύτταρα των μικροοργανισμών (Λυμπεράτος, 2003).

2.2.4.2 Φυσικοί αντιδραστήρες

Τα απολυμαντικά των φυσικών αντιδραστήρων είναι τα ηχητικά κύματα, η θερμότητα και το φως. Είναι γνωστό πως κατά την διάρκεια του βρασμού εξουδετερώνεται ένα μεγάλο ποσοστό των βακτηρίων, τα οποία είναι υπεύθυνα για αρκετές ασθένειες. Ακόμη, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το φως του ηλίου θεωρείται ένας τρόπος απολύμανσης. Μέσω της ακτινοβολίας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρατηρείται πως αναπτύσσονται μικροβιοκτόνες ιδιότητες. Βέβαια, το παραπάνω φαινόμενο αφορά μικρές ποσότητες νερού, στην περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες ποσότητες ακάθαρτων λυμάτων, η μέθοδος της ακτινοβολίας δεν συνιστάτε, καθώς απορροφάται από τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια.
(<https://www.nature.com/articles/s41598-023-34633-7.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.nature.com%2Farticles%2Fs41598>)

2.2.4.3 Μηχανικά μέσα

Με την μέθοδο των μηχανικών μέσων επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των μικροοργανισμών και των βακτηρίων μέσα από τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, τα οποία πραγματοποιούνται με μηχανικό τρόπο. Δηλαδή, μέσα από το στάδιο της εσχάρωσης, της αμμοσυλλογής κ.α. Πιο συγκεκριμένα, το απόβλητο κατά την διάρκεια ύπαρξης του στις χοντρές σχάρες απομακρύνει ένα ποσοστό 0%-5%. Ενώ στις λεπτές σχάρες παρατηρείται ότι απομακρύνεται ένα 10%-20%. Επιπλέον, κατά την διαδικασία της αμμοσυλλογής παρουσιάζονται ποσοστά 10%-25%. Κατά την διεργασία της απλής καθίζησης διώχνεται το 25%-70% των βακτηρίων και των μικροοργανισμών. Ενώ κατά την διεξαγωγή της χημικής καθίζησης παρατηρείται μια ικανοποιητική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών με ποσοστό 40%-80%. (<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/3A%200%25%20>)(<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/PURL>)

Τα μεγαλύτερα ποσοστά της απομάκρυνσης των μικροοργανισμών και των βακτηρίων εμφανίζονται στην μηχανική επεξεργασία των βιολογικών φίλτρων, με ποσοστό 90%-95% ενώ αμέσως μετά βρίσκεται η ενεργός ιλύς, η οποία κατέχει το ποσοστό 95%-98%. Τέλος, το μεγαλύτερο ποσοστό διεργασίας των μηχανικών μέσων παρουσιάζεται κατά την χλωροποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων, αφού καλύπτει το 98%-99,99% (Metcalf & Eddy, 2012a).

2.2.4.4 Ακτινοβολία

Μια ακόμη μέθοδος απολύμανσης θεωρείται η ακτινοβολία. Η συγκεκριμένη μέθοδος χωρίζεται σε τρία(3) είδη. Την ηλεκτρομαγνητική, την ηχητική και την σωματιδιακή. Στις ακτίνες γάμα, εξαιτίας των δεσμευτικών δυνάμεων που έχουν, τους δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως μέσω απολύμανσης του νερού και κατ' επέκταση των υγρών αποβλήτων. Στον Δυτικό κόσμο, η παραπάνω μέθοδος δεν προτιμάται καθώς το χρηματικό ποσό που χρειάζεται για να λειτουργήσει είναι αρκετά μεγάλο (Metcalf & Eddy, 2012a).

2.2.4.5 Συνδυασμός μεθόδων απολύμανσης

Ο συνδυασμός των προαναφερθέντων μεθόδων απολύμανσης, πιστεύεται ότι έχει μεγάλα ποσοστά επιτυχίας, σχετικά με το στάδιο της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων. Για παράδειγμα, συνδυάζοντας την διεργασία της χλωροποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με την μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θεωρούνται παρά πολύ αποτελεσματικά για την εξουδετέρωση των παθογόνων βακτηρίων. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τον συνδυασμό χλωρίωσης και μεμβρανών (Salgot & Folch, 2018).

2.2.5 Συστήματα συνδυασμένων τύπων

Ένα από τα συστήματα συνδυασμένων τύπων επεξεργασίας των λυμάτων είναι η χρήση των μεμβρανών. Η μέθοδος αυτή, καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα που αφορά την απορρόπηση των υγρών αποβλήτων, βιομηχανικών ή οικιακών. Το φιλτράρισμα που κάνουν οι μεμβράνες, μπορεί να θεωρηθεί και ως αυτόνομη διεργασία ή ακόμα και να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά.

Μια μεμβράνη απαρτίζεται από ένα λεπτό φύλλο (π.χ πολυμερές, μεταλλικό ή κεραμικό υλικό) και είναι ένα φράγμα, το οποίο δίνει την ευκαιρία σε συγκεκριμένα συστατικά να εισέλθουν μέσω του τροφοδοτούμενου ρεύματος, ενώ ταυτόχρονα συγκροτεί και κάποια συστατικά που δεν τα θεωρεί χρήσιμα (Κάτσου, 2011).

Το πόσο μεγάλοι ή μικροί είναι οι πόροι μιας μεμβράνης, καθορίζει και το είδος της διεργασίας που υλοποιείται. Αυτό συμβαίνει επειδή οι πόροι είναι αυτοί που προσδιορίζουν ποιες ουσίες την εισέλθουν στο σύστημα και ποιες όχι (Metcalf and Eddy, 2006). Τόσο στις μικροδιηθήσεις (MF)¹ όσο και στις υπερδιηθήσεις (UF)², η διάκριση του φιλτραρίσματος γίνεται εξαιτίας της διαφοράς που υπάρχει στην πίεση ανάμεσα στο τροφοδοτούμενο ρεύμα και του διυλίσματος.

Οι μεμβράνες που αφορούν τις μικροδιηθήσεις, είναι κατάλληλες για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, δεν μπορούν όμως να απομακρύνουν τις διαλυτές ουσίες είτε αυτές εντάσσονται στην κατηγορία των οργανικών ουσιών είτε εντάσσονται στις ανόργανες ουσίες (Metcalf and Eddy, 2006). Επίσης, οι μεμβράνες που αφορούν τις υπερδιηθήσεις, έχουν την δυνατότητα να διώχνουν αιωρούμενα σωματίδια αλλά και ιξώδη σωματίδια όπως για παράδειγμα ιούς και διαλυτές οργανικών ουσιών που εμφανίζουν αρκετά μεγάλη σχετική μοριακή μάζα. Παρόλα αυτά, στις μεμβράνες αυτές δεν δίνεται η δυνατότητα για συγκρότηση των διαλυτών ανόργανων ουσιών αλλά και των οργανικών σωματιδίων που εμφανίζουν μικρή σχετική μοριακή μάζα (Metcalf and Eddy, 2006; Κάτσου, 2011).

Οι κατηγορίες των μεμβρανών της αντίστροφης ώσμωσης (RO)³ και της νανοδιήθησης (NF)⁴ δεν διαφέρουν και πολύ μεταξύ τους. Και οι δύο μεμβράνες βρίσκουν εφαρμογή ως ανεξάρτητα συστήματα που έχουν στόχο την απομάκρυνση μεταλλικών ηλεκτρονικών φορτισμένων ατόμων. Αυτό γίνεται επειδή οι πόροι είναι μικροί με αποτέλεσμα να υπάρχει συγκράτηση τους. Κρίνεται απαραίτητο, το κομμάτι της κατάλληλης και προσεκτικής προ επεξεργασίας (Κάτσου, 2011).

Οι τεχνολογίες των μεμβρανών, ανταποκρίνονται πλήρως στα μέτρα που αφορούν την αξιολόγηση της ικανότητας της συνέχισης της ύπαρξης της ζωής. Μερικά από αυτά τα κριτήρια είναι οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο οικοσύστημα, οι ανέσεις που υπάρχουν κατά την χρήση τους αλλά και κατά την χρήση της γης ενώ από τα τελευταία κριτήρια είναι η ικανότητα να πραγματοποιούνται άμεσα οι απαραίτητες αλλαγές με αποτέλεσμα να ανταποκρίνονται στις περιστάσεις. Ταυτόχρονα όμως, οι τεχνολογίες αυτές κατά την εφαρμογή τους πέφτουν πάνω σε εμπόδια. Κάποιες από αυτές τις δυσκολίες είναι η απόκτηση αλλά και η έλλειψη νερού και ενέργειας.

Για να μπορέσουν οι τεχνικές αυτές να βελτιστοποιηθούν όσο γίνεται περισσότερο πρέπει να σημειωθεί πρόοδος στα υλικά κατασκευής των εκάστοτε μεμβρανών, αυτό φυσικά εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες όπως το κόστος, την κατανάλωση ενέργειας κ.α (Hai, Alturki, Nguyen, Price, & Nghiem, 2016).

¹ MicroFiltration

² UltraFiltration

³ Reverse Osmosis

⁴ NanoFiltration

Όπως γίνεται φανερό και από τα παραπάνω, όλες οι διεργασίες των μεμβρανών παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Ενώ η ύπαρξη των περισσότερων μεμβρανών τους στην αγορά δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως. Η πιο γνωστή μεμβράνη που βρίσκεται στο εμπόριο αυτή την χρονική στιγμή είναι αυτή της αντίστροφης ώσμωσης (RO).

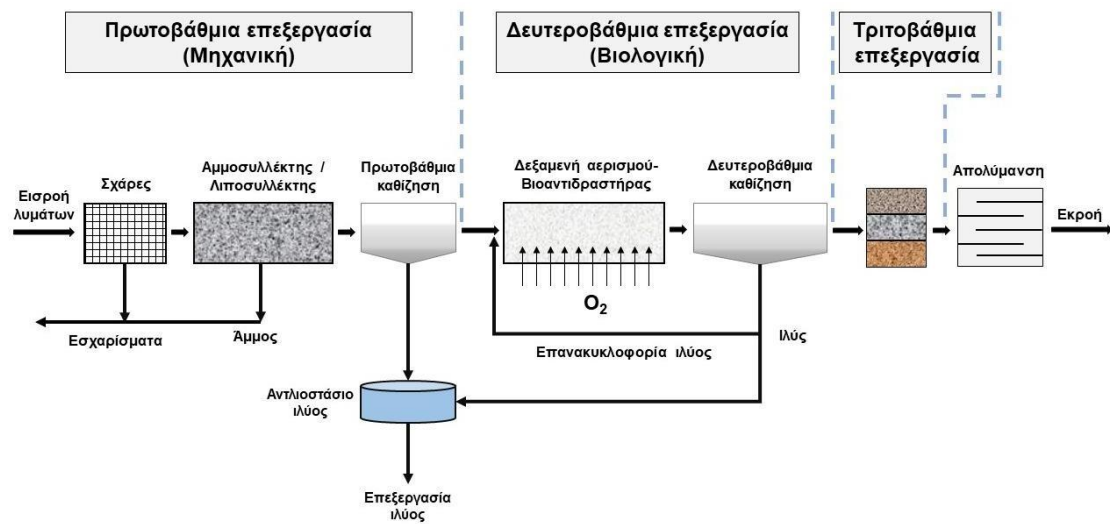
Πέρα από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν πιο πάνω, τα τελευταία χρόνια στο επίκεντρο των ερευνών βρίσκονται και οι διαδικασίες διπλής μεμβράνης ή αλλιώς οι διαδικασίες συνδυασμένων τύπων και οι υβριδικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές έχουν ως κύριο στόχο τους την εξουδετέρωση όλων των ρύπων.

Ένα παράδειγμα συνδυασμένων τύπων είναι η διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων σε συνδυασμό με διεργασίες όπως η νανοδιήθηση ή αυτή της αντίστροφης ώσμωσης. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να καταφέρει να απομακρύνει τους ρύπους που είτε απωθούνται από το νερό είτε «έλκονται» από το νερό. Συνάμα, με την «καινούργια» διαδικασία συγκεντρώνονται αρκετές οργανικές ή ιξώδεις ενώσεις, ώστε να περιοριστούν τα προβλήματα που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησαν οι Nguyen et al.(2013), δηλώνουν ότι «Ένα τέτοιο μοντέλο διεργασίας μπορεί να αφαιρέσει ποσοστό από 90% έως 100% μεταξύ 22 διαφορετικών *TrCOs*⁵, από διάφορα συνθετικά λύματα».

Ένα άλλο παράδειγμα, είναι ο συνδυασμός της διαδικασίας βιολογικής επεξεργασίας με την εμπρόσθια ώσμωση (FO)⁶, τα αποτελέσματα της οποίας έχουν δώσει πολλές ελπίδες. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό της ρύπανσης είναι μικρότερο, αυτό συμβαίνει λόγω του χαρακτήρα της εμπρόσθιας ώσμωσης. Ακόμα, στην διεργασία της εμπρόσθιας ώσμωσης, υπάρχει δυνατότητα να κρατηθούν τόσο μικρές όσο και επίμονες ποσότητες χημικού οξυγόνου στην εκάστοτε συσκευή που προκαλείται η ανάλογη αντίδραση. Με αυτόν τον τρόπο, μεγαλώνει το χρονικό διάστημα συγκράτησης των ουσιών, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση της αποσύνθεσης του υλικού με βιολογικό τρόπο. Βέβαια, η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας αλάτων στον αντιδραστήρα σηματοδοτεί και τα άκαρπα αποτελέσματα της διεργασίας. Τέλος, για να φέρει καρπούς ο συγκεκριμένος συνδυασμός θα πρέπει να τίθενται νέοι στόχοι που αφορούν την συγκεκριμένη διεργασία (Le & Nunes, 2016).

⁵ Trace Organic Contaminant

⁶ Forward Osmosis



Εικόνα 3:Διάγραμμα ροής Ε.Ε.Λ., γραμμή επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος

(Πηγή: Νταρακάς, 2010)

Κεφάλαιο 3^ο: Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

3.1 Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, βασίζεται στη διαδικασία της καθίζησης σε συνδυασμό φυσικοχημικές ή βιολογικές διαδικασίες. Για να μπορέσουμε να έχουμε όσο γίνεται καλύτερα αποτελέσματα ο συνδυασμός μεθόδων κρίνεται απαραίτητος (Τσαλκατίδου Μ., 2010). Παρακάτω, θα αναλυθούν οι πιο γνωστές μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

3.1.1 Συμβατικές μέθοδοι

Στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας, εντάσσονται τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2^ο). Σε αυτή την κατηγορία είναι μέλος και η χημική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι διαδικασίες που συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία έχουν την δυνατότητα να υλοποιούνται είτε μόνες τους είτε με την βοήθεια ποικίλων φυσικών ή βιολογικών διαδικασιών που έχουν στόχο τον καθαρισμό. Η απολύμανση και η προσρόφηση είναι αυτές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά.

Κατά κύριο λόγο, η απολύμανση κατέχει τον ρόλο της καταστροφής των μικροοργανισμών που μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες. Τέλος, η προσρόφηση είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση των οργανικών αλλά και των ανόργανων ρύπων από τα απόβλητα (Zhang and Chuang, 2001).

3.1.2 Μέθοδοι προχωρημένης επεξεργασίας

Ένα μεγάλο κομμάτι, του BOD⁷ όσο και των αιωρούμενων στερεών που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα διώχνεται στα στάδια της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Όπως σε κάθε κανόνα υπάρχουν οι εξαιρέσεις, το ίδιο συμβαίνει και σε αυτή την περίπτωση. Δηλαδή, σε αυτά τα στάδια η επεξεργασία φαίνεται πως δεν αρκεί και έτσι είμαστε αναγκασμένοι να προσθέσουμε και επιπλέον στάδια. Στα επιπλέον στάδια, γίνεται η απομάκρυνση τόσο των οργανικών όσο και των στερεών. Αυτό συμβαίνει είτε για να μπορέσουν να προστατευτούν τα ύδατα αποδοχής είτε έχουν ως στόχο το νερό να επαναχρησιμοποιηθεί από βιομηχανίες ή ακόμα να πραγματοποιηθεί η ανακύκλωση του μέσα στην χώρα. Τέλος, στα επιπλέον στάδια προβλέπονται και για την απομάκρυνση τόσο των θρεπτικών όσο και των τοξικών υλικών (Sonune and Ghate, 2004).

3.1.3 Φυσικά συστήματα

Το νερό που περνάει μέσα από τα ποτάμια, τις λίμνες, τους υδροβιότοπους και τα ρεύματα έχει την δυνατότητα να καθαριστεί και μέσα από φυσικές διεργασίες. Τα τελευταία χρόνια, λοιπόν, παρατηρείται μια αύξηση που αφορά την δημιουργία συστημάτων, που ως κύριο «εργαλείο» τους έχουν τις φυσικές διαδικασίες. Σκοπός αυτών των συστημάτων δεν είναι άλλος από την βελτιστοποίηση της ποιότητας του νερού (U.S. EPA, 2002).

7

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CE%BF%CE%BE%CF%85%CE%B3%CF%8C%CE%BD%CE%BF

Τα «νέα» συστήματα τα ονομάζουμε «*φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων*» Με τον όρο «φυσικά συστήματα» εννοούμε την επεξεργασία που συμβαίνει στα υγρά απόβλητα με φυσικά μέσα και διαδικασίες (φυσικές, χημικές, βιολογικές ή συνδυασμός τους). Οι διαδικασίες αυτές υλοποιούνται στο περιβάλλον (Αγγελάκης και Τσαγκαράκης, 2002). Οι συμβατικές μέθοδοι και τα φυσικά συστήματα πολλές φορές έχουν κοινές διεργασίες (π.χ καθίζηση, φιλτράρισμα, η προσρόφιση κ.α) Παρόλα αυτά, στα φυσικά συστήματα βρίσκουμε και πλήθος διεργασιών που δεν εμφανίζονται στις άλλες μεθόδους όπως για παράδειγμα η φωτοσύνθεση και η πρόληψη από τα φυτά κ.α (Αγγελάκης and Tchobanoglous, 1995; Προχάσκα, 2005).

Κεφάλαιο 4^ο: Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

4.1 Ιστορική αναδρομή εξέλιξης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Η αποκατάσταση και η εκ νέου χρησιμοποίηση του νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την πρακτική της εδαφικής αξιοποίησης των υγρών αποβλήτων. Η πρακτική αυτή, προσδιορίζεται χρονικά την περίοδο της Μινωικής εποχής (όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 1^ο). Εκείνη την εποχή η χορήγηση των υγρών αποβλήτων, ήταν μια μέθοδος για να μπορούν να ποτίζουν τις καλλιέργειες τους οι Μινωίτες. Φυσικά η μέθοδος αυτή, παρατηρήθηκε τόσο στην Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο όσο και στο Βυζάντιο, ενώ με το πέρασμα των ετών γνωστοποιήθηκε από τον Ελλαδικό χώρο σε όλη την υπόλοιπη Ευρώπη (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Στα μέσα του 16^{ου} αιώνα, βρίσκουμε στην κεντρική Ευρώπη κατασκευές συστημάτων άρδευσης των καλλιεργειών, οι οποίες χορηγούνται από τα υγρά αστικά απόβλητα. Σημαντικό αποδεικτικό στοιχείο, θεωρείται η ολοκλήρωση του πρώτου αποχετευτικού συστήματος στην πόλη Bunzlau της Γερμανίας το 1531 και κατά συνέπεια η χρησιμοποίηση των λυμάτων που στόχο είχαν το πότισμα των καλλιεργειών από τους αγρότες. Με το πέρασμα των χρόνων και στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, τα συστήματα αποχέτευσης αυξάνονται όλο και περισσότερο, ενώ ταυτόχρονα στα μέσα του 19^{ου} αιώνα γίνεται πιο έντονη και η εκ νέου χρησιμοποίηση του νερού (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Στο Παρίσι του 1900, τα υγρά απόβλητα, τα οποία είχαν υποστεί κάποια επεξεργασία θεωρούνταν κατάλληλα για την άρδευση. Επίσης, το 1904 στο Μεξικό, εγκατέστησαν την πρώτη μεγάλη μονάδα διαχείρισης υγρών αποβλήτων που είχε ως στόχο την χορήγηση μεγάλων όγκων αποβλήτων που δεν είχαν υποστεί καμία απολύτως επεξεργασία και έρχονταν απευθείας από το αποχετευτικό σύστημα της πόλης (Zhang and Shen, 2019).

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα και πριν ακόμη την ανάπτυξη των τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων, τα λύματα απορρίπτονταν στα χωράφια με σκοπό την αποφυγή της ρύπανσης του νερού (Bahri, 2015).

Στην Αμερική κατά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, πραγματοποιήθηκαν κάποιες ενέργειες για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων, λόγω όμως των ελάχιστων πόρων αλλά και άλλων παραγόντων που αφορούσαν τα υγρά απόβλητα, οι ενέργειες αυτές δεν βρήκαν την ανταπόκριση που περίμεναν. Παρόλα αυτά, το έτος 1918 το κράτος παρότρυνε τους πολίτες να χρησιμοποιήσουν ξανά τα υγρά αστικά απόβλητα. Για αυτόν τον λόγο, καθιέρωσε με νομοθεσία κάποια κριτήρια, τα οποία θα προφυλάσσουν πλέον την δημόσια υγεία. Τα επεξεργασμένα αυτά υγρά απόβλητα ήταν εξ' ολοκλήρου για τις καλλιέργειες που δεν αφορούσαν τους ανθρώπους (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Όπως είναι φανερό και από τα παραπάνω, κατά τον 20^ο αιώνα, κατασκευάζεται ένα πλήθος νέων έργων, που σχετίζεται με την εκ νέου χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και που έχει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την αποδοχή από τους ανθρώπους. Πιο συγκεκριμένα, το 1926 πάλι στην Αμερική και αυτή την φορά στο Grand Canyon National Park, χορηγήθηκαν για πρώτη φορά υγρά απόβλητα με σκοπό τον καθαρισμό των ειδών υγιεινής αλλά και το πότισμα του χλοοτάπητα. Παρόμοιο

παράδειγμα συναντάμε και στην Pomona της Καλιφόρνιας το 1929. Βέβαια, την δεκαετία του 1960 ακολούθησαν και άλλα έργα όπως η παροχή νερού σε γήπεδα, πάρκα, δρόμους κ.α (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού δεν επηρέασε μόνο την Αμερική αλλά και άλλες χώρες στον παγκόσμιο χάρτη, μια από αυτές ήταν και η Τυνησία. Πέρα από την φροντίδα των καλλιεργειών, το ανακυκλωμένο νερό βοήθησε και στην μείωση της ποσότητας του αλατιού που βρίσκεται στους υπόγειους υδροφόρους (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009). Το 1968, στην πόλη Βίντχουκ (πρωτεύουσα της Ναμιμπίας), δημιουργήθηκε σύστημα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, στο οποίο δεν μεσολαβούσαν άλλοι παράγοντες και είχε ως κύριο μέλημά του την αύξηση του πόσιμου νερού (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Αξιοσημείωτο είναι η εκ νέου χρήση των υγρών αποβλήτων, με σκοπό την ψύξη των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το 1985 υλοποιείται στο Ελ Πάσο στο Τέξας, μια διαδικασία που έχει ως κύριο στόχο την αύξηση της περιεκτικότητας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Παρανυχιανάκης κ.α, 2009).

Τα τελευταία χρόνια, η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων αυξάνεται με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό φανερώνεται από το ότι οι όγκοι επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων αυξάνονται κατά ποσοστό 10–29% κάθε χρόνο στην Ευρώπη, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Κίνα. Ενώ στην Αυστραλία μπορεί να φτάσει και το 41%. Τα τελευταία 10 χρόνια περίπου, εξαιτίας της ταχείας προόδου αλλά και της αποδοχής των μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τον κόσμο, η χρήση του ανακυκλώσιμου νερού στις ανεπτυγμένες χώρες έχει γνωστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Αφού πλέον χρησιμοποιείται όχι μόνο για τις καλλιέργειες αλλά και για έμμεση και άμεση επαναχρησιμοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης ως πόσιμο νερό (Rodriguez et al., 2009).

4.2 Κατηγορίες φυσικών συστημάτων

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι μια διαφορετική και σύγχρονη μέθοδος επεξεργασίας των αποβλήτων. Τα φυσικά συστήματα, έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, κάποια από αυτά είναι το χαμηλό κόστος τόσο της κατασκευής όσο και της λειτουργίας τους. Ενώ ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η λειτουργία και η συντήρηση των κατασκευών σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα.

Τα φυσικά συστήματα έχουν ως κύριο εργαλείο τους τις φυσικές, χημικές αλλά και βιολογικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται στο περιβάλλον, με αργούς ρυθμούς ενώ δεν επηρεάζονται από από άλλους παράγοντες όπως για παράδειγμα, την ενέργεια (Πανώρας, Ανδρέας, 1999). Φυσικά, και όλων των ειδών τα φυσικά συστήματα χρειάζονται επεξεργασία, οι επεξεργασίες αυτές γίνονται είτε με συμβατικό είτε με μηχανικό τρόπο.

Τα φυσικά συστήματα κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις (4) κατηγορίες, η κάθε μία από αυτές έχει και υποκατηγορίες. Η πρώτη είναι τα εδαφικά συστήματα διήθησης(κλίνες άμμου). Στην δεύτερη εντάσσονται οι λίμνες σταθεροποίησης. Ακόμη, στην τρίτη κατηγορία βρίσκονται οι τεχνητοί υγρότοποι. Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα συστήματα κλίνης φυτών ελεύθερης επιφανειακής ροής, συστήματα

κλίνης (φυτών) κατακόρυφης υπόγειας ροής και τα συστήματα κλίνης (φυτών) οριζόντιας υπόγειας ροής. Και τέλος, στην τέταρτη κατηγορία έχουμε τοποθετήσει τα συστήματα των επιπλέοντων υδροχαρών φυτών.

4.3 Εδαφικά συστήματα διήθησης(κλίνες άμμου)

Τα εδαφικά συστήματα διήθησης συγκροτούνται από τις υποκατηγορίες της βραδείας εφαρμογής, της ταχείας διήθησης και της επιφανειακής ροής (<https://ypen.gov.gr/>). Όπως είναι φυσικό, η ονομασία της συγκεκριμένης κατηγορίας προέρχεται από δύο έννοιες α) από το υδραυλικό σύστημα και β) από τις ταχύτητες διήθησης των υγρών αποβλήτων στη γη.

Η φυσική διεργασία στην οποία διώχνονται τόσο αιωρούμενες όσο και κολλοειδείς ουσίες από το νερό, όπως αυτό ρέει μέσα από πορώδες μέσο, ονομάζεται διήθηση. Συγκεκριμένα το νερό διέρχεται μέσω στρώματα/κλίνες άμμου, οι οποίες είναι γεμάτες πόρους. Έτσι, τα σωματίδια που βρίσκονται μέσα στο νερό απομακρύνονται είτε με το να συσσωρεύονται στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου είτε με συγκράτηση στη μάζα του (Τσώνης, 2003). Με την διήθηση απομακρύνονται τα αιωρούμενα στερεά, τα οποία δεν έχουν απομακρυνθεί στις προηγούμενες διεργασίες (κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση) και θεωρείται το τελικό στάδιο της συνολικής διεργασίας του καθαρισμού του νερού, πριν περάσουμε στο στάδιο της απολύμανσης (Μήτρακας, 2001). Το νερό που προκύπτει ύστερα από την διεργασία της διήθησης μπορεί να έχει θολότητα μικρότερη από 0.2 μονάδες, ενώ η απομάκρυνση των βακτηριδίων στο σύστημα μέσω κροκιδώσεως-καθιζήσεως-διήθησης μπορεί να φτάσει περίπου στα 99%.

4.4 Λίμνες σταθεροποίησης

Οι λίμνες σταθεροποίησης, εντάσσονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Θεωρούνται από τις πιο γνωστές και διαδεδομένες μεθόδους επεξεργασίας τόσο των οικιακών όσο και των δημοτικών αποβλήτων στις αναπτυσσόμενες περιοχές. Το κλίμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς επηρεάζει σημαντικά τόσο το κριτήριο της αποτελεσματικότητας όσο και της λειτουργίας τους (Βάνγκιους, 2021).

Το κόστος που χρειάζεται για να τεθούν σε λειτουργία οι λίμνες σταθεροποίησης είναι χαμηλό, εξίσου χαμηλό είναι και οι δαπάνες συντήρησης αφού έχουν εξολοκλήρου φυσική μορφή και μεγάλο επίπεδο βιωσιμότητας. Ακόμα, οι λίμνες των φυσικών συστημάτων δεν έχουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται το κόστος σχετικά με την συντήρηση και την απαιτούμενη ενέργεια. Η ενέργεια που παρέχεται είναι η ηλιακή ενέργεια. Η μοναδική απαίτηση των λιμνών σταθεροποίησης, είναι ότι χρειάζονται μεγάλες εδαφικές εκτάσεις γης σε αντίθεση με τους ηλεκτρομηχανικούς τρόπους επεξεργασίας (Βάνγκιους, 2021).

Με την αναφορά μας, στις λίμνες σταθεροποίησης εννοούμε τις λίμνες οι οποίες είναι ρηχές, ανθρωπογενούς προελεύσεως. Εντός των λιμνών σταθεροποίησης υλοποιείται η ροή των λυμάτων και ύστερα από την παραμονή τους για ένα χρονικό διάστημα

κάποιων ημερών, σε σύγκριση πάντα με τα συμβατικά συστήματα όπου το χρονικό διάστημα που παραμένουν τα λύματα είναι κάποιες ώρες (Βάνγκιους, 2021).

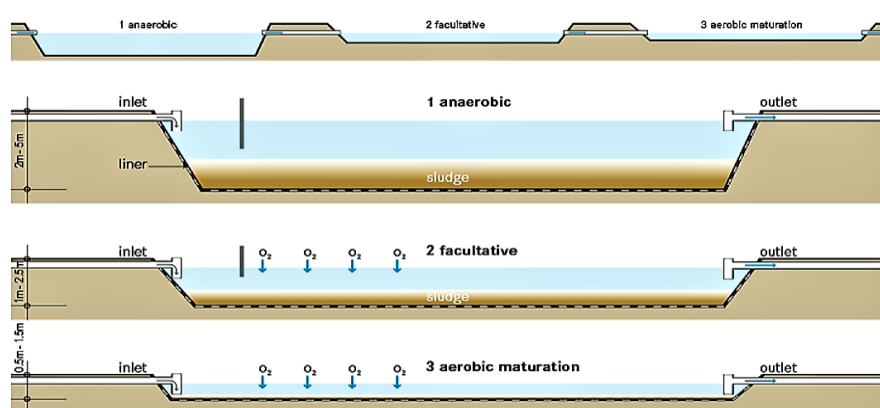
Σε αντίθεση με τις αεριζόμενες λίμνες, στις λίμνες σταθεροποίησης το οξυγόνο που απαιτείται προέρχεται από φυσικά μέσα και όχι από τεχνητά μέσα. Το απαιτούμενο οξυγόνο στις λίμνες σταθεροποίησης προέρχεται τόσο από την διαλυτοποίηση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου που υπάρχει στην επιφάνεια του νερού και εν συνεχεία από την αλληλοεισχώρηση του στα κατώτερα στρώματα της λίμνης όσο και από την φωτοσύνθεση των μικροοργανισμών όπως οι άλγεις.

Οι οργανικές ουσίες των λυμάτων μεταβάλλονται σε τελικά προϊόντα με μια σειρά σύνθετων φυσικών, χημικών και βιολογικών αντιδράσεων (π.χ καθίζηση, οξείδωση, φωτοσύνθεση(παραγωγή O_2), αερόβια και αναερόβια αποσύνθεση). Κατά την διάρκεια διεξαγωγής αυτών των διεργασιών, ο άνθρωπος δεν εμπλέκεται καθόλου στο φυσικό περιβάλλον της εκάστοτε λίμνης.

Για να μπορέσουμε να έχουμε πετύχει την ομαλή λειτουργία των λιμνών σταθεροποίησης η συνύπαρξη των αλγών και των βακτηρίων κρίνεται απαραίτητη. Τα αερόβια βακτήρια έχουν ως κύριο μέλημά τους την κατανάλωση των οργανικών ουσιών ύστερα πολλαπλασιάζονται και κατά τον πολλαπλασιασμό τους παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα με την σειρά του, προσλαμβάνεται από τις άλγεις, οι οποίες με την βοήθεια του ήλιου φωτοσυνθέτουν, πολλαπλασιάζονται και τέλος παράγουν οξυγόνο, το οποίο χρησιμοποιείται από τα βακτήρια.

Οι λίμνες σταθεροποίησης χωρίζονται σε τρεις (3) κατηγορίες αναλόγως με τις βιολογικές διεργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί πιο πριν.

(Ζ.Σ. Βογιατζής και Α.Ι. Στάμου)(W.W. Eckenfelder 1989) (P.A Vesilind, J.J Peirce and R.F Weiner 1990) (R.S. Ramalho 1983)



Εικόνα 4: Είδη Λιμνών Σταθεροποίησης

(Πηγή: [https://sswm.info/index.php/pt-pt/taxonomy/term/3932/waste-stabilization-ponds-\(wsp\)](https://sswm.info/index.php/pt-pt/taxonomy/term/3932/waste-stabilization-ponds-(wsp)))

4.4.1 Αερόβιες- Αναερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης

Σε αυτή την κατηγορία των λιμνών συμμετέχει τόσο η αερόβια αποσύνθεση όσο και αναερόβια αποσύνθεση των εκάστοτε οργανικών ουσιών. Τα προϊόντα που συναντάμε στην αναερόβια αποσύνθεση είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το αμμώνιο (NH_4) και τέλος το υδροθείο (H_2S). Η αερόβια λίμνη θεωρείται από τις πιο συχνές χρησιμοποιούμενες λίμνες σταθεροποίησης, καθώς κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται σε υγρά απόβλητα που δεν έχουν περάσει το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Η αποδοτικότητα των αερόβιων λιμνών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις συνθήκες που επικρατούν στο κλίμα (π.χ θερμοκρασία του περιβάλλοντος). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην συναντάμε την συγκεκριμένη κατηγορία λιμνών σε περιοχές που ο χειμώνας είναι έντονος και έχει έντονη διάρκεια.

Μερικά χαρακτηριστικά των παραπάνω λιμνών είναι το λιτό ύψος κατασκευής και το χαμηλό κόστος που χρειάζεται για να λειτουργήσουν. Βέβαια, όσο χαμηλό κόστος έχουν τόσο περισσότερη είναι η εδαφική επιφάνεια που απαιτείται για την στελέχωσή τους (1-5ha). Ακόμη ένα χαρακτηριστικό, είναι η οργανική τους φόρτιση, αναλυτικά χρειάζονται 50-250kg BOD/ha-d. Ενώ ο χρόνος παραμονής των λυμάτων φαίνεται πως είναι από 5 έως 35 ημέρες. Όσον αφορά τον βαθμό της αποδοτικότητάς τους κυμαίνεται από 60-95% και ο βαθμός σχεδιασμού τους από 1-3m. Τέλος, η θερμοκρασία των λιμνών είναι από 2-40°C.

4.4.2 Αερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης

Σε αυτές τις αερόβιες λίμνες σταθεροποίησης, υπάρχουν αερόβιες βιολογικές διεργασίες σε όλη την έκταση της λίμνης με αποτέλεσμα αυτή η κατηγορία των λιμνών να χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των οποίων το οργανικό φορτίο είναι διαλυμένο εντελώς. Οι άλγεις που παράγονται έχουν στην κατοχή τους ένα μεγάλο βαθμό θρεπτικών συστατικών (π.χ πρωτεΐνες) και μπορούν να χωριστούν και να χρησιμοποιηθούν. Ανάλογα με το πόσες οργανικές ουσίες υπάρχουν αλλά και την παροχή των λυμάτων οι αερόβιες λίμνες σταθεροποίησης χωρίζονται σε α) χαμηλής φόρτισης, β) μέσης φόρτισης και γ) υψηλής φόρτισης.

(Ζ.Σ. Βογιατζής και Α.Ι. Στάμου)(W.W. Eckenfelder 1989) (P.A Vesilind, J.J Peirce and R.F Weiner 1990) (R.S. Ramalho 1983)

Κάποια χαρακτηριστικά των τριών υποκατηγοριών των αερόβιων λιμνών σταθεροποίησης είναι: Αρχικά, ο μέσος χρόνος παραμονής (σε ημέρες). Στις χαμηλής φόρτισης φαίνεται πως είναι 7-35 ημέρες, στις μέσης φόρτισης είναι 5-15 ημέρες ενώ και τέλος στις υψηλής φόρτισης ο χρόνος μειώνεται σε 3-5 ημέρες. Έστερα συναντάμε το βαθμό σχεδιασμού. Δηλαδή, στις χαμηλής φόρτισης και στις μέσης φόρτισης είναι 1m ενώ στις υψηλής φόρτισης είναι 0,25-0,5m. Ακόμη ένα χαρακτηριστικό θεωρείται η επιφάνεια (η οποία μετριέται σε ha= εκτάριο), και στο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό η χαμηλή και η μέση φόρτιση είναι 1-5 ha ενώ η υψηλή φόρτιση διαφέρει καθώς είναι 0,5-2 ha. Όσον αφορά, την οργανική φόρτιση (kg BOD/ha-d). Στην υποκατηγορία της

χαμηλής φόρτισης φαίνεται πως είναι 50-100 (kg BOD/ha-d), στη μέση φόρτιση είναι από 70-150 (kg BOD/ha-d) ενώ στις υψηλής φόρτισης είναι από 100-200 (kg BOD/ha-d). Επίσης, το βάθος της απόδοσης στις λίμνες χαμηλής φόρτισης είναι 70-90%, στις μέσης φόρτισης παρατηρείται μια μικρή αύξηση, καθώς είναι 70-95% και τέλος στις υψηλής φόρτισης το ποσοστό κυμαίνεται από 75-95%. Το τελευταίο χαρακτηριστικό θεωρείται ότι είναι η SS της εκροής (mg/l). Στις λίμνες χαμηλής φόρτισης είναι 50-100(mg/l), στις λίμνες μέσης φόρτισης είναι 70-120(mg/l) και τέλος στις υψηλής φόρτισης είναι 12-350(mg/l).

4.4.3 Αναερόβιες Λίμνες Σταθεροποίησης

Η συγκεκριμένη κατηγορία των λιμνών σταθεροποίησης τίθεται σε λειτουργία για την προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, τα οποία έχουν μεγάλη οργανική φόρτιση και κατά συνέπεια έχουν στόχο την μείωση του οργανικού φορτίου (π.χ ορισμένων βιομηχανιών επεξεργασίας τροφίμων). Άρα, καταλαβαίνουμε πως η χρήση τους πραγματοποιείται σε συνδυασμό με άλλες λίμνες και σκοπό έχουν την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου έως και 25mg/l (το όριο αυτό έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση). Η αναερόβια αποσύνθεση ή αλλιώς χώνευση είναι μια διαδικασία πολύ ευαίσθητη σε τυχόν αλλαγές της θερμοκρασίας και του PH με αποτέλεσμα ο έλεγχος τους κρίνεται απαραίτητος. Συγκεκριμένα, για την αναερόβια αποσύνθεση η θερμοκρασία πρέπει να είναι άνω των 10°C και το PH άνω του 6.

Για την εξασφάλιση των αναερόβιων διεργασιών των λιμνών σταθεροποίησης κρίνεται σε σύγκριση με τα άλλα είδη των λιμνών, μεγαλύτερο βάθος, το οποίο με την σειρά του εξασφαλίζει την απαραίτητη θερμοκρασία καθώς οι απώλειες θερμοκρασίας είναι περιορισμένες. Ένα από τα πλεονεκτήματα που συναντάμε στις λίμνες αυτές σε σύγκριση με τα άλλα είδη λιμνών είναι η απολύμανση των λυμάτων από τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η απολύμανση αυτή πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την διάλυση του οργανικού φορτίου, αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται ξεχωριστή διαδικασία απολύμανσης της εκροής.

Η εξάλειψη των μικροοργανισμών συμβάλλεται από άμεσες αιτίες όπως για παράδειγμα είναι η έλλειψη του οργανικού υποστρώματος ή ο ανταγωνισμός που υπάρχει για το υπόστρωμα με άλλους μικροοργανισμούς και την εμφάνιση μικροοργανισμών που εξοντώνουν τους παθογόνους οργανισμούς. Επίσης, ο θάνατος των μικροοργανισμών συντελείται και από έμμεσες αιτίες όπως για παράδειγμα είναι η παρουσία τοξικών ουσιών που θεωρούνται προϊόντα μεταβολισμού άλλων παθογόνων μικροοργανισμών (κυρίως αλγέων), την δράση των υπεριωδών ακτίνων του ηλίου αλλά και τις υψηλές θερμοκρασίες που έχουν οι συγκεκριμένες λίμνες συγκριτικά με άλλες λίμνες.

Όπως και στις προηγούμενες κατηγορίες λιμνών έτσι και εδώ έχουμε κάποια χαρακτηριστικά. Αρχικά, παρατηρείται το βάθος σχεδιασμού, καθώς κυμαίνεται από 3-6m. Αμέσως μετά, συναντάμε την επιφάνεια, η οποία εξαρτάται άμεσα από την

παροχή και είναι από 0,5-1,5 ha. Επίσης, ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ο μέσος χρόνος παραμονής, ο οποίος είναι από 5-60 ημέρες. Σχετικά με το κομμάτι της οργανικής φόρτισης τα νούμερα είναι από 300 έως 4.000 kg BOD/ha-d. Ο βαθμός αποδοτικότητας καλύπτει το ποσοστό 40-70% ενώ τα SS εκροής είναι 100-180mg/l. Κλείνοντας, όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω το PH είναι ανάμεσα στο 6,5 και στο 7,5 ενώ η θερμοκρασία είναι από 10 έως 45°C. (<https://eric.ed.gov/?id=ED162869>) (C. Polprasert, 1983)

4.5 Εξισώσεις Σχεδιασμού Αεριζόμενων Λιμνών

4.5.1 Αερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες

Η κατάταξη των αερόβιων λιμνών δεν διαφέρει με την κατάταξη που συναντάμε στο σύστημα του ενεργού ιλύος, χωρίς να υπάρχει εκ νέου κυκλοφορία. Εφόσον οι δύο παραπάνω εξισώσεις είναι ίδιες έχουμε:

$$Q_R = R = X_{ov}$$

Οι εξισώσεις μιας Αερόβιας Λίμνης, πηγαίνουν όπως ακριβώς και στις άλλες περιπτώσεις σχεδιασμού βιομηχανικών διαδικασιών, από τα ισοζύγια της μάζας για τις διάφορες ποσότητες

- Σχεδιάγραμμα ροής σε αερόβια λίμνη με $Q_R = 0$ και $t_{av} = t$

Για το οργανικό φορτίο S και τα στερεά X , τα αντίστοιχα ισοζύγια των μαζών του δίνουν:

$$Q S_o - V R k X_v S = Q S \quad (\text{Σχέση 1})$$

$$Q X_{vo} + Y(S_o - S)Q - k_d X_v V R = Q X_v \quad (\text{Σχέση 2})$$

όπου VR είναι ο όγκος της αεριζόμενης λίμνης.

- Ο μέσος χρόνος παραμονής t των αποβλήτων σε μία αεριζόμενη λίμνη είναι:

$$t = t_{av} = V_R / Q \quad (\text{Σχέση 3})$$

Από τον συνδυασμό των εξισώσεων (Σχέση 1) και (Σχέση 3) λαμβάνεται η συγκέντρωση των οργανικών στην εκροή της λίμνης:

$$S = S_o / (1 + k X_v t) \quad (\text{Σχέση 4})$$

Για ένα σύστημα n αεριζόμενων Λιμνών Σταθεροποίησης, που λειτουργούν σε σειρά μετά από ισοζύγιο μάζας για κάθε Αεριζόμενων Λιμνών παρατηρείται η παρακάτω σχέση όσον αφορά την συγκέντρωση των οργανικών στην εκροή της τελευταίας των Αεριζόμενων Λιμνών:

$$S_n = S_0 / (1 + kX_{vi}t_i)^n \quad (\text{Σχέση } 5)$$

ή αλλιώς:

$$t_i = (S_0/S_n)^{1/n} - 1 / kX_{vi} \quad (\text{Σχέση } 6)$$

Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

S₀ = η συγκέντρωση οργανικών στην εισροή της πρώτης αερόβιας ΑΛ,

S_n = η συγκέντρωση οργανικών στην εκροή της λίμνης n,

X_{vi} = η συγκέντρωση μικροοργανισμών της i λίμνης, και

t_i = ο μέσος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στην λίμνη i

Επειδή οι λίμνες λειτουργούν στη σειρά ο μέσος χρόνος παραμονής των αποβλήτων σε κάθε λίμνη είναι ο ίδιος εάν οι όγκοι των λιμνών είναι οι ίδιοι. Εάν οι όγκοι των λιμνών διαφέρουν τότε η εξίσωση (Σχέση 5) δύναται να γραφεί ως εξής:

$$S/S_0 = 1 / (1 + kX_{v1}t_1)(1 + kX_{v2}t_2)...(1 + kX_{vn}t_n) \quad (\text{Σχέση } 7)$$

Συνήθως η σταθερά k και η συγκέντρωση των μικροοργανισμών X_v συνδυάζονται σε μία σταθερά:

$$K = kX_v \quad (\text{Σχέση } 8)$$

και οι εξισώσεις (Σχέση 4) και (Σχέση 7) για μία και n αεριζόμενες λίμνες αντίστοιχα δύνανται να γραφούν ως εξής:

$$S/S_0 = 1 / 1 + Kt \quad (\text{Σχέση } 9)$$

και

$$S/S_0 = 1 / (1 + Kt_1)(1 + Kt_2)...(1 + Kt_n) \quad (\text{Σχέση } 10)$$

Η σταθερά K είναι ισχυρά συνάρτηση της θερμοκρασίας, διότι ο ρυθμός κατανάλωσης των οργανικών ουσιών, δίδεται από την εξίσωση:

$$dS/dt = - kX_v S \quad (\text{Σχέση } 11)$$

και είναι ισχυρά συνάρτηση της θερμοκρασίας διότι η ενζυμική δράση των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνη για τον μεταβολισμό των μικροοργανισμών είναι εκθετική συνάρτηση της θερμοκρασίας. Η σταθερά K των εξισώσεων (Σχέση 9) και (Σχέση 10) δίδεται από την ακόλουθη εμπειρική σχέση (Mara D. 1976) (R.S. Ramalho 1977):

$$KT = K_0 \lambda T^{-20} \quad (\text{Σχέση } 12)$$

Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

KT = η τιμή της σταθεράς σε θερμοκρασία T σε oC,

Ko = η τιμή της σταθεράς στους 20oC, και

λ = μία σταθερά η τιμή της οποίας εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων (δηλαδή την ποιότητα των οργανικών ουσιών) και τα είδη των μικροοργανισμών που λαμβάνουν μέρος στην αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η τιμή της σταθεράς λ για τα περισσότερα απόβλητα κυμαίνεται μεταξύ 1,1,02 και 1,15. (Mara D. 1976) (R.S. Ramalho 1977)

Επίσης δύο άλλες χρήσιμες σχέσεις για την συγκέντρωση των οργανικών στην εκροή της λίμνης και τον μέσο χρόνο παραμονής των αποβλήτων στην λίμνη λαμβάνονται από τον συνδυασμό των εξισώσεων (Σχέση 1) και (Σχέση 2) με την παραδοχή ότι $X_{no} = 0$ (αμελητέα συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην εισροή):

$$S = 1 + Kdt / Ykt \quad (\text{Σχέση 13})$$

Και $t = 1 / YkS - kd \quad (\text{Σχέση 14})$

4.5.2 Παραγωγή Ιλύος στις Αερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες

Τα στερεά που παράγονται από τις βιολογικές διαδικασίες στις λίμνες είναι η μάζα των διαφόρων μικροοργανισμών. Τα ολικά στερεά SS που βρίσκονται στην εκροή των αερόβιων ΑΛ είναι το άθροισμα των οργανικών VSS και ανοργάνων NVSS στερεών. Από τις εξισώσεις (Σχέση 1) και (Σχέση 2) λαμβάνουμε τις εξής εκφράσεις για την συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην εκροή:

$$X_v = S_0 - S / kSt \quad (\text{Σχέση 15})$$

ή $X_{vo} + Y(S_0 - S) / 1 + kdt \quad (\text{Σχέση 16})$

Τα ανόργανα στερεά δεν λαμβάνουν μέρος στις διάφορες βιολογικές διαδικασίες και συνεπώς η συγκέντρωσή τους παραμένει αμετάβλητη: $X_{nvo} = X_{nv}$. Το ισοζύγιο στερεών στη λίμνη διαμορφώνεται ως εξής:

Συνολική παραγωγή = παραγόμενα VSS + VSS εισροής + NVSS εισροής στερεών

$$\text{ή } \Delta X = QX = Y(S_0 - S)Q - kdX_v VR + QX_o \quad (\text{Σχέση 17})$$

με συνήθεις τιμές των σταθερών (Mara D. 1976) (E. Balasha and H. Sperber 1975):

$Y = 0,5 - 0,8 \text{ kg VSS/Kg μείωσης του BOD}$, και

$kd = 0,05 - 0,2 \text{ ημ}^{-1}$

4.5.3 Απαιτούμενο Οξυγόνο

Η σχέση που προσδιορίζει το ποσό του οξυγόνου που απαιτείται στις αεριζόμενες ΑΛ για τις αερόβιες διεργασίες είναι ανάλογη αυτής για τα συστήματα Ενεργού Ιλύος:

$$dMO_2/dt = rO_2 = a'(S_o - S)Q + b'X_vR \quad (\text{Σχέση } 18)$$

όπου οι τιμές των σταθερών (Mara D. 1976) (E. Balasha and H. Sperber 1975):

$a' = 0,3 - 0,65 \text{ kg } O_2 / \text{kg μείωσης του BOD}$, και

$b' = 0,10 - 0,25 \text{ ημ-1}$

Ο πρώτος όρος στην εξίσωση (Σχέση 18) αναφέρεται στο ποσό του οξυγόνου που απαιτείται για την κατανάλωση των οργανικών ουσιών και τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, ενώ ο δεύτερος όρος αναφέρεται στο ποσό του οξυγόνου που απαιτείται κατά τον ενδογενή μεταβολισμό των μικροοργανισμών. Επειδή στις αερόβιες Αεριζόμενων Λιμνών η συγκέντρωση των μικροοργανισμών είναι μικρή σε σχέση με την αντίστοιχη στα συστήματα Ενεργού Ιλύος, η εξίσωση (Σχέση 18) γράφεται κατά προσέγγιση ως ακολούθως:

$$dMO_2/dt = rO_2 = a'(S_o - S) \quad (\text{Σχέση } 19)$$

4.5.4 Αερόβιες-Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες

Επειδή στις αερόβιες-αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες λαμβάνουν μέρος και αναερόβιες βιολογικές διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν μέρος στον πυθμένα της λίμνης όπου καθιζάνουν τα στερεά η συγκέντρωση των οργανικών στην εκροή δίδεται από μία ημι-εμπειρική εξίσωση η οποία είναι μία τροποποίηση της εξίσωσης (Σχέση 4) (R.S. Ramalho, 1977),(Metcalf-Eddy, 1979):

$$S = cS_o / 1 + kX_v t \quad (\text{Σχέση } 20)$$

όπου η σταθερά c λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

$c = 1,2 - 1,6$ για το καλοκαίρι, και

$c = 0,7 - 1,2$ για τον χειμώνα

4.5.5 Παραγωγή Ιλύος σε Αερόβιες-Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες

Η αναερόβια αποσύνθεση των οργανικών σ' αυτές τις λίμνες λαμβάνει μέρος στον πυθμένα της λίμνης. Το ποσό των στερεών που καθιζάνει και κατά συνέπεια το ποσό των στερεών που υπάρχει στην εκροή είναι ισχυρά συνάρτηση του βαθμού ανάμιξης στην λίμνη. Ο βαθμός ανάμιξης εξαρτάται από δύο μεταβλητές: 1) το ποσοστό του όγκου της λίμνης όπου συντελούνται μόνο αερόβιες βιολογικές διεργασίες, 2) το ποσό των άλγεων διότι το ποσοστό των στερεών που καθιζάνει στον πυθμένα είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσού των άλγεων που υπάρχει στην λίμνη, και 3) το μέσο χρόνο t παραμονής των αποβλήτων στην λίμνη και το μήκος της λίμνης, οι οποίοι

παράγοντες επηρεάζουν το ποσό και το μέγεθος των σωματιδίων που καθιζάνουν στην λίμνη. Η παραγωγή ιλύος δίδεται από την ίδια εξίσωση που διέπει την παραγωγή ιλύος στις αερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες, εξίσωση (Σχέση 17)

4.5.6 Απαιτούμενο Οξυγόνο στις Αερόβιες-Αναερόβιες Αεριζόμενες Λίμνες

Επειδή το οξυγόνο καταναλώνεται μόνο στις αερόβιες διαδικασίες η κατανάλωσή του δίδεται από την (Σχέση 18) με τις ακόλουθες τιμές για την σταθερά a' (R.S. Ramalho 1977) (C.E Adams and W.W. Echenfelder 1980):

$a' = 1,2-1,7 \text{ kg O}_2/\text{Kg}$ μείωση BOD για το καλοκαίρι, και

$a' = 0,7 - 1,2 \text{ kg O}_2/\text{Kg}$ μείωση BOD για το χειμώνα

4.5.7 Υπολογισμός θερμοκρασίας Αεριζόμενων Λιμνών

Η μέση θερμοκρασία των λιμνών είναι μία σπουδαία παράμετρος σχεδιασμού των λιμνών διότι απ' αυτήν εξαρτάται ο ρυθμός των βιολογικών διεργασιών και συνεπώς οι σταθερές K , k και k_d των εξισώσεων σχεδιασμού. Η μέση θερμοκρασία της λίμνης επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία των αποβλήτων στην εισροή, η παροχή των αποβλήτων, ο λόγος της επιφάνειας προς το βάθος της λίμνης και η ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Από το ισοζύγιο ενέργειας σε λίμνη η ακόλουθη εξίσωση δίνει την θερμοκρασία της λίμνης ως συνάρτηση των προαναφερθέντων μεταβλητών (Ζ.Σ. Βογιατζής και Α.Ι. Στάμου) (R.S. Ramalho 1977) (Metcalf-Eddy, 1979):

$$T_l = fAT_a + QT_1/fA + Q \quad (\text{Σχέση 21})$$

Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

T_l = η θερμοκρασία της λίμνης σε $^{\circ}\text{C}$,

$f = h/(\rho k) =$ σταθερά με εύρος 0,4 - 0,7,

h = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από την ατμόσφαιρα προς την επιφάνεια της λίμνης ή αντιστρόφως,

ρ , k = η ειδική πυκνότητα (kg/m^3) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (KJ/Kg) των αποβλήτων αντίστοιχα,

A = η επιφάνεια της λίμνης σε m^2 ,

T_a = η ατμοσφαιρική θερμοκρασία στην επιφάνεια της λίμνης, και

Q = η παροχή των αποβλήτων σε $\text{m}^3/\text{ημ}$.

4.6 Εξισώσεις Σχεδιασμού Λιμνών Σταθεροποίησης

Υπάρχουν πολλών ειδών μοντέλα τόσο θεωρητικής όσο και εμπειρικής προελεύσεως, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των λιμνών σταθεροποίησης. Η συμφωνία των παραπάνω ειδών μοντέλων παρατηρείται πως δεν είναι ικανοποιητική. Για να μπορέσει να σχεδιαστεί και να λειτουργήσει σωστά μια λίμνη σταθεροποίησης, η γνώση της συμπεριφοράς των λυμάτων κρίνεται απαραίτητη. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις προμελέτες που γίνονται σε πιεστική κλίμακα. Αυτό συμβαίνει γιατί η λειτουργία των συγκεκριμένων λιμνών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τους τοπικούς παράγοντες.

Παρακάτω αναλύονται κάποιες βασικές σχέσεις που αφορούν τον σχεδιασμό των λιμνών σταθεροποίησης.

Ορισμοί μεγεθών:

- Ο μέσος χρόνος παραμονής (t):

$$t = V_R / Q$$

- Η επιφάνεια της λίμνης σταθεροποίησης είναι ίση με:

$$A = V_R / H$$

Από παραπάνω υπολογιζόμενη επιφάνεια βασίζεται στο μέσο βάθος H της λίμνης, το οποίο συχνά επιλέγεται με αυθαίρετο τρόπο και αποτελείται από το άθροισμα του βάθους, στο οποίο συμμετέχουν μόνο αερόβιες διεργασίες αλλά και του βάθους όπου συμμετέχουν αναερόβιες διεργασίες.

$$H = H_{αερ} + H_{αναερ}$$

- Η οργανική φόρτιση ορίζεται ως εξής:

L = μάζα οργανικού φορτίου σε mg/l / επιφάνεια λίμνης- μονάδα χρόνου

Οπότε έχουμε:

$$L = OS_0 / A = S_0 H / t$$

- Η ογκομετρική φόρτιση είναι η οργανική φόρτιση ανά μονάδα όγκου της λίμνης ανά μονάδα χρόνου

$$L_v = QS_0 / V_R = S_0 / t$$

Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

Q: Η παροχή των αποβλήτων σε m³/ημ.

V_R: Ο όγκος της Λίμνης Σταθεροποίησης σε m³

t: Ο μέσος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στη λίμνη σε ημ.

S₀: Η συγκέντρωση των οργανικών αποβλήτων σε mg/l.

H, A: το μέσο βάθος και η επιφάνεια της Λίμνης Σταθεροποίησης σε m και m² αντίστοιχα.

4.6.1 Μοντέλο Marais

Κατά τον Marais (Mara D. 1976) οι ΛΣ είναι ιδανικοί αντιδραστήρες CFSTR (αυτή η παραδοχή προϋποθέτει πλήρη ανάμιξη) και η μετατροπή των οργανικών δίδεται από την εξής σχέση:

$$S/S_0 = 1/(1+kt) \quad (\text{Σχέση 22})$$

Επίσης για n λίμνες σταθεροποίησης στη σειρά ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$S/S_0 = 1/((1+Kt_1)(1+Kt_2)...(1+Kt_n)) \quad (\text{Σχέση 23})$$

Ή σε περίπτωση που ο μέσος χρόνος παραμονής είναι ο ίδιος σε όλες τις λίμνες:

$$S/S_0 = 1/(1+kt)^n \quad (\text{Σχέση 24})$$

Στις (Σχέση 22) – (Σχέση 24) η σταθερά k του ρυθμού της βιολογικής αντίδρασης κατανάλωσης των οργανικών σε ημ.-1 δίδεται από την εξής σχέση:

$$kT = k_0 \lambda T^{-20} \quad (\text{Σχέση 25})$$

Σε αναλογία με την εξίσωση (Σχέση 12), η σταθερά λ εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων και των μικροοργανισμών και το εύρος των τιμών της κυμαίνεται από 1,05 μέχρι 1,10. Η σταθερά k₀ είναι η τιμή της k στους 20 °C και η τιμή της εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής όπου βρίσκεται η λίμνη σταθεροποίησης (<https://eric.ed.gov/?id=ED162869>). (Mara D. 1976)

4.7 Συστήματα Τεχνητών υδροβιότοπων

Τα τελευταία χρόνια, έχει κάνει την εμφάνισή του ένα νέο είδος φυσικού συστήματος, το οποίο έχει ως βασικό του στόχο την επεξεργασία των (υγρών) αποβλήτων. Το νέο αυτό είδος, ονομάζεται «τεχνητός υδροβιότοπος» ή «τεχνητός υγρότοπος». Οι τεχνητοί υγρότοποι, είναι υπεύθυνοι τόσο για τον τρόπο όσο και για τον ρυθμό ροής των αποβλήτων (Reddy et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα, ο υδροβιότοπος είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μπορούν τα απόβλητα να ρέουν οριζόντια προς την έξοδο ενώ κυρίως στόχος του είναι η αναπαραγωγή των φυσικών διαδικασιών ενός φυσικού υγροτόπου έλους ή βάλτου. (Ζ.Σ. Βογιατζής και Α.Ι. Στάμου) Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα, φαίνεται πως συμφέρει περισσότερο, διότι ο χώρος που χρειάζεται για την διεξαγωγή των διεργασιών είναι περιορισμένος ενώ όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια και το κόστος συντήρησης του είναι εξίσου μικρό. Όπως φαίνεται το μεγαλύτερο ποσοστό των φυσικών υδροβιότοπων κατατάσσεται στα συστήματα «Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής», συμπεριλαμβανομένων και των περιοχών που έχουν

πολλή τύρφη όπως βρύα, έλη (δέντρα, χόρτα, αναδυόμενα μακρόφυτα).([Wastewater Technology Fact Sheet: Free Water Surface Wetlands \(epa.gov\)](#))

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους υγροβιότοπους με ελεύθερη επιφανειακή ροή ή οριζόντιας ροής (FWS). Ενώ στην δεύτερη, εντάσσονται οι υγροβιότοποι με υπόγεια ή κατακόρυφη ροή (SFS).

4.7.1 Υγροβιότοποι Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής

Τα συστήματα επιφανειακής ροής (FWS) στην Αμερική θεωρούνται από τις πιο γνωστές επιλογές φυσικών συστημάτων. Όπως υποστηρίζουν οι Kadlec and Wallace (2009), «τα δύο τρίτα των τεχνητών υγροβιότοπων που λειτουργούν έως και σήμερα στις Η.Π.Α. να ανήκουν στην κατηγορία αυτή».

Σε αντίθεση με τους κατασκευασμένους υγροτόπους, τα συστήματα Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής, δεν απαγορεύουν στα απόβλητα να ρέουν στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και να είναι άμεσα εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα και στο φως του ήλιου. ([Επιφανειακός Υγρότοπος Ελεύθερου Νερού](#)). Κατά την διάρκεια ροής των υγρών αποβλήτων μέσα από τον υγρότοπο συμμετέχει και ένα πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως κύριο μέλημά τους να φιλτράρουν τα στερεά και να αποδομούν τα οργανικά αλλά και να διώχνουν τα θρεπτικά συστατικά. Παραπάνω συστατικά μπορούν να εντάσσονται στα μακροθρεπτικά ή στα μικροθρεπτικά. Παραδείγματα, μακροθρεπτικών είναι το άζωτο, ο φώσφορος αλλά και το κάλιο ενώ στα μικροθρεπτικά συστατικά ανήκουν στοιχεία όπως ο σίδηρος και το θείο αλλά και τα βαρέα μέταλλα.([Wastewater Technology Fact Sheet: Free Water Surface Wetlands \(epa.gov\)](#))

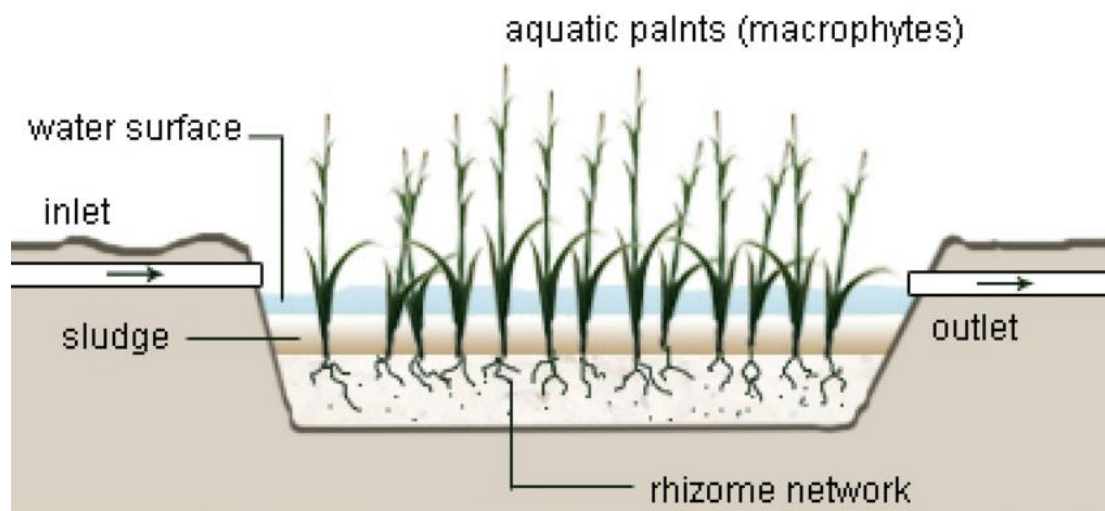
Η συγκεκριμένη κατηγορία συστημάτων απαρτίζεται κατά κύριο λόγο από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους, των οποίων οι πάτοι είναι δύσκολο να διαπεραστούν, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται αναφυόμενη φυτική βλάστηση και τα ποσοστά του βάθους του νερού είναι μικρά. Στο σύστημα κατοχυρώνεται εμβολοειδής ροή λόγω του μικρού βάθους του νερού, της αρκετά χαμηλής ταχύτητας ροής και που επηρεάζεται από το πλάτος και το μήκος των καναλιών. Επίσης, στα συστήματα επιφανειακής ροής πραγματοποιείται εφαρμογή υγρών αποβλήτων, τα οποία όμως πιο πριν έχουν υποστεί επεξεργασία. Αναλυτικότερα, τα λύματα κυλούν με χαμηλή ταχύτητα μέσα από τα στελέχη και τα ριζώματα και εκεί υλοποιείται το στάδιο της επεξεργασίας τους (Αγγελάκης & Τσoβανογλου, 1995). Το νερό που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα της λεκάνης ή του καναλιού είναι σε μια κατάσταση που μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς την παρουσία οξυγόνου, αντίθετα δηλαδή με την κατάσταση που επικρατεί στην επιφάνεια (Kadlec and Wallace 2009).

Παρόλα αυτά, στους υγροβιότοπους επιφανειακής ροής ο διασκορπισμός του οξυγόνου φαίνεται πως είναι περιορισμένος σε σύγκριση πάντα με τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής. Αυτό συμβαίνει, επειδή οι ρίζες βρίσκονται τόσο κάτω από την επιφάνεια της γης όσο και κάτω από την στήλη των υγρών, έτσι το οξυγόνο που μεταφέρεται σε αυτό να καταναλώνεται από το σύνολο των έμβιων και των οργανισμών που αναπτύσσονται στον βυθό των λιμνών ή των θαλασσών. Βασική πηγή

για τις βιοχημικές διεργασίες οξυγόνου, κατέχει η διαδικασία μετατροπής της υγρής στήλης σε αέρια μέσω της φωτοσύνθεσης. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπως η επιφάνεια του υδροβιότοπου να σκεπάζεται ολόκληρη από βλάστηση και η ακτίνες του ήλιου να μην αφήνουν να αναπτυχθούν τα φυτά με αποτέλεσμα να ευνοούνται οι συνθήκες ανοξίας (Kadlec and Wallace 2009).

Η οργανική ύλη διαλύεται είτε μέσα από διαδικασίες που υπάρχει οξυγόνο είτε από διαδικασίες που η παρουσία του οξυγόνου δεν κρίνεται απαραίτητη. Παράλληλα, υλοποιείται από υλικά τα οποία παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς (βιομάζα), αυτοί οι οργανισμοί μπορεί να είναι αιωρούμενοι ή και σταθεροποιημένοι. Σχετικά, με τα αιωρούμενα στερεά, συνήθως διώχνονται μέσω της διαδικασίας της καθίζησης ενώ οι αποστάσεις από το σημείο εισροής του λύματος στο σύστημα είναι μικρές. Ένας άλλος τρόπος που μπορούν να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά είναι μέσα από την φίλτρανση και την συναρμογή (Ανδρεαδάκης, 2015).

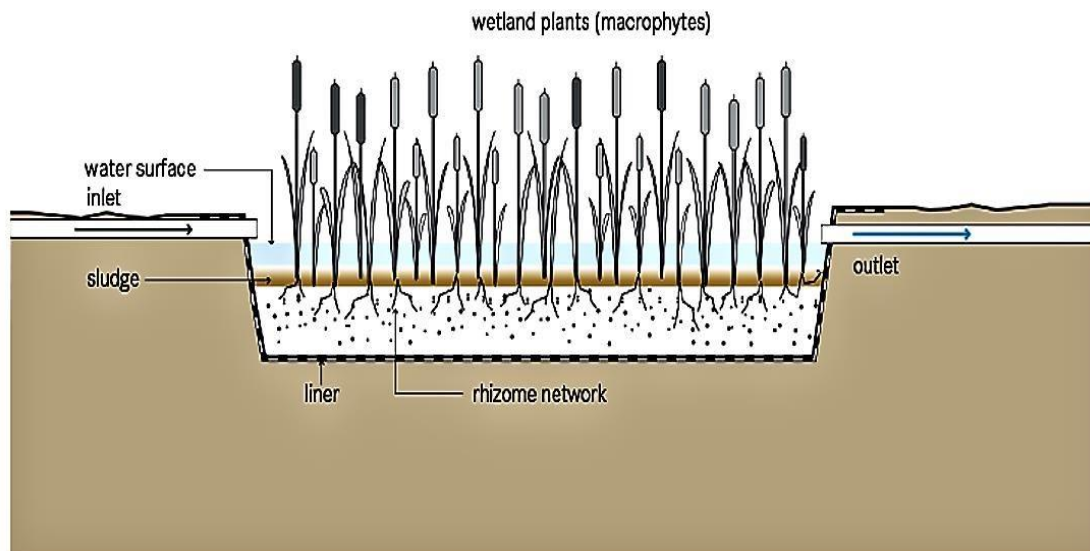
Έχοντας ως δεδομένο, πως τα συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων με ελεύθερη επιφάνεια έχουν σχεδιαστεί σε επίπεδες λεκάνες ή κανάλια και γνωρίζοντας ότι οι πάτοι τους είναι δύσκολο να διαπεραστούν, η κλίση που έχουν είναι συνήθως 1% ή και μεγαλύτερες χωρίς όμως να ξεπερνάει το 5%. Με άλλα λόγια, η τοπογραφία των συστημάτων αυτών πρέπει σε όλη την έκτασή τους να έχει την ίδια μορφή. Βέβαια, τέτοιου είδους συστήματα μπορούμε να συναντήσουμε και σε ανομοιόμορφες εκτάσεις γης, το κόστος όμως κατασκευής είναι δαπανηρό. Όπως υποστηρίζει ο Ανδρεάκης (2015), «ως κατάλληλες θέσεις χωροθέτησης τεχνητών υδροβιότοπων θεωρούνται αυτές με κλίσεις μικρότερες από 5%».



Εικόνα 5: Συστήματα Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής

(Πηγή: TILLEY et al. (2014)

<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources/free-water-surface-constructed-wetland>)



Εικόνα 6: Τεχνητός Υγροβιότοπο Επιφανειακής Ροής (FWS)

(Πηγή: TILLEY et al., 2014

<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources/free-water-surface-constructed-wetland>)

4.7.2 Υγροβιότοποι με υπόγεια οριζόντια ή και κατακόρυφη ροή (SFS)

Με τον όρο «υγροβιότοποι με υπόγεια οριζόντια ή και κατακόρυφη ροή» δηλώνουμε την μεταφορά των αποβλήτων προς το στάδιο της επεξεργασίας, η οποία γίνεται κάτω από το έδαφος. Στις περισσότερες περιπτώσεις συγκροτούνται από επίπεδα κάποιων υλικών όπως άμμος, έδαφος, πλαστικά κ.α. Τα καλάμια που φυτεύονται στο πάνω μέρος της επιφάνειας συνήθως είναι από άμμο (Ανδρεαδάκης, 2015).

Κύριο γνώρισμα αυτών των υγροβιότοπων θεωρείται η ικανότητα ποικίλων ρύπων όπως για παράδειγμα, το βιομηχανικό ή και χημικό απαιτούμενο οξυγόνο, τα μέταλλα κ.α να απομακρύνονται (Khatiwada and Polprasert, 1999).

Στα συστήματα αυτά, τα είδη των φυτών που χρησιμοποιούνται πρέπει να ανήκουν στην κατηγορία των υδροχαρών για να μπορούν να αναπτύσσονται καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Ακόμη, τα φυτά θα πρέπει να συμβαδίζουν απόλυτα τόσο στο τοπικό περιβάλλον όσο και με τις θερμοκρασίες. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να έχουν τα φυτά είναι η αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες των αποβλήτων αλλά και στις υπερβολικές τιμές του pH. Τέλος, το σύνολο των φυτών θα πρέπει να διακρίνεται από πολύ γρήγορους ρυθμούς, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί γρηγορότερα το οξυγόνο στις ρίζες. Οι πιο γνωστές κατηγορίες φυτών που επιλέγονται παγκοσμίως για να υποστηρίξουν τους υγροβιότοπους είναι το ψαθί και η καλάμια.

Επιπρόσθετα, οι τεχνητοί υγροβιότοποι αυτού του τύπου διαχωρίζονται σε οριζόντιας και κατακόρυφης ροής.

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής ονομάζονται έτσι γιατί τα λύματα ρέουν αργά μέσω του πορώδους υποστρώματος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους

και ακολουθούν μια διαδρομή η οποία άλλοτε είναι λιγότερο και άλλοτε περισσότερο οριζόντια μέχρι να φτάσει στην ζώνη εξόδου. (Anna Kajumulo Tibaijuka W) Επίσης, είναι σχεδιασμένοι από στεγανοποιημένες λεκάνες για να μην μπορεί το νερό να τις διαπεράσει, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προστασία των υπόγειων υδροφόρων (USEPA 1988, Kadlec and Wallace 2009). Κατά την διάρκεια αυτής της διέλευσης τα υγρά απόβλητα θα έρθουν σε επαφή με ένα δίκτυο στο οποίο υπάρχουν αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες ζώνες. Με την σειρά τους, οι αερόβιες ζώνες θα είναι γύρω από τις ρίζες αλλά και τα ριζώματα των φυτών του υγροβιοτόπου, που διαρρέουν οξυγόνο στο υπόστρωμα. Καθώς τα λύματα περνούν από την ριζοσφαίρα καθαρίζονται με μικροβιολογικά με φυσικές και χημικές διεργασίες (Cooper et al. 1996). ([UN HABITAT 2008 Constructed Wetlands Manual.pdf](#))

Οι υγροβιοτόποι οριζόντιας υπόγειας ροής, έχουν την τάση να απομακρύνουν αποτελεσματικά τους οργανικούς ρύπους από τα υγρά απόβλητα (TSS, BOD5 and COD). Ακόμα, με την περιορισμένη ύπαρξη οξυγόνου μέσα στον υγροβιοτόπο, επηρεάζεται και το «τμήμα» των θρεπτικών ουσιών (π.χ το άζωτο) καθώς η απομάκρυνσή τους είναι εξίσου ελλιπής. Βέβαια, ένα σημαντικό θετικό στοιχείο των οριζόντιων υγροβιοτόπων είναι η αφαίρεση των νιτρικών αλάτων από τα λύματα. ([UN HABITAT 2008 Constructed Wetlands Manual.pdf](#))

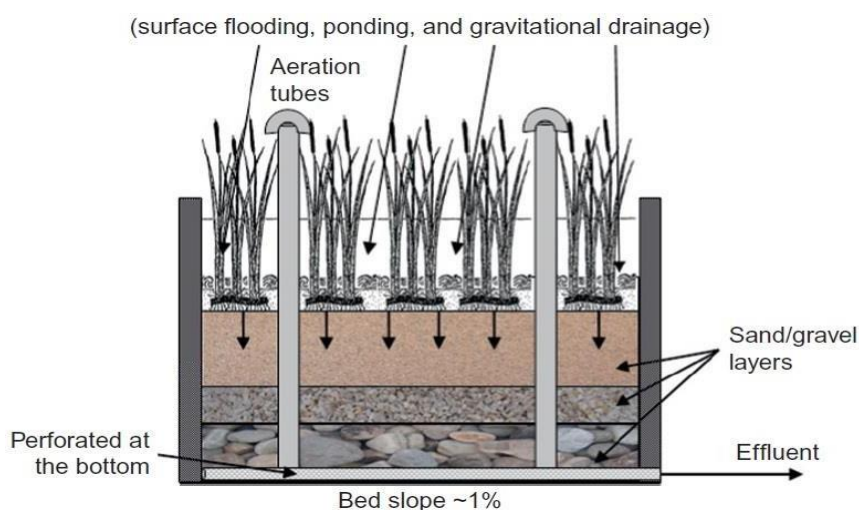
Η διαφοροποίηση που υπάρχει ανάμεσα στους τεχνητούς υγροβιοτόπους οριζόντιας ροής και στους υγροβιοτόπους ελεύθερης επιφάνειας είναι ότι το νερό δεν είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα. Με άλλα λόγια, το νερό κυλάει οριζόντια, κάτω από την επιφάνεια της γης, και κατά συνέπεια δεν φαίνεται κι ενώ ταυτόχρονα μικραίνει και το ποσοστό κινδύνου της δημόσιας υγείας (Stefanakis et al., 2014).

Σχετικά με τους υγροβιοτόπους κατακόρυφης ροής απαρτίζονται από κλίνες κυμαινόμενου βάθους ενώ η κλίση των πυθμένων τους έχει ποσοστό 1%-2%. Τα λύματα τροφοδοτούνται από την κορυφή και στην συνέχεια διαχέονται σταδιακά προς τα κάτω μέσω της κλίνης και τέλος συλλέγονται από το δίκτυο της αποχέτευσης. ([UN HABITAT 2008 Constructed Wetlands Manual.pdf](#))

Με αυτόν τον τρόπο ευνοείται η ροή αλλά και η συλλογή του επεξεργασμένου αποβλήτου. Η βάση και τα τοιχώματα, είναι σκεπασμένα είτε με γεωμεμβράνη είτε με οπλισμένο σκυρόδεμα, για να μπορέσουν να αποφευχθούν τυχόν διαρροές στο κάτω μέρος του εδάφους, ως συμπληρωματικό υλικό τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται άμμος ή και χαλίκια (Stefanakis et al., 2014). Η ροή των αποβλήτων σχετίζεται με την δύναμη της βαρύτητας. Δηλαδή, έχουν ως αφετηρία τους τον ανεφοδιασμό της επιφάνειας, δημιουργώντας υπερχειλίση στο ανώτερο στρώμα ενώ ακολουθεί το στάδιο της φίλτρανσης και τέλος της αποστράγγισης (Kadlec and Wallace 2009). Η αποχέτευση της κλίνης γίνεται χωρίς κάποιου είδους δέσμευση και κατά συνέπεια επιτρέπει στον αέρα να ξανά γεμίσει την κλίνη. Η αμέσως επόμενη δόση του λύματος παγιδεύει τον αέρα και μαζί με τον αερισμό που προκαλείται από την γρήγορη χορήγηση της δόσης του υγρού, πραγματοποιείται καλύτερη η μεταφορά του οξυγόνου, με αποτέλεσμα να υπάρχει η νιτροποίηση. Το σύστημα που αφορά την

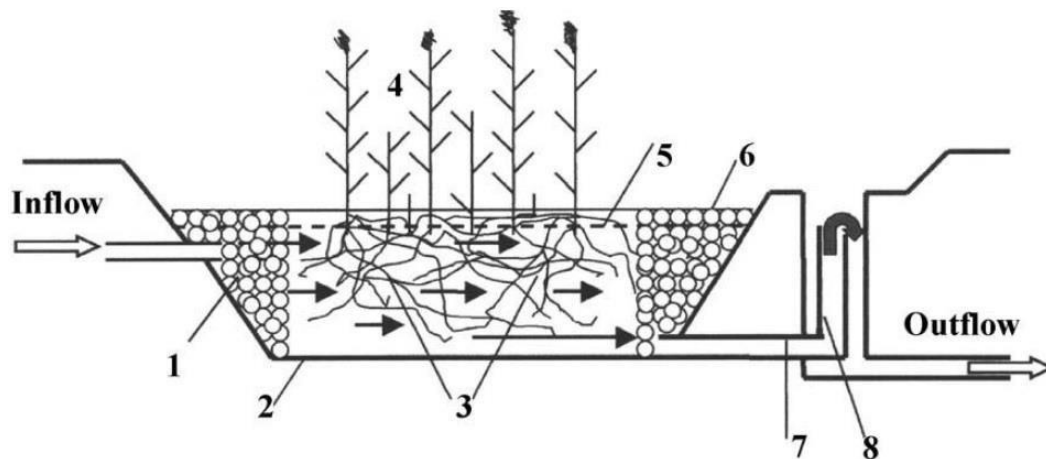
δοσολογία, συμβάλλει περισσότερο στο κομμάτι της οξυγόνωσης της κλίνης φιλτραρίσματος σε σύγκριση με το οξυγόνο που μεταφέρεται από την βλάστηση. Όπως αναφέρει και ο Platzer(1998), «Το σύστημα διαλείπουσας δοσολογίας έχει πιθανή μεταφορά οξυγόνου από 23 έως 26gO₂ .m⁻².d⁻¹». Σε αντίθεση, ο Brix (1997) δηλώνει πως «Το οξυγόνο που μεταφέρεται μέσω του φυτού(κοινό είδος καλαμιού) έχει την δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου 2 g O₂.m⁻². d⁻¹ στην ριζική ζώνη, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως από τις ίδιες τις ρίζες και τα ριζώματα. ([UN HABITAT 2008 Constructed Wetlands Manual.pdf](#)). Τέλος, οι Kadlec and Knight (1996) τονίζουν πως «το υγρό απόβλητο εισέρχεται με τη βοήθεια διάτρητων αγωγών, οι οποίοι φέρουν σε όλο το μήκος τους ειδικές οπές, στοχεύοντας στην όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατάκλιση».

Για να μπορέσει το σύστημα να είναι πιο αποτελεσματικό, η ταχύτητα με την οποία φορτίζεται είναι αρκετά αργή, έτσι επιτυγχάνεται όσο γίνεται καλύτερα η επαφή των λυμάτων με το μέσο εκτέλεσης. Στο στάδιο της αποστράγγισης, μπαίνει ατμοσφαιρικός αέρας που έχει ως βασικό του σκοπό τόσο την ενίσχυση των καταστάσεων στις οποίες η παρουσία οξυγόνου κρίνεται απαραίτητη όσο την αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας. Τέλος, σχετικά με την απομάκρυνση των μετάλλων διαφοροποιείται και κατακτάτε τις περισσότερες φορές μέσω της κατακρήμνισης και της εμφίξεσης. Σε αντίθεση, η απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τη διάθρωση του υπεδάφους αλλά και τον ρυθμό ροής τους (Ανδρεαδάκης, 2015).



Εικόνα 7: Τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης υπόγειας ροής

(Πηγή: Stefanakis et al., 2014)



Εικόνα 8: Τεχνητός Υγροβιότοπος οριζόντιας υπόγειας ροής

(Πηγή: Vymazal 2002)

4.8 Σύγκριση τεχνητών υγροβιότοπων υπόγειας και επιφανειακής ροής

Πραγματοποιώντας μια σύγκριση μεταξύ των συστημάτων υπόγειας ροής και των συστημάτων επιφανειακής ροής, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι τα συστήματα υπόγειας ροής αντέχουν περισσότερο τόσο στις χαμηλές θερμοκρασίες όσο και στις μεγάλες φορτίσεις ρύπων, συγκριτικά πάντα με τα συστήματα επιφανειακής ροής. Επίσης, είναι φανερό η μείωση των προβλημάτων που παρουσιάζονται με την ύπαρξη των ζωντανών οργανισμών (εντόμων) όσο και των οσμών. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό αφομοίωσης στις μονάδες επιφάνειας (EPA 1995).

Το πορώδες υλικό που έχουν τα συστήματα υπόγειας ροής τους επιτρέπει να έχουν μεγαλύτερη έκταση επιφάνειας για να μπορούν να επεξεργάζονται τα απόβλητα καλύτερα μέσα από την επαφή, κάτι που δεν συμβαίνει με τα συστήματα επιφανειακής ροής. Μια ακόμη διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων, είναι ότι η επιφάνεια του νερού δεν είναι ακάλυπτη στην ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου δεν δημιουργούνται ζητήματα που αφορούν την προσβασιμότητα των ανθρώπων, ενώ αρκετά είναι τα συστήματα υπόγειας ροής που συναντάμε σε δημόσιους χώρους όπως είναι τα πάρκα αναψυχής (Στεφανάκης 2011).

Όπως έχει αναφερθεί και στα παραπάνω κεφάλαια της εργασίας, οι δαπάνες που αφορούν την κατασκευή των τεχνητών υγροβιότοπων υπόγειας ροής στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πολύ υψηλές. Επιπλέον, ο έλεγχος τους θεωρείται πιο δύσκολος συγκριτικά με τα συστήματα επιφανειακής ροής. Ενώ εξίσου δαπανηρό είναι και το κόστος συντήρησης και επισκευής από ό,τι στα συστήματα επιφανειακής ροής. Τέλος, σε κάποια συστήματα μπορεί να παρουσιαστούν ζητήματα εμφράξεων εξαιτίας της υδραυλικής υπερφόρτισης ή και φαινόμενα φραξίματος των πόρων του υλικού.

4.9 Συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών

Με την έννοια «*σύστημα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών*», θεωρούμε ότι είναι ένας τεχνητός υγροβιότοπος, ο οποίος έχει διαφορετικού τύπου βλάστηση. Στα συγκεκριμένα συστήματα συνήθως χρησιμοποιούνται υδροχαρή φυτά όπως για παράδειγμα η *Eichhornia crassipes*, είδη του γένους *Hydrocotyle* αλλά και είδη της οικογένειας *Lemnaceae*. Τα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά κρίνονται απαραίτητα για την αποτελεσματική μείωση του BOD, του αζώτου αλλά και ποικίλων μετάλλων και οργανικών ουσιών. Δηλαδή, τα επιπλέοντα φυτά μεταβάλλουν τις διαλυμένες ανόργανες ουσίες σε φυτική μάζα, ενώ οι ρίζες «χορηγεί» την επιφάνεια όπου και πραγματοποιείται η «βιολογική δράση», παράλληλα βοηθούν τόσο στην ένωση όσο και στην συγκράτηση των αιωρούμενων στερεών. Η αποδοτικότητα των συστημάτων αυξάνεται σε θερμά κλίματα. Τέλος με την χρήση των συστημάτων των υδροχαρών φυτών μειώνονται τα προβλήματα ανάπτυξης των αλγών.

Αναλόγως με το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου αλλά και τη μέθοδο του αερισμού της δεξαμενής τα συστήματα χωρίζονται σε: α) $\frac{3}{4}$ αερόβια (μη αεριζόμενα), β) $\frac{3}{4}$ αερόβια (αεριζόμενα) και γ) $\frac{3}{4}$ επαμφοτερίζοντα αναερόβια.

Ένα μη αεριζόμενο ή αερόβιο σύστημα υακίνθων, μπορεί να επιτυγχάνει την ροή του υγρού προς τα έξω σε επιπέδου δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ή ακόμη και υψηλής απομάκρυνσης θρεπτικών ουσιών αναλόγως με το εκάστοτε εφαρμοζόμενο οργανικό φορτίο. Ο συγκεκριμένος τύπος είναι και ο πιο γνωστός αφού έχει ως βασικό πλεονέκτημά του την καλή ποιότητα διάχυσης και κατά συνέπεια και τον περιορισμό διαφόρων εντόμων κυρίως κουνουπιών, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να διώξει και τις δυσάρεστες οσμές. Σε περίπτωση εμφάνισης κουνουπιών και οσμών δεν θεωρείται σοβαρό πρόβλημα, καθώς λόγω της θέσης του συστήματος τα αερόβια-αεριζόμενα συστήματα κρίνονται τα πιο κατάλληλα αφού μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτά μεγαλύτερο οργανικό φορτίο με συνέπεια τον περιορισμό της απαιτούμενης έκτασης.

Η εφαρμογή της τρίτης κατηγορίας(επαμφοτερίζοντα αναερόβια) είναι περιορισμένη καθώς χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την εμφάνιση έντονων οσμών ενώ παράλληλα παρατηρείται και αύξηση των κουνουπιών. Τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν με υψηλά οργανικά φορτία. Σχετικά με το υδραυλικό φορτίο των συστημάτων επιπλεόντων υδροχαρών φυτών, κυμαίνεται από 24 μέχρι 360m³/στρ.ημέρα. Για την εκπλήρωση όμως της εκροής σε επίπεδο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας (BOD5 και SSmg/l) το εφαρμοζόμενο υδραυλικό φορτίο πρέπει να κυμαίνεται από 20 έως 60 m³/στρ. ημέρα. Αντιστοίχως, ο ρυθμός εφαρμογής του οργανικού φορτίου σε συστήματα όπως αυτών των υακίνθων (που είναι και το πλέον διαδεδομένο σύστημα) αυξομειώνεται ανάμεσα στο 1,0 και 30,0 Kg/στρ. ημέρα, για την αποτροπή προβλημάτων οσμών πρέπει η φόρτιση να παραμένει κάτω από 16 Kg/στρ. ημέρα.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονίσουμε ότι η επαναλαμβανόμενη συλλογή, κρίνεται αναγκαία αφού έτσι διατηρείται η υψηλή μεταβολική ικανότητα των φυτών που έχουν στόχο την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών. Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην συλλογή εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα ανάπτυξης των φυτών όσο και από τα απαιτούμενα κριτήρια εκροής και της επίδρασης των εντόμων. Τα φυτά, αν το επιτρέπει η ποιότητά τους, η οποία εξαρτάται κυρίως από το πόσο τοξικές είναι οι ουσίες των λυμάτων,

μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τροφή στα ζώα. Ακόμα, άλλες χρήσεις τους είναι το λίπασμα ή παραγωγή μεθανίου σε ειδικό χωνευτήρα. Τέλος, κάθε χρόνο η στρεμματική απόδοση σε ξηρό προϊόν για υάκινθους κυμαίνεται από 6 έως 22 τόνους.

Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων υδροχαρών φυτών είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής και το χαμηλό λειτουργικό κόστος. Επίσης, ένα άλλο πλεονέκτημα των συστημάτων θεωρείται η εκπλήρωση της απομάκρυνσης μεγάλου οργανικού φορτίου, κάτω από το πρίσμα των κατάλληλων συνθηκών. Το τελευταίο πλεονέκτημα, είναι αυτό της υψηλής απομάκρυνσης των θρεπτικών ουσιών. Όσον αφορά, τα μειονεκτήματα, το βασικότερο είναι ότι χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης, ώστε να μπορέσουν να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν. Ακόμη, είναι πολύ πιθανό να παρατηρηθούν έντονες οσμές αλλά και αύξηση ύπαρξης εντόμων. Ταυτόχρονα, ένα μειονέκτημα, θεωρείται και η έντονη εξάρτηση από περιβαλλοντικούς-κλιματολογικούς παράγοντες. Τέλος, η δυσκολία στην διάθεση των υδροχαρών φυτών για την χρήση τους ως λίπασμα ή και ζωοτροφή, θεωρείται ακόμη ένα μειονέκτημα των συστημάτων επιπλέον των υδροχαρών φυτών (<https://www.apdkritis.gov.gr/sites/default/files/files/%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%95%CE%A5%CE%98%CE%A5%CE%9D%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%9C%CE%9C%CE%95%CE%A3%20%CE%A5%CE%A0%CE%95%CE%9A%CE%91%20%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%20%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A5%CE%A3.pdf>)

Κεφάλαιο 5^ο: Σύνολο φυτικών ειδών των υγροβιότοπων

5.1 Προϋποθέσεις καταλληλότητας φυτών

Το σύνολο των φυτών που κατέχει καθοριστικό ρόλο στην ύπαρξη των τεχνητών υγροβιότοπων. Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνητοί υγροβιότοποι χαρακτηρίζονται και ως «πράσινη τεχνολογία», αυτό συμβαίνει εξαιτίας των φυτών. Οι κατηγορίες βλάστησης που συναντάμε στους τεχνητούς υγροβιότοπους είναι συνήθως η ίδια με αυτές που συναντάμε και στους φυσικούς υγροβιότοπους. Για να μπορέσουν να θεωρηθούν κατάλληλα και να χρησιμοποιηθούν, οι διάφορες κατηγορίες των φυτών θα πρέπει να πληρούν μερικές προϋποθέσεις (Tanner 1996).

Αρχικά, θα πρέπει να ταιριάζουν και να συμβαδίζουν με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής. Η συγκεκριμένη προϋπόθεση κρίνεται απαραίτητη για να μπορέσει να ύπαρξη η κατάλληλη πρόληψη κατά της εμφάνισης τόσο ζιζανίων και ασθενειών όσο και για την μείωση του ποσοστού ενδεχόμενων περιβαλλοντικών κινδύνων ή ακόμη και την αξιοπιστία των οικολογικών φυσικών συστημάτων.

Μια άλλη προϋπόθεση, θεωρείται η αντοχή στις κλιματικές συνθήκες, οι οποίες είναι μεταβαλλόμενες. Ακόμη, θα πρέπει να έχουν εξίσου μεγάλες αντοχές στους ρύπους και στις υπερβολικά αναπτυγμένες συνθήκες της στασιμότητας των υδάτων. Επίσης, η ταχεία ανάπτυξη, διάδοση και η εξάπλωση των φυτών είναι και αυτή μια από τις σημαντικές προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούν οι κατηγορίες των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν στους υγροβιότοπους. Η τελευταία προϋπόθεση, που αφορά την ακαταλληλότητα της βλάστησης, είναι κατά πόσο καλά μπορεί να απομακρύνει το ανάλογο φυτό τους ρύπους. Η διαδικασία απομάκρυνσης των ρύπων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε άμεσα με την επιτόπου αφομοίωση, είτε έμμεσα με την σταδιακή άνοδο των μικροβιακών αλλαγών, όπως για παράδειγμα η νιτροποίηση.

5.2 Κατηγορίες φυτών

Κατά κύριο λόγο, οι κατηγορίες των φυτών, θα μπορούσε κάποιος να τις διακρίνει σε τέσσερα (4) είδη. Στο πρώτο είδος συγκαταλέγονται τα επιπλέοντα φυτά (π.χ *νούφαρο*). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα επιπλέοντα φυτά με φύλλα (π.χ *Nymphaeoides peltata*). Ενώ στην τρίτη και τέταρτη κατηγορία βρίσκονται τα αναδύμενα υδρόφυτα και σχεδόν βυθισμένα υδρόφυτα.

Σχετικά με τα είδη βλάστησης που συναντάμε τα τελευταία χρόνια στους τεχνητούς υγροβιότοπους ανήκουν στην κατηγορία των αναδυόμενων φυτών. Πιο συγκριμένα, στους υγροβιότοπους όλο και πιο συχνά αντικρίζουμε:

A) Το ψαθί (*Typha spp.*): Το συγκεκριμένο είδος φυτού έχει μακριά και στενά φύλλα ενώ τα άνθη του είναι χρώματος καφέ και κυλινδρικού σχήματος. Τα συναντάμε συχνά σε σχεδόν σε όλους του υγροβιότοπους, αφού είναι πολύ ανθεκτικά και αναπτύσσονται σε όλα τα περιβάλλοντα. Επίσης, η εξάπλωσή του γίνεται με γρήγορους ρυθμούς (βλ. *Εικόνα 8*). Άρα πληρούν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που αναφέραμε στην παραπάνω ενότητα.



Εικόνα 9: Ψαθί

(Πηγή: <https://www.wildflowersprovence.fr/plant/typha-latifolia/>)

B) Τα σήφη (*Scirpus spp.*): Τα συγκεκριμένα φυτά έχουν αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγαλώνουν σε συμπλέγματα. Τα συναντάμε παντού ενώ η ανάπτυξή τους πραγματοποιείται κάτω από ένα πλήθος διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Δηλαδή, μπορεί να τα βρούμε σε γλυκά νερά, σε γλυφά ύδατα αλλά και σε αλμυρά περιβάλλοντα (EPA 1995). Αυτό το είδος βλάστησης πληρή και αυτό τις προϋποθέσεις (βλ. Εικόνα 9).



Εικόνα 10: Σήφη (*Scirpus* spp.)

(Πηγή: https://grylliswaterlilies.gr/Scirpus_maritimus)

Γ) Το καλάμι (*Phragmites* spp.): Κατά κύριο λόγο, το καλάμι το βρίσκουμε στους υγροβιότοπους της Ευρώπης. Το καλάμι εμφανισιακά έχει την μορφή αναπτυγμένου χόρτου. Έχει και αυτό μεγάλη διάρκεια στον χρόνο. Το συγκεκριμένο είδος βλάστησης είναι αρκετά διαδεδομένο, αφού είναι από τα αναδυόμενα φυτά (EPA 1995). Υπάρχουν διάφορες ποικιλίες καλαμιών. Παρόλα αυτά, στην Ευρώπη οι ποικιλίες που ξεχωρίζουν είναι η «*Phragmites australis*» και η «*Phragmites communis*» (βλ. Εικόνα 11 & 12).

Η ποικιλία του καλαμιού «*Phragmites australis*», είναι ένα ποώδες φυτό που «συμπαθεί» το νερό. Βλαστάνει σε όρθια στάση, τα φύλλα του είναι πράσινα ενώ η διάταξη των ανθών στο τέλος του καλοκαιριού είναι σε όρθια θέση και έχουν κωνικό σχήμα. Η ανάπτυξη της ποικιλίας αυτής γίνεται μέσα στα ύδατα σε ηλιόλουστες θέσεις. Συνήθως, η φύτευση του πραγματοποιείται στις όχθες των λιμνών ή ακόμη και σε μεγάλης έκτασης υδρόκηπους. Τέλος, ένα ακόμη χαρακτηριστικό της ποικιλίας είναι πως δεν προσβάλλεται εύκολα από διάφορες ασθένειες (www.gardensandplants.com).



Εικόνα 11: Καλάμι (*Phragmites* spp.)

(Πηγή: https://grylliswaterlilies.gr/Phragmites_australis)



Εικόνα 12: Καλάμι «*Phragmites australis*»

(Πηγή: <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/graminoid/phraus/all.html>)



Εικόνα 13: Κάλαμι «*Phragmites communis*»

(Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-common-reed-Phragmites-communis-recorded-at-the-intertidal-mud-habitats-of-Rahima_fig3_334469405)

Δ) Βούρλο (*Juncus spp.*): Ο γιούνκος ή αλλιώς βούρλο είναι ένα αειθαλές, υδροχαρές φυτό το οποίο έχει την μορφή γρασιδιού. Είναι εξαιρετική επιλογή για ελεύθερη φυσική ανάπτυξη, πέρα από την χρήση στους υγροβιότοπους, προτιμάται και για εξοχικούς κήπους ή και σε σημεία κυρίως γωνίες που υπάρχει στάσιμο νερό. Το ύψος του φυτού μπορεί να ξεκινήσει από το 1 μέτρο και μπορεί να φτάσει μέχρι 1,5 μέτρο ψηλά. Ενώ έχει πλάτος, από μισό έως 1 μέτρο. Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να αναπτυχθεί είναι 2 έως 5 έτη. Εμφανισιακά ο γιούνκος, έχει μακριά και στενά φύλλα, τα οποία μοιάζουν με χορτάρι. Συνήθως το βούρλο φυτρώνει χαμηλά στο έδαφος, δημιουργώντας μικρές, πυκνές τούφες, των οποίων οι αποχρώσεις είναι πράσινες και κίτρινες. Αν το φυτό βρίσκεται σε ζεστά κλίματα τότε διατηρεί το πράσινο χρώμα στα φύλλα του όλη την χρονιά. Αντίθετα, όταν βρεθεί σε ψυχρό κλίμα το φύλλωμα του αλλάζει αποχρώσεις και γίνεται κίτρινο και κάφε(βλ. Εικόνα 13). Η αλλαγή των χρωμάτων στο φύλλωμα δηλώνει και την αλλαγή της θερμοκρασίας (https://www.antemisaris-group.gr/fyta/ydrochari-ydrovia/giounkos-i-vourlo-juncus-effusus_99346/).



Εικόνα 14: Γίουγκος ή Βούρλο

(Πηγή: https://www.antemisar-is-group.gr/fyta/ydrochari-ydrovia/giounkos-i-vourlo-juncus-effusus_99346/)

Ε) Σπαθόχορτο ή Κάρηξ (*Carex spp.*): Θεωρείται ποώδες φυτό, χρησιμοποιείται περιμετρικά των υγροβιότοπων ενώ εμφανίζεται και στους βάλτους. Στην χώρα μας, υπάρχουν περίπου 40 είδη από την συγκεκριμένη κατηγορία. Όσον αφορά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του, το φύλλωμα του σπαθόχορτου είναι στενό και έχει μήκος 15 εκατοστά, ενώ στην μέση παρατηρείται μια άσπρη γραμμή. Για την ανάπτυξή του πρέπει να υπάρχει αρκετό φως, παράλληλα πρέπει να σημειωθεί ότι αντέχει και σε περιοχές με πολύ ήλιο. Παρόλα αυτά, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν θα πρέπει να πέσει κάτω από του 4 βαθμούς Κελσίου (<https://www.parthenopoulos.gr/kipos/fita/karix-i-spathoxorto.php>).



Εικόνα 15: Κάρηξ ή Σπαθόχορτο

(Πηγή: <https://www.parthenopoulos.gr/kipos/fita/karix-i-spathoxorto.php>)

5.3 Ο ρόλος των φυτών στους υγροβιότοπους

Το πόσο σημαντική είναι η παρουσία της βλάστησης στους (τεχνητούς) υγροβιότοπους, είναι ευρέως γνωστή τα τελευταία χρόνια. Τα φυτά έχουν θετική επίδραση στην λειτουργικότητα των συστημάτων (Stottmeister et al. 2003). Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι πιο γνωστές λειτουργίες των φυτών στους υγροβιότοπους (Brix 1997, Προχάσκα 2005).

Ως πρώτη λειτουργία δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από την μεταφορά του οξυγόνου στις ρίζες των συστημάτων αλλά και στην ελεύθερη διοχέτευση του στο έδαφος του υγροτόπου. Τα φυτά που «ξεπροβάλλουν» μέσα από τα ύδατα, έχουν το θετικό χαρακτηριστικό πως μπορούν να απορροφήσουν με την βοήθεια των φυλλωμάτων τους το οξυγόνο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και στην συνέχεια να το διοχετεύουν μέσα από τους μικρούς σωλήνες τους στις ρίζες. Έτσι, ενώ οι ρίζες βρίσκονται σε ένα περιβάλλον στο οποίο η παρουσία οξυγόνου δεν κρίνεται απαραίτητα, έχουν την δυνατότητα να αερίζονται. Σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από τους Reed et al. (1995), «Η ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να μεταφερθεί εξαρτάται από την πυκνότητα των φυτών και τα επίπεδα οξυγόνου στις ρίζες τους και μεταβάλλεται μεταξύ 5 και 45 g O₂ /ημέρα /m² επιφάνειας υγροβιότοπου». Βέβαια, το μεγαλύτερο μέρος από το οξυγόνο το χρησιμοποιούν τα φυτά, μια ποσότητα του οξυγόνου πηγαίνει και στο εξωτερικό μέρος των ριζών, έτσι δημιουργούνται αερόβιες συνθήκες και εξαιτίας αυτών αναπτύσσονται αερόβια μικρόβια. Επομένως, χρησιμοποιούνται αερόβιες αντιδράσεις όπως για παράδειγμα, η νιτροποίηση. Ενώ, στο υπόλοιπο μέρος του συστήματος χρησιμοποιείται η μέθοδος της αναερόβιας αποσύνθεσης. Η μεταφορά του

οξυγόνου με συγκεκριμένο μηχανισμό υλοποιείται συνήθως σε υδροβιότοπους υπόγειας ροής. Ενώ στους υδροβιότοπους επιφανειακής ροής, που οι ρίζες των φυτών δεν έρχονται άμεσα σε επαφή με το απόβλητο, ο μηχανισμός γίνεται απ' ευθείας με τον αερισμό από την ατμόσφαιρα (Τσιχριντζής 2000).

Ακόμη, η πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) και η ενσωμάτωση τόσο των θρεπτικών όσο και των οργανικών ουσιών στην κυτταρική μεμβράνη των φυτών, είναι η δεύτερη πιο γνωστή λειτουργία των φυτών. Σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποίησαν οι Heritage, Pistillo, Sharma and Lantzke (1995), σε υδροβιότοπους κατακόρυφης ροής στους οποίους η βλάστηση ήταν *P. australis* και *Typha*, έδειξαν πως «*Η αύξηση της απομάκρυνσης του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN) κατά 30-40 % και του ολικού φωσφόρου (TP) κατά 10-20 % σε σχέση με πανομοιότυπα συστήματα υδροτόπων πληρωμένων μόνο με χαλίκι 5-7 mm και χωρίς φυτική κάλυψη*». Επίσης, η ποσότητα των θρεπτικών που δύναται να απομακρυνθεί αν υλοποιηθεί θερισμός των φυτών δεν είναι τόσο σημαντική σε σύγκριση με το φορτίο που δέχονται τα συστήματα των υδροβιότοπων (Brix 1994a). Οι Kadlec et al. (2000) μετά από έρευνες έχουν δηλώσει πως «*Η ποσότητα των θρεπτικών που έχει ενσωματωθεί στην κυτταρική μεμβράνη των φυτών να επιστρέψει στο υγρό απόβλητο με διεργασίες βιολογικής αποικοδόμησης*».

Η αμέσως επόμενη λειτουργία που βρίσκουμε στα φυτά, είναι η ανάπτυξη πληθυσμού που αφορά τα μικρόβια. Ο ρόλος που κατέχει το ριζικό σύστημα σε αυτή την λειτουργία είναι αυτός του υποστρώματος. Το υπόστρωμα είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, έχοντας την μορφή ραδινών βιολογικών μεμβρανών περιμετρικά από τα υπόγεια μέρη της βλάστησης. Αυτές οι ραδινές βιολογικές μεμβράνες είναι υπεύθυνες για τις διαδικασίες διάσπασης των οργανικών ενώσεων που αφορούν τους ρύπους σε πιο απλές ενώσεις μέχρι τα ανόργανα υλικά (Kadlec et al. 2000).

Η τέταρτη λειτουργία έχει να κάνει και αυτή με το υπόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με την διατήρηση καλής υδραυλικής αγωγιμότητας του υποστρώματος. Με την ανάπτυξη των ριζών το έδαφος των υδροτόπων κλονίζεται και ταυτόχρονα χαλαρώνει. Επιπρόσθετα, καθώς τα ριζώματα σταματούν να λειτουργούν και διασπώνται υπό την επίδραση ζυμωτικών μικροβίων, δημιουργούνται πίσω τους κενά. Τα κενά αυτά πιστεύεται ότι προκαλούν άνοδο στην υδραυλική αγωγιμότητα των υδροβιότοπων ενώ παράλληλα εξαιτίας αυτών παρεμποδίζεται η έμφραξη των συστημάτων (Brix 1994a). Παρόλα αυτά, πλήθος ερευνών έχουν δείξει πως η έντονη και συνεχής ανάπτυξη των ριζών πολλές φορές μπορεί να προκαλέσει απόφραξη των ριζών που έχουν νεκρωθεί με αποτέλεσμα την ελάττωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του συστήματος (Kadlec et al. 2000).

Η μόνωση που προκαλεί το σύνολο των φυτών στους υδροβιότοπους, ουσιαστικά είναι η πέμπτη στην σειρά λειτουργία. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη λειτουργία παρεμποδίζεται η δημιουργία πάγου τους χειμερινούς μήνες ενώ ανάλογη είναι και η διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας του εδάφους τους καλοκαιρινούς μήνες (Kadlec et al. 2000).

Η έκτη λειτουργία, ασχολείται κυρίως με την αισθητική βελτίωση των συστημάτων. Δηλαδή, το σύνολο των φυτών έχουν καθαρά συμπληρωματικό χαρακτήρα στην

δημιουργία της εικόνας των υδροβιότοπων ενώ ταυτόχρονα σημαντική είναι και η συμβολή τους στην ομαλή και πλήρη ένταξη των συστημάτων γενικά στο φυσικό περιβάλλον (Brix 1994a).

Από τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν και αναπτύχθηκαν παραπάνω οι πιο γνωστές που συναντάμε στους υδροβιότοπους θεωρούνται η πρόσληψη από τα φυτά, η μόνωση, η διατήρηση καλής υδραυλικής αγωγιμότητας και η αισθητική βελτίωση των συστημάτων. Λόγω του ότι στα συστήματα αυτά η λειτουργία τους δεν είναι συνεχής συνήθως δέχονται μεγάλες υδραυλικές «πιέσεις», ενώ και η ποσότητα παροχής οξυγόνου στα ριζώματα του συστήματος είναι αρκετά μικρή σε σύγκριση με την ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται γενικά κατά την διαδικασία των «πιέσεων» αλλά και ειδικά ανάμεσα στους χρόνους που ενεργούν οι δύο φορτίσεις (Brix 1994a).

Κεφάλαιο 6^ο: Σύγκριση συστημάτων

6.1 Σύγκριση φυσικών συστημάτων(τεχνητοί υδροβιότοποι) με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Τα φυσικά συστήματα όπως οι τεχνητοί υδροβιότοποι σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας φαίνεται πως είναι πιο ελκτικά και ευχάριστα συστήματα διότι ως πηγή ενέργειας για να λειτουργήσουν χρησιμοποιούν τον ήλιο. Αυτό δίνει την δυνατότητα σε πολλά κράτη του κόσμου να το προτιμούν, κυρίως στις περιοχές που η αγροτική ζωή είναι αναπτυσσόμενη (Jamieson et al., 2007; Kivaisi, 2001). Ακόμη, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, οι τεχνητοί υδροβιότοποι συμφέρουν οικονομικά καθώς τόσο οι κατασκευαστικές δαπάνες είναι χαμηλές, όσο και το κόστος συντήρησης τους είναι εξίσου φθινό. Οι παραπάνω δαπάνες μπορούν να σχετίζονται είτε με την λειτουργία του συστήματος είτε με την κατανάλωση ενέργειας ή και με τον εφοδιασμό των υλικών κατασκευής των τεχνητών υδροβιότοπων. Συνάμα, η ενασχόληση στις εγκαταστάσεις των τεχνητών υδροβιότοπων σε σύγκριση πάντα με την ενασχόληση στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ενώ οι αυξομειώσεις στην ροή τους γίνεται φανερή. Επίσης, μια ακόμη διαφορά των τεχνητών υδροβιότοπων με τα συμβατικά συστήματα αφορά τις ταχύτητες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Δηλαδή, οι ταχύτητες επεξεργασίας τους είναι αρκετά χαμηλές. Το αποτέλεσμα των χαμηλών ταχυτήτων επεξεργασίας του ενεργού ιλύος είναι ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού. Τέλος, μερικά ακόμα θετικά χαρακτηριστικά των τεχνητών υδροβιότοπων, είναι η ομαλή ένταξή τους στο φυσικό περιβάλλον αλλά και η αλλαγή που γίνεται προς το καλύτερο στους εξωτερικούς χώρους. Με αυτή την αισθητική βελτίωση, επιτυγχάνεται και η αποδοχή του κόσμου όσον αφορά την κατασκευή και την λειτουργία των συγκεκριμένων συστημάτων (Kadlec et al., 2000).

Βέβαια, εκτός από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν και αρνητικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, για να μπορέσει το έργο των τεχνητών υδροβιότοπων να υλοποιηθεί σωστά, χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης. Ακόμα, αν οι εκτάσεις γης που θα στελεχώνουν τις εγκαταστάσεις των τεχνητών υδροβιότοπων δεν χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, η επαναχρησιμοποίησή τους είναι αρκετά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Ένα σημαντικό ελάττωμα των τεχνητών υδροβιότοπων, θεωρείται το μειωμένο αποτέλεσμα που δίνουν τον χειμώνα, το οποίο επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες και κατά συνέπεια από την αποβολή των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά (Liang et al., 2003; Luderitz et al., 2001; Vymazal, 2005b).

Για πολλά χρόνια τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας του ενεργού ιλύος, θεωρούνταν αρκετά αποτελεσματικά. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι δεν είχαν κάποιους όρους και προϋποθέσεις αλλά και επιπτώσεις κατά την χρήση τους.

Τα συστήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε τα υγρά απόβλητα να συγκεντρώνονται από διαφορετικές περιοχές σε μια συγκεκριμένη κεντρική μονάδα, στην οποία και επεξεργάζονται. Όλη η παραπάνω διαδικασία

συγκέντρωσης και επεξεργασίας των λυμάτων, προκαλεί πολλές ζημιές τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στην οικονομία της εκάστοτε περιοχής.

Ακόμη, στα συμβατικά συστήματα η βιομηχανική μορφή είναι ευδιάκριτη, για αυτόν το λόγο και ο χωροταξικός σχεδιασμός τους είναι μακριά από τις κατοικημένες περιοχές. Για την στελέχωση των συστημάτων αυτών, τα ογκώδη μηχανήματα όπως επίσης και η έντονη χρήση του μπετόν αλλά και του ατσαλιού κρίνονται απαραίτητα. Κατά συνέπεια, η κατανάλωση μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας είναι μονόδρομος. Σε αντίθεση, με τα φυσικά συστήματα με την υψηλή κατανάλωση ρεύματος οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή και προκαλούν προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Εκτός αυτού, με την χρήση των συμβατικών συστημάτων δημιουργείται έντονη ηχορύπανση ενώ διαχέονται και δυσάρεστες οσμές.

Επιπρόσθετα, στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την επίβλεψη των εργασιών κάτι που στα φυσικά συστήματα δεν χρειάζεται. Επίσης, μια ακόμα διαφορά που παρατηρείται ανάμεσα στα δύο συστήματα επεξεργασίας των λυμάτων, είναι το κόστος. Τα χρηματικά ποσά που χρειάζονται τόσο για την κατασκευή όσο και για την χρήση και συντήρηση είναι πολύ περισσότερα από αυτά που χρειάζονται για την δημιουργία και την στελέχωση των φυσικών συστημάτων (π.χ τεχνητών υδροβιότοπων). Σε όλες αυτές τις δαπάνες έρχονται να προσθέτουν και οι τυχόν βλάβες ή δυσλειτουργίες, οι οποίες δεν αποτελούν καθόλου σπάνια φαινόμενα. Κλείνοντας, τα συμβατικά συστήματα έχουν μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής (20-30 χρόνια) και η διαχείριση ξαφνικών αυξήσεων της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με δυσκολία.

Άρα, όπως καταλαβαίνουμε τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων όσο και αν έχουν θετικές βλέψεις για την ανάπτυξη ενός καλύτερου φυσικού περιβάλλοντος, η δομή και η χρήση τους δεν «συμφωνούν» με τον αρχικό-βασικό στόχο (Stefanakis, Akratos and Tsihrintzis 2014).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά λοιπόν, είναι γνωστό πως εδώ και αρκετά χρόνια ένα από τα κυρίαρχα ζητήματα που προβληματίζει τον επιστημονικό κλάδο και όχι μόνο είναι αυτό του κινδύνου δημιουργίας και συγκέντρωσης αποβλήτων στο φυσικό περιβάλλον.

Η προσπάθεια που γίνεται για την διαχείριση των λυμάτων αλλά και της επαναχρησιμοποίησης τους σε τομείς όπως, η γεωργία, η βιομηχανία, η αστική χρήση και τέλος η πόσιμη χρήση, είναι αξιέπαινη. Για αυτόν τον λόγο, η προσοχή όλου του παγκόσμιου χάρτη, είναι υπέρ των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης του ζητήματος.

Όλο και περισσότερο είναι το ποσοστό των ανθρώπων το οποίο εντάσσεται υπέρ των φυσικών συστημάτων. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, έχουν ως κύριο μέλημα τους την προστασία του περιβάλλοντος και την χρήση φυσικών οικοσυστημάτων αλλά και των πηγών ενέργειας, τα οποία έχουν ως τελικό στόχο στο μέλλον να εξασφαλιστεί η ποιότητα και ισορροπία του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, τα υγρά απόβλητα θεωρούνται από τις βασικές κατηγορίες, από τις οποίες μπορεί να προκληθεί σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση.

Τα φυσικά συστήματα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με κοινωνικό-πολιτισμικούς αλλά και οικονομικούς παράγοντες της εκάστοτε κοινωνίας. Τα φυσικά συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι μια εξελισσόμενη μέθοδος, η οποία σε βάθος χρόνου μπορεί να προστατέψει το φυσικό περιβάλλον από τους ρύπους. Αυτό συμβαίνει, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε μικρούς όσο και σε μεγάλους σε έκταση οικισμούς. Βασικό χαρακτηριστικό, και αυτό που κάνει τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων να διαφέρουν από τα συμβατικά συστήματα, δεν είναι άλλο, από το μικρό κόστος τόσο στο κομμάτι της κατασκευής και της λειτουργίας του όσο και στο ότι δεν κρίνεται απαραίτητη η παρουσία ειδικά εκπαιδευμένου προσωπικού. Με λίγα λόγια, η ύπαρξη των φυσικών συστημάτων φαίνεται ότι συμφέρει περισσότερο από ότι τα υπόλοιπα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος όσο και για την προστασία της υγείας των ανθρώπων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αγγελάκης, Α.Ν. Γκίκας, Π. Επαναχρησιμοποίηση νερού: Επισκόπηση των σύγχρονων πρακτικών και τάσεων στον κόσμο με έμφαση στην Ε.Ε. *Water Utility J.* 2014 , 6 , 67–78.

Αγγελάκης, Α.Ν., Tchobanoglous, G. (1995) Υγρά απόβλητα - Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.

Αγγελάκης, Α.Ν., Τσαγκαράκης, Κ.Π. (2002) Φυσικά συστήματα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων - Αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου.

Ανδρεαδάκης Α., 2015, «Επεξεργασία και Διαχείριση Λυμάτων και ιλύος», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Βαγενάς Δ., 2003. Διαχείριση υγρών αποβλήτων. Αγρίνιο: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Βάνγκιους Σ. (2021) Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία «Δημιουργία Προγράμματος Υπολογισμού, διαστασιολόγησης και κοστολόγησης για λίμνες σταθεροποίησης». Αθήνα.

Βλυσίδης, Α. (2007). Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων & Νερό. Ανακτήθηκε 20 Ιανουρίου 2024 από <https://docplayer.gr/34807423-Haraktiristika-ygron-apovlition-neron.html>

Ζ.Σ. Βογιατζής και Α.Ι. Στάμου (1994) "Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων"

Ζιώγας Δ., 2015. Πρότυπο σύστημα ελέγχου και πιστοποίησης καλής λειτουργίας μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Μεταπτυχιακή εργασία ΕΑΠ, Πάτρα

Κάτσου, Ε. (2011). Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με τη Χρήση Μεμβρανών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κούγκολος Α. « Εισαγωγή στη Περιβαλλοντική Μηχανική», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005

Κούγκολος, Α. (2007). Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Λυμπεράτος Γ., και Βαγενάς Δ., 2012. Διαχείριση υγρών αποβλήτων. Εκδόσεις Τζιόλα:. Σελίδες 564.

Λυμπεράτος Γ. (2003) Αστικά Λύματα. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, τ.Α' Πάτρα. ΕΑΠ

Μαρκαντωνάτος Γρηγόρης, «Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων», Αθήνα 1990

Μήτρακας, Μ. (2001). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού. Αθήνα: Τζιόλα.

Νταράκας Ε., 2014. Διαχείριση στερεών αποβλήτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη

Νταρακάς, Ε. (2010). Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Ανακτήθηκε 20 Ιανουρίου 2024 από <https://docplayer.gr/30986395-Diergasies-epexergasias-ygtron-apovliton.html>

Πανώρας Ηλίας, Ηλίας Ανδρέας, Άρδευση με Επεξεργασμένα Υγρά Αστικά Απόβλητα, 1999., εκτύπωση βιβλιοδεσία: Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Παρανυχιανάκης, Ν., Κοτσελίδου, Ο., Βαρδάκου, Ε. & Αγγελάκης, Α. (2009). Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα. Λάρισα: Έκδοση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ελλάδας.

Προχάσκα, Χ.Α. (2005) Μελέτη της επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων με χρήση φυσικών συστημάτων. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Στεφανάκης, Ι.Α. (2011). Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότοπων Κατακόρυφης Ροής για την Επεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων και Λάσπης με Χρήση Πιλοτικών Μονάδων. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης.

Τσαλκατίδου Μ. (2010) Μελέτη σχεδιαστικών προσομοιώσεων λιμνών σταθεροποίησης και συνδυασμένης επεξεργασίας λυμάτων με χρήση λιμνών σταθεροποίησης και υγροτόπων. Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Τσιχριντζής, Β.Α. (2000). Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία, Τόμος Ι (Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών) και Τόμος ΙΙ (Φυσικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων - Πρόληψη Ρύπανσης). Ξάνθη: Εκδόσεις Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.

Τσώνης, Σ. (2003). Καθαρισμός νερού. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

ΕΝΟΤΗΤΗ

Angelakis A.N., Koutsoyiannis D., and Tchobanoglous G., 2005. Urban Wastewater and Storm water Technologies in the Ancient Hellas. *Water Res.*, 39, 210–220

Angelakis, A.N. and Snyder, S.A. 2015. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water* 7, 4887-4895.

Bahri Akissa, 2015. Managing the other side of the water cycle: Making wastewater an asset. DOI: [10.13140/RG.2.1.4711.3047](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4711.3047)

Brix, H. (1994a). Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*. 29 (4), pp. 71-78.

Brix, H. (1997). Do macrophytes Play a Role in Constructed Wetlands?. *Water Science and Technology*. 44 (11-12), pp. 11-17

C. Polprasert, et.al., "Bacteria Die-Off Kinetics in Waste Stabilization Ponds", *J. Water Pollution Control*, 55, 285 (1983)

C.E Adams and W.W. Echenfelder, 1980 "Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment", Germantown,

E. Balasha and H. Sperber, (1975) "Treatment of Domestic Wastes in an Aerated Lagoon and Polishing Pond", *Water Resources*, 9, 43

El Moussaoui, T., Wahbi, S., Mandi, L., Masi, S., Ouazzani, N., 2019. Reuse study of sustainable wastewater in agroforestry domain of Marrakesh city, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18, 288-293

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1988. Special Report on Ingested Inorganic Arsenic: Skin Cancer; Nutritional Essentiality. EPA 625/3-87/013. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C

Hai, F., Alturki, A., Nguyen, L., Price, W., & Nghiem, L. (2016). Removal of Trace Organic Contaminants by Integrated Membrane Processes for Water Reuse Applications. In *Green Technologies for Sustainable Water Management* (pp. 533-578).

Heritage, A., Pistillo, P., Sharma, K. P. and Lantzke, I. R. (1995). Treatment of Primary Settled Urban Sewage in Pilot Scale Vertical Flow Wetland Filters: Comparison of Four Emergent Macrophyte Species over a 12 Month Period. *Water Science and Technology*, 32 (3), pp. 295-304.

Hyde C.G., 1937 The beautification and irrigation of golden gate park with activated sludge 495 effluent. *Sewage Works J.* 1937, 9, 929–941.

Kadlec R.H., Wallace S.D. 2009. *Treatment Wetlands* (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL

Kadlec, R. H., & Knight, R. L. (1996). Treatment wetlands. In Lewis Publishers. Boca Raton: Florida.

Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H, Cooper, P. and Haberl, R. (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control. Scientific and Technical Report, No 8. London, England: International Water Association Publishing.

Khatiwaka, N.R. and Polprasert C., 1999. "Kinetics of focal coliform removal in constructed wetland. DOI: [10.1016/S0273-1223\(99\)00446-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00446-1)

Kivaisi, A. K. (2001). The Potential for Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse in Developing Countries: A Review. Ecological Engineering, 16, 545-560.
[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00113-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00113-0)

Le, N., & Nunes, S. (2016). Materials and membrane technologies for water and energy sustainability. Sustainable Materials and Technologies, 7, pp. 1-28.

Liang, C., Das, K.C. and McClendon, R.W. (2003) The Influence of Temperature and Moisture Contents Regimes on the Aerobic Microbial Activity of a Biosolids Composting Blend. Bioresource Technology, 86, 131-137.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00153-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00153-0)

Lofrano G. and Brown J., 2010. Wastewater management through the ages: a history of mankind. Sci Total Environ.; 408(22): 5254-5264.

Luderitz V., Eckert E., Langer-Weber M., Gersberg R.M., 2001 "Nutrient Removal Efficiency and Resource Economics of Vertical Flow and Horizontal Flow Constructed Waterlands" DOI: [10.1016/S0925-8574\(01\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00075-1)

Mara D. 1976 "Sewage Treatment in Hot Climates", J. Wiley and Sons, London,

Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse (Third Edition). McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, inc. 3 ed, 1334 p.

Metcalf and Eddy, Hnc(2012a). Μηχανική υγρών αποβλήτων, Επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση. Αναθεωρημένο από G. Tchobanoglou, F. Burton, D. Stensel. 4^η Έκδοση τόμος Α. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιόλα.

Metcalf and Eddy. (2006). Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση (4η εκδ., Τόμ. Β'). Θεσσαλονίκη: Τζιόλας.

Metcalf-Eddy 1979 "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", McGraw-Hill, New York,

Nguyen, L., Hai, F., Kang, J., Price, W., & Nghiem, L. (2013). Removal of emerging trace or-ganic contaminants by MBR-based hybrid treatment processes. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 85, pp. 474–482.

P.A Vesilind, J.J Peirce and R.F Weiner, “Environmental Pollution and Control”, 3 rd Edition, Butterworth-Heinemann, 1990

Pettygrove G.S., and Asano T., 1984. Irrigation with reclaimed municipal wastewater. A guidance Manual. California State Water Resources Control Board USA pp 528.
Pichtel J., 2014. Waste Management Practices- Municipal, Hazardous & Industrial. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Polprasert, C & Rajput, Vipul & Donaldson, D & Viraraghavan, T. 1982. Septic tank and septic systems. *Environmental sanitation reviews*, Bangkok, Thailand 1-110.

R.S. Ramalho, “Introduction to Wastewater Treatment Processes”, 2nd Edition, Academic Press, 1983

R.S. Ramalho, 1977 "Introduction to Wastewater Treatment Processes", Academic Press, New York,

Reddy, D. L., Kuman, D., & Asolekar, R. S. (2014). Typologies for Successful Operation and Maintenance of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetlands HYDRO 2014 International MANIT Bhopal Page 147 HYDRO 2014 International MANIT Bhopal Page 148. *International Journal of Engineering Research*, (2012), 147–155.

Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. New York: 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc.

Rodriguez, C., Van Buynder, P., Lugg, R., Blair, P., Devine, B., Cook, A. and Weinstein, P., 2009. Indirect potable reuse: a sustainable water supply alternative. *International journal of environmental research and public health*, 6(3), 1174–1209. <https://doi.org/10.3390/ijerph6031174>

Salgot M. and Folch M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. Current opinion in Environmental Science and Health. USA Elsevier v.2: 64-74. Ανακτήθηκε στις 16 Μαρτίου 2024 από: <https://www-sciencedirectcom.proxy.eap.gr/science/article>.

Shamas, J., Engle, A.J., Krenkel, P., 2015. Wastewater Treatment & Water Reclamation, 1-29

Sonune, A., Ghate, R. (2004) Developments in wastewater treatment methods. *Desalination* 167, 55-63.

Stefanakis, A., Akrotos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). Vertical Flow Constructed Wetlands: Ecoengineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment.

Stottmeister, U., Wiessner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A. and Moormann, H. (2003). Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology Advances*. 22, pp. 93– 117.

Tilley E., Ulrich L., Luethi C., Reymond P., and Zurbruegg, C. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Dübendorf.

U.S. EPA (2002) *A handbook of constructed wetlands, a guide to creating wetlands*.

USA Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *A Handbook of Constructed Wetlands – Volume 1: General Considerations*. USEPA-Region III with USDA, NRCS.

Vymazal, J. (2002). The Use of Sub-surface Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in the Czech Republic: 10 Years' Experience. *Ecological Engineering*. Vol. 18, pp. 633-646.

Vymazal, J. (2005). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. *Ecological Engineering*. Vol. 25, pp. 475-477.

W.W. Eckenfelder, "Industrial Water Pollution Control", McGraw-Hill, 1989

Zhang, Q., Chuang, K.T. (2001) Adsorption of organic pollutants from effluents of a Kraft pulp mill on activated carbon and polymer resin. *Advances in Environmental Research* 3, 251-258.

Zhang, Y. and Shen, Y., 2019. Wastewater irrigation: past, present, and future. *WIREs Water* ; 6:e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/9/1501>

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CE%BF%CE%BE%CF%85%CE%B3%CF%8C%CE%BD%CE%BF

<https://ypen.gov.gr/>

<https://www.who.int/>

<https://www.nature.com/articles/s41598-023-34633-7.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.nature.com%2Farticles%2Fs41598>

[https://www3.epa.gov/npdes/pubs/3A%200%25%20\)\(https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/PURL](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/3A%200%25%20)(https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/PURL)

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%C>.

<https://www.apdkritis.gov.gr/sites/default/files/files/%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%95%CE%A5%CE%98%CE%A5%CE%9D%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%9C%CE%9C%CE%95%CE%A3%20%CE%A5%CE%A0%CE%95%CE%9A%CE%91%20%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%20%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A5%CE%A3.pdf>

[UN HABITAT 2008 Constructed Wetlands Manual.pdf](#)

[Wastewater Technology Fact Sheet: Free Water Surface Wetlands \(epa.gov\)](#)

[Free-Water Surface Constructed Wetland | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!](#)

<https://eric.ed.gov/?id=ED162869>

EIKONEΣ

<https://www.researchgate.net/publication/303863836>

http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_3.html

<https://www.wildflowersprovence.fr/plant/typha-latifolia/>

https://grylliswaterlilies.gr/Scirpus_maritimus

https://grylliswaterlilies.gr/Phragmites_australis

<https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/graminoid/phraus/all.htm>

https://www.researchgate.net/figure/The-common-reed-Phragmites-communis-recorded-at-the-intertidal-mud-habitats-of-Rahima_fig3_334469405

https://www.antemisar-group.gr/fyta/ydrochari-ydrovia/giounkos-i-vourlo-juncus-effusus_99346/

<https://www.parthenopoulos.gr/kipos/fita/karix-i-spathoxorto.php>

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Κοινή Υπουργική Απόφαση 5673/400/1997 (ΦΕΚ 1969Β/14.3.1997). Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις.

Ν.1650/1986 (ΦΕΚ 160/Α'/16.10.1986). Για την προστασία τον περιβάλλοντος.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2000, για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, (οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα).

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, (οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων).

Οδηγία 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης

Οδηγία 91/676/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης

Παράρτημα Ι: Νομοθετικό πλαίσιο

Το παρόν παράτημα της πτυχιακής εργασίας, αφορά το νομοθετικό πλαίσιο που σχετίζεται με την διαχείριση των υγρών αποβλήτων.

Για να μπορέσει να σχεδιαστεί, να κατασκευαστεί και να τεθεί σε λειτουργία οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης υγρών αποβλήτων θα πρέπει πρώτα να ληφθούν υπόψη κάποιες νομοθετικές ρυθμίσεις. Οι ρυθμίσεις αυτές α) καθορίζουν τις απαιτήσεις που υπάρχουν στους τομείς της επεξεργασίας αλλά και της διάθεσης των λυμάτων και β) ορίζουν πεδία μέσα από τα οποία πραγματοποιούνται προσπάθειες αναζήτησης λύσεων σύμφωνα με τον αποδέκτη σε συνδυασμό πάντα με τον αριθμό των κατοίκων του εκάστοτε οικισμού.

Οι Υπουργικές Αποφάσεις αλλά και οι Εγκύκλιοι που σχετίζονται με την διαχείριση των υγρών αποβλήτων στην χώρα μας συμβαδίζουν σύμφωνα με τις Οδηγίες που ανακοινώνει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Στις Οδηγίες αυτές, γίνονται καλά αντιληπτοί όλοι οι απαραίτητοι όροι και προϋποθέσεις, για κάθε είδος αποδέκτη και έχουν ως κύριο μέλημα τους την φροντίδα και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ένα νομοθετικό πλαίσιο το οποίο συντίθεται από πολλά μέρη και καλύπτει όλες τις ενότητες του φυσικού περιβάλλοντος.

Η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και η οδηγία 91/271/ΕΟΚ (UWWT Directive, UrbanWasteWaterTreatment Directive) που αφορούν την αειφόρο διαχείριση των υδάτων για την κατασκευή έργων επεξεργασίας των αστικών λυμάτων και των δικτύων αποχέτευσης, θεωρούνται από τους πυλώνες των νομοθετικών πράξεων για την προστασία του περιβάλλοντος. Από την άλλη πλευρά η οδηγία 96/61/ΕΚ, έχει συμπληρωματικό ρόλο ενώ στόχος της είναι η ολοκληρωμένη πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης. Όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να ολοκληρώσουν και να αποδεσμεύσουν τις επικίνδυνες ουσίες που είναι συνδεδεμένες με την ρύπανση των υδάτων μέχρι το 2025 και έπρεπε να επιτύχουν τα προτεινόμενα όρια για όλες τις ουσίες προτεραιότητας μέχρι το 2015 (Οδηγία 2000/60/ΕΕ; Οδηγία 91/676/ΕΟΚ). Ακόμη, οι χώρες που έχουν περισσότερες από 70 νομοθετικές πράξεις που ασχολούνται με το περιβάλλον είναι αναγκαίο να υποβάλλουν εκθέσεις, που θα αναφέρονται στενευμένα στα περιβαλλοντικά ζητήματα που ταλανίζουν την περιοχή τους. Εξαιτίας του ότι το νομοθετικό πλαίσιο δεν είναι κάτι σταθερό, με το πέρασμα των χρόνων κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιείται η λήψη όλο και πιο αυστηρών μέτρων, αυτό είναι αποτέλεσμα της βελτιωμένης γνώσης αλλά και της τεχνολογίας (Λυμπεράτος & Βαγενάς 2012).

Α) Κοινοτικό δίκαιο

Αξίζει κάποιος να προσέξει ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση η απουσία μιας νομοθεσίας, η οποία θα αφορά την εκ νέου χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, είναι φανερή. Τον Μάιο του 1991 το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης δημιούργησε την μοναδική Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΟΚ (άρθρο 12 § 1), «...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων». Σύμφωνα με την παραπάνω Οδηγία, τα επεξεργασμένα αστικά

απόβλητα θα πρέπει αφενός να χρησιμοποιούνται μόνο όταν θεωρείται σκόπιμο και αφετέρου να «παρέχονται» στο περιβάλλον με τέτοιο τρόπο που να μην προκαλούν επιπτώσεις. Σημαντικός παράγοντας στην απουσία ενός έγκυρου εγγράφου στον χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι τόσο οι διαφορές που υπάρχουν στους υδάτινους πόρους και την διαθεσιμότητα τους όσο και στο κομμάτι των χρήσεων ανάμεσα στις χώρες του Βορρά, του Νότου αλλά και της Κεντρικής Ευρώπης (Αγγελάκης and Tchobanoglous 2005).

Παρόλα αυτά, στις 27 Φεβρουαρίου του 1998 η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, τροποποιήθηκε με την οδηγία 98/15/ΕΚ. Έτσι, αποτελεί θεμέλιο τόσο της κοινοτικής όσο και της περιβαλλοντικής πολιτικής για τα ύδατα αλλά και γενικά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, πρέπει να τηρούν μια σειρά από υποχρεώσεις. Οι υποχρεώσεις αυτές έχουν συγκεκριμένο χρονικό όριο και αφορούν τα δίκτυα αποχέτευσης, τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων, την διάχυση του υγρού μείγματος των υγρών αποβλήτων και τέλος την παρακολούθηση των απορρίψεων. Σε περιοχές υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων και κατά συνέπεια και αστικών λυμάτων, όπως είναι φυσικό θα υπάρξουν και επιπλέον υποχρεώσεις. Οι υποχρεώσεις αυτές, αφορούν το ολικό φώσφορο και το ολικό άζωτο.

B) Ελληνική νομοθεσία

Ο Ν. 1650/86 θεωρείται από τους πιο σημαντικούς νόμους, που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος, στο ελληνικό κράτος. Πιο συγκεκριμένα, ο παραπάνω νόμος αναφέρει ότι *«Η συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων διαφόρων εγκαταστάσεων όπως οικισμοί, ξενοδοχειακές μονάδες κ.α καθορίζονται από το σύνταγμα της δημοκρατικής πολιτείας που καθιστά υποχρεωτική την προστασία του περιβάλλοντος»*. Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων στην χώρα μας οφείλει να ακολουθεί την ίδια Οδηγία 91/271/ΕΟΚ (ΕΟΚ 1991), που ακολουθούν και όλα τα υπόλοιπα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όπως εμφανίζεται στην αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών λυμάτων στο ελληνικό κράτος αποδέχεται πλήρως τις θέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ενεργεί σύμφωνα με αυτές. Αναλυτικότερα, τα αστικά λύματα που μεταφέρονται σε αποχετευτικά δίκτυα και στην συνέχεια διώχνονται σε γλυκά ύδατα από οικισμούς που έχουν ισοδύναμο πληθυσμό από 2.000 έως 10.000 κατοίκους, η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων κρίνεται απολύτως απαραίτητη. Επιπλέον, σύμφωνα με την ΟΙΚ 5673/400/14-3-97 ΚΥΑ, *«Όταν η διάθεση των λυμάτων γίνεται σε παράκτια νερά και οικισμούς με λιγότερο από 10.000 ισοδύναμο πληθυσμό και όταν η διάθεση γίνεται σε γλυκά νερά από οικισμούς με λιγότερο ισοδύναμο πληθυσμό από 2.000 κατοίκους, πρέπει τα λύματα να υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία»*. Με τον όρο «κατάλληλη επεξεργασία», ορίζεται αυτό το είδος της επεξεργασίας κατά την οποία επιτρέπεται στον υδάτινο αποδέκτη να αντιδρά θετικά στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους σύμφωνα πάντα με την καθοριζόμενη χρήση και τις συναφείς διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας (Κούγκολος 2007).

Στον ελληνικό χώρο, το νομοθετικό πλαίσιο που ορίζει την εκ νέου χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προσδιορίστηκε με ακρίβεια πρόσφατα. Η ανάλογη ΚΥΑ, «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», είναι η 145116/2011 (ΦΕΚ Β'354/2011), η οποία ακολουθήθηκε από δύο ερμηνευτικές εγκυκλίους. Ο νομοθέτης με την σειρά του έχει θέσει τα ανάλογα όρια για ρύπους και μολυσματικούς παράγοντες όλων των κατηγοριών που έχουν αναφερθεί πιο πάνω.

Όσον αφορά την περιορισμένη άρδευση, αφορά κυρίως τα δάση και τις εκτάσεις γης, κατά τις οποίες η προσβασιμότητα των ανθρώπων είναι αρκετά δύσκολη. Μερικές από αυτές τις περιοχές είναι καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα⁸, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία επεξεργάζονται ξανά πριν δοθούν στους ανθρώπους για κατανάλωση. Τέλος, σχετικά με την απεριόριστη άρδευση αφορά όλες τις καλλιέργειες, όπως στα λαχανικά, στα αμπέλια ή στις καλλιέργειες που δεν χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωση τους από τους ανθρώπους. Έτσι, στην απεριόριστη άρδευση υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής ποικίλων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου και της μεθόδου εκτόξευσης νερού με την μορφή σταγονιδίων.

⁸ Μεταξύ άλλων και τα οπωροφόρα δέντρα, με τον όρο πως κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος