

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΣΕ ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΝΗΣ
ΚΑΛΑΜΙΩΝ**



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΑΡΜΕΝΑΚΑΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2005

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ
ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΙΝΗΣ ΚΑΛΑΜΙΩΝ**

**ΑΡΜΕΝΑΚΑΣ ΜΑΡΙΝΟΣ
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΧΑΝΙΑ 2005

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΚΑΤΣΙΒΕΛΑ

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ : ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘ. Ε. ΚΑΤΣΙΒΕΛΑ
ΚΑΘ. Γ. ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗ
ΚΑΘ. ΕΦΑΡΜ. Ν. ΛΥΔΑΚΗ-
ΣΗΜΑΝΤΗΡΗ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Την Κ. Ελευθερία Κατσίβελα Αναπλ. Καθ. του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος για την επίβλεψη της εργασίας και τη σωστή παρουσίαση της, την Κ. Ιορδανίδου Πηνελόπη, προϊσταμένη χημείου στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας για τη προσφορά της σε εκπαιδευτικό υλικό και για την εκμάθηση των χημικών αναλύσεων, τον Κ. Ευάγγελο Τερζή Διδάσκοντα του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος για την παραχώρηση του θέματος της πτυχιακής εργασίας, την κατασκευή του τεχνητού υγροβιότοπου, την καθοδήγηση και προσφορά του σε εκπαιδευτικό υλικό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1. ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....	9
1.2. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	12
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	14
2.1. Βασικές έννοιες (ορισμοί) για την επεξεργασία των λυμάτων.....	14
2.2. Ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία των λυμάτων.....	16
2.2.1. Γενικά.....	16
2.2.2. Ποσοτικά στοιχεία των λυμάτων.....	16
2.2.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων.....	18
2.3. Κύρια στάδια επεξεργασίας λυμάτων - περιγραφή της λειτουργίας μικρών βιολογικών σταθμών.....	19
2.3.1 Γενικά.....	19
2.3.2. Στάδια (φάσεις) επεξεργασίας των λυμάτων.....	20
3. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	64
3.1.Γενικά.....	64
3.2. Μέθοδοι επεξεργασίας και βαθμοί αποδόσεως.....	67
3.3. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ.....	68
3.3.1. Διύλιση.....	68
3.3.2. Μικροδιήθηση.....	73
3.3.3. Άλλες μέθοδοι	74
3.4.. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ	74
3.4.1. Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα.....	74
3.5. Ιοντοανταλλαγή.....	75
3.6. Άρδευση καλλιεργειών.....	76
4. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	77
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	77
4.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	77
4.2.2.Τα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας στις ΗΠΑ και Άλλες Χώρες.....	78
4.2.3. Αντικείμενα και Χαρακτηριστικά των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας.....	80
4.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	90
4.3.1.Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων και Μηχανισμοί Επεξεργασίας.....	90
4.3.2. Απόψεις-θέσεις για τη Δημόσια Υγεία.....	96
4.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	99
4.4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά.....	99
4.4.2. Βασικές Διεργασίες Επεξεργασίας.....	101
4.4.3. Τύποι Συστημάτων.....	103
4.4.4. Στοιχεία Σχεδιασμού.....	104
4.4.5. Εκτίμηση και Επιλογή της Θέσης Εγκατάστασης.....	106
4.4.6. Επιλογή Φυτικής Βλάστησης.....	108

4.4.7. Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων.....	115
4.4.8. Μέθοδοι Εφαρμογής.....	118
4.4.9. Υδραυλικό Φορτίο Εφαρμογής.....	122
4.4.10. Υποστράγγιση.....	123
4.4.11. Έλεγχος Επιφανειακής Απορροής.....	123
4.4.12. Κλίνες καλαμιών.....	124
4.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.....	126
4.6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	128
4.7. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΓΗΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	129
4.8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ.....	130
4.9. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΧΑΡΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	133
4.10. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	137
4.11. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ.....	138
5. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ –ΔΙΑΘΕΣΗ & ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	139
5.1. Νομοθεσία προστασίας περιβάλλοντος.....	139
5.2. Υγειονομικές διατάξεις για την επεξεργασία και διάθεση των λυμάτων.....	140
5.3. Απαιτούμενες διαδικασίες για την έκδοση άδειας επεξεργασίας & διάθεσης υγρών αποβλήτων.....	141
5.4. Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων & λασπών στην Ελλάδα.....	142
5.5. Επαναχρησιμοποίηση των λασπών.....	144
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	145
6.1. Υλικά.....	145
6.2. Μεθοδολογία	145
6.3. ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (COD).....	146
6.3.1. Γενικά.....	146
6.3.2. Αρχή Μεθόδου.....	147
6.3.3. Επιλογή μεθόδου.....	148
6.3.4. Παρεμποδιστικές Ουσίες.....	149
6.4. ΑΜΜΩΝΙΑ.....	150
6.4.1. Γενικά.....	150
6.4.2. . Επιλογή μεθόδου.....	150
6.4.3. Ammonium Reagent Test Merck 14752.....	152
6.4.4. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ.....	152
6.4.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΞΗ.....	156
6.5. Προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων.....	157
6.5.1. Phosphate Cell Test Merck 14543.....	157
6.5.2. Προκαταρκτικό στάδιο χώνευσης για το προσδιορισμό των ορθοφωσφορικών ιόντων.....	157
6.5.3. Προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων με τη μέθοδο βαναδομολυβδαινοφωσφορικού οξέος.....	158
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	162
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	172
Ευρετήριο συντομογραφιών.....	175
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	176

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάσθηκε η απόδοση ενός Φυσικού Συστήματος Βραδείας εφαρμογής με κλίνες καλαμιών (*Phragmites australis* της οικογένειας *Poaceae*) σαν εναλλακτική μέθοδος για την επεξεργασία δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, προερχόμενων από την Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του δήμου Χανίων. Η μελέτη αυτή διεκπεραιώθηκε στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης. Για τον έλεγχο της απόδοσης αυτών των Φυσικών Συστημάτων ελέγχθηκαν 3 βασικοί χημικοί παράμετροι των υγρών αποβλήτων, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το αμμωνιακό άζωτο και τα πολυφωσφορικά ιόντα, ως προς τη μείωση τους μετά την εφαρμογή τους στις κλίνες καλαμιών. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν θετικά για την απόδοση του Φυσικού Συστήματος κλινών καλαμιών. Η μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) κυμάνθηκε από 73 – 96,9 % στο εξερχόμενο υγρό και με μέσο όρο απόδοσης και στα 2 φυσικά συστήματα πάνω από 82%. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης του συστήματος παρατηρήθηκε στην περίπτωση απομάκρυνσης του αμμωνιακού αζώτου, όπου σε όλες τις εφαρμογές και στα 2 συστήματα παρατηρήθηκε μείωση μεγαλύτερη από 95 % και μέσο όρο απόδοσης μεγαλύτερο από 97,5%. Τέλος όσο αφορά τα πολυφωσφορικά PO_4^{-3} ιόντα τα αποτελέσματα ήταν εξίσου επιτυχές. Η απομάκρυνση του κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα 85 – 99 % και για τα δύο φυσικά συστήματα κλινών καλαμιών. Στο φυσικό σύστημα 1 το ποσοστό απόδοσης κατά μέσο όρο ήταν 93,5 % και στο σύστημα 2 94,6 %. Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε φυσικά συστήματα κλίνης καλαμιών με σκοπό την τριτοβάθμια επεξεργασία τους ήταν απόλυτα επιτυχής, όσον αφορά τις χημικές παραμέτρους που εξετάσθηκαν. Ένα τέτοιο σύστημα λειτουργεί εδώ και μερικά χρόνια με απόλυτη επιτυχία στην περιοχή της Πόμπιας στη Κρήτη. Ο υγροβιότοπος της Πόμπιας επεξεργάζεται τα αστικά λύματα που παράγονται από τον οικισμό της.

ABSTRACT

In the frame of the present diploma the attribution of Natural System of Slow application with reed beds (*Phragmites australis* of the family *Poaceae*) was examined as an alternative method for the treatment of secondary treated waste, water originating from the sewage treatment plant of the municipality in Chania. This study was fulfilled in the laboratory of Environmental Chemistry and of Biochemical Processes of the Division of Environmental Technology of the department of Natural Resources and Environment of the Technological Educational Institute of Crete. For the control of the attribution of these Natural Systems 3 basic parameters in the outlet of the reed beds, the chemical oxygen demand (COD), ammoniac nitrogen and the phosphoric ions, were checked. The results of chemical analyses that were performed were positive for the attribution of Natural System of reed beds. The reduction achieved of the chemical oxygen demand (COD) oscillated from 73 - 96,9% in the outlet liquid and with mean value of output in both constructed natural systems above 82%. Still larger increase of output of the system was observed in the case of the removal of the ammoniac nitrogen, where in all applications and in both systems reduction larger than 95% and mean value of output bigger than 97,5% was observed. Finally as long as it concerns the phosphoric PO_4^{-3} ions the results were equally successful. Its removal oscillated at high levels ranging between 85 - 99% and for the two natural systems of reed beds. In natural system 1 the average rate of output was close to 93,5% and in the natural system 2 close to 94,6%. From the above results we can conclude that the application of secondary treated waste water in natural systems of reed beds aiming at their third degree treatment was absolutely successful. Such a system functions for certain years with success in the region of Pompia in Crete. The water biotope of Pompia processes the urban sewages that are produced by its settlement.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της παρούσης πτυχιακής εργασίας έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της αποτελεσματικότητας των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και ανάκτησης αστικών λυμάτων σαν εναλλακτική μέθοδος τριτοβάθμιας επεξεργασίας της εκροής του βιολογικού καθαρισμού. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν στα τεχνητά φυσικά συστήματα που σχεδιάστηκαν σαν φυτά κοινά σε όλους μας καλάμια (*Phragmites australis* της οικογένειας *Poaceae*). Η αποτελεσματικότητα των φυσικών συστημάτων που εφαρμόστηκαν ερευνήθηκαν όσον αφορά τη μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), του αμμωνιακού αζώτου και των πολυφωσφορικών ιόντων. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης. Ο βασικός σκοπός της μελέτης ήταν ο προσδιορισμός της απόδοσης και αποτελεσματικότητας φυσικών συστημάτων σε βιολογικούς καθαρισμούς για την τριτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων μιας κοινότητας ή μικρής πόλης.

Ενώ στην Ελλάδα αυτή η μέθοδος επεξεργασίας αστικών λυμάτων, δεν είναι πολύ διαδεδομένη, στο εξωτερικό εφαρμόζεται συχνά. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων ενδείκνυνται να γίνονται μακριά από κατοικημένες περιοχές λόγω της αυξημένης επικινδυνότητας τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στον γενικό ορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος και στους παράγοντες από τους οποίους προκαλείται και μια εισαγωγή στην αναγκαιότητα επεξεργασίας και ανάκτησης των υγρών αστικών αποβλήτων. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 2 προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά των υγρών λυμάτων καθώς και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων προκειμένου να επιτευχθούν εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα επιτρέπουν την διάθεση των λυμάτων αυτών στους τελικούς αποδέκτες σύμφωνα με τις σχετικές νομοθεσίες. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την προχωρημένη επεξεργασία, των υγρών αποβλήτων, και τις μεθόδους όπου επιτυγχάνεται αυτή. Κατόπιν στο κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και των βασικών κατηγοριών που κατατάσσονται. Έτσι αναφέρεται διεξοδικά στα συστήματα που η εφαρμογή των προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων γίνεται στην επιφάνεια του εδάφους, στα γήινα συστήματα, και στα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι. Γίνεται επίσης εκτενής αναφορά στα φυσικά συστήματα βραδείας εφαρμογής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, στα οποία κατατάσσονται και οι κλίνες καλάμιών που είναι και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στο κεφάλαιο 5 υπάρχει η Ελληνική νομοθεσία για την προστασία περιβάλλοντος και την επεξεργασία – διάθεση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Το κεφάλαιο 6 περιέχει το πειραματικό μέρος της εργασίας, τη διαδικασία όπου ακολουθήθηκε καθώς και τις χημικές αναλύσεις του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), του αμμωνιακού αζώτου και των πολυφωσφορικών ιόντων. Στο κεφάλαιο 7 έχουν καταγραφεί τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε αναλυτικούς πίνακες και σε συγκριτικά διαγράμματα. Τέλος το κεφάλαιο 8 ασχολείται με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε φυσικά συστήματα κλίνης καλάμιών.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η έννοια που δημιουργείται από την λέξη περιβάλλον έχει ποικίλες διαστάσεις, ανάλογα με την σκοπιά από την οποία το εξετάζει κανείς. Από τη σκοπιά των θετικών επιστημών περιβάλλον θεωρείται το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που αλληλεπιδρώντας επηρεάζουν την ποιότητα ζωής, την ανάπτυξη της κοινωνίας και γενικότερα την οικολογική ισορροπία.

Το περιβάλλον αποτελούν το έδαφος, το υπέδαφος, τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά, η θάλασσα, ο αέρας, η χλωρίδα, η πανίδα, οι φυσικοί πόροι και τα στοιχεία πολιτισμού έτσι όπως διαμορφώθηκαν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα παραπάνω στοιχεία, με την πάροδο των αιώνων, έχουν έρθει σε μια πολύπλοκη κατάσταση αλληλοεπιδράσεων και ισορροπιών και έχουν διαφοροποιηθεί σε πολλά μικρά και μεγάλα οικοσυστήματα.

Ο άνθρωπος από την ύπαρξη του πάνω στη γη επιδρά στο περιβάλλον με διάφορες δραστηριότητες, οι οποίες όταν ξεπεράσουν ορισμένα όρια, διαταράσσουν τις ισορροπίες που διέπουν τα διαφορά οικοσυστήματα.

Η ισορροπία που έχει αποκατασταθεί στα οικοσυστήματα είναι δυνατό να διαταραχθεί από την εισαγωγή ανεπιθύμητων στοιχείων (διάφορες μορφές ενέργεια ή διάφορες ουσίες). Η ανεξέλεγκτη εισαγωγή τέτοιων στοιχείων σε ένα οικοσύστημα συνήθως μειώνει τις ικανότητες του να αντιδρά ή να κινεί τους μηχανισμούς ανακύκλωσης, αναπαραγωγής και αυτοκαθαρισμού. Η ένταση που προκαλείται στο οικοσύστημα μπορεί να φθάσει και στην καταστροφή της αρμονίας ανάμεσα στην ζωή και το περιβάλλον.

Οι βλαπτικές για το περιβάλλον ενέργειες εκφράζονται με όρους όπως: καταστροφή, μόλυνση, ρύπανση, βλάβη, υποβάθμιση κ.α. Στην ελληνική νομοθεσία υπάρχουν τρεις ρητοί ορισμοί εννοιών που συνθέτουν τη γενικότερη έννοια της προσβολής του περιβάλλον.

A. Ρύπανση του περιβάλλοντος: η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδος ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επίπτωσης στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

B. Μόλυνση του περιβάλλοντος: η μορφή ρύπανση που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.

Γ. Υποβάθμιση του περιβάλλοντος: η πρόκληση από ανθρώπινες δραστηριότητες ρύπανση ή οποιασδήποτε άλλη μεταβολή στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες.

Ανάλογα με την φύση των στοιχείων που εκπέμπονται και προσβάλλουν το περιβάλλον διακρίνουμε τις παραπάνω κατηγορίες ρύπανσης: χημική, θερμική, βιολογική, ηχητική και αισθητική.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές δραστηριότητες κ.α.) όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σε ότι αφορά τις φυσικές πηγές, η ίδια η φύση έχει αναπτύξει δια μέσου των αιώνων διάφορους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού που εξισορροπούν τη ρύπανση που προκαλείται από αυτές. Αντίθετα η ρύπανση που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι επικίνδυνη, επειδή συγκεντρώνεται συνήθως σε περιορισμένους χώρους (βιομηχανικά και αστικά κέντρα), όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων προκαλούν μη αντιστρεπτές καταστάσεις.

Οι κυριότερες κατηγορίες των ανθρωπογενών πηγών χημικής ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι :

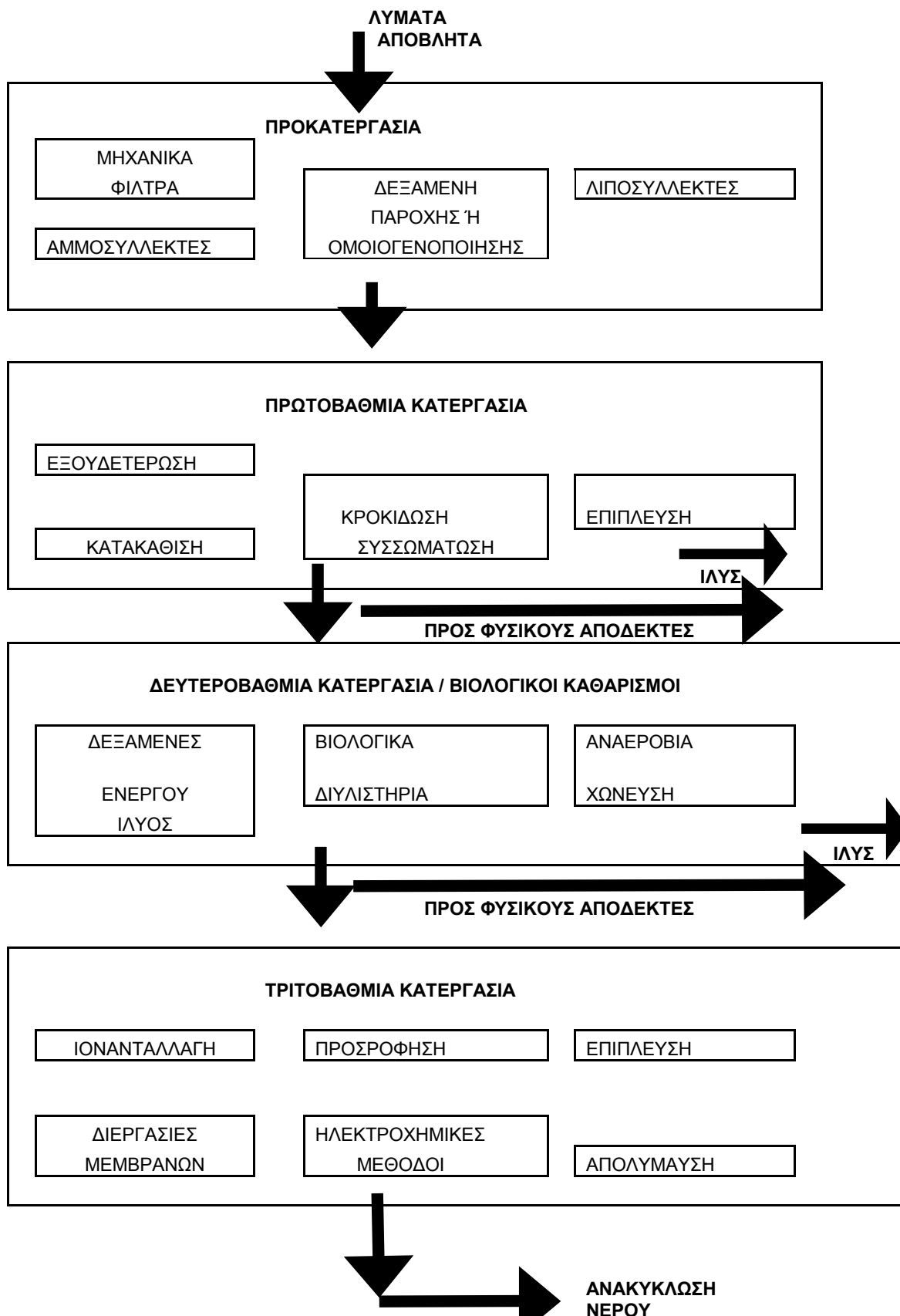
- Βιομηχανίες
- Αστικές δραστηριότητες
- Μεταφορές και κεντρική θέρμανση
- Γεωργικές δραστηριότητες
- Τυχαία περιστατικά [8].

1.1. ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Η διάθεση μεγάλων ποσοτήτων λυμάτων, επιβεβαρυμένων με οργανικές ή τοξικές ουσίες στους φυσικούς αποδέκτες δημιουργεί έντονα προβλήματα ρύπανσης όπως: ελάττωση της ικανότητας αυτοκαθαρισμού των νερών, ευτροφισμό και καταστροφή των βιοκοινωνιών τους. Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται δυσάρεστες οσμές, μολυσματικές ασθένειες και θάνατοι ψαριών.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των αστικών λυμάτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων έτσι ώστε αυτά να αποβάλλονται καθαρά στους φυσικούς αποδέκτες. Παράλληλα θεσπίστηκαν νόμοι σχετικοί με την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης των νερών και των εδαφών.

Αργότερα η αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη μας είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία οικισμών και την εγκατάσταση βιομηχανιών σε περιοχές, όπου η προσφορά νερού ήταν περιορισμένη. Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση του νερού, δηλαδή την ανακύκλωσή του. Οι ανάγκες αυτές προκάλεσαν και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για καλύτερο καθαρισμό τόσο των αστικών λυμάτων όσο και των βιομηχανικών αποβλήτων. Η κάθε μέθοδος ή το κάθε σύστημα καθαρισμού λυμάτων ή αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια (βαθμίδες) κατεργασίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 : Στάδια επεξεργασίας , μέθοδοι και τεχνικές καθαρισμού αστικών λυμάτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων.

Στο στάδιο προκατεργασίας εφαρμόζεται μία ή περισσότερες από τις παρακάτω τεχνικές :

- Μηχανικά φίλτρα
- Αμμοσυλλέκτες
- Λιποσυλλέκτες
- Δεξαμενή ομογενοποίησης και παροχής

Στο στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αποβλήτων παρατηρούνται οι εξής μέθοδοι :

- Απλή καθίζηση
- Κροκίδωση- συσσωμάτωση
- Εξουδετέρωση
- Επίπλευση

Το δεύτερο στάδιο κατεργασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους και τεχνικές βιολογικού καθαρισμού. Τα λύματα που έχουν καθαριστεί στο πρώτο στάδιο, κατευθύνονται στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού όπου γίνεται η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης γίνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών που είναι κυρίως βακτήρια, σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες.

Αερόβιος βιολογικός καθαρισμός. Για το σκοπό αυτό παλαιότερα χρησιμοποιούνταν τα βιολογικά διυλιστήρια (βιολογικά φίλτρα), ενώ σήμερα οι δεξαμενές ενεργού ιλύος. Στη μέθοδος της ενεργούς ιλύος οι αερόβιοι μικροοργανισμοί αιωρούνται στο νερό της δεξαμενής. Το οξυγόνο, που απαιτείται για την διάσπαση της οργανικής ύλης, εισάγεται με τουρμπίνες ανάδευσης ή με πεπιεσμένο αέρα. Μετά την βιοαποικοδόμηση τα λύματα οδηγούνται στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου διαχωρίζονται τα υπερκείμενα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα από την κροκιδωμένη μικροβιακή μάζα (ιλύς). Το υπερκείμενο υγρό αποτελεί τα δευτεροβάθμια καθαρισμένα απόβλητα, τα οποία διοχετεύονται στους φυσικούς αποδέκτες.

Αναερόβιος βιολογικός καθαρισμός. Κατά την αναερόβια επεξεργασία της λάσπης κυρίως και σε μερικές περιπτώσεις και του υπερκείμενου υγρού ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίδια) διασπώνται σε διαλύτες ουσίες μικρότερου μοριακού βάρους όπως αμινοξέα και σάκχαρα (φάση υγροποίησης). Στη συνέχεια οι οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε χαμηλά λιπαρά οξέα, σε μια φάση που καλείται όξινη ζύμωση και όπου παρατηρείται σε μεθάνιο 65-70% διοξείδιο του άνθρακα 30-35% και μια μικρή ποσότητα άλλων αερίων, όπως υδρόθειου, μοριακού αζώτου κ.α.

Για τον πλήρη καθαρισμό λυμάτων και αποβλήτων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του νερού, χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι και τεχνικές που αποτελούν την τριτοβάθμια κατεργασία και όταν πρόκειται για χρήση αρδευτικού νερού την τεταρτοβάθμια κατεργασία.. Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην τριτοβάθμια κατεργασία είναι:

- Απομάκρυνση του αζώτου
- Απομάκρυνση του φωσφόρου
- Προσρόφηση
- Ιονανταλλαγή
- Αντίστροφη όσμωση
- Ηλεκτροδιάλυση

- ο Απολύμανση

Τα αστικά λύματα και τα υγρά απόβλητα ορισμένων βιομηχανιών περιέχουν μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών. Επίσης τα επεξεργασμένα λύματα και απόβλητα περιέχουν μικροοργανισμούς. Για το λόγο αυτό τα κατεργασμένα υγρά λύματα και απόβλητα απολυμαίνονται πριν διατεθούν στον φυσικό αποδέκτη. Βασικός στόχος της απολύμανσης είναι η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Μέσα απολύμανσης. Τα κυριότερα μέσα που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση είναι:

- ο Χλώριο και ορισμένες ενώσεις του
- ο Βρώμιο
- ο Όζον
- ο Υπεριώδες ακτινοβολία
- ο Υπερμαγγανικό κάλιο
- ο Θέρμανση [8].

2.2. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα φυσικά συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων αποτελούν ένα σύγχρονο και καθιερωμένο πλέον τρόπο αντιμετώπισης των αποβλήτων που προκύπτουν από οικιακή, αγροτική και βιομηχανική χρήση νερού. Πρόκειται για μια πετυχημένη μεταφορά των μεθόδων που η Φύση ανέκαθεν χρησιμοποιούσε, στο πεδίο των προβλημάτων ρύπανσης που δημιουργεί ο άνθρωπος. Τα βασικά χαρακτηριστικά των φυσικών συστημάτων, με τα οποία και διαφοροποιούνται από τα μηχανικά είναι:

- ο Απλότητα σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας
- ο Χαμηλή έως μηδενική κατανάλωση ενέργειας
- ο Απουσία θορύβου, χαμηλό κόστος συντήρησης
- ο Σταθερά υψηλή ποιότητα νερού εκροής
- ο Αισθητική αναβάθμιση του τοπίου

Όλες σχεδόν οι μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων που έχει αναπτύξει ο άνθρωπος στηρίζονται σε φυσικές διεργασίες (καθίζηση, φίλτρανση, βιολογική αποδόμηση κ.λ.π.). Στα μηχανικά συστήματα επεξεργασίας (τους μηχανικούς Βιολογικούς Καθαρισμούς) οι φυσικές αυτές διεργασίες υποστηρίζονται από μηχανήματα που λειτουργούν συνήθως με ηλεκτρικό ρεύμα. Στα φυσικά συστήματα απεναντίας όλες οι διεργασίες του καθαρισμού των αποβλήτων γίνονται μέσα σε “κατασκευασμένα οικοσυστήματα” ή σε τμήματα των συστημάτων αυτών.

Μια μέθοδος φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και συγκεκριμένα οι κλίνες καλαμιών βραδείας εφαρμογής είναι το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι κατασκευασμένοι υδροβιότοποι και οι κλίνες καλαμιών είναι σχεδιασμένα φυσικά συστήματα που έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο. Είναι συστήματα που στοχεύουν στη μίμηση της επεξεργασίας που έχει παρατηρηθεί ότι πραγματοποιείται, όταν διοχετεύονται υγρά απόβλητα σε φυσικούς υδροβιότοπους. Οι μηχανισμοί

είναι σύνθετοι και περιλαμβάνουν κυρίως τη βακτηριακή οξείδωση, τη διήθηση, την ιζηματογένεση και τη χημική καθίζηση.

Στη παρούσα εργασία εξετάστηκε η αποδοτικότητα των κλινών καλαμιών στην μείωση αφενός του οργανικού φορτίου (μέσω της μέτρησης COD) και αφετέρου των υπεύθυνων για τον ευτροφισμό υδάτινων αποδεκτών θρεπτικών συστατικών αζώτου και φωσφόρου (μέσω της μέτρησης των αμμωνιακών και πολυφωσφορικών ιόντων) όσον αφορά την περαιτέρω επεξεργασία των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων[5].

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

2. 1 Βασικές έννοιες (ορισμοί) για την επεξεργασία των λυμάτων

1) Αστικά Υγρά απόβλητα ή Αστικά λύματα

Είναι τα οικιακά λύματα ή το μείγμα οικιακών με βιομηχανικά λύματα ή/και όμβρια ύδατα.

2) Οικιακά Λύματα

Είναι υγρά απόβλητα που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες της πόλης ή του χωριού από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών. Τα οικιακά λύματα περιέχουν ανθρώπινα περιττώματα, υγρά καθαρισμού - κουζίνας, υπολείμματα τροφών, νερά του δικτύου ύδρευσης κ.α. Όσο περισσότερο παραμείνουν ανεπεξεργαστα (χωρίς αερισμό), τόσο περισσότερο δύσσομα είναι.

3) Καθαρισμός ή επεξεργασία αποβλήτων

Είναι κάθε τεχνική που καθαρίζει τα απόβλητα από διάφορες ουσίες και συστατικά σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις από τη διάθεση των αποβλήτων στο τελικό αποδέκτη.

4) Αποδέκτες υγρών αποβλήτων

Είναι τα σημεία ή περιοχές όπου καταλήγουν τα απόβλητα με ή χωρίς επεξεργασία. Συνήθως οι αποδέκτες υγρών αποβλήτων είναι το έδαφος, το υπέδαφος, η θάλασσα, οι ποταμοί, οι λίμνες κ.α.

Ανάλογα με την χρήση του αποδέκτη (π.χ για ψάρεμα, αναψυχή, άρδευση κ.λ.π), καθορίζονται περιορισμοί και προδιαγραφές (όρια) που πρέπει να πληρούν τα αστικά λύματα ώστε να διατεθούν. Τα όρια αυτά ορίζονται από τις σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) έτσι για να είναι κατάλληλη η θάλασσα για κολύμβηση και αναψυχή πρέπει να μην έχει ολικά κολοβακτηρία πάνω από 10.000 αποικίες/100 ml. Η τήρηση των κανονισμών ελέγχονται από τις αρμόδιες Υπηρεσίες.

5) Ρυπαντής

Κάθε δραστηριότητα που παράγει και διαθέτει απόβλητα στο περιβάλλον (δραστηριότητες βιομηχανικές, γεωργικές κτηνοτροφικές, τουριστικές, αστικές κ.α.)

6) Ρύπανση

Η απελευθέρωση στο περιβάλλον κάθε αποβλήτου (υλικού ή ακτινοβολίας ή ενέργειας) που προκαλεί βλάβη στο περιβάλλον, στο οικοσύστημα, στην υγεία των κατοίκων ή υποβαθμίζει την ποιότητα των νερών, του αέρα, του εδάφους και γενικά του περιβάλλοντος.

7) Μόλυνση

Είναι η μορφή ρύπανσης του περιβάλλοντος που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών.

8) Διαχείριση των αποβλήτων

Είναι το σύνολο των διεργασιών για συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και τελική διάθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον. Η βέλτιστη (καλύτερη δυνατή) διαχείριση στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των αποβλήτων στο περιβάλλον.

9) Μονάδα ισοδύναμου πληθυσμού (Μ.Ι.Π.)

Είναι ποσότητα από ένα αποικοδομήσιμο οργανικό ρύπο που έχει BOD₅ ισοδύναμο με 60 g ανά ημέρα. Συνήθως ορίζεται

$$\text{Μ.Ι.Π} = 60 \text{ g BOD}_5 / \text{ημέρα}$$

10) Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand BOD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωση οργανικών συστατικών των αποβλήτων από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες στους 20 °C και στο σκοτάδι. Μετρείται σε μονάδες συγκέντρωσης οξυγόνου (mgO₂/L). Χρησιμοποιείται για την σύγκριση των βιοχημικά διασπάσιμων ουσιών που περιέχουν τα απόβλητα.

Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD₅), στις οποίες οξειδώνονται οι απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό 60-70 % των συνολικών οργανικών ουσιών.

Το Ολικό Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_L) είναι η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται σε 2 ημέρες, όπου και έχει οξειδωθεί το 95-99% του οργανικού φορτίου. Ισχύει :

$$\text{BOD}_5 = 0,68 \times \text{BOD}_L$$

Κυριότερες προϋποθέσεις για σωστή μέτρηση του BOD₅ είναι τόσο η επάρκεια κατάλληλων αερόβιων μικροοργανισμών (βιομάζας), όσο και η επάρκεια θρεπτικών (N, P), οξυγόνου και ιχνοστοιχείων καθώς και η απουσία ουσιών που δηλητηριάζουν ή αναχαιτίζουν τις βιοχημικές δράσεις.

11) Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (C.O.D.) (Chemical Oxygen Demand)

Είναι η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου για πλήρη οξειδωση με χημικές μεθόδους (ισχυρά οξειδωτικά H₂SO₄ + K₂Cr₂O₇ + Θέρμανση) των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Εκφράζεται σε συγκέντρωση O₂ (mg O₂/l) και είναι χαρακτηριστικό μέγεθος για το σύνολο των περιεχομένων οργανικών ουσιών.

12) Αιωρούμενα στερεά ή SS (Suspended Solids)

Είναι η ποσότητα των στερεών που βρίσκονται σε αιώρηση στα υγρά απόβλητα. Εκφράζονται σαν συγκέντρωση σε mg/l.

13) Καθιζάνοντα Στερεά (Settleable Solids)

Τα αιωρούμενα στερεά που μπορούν να απομακρυνθούν από το διάλυμα με καθίζηση ή φυγοκέντριση ή φίλτραυση.

14) Πτητικά (volatile solids) & μη πτητικά στερεά (fixed solids)

Διάκριση των στερεών με βάση την πτητικότητα. Όλες σχεδόν οι πτητικές χημικές ενώσεις που περιέχονται στα λύματα είναι οργανικές ενώσεις [2].

2.2 Ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία των λυμάτων

2.2.1 Γενικά

Τα λύματα σε μια κατοικία προέρχονται κυρίως από την κουζίνα (πλύσιμο τροφών, φρούτων, πιάτων κ.λ.π.), το λουτρό, την τουαλέτα, το πλύσιμο των ρούχων, διάφορους καθαρισμούς (δάπεδα, τοίχοι, τζάμια, αυλή, κήπος κ.λ.π.). Τα αστικά λύματα ενός οικισμού (χωριού ή πόλης) περιλαμβάνουν τα οικιακά λύματα καθώς και τα υγρά απόβλητα από διάφορες δραστηριότητες που εξυπηρετούν τον οικισμό. Αναλυτικότερα περιλαμβάνονται τα απόβλητα από καφενεία, εστιατόρια, ξενοδοχεία, πανδοχεία, βιοτεχνίες, καταστήματα, Δημόσιες Υπηρεσίες κ.λ.π. Τα λύματα από ένα ξενοδοχείο προέρχονται από τα λουτρά & WC των δωματίων, την κουζίνα, την καθαριότητα των χώρων, τα ντους, την πισίνα κ.λ.π.

2.2.2 Ποσοτικά στοιχεία των λυμάτων

Ο σωστός υπολογισμός της ποσότητας των λυμάτων έχει μεγάλη σημασία τόσο στο σχεδιασμό και την κατασκευή της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, όσο και στη σωστή λειτουργία της μονάδας. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση ή τον υπολογισμό της ποσότητας των λυμάτων που παράγονται.

α) Υπολογισμός με βάση την κατανάλωση νερού

Για ένα σπίτι σε αγροτική ή ημιαστική περιοχή (χωριά) το 70-80% της κατανάλωσης του νερού καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο σαν λύματα, ενώ για σπίτι σε αστική περιοχή (πόλη) το 85-90% περίπου της κατανάλωσης νερού υπολογίζεται σαν λύματα. Το ίδιο ποσοστό 90% υπολογίζεται για τα λύματα των ξενοδοχείων.

Τα παραπάνω ποσοστά ελαττώνονται αν υπάρχουν άλλες χρήσεις (όπως υπαίθριο πλύσιμο αυτοκινήτων, γκαζόν, πότισμα κήπου κ.λ.π.).

Τα στοιχεία κατανάλωσης νερού υπάρχουν στο λογαριασμό πληρωμής του νερού ή στο υδρόμετρο του σπιτιού ή του ξενοδοχείου. Αν δεν υπάρχουν

στοιχεία κατανάλωσης νερού τότε μπορούμε να δεχθούμε προσεγγιστικά τις παρακάτω τιμές :

i) Λύματα οικισμών (ημερήσια παραγωγή) (*)

Κάτοικος πόλης, οικιακά λύματα	100-200 lt/κάτ.
Κάτοικος πόλης, "μικτά λύματα" (**)	150-300 lt/κάτ.
Κάτοικος χωριού	80-150 lt/κατ.

ii) Λύματα ξενοδοχείων (***)

Ξενοδοχείο ή bungalows	300-400 lt/κλίνη
Πολυτελείας ή club	400-550 lt/κλίνη
Ξεν/χείο Α-Β κατηγ.	200-300 lt/κλίνη
Ξεν/χείο Γ-Δ κατηγ.	
Μοτέλ, πανδοχείο, ενοικιαζόμενα διαμερίσματα	100-200 lt/κλίνη

(*) Οι μεγάλες διακυμάνσεις στις παραπάνω τιμές εξηγούνται με τις τοπικές συνθήκες και την επάρκεια νερού στην περιοχή, το βιοτικό επίπεδο, το κλίμα και τις εποχιακές μεταβολές.

(**) Ο όρος "μικτά" λύματα προκύπτει από τη συνολική παραγωγή λυμάτων της πόλης δια του αριθμού των κατοίκων (δηλ. αφορά όχι μόνο οικιακά λύματα αλλά και όλες τις άλλες δραστηριότητες της πόλης, τα καφενεία, τα καταστήματα, τα εστιατόρια, τις βιοτεχνίες, τους διερχόμενους κ.λ.π.

(***) Οι διακυμάνσεις στις ποσότητες λυμάτων ξενοδοχείων οφείλονται στην επάρκεια ή έλλειψη νερού τοπικά και στις εποχιακές διαφοροποιήσεις.

β) Μέτρηση της παροχής των λυμάτων

Η μέτρηση της παροχής στις μεγαλύτερες Μανάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένο ανοικτούς ή κλειστούς αγωγούς ή με ειδικό αισθητήρα στάθμης (με υπέρηχους). Ο μετρητής στάθμης δίνει ένα αναλογικό σήμα, το οποίο με τη βοήθεια του μετατροπέα γίνεται ένδειξη της στιγμιαίας παροχής. Το σήμα μπορεί να καταγραφεί σε καταγραφικό όργανο. Για να υπολογιστεί η συνολική παροχή που έχει περάσει στη μονάδα για ορισμένο χρόνο (λεπτά, ώρες, ωριαία παροχή ή μέρες, ημερήσια παροχή) είναι αναγκαίο ένα αθροιστικό όργανο μέτρησης παροχής. Ο υπολογισμός της συνολικής παροχής μπορεί να υπολογιστεί από τη διαγραμμισμένη επιφάνεια (γραφική ολοκλήρωση) του καταγραφικού οργάνου. Το πιο συνηθισμένο σύστημα μέτρησης παροχής είναι η διώρυγα Parshall (βλ. σχ. 2.9) με υπερηχητικό μετρητή στάθμης. Το σύστημα αυτό είναι μεγάλης ακρίβειας (σφάλμα μέχρι 2% περίπου) [2].

γ) Υπολογισμός της μέγιστης παροχής

Οι όροι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική έκφραση της παροχής των λυμάτων είναι :

i) Μέση ημερήσια παροχή :

Ποσότητα λυμάτων μιας μέρας κατά μέσο όρο = Συνολικός ετήσιος όγκος αποβλήτων/365,σε m³/ημ

Είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό της δυναμικότητας της μονάδας, τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους ή της συνολικής παραγωγής λάσπης κ.λ.π.

ii) Μέγιστη ημερήσια παροχή:

Η μέγιστη ημερήσια παροχή είναι ίση με την μέγιστη τιμή των ημερήσιων παροχών του έτους και είναι συνήθως το θέρος. Συχνά λαμβάνεται σαν μέγιστη ημερήσια = 1,5 X μέση ημερήσια παροχή

Η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων πρέπει να επαρκεί για την μέγιστη παροχή.

iii) Μέση ωριαία παροχή = (1/24) X μέση ημερήσια παροχή

iv) Μέγιστη ωριαία παροχής = μέση ωριαία παροχή X συντελεστή αιχμής

Για μικρά ξενοδοχεία ή μικρούς οικισμούς (<1000 κατ.) υπολογίζεται σαν 3-4 φορές X μέση ωριαία παροχή.

Για μεγαλύτερους πληθυσμούς χρησιμοποιούμε το συντελεστή 1,5-3. Για τον υπολογισμό του συντελεστή αιχμής (K) έχουμε τον τύπο :

$$K = (18 + \Pi^{1/2}) / (4 + \Pi^{1/2})$$

Π : ο πληθυσμός σε χιλιάδες κατοίκους

Σε αστικές περιοχές τα μέγιστα της παροχής είναι συνήθως το πρωί 8.00 - 9.00 και το μεσημέρι 12.00- 15.00, ενώ στα ξενοδοχεία 11.00 - 14.00 και 18.00-20.00.

Η μέγιστη ωριαία παροχή είναι πολύ χρήσιμη στους υδραυλικούς υπολογισμούς της εγκατάστασης, για τη διαστασιολόγηση του αμμοσυλλέκτη, των εσχάρων, της δεξαμενής τελικής καθίζησης, της δεξαμενής χλωρίωσης κ.λ.π.[2]

2.2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους και κυρίως :

- α) από τις συνήθειες και την ποιότητα ζωής (βιοτικό επίπεδο κ.λ.π.),
- β) την επάρκεια νερού,
- γ) τις εισροές βρόχινου νερού (μικτά-χωριστικά αποχετευτικά δίκτυα),
- δ) τη διάθεση βιομηχανικών ή ειδικών αποβλήτων στο δίκτυο αποχέτευσης κ.λ.π.

Τα λύματα περιέχουν κυρίως οργανικές ουσίες σε διάλυση ή αιωρούμενα σωματίδια, λίπη-έλαια, ανόργανες ουσίες και διαλυμένα αέρια (αμμωνία, υδρόθειο κ.λ.π.)

Στον πίνακα 2.1. που ακολουθεί δίνεται ενδεικτικά μια τυπική σύνθεση των λυμάτων μιας πόλης (βασισμένη σε ποσότητα λυμάτων 170 λίτρα /κατ. - ημέρα)

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά τυπικών οικιακών λυμάτων [2].

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
	γραμ/κατ-ημ.	mg/lt
Ολικά στερεά	115-170	680-1000
Πτητικά στερεά	65-85	380-500
Αιωρούμ. στερεά	35-50	200-290
Πτητικά αιωρ. στερεά	25-40	150-240
BOD ₅ (βιοχ. απαιτ. οξυγ)	50-70	290-410
COD (χημ. απαιτ. οξυγ)	115-125	680-730
Ολικό άζωτο	6-17	35-100
Αμμωνία	1-3	6-18
Νιτρικά & νιτρώδη	<1	<5
Ολικός φώσφορος	1-4	6-24
Ολικά κολοβακτήρια	10 ¹⁰ -10 ¹²	απ./ml
Κοπρώδη κολοβακτήρια	10 ⁸ - 10 ¹⁰	απ./ml

2.3 Κύρια στάδια επεξεργασίας λυμάτων - περιγραφή της λειτουργίας μιας Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

2.3.1 Γενικά

Η επεξεργασία των λυμάτων στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των συνεπειών της διάθεσης των λυμάτων στο περιβάλλον, αφαιρούντας ή εξουδετερώνοντας όλα τα συστατικά των λυμάτων που ρυπαίνουν ή μολύνουν το περιβάλλον ή τον τελικό αποδέκτη των λυμάτων. Με τις διάφορες τεχνολογίες και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αφαιρούνται τα χονδρά στερεά, η άμμος, τα λίπη και έλαια, οι ακαθαρσίες που περιέχουν, η δυσσομία, τα παθογόνα μικρόβια, το άζωτο, ο φώσφορος κ.λ.π.

Ποιες και πόσες ουσίες ή συστατικά αφαιρούνται εξαρτάται αφενός από το βαθμό επεξεργασίας και αφετέρου από τον τελικό αποδέκτη π.χ υπέδαφος (βόθροι), στο έδαφος (άρδευση), στα υπόγεια νερά, σε ρέμα ή ποτάμι ή στη θάλασσα.

2.3.2 Στάδια (φάσεις) επεξεργασίας των λυμάτων

Τα κυριότερα στάδια σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών απόβλητων φαίνονται συνοπτικά στο σχήμα 2.1. και είναι τα ακόλουθα :

I. Προεπεξεργασία

α) Υποδοχή λυμάτων και αφαίρεση των ογκόδων στερεών συνήθως με σχάρα (ή κόσκινο ή τεμαχιστή στερεών)

- β) Αφαίρεση των λιπών και λαδιών (λιποσυλλέκτης)
- γ) Αφαίρεση άμμου (αμμοσυλλέκτης)

Συχνά συνηθίζεται αντί εσχαρισμού - απολίπωσης - εξάμμωσης να χρησιμοποιείται μια προκαθίζηση με διαφράγματα για παγίδευση (συγκράτηση) των λιπών-ελαίων.

II. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Περιλαμβάνει την πρωτοβάθμια καθίζηση

III. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

- α) δεξαμενή επιλογής βακτηρίων
- β) δεξαμενή αερισμού
- γ) δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης
- δ) σύστημα ανακυκλοφορίας και αποχέτευσης λάσπης

IV. Τριτοβάθμια επεξεργασία

- α) αερόβια δεξαμενή νιτροποίησης
- β) ανοξική δεξαμενή απονιτροποίησης
- γ) αναερόβια δεξαμενή βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου
- δ) απολύμανση με χλωρίωση, οζόνωση ή UV ακτινοβολία

Στη βιολογική επεξεργασία περιλαμβάνονται η δεξαμενή επιλογής βακτηρίων, η δεξαμενή αερισμού, η δεξαμενή νιτροποίησης, η δεξαμενή απονιτροποίησης καθώς και οι δεξαμενές βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου.

V. Προχωρημένη τεταρτοβάθμια επεξεργασία εκροής

Συνηθίζεται όταν τα επεξεργασμένα λύματα προορίζονται για άρδευση ή για διάθεση σε ευαίσθητο υδατικό αποδέκτη.

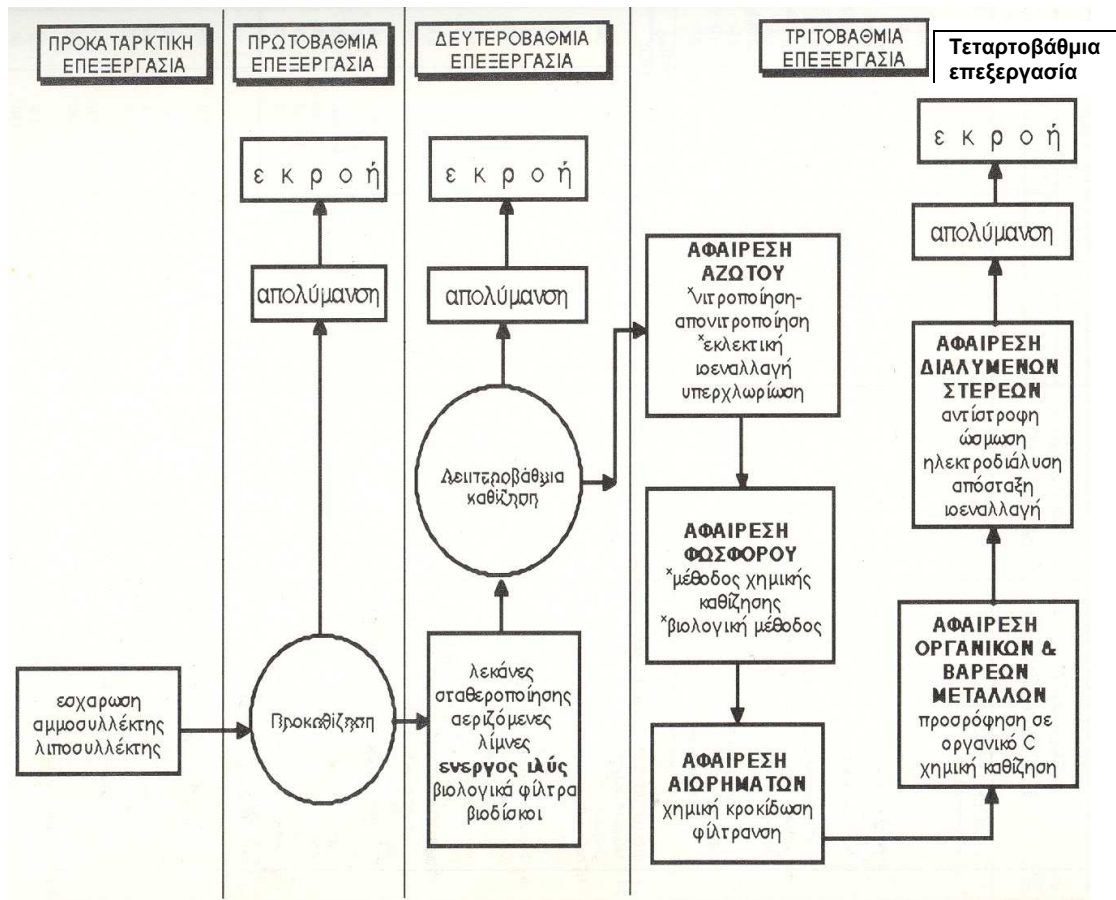
Περιλαμβάνει :

- α) Προσθήκη χημικών
- β) Συσσωμάτωση - κροκίδωση
- γ) Διύλιση (φίλτραση) σε αμμόφιλτρο
- δ) Καθίζηση
- ε) Απολύμανση (μόνο στην περίπτωση άρδευσης)

VI. Επεξεργασία λάσπης

- α) Βιοσταθεροποίηση λάσπης.
- β) Συμπύκνωση λάσπης (σε δεξαμενές πάχυνσης και μεταπάχυνσης)
- γ) Αφυδάτωση λάσπης με φυσική ξήρανση (σε κλίνες ξήρανσης) ή μηχανική αφυδάτωση (με φιλτρόπρεσες ή ταινιοφιλτρόπρεσες ή άλλα συστήματα).

Στη συνέχεια αναφέρονται τα προαναφερθέντα στάδια της προεπεξεργασίας, της πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και της επεξεργασίας της λάσπης αναλυτικότερα.



Σχήμα 2.1. Γενικό διάγραμμα ροής επεξεργασίας λυμάτων[2].

I. Προεπεξεργασία

I.1 Έργα εισόδου των λυμάτων

Είναι το φρεάτιο οπού καταλήγουν οι κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί που καταφθάνουν στη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.

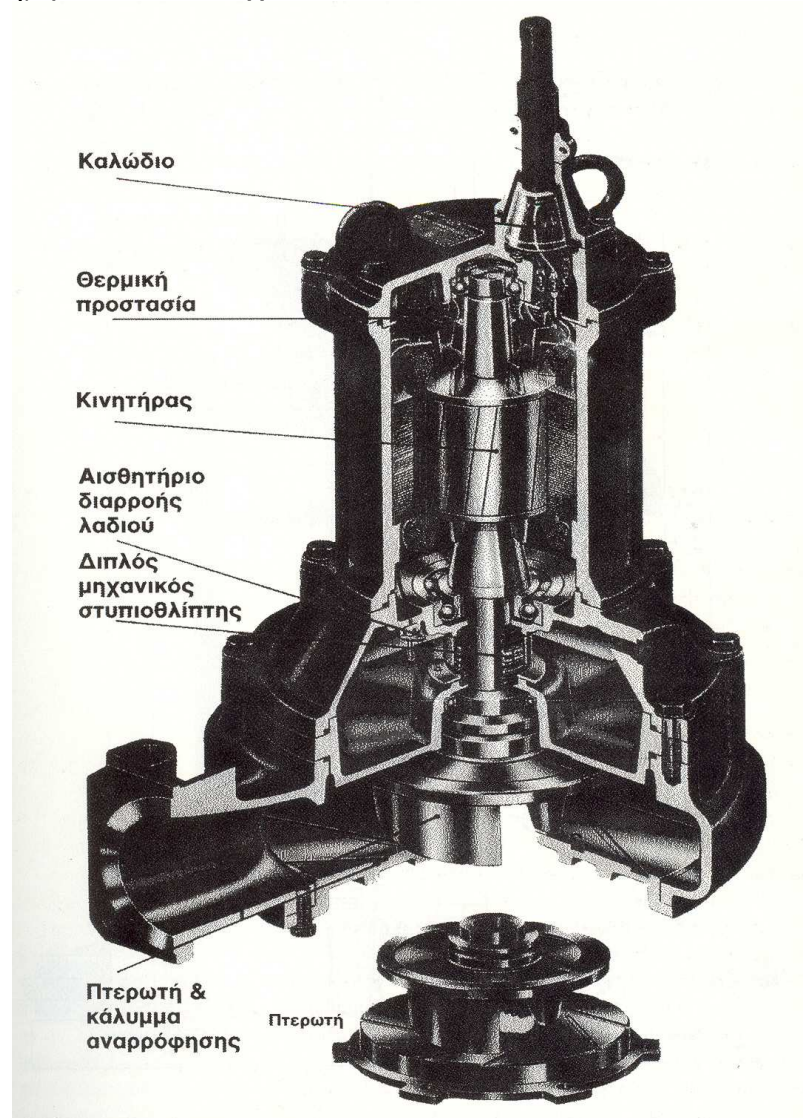
I.2. Αντλιοστάσια ανύψωσης

Το αντλιοστάσιο ανύψωσης χρειάζεται όταν τα λύματα φθάνουν σε χαμηλό υψόμετρο σε σχέση με τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων και είναι απαραίτητη η ανύψωση τους, ώστε στα επόμενα στάδια επεξεργασίας να μεταφέρονται με φυσική ροή (με βαρύτητα).

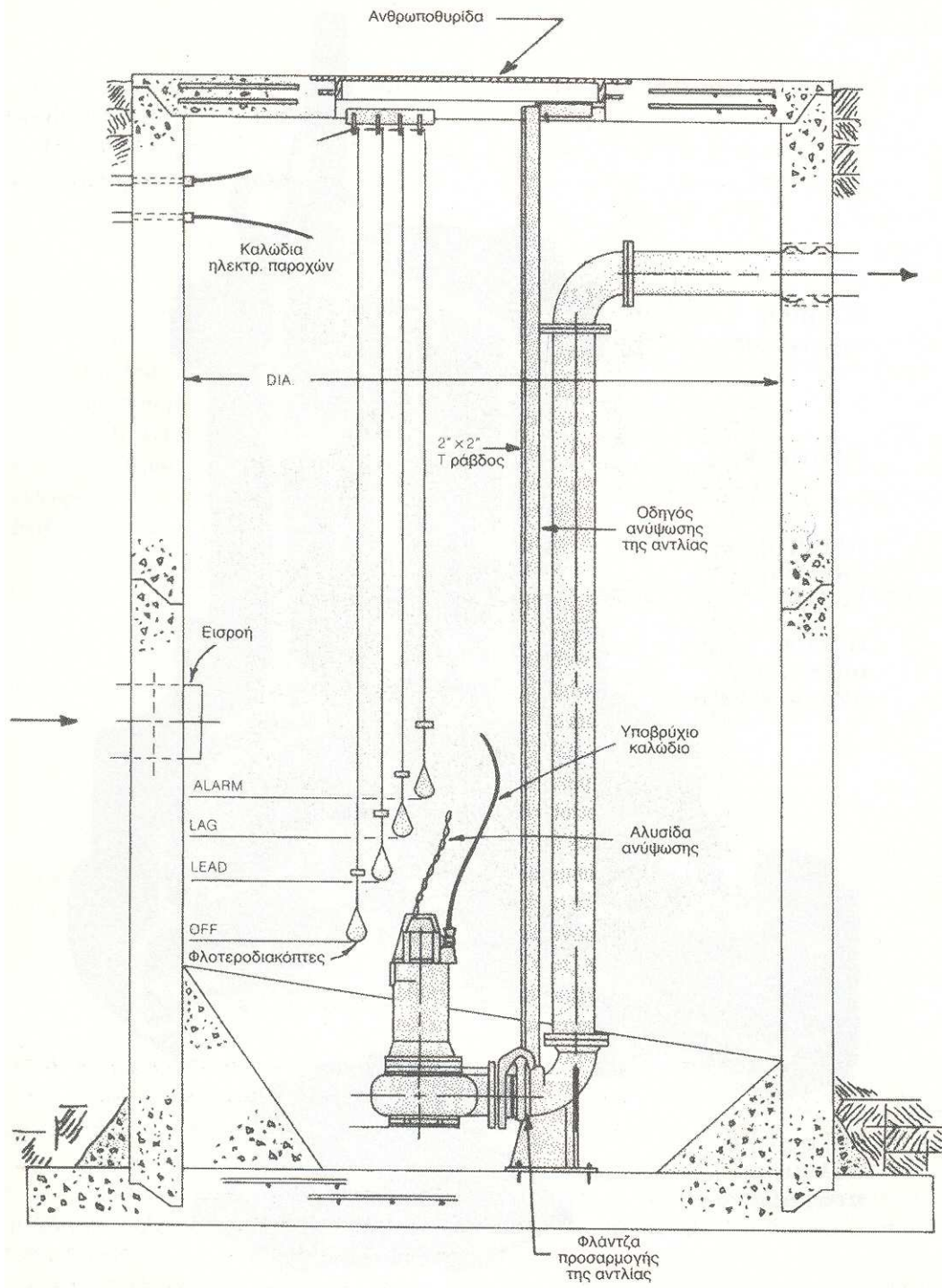
Πριν την άντληση είναι χρήσιμο τα λύματα να πέφτουν σε προθάλαμο με χονδρή σχάρα (με διάκενα 40-80 mm) για τη συγκράτηση μεγάλων ογκόδων αντικειμένων (μέταλλα-ξύλα-πλαστικά) που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στις αντλίες.

Οι αντλίες ανύψωσης είναι συνήθως υποβρύχιες (σχήμα 2.2.), τύπου μονοκάναλες ή με κοπτήρες (τεμαχιστές). Ο τεμαχισμός γίνεται με ειδική διαμόρφωση της φτερωτής και του κελύφους και βοηθά στην πρόληψη βουλωμάτων στις αντλίες, στις βάνες ή τις βαλβίδες αντεπιστροφής.

Η ελάχιστη παροχή των αντλιών ανύψωσης πρέπει να υπερκαλύπτει τη συνολική μέγιστη παροχή που φέρνουν οι αποχετευτικοί αγωγοί στο αντλιοστάσιο ανύψωσης και να υπάρχει και η απαραίτητη εφεδρεία.[2] Υποβρύχια αντλία λυμάτων φαίνεται στο σχ. 2.2. Ένα τυπικό αντλιοστάσιο λυμάτων (τομή) φαίνεται στο σχ. 2.3.



Σχήμα 2.2. Υποβρύχια αντλία αντλιοστασίου λυμάτων[2].



Σχήμα 2.3. Τυπικό αντλιοστάσιο λυμάτων[2].

1.3. Δεξαμενή εξισορρόπησης ροής

Η δεξαμενή εξισορρόπησης υπάρχει σαν βασική προεπεξεργασία για την εξομάλυνση της παροχής και της σύστασης των λυμάτων.

Η εξισορρόπηση προϋποθέτει καλή ανάμιξη για ομογενοποίηση και να διατηρούνται σε αιώρηση τα αιωρούμενα στερεά των λυμάτων. Η ανάμιξη συνήθως γίνεται με αερισμό (επαρκεί $0,5-1,0 \text{ m}^3$ αέρα / m^3 δεξαμενής).

Η εξισορρόπηση ροής γίνεται με δύο αντλίες (η μια εφεδρική) με παροχή περίπου $1/20$ της μέσης ημερήσιας παροχής. Ο ωφέλιμος όγκος της

εξισορρόπησης ροής πρέπει να καλύπτει τις ώρες αιχμής. Η εξισορρόπηση ροής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στις περιπτώσεις :

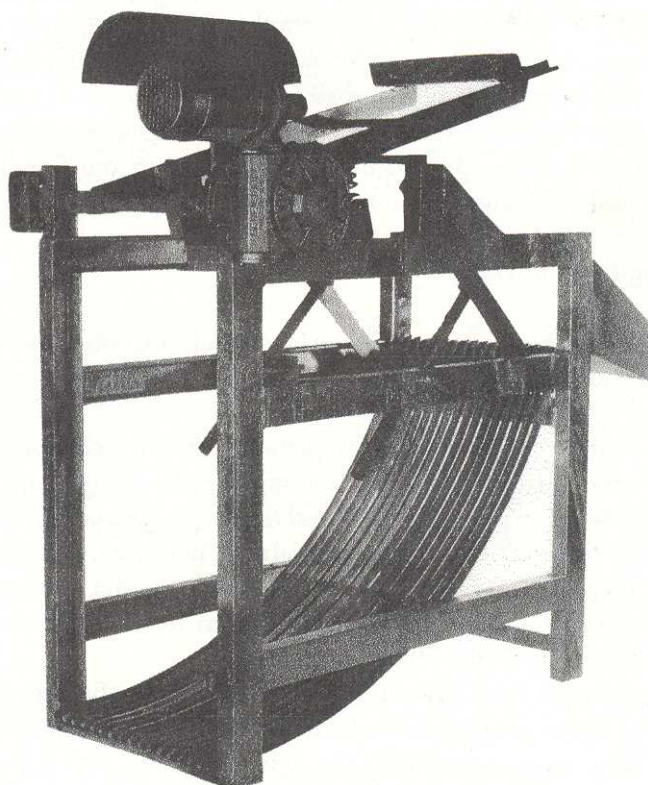
1) Όταν έχουν τα απόβλητα ή λύματα από διάφορα αντλιοστάσια σε ακανόνιστες παροχές, που στιγμιαία είναι πολύ μεγάλες και θα μπορούσαν να δημιουργήσουν υδραυλικό σοκ στα παρακάτω στάδια επεξεργασίας.

2) Όταν υπάρχουν διαφορετικές ποιότητες λυμάτων ή αποβλήτων, που η ανάμιξη τους βοηθά την ομογενοποίηση της ποιότητας και την καλύτερη επεξεργασία τους [2].

1.4. Εσχαρίωση

Για τη συγκράτηση των χονδρόκοκκων στερεών (στερεά κομμάτια, πλαστικά, ξύλα, πέτρες, χαρτιά κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται εσχάρες με παράλληλες ράβδους με διάκενα 5-50 mm. Στις μικρές μονάδες χρησιμοποιούνται οι λεπτές εσχάρες (διάκενα 10-20 mm). Ανάλογα με το σχήμα των ράβδων (ευθείες ή καμπυλωτές) οι εσχάρες διακρίνονται σε ευθύγραμμες ή τοξωτές (σχ. 2.4).

Οι σχάρες καθαρίζονται αυτόματα (μηχανικές ή αυτόματες σχάρες) ή χειρονακτικά με ειδική τσουγκράνα. Οι μηχανικές σχάρες προτιμούνται στις μεγαλύτερες μονάδες (πάνω από 1000 ισοδ. κατοίκους), ενώ οι χειροκαθαριζόμενες σχάρες χρησιμοποιούνται στις μικρότερες μονάδες, κυρίως σε οικισμούς.



Σχήμα 2.4. Τοξωτή (αυτόματη) σχάρα[2].

Στους βιολογικούς σταθμούς ξενοδοχειακών μονάδων αποφεύγονται οι χειροκαθαριζόμενες εσχάρες λόγω των ογκωδών υλικών (πλαστικών και

χαρτιών υγείας) που συγκεντρώνονται εκεί μαζί με τα κόπρανα και δικαιολογημένα οι συντηρητές του ξενοδοχείου δυσανασχετούν ή αμελούν στον καθαρισμό τους με αποτέλεσμα να βουλώνουν και τα λύματα να υπερχειλίζουν (αν έχει προβλεφτεί υπερχειλίση δημιουργώντας έντονη δυσοσμία. Τα στερεά που υπερχειλίζουν δημιουργούν προβλήματα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Για να γίνονται επισκευές ή συντηρήσεις στην αυτόματη εσχάρα συνήθως έχει προβλεφθεί μια παρακαμπτήριο διάταξη (BY-PASS), με μια απλή εσχάρα (με ευθύγραμμες ράβδους), ώστε να είναι δυνατή η απομόνωση και η άνετη επίσκεψη στην αυτόματη σχάρα (για επισκευή ή συντήρηση).

Τα τελευταία χρόνια στις μικρές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (π.χ. ξενοδοχεία) αντί της εσχάρωσης προβλέπονται άλλες λύσεις π.χ. (α) σύστημα τεμαχισμού των στερεών των λυμάτων, (β) δεξαμενή προκαθίζησης τύπου Imhoff (διθάλαμη δεξαμενή, όπου ο δεύτερος κάτω θάλαμος χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και σταθεροποίηση των λασπών), (γ) σηπτική δεξαμενή για την κατακράτηση των στερεών (χονδρόκοκκων) και των λιπών.

Οι λύσεις (β) και (γ) προϋποθέτουν, ότι οι δεξαμενές σταθεροποίησης των λασπών θα εξαερίζονται σωστά με γραμμή εξαερισμού στην οροφή του ξενοδοχείου, ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα όχλησης λόγω οσμεριών από τη χώνευση των λασπών[2].

1.5. Αμμοσυλλέκτης-λιποσυλλέκτης

Η αφαίρεση της άμμου και των λιπαρών ουσιών είναι πολύ σοβαρή υπόθεση για τους παρακάτω λόγους:

- Η άμμος και τα λίπη αν δεν αφαιρεθούν στην προκαταρκτική επεξεργασία συσσωρεύονται σε κάποια στάδια παρακάτω και δημιουργούν προβλήματα.
- Η άμμος συγκεντρώνεται στις δεξαμενές αερισμού στα αντλιοστάσια (προκαλώντας φθορά στις αντλίες) και στις μεγαλύτερες μονάδες στους χωνευτές λάσπης.
- Τα λίπη συγκεντρώνονται στην επιφάνεια των δεξαμενών αερισμού και καθίζησης και ευνοούν τη δημιουργία και ανάπτυξη νηματοειδών βακτηρίων (filamentous) με δυσάρεστες συνέπειες όπως η δημιουργία κροκκίδιου, ο αφρισμός και η διόγκωση λάσπης (bulking sludge).

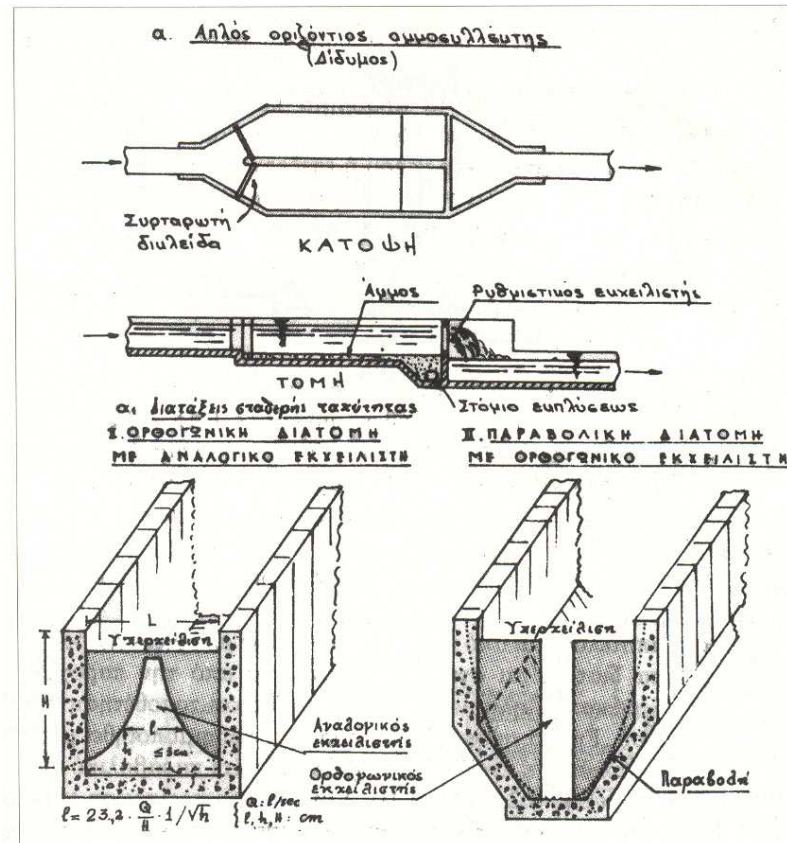
Η διαφυγή λιπών από την καθίζηση προκαλεί υποβάθμιση της εκροής. Η συγκέντρωση λιπών στον αερισμό δυσκολεύει τη μεταφορά και προσρόφηση οξυγόνου και κατά συνέπεια την καλή λειτουργία της δεξαμενής αερισμού.

Οι αμμοσυλλέκτες είναι δυο τύπων (κυρίως) :

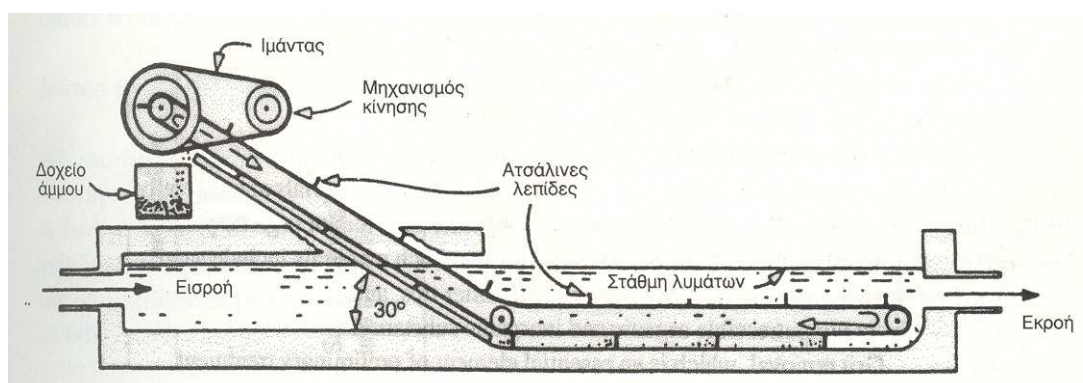
(1) Τύπου ανοικτού καναλιού (σχ. 2.5 & 2.6.) παραβολικής ή ορθογωνικής διατομής με κατάλληλο αναλογικό ή ορθογωνικό εκχειλιστή (σχ. 2.6) έτσι ώστε στο κανάλι να υπάρχει σταθερή οριζόντια ταχύτητα κίνησης των λυμάτων. Στο τέλος του καναλιού υπάρχει φρεάτιο ή "σιλό" με κωνικό πυθμένα για τη συγκέντρωση της άμμου και απομάκρυνση της περιοδικά

χειρωνακτικά (με την βοήθεια ειδικού εργαλείου, σα διάτρητο φαράσι) ή μηχανικά με αυτόματο σύστημα συλλογής άμμου (σχ.2.6.)

Συνήθως κατασκευάζονται δυο κανάλια που λειτουργούν εναλλακτικά για να υπάρχει ευχέρεια καθαρισμού.



Σχήμα 2.5. Αμμοσυλλέκτης ανοιχτού καναλιού[2].

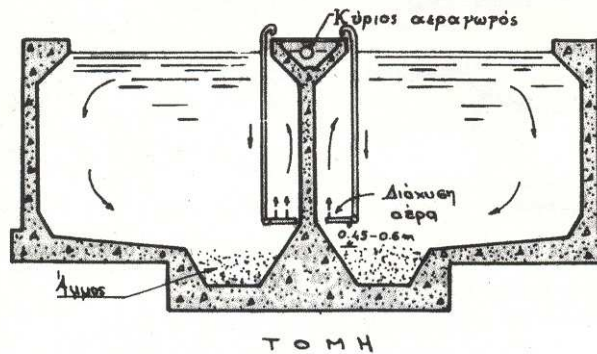


Σχήμα 2.6. Αμμοσυλλέκτης ανοιχτού καναλιού με σύστημα συλλογής άμμου[2].

(2) Αεριζόμενου τύπου σαν μικρή ορθογώνια δεξαμενή με κατάλληλα διαμορφωμένο πυθμένα για ευχερή συγκέντρωση και απομάκρυνση της άμμου (σχ. 2.7).

Τα λύματα αερίζονται με ειδική διάταξη διάχυσης αέρα στον πυθμένα του αμμοσυλλέκτη σε κατάλληλη θέση ώστε να εξασφαλίζεται σπειροειδής ροή που βοηθά στην απελευθέρωση των κόκκων άμμου που είναι εγκλωβισμένοι μέσα στα στερεά των λυμάτων.

Η άμμος κατακάθεται στον πυθμένα που έχει διαμόρφωση σιλό (κωνική) ή σαν στενό κανάλι απ' όπου κατάλληλη αντλία ή αεραντλία απομακρύνει την άμμο μαζί με λύματα και τα οδηγεί σε κατάλληλο κάδο όπου κατακρατείται (στραγγίζει) η άμμος και τα στραγγίσματα επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης (μέσω του εσωτερικού αντλιοστασίου).



Σχήμα 2.7. Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης – λιποσυλλέκτης[2].

Ο αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης είναι συνήθως και λιποσυλλέκτης. Τα σωματίδια λιπαρών ουσιών παρασύρονται από τις φυσαλίδες αέρα και οδηγούνται στην επιφάνεια όπου παγιδεύονται με ειδική διάταξη (επιπλέουν) και απομακρύνονται χειρωνακτικά.

Στις μεγάλες μονάδες (πάνω από 20.000 ισοδύναμους κατοίκους) η συλλογή των λιπών γίνεται από ειδική κινητή γέφυρα που με ξέστρο επιφάνειας τα παρασύρει σε ειδικό φρεάτιο ή δοχείο ή ειδικό κάδο.

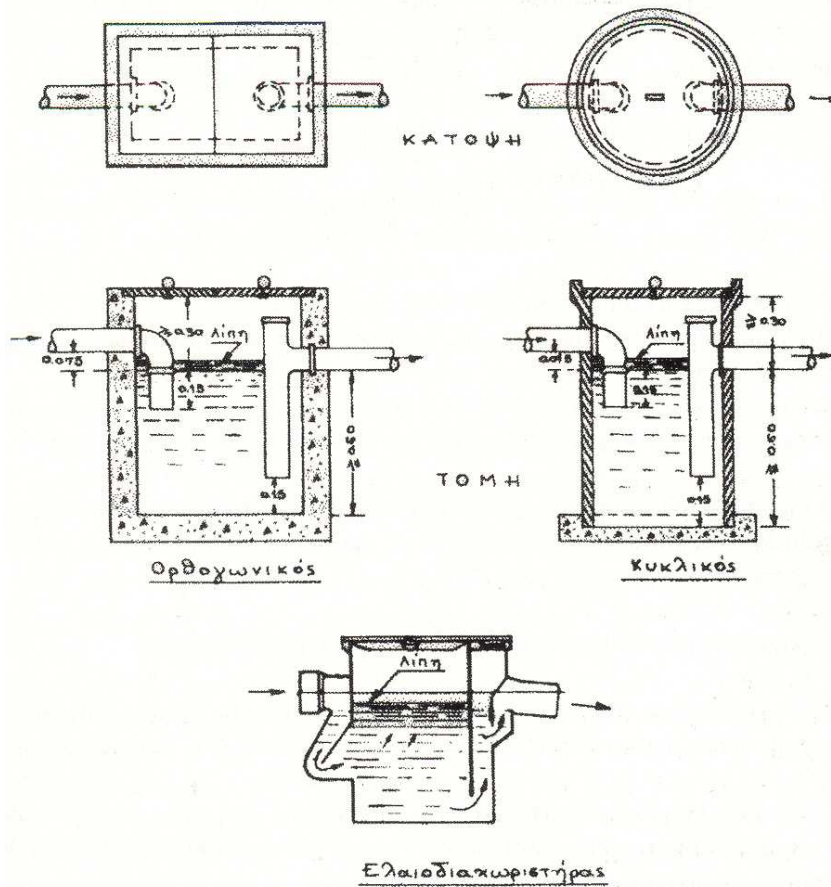
Τόσο η άμμος όσο και τα λίπη συνήθως οδηγούνται για ταφή μαζί με τα αστικά απορρίμματα στο χώρο υγειονομικής ταφής.

Ουσιαστικά ο αμμοσυλλέκτης κάνει μια πρώτη απόσμιση των λυμάτων. Σε περιπτώσεις θερμών κλιμάτων και εφ' όσον η εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων είναι κοντά σε σπίτια ή εφόσον δέχεται και βοθρολύματα, τότε πρέπει ο αμμοσυλλέκτης να είναι σκεπασμένος και τα δύσοσμα αέρια να απομακρύνονται με κατάλληλο εξαερισμό ή να οδηγούνται σε σύστημα επεξεργασίας οσμών (σύστημα απόσμισης με φίλτρο ενεργού άνθρακα ή φίλτρο κόμποστ ή πύργο έκπλυσης οσμών με πλυντρίδα ή φίλτρο εδάφους).

Οι λιποσυλλέκτες είναι κυρίως δύο τύπων :

- (1) αεριζόμενου τύπου : (όπως περιγράφεται ο αμμοσυλλέκτης - λιποσυλλέκτης), όπου γίνεται επίπλευση λιπών με την βοήθεια των φυσαλίδων αέρα, και (σχ. 2.7).
- (2) στατικού τύπου : όπου υπάρχει ένα φρεάτιο ή μία δεξαμενή, στην οποία οδηγούνται τα λύματα και με κατάλληλα διαφράγματα συγκρατούνται τα λίπη στην επιφάνεια (σχ. 2.8).

Στις μεγάλες και νεώτερες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται οι λιποσυλλέκτες αεριζόμενου τύπου.



Σχήμα 2.8. Λιποσυλλέκτης στατικού τύπου[2].

Οι λιποσυλλέκτες στατικού τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως στην έξοδο των λυμάτων από τα εστιατόρια και τις κουζίνες των ξενοδοχείων, των χώρων εστίασεως κ.λ.π. Ο καθαρισμός του στατικού λιποσυλλέκτη από τα λίπη που επιπλέουν (και δημιουργούν ένα παχύ στρώμα στην επιφάνεια) γίνεται χειρωνακτικά με τη βοήθεια μιας "κουτάλας" και τοποθετούνται σε βαρέλια ή ειδικά δοχεία ή κάδους απορριμμάτων. Προϋπόθεση για να είναι ευχερής ο καθαρισμός του λιποσυλλέκτη της κουζίνας, είναι να μην οδηγείται απευθείας μέσα σε αποχετεύσεις λυμάτων[2].

1.6 Μέτρηση παροχής

Η μέτρηση της παροχής είναι πολύ σημαντική υπόθεση για τη σωστή λειτουργία μιας Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Συγκεκριμένα, με την μέτρηση της παροχής μπορεί :

α) να ελεγχθεί αν υποφορτίζεται ή υπερφορτίζεται η Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.

β) να ρυθμιστεί η επανακυκλοφορία της ενεργοποιημένης λάσπης (75-150% της μέσης ωριαίας παροχής)

γ) να ρυθμιστεί η λειτουργία των δοσομετρητών απολυμαντικών (π.χ. χλωρίου ή υποχλωριώδους νατρίου) αναλογικά για καλύτερη απολύμανση και για οικονομία απολυμαντικών.

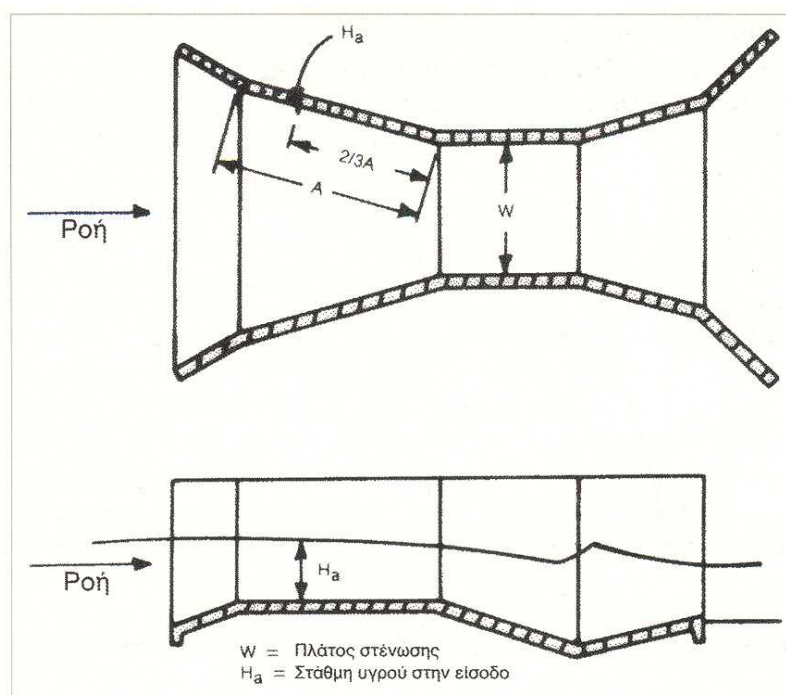
Η παροχή των λυμάτων μπορεί να μετρηθεί σε ανοικτούς ή σε κλειστούς αγωγούς. Τα τελευταία χρόνια η μέτρηση προτιμάται σε ανοικτούς αγωγούς κυρίως διότι είναι επισκέψιμο κάθε στιγμή το παροχόμετρο.

Δυνατότητες μέτρησης της παροχής στις μικρές μονάδες.

(I) Μέτρηση σε ανοικτούς αγωγούς : Τα λύματα διέρχονται από ειδικά διαμορφωμένο κανάλι ορθογωνικής ή παραβολικής διατομής (σχ. 2.9) ή διώρυγα τύπου Parshall.

Ένας υπερηχητικός μετρητής στάθμης τοποθετείται στο πάνω μέρος του καναλιού ώστε να "βλέπει" κάθετα τη ροή των λυμάτων. Η μέτρηση της στάθμης πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικού μετατροπέα ο οποίος εκφράζει το αποτέλεσμα σε μονάδες ηλεκτρικής τάσης σε mV.

Η ένδειξη των mV μετατρέπεται σε m^3/h ή m^3/min με τη βοήθεια μιας καμπύλης μετατροπής ή με ειδικό ψηφιακό μετρητή. Οι μετρητές ανοικτού καναλιού μπορούν να δώσουν πολύ καλές μετρήσεις με σφάλμα 1-2% .



Σχήμα 2.9. Διώρυγα Parshall για τη μέτρηση παροχής[2].

Η στιγμιαία ένδειξη δίνει τη στιγμιαία παροχή, ενώ με ολοκλήρωση μέτρηση του εμβαδού στο χαρτί του καταγραφικού, μπορεί να υπολογιστεί αθροιστικά η παροχή για ορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ μια ημέρα ή μια εβδομάδα). Για τις αθροιστικές τιμές υπάρχουν ψηφιακοί μετρητές που δίνουν άμεσα τα αποτελέσματα.

(II) Μέτρηση της παροχής με τη βοήθεια του αντλιοστασίου ανύψωσης ή εξισορρόπησης της ροής : Ο τρόπος αυτός είναι έμμεσος, αλλά αρκετά απλός και δίνει ενδεικτικά αποτελέσματα πολύ χρήσιμα.

Σε αυτή τη περίπτωση τοποθετείται ένας ωρομετρητής σε κάθε αντλία του αντλιοστασίου. Από την καμπύλη λειτουργίας που δίνει ο κατασκευαστής υπολογίζεται μια μέση παροχή της αντλίας στη μέση μανομετρική πίεση που ανυψώνονται τα λύματα. Από την υπολογισθείσα παροχή αφαιρείται ένα 5% για κάθε έτος παλαιότητας της αντλίας. Για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (που είναι το ζητούμενο) πολλαπλασιάζονται οι ώρες λειτουργίας κάθε αντλίας επί τη μέση παροχή που έχει υπολογίσει και προσθέτονται όλα τα μερικά γινόμενα. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί σωστά η ποσότητα των λυμάτων που αντλήθηκαν για ορισμένο χρονικό διάστημα. Με αναγωγή της ποσότητας αυτής ανά ημέρα ή ανά ώρα υπολογίζεται η μέση παροχή για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα[2].

II. Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Η επεξεργασία των στερεών λυμάτων με φυσική ή/και χημική μέθοδο που περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών και κατά την οποία το BOD₅ των εισερχομένων λυμάτων μειώνεται τουλάχιστον κατά 20 % πριν από τη απόρριψη και το συνολικό φορτίο των αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα μειώνεται κατά 50 % τουλάχιστον.

III. Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

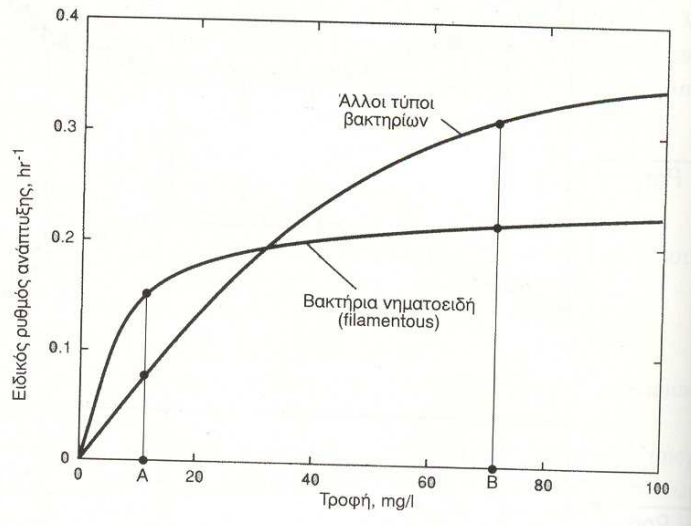
Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνει την βιολογική επεξεργασία και την δευτεροβάθμια καθίζηση, κατά τις οποίες μειώνεται το αρχικό BOD₅ 70-90 %, το COD κατά 75 % και το συνολικό φορτίο των αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα κατά 90 %. Οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές των ανωτέρω παραμέτρων διαμορφώνονται ως ακολούθως :

- BOD₅ 25 mgO₂/L
- COD 125 mgO₂/L
- TSS 35 mg/L

III. 1. Δεξαμενή Επιλογής (selector)

Η δεξαμενή αυτή χρησιμοποιείται πολύ την τελευταία δεκαετία στα θερμά κλίματα για τον έλεγχο της διόγκωσης λάσπης που οφείλεται στα νηματοειδή βακτήρια (Filamentous). Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στον εμπλουτισμό της ανακυκλοφορούμενης λάσπης με τροφή (οργανικό φορτίο των λυμάτων) ώστε να αναπτυχθεί εγκαίρως η υγιής βιομάζα σε βάρος των νηματοειδών βακτηρίων.

Όπως φαίνεται στο σχ. 2.10 τα νηματοειδή βακτήρια αναπτύσσονται περίπου με τον ίδιο ρυθμό τόσο σε περιβάλλοντα φτωχά όσο και πλούσια σε τροφή (αντίστοιχα θέσεις Α και Β στο διάγραμμα 2.10).



Σχήμα 2.10. διάγραμμα ανάπτυξης των νηματοειδών και μη-νηματοειδών βακτηρίων[2].

Δεν ισχύει όμως το ίδιο και με την υπόλοιπη βιομάζα της ενεργοποιημένης λάσπης που αναπτύσσεται πολύ ευκολότερα με επάρκεια τροφής. Κατά κανόνα η ανακυκλοφορούμενη λάσπη περιέχει υγρό εξαντλημένο σε τροφή και μετά την επαναφορά της στη δεξαμενή αερισμού (συνθήκες έντονης οξυγόνωσης) η βιομάζα δεν βρίσκει αμέσως τροφή για να αναπτυχθεί.

Έτσι μέσα στη δεξαμενή επιλογής η ανακυκλοφορούμενη λάσπη αναμιγνύεται με φρέσκα λύματα για 15-20 min και γίνεται ο απαραίτητος εμπλουτισμός της βιομάζας σε τροφή. Έτσι όταν εισαχθεί στη Δεξαμενή αερισμού η βιομάζα αναπτύσσεται με μεγάλους ρυθμούς σε βάρος των νηματοειδών βακτηρίων. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται δραστικά η πιθανότητα διόγκωσης λάσπης[2].

III.2. Δεξαμενές αερισμού

Οι δεξαμενές αερισμού θεωρούνται η "καρδιά" του συστήματος ενεργοποιημένης λάσπης. Στις δεξαμενές αυτές τα λύματα αναμιγνύονται με την ενεργοποιημένη λάσπη που ανακυκλοφορείται από τη δεξαμενή καθίζησης, ενώ ταυτόχρονα τροφοδοτούνται με αέρα ή οξυγόνο για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών.

Οι μικροοργανισμοί (βιομάζα) που βρίσκονται στην ενεργοποιημένη λάσπη μετατρέπουν τις ουσίες των λυμάτων σε νέα βιομάζα και σε προϊόντα αναπνοής (μεταβολισμού), δηλ. διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νερό (H_2O), νιτρικά και θειικά ιόντα και αδρανές υπόλειμμα.

Το μίγμα ενεργοποιημένη λάσπη + τροφή (λύματα) που αερίζεται και αναμιγνύεται συνεχώς στη δεξαμενή αερισμού λέγεται ανάμικτο υγρό (MLSS). Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση των δεξαμενών αερισμού βασίζεται στα χαρακτηριστικά των λυμάτων, στις προδιαγραφές και αποδόσεις της επεξεργασίας, στις τοπικές συνθήκες κ.λ.π. Ο χρόνος παραμονής στον αερισμό μπορεί να είναι από μισή ώρα μέχρι 36 ώρες. Ειδικά στον παρατεταμένο αερισμό ο χρόνος παραμονής είναι 16-36 ώρες ή και παραπάνω.

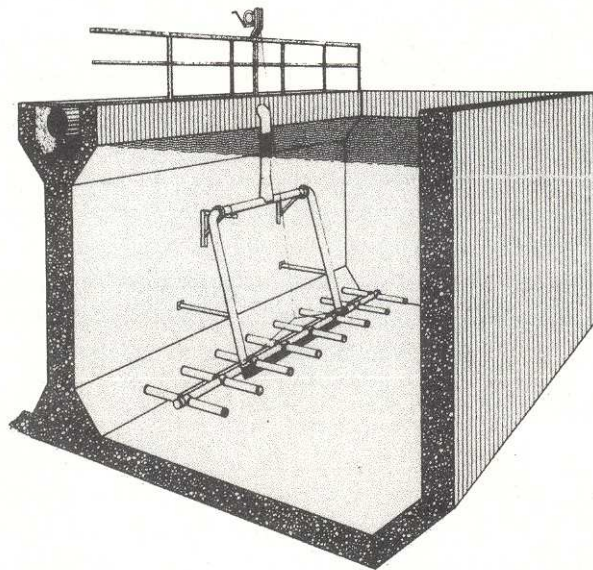
Ο καλός αερισμός του ανάμικτου υγρού εξυπηρετεί δυο σκοπούς :

- Την πλήρη ανάμιξη βιομάζας (λάσπης) και τροφής (λυμάτων) ώστε οι μικροοργανισμοί να συναντήσουν τα σωματίδια της τροφής, και
- Την εξασφάλιση του διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα που απαιτείται για την επιβίωση (μεταβολισμό και πολλαπλασιασμό) των μικροοργανισμών. Συνήθως όταν εξασφαλίζεται επαρκές οξυγόνο τότε και η ανάμιξη είναι επαρκής.

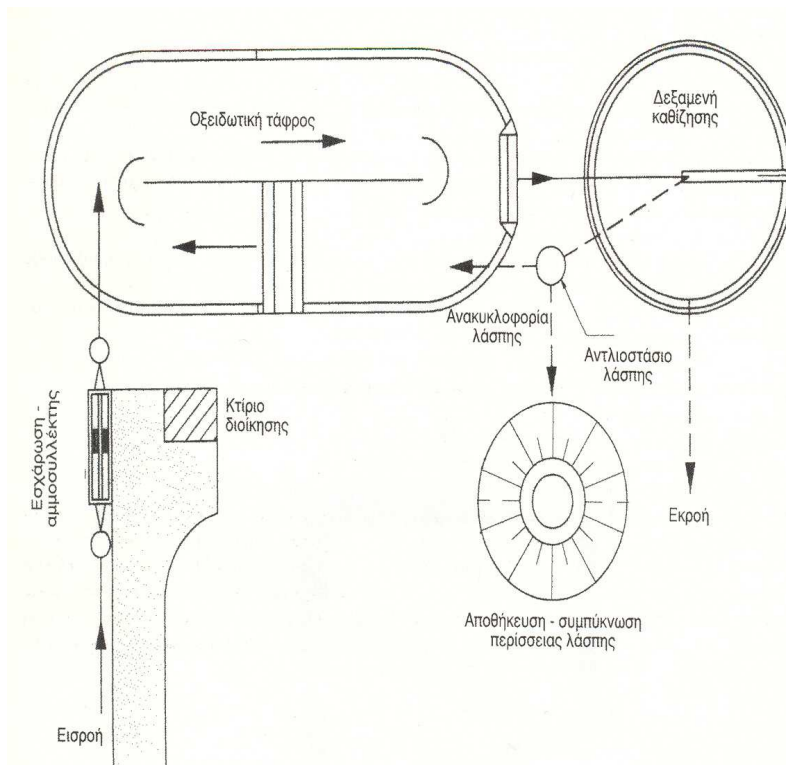
Στη βιομάζα στον παρατεταμένο αερισμό υπάρχουν βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα και τροχόζωα (rotifers).

Το μίγμα της ενεργοποιημένης λάσπης και των λυμάτων (ανάμικτο υγρό) οδηγείται μετά τον αερισμό στις δεξαμενές καθίζησης.

Το σχήμα των δεξαμενών αερισμού είναι ορθογωνικό (βάθους 2,5 - 4,5 μέτρων) ή κυκλικής - ελλειψοειδούς τάφρου (σχ. 2.11 και σχ. 2.12)[2].



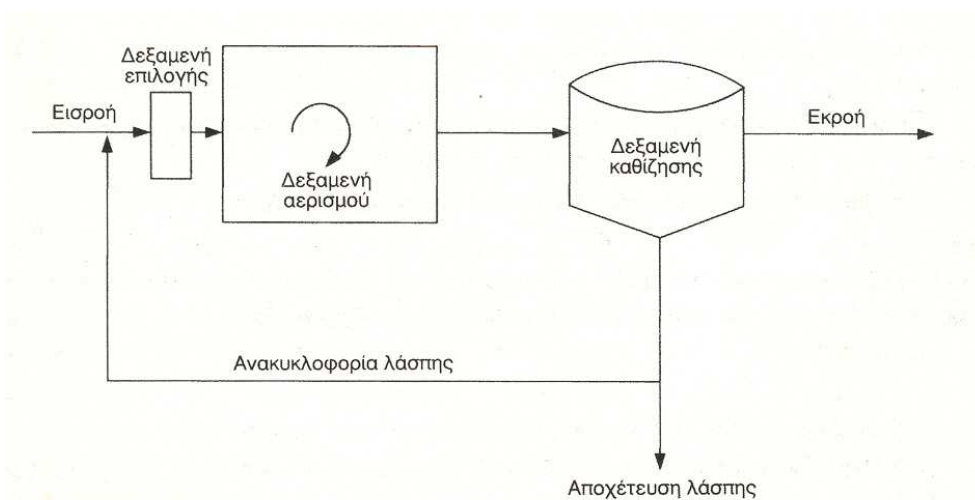
Σχήμα 2.11. Σχήμα ορθογωνικής δεξαμενής αερισμού[2].



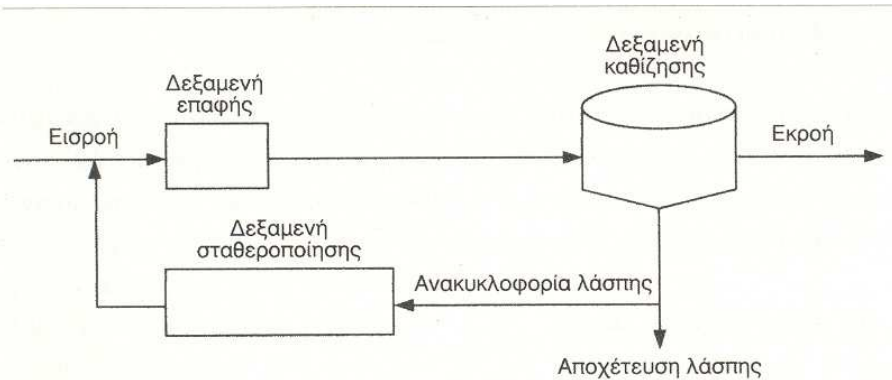
Σχήμα 2.12. Κάτοψη τυπικής εγκατάστασης μικρής μονάδας παρατεταμένου αερισμού (οξειδωτικής τάφρου)[2].

III.3. Παραλλαγές ενεργοποιημένης λάσπης και παρατεταμένος αερισμός

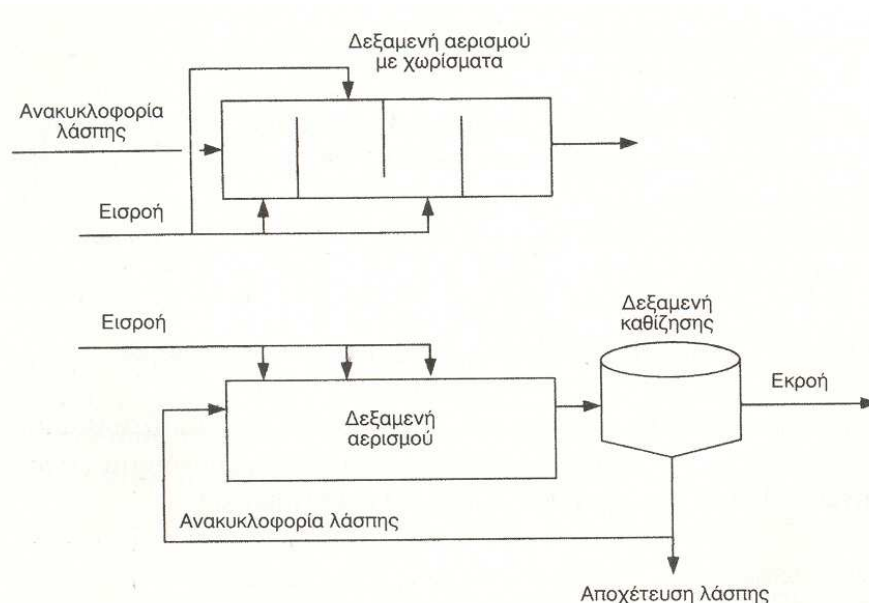
Στα σχηματικά διαγράμματα που ακολουθούν δίνονται οι κυριότερες παραλλαγές του βιολογικού αντιδραστήρα στα συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης (activated sludge) (βλ. σχ. 2.13, 2.14, 2.15)



Σχήμα 2.13. Σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης πλήρους ανάμιξης με δεξαμενή επιλογής[2].



Σχήμα 2.14. Σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης με επαφή – σταθεροποίηση[2].



Σχήμα 2.15. Σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης με τμηματική τροφοδοσία[2].

Ο παρατεταμένος αερισμός

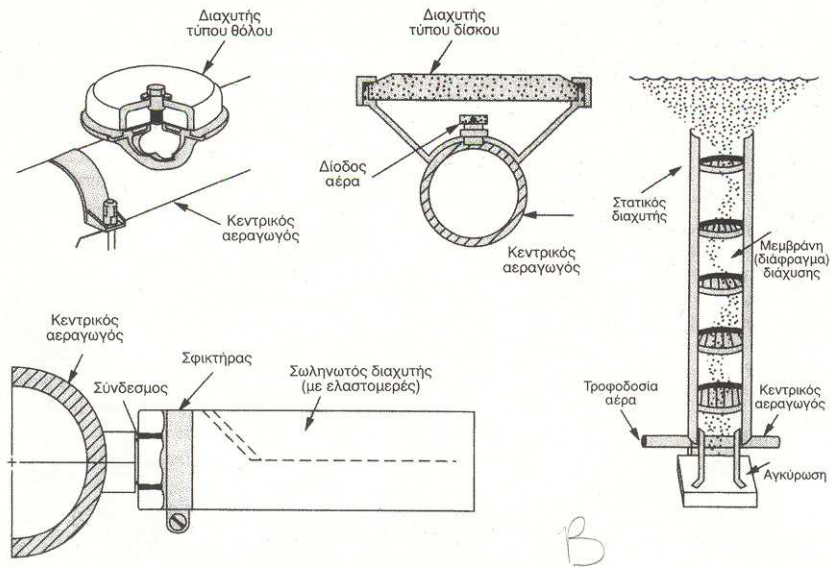
Ο παρατεταμένος αερισμός χρησιμοποιεί το ίδιο διάγραμμα ροής με το σύστημα πλήρους ανάμιξης και το σύστημα σπειρώδους ροής (plug flow)(σχήμα 2.12. και 2.16.). Τα Κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι :

α) Μεγάλος χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού (>18h, έναντι 3-8 ώρες των άλλων των άλλων συστημάτων ενεργοποιημένης λάσπης)

β) Υψηλό SRT (ηλικία της λάσπης, Θc)

γ) Μικρό F/M ratio (σχέση τροφής και βιομάζας), που οδηγεί σε συνθήκες συνεχούς έλλειψης τροφής. Αποτέλεσμα συνθήκες υψηλού & έντονου ανταγωνισμού για την αφομοίωση της εναπομένουσας τροφής και συχνά αλληλοφάγωμα των μικροοργανισμών για επιβίωση.

Ο μεγάλος ανταγωνισμός οδηγεί σε καλά επεξεργασμένη εκροή με ελάχιστη παραγωγή λάσπης. Όμως η εκροή από τον παρατεταμένο αερισμό έχει σημαντικές ποσότητες μικροσωματιδίων (σαν pin floc), γεγονός που οδηγεί συχνά σε αποδόσεις για το BOD₅ και τα S.S περίπου σε 85-90%. Με κανονική λειτουργία, η εκροή έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

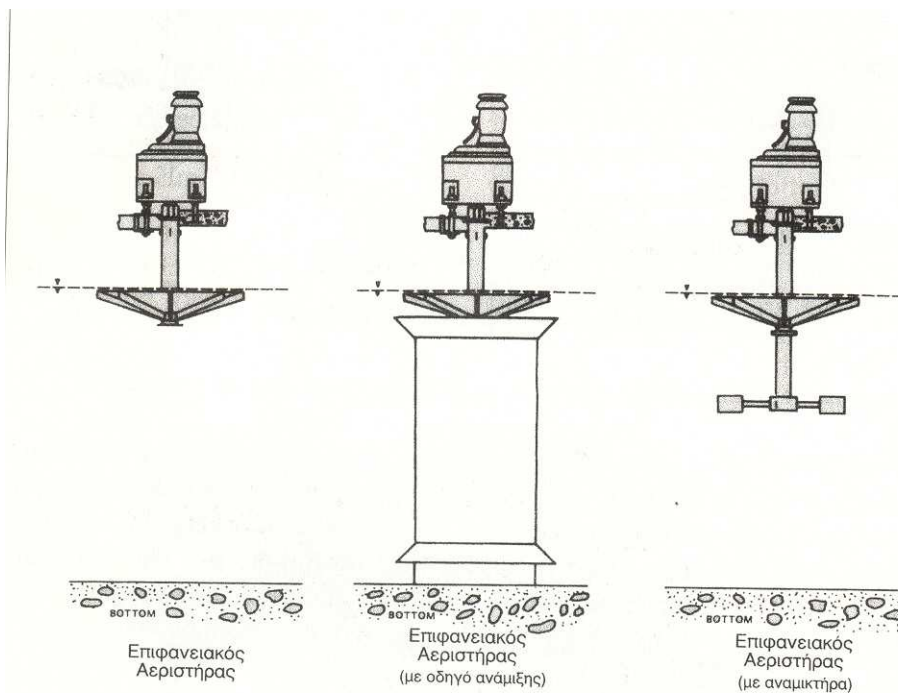


Σχήμα 2.17. Διάφοροι τύποι διαχυτών [2].

Οι καλύτερες αποδόσεις που δίνουν οι διαχυτήρες λεπτών φυσαλίδων που συνοδεύονται συνήθως από μεγαλύτερο κόστος αγοράς και διάφορα προβλήματα λόγω βουλωμάτων και απαιτούν συχνούς καθαρισμούς. Αντίθετα τα υπόλοιπα είδη διαχυτήρων έχουν μικρότερες αποδόσεις, αλλά και χαμηλότερο κόστος και ελάχιστα προβλήματα καθαρισμού. Πρόσφατα έχουν κατασκευαστεί διαχυτήρες λεπτών φυσαλίδων από ελαστομερέη που βουλώνουν δύσκολα και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση ενώ ταυτόχρονα έχουν πολύ καλές αποδόσεις.

2) Αερισμός με επιφανειακούς αεριστήρες ή περιστρεφόμενες ψήκτρες

Οι επιφανειακοί αεριστήρες (σχ.2.18.) και οι ψήκτρες περιστρέφονται αργά (30-80 στρ./λ) και προκαλούν μεγάλη ανατάραξη του ανάμικτου υγρού καθώς και τεχνητό αερισμό λόγω της έντονης ανάμιξης. Πλεονεκτούν σε απλότητα σε σχέση με το σύστημα αερισμού με διάχυση αέρα και μειονεκτούν σε αποδόσεις αερισμού (αποδόσεις 8-15%). Το κόστος των επιφανειακών αεριστήρων και ψηκτρών είναι αρκετά υψηλό για τις μικρές μονάδες, ενώ στις μεσαίες και μεγάλες μονάδες είναι συγκρίσιμο με τα συστήματα διάχυσης[2].



Σχήμα 2.18. Επιφανειακοί αεριστήρες χαμηλών ταχυτήτων [2].

III.5. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης

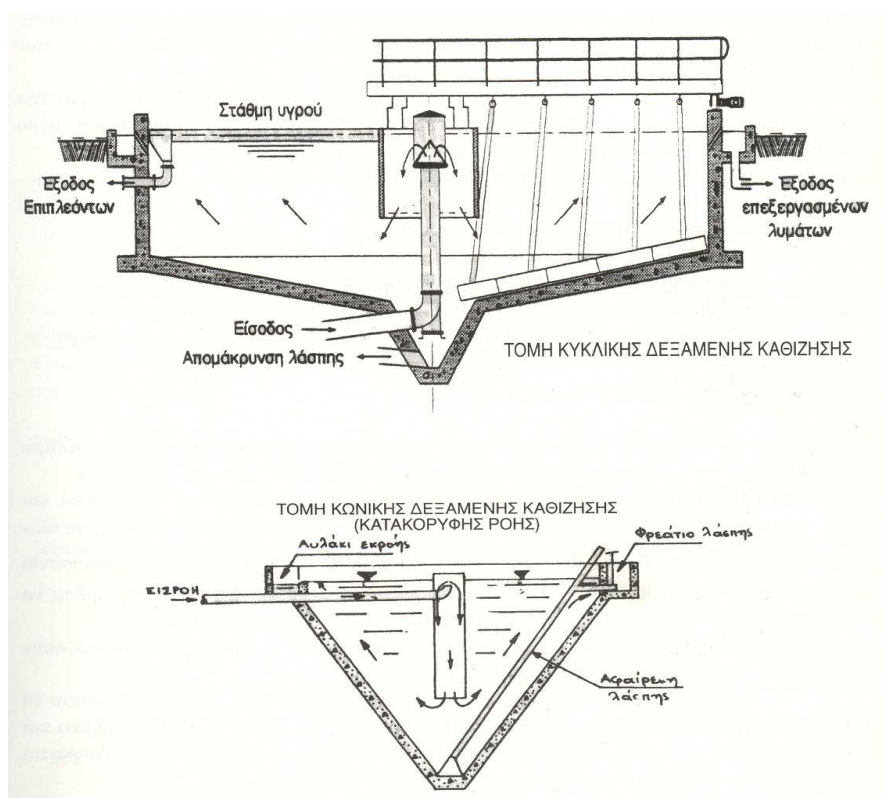
Μετά τη δεξαμενή αερισμού το ανάμικτο υγρό οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Στη δεξαμενή αυτή παραμένει για 2-4 ώρες και η λάσπη καθιζάνει, αφήνοντας διαυγές το υπερκείμενο υγρό. Οι μικροοργανισμοί συσσωματώνονται σε αποικίες -μεγαλύτερα σωματίδια, με μηχανισμούς βιολογικής συσσωμάτωσης - κροκίδωσης και κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, συμπαρασύροντας μαζί και άλλα αιωρούμενα στερεά. Τα συσσωματώματα βιομάζας, λυμάτων και αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν την ενεργοποιημένη λάσπη, που μετά τη συμπύκνωση της, ανακυκλοφορείται προς τη δεξαμενή αερισμού. Το σύστημα δεξαμενών αερισμού και καθίζησης με τις κύριες γραμμές ροής λυμάτων και ανακυκλοφορίας λάσπης είναι ο Βιολογικός αντιδραστήρας. Από το κύκλωμα αυτό πρέπει να απομακρύνεται η περίσσεια λάσπης σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η ανακυκλοφορία λάσπης και η απομάκρυνση της περίσσειας λάσπης στοχεύουν στη διατήρηση στο Βιολογικό αντιδραστήρα της βιομάζας που απαιτείται για την αφομοίωση των ουσιών των λυμάτων.

Οι δεξαμενές καθίζησης μπορεί να είναι οριζόντιας ροής (κυκλικές ή ορθογώνιες) ή κατακόρυφης ροής (σαν ανεστραμμένη πυραμίδα ή κώνος) όπως στο σχ. 2.15.

Στις δεξαμενές οριζόντιας ροής η λάσπη που καθιζάνει συγκεντρώνεται στο βαθύτερο τμήμα που έχει τη μορφή σιλό με τη βοήθεια κινούμενου ξέστρου. Από το σιλό η λάσπη οδηγείται με βαρύτητα στο αντλιοστάσιο ενεργοποιημένης (ή δευτεροβάθμιας) λάσπης και από εκεί με αντλίες επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού (ή τη δεξαμενή επιλογής αν υπάρχει), ενώ ένα μέρος λάσπης - η περίσσεια - απομακρύνεται με άλλες αντλίες προς τη γραμμή επεξεργασίας λάσπης. Τα επιπλέοντα στερεά

συγκεντρώνονται (με τη βοήθεια ειδικής λεπίδας που βρίσκεται στο κινούμενο ξέστρο) σε ειδικό φρεάτιο και προωθούνται προς την επεξεργασία λάσπης.

Στις δεξαμενές κατακόρυφου ροής η ενεργοποιημένη λάσπη συμπυκνώνεται (καθιζάνει) στον πυθμένα της κωνικής δεξαμενής και με τη βοήθεια αντλιών (ή αεραντλιών) ανακυκλοφορεί προς τη δεξαμενή αερισμού. Τα επιπλέοντα στερεά συγκεντρώνονται με αεραντλίες - αφροσυλλέκτες και επαναφέρονται στον αερισμό (ή απομακρύνονται προς την επεξεργασία λάσπης).



Σχήμα 2.19. Διάφοροι τύποι δεξαμενών καθίζησης [2].

Η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης είναι πολύ σημαντική για τη σωστή λειτουργία του βιολογικού αντιδραστήρα. Αν δεν διαχωριστεί σωστά η λάσπη από το υπερκείμενο υγρό τότε η εκροή μπορεί να είναι λιγότερο καθαρή από τα ανεπεξέργαστα λύματα. Λειτουργικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών τελικής καθίζησης είναι:

- χρόνος παραμονής $> 2 \text{ h}$ (για τη μέγιστη παροχή)
- επιφ. φόρτιση $(Q / A) < 25 \text{ m}^3 / \text{m}^2$.
- φόρτιση στερεών $(Q+QR) (\text{MLSS})/A < 100 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$
- βάθος $> 3 \text{ m}$
- κλίση πυθμένα 1:6 - 1:18 (Για τις δεξαμενές κατακόρυφου ροής κλίση κώνου $> 50^\circ$)[2].

IV. Τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων

Η τριτοβάθμια επεξεργασία στοχεύει στην παραγωγή εκροής υψηλών προδιαγραφών για διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων σε ευαίσθητους αποδέκτες (π.χ. λίμνες, λιμνοθάλασσες ή εκβολές ποταμών).

Η τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει πρόσθετα στάδια επεξεργασίας μετά τη δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία με στόχο τη μείωση :

- του αζώτου και του φωσφόρου
- του μικροβιακού φορτίου

Ανάλογα με τις προβλεπόμενες χρήσεις των επεξεργασμένων λυμάτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πρόσθετες επεξεργασίες όπως : πλήρης απόσπηση & αποχρωματισμός με ενεργό άνθρακα, μερική αφαλάτωση και αφαίρεση οργανικών ουσιών με αντίστροφη ώσμωση κ.λ.π.

Στο σχ. 2.1 φαίνεται ένα ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ με όλα τα συνηθισμένα στάδια μέχρι τον "πλήρη" καθαρισμό των λυμάτων για παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας (με προδιαγραφές πόσιμου νερού) και για παραγωγή νερού άριστης ποιότητας για κάθε άρδευση χωρίς περιορισμούς[2].

IV.1. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΖΩΤΟΥ

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθεί τόσο η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης όσο και η χημική απομάκρυνση της αμμωνίας.

IV.1. 1. Προέλευση και ενώσεις του αζώτου

Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου, που υπάρχει στα επιφανειακά νερά, προέρχεται από τις αγροτικές απορροές (3,5-27 kg N/ha.χρ.) και τα αστικό-βίο μηχανικά απόβλητα (10 - 15 g N/ατ.ημ.) και απαντά, είτε με μορφή αμμωνίας (περίπου 40%), είτε ενωμένο σε οργανικές ενώσεις. Η συμβατική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία αφαιρεί τα 40% περίπου από το ολικό άζωτο και παραμένει το υπόλοιπο στην απορροή κυρίως με τη μορφή της αμμωνίας, αν οι συνθήκες δεν ευνοούν τη νιτροποίηση.

Οι μορφές του αζώτου, που ενδιαφέρουν από την πλευρά της επεξεργασίας καθαρισμού των αποβλήτων, είναι το οργανικό το ανόργανο και το αέριο άζωτο. Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται αρχικά σε αμμωνία κατά τη βιολογική αποδόμηση των αζωτούχων ενώσεων και στη συνέχεια η αμμωνία (σαν αμμώνιο NH_4^+ ,) μετατρέπεται σταδιακά, με τη δράση αυτότροφων νιτροβακτηρίων, σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα με παράλληλη παραγωγή ενέργειας. Τα νιτρικά σε αναερόβιο περιβάλλον μετατρέπονται με βιολογική δράση από επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς σε αέριο άζωτο (απονιτροποίηση).

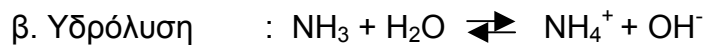
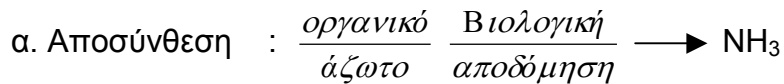
Η πλήρης σειρά των πιο πάνω αντιδράσεων (αποδόμηση οργανικών αμμωνία ► νιτροποίηση ► απονιτροποίηση ► N_2 ↑) αποτελεί μία από τις βασικές διαδικασίες για την απομάκρυνση του αζώτου από τα απόβλητα.

Εξάλλου η αφαίρεση της αμμωνίας μπορεί να γίνει με απαέρωση σε αλκαλικό περιβάλλον ($\text{pH} > 11$).

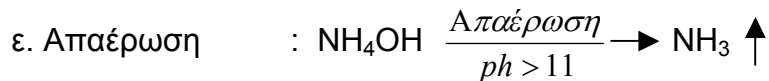
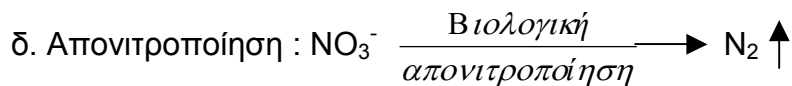
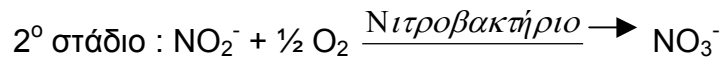
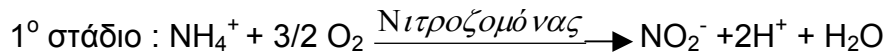
Η αμμωνία μπορεί επίσης να αφαιρεθεί με βιολογική αφομοίωση, αφού προστεθεί ο κατάλληλος υδατάνθρακας (π.χ. μεθυλική αλκοόλη CH_3OH) σαν πηγή άνθρακα και ενέργειας.

Τέλος οι ανόργανες μορφές του αζώτου (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-) μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν θρεπτικά υλικά από τα φυτά κατά τον μηχανισμό της φωτοσύνθεσης[1].

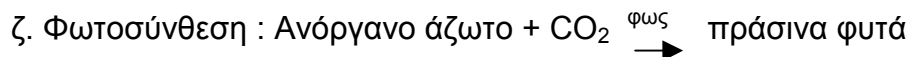
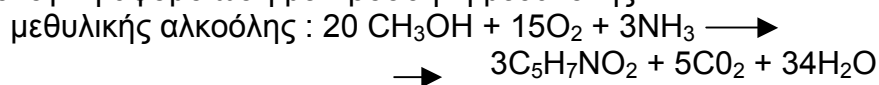
Οι σχετικές χημικές αντιδράσεις είναι :



γ. Νιτροποίηση :



στ. Βιολογική αφομοίωση με προσθήκη μεθανόλης



Στα συστήματα παρατεταμένου αερισμού οι συνθήκες ευνοούν την πλήρη νιτροποίηση (ή νιτρικοποίηση), ιδιαίτερα μάλιστα στα θερμά κλίματα της Μεσογείου.

Νιτροποίηση όταν λέμε εννοούμε πρώτα τη μετατροπή του οργανικού και αμμωνιακού αζώτου σε νιτρώδη, NO_2^- (με τα βακτήρια *nitrobacter*) και μετά των νιτρώδων σε νιτρικά, NO_3^- (με τα βακτήρια *nitrosomonas*). Με δεδομένη τη νιτροποίηση στα δεδομένα της Μεσογείου, για μικρές μονάδες (παρατεταμένου αερισμού) πρέπει να υπάρχει επαρκής αερισμός (οξυγόνωση) ώστε να καλύπτεται και η νιτροποίηση.

Σε στιγμές που ο αέρας είναι ανεπαρκής τα απονιτροποιητικά βακτήρια καταναλώνουν το οξυγόνο των νιτρικών ιόντων, ελευθερώνοντας το άζωτο. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις δεξαμενές καθίζησης, όπου το παραγόμενο μοριακό άζωτο (φουσαλίδες) εγκλωβίζεται μέσα στη λάσπη που καθιζάνει και συχνά η λάσπη γίνεται πιο ελαφριά από το υπερκείμενο υγρό και ανεβαίνει στην επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης σαν επιπλέουσα λάσπη.

Η λάσπη αυτή αν δεν απομακρυνθεί εγκαίρως με ειδικά συστήματα συλλογής, τότε δημιουργείται σοβαρό πρόβλημα διαφυγή λάσπης στην εκροή που θολώνει και μυρίζει, δυσσομία και έντομα στην καθίζηση κ.λ.π.

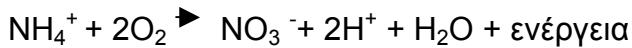
Το πρόβλημα επίπλευσης λάσπης, που οφείλεται στην ανεξέλεγκτη απονιτροποίηση, περιορίζεται σημαντικά αν υπάρχει στάδιο απονιτροποίησης όπου με ελεγχόμενη διαδικασία τα νιτρικά μετατρέπονται σε αέριο άζωτο.

IV.1.2. Βιολογική απομάκρυνση του αζώτου (νιτροποίηση – απονιτροποίηση)

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε πλήρη σειρά, αν το άζωτο είναι με μορφή αμμωνίας στα απόβλητα ή μόνο σαν απονιτροποίηση, αν βρίσκεται με μορφή νιτρικών ιόντων.

α. Νιτροποίηση

Το άζωτο με τη μορφή του αμμωνιακού ιόντος μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα σε δύο στάδια. Η συνολική αντίδραση είναι:

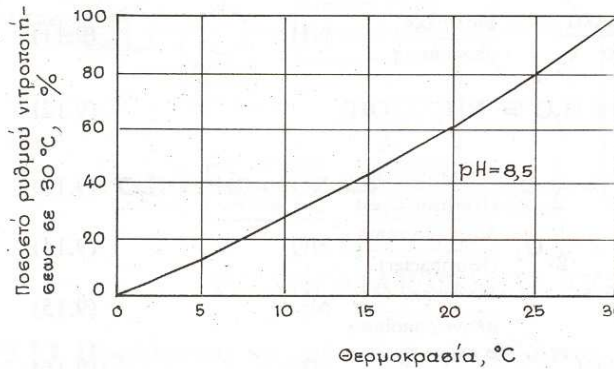


Ο ρυθμός της νιτροποίησης στα απόβλητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH (Σχ. 2.20), καθώς και από το διαλυμένο οξυγόνο. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα (α) και τον αντίστοιχο πίνακα (α), ο ρυθμός νιτροποίησης ελαττώνεται κατά 50% για κάθε μείωση της θερμοκρασίας κατά 10 - 12°C, ενώ κάτω από 10°C η ελάττωση της θερμοκρασίας είναι πολύ ταχύτερη (65% για 5°C). Η εποχιακή αυτή ελάττωση του ρυθμού μπορεί να αντισταθμισθεί σημαντικά με την αύξηση των αιωρούμενων στερεών στο μικτό υγρό (MLSS) (Σχ. 2.20., γ) ή με κατάλληλη ρύθμιση του pH στη βέλτιστη περιοχή (8,2-8,6) (Σχ. 2.20., β). Από εργαστηριακές μελέτες βρέθηκε, ότι η νιτροποίηση δεν επηρεάζεται για διαλυμένο οξυγόνο πάνω από 1,0 mg/l ή για συγκεντρώσεις αμμωνίας μέχρι 60 mg/l, σαν N.

Η ηλικία της λάσπης και η θερμοκρασία παίζουν ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη και συντήρηση του πληθυσμού των νιτροβακτηρίων. Στα συστήματα αερισμού είναι απαραίτητη η μεγάλη ηλικία της λάσπης (μακρός χρόνος συγκρατήσης), για να μη χαθούν πρόωρα τα βιώσιμα αυτότροφα νιτροβακτήρια με την απορριπτόμενη περίσσεια λάσπη. Για αστικά λύματα με σχέση BOD₅/ολικό άζωτο περίπου 360/65 η ανάπτυξη των νιτροβακτηρίων είναι σημαντικά κατώτερη σε σχέση με τους ετερότροφους μικροοργανισμούς της αποσυνθέσεως με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο ρυθμός νιτροποίησης, λόγω απώλειας του αντίστοιχου αυτότροφου πληθυσμού. Για το λόγο αυτό η βιολογική νιτροποίηση γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο ελαττώνεται το BOD χωρίς οξείδωση της αμμωνίας, ώστε να εξασφαλισθεί μια σχέση BOD₅/NH₄-N = ~40/25. Έτσι λειτουργεί με ικανοποιητικό ρυθμό το δεύτερο στάδιο της νιτροποίησης με την αυξημένη ηλικία της λάσπης (θ_c = 10 - 20 ημ.)[1].

α. Ρυθμός νιτροποίησης με σταθερό pH=8,5 σε διάφορες θερμοκρασίες σε σχέση με το ρυθμό σε 30 °C *

α' Πίνακας σχετικών τιμών βάσει του διαγράμματος (α)

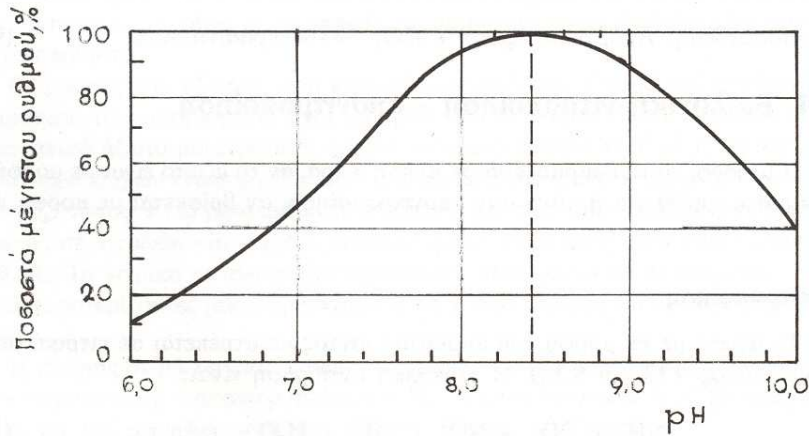


Θερμοκρασία	Σχετικός ρυθμός νιτροποίησης %		
	—	—	—
30°C	100	—	—
25	80	100	—
20	62	77	100
15	45	56	71
10	28	35	45
5	12	15	20

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

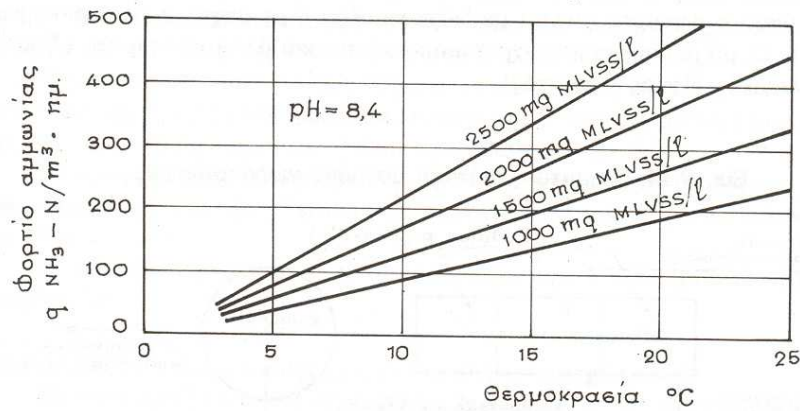
$$\Theta = \sim 1,05 - 1,10$$

β. Ρυθμός νιτροποίησης σε σταθερή θερμοκρασία (20 °C) για διάφορες τιμές του pH *



γ. Επιτρεπτά φορτία όγκου δεξαμενής νιτροποίησης για βέλτιστη τιμή pH = 8,4 **

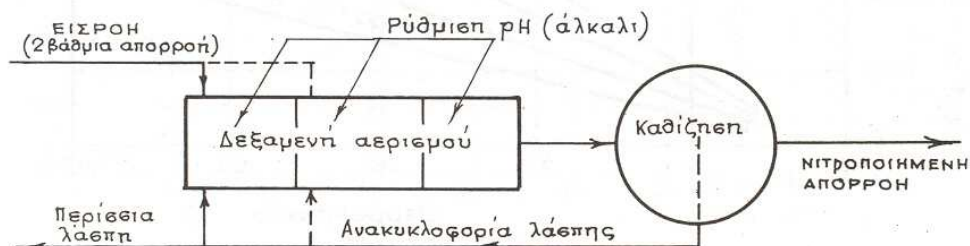
$$[MLVSS = \sim (0,50 \div 0,65) MLSS]$$



Σχ.2.20. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ [1]

α.1. Μονάδες νιτροποίησης

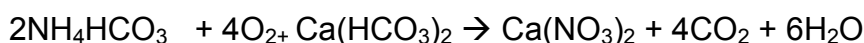
Παρότι η νιτροποίηση της αμμωνίας μπορεί να γίνει στη δεξαμενή αερισμού της ενεργής λάσπης, αν εξασφαλισθεί ικανοποιητικός αερισμός και αρκετός χρόνος συγκρατήσεως (ηλικία λάσπης τουλάχιστο $\theta_c = 10$ ημ.)(Σχ.2.21.). Στην πράξη χρησιμοποιούνται ιδιαίτερες μονάδες για ευελιξία και εξασφάλιση βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, όπου ο αερισμός γίνεται με διάχυση αέρα ή με μηχανικούς αεριστήρες (Σχ. 3.8). Σε μικρότερη έκταση χρησιμοποιούνται και άλλα συστήματα οξειδώσεως (βιολογικός δίσκος ή πύργος).



Σχ.2.21. Σχηματική διάταξη μονάδας νιτροποίησης [1].

Η δεξαμενή αερισμού χωρίζεται συνήθως σε περισσότερα διαμερίσματα, για να δημιουργηθεί ροή βύσματος, που προσαρμόζεται περισσότερο στην κινητική οξειδώσεως της αμμωνίας (μηδενικής τάξεως, δηλαδή ανεξάρτητη της συγκεντρώσεως της αμμωνίας).

Η βιολογική νιτροποίηση εξουδετερώνει την αλκαλικότητα:



Θεωρητικά εξουδετερώνονται $\left(\frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 14} = \sim\right)$ 7,2 Kg αλκαλικότητας για κάθε

χιλιόγραμμο αζώτου - αμμωνίας, που οξειδώνεται, με αποτέλεσμα την ελάττωση του pH, που πρέπει να ρυθμίζεται με προσθήκη κατάλληλων χημικών ουσιών (π.χ. ασβέστη) στο επιθυμητό επίπεδο (Σχ. 2.20, β).

Τα συνιστώμενα φορτία όγκου των δεξαμενών νιτροποίησης ($\text{g NH}_3\text{-N/m}^3 \cdot \text{ημ.}$), ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση των πτητικών οργανικών ενώσεων του μικτού υγρού (MLVSS) και για τιμή $\text{pH} = 8,4$, σημειώνονται στο διάγραμμα του Σχ. 2.20.γ. Για διαφορετικές τιμές του pH τα επιτρεπτά φορτία υπολογίζονται με τη βοήθεια του διαγράμματος (β). Τελικά στις τιμές σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνεται και ένας συντελεστής ασφάλειας για τις αιχμές φορτίσεως (συνήθως 1,5 φορά το μέσο ημερήσιο φορτίο αζώτου με συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας).

Στοιχειομετρικά η νιτροποίηση ενός 1 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ με τη μορφή του διτάνθρακικού αμμωνίου απαιτεί $\left(\frac{128}{28} = \right)$ 4,6 kg O_2 αλλά στην πράξη απαιτείται πρόσθετο οξυγόνο για το BOD_5 των ανθρακούχων ενώσεων, που φθάνουν μέχρι τη νιτροποίηση.

Το διαλυμένο οξυγόνο στο μικό υγρό συνιστάται να είναι 3 mg/l με ελάχιστη συγκέντρωση 1 mg/l.

Η λάσπη της νιτροποίησης καθιζάνει σχετικά αργά, γι αυτό κρίνεται σκόπιμο να κατασκευάζονται περισσότερες από δύο δεξαμενές καθιζήσεως, ώστε να υπάρχει δυνατότητα διακοπής της λειτουργίας στη μία από τις δυο σε περίπτωση συντήρησης.

Η επιφανειακή φόρτιση των δεξαμενών καθιζήσεως συνιστάται να είναι 15 -20 m³/m². ημ. για τη μέση ημερήσια παροχή με μέγιστη επιτρεπτή τιμή 40 m³/m². ημ., για την ωριαία αιχμή με πλάγιο υγρό βάθος τουλάχιστον 3,0 m.

Το σύστημα ανακυκλοφορίας της λάσπης πρέπει να έχει ικανότητα 100%, αν και με κανονικές συνθήκες λειτουργίας ο απαιτούμενος ρυθμός ανακυκλοφορίας είναι 50%.

Η παραγόμενη περίσσεια λάσπη υπολογίζεται σε 1% περίπου του όγκου των αποβλήτων[1].

β. Απονιτροποίηση

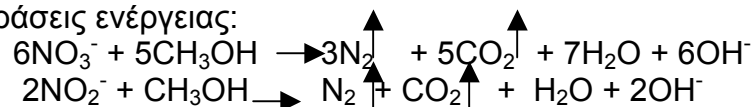
Τα νιτρώδη και νιτρικά ιόντα ανάγονται με βιολογική δράση σε αέριο άζωτο (απονιτροποίηση) από διάφορους ετερότροφους επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς σε αναερόβιο περιβάλλον. Για τη βιοχημική αυτή δράση χρειάζεται μια πηγή οργανικού άνθρακα, που θα εξασφαλίσει την απαιτούμενη ενέργεια (δότης υδρογόνου) και τον άνθρακα για τη βιολογική σύνθεση. Από τις διάφορες οργανικές ουσίες, που θεωρούνται κατάλληλες (οξικό οξύ, ακετόνη, αιθανόλη, μεθανόλη, ζάχαρη), συνήθως προτιμάται η μεθανόλη λόγω χαμηλότερης δαπάνης και επειδή δεν αφήνει υπολειμματικό BOD στην απορροή.

Η προσθήκη της μεθανόλης ελαττώνει αρχικά το διαλυμένο οξυγόνο. Στη συνέχεια γίνεται βιολογική αναγωγή των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων για παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμό με βιολογική σύνθεση.

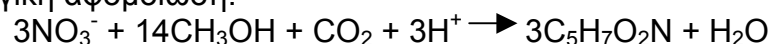
- Αναγωγή διαλυμένου οξυγόνου.



- Αντιδράσεις ενέργειας:



- Βιολογική αφομοίωση:



Από τις αντιδράσεις προκύπτει, ότι η απαιτούμενη συγκέντρωση μεθανόλης (Μοριακό Βάρος Μ.Β. = 32) για αναγωγή του διαλυμένου οξυγόνου και παραγωγή ενέργειας είναι:

$$\begin{aligned} \text{CH}_3\text{OH} &= \frac{2}{3} \cdot (\text{DO}) + \frac{32}{2 \cdot 14} \cdot (\text{NO}_2\text{-N}) + \frac{5 \cdot 32}{6 \cdot 14} \cdot (\text{NO}_3\text{-N}) = \\ &= \sim 0,7 (\text{DO}) + 1,1 (\text{NO}_2\text{-N}) + 2,0 (\text{NO}_3\text{-N}) \end{aligned}$$

όπου	CH ₃ OH	: μεθανόλη, mg/l
	DO	: διαλυμένο οξυγόνο mg/l
	NO ₂ -N	: νιτρώδη ιόντα σαν N, mg/l
	NO ₃ -N	: νιτρικά ιόντα σαν N, mg/l

Εξάλλου για τη βιολογική σύνθεση απαιτείται στην πράξη 25-30% της μεθανόλης, που καταναλίσκεται για ενέργεια. Επομένως η συνολικά απαιτούμενη συγκέντρωση μεθανόλης για ενέργεια και σύνθεση νέων κυττάρων (βιομάζα) μπορεί να υπολογισθεί από την εμπειρική σχέση:

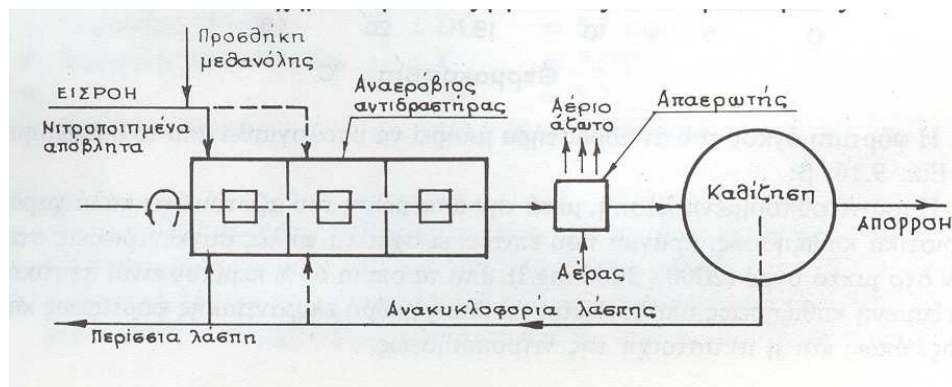
$$\text{CH}_3\text{OH} = 0,9 (\text{DO}) + 1,5 (\text{NO}_2\text{-N}) + 2,5 (\text{NO}_3\text{-N})$$

Ο ρυθμός απονιτροποίησης είναι ικανοποιητικός (μέχρι 80% του μέγιστου) στην περιοχή pH = 6,1-7,9 με συνιστώμενα όρια pH = 6,5-7,5[1].

β.1. Μονάδες απονιτροποίησης

Παρότι έχουν μελετηθεί διάφοροι τύποι αντιδραστήρων για την απονιτροποίηση, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον αντιδραστήρα με ροή βύσματος, που θεωρείται πιο κατάλληλος για το σχετικά σύντομο χρόνο συγκρατήσης, που απαιτείται. Για να διατηρηθεί το απαραίτητο αναερόβιο περιβάλλον στον αντιδραστήρα, αναδεύονται ήρεμα τα απόβλητα με υποβρύχιους αναμικτήρες, ώστε να εξασφαλισθεί η αιώρηση των βιολογικών κροκιδών, χωρίς όμως να ευνοείται ο αερισμός. Συνήθως καλύπτεται η δεξαμενή, για να περιορισθεί η απορρόφηση οξυγόνου από τον αέρα.

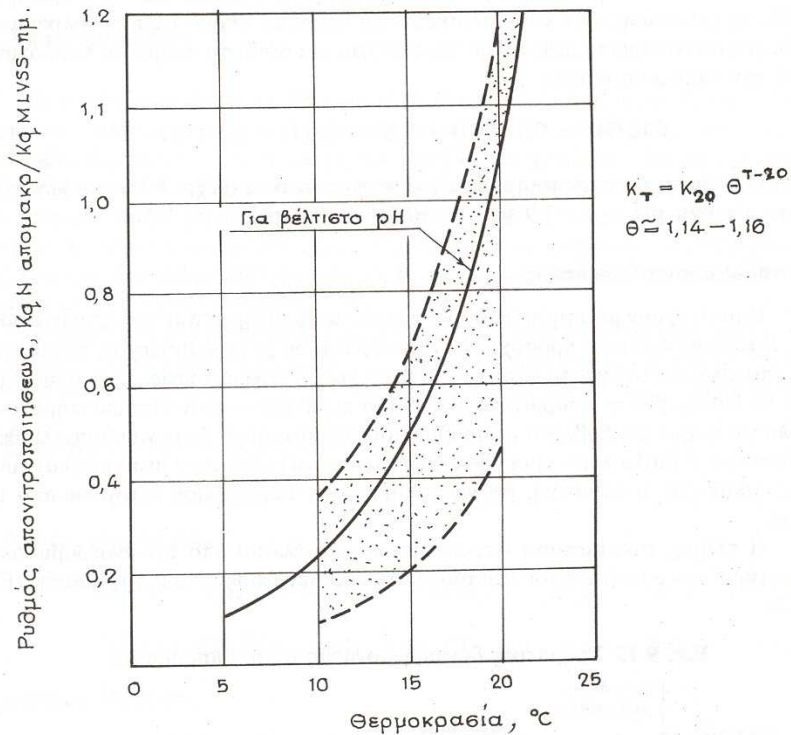
Η πλήρης εγκατάσταση απονιτροποίησης αποτελείται από τον αναερόβιο αντιδραστήρα, τον απαερωτή του αζώτου και τη δεξαμενή καθίζησης της λάσπης (Σχ. 2.22).



Σχ.2.22. Σχηματική διάταξη μονάδας απονιτροποίησης[1].

Η απαιτούμενη ισχύς αναμίξης είναι 12-24 W/m³ δεξαμενής. Ο ρυθμός απονιτροποίησης επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία (Σχ. 2.23. α). Στο σχετικό τύπο $K_T = K_{20} \cdot \Theta^{T-20}$, είναι $\Theta = 1,14 - 1,16$ (για αύξηση της θερμοκρασίας από 10°C σε 20°C, ο ρυθμός τετραπλασιάζεται).

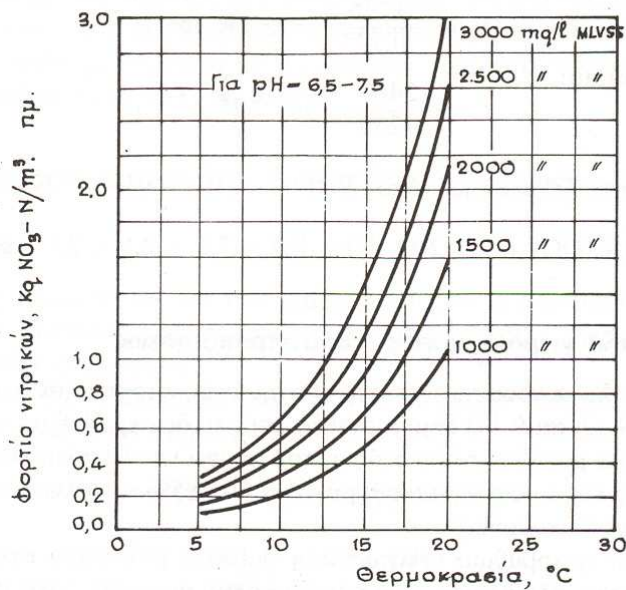
α. Ρυθμός απονιτροποίησης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (Mulbarger)*



Σχ.2.23.α ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ [1].

Η φόρτιση όγκου του αντιδραστήρα μπορεί να υπολογισθεί από το διάγραμμα της Σχ. 3.10, β:

β. Επιτρεπτά φορτία όγκου δεξαμενής απονιτροποίησης* [MLVSS = ~ (0,4-0,7) MLSS]



Σχ.2.23.β. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ [1].

Η απονιτροποιημένη λάσπη, μετά την απαέρωση του αζώτου έχει καλά χαρακτηριστικά καθιζήσης, πράγμα που επιτρέπει σχετικά ψηλές συγκεντρώσεις στερεών στο μικτό υγρό (2000 - 3000 mg/l), από τα οποία 65% περίπου είναι πτητικά. Η δεξαμενή καθιζήσης υπολογίζεται με βάση τον ρυθμό επιφανειακής φόρτισης και το βάθος, όπως και η αντίστοιχη της νιτροποίησης.

Για τη διατήρηση της βιολογικής ισορροπίας στο μικτό υγρό αφαιρείται συνήθως περίσσεια λάσπη με ρυθμό 0,2-0,3 kg/kg μεθανόλης. Η ηλικία της λάσπης είναι συνήθως $\theta_c = 1-5$ ημέρες[1].

Η απονιτροποίηση γίνεται στις μικρές μονάδες συνήθως με δύο μεθόδους :

(1) με εναλλασσόμενη λειτουργία της δεξαμενής αερισμού π.χ. μια ώρα αερισμός και μισή ώρα ανάμιξη με υποβρύχιο αναμικτήρα. Κατά τη διάρκεια της ανάμιξης καταναλώνεται το διαλυμένο οξυγόνο ενώ ταυτόχρονα τα απονιτροποιητικά βακτήρια αναλαμβάνουν δραστηριότητα και καταναλώνουν το οξυγόνο των νιτρικών ιόντων, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα το άζωτο.

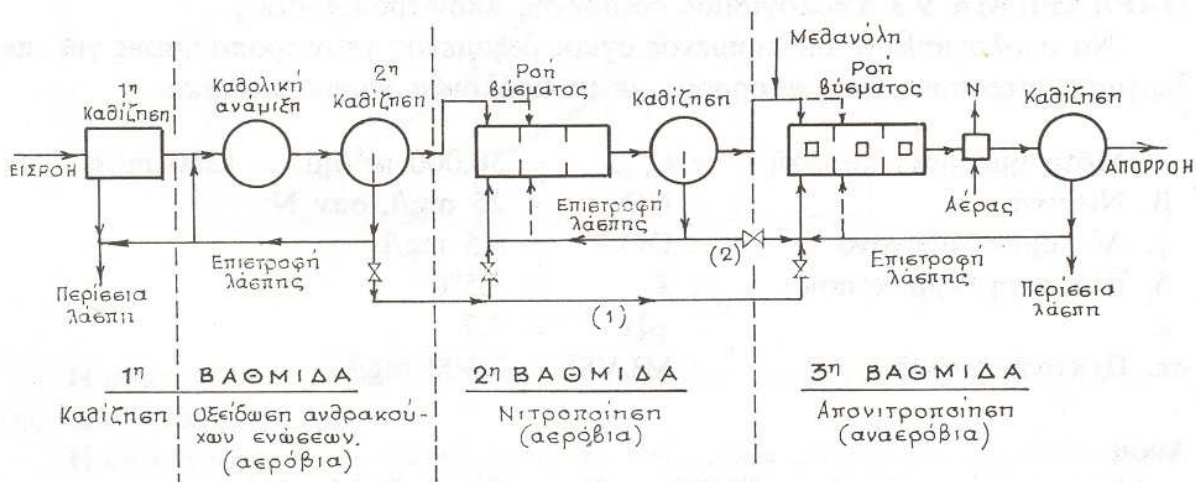
(2) με τη δημιουργία ανοξικής ζώνης δηλ. μίας δεξαμενής ή ένα τμήμα της δεξαμενής αερισμού (συνήθως στο σημείο εισόδου λυμάτων και ανακυκλοφορούμενης λάσπης) όπου έχουμε μόνο ανάμιξη και όχι αερισμό. Η ελεγχόμενη απονιτροποίηση συντελεί στην :

- ο αφαίρεση αζώτου και βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής.
- ο ελάττωση των απαιτήσεων σε οξυγόνο κατά 10-15% (και επομένως στην εξοικονόμηση ενέργειας).
- ο αποφυγή προβλημάτων επίπλευσης λάσπης στην καθίζηση (λόγω ανεξέλεγκτης απονιτροποίησης)[2].

γ. Ενιαία μονάδα νιτροποίησης - απονιτροποίησης

Με κατάλληλο συνδυασμό των δύο συστημάτων νιτροποίησης και απονιτροποίησης δημιουργείται μετά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό μία ενιαία τριτοβάθμια μονάδα με δύο στάδια, που μπορεί να ελαττώσει κατά 90% περίπου το ανόργανο άζωτο και να απομακρύνει τα 80 - 85% του ολικού αζώτου με κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Η συνολική τριτοβάθμια εγκατάσταση νιτροποίησης - απονιτροποίησης φαίνεται ενδεικτικά στο Σχ. 2.24. Ο μικροβιακός πληθυσμός, που οξειδώνει την αμμωνία, είναι πολύ πιο ευαίσθητος στα βαρέα μέταλλα και τις οργανικές τοξίνες από το βιολογικό κόσμο της ενεργής λάσπης. Γι αυτό, αν διατίθενται βιομηχανικά απόβλητα στα αστικά λύματα, πρέπει να γίνεται συστηματική ποιοτική παρακολούθηση, προκειμένου να αποκλεισθούν οι ανασταλτικές ουσίες της νιτροποίησης.



- ΣΗΜ.** 1. Η γραμμή (1) παρέχει την δυνατότητα να διοχετευθεί δραβτική λάσπη στη μονάδα νιτροποίησης, είτε για ξεκίνημα της λειτουργίας, είτε για επανερβολισμό και υποβοήθηση της νιτροποίησης.
2. Η σύνδεση (2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση της λάσπης νιτροποίησης.

Σχ.2.24. Σχηματική διάταξη τριτοβάθμιας βιολογικής επεξεργασίας για την απομάκρυνση του αζώτου[1].

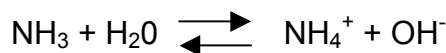
Η χωριστή επεξεργασία για την απομάκρυνση του αζώτου έχει μεγαλύτερη απόδοση, ευελιξία και δυνατότητες προσαρμογής. Μπορεί να προστεθεί εκ των υστέρων σε υφιστάμενο δευτεροβάθμιο σύστημα και μάλιστα σταδιακά (νιτροποίηση - απονιτροποίηση), σύμφωνα με τις ανάγκες. Το άζωτο διαφεύγει στο περιβάλλον με την ακίνδυνη μορφή του αερίου[1].

IV 1.3. Απαέρωση αμμωνίας (ammonia air stripping)

α. Γενικά

Η άμεση αφαίρεση της αμμωνίας με αερισμό από τα απόβλητα χωρίς τη μεσολάβηση της διαδικασίας νιτροποίησης - απονιτροποίησης εφαρμόζεται σαν τριτοβάθμιο στάδιο καθαρισμού.

Η αμμωνία στο νερό υδρολύεται και ανάλογα με την τιμή του pH βρίσκεται σε ισορροπία με το ιόν του αμμωνίου:



$$\frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} = \frac{K_b[\text{H}]}{K_w}$$

όπου : συγκέντρωση, mol/l
 $K_b = 1,8 \times 10^{-5}$, σταθερά ιονισμού στους 25°C
 $K_w = [\text{H}][\text{OH}] = 10^{-14}$ στους 25°C
 -λογ. [H] = pH

Η εκατοστιαία κατανομή της αμμωνίας και του αμμωνιακού ιόντος ανάλογα με το pH υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση στους 25°C και φαίνεται γραφικά στο Σχ. 2.25. για 0°C, 20°C και 40°C.

$$\text{Είναι : NH}_3 (\%) = \frac{[\text{NH}_3] \cdot 100}{[\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]} = \frac{100}{1 + \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]}} = \frac{100}{1 + \frac{K_b}{K_w} \cdot [\text{H}]}$$

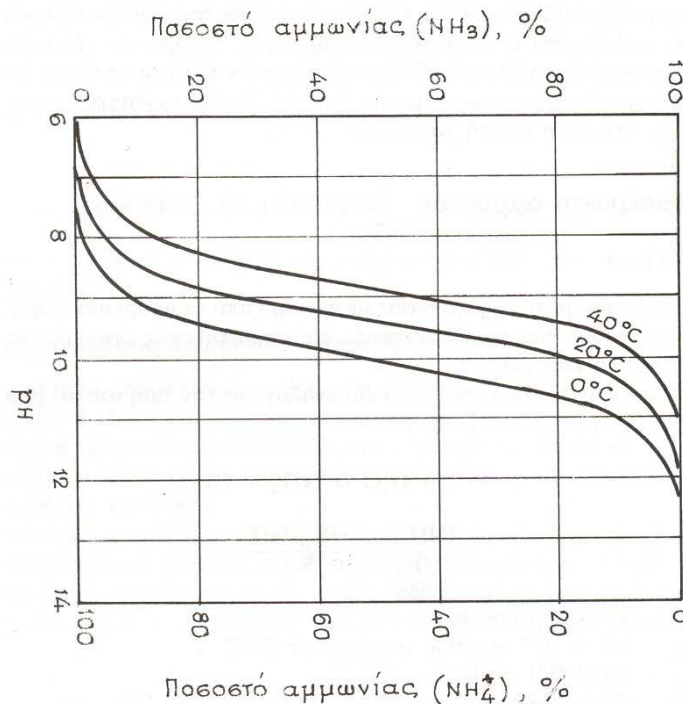
Αν τεθούν οι τιμές των σταθερών για θερμοκρασία 25°C, προκύπτει:

$$\text{NH}_3 (\%) = \frac{100}{1 + 1.8 \cdot 10^9 \cdot [\text{H}]}, \text{ στους } 25^\circ \text{C}$$

Όπως είναι φανερό, σε συνηθισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ουδέτερα διαλύματα υπάρχουν μόνο ιόντα αμμωνίου, ενώ σε αλκαλικό περιβάλλον επικρατεί η αμμωνία.

Με βάση τα προηγούμενα, η φυσικοχημική επεξεργασία για την απομάκρυνση της αμμωνίας περιλαμβάνει τρία στάδια:

- Ανύψωση του pH των αποβλήτων στην περιοχή pH = 11-11,50, για να υπάρχει κυρίως πτητική αμμωνία με προσθήκη ασβέστη $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, που χρησιμεύει ταυτόχρονα για την κατακρήμνιση των φωσφορικών ιόντων
- Καταιώνιση των αποβλήτων με μορφή λεπτών σταγόνων σε πύργο απαερισμού,
- Δημιουργία ανοδικού ρεύματος αέρα στον πύργο για την απομάκρυνση της αμμωνίας[1].

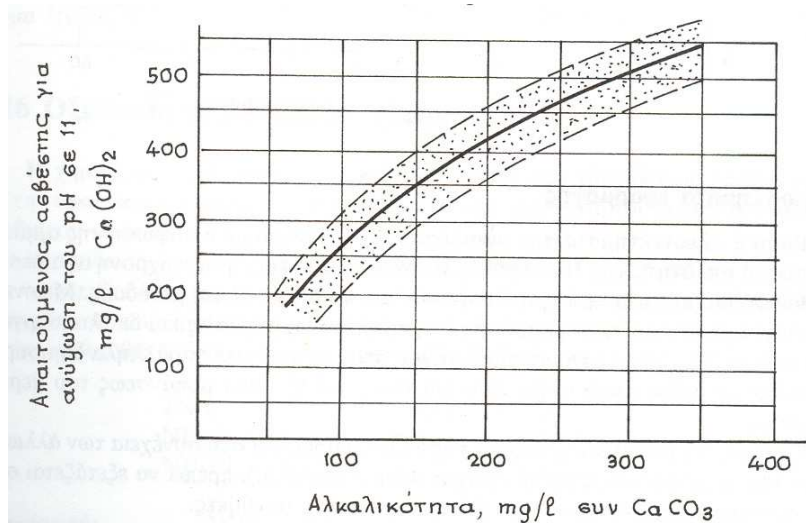


Σχ.2.25. Εκατοστιαία αναλογία αμμωνίας και αμμωνίου ιόντος για διάφορες τιμές pH και θερμοκρασίας [1].

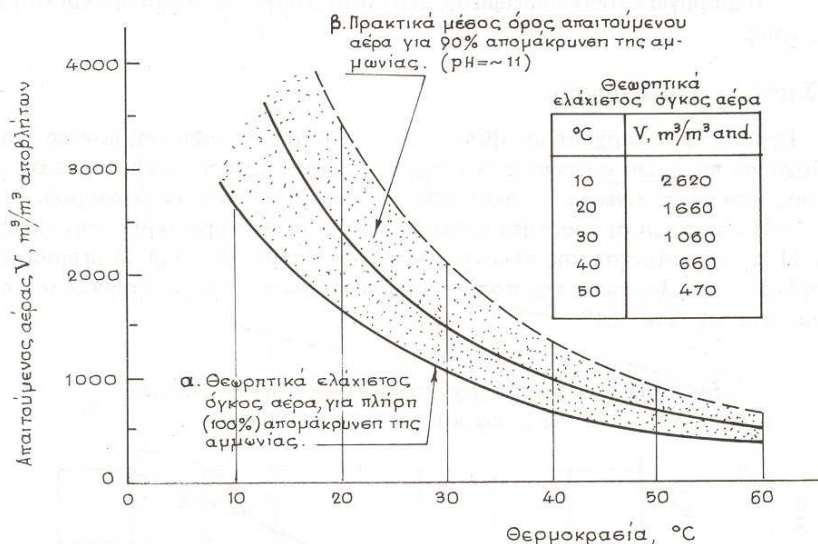
β. Στοιχεία υπολογισμού

Εφόσον δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία από πειραματική μονάδα ή από υπάρχουσα παρόμοια εγκατάσταση, ο σχεδιασμός της μονάδας αφαίρεσης της αμμωνίας μπορεί να γίνει με τα ακόλουθα ενδεικτικά στοιχεία υπολογισμού.

- Η απαιτούμενη ποσότητα ασβέστη για την ανύψωση του pH στην περιοχή του 11 είναι συνάρτηση της αλκαλικότητας των αποβλήτων. Για τα περισσότερα απόβλητα ο υπολογισμός της ποσότητας μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχ. 2.26.
- Ο απαιτούμενος όγκος αέρα στον πύργο αερισμού για την απομάκρυνση της αμμωνίας εξαρτάται ιδιαίτερα από τη θερμοκρασία. Με την παραδοχή ότι η συγκέντρωση της αμμωνίας στον αέρα, που αφήνει τον πύργο, βρίσκεται σε ισορροπία με την αμμωνία στα εισερχόμενα απόβλητα και ότι ο πύργος έχει απεριόριστο ύψος, προκύπτει ο απαιτούμενος θεωρητικά ελάχιστος όγκος αέρα ανά μονάδα όγκου αποβλήτων για πλήρη απομάκρυνση (100%) της αμμωνίας. Πάντως στην πράξη για $\text{pH} = \sim 11$ και απομάκρυνση της αμμωνίας κατά 90% απαιτείται όγκος αέρα 1,5-2,0 μεγαλύτερος από το θεωρητικό (Σχ.2.27, α και β)[1].



Σχ.2.26. Ποσοτική σχέση ασβέστη και αλκαλικότητας για ανύψωση του PH σε 11 [1].



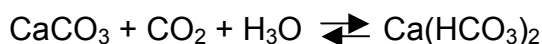
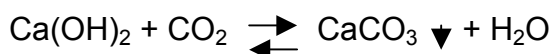
Σχ.2.27. α & β Απαέρωση της αμμωνίας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [1].

γ. Προβλήματα εφαρμογής

Βασικά πλεονεκτήματα της αφαίρεσης του αζώτου με απαέρωση της αμμωνίας είναι η απλότητα της λειτουργίας, ο εύκολος έλεγχος, η ταυτόχρονη αφαίρεση του φωσφόρου και η μικρότερη δαπάνη σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Μειονεκτεί, γιατί έχει περιορισμένη απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και δεν λειτουργεί κάτω από το 0°C, λόγω σχηματισμού πάγου στον πύργο, ενώ παράλληλα δημιουργεί αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου και δυνητικό κίνδυνο ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Το θέμα της ρυπάνσεως, αρχικά της ατμόσφαιρας και στη συνέχεια των άλλων μέσων του περιβάλλοντος με τη βροχόπτωση (νερά κλπ.), πρέπει να εξετάζεται σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τις τοπικές συνθήκες. Η συγκέντρωση της αμμωνίας στα απαέρια, πριν από την αραίωση στην ατμόσφαιρα, είναι περίπου 6 mg/m³, έναντι ορίου οσμής 35 mg/m³. Οποσδήποτε με τη βροχή η αμμωνία φθάνει στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από τις φυσικές συνθήκες στην περιοχή της εκπομπής. Σε εγκατάσταση πύργου απαέρωσης, που επεξεργάζεται περίπου 60.000 m³/ημ. απόβλητα, η αμμωνία στο νερό της βροχής ελαττώνεται στα φυσικά επίπεδα σε απόσταση 5 km περίπου προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Για τον έλεγχο των αποθέσεων γίνεται επανανθράκωση της απορροής με CO₂. Αρχικά το CO₂ εξουδετερώνει τον περίσσιο ασβέστη, που καθιζάνει σαν ανθρακικό ασβέστιο, σε pH = 10 περίπου. Πρόσθετη επανανθράκωση ελαττώνει ακόμη το pH και σταθεροποιεί το αδιάλυτο CaCO₃ με τη μετατροπή σε ευδιάλυτο διττανθρακικό ασβέστιο.



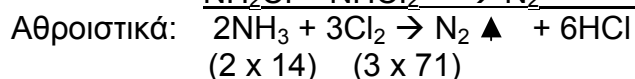
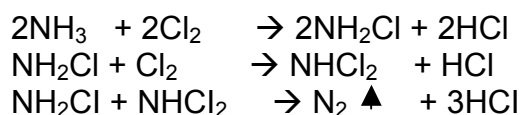
Για τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος, με επανάκτηση της αμμωνίας και παράλληλα για την αντιμετώπιση των δυσκολιών σε χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί να γίνει αφαίρεση της αμμωνίας σε κλειστό κύκλωμα

(closed-loop ammonia stripping). Το σύστημα αποτελείται από δύο μονάδες, απαέρωσης και απορρόφησης της αμμωνίας, που είναι τοποθετημένες σε κλειστό κύκλωμα έτσι, ώστε η αμμωνία, που ελευθερώνεται, να δεσμεύεται και ανακτάται διαλυμένη στο νερό ή σαν θειικό αμμώνιο. Επειδή δεν υπάρχει επαφή με τον αέρα, δεν επηρεάζεται η λειτουργία από την εξωτερική θερμοκρασία παρά μόνο από τα απόβλητα και δεν δημιουργούνται αποθέσεις στον πύργο λόγω απουσίας διοξειδίου του άνθρακα από το ρεύμα[1].

IV.1.4. Οξείδωση αμμωνίας με χλώριο

Η χημική οξείδωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν τριτοβάθμια επεξεργασία για την αφαίρεση της αμμωνίας παράλληλα με την ελάττωση του οργανικού και μικροβιακού φορτίου.

Η οξείδωση γίνεται συνήθως με χρησιμοποίηση αερίου ή ενώσεων χλωρίου, που σχηματίζουν με την αμμωνία μονοχλωραμίνες και διχλωραμίνες, σαν ενδιάμεσα παράγωγα και αέριο άζωτο με υδροχλωρικό οξύ, σαν τελικά προϊόντα, σύμφωνα με τις ακόλουθες ενδεικτικές αντιδράσεις (Griffin) :



Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση απαιτούνται θεωρητικά περίπου $\frac{3 \cdot 71}{2 \cdot 14} = 7,6$ mg/l χλωρίου για κάθε mg/l αμμωνίας, σαν N. Στην πράξη η σχέση βάρους χλωρίου με άζωτο για την οξείδωση της αμμωνίας κυμαίνεται από 8 : 1 μέχρι 10 : 1 (Cl₂ : N)

Η χρήση άλλων οξειδωτικών μέσων (π.χ. όζον), παρότι είναι τεχνικά δυνατή σε ορισμένες εφαρμογές, δεν συμφέρει οικονομικά[1].

IV.2. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

IV.2.1. Προέλευση και ενώσεις του φωσφόρου

Το μεγαλύτερο μέρος του φωσφόρου, που καταλήγει στα επιφανειακά νερά, προέρχεται από ανθρώπινης προέλευσης απόβλητα και από απορροές των αγρών από γεωργικές δραστηριότητες.

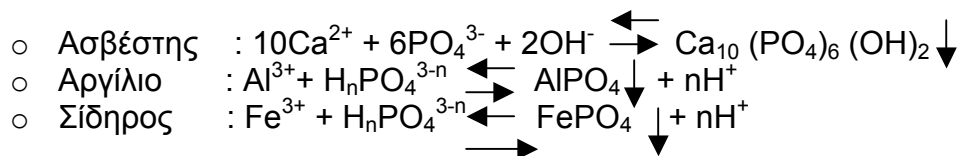
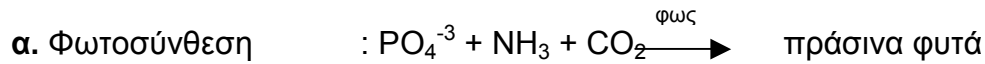
Τα αστικά λύματα περιέχουν περίπου 4,5 g P/ατ.ημ., που με μέση κατανάλωση νερού q = 150 l/ατ.ημ. δίνουν συγκέντρωση 30 mg/l φωσφόρου. Τα 60% περίπου αυτής της ποσότητας προέρχεται από συνθετικά απορρυπαντικά.

Η συμβολή της απορροής των αγρών σε φωσφόρο κυμαίνεται από 0 - 17 kg P/ha . χρ. (0-46,5 g P/ha.ημ.) ανάλογα τη γεωργική χρήση της γης, την προσθήκη λιπασμάτων, την τοπογραφική διαμόρφωση κλπ.

Οι πιο συνηθισμένες μορφές του φωσφόρου είναι ο οργανικός φώσφορος, τα ορθοφωσφορικά ιόντα (H₂PO₄⁻, HPO₄⁻², PO₄⁻³) και τα

πολυφωσφορικά άλατα ($\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), που υδρολύονται σταδιακά και μετατρέπονται σε σταθερές μορφές ορθοφωσφορικών ιόντων.

Οι αντιδράσεις των ενώσεων του φωσφόρου, που ενδιαφέρουν από την πλευρά επεξεργασίας καθαρισμού των αποβλήτων, είναι:



IV.2.2. Βιολογική αφομοίωση φωσφόρου

Η χρησιμοποίηση των φωσφορικών ιόντων, που βρίσκονται σε διάλυμα κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και γενικότερα η χρήση από τους μικροοργανισμούς κατά τη βιολογική επεξεργασία του φωσφόρου και άλλων στοιχείων σαν θρεπτικών υλικών, δίνει τη βάση για την απομάκρυνση του φωσφόρου (και του αζώτου) με το μηχανισμό της βιολογικής αφομοίωσης.

Για τη χρησιμοποίηση της φωτοσύνθεσης μπορεί να γίνει καλλιέργεια φυκών (algae) σε δεξαμενές σταθεροποίησης και στη συνέχεια αφαίρεση των κυττάρων με φυσικά και χημικά μέσα. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η δυσχέρεια να καλλιεργηθούν τα φύκη, λόγω έλλειψης της απαιτούμενης σχέσης C : N : P στα απόβλητα, αρκετής ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου pH και ελέγχου της θερμοκρασίας. Εξάλλου η απαιτούμενη σημαντική έκταση για ικανοποιητικό χρόνο συγκράτησης και ο δαπανηρός μηχανισμός αφαίρεσης των φυκών αποτελούν πρόσθετους περιορισμούς για την εφαρμογή της μεθόδου.

Κατά τη συμβατική επεξεργασία των αποβλήτων αφαιρείται μικρό μόνο μέρος του φωσφόρου με την πρωτοβάθμια καθίζηση, γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό είναι σε διάλυμα. Αντίθετα κατά τη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία δεσμεύεται διαλυμένος φωσφόρος από τις βιολογικές κροκύδες για τη σύνθεση των κυττάρων. Το ποσό του φωσφόρου, που χρησιμοποιείται για σύνθεση, εξαρτάται από τη σχέση των φωσφορικών ιόντων με το BOD. Γενικά αν η τιμή BOD/P είναι ψηλή, αφαιρείται σημαντικό ποσοστό του φωσφόρου, ενώ αν η ποσότητα του φωσφόρου υπερκαλύπτει τις υπάρχουσες βιολογικές ανάγκες, η απόδοση της αφαίρεσης είναι περιορισμένη. Τα αστικά λύματα έχουν περίσσεια φωσφόρου σε σχέση με το διαθέσιμο άζωτο και άνθρακα για σύνθεση.

Αν η μέση σύνθεση του κυτταρικού ιστού είναι $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$, τότε απαιτείται ποσότητα 0,124 kg αζώτου για κάθε χιλιόγραμμο κυτταρικού υλικού, που

παράγεται και περίπου 25 g φωσφόρου (το 1/5 του αζώτου). Γενικά, η ποσότητα του φωσφόρου, που ενσωματώνεται στις βιολογικές κροκύδες της δραστηκής λάσπης ισούται περίπου με το 1% του BOD₅, που εφαρμόζεται. Επομένως για λύματα με BOD₅ = 350 mg/l και ολικό φωσφόρο περίπου 25 mg/l θα αφαιρεθεί με τη βιολογική αφομοίωση ποσότητα 3,5 mg/l, δηλαδή 15% περίπου.

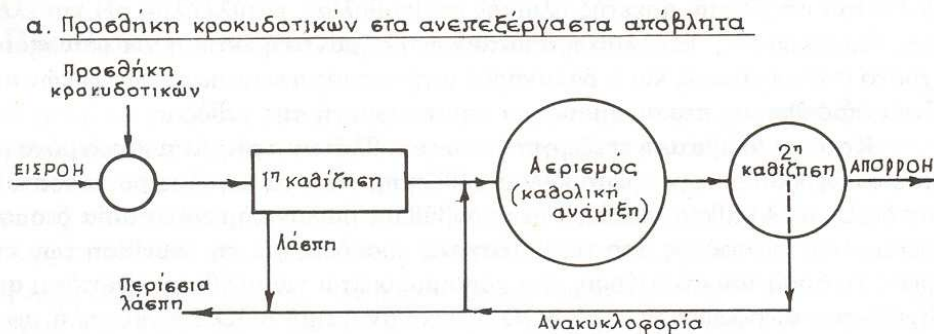
Από σχετική μελέτη για την αφαίρεση των φωσφορικών ιόντων κατά την επεξεργασία των λυμάτων με τη μέθοδο της δραστηκής λάσπης βρέθηκε ότι μπορεί να απομακρυνθεί με βιολογικά μέσα ποσοστό 20 - 30% του φωσφόρου της εισροής, που ανερχόταν σε 10 mg/l.

IV.2.3. Χημικο-βιολογική κατακρήμνιση του φωσφόρου

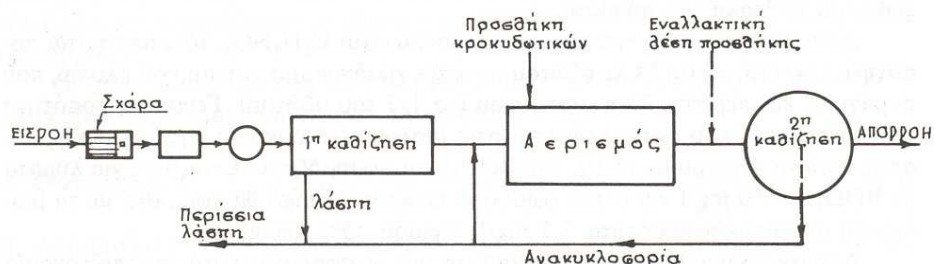
Η βιολογική επεξεργασία σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση κροκυδωτικών (αργίλιο, σίδηρο, ασβέστη) απομακρύνει αποτελεσματικά τα φωσφορικά ιόντα. Συνήθως εφαρμόζονται δύο συνδυασμοί με προσθήκη των κροκυδωτικών, είτε στα ανεπεξέργαστα λύματα, είτε στη δεξαμενή αερισμού (Σχ. 2.28.). Η προσθήκη κροκυδωτικών ουσιών μετά το βιολογικό καθαρισμό εξετάζεται σαν ξεχωριστή τριτοβάθμια επεξεργασία.

α. Προσθήκη κροκυδωτικών στα ανεπεξέργαστα απόβλητα

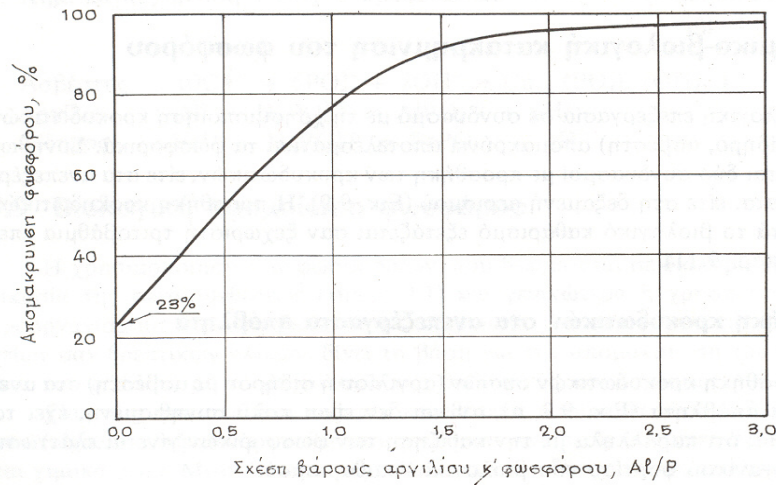
Η προσθήκη κροκυδωτικών ουσιών (αργιλίου ή σιδήρου με ασβέστη) στα ανεπεξέργαστα απόβλητα (Σχ. 2.28, α), αν και δεν είναι πολύ συνηθισμένη, έχει το πλεονέκτημα, ότι παράλληλα με την καθίζηση των φωσφορικών ιόντων γίνεται ελάττωση και του οργανικού φορτίου του βιολογικού καθαρισμού.



β. Προσθήκη κροκυδωτικών στην περιοχή αερισμού.



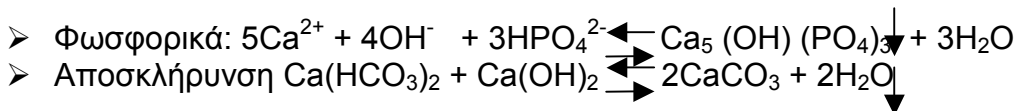
γ. Αφαίρεση φωσφόρου με θειικό αργίλιο. (περίπτωση β)
 (Στοιχεία από μονάδα εργαστηριακής κλίμακας, D.T. Anderson, M.J. Hammer)



Σχ.2.28.ΧΗΜΙΚΟ-ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ [1].

Οι ποσότητες των χημικών ουσιών εξαρτώνται από το είδος των κροκυδωτικών ουσιών και τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά:

- Ενδεικτικά σημειώνεται, ότι για χρησιμοποίηση θειικού υποσιδήρου και χλωριούχου υποσιδήρου με περιεχόμενο σίδηρο 5-15% και ελεύθερο οξύ 0,5-15% απαιτούνται συνήθως δόσεις 40 mg/l σιδήρου και 70 mg/l ασβέστη για κατακρήμιση περίπου 80% του P και 60% του BOD₅ στην πρωτοβάθμια καθίζηση.
- Εξάλλου η προσθήκη ασβέστη στα ανεπεξέργαστα λύματα κατακρημνίζει τα φωσφορικά ιόντα και παράλληλα τα κατιόντα της σκληρότητας και τις οργανικές ουσίες:



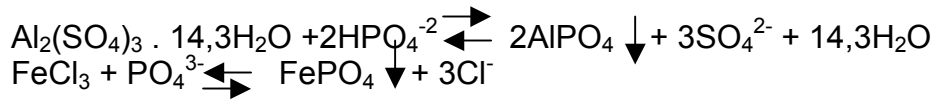
Από σχετική εργαστηριακή μελέτη βγήκε το συμπέρασμα, ότι προσθήκη 150 mg CaO/l στα ανεπεξέργαστα λύματα απομακρύνει 80% του φωσφόρου, 60% του BOD₅ και 90% των αιωρούμενων στερεών σε pH = 9,5. Σε συνδυασμό με επόμενη μονάδα δραστικής λάσπης καθολικής αναμίξεως (Σχ. 2.28, α) η απομάκρυνση του φωσφόρου μπορεί να φθάσει τα 90-95% από αστικά λύματα με ολικά φωσφορικά ιόντα 40 - 50 mg/l (13-16 mg P/l).

β. Προσθήκη κροκυδωτικών στην περιοχή αερισμού

Η προσθήκη κροκυδωτικών στη δεξαμενή αερισμού ή εναλλακτικά στη γραμμή τροφοδότησης της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης (Σχ. 2.28, β) εφαρμόζεται, τόσο για τη βελτίωση της απόδοσης υφιστάμενων μονάδων όσο και κατά τη μελέτη νέων εγκαταστάσεων.

Συνήθως χρησιμοποιείται θειικό αργίλιο και χλωριούχος σίδηρος σε συνδυασμό με προσθήκη κατά περίπτωση ασβέστη και πολυηλεκτρολυτών σαν βοηθητικών κροκύδωσης.

Οι ενδεικτικές χημικές αντιδράσεις είναι:



Η σχέση αργιλίου και φωσφόρου κατά βάρος είναι: Al : P = 27:31 = 0,87 : 1, ενώ του σιδήρου και φωσφόρου είναι : Fe : P = 56 : 31 = 1,80 :1.

Με βάση την περιεκτικότητα του θειικού αργιλίου σε Al³⁺ 9% και του χλωριούχου σιδήρου σε Fe 34% οι απαιτούμενες θεωρητικά ποσότητες κροκυδωτικών ουσιών είναι:

$$\text{Θειικό αργίλιο : } \frac{0,87}{9\%} = 9,7 \text{ kg για κάθε kg P, που απομακρύνεται}$$

$$\text{Χλωριούχος σίδηρος : } \frac{1,8}{34\%} = 5,3 \text{ kg για κάθε kg P, που απομακρύνεται}$$

Στην πράξη οι απαιτούμενες δόσεις κροκυδωτικών είναι μεγαλύτερες από τις πιο πάνω θεωρητικές και γι' αυτό πρέπει να υπολογίζονται πειραματικά για κάθε περίπτωση.

Ειδικότερα η απαιτούμενη δόση αργιλίου μπορεί να υπολογισθεί με βάση το ποσοστό του φωσφόρου, που απομακρύνεται από το διάγραμμα του Σχ. 2.28, γ, που έχει καταρτισθεί με στοιχεία από την επεξεργασία αστικών λυμάτων μετά από καθίζηση (BOD₅ = 150 - 190 mg/l, P = 10 mg/l) σε μονάδα ενεργής λάσπης εργαστηριακής κλίμακας.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, χωρίς προσθήκη θειικού αργιλίου στη δεξαμενή αερισμού αφαιρούνται τα 23% του φωσφόρου, ενώ για την απομάκρυνση ποσοστού 90-95% απαιτείται ποσότητα αργιλίου 1,5-2,0 φορές το βάρος του φωσφόρου, δηλαδή

$$\left(\frac{1,5 * 10 \text{ mg/l}}{9\%} = \sim \right) 170 - 220 \text{ mg/l θειικό αργίλιο.}$$

Σε κανονικές εγκαταστάσεις ενεργής λάσπης και χαλικοδιύλιστηρίου προστίθεται συνήθως ποσότητα 50 - 200 mg/l θειικό αργίλιο για απομάκρυνση 80 -95% του φωσφόρου.

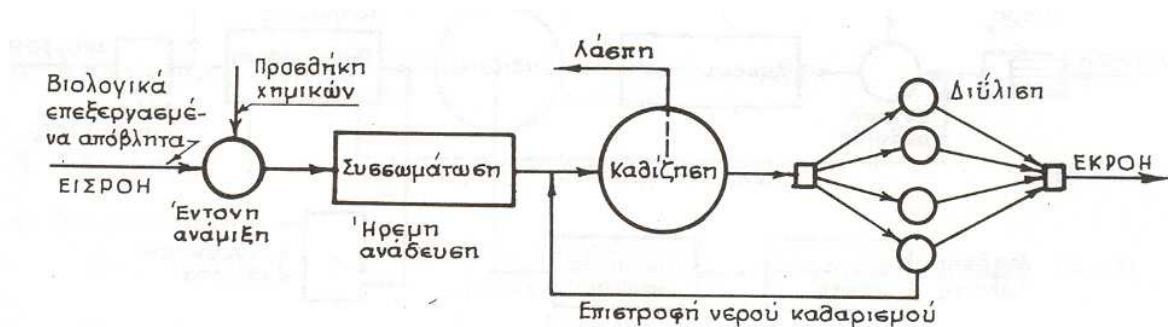
Γενικά, όπου δεν γίνεται ακριβέστερος πειραματικός προσδιορισμός, μπορεί να ληφθούν σαν ενδεικτικές δόσεις χημικών για ικανοποιητική απομάκρυνση του φωσφόρου (υπόλειμμα P ≤ 1 mg/l) οι τιμές του πίνακα Πιν. 3.5. [1].

Χημική ουσία X	Λόγος βάρους χημικής ουσίας και φωσφόρου X/P
1. Αργίλιο (Al ³⁺)	1,4-2,25
2. Σίδηρος (Fe ²⁺)	3,25-4,7
(Fe ³⁺)	3,25-4

Πιν.2.2.Δόσεις χημικών για αφαίρεση του φωσφόρου (υπόλειμμα P ≤ 1mg/l) [1].

IV.2.4. Τριτοβάθμια χημική επεξεργασία για αφαίρεση του φωσφόρου

Η τριτοβάθμια χημική επεξεργασία ακολουθεί, σαν ξεχωριστό στάδιο καθαρισμού, ύστερα από το βιολογικό καθαρισμό των αποβλήτων. Αποτελείται από κανονική εγκατάσταση ανάμιξης - συσσωμάτωσης - κροκύδωσης - καθίζησης και συμπληρώνεται συνήθως με σύστημα διύλισης (Σχ. 2.29).



Σχ.2.29. Τριτοβάθμια χημική κατακρήμνιση φωσφόρου [1].

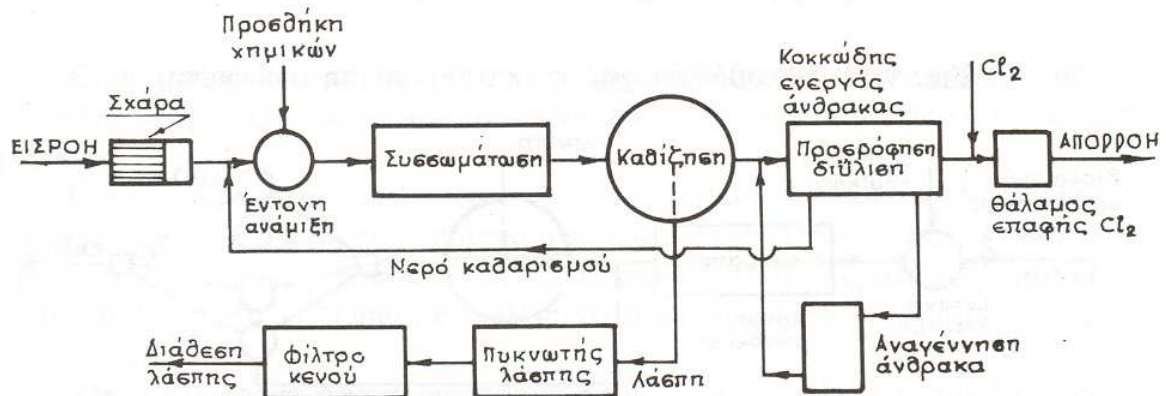
Οι προστιθέμενες χημικές ουσίες είναι ασβέστης, θειικό αργίλιο, χλωριούχος και θειικός σίδηρος σε συνδυασμό με πολυηλεκτρολύτες σαν βοηθητικά κροκύδωσης.

Σε υφιστάμενη εγκατάσταση τριτοβάθμιου καθαρισμού μετά το συμβατικό βιολογικό καθαρισμό, γίνεται χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου με χρησιμοποίηση ασβέστη (προσθήκη 400 mg CaO/l) και ακολουθεί απομάκρυνση της αμμωνίας σε πύργο αερισμού (pH > 11). Η εγκατάσταση συμπληρώνεται με μονάδα ανάκτησης και ενεργοποίησης του ασβέστη (σε κλίβανο), διύλιση, προσρόφηση με ενεργό άνθρακα και χλωρίωση με αποτέλεσμα η τελική απορροή να βρίσκεται κοντά στα ποιοτικά όρια του πόσιμου νερού (BOD₅, < 1 mg/l, SS < 1 mg/l, PO₄⁻³ = 0,05 mg/l, NH₃ = 2 mg N/l, κολοβακτηριοειδή < 2,2/100 ml)[1].

IV.2.5. Φυσικο-χημική επεξεργασία

Όπου αντιμετωπίζονται δυσκολίες για την εγκατάσταση μονάδων βιολογικού καθαρισμού λόγω της παρουσίας τοξικών ή δύσκολα βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών, είναι πλεονεκτικότερη η εφαρμογή φυσικο-χημικών μεθόδων για την απομάκρυνση του φωσφόρου και των άλλων ανεπιθύμητων ρύπων.

Συνήθως η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει χημική κατακρήμνιση των ανεπεξέργαστων αποβλήτων, καθίζηση, διύλιση, χωριστή ή σε συνδυασμό με προσρόφηση σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα και χλωρίωση (Σχ. 2.30).



Σχ.2.30. Σχηματική διάταξη μονάδας φυσικο – χημικής επεξεργασίας [1].

IV.3. Απολύμανση

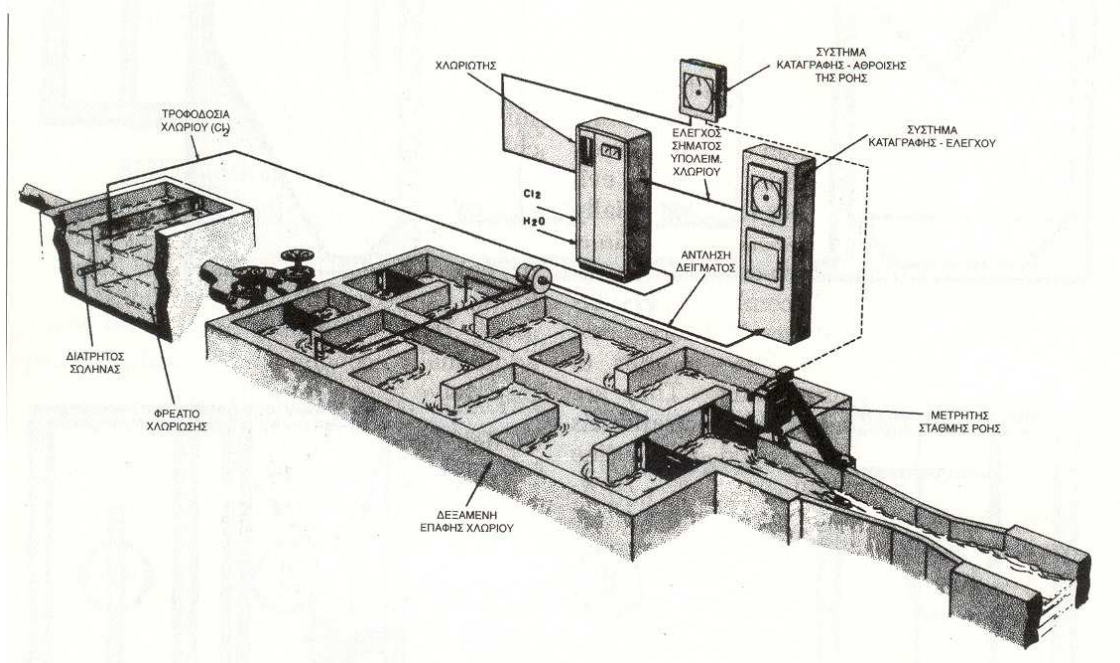
Η καταστροφή όλων ή του μεγαλύτερου τμήματος των μικροοργανισμών που βρίσκονται σε κάποιο υγρό απόβλητο. Ο στόχος της απολύμανσης είναι, βέβαια, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, τους οποίους προσπαθούμε δια της απολυμάνσεως να εξαλείψουμε. Παρακάτω θα αναφερθούν μόνο η διεργασία της απολύμανσης με χλωρίωση και UV ακτινοβολία.

IV.3.1. Δεξαμενή επαφής χλωρίου (ή χλωρίωσης)

Η διαυγής εκροή μετά την δευτεροβάθμια καθίζηση οδηγείται στη δεξαμενή επαφής χλωρίου (Σχ.2.31.). Στη δεξαμενή αυτή προστίθεται χλώριο ενεργό (σαν υγροποιημένο σε οβίδες διάλυμα αερίου Cl₂, ή σαν διάλυμα ενώσεων του χλωρίου, όπως NaOCl ή Ca(OCl)₂). Η προετοιμασία του διαλύματος Cl₂ γίνεται σε ειδική συσκευή. Το αέριο Cl₂ δεν χρησιμοποιείται στις μικρές μονάδες λόγω μεγάλης επικινδυνότητας.

Η απολύμανση συνήθως επιβάλλεται όταν πρόκειται να διατεθεί η εκροή σε αρδεύσεις καλλιεργειών που έρχονται σε επαφή με τον άνθρωπο. Μετά την προσθήκη διαλύματος με ενεργό χλώριο απαιτείται καλή ανάμιξη και παραμονή τουλάχιστον 20-30 min για αποτελεσματική δράση του χλωρίου. Η δεξαμενή χλωρίωσης (ή επαφής χλωρίου) έχει σχήμα μαιάνδρου ή άλλο κατάλληλο ώστε να εξασφαλίζεται η καλή ανάμιξη και η επαρκής παραμονή.

Συχνά η προσθήκη χλωρίου γίνεται και στο κανάλι συλλογής διαυγούς εκροής στην καθίζηση, γεγονός που εμποδίζει το σχηματισμό πρασινάδας στη δεξαμενή καθίζησης (εφ' όσον μάλιστα είναι ανοικτή).

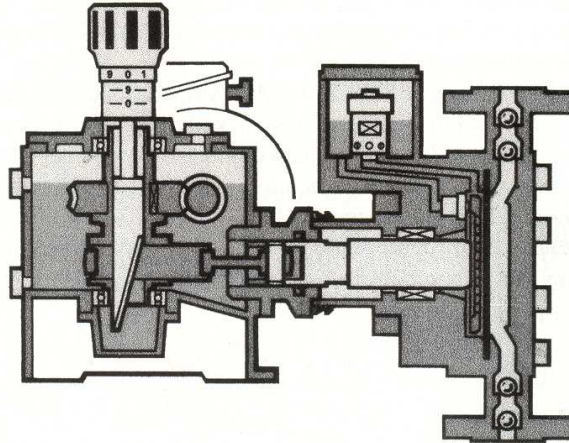


Σχήμα 2.31. Τυπική δεξαμενή επαφής χλωρίου [2].

Η χρησιμοποιημένη δοσολογία είναι 4-8 γραμ. ενεργό χλώριο ανά κυβ. μέτρο δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων με στόχο η εκροή να έχει υπολειμ. χλώριο 0,4 - 0,8 ppm.

Τα τελευταία χρόνια η χλωρίωση των επεξεργασμένων λυμάτων είναι υπό αμφισβήτηση λόγω των χλωρο-οργανικών ουσιών που σχηματίζονται κατά τη χλωρίωση. Στην περίπτωση διάθεσης των χλωριωμένων επεξεργασμένων λυμάτων σε υδατικό αποδέκτη (θάλασσα, χερσαία νερά), επιβάλλεται η αφαίρεση του υπολείμματος χλωρίου (αποχλωρίωση), που γίνεται συνήθως με διοξείδιο του θείου (SO_2). Εναλλακτικά σήμερα αντί χλωρίου χρησιμοποιείται το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) που δεν δημιουργεί χλωροπαράγωγα οργανικών ενώσεων και είναι ασφαλέστερο, θεωρείται όμως ακριβότερη σα λύση (και στην αρχική εγκατάσταση αλλά κυρίως στη λειτουργία)[2].

Στο σχ. 2.32 φαίνεται μία ενδεικτική τομή δοσομετρικής αντλίας υποχλωριώδους νατρίου.



Σχήμα 2.32. Τομή δοσομετρικής αντλίας υποχλωριώδους νατρίου [2].

IV.3.2. Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται εναλλακτικά η απολύμανση με συσκευές υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Η μέθοδος αυτή είναι αναπαράσταση της ηλιακής ακτινοβολίας και δεν παράγει χλωροπαράγωγα. Θεωρείται πολύ καλή μέθοδος, ιδιαίτερα μάλιστα μετά την αμμοδιύλιση (φίλτρωση με αμμόφιльтра της εκροής). Έχει μεγάλο αρχικό κόστος, έχει όμως λειτουργικό κόστος συγκρίσιμο με τη χλωρίωση. Η εφαρμογή της σε φιλτραρισμένη εκροή είναι πολύ οικονομικότερη της χλωρίωσης. Ο χρόνος παραμονής στις συσκευές UV είναι μερικά δευτερόλεπτα.

V. Προχωρημένη και τεταρτοβάθμια επεξεργασία.

Η προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων γνωστή και σαν τεταρτοβάθμια όταν πρόκειται για την παραγωγή αρδευτικού νερού μπορεί να εφαρμοστεί μετά από δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων και συνιστάται από διεργασίες πρόσθετης απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών, οργανικών και θρεπτικών ουσιών καθώς και διεργασίες πρόσθετης απολύμανσης. Η προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αναφέρεται εκτενώς στο κεφάλαιο 3.

VI. Επεξεργασία λασπών

VI.1. Βιοσταθεροποίηση

Η σταθεροποίηση της ανεπεξέργαστης πρωτοβάθμιας λυματολάσπης είναι αναγκαία λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας της σε οργανικό και μικροβιακό φορτίο. Συνήθως ακολουθεί βιολογική σταθεροποίηση της πρωτοβάθμιας λάσπης σε αναερόβιους χωνευτές. Αντίθετα η παραγόμενη δευτεροβάθμια λάσπη και ιδιαίτερα στον παρατεταμένο αερισμό θεωρείται σχετικά βιοσταθεροποιημένη. Πρόσθετη σταθεροποίηση μπορεί να γίνει είτε βιολογικά με πρόσθετο αερισμό (αερόβια σταθεροποίηση) ή σε αναερόβιους αντιδραστήρες (αναερόβια σταθεροποίηση - χώνευση) είτε χημικά με προσθήκη υδρασβέστου (χημική σταθεροποίηση).

VI.2. Πάχυνση λασπών

Η παραγόμενη βιοσταθεροποιημένη λάσπη συνήθως οδηγείται πρώτα για συμπύκνωση (με βαρύτητα) και μετά αφυδάτωση και διάθεση με τρόπο αποδεκτό περιβαλλοντικά και υγειονομικά ασφαλή. Η συμπύκνωση της λυματολάσπης λαμβάνει χώρα στους παχυντές και μεταπαχυντές.

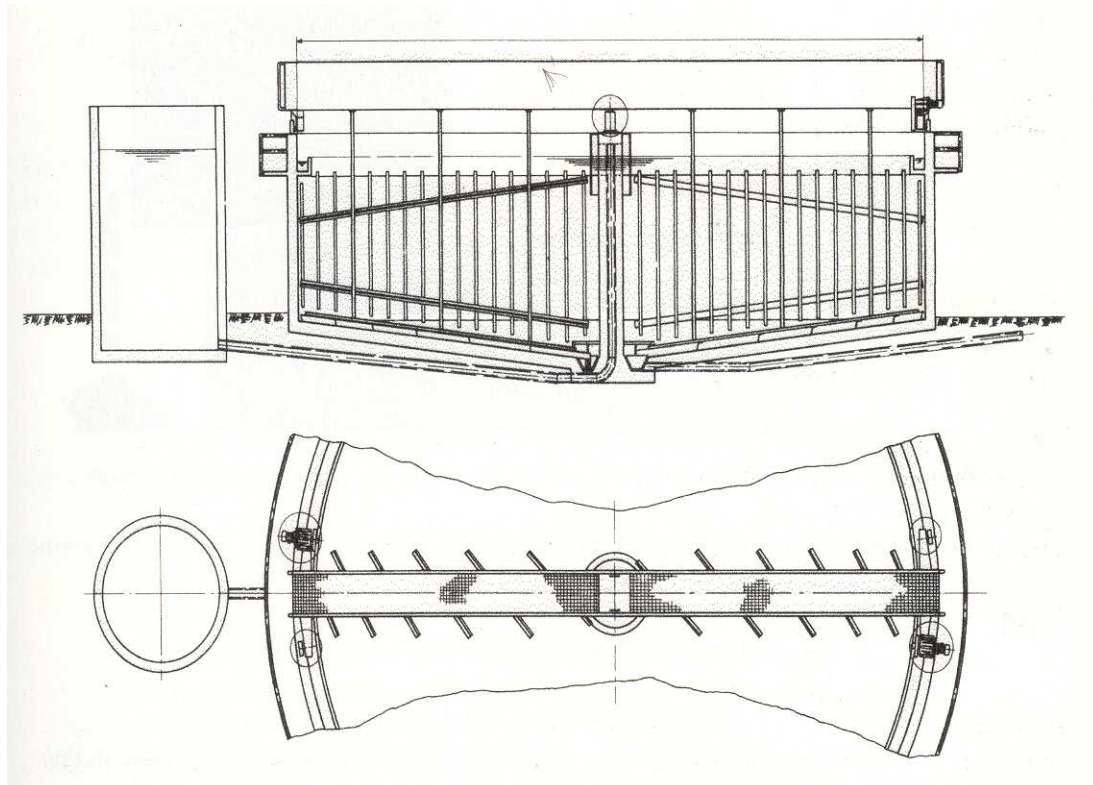
Οι παχυντές βαρύτητας είναι συνήθως κυκλικού τύπου με περιστρεφόμενο τάραχτρο και διευκολύνουν τη συμπύκνωση της λάσπης και τη συγκέντρωση της σε κωνική χοάνη στο κέντρο του πυθμένα του παχυντή.

Στους μικρούς βιολογικούς σταθμούς είναι δυνατή η χρήση παχυντή τύπου ορθογωνικής (ανεστραμμένης) πυραμίδας σαν σιλό. Η συνηθισμένη φόρτιση στερεών για τους παχυντές είναι 25-35 kg/m²-d (σε περιεχόμενη ξηρή ουσία σαν λάσπη).

Τα συνήθη χαρακτηριστικά της μη συμπυκνωμένης λάσπης είναι :

Ειδικό βάρος	1,015 g/cm ³
Περιεκτικότητα σε στερεά	
-πριν τον παχυντή	0,2 - 1,5%
-μετά τον παχυντή βαρύτητας	2,0 - 3,0%

Από τους παχυντές η λάσπη οδηγείται στην αφυδάτωση με ειδικές αντλίες (θετικής εκτόπισης ή μονορουμπς) ή και με φυσική ροή (κυρίως σε περιπτώσεις κλινών ξήρανσης σε μικρές μονάδες). Ένας τυπικός παχυντής λάσπης δίνεται στο σχ. 2.33



Σχήμα 2.33. Τυπική διάταξη συμπυκνωτή λάσπης [2].

VI.3. Αφυδάτωση λασπών

Εφαρμόζονται δύο μέθοδοι αφυδάτωσης :

- φυσικές μέθοδοι (κλίνες ξήρανσης)
- και μηχανικές μέθοδοι

Στις μικρές εγκαταστάσεις εξετάζεται πάντα η δυνατότητα εφαρμογής φυσικών μεθόδων, οι οποίες είναι απλές στη λειτουργία με μικρό κόστος επένδυσης. Από τις μηχανικές μεθόδους αφυδάτωσης η φυγοκέντρωση και οι ταινιοφιλτρόπρεςες είναι απλές στη λειτουργία και αποδεδειγμένα φθηνότερες και απλούστερες για τις μικρές μονάδες σε σχέση με τις άλλες μεθόδους (συστήματα κενού κ.λ.π.).

Παρακάτω γίνεται σύγκριση των τριών προαναφερθέντων μεθόδων αφυδάτωσης (κλίνες ξήρανσης, ταινιοφιλτρόπρεςες και φυγοκεντρητές) αναφέροντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εκάστοτε μεθόδου.

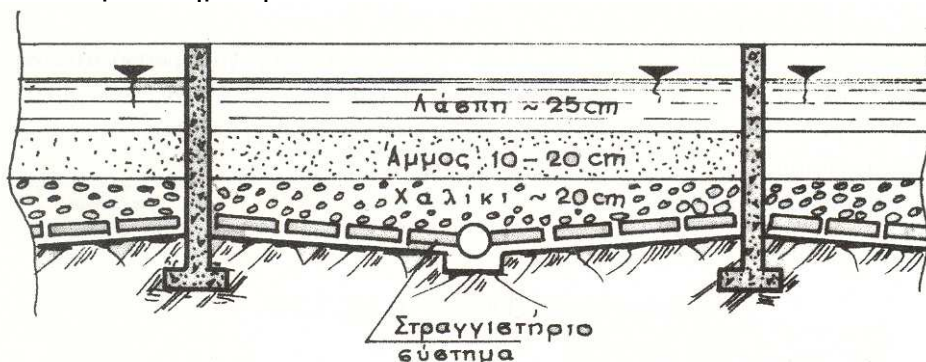
VI.3.1. Κλίνες ξήρανσης (Σχ.2.34.)

Πλεονεκτήματα

- χαμηλό κόστος κατασκευής
- ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας
- μικρές λειτουργικές δαπάνες
- δεν απαιτείται ειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία τους
- δεν απαιτείται η χρήση χημικών
- παράγεται καλά αφυδατωμένη ιλύς

Μειονεκτήματα

- η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες (βροχή, παγετός)
- απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις
- πιθανότητα δημιουργίας κακοσμίας, όταν η ιλύς δεν είναι καλά σταθεροποιημένη



Σχήμα 2.34. Τομή κλινών ξήρανσης [2].

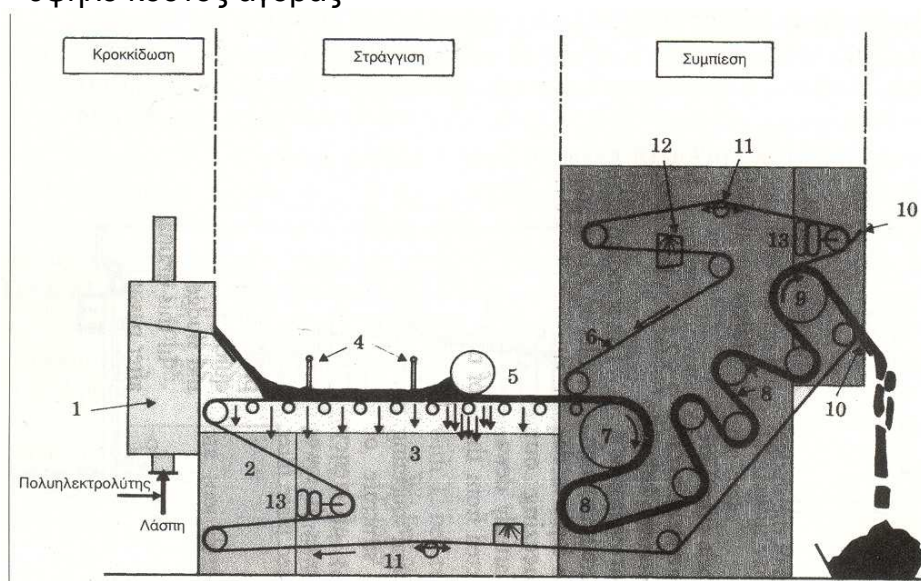
VI.3.2. Ταινιοφιλτρόπρεσες (σχ. 2.35)

Πλεονεκτήματα

- μικρή κατανάλωση ενέργειας
- εύκολες στην λειτουργία δεν απαιτούν ιδιαίτερα ειδικευμένο προσωπικό
- απαιτούνται μικρές εκτάσεις
- ικανοποιητική απόδοση, ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες

Μειονεκτήματα

- απαιτείται υψηλή σχετικά δόση χημικών
- απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού έκπλυσης
- υψηλό κόστος αγοράς



Σχήμα 2.35. Σχηματικό διάγραμμα αφυδάτωσης λασπών με ταινιοφιλτρόπρεσσα [2].

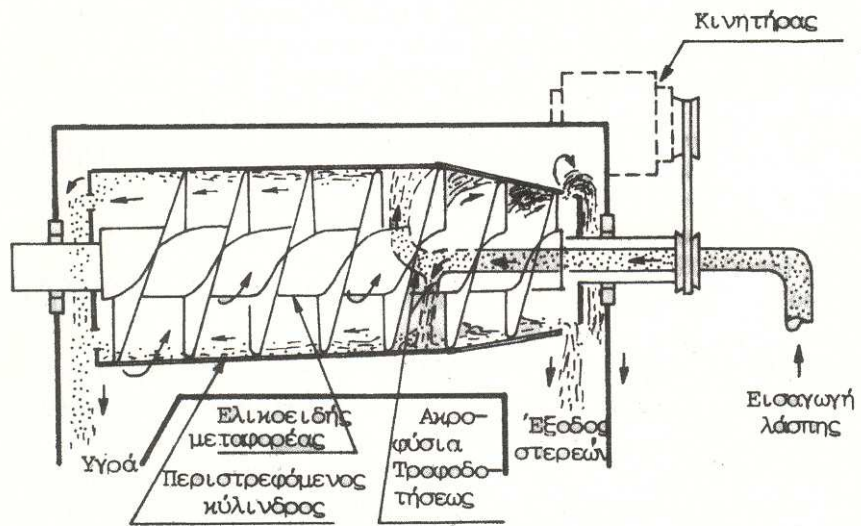
VI.3.3. Φυγοκεντρητές (Decanteur) (σχ. 2.36)

Πλεονεκτήματα

- απαιτούνται μικρότερες δόσεις χημικών, σε σχέση με τις ταινιοφιλτρόπρεσες
- εύκολη εγκατάσταση, μικρή απαιτούμενη επιφάνεια

Μειονεκτήματα

- μεγάλη κατανάλωση ενέργειας
- η αφυδατωμένη ιλύς είναι σχετικά πιο υδαρής
- απαιτείται ειδικευμένο προσωπικό συντήρησης
- προβλήματα θορύβου και σημαντικές δονήσεις
- πολύ υψηλό κόστος αγοράς [2].



Σχήμα 2.36. Διάταξη φυγοκέντρισης λασπών [2].

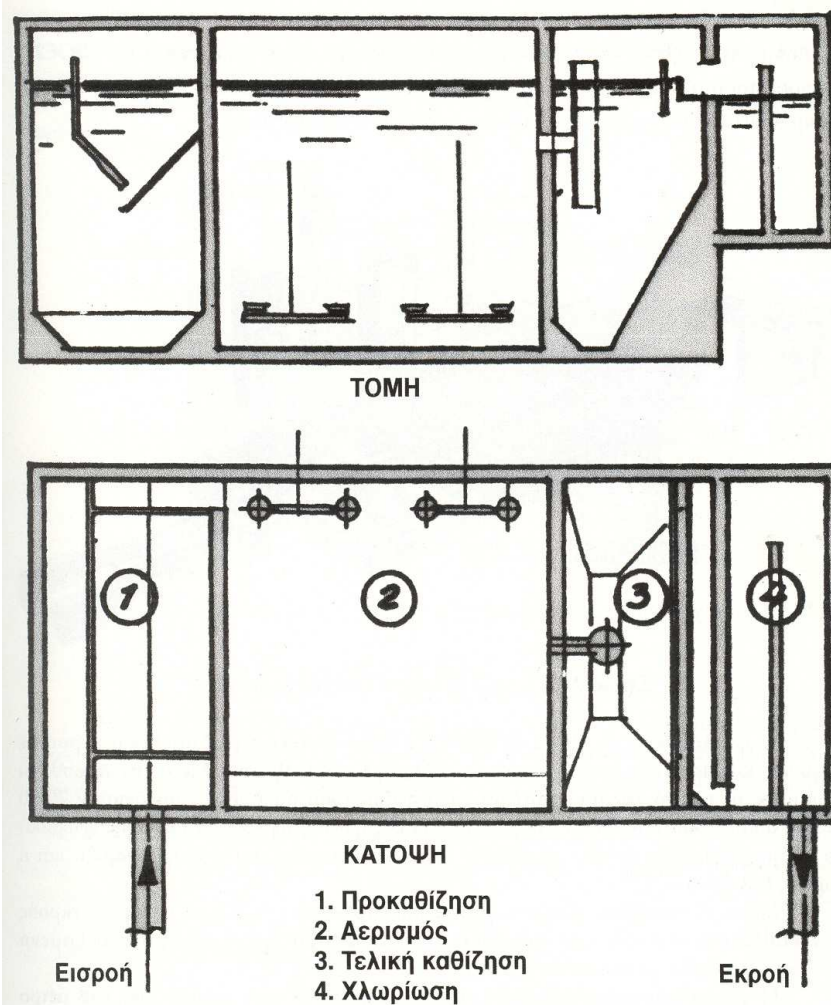
3. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

3.1. Γενικά

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία σε συνδυασμό μόνο με την απολύμανση της εκροής, που εφαρμόζεται ιδιαίτερα σε μικρές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (σχ.3.1.), όπου απαιτείται ικανοποιητικός βαθμός καθαρισμού των αποβλήτων, ενώ απομακρύνει σημαντικό ποσοστό από τις διάφορες ρυπαντικές ουσίες, δεν εξασφαλίζει πάντα την ποιότητα των αποδεκτών, γιατί η τελική απορροή περιέχει ακόμη αρκετή ποσότητα ρύπων (π.χ. ολικά αιωρούμενα στερεά TSS = 35 mg/l, BOD₅ = 20-30 mgO₂/l, άζωτο >15 mg/l, φωσφόρο >2 mg/l) καθώς επίσης και σημαντικό μικροβιακό φορτίο (π.χ. ολικά κολοβακτήρια = $\sim 2 \times 10^6$ /100 ml ύστερα από χλωρίωση). Αντίθετα σε περίπτωση διάθεσης της απορροής σε ευαίσθητο αποδέκτη (π.χ. ποτάμι) με μικρή ικανότητα αραίωσης, είναι υποχρεωτικό βάσει της υπάρχουσας νομοθεσίας (οδηγία 91/271/ΕΕ) να τεθούν πολύ αυστηρότερα όρια, π.χ. ολικό άζωτο NH₃-N = 10- 15 mg/l, φωσφόρος 1,0 -2,0 mg/l.

Έκτός από αυτά, εφόσον στην περιοχή αποχετεύσεως υπάρχουν βιομηχανίες, τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν ίχνη από χημικές οργανικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα ή άλλες τοξικές ουσίες, που δεν είναι εύκολα ή καθόλου βιοαποδομήσιμες και δεν απομακρύνονται με τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, όπως π.χ. χλωριούχα και θειικά ιόντα, υδράργυρος, πετροχημικά, φαινόλες, τασιενεργές ενώσεις κλπ.

Για τη συμπλήρωση της δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας και ειδικότερα όσον αφορά τη χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σαν αρδευτικό νερό, καθώς και για την εκλεκτική απομάκρυνση των τοξικών ή άλλων ανεπιθύμητων ουσιών, ανάλογα με την τελική χρήση ή τη διάθεση της απορροής εφαρμόζονται διάφορες πρόσθετες μέθοδοι καθαρισμού (φυσικές, χημικές, βιολογικές), που αποτελούν την προχωρημένη επεξεργασία των αποβλήτων (advanced wastewater treatment) γνωστή και σαν τεταρτοβάθμια όταν πρόκειται για παραγωγή αρδευτικού νερού.



Σχήμα 3.1. Ενδεικτική κάτοψη και τομή δεξαμενών μικρών βιολογικών σταθμών [2].

Ανεπιθύμητα συστατικά των αποβλήτων

Τα αστικά λύματα, όταν μάλιστα συνδυάζονται με βιομηχανικά απόβλητα, περιέχουν εκτός από τα συνηθισμένα χημικά χαρακτηριστικά και σημαντική ποικιλία από άλλα συστατικά, που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στο περιβάλλον.

Ενδεικτικά σημειώνονται μεταξύ άλλων τα ακόλουθα με σύντομη περιγραφή των δυσμενών συνεπειών τους:

α. Αμμωνία (NH_3)

Είναι τοξική στα ψάρια (όριο 2,5 mg/l), αυξάνει το απαιτούμενο χλώριο σε περίπτωση απολυμάνσεως, μπορεί να δεσμεύσει το διαλυμένο οξυγόνο (ποτάμι, θάλασσα) και να μετατραπεί σε νιτρώδη - νιτρικά άλατα.

β. Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Προκαλούν υπερανάπτυξη μικροφυκών (algae) και γενικά υδρόβιας ζωής στους υδατικούς αποδέκτες (ευτροφισμός) (όριο για ήρεμες λίμνες 0,3

mg/l) και ελέγχεται η περιεκτικότητα στο πόσιμο νερό (όριο 50 mg/l, σαν NO₃), γιατί μπορεί να προκαλέσουν μεθαιμοσφαιριναιμία στα μωρά (blue babies).

γ. Φωσφορικά ιόντα (PO₄⁻³)

Προκαλούν ευτροφισμό (όριο για ήρεμες λίμνες 0,015 mg/l) και παρεμποδίζουν την κροκύδωση και αποσκλήρυνση (όριο 0,2-0,4 mg/l).

δ. Υδράργυρος (Hg)

Είναι τοξικός στον άνθρωπο και την υδρόβια ζωή (όριο 0,005 mg/l).

ε. DDT

Είναι τοξικό στα ψάρια και την υδρόβια ζωή (όριο 1 μg/m³).

στ. Φαινολικές ενώσεις

Μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστη οσμή στο νερό, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με χλωρίωση (χλωροφαινόλες) (όριο 0,5-1,0 μg/m³, σαν φαινόλη).

ζ. Πετροχημικές ενώσεις

Μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστη οσμή στο νερό (όριο 5-100 μg/m³).

η. Τασιενεργές ενώσεις

Προκαλούν αφρισμό και δυσχεραίνουν την κροκύδωση και οξυγόνωση (όριο 1-3 mg/l)[1].

3.2. Μέθοδοι επεξεργασίας και βαθμοί αποδόσεως

Για την προχωρημένη επεξεργασία των αποβλήτων χρησιμοποιούνται, όπως και για το συμβατικό καθορισμό, μέθοδοι φυσικές, χημικές και βιολογικές χωριστά ή σε συνδυασμό.

Ειδικότερα ανάλογα με το είδος των ανεπιθύμητων ουσιών, που απομακρύνονται, εφαρμόζονται οι κατάλληλες επεξεργασίες, όπως ενδεικτικά σημειώνονται στον Πιν. 3.1.

Πιν.3.1. Μέθοδοι προχωρημένης επεξεργασίας [1].

Παράμετρος	Επεξεργασία
1.Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών	<ul style="list-style-type: none">○ Διύλιση με πολλαπλό κοκκώδες μέσο○ Μικροδιήθηση○ Επίπλευση○ Χημική κατακρήμνιση (και καθίζηση)

- 2. Απομάκρυνση οργανικών ουσιών
 - Προσρόφηση σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα
 - Παρατεταμένη βιολογική οξείδωση
- 3. Απομάκρυνση φωσφόρου
 - Βιολογική αφομοίωση
 - Βιολογική – χημική κατακρήμνιση (& καθίζηση)
 - Χημική κατακρήμνιση
 - Ενεργός άνθρακας
 - Άρδευση καλλιεργειών
- 4. Απομάκρυνση αζώτου
 - Βιολογική νιτροποίηση – απονιτροποίηση
 - Αφαίρεση αμμωνίας με αερισμό
 - Οξείδωση αμμωνίας (χλώριο)
 - Αφαίρεση αμμωνίας με ιοντο – ανταλλαγή
 - Βιολογική αφομοίωση
 - Άρδευση καλλιεργειών

Η απόδοση των διαφόρων μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας, που εφαρμόζονται συνήθως στην απορροή των αποβλήτων μετά το δευτεροβάθμιο ή/και τριτοβάθμιο καθαρισμό (κυρίως βιολογικό), σημειώνεται στον Πιν. 3.2. Στα επόμενα περιγράφονται οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την προχωρημένη επεξεργασία των αποβλήτων[1].

Πιν.3.2. Ενδεικτική απόδοση μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας[1].

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ, ΕΛΑΤΩΣΣΗ %					
	BOD ₅	SS	NH ₃	NO ₃	Οργανικό N	PO ₄ ⁻³
1. Διύλιση με πολλαπλό μέσο	50-70	80-90			20-40	
2. Μικροδιήθηση	40-70	50-80			20-40	
3. Επίπλευση		60-80			20-30	
4. Χημική κατακρήμνιση	75-90	60-80	5 -15		30-50	90-95
5. Ηλεκτροχημική επεξεργασία (ανεπεξεργαστα λύματα)	50-60	80-90	80-85		80-85	80-85
6. Προσρόφηση	70-90	80-90			50-90	
7. Ανταλλαγή ιόντων	40-60		85-98	80-90	80-95	85-98
8. Βιολογική αφομοίωση ^α	75-95	80-95	30-40	30-40	30-40	10-20
9. Απαέρωση αμμωνίας ^α			85-98			

10. Νιτροποίηση - απονιτροποίηση				60-95		
11. Ανάπτυξη φυκών (algae)	50-75		50-90	50-90	50-90	~50
12. Χλωρίωση (οξειδωση) ^α	80-90		50-80			
13. Άρδευση καλλιεργειών ^β	90-95	95-98	60-80	5-15	80-95	60-90

^α Οι μέθοδοι 8,9,10 και 12 έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2

^β Η μέθοδος 13 θα αναφερθεί σε αυτό το κεφάλαιο σαν μέθοδος τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι φυσικές και χημικές μέθοδοι επεξεργασίας της δευτεροβάθμιας ή/και τριτοβάθμιας εκροής ενώ οι μέθοδοι απομάκρυνσης N και P καθώς και η απολύμανση έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 στην τριτοβάθμια επεξεργασία.

3.3. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ

3.3.1. Διύλιση

Η διύλιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε σαν προπαρασκευαστική επεξεργασία για επόμενα στάδια καθαρισμού (π.χ. ανταλλαγή ιόντων), είτε σαν τελική επεξεργασία εξευγενισμού της απορροής, τόσο του βιολογικού καθαρισμού, όσο και της χημικής κατακρημνίσεως - καθιζήσεως.

α. Μέσα διύλισης

Σ' αντίθεση με την επεξεργασία του πόσιμου νερού, όπου χρησιμοποιούνται κλίνες διυλίσεως με ένα μέσο (συνήθως άμμος), στον καθαρισμό της απορροής των αποβλήτων άρχισε τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίηση κλινών διυλίσεως με δύο, τρία ή και περισσότερα μέσα (dual-media, tri-media, multimedia filter beds).

Τα μέσα, που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι (α) ανθρακίτης και άμμος, (β) ενεργός άνθρακας και άμμος, (γ) εναλλάκτης ιόντων και άμμος ή ανθρακίτης, (δ) ανθρακίτης, άμμος και γρανάτης (garnet), (ε) ενεργός άνθρακας, ανθρακίτης και άμμος, (στ) ενεργός άνθρακας, άμμος και γρανάτης.

Τα χαρακτηριστικά των πιο συνηθισμένων μέσων, που χρησιμοποιούνται για διπλές ή τριπλές κλίνες διυλίσεως, σημειώνονται στον Πιν. 3.3. σαν γενικός οδηγός σχεδίασης.

Πιν.3.3. Τυπικά χαρακτηριστικά διυλίσεως [1].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μονάδες	Διπλή κλίνη		Τριπλή κλίνη	
		Διακύμανση τιμών	Συνηθισμένη τιμή	Διακύμανση τιμών	Συνηθισμένη τιμή
1. Ανθρακίτης					
(Ειδικό βάρος 1,35-1,75)					
α. Πάχος	cm	20-60	45	20-50	40
β. Δρατική διάμετρος	mm	0,8-2	1,2	1,0-2,0	1,4
γ. Συντελεστής ομοιομορφίας	D60/D10	1,4-1,8	1,5	1,4-1,8	1,5
2. Άμμος, (πυριτική)					
(Ειδικό βάρος 2,65)					
α. Πάχος	cm	25-60	30	20-40	30
β. Δρατική διάμετρος	mm	0,3-0,8	0,5	0,4-0,8	0,6
γ. Συντελεστής ομοιομορφίας	D60/D10	1,2-1,6	1,4	1,2-1,6	1,4
3. Γρανίτης					
(Ειδικό βάρος 4,0-4,2)					
α. Πάχος	cm			5~10	8
β. Δρατική διάμετρος	mm			0,2-0,6	0,3
γ. Συντελεστής ομοιομορφίας	D60/D10				1
4. Ρυθμός διυλίσεως	m ³ /m ² h	5~25	15	5~30	15

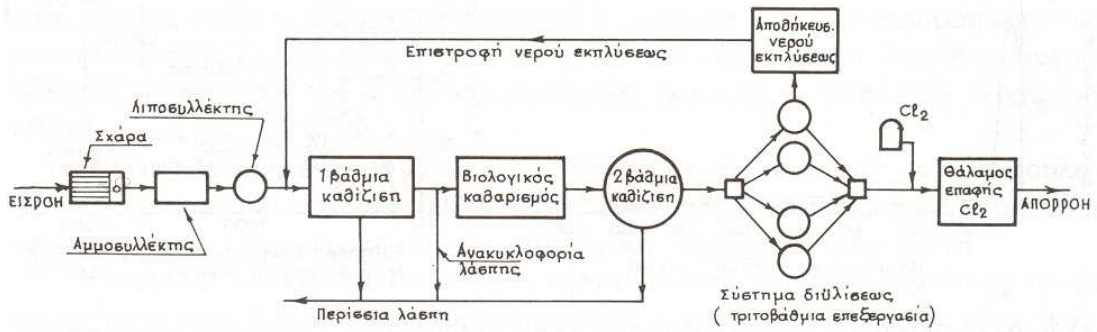
Επειδή πάντως η απόδοση των συστημάτων διυλίσεως επηρεάζεται ιδιαίτερα από τα χαρακτηριστικά του υγρού, που διυλίζεται (συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών, μέγεθος και κατανομή των σωματιδίων, αντοχή των κροκύδων) συνιστάται για τις σημαντικές εγκαταστάσεις να προσδιορίζεται πειραματικά (pilot plant study) ο βέλτιστος συνδυασμός των μέσων διύλισης[1].

β. Διάταξη του συστήματος διυλίσεως

Η διύλιση, σαν τριτοβάθμια εγκατάσταση εξευγενισμού και διαυγάσεως των αποβλήτων επεξεργάζεται την απορροή του δευτεροβάθμιου καθαρισμού.

Στο Σχ. 3.2, α σημειώνεται σχηματικά η γενική διάταξη μιας μονάδας βιολογικού καθαρισμού, που συμπληρώνεται με τριτοβάθμια επεξεργασία διυλίσεως. Το σύστημα διύλισης αποτελείται συνήθως από τέσσερα διυλιστήρια — με ελάχιστο αριθμό δύο — και πρέπει να καλύπτει τις αιχμές της παροχής σχεδίασης με μια μονάδα εκτός λειτουργίας για καθάρισμα ή συντήρηση.

α. Γενική διάταξη βιολογικού καθαρισμού με τρίτοβάθμια επεξεργασία διύλισης

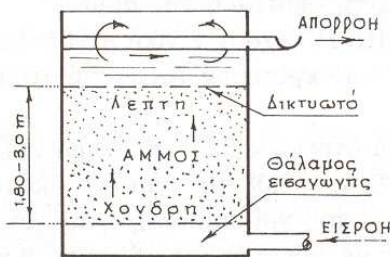


Σχ.3.2.α [1].

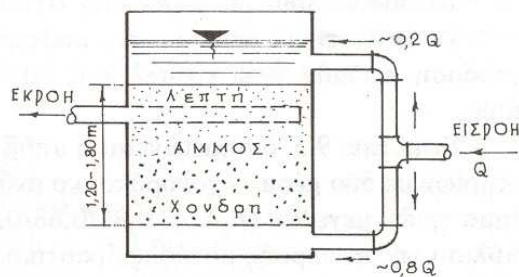
Η διάταξη των μέσων διύλισης σε κάθε διυλιστήριο μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (Σχ. 3.2, β) ανάλογα με τα λειτουργικά πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση αποβλήτων.

β. Συστήματα διύλισης

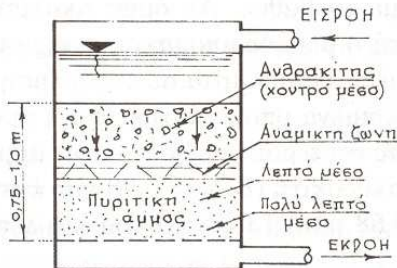
I. Διυλιστήριο με ανοδική ροή



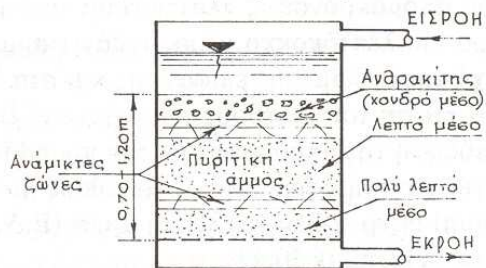
II. Διυλιστήριο με διπλή ροή



III. Διυλιστήριο με δύο μέσα



IV. Διυλιστήριο με τρία μέσα



Σχ.3.2.β [1].

Ενδεικτικά σημειώνεται, ότι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων απορροής πειραματικής μονάδας δραστικής λάσπης ($\Theta_c = 10$ ημ.) εμφανίζει δύο σαφώς ξεχωριστές ομάδες, τα μικρά σωματίδια με ισοδύναμη διάμετρο 0-15 μ . και τα μεγάλα με διάμετρο από 40-120 μ . (Σχ. 3.2. γ).

γ. Ενδεικτική κατανομή του μεγέθους των
σωματιδίων απορροής πειραματικής
μονάδας δραστικής λάσπης.



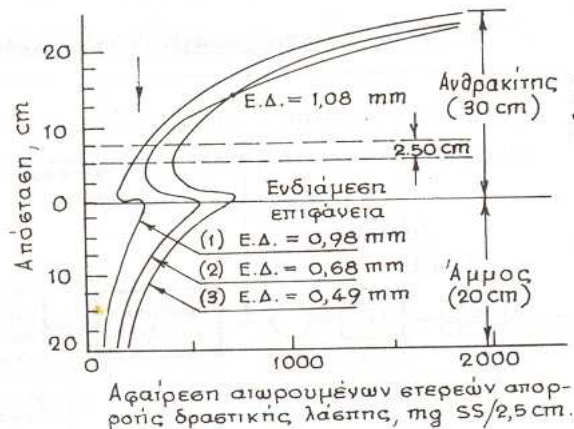
Σχ.3.2.γ [1].

Το διυλιστήριο με ανοδική ροή (I) έχει το πλεονέκτημα, ότι η διήθηση αρχίζει από τη χοντρόκοκκη άμμο, όπου συγκρατούνται τα μεγάλα σωματίδια και προχωρεί στη λεπτή, όπου απομακρύνονται τα μικρότερα. Έτσι η διύλιση επεκτείνεται «σε βάθος». Αντίθετα, μειονεκτεί λόγω της διογκώσεως της άμμου και του κινδύνου να διαφύγουν οι λεπτοί κόκκοι κατά τις αιχμές της υδραυλικής φορτίσεως, παρά το δικτυωτό που τοποθετείται στην επιφάνεια.

Το διυλιστήριο με διπλή ροή (II) περιορίζει τη διαστολή της άμμου. Τα διυλιστήρια με δύο ή περισσότερα μέσα (III, IV) έχουν γενικά μεγαλύτερη απόδοση, εφόσον γίνει κατάλληλος συνδυασμός των κρίσιμων χαρακτηριστικών τους.

Στο Σχ. 3.2, δ σημειώνεται η απόδοση κατά στρώσεις 2,50 cm, τριών διυλιστηρίων με δύο μέσα — χονδρόκοκκο ανθρακίτη (Ε.Δ. = 1,08 mm) και λεπτόκοκκοι άμμο τριών μεγεθών (Ε.Δ. = 0,98/0,68/0,49 mm) — που χρησιμοποιήθηκαν για τη διύλιση της απορροής μονάδας δραστικής λάσπης με ρυθμό $Q = 12,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ και κύκλο λειτουργίας 48 ωρών. Όπως προκύπτει από τις τρεις καμπύλες, το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων στερεών αφαιρείται στην επιφανειακή στιβάδα, ενώ ο ρυθμός απομακρύνσεως ελαττώνεται απότομα με το βάθος. Αν όμως ακολουθεί δεύτερο πιο λεπτόκοκκο μέσο, αυξάνει σημαντικά ο ρυθμός απομακρύνσεως στην περιοχή της ενδιάμεσης επιφάνειας και στα δύο μέσα και μάλιστα σε συνάρτηση με την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε ότι η συνολική αύξηση της αποδόσεως με την προσθήκη του δεύτερου στρώματος της άμμου ήταν για χοντρή παραπλήσιου μεγέθους με τον ανθρακίτη (Ε.Δ. = 0,98 mm έναντι 1,08 mm) μόνο 0,4%, για λεπτή άμμο (Ε.Δ. = 0,68 mm) 13,2% και για πιο λεπτή (Ε.Δ. = 0,49 mm) 20,4%.

β. Απόδοση τριών διπλών διυλιστηρίων
ανά μονάδα πάχους.



Σχ.3.2.δ [1].

Γενικά η διπλή κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, που παρουσιάζουν συνήθως τα απόβλητα (Σχ. 3.2, γ), αντιμετωπίζεται καλύτερα από τα διυλιστήρια με περισσότερα μέσα και με ελαττούμενο μέγεθος κόκκων, γιατί στις συμβατικές μονάδες τα μεγάλα σωματίδια φράσσουν την επιφανειακή στιβάδα και περιορίζουν την αξιοποίηση της κλίνης σ' ολόκληρο το βάθος της[1].

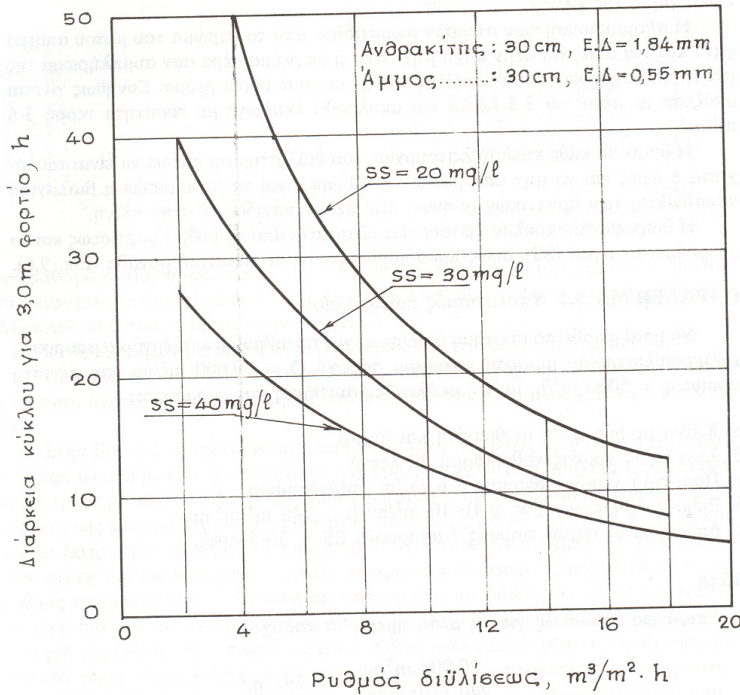
γ. Κύκλος λειτουργίας του διυλιστηρίου

Τα διυλιστήρια σχεδιάζονται συνήθως και εξοπλίζονται υδραυλικά, ώστε να λειτουργούν με σταθερό ρυθμό, οπότε οι απώλειες λόγω τριβών αυξάνουν προοδευτικά με την έμφραξη των πόρων. Όταν το υδραυλικό φορτίο φθάσει ορισμένο όριο (συνήθως 2,5-3,0 m με μέγιστο 3,50 m), διακόπτεται η λειτουργία και γίνεται καθαρισμός της κλίνης.

Η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων από το στρώμα του μέσου απαιτεί κατά κανόνα απόξεση στην αρχή μηχανικά ή με ρεύμα αέρα σαν συμπλήρωμα της ρευστοποίησης και έκπλυσης της κλίνης με το ανοδικό ρεύμα. Συνήθως γίνεται απόξεση με αέρα για 3-5 λεπτά και ακολουθεί έκπλυση με ποσότητα νερού 3-6 m³/m².

Η διάρκεια κάθε κύκλου λειτουργίας του διυλιστηρίου πρέπει να είναι τουλάχιστο 6 ώρες και να μην υπερβαίνει τις 40 ώρες, για να περιορισθεί η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών, που έχουν παγιδευτεί στην κλίνη.

Η διάρκεια του κύκλου λειτουργίας εξαρτάται από το ρυθμό φορτίσεως και τα αιωρούμενα στερεά (SS), όπως προσδιορίστηκε σε πειραματική μονάδα (Σχ. 3.3)[1].

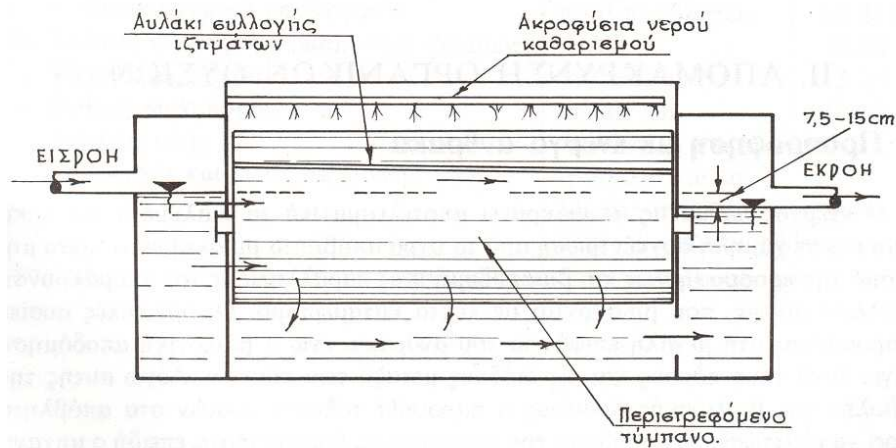


Σχ.3.3 Διάρκεια κύκλου λειτουργίας διύλισηριού με δυο μέσα για απορροή χαλικοδιύλισηριού [1].

3.3.2. Μικροδιήθηση

Ο μικροηθμός αποτελείται από κυλινδρικό τύμπανο (τυπικής διαμέτρου $D = 3,0 \text{ m}$) με επένδυση από ύφασμα ή λεπτό συρμάτινο πλέγμα από ανοξείδωτο χάλυβα και με ανοίγματα 20 - 35 μικρά περίπου για τριτοβάθμιο καθαρισμό λυμάτων (Σχ. 3.4).

Το τύμπανο περιστρέφεται αργά γύρω από οριζόντιο άξονα με 4 - 7 στροφές το λεπτό και με μέγιστη περιφερειακή ταχύτητα $U = 0,75 \text{ m/sec}$. Τα λύματα, που εισέρχονται από το ανοικτό άκρο, διυλίζονται καθώς ρέουν προς τα έξω μέσω του ηθμού. Τα ιζήματα αφαιρούνται συνεχώς στο πάνω μέρος της περιστροφής με εξακόντιση νερού και συλλέγονται σε εσωτερικό αυλάκι.



Σχ.3.4. Σχηματική διάταξη μικροηθμού [1].

Το υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται από 12,5-25 m³/m²h για την βυθισμένη επιφάνεια του τύμπανου, που είναι περίπου τα 65% της ολικής. Η διαφορά πιεζομετρικού φορτίου είναι 7,5-15 cm και το νερό καθαρισμού 2-5%. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών της απορροής κυμαίνεται από 5-15 mg/l.

Τα σοβαρότερα προβλήματα, που αντιμετωπίζονται κατά τη λειτουργία, είναι η δυσκολία να εξασφαλιστεί σταθερή ποιότητα απορροής κατά τις διακυμάνσεις της παροχής και η ανάπτυξη βιολογικής μεμβράνης στον ηθμό[1].

3.3.3. Άλλες μέθοδοι

α. Επίπλευση

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και των λεπτών κολλοειδών από τα επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να γίνει με τη μέθοδο της επίπλευσης.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με αυξημένο ρυθμό σε εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με χρησιμοποίηση πολυηλεκτρολυτών[1].

β. Χημική κατακρήμνιση

Η χημική κατακρήμνιση μπορεί να εφαρμοσθεί και σαν μέθοδος τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών από την απορροή του δευτεροβάθμιου βιολογικού καθαρισμού. Συνήθως η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ειδικότερα για την αφαίρεση του φωσφόρου. Εκτός από τις πιο πάνω μεθόδους, που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, γίνεται σημαντική επίσης ελάττωση κατά την εφαρμογή διαδικασιών, που αποσκοπούν κυρίως στην αφαίρεση και άλλων ρύπων, όπως είναι η ηλεκτροχημική επεξεργασία, η βιολογική αφομοίωση, η άρδευση καλλιεργειών, η απόσταξη και πήξη, η ανταλλαγή ιόντων, η αντίστροφη όσμωση κλπ. [1].

3.4.. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

3.4.1. Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα

Ο ενεργός άνθρακας απομακρύνει αποτελεσματικά τα διαλυμένα οργανικά ακόμη και σε χαμηλή συγκέντρωση από τα υγρά απόβλητα με το συνδυασμένο μηχανισμό της προσροφήσεως και βιοαποδομήσεως παράλληλα με την απομάκρυνση και άλλων ρύπων, που βρίσκονται σε λεπτό καταμερισμό. Οι οργανικές ουσίες προσροφώνται στη μεγάλη επιφάνεια του άνθρακα, ενώ η βιολογική αποδόμηση ανοίγει ξανά τους πόρους και τις διόδους μεταξύ των κόκκων. Λόγω αυτής της συμβολής της βιολογικής δράσεως η παρουσία τοξικών ουσιών στα απόβλητα μπορεί να ελαττώσει την απόδοση του συστήματος. Οπωσδήποτε, επειδή ο μηχανισμός είναι σύνθετος και δεν μπορεί να γίνει ασφαλής πρόβλεψη για την ικανότητα της

εγκαταστάσεως, πρέπει να προσδιορίζεται με πειραματική εγκατάσταση (pilot plant) η πραγματική απόδοση του συστήματος.

Για τον καθαρισμό των αποβλήτων χρησιμοποιείται συνήθως ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας, είτε για τριτοβάθμια επεξεργασία ύστερα από βιολογικό καθαρισμό, είτε σαν δεύτερο στάδιο επεξεργασίας στις εγκαταστάσεις φυσικοχημικού καθαρισμού.

Οι μονάδες επαφής του άνθρακα με τα απόβλητα αποτελούνται, είτε από κλίνες με καθοδική ροή, που προσροφούν και διυλίζουν ταυτόχρονα τα αιωρούμενα στερεά, είτε από στήλες με ανοδική ή καθοδική ροή.

Ο χρόνος επαφής πρέπει να είναι κατά το δυνατό περιορισμένος (γενικά μικρότερος από 30'), γιατί, ενώ δεν αυξάνει ουσιαστικά την απόδοση, δημιουργεί ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες (υδρόθειο), που αντιμετωπίζονται με ελάττωση του χρόνου επαφής συχνότερη έκπλυση ή και προχλωρίωση των αποβλήτων.

Ο ενεργός άνθρακας, μετά την εξάντληση αναγεννάται και ενεργοποιείται με θερμική επεξεργασία[1].

Ο υπολογισμός των μονάδων προσροφήσεως τόσο για τριτοβάθμιο, όσο και για φυσικο-χημικό καθαρισμό μπορεί να γίνει με τη βοήθεια των παραμέτρων σχεδιασμού του Πιν. 3.4.

Πιν.3.4. Παράμετροι σχεδιασμού προσροφήσεως αποβλήτων με κοκκώδη ενεργό άνθρακα[1].

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμές
1. Ποσότητα άνθρακα (απαίτηση αναγεννήσεως)		
Τριτοβάθμια επεξεργασία αποβλήτων	g/m ³	25-50
Φυσικο-χημική επεξεργασία αποβλήτων	g/m ³	60-125
2. Χρόνος επαφής (με βάση κενή δεξαμενή)	Λεπτά	10 έως 50
3. Υδραυλικό φορτίο	m ³ /m ² .h	5 έως 25
4. Ρυθμός καθαρισμού	m ³ /m ² .h	40-50
5. Διάταξη ροής	Ανοδική ή καθοδική ή πολλά στάδια	
6. Λειτουργία και είδος δεξαμενής επαφής	Με βαρύτητα ή πίεση, χαλύβδινη ή από σκυρόδεμα	

3.5. Ιοντοανταλλαγή

Η εναλλαγή των ιόντων χρησιμοποιείται γενικά στην επεξεργασία των υγρών για την εκλεκτική απομάκρυνση ορισμένων ανεπιθύμητων ουσιών, που βρίσκονται σε διάλυση, με τη χρησιμοποίηση εναλλακτών από ρητίνες φυσικές (ζεόλιθοι) ή τεχνητές.

Ειδικά για το άζωτο έχουν δοκιμασθεί ορισμένοι ζεόλιθοι, από τους οποίους ένας (clinoptilolite) βρέθηκε, ότι έχει εκλεκτική προτίμηση στα ιόντα του αμμωνίου. Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη απόδοση και δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Η αναγέννηση του ζεολίθου, όταν κορεσθεί, γίνεται με

ασβέστη, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Το ιόν του αμμωνίου μετατρέπεται λόγω του ψηλού pH σε αμμωνία που αφαιρείται σε πύργο απαερώσεως ή σε κλειστό κύκλωμα.

Για να λειτουργήσει το σύστημα ικανοποιητικά, χωρίς προβλήματα εμφράξεως από εναποθέσεις αιωρούμενων υλικών στην κλίνη του ζεολίθου, πρέπει να έχει προηγηθεί συστηματική προεπεξεργασία της δευτεροβάθμιας απορροής (χημική κατακρήμνιση ή διύλιση κλπ.).

Η εναλλακτική ικανότητα των ρητινών ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο και τη συγκέντρωση του μέσου αναγεννήσεως και εκφράζεται συχνά σε ισοδύναμα γραμμάρια, σαν CaCO_3 ανά m^3 ρητίνης ($\text{g} \cdot \text{eq} \cdot \text{CaCO}_3 / \text{m}^3$) ή σε χιλιόκκοκους (Kilo-grains), σαν CaCO_3 , ανά κυβικό πόδι ρητίνης ($\text{Kgr} \text{CaCO}_3 / \text{ft}^3$)[1].

3.6. Άρδευση καλλιεργειών

Η άρδευση καλλιεργειών, όπως και η βιολογική αφομοίωση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου με τη χρησιμοποίηση τους από τα φυτά σαν θρεπτικά υλικά. Μέχρι τώρα έχουν γίνει πολλές εφαρμογές της άρδευσης για το χειρισμό των αποβλήτων, με κύριο στόχο είτε την επαναχρησιμοποίηση του νερού (και των λιπαντικών στοιχείων) — σε άνυδρες περιοχές — είτε την επεξεργασία και μερική ή ολική διάθεση των αποβλήτων.

Η ιδέα της εφαρμογής της άρδευσης, σαν τριτοβάθμιας επεξεργασίας, κερδίζει έδαφος και εναρμονίζεται με την οικολογική επιδίωξη της επαναφοράς στη γη των θρεπτικών υλικών και του νερού αντί της ρύπανσης των διαφόρων αποδεκτών. Πάντως οι δυνητικοί κίνδυνοι αλλοίωσης της δομής του εδάφους και ρύπανσης ή μόλυνσης τόσο του εδάφους, όσο και των επιφανειακών και υπόγειων νερών σε συνδυασμό με τις απαιτούμενες μεγάλες εκτάσεις γης, θέτουν περιορισμούς και αρκετά αυστηρές προϋποθέσεις, που δεν ευνοούν οικονομικά την ανάπτυξη της μεθόδου σε υγρά κλίματα και μητροπολιτικές αστικές περιοχές[1].

4. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι: η καθίζηση, το φιλτράρισμα, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιοντική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξειδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση και άλλες, που είναι μοναδικές σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξειδωση και η πρόσληψη από τα φυτά. Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες συντελούνται με "φυσικές" ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως, σε ένα "οικοσυστηματικό αντιδραστήρα", σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς, σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές, με επιταχυνόμενες ταχύτητες, ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας.

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

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

2. Τα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υδροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών[3].

4.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Θεωρώντας την ιστορική ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Μινωίτες υδραυλικοί γνώριζαν βασικές αρχές της υδραυλικής και υγιεινολογικής μηχανικής. Χωρίς αυτή την παραδοχή, δεν θα μπορούσε να ερμηνευθεί πώς

σε πολλές πόλεις της εποχής εκείνης (3000-1100 π.Χ.) εγκαταστάσεις αποχέτευσης, που σώζονται σήμερα προκαλούν το θαυμασμό σημερινών ειδικών επιστημόνων για τα τέλεια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης, διατυπώνεται η άποψη ότι κατά το Μινωικό πολιτισμό γινόταν εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος με σκοπό την άρδευση και την επεξεργασία τους[3].

4.2.2. Τα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας στις ΗΠΑ και Άλλες Χώρες.

Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ και άλλες χώρες χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870 (Πίν. 1-1). Όπως στην Ευρώπη, έτσι και στις ΗΠΑ και άλλες περιοχές η "γεωργία-λυμάτων" (sewage farming), που είναι ένας πολύ παλαιός όρος και αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία, έγινε πολύ γρήγορα ευρύτατα γνωστός ως μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο ήμισυ του εικοστού αιώνα αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας είτε με: α) εφαρμογή σε ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (φάρμες), όπου οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, β) συστήματα άρδευσης διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων και γ) εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Αυτά τα νέα σχετικά συστήματα επεξεργασίας τείνουν να επικρατήσουν κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα.

Πίνακας 4.1. Επιλεγμένα πρόδρομα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βασιζόμενα στο έδαφος [3].

Τοποθεσία	Έτος έναρξης	Τύπος	Έκταση (στρ.)	Παροχή (m ³ /h)
Berlin, Γερμανία	1874	S/F	27196	N/A
Braunschweig, Γερμανία	1896	S/F	43991	2523
Croydon - Beddington, Αγγλία	1896	S/F	2509	725
Leamington, Αγγλία	1870	S/F	1599	142
Melbourne, Αυστραλία	1870	S/R	41603	7884
Mexico City, Μεξικό	1900	S/R	448002	89878
Paris, Γαλλία	1869	S/R	6394	12614
Wroclaw, Πολωνία	1882	S/F	7993	4415
Calumet City, MI, ΗΠΑ	1888	R/I	49	173 _s 5
Ely, NV, ΗΠΑ	1908	S/R	1599	252
Fresno, CA, ΗΠΑ	1891	S/R	15986	4100
San Antonio, TX, ΗΠΑ	1895	S/R	15986	4415
Vineland, NJ, ΗΠΑ	1901	R/I	57	142
Woodland, CA, ΗΠΑ	1889	S/R	688	646

N/A = δεν είναι διαθέσιμη

R/I=ταχεία εφαρμογή

S/F=γεωργική εκμετάλλευση βασιζόμενη σε υγρά απόβλητα

S/R-βραδεία εφαρμογή

Στις ΗΠΑ ο αριθμός των δημοτικών επιχειρήσεων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που εξυπηρετούν πληθυσμό 6,6 εκατομμυρίων περίπου, αυξήθηκε από 304 το 1940 σε 571 το 1972. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των μονάδων φυσικών συστημάτων που υπάρχουν στις ΗΠΑ δίδονται στον Πίνακα 4.2. Στη συνέχεια περιγράφονται τα συστήματα με αύξοντα αριθμούς (3), (4) και (5) αυτού του Πίνακα, που αποτελούν σήμερα διεθνώς αναπτυσσόμενες τεχνολογίες.

Ακόμη όμως, ο αριθμός των συστημάτων αυτών αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό, στις άνω από 15000 δημοτικές επιχειρήσεις που εκτιμάται ότι λειτουργούν στις ΗΠΑ. Με την ψήφιση του Ν. 1972 για καθαρό νερό το ενδιαφέρον για τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, που βασίζονται στο έδαφος, έχει αναθεωρηθεί σημαντικά, ως αποτέλεσμα της έμφασης που δίδεται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλωσης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων και τη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώριση της, ως τεχνικής διαχείρισης στον τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων.

Πίνακας.4.2. Ταξινόμηση μονάδων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ[3].

Τόπος συστήματος					Αριθμός μονάδων
1. Απορροφητικά εδαφικά συστήματα					209*10 ^{4α}
2. Τεχνητών λιμνών					7607 ^β
3. Βασισόμενα σε εφαρμογή στο έδαφος					1225
α) Βραδείας εφαρμογής (Βραδείας διήθησης, άρδευσης κ.λ.π.)					
β) Ταχείας διήθησης (SAT)					
γ) Επιφανειακής ροής					
4. Υδροβιότοποι					140
α) Ελευθέρως επιφάνειας					
β) Υποεπιφανειακής ροής					
5. Υδροχαρών φυτών					20
α) Συστήματα με επιπλέοντα φυτά					
β) Συστήματα με βυθισμένα φυτά					
^α Πρόκειται κυρίως για μονοκατοικίες					
^β Απαιτείται συμπληρωματικός έλεγχος					

Οι πιο πρόσφατες κατακτήσεις, στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, είναι οι τεχνητοί υδροβιότοποι με αναδύομενα φυτά και συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά. Το ενδιαφέρον στην εφαρμογή των τεχνητών υδροβιότοπων αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της ανανέωσης της λειτουργικότητας των φυσικών υδροβιότοποι σε συνδυασμό με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από άλλα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά εφαρμόστηκαν αρχικά για αναβάθμιση εκροών τεχνητών λιμνών επεξεργασίας και σταθεροποίησης υγρών αποβλήτων. Περισσότερη, όμως, τεχνολογία, σε αυτόν τον τομέα, αποκτήθηκε με την εφαρμογή των συστημάτων υδροχαρών φυτών[3].

4.2.3. Αντικείμενα και Χαρακτηριστικά των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας.

Σ' αυτό το μέρος, περιγράφονται και συγκρίνονται τα φυσικά χαρακτηριστικά, τα αντικείμενα σχεδιασμού και οι δυνατότητες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με διάφορους τύπους φυσικών συστημάτων. Σύγκριση των χαρακτηριστικών των θέσεων εγκατάστασης, των ιδιαίτερων στοιχείων σχεδιασμού και της προσδοκώμενης ποιότητας των εκροών των βασικών τύπων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δίδονται στους Πίνακες 1-3, 1-4 και 1-5, αντίστοιχα. Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων, με κάποια μηχανική και/ή συμβατική διεργασία. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνιστάται είναι η

Πίνακας 4.3. Σύγκριση χαρακτηριστικών επιλογής θέσης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων[3].

Χαρακτηριστικά	Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή	Υγροβιότοποι	Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά
Τύποι εδάφ.	Αργιλοπηλώδη-αμμοπηλώδη	Αμμώδη - αμμοπηλώδη	Αργιλώδη - ιλυοπηλώδη	Αργιλώδη με αδιαπέρατες στρώσεις	Αργιλώδη με αδιαπέρατες στρώσεις
Κλίση	< 15% σε καλλιεργ. εδάφη	< 10% μόνο για την αποφυγή αναχωμάτων	Τελική κλίση 1-8%	Συνήθως <5%	Συνήθως <5%
	< 40% σε ακαλλιέργητα				
Βάθος εδάφ. (m)	>0,6	>1,5	>0,3	<0,6	<1,0
Υδραυλ. Αγωγιμότητα (mm/h)	Βραδεία-μετρίως ταχεία (1,5-500)	Ταχεία (> 50)	Πολύ βραδ. μετρίως βραδ. (<5,0)	Πολύ βραδ. έως βραδεία -	Πολύ βραδ. έως βραδεία -

Βάθος έως τον υδροφ. ορίζοντα (m)	0,6-1	6,0 ^α	Δεν θεωρείται κρίσιμο	Δεν θεωρείται κρίσιμο	Δεν θεωρείται κρίσιμο
Κλιματικές συνθήκες (Προσυγκέντρωση - αποθήκευση)	Μόνο σε περιόδους ψύχους & ισχυρών βροχών	Όχι(πιθανές τροποποιήσεις) σε περιόδους ψύχους	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους

^α Σε περιπτώσεις υδροφόρων σχηματισμών σε μικρά βάθη θα πρέπει να εγκαθίστανται κατάλληλα συστήματα στράγγισης.

^β Σε εδάφη με υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα πρέπει να θεωρούνται πιθανές επιδράσεις σε υπόγειους υδροφορείς.

εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση, με σκοπό την απομάκρυνση στερεών, που θα μπορούσαν να προξενήσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για πιο υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία εξαρτάται από τα αντικείμενα και τους σκοπούς του συστήματος και τους σχετικούς κανονισμούς που ισχύουν. Σημειώνεται ότι η ικανότητα όλων σχεδόν των φυσικών συστημάτων για επεξεργασία ιλύος υγρών αποβλήτων είναι περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται και να διαχειρίζονται με δεδομένη αυτήν την προϋπόθεση.

Βραδεία Εφαρμογή. Η βραδεία εφαρμογή αποτελεί τον επικρατέστερο σήμερα τύπο φυσικού συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυτό, συνοπτικά, περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εφαρμογή του προεπεξεργασμένου αποβλήτου σε έδαφος με φυτική βλάστηση, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία του και την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης. Το εφαρμοζόμενο απόβλητο είτε χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών ή διηθείται και κατεισδύει στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Σχ. 4.1). Κάθε πιθανή επιφανειακή απορροή, συνήθως, συγκεντρώνεται και επανα-εφαρμόζεται στο σύστημα. Η επεξεργασία του αποβλήτου διενεργείται καθώς αυτό διηθείται στο

Πίνακας 4.4. Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων[3].

Χαρακτηριστικά	Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή	Υγροβιότοποι	Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά
Επιδιωκόμενοι σκοποί	Β/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία και μηδενική εκροή	Β/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία ή εμπλουτισμ υδροφόρων	Β/βάθμια ή επεξεργασία με υψηλή απομάκρ. Ν	Β/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία	Β/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμ. ή επιφανειακά ^α	Συνήθως επιφανειακά	Καταιονισμ. ή επιφανειακά	Καταιονισμ. ή επιφανειακά	Επιφανειακά
Υδραυλικό φορτ. (m/έτος)	0,61-6, 10	6,0-90,0	7,3-56,7	5,5-18,3	5,5-18,3
Απαιτούμενη επιφάνεια(στρ./($10^3\text{m}^3/\text{d}$)	60-590	4,0-60	6,50-48,10	19,20-66,3	19,20-66,3
Ελάχιστη προεπεξεργασία	Α/βάθμια επεξεργασία (καθίζηση) ^β	Α/βάθμια επεξεργασία (καθίζηση) ^β	Α/βάθμια επεξεργασία (εσχάρωση)	Α/βάθμια επεξεργασία	Α/βάθμια επεξεργασία

Διάθεση αποβλήτου (κύριοι διεργασικοί μηχανισμοί)	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση - κατείσδυση	Κυρίως διηθ.. - κατείσδυση διαπνοή	Κυρίως επιφ. απορροή και εξάτμιση - διαπνοή	Εξατμισοδιαπνοή ή κατείσδυση & απορροή	Μερική εξατμισοδιαπνοή
Φυτική βλάστηση ^γ	Αναγκαία	Προαιρετική	Αναγκαία	Αναγκαία	Αναγκαία

^α Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται ύλες σχεδόν οι μέθοδοι επιφανειακής άρδευσης (αυλάκια, λεκάνες και άλλες).

^β Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης.

^γ Για λόγους δημόσιας υγείας, δεν χρησιμοποιούνται συνήθως φυτά, που η παραγωγή τους καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο.

στο έδαφος. Στις περισσότερες περιπτώσεις το απόβλητο κατεισδύει στον υποκείμενο υπόγειο υδροφόρο, αλλά είναι δυνατό να συναντηθεί με επιφανειακό νερό ή ακόμη και να ανακτηθεί με στραγγιστικά ή φρεατικά έργα. Η ταχύτητα εφαρμογής του αποβλήτου, δηλαδή το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (ύψος νερού κατά μονάδα επιφάνειας) και η επιλογή και η διαχείριση της φυτικής βλάστησης αποτελούν βασικά στοιχεία σχεδιασμού του συστήματος.

Η εφαρμογή του υγρού αποβλήτου στο έδαφος μπορεί να γίνει με μια ποικιλία μεθόδων, όπως είναι οι επιφανειακές μέθοδοι (λεκάνες, αύλακες και άλλες) ή με καταιονισμό (Σχ.4.1 και Σχ.4.2). Με σκοπό την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών στο έδαφος επιβάλλεται η μη συνεχής εφαρμογή του αποβλήτου σε αυτό. Οι ενδιάμεσοι κύκλοι εφαρμογής κυμαίνονται συνήθως από 4-10 ημέρες. Η σχετικά βραδεία εφαρμογή του αποβλήτου, σε συνδυασμό με την παρουσία της φυτικής βλάστησης και την ενδογενή δυνατότητα του εδαφικού οικοσυστήματος, δημιουργούν στα συστήματα βραδείας εφαρμογής υψηλό δυναμικό επεξεργασίας[3].

Ταχεία Διήθηση ή Εφαρμογή. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται επίσης SAT (Soil-Aquifer-Treatment, δηλαδή Έδαφος –Υδροφορέας -Επεξεργασία). Με τα συστήματα αυτά το υγρό απόβλητο, που έχει υποστεί προεπεξεργασία, εφαρμόζεται σε αβαθείς επιφανειακές λεκάνες διήθησης και επαναλαμβανόμενους κύκλους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Η εφαρμογή του αποβλήτου είναι δυνατή και με εκτοξευτές υψηλής ταχύτητας. Συνήθως, σε τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη φυτικής βλάστησης πλην της περιπτώσεως όπου η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται με εκτοξευτές. Επειδή σε τέτοια συστήματα τα φορτία και οι ταχύτητες εφαρμογής είναι σχετικά υψηλά, οι απώλειες με εξάτμιση είναι μικρές και γι' αυτό ο μεγαλύτερος όγκος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου κατεισδύει στο έδαφος, όπου διενεργείται περαιτέρω επεξεργασία του. Τα συστήματα ταχείας διήθησης περιλαμβάνουν επεξεργασία, που ακολουθείται από: α) Εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα για αναπλήρωση και/ή προστασία του κυρίως από διείσδυση και ανάμειξη με αλμυρό νερό, β) ανάκτηση με στραγγιστή ή άντληση και γ) φυσική ροή του υπόγειου νερού και απόληξη σε επιφανειακή πηγή. Το δυναμικό επεξεργασίας με τέτοια συστήματα είναι κατά κάποιο τρόπο μικρότερο από αυτό των συστημάτων βραδείας εφαρμογής, εξαιτίας της μικρότερης

κατακράτησης σε πιο περατά εδάφη εφαρμογής και με μεγαλύτερες ταχύτητες του υδραυλικού φορτίου[3].

Πίνακας 4.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με γήινα φυσικά συστήματα[3].

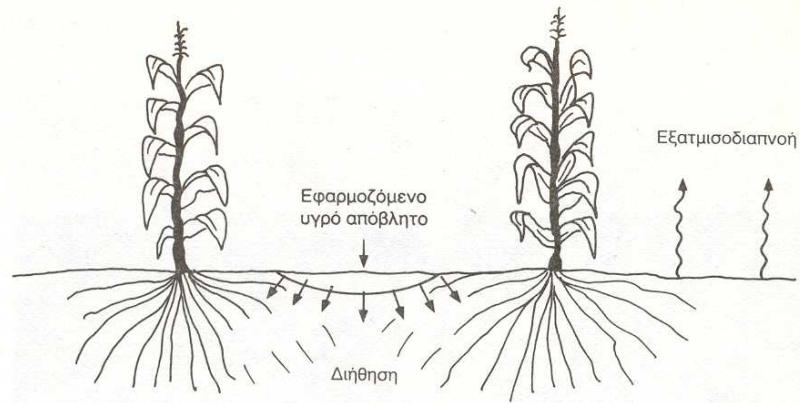
Συστατικό	Βραδεία εφαρμογή ^α		Ταχεία διήθηση ^β		Επιφανειακή ροή ^γ	
	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος	Υψηλότερη δυνατή	Μέσος όρος
BOD	<5	<2	<10	5	< 15	10
Στερεά σε αιώρηση	<5	< 1	<5	2	< 20	10
N-NH ₃	<2	<0,5	<2	0,5	<8	<4
Ολικό -N	<8	3	< 20	H)	< 10	5
Ολικός -P	<0,3	<0,1	<5	1	<6	4
Κολοβακτηρ (No/100 cm ³)	< 10	0	< 200	10	< 200	200

Όλες οι μονάδες μέτρησης αναφέρονται σε mg/L εκτός όπου αναφέρονται διαφορετικές.

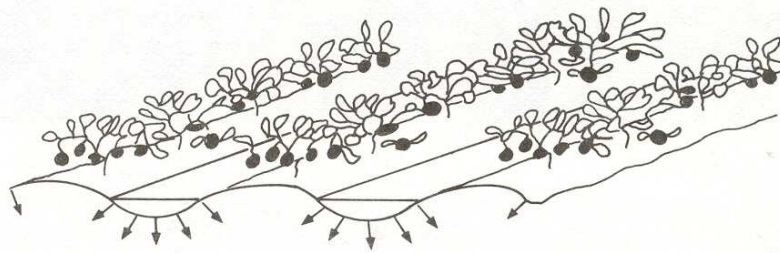
^α Κατείσδυση μέχρι 1,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής υπό ακόρεστες συνθήκες.

^β Κατείσδυση μέχρι 4,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής. Για μεγαλύτερα βάθη κατείσδυσης έχουν διαπιστωθεί ακόμη υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το P και τα κολοβακτηριώδη.

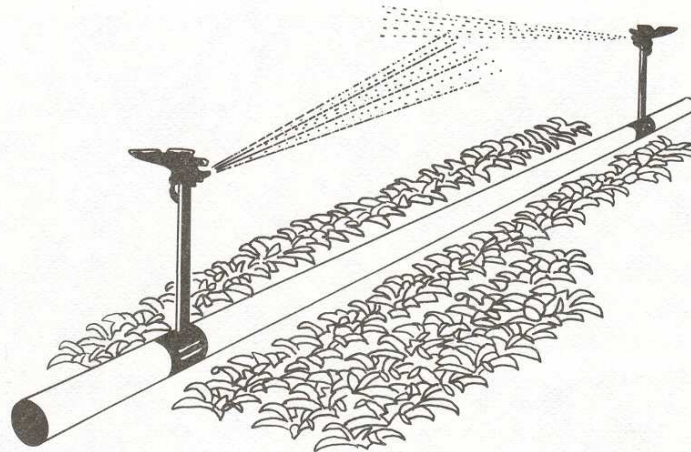
^γ Απορροή αστικού υγρού αποβλήτου σε κλίση 45 m περίπου.



(α)

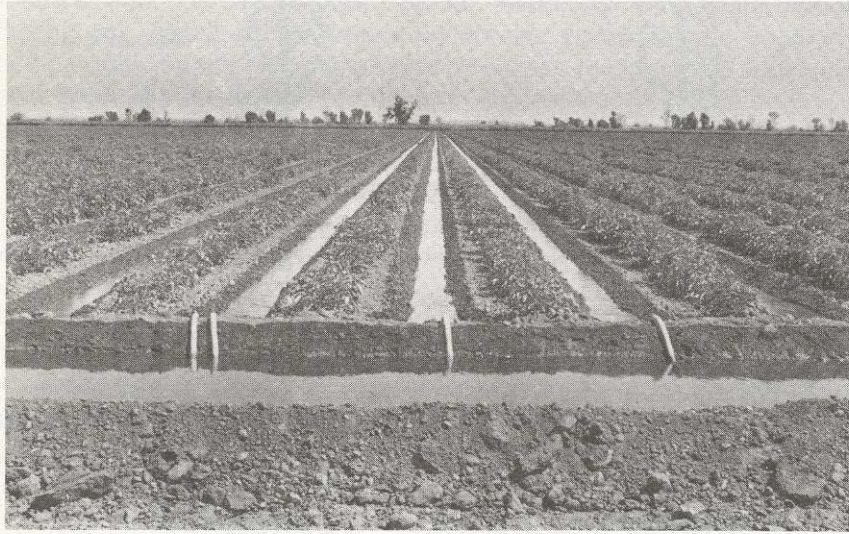


(β)

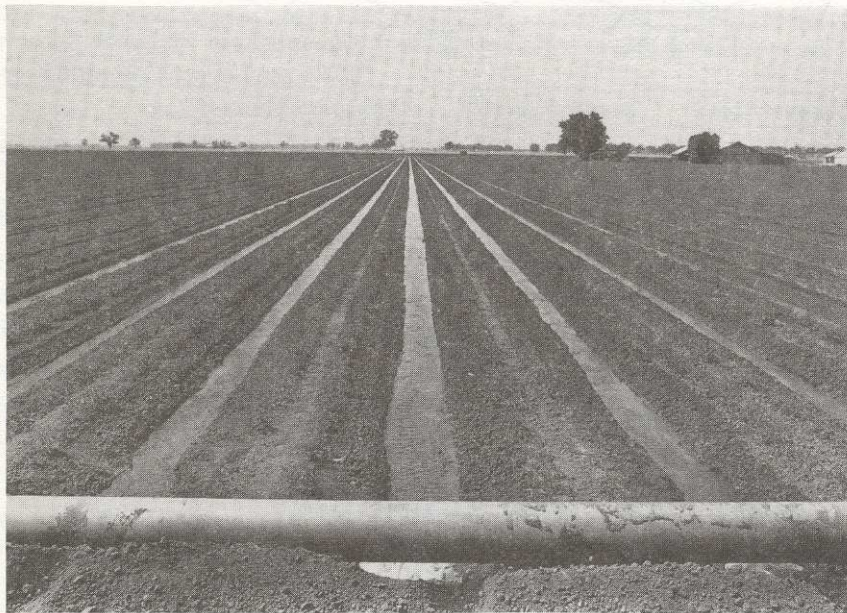


(γ)

Σχ.4.1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής : α) Υδραυλική ροή, β) επιφανειακή ροή και γ) εφαρμογή με καταιονισμό[3]

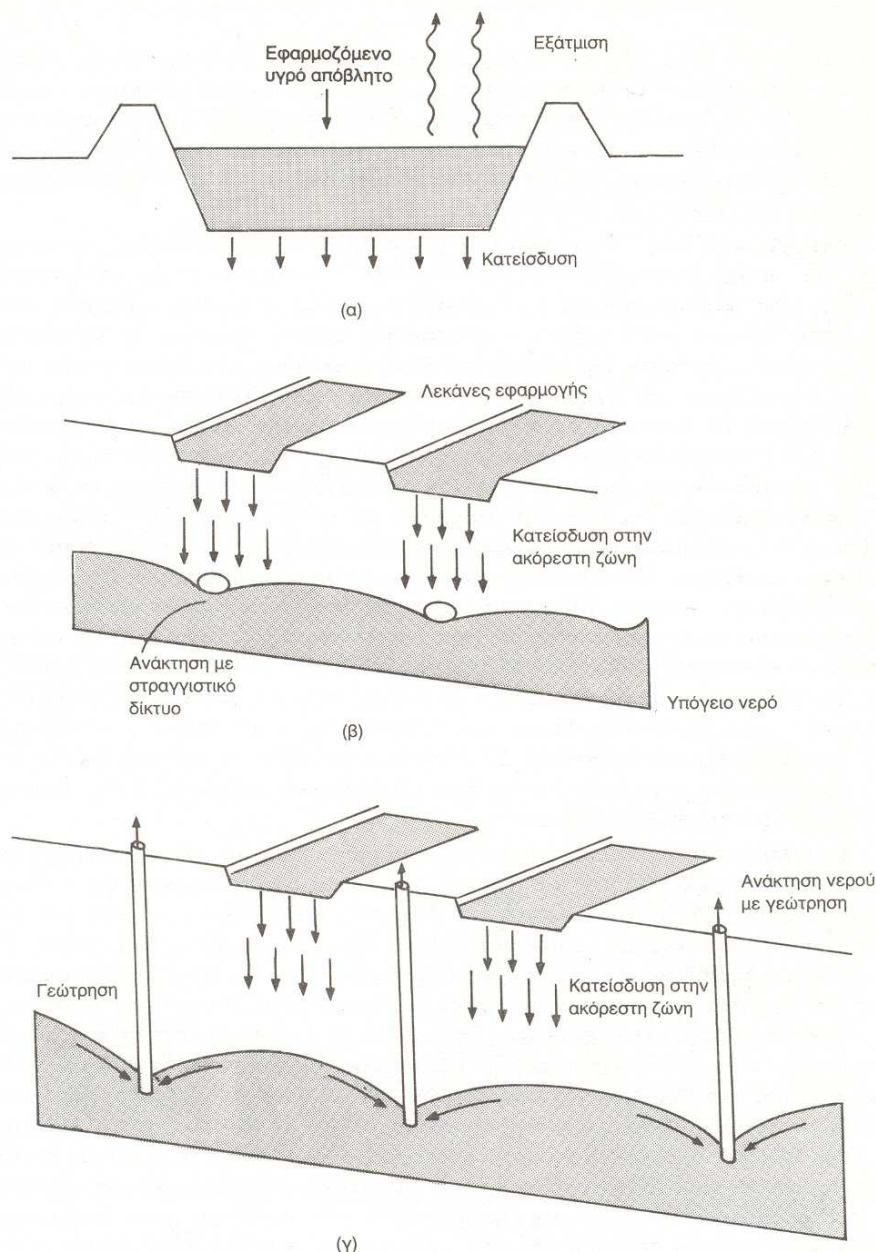


(α)



(β)

Σχ.4.2. Διανομή υγρών αποβλήτων σε συστήματα βραδείας εφαρμογής με τη μέθοδο των αυλάκων με : Ανεξάρτητη τάφρο εφοδιασμού και β) σωλήνα με ρυθμιζόμενες εξόδους[3].



Σχ.4.3.Σχηματική απεικόνιση συστήματος ταχείας διήθησης (SAT) : α) Υδραυλική ροή, β) ανάκτηση με στραγγιστικό δίκτυο και γ) ανάκτηση με γεωτρήσεις[3].

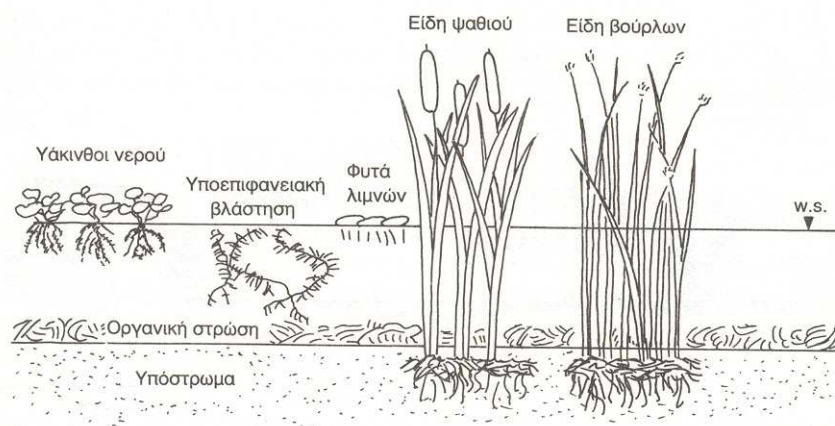
Επιφανειακή Ροή, Τα συστήματα επιφανειακής ροής βασίζονται στην εφαρμογή του προεπεξεργασμένου υγρού αποβλήτου κατά μήκος της υψηλότερης πλευράς μιας διαβαθμισμένης, κεκλιμένης επιφάνειας με φυτική βλάστηση, που επιτρέπει την ροή του σε όλη την έκταση της και τη συλλογή της επεξεργασμένης εκροής στο τέλος της κλίσης της. Μια σχηματική απεικόνιση αυτών των διεργασιών δίδεται στο Σχ. 4.4. Συνήθως, τα συστήματα επιφανειακής ροής εφαρμόζονται σε θέσεις με εδάφη σχετικά αδιαπέρατα, αν και οι διεργασίες αυτών των συστημάτων έχουν εφαρμογή σε μια ποικιλία εδαφικών τύπων και κυρίως υδραυλικών αγωγιμοτήτων, επειδή η περατότητα του εδάφους σε τέτοια συστήματα μειώνεται σημαντικά με το χρόνο. Με αυτά τα συστήματα η εδαφική διήθηση του αποβλήτου είναι

περιορισμένη και αποτελεί μια μειωμένη υδραυλική δίοδο του αποβλήτου. Ο κύριος όγκος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου συλλέγεται ως επιφανειακή απορροή. Μέρος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου εξατμιοδιαπνέεται. Οι συνολικές απώλειες του υγρού αποβλήτου εξαρτώνται από την εποχή του έτους, τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και το είδος της φυτικής βλάστησης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με εναλλασσόμενες περιόδους "εφαρμογής και ανάπαυσης (ξήρανσης). Η χρονική διάρκεια της κάθε περιόδου εξαρτάται από το σκοπό της επεξεργασίας. Σ' αυτά τα συστήματα η διανομή γίνεται με εκτοξευτές υψηλής ή χαμηλής πίεσης ή με επιφανειακές μεθόδους, όπως είναι οι σωλήνες με ρυθμιζόμενες εξόδους[3].



Σχ.4.4. Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής[3].

Υγροβιότοποι. Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό συνήθως μικρού βάθους (< 0,6 m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά όπως είναι: διάφορα είδη κύπερης (φυτά της οικογένειας *Cyperaceae*, κυρίως του γένους *Carex spp.*), καλάμια (φυτά του γένους *Phragmites*, κυρίως του είδους *P. communis*), είδη βούρλων (φυτά του γένους *Scirpus*) και άλλα όπως είναι είδη ψαθίου και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*). Τυπικά φυτά που χρησιμοποιούνται σε υγροβιότοπους αναφέρονται στο Σχήμα 4.5. Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί, όσο και οι φυσικοί υγροβιότοποι. Οι φυσικοί όμως υγροβιότοποι έχουν περιορισμένη χρήση στην αποδοχή και/ή περαιτέρω επεξεργασία εκροών δευτεροβάθμιας ή ακόμη προωθημένης επεξεργασίας[3].

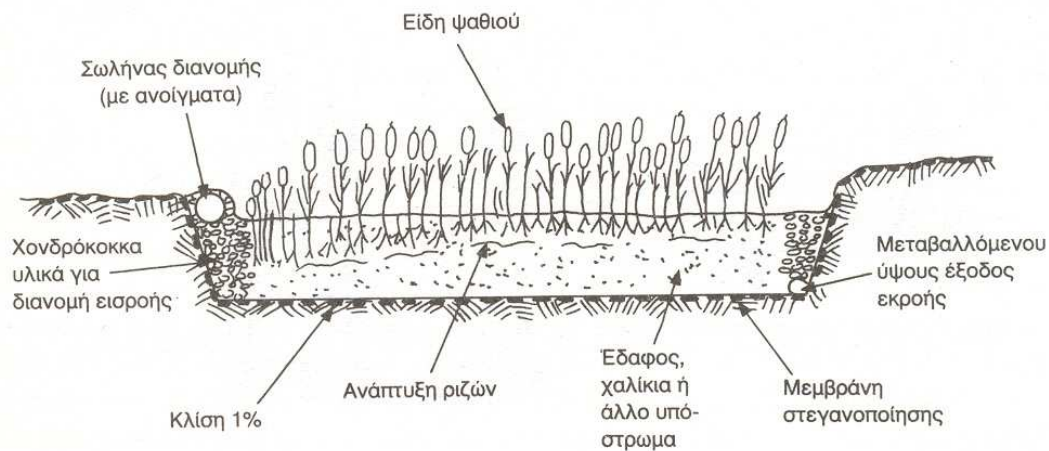


Σχ.4.5.Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών[3].

Φυσικοί υγροβιότοποι. Από μια κανονιστική άποψη οι φυσικοί υγροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως υδατικοί αποδέκτες. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, που οι φυσικοί υγροβιότοποι δέχονται εκροές δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας, πληρούν κανονιστικές απαιτήσεις. Επιπλέον, το κύριο αντικείμενο χρησιμοποίησης φυσικών υγροβιότοπων, ως αποδεκτών εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, είναι η ενίσχυση προϋπάρχοντος εθίμου. Τροποποιήσεις σε υπάρχοντες υγροβιότοπους με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών επεξεργασίας πρέπει γενικά να αποφεύγονται, γιατί μπορεί να προξενήσουν προβλήματα στο φυσικό οικοσύστημα[3].

Τεχνητοί υγροβιότοποι. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υγροβιότοπων, αλλά χωρίς τους περιορισμούς, που αφορούν τη διάθεση εκροών σε φυσικά οικοσυστήματα. Για την περαιτέρω επεξεργασία προ-επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι: α) Αυτά της ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και β) τα υποεπιφανειακής ροής (SFS). Τα FWS συστήματα αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1-0,6 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχούς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή του ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών και ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος. Επίσης, τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιάζονται με σκοπό τη δημιουργία νέων εθίμων και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υγροβιότοπων ή ενίσχυση υφιστάμενων φυσικών υγροβιότοπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοικτών και μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού με αναζωογόνηση των υφιστάμενων εθίμων. Ανάλογα, τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης συστήματα "ριζόσφαιρας" ή "φίλτρων εδάφους-καλαμιών" και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες που περιέχουν

άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης (Σχ. 4.6)[3].



Σχ.4.6. Εγκάρσια τομή ενός τυπικού SFS συστήματος[3].

Συστήματα Επιπλεόντων Υδροχαρών Φυτών. Τα συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών ομοιάζουν στη βασική σύλληψη τους με αυτά των υγροβιότοπων ελευθέρως επιφανείας με τη διαφορά ότι τα χρησιμοποιούμενα φυτά είναι επιπλέοντα είδη, όπως είναι ο υάκινθος του νερού (*Eichhornia crassipes*) και διάφορα είδη της οικογένειας *Lemnaceae*. Σ' αυτά τα συστήματα το βάθος του νερού είναι συνήθως μεγαλύτερο από αυτό των συστημάτων των τεχνητών υγροβιότοπων (FWS) και συνήθως κυμαίνεται από 0,5 έως 1,8 m. Επίσης, σ' αυτά τα συστήματα εφαρμόζεται συνήθως συμπληρωματικός αερισμός για την αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας και τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών και βιολογικού ελέγχου της ανάπτυξης κουνουπιών. Τέτοια επιπλέοντα υδροχαρή φυτά έχουν επίσης, χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση αλγών από εκροές λιμνών σταθεροποίησης. Τα συνήθη υδραυλικά φορτία και η ειδική έκταση των συστημάτων επεξεργασίας με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά είναι ισοδύναμα των αντίστοιχων συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων[3].

Υδατοκαλλιέργεια. Υδατοκαλλιέργεια είναι η ανάπτυξη ψαριών και άλλων υδροβίων οργανισμών σε εκροές υγρών αποβλήτων για την παραγωγή πηγών φυτικών τροφών και κυρίως βιομάζας. Σε διάφορες χώρες, τα υγρά απόβλητα έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές περιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις το κύριο αντικείμενο τέτοιων συστημάτων ήταν η παραγωγή βιομάζας και η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου αποτελούσε επί μέρους ή δευτερεύοντα σκοπό. Η επιτυγχανόμενη με τέτοια συστήματα επεξεργασία οφείλεται εξ ολοκλήρου στα βακτήρια, που αναπτύσσονται και εγκαθίστανται στα επιπλέοντα υδροχαρή φυτά. Γενικά, ο συνδυασμός της υδατοκαλλιέργειας και της επεξεργασίας του υγρού αποβλήτου, ως μιας ενιαίας λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Ιδιαίτερα, θα πρέπει να καθορισθεί η επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία, που μπορεί να οφείλεται στους υδρόβιους οργανισμούς που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα[3].

4.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα βασικά στοιχεία, που θα πρέπει να θεωρούνται για επιτυχή σχεδιασμό, εγκατάσταση και λειτουργία των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συνοψίζονται στη γνώση των χαρακτηριστικών του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου, των μηχανισμών επεξεργασίας, των θέσεων-απόψεων για τη δημόσια υγεία. Έμφαση δίνεται στα συστήματα εφαρμογής στο έδαφος, τους υδροβιότοπους και τα υδροχαρή φυτά.

4.3.1. Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων και Μηχανισμοί Επεξεργασίας.

Όπως περιγράφεται στην Εισαγωγή, η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου με φυσικά συστήματα διενεργείται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, που συμβαίνουν στο οικοσύστημα "γήινοι σχηματισμοί -φυτό-υγρό απόβλητο". Γενικά, τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι ικανά για απομάκρυνση σε ικανοποιητικό βαθμό, όλων σχεδόν των κυρίων και δευτερευόντων ρυπαντικών συστατικών των υγρών αποβλήτων. Τέτοια είναι τα αιωρούμενα στερεά, το οργανικό φορτίο, το άζωτο, ο φωσφόρος, τα ανόργανα και οργανικά σε ίχνη και οι μικροοργανισμοί (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6. Τυπική σύνθεση αστικών υγρών αποβλήτων[3].

Συστατικό	Τύπος υγρού αποβλήτου			
	Δυνατό	Ενδιάμεσο	Αδύνατο	U.S. Μέσος όρος
BOD - 5η μέρα και 20°C	400	220	110	181
TOC	290	160	80	102
COD	1000	500	250	417
Στερεά, ολικά	-	-	-	
Διαλυμένα	1200	720	350	
στερεά	850	500	250	
εξαχνούμενα	525	300	145	
Αιωρούμενα	350	220	100	192
στερεά	75	55	20	
εξαχνούμενα	275	165	80	
Καθιζάνοντα (cm ³ /L)	20	10	5	
Άζωτο, ολικό	85	40	20	34
οργανικό	35	15	8	13
NH ₃ -N	50	25	12	20
NO ₂ -N	0	0	0	
NO ₃ -N	0	0	0	0,6
Φωσφόρος, ολικός	15	8	4	9,4
οργανικός	5	3	1	2,6
ανόργανος	10	5	3	6,8
Λίπη - έλαια	150	100	50	
Χλωριόντα	100	50	30	
Βόριο				0,7-1,7 ^β
Διαλυτό Na (%)				50-70 ^β
EC (dS/m)				2,0-3,0 ^β
SAR				3-9 ^β
Σκληρότητα (CaCO ₃)				200-300 ^β
Αλκαλικότητα (CaCO ₃)	200	100	50	211

Ολικά κολοβακτη- ριοειδή σε MPN/100 cm ³	> 100.000	20-50.000	5000	22 x 10 ⁶
Κοπρανώδη κολοβακτη- ρίδια σε MPN/100 cm ³				8 X 10 ⁶
Ιοί σε PFU/100cm ³				3,6

^α Όλες οι μονάδες εκφράζονται σε mg/l εκτός όπου αναφέρονται διαφορετικές.

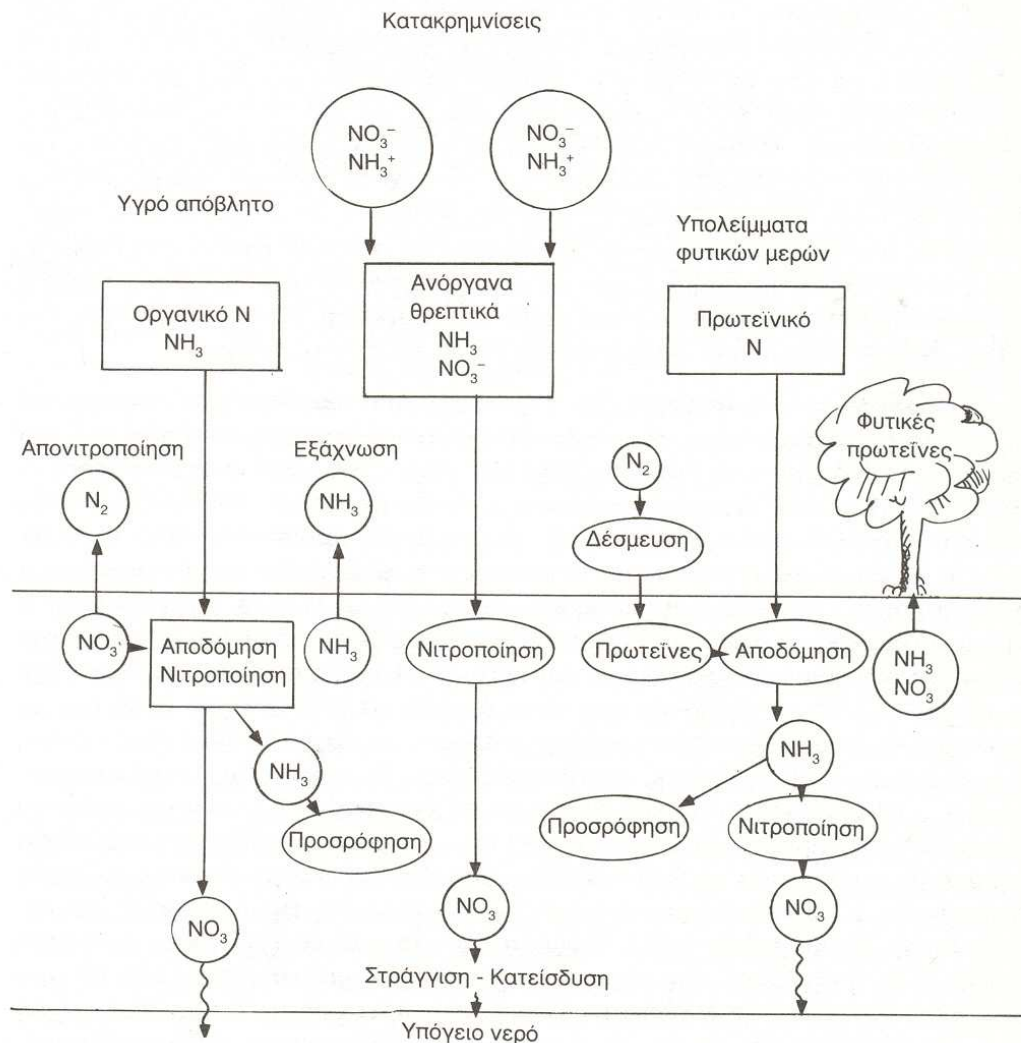
^β Από επιλεγμένες μονάδες στην California.

Αιωρούμενα Στερεά. Στα συστήματα που χαρακτηρίζονται από ροή της εφαρμοζόμενης εκροής στην εδαφική επιφάνεια, όπως σ' αυτά της επιφανειακής ροής, των υδροβιότοπων και των υδροχαρών φυτών, τα αιωρούμενα στερεά, απομακρύνονται μερικώς με καθίζηση, που ευνοείται από τις επικρατούσες μικρές ταχύτητες ροής και το μικρό βάθος νερού και μερικώς με φιλτράρισμα διαμέσου του εδαφικού βιολογικού φίλτρου και φυσικά της φυτικής βλάστησης. Συμπληρωματική απομάκρυνση στερεών συντελείται στην εδαφική διεπιφάνεια. Αντίθετα, στα συστήματα που χαρακτηρίζονται από ροή της εφαρμοζόμενης εκροής υποεπιφανειακά, όπως είναι η βραδεία εφαρμογή, η ταχεία διήθηση και οι υδροβιότοποι τύπου SFS, τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται κυρίως με φιλτράρισμα τους στο έδαφος ή στο υπέδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε μερικές, όμως, περιπτώσεις, όπως στα συστήματα ταχείας διήθησης, η καθίζηση στη διάρκεια εφαρμογής του αποβλήτου μπορεί να είναι σημαντική διεργασία απομάκρυνσης. Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής και ταχείας διήθησης ο κύριος όγκος των στερεών απομακρύνεται πλησίον της εδαφικής επιφάνειας σε πολύ μικρό βάθος του εδάφους. Έτσι, τείνει να μειώνεται η διηθητική ικανότητα του εδάφους και γι' αυτό τέτοια συστήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν με κύριο κριτήριο τη διατήρηση της αρχικής ταχύτητας διήθησης του εδάφους[3].

Οργανικό Φορτίο. Η αποδομούμενη οργανική ουσία, διαλυμένη ή σε αιώρηση που αποτελεί συστατικό των υγρών αποβλήτων, απομακρύνεται με τη διεργασία της βιολογικής αποδόμησης. Οι μικροοργανισμοί, που διενεργούν βιολογική αποδόμηση, αναπτύσσονται υπό μορφή λεπτών μεμβρανών ή γλοιωδών εκκρίσεων τους στις επιφάνειες των εδαφικών σωματιδίων, της φυτικής βλάστησης ή των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων και προϋποθέτουν την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών. Γενικά, τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται και λειτουργούν συνήθως υπό αερόβιες συνθήκες, με σκοπό να προάγεται η αποδόμηση με αερόβιους μικροοργανισμούς, που είναι πιο ταχεία και πλήρης διεργασία, σε σύγκριση με την αναερόβια αποδόμηση. Έτσι, περιορίζεται, επίσης, το δυναμικό ανεπιθύμητων οσμών, που προξενεί η αναερόβια αποδόμηση. Μια εξαίρεση, βέβαια, στην επικράτηση αερόβιων συνθηκών αποτελούν τα συστήματα που σχεδιάζονται με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απομάκρυνσης του αζώτου με απονιτροποίηση. Σε τέτοια συστήματα θα πρέπει να ευνοούνται περιοδικά και τοπικά ανοξικές συνθήκες, με σκοπό την επιτάχυνση της διεργασίας της απονιτροποίησης. Η ικανότητα των φυσικών συστημάτων για αερόβια αποδόμηση οργανικής ουσίας περιορίζεται, όταν το οξυγόνο προέρχεται κατ' ευθείαν από την ατμόσφαιρα. Γι' αυτό τα συστήματα αυτά

πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε, η ταχύτητα εφαρμογής του φορτίου BOD να είναι μικρότερη από την εκτιμώμενη ταχύτητα μεταφοράς οξυγόνου προς το σύστημα[3].

Άζωτο. Γενικά, ανάλογες διεργασίες με αυτές των οργανικών ουσιών συμβαίνουν και στην περίπτωση αζωτούχων ειδών, στο περιβάλλον έδαφος-νερό. Η μετατροπή και απομάκρυνση του αζώτου σε ένα φυσικό σύστημα περιλαμβάνει πολύπλοκες διεργασίες και αντιδράσεις που παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχ. 4.7. Οι μηχανισμοί, που αφορούν την απομάκρυνση του αζώτου από υγρά απόβλητα, εξαρτώνται από τα παρόντα είδη του αζώτου. Συνήθως, η επικρατέστερη μορφή αζώτου είναι το οργανικό και το αμμωνιακό άζωτο, εκτός από την περίπτωση που τα υγρά απόβλητα έχουν υποστεί νιτροποίηση, κατά τη διάρκεια τριτοβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας τους[3].



Σχ.4.7. Μετατροπές αζώτου σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας[3].

Οργανικό άζωτο. Το οργανικό άζωτο, που περιέχεται στα αιωρούμενα στερεά των υγρών αποβλήτων, απομακρύνεται όπως προαναφέρεται σε μεγάλο ποσοστό με καθίζηση και φιλτράρισμα. Επίσης, το οργανικό άζωτο, υπό τη μορφή στερεών συστατικών του αποβλήτου, που συνήθως περιέχεται

σε πολύπλοκες, μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιγνίνη, μπορεί να ενσωματώνεται κατ' ευθείαν στην οργανική μάζα ή στο χούμο του εδάφους. Ένα ποσοστό του οργανικού αζώτου υδρολύεται σε διαλυτά αμινο-οξέα και μπορεί να υποστεί περαιτέρω διάσπαση κατά την οποία ελευθερώνεται ιονισμένο αμμώνιο (NH_4^+)[3].

Αμμωνιακό άζωτο. Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να ακολουθεί διάφορες δίοδους απομάκρυνσης του στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Διαλυμένη αμμωνία μπορεί να απομακρυνθεί με εξάχνωσή της, ως αέριος αμμωνία, κατ' ευθείαν στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό απομάκρυνσης με αυτή τη δίοδο είναι σχετικά μικρό (< 10%), εκτός από την περίπτωση που χρησιμοποιούνται δεξαμενές σταθεροποίησης, όπου επικρατούν συνθήκες μακρού χρόνου κράτησης και υψηλού PH, που είναι ευνοϊκές για εξάχνωσή της αμμωνίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εισερχόμενου και/ή παραγόμενου, σε ένα φυσικό σύστημα, αμμωνίου προσροφάται προσωρινά δια μέσου αντιδράσεων εναλλαγής ιόντων σε εδαφικά οργανικά και αργιλικά σωματίδια. Το προσροφημένο αμμώνιο είναι διαθέσιμο για πρόσληψη του από τα φυτά και/ή μικροοργανισμούς ή για μετατροπή του σε νιτρικό άζωτο, δια μέσου της βιολογικής νιτροποίησης. Επειδή το δυναμικό προσρόφησης του αμμωνίου σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι πεπερασμένο, είναι απαραίτητη η νιτροποίηση του για περαιτέρω απελευθέρωση του και αναγέννηση νέων περιοχών προσρόφησης. Αυτός ο κύκλος προσρόφησης-απόδοσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός στα συστήματα επιφανειακής ροής, όπου η προσρόφηση περιορίζεται στην κεκλιμένη επιφάνεια ροής του υγρού αποβλήτου και επομένως το δυναμικό προσρόφησης είναι περιορισμένο[3].

Νιτρικό άζωτο. Το νιτρικό άζωτο φέρει αρνητικό φορτίο, δεν συγκρατείται με αντιδράσεις εναλλαγής και συνήθως παραμένει σε διάλυση και μεταφέρεται με τη ροή του νερού. Έτσι, όταν το νιτρικό άζωτο δεν απομακρύνεται με πρόσληψη του από φυτά ή απονιτροποίησή του καταλήγει στους υποκείμενους υπόγειους υδροφορείς. Σε συστήματα, με σημαντική κατείσδυση νερού, όπως αυτά της βραδείας εφαρμογής, της ταχείας διήθησης και της διάθεσης-εφαρμογής ιλύος, η μεταφορά νιτρικού αζώτου με το νερό κατείσδυσης, μπορεί να καταστεί επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία. Γι' αυτό, τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται ο αναγκαίος βαθμός απομάκρυνσης νιτρικών από την εκροή κατείσδυσης για ασφαλή προστασία των υπόγειων υδροφορέων. Όπως έχει προαναφερθεί, το νιτρικό άζωτο προσλαμβάνεται από τα φυτά, αλλά η απομάκρυνση του με αυτήν τη διεργασία συμβαίνει μόνο στην περιοχή ανάπτυξης των ριζών και την περίοδο ενεργού φυτικής βλάστησης. Η κύρια απομάκρυνση με αυτήν τη διεργασία, επιτυγχάνεται ουσιαστικά με τη συγκομιδή και απομάκρυνση από το σύστημα σημαντικού ποσοστού της παραγόμενης φυτικής βλάστησης. Αντίθετα, όταν η φυτική βλάστηση παραμένει στο σύστημα, το άζωτο που περιέχεται σ' αυτήν επαναεισάγεται στο σύστημα κυρίως ως οργανικό άζωτο. Ο κύριος διεργασιακός μηχανισμός απομάκρυνσης αζώτου από τα συστήματα βραδείας εφαρμογής είναι η πρόσληψη και η περιοδική συγκομιδή και απομάκρυνση της φυτικής βλάστησης[3].

Βιολογική απονιτροποίηση. Το νιτρικό άζωτο απομακρύνεται, επίσης, από τα φυσικά συστήματα με τη διεργασία της βιολογικής απονιτροποίησης και στη συνέχεια τη διάχυση του στην ατμόσφαιρα, κυρίως ως οξειδίου του αζώτου ή ελευθέρου αζώτου. Επίσης, είναι δυνατή η διάλυση αερίων ειδών αζώτου στο εδαφικό νερό. Η βιολογική απονιτροποίησή αποτελεί τον κύριο διεργασιακό μηχανισμό απομάκρυνσης αζώτου με τα συστήματα ταχείας διήθησης, επιφανειακής ροής και υδροχαρών φυτών. Η απονιτροποίηση διενεργείται με επαμφοτερίζοντα βακτήρια υπό ανοξικές συνθήκες. Γι' αυτήν την διεργασία δεν είναι απαραίτητο να επικρατούν ανοξικές συνθήκες σε ολόκληρο το σύστημα. Έτσι, απονιτροποίηση είναι δυνατό να συμβαίνει σε ανοξικές μικροπεριοχές, παρακείμενες σε ευρύτερες αερόβιες περιοχές. Για μεγιστοποίηση, όμως, της απονιτροποίησης θα πρέπει να βελτιστοποιούνται οι απαιτούμενες συνθήκες γι' αυτήν τη διεργασία. Για την ολοκλήρωση της βιολογικής απονιτροποίησης, εντός των ανοξικών συνθηκών, απαιτείται και μια αυξημένη αναλογία άνθρακα/αζώτου. Μια αναλογία άνθρακα/αζώτου τουλάχιστον 2:1 είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση της διεργασίας απονιτροποίησης. Βιομάζα από τη φυτική βλάστηση ορισμένων συστημάτων, όπως αυτά των υδροχαρών φυτών, μπορεί να αποτελέσει μια μερική πηγή άνθρακα. Σε συστήματα, όμως, με υψηλά φορτία, όπως συνήθως σε αυτά της ταχείας διήθησης και της επιφανειακής ροής, η πηγή άνθρακα θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο εφαρμοζόμενο υγρό απόβλητο. Έτσι, σε φυσικά συστήματα με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, που έχουν συνήθως αναλογία άνθρακα/αζώτου <1 , δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί η απομάκρυνση αζώτου, χωρίς να ληφθούν συμπληρωματικά μέτρα[3].

Φωσφόρος. Ο φωσφόρος στο έδαφος ευρίσκεται συνήθως υπό μορφή ορθοφωσφορικών αλάτων, που μπορούν να προσροφούνται από αργιλικά και ορισμένα οργανικά εδαφικά σωματίδια και να μεταφέρεται στη στερεά εδαφική μάζα. Οι κύριοι διεργασιακοί μηχανισμοί απομάκρυνσης του φωσφόρου σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι η χημική κατακρήμνιση και η προσρόφηση. Μικρότερες ποσότητες φωσφόρου είναι δυνατό να απομακρυνθούν με πρόσληψη του από τα φυτά. Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου με ασβέστιο (σε ουδέτερο προς αλκαλικό PH) και σίδηρο ή αλουμίνιο (σε όξινο PH) μπορεί να επιτυγχάνεται σε μικρότερες ποσότητες. Γενικά, η χημική κατακρήμνιση θεωρείται μια σημαντική διεργασία απομάκρυνσης του φωσφόρου. Η προσρόφηση του φωσφόρου είναι σχετικά ισχυρή και ανθίσταται στη μεταφορά του με την ροή του νερού κατείδυσης. Παρ' όλο που το δυναμικό προσρόφησης του φωσφόρου είναι πεπερασμένο, αυτό θεωρείται σχετικά υψηλό ακόμη και σε αμμώδη εδάφη. Έτσι, σε ένα έργο ταχείας εφαρμογής ανεπεξεργαστων υγρών αποβλήτων, στο Calumet του Michigan, μετά από 88 έτη λειτουργίας του, η συγκέντρωση του φωσφόρου στον υποκείμενο υπόγειο υδροφόρα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. 0,1 έως 0,4 mg/L. Η μακροχρόνια, όμως, εφαρμογή δημιουργεί αύξηση του διαλυμένου φωσφόρου στο επιφανειακό έδαφος (0,3m), που οφείλεται στην επικράτηση κορεσμένων συνθηκών στη ζώνη προσρόφησης. Ο επιταχυνόμενος βαθμός απομάκρυνσης του φωσφόρου, με ένα φυσικό σύστημα επεξεργασίας, εξαρτάται από τον αντίστοιχο βαθμό επαφής του αποβλήτου με τη στερεά μάζα του εδάφους. Έτσι, τα συστήματα που χαρακτηρίζονται από ροή του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου στην

επιφάνεια του εδάφους, όπως αυτά της επιφανειακής ροής και των υδροχαρών φυτών, έχουν περιορισμένο δυναμικό απομάκρυνσης του φωσφόρου[3].

Ίχνη Ανόργανων Στοιχείων. Η απομάκρυνση των ανόργανων στοιχείων, κυρίως των μετάλλων, διενεργείται με πρόσφηση (ένας όρος που περιλαμβάνει προσρόφηση και χημική κατακρήμνιση) και σε μικρότερο βαθμό με πρόσληψη τους από τις ρίζες των φυτών. Γενικά, τα μέταλλα παραμένουν στο έδαφος ή στα ιζήματα των συστημάτων υδροχαρών φυτών. Το δυναμικό κατακρήμνισης μετάλλων στα περισσότερα εδάφη και στα διάφορα ιζήματα είναι γενικά υψηλό, ιδιαίτερα υπό συνθήκες $\text{PH} > 6$. Αντίθετα, υπό αναερόβιες συνθήκες και $\text{PH} < 6$, ορισμένα μέταλλα είναι περισσότερο διαλυτά και μπορούν να απελευθερώνονται στην εδαφική διάλυση. Η απομάκρυνση μετάλλων στα διάφορα φυσικά συστήματα ποικίλει και εξαρτάται από τη συγκέντρωση τους στην εφαρμοζόμενη εκροή και τις τοπικές συνθήκες. Τα ποσοστά απομάκρυνσης τους κυμαίνονται από 80-95%. Μικρότερα ποσοστά επιτυγχάνονται με συστήματα υδροβιότοπων τύπου FWS και επιπλεόντων υδροχαρών φυτών, που οφείλονται στην περιορισμένη επαφή του αποβλήτου με το έδαφος και τα ιζήματα και στις αναερόβιες συνθήκες, που συνήθως επικρατούν σ' αυτά[3].

Ίχνη Οργανικών. Ίχνη οργανικών ουσιών απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα, που εφαρμόζονται σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας, με τις διεργασίες της εξάχνωσης, της προσρόφησης και των βιολογικών ή φωτοχημικών διασπάσεων. Γενικά, τα φυσικά συστήματα είναι ικανά για απομάκρυνση μεγάλων ποσοστών οργανικών ουσιών σε ίχνη. Τα διαθέσιμα, όμως, δεδομένα είναι περιορισμένα για πρόβλεψη της αποτελεσματικότητας της απομάκρυνσης επί μέρους ουσιών. Τυπικά δημοσιευμένα αποτελέσματα απομάκρυνσης ορισμένων οργανικών ουσιών αναφέρονται στον Πίνακα 4.7.[3].

Πίνακας 4.7. Απομάκρυνση οργανικών χημικών ουσιών σε ίχνη με φυσικά συστήματα[3]

Οργανικές χημικές ενώσεις	% απομάκρυνση				
	Βραδεία εφαρμογή εδάφος	Ταχεία Αργιλώδ. εδάφος	Επιφαν. ροή	Επιπλέοντα υδροχ. φυτά (υακίνθ. νερού)	
Χλωροφόρμιο	98,57	99,23	> 99,99	96,5	93,61
Τολουόλιο	> 99,99	> 99,99	99,99	99	99,99
Βενζόλιο	> 99,99	> 99,99	> 99,99	98,09	99,99
Χλωροβενζόλιο	99,97	99,98	> 99,99	98,99	99,99
Αιθυλοβενζόλιο	α	-	-	-	99,99
Βρωμοφόρμιο	99,93	99,96	> 99,99	97,43	-
Διχλωμοχλωρομεθάνιο	99,72	99,72	> 99,99	98,78	99,99
m-Νιπροτουλίνη	> 99,99	> 99,99	-	94,03	-
PCB-1242	> 99,99	> 99,99	> 99,99	96,46	-
Ναφθαλίνη	99,98	99,98	96,15	98,49	85,71
Φεναθρινη	> 99,99	> 99,99	-	99,19	-
Πενταχλωροφαινόλη	> 99,99	> 99,99	-	98,06	-
2,4-Δινιτροφαινόλη	-	-	-	93,44	-
Νιτροβενζόλιο	> 99,99	> 99,99	-	88,73	-

m-Διχλωροβενζόλιο		-	90,75	-	75
Πεντάνιο	> 99, 99	> 99, 99	-	-	-
Εξάνιο	99,96	99,96	-	-	-
Διαιθυλοφθαλένιο	> 99, 99	> 99, 99	82,27	-	-
1,1,1-Τριχλωραιθάνιο	-	-	-	-	99,99
Τετραχλωραιθάνιο	-	-	-	-	91,49
Φαινόλη	-	-	-	-	80,65
Βουτυλοδενζύλο -φάλλιο	-	-	-	-	80,95
Ισοπροπάνιο	-	-	-	-	66,67
1,4 Διχλωροβενζόλιο	-	-	-	-	99,99
α Δεν έχει δημοσιευθεί.					

Μικροοργανισμοί. Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των βακτηρίων και παρασίτων, όπως πρωτόζωα και έλμινθοι, που είναι συνήθη στα περισσότερα φυσικά συστήματα επεξεργασίας, περιλαμβάνουν καθίζηση, προσρόφηση, ακτινοβολία, ξήρανση, εμπλοκή, ανταγωνιστικές επιδράσεις, φυσική φθορά και γενικά έκθεση τους σε διάφορες αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι ιοί απομακρύνονται μόνο με φυσική φθορά και καταστροφή τους. Σε συστήματα βραδείας εφαρμογής και ταχείας διήθησης, που χαρακτηρίζονται από ροή του υγρού αποβλήτου δια μέσου του εδαφικού προφίλ, η απομάκρυνση των μικροοργανισμών θεωρείται σχεδόν πλήρης. Σε αμμοπηλώδη έως και αργιλοπηλώδη εδάφη, που συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα βραδείας εφαρμογής, πλήρης απομάκρυνση μικροοργανισμών επιτυγχάνεται κατά τη μεταφορά της εκροής του εφαρμοζόμενου αποβλήτου σε βάθος τουλάχιστον 1,5 m. Μεγαλύτερες αποστάσεις μεταφοράς απαιτούνται για υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης με τα συστήματα ταχείας διήθησης, στα οποία η απόσταση μεταφοράς εξαρτάται, κυρίως, από το υδραυλικό φορτίο μεταφοράς και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Στους υπόλοιπους τύπους φυσικών συστημάτων επεξεργασίας παρατηρούνται διαφοροποιούμενα ποσοστά απομάκρυνσης μικροοργανισμών, αλλά γενικά όχι σε τέτοιο βαθμό που να μην απαιτείται συμπληρωματική απολύμανση των λαμβανόμενων από αυτά τελικών εκροών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που επιδιώκεται επαναχρησιμοποίησή τους[3].

4.3.2. Απόψεις-θέσεις για τη Δημόσια Υγεία.

Γενικά οι απόψεις για τη δημόσια υγεία, που σχετίζονται με τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας περιλαμβάνουν: α) Βακτηριολογικά αίτια και την πιθανότητα μεταφοράς ασθενειών σε ανώτερες βιολογικές μορφές συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, β) διάφορα χημικά, που μπορούν να φθάσουν σε πηγές νερού και να τις καταστήσουν επικίνδυνες, όταν στη συνέχεια εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα και στο πεπτικό σύστημα και γ) την ποιότητα των τροφών που παράγονται από φυτά που αρδεύονται με εκροές υγρών αποβλήτων.

Βακτηριολογικά Αίτια, Σημαντική προσοχή έχει δοθεί σε επιδράσεις σε εργαζόμενους, που οφείλονται στη διασπορά στο έδαφος παθογόνων βακτηρίων και ιών. Επίσης, είναι σημαντικό και θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η διασύνδεση μεταξύ των παθογόνων, που εφαρμόζονται με το υγρό απόβλητο στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς και της

εκδήλωσης της ασθένειας στον άνθρωπο ή στα ζώα, μπορεί από την εφαρμοζόμενη εκροή ενός αποβλήτου, που δεν έχει υποστεί επαρκή απολύμανση, είναι δυνατό να περιέχουν συγκεντρώσεις ενεργών παθογόνων, όπως βακτηρίων και ιών. Αναφέρεται, όμως, ότι έχει προσδιορισθεί με δοκιμές, κατά τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν ίχνη φωσφορούχων βαφών, ότι μόνο το 0,3% περίπου της καταιονιζόμενης εκροής με εκτοξευτές υψηλής πίεσης συμμετέχει στη δημιουργία aerosols. Επίσης, έχουν γίνει μελέτες σχετικές με τη μεταφορά κατά την εφαρμογή με καταιονισμό ανεπεξεργαστων υγρών αποβλήτων και εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, μετά από προηγούμενη απολύμανση τους. Παρ' όλο, που διαπιστώθηκε μεταφορά των βακτηρίων σε μεγαλύτερες αποστάσεις, στην περίπτωση υγρών αποβλήτων που δεν είχαν υποστεί απολύμανση, οι μέγιστες αποστάσεις που προσδιορίστηκαν κυμάνθηκαν από 30 έως 200 m. Γενικά, η απόσταση μεταφοράς των βακτηρίων αυξάνει με την αύξηση της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου καθώς και με τη μείωση της θερμοκρασίας και της υπερϊώδους ακτινοβολίας.

Η ανάγκη ύπαρξης ουδέτερης ζώνης ή προαπολύμανσης του υγρού αποβλήτου, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας του στη δημόσια υγεία από aerosols, θα πρέπει να εκτιμάται σε κάθε περίπτωση. Ιδιαίτερα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: α) Ο βαθμός της δημόσιας προσπέλασης στην περιοχή του έργου, β) η έκταση εφαρμογής, γ) η δυνατότητα εξασφάλισης ουδέτερης ζώνης με ή χωρίς φυτική βλάστηση, και δ) οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες. Συνήθως, η εγκατάσταση ουδέτερης ζώνης υπαγορεύεται από ισχύοντες κανονισμούς. Αποστάσεις μέχρι 60 m από δημόσιους δρόμους, οικοδομές και άλλους κοινόχρηστους χώρους, θεωρούνται ικανοποιητικές. Εναλλακτικές δραστηριότητες σε σχέση με τη δημιουργία ουδέτερης ζώνης περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: η φύτευση δένδρων, η χρήση εκτοξευτούν χαμηλής και/ή οριζόντιας εκτόξευσης και τη διακοπή λειτουργίας των εκτοξευτήρων ή τουλάχιστον αυτών των ενδιάμεσων τμημάτων στη διάρκεια ισχυρών ανέμων.

Ποιότητα του Υπόγειου Νερού. Συστήματα, όπως είναι αυτά της βραδείας εφαρμογής και ταχείας διήθησης, που μέρος του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου κατεισδύει σε υπόγειους υδροφορείς, που χρησιμοποιούνται για υδροδότηση αστικών περιοχών, πρέπει να σχεδιάζονται και να διαχειρίζονται έτσι, ώστε η ποιότητα της εκροής, που τελικά ανακτάται, να υπερπληρεί τα ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού, όπως είναι αυτά που έχουν θεσπισθεί από το EPA και άλλους οργανισμούς. Εξαιτίας της μεθαιμογλοβιοαναιμίας, μιας σοβαρής ασθένειας των νηπίων, που οφείλεται στα νιτρικά, η συγκέντρωσή τους στο πόσιμο νερό πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από 10 mg/L ως νιτρικό άζωτο, βάση των Primary Drinking Water Standards. Γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι δυνατότητες απομάκρυνσης του αζώτου, τόσο κατά την προεπεξεργασία του υγρού αποβλήτου όσο και στο φυσικό σύστημα επεξεργασίας, ανάλογα βέβαια με τις δεδομένες συνθήκες, ώστε να τηρείται με αυστηρότητα αυτό το κριτήριο.

Τα ίχνη μετάλλων δεν αποτελούν ιδιαίτερο πρόβλημα ποιότητας του υπόγειου νερού, γιατί συνήθως απομακρύνονται από το υγρό απόβλητο, που κατεισδύει με προσρόφηση και χημική κατακρήμνιση τους, σε μικρό βάθος της ακόρεστης ζώνης, ακόμη και σε περιπτώσεις συστημάτων ταχείας διήθησης υπό υψηλά φορτία εφαρμογής. Μελέτες σχετικές με μακροχρόνιες επιδράσεις

της εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος έχουν δείξει αύξηση της συγκέντρωσης μετάλλων στο έδαφος μέχρι συνήθων επιπέδων διακύμανσης τους σε γεωργικά εδάφη αρδευόμενα με συνήθη αρδευτικά νερά.

Η απομάκρυνση των βακτηρίων από εκροές που εφαρμόζονται στο έδαφος είναι σχεδόν πλήρης. Αυτή είναι πολύ υψηλή στα συστήματα ταχείας εφαρμογής. Διαρρηγμένα μέσα και καριστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι προσφέρουν, ίσως, διόδους μεταφοράς των βακτηρίων σε αποστάσεις δεκάδων μέτρων από το σημείο εφαρμογής. Τέτοιες καταστάσεις μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλη γεωλογική επισκόπηση κατά την επιλογή της θέσης του συστήματος και συνυπολογισμού τέτοιων ιδιαιτεροτήτων κατά το σχεδιασμό τους.

Ποιότητα Φυτικών Τροφών. Όπως έχει προαναφερθεί, ίχνη μετάλλων κατακρατούνται στο έδαφος και στα ιζήματα των φυσικών συστημάτων και είναι δυνατό να προσληφθούν από τα φυτά. Από την άποψη της δημόσιας υγείας ενδιαφέρον παρουσιάζει το κάδμιο. Το μέταλλο αυτό μπορεί και συγκεντρώνεται αθροιστικά στους φυτικούς ιστούς, σε επίπεδα που, αν και δεν είναι φυτοτοξικά, μπορεί να είναι τοξικά στον άνθρωπο και στα ζώα. Γι' αυτό, το κάδμιο είναι το πρωταρχικό συστατικό που πρέπει να θεωρείται στον προσδιορισμό του φορτίου εφαρμογής ιλύος σε γεωργικά εδάφη και σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Για τα περισσότερα, όμως, αστικά υγρά απόβλητα το κάδμιο δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την εφαρμογή τους στο έδαφος. Αυτό καταδεικνύεται και από τα αποτελέσματα της παρακολούθησης, επί 76 έτη, του έργου της Melbourne Αυστραλίας, όπου φυτά στα οποία εφαρμόζονταν υγρά απόβλητα δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές συγκέντρωσης καδμίου από αυτά που αρδεύονταν με φυσικό νερό. Άλλα μέταλλα, όπως είναι ο μόλυβδος, δεν προσλαμβάνονται από τα φυτά, ενώ άλλα που είναι φυτοτοξικά, όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το νικέλιο, ήταν σε συγκεντρώσεις πολύ μικρότερες από τις θεωρούμενες επικίνδυνες στην τροφική αλυσίδα. Στο Monterey της California, μετά από πέντε έτη χρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση ετήσιων και πολυετών λαχανικών, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των παραγομένων προϊόντων μεταξύ αυτών που παράγονταν με άρδευση από ανακτόμενες εκροές και αυτών με άρδευση με φυσικό υπόγειο νερό. Μετά από 3,2 έτη εφαρμογής τέτοιου νερού στο έδαφος διαπιστώθηκε ελαφρά αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας ($0,2 \text{ dSm}^{-1}$) σε σχέση με την άρδευση με σύνηθες αρδευτικό νερό.

Επιδράσεις σε Εδαφικές Παραμέτρους. Σχετικά με την πιθανότητα δημιουργίας αυξημένων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στο έδαφος και τους φυτικούς ιστούς και του κινδύνου της μεταφοράς τους, στη συνέχεια, δια μέσου της τροφικής αλυσίδας στα ζώα και στον άνθρωπο, έγκυρα πειραματικά δεδομένα καταδειχνουν ότι αυτός ο κίνδυνος είναι αρκετά περιορισμένος ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογής εκροών προεπεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, οι Sorper and Kerr (1981), στην Pensylvania των ΗΠΑ, μετά από 36ετή πειράματα εφαρμογής εκροών υγρών αποβλήτων σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις, διαπίστωσαν ότι δεν ήταν σημαντική η αύξηση των συγκεντρώσεων διαφόρων βαρέων μετάλλων στο έδαφος και σε διάφορους φυτικούς ιστούς δένδρων και φυτών που αρδεύονταν με τέτοιες εκροές και μάλιστα με

καταιονισμό. Οι Sheikh, (1990) στο έργο του Monterey της California δεν διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές σε διάφορες εδαφικές παραμέτρους (περατότητα, συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και άλλες) σε εδάφη αρδευόμενα με διάφορους τύπους ανακτομένων υγρών αποβλήτων και συνήθη υπόγεια νερά. Γενικά, σ' αυτήν την εργασία δεν διαπιστώθηκε, σε διάρκεια πέντε ετών, καμιά δυσμενής επίδραση για τη δημόσια υγεία. Επίσης, στο Tucson της Arizona, μετά από 3,3 χρόνια εφαρμογής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροών σε ένα αμμοπηλώδες έδαφος με αγρωστώδη (*C. dactylon*), δεν διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση σε διάφορα εδαφικά χαρακτηριστικά[3].

4.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.4.1. Γενικά Χαρακτηριστικά.

Με τα συστήματα βραδείας εφαρμογής επιτυγχάνεται υψηλότερου επιπέδου περαιτέρω επεξεργασία του εφαρμοζόμενου αποβλήτου σε σύγκριση με άλλους τύπους φυσικών συστημάτων. Συνήθως, η επιφανειακή απορροή, που οφείλεται στην εφαρμογή του αποβλήτου, ελέγχεται αλλά η απορροή, που οφείλεται σε φυσικά κατακρημνίσματα αφήνεται ελεύθερη. Με τυπικούς ρυθμούς υδραυλικών φορτίων εφαρμογής 1-2 m/έτος, το μεγαλύτερο ποσοστό του εφαρμοζόμενου φορτίου ικανοποιεί εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες των φυτών. Γι' αυτό και η τεχνολογία εφαρμογής της εκροής του αποβλήτου σε τέτοια συστήματα προσομοιάζει με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού.

Μια ευρεία κλίμακα φυτών και δένδρων, από βοσκές μέχρι δασικά δένδρα και από φυτά μεγάλης καλλιέργειας μέχρι δενδρώδεις καλλιέργειες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα βραδείας εφαρμογής. Με αυτά τα συστήματα η εκροή του υγρού αποβλήτου εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους με φυτική βλάστηση, με σκοπό την άρδευση των φυτών και την παράλληλη συμπληρωματική επεξεργασία του καθώς αυτό κινείται δια μέσου του εδάφους. Τελικά, ένα μικρό ποσοστό του υγρού αποβλήτου διηθείται στο έδαφος και το υπόλοιπο εξατμισοδιαπνέεται. Όλες σχεδόν οι συνήθεις επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης, όπως αυλάκια, λεκάνες, κατάκλιση, καταιονισμός και άλλες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βραδεία εφαρμογή προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στο έδαφος.

Οι επιδιωκόμενοι σκοποί με τη βραδεία εφαρμογή ενός υγρού αποβλήτου στο έδαφος είναι: α) Συμπληρωματική επεξεργασία του αποβλήτου, β) οικονομικό όφελος με την εφαρμογή νερού και θρεπτικών στοιχείων σε φυτικές καλλιέργειες, γ) εξοικονόμηση άλλων πηγών νερού με την αντικατάστασή τους με εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, και δ) αύξηση χώρων πρασίνου και γενικά προστασία του περιβάλλοντος[3].

Για την εφαρμογή της εκροής των αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή χρησιμοποιούνται διάφορα φυτικά συστήματα. Αυτά μπορούν να καταταχθούν στις επόμενες τρεις κατηγορίες:

Γεωργικά συστήματα. Σε ξηροθερμικές περιοχές, όπως είναι οι δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ και πολλές χώρες της Μεσογείου και της Άπω Ανατολής, το νερό του αποβλήτου και όχι τα θρεπτικά του συστατικά αποτελεί το καθοριστικό συστατικό εφαρμογής του στο έδαφος. Οι καλλιέργειες, που χρησιμοποιούνται, επιλέγονται με κύρια κριτήρια την αγοραστική ικανότητα

των παραγομένων προϊόντων και την ανεκτικότητα τους στην υγρασία του εδάφους και στα συστατικά της διαθέσιμης εκροής. Οι συνήθεις δόσεις εφαρμογής είναι 3-11 mm/d. Αυτές θεωρούνται ικανοποιητικές τόσο για την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε νερό, όσο και για τη διατήρηση ενός επιθυμητού ισοζυγίου διαλυτών αλάτων στο έδαφος. Αντίθετα, σε υγρές περιοχές, όπως είναι οι ανατολικές πολιτείες των ΗΠΑ, το νερό μπορεί να είναι εντελώς απαραίτητο σε ορισμένες περιόδους του χρόνου με παρατεταμένη ξηρασία, αλλά τα θρεπτικά στοιχεία, που περιέχονται στο απόβλητο, θεωρούνται ότι αποτελούν πολύ σημαντικό συστατικό τους. Γι' αυτό και τα συστήματα βραδείας εφαρμογής της εκροής του αποβλήτου σχεδιάζονται έτσι, που να προάγουν τη χρησιμοποίηση θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά ή δένδρα για την αύξηση της παραγωγής τους[3].

Χλωροτάπητες. Ιπποδρόμια, γήπεδα, πάρκα, golfs και άλλοι ελεύθεροι χώροι χρησιμοποιούνται, επίσης, για τη βραδεία εφαρμογή υγρών αποβλήτων σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Αυτή η εφαρμογή επιδρά κατ' αρχήν θετικά στην υδατική οικονομία των περιοχών αυτών. Όμως, επειδή τέτοιοι χώροι έχουν άμεση σχέση με τη δημόσια χρήση και υγεία, απαιτούνται αυξημένα ποιοτικά κριτήρια και κυρίως αυστηρός έλεγχος των παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό επιτυγχάνεται με προωθημένη προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων καθώς και με δημιουργία ζωνών ασφαλείας, περιμετρικά των χώρων εφαρμογής[3].

Δασικά συστήματα. Η χρησιμοποίηση των συστημάτων βραδείας εφαρμογής σε δασικές εκτάσεις αποτελεί μια συνήθη πρακτική σε πολλές πολιτείες των ΗΠΑ, όπως στις Oregon, Michigan, Florida, Georgia, Vermont και Washington, καθώς και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Επιπλέον, πειραματικές εργασίες ευρίσκονται σε εξέλιξη για να προσδιοριστούν οι επιτρεπτές δόσεις και συχνότητες εφαρμογής προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, η συμπεριφορά διαφόρων δασικών ειδών και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους στα διάφορα οικοσυστήματα. Οι δασικές εκτάσεις προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα για τη χρησιμοποίησή τους στη διάθεση-επεξεργασία εκροής υγρών αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή γιατί:

1. Η διηθητική ικανότητα των δασικών εκτάσεων είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτήν των γεωργικών εκτάσεων.
2. Η αξία μιας δασικής έκτασης είναι συνήθως μικρότερη από αυτή μιας γεωργικής έκτασης.
3. Κατά την διάρκεια του χειμώνα και γενικά των ψυχρών περιόδων η θερμοκρασία του εδάφους στις δασικές εκτάσεις είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτήν των γεωργικών εκτάσεων.
4. Τα συστήματα διανομής των αποβλήτων σε δασικές εκτάσεις με μεγάλη κλίση μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν ευκολότερα από ότι σε ανάλογες γεωργικές. Και
5. Παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας αντιπυρικών ζωνών σε υπάρχουσες δασικές εκτάσεις.

Υπάρχουν όμως και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση δασικών εκτάσεων για την διάθεση-επεξεργασία εκρών υγρών αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή, γιατί:

1. Οι ανάγκες σε νερό και η ανεκτικότητα σε άλατα αρκετών δασικών ειδών είναι σχετικά μειωμένες σε σύγκριση με αυτές πολλών γεωργικών ειδών.
2. Η απομάκρυνση του αζώτου από το σύστημα έδαφος-υγρό απόβλητο, είναι συνήθως περιορισμένη, εξαιτίας των μικρών αναγκών σε άζωτο πολλών δασικών ειδών.
3. Απαιτούνται μόνιμα δίκτυα εφαρμογής, που είναι υψηλού κόστους εγκατάστασης. Και
4. Τα δασικά εδάφη είναι, συνήθως, υποβαθμισμένα, χαλικώδη και αβαθή[3].

4.4.2. Βασικές Διεργασίες Επεξεργασίας.

Όπως προαναφέρεται, με τη βραδεία εφαρμογή ενός υγρού αποβλήτου στο έδαφος επιτυγχάνεται πολύ υψηλός βαθμός επεξεργασίας του. Τα οργανικά και ιδιαίτερα τα αδιάλυτα οργανικά απομακρύνονται στα πρώτα 1-2 cm του εδάφους. Η διήθηση και η προσρόφηση είναι πρωταρχικές διαδικασίες για τη μείωση του διαλυτού TOC και της BOD, αλλά η βακτηριακή οξείδωση είναι ο τελικός διεργασιακός μηχανισμός απομάκρυνσης τους. Για τα αιωρούμενα στερεά, και γενικά για όλα τα οργανικά συστατικά, ο βασικός μηχανισμός απομάκρυνσης τους είναι η προσρόφηση τους από το έδαφος και η βιολογική τους αποδόμηση. Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής είναι αποτελεσματικά για απομάκρυνση BOD ακόμη και στις περιπτώσεις που τα εφαρμοζόμενα φορτία είναι μεγαλύτερα από 50 kg BOD/στρ.d. Επίπεδα απομάκρυνσης BOD σε διάφορα συστήματα στα οποία, όμως, τα εφαρμοζόμενα φορτία BOD είναι πολύ μικρότερα (0,3-1,1 kg/στρ.d) του αναφερόμενου (50,0 kg/στρ.d), που αφορά κυρίως βιομηχανικά απόβλητα, αναφέρονται στον Πίνακα 4.8.

Οι κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης του αζώτου σε συστήματα βραδείας εφαρμογής είναι η πρόληψη του από τις ρίζες των φυτών και η απονιτροποίησή του.

Πίνακας 4.8. Απομάκρυνση BOD, αζώτου, και φωσφόρου σε συστήματα βραδείας εφαρμογής[3].

Τοποθεσία	BOD (mg/L)		Ολικό N (mg/L)		Ολικός P (mg/L)	
	Εφαρμ.	Διήθ.	Εφαρμ.	Διήθ.	Εφαρμ.	Διήθ.
Dickinson, ND	42	<1	11,8	3,9	6,9	0,05
Hanover, NH						
α) Πρωτ. επεξεργ.	101	1,4	28,9	9,5	7,1	0,03
β) Δευτ. επεξεργ.	36	1,2	26,9	7,3	7,1	0,03
Muskegon, MI	34	1,3	8,2	2,5	3,8	0,10
Roswell, NM	43	< 1	66,2	10,7	8,0	0,39
Yarmouth, MA	85	<2	30,8	1,8	12,0	0,04

Η αποτελεσματικότητα της πρώτης διεργασίας εξαρτάται από το είδος των χρησιμοποιούμενων φυτών, την παραγωγή τους και τη συχνότητα και το βαθμό συγκομιδής του υπέργειου τμήματος τους (Πίν. 4.8). Οι Bole. (1985) αναφέρουν σχετικά υψηλά επίπεδα απομάκρυνσης αζώτου με διάφορα κτηνοτροφικά φυτά. Αντίθετα, η απονιτροποίηση είναι σημαντική ακόμη και όταν στο έδαφος επικρατούν αερόβιες συνθήκες. Άλλοι μηχανισμοί απομάκρυνσης του αζώτου είναι η συγκράτηση του από το έδαφος, κυρίως υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων και η εξάχνωση (μετατροπή αμμωνιακού αζώτου σε αέρια NH_3). Σε περιπτώσεις αδιαπέρατων εδαφικών στρώσεων (φυσικών ή τεχνητών), που ευνοούν την τριχοειδή κατανομή της εδαφικής υγρασίας και παρεμποδίζουν την ταχεία κατείδυση και επικράτηση της βαρύτητας, η απομάκρυνση με απονιτροποίηση καθίσταται σημαντικός διεργασιακός μηχανισμός απομάκρυνσης.

Σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος ο φωσφόρος απομακρύνεται από το εφαρμοζόμενο στο έδαφος απόβλητο με προσρόφηση του από το έδαφος και χημική κατακρήμνισή του (Πίν. 4.8). Γενικά, η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης του είναι πολύ υψηλή και εξαρτάται κυρίως από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και πολύ λιγότερο από τη συγκέντρωση του φωσφόρου, που απομακρύνεται με πρόσληψη του από τις ρίζες των χρησιμοποιούμενων στο σύστημα φυτικών ειδών. Η συγκέντρωση φωσφόρου στο νερό, που διηθείται σε βαθύτερα στρώματα, είναι συνήθως μικρότερη από 0,1 mg/L.

Τα μέταλλα απομακρύνονται από ένα υγρό απόβλητο, που εφαρμόζεται στο έδαφος, με ποικίλους μηχανισμούς όπως είναι: η προσρόφηση, η κατακρήμνιση, η ιοντική εναλλακτικότητα και η εμπλοκή. Από αυτές, η προσρόφηση στη στερεά φάση του εδάφους θεωρείται η σημαντικότερη. Γι' αυτό, εδάφη λεπτόκοκκα και οργανικά, με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, οξειδία μετάλλων και οργανική ουσία έχουν πολύ μεγαλύτερη ικανότητα απομάκρυνσης μετάλλων από ότι άλλα εδάφη, όπως τα αμμώδη. Επίσης, η τεχνική της βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος θεωρείται περισσότερο αποτελεσματική στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από οποιαδήποτε άλλη τεχνική επεξεργασίας -διάθεσης υγρών αποβλήτων σε γήινα συστήματα. Επίσης, διάφορα παθογόνα απομακρύνονται, συνήθως με την εδαφική διήθηση, προσρόφηση, ακτινοβολία, ξήρανση, ανταγωνιστικές επιδράσεις και γενικά με έκθεση τους σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τέλος, ίχνη οργανικών απομακρύνονται σε συστήματα βραδείας εφαρμογής, με φωτοδιασπάσεις, εξάχνωση, προσρόφηση και διάφορες βιολογικές βιοδιασπάσεις και αποδομήσεις. Έτσι, ακόμη και στο σύστημα της Muskegon County του Michigan, που χρησιμοποιήθηκαν βιομηχανικά υγρά απόβλητα με σταθερά οργανικά, τα επίπεδα απομάκρυνσης τους ήταν σημαντικά. Από τα 59 οργανικά ρυπαντικά συστατικά, που προσδιορίστηκαν στο εφαρμοζόμενο απόβλητο, μόνο 10 οργανικές ουσίες προσδιορίστηκαν στη διηθούμενη εκροή και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, σε σύγκριση με τις αρχικές. Με βάση αυτά τα στοιχεία φαίνεται, ότι τα συστήματα βραδείας εφαρμογής είναι αποδοτικά ακόμη και για την απομάκρυνση οργανικών σε ίχνη[3].

4.4.3. Τύποι Συστημάτων

Βασικό κριτήριο σχεδιασμού συστημάτων βραδείας εφαρμογής είναι το εφαρμοζόμενο ύψος εκροής του υγρού αποβλήτου σε σχέση με τις εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες της χρησιμοποιούμενης φυτικής βλάστησης. Για λόγους σχεδιασμού και ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, τα συστήματα διάθεσης-επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή τους στο έδαφος ταξινομούνται στους παρακάτω βασικούς τύπους:

1. Τύπος 1. - Άρδευσης, που το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής των υγρών αποβλήτων βασίζεται στην ικανοποίηση του συνόλου των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών των χρησιμοποιούμενων φυτών και των λοιπών απωλειών του συστήματος εφαρμογής.
2. Τύπος 2. - Διήθησης, που αντικειμενικός σκοπός τους είναι η διάθεση και περαιτέρω επεξεργασία του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου και το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής τους βασίζεται στην υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους ή στο φορτίο αζώτου. Όπως είναι φυσικό, σε τέτοια συστήματα, το ύψος της εφαρμοζόμενης εκροής είναι μεγαλύτερο των αρδευτικών αναγκών των χρησιμοποιούμενων φυτών.
3. Τύπος 3. - Εξειδικευμένα συστήματα, που χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η παρουσία κάποιου τοξικού ή επικίνδυνου συστατικού στο υγρό απόβλητο είναι δυνατό να συνεπάγεται ειδικές συνθήκες σχεδιασμού.

Τα συστήματα Τύπου 1 προσαρμόζονται κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στην εφαρμογή ικανού ύψους εκροής του αποβλήτου μέχρι που να ικανοποιηθούν οι υδατικές ανάγκες της χρησιμοποιούμενης φυτικής καλλιέργειας. Γι' αυτό, η απαιτούμενη έκταση δεν είναι περιοριστικός παράγοντας. Κύριος σκοπός είναι η φυτική παραγωγή, ενώ η περαιτέρω επεξεργασία του εφαρμοζόμενου αποβλήτου αποτελεί δευτερεύοντα σκοπό. Αντίθετα, τα συστήματα Τύπου 2 προσαρμόζονται κυρίως σε υγρές περιοχές. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στην υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους και σε ένα μέγιστο ανεκτό φορτίο αζώτου. Από τα παραπάνω συνάγεται ότι τα συστήματα Τύπου 2 είναι κατάλληλα για δημοτικές ή κοινοτικές επιχειρήσεις και οργανισμούς ή εταιρείες κοινής ωφέλειας, ενώ αυτά του Τύπου 1 είναι κατάλληλα για γεωργικές ή συνεταιριστικές εκμεταλλεύσεις ή μικρές μεικτές επιχειρήσεις. Συγκριτικά στοιχεία σχεδιασμού των συστημάτων Τύπου 1 και 2 δίδονται στο Πίνακα 4.9 [3].

4.4.4. Στοιχεία Σχεδιασμού

Τα βασικά στάδια σχεδιασμού ενός συστήματος Τύπου 1 είναι: η επιλογή της καλλιέργειας, ο προσδιορισμός του υδραυλικού φορτίου, που στην περίπτωση τέτοιων συστημάτων είναι ισοδύναμο με τις υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, η επιλογή της μεθόδου εφαρμογής του υδραυλικού φορτίου, ο προσδιορισμός της απαιτούμενης έκτασης και ο προσδιορισμός των αναγκών σε όγκο αποθήκευσης. Στην περίπτωση σχεδιασμού συστημάτων Τύπου 2, στα παραπάνω στάδια θα πρέπει να προστεθεί και αυτό του προσδιορισμού της επιτρεπόμενης ταχύτητας διήθησης. Ένα από τα

σημαντικότερα στάδια σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων είναι η επιλογή της φυτικής βλάστησης.

Πίνακας 4.9. Σύγκριση στοιχείων σχεδιασμού των Τύπων 1 και 2 των συστημάτων βραδείας εφαρμογής[3].

Στοιχεία σχεδιασμού	Συστήματα βραδείας εφαρμογής	
	Τύπος 1	Τύπος 2
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμός ή επιφανειακές μέθοδοι	Καταιονισμός ή επιφανειακές μέθοδοι
Υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (m/έτος)	0,60-2,00	1,70-6,00
Απαιτούμενη επιφάνεια, στρ./(10 ₃ m ₃ /d) ^α	170-550	56-200
Ελάχιστη προεπεξεργ. ^β	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση
Διάθεση εφαρμοζόμενης εκροής αποβλήτου	Εξατμισοδιαπνοή & διήθηση-κατείδυση	Εξατμισοδιαπνοή & διήθηση-κατείδυση
Φυτική βλάστηση	Απαιτείται	Απαιτείται

^α Δεν περιλαμβάνονται : ουδέτερη ζώνη, δρόμοι, αναχώματα, κ.λ.π.

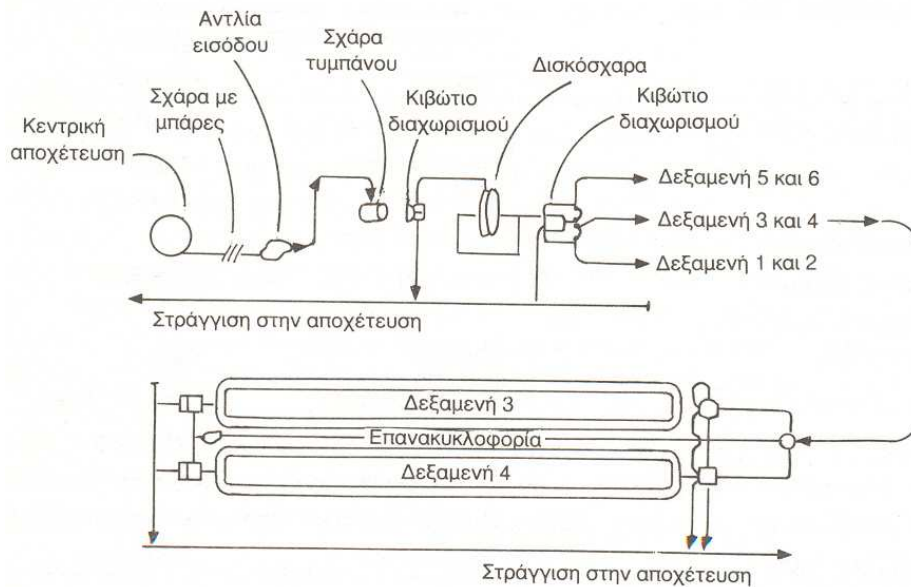
^β Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της φυτικής βλάστησης.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων βραδείας εφαρμογής διενεργείται σε δύο κύριες φάσεις: την προκαταρκτική και τη φάση του λεπτομερούς σχεδιασμού. Μετά τον καθορισμό των χαρακτηριστικών του υγρού αποβλήτου και των κανονιστικών απαιτήσεων, αρχίζει η φάση του προκαταρκτικού σχεδιασμού. Τα βασικά στάδια αυτού του σχεδιασμού συνοψίζονται στον Πίνακα 4.10. Ο λεπτομερής σχεδιασμός περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των θέσεων και των επί μέρους τμημάτων του συστήματος, όπως αντλίες, σωλήνες ή ανοικτοί αγωγοί διανομής, εκτοξευτές και δίκτυα στράγγισης. Αυτός ο σχεδιασμός διενεργείται όπως στα συμβατικά συστήματα άρδευσης. Οι σχέσεις μεταξύ των δασικών σταδίων σχεδιασμού των συστημάτων Τύπου 1 και 2 δίδονται γραφικά στο Σχ. 4.8.[3].

Πίνακας 4.10. Βασικά στάδια προκαταρκτικού σχεδιασμού φυσικών συστημάτων[3].

Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή	Τεχν. υγροδιότ. και επιπλέοντα υδροχαρή φυτά
1. Εκτίμηση και επιλογή θέσης.	1. Εκτίμηση και επιλογή θέσης.	1. Εκτίμηση και επιλογή θέσης.	1. Εκτίμηση και επιλογή θέσης.
2. Προσδιορισμός επιπέδου προεπεξεργασίας.	2. Προσδιορισμός επιπέδου προεπεξεργασίας.	2. Προσδιορισμός επιπέδου προεπεξεργασίας.	2. Προσδιορισμός επιπέδου προεπεξεργασίας.

3. Επιλογή φυτικής βλάστησης	3. Επιλογή της μεθόδου διανομής.	3. Επιλογή της μεθόδου διανομής.	3. Επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης.
4. Επιλογή μεθόδων διανομής.	4. Προσδιορισμός εφαρμοζόμενου φορτίου.	4. Προσδιορισμός παραμέτρων σχεδιασμού συστήμ.	4. Προσδιορισμός παραμέτρων σχεδιασμού συστήμ.
5. Προσδιορισμός εφαρμοζόμενου φορτίου,	5. Προσδιορισμός κύκλων λειτουργίας.	5. Προσδιορισμός απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης.	5. Τρόπος ελέγχου μετρήσεων.
6. Προσδιορισμός απαιτούμενης έκτασης.	6. Προσδιορισμός απαιτούμενης έκτασης.	6. Προσδιορισμός απαιτούμενης έκτασης.	6. Λεπτομερειακός σχεδιασμός επιμέρους τμημάτων.
7. Προσδιορισμός απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης.	7. Σχεδιασμός και θέση έκτασης διήθησης.	7. Σχεδιασμός των επιμέρους τμημάτων.	7. Προσδιορισμός απαιτήσεων παρακολούθησης-ελέγχου.
8. Προσδιορισμός απαιτήσεων παρακολούθησης - ελέγχου.	8. Σχεδιασμός και προσδιορισμός μεγέθους της εκροής ανάκτησης.	8. Επιλογή της φυτικής βλάστησης.	
	9. Προσδιορισμός απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης.	9. Λεπτομερειακός σχεδιασμός επιμέρους τμημάτων.	
	10. Προσδιορισμός απαιτήσεων παρακολούθησης-ελέγχου	10. Προσδιορισμός απαιτήσεων παρακολούθησης - ελέγχου	



Σχ.4.8. Διάγραμμα τυπικών σημείων σχεδιασμού συστημάτων βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων[3].

4.4.5. Εκτίμηση και Επιλογή της Θέσης Εγκατάστασης

Τα κύρια χαρακτηριστικά και γενικά κριτήρια για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής δίδονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11. Χαρακτηριστικά και κριτήρια επιλογής θέσης συστημάτων βραδείας εφαρμογής[3].

Χαρακτηριστικά	Επιθυμητή	Λιγότερο Επιθυμ.	Ακατάλληλη
Έδαφος			
-PH	5,5-8,4	5,2-5,5	<5,2>8,4
-ESP (%)	<5	5-10	>10 ^α
-EC (mmhos/cm)	<4	4-8	>8
-Υδραυλική αγωγιμότη. (cm/h)	0,5-5,0	0,15-0,5 : 5-15	< 0,15:> 15,0
-Βάθος μέχρι τον υδροφόρα (m)	>1,5	0,6-1,5 ^β	<0,6
Κλίση εδάφους (%')	0-2	2-15	> 15 ^γ
Χρήση γης	Γεωργική	Χαμηλής πυκνότη.	c Αστική/Βιομηχ δ
Υδρολογία	Χωρίς κίνδυνο	Μειωμένο κίνδυνο	Αυξ. κίνδυνο
	πλημμύρας	πλημμύρας	πλημμύρας

^α > Για χονδρόκοκα εδάφη.

^β Απαιτείται υποεπιφανειακή στράγγιση.

^γ >30% για δασικές εκτάσεις.

^δ Σε εκτάσεις υψηλής δημόσιας προσπέλασης (περιβάλλοντες χώροι, golfs, και άλλοι) απαιτείται υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία.

Συνήθως τα πιο βασικά χαρακτηριστικά προσδιορισμού της καταλληλότητας της θέσης εγκατάστασης ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής, είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους και γενικά η περατότητα του, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα και η ύπαρξη ή μη αδιαπέρατης στρώσης. Στα συστήματα Τύπου 2 η κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα της πιο αδιαπέρατης στρώσης του εδάφους, υπό κορεσμένες συνθήκες, προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό το επιτρεπόμενο υδραυλικό φορτίο εφαρμογής. Αυτή, επίσης, επηρεάζει το είδος της φυτικής βλάστησης και γενικά το σχεδιασμό του συστήματος διανομής.

Εδάφη με μέσες υδραυλικές αγωγιμότητες (5-50 mm/h) είναι τα πιο κατάλληλα για συστήματα βραδείας εφαρμογής, επειδή εξισορροπούν το ποσοστό της εκροής του υγρού αποβλήτου, που κατακρατείται στο έδαφος, με αυτό που στραγγίζει. Οι παραπάνω υδραυλικές αγωγιμότητες αντιστοιχούν σε εδάφη μέσης δομής. Εδάφη με πολύ μικρές αγωγιμότητες, όπως τα λεπτόκκοκα, αργιλώδη εδάφη και εδάφη με αδιαπέρατες υποεπιφανειακές στρώσεις, έχουν πολύ υψηλό δυναμικό επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, αλλά απαιτούν μικρά υδραυλικά, φορτία εφαρμογής και η διαχείριση τους και κυρίως αυτή της φυτικής βλάστησης παρουσιάζει δυσκολίες. Για τους λόγους αυτούς, τα εδάφη αυτά θεωρούνται κατάλληλα κυρίως για συστήματα επιφανειακής ροής.

Αντίθετα, χαλικώδη αμμώδη εδάφη έχουν, συνήθως, μεγάλες υδραυλικές αγωγιμότητες. Σε τέτοια εδάφη μπορούν να κατεισδύουν μεγάλες ποσότητες εκροής και επομένως μπορούν να δεχθούν υψηλά υδραυλικά φορτία εφαρμογής.

Η συγκράτηση της υγρασίας, όμως, σε τέτοια εδάφη είναι περιορισμένη και δημιουργεί σημαντικές δυσκολίες στη διαχείριση της φυτικής βλάστησης. Αν και ορισμένα δενδρώδη είδη και διάφορα βαθύριζα φυτά προσαρμόζονται πολύ καλά σε αμμώδη εδάφη, θέσεις με τέτοια εδάφη θεωρούνται κατάλληλες, κυρίως για συστήματα ταχείας διήθησης. Το δυναμικό επεξεργασίας και ανάκτησης υγρών αποβλήτων σε τέτοια εδάφη περιορίζεται από το επιτρεπόμενο φορτίο εφαρμογής, που βασίζεται σε παραμέτρους σχεδιασμού, στους οποίους δεν συμπεριλαμβάνεται η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής θα πρέπει να εγκαθίστανται σε θέσεις με επαρκές βάθος εδάφους μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα ή την αδιαπέρατη στρώση, βάθος που να επιτρέπει την κατακράτηση συστατικών του υγρού αποβλήτου, τη δράση των βακτηρίων και την ανάπτυξη των ριζών. Για επαρκή επεξεργασία του αποβλήτου απαιτείται ένα ελάχιστο βάθος εδάφους από 0,9 έως 1,2 m, αλλά ένα μεγαλύτερο βάθος είναι αναγκαίο σε περιπτώσεις, που χρησιμοποιούνται βαθύριζα φυτά. Για μικρότερα βάθη απαιτείται υποεπιφανειακή στράγγιση.

Εδάφη με πολύ χαμηλό ή υψηλό PH (όξινα ή αλκαλικά) και εδάφη με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι περιοριστικά στην ανάπτυξη πολλών φυτικών ειδών. Επίσης, υψηλή % εναλλακτικότητα του νατρίου (ESP) μειώνει την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι δυνατή η χρήση εδαφοβελτιωτικών, όταν κρίνεται οικονομική, για διορθωτικές επεμβάσεις σε ορισμένα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Επίσης,

θα πρέπει να θεωρείται η πιθανότητα επιλογής φυτικών ειδών ανεκτικών στις δεδομένες εδαφικές συνθήκες.

Η κλίση του εδάφους πρέπει να είναι < 15% για τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτικά είδη. Κλίσεις μέχρι 20% μπορούν να χρησιμοποιούνται για είδη που δεν απαιτούν κατεργασία του εδάφους, όπως οι διάφορες βοσκές που εξαρτώνται από το είδος της εκμετάλλευσης. Επίσης, λοφώδεις, δασικές εκτάσεις με κλίσεις μέχρι και 40% μπορούν να αρδεύονται επιτυχώς με καταιονισμό.

Εκτός από τα παραπάνω, μια θέση θεωρείται κατάλληλη για ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής όταν δεν υπόκειται σε κίνδυνο πλημμύρων και η δημόσια προσπέλαση σ' αυτήν είναι ελεγχόμενη. Σε περιπτώσεις που η δημόσια προσπέλαση δεν είναι ελεγχόμενη, όπως είναι τα αρδεύόμενα πάρκα, golfs, πρανή εθνικών δρόμων και διάφοροι χώροι αθλοπαιδειών, απαιτείται υψηλού επιπέδου απολύμανση των εκροών για την προστασία της δημόσιας υγείας[3].

4.4.6. Επιλογή Φυτικής Βλάστησης.

Όπως προαναφέρεται, η επιλογή της βλάστησης-κάλυψης, που θα χρησιμοποιηθεί, αποτελεί συνήθως το πιο βασικό στάδιο μελέτης και σχεδιασμού ενός συστήματος βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων. Από αυτήν εξαρτώνται σε κάποιο βαθμό το ύψος του εφαρμοζόμενου υδραυλικού φορτίου, το επίπεδο προεπεξεργασίας και άλλοι παράμετροι σχεδιασμού και εγκατάστασης του συστήματος. Σύμφωνα με τον Sorper, τα κυριότερα κριτήρια επιλογής της βλάστησης-κάλυψης είναι: η ανεκτικότητα στην εδαφική υγρασία και οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες, οι ανάγκες σε θρεπτικά στοιχεία, η προσαρμογή στις εδαφικές συνθήκες, η εποχή ανάπτυξης και οι ανάγκες σε λήθαργο, η ευαισθησία και η ανεκτικότητα τους σε τοξικά μέταλλα και άλατα, η χρησιμοποίηση θρεπτικών στοιχείων και η αποτελεσματικότητα ανάκτησης τους και, τέλος, η σταθερότητα του οικοσυστήματος και η συχνότητα και ο βαθμός συγκομιδής. Επίσης, πρέπει να θεωρούνται διάφορα προβλήματα σχετικά με τη φυτοπροστασία, τη φυσική προσαρμογή και τέλος τη ζήτηση και τις συνθήκες αγοράς των παραγομένων προϊόντων. Εξαιτίας των σοβαρών πλεονεκτημάτων που έχει η εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος, με κύριο σκοπό το συνδυασμό της συμπληρωματικής επεξεργασίας τους και της άρδευσης φυτικών καλλιεργειών, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια εφαρμογής των εκροών των υγρών αποβλήτων στο έδαφος, ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα για άρδευση φυτικά είδη.

Η επιλογή των φυτών ή δένδρων, που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βραδεία εφαρμογή, αποτελεί ένα βασικό στάδιο του σχεδιασμού του, αφού από αυτήν ουσιαστικά εξαρτώνται το επίπεδο προεπεξεργασίας του υγρού αποβλήτου, ο τύπος του δικτύου διανομής και το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής. Για τα συστήματα Τύπου 2 (Διήθησης), συμβατά φυτικά είδη είναι αυτά που έχουν υψηλές αζωτούχες ανάγκες, ικανοποιητική ανεκτικότητα στην εδαφική υγρασία και σε διάφορα άλλα συστατικά των υγρών αποβλήτων και υψηλές εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες. Σ' αυτά συμπεριλαμβάνονται πολυετή κτηνοτροφικά, διάφορα λιβαδικά αγρωστώδη και διάφορα είδη μεγάλης καλλιέργειας καθώς επίσης και δενδρώδη είδη.

Στα συστήματα Τύπου 1 (Άρδευσης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ευρύτερη ποικιλία φυτών και δένδρων. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιούνται διπλές καλλιέργειες για την αξιοποίηση του δυναμικού αυξημένων προσόδων. Θερινές καλλιέργειες μικρής διάρκειας, όπως του αραβοσίτου και σόργου, μπορούν να συνδυασθούν με αυτές χειμερινών σιτηρών (βρώμης, σίτου ή κριθής), ιδιαίτερα σε θερμά κλίματα[3].

Οδηγίες Επιλογής της Φυτικής Βλάστησης. Η επιλογή της κατάλληλης φυτικής βλάστησης, που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής, μπορεί να επιτευχθεί με τη συνεργασία τοπικών αγροτών, γεωπόνων και εξειδικευμένων φορέων σε σχετικά θέματα. Φυτά ή δένδρα συμβατά με συστήματα Τύπου 2 είναι αυτά που έχουν υψηλή ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών και άλλων στοιχείων, υψηλές εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες, είναι ανεκτικά σε συνθήκες υψηλής υγρασίας του εδάφους και σε διάφορα συστατικά των υγρών αποβλήτων και τέλος, έχουν περιορισμένες διαχειριστικές απαιτήσεις. Όπως προαναφέρεται, στα είδη φυτών που συγκεντρώνουν τέτοια χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται διάφορα χορτολιβαδικά και μεγάλης καλλιέργειας. Αγρωστώδη που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε συστήματα βραδείας εφαρμογής Τύπου 2 είναι το κεχρί (*Panicum mileaceum*), η δακτυλίδα (*D. Glomerata*), η ήρα (*Lolium spp.*) πολυετής και Ιταλική, η αγριάδα (*C. dactylon*), λιβαδικά αγρωστώδη (*Bromus spp.*), η φεσκούτα (*Fescuta spp.*) και το καλαμώδες γρασίδι (*Fescuta arundinacea*).

Τα πιο κατάλληλα δένδρωδη είδη για τα συστήματα Τύπου 2 είναι συγκαλ-λιέργεια διαφόρων ειδών σκληρού ξύλου και πεύκης. Επίσης, δυνατά είδη για τέτοια συστήματα είναι το ξυλώδες βαμβάκι, τα υβρίδια λεύκης, η λευκή πεύκη, η κινεζική πτελέα, ο ευκάλυπτος, η κερασιά, η συκομορέα, η αιθαλής μελιά, η κουτσουπία, είδη του γένους *Calalpa spp.*, η χαρουπιά και η ιτέα. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας κατάλληλα για συστήματα Τύπου 2 είναι ο αραβόσιτος (*Zea mays*), το σόργο (*Sorghum spp.*), η κριθή (*H. vulgare* ή *distichum*) και άλλα είδη σιτηρών.

Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής Τύπου 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ευρύτερη κλίμακα φυτικών ειδών, εξαιτίας των μικρότερων υδραυλικών φορτίων εφαρμογής και της επικράτησης ανεκτικότερων συνθηκών υγρασίας στο έδαφος. Έτσι, επιπλέον των φυτικών ειδών, που προτείνονται για τα συστήματα Τύπου 2, στα συστήματα Τύπου 1 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν όλα σχεδόν τα είδη βοσκής, όπως τα ψυχανθή (μηδική και ετήσιο τριφύλλι), τα περισσότερα είδη μεγάλης καλλιέργειας, όπως το βαμβάκι, η σόγια και τα διάφορα είδη σιτηρών, ορισμένα δένδρωδη, όπως τα εσπεριδοειδή, τα μηλοειδή και το αμπέλι.

Χαρακτηριστικά Φυτικής Βλάστησης. Τα χαρακτηριστικά της φυτικής βλάστησης, σχετικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης της σε συστήματα βραδείας εφαρμογής, είναι η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες και η ανεκτικότητα στην αλατότητα και στην ειδική τοξικότητα.

Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων. Η ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά εξαρτάται, κυρίως, από τη φυτική παραγωγή, την περιεκτικότητα της σε θρεπτικά στοιχεία και την περίοδο

συγκομιδής της. Γι' αυτό, κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου έργου, εκτιμήσεις για απομακρύνσεις με το μηχανισμό της συγκομιδής, θα πρέπει να βασίζονται στην τοπική εμπειρία και κυρίως στην παραγωγή και την περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά στοιχεία, υπό παρόμοιες συνθήκες και τεχνικής καλλιέργειας και γενικά διαχείρισης τους. Τυπικές ετήσιες ποσότητες προσλαμβανομένων θρεπτικών στοιχείων (αζώτου, φωσφόρου και καλίου) από διάφορα φυτικά είδη, κατάλληλα για συστήματα βραδείας εφαρμογής, δίδονται στον Πίν. 4.12. Για την επίτευξη των τιμών απομάκρυνσης με δασικά δένδρα, που αναφέρονται στον Πίν. 4.12, είναι απαραίτητη η ολική κοπή-συγκομιδή των δένδρων. Σε περιπτώσεις που απομακρύνονται από το σύστημα μόνο τα εμπορεύσιμα στελέχη των δένδρων, το ποσοστό του καθαρού απομακρυνόμενου ποσού αζώτου είναι μικρότερο από το 30% του περιεχομένου αζώτου στη συνολική βιομάζα[3].

Πίνακας 4.12. Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από επιλεγμένα είδη φυτών[3].

Είδη	Πρόσληψη θρεπτ. στοιχείων (kg/στρ. έτος)		
	Αζωτο	Φωσφόρος	Κάλιο
ΕΙΔΗ ΒΟΣΚΩΝ			
Μηδική (<i>Medicago saliva</i>)	22,50-53,80	2,25-3,36	17,37-22,50
Λιβαδικά αγρωστώδη (<i>Bromus spp.</i>)	13,00-22,50	3,92-5,60	24,66
Αγριάδα (<i>Cynodon dactylon</i>)	39,23-67,25	3,36-4,48	22,5
Πόα (<i>Poa pratensis</i>)	20,18-26,90	4,48	20,18
Αγρόπυρο (<i>Agropyron repens</i>)	23,53-28,02	3,03-4,60	27,46
Φάλαρη (<i>Phalaris canariensis</i>)	33,63-44,84	4,04-4,48	31,39
Ήρα (<i>Lolium spp.</i>)	20,18-28,02	6,16-8,41	26,90-32,51
Τριφύλλι (<i>Trifolium spp.</i>) ^α	17,71	1,79	10,09
Φεστούκα (<i>Festuca spp.</i>)	15,13-32,51	2,91	29,93
Δακτυλίδα (<i>Dactylis glomerata</i>)	25,78-28,02	2,25-5,60	25,22-35,31
ΦΥΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ			
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i> ή <i>distichum</i>)	7,06	1,68	2,25
Αραβόσιπος (<i>Zea mays</i>)	17,37-19,28	1,91-2,80	10,76
Βαμβάκι (<i>Gossypium spp.</i>)	7,40-11,21	1,35	3,81
Σόργο για καρπό (<i>Sorghum spp.</i>)	13,45	1,57	6,95
Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)	22,98	2,25	24,66-32,28
Σόγια (<i>Glycine hispida</i>) ^β	10,54-14,35	1,23-1,44	3,25-5,38
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i> ή <i>durum</i>)	5,60-9,08	1,68	0,50-2,02
ΔΑΣΙΚΑ ΔΕΝΔΡΑ			
Ανατολικά Δάση			
Διάφορα ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	21,62		

Κόκκινη πεύκη (Pinus spp.)	11,21		
Λευκή ελάτη (παλαιά φυτεία)	28,02		
Αρχική βλάστηση	28,02		
Νότια Δάση			
ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	11,21		
Πεύκη νότου χωρίς υποβλάστηση (Pinus spp.) ^γ	21,97		
πεύκη νότου με υποβλάστηση (Pinus spp.)	31,95		
Δάση Λιμνών			
ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	33,63		
Υβρίδια λεύκης (Populus spp.) ^δ	15,69		
Δυτικά δάση			
Υβρίδια λεύκης (Populus spp.) ^δ		30,26-40,35	
Ελάτη του Douglas (Abies spp.)		15,13-24,66	

Γενικά η διακύμανση είναι ανάλογη με την παραγωγή

^α Ψυχανθή είδη υπό συνθήκες αζωτούχας λίπανσης δεσμεύουν πολύ μικρό ποσοστό ατμοσφαιρικού N.

^β Μπορεί να δεσμεύσει και ατμοσφαιρικό N.

^γ Πρόκειται για το είδος Pinus taeda

^δ Αντιπροσωπεύει τον πρώτο κύκλο ανάπτυξης των δενδρυλλίων (Κοπή – συγκομιδή κάθε 4-5 έτη).

Εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες. Η εξατμισοδιαπνοή (ET) αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο του υδατικού ισοζυγίου, που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής. Συγκριτικά στοιχεία επιλεγμένων φυτικών ειδών, στα οποία περιλαμβάνονται και οι υδατικές απαιτήσεις και η ανεκτικότητα στην εδαφική υγρασία, δίδονται στον Πίν. 4.13. Σ' αυτόν τον Πίνακα περιλαμβάνονται και συγκριτικά στοιχεία σχετικά με την πρόσληψη αζώτου και την αξία της παραγόμενης παραγωγής. Γενικά, η ET ορίζεται ως οι συνολικές απώλειες νερού από μια φυτική επιφάνεια με τη μετάπτωση του στην αέρια φάση από την υγρή επιφάνεια εδάφους, την ελεύθερη επιφάνεια νερού (εξατμηση, E) ή τη φυτική επιφάνεια (διαπνοή, T), που είναι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια τη μετακίνηση του στην υπερκείμενη τους ατμόσφαιρα. Ο διαχωρισμός των απωλειών νερού με τα παραπάνω δύο φαινόμενα (φυσικό και βιολογικό, αντίστοιχα), είναι σχετικά δύσκολος αλλά και χωρίς πρακτική σημασία. Η εξατμηση αποτελεί ένα μόνο μικρό ποσοστό της συνολικής εξατμισοδιαπνοής μιας φυτικής επιφάνειας και ο προσδιορισμός της είναι πολλές φορές δύσκολος. Γι' αυτό τα δύο φαινόμενα της εξατμησης θεωρούνται ως ενιαία, με τον όρο της ET, όπως άλλωστε επιδιώκεται στην πρακτική των αρδεύσεων.

Πίνακας 4.13. Συγκριτικά χαρακτηριστικά φυτικών ειδών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα βραδείας εφαρμογής υγρών αποβλήτων[3].

Είδος (γεωργικό ή δασικό)	Δυνατότητα χρήσης τους ως προς:			
	Την αξία της παραγωγής	Τις υδατικές απαιτήσεις ^α	Την πρόσληψη αζώτου	Την ανεκτικότητα στην υγρασία
ΦΥΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ				

Σιτάρι (<i>T. aestivum</i> ή <i>durum</i>)	Καλή	Μέτρια	Καλή	Μικρή
Κριθάρι (<i>H. vulgare</i>)	Οριακή	Μέτρια	Οριακή	Μικρή
Αραβόσιτος για καρπό (<i>Zea mays</i>)	Εξαιρετική	Μέτρια	Καλή	Μέτρια
Αραβόσιτος για σανό (<i>Zea mays</i>)	Εξαιρετική	Μέτρια	Εξαιρετική	Μέτρια
Βαμβάκι (<i>Gossypium</i> spp.)	Καλή	Μέτρια	Οριακή	Μικρή
Σόργο για καρπό (<i>Sorghum</i> spp.)	Καλή	Μικρή	Οριακή	Μέτρια
Βρώμη (<i>Avena sativa</i>)	Οριακή	Μέτρια	Πολύ μικρή	Μικρή
Ρύζι (<i>Oryza sativa</i>)	Εξαιρετική	Υψηλή	Πολύ μικρή	Μέτρια
Ηλιανθος (<i>Helianthus annuus</i>)	Εξαιρετική	Μέτρια	Εξαιρετική	Μέτρια
Σόγια (<i>G. hispida</i>)	Καλή	Μέτρια	Καλή-Εξαιρ.	Μέτρια
ΒΟΣΚΕΣ				
Πόα (<i>Poa pratensis</i>)	Καλή	Υψηλή	Εξαιρετική	Μέτρια
Φάλαρη (<i>P. arundinacea</i>)	Πολύ μικρή	Υψηλή	Εξαιρετική	Υψηλή
Μηδική (<i>M. sativa</i>)	Εξαιρετική	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Μικρή
Φλέο (<i>Trifolium</i> spp.)	Εξαιρετική	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Μέτρια
Τριφύλλι (<i>Phleum</i> spp.)	Οριακή	Υψηλή	Καλή	Υψηλή
Δακτυλιδα (<i>D. glomerata</i>)	Καλή	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Μέτρια
Σόργο (<i>Sorghum</i> spp.)	Καλή	Υψηλή	Εξαιρετική	Μέτρια
Βίκος (<i>Vicia sativa</i>)	Οριακή	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Υψηλή
Φεστούκα (<i>F. arundinacea</i>)	Καλή	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Υψηλή
ΧΛΩΡΟΤΑΠΗΤΕΣ				
Αγρωστώδη (διάφορα είδη)	Εξαιρετική	Υψηλή	Εξαιρετική	Υψηλή
Αγριάδα (<i>C. dactylon</i>)	Καλή	Υψηλή	Εξαιρετική	Υψηλή
ΔΑΣΙΚΑ				
Είδη σκληρού ξύλου	Εξαιρετική	Υψηλή	Καλή-Εξαιρ.	Υψηλή
Πεύκη (<i>Pinus</i> spp.)	Εξαιρετική	Υψηλή	Καλή	Μέτρια
Ελάτη (<i>Abies</i> spp.)	Εξαιρετική	Υψηλή	Καλή	Μέτρια

^a Οι υδατικές απαιτήσεις προσδιορίζονται ως κλάσμα υδατοκατανάλωσης της μηδικής : Υψηλή 0,8-1,0 , Μέτρια 0,6-0,79 και Μικρή <0,6.

- Πρόσληψη N σε Kg/στρ.: Εξαιρετική >20 , Καλή 15-20, Οριακή 10-15 και Μικρή <10.

Για συγκριτικούς σκοπούς, ο όρος δυναμική εξατμισοδιαπνοή ή εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (*ET_o*) ορίζεται ως η *ET* από μια περιορισμένη φυτική επιφάνεια, με μικρό και ομοιόμορφο ύψος φυτών, δυναμική ανάπτυξη και πλήρη κάλυψη του εδάφους, που ουδέποτε δοκιμάστηκε από έλλειψη νερού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η *ET_o* εξαρτάται μόνο από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν στην περιοχή και επηρεάζουν κυρίως το υπέργειο τμήμα των φυτών. Γι' αυτό η *ET_o* είναι κλιματολογικά καθορισμένη και εξαρτάται, κυρίως, από τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, έτσι ώστε κάθε φυτική επιφάνεια σε μια δεδομένη περιοχή, με ομοιόμορφη ανάπτυξη, πλήρη εδαφική κάλυψη και κανονικό εφοδιασμό σε νερό θεωρείται ότι έχει εξατμισοδιαπνοή περίπου ίση με τη δυναμική *ET_o*.

Όπως προαναφέρθηκε, η εκτίμηση των πραγματικών αναγκών σε νερό μιας φυτικής καλλιέργειας βασίζεται στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή της. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει τις συνολικές απώλειες σε νερό της θεωρούμενης φυτικής καλλιέργειας, που είναι απαλλαγμένη από ασθένειες, αναπτύσσεται κανονικά και έχει δυναμική παραγωγή χωρίς περιοριστικούς παράγοντες

όπως εδάφους, νερού, θρεπτικών στοιχείων και περιβάλλοντος. Επίσης, καθαρές υδατικές ανάγκες μιας φυτικής καλλιέργειας, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, είναι η ολική ποσότητα νερού, που απαιτείται για να αντιμετωπισθεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της, μετά την αφαίρεση της ποσότητας του νερού, που συνεισφέρετε από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή αποθηκευμένο στο έδαφος νερό. Υδατικές ανάγκες μιας φυτικής καλλιέργειας σε μια ορισμένη χρονική περίοδο είναι το άθροισμα των καθαρών υδατικών αναγκών και των απωλειών σε νερό από αποπλύσεις, λειτουργικές αδυναμίες και κίνηση του νερού οριζόντια ή κατακόρυφα, πέρα από τη ζώνη ανάπτυξης των ριζών των φυτών.

Η πραγματική *ET* διαφέρει σημαντικά από την *ET_ο*, εξαιτίας του επηρεασμού της από διάφορες φυτικές παραμέτρους όπως: το ποσοστό κάλυψης του εδάφους, το ύψος και την ομοιομορφία των φυτών, την αντίσταση των φυτικών στοματίων στη διαπνοή και διαφόρους κλιματολογικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Το τελικό μέγεθος και ο ρυθμός της πραγματικής *ET* εξαρτάται από: α) Τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, που αποτελούν προϋπόθεση υπολογισμού της *ET_ο*, β) τα χαρακτηριστικά και τη δομή της καλλιέργειας και γ) τις τοπικές συνθήκες και την εφαρμοζόμενη καλλιεργητική τεχνική.

Τυπικές τιμές της *ET_ο* διάφορων γεωγραφικών περιοχών των ΗΠΑ δίδονται στον Πίνακα 4.14. Το κύριο συνθετικό των υδατικών αναγκών μιας φυτικής καλλιέργειας είναι η πραγματική *ET* τους. Η σχέση αυτή μεταξύ υδατικών αναγκών και πραγματικής *ET* γίνεται πιο ουσιαστική σε αρδευτικά δίκτυα, που επιδιώκεται να επιτευχθεί υψηλού επιπέδου σχεδιασμός και λειτουργία τους. Γι' αυτό η εκτίμηση της πραγματικής *ET* αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο, για το σωστό προγραμματισμό και εφαρμογή των πραγματικών υδατικών αναγκών σε μια φυτική καλλιέργεια.

Πίνακας 4.14. Τυπικές μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (*ET_ο*) σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές των ΗΠΑ[3].

							Κεντρική πεδιάδα	Νότια έρημος
	Paris	Central	Brevard	Jonesbora	Hannover	Seabrook		
Μήνες	TX	MO	NC	GA	NH	NJ	CA	CA
Ιανουάρ.	15,24	7,62	2,54	12,7	0	2,54	27,94	68,58
Φεβρ.	15,24	12,7	2,54	12,7	0	2,54	45,72	91,44
Μάρτιος	35,56	30,48	30,48	20,32	-	20,32	76,2	149,86
Απρίλ,	68,58	66,04	45,72	58,42	27,94	40,64	116,84	193,04
Μάιος	99,06	109,22	76,2	109,22	81,28	73,66	147,32	256,54
Ιούνιος	147,32	144,78	101,6	147,32	129,54	114,3	185,42	289,56
Ιούλιος	160,02	170,18	114,3	157,48	137,16	139,7	200,66	294,64
Αύγουστ.	162,56	152,4	104,14	149,86	119,38	137,16	170,18	243,84
Σεπτέμβρ.	96,52	104,14	73,66	109,22	73,66	99,06	132,08	215,9
Οκτώβρ.	63,5	63,5	45,72	58,42	40,64	48,26	86,36	160,02
Νοέμβρ.	27,94	25,4	15,24	25,4	20,32	20,32	40,64	88,9
Δεκέμβρ.	15,24	10,16	2,54	12,7	0	2,54	25,4	50,8
Ετήσια	906,78	896,62	614,68	873,76	629,92	701,04	1.254,76	2.103.12

Οι τιμές της *ET_ο* δίδονται σε mm.

Στις περιπτώσεις αειθαλών δένδρων εκτιμάται ότι η πραγματική *ET* είναι 10 έως 20% μεγαλύτερη της *ET₀*. Η πραγματική *ET* των ετήσιων φυτών μεγάλης καλλιέργειας εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και τις χρονικές περιόδους φύτευσης και συγκομιδής της παραγωγής τους.

Ανεκτικότητα στην αλατότητα. Συνήθως, η αλατότητα των εκροών των υγρών αποβλήτων κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από αυτήν των συνήθων αρδευτικών νερών. Η αλατότητα αντιμετωπίζεται με κατάλληλη απόπλυση και στράγγιση ή με σωστή επιλογή φυτών, που είναι ανεκτικά στα δεδομένα επίπεδα αλατότητας. Η ευαισθησία επιλεγμένων φυτών στην αλατότητα, προσδιοριζόμενη σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, δίδεται στον Πίνακα 4.15. Σε πολλές περιπτώσεις η συγκέντρωση αλάτων σε εκροές αστικών υγρών αποβλήτων κυμαίνεται σε ανεκτά επίπεδα.

Ειδική τοξικότητα ιόντων. Η τοξικότητα, που οφείλεται σε ένα ειδικό ιόν, προξενείται όταν το ιόν αυτό προσλαμβάνεται από τις ρίζες του φυτού και συσσωρεύεται στους ιστούς του σε οριακές συγκεντρώσεις, που είναι δυνατόν να έχουν ζημιογόνες επιδράσεις σε αυτούς ή την παραγωγή των φυτών. Συνήθως, η ειδική τοξικότητα συνυπάρχει και περιπλέκει τα προβλήματα της αλατότητας.

Παρ' όλα αυτά, τοξικότητα παρατηρείται και υπό συνθήκες χαμηλής αλατότητας. Τα πιο γνωστά ιόντα που σχετίζονται με τοξικότητα είναι το νάτριο, το χλώριο και το βάριο.

Για ευαίσθητα είδη φυτών η τοξικότητα είναι πολύ δύσκολο να διορθωθεί σε μικρό χρόνο ακόμη και με αλλαγή του εφαρμοζόμενου νερού ή του είδους του φυτού. Τα προβλήματα της ειδικής τοξικότητας παρατηρούνται πιο οξυμένα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχεδόν όλα τα γνωστά είδη φυτών παρουσιάζουν συμπτώματα τοξικότητας, εξαιτίας υψηλών συγκεντρώσεων ορισμένων στοιχείων. Με την εφαρμογή του νερού με καταιονισμό το νάτριο και/ή το χλώριο συσσωρεύονται στα φυτά με απευθείας προσρόφηση τους από τα διαβρεχόμενα μέρη. Τέτοια τοξικότητα προξενείτε με μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές που προξενούν τοξικότητα στα ίδια είδη φυτών υπό συνθήκες επιφανειακής άρδευσης τους (Πίν. 4.15). Η σχετική ανεκτικότητα επιλεγμένων φυτικών ειδών σε συγκεντρώσεις χλωρίου υπό άρδευση τους με καταιονισμό δίδεται στους Πίνακες 4.16 και 4.17.[3].

Πίνακας 4.15. Μείωση της παραγωγής κτηνοτροφικών φυτών και φυτών μεγάλης καλλιέργειας οφειλόμενη στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού[3].

Είδη φυτών	ECe (dS/m) εφαρμοζόμενης εκροής για μείωση της παραγωγής φυτικών καλλιεργειών σε επίπεδα ^a :		
	0%	25%	100%
ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΦΥΤΑ			
Μηδική (<i>M. sativa</i>)	1,3	3,6	10,3
Αγριάδα (<i>Cynodon dactylon</i>)	4,6	7,2	15
Τριφύλλι (<i>Trifolium spp.</i>)	1	2,4	6,7
Αραβόσιπος κτηνοτροφικός (<i>Z. mays</i>)	2	3,5	10,3
Δακτυλίδα (<i>Dactylis glomerata</i>)	1	3,7	11,7
Ήρα πολυετής (<i>Lolium spp.</i>)	3,7	5,9	12,7
Φεστούκα (<i>Festuca spp.</i>)	2,6	5,7	15,3

ΛαΟούρι (<i>Vicia</i> spp.)	2	3,5	8
Αγριόπυρο (<i>Agropyron</i> spp.)	5	8,9	21
ΦΥΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ			
Κριθάρι (<i>H. vulgare</i>)	5,3 ^β	8,7	18,8
Αραβόσιτος (<i>Z. mays</i>)	1,1	2,5	6,7
Βαμβάκι (<i>Gossypium</i> spp.)	5,1	8,7	18
Πατάτα (<i>S. tuberosum</i>)	1,1	2,5	6,7
Σόγια (<i>G. hispida</i>)	3,3	4,1	6,7
Σακχαρότευτλα (<i>B. vulgaris</i>)	4,7	7,3	16
Σιτάρι (<i>T. aestivum</i> ή <i>durum</i>)	4,0 ^β	6,3	13,3

^α EC στο εκχύλισμα κορεσμού

^β Επειδή η κριθή και ο σίτος είναι λιγότερο ανεκτικά στη διάρκεια βλαστικών περιόδων και των αρχικών σταδίων ανάπτυξης, η EC δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2,7 dS/m.

4.4.7. Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων.

Όπως έχει προαναφερθεί, ιστορικά, τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν δύο σημαντικά συνθετικά: την επεξεργασία του αποβλήτου και τη διάθεση της επεξεργασμένης εκροής τους. Η προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, πριν από την εφαρμογή τους σε ένα σύστημα βραδείας εφαρμογής, αποτελεί μια πάγια και εντελώς απαραίτητη προϋπόθεση. Οι λόγοι που την επιβάλλουν είναι:

1. Προστασία της δημόσιας υγείας. Όπως είναι γνωστό σε κάθε ανάκτηση συστατικών υγρών αποβλήτων και επαναχρησιμοποίηση τους υπάρχει κάποιος κίνδυνος για την υγεία, που οφείλεται, κυρίως, στην ανθρώπινη έκθεση σε διάφορα παθογόνα. Το πρόβλημα αυτό είναι ανάλογο με το βαθμό της ανθρώπινης επαφής με το απόβλητο και το επίπεδο και την αξιοπιστία της προεπεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, που θα πρέπει να αυξάνει, όσο αυξάνει η πιθανότητα και ο βαθμός ανθρώπινης έκθεσης σε αυτά.

Πίνακας 4.16. Αντοχή διαφόρων ειδών, υποκειμένων και ποικιλιών στο χλώριο[3]

Είδος	Υποκείμενο ή ποικιλία	Μέγιστη συγκέντρωση χλωρίου στο νερό χωρίς ζημιογόνο επίδραση στα φύλλα (mg/L) ^α
	ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟ	
Αβοκάντο (<i>Persea americana</i>)	Τύπου West Indian	180
	Τύπου Guatemalan	145
	Τύπου Mexican	110
Εσπεριδοειδή (<i>Citrus</i> spp.)	Sunki mandarin, Grapefruit Cleopatra mandarin, Rangpur lime	600

	Sampson tangelo, Rough lemon, Sour orange, Ponkan mandarin	355
	Citrumelo 4475, Trifoiate orange, Cuban shaddock, Calamondin, Sweet orange, Savage citrange, Rusk citrange, Troyer citrange	250
Αμπελος (Vitis spp.)	Salt Creek, 1613-3	960
	Dogridge	710
Πυρηνόκαρπα (Prunus spp.)	Mariana	600
	Lovell, Shalil	250
	Yunnan	180
	ΠΟΙΚΙΛΙΑ	
Μούρα (Berries) (Rubus spp.)	Boysenberry	250
	Olallie blackberry	250
	Indian Summer raspberry	110
Αμπελος (Vitis spp.)	Thompson seedless, Perlette	460
	Cardinal, Black rose	250
Φράουλα (Frangaria spp.)	Lassen	180
	Τύπου Shasta	110

^α Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή ισχύει μόνο για φυτά υπό επιφανειακή άρδευση.

Πίνακας 4.17. Σχετική ανεκτικότητα διαφόρων φυτών και δένδρων σε φυλλική ζημιά από υφάλμυρα νερά εφαρμοζόμενα με καταιονισμό[3].

Συγκεντρώσεις Na ⁺ ή Cl ⁻ (meq/L) που προξενούν ζημιά σε υπέργεια μέρη	
<5	5~10
Αμυγδαλιά (Pirus communis)	Αμπελος (Vitis spp.)
Βερυκοκιά (Pirus americana)	Πιπεριά (Capsicum spp.)
Εσπεριδοειδή (Citrus spp.)	Πατάτα (S. tuberosum)
Δαμασκηνιά (Pirus domestica)	Αγγούρι (C. sativus)
10~20	>20
Μηδική (M. sativa)	Λάχανα (Brassica oleracea)
Αραβόσιτ. (Zea mays)	Βαμβάκι (Gossypium spp.)

Κριθή (<i>H. vulgare</i>)	Σακχαρότευτλα (<i>B. vulgaris</i>)
Σόργο (<i>Sorgum spp.</i>)	Ηλιανθος (<i>H. annuus</i>)
Τομάτα (<i>L. esculentum</i>)	

2. Πρόληψη ενοχλητικών καταστάσεων κατά τη διάρκεια συγκέντρωσης ή αποθήκευσης των υγρών αποβλήτων. Σημειώνεται ότι αυτή η διαδικασία είναι εντελώς απαραίτητη προ της εφαρμογής των υγρών αποβλήτων στο έδαφος για: κλιματολογικούς λόγους (ψυχροί χειμώνες, υψηλές βροχοπτώσεις κ.λ.π.), αγρονομικούς λόγους (καλλιέργεια εδάφους, σπορά ή φύτευση, συγκομιδή κ.λ.π.), μείωση ρυπαντικού φορτίου, συντήρηση ή επισκευή δικτύων διανομής, εξισορρόπηση παροχής εκρών και φυσικά πιθανό συνδυασμό της με την αναγκαία προεπεξεργασία τους.
3. Πρόληψη ζημιών εδάφους και φυτών. Τέτοιες ζημιές οφείλονται σε τοξικές επιδράσεις από βαρέα μέταλλα, Na^+ , Cl^- και άλλα και τον κίνδυνο να προξενηθεί αλατότητα και/ή αλκαλικότητα στο έδαφος.
4. Πρόληψη άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως είναι η ρύπανση εδαφοϋδατικών πόρων.

Γενικά, τα συστήματα βραδείας εφαρμογής θα πρέπει να θεωρούνται ως ένα ενιαίο σύνολο διεργασιών, που πρέπει να συνδυάζεται με άλλες διεργασίες για την επίτευξη πλήρους επεξεργασίας του θεωρούμενου υγρού αποβλήτου. Η προεπεξεργασία μπορεί να κυμαίνεται από πρωτοβάθμια μέχρι προωθημένη επεξεργασία. Το απαιτούμενο επίπεδο προεπεξεργασίας για τα συστήματα βραδείας εφαρμογής εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος. Για τα συστήματα Τύπου 2, το επίπεδο προεπεξεργασίας θα πρέπει να είναι το ελάχιστο απαραίτητο για την ασφάλεια της δημόσιας υγείας και την αποφυγή ενοχλητικών συνθηκών. Έτσι, ως ελάχιστο επίπεδο προεπεξεργασίας για τέτοια συστήματα συνιστάται η εσχάρωση και η πρωτοβάθμια καθίζηση. Για τα συστήματα Τύπου 1, που σχεδιάζονται με έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση του υγρού αποβλήτου, απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή και υψηλότερου επιπέδου προεπεξεργασία. Η απαιτούμενη προεπεξεργασία για άρδευση φυτικών καλλιεργειών, συνήθως βασίζεται στους κανονισμούς για τη δημόσια υγεία και τις ισχύουσες σχετικές οδηγίες. Στις ΗΠΑ, αυτοί οι κανονισμοί διαφέρουν από πολιτεία σε πολιτεία και εξαρτώνται από τον τύπο της φυτικής καλλιέργειας, την επιδιωκόμενη χρήση της, το βαθμό επαφής της εφαρμοζόμενης εκροής με το κοινό και τη μέθοδο εφαρμογής της. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι, σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται φυτά που καταναλώνονται ωμά από τον άνθρωπο, απαιτείται προωθημένη επεξεργασία και απολύμανση της εκροής πριν από κάθε επαναχρησιμοποίηση της ή μπορεί, ακόμη, να απαγορεύεται εντελώς η χρήση της. Γενικές οδηγίες του επιπέδου προ επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, που απαιτείται σε συστήματα βραδείας εφαρμογής, δίδονται στον Πίνακα 4.18.[3].

Πίνακας 4.18. Ελάχιστη απαιτούμενη προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων πριν από την εφαρμογή τους σε συστήματα βραδείας εφαρμογής [3].

Επίπεδο επεξεργασίας	Παρατηρήσεις
Πρωτοβάθμια επεξεργασία.	Είναι αποδεκτή για απομονωμένες περιοχές με περιορισμένη δημόσια επικοινωνία ή επαφή και χρησιμοποίηση φυτών που δεν καταναλώνονται άμεσα από τον άνθρωπο.
Δευτεροβάθμια επεξεργασία με τη χρήση τεχνητών λιμνών ή άλλων σχετικών διεργασιών, με πρόσθετο έλεγχο των κολοβακτηριδίων (σε συγκεντρ. < 1000MPN/100cm ³).	Είναι αποδεκτή για ελεγχόμενες γεωργικές περιοχές και χρησιμοποίηση φυτών που δεν καταναλώνονται ωμά από τον άνθρωπο.
Δευτεροβάθμια επεξεργασία με τη χρήση τεχνητών λιμνών ή άλλων βιολογικών διεργασιών με πρόσθετο έλεγχο BOD, διαλυτών στερεών και στερεών και κολοβακτηρίων (σε συγκεντρώσεις < 200MPN/100 cm ³).	Είναι αποδεκτή για εκτάσεις με δημόσια επικοινωνία ή επαφή, όπως πάρκα, golfs, αθλοπαιδιές και άλλες.

4.4.8. Μέθοδοι Εφαρμογής

Στα συστήματα βραδείας εφαρμογής η μέθοδος εφαρμογής του υγρού αποβλήτου επιλέγεται κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό, ιδιαίτερα σε αυτά Τύπου 1, όπου η απόδοση εφαρμογής αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο υπολογισμού του υδραυλικού τους φορτίου. Τα συστήματα εφαρμογής-διανομής μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες: καταιονισμού, επιφανειακά και στάγδην. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα διανομής των αποβλήτων στο έδαφος εξαρτώνται από την καλλιέργεια, την τοπογραφία, το ανάγλυφο του εδάφους και τον εδαφικό τύπο. Τα πιο συνηθισμένα συστήματα διανομής είναι αυτά του καταιονισμού, που προσαρμόζονται σε διαφορετικές εδαφολογικές συνθήκες και τα επιφανειακά για κατάλληλα εδάφη και είδη φυτικών καλλιεργειών. Οι ειδικοί τύποι των κατηγοριών αυτών και ορισμένες συνθήκες προσδιοριστικές της καταλληλότητάς τους αναφέρονται στον Πίνακα 4.19.[3].

Πίνακας 4.19. Τύποι συστημάτων διανομής εκροών υγρών αποβλήτων σε συστήματα βραδείας εφαρμογής και συνιστώμενες συνθήκες χρήσης τους[3].

Καταλληλότητα και συνθήκες χρησιμοποίησης σχετικά με:					
Συστήματα διανομής εκροής	Είδη φυτών	Τοπογραφία	Έδαφος	Νερό	Απόδοση εφαρμογής ^a (%)
Καταιονισμού					
Μετακινούμενα χειρωνακτικά	Δενδρώδη, βοσκές, λαχανικά, αμπελώνες & φυτά μεγάλης καλλιέργειας.	Μέγιστη κλίση : 20%	Ελαχ.ΙR ^β =25mm/h WHC ^δ =7,6cm	Ποσότητα : NR ^γ Ποιότητα : υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Μετακινούμενα μηχανικά (δια τροχών)	Όλα τα φυτά που δεν υπερβαίνουν 1m ύψος	Μέγιστη κλίση : 15%	Ελαχ.ΙR=2,5mm/h WHC=7,6cm	Ποσότητα : NR Ποιότητα : υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Μόνιμα	NR	NR	Ελαχ.ΙR=1,3 mm/h	Ποσότητα : NR Ποιότητα : υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Κεντρικά περιστρεφόμενη πλευρική γραμμή	Όλα τα φυτά (εκτός δενδρώδη % αμπελώνες)	Μέγιστη κλίση : 15%	Ελαχ.ΙR=7,6mm/h WHC=5cm	Ποσότητα : απαιτούνται μεγάλες παροχές. Ποιότητα : υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα.	70-80
Μετακινούμενο κανόνι εκτόξευτηρας	Βοσκές, μηδική, λαχανικά & φυτά μεγάλης καλλιέργειας	Μέγιστη κλίση : 15%	Ελαχ.ΙR=7,6mm/h WHC=5cm	Ποσότητα : 0,4-4m ³ /min κατά μονάδα. Ποιότητα : υψηλή συγκέντρωση TDS μπορεί να προξενήσει ζημιές στο φύλλωμα	70-80
Επιφανειακά					
Λωρίδες μέχρι 30m πλάτους	Βοσκές, μηδική, σιτηρά & δενδρώδη	Μέγιστη κλίση : <1% Κάθετη κλίση : 0,2%	Ελαχ.ΙR=7,6mm/h Μεγ. ΙR=150mm/h Βάθος : επαρκές για διευθέτηση.	Ποσότητα : απαιτούνται μεγάλες παροχές.	65-85

Επίπεδες λωρίδες	Φυτά μεγάλης καλλιέργειας, ρύζι & δενδρώδη	Μέγιστη κλίση: επίπεδη Κάθετη κλίση 0,2%	Ελαχ. IR=2,5mm/h Μεγ. IR=150mm/h Βάθος : επαρκές για διευθέτηση.	Ποσότητα : απαιτούνται ενδιάμεσες παροχές.	75-90
Ευθείες αύλακες	Λαχανικά, δενδρώδη & αμπελώνες	Μέγιστη κλίση: 10% Κάθετη κλίση 10% (κίνδυνος διάβρωσης)	Ελαχ. IR=2,5mm/h (Δεν απαιτείται όταν το μήκος των αυλάκων έχει προσδιοριστεί με την διηθητικότητα) Βάθος: επαρκές για διευθέτηση	Ποσότητα : απαιτούνται ενδιάμεσες παροχές.	70-80
Αύλακες κατά ισοϋψείς	Λαχανικά, δενδρώδη & αμπελώνες	Μέγιστη κλίση: 8% Κάθετη κλίση 10% (κίνδυνος διάβρωσης)	Ελαχ. IR=2,5mm/h Μεγ. IR: NR, όταν το μήκος των αυλάκων έχει προσδιοριστεί με διηθητικότητα.	Ποσότητα : απαιτούνται ενδιάμεσες παροχές.	70-85
Στάγδην	Κηπευτικά, φυτρωιακές καλλιέργειες, αμπελώνες & δενδρώδη	NR	Ελαχ. IR=5mm/h	Ποσότητα: NR	70-85

^α Βασίζεται σε ορθολογική διαχείριση τους και επιστροφή στο σύστημα της πιθανής επιφανειακής απορροής.

^β Ταχύτητα διήθησης (IR)

^γ Δεν απαιτείται (NR)

^δ Υδατοϊκανότητα (WHC)

Συστήματα Καταιονισμού. Όλοι σχεδόν οι τύποι των συστημάτων καταιονισμού (μόνιμοι, ημιμόνιμοι, μετακινούμενοι, συνεχούς κίνησης και άλλοι) μπορούν να χρησιμοποιηθούν, επειδή είναι δυνατή η προσαρμογή τους σε μια ευρεία κατηγορία εδαφολογικών, καλλιεργητικών και αγρονομικών συνθηκών. Τα μόνιμα συστήματα μπορούν να είναι επιφανειακά ή υποεπιφανειακά ως προς την τοποθέτηση των κεντρικών και πλευρικών αγωγών. Και οι δύο αυτοί τύποι περιλαμβάνουν κύριες και δευτερεύουσες ή πλευρικές γραμμές, που φέρουν εκτοξευτές, συνήθως σε κάθετους υπερυψωμένους ορθοστάτες. Αυτοί οι τύποι προσαρμόζονται σε διαφορετικά ανάγλυφα εδάφους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε καλλιεργούμενα γεωργικά εδάφη όσο και σε δασικές εκτάσεις. Φορητοί σωλήνες αλουμινίου χρησιμοποιούνται, συνήθως επιφανειακά (Σχ 4.3.). Γενικά, τα συστήματα καταιονισμού έχουν το πλεονέκτημα του σχετικά χαμηλού αρχικού κόστους, αλλά είναι δυνατόν να υποστούν ζημιές, έχουν μικρή διάρκεια ζωής και συνήθως απαιτούν μετακίνηση τους κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του εδάφους και της συγκομιδής της παραγωγής. Τα υποεπιφανειακά συστήματα έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος από όλα σχεδόν τα χρησιμοποιούμενα αρδευτικά συστήματα. Αντίθετα, τα υποεπιφανειακά συστήματα είναι πιο αξιόπιστα, έχουν μικρό σχετικά λειτουργικό κόστος και είναι κατάλληλα για αυτόματο έλεγχο τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κινητών

συστημάτων καταιονισμού, όπως ο κεντρικά περιστρεφόμενος, ο μετακινούμενος κανόνι-εκτοξευτής και ο κυλιόμενος σε τροχούς. Ο πρώτος τύπος, που περιλαμβάνει μια πλευρική γραμμή περιστρεφόμενη σε ένα κεντρικό άξονα είναι πολύ διαδεδομένο στις ΗΠΑ (Σχ. 4.4)[3].

Επιφανειακά συστήματα. Δύο είναι οι βασικοί τύποι εφαρμογής εκροών υγρών αποβλήτων με επιφανειακά συστήματα: οι αύλακες και οι λωρίδες. Οι αύλακες βασίζονται στη ροή της εκροής του αποβλήτου με τη βαρύτητα κατά μήκος του αύλακος απ' όπου διηθείται στη συνέχεια στο έδαφος. Τυπικό σύστημα αυλακών απεικονίζεται στο Σχ. 4.2. Για τη διανομή της εκροής στους αύλακες, συνήθως χρησιμοποιούνται σωλήνες αλουμινίου με ρυθμιζόμενες εξόδους, που τελούν υπό αυτόματο έλεγχο (Σχ. 4.5). Για τη διανομή της εκροής από το κεντρικό κανάλι χρησιμοποιούνται σωληνοειδείς σίφωνες. Τα επιφανειακά συστήματα διανομής έχουν το πλεονέκτημα του μικρού αρχικού κόστους, αλλά απαιτούν συνήθως αυξημένη χειρωνακτική εργασία, πρόσθετες δαπάνες διευθέτησης του εδάφους και υψηλού επιπέδου τεχνογνωσία για σχεδιασμό και λειτουργία των δικτύων τους.

Στάγδην Συστήματα. Τα στάγδην συστήματα αποτελούνται από μια κεντρική μονάδα ελέγχου (κεφαλή), από ένα δίκτυο σωλήνων, συνήθως από PVC και από μικρούς μηχανισμούς διανομής (σταλακτήρες), που τοποθετούνται πλησίον της βάσης των αρδευόμενων φυτών. Η στάγδην μέθοδος δεν χρησιμοποιείται, συνήθως, σε συστήματα βραδείας εφαρμογής, εκτός όταν η εφαρμοζόμενη εκροή είναι υψηλής καθαρότητας, κυρίως ως προς τα αιωρούμενα στερεά συστατικά, ώστε να αποφεύγονται αποφράξεις των σταλακτήρων. Η απαιτούμενη υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία του αποβλήτου, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εφαρμογή του στο έδαφος με τη στάγδην μέθοδο, θα πρέπει να εξετάζεται σε οικονομική δάση. Η χρήση ενδιάμεσων φίλτρων άμμου ή άλλων υλικών, μπορεί να εξασφαλίσει εκροές κατάλληλες για στάγδην εφαρμογή. Επίσης, τα συστήματα αυτά θεωρούνται υψηλού αρχικού κόστους εγκατάστασης τους, αλλά χαμηλού σχετικά λειτουργικού κόστους[3].

4.4.9. Υδραυλικό Φορτίο Εφαρμογής

Ως υδραυλικό φορτίο εφαρμογής ορίζεται ο εφαρμοζόμενος όγκος εκροής υγρού αποβλήτου, στη μονάδα επιφανείας του εδάφους σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, συνήθως εβδομάδα, μήνα ή έτος. Αυτό, συνήθως, εκφράζεται σε mm/εβδ., cm/μην, και m/έτος ή mm/wk, cm/mo και m/yr, αντίστοιχα. Σε συστήματα Τύπου 1 το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής βασίζεται στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή της χρησιμοποιούμενης καλλιέργειας ή το φορτίο αζώτου. Αντίθετα, σε συστήματα Τύπου 2 το υδραυλικό φορτίο σχεδιασμού ενός έργου υπολογίζεται με δάση δύο περιοριστικούς παράγοντες: α) Την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους και β) το φορτίο αζώτου. Για βιομηχανικά υγρά απόβλητα ή συστήματα Τύπου 3, ο υπολογισμός του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής βασίζεται σε διάφορους άλλους παράγοντες, όπως είναι το οργανικό φορτίο και το φορτίο μετάλλων ή αλάτων.

Πίνακας 4.20. Τυπικές πληροφορίες σχεδιασμού επιφανειακών μεθόδων εφαρμογής, καταλλήλων για συστήματα βραδείας εφαρμογής[3].

Είδος	Τιμές	
	Διακύμανση	Τυπική
Σύστημα: αυλάκια με ανάχωμα		
Τοπογραφία ^α	Σχετικά επίπεδοι ή με μέτριες κλίσεις	
Διαστάσεις		
Μήκος αυλάκων (m)	180-400	
Απόσταση μεταξύ αυλάκων (m) ^β	6~12	
Εφαρμογή ^γ		
Είδος σωλήνα	Αλουμινίου με ρυθμιζόμενες εξόδους	
Μήκος σωλήνα (m)	25-30	
Περίοδοι ανάπαυσης	Μέχρι 6 εβδομ.	7-14 ημ.
Σύστημα: Λωρίδες κατάκλυσης		
Διαστάσεις λωρίδας ^δ		
Πλάτος (m)	6~30	12~18
Κλίση (%)	0,2-0,4	0,3
Μήκος (m)	180-400	
Μέθοδος διανομής	Κανάλια επενδεδυμένα με σκυρόδεμα, υποεπιφανειακούς σωλήνες ή σωλήνες αλουμινίου με ρυθμιζόμενες εξόδους.	
Περίοδοι ανάπαυσης	Μέχρι 6 εβδομ.	7-14 ημ.
Παροχές εφαρμογής (ανά μονάδα μήκους) ^ε		
Αργιλώδη εδάφη (L/min.m)	110-220	160
Αμμώδη εδάφη (L/min.m)	300-600	500

^α Σε μέτριες κλίσεις εφαρμόζονται αύλακες κατά μήκος των ισοϋψών.

^β Εξαρτάται από την κλίση.

^γ Χρησιμοποιούνται επιφανειακοί σταθεροί σωλήνες, για τη διασφάλιση υψομετρικής διαφοράς 0,9-1,2 m και ομαλής διανομής.

^δ Οι διαστάσεις ποικίλουν ανάλογα με το τύπο της φυτικής καλλιέργειας και του εδάφους.

^ε Η παροχή που εφαρμόζεται εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του εδάφους. Η περίοδος εφαρμογής σε κάθε λωρίδα ποικίλει ανάλογα με το μήκος και την κλίση της. L= εφαρμοζόμενο ύψος εκροής.

4.4.10. Υποστράγγιση

Ο όρος υποστράγγιση αναφέρεται σε κάθε τύπου υποεπιφανειακό στραγγιστικό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιείται για τη συλλογή και μεταφορά του ανακτώμενου υγρού αποβλήτου κατά τη διάρκεια κατείσδυσής του στο έδαφος. Το δίκτυο υποστράγγισης πρέπει να σχεδιάζεται έτσι, ώστε να διευκολύνει τη ροή προς τον υδροφόρο ορίζοντα, σε σύντομο χρόνο μετά την εφαρμογή της εκροής του υγρού αποβλήτου ή μιας σημαντικής βροχόπτωσης. Υποστράγγιση ίσως απαιτείται σε φτωχά και μειωμένης

στραγγιστικής ικανότητας εδάφη ή όταν τα επίπεδα του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζουν την ανάκτηση του υγρού αποβλήτου ή την ανάπτυξη της φυτικής καλλιέργειας. Βασικοί παράγοντες προκαταρκτικού σχεδιασμού του δικτύου στράγγισης, σε μια δεδομένη έκταση ενός έργου βραδείας εφαρμογής, αποτελούν η μηχανική σύσταση του εδάφους, η τοπογραφία της θεωρούμενης έκτασης, το επίπεδο και οι διακυμάνσεις του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Λεπτομερέστερη διερεύνηση της έκτασης απαιτείται για τον τελικό σχεδιασμό, επειδή το υπέδαφος και οι συνθήκες του υπόγειου υδροφορέα δεν είναι δυνατό να αποτυπωθούν μακροσκοπικά.

Τα συστήματα υποστράγγισης, συνήθως, περιλαμβάνουν ένα δίκτυο σωλήνων στράγγισης τοποθετημένο σε βάθος 1,2 έως 3,0 m από την επιφάνεια του εδάφους και απολήγει σε ένα κεντρικό στραγγιστικό κανάλι, που ευρίσκεται σε ένα άκρο της θεωρούμενης έκτασης. Η συνήθης διάμετρος των σωλήνων κυμαίνεται από 100 έως 200 mm. Οι αποστάσεις των σωλήνων υποστράγγισης εξαρτώνται από την περατότητα του εδάφους και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Σε περιπτώσεις υψηλών υδραυλικών φορτίων εφαρμογής, όπως στα συστήματα ταχείας διήθησης ή όπου η περατότητα του εδάφους είναι περιορισμένη, όπως στα αργιλώδη εδάφη, οι αποστάσεις των στραγγιστικών σωλήνων μπορεί να ελαττωθούν μέχρι και 15 έως 30 m. Σε συστήματα, όμως, βραδείας εφαρμογής σε εδάφη με ενδιάμεσες μέχρι σχετικά υψηλές υδραυλικές αγωγιμότητες, οι αποστάσεις των σωλήνων μπορεί να φθάσουν μέχρι και 90 έως 100 m[3].

4.4.11. Έλεγχος Επιφανειακής Απορροής

Η ανάγκη ελέγχου της επιφανειακής απορροής είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής της εκροής του υγρού αποβλήτου, καθώς επίσης πλημμυρικών συμβάντων και εξαρτάται από την προσδοκώμενη απορροή. Κατά τον έλεγχο της επιφανειακής απορροής σε αρδευτικά συστήματα θα πρέπει να θεωρείται το νερό επιστροφής. η πλημμυρική απορροή και η προστασία του συστήματος.

Νερό Επιστροφής. Η επιφανειακή απορροή των εφαρμοζόμενων εκροών υγρών αποβλήτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό επιφανειακών συστημάτων εφαρμογής, όπως είναι αυτά των αυλακών και λωρίδων. Με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης εφαρμογής των εκροών, αυξάνεται αρχικά το εφαρμοζόμενο υδραυλικό φορτίο και η ποσότητα, που συγκεντρώνεται στο τέλος των αυλακών ή των λωρίδων, συλλέγεται και επιστρέφεται για επαναεφαρμογή. Η διαδικασία αυτή διενεργείται με μια σειρά ανοικτών συλλεκτικών καναλιών, μια μικρή δεξαμενή, ένα πλωτό-αυτοματοποιημένο σταθμό άντλησης και μια κεντρική γραμμή επιστροφής στο κεντρικό δίκτυο διανομής ή στην κεντρική δεξαμενή αποθήκευσης. Το ποσοστό επιστροφής, ως επιφανειακή απορροή, κυμαίνεται από 10 έως 40% της εφαρμοζόμενης παροχής, εξαρτώμενο από τον τύπο του εδάφους, το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής και γενικά τη διαχείριση του συστήματος. Σε υγρά κλίματα, η επιφανειακή απορροή των εφαρμοζόμενων εκροών ελέγχεται από κοινού με τις πλημμυρικές απορροές.

Πλημμυρικές Απορροές. Σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης, σε περιοχές που έχουν εγκατασταθεί συστήματα βραδείας εφαρμογής, απαιτείται κάποιος έλεγχος της απορροής. Αυτός ο έλεγχος της πλημμυρικής απορροής μπορεί να αποφευχθεί σε εκτάσεις σχετικά επίπεδες,

με εδάφη ικανοποιητικής στράγγισης ή όπου η ποιότητα της είναι αποδεκτή για ανεξέλεγκτη διάθεση. Όπου ο έλεγχος της απορροής θεωρείται αναγκαίος, αυτός συνίσταται στη συλλογή, επεξεργασία ή και την επαναεφαρμογή της πλημμυρικής απορροής.

Η ποσότητα της απορροής μετά από μια βροχόπτωση εξαρτάται από την διηθητική ικανότητα του εδάφους, από την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους πριν από το συμβάν, την τοπογραφία και την κλίση της έκτασης, το είδος της φυτικής βλάστησης και τη θερμοκρασία του αέρος και του εδάφους. Η σχέση μεταξύ του ύψους της απορροής και τέτοιων παραγόντων είναι ενδιαφέρουσα και κοινή σε πολλά υδρολογικά προβλήματα και καλύπτεται επαρκώς σε διάφορα δημοσιεύματα υδρολογικού περιεχομένου.

4.4.12. Κλίνες καλαμιών

Τόσο οι κλίνες καλαμιών όσο και οι τεχνητοί υγροβιότοποι είναι ένα επίκαιρο θέμα στο Ενωμένο Βασίλειο και παγκοσμίως τα τελευταία 10 έτη όσον αφορά την επεξεργασία των λυμάτων (Σχ. 4.9. και 4.10.). Είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς επειδή παρέχουν μια αξιόπιστη μέθοδο επεξεργασίας σε μικρούς διασκορπισμένους πληθυσμούς. Παρέχουν την δυνατότητα απλής επεξεργασίας για τα λύματα από τους αγροτικούς πληθυσμούς που μπορούν να κυμαίνονται από ένα έως περίπου 2.000 κατοίκους. Το κόστος τους είναι πολύ χαμηλότερο από τη κατασκευή αποχετευτικού δικτύου και σύνδεση του με υπάρχουσες μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Είναι επίσης δημοφιλείς στις περιβαλλοντικές ομάδες επειδή παρέχουν έναν φυσικό τρόπο επεξεργασίας. Εντούτοις χρειάζονται προσεκτικό σχεδιασμό, λειτουργία και τακτικό έλεγχο.



Σχ.4.9. Κεντρικός διανομέας ανάμεσα σε 2 κλίνες στο Ashby Folville(Leicestershire)[4].

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι στην Ευρώπη είναι κάπως διαφορετικοί στην εφαρμογή και στον σχεδιασμό από εκείνους στις ΗΠΑ, τον Καναδά και την Αυστραλία. Στην Ευρώπη, παρέχουν συνήθως τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των οικιακών λυμάτων για τον πληθυσμό του χωριού ενώ οι τεχνητοί

υγροβιότοποι που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ, τον Καναδά, και την Αυστραλία χρησιμοποιούνται σαν τριτοβάθμια ή τεταρτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων από τις κωμοπόλεις και τις πόλεις. Έτσι λοιπόν είναι πολύ μεγαλύτεροι και χρησιμοποιούν συνήθως τις φυσικές περιοχές με υγροβιότοπους (επιφανειακής-ροής) για να αφαιρέσουν χαμηλές συγκεντρώσεις των θρεπτικών ουσιών, του αζώτου και των φωσφορούχων, ή/και αιωρούμενων στερεών[4].

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι και οι κλίνες καλαμιών είναι συστήματα που στοχεύουν στη μίμηση της επεξεργασίας που έχει παρατηρηθεί ότι πραγματοποιείται στη φύση όταν διοχετευθεί μολυσμένο νερό στο φυσικούς υγροβιότοπους. Αυτά τα συστήματα μπορούν να καθαρίσουν τα επεξεργασμένα απόβλητα με την αφαίρεση της οργανικής ουσίας (BOD), την οξείδωση της αμμωνίας, τη μείωση του νιτρικού άλατος και την αφαίρεση του φωσφόρου. Οι μηχανισμοί είναι σύνθετοι και περιλαμβάνουν τη βακτηριακή οξείδωση, τη διήθηση, την ιζηματογένεση και τη χημική καθίζηση. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κατασκευασμένων παραλλαγών κλινών καλαμιών υγροβιότοπων αλλά τα κύρια συστήματα είναι τα υποεπιφανειακά συστήματα ροής. Αυτά είναι τα πιο δημοφιλή στη Μεγάλη Βρετανία και άλλα μέρη της Ευρώπης.



Σχ.4.10. Κλίνες καλαμιών κατακόρυφης ροής στο Medmenham τον Ιούλιο [4].

Οι κλίνες καλαμιών έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα :

- χαμηλό κόστος κατασκευής
- χαμηλές λειτουργικές δαπάνες
- είναι πιθανή η επεξεργασία πολύ μικρών ροών σε περιοχές που ήταν προηγουμένως μη επεξεργασμένα, π.χ. απομακρυσμένα σπίτια ή ξενοδοχεία, περιοχές στρατοπέδευσης, κέντρα επισκεπτών

- θεωρούνται ως φυσική διαδικασία και ως εκ τούτου ως "πράσινη" τεχνολογία
- ταιριάζουν με την επαρχία και παρέχουν άγριας φύσης βιότοπο
- ως τριτοβάθμια επεξεργασία μπορούν να παρέχουν μια βελτίωση στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας
- Μπορούν συνήθως να κατασκευαστούν με τοπικά υλικά και την χλωρίδα της εκάστοτε περιοχής[4].

4.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Γενικά Χαρακτηριστικά.

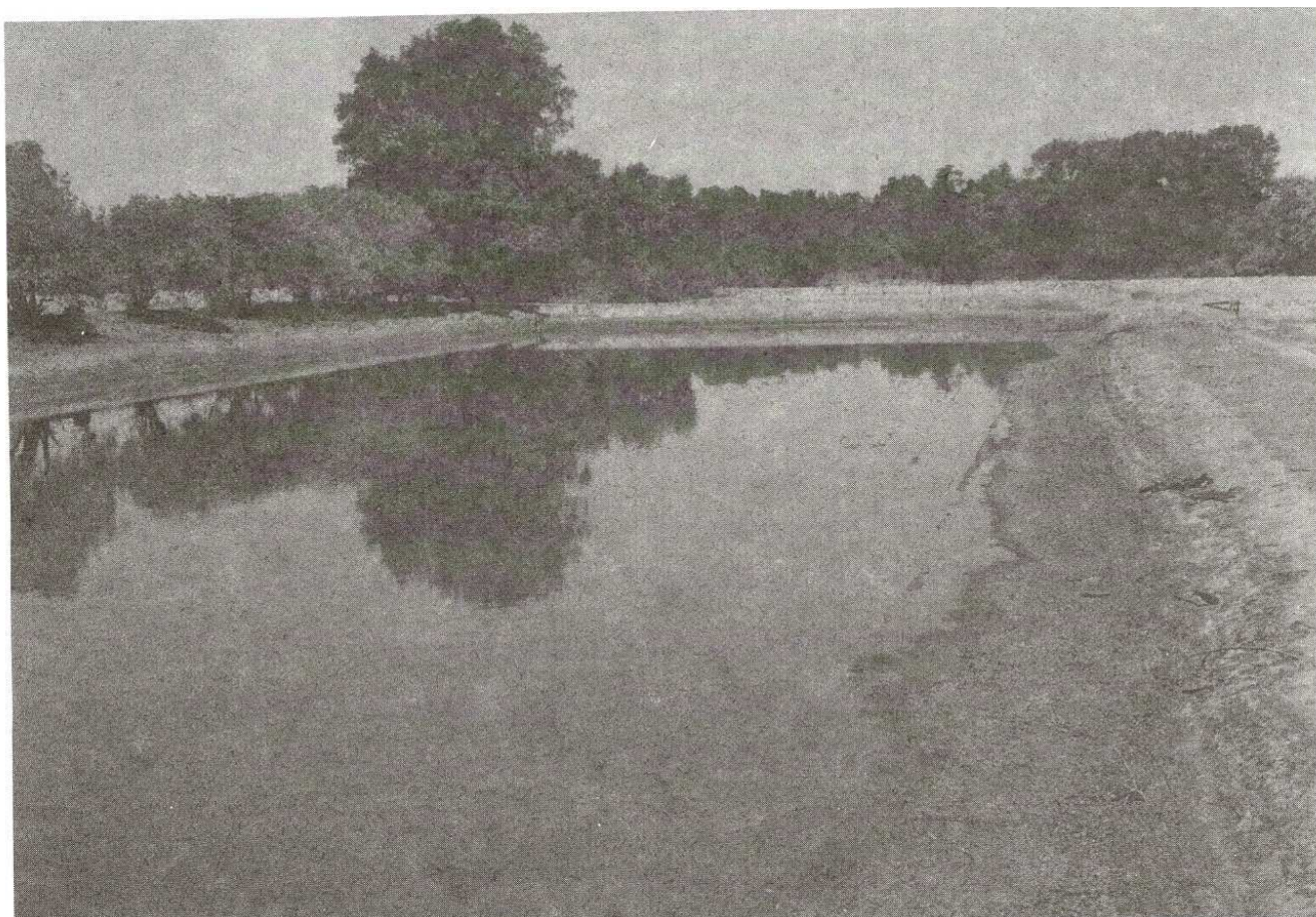
Με τη διαδικασία της ταχείας διήθησης υγρών αποβλήτων στο έδαφος (ή των συστημάτων SAT)(Σχ.4.3.), η επεξεργασμένη εκροή είτε καταλήγει σε κάποιο υπόγειο υδροφορέα ή σε κάποια επιφανειακή πηγή. Με την ταχεία διήθηση το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται σε εδάφη με μεγάλη περατότητα (αμμώδη μέχρι πηλοαμμώδη) και η εφαρμογή-διανομή του διενεργείται με τεχνητές επιφανειακές λεκάνες ή με τη χρήση εκτοξευτών. Η εφαρμογή του αποβλήτου γίνεται σε περιοδική δόση. Στην περίπτωση των λεκανών, η εφαρμογή του αποβλήτου σε κάθε μια λεκάνη γίνεται για μια περίοδο 1-7 ημερών και διακόπτεται για 6-20 ημέρες. Η επεξεργασία του αποβλήτου διενεργείται δια μέσου φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, καθώς αυτό διηθείται δια μέσου του εδάφους (Σχ. 4.11). Με τα συστήματα της ταχείας διήθησης διενεργείται συνήθως και τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. Η διαθέσιμη τεχνολογία σε τέτοια θέματα θεωρείται σχετικά υψηλού επιπέδου.

Κατά την εφαρμογή του αποβλήτου δεν απαιτείται, συνήθως, φυτική βλάστηση. Το ποσοστό του υγρού αποβλήτου, που τελικά καταλήγει και εμπλουτίζει έναν υπόγειο υδροφορέα, είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι στα συστήματα βραδείας εφαρμογής. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή του αποβλήτου με φυτική βλάστηση, που πιθανόν χρησιμοποιείται σε ένα τέτοιο σύστημα, είναι πολύ περιορισμένη. Επίσης, η εξάτμιση είναι περιορισμένη και κυμαίνεται από 0,6 m/έτος σε ψυχρές περιοχές, μέχρι 2,0 m/έτος, σε θερμές, ξηρικές περιοχές. Το ύψος αυτό αντιστοιχεί σε ένα μικρό ποσοστό του εφαρμοζόμενου συνολικού υδραυλικού φορτίου. Με τα συστήματα ταχείας διήθησης μπορούν να ανακτηθούν σημαντικές ποσότητες νερού, που στη συνέχεια είναι δυνατό να επαναχρησιμοποιηθούν για άρδευση, αναψυχή και άλλες χρήσεις. Αυτή η ανακύκλωση μπορεί να γίνει με υπόγεια στραγγιστικά δίκτυα ή γεωτρήσεις. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις, που η ανάκτηση γίνεται με φυσικές διαδικασίες. Με τέτοια συστήματα ανακτάται συνήθως υψηλότερου επιπέδου επεξεργασμένη εκροή από ότι με πολλά συμβατικά-μηχανικά συστήματα επεξεργασίας.

Οι επιδιωκόμενοι σκοποί με συστήματα ταχείας διήθησης είναι η συμπληρωματική επεξεργασία του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου και παράλληλα: α) Ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, β) η ανάκτηση νερού για άλλες χρήσεις, γ) η ενίσχυση επιφανειακών πηγών νερού, και δ) η προσωρινή αποθήκευση νερού.

Σε περιπτώσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, που γειτνιάζουν με παραθαλάσσιες περιοχές, η διαδικασία της ταχείας διήθησης υγρών αποβλήτων επιδρά προστατευτικά στον κίνδυνο υφαλμύρωσης τους, με το

σχηματισμό προστατευτικής ζώνης μεταξύ του θαλάσσιου και του γλυκού, φυσικού νερού του υδροφορέα. Η τεχνογνωσία τέτοιων έργων θεωρείται ακόμη αναπτυσσόμενη. Αντίθετα, έργα εμπλουτισμού-επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων είναι αρκετά διαδεδομένα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του έργου στο Phoenix της Αριζόνας των ΗΠΑ, όπου λειτουργεί με επιτυχία σύστημα εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με εκροές υγρών αποβλήτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησή τους, κυρίως, για άρδευση μετά από άντληση τους[3].



Σχ.4.11. Τυπικές επιφανειακές λεκάνες εφαρμογής εκροών υγρών αποβλήτων σε συστήματα ταχείας διήθησης [3].

4.6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ

Γενικά Χαρακτηριστικά.

Με τα συστήματα επιφανειακής ροής είναι δυνατό να επιτευχθεί δευτεροβάθμια ή προωθημένη (τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων). Με τέτοια συστήματα μπορούν να απομακρυνθούν σημαντικές ποσότητες BOD, αιωρούμενων στερεών και αζώτου. Αντίθετα, η απομάκρυνση φωσφόρου και παθογόνων είναι σχετικά περιορισμένη. Σημειώνεται ότι η απομάκρυνση φωσφόρου απαιτεί συμπληρωματική επεξεργασία, προ ή μετά την εφαρμογή του υγρού αποβλήτου σε σύστημα επιφανειακής ροής.

Τα συστήματα επιφανειακής ροής προσαρμόζονται και αποδίδουν καλά αποτελέσματα σε εδάφη με μικρή έως μέτρια υδραυλική αγωγιμότητα και

σχετικά αδιαπέρατες στρώσεις σε κάποιο βάθος τους. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής σε τέτοια συστήματα κυμαίνονται από 3 έως 20 m/έτος. Πριν από την εφαρμογή του αποβλήτου, το έδαφος διευθετείται σε τμήματα με ομαλές κλίσεις και αναπτύσσεται σε αυτά φυτική βλάστηση, συνήθως από αγριουστώδη φυτά, ανεκτικά σε συνθήκες υψηλής υγρασίας. Η εκροή, που ανακτάται από τέτοια συστήματα, είναι κατάλληλη για διάθεση σε ελεύθερους αποδέκτες ή άλλες χρήσεις (άρδευση, εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων κ.λ.π.). Στις ΗΠΑ, κατά τη διάρκεια της 10/ετίας του '70 αναπτύχθηκε αξιολογή τεχνολογία χρήσης συστημάτων επιφανειακής ροής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για έρευνα και εφαρμογή τέτοιων συστημάτων έχει επιτευχθεί στις πολιτείες των ΗΠΑ.

Με την επιφανειακή ροή το υγρό απόβλητο εφαρμόζεται στην πλευρά με το μεγαλύτερο υψόμετρο μιας κεκλιμένης εδαφικής επιφάνειας με φυτοκάλυψη. Η επεξεργασία διενεργείται κατά τη διάρκεια ροής του αποβλήτου στην επιφάνεια του εδάφους και τη συλλογή του σε στραγγιστικό αυλάκι, που βρίσκεται κατά μήκος της πλευράς με το μικρότερο υψόμετρο. Η ανάκτηση του υγρού αποβλήτου γίνεται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, καθώς αυτό ρέει στην εδαφική επιφάνεια με φυτική βλάστηση. Όπως είναι επόμενο, η διήθηση του αποβλήτου στο έδαφος είναι περιορισμένη, εξαιτίας της μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους και/ή του υπεδάφους και της υφισταμένης επιφανειακής κλίσης.

Οι επιδιωκόμενοι σκοποί με την επεξεργασία ενός υγρού αποβλήτου με επιφανειακή ροή είναι να επιτευχθούν: α) Δευτεροβάθμια επεξεργασία με δεδομένη πρωτοβάθμια τουλάχιστον προεπεξεργασία του και, β) υψηλού επιπέδου απομάκρυνση αζώτου, BOD και αιωρούμενων στερεών. Η επεξεργασμένη εκροή, μετά τη συλλογή της στο στραγγιστικό αυλάκι, που ευρίσκεται στην πλευρά με το μικρότερο υψόμετρο, επαναχρησιμοποιείται ή διατίθεται σε φυσικούς αποδέκτες[3].

4.7. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΓΗΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Γενικά, η εκροή που λαμβάνεται από ένα φυσικό σύστημα επεξεργασίας θα πρέπει, να πληρεί υψηλά ποιοτικά κριτήρια. Διαφορετικά επιβάλλεται συμπληρωματική επεξεργασία της. Γι' αυτό, όταν ισχύουν αυστηρά ποιοτικά κριτήρια επεξεργασίας, είναι δυνατό να εφαρμόζονται συνδυασμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ώστε η τελική διαθέσιμη εκροή να πληρεί τα επιθυμητά ποιοτικά κριτήρια. Παράδειγμα ενός τέτοιου συνδυασμένου γήινου συστήματος είναι η εφαρμογή της εκροής, που λαμβάνεται από ένα πρόδρομο σύστημα επιφανειακής ροής με σύστημα βραδείας ή ταχείας εφαρμογής στο έδαφος. Στην πράξη τέτοιοι συνδυασμοί χρησιμοποιούνται για να επιτευχθούν υψηλού βαθμού απομακρύνσεις BOD, αιωρούμενων στερεών, αζώτου, φωσφόρου και στερεών που καθιζάνουν. Στην Ada, της πολιτείας της Oklahoma των ΗΠΑ, έχουν ανακοινωθεί αποτελέσματα εργασιών, που έγιναν σε επίπεδο έργου-πιλότου και αφορούσαν την ταχεία εφαρμογή υγρών αποβλήτων, μετά προηγούμενη εφαρμογή τους με επιφανειακή ροή, που καταδεικνύουν τον υψηλό βαθμό της επεξεργασίας, που επιτυγχάνεται με το συνδυασμό δύο διαφορετικών συστημάτων.

Ένα άλλο συνδυασμένο σύστημα είναι ο συνδυασμός της βραδείας και ταχείας εφαρμογής. Σ' αυτήν την περίπτωση, προηγείται το σύστημα ταχείας

εφαρμογής και ακολουθεί αυτό της βραδείας εφαρμογής. Ένας τέτοιος συνδυασμός συστημάτων εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που επιδιώκεται να ανακτηθεί υψηλού επιπέδου εκροή. Η εκροή, που ανακτάται από την ταχεία εφαρμογή του αποβλήτου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους χρησιμοποιούνται για τη διατροφή του ανθρώπου. Δύο τέτοια συνδυασμένα συστήματα απεικονίζονται παραστατικά στο Σχ. 4.12. [3].



Σχ.4.12. Συνδυασμένα συστήματα εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος [3].

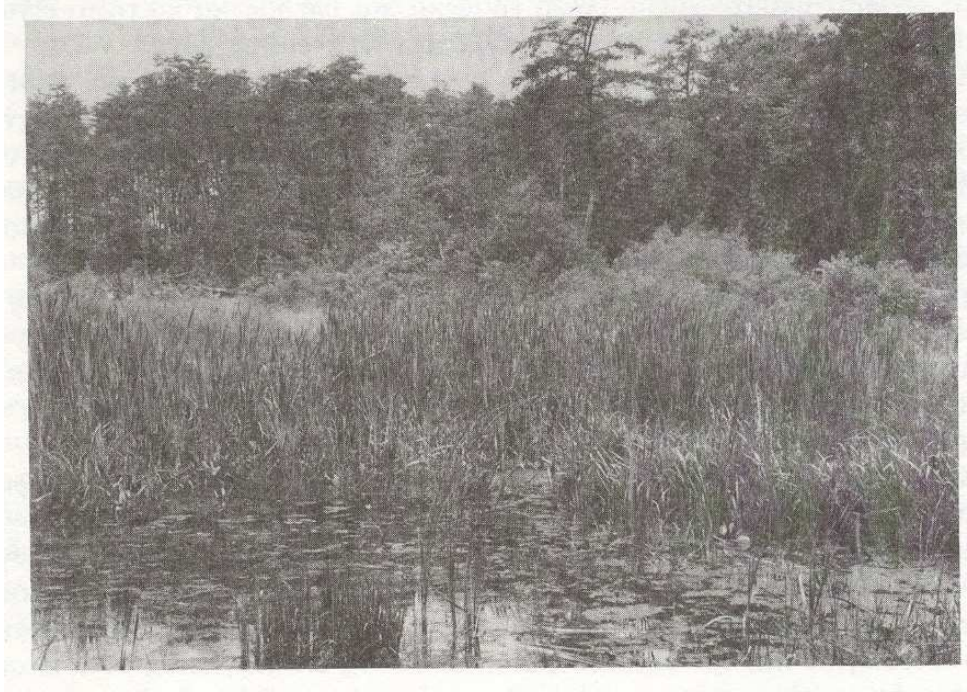
4.8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Γενικά Χαρακτηριστικά.

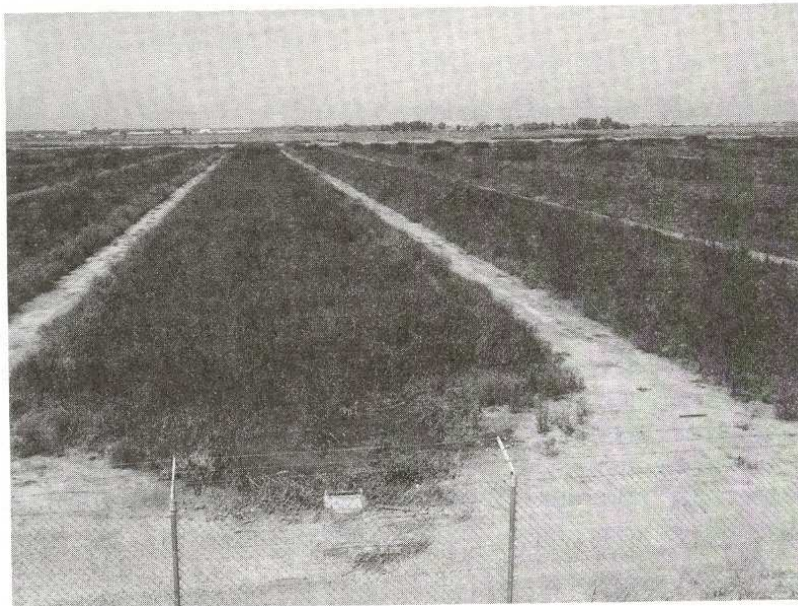
Οι τεχνητοί υγροβιότοποι (Σχ.4.13.) αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που βασίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών που αναφύονται όπως νεροκάλαμα, βούρλα και ψαθί. Σε τέτοια συστήματα, η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Με βάση αυτήν την αρχή, τα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων διακρίνονται σε αυτά με ελεύθερη επιφάνεια νερού (FWS)(Σχ.4.1.4) και σε αυτά με βυθισμένη βάση ή υποεπιφανειακής ροής (SFS)(Σχ.4.15. & 4.16.).

Τα βασικά στάδια σχεδιασμού τεχνητών υγροβιότοπων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.10. Στη συνέχεια, αναφέρονται στοιχεία προκαταρκτικού σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός τους περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, το μέγεθος, την επιλογή και τον επιτόπιο σχεδιασμό των επί μέρους τμημάτων του, το δίκτυο μεταφοράς, τους

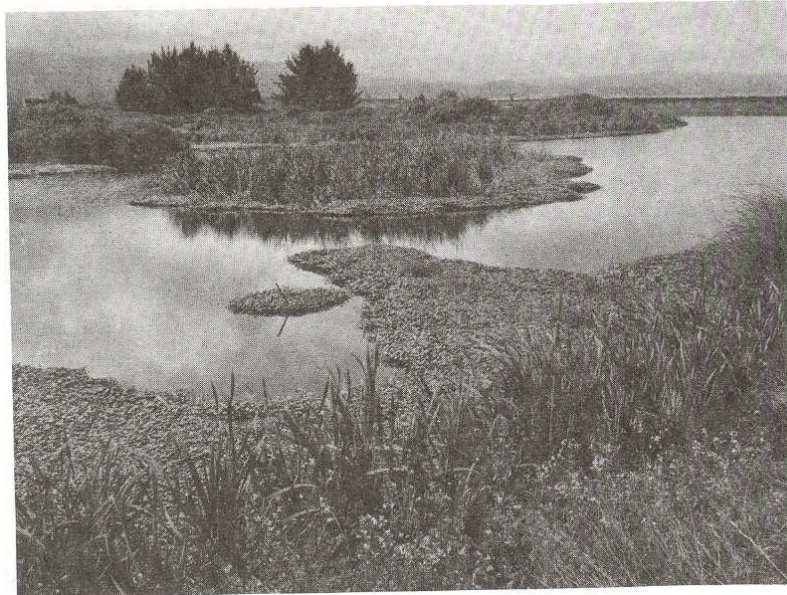
σταθμούς άντλησης. Ίσως, πρέπει να σημειωθεί ότι, αν και οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία εφαρμογών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται εφαρμογές από υγρά απόβλητα απορροφητικών συστημάτων μέχρι διάφορα είδη βιομηχανικών αποβλήτων, στη συνέχεια γίνονται αναφορές, κυρίως, για τη χρήση των τεχνητών υγροβιότοπων στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων[3] .



Σχ.4.13. Τυπικό σύστημα τεχνητού υγροβιοτόπου[3].

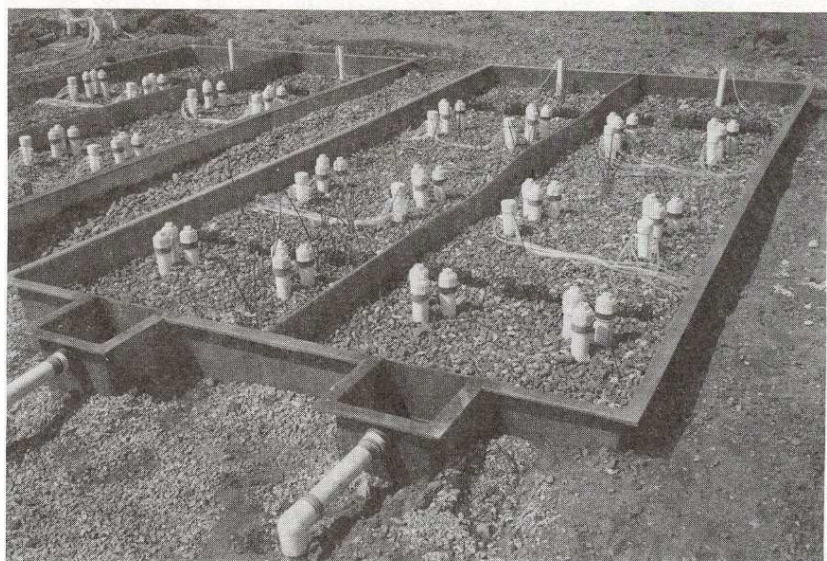


(α)

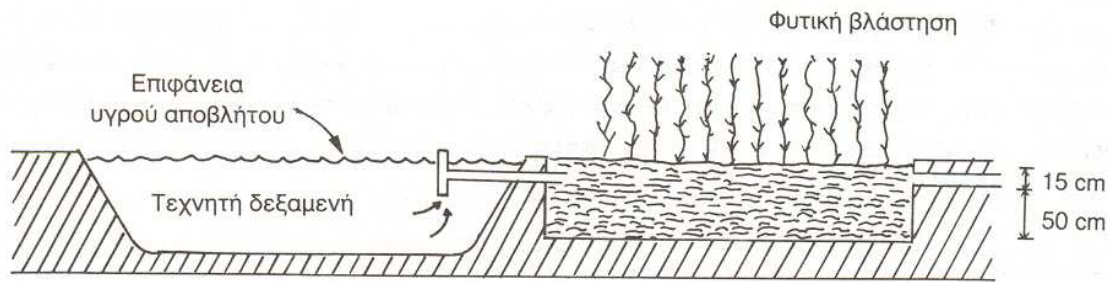


(β)

Σχ.4.14 Συστήματα FWS : α)Αποδεχόμενο εκροές τεχνητών λιμνών οξειδωσης και β) τυπικό σύστημα στην Arcata Ca[3].



Σχ.4.15. Σύστημα SFS σε πειραματικό στάδιο στο Tennessee Tech[3].



Σχ.4.16. Σύστημα υγροβιοτόπου SFS με υπόστρωμα από χονδρόκοκκα υλικά, που δέχεται την εκροή μιας τεχνητής λίμνης[3].

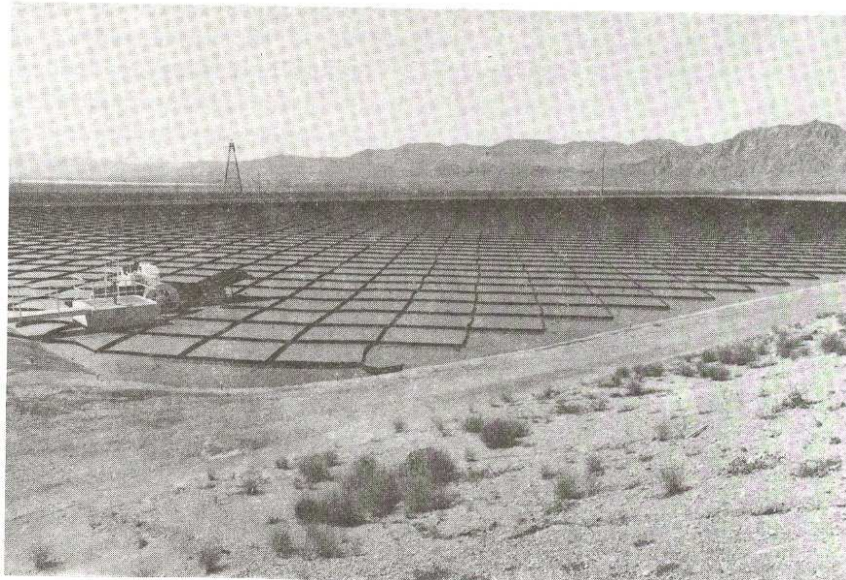
4.9. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΠΛΕΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΧΑΡΩΝ ΦΥΤΩΝ

Γενικά Χαρακτηριστικά.

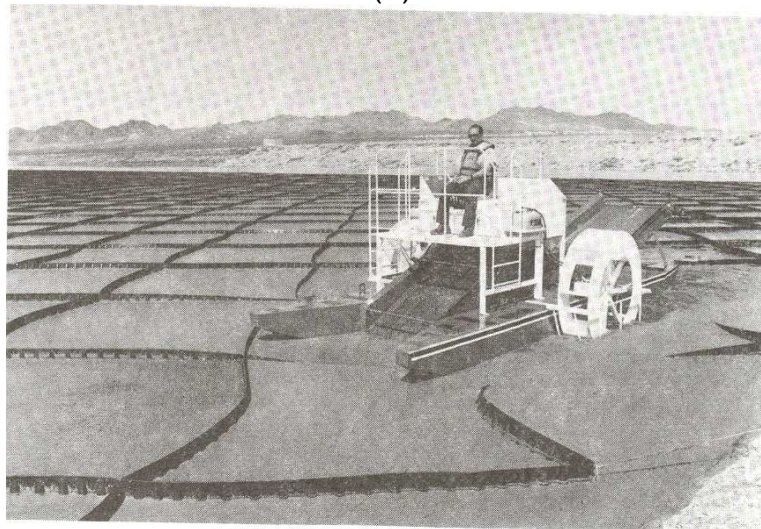
Τα στάδια σχεδιασμού ενός συστήματος με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά (Σχ.4.17. έως 4.20.) (Σχ. είναι ουσιαστικά τα ίδια με αυτά που περιγράφονται στα συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων (Πίν. 4.10). Οι βασικές διαφορές σχεδιασμού αυτών των συστημάτων είναι ο τύπος της φυτικής βλάστησης, που χρησιμοποιείται και οι φυσικές απαιτήσεις που σχετίζονται με τα είδη των χρησιμοποιούμενων φυτών.

Η χρησιμοποίηση υδροχαρών φυτών, όπως είναι το είδος *Eichhornia crassipes*, είδη του γένους *Hydrocotyle* και είδη της οικογένειας *Lemnaceae*, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, έχει την αρχή της στην προσπάθεια ελέγχου των αιωρούμενων στερεών σε εκροές επαμφοτερίζουσών λιμνών. Η σκίαση που δημιουργούν τα χρησιμοποιούμενα φυτά επιδρά προστατευτικά στην ανάπτυξη αλγών. Τα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά είναι αποτελεσματικά στη μείωση της BOD, του αζώτου, διαφόρων μετάλλων και οργανικών σε ίχνη. Σε περιοχές με ψυχρούς χειμώνες μειώνεται η ανάπτυξη των φυτών και φυσικά η αποδοτικότητα τέτοιων συστημάτων. Αντίθετα, σε θερμά κλίματα τα συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά αποτελούν μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία και σήμερα είναι γνωστά αρκετά τέτοια συστήματα ακόμη και μεγάλης κλίμακας, όπως αυτά στο San Diego της California (Σχ.4.18), στο Austin και San Benito του Texas και στο Orlando της Florida. Τα συστήματα επεξεργασίας με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά χρησιμοποιούνται για διάφορους αντικειμενικούς σκοπούς, όπως είναι η περαιτέρω επεξεργασία της εκροής από επαμφοτερίζουσες τεχνητές, λίμνες ή επίτευξη προωθημένου επιπέδου επεξεργασίας και η υψηλού επιπέδου απομάκρυνση αζώτου από εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, τα πιο γνωστά είδη φυτών, που έχουν χρησιμοποιηθεί σε τέτοια συστήματα, είναι το είδος *Eichhornia crassipes* και διάφορα είδη της οικογένειας *Lemnaceae*. Το κύριο χαρακτηριστικό των φυτών του είδους *E. crassipes* είναι η ταχύτητα ανάπτυξης τους και η δημιουργία ενός ευνοϊκού βιολογικού υποστρώματος για ανάπτυξη βακτηρίων. Αντίθετα, τα φυτά αυτά είναι ευαίσθητα σε χαμηλές θερμοκρασίες και υφίστανται σοβαρές ζημιές υπό συνθήκες παγετού.

Τα φυτά της οικογένειας *Lemnaceae* (Σχ.4.17.) και του γένους *Hydrocotyle* έχουν μελετηθεί, τόσο σε αμιγείς καλλιέργειες, όσο και σε συγκαλλιέργεια με άλλα φυτά. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η αντοχή τους σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών. Αντίθετα, τα φυτά αυτά είναι πολύ ευαίσθητα στον άνεμο και έχουν, επίσης, πολύ αβαθές ριζικό σύστημα[3].

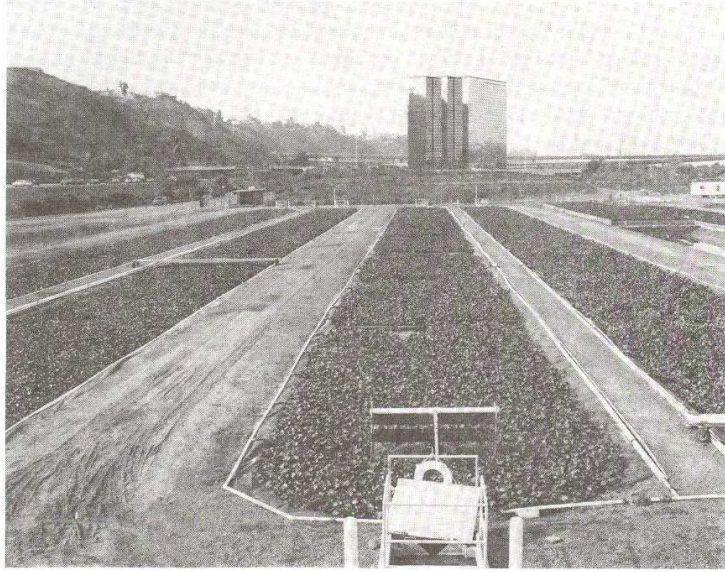


(α)

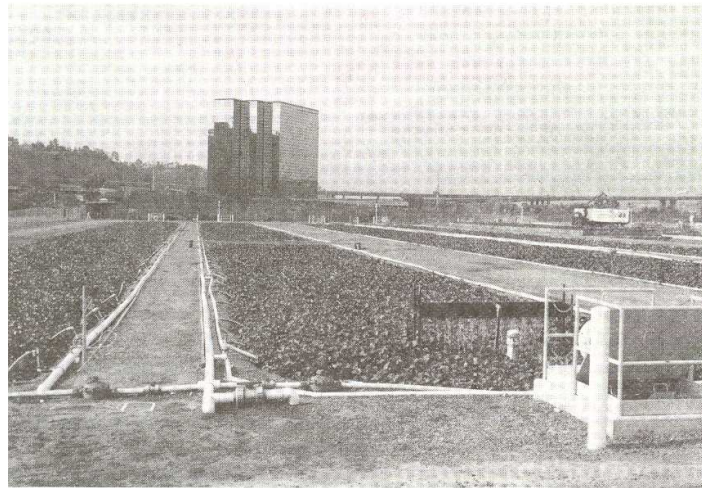


(β)

Σχ.4.17. Τυπικά συστήματα φυτών της οικογένειας *Lemnaceae* : α)Σύστημα λιμνοδεξαμενών με επιπλέοντες διαχωριστές και β) συγκομιστής φυτικών μερών[3].



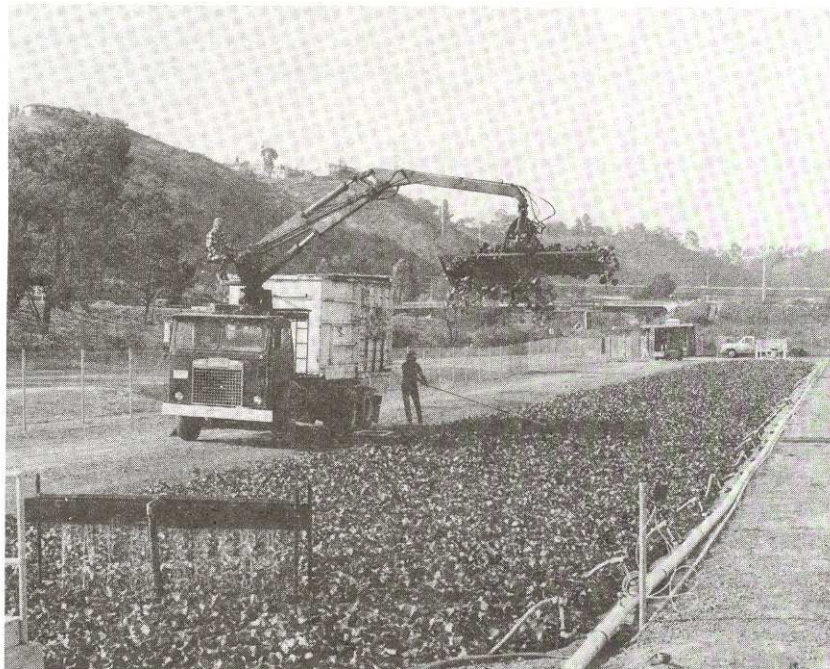
(α)



Σχ.4.18. Δυο όψεις του συστήματος υακίνθων γλυκού νερού στο San Diego[3].



Σχ.4.19. Σχηματική ροή μεταφοράς και μίξης του υγρού απόβλητου στη ζωή ριζών ενός συστήματος φυτών υακίνθου νερού[3].



Σχ.4.20. Διαδικασία μηχανικής συγκομιδής υακίνθων και χειρωνακτικής αναδιανομής των φυτών υακίνθων νερού μετά τη συγκομιδή σε δεξαμενή του συστήματος[3].

4.10. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Γενικά, τα απορροφητικά συστήματα εδάφους αφορούν μικρές παροχές <200 m³/d. Βασικές αρχές και τύποι απορροφητικών συστημάτων αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

Τυπικά Απορροφητικά Συστήματα.

Τα τυπικά απορροφητικά συστήματα συνίστανται από μια σειρά τάφρων που έχουν πληρωθεί με χονδρόκοκκα υλικά, όπως είναι οι χάλικες. Στην αρχή των τάφρων κατασκευάζεται σηπτική δεξαμενή. Η εκροή των υγρών αποβλήτων από τη σηπτική δεξαμενή διέρχεται, δια των τάφρων, που συνήθως ονομάζονται και στραγγιστικά κανάλια. Ο σχεδιασμός των απορροφητικών συστημάτων βασίζεται στην ικανότητα του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου να διηθείται στο έδαφος και στην συνέχεια να κατεισδύει στους υποκείμενους σχηματισμούς. Κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων απαιτούνται συμβατικές δοκιμές μέτρησης της οριζόντιας και κατακόρυφου διήθησης της εκροής του αποβλήτου στο έδαφος και στη συνέχεια εκτίμηση της ταχύτητας της κατακόρυφου κατείσδυσης.

Τα πιο κοινά φυσικά συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι τα επιφανειακά, που σήμερα αντιπροσωπεύουν το 25% περίπου της συνολικής διάθεσης αστικών υγρών αποβλήτων στον κόσμο. Παρ' όλο που, όπως αναφέρεται στον Πίνακα 4-2, τα απορροφητικά συστήματα εξυπηρετούν, συνήθως, μόνο κατοικίες τέτοια συστήματα έχουν υιοθετηθεί και από μικρές κοινότητες. Αρκετές μικρές κοινότητες χρησιμοποιούν κοινοτικές σηπτικές δεξαμενές, που συνδέονται με μεγάλο μεγέθους απορροφητικά εδαφικά συστήματα. Ένα παράδειγμα αποτελεί η κοινότητα του Taylorsville της California (με πληθυσμό 400 κατοίκων) που για την επεξεργασία και διάθεση των υγρών της αποβλήτων χρησιμοποιεί μια δεξαμενή και μια σειρά στραγγιστικών τάφρων. Διεθνώς αναφέρονται ακόμη και μεγαλύτερες κοινότητες ή πόλεις που η διαχείριση των υγρών τους αποβλήτων βασίζεται σε απορροφητικά συστήματα[3].

Εναλλακτικά Συστήματα.

Συμβατικές στραγγιστικές τάφροι δεν είναι αρκετά λειτουργικές υπό αντίξοες συνθήκες. Ορισμένα από τα εναλλακτικά απορροφητικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση τέτοιων αντίξοων συνθηκών.

Τα συστήματα με αναχώματα προσαρμόζονται και λειτουργούν ικανοποιητικά σε ορθά επιλεγμένες θέσεις, με ορθό σχεδιασμό και κατάλληλη κατασκευή τους. Όπως αναφέρεται, προβλήματα που οφείλονται σε πρόχειρο σχεδιασμό, ανεπαρκή υδραυλική θεώρηση της ροής κατείσδυσης και λειτουργία τους ανακύπτουν κυρίως σε μεγάλης κλίμακας συστήματα (άνω από 25 ισοδύναμες μονοκατοικίες).

Τα βαθμονομημένα εναλλακτικά συστήματα είναι όμοια με αυτά με αναχώματα με εξαίρεση ότι ο πυθμένας της τάφρου του αγωγού διανομής τοποθετείται σε καλλιεργούμενο επιφανειακό έδαφος. Η τοποθέτηση γίνεται, σε βάθος εδάφους 30 cm και στεγανοποιείται με συνθετική γεωμεμβράνη. Η διανομή-εφαρμογή διενεργείται, συνήθως, έως 4 φορές την ημέρα όπως σε όλα σχεδόν τα απορροφητικά συστήματα.

Τα συστήματα λεκανών με στρώσεις άμμου μπορούν να χρησιμοποιούνται πάνω από διαρρηγμένα υπόβαθρα ή υψηλή εδαφική περατότητα με αποτελεσματική απομάκρυνση ρυπαντικών συστατικών των εφαρμοζόμενων αποβλήτων. Ένα τυπικό σύστημα βαθέων στραγγιστικών τάφρων περιλαμβάνει επιστρώσεις άμμου γύρω και κάτω (60 cm) από το σύστημα διανομής.

Εξατμισοδιαπνευστικά ή εξατμισοδιαπνευστικά-προσρόφησης συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούνται εκεί όπου η ετήσια ταχύτητα εξάτμισης είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Τα συστήματα των εξατμισοδιαπνευστικών λεκανών πληρώνονται με λεπτόκοκκο άμμο βάθους 60 έως 75 cm και στη συνέχεια τοποθετείται επιφανειακό έδαφος, στο οποίο αναπτύσσεται φυτική βλάστηση. Στα συστήματα αυτά ο πυθμένας, συνήθως, στεγανοποιείται πριν από την τοποθέτηση της άμμου. Η επεξεργασία του εφαρμοζόμενου υγρού αποβλήτου βασίζεται στην εξατμισοδιαπνοή του μετά από προηγούμενη τριχοειδή ανύψωση του στο επιφανειακό έδαφος[3].

4.11. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Τα πιο διαδεδομένα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, μετά τα απορροφητικά, είναι τα συστήματα τεχνητών λιμνών. Οι τεχνητές λίμνες ανάλογα με τη συχνότητα εκκένωσης τους ταξινομούνται σε: λίμνες ολικού περιεχομένου, ελεγχόμενης εκκένωσης, υδρογραφικά ελεγχόμενης εκροής και συνεχούς εκκένωσης.

Οι λίμνες ολικού περιεχομένου ή οι λίμνες εξάτμισης είναι εφαρμόσιμες μόνο σε κλίματα που η συνολική εξάτμιση σε ετήσια βάση ξεπερνά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Οι λίμνες ελεγχόμενης εκκένωσης είναι ίδιες με τις προηγούμενες, που υπό κατάλληλες συνθήκες εκκενώνονται μια ή δύο φορές το έτος. Οι υδρογραφικά ελεγχόμενες λίμνες, είναι ουσιαστικά μια παραλλαγή των λιμνών ελεγχόμενης εκκένωσης, στις οποίες η ταχύτητα εκκένωσης είναι συμπληρωματική της ταχύτητας ροής δεδομένων υδατορευμάτων. Η διάθεση της επεξεργασμένης εκροής βασίζεται στη ροή του υδατορεύματος και ποικίλλει πάνω από μια ελάχιστη ροή και την πραγματική ροή του υδατορεύματος. Τέτοια συστήματα λειτουργούν στην Alabama, στο Mississippi και άλλες περιοχές των ΗΠΑ. Γενικά, στις λίμνες ελεγχόμενης εκκένωσης η διάθεση της εκροής διενεργείται μόνο όταν η ροή υδατορευμάτων είναι πάνω από μια παραδεκτή ελάχιστη τιμή. Τέλος, στις λίμνες συνεχούς εκκένωσης η εκροή, συνυπολογιζομένης της εξάτμισης και βαθειάς διήθησης στην περιοχή της λίμνης, ισούται με την εισροή του απόβλητου στη λίμνη.

Συνήθως, όμως, οι τεχνητές λίμνες ταξινομούνται ανάλογα με το βάθος τους και τις βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτές, στους παρακάτω τέσσερις τύπους: Επαμφοτερίζουσες, αερόβιες, αναερόβιες και αεριζόμενες[3].

5. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ –ΔΙΑΘΕΣΗ & ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

5.1. Νομοθεσία προστασίας περιβάλλοντος

1. Ν. 1650/86 για την προστασία του περιβάλλοντος.

Γενικό θεσμικό πλαίσιο για την προστασία του περιβάλλοντος. Για την εφαρμογή του απαιτούνται Υπουργ. αποφάσεις ή προεδρικά διατάγματα, πολλά από τα οποία έχουν ήδη εκδοθεί. Για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων και την προστασία των νερών έχουν εκδοθεί σε εφαρμογή του **Ν. 1650/86** οι εξής Πράξεις Υπουργ. Συμβουλίου (ΠΥΣ) και Κοινές Υπουργικές αποφάσεις :

- **ΠΥΣ 144/2-11-87 (ΦΕΚ 197Α /11-11-87)**. Προστασία νερών από τη ρύπανση βαρέων μετάλλων κλπ.
- **ΚΥΑ 18186 (ΦΕΚ 126 Β/3-3-88)**
- **ΚΥΑ 55648 (ΦΕΚ 323 Β /13-5-91)**

Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος (οριακές τιμές επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα)

- **ΚΥΑ 26857 (ΦΕΚ 196Β/6-4-88)**

Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών και απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών

- **ΚΥΑ 80568 (ΦΕΚ 641Β/7-8-91)**

"Μέθοδοι όροι και περιορισμοί για χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία οικιακών λυμάτων".

2. Το από 6.10.78 ΠΔ (ΦΕΚ 538/Δ) και το από 28.1.88 ΠΔ "περί καθορισμού των όρων και περιορισμών δομήσεως γηπέδων κειμένων εκτός ρυμοτομικών σχεδίων και εκτός των ορίων υφιστάμενων προ του 1923 οικισμών".

Υποχρεώνει τις ξενοδοχειακές μονάδες για την ύπαρξη κατάλληλης προεπεξεργασίας των λυμάτων πριν τη διάθεση τους στο έδαφος, στη θάλασσα ή σε δίκτυο απονομών.

3. Εγκ. ΥΥΠ & ΚΑ με αριθ. ΥΜ/2985/29.5-91

"Οδηγίες Εφαρμογής Ειβ/221/65 σε συνδυασμό με 69269/5387/90 ΚΥΑ

Επικαιροποιούνται και κωδικοποιούνται οι διαδικασίες για την έκδοση της άδειας διάθεσης υγρών αποβλήτων με ταυτόχρονη έγκριση περιβαλλοντικών όρων, όπου απαιτείται σύμφωνα με την **ΚΥΑ 69269/5387/90**.

4. Εγκύκλιος ΥΥΠ με αρ. Α5/2672/εγκ.79/12.10.84

"Άδεια λειτουργίας ξενοδοχειακών κλπ. μονάδων - Διάθεση υγρών αποβλήτων". Καθορίζει τις προϋποθέσεις χορήγησης άδειας λειτουργίας ξενοδοχειακών μονάδων από τον ΕΟΤ σε σχέση και με την άδεια διάθεσης των υγρών αποβλήτων.

5. Εγκύκλιος ΥΥΠ με αρ. Α5/2050/εγκ. 64/21.12.83

"Αρδευση κήπων ξενοδοχείων με επεξεργασμένα λύματα".

6. Εγκ. ΥΥΠ με αρ. ΥΜ/2965/18-7-90 και ΥΠ/4782/92/-1-93

"Βεβαιώσεις καλής λειτουργίας αποχετευτικών συστημάτων ξενοδοχειακών μονάδων".

7. Εγκ. ΥΥΠ & ΚΑ με αρ. ΥΜ/οικ.2825/17-5-91

"Υγειονομικά προβλήματα από την ανεξέλεγκτη διάθεση λυμάτων ξενοδοχειακών μονάδων".

8. Εγκ. ΥΥΠ & ΚΑ με αριθ. ΥΜ/3751/10.9.90

"Διάθεση επεξεργασμένων αποβλήτων -λυμάτων στη θάλασσα" [2].

5.2. Υγειονομικές διατάξεις για την επεξεργασία και διάθεση των λυμάτων

1. Υγειονομική Διάταξη Ειβ)221)65 (ΦΕΚ 138/Τβ/24.2.65) Η ΥΔ Ειβ)221)65 καθορίζει:

α. Τον τρόπο διάθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στα επιφανειακά νερά (χερσαία και θαλάσσια) και τις απαιτούμενες διαδικασίες για τον καθορισμό ενός αποδέκτη, ανάλογα με τις προβλεπόμενες χρήσεις των νερών στην περιοχή.

β. Τους όρους διάθεσης λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος (επιφανειακή ή υπεδάφια). Προϋπόθεση για διάθεση στο έδαφος είναι η πρωτοβάθμια επεξεργασία ισοδύναμη με καθίζηση 2 ωρών.

γ. Τον τρόπο υπολογισμού του υδραυλικού φορτίου των λυμάτων, τον τρόπο κατασκευής λιπосуλλέκτη, σηπτικών δεξαμενών, δεξαμενών καθιζήσεως **Imhoff**, κλινών ξήρασης λασπών.

δ. Τον τρόπο υπολογισμού και κατασκευής απορροφητικής τάφρου, απορροφητικών βόθρων και στεγανών δεξαμενών αποθήκευσης λυμάτων.

ε. Τη χλωρίωση σαν μέθοδο απολύμανσης των λυμάτων και την απαιτούμενη διαδικασία για έγκριση αναλλακτικών μεθόδων απολύμανσης.

στ. Τις απαιτούμενες διαδικασίες για τη χορήγηση αδείας διάθεσης λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων[2].

2. Εγκύκλιος του ΥΚΥ, Α5/4690/ΕΓΚ.62/26.4.80

"Οδηγίες εφαρμογής της υγειονομικής διατάξεως **Ε1β/221/65** όπως τροποποιήθηκε". Περιλαμβάνει :

α. Επικαιροποίηση των όρων χορήγησης αδείας διάθεσης λυμάτων ή βιομηχ. αποβλήτων (σε υδατικούς αποδέκτες και στο έδαφος) και του καθορισμού αποδέκτη

β. Τις διαδικασίες ανανέωσης αδειών διάθεσης λυμάτων & βιομηχ. Αποβλήτων

γ. Τον τρόπο ελέγχου των αποδόσεων εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων[2].

3. Νομοθεσία μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ)

α. ΚΥΑ 69269/5387/ (ΦΕΚ 678/Β/25.10.90)

Περιεχόμενο μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες κλπ.

β. ΚΥΑ 75 308/5512 (ΦΕΚ691/Β/2.11.90). "Τρόπος ενημέρωσης πολιτών και φορέων για το περιεχόμενο των ΜΠΕ (§ 2, αριθ. 5 του Ν.1650/86)"

4. Οδηγία του συμβουλίου 21.5.91 για την "επεξεργασία των αστικών λυμάτων" (91/271/ΕΟΚ) καθορίζει τα μέτρα και τις προθεσμίες συμμόρφωσης των κρατών μελών για ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης των αστικών λυμάτων.

5.3. Απαιτούμενες διαδικασίες για την έκδοση άδειας επεξεργασίας & διάθεσης υγρών αποβλήτων

Α.Διάθεση υγρών αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες

α) Έκδοση Νομαρχιακής Απόφασης για σύσταση ειδικής επιτροπής για κατ' αρχήν αποδοχή ή όχι της διάθεσης αποβλήτων και καθορισμό χρήσεων νερών του αποδέκτη (εξέταση και εναλλακτικών λύσεων διάφορων αποδεκτών).

β) Προέγκριση χωροθέτησης (αρ. 8 της ΚΥΑ 69269) από τις Υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ.

γ) Υποβολή μελέτης επεξεργασίας και διάθεσης των λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων (συμφ. με **ΥΔ Ειβ/221/65**, τις σχετ. διάταξης και τη Νομαρχιακή απόφαση του αποδέκτη).

δ) Έλεγχος και έγκριση της μελέτης από τις αρμόδιες Υπηρεσίες (Υγειονομικό, ΤΥΔΚ, Πολεοδομία κ.λ.π.)

ε) Διαδικασία και έγκριση περιβαλλοντικών όρων (αρθ. 9,10 της ΚΥΑ 69269/5387/90/ από το ΥΠΕΧΩΔΕ.

στ) Χορήγηση προσωρινής άδειας (επεξεργασίας & διάθεσης) διάρκειας 6 μηνών με απόφαση του Νομάρχη.

ζ) Χορήγηση οριστικής αδειάς μετά τους 6 μήνες και τεκμηριωμένη διαπίστωση από τις αρμόδιες Υπηρεσίες της καλής λειτουργίας των έργων επεξεργασίας και διάθεσης των λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων.

Σε περίπτωση κακολειτουργίας των έργων τότε δίνεται νέα παράταση, εφ' όσον το ζητήσει ο ενδιαφερόμενος συνυποβάλλοντας έκθεση για πρόσθετα μέτρα που θα λάβει, ακολουθώντας ξανά τα στάδια (γ) έως (ζ).

Β. Διάθεση υγρών αποβλήτων στο έδαφος

1. Επιφανειακά ακολουθούνται τα στάδια (β) έως (ζ) της Α περίπτωσης
2. Έδαφος με ρωγμές ή οπές ή πηγάδια . Κανονικά τότε απαγορεύεται ή διάθεση αποβλήτων. Μπορεί να επιτραπεί μόνο με ειδική υδρογεωλογική μελέτη και ακολουθώντας τα στάδια (β) έως (ζ) της Α περίπτωσης.
3. Διάθεση σε έδαφος χωρίς ρωγμές (όλα τα απορροφητικά συστήματα όπως απ. βόθροι, απορ. τάφροι - στοές κλπ). Ακολουθώντας τα στάδια (γ), (δ) και (ζ) και εφ' όσον απαιτείται τα (β) και (ε) της περίπτωσης Α [2].

Γ. Διάθεση υγρών αποβλήτων σε υπονόμους

Εφαρμόζεται υποχρεωτικά ο κανονισμός λειτουργίας του δικτύου. Ο ενδιαφερόμενος παίρνει:

- ο άδεια συνδέσεως από την Υπηρεσία Αποχετεύσεως και
- ο άδεια διαθέσεως υγρών αποβλήτων από το Νομάρχη.

5.4. Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων & λασπών στην Ελλάδα

Γενικά

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι σε εξέλιξη στην Ελλάδα.

Ιδιαίτερα σε περιοχές με προβλήματα ανεπάρκειας αρδευτικών νερών οι υπεύθυνοι και αρμόδιοι φορείς οδηγούνται στην διερεύνηση κάθε δυνατότητας χρησιμοποίησης των απόνερων για άρδευση μετά από την οικονομοτεχνικά καλύτερη προεπεξεργασία.

Την τελευταία 20ετία σε πολλές σε πολλές περιπτώσεις Ξενοδοχειακών συγκροτημάτων, τα επεξεργασμένα λύματα επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση καλλωπιστικών δένδρων και κήπων κυρίως σε περιπτώσεις που δεν έχουν αρδευτικό νερό στην περιοχή τους.

Σε αρκετές περιπτώσεις μετά τη δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία χρησιμοποιείται αμμοδιάλυση που αφαιρεί τα αιωρούμενα στερεά και βελτιώνει πολύ την ποιότητα της εκροής.

Πολύ συχνά όμως δημιουργούνται προβλήματα από κακή ή ανεπαρκή λειτουργία του Βιολογικού σταθμού, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις ανεπαρκούς βιομάζας στον αερισμό ή κακολειτουργία της τελικής καθίζησης.

Συγκεκριμένα στην εκροή μεταφέρονται λάσπες στα δέντρα ή τα φυτά που δεν απορροφούνται στο έδαφος και δημιουργούν δυσοσμίες και κακή εμφάνιση του εδάφους κάτω από τα φυτά.

Για τη μέχρι σήμερα επαναχρησιμοποίηση δεν γίνονται επαρκείς έλεγχοι, κυρίως λόγω ελλειπούς Νομοθεσίας, ανεπαρκούς στελέχωσης των Αρμοδίων Υπηρεσιών και μη αξιοποίησης των περιφερειακών (επαρχιακών εργαστηρίων). Η δυσχέρεια μεταφοράς δειγμάτων στην Αθήνα (γραφειοκρατία, καθυστερήσεις, αλλοιώσεις, απώλειες δειγμάτων κλπ.), αλλά

και η ανεπάρκεια των εργαστηρίων του Κέντρου να καλύπτουν όλη την Ελλάδα, οδήγησαν στην ανάγκη της δημιουργίας της απαραίτητης υποδομής στην επαρχία και αξιοποίηση εργαστηρίων της περιφέρειας.

Στις περισσότερες χώρες που εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση προεπεξεργασμένων λυμάτων έχει διαμορφωθεί το απαραίτητο θεσμικό πλαίσιο για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Η Ευρώπη έχει καθυστερήσει στην επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, κυρίως διότι οι αρδευτικές ανάγκες στις περισσότερες χώρες υπερκαλύπτονται από βροχοπτώσεις ή επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες) και δεν υπάρχουν πολλές εφαρμογές άρδευσης με επεξεργασμένα λύματα. Το γεγονός αυτό έχει επηρεάσει και την Ελλάδα που αντλεί εμπειρίες και τεχνολογίες αντιρρύπανσης κυρίως από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα.

Στην Κύπρο όμως έχει απαγορευθεί με νόμο η κάθε είδους διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων στη θάλασσα και επιβάλλεται η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων ξενοδοχείων για άρδευση καλλωπιστικών (μετά από τριτοβάθμια επεξεργασία).

Το γεγονός αυτό έχει συμβάλει σημαντικά στην καθαρότητα των ακτών της Κύπρου και στη διαμόρφωση της απαραίτητης νοοτροπίας στους επιχειρηματίες, να πληρώσουν για την κατάλληλη προχωρημένη επεξεργασία, να φροντίζουν για τη σωστή λειτουργία των μονάδων με τους απαραίτητους συνεχείς ελέγχους.

Εξάλλου οι συχνοί έλεγχοι από τις αρμόδιες υπηρεσίες βοηθά σημαντικά στον πειθαναγκασμό και συμμόρφωση όλων με την Νομοθεσία και προς την κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος[2].

Ισχύουσα Νομοθεσία

1. Σύμφωνα με την Ειβ/221/65 άρθρο 8 :

α. Τα λύματα μπορούν να διατεθούν επιφανειακά στο έδαφος μετά από εσχарισμό (διάκενα σχάρας μέχρι 25 mm) και μετά από αερισμό ή χλωρίωση για παρεμπόδιση της σήψης των λυμάτων.

Η επιφάνεια του εδάφους πρέπει να έχει κατάλληλη κλίση και η κατανομή της φόρτισης να μην υπερβαίνει τις δυνατότητες ταχείας απορρόφησης (διήθησης), ώστε να μην δημιουργούνται στάσιμα νερά, δυσοσμίες και έντομα.

Η περιοχή αυτή πρέπει να προστατεύεται αντιπλημμυρικά, να είναι κατάλληλα περιφραγμένη και μη προσβάσιμη σε αναρμόδιους.

Η περιοχή διάθεσης πρέπει να απέχει ασφαλώς αποστάσεις από πηγάδια, πηγές και υδραγωγεία και να έχει επαρκώς μεγάλες αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές ή από καλλιέργειες κηπευτικών.

β. Τα λύματα μπορούν να διατεθούν για άρδευση με τις παρακάτω προϋποθέσεις :

- προεπεξεργασία ισοδύναμη με καθίζηση 2 ωρών
- απαγορεύεται η άρδευση λαχανικών
- απαγορεύεται η άρδευση 2 βδομάδες πριν τη συγκομιδή ή τη βοσκή γαλακτοφόρων ζώων
- η Υγειονομική αρχή μπορεί να δίνει άδεια άρδευσης μόνο αν τηρούνται πλήρως οι παραπάνω όροι και υπάρχει ασφαλής διάθεση των λυμάτων τις περιόδους που δεν χρησιμοποιούνται για άρδευση.

2. Σύμφωνα με την εγκύκλιο ΥΥΠ με αρ. Α5/2050/εγκ.64/21.12.83 :

α. Μπορούν να αρδεύονται φυτείες ή καλλιέργειες σύμφωνα με τα παραπάνω αλλά να μην καλλιεργούνται λαχανικά που τρώγονται ωμά (π.χ. μαρούλια κλπ.).

β. Αγροτικές καλλιέργειες μπορούν να αρδεύονται εφ' όσον παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα προφύλαξης και υγιεινής

γ. Για άρδευση μέσα στο χώρο ξενοδοχείων πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις :

- Βιολογική επεξεργασία και απολύμανση
- Οι χώροι άρδευσης να είναι περιφραγμένοι και μην είναι προσπελάσιμοι στο κοινό το προσωπικό να παίρνει τις απαραίτητες προφυλάξεις
- Η άρδευση να γίνεται επιφανειακά ή υπεδάφια στάγδην και όχι με καταιονισμό (κίνδυνος από σταγονίδια).
- Τα νερά δεν πρέπει να υπερχειλίζουν σε γειτονικούς κοινόχρηστους χώρους ή να λιμνάζουν.
- Θα πρέπει να παρακολουθείται συχνά η απόδοση λειτουργίας του Βιολογικού Σταθμού και η απολύμανση ώστε να λειτουργούν μέσα στα προκαθορισμένα όρια.

Τονίζεται δε στην εγκύκλιο ότι αν δεν παίρνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις και δεν τηρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος μετάδοσης εντερολοιμώξεων στο προσωπικό, στους πελάτες του ξενοδοχείου και ιδίως στα μικρά παιδιά (ηπατίτιδα, γαστρεντερίτιδα, χολέρα κλπ.)[2].

5.5. Επαναχρησιμοποίηση των λασπών

Οι λάσπες που παράγονται από τις μονάδες παρατεταμένου αερισμού θεωρούνται σταθεροποιημένες και μπορούν να διατεθούν στους κήπους, στους αγρούς, στη γεωργία αλλά και σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Σαν υγρή λάσπη (υγρασία 97-99 %) μπορούν να ενσωματωθούν απ' ευθείας στους αγρούς.

Συνήθως όμως προηγείται στη μονάδα επεξεργασίας αφυδάτωση, με στόχο τη μείωση του όγκου των λασπών και την οικονομικότερη μεταφορά τους. Η αφυδάτωση στις μικρές μονάδες συνήθως γίνεται με κλίνες ξήρανσης (φυσική αφυδάτωση με εξάτμιση) ή με ταινιοφιλτρόπρεςσες και φυγοκεντριστήρες (μηχανική αφυδάτωση με συμπίεση ή φυγοκέντρωση). Η τελική υγρασία της αφυδατωμένης λάσπης είναι συνήθως 70-80% (μείωση 10-15 φορές του αρχικού όγκου της).

Η λάσπη αυτή μπορεί να διατεθεί στη γεωργία (επαναχρησιμοποίηση) με άριστα αποτελέσματα. Προϋπόθεση είναι να μην περιέχει βαρέα μέταλλα ή άλλες τοξικές ουσίες πάνω από ορισμένα όρια. Συνήθως τα ξενοδοχεία και οι μικροί οικισμοί μπορούν να παράγουν λάσπη με πολύ καλά χαρακτηριστικά. Η ποιότητα της λάσπης βελτιώνεται σημαντικά αν ενημερωθούν οι κάτοικοι του οικισμού ή οι πελάτες του ξενοδοχείου να μην πετούν στην αποχέτευση :

καμένα λάδια, φάρμακα, καλλυντικά, διαλύτες, χρώματα, φυτοφάρμακα και άλλα χημικά.

Ειδικά για την επαναχρησιμοποίηση των λασπών στη γεωργία έχει εκδοθεί η **86/278/EEC** κοινοτική οδηγία και αντίστοιχα η **KYA 80568/4225** σύμφωνα με την οποία:

Για την χρησιμοποίηση στη γεωργία λάσπης από Βιολογικούς σταθμούς απαιτείται ειδική άδεια του οικείου Νομάρχη που εκδίδεται μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου και μετά από μια σειρά δικαιολογητικών και ενεργειών που καθορίζονται στην **KYA**.

Στην **KYA 80568/4225** καθορίζονται ακόμη :

α) Σε περίπτωση καλλιεργειών, μετά την προσθήκη λάσπης στο έδαφος πρέπει να περάσει ορισμένος χρόνος από τη συγκομιδή ή την κατανάλωση και συγκεκριμένα :

- σε λιβάδια ή ζωοτροφές τουλάχιστον 3 εβδομάδες
- σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών συνήθως 10 μήνες πριν τη συγκομιδή
- στα κηπευτικά απαγορεύεται η προσθήκη λασπών την περίοδο βλάστησης

β) Οι μέθοδοι δειγματοληψίας και ανάλυσης των λασπών και των εδαφών.

γ) Οι έλεγχοι, οι εκθέσεις και η τήρηση βιβλίων από τους παραγωγούς λασπών,

δ) Τα όρια για τα βαριά μέταλλα τόσο στη λάσπη όσο και στη γεωργία[2].

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1. Υλικά

- Δυο γλάστρες
- Χώμα πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία
- Καλάμια ως επιλογή φυτού (*Phragmites australis* της οικογένειας *Poaceae*, το οποίο συλλέχθηκε από την περιοχή της Χαλέπας).
- Επεξεργασμένα λύματα από την έξοδο της δευτεροβάθμιας καθίζησης από την μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων.

6.2. Μεθοδολογία

Για την διεξαγωγή της έρευνας τοποθετήθηκαν δυο γλάστρες, των οποίων οι διαστάσεις ήταν 26*26 cm μήκος πλάτος και 19 cm βάθος. Κατόπιν επιλέχθηκαν τα καλάμια (*Phragmites australis*), τα οποία συλλέχθηκαν από την παραθαλάσσια περιοχή της Χαλέπας στην περιοχή των Χανίων (Σχ.6.1.), από τη ρίζα τους και μεταφυτεύθηκαν στις γλάστρες μαζί με χώμα πλούσιο σε θρεπτικά υλικά ώστε να πιάσουν οι ρίζες τους πιο γρήγορα. Αφού τα καλάμια φυτεύτηκαν, για ένα μήνα πότιζόντουσαν καθημερινώς με νερό περίπου 1 λίτρο την ημέρα η κάθε γλάστρα έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι ρίζες των καλάμιών σε αυτό το χώμα πριν αρχίσει το πείραμα. Κατόπιν μετά από 40 μέρες αφού άρχισαν να αναπτύσσονται τα καλάμια και μέσα στις γλάστρες, υπήρξε μια μεταβατική περίοδο όπου ποτιζόντουσαν τα καλάμια ένα λίτρο την ημέρα, με ένα διάλυμα αποτελούμενο από νερό και δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, προερχόμενα από την μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων, σε αναλογία 50 % νερό και 50 % λύματα. Ύστερα από 20 μέρες άρχισε η διεξαγωγή της καθεαυτού πειραματικής διαδικασίας όπου ποτιζόντουσαν με συγκεκριμένη ποσότητα από δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα 1 λίτρο ανά γλάστρα ανά 2 με 3 μέρες οι γλάστρες και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις (Σχ.7.1.).

Ακολούθησαν τις εξής διαδικασίες :

- Πότισμα με 1lt από τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα
- Μετά από 1 ώρα συλλογή του διηθήματος που έχει συλλεχθεί στο πιατάκι της κάθε γλάστρας, το οποίο έχει υποστεί επεξεργασία βραδείας εφαρμογής.
- Σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο υπολογισμός του ακριβούς όγκου διηθήματος και καθίζηση των αιωρούμενων στερεών.
- Κατόπιν με το υπερκείμενο που έχει συλλεχθεί πραγματοποίηση των κάτωθι χημικών αναλύσεων.
 - Προσδιορισμός COD
 - Προσδιορισμός πολυφώσφορικών ιόντων PO_4^{-3}
 - Προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου NH_4^{+} -N



Σχ.6.1. Καλάμια *Phragmites australis* από το σημείο προέλευσης τους την περιοχή της Χαλέπας στα Χανιά.

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί ο προσδιορισμός του COD, πολυφωσφορικών ιόντων και του αμμωνιακού αζώτου.

6.3.ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (COD)

6.3.1. Γενικά

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο Chemical Oxygen Demand (COD) είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση (σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον) των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα υδάτων ή υγρών αποβλήτων. Είναι μια ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και για τον έλεγχο και σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και υγρών αποβλήτων γενικότερα.

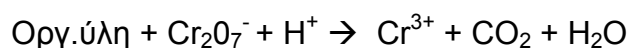
Το COD μπορεί σε ορισμένα δείγματα, να συσχετισθεί -εμπειρικά- με το BOD, τον Οργανικό Άνθρακα (Total Organic Carbon-TOC) ή το περιεχόμενο σε οργανικές ουσίες. Ο βαθμός συσχέτισης του COD με το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο, για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων του δείγματος, εξαρτάται από τη δυνατότητα πλήρους οξείδωσης των ουσιών που περιέχονται σ' αυτό. Πολλές οργανικές ενώσεις οξειδώνονται σε ποσοστό 90-100 %. Σε υδατικά δείγματα που περιέχουν κυρίως τέτοιες ενώσεις, όπως π.χ. τα αστικά λύματα, η τιμή του COD είναι ένα αρκετά καλό μέτρο του θεωρητικά

απαιτούμενου οξυγόνου. Στα αστικά λύματα η σχέση COD/BOD κυμαίνεται από 2,5:1 ως 3,0:1. Σε δείγματα που περιέχουν μεγάλες ποσότητες από ουσίες που οξειδώνονται δύσκολα στις συνθήκες του προσδιορισμού, η τιμή του COD δεν είναι αντιπροσωπευτική του θεωρητικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η περίπτωση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη μέτρηση του COD, όπως η οξείδωση ανόργανων συστατικών, κυρίως των χλωριόντων, των νιτρικών, του δισθενούς σιδήρου και των θειούχων ενώσεων. Επομένως, η σημασία της τιμής του COD εξαρτάται από τη σύσταση του υδάτινου διαλύματος που εξετάζεται. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, όταν αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή[7].

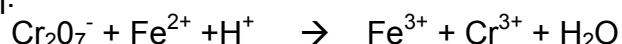
6.3.2. Αρχή Μεθόδου

Γίνεται οξείδωση του δείγματος με ένα ισχυρό οξειδωτικό σε όξινο περιβάλλον και υψηλή θερμοκρασία παρουσία καταλύτη. Ως οξειδωτικό χρησιμοποιείται διάλυμα $K_2Cr_2O_7$ ενώ το όξινο περιβάλλον εξασφαλίζεται με πυκνό H_2SO_4 . Ως καταλύτης χρησιμοποιείται Ag_2SO_4 . Μετά από χώνευση του δείγματος, σε υψηλή θερμοκρασία γίνεται προσδιορισμός της περιόσεως των διχρωμικών ιόντων είτε με ογκομέτρηση διαλύματος εναμμώνιου θειικού σιδήρου είτε με φωτομέτρηση. Το οργανικό τμήμα του δείγματος, που οξειδώνεται, υπολογίζεται ως ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου. Οι ποσότητες δειγμάτων και αντιδραστηρίων, οι κανονικότητες των αντιδραστηρίων κλπ που χρησιμοποιούνται, παίζουν μεγάλο ρόλο και πρέπει να είναι σταθερές. Η θερμοκρασία χώνευσης είναι $150^\circ C$ και ο χρόνος χώνευσης 2 ώρες.

Σχηματικά, οι συντελούμενες αντιδράσεις είναι:



και αν ο προσδιορισμός της περιόσεως των διχρωμικών γίνει με ογκομέτρηση:



Η παρουσία καταλύτη εξασφαλίζει την οξείδωση ορισμένων οργανικών ενώσεων, όπως του οξικού οξέος, της κυτταρίνης κτλ.

Σε ορισμένα απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες, ο προσδιορισμός του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου και του ολικού οργανικού άνθρακα είναι οι μόνες δυνατές μετρήσεις για την εκτίμηση του οργανικού φορτίου τους.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 50 mg/L.

Τα ανεπεξέργαστα λύματα, έχουν συνήθως COD που κυμαίνεται από 700 ως 750 mg/L. Σε βιομηχανικά απόβλητα, η τιμή του COD είναι συνήθως μεγαλύτερη, για παράδειγμα απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας κρέατος έχουν τιμές της τάξης των 2.000 mg/L, απόβλητα σφαγείων περίπου 5.000 mg/L ενώ στα απόβλητα σταφιδοεργοστασίων μπορεί να φθάσει ως 70.000 mg/L.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία μας, τα απόβλητα που αποχετεύονται σε επιφανειακά ρέματα ή τη θάλασσα πρέπει να έχουν COD μικρότερο από 120 mg/L, ενώ στις περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές έχουν καθοριστεί ακόμα αυστηρότερα όρια[7].

6.3.3. Επιλογή μεθόδου

Με την ίδια αρχή μεθόδου, ο προσδιορισμός του COD μπορεί να γίνει με μακρο-μέθοδο και μικρο-μέθοδο. Η μακρο-μέθοδος εκτελείται σε συσκευή ανοικτού σωλήνα (σφαιρική φιάλη συνδεδεμένη με κάθετο ψυκτήρα) και είναι κατάλληλη για εφαρμογή σε πολλές κατηγορίες αποβλήτων, όπου προτιμάται η χρήση μεγάλου όγκου δείγματος. Η μικρο-μέθοδος (Σχ.6.2.), εκτελείται σε κλειστό σωλήνα, είναι πιο οικονομική από την μακρο-μέθοδο (απαιτεί μικρότερες ποσότητες αντιδραστηρίων), προϋποθέτει όμως την ομογενοποίηση των δειγμάτων που περιέχουν αιωρούμενα στερεά. Αν ακολουθηθεί η μικρο-μέθοδος, ο προσδιορισμός της περιόσεως των διχρωμικών μπορεί να γίνει είτε με ογκομέτρηση ή με φωτομέτρηση. Στο εμπόριο, κυκλοφορούν ειδικές συσκευές (CODmeter) που αποτελούνται από θερμαντικά σώματα, με ενσωματωμένες υποδοχές για την τοποθέτηση των σωλήνων και ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας στους 150 ° C. Οι συσκευές αυτές, μπορούν να συνδυαστούν με φωτόμετρο φίλτρων για την απευθείας μέτρηση της περιόσεως των διχρωμικών. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σωλήνες που περιέχουν τα αντιδραστήρια στη σωστή αναλογία.

Η μικρο-μέθοδος έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την μακρο-μέθοδο, όπως η μικρότερη ποσότητα αντιδραστηρίων (μερικά, όπως ο Ag_2SO_4 είναι αρκετά ακριβά) και η ταυτόχρονη μέτρηση πολλών δειγμάτων. Επιπλέον δεν απαιτείται απαγωγός, δεν χάνονται πτητικά αέρια, κατά τη διάρκεια της οξειδωσης και η συσκευή είναι εύχρηστη. Επίσης οι πτητικές οργανικές ενώσεις οξειδώνονται αποτελεσματικότερα στο κλειστό σύστημα, γιατί ο χρόνος επαφής με το οξειδωτικό μίγμα είναι μεγαλύτερος. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αντιπρόσωπευτικότητα του δείγματος, ιδιαίτερα όταν το δείγμα περιέχει εναιωρούμενα στερεά, τα οποία δεν διέρχονται από το στενό άκρο του σιφωνίου.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η μικρο-μέθοδος με τον παρακάτω αναγραφόμενο εργαστηριακό εξοπλισμό :

- **Σύστημα θέρμανσης**, αποτελούμενο από ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα και διαμορφωμένες θέσεις για την τοποθέτηση των σωλήνων (12-16 θέσεων), για λειτουργία σε 150 + 2°C. (WTW, Thermoreactor cr 2010)
- **Σωλήνες βρασμού**, γυάλινοι, θερμοανθεκτικοί, από βοριο-πυριτικό γυαλί, των 16 * 100 mm με βιδωτά καπάκια από TFE με έτοιμο μίγμα αντιδραστηρίων (Merck Kit).
- **Φασματοφωτόμετρο**, για μέτρηση στα 600 nm, με κατάλληλη υποδοχή για την τοποθέτηση σωλήνων των 16, 20 ή 25 mm. (UV mini 1240, UV-VIS Spectrophotometer Shimadzu)

Η διαδικασία που ακολουθηθηκε ήταν η ακόλουθη. Πριν από κάθε χρήση ελέγχονταν τα καπάκια των σωλήνων για τυχόν ρωγμές.

Μετά από δυο ώρες χώνευση οι σωλήνες αφού κρυώσουν αναστρέφονται αρκετές φορές και στη συνέχεια αφήνονται σε ηρεμία για να καθιζάνουν τυχόν στερεά, πριν τη μέτρηση της απορρόφησης.

Οι σωλήνες τοποθετούνται κλειστοί στη ειδική υποδοχή του φωτόμετρου και μετράται η απορρόφηση στα 600 nm και καταγράφουμε την τιμή φορτίου COD mg όπου εμφανίζεται.

Το COD υπολογίζεται ως mg O₂/L από τον τύπο:

$$\text{COD} = \frac{\text{mgO}_2 \text{ στον τελικό όγκο}}{\text{ml δείγματος}} * 1000$$



Σχ.6.2. Απαιτούμενος εξοπλισμός για τον προσδιορισμό του COD φασματοφωτομετρικά με την μικρο-μέθοδο[6].

6.3.4. Παρεμποδιστικές Ουσίες

Αν και με τη μέθοδο αυτή οξειδώνονται οι περισσότερες κατηγορίες οργανικών ενώσεων, υπάρχουν κάποιες αδυναμίες εφαρμογής της στην παρουσία υδρογονανθράκων και αλειφατικών ενώσεων ευθείας αλύσου.

Οι γραμμικές αλειφατικές ενώσεις οξειδώνονται αποτελεσματικότερα με την προσθήκη Ag₂SO₄ ως καταλύτη. Η χρήση καταλύτη δεν βοηθάει για την οξείδωση αρωματικών υδρογονανθράκων. Η παρουσία του όμως είναι

απαραίτητη προκειμένου για την οξειδωση των γραμμικών αλκοολών και οξέων.

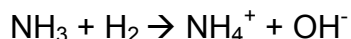
Το Ag_2SO_4 όμως αντιδρά με τα ιόντα χλωρίου, ιωδίου και βρώμιου και δημιουργούνται ιζήματα, που μερικώς μόνο οξειδώνονται. Η παρουσία των αλογόνων μπορεί να ξεπεραστεί -όχι πλήρως- με προσθήκη HgSO_4 στο μείγμα οξειδωτικών - δείγματος, σε αναλογία 10:1 $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$ (σχηματίζεται διαλυτός χλωριούχος υδράργυρος), εφόσον η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι μικρότερη από 2.000 mg/L. Η μέτρηση του COD δεν πρέπει να γίνεται σε δείγματα, που περιέχουν συγκεντρώσεις χλωριόντων μεγαλύτερες από 2.000 mg/L. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση HgSO_4 , θα πρέπει να γίνεται επεξεργασία του νερού που μένει από την ανάλυση σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο τέλος των μεθόδων προσδιορισμού, για να αποφευχθεί η ρύπανση του περιβάλλοντος με υδράργυρο.

Η παρουσία νιτρικών ιόντων, επηρεάζει τη μέτρηση του COD, κατά 1,1 mg O_2 /mg NO_2^- . Επειδή οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων σπάνια ξεπερνούν τα 1 -2 mg/L, η παρεμποδιστική δράση των νιτρικών ιόντων θεωρείται αμελητέα. Για συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων μεγαλύτερες από 2 mg NO_2^-/L , προσθέτονται 10 mg σουλφαμινικού οξέος για κάθε mg NO_2^-/N στη φιάλη οξειδωσης. Η ίδια ποσότητα σουλφαμινικού οξέος προστίθεται στη φιάλη του μάρτυρα[6].

6.4. ΑΜΜΩΝΙΑ

6.4.1. Γενικά

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) ή αμμωνίας (NH_3), ανάλογα με το pH και την θερμοκρασία του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας:



Σε αλκαλικό περιβάλλον, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά, ενώ σε όξινο περιβάλλον προς τα δεξιά. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά και αντίστροφα.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στη χώρα μας, η ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση ιόντων αμμωνίου στο πόσιμο νερό (NH_4^+) είναι 0,5 mg/L ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο στα γλυκά νερά για τη διαβίωση της πέστροφας και ειδών της οικογένειας των Σαλμονίδων και Κυπρινίδων είναι 0,025 mg/L. Στα απόβλητα που εκβάλλουν στα επιφανειακά νερά, η τιμή της ολικής αμμωνίας δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 15 mg/L[7].

6.4.2. . Επιλογή μεθόδου

Ο προσδιορισμός της αμμωνίας μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από την συγκέντρωση της αμμωνίας, το είδος του εξεταζόμενου δείγματος, τις τυχόν παρεμποδιστικές ουσίες και την απαιτούμενη ακρίβεια.

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι:

- ο α) Μέθοδος Nessler
- ο β) Μέθοδος ινδοφαινόλης
- ο γ) Μέθοδος εκλεκτικών ηλεκτροδίων
- ο δ) Ογκομετρική μέθοδος (εφαρμόζεται μόνο μετά από απόσταξη)

Στα πόσιμα και γενικά στα καθαρά νερά που έχουν μικρή συγκέντρωση αμμωνίας, ο προσδιορισμός της αμμωνίας, δεν παρουσιάζει δυσκολία και μπορεί να προσδιοριστεί με κάποια από τις τρεις πρώτες μεθόδους (α,β και γ). Στα λύματα και βιομηχανικά απόβλητα, όπου η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι υψηλή και ενδέχεται να υπάρχουν παρεμποδιστικοί παράγοντες, η αμμωνία αποστάζεται αρχικά και στη συνέχεια εφαρμόζεται μια από τις τρεις τελευταίες μεθόδους (β, γ και δ). Η επιλογή της μεθόδου προσδιορισμού της αμμωνίας στο απόσταγμα, εξαρτάται από τη συγκέντρωση της αμμωνίας.

Συνοπτικά, το πεδίο εφαρμογής κάθε μεθόδου είναι:

Η μέθοδος Nessler είναι ευαίσθητη σε συγκεντρώσεις, από 20 $\mu\text{g/L}$ ως 5 mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$, δεν μπορεί να εφαρμοστεί όμως σε θολά ή έγχρωμα δείγματα, σε δείγματα αποβλήτων ή παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ασβεστίου και μαγνησίου. Η θολότητα, το χρώμα, το ασβέστιο και το μαγνήσιο μπορούν να απομακρυνθούν με απόσταξη ή λιγότερο αποτελεσματικά με κατεργασία με θειικό ψευδάργυρο σε αλκαλικό περιβάλλον και καθίζηση.

Η φασμοτοφωτομετρική μέθοδος της ινδοφαινόλης εφαρμόζεται σε δείγματα φυσικών γλυκών ή θαλασσινών νερών με χαμηλή περιεκτικότητα αμμωνίας από 2 $\mu\text{g/L}$ ως 500 $\mu\text{g/L}$ $\text{NH}_3\text{-N}$. Αν το εξεταζόμενο δείγμα έχει αλκαλικότητα μεγαλύτερη από 500 mg/L CaCO_3 και οξύτητα μεγαλύτερη από 100 mg/L CaCO_3 , θολρότητα ή χρώμα, πρέπει να υποστεί προκαταρκτική επεξεργασία με απόσταξη για την απομάκρυνση τους.

Η ογκομετρική μέθοδος εφαρμόζεται πάντα μετά από απόσταξη και εφαρμόζεται σε δείγματα με περιεκτικότητα σε αμμωνία, μεγαλύτερη από 4 mg/L . Η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται σε καθαρά επιφανειακά και πόσιμα ύδατα και είναι κατάλληλη για δείγματα λυμάτων και αποβλήτων.

Τα εκλεκτικά ηλεκτρόδια αμμωνίας τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό αμμωνίας σε ευρύ φάσμα τιμών, από 0,03 ως 1400 mg/L $\text{NH}_3\text{-N}$. Ο προσδιορισμός με εκλεκτικά ηλεκτρόδια παρεμποδίζεται παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων διαλυμένων ιόντων.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν επίσης αρκετά kit-test για τον επιτόπου προσδιορισμό της αμμωνίας με διαφορετικά εύρη ευαισθησίας. Η ακρίβεια τους θα πρέπει να ελέγχεται πριν τη χρήση τους με τις κλασσικές μεθόδους προσδιορισμού.

Ο προσδιορισμός της αμμωνίας έχει μεγάλη σημασία για τον έλεγχο των πόσιμων υδάτων, των λυμάτων και αποβλήτων, των θαλασσινών και γλυκών υδάτων που προορίζονται για τη διαβίωση και καλλιέργεια ιχθύων[7].

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το αμμωνιακό άζωτο των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθώς και του εξερχόμενου υγρού από τις κλίνες καλαμιών προσδιορίστηκε με το Test Kit Merck 14752 εύρους 0,05-3,0 mg/L . Ο προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου με το Test Kit βασίζεται στη μέθοδο που περιγράφεται παρακάτω στα

υποκεφάλαια 6.4.4. και 6.4.5. Η ακριβής όμως πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα πτυχιακή είναι η ακόλουθη :

6.4.3. Ammonium Reagent Test Merck 14752

Κατά τη διαδικασία μέτρησης με το Ammonium Reagent Test Merck 14752, με χρήση σιφωνίου τοποθετούνται 5,0 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθενται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,6ml του αντιδραστηρίου $\text{NH}_4\text{-1B}$ και ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Προστίθεται μια δόση του αντιδραστηρίου $\text{NH}_4\text{-2B}$ και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί σε στερεό αντιδραστήριο. Ο σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για 5min. Κατόπιν προστίθενται 4 δόσεις (σταγόνες) του αντιδραστηρίου $\text{NH}_4\text{-3B}$ και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη 5min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (Merck Spectoquant® Nova 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει ένα αυτοέλεγχο (self check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "insert cell or start measurement". Η κυψελίδα ααγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτό τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μια ορθογώνια πλαστική κυψελίδα πάχους 10mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν, εμφανίζεται η ένδειξη "measuring" και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Το εύρος του test είναι 0,05-3,00 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ [9].

6.4.4. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ

Στο προκαταρκτικό στάδιο απόσταξης έγινε ρύθμιση του pH του δείγματος στην τιμή 9,5 με προσθήκη της απαιτούμενης ποσότητας ρυθμιστικού διαλύματος βορικών αλάτων, προκειμένου να μειωθεί η υδρόλυση των κυανιούχων και των αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Στη συνέχεια το δείγμα αποστάχθηκε και παραλήφθηκε σε διάλυμα βορικού οξέος. Ο εν συνεχεία προσδιορισμός της αμμωνίας στο απόσταγμα έγινε με ογκομέτρηση εναλλακτικά θα μπορούσε να παραγματοποιηθεί με τη μέθοδο Nessler ή και σε διάλυμα H_2SO_4 , αν ο προσδιορισμός της αμμωνίας γινόταν με τη μέθοδο της ινδοφαινόλης ή με εκλεκτικά ηλεκτρόδια.

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός

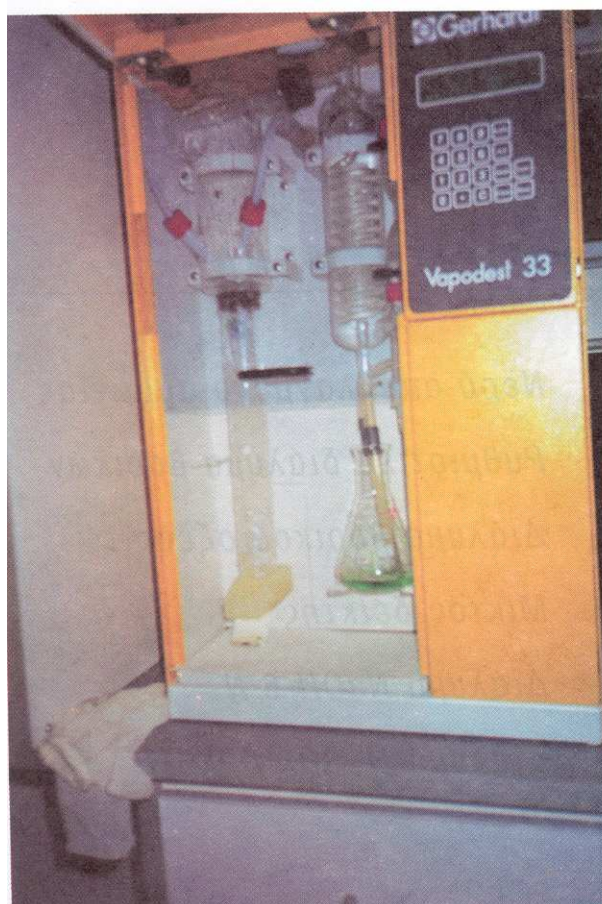
- **Συσκευή απόσταξης Kjeldahl** (Σχ.6.3.). Η συσκευή απόσταξης, αποτελείται από φιάλη βρασμού Kjeldahl όγκου 800 - 2.000 ml, κατακόρυφο ψυκτήρα, συνδεδεμένο με κεκλιμένο σωλήνα, το άκρο του οποίου καταλήγει σε κωνική φιάλη όγκου 500 ml για την παραλαβή του αποστάγματος. Η απόσταξη της αμμωνίας μπορεί να γίνει και σε ειδικές συσκευές, με την ίδια αρχή λειτουργίας, όπως η κλασική συσκευή απόσταξης, εφοδιασμένες όμως και με στοιχείο παραγωγής αμού που διοχετεύεται στη φιάλη απόσταξης του δείγματος και έτσι επιταχύνεται η διαδικασία της απόσταξης (διάρκεια απόσταξης

5-10 min). Οι συσκευές αυτές είναι συνήθως πολλαπλών θέσεων για την ταυτόχρονη απόσταξη πολλών δειγμάτων.

- pH-μετρο



Σχ.6.3.(α) Αυτόματη συσκευή απόσταξης για τον ογκομετρικό προσδιορισμό της αμμωνίας[6].



Σχ.6.3.(β) το δείγμα έχει ρόδινο χρώμα στην έναρξη της απόσταξης και αποκτά πράσινο στο πέρας της απόσταξης[6].

Αντιδραστήρια

- **Νερό απαλλαγμένο αμμωνίας.** Όλα τα διαλύματα και οι αραιώσεις του δείγματος, καθώς και το τελικό πλύσιμο των υαλικών με νερό απαλλαγμένο αμμωνίας. Το νερό αυτό παρασκευάζεται καλύτερα, όταν αποσταγμένο νερό διαβιβαστεί από ιοντοανταλλακτική ρητίνη, που να περιέχει ισχυρό εναλλάκτη κατιόντων και ανιόντων.
- **Ρυθμιστικό διάλυμα βορικών αλάτων.** Σε ογκομετρική φιάλη του λίτρου, προσθέτονται 88 mL διαλύματος NaOH 0,1 N και 500 ml διαλύματος $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,025 M (5,0 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ή 9,5 g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ στο λίτρο). Η φιάλη συμπληρώνεται με νερό μέχρι τη χαραγή.
- **Διάλυμα NaOH, 6 N.** Διαλύονται 240 g NaOH σε 1 λίτρο αποσταγμένο νερό.
- **Διάλυμα αποχλωρίωσης του δείγματος.** Χρησιμοποιείται 1 mL διαλύματος αποχλωρίωσης για την απομάκρυνση 1 mg/L υπολειμματικού χλωρίου σε όγκο δείγματος 500 mL. Χρησιμοποιείται διάλυμα υποθειώδους νατρίου, που προετοιμάζεται με διάλυση 0,9 g Na_2SO_3 σε 1 λίτρο νερό ή διάλυμα θειοθειώδους νατρίου, που προετοιμάζεται με διάλυση 3,5 g $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ σε 1 λίτρο

αποσταγμένο νερό. Τα διαλύματα αυτά, πρέπει να παρασκευάζονται καθημερινά.

- **Διάλυμα H_2SO_4 , 1 N**
- **Διάλυμα $NaOH$, 1 N.**
- **Διάλυμα βορικού οξέος.** Διαλύονται 20 g H_3BO_3 σε ένα λίτρο νερό απαλλαγμένο αμμωνίας.
- **Μικτό διάλυμα δείκτη.** Διαλύονται 200 mg κόκκινου του μεθυλαινίου, σε 100 mL αιθυλικής αλκοόλης 95 % ή ισοπροπυλικής αλκοόλης. Διαλύονται επίσης 100 mg κυανό του μεθυλαινίου σε 50 mL αιθυλικής αλκοόλης 95 % ή ισοπροπυλικής αλκοόλης. Τα δύο διαλύματα, αναμιγνύονται και φυλάσσονται σε σκουρόχρωμη φιάλη. Ο δείκτης αυτός ανανεώνεται κάθε μήνα.
- **Μικτό διάλυμα βορικού οξέος και δείκτη.** Διαλύονται 20 g H_3BO_3 σε νερό απαλλαγμένο αμμωνίας, προσθέτονται 10 mL μικτού διαλύματος δείκτη και αραιώνονται με νερό ως τα 1000 mL. Το διάλυμα αυτό ανανεώνεται κάθε μήνα.
- **Διάλυμα H_2SO_4 0,04 N.** Διαλύεται 1 mL πυκνού H_2SO_4 σε ένα λίτρο νερό.

Διαδικασία

- **Προετοιμασία δείγματος.** Χρησιμοποιούνται 500 mL αποχλωρωμένου δείγματος ή μικρότερη ποσότητα αραιωμένη στα 500 mL, με νερό. Αν η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι μικρότερη από 100 mg/L, χρησιμοποιείται δείγμα όγκου ενός λίτρου.
- **Προετοιμασία συσκευής απόσταξης.** Προσθέτονται 500 mL νερό και 20 mL ρυθμιστικού διαλύματος βορικών, σε φιάλη απόσταξης. Με προσθήκη διαλύματος $NaOH$ 6N, το διάλυμα ρυθμίζεται σε pH 9,5. Μετά την προσθήκη μερικών γυάλινων σφαιριδίων το διάλυμα αποστάζεται (μέχρις ότου στο απόσταγμα να μην ανιχνεύεται αμμωνία).

Η εξουδετέρωση του υπολειμματικού χλωρίου γίνεται τη στιγμή της δειγματοληψίας με προσθήκη ενός εκ των διαλυμάτων αποχλωρίωσης, σε αναλογία 1 mL για κάθε 1 mg/L υπολειμματικού χλωρίου.

Ελέγχεται το pH του δείγματος και αν χρειάζεται, ρυθμίζεται σε pH 7, με προσθήκη διαλύματος $NaOH$ 1N ή H_2SO_4 1N.

Προσθέτονται 25 mL ρυθμιστικού διαλύματος βορικών αλάτων και με προσθήκη διαλύματος $NaOH$ 6N ρυθμίζεται το pH του δείγματος στην τιμή 9,5.

- **Απόσταξη.** Μεταφέρομαι στη συσκευή απόσταξης το δείγμα αποστάζεται με ρυθμό 6-10 ml/min (ή όπως ορίζεται από τις οδηγίες του κατασκευαστή, στην περίπτωση που η απόσταξη γίνει σε συσκευή εφοδιασμένη με στοιχείο παραγωγής ατμού).

Η απόληξη του ψυκτήρα έπρεπε να είναι βυθισμένη στο διάλυμα παραλαβής (βορικό οξύ). Το απόσταγμα συλλέγεται σε κωνική φιάλη των 500 mL, η οποία περιέχει 50 mL μικτού διαλύματος βορικού οξέος και δείκτη επειδή ο προσδιορισμός της αμμωνίας έγινε ογκομετρικά..

Τουλάχιστον 200 mL αποστάγματος αποστάζονται και συλλέγονται. Πριν την περάτωση της απόσταξης το απομακρύνουμε τον ψυκτήρα από το απόσταγμα και συνεχίζεται η απόσταξη, για 1-2 min, ώστε να καθαρίσει η συσκευή και η απόληξη του ψυκτήρα.

Το απόσταγμα αραιώνεται ως τα 500 mL, με νερό απαλλαγμένο αμμωνίας[7].

6.4.5. ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ, ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

Η ογκομετρική μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε δείγματα, που έχουν υποστεί το προκαταρκτικό στάδιο απόσταξης και με περιεκτικότητα σε αμμωνιακό άζωτο μεγαλύτερη από 4-5 mg/L. Δεν εφαρμόζεται σε καθαρά επιφανειακά και πόσιμα νερά.

Ο προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου με τη μέθοδο αυτή παρεμποδίζεται από την παρουσία, όξινων ή βασικών πτητικών ουσιών, όπως π.χ αμίνες και προϊόντα που με υδρόλυση δίνουν αμμωνία (ουρία κλπ).

Επίσης τα δείγματα που προορίζονται για αυτή την ανάλυση, πρέπει να ψύχονται στους 5°C, περίπου, αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Η ανάλυση πρέπει να εκτελείται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα.

Αντιδραστήρια

- Πρότυπο διάλυμα θειικού οξέος, H₂SO₄ 0,02N
- Διάλυμα ανθρακικού νατρίου, Na₂CO₃ 100 g/L
- Και μικτό διάλυμα βορικού οξέος με δείκτη, το οποίο παρασκευάζεται.

Διαδικασία

- **Ογκομέτρηση.** Πραγματοποιείται ογκομέτρηση της αμμωνίας, στο απόσταγμα με το πρότυπο διάλυμα H₂SO₄ 0,02 N μέχρις του σημείου χρώσης του διαλύματος με ανοικτό ροζ χρώμα.
- **Τυφλό.** Γίνεται ογκομέτρηση ενός τυφλού (μάρτυρα), που έχει υποστεί ακριβώς την ίδια διαδικασία, όπως και το δείγμα.

Η συγκέντρωση της αμμωνίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$mgNH_3 - N / L = \frac{(A - B) * 280}{ml \text{ δείγματος}}$$

όπου: A = καταναλωθέντα mL θειικού οξέος για το δείγμα

B = καταναλωθέντα mL θειικού οξέος για το τυφλό[7]

6.5. Προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων.

Στη παρούσα εργασία τα ορθοφωσφορικά ιόντα των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων καθώς και του εξερχόμενου υγρού από τις κλίνες καλαμιών προσδιορίστηκε με το Test Kit Merck 14543 εύρους 0,05-5,0 mg/L. Ο προσδιορισμός των πολυφωσφορικών ιόντων με το Test Kit βασίζεται στη μέθοδο που περιγράφεται παρακάτω στα υποκεφάλαια 6.5.2. και 6.5.3. Η ακριβής όμως πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα πτυχιακή είναι η ακόλουθη :

6.5.1. Phosphate Cell Test Merck 14543

Κατά τη διαδικασία της μέτρησης, αρχικά γίνεται αντικατάσταση των μαύρων βιδωτών πωμάτων των μπουκαλιών P-1K και P-3K με τους αντίστοιχους δοσομετρητές. Ο πράσινος δοσομετρητής αντιστοιχεί στο αντιδραστήριο P-1K και ο μπλε δοσομετρητής στο αντιδραστήριο P-3K. Προστίθενται με χρήση σιφωνίου 5,0 ml δείγματος στο φιαλίδιο με το test και ακολουθεί ανάμιξη. Προστίθενται 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-2K, βιδώνεται το καπάκι και ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (minishaker MS2, IKA WORKS). Το φιαλίδιο ανακινείται καλά στον αναδευτήρα για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Προστίθενται μια δόση του αντιδραστηρίου P-3K και βιδώνεται το καπάκι. Το φιαλίδιο διατηρείται σε ηρεμία για 5min.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτομέτρου (Merck Spectoquant® Nova 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει ένα αυτοέλεγχο (self check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "insert cell or start measurement". Το κυλινδρικό φιαλίδιο τοποθετείται στον υποδοχέα ως ότου να κουμπώσει. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη "measuring" (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά από τη δειγματοληψία. Επίσης θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Το pH του δείγματος αν είναι απαραίτητο, με υδροξείδιο του νατρίου ή θειικό οξύ. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις τα φιαλίδια πρέπει να είναι καθαρά. Το εύρος του test είναι 0,05 – 5,00 mg/L PO₄⁻³-P[9].

6.5.2. Προκαταρκτικό στάδιο χώνευσης για το προσδιορισμό των ορθοφωσφορικών ιόντων

Στον ολικό φωσφόρο περιλαμβάνονται ο διαλυμένος και ο αιωρούμενος φωσφόρος (δηλ. όλες οι μορφές του φωσφόρου: ορθοφωσφορικά και πολυφωσφορικά ιόντα καθώς και οργανικός φωσφόρος). Ο δεσμευμένος φωσφόρος (σε οργανικές ή ανόργανες ενώσεις)

αποδεδειγμένη υπό τη μορφή ορθοφωσφορικών ιόντων με χώνευση σε όξινο περιβάλλον και σε υψηλή θερμοκρασία. Η συνηθέστερη μέθοδος χώνευσης χρησιμοποιεί νιτρικό οξύ και θειικό οξύ, είναι αρκετά δραστική, λιγότερο χρονοβόρα και συνιστάται για τα περισσότερα δείγματα[6].

Αντιδραστήρια

- α) Πυκνό θειικό οξύ,
- β) Πυκνό νιτρικό οξύ,
- γ) Διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου 1 N,
- δ) Δείκτης φαινολοφθαλεΐνης σε υδατικό διάλυμα.

Πειραματική Πορεία

1. Ορισμένη ποσότητα δείγματος (συνήθως 25 ml δείγματος. Σε περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων ολικού φωσφόρου, γίνεται κατάλληλη αρραίωση), 1 ml π. H₂SO₄ και 5 ml π. HNO₃ φέρονται σε φιάλη μικρό- Kjeldahl.

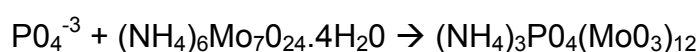
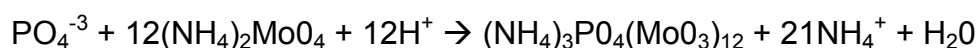
2. Τα δείγματα μαζί με το τυφλό τοποθετούνται στη συσκευή χώνευσης και φέρονται σε βρασμό (θερμοκρασία περίπου 200 °C), μέχρι να παραμείνει στην κάθε φιάλη όγκος δείγματος 1 ml και το διάλυμα να είναι διαυγές (ένδειξη ότι απομακρύνθηκε το HNO₃).

3. Ακολουθεί ψύξη των φιαλών και προσθήκη σε καθμία 20 mL απεσταγμένου νερού, 1 σταγόνας (0,05 mL) διαλύματος δείκτη και τόσης ποσότητας διαλύματος NaOH 1 N, ώστε το διάλυμα να αποκτήσει ανοιχτό ρόδινο χρώμα. Αν υπάρχουν αιωρούμενα στερεά σε κάποιο δείγμα, το διάλυμα διηθείται μέσω ηθμού διαμέτρου οπής 0,45 μm. Τα εξουδετερωμένα διαλύματα μεταφέρονται σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL και συμπληρώνονται μέχρι τη χαραγή[6].

6.5.3. Προσδιορισμός ορθοφωσφορικών ιόντων με τη μέθοδο βαναδομολυβδαινοφωσφορικού οξέος

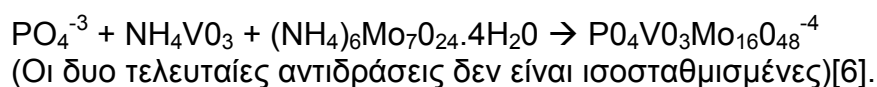
Τα διαλυμένα ορθοφωσφορικά ιόντα σε όξινο περιβάλλον αντιδρούν με το μολυβδαινικό αμμώνιο σχηματίζοντας φωσφορομολυβδαινικό σύμπλοκο, από το οποίο, παρουσία βαναδικού αμμωνίου, παράγεται βαναδομολυβδαινοφωσφορικό οξύ με χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα (η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ορθοφωσφορικών).

Από την αντίδραση φωσφόρου και μολυβδαινικών (MoO₄⁻², Mo₇O₂₄⁻⁶, Mo₄O₃⁻²) σε όξινο περιβάλλον σχηματίζονται τα παρακάτω σύμπλοκα:



Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός των ορθοφωσφορικών ιόντων επιτυγχάνεται μέσω του σχηματισμού των ετεροπολυοξέων ή αλάτων

τους, αλλά η ευαισθησία της μεθόδου του φωσφορομολυβδαινικού αμμωνίου είναι μικρή. Συνεπώς συνιστάται η προσθήκη βαναδικού αμμωνίου, που σχηματίζει το παρακάτω τελικό προϊόν:



Παρεμποδίσεις

Θετικό σφάλμα δημιουργείται από την παρουσία πυριτικών και αρσενικών ιόντων. Συγκεκριμένα τα πυριτικά ιόντα δρουν όπως τα φωσφορικά, παράγοντας κίτρινο πυριτιομολυβδαινικό αμμώνιο - $(\text{NH}_4)_4[\text{SiMo}_{12}\text{O}_{40}]^-$, το οποίο όμως είναι ευδιάλυτο. Όταν η συγκέντρωση του οξέος είναι μεγαλύτερη από 0,2 N τα πυριτικά δεν δρουν παρεμποδιστικά. Τα αρσενικά ιόντα παράγουν παρεμφερή σύμπλοκα, τα οποία παρεμποδίζουν σοβαρά τον προσδιορισμό των φωσφορικών ιόντων. Για το λόγο αυτό, σε δείγματα με συγκεντρώσεις αρσενικών πάνω από 0,05 mg/L, επιβάλλεται η απομάκρυνση τους με ιονανταλλακτική στήλη ή με εκχύλιση.

Αρνητικά σφάλματα δημιουργούνται και από την παρουσία φθοριούχων, θορίου, βισμούθιου, θειωδών, θειοθειικών, θειοκυανιούχων ιόντων και περίσσειας μολυβδαινίου.

Η παρουσία ιόντων σιδήρου σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 100 mg/L δημιουργεί κυανό χρώμα στο διάλυμα.

Αν χρησιμοποιηθεί HNO_3 στη διαδικασία, η παρουσία χλωριόντων σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 75 mg/L επηρεάζει τη μέτρηση των ορθοφωσφορικών ιόντων[6].

Εργαστηριακός εξοπλισμός

α) **Φασματοφωτόμετρο:** Χρησιμοποιείται φασματοφωτόμετρο σε μήκη κύματος 400 έως 490 nm (η επιλογή του μήκους κύματος εξαρτάται από την αναμενόμενη συγκέντρωση ορθοφωσφορικών ιόντων και την επιθυμητή ευαισθησία)(Σχ.6.4.).

β) **Γυάλινα σκεύη:** Χρησιμοποιούνται γυάλινα σκεύη αποκλειστικά για την μέτρηση αυτή, τα οποία πλένονται με χλιαρό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος και ξεπλένονται καλά με απεσταγμένο νερό, ενώ μετά από τη χρησιμοποίησή τους φυλάσσονται καλυμμένα και πληρωμένα με νερό[6].

Αντιδραστήρια

α) Αντιδραστήριο βαναδικού-μολυβδαινικού άλατος:

Διάλυμα Α: διαλύονται 25 g μολυβδαινικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ σε 300 mL νερού,

Διάλυμα Β: διαλύονται 1,25 g βαναδικού αμμωνίου NH_4VO_3 σε 300 mL νερού με βρασμό. Το διάλυμα ψύχεται και ακολουθεί προσθήκη 330 mL πυκνού υδροχλωρικού οξέος. Στη συνέχεια αφήνεται το διάλυμα σε θερμοκρασία δωματίου. Το διάλυμα Α προστίθεται στο διάλυμα Β, γίνεται ανάμιξη και αραιώση στο 1 L.

β) Υδατικό διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης; Διαλύονται 5 g άλατος φαινολοφθαλεΐνης σε 1 L νερού

γ) Υδροχλωρικό οξύ (μπορεί να αντικατασταθεί με H_2SO_4 , HNO_3 ή HCl): Επιθυμητή συγκέντρωση 0.5 N

δ) Ενεργός άνθρακας.

ε) Πρότυπο διάλυμα φωσφορικών ιόντων: Γίνεται διάλυση 219,5 mg άνυδρου KH_2PO_4 σε 1 L. 1 ml του διαλύματος περιέχει 50 μg $PO_4^{3-}-P$. Από το πρότυπο διάλυμα παρασκευάζεται μία σειρά προτύπων διαλυμάτων με διάφορες συγκεντρώσεις[6].

Πειραματική Πορεία

1. Ρύθμιση του pH. Αν το pH του δείγματος είναι 4 έως 10 δε χρειάζεται ρύθμιση. Αν το pH είναι μεγαλύτερο του 10, γίνεται προσθήκη 1 σταγόνας δείκτη φαινολοφθαλεΐνης σε δείγμα 50 ml και ακολούθως προσθήκη υδροχλωρικού οξέος, ώσπου να εξαφανιστεί το ερυθρό χρώμα. Ακολουθεί αραίωση σε όγκο 100 ml.

2. Αποχρωματισμός δείγματος. Σε περίπτωση έγχρωμου δείγματος λαμβάνονται 50 ml δείγματος και 200 mg ενεργού άνθρακα. Ακολουθεί ανάδευση επί 5 min και διήθηση του δείγματος για απομάκρυνση του ενεργού άνθρακα.

3. Ανάπτυξη χρώματος στο δείγμα. Λαμβάνεται ποσότητα 35 mL ή μικρότερη από το χωνευμένο και εξουδετερωμένο δείγμα σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL. Ακολουθεί προσθήκη 10 mL αντιδραστηρίου βαναδικού-μολυβδαινικού άλατος και αραίωση με νερό στα 50 mL. Προετοιμάζεται τυφλό δείγμα με τον ίδιο τρόπο, προσθέτοντας 35 mL απεσταγμένου νερού, αντί του δείγματος που έχει χωνευτεί με την προηγούμενη διαδικασία. Μετά από 10 min ή περισσότερο μετρείται η απορρόφηση του δείγματος ως προς το τυφλό, συνήθως σε μήκος κύματος 470 nm (περιοχή 400 έως 490 nm, ανάλογα με την επιθυμητή ευαισθησία). Το χρώμα των διαλυμάτων αυτών παραμένει σταθερό επί αρκετές ημέρες και η ένταση του δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

4. Τα παρασκευασθέντα πρότυπα διαλύματα (περιοχή συγκεντρώσεων από 0 έως 20 mg P/L) υφίστανται όμοια επεξεργασία με το δείγμα.

5. Κατασκευάζεται καμπύλη αναφοράς με τα πρότυπα διαλύματα.

6. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης φωσφόρου γίνεται ως εξής:

$$\text{mg P/L} = [\text{mg P (στα 50 mL δείγματος)}] / (\text{mL δείγματος})$$



Σχ.6.4. Φορητό φασματοφωτόμετρο για άμεσο προσδιορισμό ορθοφωσφορικών με έτοιμη καμπύλη αναφοράς[6].

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο έχουν καταγραφεί τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις 2 τεχνητές κλίνες καλαμιών από τα εγχώρια καλάμια *Phragmites australis*. Οι δυο τεχνητές κλίνες καλαμιών που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας φαίνονται στις εικόνες 7.1. - 7.3. Ελήφθησαν δυο γλάστρες με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της απόδοσης και της επαναληψιμότητας τους.

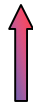
Η συλλογή των δειγμάτων, από τα φυσικά συστήματα κλίνης καλαμιών που δημιουργήθηκαν, καθώς και οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια ενός μηνός με συχνότητα 1-3 μέρες ώστε να ληφθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την απόδοση του συστήματος και να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα του. Οι χημικοί παράμετροι που εξετάστηκαν είναι το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) το αμμωνιακό άζωτο και τα πολυφωσφορικά ιόντα.



Σχήμα 7.1. Γλάστρα 1



Σχήμα 7.2. Γλάστρα 2



ΓΛΑΣΤΡΑ 1

ΓΛΑΣΤΡΑ 2

Σχήμα 7.3. Τα δυο συστήματα βραδείας εφαρμογής κλινών καλαμιών που δημιουργήσαμε

Παρακάτω έχουν καταγραφεί σε πίνακες τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Στη πρώτη στήλη σε όλους τις πίνακες καταγράφονται οι ημερομηνίες όπου γινόταν οι δειγματοληψίες και συγχρόνως οι αναλύσεις των χημικών παραμέτρων. Η δεύτερη στήλη περιέχει την ανάλογη με την εκάστοτε εξεταζόμενη παράμετρο, χημικά απαιτούμενο οξυγόνο σε mgO_2/L και για το αμμωνιακό άζωτο και τον ολικό φώσφορο σε mg/L συγκέντρωση. Στη Τρίτη είναι το φορτίο του εισερχόμενου αποβλήτου σε mg . Στη τέταρτη σημειώνεται ο όγκος του εισερχόμενου λύματος σε κάθε σύστημα μας, όπου είναι κάθε φορά 1 L. Η πέμπτη στήλη είναι συμπληρωμένη με τον όγκο του εξερχόμενου λύματος το οποίο συλλέχθηκε σε κάθε εφαρμογή μετά από μία ώρα μετά το πότισμα των γλαστρών και στην έκτη στήλη είναι οι μετρήσεις του εξερχόμενου αυτού όγκου σε mgO_2/L για το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο και

σε mg/L για το αμμωνιακό άζωτο και τα πολυφωσφορικά ιόντα αντίστοιχα. Στην έβδομη στήλη έχει γίνει αναγωγή της πέμπτης στήλης στον όγκο του εξερχόμενου λύματος και όχι στο λίτρο και καταγράφουμε το φορτίο. Η αναγωγή έγινε με τον παρακάτω τύπο :

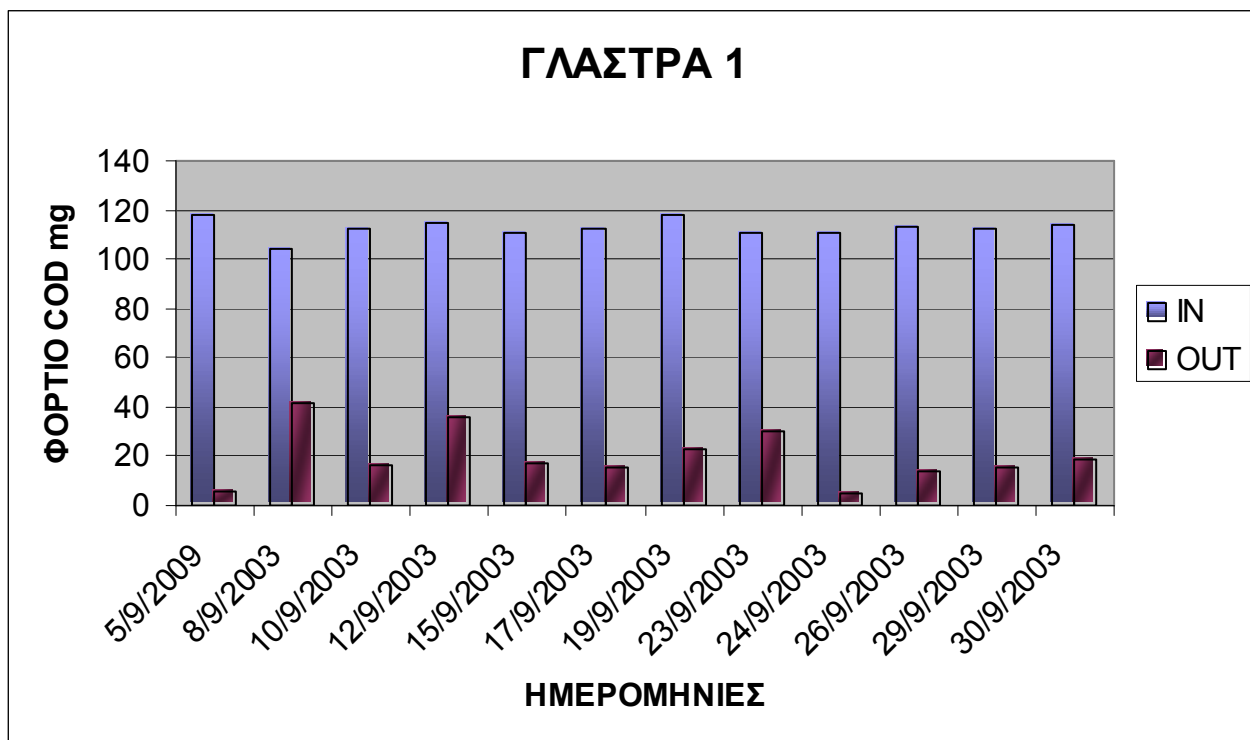
$$\text{Φορτίο COD mg} = (\text{Vεξερχόμενο(ml)}/1000) * \text{COD εξερχόμενο mgO}_2/\text{L}$$

Αντίστοιχα γίνεται και για το αμμωνιακό άζωτο και τον ολικό φώσφορο. Στην όγδοη και τελευταία στήλη φαίνεται το ποσοστό % της μείωσης του εξερχόμενου από το εισερχόμενο υγρό, το οποίο αντιστοιχεί στην απόδοση του συστήματος.

Στον πίνακα 7.1. & 7.2. έχουμε τα αποτελέσματα του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) για τη γλάστρα 1 & 2 αντίστοιχα. Επίσης για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων τα αποτελέσματα υπάρχουν και με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Στις γραφικές παραστάσεις για κάθε ημερομηνία έχουν συγκριθεί, η 3^η στήλη που αντιστοιχεί στο φορτίο που μπαίνει στο σύστημα, με την 7^η στήλη όπου είναι το φορτίο που έχει υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία από το φυσικό σύστημα κλινών καλαμιών.

Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα COD για τη γλάστρα 1

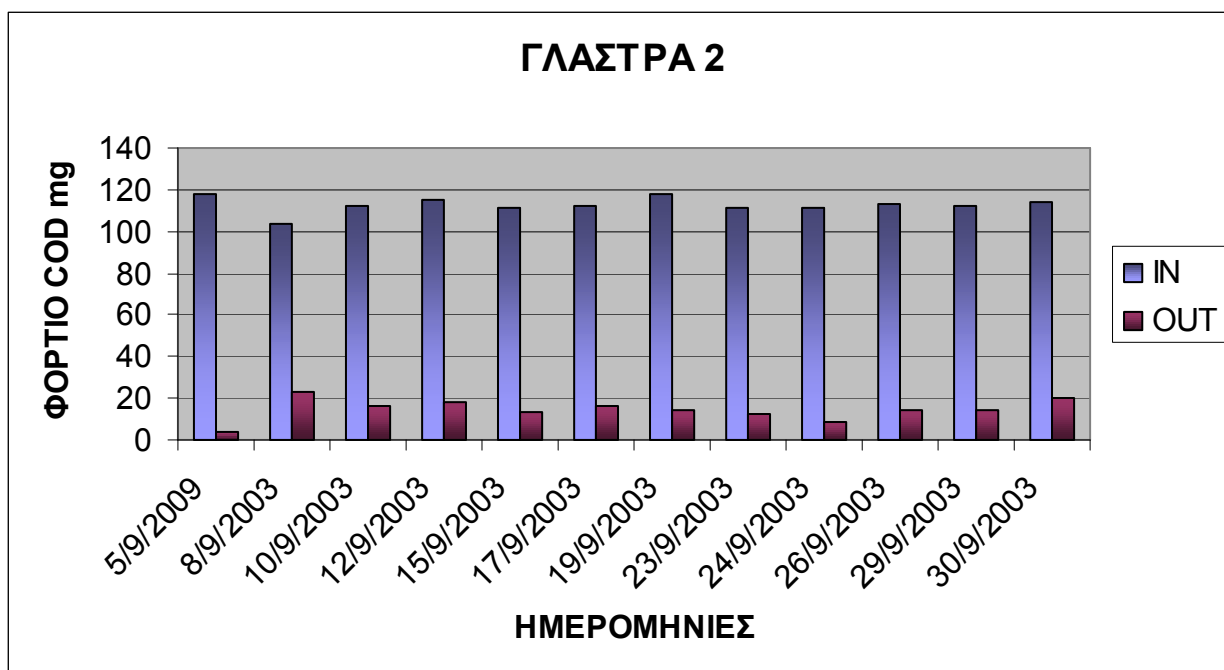
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	COD Εισερχόμενο mgO ₂ /L	Φορτίο COD εισερχόμενο mg	V ποτίσματος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 1			% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	COD εξερχ. mg/l	Φορτίο COD mg εξερχόμενο	
5/9/2009	118	118	1	16,5	334	5,51	95,33
8/9/2003	104	104	1	190	220	41,80	59,81
10/9/2003	112	112	1	90	180	16,20	85,54
12/9/2003	115	115	1	150	240	36,00	68,70
15/9/2003	111	111	1	100	168	16,80	84,86
17/9/2003	112	112	1	90	170	15,30	86,34
19/9/2003	118	118	1	110	210	23,10	80,42
23/9/2003	111	111	1	185	162	29,97	73,00
24/9/2003	111	111	1	40	126	5,04	95,46
26/9/2003	113	113	1	80	170	13,60	87,96
29/9/2003	112	112	1	95	165	15,68	86,00
30/9/2003	114	114	1	100	190	19,00	83,33



Διάγραμμα 7.1. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου COD για τη γλάστρα 1

Πίνακας 7.2. Αποτελέσματα COD για τη γλάστρα 2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑΣ	COD εισερχόμενο mgO ₂ /L	Φορτίο COD εισερχόμενο mg	V ποτίσματος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 2		Φορτίο COD mg εξερχόμενο	% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	COD εξερχ. mgO ₂ /l		
5/9/2003	118	118	1	11,5	318	3,66	96,90
8/9/2003	104	104	1	130	180	23,40	77,50
10/9/2003	112	112	1	100	160	16,00	85,71
12/9/2003	115	115	1	120	155	18,60	83,83
15/9/2003	111	111	1	105	132	13,86	87,51
17/9/2003	112	112	1	100	160	16,00	85,71
19/9/2003	118	118	1	70	200	14,00	88,14
23/9/2003	111	111	1	90	136	12,24	88,97
24/9/2003	111	111	1	70	118	8,26	92,56
26/9/2003	113	113	1	70	210	14,70	86,99
29/9/2003	112	112	1	90	160	14,40	87,14
30/9/2003	114	114	1	110	180	19,80	82,63



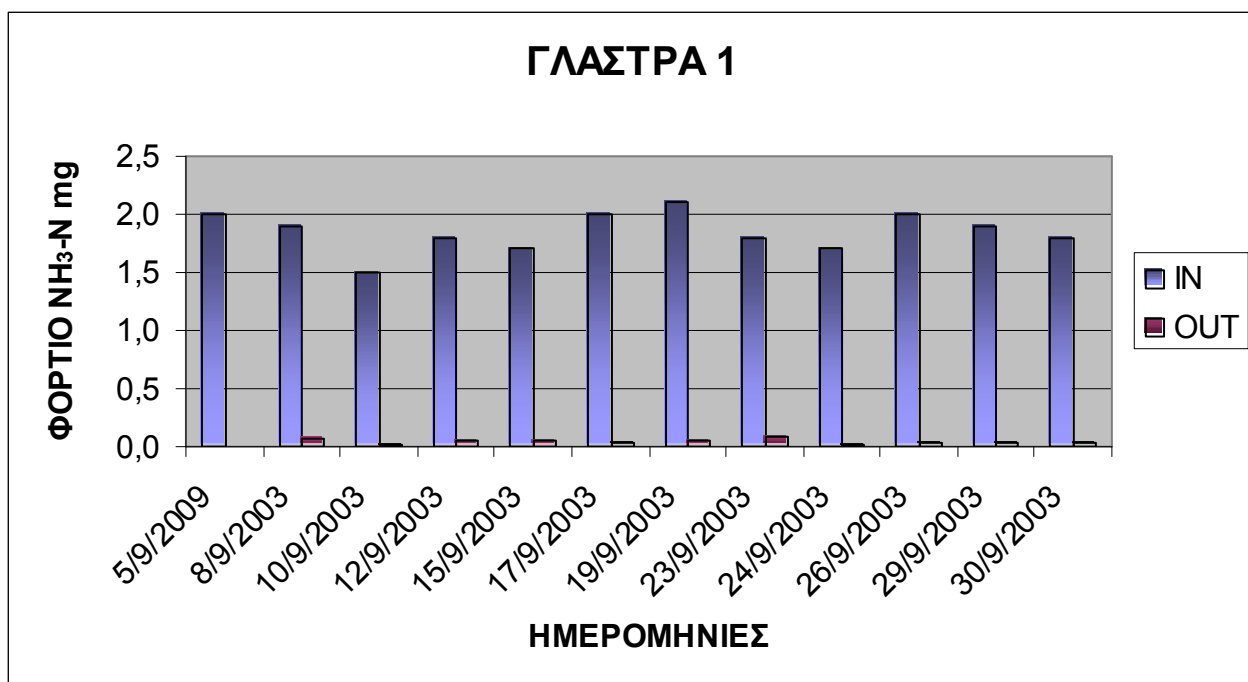
Διάγραμμα 7.2. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου COD για τη γλάστρα 2

Λόγω του ότι ο υπολογισμός του εισερχόμενου και εξερχόμενου φορτίου είναι ανάλογος του όγκου του προσδιοριζόμενου εισερχόμενου και εξερχόμενου υγρού, παρατηρούμε ότι η απόδοση αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα με την αύξηση του όγκου του εξερχόμενου υγρού από τις γλάστρες.

Από τα διαγράμματα 7.1. & 7.2. παρατηρούμε ότι η γλάστρα 2 φαίνεται ελαφρά πιο αποδοτική στη μείωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου με μέσο όρο ποσοστό κάθαρσης του 86,9 % έναντι 82,2 % της γλάστρας 1. Επίσης παρατηρείται μεγαλύτερη επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων ανάμεσα στη γλάστρα 1 και 2.

Πίνακας 7.3. Αποτελέσματα αμμωνιακού αζώτου για τη γλάστρα 1

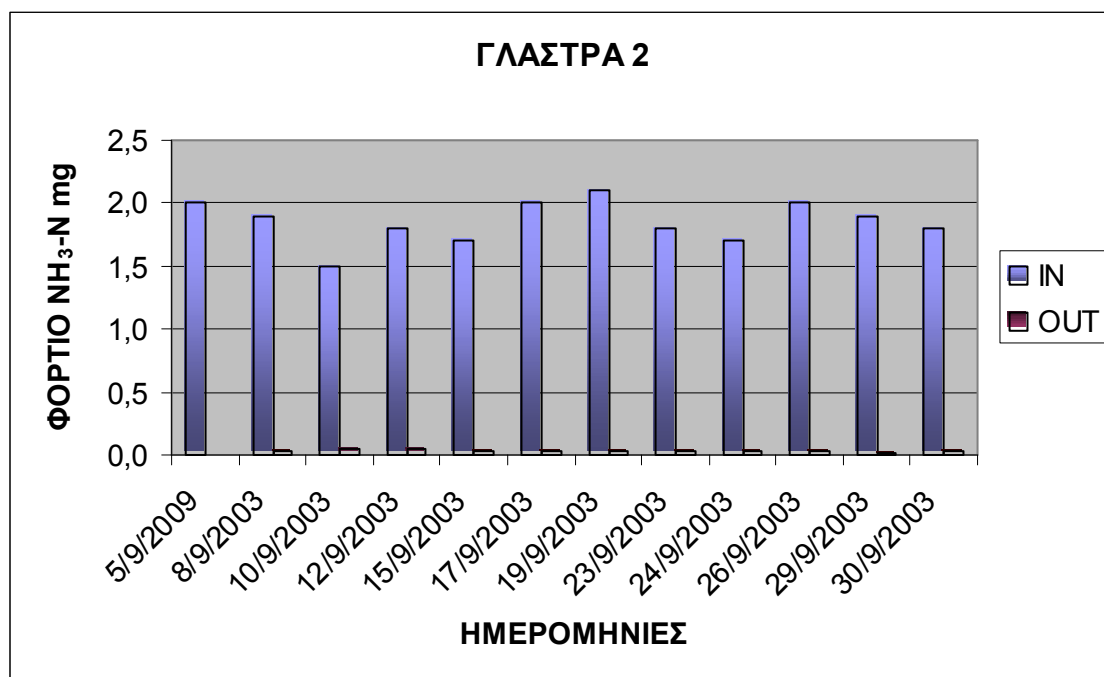
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑΣ	NH ₄ ⁺ -N εισερχόμενο mg/L	Φορτίο NH ₄ ⁺ -N εισερχόμενο mg	V ποτίσμα-τος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 1			% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	NH ₄ ⁺ -N εξερχ. mg/l	Φορτίο NH ₄ ⁺ -N mg εξερχόμενο	
5/9/2009	2,0	2,0	1	16,5	0,41	0,01	99,66
8/9/2003	1,9	1,9	1	190	0,38	0,07	96,20
10/9/2003	1,5	1,5	1	90	0,28	0,03	98,32
12/9/2003	1,8	1,8	1	150	0,38	0,06	96,83
15/9/2003	1,7	1,7	1	100	0,5	0,05	97,06
17/9/2003	2,0	2,0	1	90	0,41	0,04	98,16
19/9/2003	2,1	2,1	1	110	0,52	0,06	97,28
23/9/2003	1,8	1,8	1	185	0,47	0,09	95,17
24/9/2003	1,7	1,7	1	40	0,32	0,01	99,25
26/9/2003	2,0	2,0	1	80	0,37	0,03	98,52
29/9/2003	1,9	1,9	1	95	0,42	0,04	97,90
30/9/2003	1,8	1,8	1	100	0,28	0,03	98,44



Σδιάγραμμα 7.3. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου για τη γλάστρα 1

Πίνακας 7.4. Αποτελέσματα αμμωνιακού αζώτου για τη γλάστρα 2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	NH ₄ ⁺ -N εισερχόμενο mg/L	Φορτίο NH ₄ ⁺ -N εισερχόμενο mg	V ποτίσματος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 2		Φορτίο NH ₄ ⁺ -N mg εξερχ.	% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	NH ₄ ⁺ -N εξερχ. mg/l		
5/9/2009	2,0	2,0	1	11,5	0,35	0,004	99,80
8/9/2003	1,9	1,9	1	130	0,28	0,036	98,08
10/9/2003	1,5	1,5	1	100	0,5	0,050	96,67
12/9/2003	1,8	1,8	1	120	0,42	0,050	97,20
15/9/2003	1,7	1,7	1	105	0,32	0,034	98,02
17/9/2003	2,0	2,0	1	100	0,37	0,037	98,15
19/9/2003	2,1	2,1	1	70	0,41	0,029	98,63
23/9/2003	1,8	1,8	1	90	0,3	0,027	98,50
24/9/2003	1,7	1,7	1	70	0,35	0,025	98,56
26/9/2003	2,0	2,0	1	70	0,46	0,032	98,39
29/9/2003	1,9	1,9	1	90	0,24	0,022	98,86
30/9/2003	1,8	1,8	1	110	0,36	0,040	97,80

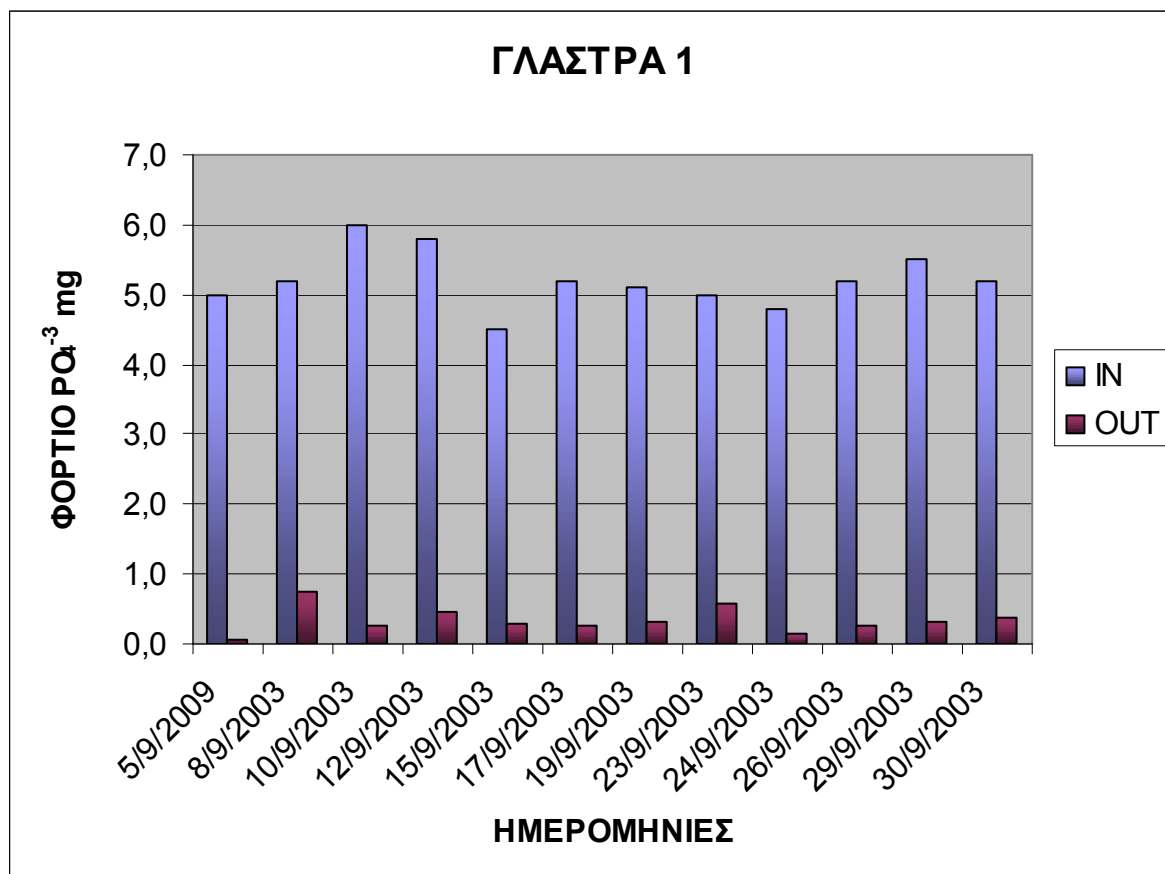


Διάγραμμα 7.4. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου αμμωνιακού αζώτου για τη γλάστρα 2

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα 7.3. & 7.4. η μείωση του αμμωνιακού αζώτου κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και για τις δυο γλάστρες. Ελάχιστο πιο αποδοτικό σύστημα είναι η γλάστρα 2 με μέσο όρο μείωσης 98,2 % έναντι 97,7 % της γλάστρας 1. Οι εφαρμογές των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις 2 γλάστρες διακρίνονται από πολύ υψηλή επαναληψιμότητα. Στη περίπτωση του $\text{NH}_4^+\text{-N}$ η απόδοση της παρακράτησης του από τις 2 γλάστρες είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τον όγκο του εξερχόμενου υγρού. Γεγονός που δείχνει την υψηλή αφομοίωση των NH_4^+ ιόντων από τα φυτά.

Πίνακας 7.5. Αποτελέσματα PO_4^{-3} για τη γλάστρα 1

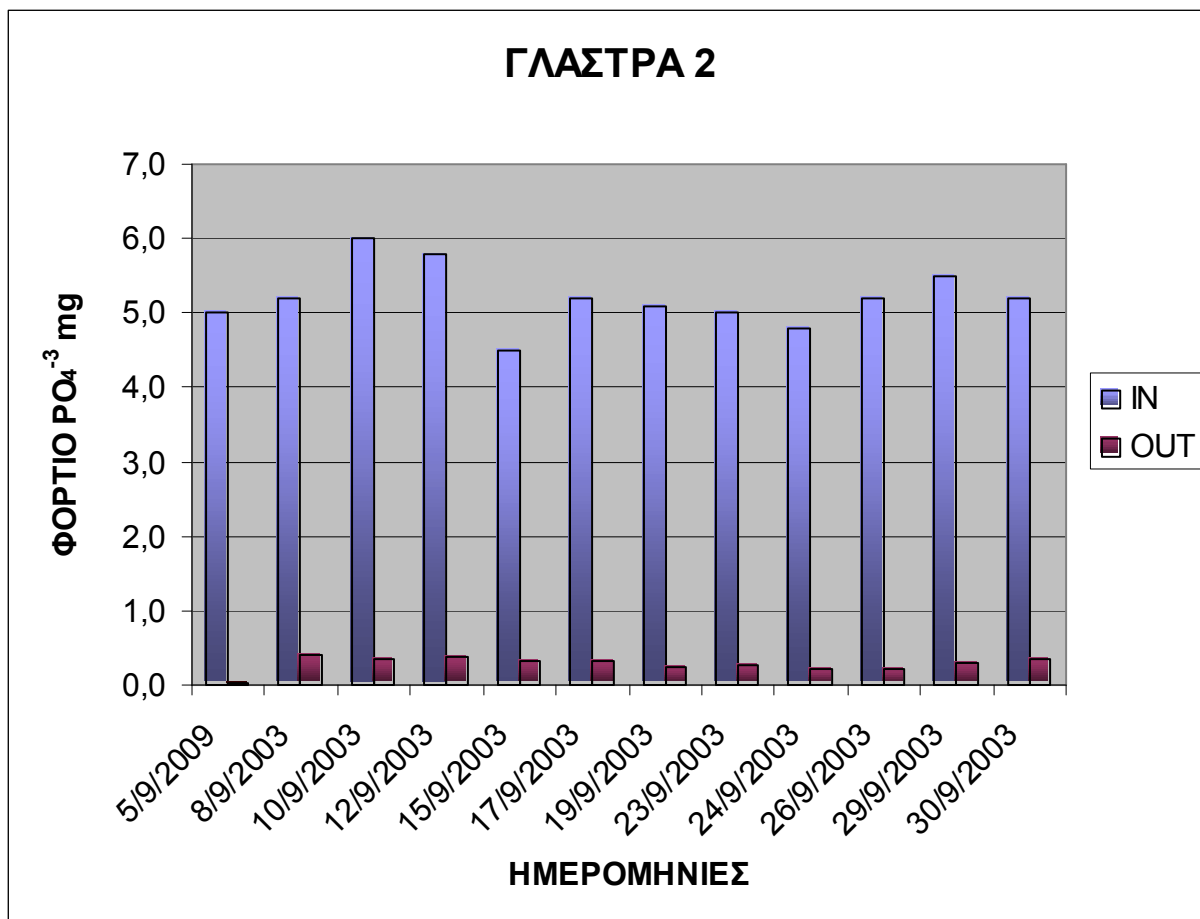
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	PO_4^{-3} εισερχόμενο mg/L	Φορτίο PO_4^{-3} εισερχόμενο mg	V ποτίσματος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 1			% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	PO_4^{-3} εξερχ. mg/l	Φορτίο PO_4^{-3} mg εξερχ.	
5/9/2009	5,0	5,0	1	16,5	3,64	0,06	98,80
8/9/2003	5,2	5,2	1	190	3,87	0,74	85,86
10/9/2003	6,0	6,0	1	90	2,93	0,26	95,61
12/9/2003	5,8	5,8	1	150	3	0,45	92,24
15/9/2003	4,5	4,5	1	100	2,95	0,30	93,44
17/9/2003	5,2	5,2	1	90	2,85	0,26	95,07
19/9/2003	5,1	5,1	1	110	2,75	0,30	94,07
23/9/2003	5,0	5,0	1	185	3,1	0,57	88,53
24/9/2003	4,8	4,8	1	40	3,4	0,14	97,17
26/9/2003	5,2	5,2	1	80	3,3	0,26	94,92
29/9/2003	5,5	5,5	1	95	3,4	0,32	94,13
30/9/2003	5,2	5,2	1	100	3,8	0,38	92,69



Διάγραμμα 7.5. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου PO_4^{-3} για τη γλάστρα 1

Πίνακας 7.6. Αποτελέσματα PO_4^{-3} για τη γλάστρα 2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ	PO_4^{-3} εισερχόμενο mg/L	Φορτίο PO_4^{-3} εισερχόμενο mg	V ποτίσματος lt	ΓΛΑΣΤΡΑ 2		Φορτίο PO_4^{-3} mg εξερχ.	% Απόδοση
				V εξερχόμενο ml	PO_4^{-3} εξερχ. mg/l		
5/9/2009	5,0	5,0	1	11,5	2,85	0,03	99,34
8/9/2003	5,2	5,2	1	130	3,1	0,40	92,25
10/9/2003	6,0	6,0	1	100	3,6	0,36	94,00
12/9/2003	5,8	5,8	1	120	3,2	0,38	93,38
15/9/2003	4,5	4,5	1	105	2,95	0,31	93,12
17/9/2003	5,2	5,2	1	100	3,1	0,31	94,04
19/9/2003	5,1	5,1	1	70	3,3	0,23	95,47
23/9/2003	5,0	5,0	1	90	2,93	0,26	94,73
24/9/2003	4,8	4,8	1	70	2,97	0,21	95,67
26/9/2003	5,2	5,2	1	70	3,2	0,22	95,69
29/9/2003	5,5	5,5	1	90	3,25	0,29	94,68
30/9/2003	5,2	5,2	1	110	3,1	0,34	93,44



Διάγραμμα 7.6. Σύγκριση εξερχόμενου με εισερχόμενου φορτίου PO_4^{3-} για τη γλάστρα 2

Από τους πίνακες 7.5. & 7.6. βλέπουμε ότι η απόδοση της μείωσης των PO_4^{3-} ιόντων όπως και στη περίπτωση του COD, παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις οι οποίες εξαρτώνται από τον όγκο του εξερχόμενου υγρού. Και σε αυτή τη περίπτωση της κατακράτησης των PO_4^{3-} ιόντων διακρίνεται μια υψηλή επαναληψιμότητα ανάμεσα στη γλάστρα 1 και 2. Ο μέσος όρος καθαρότητας το εισερχόμενου δευτεροβάθμιου λύματος είναι μεγαλύτερος στη γλάστρα 2 με ποσοστό 94,6 % έναντι 93,5 % της γλάστρας 1.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάστηκε η εφαρμογή δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε ένα φυσικό σύστημα κλινών καλαμιών (*Phragmites australis*) βραδείας εφαρμογής. Από τα αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων χημικών αναλύσεων του COD, του αμμωνιακού αζώτου και των ορθοφωσφορικών ιόντων (που καταγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 7) μπορούν να εξαχθούν κάποια σημαντικά συμπεράσματα. Στο ρυπαντικό φορτίο στα φυσικά συστήματα κλινών καλαμιών όσον αφορά τις τρεις χημικούς παραμέτρους που ελέγχθηκαν παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση.

Στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) κυμάνθηκε η μείωση από 73 – 96,9 % στο εξερχόμενο υγρό. Η γλάστρα 2 είχε κατά μέσο όρο μείωση του φορτίου του COD κατά 86,9 % και η γλάστρα 1 κατά 82,2 %. Αυτά τα ποσοστά ελαχιστοποίησης του ρυπαντικού φορτίου είναι αρκετά μεγάλα & σημαντικά για τη μελέτη που επιχειρήθηκε.

Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης του συστήματος παρατηρήθηκε στην περίπτωση απομάκρυνσης του αμμωνιακού αζώτου, όπου σε όλες τις εφαρμογές και στα 2 συστήματα παρατηρήθηκε μείωση μεγαλύτερη από 95 %. Στην περίπτωση της γλάστρας 1 είχαμε μέσο όρο μείωση του εισερχόμενου κατά 97,7 % και για τη γλάστρα 2 κατά 98,2 %. Αυτό που έκανε πιο επιτυχή τα αποτελέσματα αυτά ήταν η υψηλή επαναληψιμότητα τους καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Στη περίπτωση των NH_4^+ ιόντων παρατηρήθηκε υψηλή αφομοίωση τους από τα καλλιεργούμενα καλάμια, γεγονός που μπορεί να υποστηριχθεί από το ότι οι διακυμάνσεις στην απόδοση είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις διακυμάνσεις του όγκου του εξερχόμενου υγρού.

Τέλος όσο αφορά τα PO_4^{3-} ιόντα τα αποτελέσματα ήταν εξίσου θετικά. Η απομάκρυνση του κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα 85 – 99 % και για τα δύο φυσικά συστήματα κλινών καλαμιών. Στη γλάστρα 1 το ποσοστό κάθαρσης κατά μέσο όρο ήταν 93,5 % και στη γλάστρα 2 94,6 %.

Από τα προαναφερθέντα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χρησιμοποίηση φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με κλίνες καλαμιών για τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι αποδεκτή.

Στην Ελλάδα όπως αναφέρθηκε και στο πρόλογο η μέθοδος αυτή των φυσικών συστημάτων δεν είναι πολύ διαδεδομένη, ωστόσο δεν είναι ανύπαρκτη. Δύο τέτοια έργα (τεχνητών υγροβιότοπων) κατασκευάστηκαν στην Κρήτη στους οικισμούς Πόμπια και Αργυρούπολη με χρηματοδότηση από το Περιφερειακό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (ΠΕΠ) Κρήτης. Ο υγροβιότοπος στη Πόμπια είναι ήδη σε λειτουργία εδώ και μερικά χρόνια με απόλυτη επιτυχία. Ο υγροβιότοπος της Πόμπιας επεξεργάζεται τα αστικά λύματα που παράγονται από τον οικισμό της Πόμπιας, διαθέτει εσχάρωση και σηπτική δεξαμενή, έχει συνολική έκταση 5.700 m² και είναι χωρισμένος σε δύο μέρη. Η ποικιλία καλαμιών που χρησιμοποιήθηκε στον υγροβιότοπο αυτό είναι το εγχώριο είδος καλαμιών *Arundo donax*.

Επίσης μικρότερα έργα (ερευνητικά - πιλοτικά) ευρίσκονται σε λειτουργία και / ή σε κατασκευή από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Εθνικό Ίδρυμα Γεωργικής Έρευνας) στο Ηράκλειο και στη Θεσσαλονίκη (Μόδι - Ν. Μάδυτος του Ν. Θεσσαλονίκης με χρηματοδότηση από το 2^ο ΚΠΣ). Επίσης στη περιοχή του

Γοματίου, ένας μικρός οικισμός στη Χαλκιδική που ανήκει στο Δήμο Παναγίας, χρησιμοποιεί τεχνητό υγροβιότοπο για την επεξεργασία των λυμάτων. Το χωριό διαθέτει αποχετευτικό δίκτυο ακαθάρτων και τα λύματα φτάνουν με βαρύτητα μέχρι το σημείο επεξεργασίας. Το έργο σχεδιάστηκε σαν μικρό περιαστικό πάρκο σε απόσταση 400m από τα όρια του χωριού. Αποτελείται από διατάξεις προεπεξεργασίας των λυμάτων (εσχάρωση, καθίζηση), τρία στάδια τεχνητών υγροβιοτόπων και παρτέρια επεξεργασίας λάσπης. Πρόκειται για σύστημα πλήρους αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των λυμάτων, όπως φαίνεται και στην 8.1.



Εικόνα 8.1. Επεξεργασία Λυμάτων οικισμού Γοματίου [5].

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχουν κατασκευαστεί ακόμα και για την επεξεργασία λυμάτων σπιτιών, όπως το σπίτι (Εικ.8.2.) στον ορεινό όγκο του Χολομώντα σε υψόμετρο 900 m. Κατασκευάστηκε το έτος 1994 με βάση τους κανόνες της οικολογικής δόμησης. Για την επεξεργασία των λυμάτων κατασκευάστηκε σύστημα με μικρά παρτέρια τεχνητών υγροβιοτόπων κοντά στο σπίτι. Το σύστημα λειτουργεί χωρίς προβλήματα ή οσμές συνεχώς από τότε και δεν έχει επηρεαστεί από τις δύσκολες καιρικές συνθήκες του χειμώνα [5].



Εικόνα 8.2. Τεχνητός υγροβιότοπος στη περιοχή του Χολομώντα. Ένα από τα παρτέρια διακρίνεται στην ένθετη φωτογραφία πάνω αριστερά[5].

Ευρετήριο συντομογραφιών

ατ.ημ	άτομο ανά ημέρα
απ/ml	αποικίες ανά ml
B.K.	Βιολογικός καθαρισμός
BOD ₅	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών
BOD _L	Ολικό Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο
Γραμ./κατ.ημέρα	Γραμμάρια ανά κάτοικο ανά ημέρα
COD	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο
Ειβ	Υγειονομική διάταξη
E.C	ηλεκτρική αγωγιμότητα
EQW	ισοδύναμος κάτοικος
ESP	εναλλακτικότητα του Νατρίου
ET	Εξαμισοδιαπνοή
ET ₀	Εξαμισοδιαπνοή αναφοράς
F/M	Τροφή προς μικροοργανισμούς
FWS	Ελεύθερης επιφάνειας τεχνητοί υγροβιότοποι
g/cm ³	γραμμάρια ανά κυβικά εκατοστά
Θc	ηλικία λάσπης
Kg/m ² -d	κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα
Lt/κατ.	Λίτρα ανά κάτοικο
Lt/ κλίνη	Λίτρα ανά κλίνη
μg/m ³	μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο
mg/l	χιλιόγραμμα ανά λίτρο
m ³ /ημ.	Κυβικά μέτρα ανά ημέρα
m ³ /h	κυβικά μέτρα ανά ώρα
m ³ /min	κυβικά μέτρα ανά λεπτό
MLSS	αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού
MLVSS	πτητικά αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού
MPN = ΠΑΚ	πιθανός αριθμός κολοβακτηριδίων
N	άζωτο
P	φώσφορος
ppm	μέρη στο εκατομμύριο
PVC	πολυβινυλοχλωρίδιο
Q	παροχή
RBTS	Σύστημα επεξεργασίας με κλίνες καλαμιών
Στρ./λ	στροφές ανά λεπτό
SAT	Σύστημα ταχείας διήθησης
SFS	υποεπιφανειακής ροής τεχνητοί υγροβιότοποι
SRT	χρόνος παραμονής λάσπης
SS	αιωρούμενα στερεά
TOC	ολικός οργανικός άνθρακας
TS	ολικά στερεά
ΥΥΠ	Υπουργείο Υγείας Πρόνοιας
VS	πτητικά στερεά
W/V	βάρος ανά όγκο
W/m ³	watt ανά κυβικό μέτρο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΥ Γ., (1990), “*Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων*”, Β έκδοση
- [2] ΔΙΑΛΥΝΑ Γ., Χημικό Μηχανικό, υπεύθυνο διαχείρισης λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α. Ηρακλείου “*PETRA II λειτουργία και συντήρηση μικρών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων*”, Copyright 1994 by Action Business Center Ltd, Published by the Publishing Dept. Of the European Action Group.
- [3] ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ Α.Ν. – ΤΣΟΒΑΝΟΓΛΟΥΣ Γ., (1995), “*Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών*”, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης
- [4] P F COOPER, G D JOB (WRc Swidon), M B GREEN (Severn Trent Water) and R B E SHUTES (Middlesex University), (June 1996), “*Reed Beds & Constructed Wetlands for wastewater treatment*”
- [5] Φυσικά Συστήματα. Διαθέσιμο από :
<http://www.ecosphere.gr/Natural%20Systems.htm>. [πρόσβαση 29/09/2005]
- [6] ΓΕΩΡΓΙΑ ΒΙΛΛΙΩΤΗ – ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΓΕΩΡΓΑΚΑΚΗΣ, (2001) “*ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ*”
- [7] Κ.ΖΑΝΑΚΗ, (1996) “*ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ*”, Εκδόσεις ΙΩΝ
- [8] Θ. ΚΟΥΙΜΤΖΗΣ, Κ. ΦΥΤΙΑΝΟΣ, Κ. ΣΑΜΑΡΑ – ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, 1998, “*ΧΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ*”, Εκδόσεις University Studio Press,.
- [9] ΚΑΛΗΜΕΡΗ Μ., 2004, “*ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΚΟΙΛΙΑΡΗ ΚΑΙ ΤΑΥΡΩΝΙΤΗ*” ΧΑΝΙΑ, Πτυχιακή εργασία στο τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης.