

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ
ΛΥΜΑΤΩΝ.
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΓΙΑ ΛΥΜΑΤΑ ΠΟΛΗΣ 200.000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΡΝΑΤΣΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολείται με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που έχουν ως σκοπό, τα πιο βλαβερά και επικίνδυνα νερά, μετά από κατάλληλη επεξεργασία να μπορούν να διατεθούν στο περιβάλλον. Για την συγκεκριμένη εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ.Θεοδωροπούλου για την συμπαράσταση της καθ όλη την διάρκεια εκπόνησης της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	12
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	13
1.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	13
1.4 ΡΥΠΟΙ ΜΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	15
1.5 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	16
1.5.1 Οσμές.....	16
1.5.2 Θερμοκρασία.....	16
1.5.3 Πυκνότητα.....	17
1.5.4 Χρώμα.....	17
1.5.5 Θολότητα.....	18
1.6 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	18
1.6.1 Οργανική Ύλη.....	18
1.6.2 Πρωτεΐνες.....	19
1.6.3 Υδρογονάνθρακες	19
1.6.4 Λίπη και έλαια.....	19
1.6.5 Φυτοφάρμακα και χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται τις αγροτικές καλλιέργειες	20
1.6.6 Άζωτο N.....	20
1.6.7 Φώσφορος P.....	21
1.6.8 Αλκαλικότητα.....	21
1.6.9 Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD).....	22
1.6.10 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).....	23
1.7 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	23
1.7.1 Μικροοργανισμοί.....	24
1.7.2 Βακτήρια	24
1.8 ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	27
2.1.1 Διεργασίες φυσικής επεξεργασίας.....	27
2.1.2 Διεργασίες χημικής επεξεργασίας.....	27
2.1.3 Διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας.....	28
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	28
2.2.1 Προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	28
2.2.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	29
2.2.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	29
2.2.4 Απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών.....	29
2.2.5 Προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....	30
2.2.6 Επεξεργασία τοξικών αποβλήτων.....	30
2.2.7 Επεξεργασία υπερχειλίσεισ συνδυασμένων υπονόμων.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	32
3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	32
3.3 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	37
4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ	39
4.3 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ.....	40
4.4 ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΡΙΒΕΙΑ.....	47
4.5 ΕΞΑΜΜΩΣΗ – ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ.....	48
4.6 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ.....	54
4.7 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ.....	55
4.7.1 Ορθογώνιες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	57
4.7.2 Κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	59
4.8 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	59
4.8.1 Αποδόμηση αιωρούμενης βιομάζας	59

4.8.2 Αερισμός.....	61
4.8.3 Αερισμός με διάχυση.....	62
4.8.4 Επιφανειακός αερισμός.....	64
4.8.5 Είδη δεξαμενών αερισμού.....	66
4.8.6 Αποδόμηση προσκολλούμενης βιομάζας	69
4.8.7 Δευτεροβάθμιος διαχωρισμός στερεών	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

5.1 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΕΚΡΟΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	74
5.2 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΧΛΩΡΙΩΣΗ	75
5.3 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΧΛΩΡΙΩΣΗ.....	78
5.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

6.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΙΛΥΟΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	83
6.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	84
6.3 ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	85
6.3.1 Συμπύκνωση ή πάχυνση της ιλύος (thickening).....	85
6.3.2 Αφυδάτωση-ξήρανση της ιλύος (dewatering-drying).....	87
6.4 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ	93
6.4.1 Φυσικοχημικές μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος.....	93
6.4.1.1 Θερμικές μέθοδοι.....	93
6.4.1.2 Χλωρίωση.....	94
6.4.1.3 Επεξεργασία με υδράσβεστο (lime stabilization)	94
6.4.1.4 Βιολογικές μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος.....	94
6.4.1.5 Αερόβια χώνευση της ιλύος (aerobic digestion).....	94
6.4.1.6 Αναερόβια χώνευση της ιλύος (anaerobic diges.....	97
6.4.1.7 Λιπασματοποίηση ή κομποστοποίηση (composting)...	101
6.5 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ - ΑΝΤΛΗΣΗ ΙΛΥΟΣ.....	103

6.6 ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ.....	104
------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

7.1 ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	106
7.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	107
7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	108
7.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	108
7.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	109
7.6 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	109
7.7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ.....	110
7.8 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

8.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	126
8.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ	126
8.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΘΕΣΠΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ.....	130
8.4. ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	131
8.4.1. Δυνατότητα μετάδοσης ασθενειών	131
8.4.2 Επιπτώσεις από χημικούς παράγοντες	132
8.5 ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΡΓΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	132
8.5.1 Ιστορική εξέλιξη	132
8.5.2 Σημαντικά έργα	132
8.5.2.1 Επαναχρησιμοποίηση στην γεωργία.....	133
8.5.2.2 Αστική επαναχρησιμοποίηση.....	134
8.5.2.3 Βιομηχανική Χρήση.....	136
8.5.2.4 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με ανακυκλωμένο νερό.....	137
8.5.2.5 Ανακύκλωση για έμμεση παραγωγή πόσιμου	

νερού.....	139
8.5.2.6 Ανακύκλωση για άμεση παραγωγή πόσιμου	
νερού.....	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	142

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το θέμα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Τα λύματα μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις καθαρισμού μέσω των υπονόμων, μερικές φορές και με χρήση ειδικών βυτιοφόρων οχημάτων.

Ο όρος λύματα αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (*οικιακά λύματα*) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης (*αστικά λύματα*). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180 - 300 λίτρα ανά άτομο κάθε ημέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από δημόσια κτήρια, νοσοκομεία κ.λ.π. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν - παρανόμως - ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο μιας πόλης.

Υπάρχουν συνήθως τρία βασικά στάδια επεξεργασίας λυμάτων:

- Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Στοχεύει κυρίως στην αφαίρεση του αιωρούμενου υλικού (οργανικού και ανόργανου). Περιλαμβάνει, συνήθως, την *Προεπεξεργασία* και την *Πρωτοβάθμια Καθίζηση*. Η *Προεπεξεργασία* περιλαμβάνει την Εσχάρωση, τους Πολτοποιητές και τα Τριβεία, την Εξάμμωση, καθώς και την μέτρηση ή/και την εξισορρόπηση της παροχής. Στόχος της είναι η απομάκρυνση σωμάτων που επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα και εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης των αγωγών, καταστροφής του μηχανολογικού εξοπλισμού(π.χ αντλίες) και τελικώς δυσλειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας που ακολουθούν. Η Πρωτοβάθμια Καθίζηση περιλαμβάνει δεξαμενές καθίζησης (συνήθως κυκλικής διατομής) που συχνά αναφέρονται εν συντομία ΔΠΚ (Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης) και έχει ως σκοπό να απομακρύνει τα αιωρούμενα

οργανικά και ανόργανα στερεά (10^{-1} έως 10^{-2} mm), ώστε να μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο που προορίζεται για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή *Πρωτοβάθμιας Ιλύος* (Λάσπης) και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή, που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία.

- Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Βιολογικός καθαρισμός στον οποίο αφαιρούνται οι οργανικές ουσίες με την βοήθεια μικροοργανισμών.

- Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Σκοπός της είναι η αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών. Το στάδιο αυτό είναι επιθυμητό όταν η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων στα λύματα είναι σημαντική και ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ στην βιομηχανία, για άρδευση ή για χώρους αναψυχής). Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται επεξεργασίες όπως η κροκίδωση - ιζηματοποίηση, η διύλιση, η προσρόφηση από ενεργό άνθρακα και διεργασίες με μεμβράνες, (πράγμα όμως που δεν θα μας απασχολήσει σε αυτήν την εργασία).

Και στο τέλος γίνεται μια αναφορά για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων για πόλη 200.000 κατοίκων. (Διάταξη και τρόπος λειτουργίας).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις ημέρες μας θεωρείται απαραίτητη για ένα οικισμό η επάρκεια πόσιμου νερού, η ύπαρξη συστήματος διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων και η διασφάλιση ποιότητας αποδέκτη για το περιβάλλον. Το πόσιμο νερό που αποτελεί απαραίτητο αγαθό για τον άνθρωπο, μετατρέπεται μετά τη χρήση του σε υγρά απόβλητα τα οποία είναι επιβλαβή. Εκεί που τελειώνει το δίκτυο ύδρευσης αρχίζει η παραγωγή των υγρών αποβλήτων που τροφοδοτούν το δίκτυο αποχέτευσης. Η απευθείας διοχέτευση των υγρών αποβλήτων σε ένα φυσικό αποδέκτη (κατά πάσα πιθανότητα ποτάμι, λίμνη ή θάλασσα) δεν αποτελεί λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορους ρύπους που βρίσκονται σε αιωρούμενη ή διαλυτή μορφή. Οι ρύποι αυτοί είναι επικίνδυνοι για τους φυσικούς αποδέκτες και η απευθείας διάθεση τους είναι μια πρακτική η οποία δεν είναι αποδεκτή στις μέρες μας.

Τα υγρά απόβλητα πρέπει να δέχονται κατάλληλη επεξεργασία πριν την διάθεση τους έτσι ώστε οι επιπτώσεις στους αποδέκτες να είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές που θα υπήρχαν εάν τα υγρά απόβλητα διατίθεντο ανεπεξέργαστα. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται με σκοπό τον καθαρισμό τους, με απώτερο στόχο την προστασία των υδατικών πόρων. Για να μπορούμε να επιτύχουμε μια αποτελεσματική διαχείριση υγρών αποβλήτων θα πρέπει να γνωρίζουμε την προέλευση τους και τα χαρακτηριστικά τους έτσι ώστε να τα υποβάλλουμε σε κατάλληλη επεξεργασία που να είναι αποδεκτή από τους ρυθμούς αυτοκαθαρισμού του αποδέκτη. Οι υδάτινοι αποδέκτες επιτυγχάνουν αποδόμηση των οργανικών συστατικών με τα οποία φορτίζονται (από την διάθεση υγρών αποβλήτων) εφόσον η φόρτιση που δέχονται διατηρείται κάτω από το επίπεδο που αντιστοιχεί στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους.

Στη περίπτωση που ένας υδάτινος αποδέκτης έχει φορτιστεί περισσότερο από το επιτρεπτό όριο που αντιστοιχεί στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού του, τότε αρχίζει η εμφάνιση προβλημάτων και παύει να είναι υγιής. Όταν λοιπόν ο υδάτινος αποδέκτης χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως υδατικός πόρος, από όπου γίνεται υδροληψία νερού που προορίζεται για πόσιμο, απαιτούνται δαπανηρές διεργασίες για την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που ισχύουν για

την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Στις μέρες μας το πόσιμο νερό δεν αντλείται μόνο από καλά προστατευμένους υπόγειους υδατικούς πόρους αλλά και από επιφανειακά νερά τα οποία είναι συνήθως οι πιο πρόσφοροι αποδέκτες για τα υγρά απόβλητα.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει τον πλήρη και σαφή χαρακτηρισμό των αποβλήτων ξεκινώντας από:

- την προέλευση (αστικά λύματα, όμβρια ύδατα, βιομηχανικά απόβλητα),
- την ποσότητα των υγρών αποβλήτων (παροχές ξηρής και υγρής περιόδου) και
- την ποιότητα (σύσταση) των υγρών αποβλήτων.

Το σύστημα ολοκληρώνεται με τη συλλογή, την επεξεργασία και την περιβαλλοντικά αποδεκτή διάθεση των υγρών αποβλήτων.

Τα έργα ενός μηχανικού περιλαμβάνουν την μελέτη, τον σχεδιασμό και την κατασκευή:

- του αποχετευτικού δικτύου, το οποίο ενδέχεται να είναι χωριστικό, μικτό (όπως στη χώρα μας) ή μερικώς χωριστικό. Μερικές φορές το δίκτυο δέχεται και εισροές από επιφανειακά και υπόγεια νερά,
- της Εγκατάστασης Επεξεργασίας των Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) καθώς και
- τη διάθεση της εκροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Τα υγρά απόβλητα που προέρχονται κυρίως από χώρους υγιεινής, κουζίνες, πλυντήρια και γενικά από διαδικασίες καθαριότητας κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λ.π. ονομάζονται αστικά λύματα. Υγρά βιομηχανικά απόβλητα ονομάζονται τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα. Είναι δηλαδή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και μπορεί να περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα λύματα του προσωπικού μιας βιομηχανίας ή επιχείρησης τα οποία κατατάσσονται στα αστικά λύματα.

Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης το οποίο είναι δυνατόν να δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Μπορεί ακόμα και υπό προϋποθέσεις να δέχεται και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων τα οποία όμως έχουν οπωσδήποτε υποστεί κάποιου είδους προεπεξεργασία. Το σύστημα λοιπόν του δικτύου αποχέτευσης μπορεί να είναι χωριστικό (όταν δεν δέχεται όμβρια ύδατα) ή μικτό (όταν δέχεται και όμβρια ύδατα) ή και μερικά χωριστικό (όταν μόνο μερικά τμήματα του δικτύου αποχέτευσης δέχονται όμβρια ύδατα και μερικά δεν δέχονται). Όλο το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλλει σε έναν κεντρικό αποχετευτικό αγωγό (Κ.Α.Α.) ο οποίος καταλήγει σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) όπου τα λύματα υφίστανται επεξεργασία με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων συστατικών τους. Σημειώνεται επίσης ότι σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων καταλήγουν και βοθρολύματα, αφού ακόμα και σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού σε διάφορες χώρες, αλλά ιδιαίτερα στις λιγότερο αναπτυγμένες, δεν είναι συνδεδεμένο σε κάποιο δίκτυο αποχέτευσης και εξυπηρετείται με σηπτικούς κυρίως βόθρους. Ο σηπτικός βόθρος είναι μια στεγανή δεξαμενή όπου οδηγούνται τα λύματα για καθίζηση και κατακράτηση των αιωρούμενων συστατικών καθώς επίσης και μερική αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου. Και τα βοθρολύματα λοιπόν καταλήγουν με τη βοήθεια βυτιοφόρων οχημάτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Τονίζεται όμως ότι τα βοθρολύματα που προέρχονται από την εκροή μιας

σηπτικής δεξαμενής διαφέρουν σημαντικά από τα «φρέσκα» αστικά λύματα και ότι τυγχάνουν ιδιαίτερης φροντίδας.

1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η κατανόηση της φύσης των υγρών αποβλήτων είναι ουσιαστική για τον σχεδιασμό και την λειτουργία των μονάδων συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης καθώς επίσης και για την μηχανική διαχείριση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Παρακάτω θα αναφερθούμε στα φυσικά, χημικά και βιολογικά συστατικά των υγρών αποβλήτων καθώς και σε διάφορους ρύπους που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά την επεξεργασία τους.

1.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΟΥ ΣΥΝΑΝΤΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να χαρακτηριστούν με βάση την φυσική, την χημική και την βιολογική τους σύσταση. Οι κύριες φυσικές ιδιότητες, τα χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων καθώς και οι πηγές τους, αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) συνοπτικά:

Πίνακας 1.

Φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΗΓΕΣ
<p>Φυσικά</p> <p>Χρώμα</p> <p>Οσμή</p> <p>Στερεά</p> <p>Θερμοκρασία</p>	<p>Οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα, φυσική αποσύνθεση οργανικής ύλης.</p> <p>Βιομηχανικά απόβλητα, αποσυντιθέμενο υγρό απόβλητο</p> <p>Οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα, διάβρωση χρώματος</p> <p>Οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα</p>
<p>Χημικά</p> <p>Οργανικά:</p> <p>Υδρογονάνθρακες</p> <p>Λίπη και έλαια</p> <p>Φυτοφάρμακα</p> <p>Φαινόλες</p> <p>Πρωτεΐνες</p> <p>Πτητικά Οργανικά</p> <p>Ανόργανα:</p> <p>Αλκαλικότητα</p> <p>Χλωρίδια</p> <p>Βαρέα μέταλλα</p> <p>Αζωτο</p> <p>pH</p> <p>Φώσφορος</p> <p>Θείο</p>	<p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Αγροτικά απόβλητα</p> <p>Βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά απόβλητα, τροφοδοσία οικιακού νερού, διήθηση υπόγειου νερού</p> <p>Οικιακά απόβλητα, τροφοδοσία οικιακού νερού, διήθηση υπόγειου νερού</p> <p>Βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά και αγροτικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p> <p>Οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα, φυσική απορροή</p> <p>Τροφοδοσία οικιακού νερού, οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα</p>
<p>Αέρια:</p> <p>Υδροθείο</p> <p>Μεθάνιο</p> <p>Οξυγόνο</p>	<p>Αποσύνθεση οικιακών αποβλήτων</p> <p>Αποσύνθεση οικιακών αποβλήτων</p> <p>Τροφοδοσία οικιακού νερού, διήθηση οικιακού νερού</p>
<p>Βιολογικά</p> <p>Ζώα</p> <p>Φυτά</p> <p>Ευβακτήρια</p> <p>Αρχαιοβακτήρια</p> <p>Ιοί</p>	<p>Ανοιχτές πηγές νερού και μονάδες επεξεργασίας</p> <p>Ανοιχτές πηγές νερού και μονάδες επεξεργασίας</p> <p>Οικιακά απόβλητα, διήθηση επιφανειακού νερού, μονάδες επεξεργασίας</p> <p>Οικιακά απόβλητα, διήθηση επιφανειακού νερού, μονάδες επεξεργασίας</p> <p>Οικιακά απόβλητα</p>

1.4 ΡΥΠΟΙ ΜΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακα 2) παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι ρύποι στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Τα κριτήρια για την δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αφορούν την απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων οργανικών, των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων. Πιο αυστηρά κριτήρια που έχουν θεσπισθεί, αναφέρονται στην απομάκρυνση των θρεπτικών και επιλεγμένων ρύπων. Όταν το νερό πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί, τα κριτήρια περιλαμβάνουν απαιτήσεις για την απομάκρυνση μη αποδομήσιμων οργανικών, βαρέων μετάλλων και σε μερικές περιπτώσεις των διαλυτών ανόργανων στερεών.

Πίνακας 2

Είδη ρύπων και η σημασία κάθε ρύπου

ΡΥΠΟΙ	ΣΗΜΑΣΙΑ
Αιωρούμενα Στερεά	Τα αιωρούμενα στερεά οδηγούν στην ανάπυξη αποθεμάτων λάσπης και αναερόβιων συνθηκών όταν ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα απορρίπτονται σε υδατικό περιβάλλον.
Βιοαποδομήσιμα	Αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες, υδαάνθρακες και λιπαρά. Τα βιοαποδομήσιμα λιπαρά μετριούνται κυρίως με το BOD και το COD. Αν τα απόβλητα διατεθούν ανεπεξέργαστα στο περιβάλλον, η βιολογική τους σταθεροποίηση θα οδηγήσει στην εξάντληση του οξυγόνου και στην ανάπυξη σηπτικών συνθηκών.
Παθογόνοι	Μεταδοτικές ασθένειες μπορεί να μεταδοθούν από παθογόνους οργανισμούς στα υγρά απόβλητα.
Θρεπτικά	Το άζωτο και ο φώσφορος, μαζί με τον άνθρακα, είναι ουσιαστικά θρεπτικά για ανάπυξη. Όταν απορρίπτονται σε υδατικό περιβάλλον, οδηγούν στην ανάπυξη ανεπιθύμητης υδατικής ζωής. Όταν απορρίπτονται σε υπερβολικές ποσότητες στο έδαφος, ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά.

1.5 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΗΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.5.1 Οσμές

Οι οσμές στα οικιακά απόβλητα συνήθως δημιουργούνται από αέρια που παράγονται κατά την αποσύνθεση της οργανικής ύλης ή από άλλα συστατικά που προστίθενται στα υγρά απόβλητα. Τα φρέσκα απόβλητα έχουν μια διακριτική μυρωδιά, κάπως δυσάρεστη, που είναι σε μικρότερο βαθμό ενοχλητική από την μυρωδιά των αποβλήτων που έχουν δεχθεί αναερόβια επεξεργασία. Η πιο χαρακτηριστική μυρωδιά σηπτικού απόβλητου οφείλεται στο υδρόθειο και τις μερκαπτάνες, που δημιουργούνται και παράγονται από αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Η έκλυση οσμών κατά την λειτουργία επεξεργασίας αστικών λυμάτων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα. Για αυτό τον λόγο οι οσμές είναι και ένα από τα πρώτα θέματα που απασχολούν την κοινή γνώμη κατά την υλοποίηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου έχουν εγκαταλειφθεί τα έργα μονάδων επεξεργασίας λόγω της αντίδρασης των πολιτών στον φόβο των οσμών.

Οι κυριότερες ουσίες που ευθύνονται για την οσμή των αστικών λυμάτων είναι οι αμίνες, η αμμωνία, το υδρόθειο, οι μερκαπτάνες και η σκατόλη.

1.5.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας έχει σημαντική επίπτωση στον ρυθμό των βιολογικών, κατά κύριο λόγο, αντιδράσεων. Οι θερμοκρασίες των λυμάτων στο δίκτυο υπονόμων είναι συνήθως υψηλότερες από ότι η θερμοκρασία του νερού ύδρευσης. Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι μια διαδικασία αρκετά απλή και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων θα πρέπει να προβαίνουν σε τακτικές και συστηματικές μετρήσεις.

1.5.3 Πυκνότητα

Ως πυκνότητα του υγρού απόβλητου, ορίζεται η μάζα ανα μονάδα όγκου εκφρασμένη σε kg/m^3 . Η πυκνότητα είναι ένα χαρακτηριστικό του απόβλητου, και δείχνει την δυναμική του, για τον σχηματισμό ιζημάτων στις δεξαμενές καθίζησης και σε άλλες μονάδες επεξεργασίας. Η πυκνότητα των οικιακών απόβλητων είναι περίπου η ίδια με αυτή του νερού για την συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η πυκνότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και μεταβάλλεται με την συγκέντρωση των ολικών στερεών των αποβλήτων.

1.5.4 Χρώμα

Με τον όρο πραγματικό (αληθινό) χρώμα αναφερόμαστε στο χρώμα του δείγματος των λυμάτων αφού πρώτα έχουμε αφαιρέσει όλα τα σωματίδια που προκαλούν θολότητα, ενώ με τον όρο φαινομενικό χρώμα αναφερόμαστε στο χρώμα του αρχικού δείγματος, χωρίς δηλαδή να έχει γίνει αφαίρεση των σωματιδίων από αυτό. Η αντιμετώπιση του χρώματος είναι συνήθως αρκετά δύσκολη υπόθεση και απαιτείται κατάλληλη επιλογή συστήματος επεξεργασίας για κάθε διαφορετική περίπτωση.

Ο όρος “κατάσταση” χρησιμοποιήθηκε μαζί με την σύσταση και την συγκέντρωση για την περιγραφή των αποβλήτων. Η κατάσταση αναφέρεται στην ηλικία των αποβλήτων που καθορίζεται ποιοτικά από το χρώμα και την οσμή τους. Τα φρέσκα απόβλητα έχουν συνήθως ένα καφέ – γκρι χρώμα. Καθώς όμως ο χρόνος παραμονής τους στο σύστημα συλλογής μεγαλώνει, τότε αναπτύσσονται αναερόβιες συνθήκες και το χρώμα αλλάζει σε πιο σκούρο γκρι και τελικά σε μαύρο. Όταν το χρώμα των αποβλήτων έχει γίνει μαύρο, τότε τα απόβλητα χαρακτηρίζονται ως σηπτικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις το σκούρο χρώμα των αποβλήτων οφείλεται στον σχηματισμό σουλφιδίων, τα οποία σχηματίζονται καθώς τα σουλφίδια που παράγονται υπό αναερόβιες συνθήκες αντιδρούν με τα μέταλλα των αποβλήτων.

1.5.5 Θολότητα

Με τον όρο θολότητα εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα που προκαλείται από τα διάφορα σωματίδια οργανικού και ανόργανου υλικού, (αιωρούμενα και κολλοειδή) τα οποία είναι διεσπαρμένα στην υγρή φάση. Τα κολλοειδή σωματίδια διασκορπίζουν ή απορροφούν το φως και έτσι εμποδίζουν την μετάδοση του με αποτέλεσμα να κάνουν το δείγμα θολό. Γενικά, δεν υπάρχει σχέση μεταξύ της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα. Υπάρχει όμως σχέση μεταξύ της θολότητας και των αιωρούμενων σωματιδίων στα λύματα που εξέρχονται από την έξοδο της δευτεροβάθμιας καθίζησης μετά από τις διεργασίες δραστικής λάσπης.

1.6 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.6.1 Οργανική Ύλη

Σε ένα υγρό απόβλητο μέσης ισχύος, περίπου το 75% των αιωρούμενων στερεών και το 40% των διηθητών στερεών είναι οργανική ύλη. Αυτά τα στερεά είναι ζωικής ή φυτικής προέλευσης ή ακόμα προέρχονται και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που συνδέονται με την σύνθεση οργανικών ενώσεων. Οι οργανικές ενώσεις αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και σε μερικές περιπτώσεις άζωτο. Επίσης, μπορεί να υφίστανται και άλλα στοιχεία όπως θείο, φώσφορο και σίδηρο. Επίσης αξίζει να αναφερθεί, ότι στα υγρά απόβλητα οι βασικές ομάδες των οργανικών ενώσεων είναι οι πρωτεΐνες σε ποσοστό 40-60%, οι υδρογονάνθρακες σε ποσοστό 25-50% και τα λίπη και τα έλαια σε ποσοστό περίπου 10%. Επίσης, άλλη μια σημαντική ένωση που συναντάμε στα υγρά απόβλητα είναι η ουρία, το βασικό συστατικό των ούρων. Μαζί με τις απλές οργανικές ενώσεις που προαναφέρθηκαν, στα υγρά απόβλητα υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός σύνθετων οργανικών μορίων που μπορεί να είναι από πολύ απλά ως και πολύ σύνθετα στην δομή τους, για παράδειγμα, πτητικές οργανικές ενώσεις και φυτοφάρμακα. Η παρουσία αυτών των οργανικών ενώσεων στα υγρά απόβλητα δυσχεραίνει ιδιαίτερα την επεξεργασία τους

γιατί οι περισσότερες από αυτές αποδομούνται πολύ αργά και άλλες καθόλου.

1.6.2 Πρωτεΐνες

Είναι το κύριο συστατικό των ζωικών οργανισμών, ενώ υπάρχουν σε μικρότερη έκταση και στα φυτά. Οι πρωτεΐνες είναι πολύπλοκες στην χημική τους σύνθεση και η δομή τους μπορεί να έχει πολλούς μετασχηματισμούς. Επίσης, υπάρχουν πρωτεΐνες που είναι αδιάλυτες στο νερό, ενώ υπάρχουν και άλλες που είναι διαλυτές. Το μοριακό βάρος των πρωτεϊνών είναι πολύ μεγάλο και κυμαίνεται από 20.000 έως 20.000.000. Όλες οι πρωτεΐνες περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο, καθώς και ένα σταθερό αλλά υψηλό σε επίπεδα ποσοστό αζώτου, κοντά στο 16%. Υπάρχουν βέβαια αρκετές περιπτώσεις που περιέχουν, φώσφορο, θείο, σίδηρο. Όταν οι πρωτεΐνες βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες τότε εκλύονται άσχημες οσμές καθώς αποσυντίθενται.

1.6.3 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες είναι πολύ διαδεδομένοι στην φύση. Οι κυριότεροι υδρογονάνθρακες είναι τα σάκχαρα, το άμυλο, οι πολυσακχαρίτες, ίνες από ξύλο και κυτταρίνη, τα οποία τα συναντάμε και στα υγρά απόβλητα. Περιέχουν υδρογόνο, άνθρακα και οξυγόνο. Υπάρχουν αρκετοί υδρογονάνθρακες που είναι διαλυτοί στο νερό, για παράδειγμα τα σάκχαρα που καθώς αποσυντίθενται παράγεται αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα μέσω ζύμωσης και κάποιοι άλλοι που είναι αδιάλυτοι όπως είναι το άμυλο. Το πιο ανθεκτικό συστατικό στην αποσύνθεση είναι η κυτταρίνη, που ουσιαστικά αποσυντίθενται από μόνη της στο έδαφος κυρίως λόγω δραστηριότητας διάφορων μυκήτων, ιδιαίτερα όταν επικρατούν όξινες συνθήκες.

1.6.4 Λίπη και έλαια

Τα λίπη και τα έλαια είναι ενώσεις της αλκοόλης ή της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα. Τα γλυκερίδια των λιπαρών οξέων που είναι υγρά με μικρό ιξώδες στις συνηθισμένες

θερμοκρασίες ονομάζονται έλαια και αυτά που είναι στερεά ονομάζονται λίπη. Και τα λίπη και τα έλαια έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες και αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Τα λίπη και τα έλαια εισέρχονται στα οικιακά απόβλητα με το βούτυρο, το λάδι, την μαργαρίνη, τα φυτικά λίπη κ.α. Τα λίπη τα συναντάμε κυρίως στο κρέας, σε σπόρους, στα φρούτα, σε δημητριακά κ.α. Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι τα λίπη είναι από τις πιο σταθερές οργανικές ενώσεις και δεν αποδομούνται εύκολα από τα βακτήρια.

1.6.5 Φυτοφάρμακα και αγροτικά χημικά

Οργανικές ενώσεις, όπως τα φυτοφάρμακα και άλλα αγροτικά χημικά, τα ζιζανιοκτόνα κ.τ.λ είναι σημαντικοί ρύποι για τα επιφανειακά νερά γιατί είναι τοξικά για τις πιο πολλές μορφές ζωής. Αυτά τα χημικά δεν τα συναντάμε στα οικιακά απόβλητα, αλλά είναι επιφανειακές απορροές από αγροτικές εκτάσεις. Ορισμένες συγκεντρώσεις αυτών μπορούν να έχουν θανατηφόρα αποτελέσματα σε ψάρια, να μολύνουν την σάρκα των ψαριών με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο που θα τα καταναλώσει μέσω της τροφής. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά τα χημικά ταξινομούνται σαν ρύποι υψηλής προτεραιότητας.

1.6.6 Άζωτο N

Το στοιχείο άζωτο είναι σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτών και για αυτό και είναι γνωστό και ως θρεπτικό. Άλλα ίχνη στοιχείων όπως ο σίδηρος απαιτούνται για την βιολογική ανάπτυξη, αλλά είναι από τα σημαντικότερα συστατικά, μαζί με τον φώσφορο. Το άζωτο αποτελεί μια σημαντική δομική μονάδα στην σύσταση των πρωτεϊνών, και τα δεδομένα του αζώτου είναι απαραίτητα για την εκτίμηση της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τις βιολογικές διεργασίες. Πολλές φορές όταν το άζωτο βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες στα ανεπεξεργαστα λύματα, πρέπει να προστεθεί έτσι ώστε να φτάσει σε τέτοια επίπεδα όπου θα μπορούν να γίνουν οι βιολογικές διεργασίες και κατά συνέπεια η επεξεργασία των λυμάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν ο υδάτινος αποδέκτης έχει στον πυθμένα του φύκια, τότε απαιτείται περαιτέρω έλεγχος, έτσι ώστε να μπορέσει να εξασφαλιστεί η χρήση του

νερού, αλλά και η προστασία του περιβάλλοντος. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση ή μείωση του αζώτου πριν την απόρριψη των αποβλήτων.

Τέλος να πούμε ότι το άζωτο ευρίσκεται σε διάφορες χημικές ενώσεις. Το ολικό άζωτο αποτελείται από οργανικό άζωτο, αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά.

1.6.7 Φώσφορος P

Ο φώσφορος είναι επίσης σημαντικός για την ανάπτυξη των φυκών και άλλων βιολογικών οργανισμών. Λόγω της γρήγορης ανάπτυξης των φυκών στα επιφανειακά νερά, επιβάλλεται ιδιαίτερα αυστηρός έλεγχος στις συγκεντρώσεις του φωσφόρου στην έξοδο των υγρών αποβλήτων από τις μονάδες επεξεργασίας τους. Τα αστικά απόβλητα περιέχουν από 4-15 mg/L φωσφόρου. Οι πιο συνηθισμένες ενώσεις του φωσφόρου στα υγρά απόβλητα είναι τα ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά, και ο οργανικός φώσφορος. Τα πολυφωσφορικά είναι άμεσα διαθέσιμα για βιολογικό μεταβολισμό χωρίς κάποια περαιτέρω διάσπαση. Τα πολυφωσφορικά περιλαμβάνουν μόρια με 2 ή 3 άτομα φωσφόρου, άτομα οξυγόνου και μερικές φορές άτομα υδρογόνου συνδυασμένα σε ένα πολύπλοκο μόριο. Τα πολυφωσφορικά υφίστανται υδρόλυση σε υδατικά διαλύματα και μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά. Ο οργανικός φώσφορος είναι συνήθως ασήμαντος στα αστικά απόβλητα, σε αντίθεση με τα υψηλά ποσοστά που εμφανίζει στα βιομηχανικά απόβλητα καθώς και στις λάσπες των υγρών αποβλήτων.

1.6.8 Αλκαλικότητα

Όταν στα υγρά απόβλητα υπάρχει ασβέστιο ή μαγνήσιο ή νάτριο ή κάλιο ή αμμωνία τότε μπορούμε να αναφερθούμε στην αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων, γιατί είναι αποτέλεσμα της παρουσίας υδροξειδίων, ανθρακικών και διττανθρακικών ενώσεων. Η αλκαλικότητα στα απόβλητα βοηθάει στην αντίσταση στις μεταβολές του pH που προκαλούνται από την προσθήκη οξέων. Τα απόβλητα είναι κατά βάση αλκαλικά και οφείλουν την αλκαλικότητα τους στο νερό τροφοδοσίας, στα υπόγεια νερά και τα νερά που προστίθενται στα λύματα μετά από οικιακή χρήση. Η

αλκαλικότητα παίζει σημαντικό ρόλο στα υγρά απόβλητα όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί χημική επεξεργασία, στη βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών και στην απομακρύνση αμμωνίας με απαερίωση.

1.6.9 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Η πιο διαδεδομένη παράμετρος της οργανικής ρύπανσης που εφαρμόζεται τόσο στα απόβλητα όσο και στα επιφανειακά νερά είναι το BOD 5-days (BOD5). Το οξυγόνο που χρειάζεται για τη βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών του υδάτινου αποδέκτη από αερόβιους μικροοργανισμούς ονομάζεται βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο. Αυτός ο προσδιορισμός είναι ουσιαστικά η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς στην βιοχημική οξείδωση της οργανικής ύλης.

Τεστ-τρόπος μέτρησης BOD – BOD5 : Η ολική ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοαποικοδόμηση είναι μία σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχει μία εκροή αποβλήτων σε ένα τελικό υδάτινο αποδέκτη. Ενώ θα μπορούσαμε να φανταστούμε ένα τεστ με το οποίο να μπορούμε να μετρήσουμε το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη αποικοδόμηση ενός αποβλήτου, ένα τέτοιο τεστ θα απαιτούσε μία μεγάλη χρονική περίοδο (μερικές εβδομάδες), πράγμα το οποίο, από πρακτικής πλευράς, είναι ασύμφορο. Συνεπώς, η πρακτική που υιοθετήθηκε είναι να μετρείται και να αναφέρεται ως αποτέλεσμα η απαίτηση οξυγόνου κατά τη διάρκεια μίας μικρότερης, καθορισμένης περιόδου 5 ημερών, αν και η τελική απαίτηση σε οξυγόνο είναι αρκετά μεγαλύτερη. Το BOD-πέντε ημερών ή BOD5, είναι η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τις πέντε πρώτες ημέρες της βιοαποικοδόμησης.

Τα αποτελέσματα του τεστ BOD χρησιμοποιούνται για:

- τον προσδιορισμό της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική σταθεροποίηση της οργανικής ύλης
- τον προσδιορισμό του μεγέθους των μονάδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
- την μέτρηση της αποτελεσματικότητας μερικών διεργασιών
- να προσδιοριστεί η συμμόρφωση με τα όρια των επεξεργασμένων υγρών

αποβλήτων που διατίθενται στο περιβάλλον.

1.6.10 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, οι φαινόλες το βενζόλιο, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, το ταννικό οξύ κ.α. είναι ανθεκτικές στη βιοαποικοδόμηση. Άλλες, όπως τα ζιζανιοκτόνα και πολλές ενώσεις που έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες διότι είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

Το COD είναι μία μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο. Κατά τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη. Η μέθοδος μέτρησης του COD είναι αρκετά γρηγορότερη από αυτήν του BOD και διαρκεί μόνο λίγες ώρες.

Το τεστ του COD χρησιμοποιείται για την μέτρηση της οργανικής ύλης τόσο στα υγρά απόβλητα όσο και στα φυσικά νερά. Το ισοδύναμο του οξυγόνου που μπορεί να οξειδωθεί από την οργανική ύλη μετριέται χρησιμοποιώντας ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο σε ένα όξινο μέσο. Έχει βρεθεί, ότι το διχρωμικό κάλιο είναι κατάλληλο για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Επίσης το τεστ χρησιμοποιείται και για την μέτρηση της οργανικής ύλης σε βιομηχανικά αλλά και σε αστικά απόβλητα που περιέχουν συστατικά τοξικά για την βιολογική ζωή. Το COD ενός αποβλήτου είναι γενικά υψηλότερο από το BOD γιατί είναι περισσότερα τα συστατικά που μπορούν να οξειδωθούν χημικά από ότι βιολογικά.

1.7 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα βιολογικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που πρέπει να γνωρίζουμε για τον σχεδιασμό μεθόδου επεξεργασίας είναι:

1. Τα βασικά είδη μικροοργανισμών που μπορεί να υπάρξουν στα επιφανειακά

νερά και στα υγρά απόβλητα καθώς και τα είδη που είναι υπεύθυνα για την βιολογική επεξεργασία,

2. Τους παθογόνους οργανισμούς που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα,
3. Τους οργανισμούς που μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε σαν δείκτες και την σημασία τους,
4. Τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την απαρίθμηση των οργανισμών δεικτών,
5. Τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τοξικότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων.

1.7.1 Μικροοργανισμοί

Οι βασικές ομάδες μικροοργανισμών που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα και στα επιφανειακά νερά ταξινομούνται σε ευκαριωτικούς οργανισμούς, ευβακτήρια και αρχαιοβακτήρια. Τα περισσότερα βακτήρια κατατάσσονται στα ευβακτήρια. Τα πρώτιστα, ανήκουν στους ευκαριωτικούς οργανισμούς και περιλαμβάνουν φύκια, μύκητες και πρωτόζωα. Τα φυτά (με σπόρους, βρύα, φτέρες) ανήκουν στους ευκαριωτικούς πολυκύτταρους οργανισμούς. Τα σπονδυλωτά και τα ασπόνδυλα ανήκουν στα πολυκύτταρα ευκαριωτικά ζώα. Οι ιοί, που και αυτούς τους συναντάμε στα υγρά απόβλητα, ταξινομούνται ξεχωριστά ανάλογα με τον ξενιστή που προσβάλλουν.

1.7.2 Βακτήρια

Τα βακτήρια είναι μονοκύτταρα προκαριωτικά ευβακτήρια. Τα περισσότερα βακτήρια μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες:

1. Τα σφαιροειδή είναι γνωστά και σαν κόκκοι και έχουν 1-3 μm διάμετρο,
2. Τα ραβδοειδή, γνωστά και ως βάκιλοι με διαστάσεις 0.3-1.5 μm σε πλάτος και 1.0-10.0 μm μήκος,
3. Οι καμπυλοειδείς ράβδοι με 0.6-1 μm σε διάμετρο και 2-6 μm σε μήκος,
4. Τα σπιράλ βακτήρια ως 50 μm μήκος,
5. Τα νηματοειδή βακτήρια έως 100 μm μήκος.

Λόγω του εκτεταμένου και θεμελιώδους ρόλου που παίζουν τα βακτήρια στην αποσύνθεση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης, τόσο στα απόβλητα όσο και στη φύση, πρέπει να γίνουν καλά κατανοητά τα χαρακτηριστικά τους, οι λειτουργίες τους, ο μεταβολισμός τους και η σύνθεση τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούμε τα κολοβακτηρίδια σαν δείκτη της ρύπανσης από ανθρώπινα απόβλητα.

1.8 ΣΥΝΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στον (Πίνακας 3) βλέπουμε την τυπική σύσταση των ανεπεξεργαστων αστικών αποβλήτων. Οι τιμές που αναφέρονται στον πίνακα είναι ενδεικτικές και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται χωρίς επαρκή αξιολόγηση για τον σχεδιασμό εγκαταστάσεων επεξεργασίας (σε κάθε περίπτωση σχεδιασμού θα πρέπει να γίνεται ιδιαίτερη μελέτη για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των λυμάτων που πρόκειται να υποβληθούν σε επεξεργασία). Τα αστικά λύματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση την συγκέντρωσή τους: σε ασθενή, σε μέσα και σε ισχυρά. Οι τιμές που υπάρχουν στον παρακάτω πίνακα είναι βασισμένες σε στοιχεία από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Αυτό σημαίνει ότι στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες χώρες είναι λογικό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις τιμές των αντίστοιχων συγκεντρώσεων.

Πίνακας 3.

Ασθενή, μέσα και ισχυρά λύματα.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ

ΡΥΠΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΣΘΕΝΕΣ	ΜΕΣΟ	ΙΣΧΥΡΟ
Στερεά				
Ολικά (TS)	mg/L	350	720	1200
Διαλυτά (TDS)	mg/L	250	500	850
Σταθεροποιημένα	mg/L	145	300	525
Πτητικά	mg/L	105	200	325
Αιωρούμενα στερεά (SS)	mg/L	100	220	350
Σταθεροποιημένα	mg/L	20	55	75
Πτητικά	mg/L	80	165	275
Καθιζάνοντα στερεά	mg/L	5	10	20
BOD ₅	mg/L	110	220	400
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	mg/L	80	160	290
COD	mg/L	250	500	1000
Ολικό Άζωτο (N)	mg/L	20	40	85
Οργανικό	mg/L	8	15	35
Αμμωνία	mg/L	12	25	50
Νιτρώδη	mg/L	0	0	0
Νιτρικά	mg/L	0	0	0
Ολικός Φώσφορος (TP)	mg/L	4	8	15
Οργανικός	mg/L	1	3	5
Ανόργανος	mg/L	3	5	10
Χλώριο	mg/L	30	50	100
Θειικά	mg/L	20	30	50
Αλκαλικότητα	mg/L	50	100	200
Λίπη και έλαια	mg/L	50	100	150
Ολικά Κολοβακτηρίδια	No/100mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁸
Πτητικά Οργανικά Συστατικά (VOC)	μg/L	< 100	100-400	> 400

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ο βαθμός επεξεργασίας ενός αποβλήτου προκύπτει από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του αποβλήτου στην είσοδο της μονάδας επεξεργασίας και των χαρακτηριστικών εξόδου που επιβάλλει η εκάστοτε νομοθεσία. Έτσι αναλύονται πολλές εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας, διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης και επιλέγονται οι καλύτερες. Οι ρύποι των αποβλήτων όπως αναφέραμε μπορούν να απομακρυνθούν με φυσικές, χημικές αλλά και βιολογικές μεθόδους.

2.1.1 Διεργασίες φυσικής επεξεργασίας

Οι μέθοδοι επεξεργασίας στις οποίες υπερισχύουν οι φυσικές διεργασίες είναι γνωστές σαν μονάδες φυσικής επεξεργασίας. Επειδή αυτές οι μέθοδοι προέρχονται απευθείας από τις παρατηρήσεις του ανθρώπου που αφορούν και μιμούνται την φύση, είναι και οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Ο εσχασμός, η ανάμειξη, η συσσωμάτωση, η ιζηματοποίηση, η επίπλευση, η διήθηση και η μεταφορά αερίων είναι τυπικές διεργασίες φυσικής επεξεργασίας.

2.1.2 Διεργασίες χημικής επεξεργασίας

Όταν χρησιμοποιούνται μέθοδοι για την επεξεργασία των αποβλήτων έτσι ώστε να απομακρύνουν ή να μετασχηματίσουν τους ρύπους με την προσθήκη χημικών, ή με άλλες χημικές αντιδράσεις τότε αναφερόμαστε σε διεργασίες χημικής επεξεργασίας. Η κατακρήμνιση, η προσρόφηση και η απολύμανση είναι τα πιο κοινά παραδείγματα διεργασιών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

2.1.3 Διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας

Μέθοδοι επεξεργασίας στις οποίες η απομάκρυνση των ρύπων γίνεται με βιολογική δραστηριότητα είναι γνωστές σαν διεργασίες βιολογικής επεξεργασίας. Η βιολογική επεξεργασία χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων οργανικών συστατικών (κολλοειδή ή διαλυτά) από υγρά απόβλητα. Βασικά αυτά τα συστατικά μετατρέπονται σε αέρια που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα και μέσα στα βιολογικά κύτταρα όπου απομακρύνεται η καθίζηση. Επίσης, η βιολογική επεξεργασία χρησιμοποιείται και για την απομάκρυνση θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου) από τα υγρά απόβλητα. Με κατάλληλο χειρισμό στις περισσότερες περιπτώσεις τα απόβλητα μπορούν να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Για αυτό τον λόγο οι μηχανικοί πρέπει να παρέχουν το κατάλληλο περιβάλλον ώστε οι διεργασίες αυτές να λειτουργούν αποτελεσματικά.

2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.2.1 Προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων

Ο όρος προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων αναφέρεται στην απομάκρυνση στοιχείων από τα υγρά απόβλητα που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα λειτουργικά ή συντήρησης στις διεργασίες επεξεργασίας και στα βοηθητικά συστήματα. Παραδείγματα προεπεξεργασίας είναι ο εσχαρισμός και η κονιορτοποίηση μπαζών και σκουπιδιών, η απομάκρυνση της άμμου για τον περιορισμό της αιώρησης της χοντρόκκοκης ύλης που μπορεί να προκαλέσει φράξιμο του εξοπλισμού και επίπλευση για την απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων λιπών. Η προεπεξεργασία των αστικών αποβλήτων διαχωρίζεται από την προεπεξεργασία των βιομηχανικών, όπου τα συστατικά υφίστανται επεξεργασία στην πηγή τους πριν διατεθούν στους υπονόμους.

2.2.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, απομακρύνεται μια ποσότητα των αιωρούμενων στερεών και οργανικής ύλης από τα απόβλητα. Αυτή η απομάκρυνση τις περισσότερες φορές πραγματοποιείται με φυσικές διεργασίες όπως εσχарισμός, και ιζηματοποίηση. Η έξοδος από την πρωτοβάθμια επεξεργασία κατά κανόνα περιέχει σημαντική οργανική ύλη με σχετικά υψηλή τιμή BOD. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία αποτελεί τον πρόδρομο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

2.2.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Στόχος της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι να απομακρύνει τα βιοαποδομήσιμα οργανικά και αιωρούμενα στερεά. Η απολύμανση περιλαμβάνεται συχνά στον ορισμό της συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία ορίζεται ως ο συνδυασμός διεργασιών που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των προαναφερθέντων συστατικών και περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δραστική λάσπη, αντιδραστήρες σταθεροποιημένου βιοφίλμ ή συστήματα αβαθούς λίμνης και ιζηματοποίησης.

2.2.4 Απομάκρυνση θρεπτικών

Η απομάκρυνση ή ο έλεγχος των θρεπτικών από τα υγρά απόβλητα είναι σημαντική για πάρα πολλούς λόγους:

1. οι απορρίψεις σε κλειστά υδατικά συστήματα προκαλούν ή επιταχύνουν φαινόμενα ευτροφισμού
2. οι απορρίψεις σε υγρά ρεύματα προάγεται η νιτροποίηση που μπορεί να εξαντλήσει τα αποθέματα οξυγόνου ή να ευνοήσει την ανάπτυξη υδρόβιων φυτών με ρίζες (ευτροφισμός)
3. στις περιπτώσεις επαναφόρτωσης υπόγειων ταμιευτήρων που χρησιμοποιούνται έμμεσα σαν αποθέματα πόσιμου νερού.

Τα θρεπτικά με ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το άζωτο και ο φώσφορος και μπορεί να απομακρυνθούν βιολογικά, χημικά ή με συνδυασμό βιοχημικών και χημικών διεργασιών. Σε πολλές περιπτώσεις η απομάκρυνση θρεπτικών συνδυάζεται με την

δευτεροβάθμια επεξεργασία. Για παράδειγμα, στην δεξαμενή αερισμού προστίθενται άλατα μετάλλων για την κατακρήμιση του φωσφόρου στις τελικές δεξαμενές κατακρήμισης, ή την διεργασία δραστικής λάσπης όπου πραγματοποιείται νιτροποίηση, μπορεί να ακολουθεί βιολογική απονιτροποίηση.

2.2.5 Προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Η προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι ένας όρος με τον οποίο ορίζουμε το επίπεδο επεξεργασίας που απαιτείται πέρα από την συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση συστατικών με ιδιαίτερο ενδιαφέρον όπως θρεπτικά, τοξικά συστατικά και αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης και αιωρούμενων στερεών. Εκτός από την απομάκρυνση των θρεπτικών άλλες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι η χημική θρόμβωση, η συσσωμάτωση και η κατακρήμιση ακολουθούμενη από διήθηση με ενεργό άνθρακα. Λιγότερο χρησιμοποιούμενες διεργασίες είναι η αντίστροφη όσμωση και η ιονανταλλαγή για την ελάττωση των αιωρούμενων στερεών ή για την απομάκρυνση συγκεκριμένων ιόντων. Η προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται επίσης σε ένα εύρος εφαρμογών επανακυκλοφορίας όπου απαιτείται νερό υψηλής ποιότητας, όπως για βιομηχανικό νερό ψύξης και για επαναφόρτωση υπόγειων ταμιευτήρων.

2.2.6 Επεξεργασία τοξικών αποβλήτων

Για εκροές βιομηχανικών αποβλήτων σε συστήματα συλλογής και επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, οι συγκεντρώσεις των τοξικών ρύπων ελέγχονται συνήθως με προεπεξεργασία πριν τη διάθεση στα αστικά συστήματα. Σε μερικές περιπτώσεις η απομάκρυνση των τοξικών ρύπων γίνεται στις μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Οι συγκεντρώσεις πολλών τοξικών συστατικών όπως βαρέα μέταλλα ελαττώνονται με κάποια μορφή φυσικοχημικής επεξεργασίας όπως χημική ιζηματοποίηση, συσσωμάτωση, κατακρήμιση και διήθηση. Κάποιος βαθμός επεξεργασίας πραγματοποιείται επίσης στην δευτεροβάθμια επεξεργασία. Απόβλητα που περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις υφίστανται επεξεργασία με απαερίωση ή

με προσρόφηση σε άνθρακα. Μικρές ποσότητες συγκεκριμένων ρύπων απομακρύνονται με ιονανταλλαγή.

2.2.7 Επεξεργασία υπερχειλίσεων συνδυασμένων υπονόμων

Οι υπερχειλίσεις συδυασμένων υπονόμων αποτελούνται από μεγάλες διακοπτόμενες εκροές αποβλήτων που προκύπτουν από την ανάμειξη αποβλήτων με όμβρια νερά. Εκτός από το αρχικό ξέπλυμα, οι συγκεντρώσεις των ρύπων που μας ενδιαφέρουν είναι σχετικά μικρές συγκρινόμενες με τις συγκεντρώσεις στα αστικά ή βιομηχανικά απόβλητα. Τα συστήματα επεξεργασίας που απαιτούνται για την επεξεργασία συνδυασμένων υπερχειλίσεων συνήθως στοχεύουν στην απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών και παθογόνων οργανισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

3.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων και γενικά των λυμάτων περιλαμβάνουν κάποια στάδια έτσι ώστε να μπορέσουν να πετύχουν ένα επιθυμητό αποτέλεσμα στον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων. Τα στάδια επεξεργασίας ακολουθούν μια ροή, και η σχηματική τους παράσταση καλείται ως διάγραμμα ροής . Η επιλογή των διάφορων σταδίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι:

- Τα χαρακτηριστικά των λυμάτων που θα υποβάλλουμε σε επεξεργασία.
- Οι προδιαγραφές του αποδέκτη διάθεσης σε σχέση και με τις προδιαγραφές που ισχύουν για τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων.
- Την ποσότητα της λάσπης που προκύπτει σε κάθε στάδιο αλλά και τα χαρακτηριστικά της.
- Την απαίτηση για ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην γύρω περιοχή.
- Την δυναμικότητα της εγκατάστασης επεξεργασίας.
- Την εμπειρία του προσωπικού λειτουργίας.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων επιτυγχάνουν αφαίρεση αιωρούμενου και διαλυτού οργανικού υλικού από το υγρό ρεύμα των λυμάτων, αλλά παράλληλα παράγονται και ποσότητες λάσπης (ιλύος). Η αντιμετώπιση του προβλήματος της λάσπης είναι ένα σοβαρό θέμα το οποίο δεν πρέπει να παραγνωρίζεται.

3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

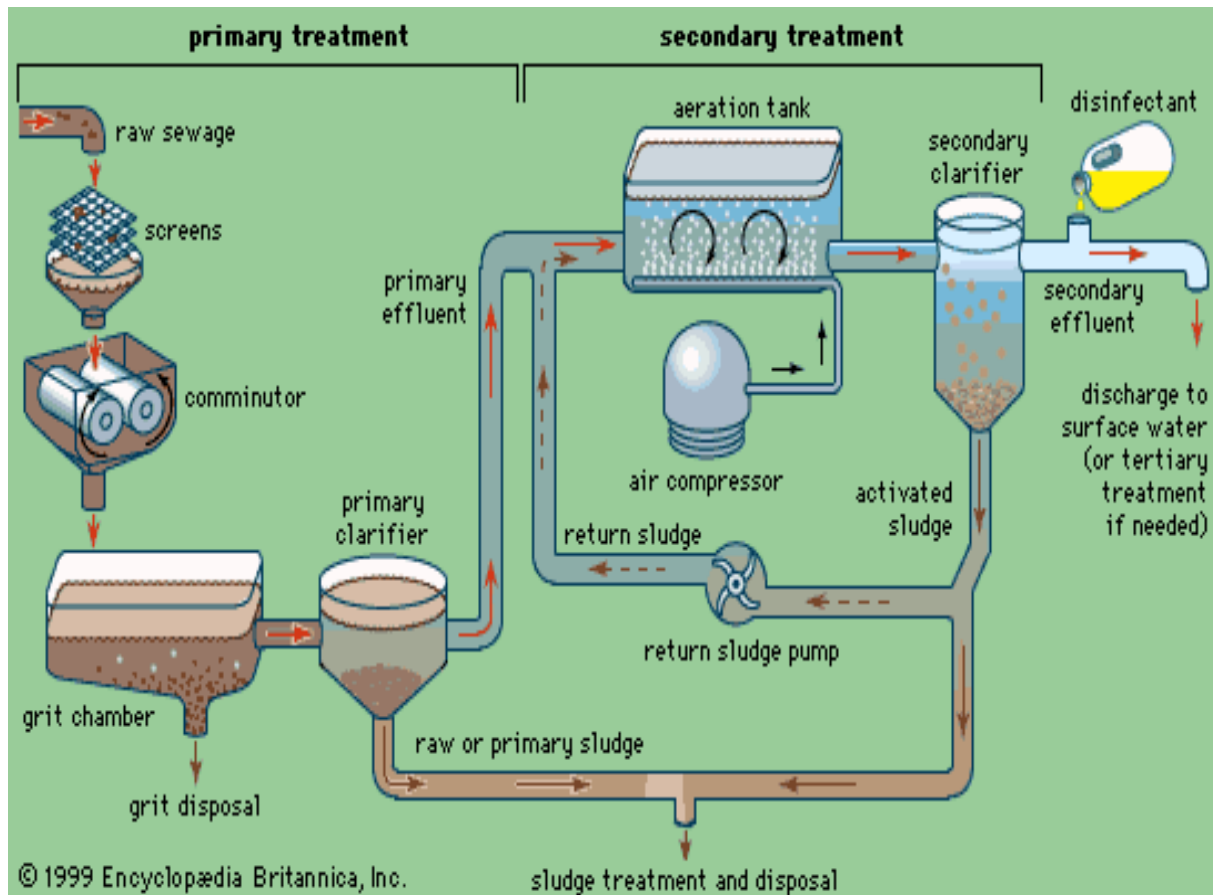
Με τον όρο διάταξη εννοούμε την φυσική διευθέτηση των διάφορων τμημάτων της εγκατάστασης στην επιλεγμένη θέση. Πρέπει να δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση και χωροθέτηση των μονάδων επεξεργασίας, στην τοποθέτηση των αγωγών των διάφορων ρευμάτων , στο εσωτερικό οδικό δίκτυο και στους χώρους στάθμευσης. Επίσης θα πρέπει να προβλέπονται κατάλληλα κτίρια για το

προσωπικό συντήρησης, λειτουργίας και διοίκησης.

Εάν γίνει με προσοχή η γενική διάταξη της εγκατάστασης, τότε μπορούμε να πετύχουμε:

1. ελκυστική εμφάνιση
2. μείωση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας
3. διευκόλυνση σε τροποποιήσεις αλλά και σε μελλοντικές επεκτάσεις
4. αρμονική σύνδεση των διατάξεων και κτισμάτων με το τοπίο και το γενικότερο περιβάλλον.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής για μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Οι επιμέρους διεργασίες που είναι ο εσχαρισμός, ο τεμαχισμός σε τριβεία, η αμμοσυλλογή, η πρωτοβάθμια καθίζηση, ο αερισμός του βιολογικού σταδίου, η δευτεροβάθμια καθίζηση και η απολύμανση, δίνονται συμβολικά. Σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται απλοποίηση του συμβολικού σχεδιασμού και οι επί μέρους διεργασίες παρουσιάζονται με απλά ορθογώνια, κύκλους και τρίγωνα. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής σε μια απλουστευμένη μορφή.



Σχήμα 1: Γενική διάταξη μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων (μέσου μεγέθους).

3.3 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας περιλαμβάνει τα απαραίτητα στάδια διεργασιών για την αντιμετώπιση του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων. Στην συνέχεια θα υπάρξει μια σύντομη παρουσίαση των διεργασιών που χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να αποκτήσουμε μια αρχική επαφή με το αντικείμενο της τεχνολογίας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων.

- **Εσχαρισμός και πολτοποίηση.** Οι εσχάρες χρησιμοποιούνται στην είσοδο της εγκατάστασης για την κατακράτηση ευμεγέθων στερεών. Οι πολτοποιητές ή τα τριβεία χρησιμοποιούνται για τον τεμαχισμό των ευμεγέθων στερεών.
- **Αμμοσυλλογή.** Στοχεύει στην αφαίρεση υλικού που έχει παρόμοια

χαρακτηριστικά με την άμμο και προκαλεί προβλήματα σε επόμενα στάδια επεξεργασίας.

- **Πρωτοβάθμια καθίζηση.** Στην πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται αφαίρεση των καθιζανόντων στερεών στα λύματα.
- **Αερόβια βιολογική επεξεργασία με αιωρούμενη βιομάζα.** Χρησιμοποιούνται διατάξεις αερισμού για την πρόσδοση οξυγόνου και ανάμιξη του με τα λύματα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι η διεργασία της ενεργού ιλύος.
- **Αερόβια βιολογική επεξεργασία με προσκολλημένη βιομάζα.** Χρησιμοποιούνται διατάξεις που φέρουν πληρωτικό υλικό πάνω στο οποίο είναι προσκολλημένη η βιομάζα. Το σταλαγματικό φίλτρο είναι ένα σύστημα επεξεργασίας με προσκολλημένη βιομάζα.
- **Επεξεργασία με αντιδραστήρες με επαναλαμβανόμενα στάδια.** Πρόκειται για επεξεργασία με τροφοδότηση (συνεχή ή διακοπτόμενη) ενός αντιδραστήρα όπου επιβάλλονται κυκλικά επαναλαμβανόμενα στάδια αερισμού καθίζησης και παραλαβής της επεξεργασμένης εκροής.
- **Συνδυασμός αναερόβιων, ανοξικών και αερόβιων σταδίων.** Ο συνδυασμός τέτοιων διεργασιών σκοπεύει στην αφαίρεση οργανικού υλικού και θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου).
- **Δευτεροβάθμια καθίζηση.** Πρόκειται συνήθως για το στάδιο διαχωρισμού προς παραλαβή διαυγασμένης εκροής στο δευτεροβάθμιο βιολογικό στάδιο.
- **Πάχυνση.** Μια διάταξη καθίζησης κατάλληλου σχεδιασμού τροφοδοτείται με λάσπη και επιτυγχάνει αύξηση της % περιεκτικότητας της λάσπης σε στερεά.
- **Αναερόβια χώνευση.** Πρόκειται για αποδόμηση οργανικού υλικού κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Χρησιμοποιείται συνήθως για την αναερόβια σταθεροποίηση της λάσπης και για την επεξεργασία ισχυρών βιομηχανικών αποβλήτων.
- **Αφυδάτωση.** Η διαχείριση της λάσπης απαιτεί συνήθως σημαντική μείωση του όγκου της και για το λόγο αυτό παρεμβάλλονται μηχανικές ή φυσικές διεργασίες για αφυδάτωση.
- **Αερόβια χώνευση, λιπασματοποίηση.** Σε μερικές περιπτώσεις η σταθεροποίηση των βιολογικών στερεών της λάσπης γίνεται κάτω από αερόβιες συνθήκες. Όταν η περιεκτικότητα σε στερεά είναι μικρή αναφερόμαστε σε αερόβια χώνευση και όταν γίνεται σταθεροποίηση

στερεόμορφου υλικού πρόκειται για λιπασματοποίηση.

- **Απολύμανση.** Η απολύμανση γίνεται στην επεξεργασμένη εκροή με στόχο την θανάτωση / αδρανοποίηση των μικροοργανισμών.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η παραπάνω απαρίθμηση είναι απλά ενδεικτική και περιλαμβάνει μόνο τις συνήθεις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

4.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προεπεξεργασία αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Εάν δεν σχεδιαστεί σωστά, τότε μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση στα επόμενα στάδια. Ο βασικός στόχος της προεπεξεργασίας είναι η αφαίρεση ευμεγεθών σωματιδίων, κυρίως αιωρούμενου υλικού (εσχαρισμός), η αφαίρεση άμμου (αμμοσυλλογή) και η αντιμετώπιση διαφόρων άλλων συστατικών που μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα, όπως τα λίπη και τα έλαια. Στόχος επίσης μπορεί να είναι και η διαμόρφωση των συνθηκών (π.χ εξισορρόπηση) που βελτιώνουν την απόδοση των επόμενων σταδίων επεξεργασίας.

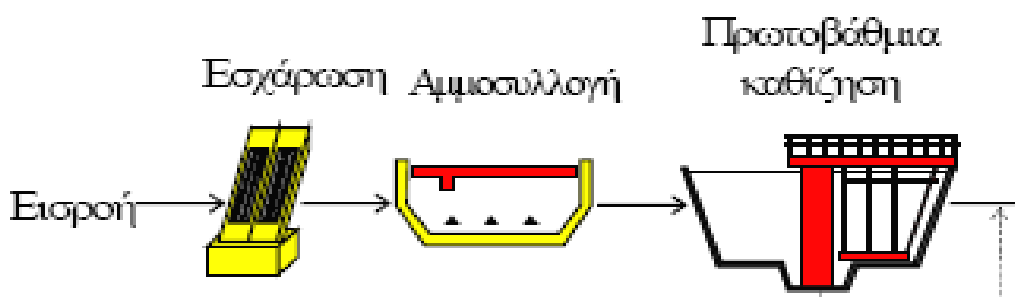
Το στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει έναν αριθμό από φυσικές διεργασίες όπως για παράδειγμα η άντληση για ανύψωση των λυμάτων στην είσοδο της εγκατάστασης, ώστε να μπορεί να εξασφαλιστεί ροή με βαρύτητα διαμέσου των διαφόρων σταδίων, εξισορρόπηση της παροχής, μέτρηση της παροχής, εσχαρισμό των λυμάτων, τεμαχισμό των ευμεγεθών σωματιδίων, αμμοσυλλογή και λιποσυλλογή.

Πίνακας 4: Βασικές επιμέρους διεργασίες Προεπεξεργασίας και Πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (Πηγή: ΕΠΕΜ, 2006).

**ΕΠΙΠΕΔΑ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

ΟΡΙΣΜΟΣ

Προκαταρκτική επεξεργασία	Περιλαμβάνει τις μονάδες:
Προεπεξεργασία (preliminary treatment)	<ul style="list-style-type: none"> ή - Εσχάρωσης - Εξάμμωσης – Λιποσυλλογής <p>Γενικά σε αυτό το στάδιο απομακρύνεται ποσοστό της τάξης 40% των αιωρούμενων στερεών και 30-40% του εισερχόμενου BOD.</p>
Πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment)	<p>Περιλαμβάνει τη μονάδα:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Αΐθμιας καθίζησης <p>Σχεδιάζεται συνήθως για απομάκρυνση ποσοστού της τάξης 30-40% του εισερχόμενου BOD και 50-60% των εισερχόμενων αιωρούμενων στερεών.</p> <p>Στη διεργασία του παρατεταμένου αερισμού, η πρωτοβάθμια καθίζηση παραλείπεται του συστήματος.</p>



Σχήμα 2: Γενική διάταξη του σταδίου προεπεξεργασίας λυμάτων και πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν είναι το θέμα της παραγωγής οσμών κατά την διάρκεια της προεπεξεργασίας. Οι οσμές προέρχονται κυρίως από λύματα τα οποία έχουν μετατραπεί σε συππικά, όπως για παράδειγμα τα λύματα που έχουν παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα στο σύστημα αποχέτευσης ή και από βοθρολύματα που τροφοδοτούνται στην είσοδο της εγκατάστασης. Επίσης μπορούν να παραχθούν οσμές και από τα εσχαρίσματα αλλά και από την ανάδευση των λυμάτων όταν διέρχονται από διάφορες διατάξεις στην κεφαλή της εγκατάστασης.

4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ

Μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας είναι η παρακολούθηση της ημερήσιας και εποχιακής μεταβολής της ροής. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανικός ελέγχου ή ο Η/Υ είναι σε θέση να κάνει όποιες απαραίτητες τροποποιήσεις στους χρόνους αερισμού, ανακυκλοφορίας και άλλων λειτουργικών παραμέτρων, για να επιτύχει βέλτιστη απόδοση. Είναι επίσης, πολύ σημαντική παράμετρος για μελλοντικές επεκτάσεις ή τροποποιήσεις της εγκατάστασης. Η μέτρηση της παροχής λαμβάνει χώρα σε ανοικτά κανάλια. Η κύρια λειτουργία είναι η μέτρηση του βάθους ροής σε κανάλι γνωστής διατομής με υπερχειληστή και η μετατροπή του σε παροχή. Η μέτρηση του βάθους μπορεί να γίνει με υπερήχους, που είναι η πιο συνήθης, ή μηχανικά με ένα φλοτέρ (Εικ. 1).

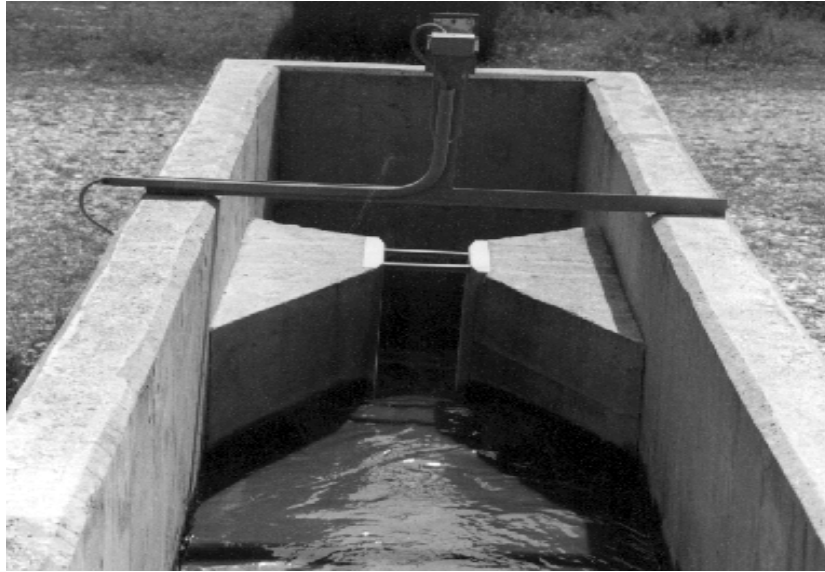
Η σχέση παροχής και ύψους νερού στο ορθογωνικό κανάλι της Εικόνας 1α, δίνεται από την Εξίσωση 1 (Λέκκας 2001).

$$Q = 1,705wH^{(3/2)} \quad \text{Εξ.1}$$

όπου Q = ημερήσια παροχή (m^3/d)

H = το ύψος του νερού ανάντη του στενώματος (m)

w = το πλάτος στο στένωμα του καναλιού (m)



(α)



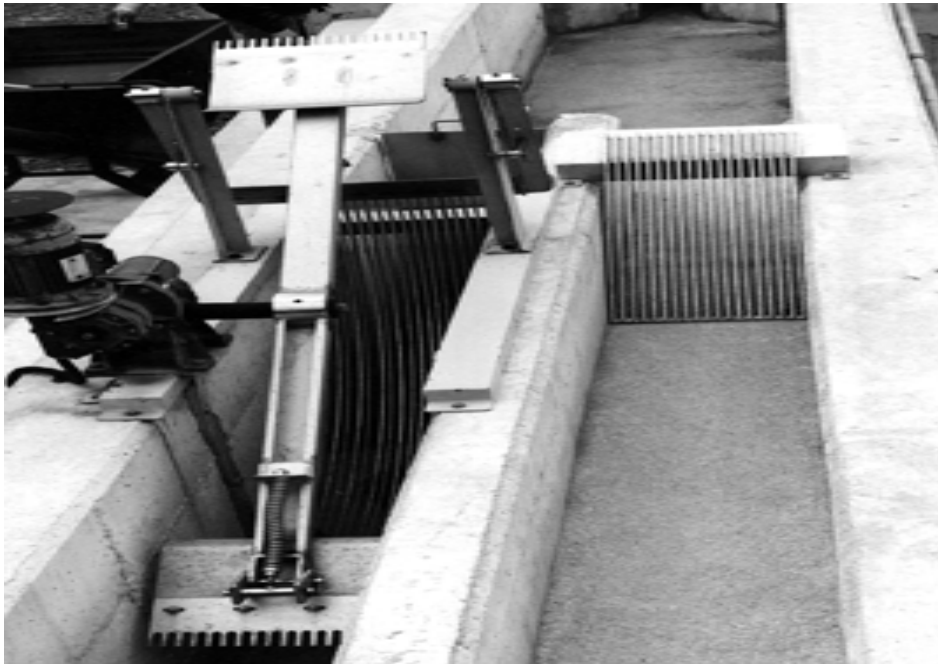
(β)

Εικόνα 1. Όργανα μέτρησης παροχής: (α) με υπερήχους και (β) μηχανικά

4.3 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ

Καθώς τα λύματα ρέουν, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να παρασύρουν και ευμεγέθη αντικείμενα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα διάφορα στάδια της επεξεργασίας. Τα αντικείμενα μπορεί να είναι από 1 έως 10 cm ή και μεγαλύτερα. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να γίνει η αφαίρεση τους και αυτό θα το επιτύχουμε με την χρήση εσχάρων στην κεφαλή (αρχή) της εγκατάστασης επεξεργασίας. Οι εσχάρες είναι διατάξεις που εμποδίζουν την διέλευση, δια μέσου

των ανοιγμάτων τους, υλικού με διαστάσεις μεγαλύτερες από κάποιο μέγεθος που αντιστοιχεί στον συγκεκριμένο τύπο εσχάρων. Τα υλικά που κατακρατούνται στην επιφάνεια των εσχάρων απομακρύνονται κατά συχνά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε να αποφεύγεται το βούλωμα των ανοιγμάτων. Ο καθαρισμός των εσχάρων, δηλαδή η απομάκρυνση των υλικών, μπορεί να γίνει είτε χειρωνακτικά (χειρωνακτικά καθαριζόμενες εσχάρες) είτε με μηχανικά μέσα (μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες). Ο χειρωνακτικός καθαρισμός γίνεται με την βοήθεια τσουγκράνας ενώ ο μηχανικός γίνεται με την βοήθεια μηχανικών ξέστρων ή χτενίων ή βουρτσών και σε μερικές περιπτώσεις υποβοηθείται και με ψεκασμό νερού υπό πίεση.



(α)



(β)

Εικόνα 2. Μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες: (αριστερά) τοξωτή και (δεξιά) ευθύγραμμη

Η μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα συγκρινόμενη με την χειρωνακτικά καθαριζόμενη πλεονεκτεί ως προς το μειωμένο εργατικό κόστος, στη βελτίωση των συνθηκών ροής, τη συλλεκτικότητα των εσχάρων και ουσιαστικά στη μείωση των περιβαλλοντικών οχλήσεων. Επομένως, μία μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα συνιστάται σε νέες μονάδες, ακόμη και σε αυτές μικρού μεγέθους. Τυπικές τιμές σχεδιασμού για εσχάρες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Παράμετρος σχεδιασμού	Μονάδες	Χειρωνακτικά καθαριζόμεν ες	Μηχανικά καθαριζόμενε ς
--------------------------	---------	-----------------------------------	-------------------------------

Ταχύτητα στην εσχάρα	m/s	0.3 – 0.6	0,6 – 1,0
Μέγεθος Πλάτος	mm	4-8	8 – 10
ράβδων Μήκος	mm	25-50	50 – 75
Καθαρή απόσταση ράβδων	mm	25-75	10 – 50
Κλίση από την οριζόντιο	μοίρες	45-60	75 – 85
Επιτρεπόμενη απώλεια, φραγμένη εσχάρα	mm	75-85	150
Μέγιστη απώλεια, φραγμένη εσχάρα	mm	800	800

Πίνακα 5: Χαρακτηριστικά χειρονακτικά ή μηχανικά καθαριζόμενων εσχάρων (Qasim,1999).

Οι υδραυλικές απώλειες στις εσχάρες είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας προσέγγισης των υγρών και της ταχύτητας στα διάκενα των μπαρών και μπορεί να υπολογιστεί από την Εξίσωση 2 (Metcalf and Eddy, Inc., 2003).

$$hL = (1/C)(V^2 - u^2)/2g \quad \text{Εξ.2}$$

όπου

hL = υδραυλικές απώλειες (m)

C = εμπειρικός συντελεστής εκροής που σχετίζεται με τις απώλειες λόγω τυρβώδους ροής, και λαμβάνει τιμές 0,7

για καθαρή σχάρα και 0,6 για γεμάτη.

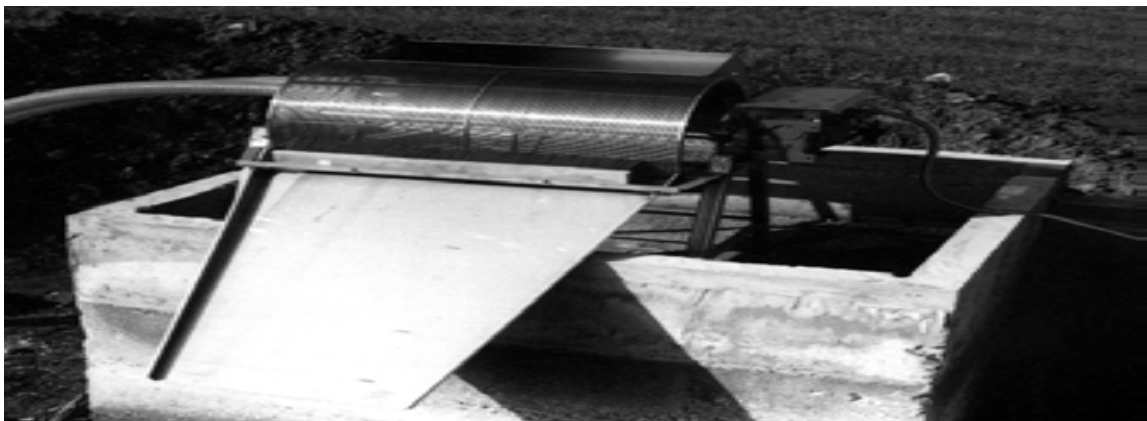
V = ταχύτητα ροής στα διάκενα των μπαρών (m/s)

u = ταχύτητα ροής ανάντη του καναλιού (m/s)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

Τα τελευταία έτη χρησιμοποιούνται προωθημένα συστήματα εσχάρωσης που αποτελούνται από τα κόσκινα και αυτοκαθαριζόμενες αλυσωτές εσχάρες (Εικ. 3).

Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετο στάδιο προ- επεξεργασίας ή για ειδικά υγρά απόβλητα, όπως τα βοθροαστικά υγρά απόβλητα. Τα κόσκινα είναι μηχανισμοί με τη μορφή τύμπανου, που περιστρέφονται σε ένα κανάλι ροής και απομακρύνουν σωματίδια διαμέτρου περίπου 2 mm, ανάλογα με τα ανοίγματα του τύμπανου. Η αρχή λειτουργίας ενός περιστρεφόμενου κόσκινου φαίνεται στο Σχήμα 3 (Λέκκας, 1996). Αυτοκαθαριζόμενες συνεχής εσχάρες αποτελούνται από "χτένια" προσαρμοσμένα σε κινούμενο ιμάντα. Οι υδραυλικές απώλειες στα προηγμένα συστήματα εσχάρωσης μπορούν να υπολογιστούν από την Εξίσωση 3 (Metcalf and Eddy, Inc., 2003).



(α)



(β)

Εικόνα 3. Προωθημένα συστήματα εσχάρωσης: (α) περιστροφικό κόσκινο και (β) αυτοκαθαριζόμενη αλυσωτή εσχάρα.

$$h_L = (1/2g)((Q/Ca)^2) \quad \text{Εξ.3}$$

όπου

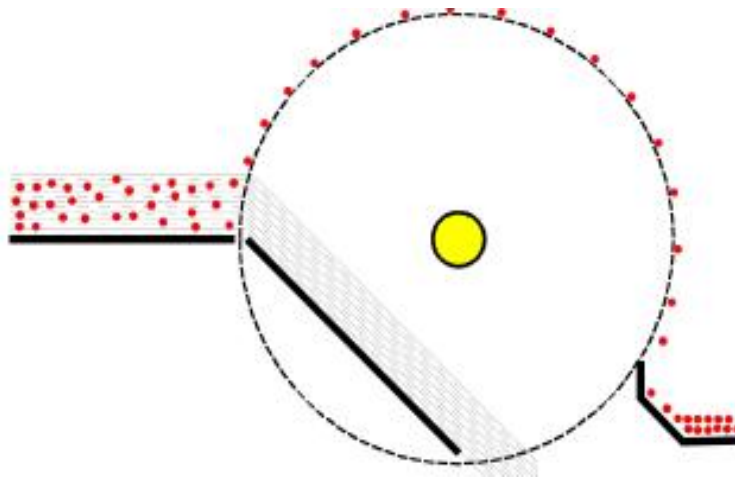
h_L = υδραυλικές απώλειες (m)

C = εμπειρικός συντελεστής εκροής που σχετίζεται με τις απώλειες λόγω τυρβώδους ροής, και λαμβάνει την τιμή 0,6 για καθαρή σχάρα.

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

Q = παροχή μέσα από το σύστημα καθαρισμού (m³/d)

Ca = καθαρά ανοίγματα στην επιφάνεια επαφής κόσκινου-υγρού (m²)



Σχήμα 3. Αρχή λειτουργίας ενός περιστρεφόμενου κόσκινου

Εκτός από τις σταθερές εσχάρες υπάρχουν και οι στατικές εσχάρες ή και οι περιστροφικά κινούμενες εσχάρες οι οποίες χρησιμοποιούν συστήματα καθαρισμού με βούρτσες ή με λεπίδες απόξεσης.

Οι εσχάρες δεν χρησιμοποιούνται μόνο στο στάδιο της προεπεξεργασίας των λυμάτων αλλά και σε άλλες περιπτώσεις όπου επιχειρείται διαχωρισμός αιωρούμενου υλικού και διακρίνονται σε **χονδρές εσχάρες** (40 έως 150 mm), σε **μέσες εσχάρες** (5 έως 40 mm) και σε **λεπτές εσχάρες** (με ανοίγματα μικρότερα από 5 mm).

Οι χονδρές εσχάρες κατασκευάζονται με μεταλλικές ράβδους που έχουν ορθογωνική,

κυκλική ή τραπεζοειδή διατομή. Τα ανοίγματα μεταξύ των ράβδων εξαρτώνται από τις κατάντη διατάξεις που επιχειρείται να προστατευθούν και οι διατάξεις κυμαίνονται μεταξύ 40-150 mm. Το υλικό κατασκευής είναι συνήθως κοινός χάλυβας αν και είναι προτιμότερα ο ανοξείδωτος χάλυβας ή το αλουμίνιο. Σε μικρές εγκαταστάσεις οι χονδρές εσχάρες καθαρίζονται συνήθως με το χέρι ενώ σε μεγάλες εγκαταστάσεις ο καθαρισμός τους γίνεται μηχανικά, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι είναι και κανόνας.

Οι μέσες εσχάρες έχουν ανοίγματα μεταξύ των ράβδων μέχρι 40 mm. Σε εσχάρες με ορθογωνικές ράβδους το πλάτος των ράβδων (κάθετα στην ροή) είναι 8 έως 13 mm και το πάχος των ράβδων (παράλληλα στην ροή) είναι 50 έως 75 mm. Όπως και στην περίπτωση των χονδρών εσχάρων υπάρχουν μεσαίες εσχάρες που καθαρίζονται με το χέρι αλλά και μηχανικά. Πρέπει να σημειωθεί πάντως, ότι στις μεγάλες εγκαταστάσεις οι μεσαίες εσχάρες καθαρίζονται κατά βάση μηχανικά ενώ αυτό δεν συμβαίνει και με τις χονδρές εσχάρες.

Οι λεπτές εσχάρες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την τριτοβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων (προχωρημένη αφαίρεση αιωρούμενων υλικών μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία) αλλά είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιούνται και για την προεπεξεργασία αστικών λυμάτων. Όταν χρησιμοποιούνται στο στάδιο της προεπεξεργασίας τα ανοίγματα των διακένων που έχουν είναι στην περιοχή των 2 έως 6 mm και τοποθετούνται συνήθως μετά από χονδρές ή μεσαίες εσχάρες, γιατί είναι ευαίσθητες διατάξεις που δεν έχουν σχεδιασθεί για να δέχονται μεγάλα αντικείμενα.

Οι λεπτές εσχάρες επιτυγχάνουν αφαίρεση υλικού μικρότερων διαστάσεων από ότι οι μεσαίες εσχάρες και η αφαίρεση αυτή είναι μετρήσιμη σε όρους βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) στην περιοχή 10-15% και αιωρούμενων στερεών (ΑΣ) στην περιοχή 5-35%. Επίσης οι λεπτές εσχάρες αφαιρούν διάφορα είδη από τα λύματα τα οποία δεν είναι δυνατόν να αφαιρεθούν από τις μεσαίες εσχάρες. Τέτοια υλικά είναι:

- Τα ινώδη υλικά τα οποία είναι δυνατόν να τυλιχθούν στις φτερωτές των αντλιών και αναμικτήρων, σε στρεφόμενα μέρη διατάξεων αερισμού και σε άλλα μέρη.
- Λίπη.

- Επιπλέοντα και αιωρούμενα υλικά τα οποία είναι δυνατόν να δημιουργούν προβλήματα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Η εσχάρωση μπορεί να προξενήσει οσμές και άλλες οχλήσεις, ειδικά σε θερμά κλίματα. Για τον περιορισμό αυτών των οχλήσεων, οι μηχανές εσχάρματος συχνά τοποθετούνται σε στεγαζόμενο χώρο με απόσμηση. Μηχανήματα που ονομάζονται τεμαχιστές (comminutors) χρησιμοποιούνται για τον τεμαχισμό στερεών σε μικρότερα κομμάτια. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την αποφυγή συμβατικού εσχάρματος και μπορεί να ακολουθούνται από μηχανισμούς εσχάρωσης.

4.4 ΠΟΛΤΟΠΟΙΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΡΙΒΕΙΑ

Διατάξεις τεμαχισμού ευμεγέθους υλικού που ονομάζονται πολτοποιητές ή τριβεία τοποθετούνται σε μερικές περιπτώσεις στα κανάλια, στο κομμάτι της προεπεξεργασίας με στόχο την μείωση των διαστάσεων του υλικού αυτού.

Ένα είδος πολτοποιητή έχει περιστρεφόμενο κυλινδρικό τύμπανο που είναι τοποθετημένο σε κανάλι όπου παρεμβάλλεται ανεστραμμένος σύφωνας. Στην επιφάνεια του κυλινδρικού τυμπάνου υπάρχουν ανοίγματα τύπου σχισμών (κάθετα προς τον κυλινδρικό άξονα) πλάτους περίπου 10 mm. Στην εξωτερική επιφάνεια του κυλινδρικού τυμπάνου και στους τομείς που δεν εκτείνονται οι οριζόντιες σχισμές έχουν ανοιχθεί εγκοπές παράλληλες προς τον κυλινδρικό άξονα και στις εγκοπές αυτές έχουν σφηνωθεί και στερεωθεί κοπτικά στοιχεία. Επίσης στο πλαίσιο του πολτοποιητή έχει στηριχθεί ειδική κοπτική χτένα. Υλικά με διαστάσεις μεγαλύτερες από τα ανοίγματα των σχισμών δεν μπορούν να εισέλθουν στο εσωτερικό του τυμπάνου και να οδηγηθούν μέσω του ανεστραμμένου σύφωνα κατόπιν παρά μόνο αφού προηγουμένως τεμαχισθεί. Ο τεμαχισμός γίνεται καθώς το ευμεγέθους υλικό οδηγείται στην στενή περιοχή μεταξύ των κινούμενων κοπτικών στοιχείων και της ακίνητης κοπτικής χτένας.

Οι διαστάσεις στις οποίες γίνεται τεμαχισμός με την βοήθεια πολτοποιητών είναι 5-20 mm ενώ με τα τριβεία επιτυγχάνονται σχεδόν σταθερές διαστάσεις τεμαχισμού

(περίπου 6 mm). Έχει παρατηρηθεί ότι συχνά προκύπτουν προβλήματα από απόθεση ή κατακράτηση τεμαχισμένου υλικού από πολτοποιητές ή τριβεία σε διαχύτες αερισμού ή σε κινούμενα μέρη του εξοπλισμού. Επίσης τεμαχίδια διαφόρων πλαστικών υλικών δεν αποδομούνται στην αναερόβια χώνευση της λάσπης και είναι δυνατόν να δημιουργούν προβλήματα αποδοχής της σταθεροποιημένης λάσπης για εφαρμογή της στο έδαφος. Τα προβλήματα που δημιουργούνται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας είναι εντονότερα στην περίπτωση των πολτοποιητών από ότι στην περίπτωση των τριβείων.

Τριβεία επίσης χρησιμοποιούνται για τον τεμαχισμό ευμεγέθους υλικού που υπάρχει στην πρωτοβάθμια λάσπη. Το υλικό αυτό εάν δεν τεμαχιστεί ή αφαιρεθεί με κάποιο τρόπο θα δημιουργήσει πρόβλημα στα επόμενα στάδια επεξεργασίας της λάσπης, για παράδειγμα αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσσα. Τα τριβεία προβλέπονται εν σειρά με τις αντλίες μεταφοράς της πρωτοβάθμιας λάσπης και τοποθετούνται πριν από την αντλία λάσπης.

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί κάποια συστήματα που χρησιμοποιούν τόσο τις διατάξεις τριβείων για τον τεμαχισμό των ευμεγεθών υλικών όσο και διατάξεις για την παρεμπόδιση των τεμαχιδίων που συμπαρασύρονται από την ροή των λυμάτων. Τα τεμαχίδια υλικού, με διαστάσεις 5-15 mm, που εξέρχονται από τα τριβεία υφίστανται μια αρχική απόπλυση από την ροή των λυμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα τον διαχωρισμό ενός μέρους του αιωρούμενου υλικού που εμπεριέχεται στα ευμεγέθη υλικά πριν από την σύνθλιψη τους μεταξύ των κοπτικών στοιχείων των τριβείων.

4.5 ΕΞΑΜΜΩΣΗ – ΛΙΠΟΣΥΛΛΟΓΗ

Όταν χρησιμοποιούμε τον όρο “άμμος” στην επεξεργασία των λυμάτων, μας έρχονται στο μυαλό διάφορα είδη αιωρούμενων υλικών που μπορούν εύκολα να καθιζάνουν, με σημαντική ταχύτητα καθίζησης. Τέτοια είδη για παράδειγμα μπορεί να είναι οι κόκκοι της άμμου, τεμαχίδια από χώμα ή από τέφρα, φυτικοί σπόροι, κομματάκια από τσόφλια αυγών κ.α. Η αφαίρεση της άμμου είναι υποχρεωτική και απαραίτητη για μπορέσουμε να αποφύγουμε:

- Διάφορες φθορές στον εξοπλισμό (μηχανολογικό εξοπλισμό) και συγκεκριμένα στις αντλίες.
- Φράξιμο στους σωλήνες και αποθέσεις σε κανάλια
- Φαινόμενα στερεοποίησης στον πυθμένα της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στον πυθμένα των χωνευτών λάσπης.
- Την συσσώρευση αδρανών υλικών και την μείωση του ωφέλιμου όγκου στις δεξαμενές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας.

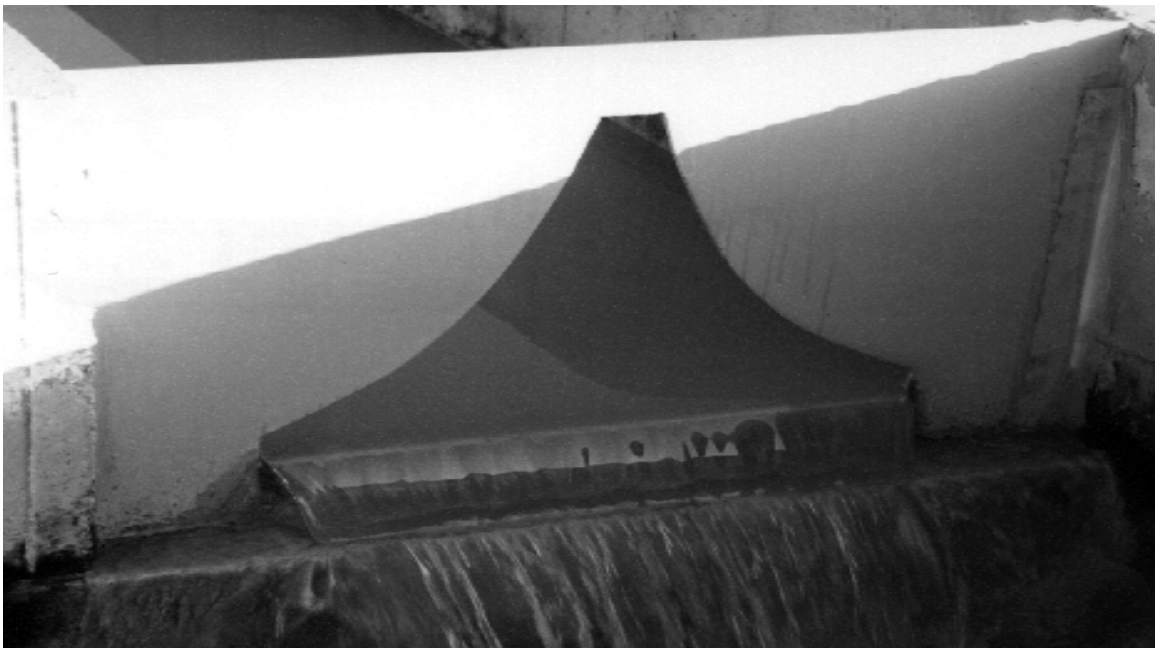
Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της άμμου, μπορούμε να διακρίνουμε 4 διαφορετικούς τρόπους:

1ος Τρόπος

Με μακρόστενους αμμοσυλλέκτες οριζόντιας ροής: Η τροφοδότηση των λυμάτων γίνεται μέσω καναλιών μικρού συνήθως βάθους όπου διατηρείται σταθερή η οριζόντια ταχύτητα από 0,24 έως 0,40 m/s (με τυπική τιμή 0,30 m/s). Ο χρόνος παραμονής είναι από 45 έως 90 sec (με τυπική τιμή 60 sec) (Metcalf and Eddy, Inc., 1991). Αυτό γίνεται για να αποφεύγεται η επαναιώρηση και ο συμπαρασυρμός των σωματιδίων της άμμου που έχουν διάσταση μεγαλύτερη από 200 μm. Με τον τρόπο αυτό στον πυθμένα του καναλιού παραμένουν τα τεμαχίδια της άμμου που έχουν διατάσεις μεγαλύτερες από 200 μm ενώ τα μικρότερα σωματίδια άμμου και όλα τα άλλα ελαφρύτερα αιωρούμενα οργανικά υλικά συμπαρασύρονται από την ροή και εξέρχονται από το κανάλι. Το ανοικτό κανάλι μπορεί να είναι ορθογωνικής διατομής με παραβολικό υπερχειλιστή ή παραβολικής διατομής με ορθογωνικό υπερχειλιστή (Εικ. 3). Η άμμος τελικά απομακρύνεται χειρωνακτικά. Τυπικές τιμές σχεδιασμού για κανάλια οριζόντιας ροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.



(α)



(β)

Εικόνα 3. Αμμοσυλλέκτες οριζόντιας ροής: (α) ορθογωνικής διατομής με παραβολικό υπερχειλιστή και (β) παραβολικής διατομής με ορθογώνιο υπερχειλιστή

Παράμετρος	Μονάδες	Εύρος	Σχόλια
Βάθος υγρού	m	0,6-1,5	Εξαρτάται από τη διατομή του καναλιού και την παροχή
Μήκος	m	3-25	Συνάρτηση του βάθους ροής και της ταχύτητας καθίζησης της άμμου
Περιθώριο τύρβης εισόδου και εξόδου	%	25-50	Βασισμένο στο θεωρητικό μήκος
Χρόνος παραμονής σε παροχή αιχμής	s	15-90	Συνάρτηση της ταχύτητας και του μήκους του καναλιού
Ταχύτητα ροής	m/s	0,15-0,4	Βέλτιστη ταχύτητα 0,3 m/s

Πίνακας 6. Τυπικές τιμές σχεδιασμού για κανάλια οριζόντιας ροής.

2ος Τρόπος

Τετραγωνικοί αμμοσυλλέκτες οριζόντιας ροής: Η τροφοδότηση των λυμάτων γίνεται σε μια δεξαμενή καθίζησης με μικρό υδραυλικό χρόνο παραμονής ώστε στην περιοχή του πυθμένα να μεταφέρονται κυρίως τεμαχίδια τύπου άμμου. Στην περίπτωση αυτή δεν αποφεύγεται η καθίζηση και άλλων υλικών. Από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης παραλαμβάνεται η λάσπη η οποία περιέχει τόσο άμμο όσο και άλλα αιωρούμενα υλικά. Η άμμος διαχωρίζεται με πλύση της λάσπης σε κατάλληλες διατάξεις. Ουσιαστικά δηλαδή σχεδιάζουμε μια αρχική απομάκρυνση των εύκολα καθιζανόντων υλικών των λυμάτων και στην συνέχεια ακολουθεί διαχωρισμός της λάσπης που προκύπτει σε άμμο και σε αιωρούμενο υλικό.

3ος Τρόπος

Αεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες: Η τροφοδότηση των λυμάτων γίνεται με μικρό υδραυλικό χρόνο παραμονής σε μια βαθιά αεριζόμενη δεξαμενή. Καθώς τα λύματα διέρχονται από το ένα άκρο της δεξαμενής προς το άλλο, οι στοιχειώδεις όγκοι του υγρού, που περιέχονται στα τεμαχίδια άμμου, ακολουθούν μια σπειροειδή διαδρομή. Οι ταχύτητες που διαμορφώνονται πάνω στην σπειροειδή τροχιά οφείλονται στην κίνηση του υγρού από το άκρο εισόδου της δεξαμενής προς το άκρο εξόδου και στην παροχή αέρα (που όταν δεν υπάρχει ροή λυμάτων δια μέσου της δεξαμενής προκαλεί περιστροφική κίνηση των στοιχειωδών όγκων υγρού σε επίπεδα κάθετα προς την κατεύθυνση είσοδος-έξοδος). Με κατάλληλη γεωμετρία της δεξαμενής και ρύθμιση του υδραυλικού χρόνου παραμονής καθώς και της παροχής αέρα είναι δυνατός ο διαχωρισμός της άμμου με μεταφορά της στον πυθμένα, όπου εκεί

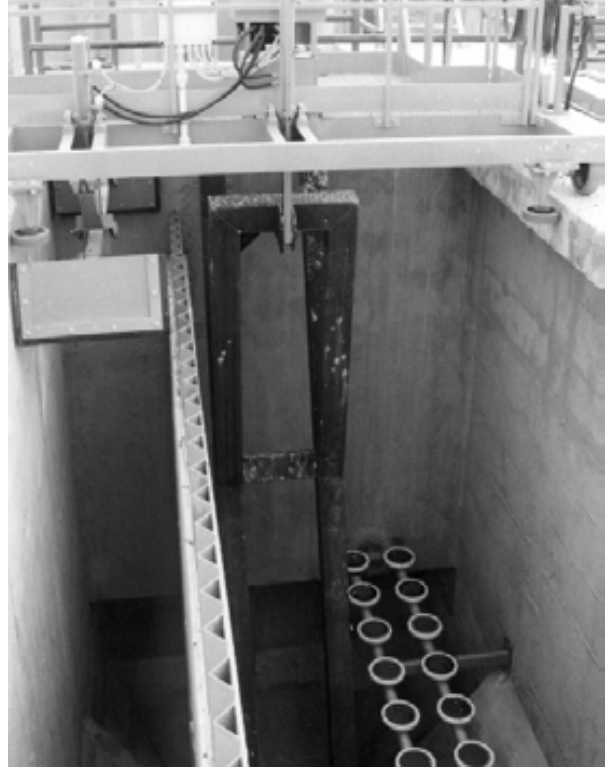
παραλαμβάνεται με συγκεκριμένες διατάξεις οριζόντιας προώθησης σε μια χοάνη συλλογής στον πυθμένα και στην συνέχεια οδηγείται η ανύψωση εκτός της δεξαμενής. Η άμμος που καθιζάνει στον πυθμένα δεν περιέχει αιωρούμενα οργανικά υλικά αφού οι συνθήκες ροής δεν επιτρέπουν την καθίζηση του αλλά διασφαλίζουν τον συμπαρασυρμό του εκτός δεξαμενής.

Πιο συγκεκριμένα έχουμε να κάνουμε με δεξαμενές με κατάλληλα διαμορφωμένο πυθμένα, για την απομάκρυνση της καθιζάνουσας άμμου. Επίσης υπάρχουν διαχυτές στη μία πλευρά του πυθμένα της δεξαμενής που διαχέουν αέρα με σκοπό τη δημιουργία σπειροειδούς ροής των υγρών, ώστε να διευκολυνθεί η εναπόθεση της άμμου. Τα βαρύτερα σωματίδια με τις ανταποκρινόμενες μεγαλύτερες ταχύτητες καθίζησης, καθιζάνουν, ενώ τα ελαφρύτερα οργανικά σωματίδια διατηρούνται σε αιώρηση και τελικά απομακρύνονται από τη δεξαμενή. Συνήθως, μία κινητή γέφυρα, κινείται κατά μήκος της δεξαμενής. Ένας σωλήνας, που κινείται μαζί με τη γέφυρα που το ένα άκρο του φτάνει μέχρι τον πυθμένα χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση της άμμου (Εικ. 4α). Χρόνος παραμονής σε αιχμή είναι 2-5 min (με τυπική τιμή 3 min). Το βάθος της δεξαμενής κυμαίνεται από 2,1 έως 4,9 m. Προτεινόμενη αναλογία διαστάσεων δεξαμενών είναι 4:1,5:1 για μήκος, πλάτος και ύψος αντίστοιχα (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).

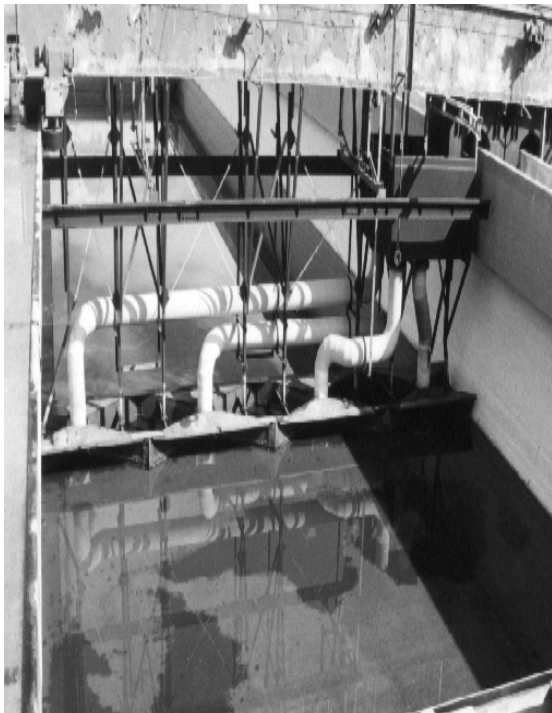
Στους αεριζόμενους αμμοσυλλέκτες, συνήθως διενεργείται και η απομάκρυνση λιπών. Για το λόγο αυτό, υπάρχει μηχανισμός αφαίρεσης επιπλέοντων προσκολλημένος στη γέφυρα, που αντλεί ή απομακρύνει επιφανειακά όλα τα επιπλέοντα σε ειδικό δοχείο αποβλήτων (Εικ. 4β).



(a)



(b)



(c)



(d)

Εικόνα 4. Αεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες (πάνω) εσωτερική όψη και (κάτω) μηχανισμός αφαίρεσης επιπλεόντων

4ος Τρόπος

Κυλινδρικοί ή κυκλικοί αμμοσυλλέκτες: Η τροφοδότηση των λυμάτων στην επιφανειακή περιοχή κατακόρυφων κυλινδρικών δεξαμενών όπου επικρατούν συνθήκες ροής που δεν παρεμποδίζουν την καθίζηση της άμμου, αλλά εμποδίζουν την καθίζηση των ελαφρότερων τεμαχιδίων αιωρούμενου υλικού, και έξοδο των λυμάτων από επιφανειακή περιοχή της δεξαμενής αφού όμως έχουν διαγράψει μια κυκλοειδή τροχιά που αντιστοιχεί περίπου στα $\frac{3}{4}$ μιας πλήρους περιστροφής. Οι συνθήκες αυτές ροής διαμορφώνονται είτε από γεωμετρία της δεξαμενής και τον τρόπο τροφοδότησης των λυμάτων (για παράδειγμα, εφαπτομενική τροφοδότηση των λυμάτων σε κυκλική δεξαμενή οπότε διαμορφώνονται συνθήκες στροβιλισμών από φυγοκεντρικές δυνάμεις) είτε με κατάλληλες μηχανικές διατάξεις που επιτυγχάνουν περιστροφική κίνηση του υγρού περιεχομένου που βρίσκεται προς την επιφάνεια της δεξαμενής και παράλληλα διασφαλίζονται συνθήκες ηρεμίας στην περιοχή που βρίσκεται προς τον πυθμένα της δεξαμενής.

4.6 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ

Η εξισορρόπηση έχει σαν στόχο να εξομαλύνει την διακύμανση της παροχής των λυμάτων ή τη διακύμανση στη συγκέντρωση διάφορων χαρακτηριστικών. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται κυρίως στην περιοδικότητα των καθημερινών δραστηριοτήτων του πληθυσμού ή και βιομηχανικά υγρά απόβλητα ή άλλου είδους εισροές (π.χ εισχωρήσεις και εισροές δια μέσου του δικτύου αποχέτευσης).

Η εξισορρόπηση έχει μεγαλύτερη εφαρμογή στην περίπτωση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων όπου δεν επιδιώκεται μόνο η εξομάλυνση της παροχής αλλά και η εξισορρόπηση για παράδειγμα του pH καθώς και της φόρτισης σε οργανικό υλικό και θρεπτικά συστατικά. Η εξισορρόπηση της παροχής είναι φυσικά απαραίτητη σε βιομηχανικές μονάδες που λειτουργούν 5 ημέρες την εβδομάδα. Στην περίπτωση αυτή η παροχή εξισορρόπησης ή ο συνολικός όγκος των αποβλήτων που παράγεται σε 5 ημέρες, ισοκατανέμεται επί 7 ημέρες καθώς τροφοδοτείται στην

εγκατάσταση επεξεργασίας. Επίσης όσον αφορά την αναγκαιότητα για εξισορρόπηση της φόρτισης του οργανικού υλικού ή της φόρτισης σε διάφορα χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι μια βιομηχανία υπάρχει περίπτωση στην διάρκεια της εβδομάδας να παράγει ρεύματα αποβλήτων με πολύ μεγάλη συγκέντρωση οργανικού υλικού ή άλλων χαρακτηριστικών για μικρές μόνο χρονικές περιόδους. Εάν τα παραπάνω ρεύματα τροφοδοτούνται απευθείας στην εγκατάσταση, τότε υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να προκληθούν προβλήματα. Εάν αυτό που είναι απαραίτητο να γίνει, είναι η εξισορρόπηση των αιχμών ώστε να μην προκύπτουν προβλήματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Η εξισορρόπηση αυτή επιτυγχάνεται με συγκέντρωση και παραμονή των υγρών αποβλήτων σε κατάλληλες δεξαμενές όπου η ανάμιξη με άλλους όγκους αποβλήτων που παρουσιάζουν μικρότερα επίπεδα συγκεντρώσεων έχει σαν αποτέλεσμα την άμβλυση των αιχμών.

Ο προσδιορισμός του απαιτούμενου όγκου της δεξαμενής εξισορρόπησης βασίζεται σε στοιχεία από την ωριαία διακύμανση της παροχής κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Αν, για παράδειγμα, για τις ώρες λειτουργίας της εγκατάστασης $h=8$ η παροχή είναι $Q=9000\text{m}^3$

Ο υπολογισμός του όγκου δεξαμενής γίνεται ως εξής:

Παροχή $Q = 9000 \text{ m}^3/\text{d}$

Χρόνος λειτουργίας $t = 8 \text{ h}$

Όγκος δεξαμενής $V = Q \cdot (t/24) = 3000 \text{ m}^3$

Η δεξαμενή που θα χρησιμοποιηθεί για το σκοπό θα πρέπει να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και διαστάσεων ($M \cdot \Pi \cdot Y = 3,5 \cdot 30 \cdot 30$), ώστε να υπερκαλύπτει την απαίτηση.

4.7 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

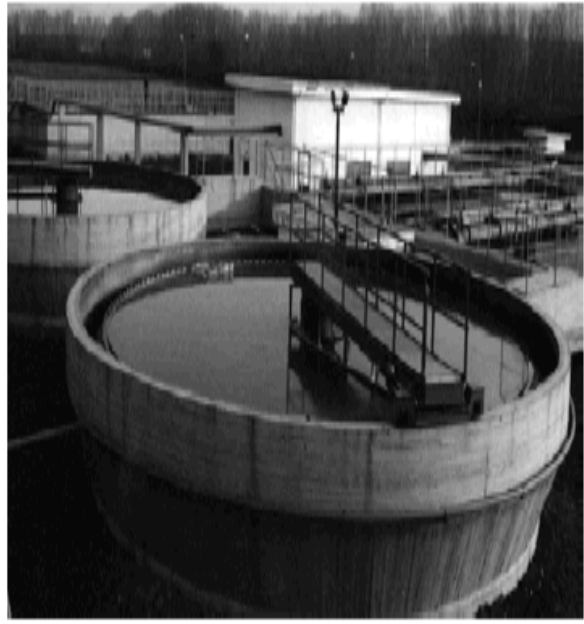
Τα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί εσχάρωση και αμμοσυλλογή είναι απαλλαγμένα από τα περισσότερα μεγάλα σωματίδια και επιπλέοντα. Υπάρχουν

όμως ακόμα σε αιώρηση οργανικά και ανόργανα καθιζάνοντα σωματίδια. Με απομάκρυνση αυτών των σωματιδίων πριν τη βιολογική επεξεργασία, επιτυγχάνεται μείωση BOD₅ κατά 25-40% και των SS (αιρουμένων στερεών) κατά 50-70%. Η καθίζηση είναι μια διαδικασία καθαρισμού των υγρών αποβλήτων που μπορεί να αφαιρέσει τα σωματίδια με ειδικό βάρος μεγαλύτερο του νερού. Βασίζεται στο γεγονός ότι αυτά, εάν αφεθούν σε ηρεμία, θα αρχίσουν να καθιζάνουν. Έτσι μετά από κάποιο χρόνο θα σχηματίσουν ίζημα στο πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Το ίζημα αυτό, που ονομάζεται ιλύς ή λάσπη, μπορούμε να το μαζέψουμε διακόπτοντας τη λειτουργία της δεξαμενής και αδειάζοντάς την. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους για τους οποίους κατασκευάζουμε συνήθως 2 ή περισσότερες δεξαμενές καθίζησης σε μια ΜΕΛ. Η αφαίρεση της λάσπης μπορεί να γίνει και με αντλία στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Η διαδικασία είναι αρκετά αποδοτική και η απομάκρυνση των σωματιδίων εξαρτάται από την ώρα που αφήνουμε το αιώρημα σε ηρεμία. Τα πλεονεκτήματα της απομάκρυνσης αυτής πριν τη βιολογική επεξεργασία είναι ότι μειώνονται τα βιολογικά φορτία στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, μειώνεται ο όγκος αντιδραστήρων και συνεπώς, η συνολική κατανάλωση ενέργειας στο έργο.

Επιπλέον, μειωμένα οργανικά φορτία συνεπάγονται λιγότερη παραγωγή ιλύος το οποίο με τη σειρά του απαιτεί μικρότερες δεξαμενές αερισμού. Αποτέλεσμα των παραπάνω πλεονεκτημάτων, είναι ότι η πρωτοβάθμια απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών εφαρμόζεται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων με την προϋπόθεση ότι το επιπλέον κόστος της κατασκευής της αντισταθμίζεται από τα οφέλη που προαναφέρθηκαν. Αυτό όμως εξαρτάται από το σύστημα επεξεργασίας, το μέγεθος της μονάδας και τα στοιχεία σχεδιασμού. Η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών διενεργείται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Αυτές είναι κυρίως ορθογώνιες ή κυκλικές (Εικόνα 5).



(α)

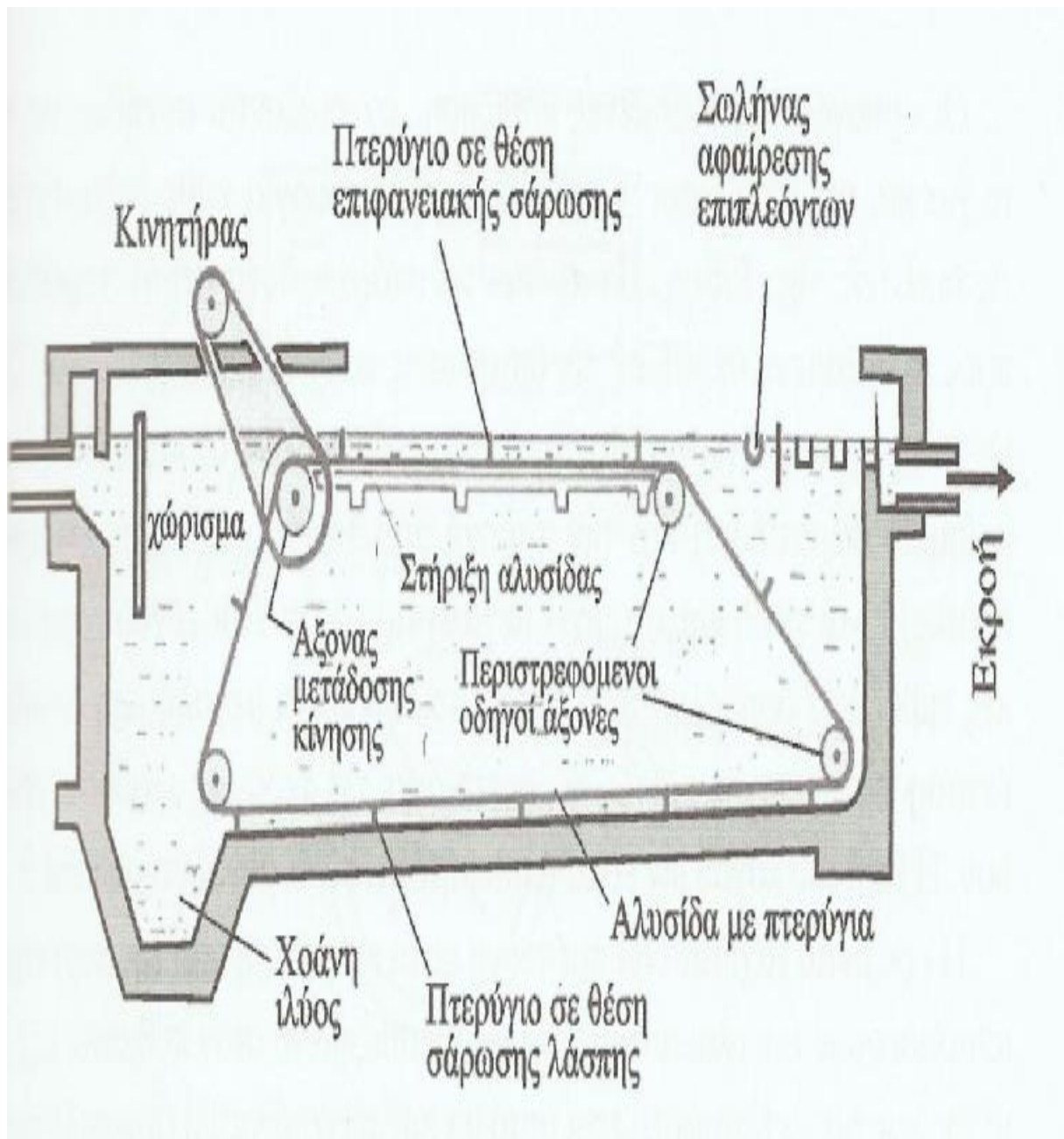


(β)

Εικόνα 5: Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (αριστερά) ορθογώνια και (δεξιά) κυκλική.

4.7.1 Ορθογώνιες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Οι ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης διαθέτουν γέφυρα που κινείται από άκρο σε άκρο κατά μήκος της δεξαμενής. Επίσης διαθέτουν κατάλληλο μηχανισμό για την παράσυρση και απομάκρυνση της ιλύος από τον πυθμένα της δεξαμενής. Τελευταία, χρησιμοποιούνται πτυσσόμενα ελάσματα, στερεωμένα σε συρόμενη αλυσίδα συλλογής. Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται από το ένα άκρο της δεξαμενής και εξέρχονται από το άλλο. Με βάση τη μέση παροχή σχεδιασμού, ο χρόνος παραμονής λαμβάνει τιμές από 1,5-2,5 h (με τυπική τιμή 2 h). Το μήκος κυμαίνεται από 15,2 έως 91,4 m (με τυπικό εύρος 24,4-39,6 m), πλάτος από 3 έως 24,4 m (με τυπικό εύρος 4,9-9,8 m) και βάθος από 3,0- 4,6 m (με τυπική τιμή 3,7 m). Η ροή των υγρών είναι οριζόντια. Το άκρο εισροής είναι βαθύτερο σε σχέση αυτό της εκροής, επειδή η περισσότερη ιλύς καθιζάνει σε αυτό το σημείο. Συνήθως υπάρχει μηχανισμός απομάκρυνσης επιπλεόντων, προσκολλημένος στην κινητή γέφυρα.



Σχήμα 4: Σχηματικό διάγραμμα ορθογωνικής δεξαμενής οριζόντιας ροής που φέρει διάταξη αλυσίδας με πτερύγια για την σάρωση της λάσπης στον πυθμένα.

4.7.2 Κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται από το κέντρο της δεξαμενής και εξέρχονται από τον υπερχειλιστή κατά μήκος της περιφέρειας στην επιφάνεια της δεξαμενής. Η γέφυρα κινείται κυκλικά, έχοντας στο ένα άκρο αρθρωμένο στο κέντρο της δεξαμενής και το άλλο να κινείται περιφερειακά σε τροχό. Στη γέφυρα υπάρχει ένας ενσωματωμένος μηχανισμός, που σαρώνει την επιφάνεια του πυθμένα, κωνικής μορφής με εσωτερική ελαφριά κλίση, ώστε να διευκολύνεται η συγκέντρωση ιλύος στο κέντρο του πυθμένα. Με βάση τη μέση παροχή σχεδιασμού, ο χρόνος παραμονής λαμβάνει τιμές από 1,5 έως 2,5 h (με τυπική τιμή 2 h). Η διάμετρος λαμβάνει τιμές από 3 έως 61 m (με τυπικό εύρος 12,2-45,7 m) και βάθος από 3-4,6 m (με τυπική τιμή 3,7 m). Η ροή στην κυκλική δεξαμενή είναι αξονική. Συνήθως, υπάρχει μηχανισμός για την απομάκρυνση επιπλεόντων σωματιδίων.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή Πρωτοβάθμιας Ιλύος(Λάσπης) και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή, που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία.

Αν η Μ.Ε.Λ. έχει μόνο πρωτοβάθμια επεξεργασία αυτή συμπληρώνεται με κάποια μορφή απολύμανσης (disinfection), π.χ. χλωρίωση, για την καταστροφή των βακτηρίων και για έλεγχο των οσμών.

4.8 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

4.8.1 Αποδόμηση αιωρούμενης βιομάζας

Τα συστήματα αιωρούμενης βιομάζας, είναι αυτά της ενεργού ιλύος. Στα συστήματα αυτά οργανικές ουσίες σε αιώρηση, που περιέχονται στα υγρά απόβλητα μετατρέπονται σε βιολογικά και οργανικά στερεά. Οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν την οργανική ουσία ή άλλα συστατικά των υγρών αποβλήτων σε αέρια και κυτταρικό ιστό.

Αερόβια βιολογική επεξεργασία, πραγματοποιείται στις δεξαμενές αερισμού. Εκεί, οι μικροοργανισμοί τροφοδοτούνται με οργανική ουσία και οξυγόνο. Αναπτύσσονται σε συσσωματίδια (flocks) και απομακρύνονται συνεχώς από τον αντιδραστήρα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, εξαιτίας της συνεχούς τροφοδοσίας με υγρά απόβλητα. Στις δεξαμενές τελικής καθίζησης, ενσωματώνονται και καθιζάνουν υπό συνθήκες ηρεμίας.

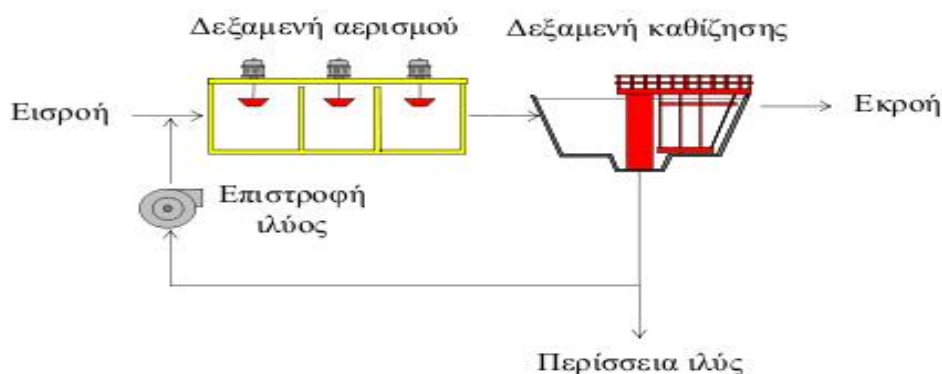
Χαρακτηριστικό των περισσότερων συστημάτων ενεργού ιλύος είναι ότι μέρος της καθιζάνουσας ιλύος ανακυκλώνεται πίσω στη δεξαμενή αερισμού, για να παρέχει την επιθυμητή σχέση οργανικής ουσίας/μικροοργανισμών. Η περίσσεια των στερεών υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία (Horan, 1990). Όπως συνοψίζεται από τους Grady et al. (1999), τέσσερις παράμετροι είναι κοινοί σε όλα τα συστήματα ενεργού ιλύος:

(α) Μία ενσωματωμένη μάζα μικροοργανισμών με ανάμεικτο υγρό αιωρούμενων στερεών (mixed liquor suspended solids: MLSS), που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση διαλυτής και αιωρούμενης οργανικής ουσίας από τα υγρά απόβλητα.

(β) Η καθίζηση που σε συνθήκες ηρεμίας για την απομάκρυνση του MLSS από τη γραμμή υγρών, παράγοντας εκροή, που περιέχει χαμηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.

(γ) Τα καθιζάνοντα στερεά της δεξαμενής καθίζησης, ανακυκλώνονται ως συγκεντρωμένο συσσωμάτωμα, που περιέχει και μικροοργανισμούς πίσω στον βιολογικό αντιδραστήρα.

(δ) Η περίσσεια καθιζάνοντων στερεών απομακρύνεται, ώστε να διατηρείται ο χρόνος παραμονής ιλύος (solids retention time: SRT) στο επιθυμητό επίπεδο. Ένας τυπικός αντιδραστήρας ενεργού ιλύος φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Σχηματικό διάγραμμα ροής αντιδραστήρα ενεργού ιλύος.

4.8.2 Αερισμός.

Στις δεξαμενές αερισμού διενεργείται τροφοδοσία οξυγόνου. Σύμφωνα με τον τρόπο τροφοδοσίας του αέρα στο υγρό, διακρίνονται συστήματα διάχυσης αέρα ή συστήματα επιφανειακού αερισμού. Η διάχυση του αέρα διενεργείται διαμέσου των διαχυτών και χαρακτηρίζονται πορώδης και μη πορώδης. Ο επιφανειακός αερισμός, μπορεί να διακριθεί σε αερισμό κατακόρυφου ή οριζόντιου άξονα, ανάλογα με το είδος του μηχανισμού αερισμού. Μια παράμετρος αποδοτικότητας, που χρησιμοποιείται για την απόδοση του μηχανισμού αερισμού, είναι η ποσότητα οξυγόνου (kg O_2), που παράγεται ανά kWh. Οι WEF και ASCE (1998), αναφέρουν τη θεωρητική απόδοση καθαρού νερού για διάφορα συστήματα αερισμού (Πίνακας 7). Η γεωμετρία της δεξαμενής είναι σημαντική και σχετίζεται με το σύστημα αερισμού.

Τύπος εξοπλισμού	Θεωρητική απόδοση σε καθαρό νερό ($\text{kg O}_2 / \text{kWh}$)
Διάχυση αέρα	
Πορώδεις διαχυτές	1,9-6,6
Μη πορώδεις διαχυτές	1,3-1,9
Επιφανειακός αερισμός	
Ακτινωτή ροή χαμηλής ταχύτητας (20-100 r/min)	1,5-2,1
Αξονική ροή υψηλής ταχύτητας (900-1800 r/min)	1,1-1,4
Οριζόντιος στροφέας	1,5-2,1
Αναρρόφηση	0,5-0,8

Πίνακας 7. Θεωρητική απόδοση σε καθαρό νερό για διαφορετικά συστήματα αερισμού (WEF and ASCE, 1998)

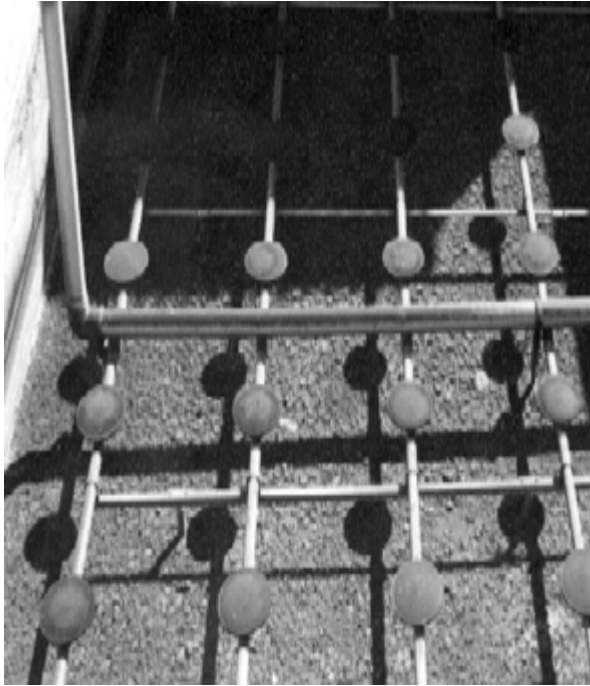
ΕΙΔΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

4.8.3 Αερισμός με διάχυση

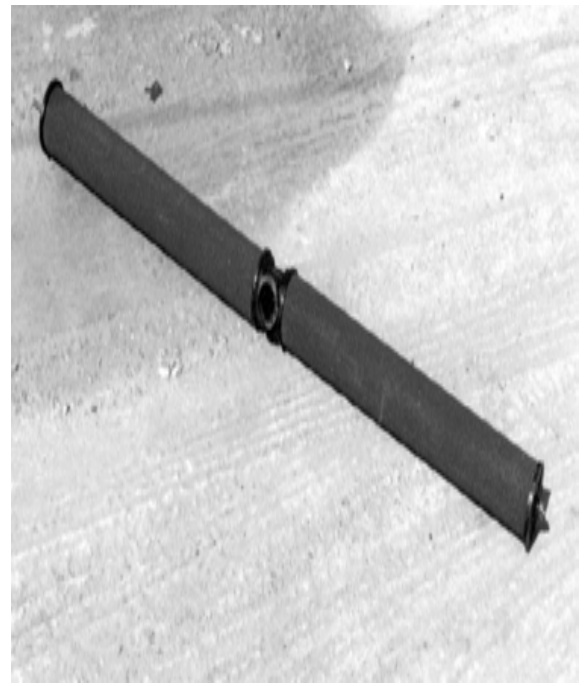
Ο αερισμός με διάχυση χρησιμοποιεί αέρα ή οξυγόνο. Το αέριο δημιουργείται και προωθείται με αεριστήρες (blowers) (Εικ. 6). Η τροφοδοσία γίνεται διαμέσου αγωγών στον πυθμένα, ή πολύ κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής αερισμού. Εκεί, οι διαχυτές μπορεί να παρέχουν φυσαλίδες μικρού, μέσου ή μεγάλου μεγέθους. Όσο πιο μικρή είναι η φυσαλίδα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενεργή επιφάνεια και επομένως μεγαλύτερη η απόδοση του συστήματος, με τίμημα το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Πολλά είδη διαχυτών έχουν αναπτυχθεί όπως είναι: κεραμικοί, με μεμβράνες, πορώδεις δίσκοι, πορώδεις πλάκες και πορώδεις σωλήνες (Εικ. 7).



Εικόνα 6. Αεριστήρες περιστρεφόμενων λαβών για την τροφοδοσία αέρα



(α)



(β)



(γ)

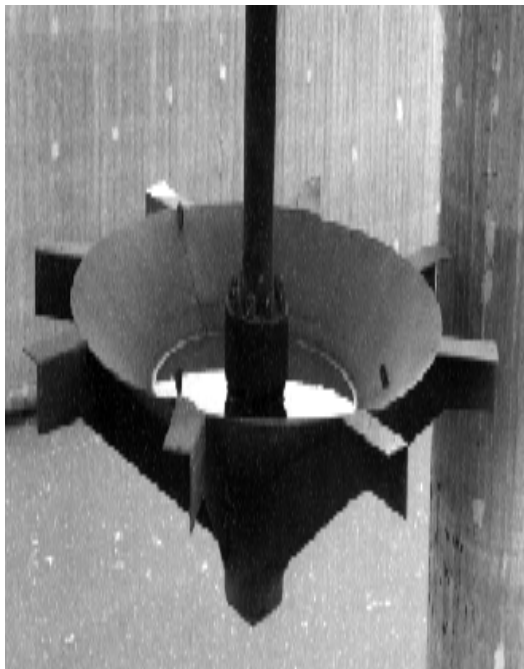


(δ)

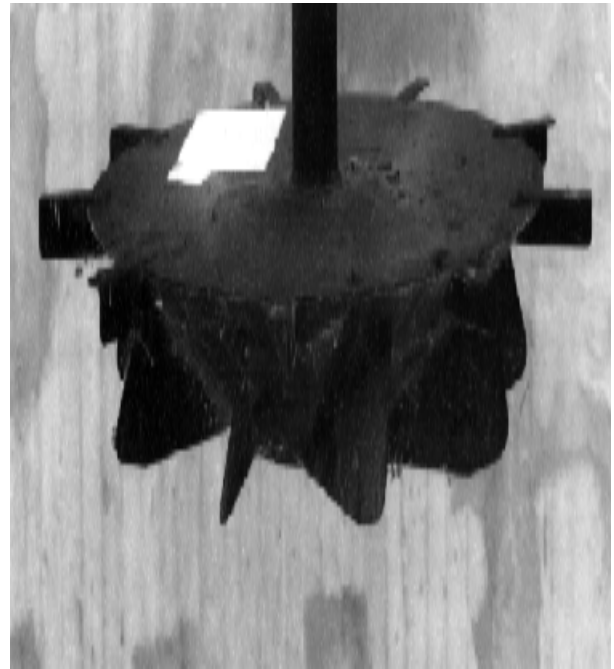
Εικόνα 7. Διάφορα είδη διαχυτών και διατάξεων: (α) δίσκοι με μεμβράνες, (β) κεραμικοί σωλήνες, (γ) πορώδεις πλαστικοί σωλήνες και (δ) ελικοειδούς ροής

4.8.4 Επιφανειακός αερισμός

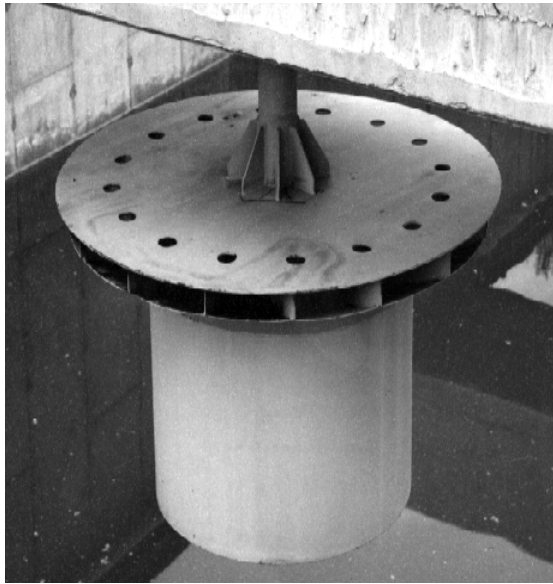
Οι αεριστήρες κατακόρυφου άξονα, αποτελούνται από μερικώς εμβυθισμένες προπέλες, που κινούνται με μοντέρ. Μπορεί να είναι χαμηλής ή υψηλής ταχύτητας, σταθεροί ή επιπλέοντες (Εικ. 8 και 9). Οι αεριστήρες οριζόντιου άξονα (ρότορες) είναι μερικώς εμβυθισμένοι στο υγρό και αποτελούνται από οριζόντιο άξονα με πέταλα προσαρμοσμένα επάνω σε αυτόν (Εικ. 10). Το βάθος της δεξαμενής σχετίζεται με το είδος του αεριστήρα.



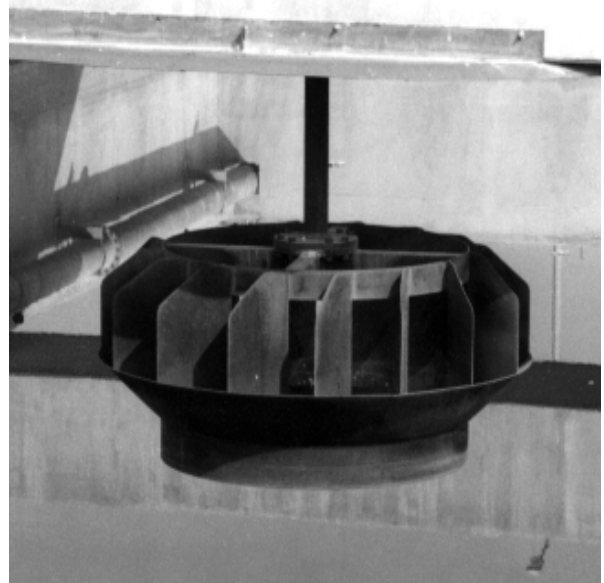
(α)



(β)



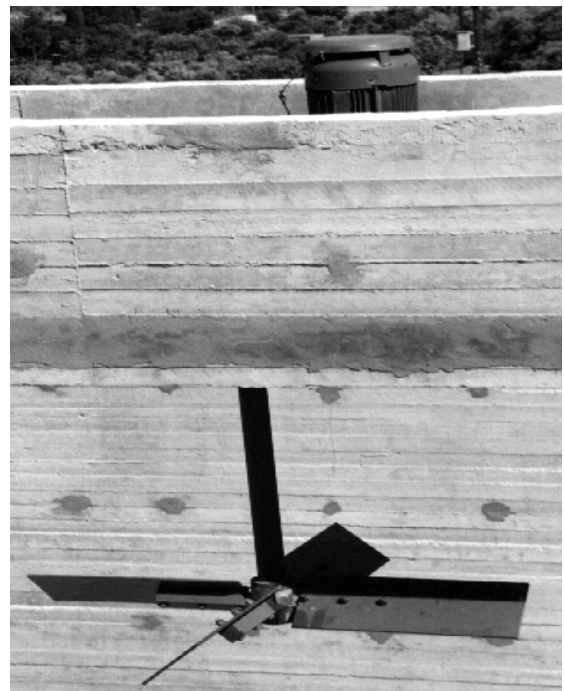
(γ)



(δ)



(α)



(β)

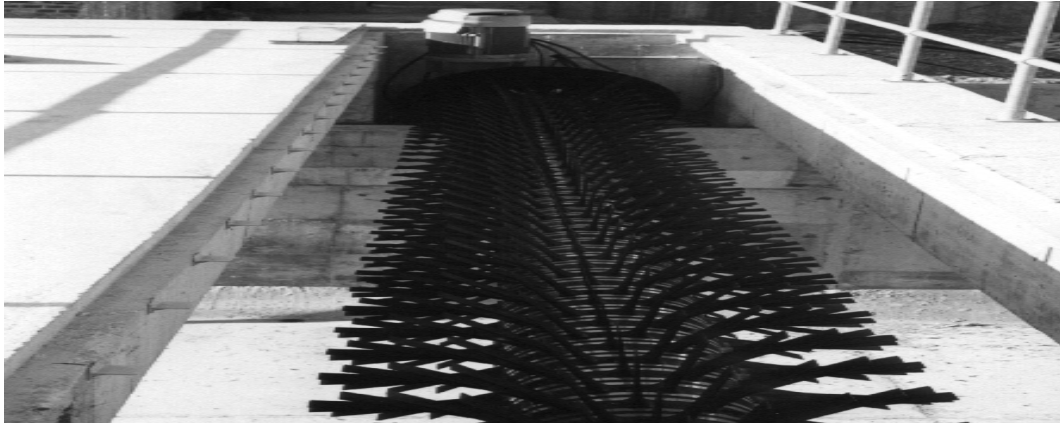
Εικόνα 8. Διάφορα είδη επιφανειακών αεριστών κατακόρυφης ροής



Εικόνα 9. Επιπλέοντας αεριστήρας αεριζόμενης λίμνης

4.8.5 Είδη δεξαμενών αερισμού

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι δεξαμενών αερισμού είναι οι ορθογώνιες δεξαμενές, οξειδωτικοί τάφροι και παραλλαγές αυτών. Από τις πιο παλαιές και διαδεδομένες δεξαμενές είναι η οξειδωτική τάφρος (Εικ. 11α) με ρότορες οριζόντιου άξονα. Η δεξαμενή Carrousel είναι μία τροποποίηση της οξειδωτικής τάφρου. Αυτό το σύστημα έχει όμως αεριστήρες κατακόρυφης ροής και μεγάλους χρόνους παραμονής των υγρών για την επίτευξη απονιτροποίησης (Εικ. 11β). Οι ορθογώνιες δεξαμενές αερισμού είναι αρκετά συνήθης και έχουν επιφανειακούς αεριστήρες κατακόρυφης ροής ή διάχυση αέρα (Εικ. 11γ και δ). Το βάθος των οξειδωτικών τάφρων κυμαίνεται από 0,9 έως 5,5 m (WEF and ASCE, 1998). Τυπικό βάθος νερού για τις άλλες δεξαμενές επιφανειακού αερισμού κυμαίνεται από 3,0 έως 6,1 m (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).



(α)



(β)

Εικόνα 10. Επιφανειακοί αεριστήρες οριζόντιας ροής



(α)



(β)



(γ)



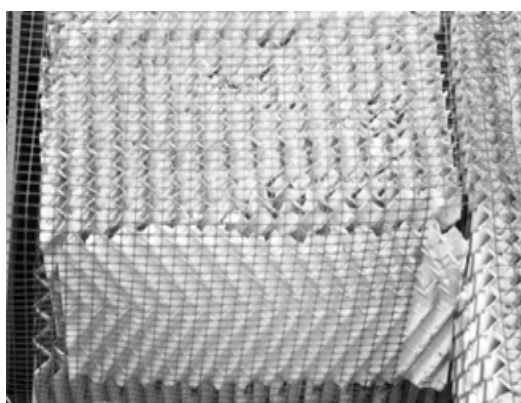
(δ)

Εικόνα 11. Τύποι δεξαμενών αερισμού: (α) οξειδωτική τάφρος, (β) Carrousel, (γ) ορθογώνια με αεριστήρα κατακόρυφης ροής και (δ) ορθογώνια με διάχυση αέρα

4.8.6 Αποδόμηση προσκολλούμενης βιομάζας

Βασικό τμήμα των συστημάτων προσκολλούμενης βιομάζας είναι το μέσο προσκόλλησης, που αναπτύσσονται τα βιολογικά συσσωματώματα. Αυτό το μέσο μπορεί να είναι σταθερό ή περιστρεφόμενο σε δεξαμενή. Διαλυμένοι μικροοργανισμοί μεταφέρονται στα συσσωματώματα πάνω στο υλικό προσκόλλησης, όπου πραγματοποιείται η βιολογική οξείδωση. Τα οργανικά συστατικά απομακρύνονται από το βιολογικό φιλμ, που εμπεριέχει διάφορους μικροοργανισμούς.

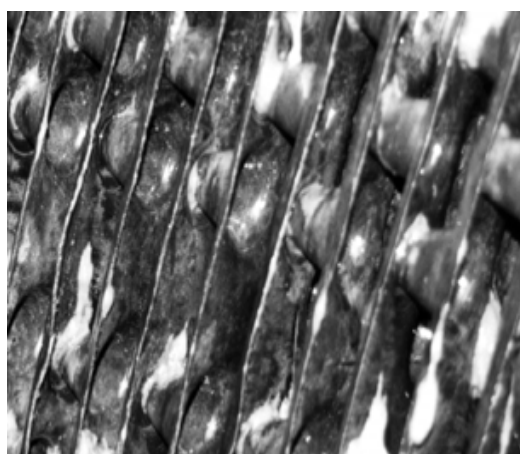
Σταλακτικά φίλτρα και περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating biological conductors: RBC) είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα προσκολλούμενης βιομάζας. Το μέσο προσκόλλησης μπορεί να είναι θρυμματισμένος βράχος, κροκάλες, πλαστικό, γρανίτης, ή άλλα υλικά (Εικ. 12).



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 12. Μέσο προσκόλλησης βιομάζας για διαφορετικά συστήματα: (α) σταλακτικά φίλτρα και (β): RBC

4.8.7 Δευτεροβάθμιος διαχωρισμός στερεών

Μετά τη βιολογική αποδόμηση, η εκροή εισέρχεται στις δεξαμενές καθίζησης, όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός στερεών από υγρά. Η ιλύς καθιζάνει, ενώ διαχωρίζεται από το υπερκείμενο υγρό. Οι μικροοργανισμοί ενσωματώνονται και καθιζάνουν, παρασύροντας αιωρούμενα στερεά μαζί τους, στον πυθμένα. Σε ορισμένα συστήματα μέρος αυτής της (ενεργού) ιλύος επιστρέφεται στη δεξαμενή αερισμού, ενώ η περίσσεια προωθείται για περαιτέρω επεξεργασία μετά τη συγκέντρωση της στον πυθμένα της δεξαμενής (Εικ. 13α).

Το υπερκείμενο νερό διαφεύγει επιφανειακά διαμέσου του υπερχειλιστή για περαιτέρω καθαρισμό, απολύμανση ή διάθεση. Συνήθως στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης υπάρχουν μηχανισμοί απομάκρυνσης επιπλεόντων (Εικ. 13β). Οι δεξαμενές καθίζησης, μπορεί να είναι κυκλικές, τετράγωνες, ορθογώνιες, Dortmund ή άλλες (Εικ. 14). Αυτές λειτουργούν παρόμοια με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Σε μηχανικά συστήματα είναι σημαντική η ύπαρξη περισσότερων της μίας δεξαμενής, ώστε να είναι εύκολη η συντήρηση στην περίπτωση βλάβης. Τιμές υπερχείλισης βασισμένες στη μέση παροχή για συστήματα παρατεταμένου αερισμού μπορεί να κυμαίνονται από 8,1 έως 16,3 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$; ενώ για τα υπόλοιπα συστήματα ενεργού ιλύος μπορεί να κυμαίνονται από 16,3 έως 32,6 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$. Με βάση την ωριαία παροχή αιχμής, τιμές υπερχείλισης μπορεί να κυμαίνονται από 14,4 έως 32,6 και 40,7 έως 48,8 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$, αντίστοιχα (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).



(α)



(β)

Εικόνα 13.

Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης: (α) απομάκρυνση πλεονάζουσας ιλύος και (β) μηχανισμός απομάκρυνσης επιπλεόντων Κυλικές. Οι κυκλικές δεξαμενές καθίζησης είναι οι πιο διαδεδομένες (Εικ. 4.15α και β). Η διάμετρος κυμαίνεται από 3 έως 60 m με πιο κοινό εύρος περίπου 10-40 m. Το βάθος των δεξαμενών κυμαίνεται από 3,7 έως 6,1 m. Η ακτίνα δε θα πρέπει, κατά προτίμηση, να υπερβεί κατά πέντε φορές το πλευρικό βάθος νερού (Metcalf and Eddy, Inc., 1991).

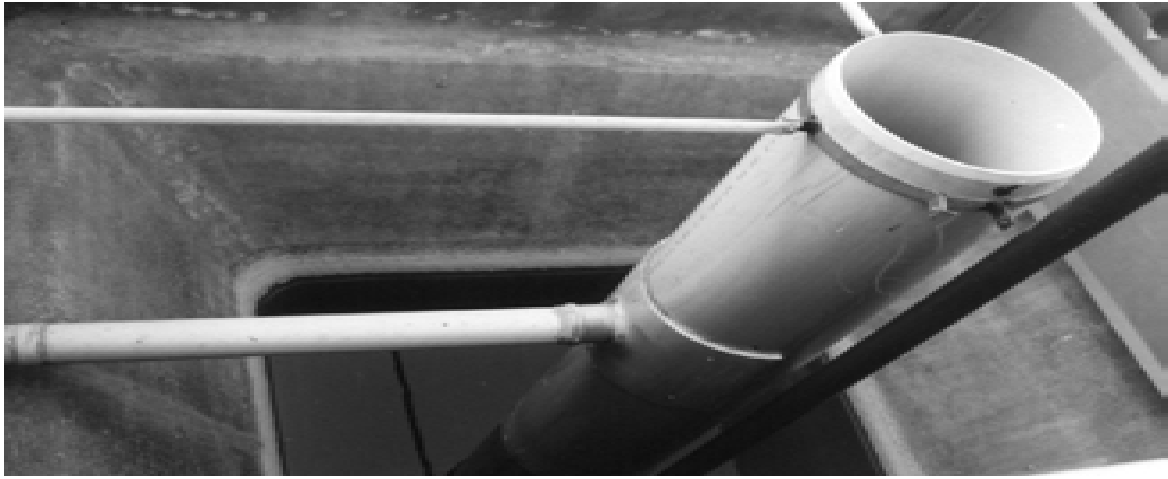
Οι WEF and ASCE (1998), σχετίζουν και το πλευρικό βάθος υγρών με την διάμετρο της δεξαμενής (Πίνακας 8).



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 14. Δεξαμενές τελικής καθίζησης: (α) κυκλικές, (β) ξύστης λάσπης, (c) Dortmund και (δ) ορθογωνική

Πίνακας 8. Πλευρικά βάθη για δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (WEF and ASCE, 1998)

Διάμετρος δεξαμενής (m)	Πλευρικό βάθος	
	Ελάχιστο	Προτεινόμενο
Μέχρι 12.2	3.0	3.7
12.2 - 21.3	3.4	3.7
21.3 - 30.5	3.7	4.0
30.5 - 42.7	4.0	4.3
> 42.7	4.3	4.6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΕΚΡΟΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Ο στόχος της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε αποδεκτά επίπεδα, ώστε η διάθεση των υγρών αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες να μην δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον. Σημαντική μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών επιτελείται και στις διαδικασίες επεξεργασίας που περιγράφηκαν σε προηγούμενα Κεφάλαια. Για παράδειγμα το σύστημα της ενεργού ιλύος επιτυγχάνει συνήθως απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών της τάξης από 90 έως 99 %, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα να κυμαίνεται από 105 έως 106 FC/100 ml. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων και τη πρόσθετη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, είναι σκόπιμο να εξετάζεται ανά περίπτωση ανάλογα με τα έργα διάθεσης των εκροών και τα χαρακτηριστικά του υδάτινου αποδέκτη. Στη περίπτωση διάθεσης των υγρών αποβλήτων στην ανοικτή θάλασσα, η απολύμανση των υγρών αποβλήτων είναι συχνά περιττή καθώς εξαιτίας της αραίωσης και της φυσικής φθοράς των μικροοργανισμών, οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά χαμηλές, ώστε να μη δημιουργούν κινδύνους μετάδοσης ασθενειών. Απολύμανση των εκροών υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη όμως, στις περιπτώσεις διάθεσης των υγρών αποβλήτων σε κλειστά υδάτινα σώματα, καθώς και στη περίπτωση επαναχρησιμοποίησης τους.

Απολύμανση των υγρών αποβλήτων επιτυγχάνεται κατά κανόνα με εφαρμογή φυσικών ή χημικών μεθόδων, όπως χλωρίωση, οζόνωση ή υπεριώδη ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού είναι:

- (α) υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης παθογόνων μικροοργανισμών,
- (β) χαμηλή δραστηριότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και χαμηλή παραγωγή επικίνδυνων παραπροϊόντων,

- (γ) χαμηλό κόστος λειτουργίας και μικρές απαιτήσεις συντήρησης,
- (δ) μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση του
- (ε) εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό και
- (στ) χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι παραπάνω ιδιότητες δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα απολυμαντικό, όμως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων.

Ο ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα (όπως είναι οι ιοί, τα βακτήρια και τα παράσιτα), εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- (α) το είδος του μικροοργανισμού,
- (β) το είδος, τις ιδιότητες και τη δόση του απολυμαντικού μέσου,
- (γ) το χρόνο έκθεσης των μικροοργανισμών στο απολυμαντικό μέσο,
- (δ) τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής απολύμανσης και
- (ε) τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εκροών των υγρών αποβλήτων (όπως οργανικό φορτίο, αμμωνιακό άζωτο, συγκέντρωση στερεών, θολότητα, απορροφητικότητα σε 254 nm, pH και θερμοκρασία).

Στην συνέχεια θα γίνει περιγραφή μόνο της μιας (χλωρίωσης) από τις τρεις συνηθέστερες εφαρμοζόμενες μεθόδων απολύμανσης των υγρών αποβλήτων (δηλαδή της χλωρίωσης, της οζόνωσης και της υπεριώδους ακτινοβολίας), με στόχο τη διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας και την επισήμανση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της.

5.2 Απολύμανση Υγρών Αποβλήτων με Χλωρίωση

Μορφές χλωρίου - χημεία χλωρίωσης

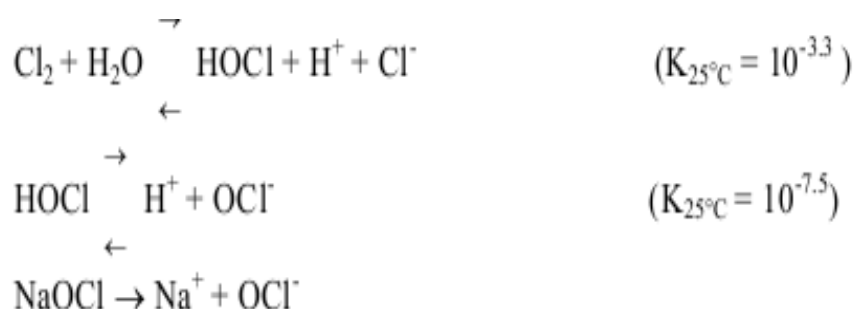
Η απολύμανση των εκροών των υγρών αποβλήτων με χλώριο επιτελείται συνήθως με αέριο χλώριο (Cl_2), διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) ή με τη μορφή διαλυμάτων υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) και υποχλωριώδους ασβεστίου (Ca(OCl)_2). Η μικροβιοκτόνα δράση του ελεύθερου χλωρίου συνίσταται κυρίως στην αναχαίτιση και καταστροφή σημαντικών ενζύμων. Το διοξείδιο του χλωρίου πρέπει να παρασκευάζεται επιτόπου και να χρησιμοποιείται άμεσα στην εγκατάσταση

επεξεργασίας, γιατί είναι ιδιαίτερα ασταθές και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 30% είναι εκρηκτικό. Το αέριο χλώριο είναι πρασινοκίτρινο και συνήθως μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις υπό πίεση σε μεταλλικούς κυλίνδρους των 1000 kg ή με βυτία χωρητικότητας μέχρι 50 τόνων. Το αέριο χλώριο είναι ιδιαίτερα δραστικό και επικίνδυνο. Έκθεση επί 30 έως 60 min σε ατμοσφαιρικό αέρα, που περιέχει από 40 έως 60 ppm χλωρίου είναι επικίνδυνη και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (περίπου 1000 ppm), είναι θανατηφόρο. Το υποχλωριώδες νάτριο προσκομίζεται στις εγκαταστάσεις σε διάλυμα, που περιέχει συνήθως από 12 έως 15% ελεύθερο χλώριο και αποθηκεύεται σε δεξαμενές ανθεκτικές στη διάβρωση. Στις Η.Π.Α. η χρήση αερίου χλωρίου ή διοξειδίου του χλωρίου είναι απαγορευμένη σε μεγάλες πόλεις, εξαιτίας της υψηλής τοξικότητας των αερίων αυτών (Metcalf & Eddy, Inc., 1991). Στην Ελλάδα η απολύμανση με χλώριο επιτελείται συνήθως με υποχλωριώδες νάτριο ή με αέριο χλώριο.

Η απολυμαντική δράση του χλωρίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες κυριότεροι εκ των οποίων είναι:

- (α) η μικροβιοκτόνα δράση του υπολειμματικού χλωρίου,
- (β) οι μορφές του υπολειμματικού χλωρίου,
- (γ) η αρχική ανάμιξη του χλωρίου με τα υγρά απόβλητα,
- (δ) ο χρόνος επαφής, (ε) τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων (όπως συγκέντρωση στερεών και η παρουσία οξειδώνσιμων ουσιών) και
- (ζ) η γεωμετρία της δεξαμενής απολύμανσης.

Στο νερό το χλώριο υδρολύεται σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις σε υποχλωριώδες οξύ (HOCl) και υποχλωριώδες ρίζα (OCl⁻) (Snoeyink & Jenkins, 1980):

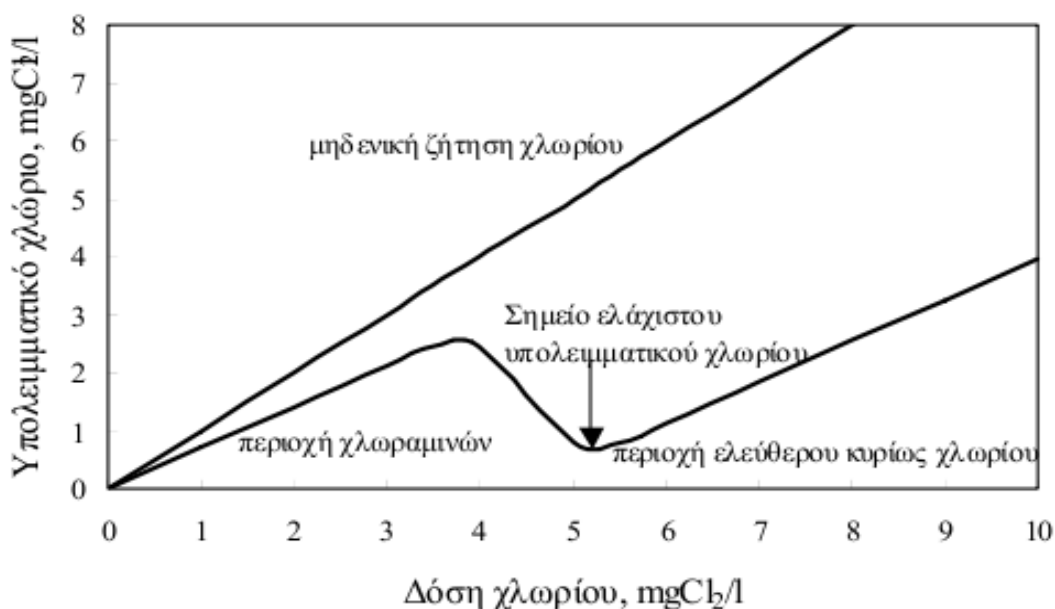


Με βάση τις ανωτέρω αντιδράσεις η χρήση του αερίου χλωρίου επιφέρει κάποια μείωση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων λόγω παραγωγής 1 mole οξέος

ανά mole Cl_2 , ενώ αντίστοιχα η χρήση υποχλωριώδους νατρίου επιφέρει αύξηση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων.

Το υποχλωριώδες οξύ και η υποχλωριώδης ρίζα αποτελούν το ελεύθερο χλώριο. Η κατανομή του ελεύθερου χλωρίου μεταξύ των δύο ενώσεων έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι το υποχλωριώδες οξύ έχει από 60 έως 100 φορές ισχυρότερη μικροβιοκτόνα δράση από την υποχλωριώδη ρίζα. Αύξηση του pH έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ποσοστού του υποχλωριώδους οξέος, με συνέπεια την αντίστοιχη μείωση της απολυμαντικής δράσης της χλωρίωσης. Για παράδειγμα η αύξηση του pH διαλύματος από 6 σε 7,5, 8,5 και 9,5 έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της μικροβιοκτόνου δράσης κατά 50%, 90% και 99%, αντίστοιχα.

Τα ανεπεξεργαστα και τα επεξεργασμένα, αλλά μη νιτροποιημένα υγρά απόβλητα, περιέχουν σημαντικές ποσότητες αμμωνιακού αζώτου, που αντιδρά με το ελεύθερο χλώριο και σχηματίζει χλωραμίνες με συνηθέστερα προϊόντα τη μονοχλωραμίνη (NH_2Cl) και τη διχλωραμίνη ($NHCl_2$). Το χλώριο που βρίσκεται σε αυτή τη μορφή ονομάζεται ενωμένο χλώριο και έχει εξίσου ισχυρή μικροβιοκτόνα δράση, που όμως ο ρυθμός εξουδετέρωσης των μικροοργανισμών είναι χαμηλός. Το άθροισμα του ελεύθερου και ενωμένου χλωρίου ονομάζεται ολικό διαθέσιμο χλώριο ή υπολειμματικό χλώριο.



Σχήμα 6. Μεταβολή υπολειμματικού χλωρίου κατά την απολύμανση υγρών αποβλήτων που περιέχουν αμμωνιακό άζωτο (WEF, 1996).

Με την εφαρμογή χλωρίου σε δείγμα εκροών υγρών αποβλήτων η αρχική ποσότητα του χλωρίου καταναλώνεται για την οξείδωση ορισμένων ανοιγμένων ουσιών που περιέχονται σε αυτές (όπως Fe⁺², Mn⁺² και HS⁻), με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του ολικού διαθέσιμου χλωρίου να είναι μηδενική. Συνεχιζόμενη προσθήκη χλωρίου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χλωραμινών και την εμφάνιση υπολειμματικού χλωρίου. Συνεχιζόμενη χλωρίωση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του υπολειμματικού χλωρίου, με τη μορφή χλωραμινών μέχρι εξάντλησης της αμμωνίας. Πέρα του σημείου αυτού επιπλέον προσθήκη χλωρίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ολικού διαθέσιμου χλωρίου, καθώς το προστιθέμενο χλώριο καταναλώνεται για την οξείδωση των χλωραμινών σε διοξείδιο του αζώτου (N₂O) και αέριο άζωτο (N₂). Η συνεχιζόμενη χλωρίωση καταλήγει σε οριακό σημείο ελάχιστου υπολειμματικού χλωρίου (breakpoint chlorination – οριακή χλωρίωση) (Σχ. 6). Προσθήκη μεγαλύτερων δόσεων χλωρίου πέραν της οριακής χλωρίωσης, έχει ως αποτέλεσμα την ισόποση αύξηση της συγκέντρωσης του ελεύθερου χλωρίου.

5.3 Κινητική περιγραφής απολύμανσης υγρών αποβλήτων με χλωρίωση

Στη περίπτωση που οι υπόλοιποι παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγούμενα διατηρούνται σταθεροί, η απολυμαντική δράση του χλωρίου εξαρτάται από το χρόνο επαφής και τη συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου στην έξοδο της δεξαμενής απολύμανσης. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης δόσης χλωρίου χρησιμοποιείται η Εξίσωση 4, των Collins-Selleck (White, 1978):

$$N/N_0 = (1+0.23 Ct)^{-3}$$

όπου,

Εξ. 4

N = ο αριθμός FC στην έξοδο της χλωρίωσης

N₀ = ο αριθμός FC στην είσοδο της χλωρίωσης

C = η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου (mg/L)

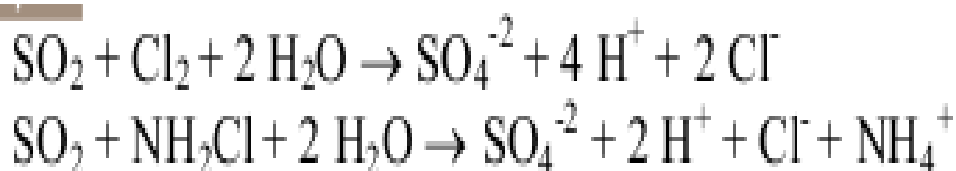
t = ο χρόνος παραμονής (min)

Ο ελάχιστος εφαρμοζόμενος χρόνος επαφής είναι συνήθως από 15 έως 30 min για τη μέγιστη παροχή. Η δεξαμενή διαμορφώνεται συνήθως ως μαιανδρική διώρυγα με στόχο την κατά το δυνατό καλύτερη προσέγγιση προς την εμβολοειδή ροή και τη

διασφάλιση του επιθυμητού χρόνου παραμονής σε όλο τον θεωρούμενο όγκο των εκροών. Η προσθήκη του χλωρίου στις εκροές είναι σκόπιμο να πραγματοποιείται σε σημεία όπου επικρατεί έντονη ανάδευση ώστε να εξασφαλίζεται υψηλή απομάκρυνση των μικροοργανισμών. Η μείξη αυτή μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους, όπως με τη βοήθεια περιστρεφόμενων ελίκων, υδραυλικού άλματος και στατικού αναμίκτη στη περίπτωση έγχυσης σε κλειστό αγωγό.

Τα τελευταία έτη υπάρχει έντονος προβληματισμός σχετικά με τους κινδύνους χλωρίωσης του νερού και υγρών αποβλήτων λόγω της μακροπρόθεσμης τοξικότητας των τριαλογονομένων παραγώγων του μεθανίου (thialomethanes, THM), που δημιουργούνται κατά την αντίδραση του αέριου χλωρίου με οργανικές ουσίες που περιέχονται στο νερό ή στα υγρά απόβλητα (όπως πρωτεΐνες, αλκοόλες, χουμικά οξέα και φαινόλες). Τα τριαλογονομένα παράγωγα του μεθανίου θεωρούνται πιθανά καρκινογόνα και σύμφωνα με τη Οδηγία της ΕΕ (98/83) η συγκέντρωσή τους στο πόσιμο νερό δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 100 µg/L.

Στα πλαίσια επισήμανσης των πιθανών περιβαλλοντικών προβλημάτων, που μπορεί να προκληθούν από τη χλωρίωση των υγρών αποβλήτων πρέπει να σημειωθεί ότι το χλώριο είναι ιδιαίτερα τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς. Η κατευθυντήρια Οδηγία της ΕΕ (78/659) για την προστασία των γλυκών νερών θέτει ως ανώτατη συγκέντρωση του ελεύθερου χλωρίου τα 6,8 µg/L ως Cl₂. Στις περιπτώσεις που απαιτείται απομάκρυνση του υπολειμματικού χλωρίου πριν τη διάθεση στο τελικό αποδέκτη συνήθως προστίθεται διοξείδιο του θείου. Οι αντιδράσεις της αποχλωρίωσης με προσθήκη διοξειδίου του θείου για το ελεύθερο και ενωμένο χλώριο δίνονται κατωτέρω:



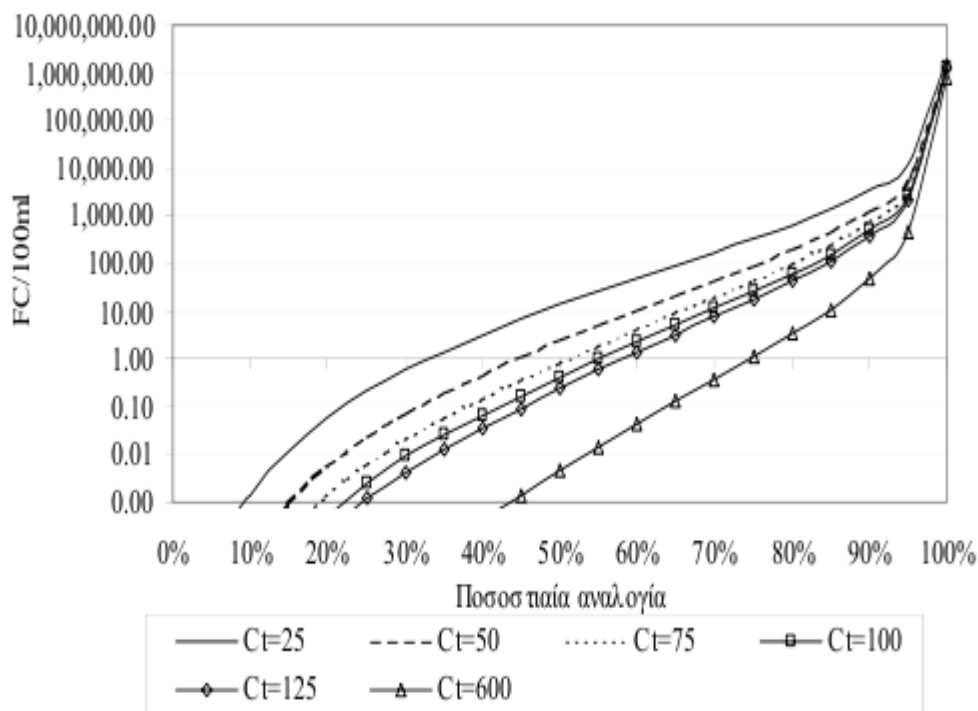
Οι αντιδράσεις αυτές είναι στιγμιαίες και δεν απαιτείται ειδική δεξαμενή επαφής για την αποχλωρίωση, παρά μόνο έντονη ανάμιξη στο σημείο εφαρμογής.

5.4 Καθορισμός απαιτούμενης δόσης χλωρίωσης

Στη συνέχεια εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου απολύμανσης δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με χλωρίωση. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων που κατά το δυνατόν αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες, που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο, παρουσιάζονται αποτελέσματα ερευνητικού προγράμματος (LIFE 99/ENV/GR/000590), που διεξήχθη στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π. από το έτος 1999 έως το 2003, με στόχο τη μελέτη της απολύμανσης με χλωρίωση (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, 2003). Στα πλαίσια των ερευνητικών αυτών εργασιών, πραγματοποιήθηκε πλήθος δειγματοληψιών από 15 πλήρους κλίμακας ΜΕΥΑ, που βρίσκονται στην ηπειρωτική αλλά και στη νησιωτική Ελλάδα. Για το κάθε δείγμα δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, εκτελούνταν πέντε μετρήσεις του βαθμού απομάκρυνσης των περιττωματικών κολοβακτηριδίων (FC) για πέντε δόσεις χλωρίωσης, που κυμαίνονταν από 25 έως 600 mgCl₂ x min/L, ώστε κάθε φορά να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της καμπύλης δόσης χλωρίωσης - απομάκρυνσης κολοβακτηριδίων.

Χλωρίωση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η απολύμανση των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με χλωρίωση περιγράφεται στο Σχήμα 7. Οι κατανομές των περιττωματικών κολοβακτηριδίων μετά την απολύμανση υπολογίστηκαν με χρήση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo (Andreadakis et al., 2003).

Σύμφωνα με τους Κανονισμούς Ποιότητας Υδατικών Αποδεκτών (ΚΠΥΑ) της Ε.Ε. (76/160/ΕΟΚ), τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια για ύδατα κολύμβησης ανέρχονται σε 2000 FC/100 ml για το 95% των δειγμάτων. Εξετάζοντας τη δυσμενέστερη περίπτωση, όπου οι εκροές δεν υπόκεινται σε καμία σημαντική αραίωση πριν τη διάθεσή τους στον υδατικό αποδέκτη οι ΚΠΥΑ μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια εκροής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Σύμφωνα με το Σχήμα 7, το όριο των 2000 FC/100 ml ικανοποιείται για τιμές του γινομένου του υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (Cxt) μικρότερες των 25 mgCl₂ x min/L.



Σχήμα 7. Αθροιστικές κατανομές FC δευτεροβάθμιων υγρών αποβλήτων μετά την απολύμανση με χλωρίωση για διάφορες δόσεις χλωρίου ($\text{mgCl}_2 \times \text{min/L}$)

Στην προσπάθεια θέσπισης μικροβιολογικών κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, για περιορισμένη και απεριόριστη χρήση το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, διαμόρφωσε ποιοτικά κριτήρια που συνοψίζονται στα παρακάτω (Andreadakis κ.α., 2003):

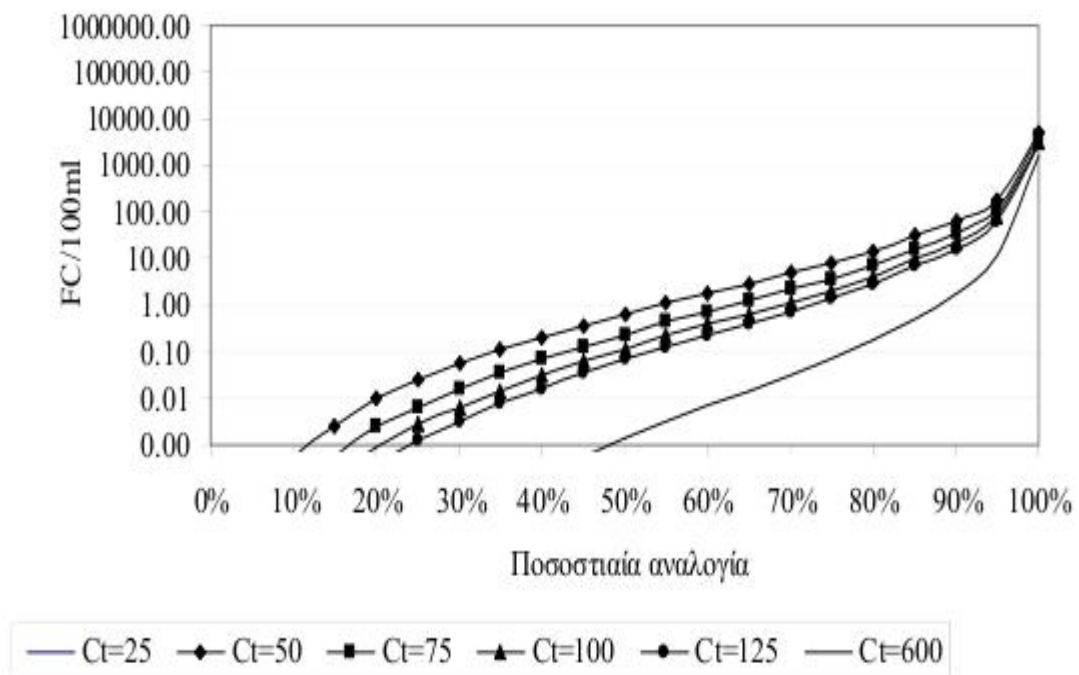
(α) Για περιορισμένη χρήση, 200 FC/100 ml στο 50% των δειγμάτων και

(β) Για απεριόριστη χρήση, 5 FC/100 ml στο 80% των δειγμάτων

Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων της χλωρίωσης με τη μέθοδο Monte Carlo, οι τιμές του γινομένου του υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (C_{xt}) για την ικανοποίηση των ορίων της περιορισμένης άρδευσης είναι σχετικά χαμηλές και δεν υπερβαίνουν τα 25 $\text{mg Cl}_2 \text{ min/L}$. Τα όρια για την απεριόριστη άρδευση δεν ικανοποιούνται σε καμία δόση χλωρίωσης, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την απεριόριστη χρήση των υγρών αποβλήτων.

Χλωρίωση τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η απολύμανση των τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με χλωρίωση περιγράφεται στο

Σχήμα 8. Το σχήμα της τριτοβάθμιας επεξεργασίας συνίστατο στην απευθείας διύλιση με προσθήκη κροκιδωτικού alum 10 mg/L και πολυηλεκτρολύτη ίση με 0,75 mg/L. Οι κατανομές των συγκεντρώσεων των περιττωματικών κολοβακτηριδίων μετά την απολύμανση υπολογίστηκαν κατόπιν επεξεργασίας των πειραματικών αποτελεσμάτων με χρήση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo (Andreadakis et al., 2003).



Σχήμα 8. Αθροιστικές κατανομές των συγκεντρώσεων των FC τριτοβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με προσθήκη κροκιδωτικών (alum = 10 mg/L, πολυηλεκτρολύτης = 0.75 mg/L), που έχουν υποστεί απολύμανση με χλωρίωση (δόση σε mg min/L).

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα όρια για την επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων, οι μέγιστες συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων στη περίπτωση της περιορισμένης άρδευσης ικανοποιούνται για τιμές του γινομένου του υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής ($C \times t$) μικρότερες των 25 mg min/L. Αντίστοιχα, για την απολύμανση των εκροών με στόχο την απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση, οι απαιτούμενες δόσεις ολικού υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής ισούνται με περίπου 125 mg min/L.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΙΛΥΟΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΩΝ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά την επεξεργασία λυμάτων ή υγρών αποβλήτων έχουμε τελικά δύο ομάδες προϊόντων, την καθαυγασμένη εκροή και τα διάφορα αφαιρεμένα συστατικά που αποτελούν την απομένουσα λάσπη. Η καθαυγασμένη εκροή αποτίθεται σε κάποιον αποδέκτη, αλλά η απομένουσα *λάσπη ή ιλύς* (το υλικό δηλαδή που περιέχει όλες τις απορριπτόμενες ουσίες από τις προηγούμενες διαδικασίες) πρέπει να διατεθεί και αυτή με κάποιον τρόπο, διαφορετικά θα απαιτείται τεράστιος χώρος αποθήκευσής της.

Ως *ιλύς ή λάσπη (sludge)* ονομάζουμε το υλικό σε φάση νερού-στερεών που αφαιρείται μετά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των λυμάτων. Χαρακτηρίζεται από μικρή περιεκτικότητα σε στερεά (συνήθως 3~7%) και περιέχει εν γένει τα αφαιρεμένα αιωρούμενα στερεά (πρωτοβάθμια επεξεργασία), την περίσσεια της βιομάζας (δευτεροβάθμια επεξεργασία) και τα ιζήματα χημικών επεξεργασιών. Ειδικότερα, χημικά συστατικά της είναι τα πτητικά στερεά, το ολικό άζωτο, τα φωσφορικά, το κάλιο, τα λίπη και άλλα διαλυτά σε αιθέρα, και τα τοξικά συστατικά της. Πάντως, κάθε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων παράγει διαφορετικής σύστασης ιλύ, αφού αυτό εξαρτάται και από το υλικό τροφοδοσίας της εγκατάστασης, οπότε μπορεί να αλλάζει και με το χρόνο.

Η διάθεση της ιλύος σε κάποιον αποδέκτη απαιτεί κατάλληλα μέτρα επεξεργασίας, για την κατά το δυνατόν λιγότερη όχληση του περιβάλλοντος, αλλά και τη μείωση του όγκου της (πρακτικο-οικονομικοί λόγοι). Τα μέτρα αυτά ποικίλλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ιλύος, αλλά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες με βάση το στόχο που θέτουν. Συνοψίζοντας, οι διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος αποσκοπούν σε :

- **Προετοιμασία της (*preliminary operations & conditioning*) :**

βελτιώνεται η δομή της ιλύος, για τη διευκόλυνση των ακολουθούμενων διεργασιών (κυρίως μεθόδων μείωσης όγκου ιλύος).

- **Μείωση του όγκου της (volume reduction)** : η ιλύς αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από νερό, πράγμα που καθιστά δύσκολη τη μεταφορά της. Με διάφορες μεθόδους όπως *συμπύκνωση (ή πάχυνση)*, *αφυδάτωση* κ.λ.π., επιτυγχάνουμε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στερεού υλικού στη λάσπη, οπότε μειώνεται ο όγκος της και μπορεί να μεταφερθεί με μέσα μεταφοράς στερεών, μειώνοντας σημαντικά το κόστος μεταφοράς της.
- **Σταθεροποίηση των συστατικών της (stabilization)** : η σταθεροποιημένη ιλύς δεν φέρει ενοχλητικές οσμές και δεν προκαλεί κινδύνους υγείας κατά την απόθεσή της. Διάφορες μέθοδοι σταθεροποίησης είναι *η χώνευση (αναερόβια & αερόβια)*, *η κομποστοποίηση*, *η παστερίωση*, *η χλωρίωση*, *η σταθεροποίηση με υδράσβεστο*, *η σταθεροποίηση με ακτινοβολία*, κ.λ.π.

Γενικά προτείνεται κάθε σειρά σταδίων επεξεργασίας να περιλαμβάνει υποχρεωτικά μία μέθοδο από τις κατηγορίες μείωσης όγκου και σταθεροποίησης της ιλύος, αλλά η επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας που θα ακολουθηθούν εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ιλύος και την επιλογή τρόπου διάθεσής της (π.χ. αν η τελική διάθεση της ιλύος είναι σε Χ.Υ.Τ.Α. όπου υπάρχει πληθώρα μη σταθεροποιημένου υλικού, ή αν πρόκειται να αποτεφρωθεί, τότε η σταθεροποίησή της δεν είναι αναγκαία).

6.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Οι διάφορες μέθοδοι **προετοιμασίας της ιλύος** αφορούν γενικά την προετοιμασία της ιλύος για τα περαιτέρω στάδια. Μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, τις προκαταρτικές λειτουργίες (**preliminary operations**) και την προετοιμασία (**sludge conditioning**), διαδικασία αύξησης της συγκέντρωσης των εναιωρούμενων σωματιδίων με χημικούς ή φυσικούς τρόπους.

Οι *προκαταρτικές λειτουργίες* αφορούν την *άλεση-προστριβή* (τεμαχιοποίηση μεγάλων σωματιδίων της ιλύος για την αποφυγή μηχανικών δυσλειτουργιών στα παρακάτω στάδια), την *εξάμμωση* (αν αυτή δεν περιλαμβάνεται στα προηγούμενα

στάδια της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων), τη *μίξη* (αν έχουμε ιλύ από διάφορα στάδια επεξεργασίας λυμάτων), και φυσικά την *αποθήκευση* σε δεξαμενές εξισορρόπησης (αν δεν έχουμε σταθερή παροχή ιλύος στα περαιτέρω συστήματα επεξεργασίας ιλύος).

Η *προετοιμασία* της ιλύος εξουδετερώνει ή αποσταθεροποιεί τις χημικές ή φυσικές δυνάμεις που δρουν σε κolloειδή ή μοριακή εναιωρούμενη ύλη. Αυτή η αποσταθεροποιητική διαδικασία προκαλεί συσμάτωση μικρών ορατών σωματιδίων σε μεγαλύτερα (κροκίδωση) με τυχαία μη κρυσταλλική δομή. Έχει ως σκοπό συνήθως να αυξήσει την απόδοση της αφυδάτωσης ή πάχυνσης, μεθόδων που αποσκοπούν στη μείωση του όγκου της ιλύος.

Οι μέθοδοι προετοιμασίας μπορούν γενικά να διαχωριστούν σε *φυσικές* ή *χημικές*. Οι φυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη *θερμική διαχείριση*, την *ψύξη* και *τήξη*, και το *διαχωρισμό με καθίζηση*. Οι χημικές μέθοδοι περιλαμβάνουν χρήση οργανικών πολυμερών και ανόργανων αλάτων.

6.3 ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Όπως ήδη ειπώθηκε, ένα σημαντικό πρόβλημα διαχείρισης της ιλύος είναι η μικρή περιεκτικότητά της σε στερεά, που μεταφράζεται σε μεγάλο όγκο και απαιτεί μεταφορά με μέσα μεταφοράς υγρών, οπότε αυξάνει το κόστος συντήρησης της μονάδας (πολλά μεταφορικά κόστη). Στόχος αυτής της ομάδας μεθόδων επεξεργασίας είναι η μείωση του όγκου της ιλύος σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορεί να μεταφερθεί με μέσα μεταφοράς στερεών.

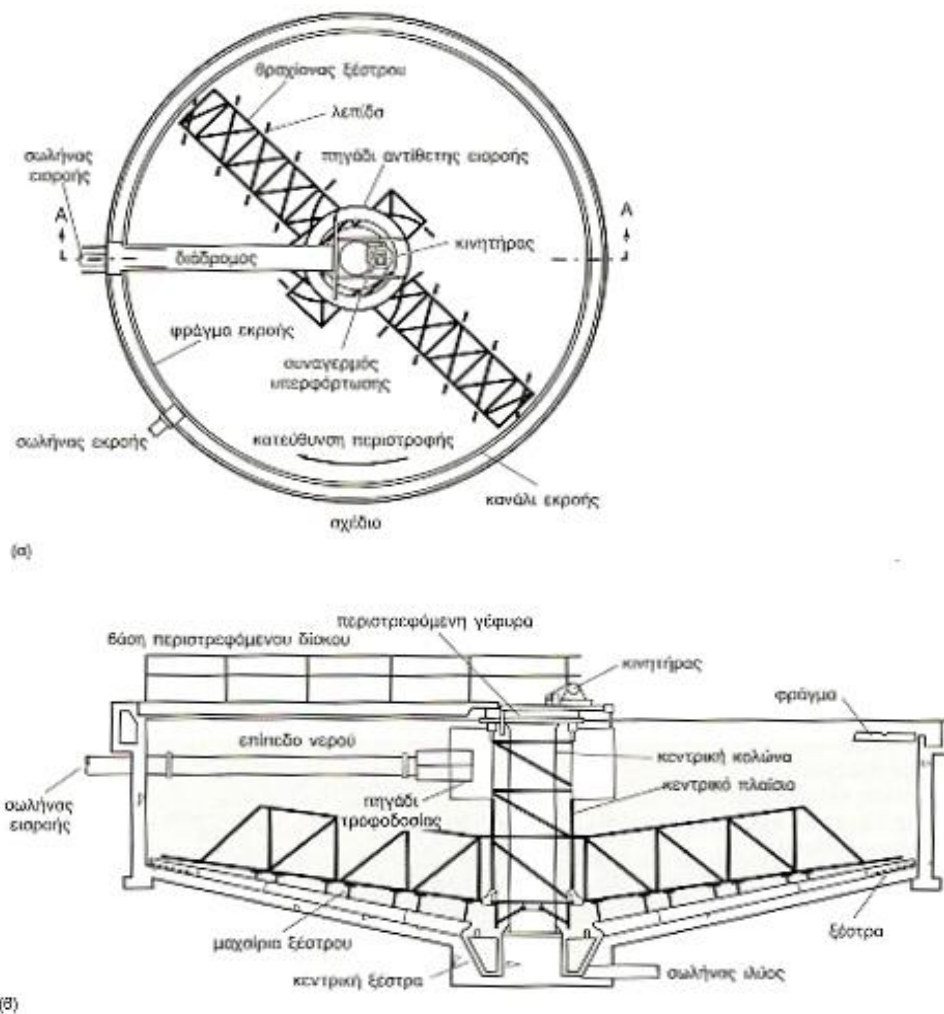
Οι κυριότερες μέθοδοι επεξεργασίας με σκοπό τη μείωση του όγκου της λάσπης είναι η *συμπύκνωση* (ή *πάχυνση*), και η *αφυδάτωση*.

6.3.1 Συμπύκνωση ή πάχυνση της ιλύος (thickening)

Η συμπύκνωση είναι μια φυσική διαδικασία που αποσκοπεί στην αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της ιλύος. Οι μονάδες πάχυνσης τοποθετούνται συνήθως στην αρχή μιας διάταξης επεξεργασίας ιλύος, για να αυξήσουν την

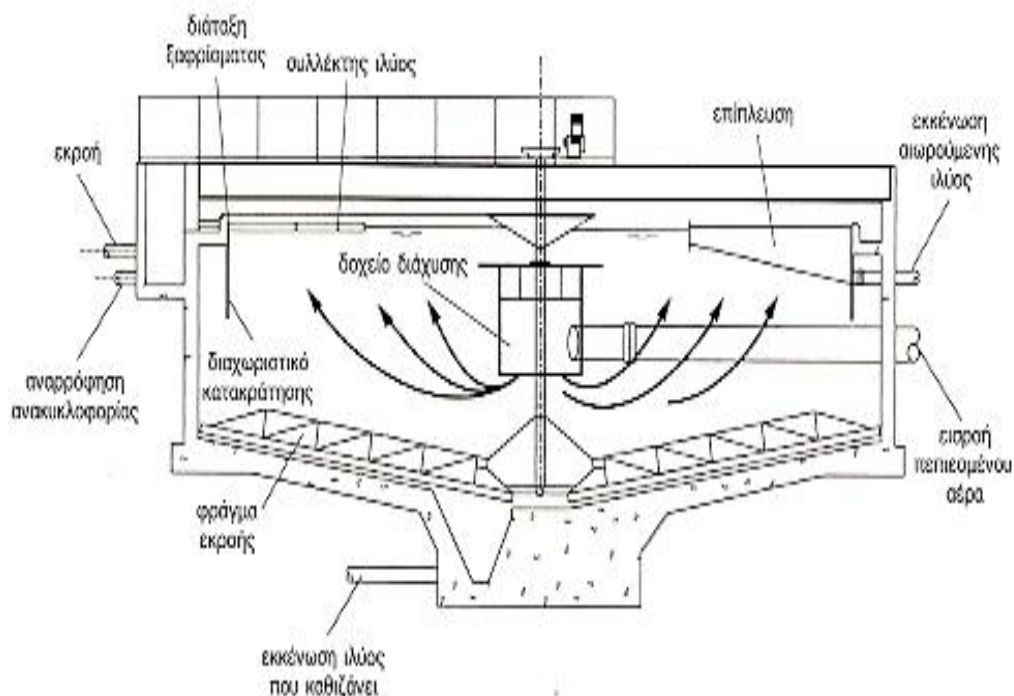
περιεκτικότητα σε στερεά της λάσπης τουλάχιστον στο 4%. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες μέθοδοι συμπύκνωσης:

- Παχυντής βαρύτητας (gravity thickener)** : μια κυκλική δεξαμενή εξοπλισμένη με κατακόρυφες περισίδες ή σανίδες προσαρμοσμένες στο βραχίονα απόξεσης ιλύος, ή βυθισμένα μεταλλικά δικτυώματα. Καθώς ο βραχίονας περιστρέφεται, οι περισίδες (ή τα δικτυώματα) αναδεύουν αργά την ιλύ, με αποτέλεσμα να απελευθερώνεται παγιδευμένο νερό και αέρια από την ιλύ, επιτρέποντάς τη να γίνει πυκνότερη. Το συμπυκνωμένο στρώμα ιλύος αποσύρεται από το κάτω μέρος της δεξαμενής, και το υπερκείμενο υγρό υπερχειλίζει και αντλείται πίσω στην είσοδο ροής της επεξεργασίας. Επιτυγχάνεται έτσι έως 10% συγκέντρωση στερεών. Χρησιμοποιείται κυρίως για ιλύ πρωτοβάθμιας καθίζησης, αλλά και μικτού υγρού (πρωτοβάμια καθίζηση και ενεργό ιλύ).



Εικόνα 15: Σχηματικό διάγραμμα παχυντή με βαρύτητα (α) κάτοψη, (β) τομή

- **Επίπλευση με αέρα (dissolved air flotation)** : μια εναλλακτική διεργασία, ιδιαίτερα επιτυχημένη για ιλύες αραιής συγκέντρωσης. Αέρας ωθείται υπό πίεση και αναμειγνύεται με τη λάσπη, οπότε οι φυσαλίδες αέρα εξέρχονται από την επιφάνεια της ανοιχτής δεξαμενής, συμπαρασύροντας κροκιδώματα ιλύος. Ένα στρώμα παχύτερης ιλύος σχηματίζεται στην επιφάνεια, που μπορεί να φτάσει μέχρι 40εκ., και συγκέντρωση έως 6%, και αφαιρείται με απόξεση, ενώ το υπόλοιπο υγρό παραλαμβάνεται από υπερχειλιστή. Χρησιμοποιείται για ιλύ μικτού υγρού που προέρχεται από την πρωτοβάθμια καθίζηση και την περίσσεια ενεργού ιλύος.



Εικόνα 16: Τυπική μονάδα επίπλευσης διαλυμένου αέρα που χρησιμοποιείται για πάχυνση απομακρυνόμενης ιλύος

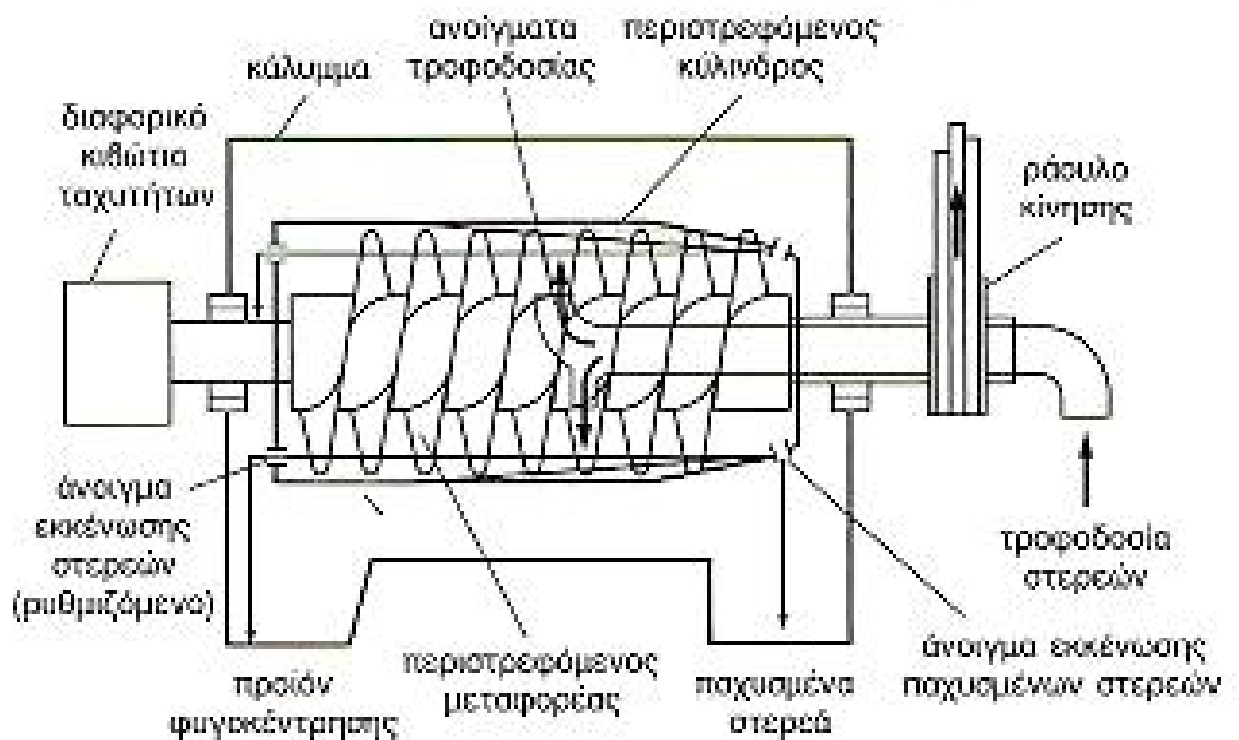
Στις μεθόδους πάχυνσης περιλαμβάνονται και ορισμένες διατάξεις που χρησιμοποιούνται για αφυδάτωση (όπως οι φυγόκεντροι που θα δούμε και παρακάτω).

6.3.2 Αφυδάτωση-ξήρανση της ιλύος (dewatering-drying)

Η αφυδάτωση έχει ως σκοπο την αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων νερού από την

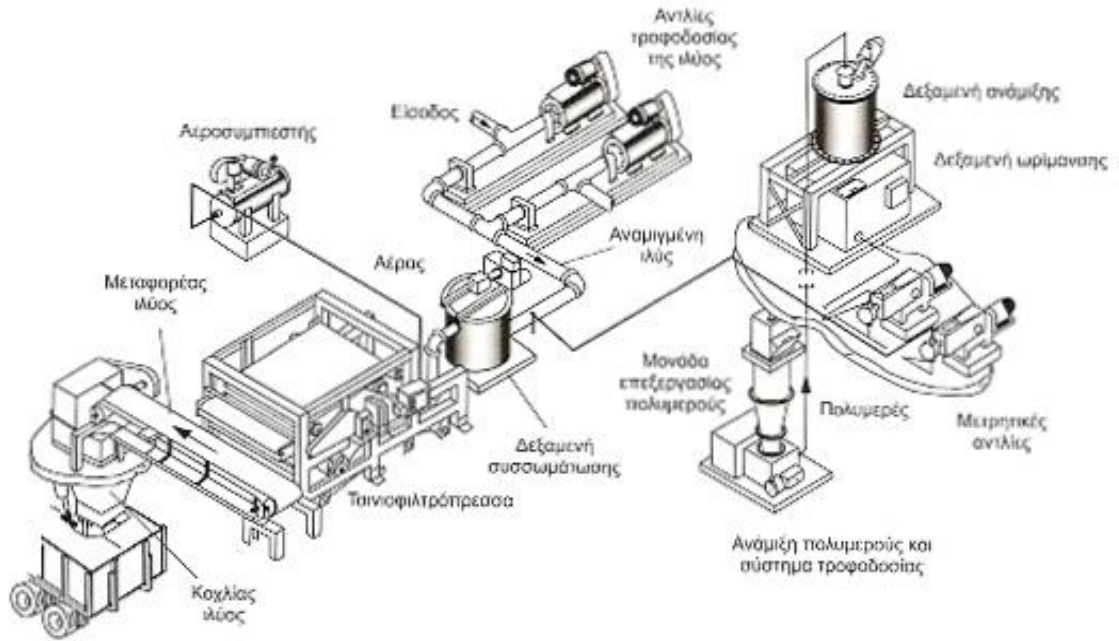
ιλύ. Αν και αναφέρεται ως ξήρανση πολλές φορές, το προϊόν μπορεί να περιέχει έως και 70% νερό, αλλά σε κλίματα με υγρασία 70% ή λιγότερο η ιλύς δε συμπεριφέρεται πλέον σαν υγρό, και μπορεί να χειριστεί μηχανικά. Η αφυδάτωση επιτυγχάνεται με διάφορες μηχανικές (και μη) διατάξεις όπως:

- *περιστρεφόμενα φίλτρα κενού (vacuum filter)* : αφού αναμιχθεί η ιλύς με τις κατάλληλες δόσεις χημικών σε ένα δοχείο τροφοδότησης-εξισορρόπησης, οδηγείται σε μια σκάφη ιλύος μέσα στην οποία είναι βυθισμένο μερικά ένα κυλινδρικό τύμπανο αφυδάτωσης. Με τη φυγόκεντρωση δημιουργείται μια περιοχή στρώματος στερεών (περιοχή κενού), μια περιοχή αποστράγγισης και μια περιοχή απόρριψης των στερεών.
- *φυγόκεντρος με συμπαγές περιστρεφόμενο περίβλημα (solid bowl centrifuge)* : η ιλύς παρέχεται σε έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο όπου μέσα του περιστρέφεται (με ελαφρώς διαφορετική συχνότητα) μια ελικοειδής διάταξη πρωόθησης ιλύος. Τα στερεά συγκεντρώνονται στην εσωτερική περιφέρεια του κυλίνδρου και συλλέγονται από την έξοδο αφυδατωμένης ιλύος, ενώ η έξοδος του υγρού κλάσματος γίνεται από το άλλο άκρο της φυγόκεντρου και διαμέσου των ανοιγμάτων μιας πλάκας ρύθμισης τα οποία οδηγούν στα σταθερά ανοίγματα εξόδου του υγρού. Χρησιμοποιείται σε ιλύ που προέρχεται από σύστημα επεξεργασίας ενεργού ιλύος. Χρησιμοποιείται επίσης και ως μέθοδος πάχυνσης.

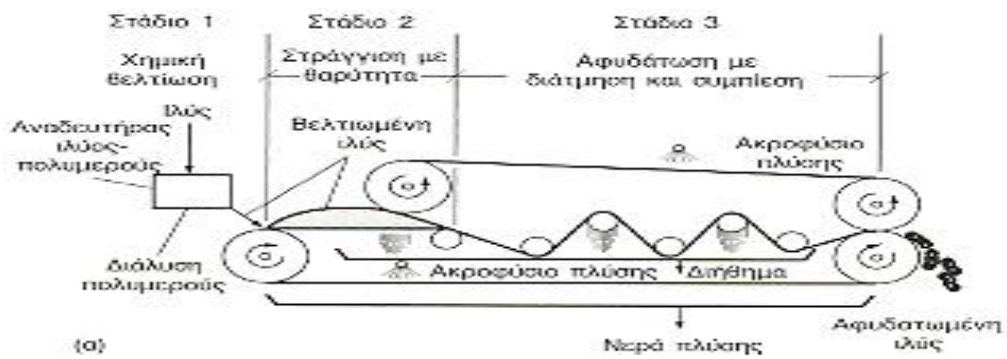


Εικόνα 17: Σχηματικό διάγραμμα διάταξης φυγοκέντρισης που χρησιμοποιείται για πάχυνση-αφυδάτωση ιλύος

- **φιλτροπρέσες** : η ιλύς πιέζεται προς μέσο διήθησης και το υγρό ωθείται και διαχωρίζεται αφού διαπεράσει το μέσο διήθησης. Ανάλογα με το είδος πίεσης έχουμε την φιλτρόπρεσσα με κατακόρυφες πλάκες (filter press - υδραυλική πίεση) και την οριζόντια ταινοφιλτρόπρεσσα (belt filter press - μηχανική πίεση).



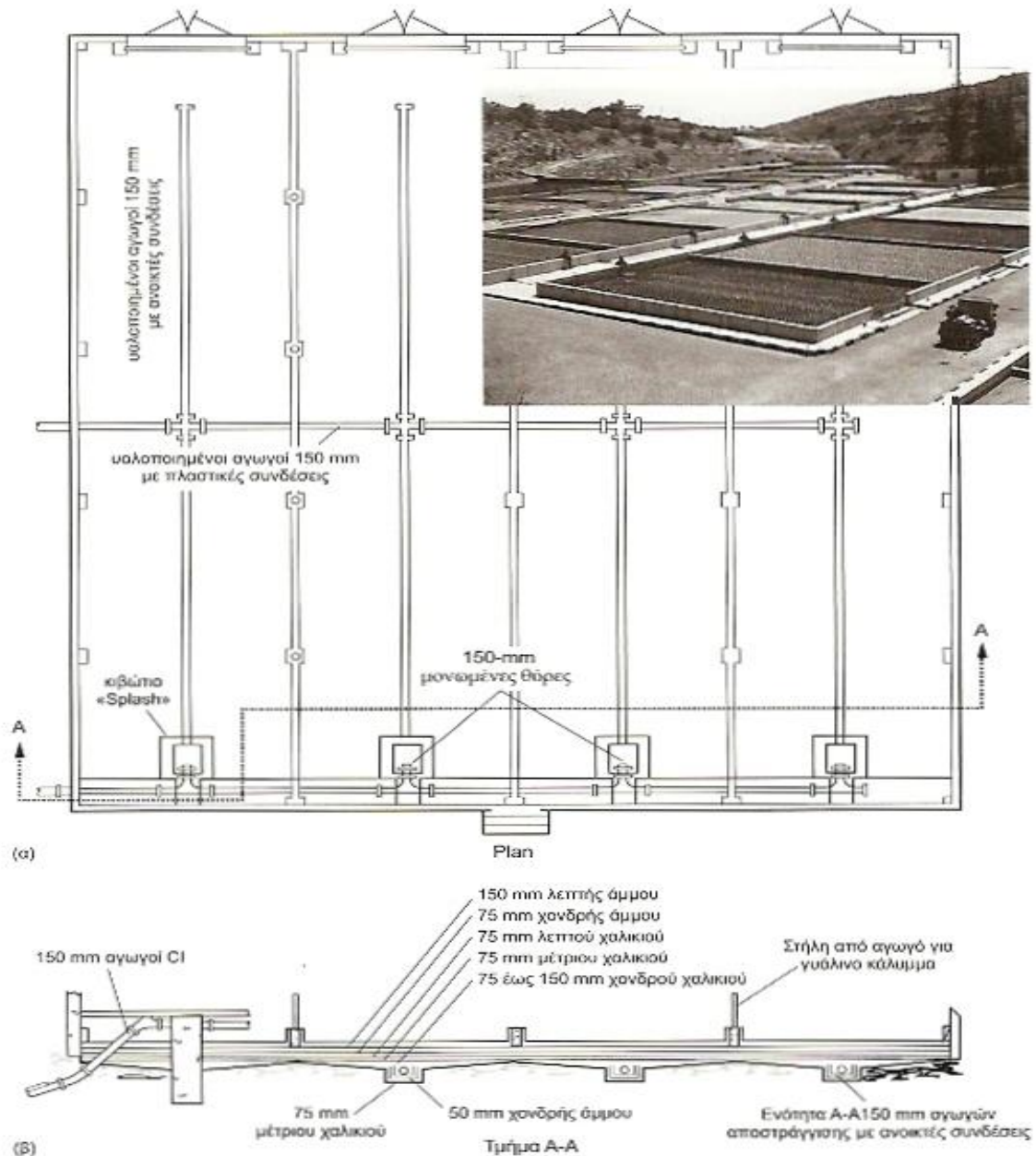
Εικόνα 18: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αφυδάτωσης ταινιοφιλτράτρεσσας



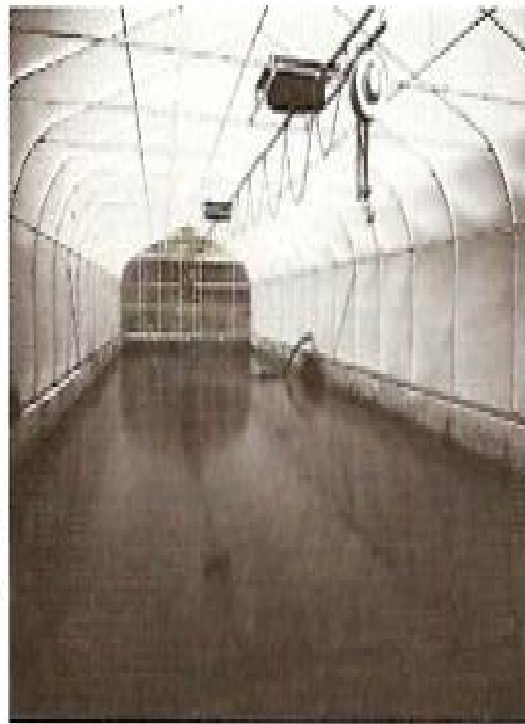
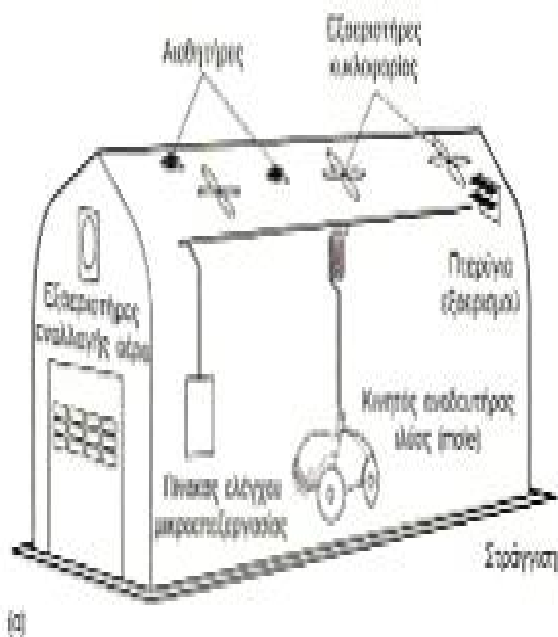
Εικόνα 19 : Αφυδάτωση με ταινιοφιλτράτρεσσα : (α) τρία βασικά στάδια αφυδάτωσης, (β) εικόνα μιας τυπικής εγκατάστασης

- κλίνες και λίμνες ξήρανσης: μία οικονομική μέθοδος, η πλέον συνήθης

σε μικρές εγκαταστάσεις, που λειτουργεί με συνδυασμό στράγγισης και εξάτμισης. Χωνευμένη ιλύς εξαπλώνεται σε κλίνες άμμου, και αφήνεται έως να ξηραθεί. Κάτω από το στρώμα άμμου, υπάρχει σύστημα αποστράγγισης (στρώμα από χαλίκι και ημιδιάτρητοι σωλήνες αποχέτευσης) που συγκεντρώνει το νερό που στραγγίζει. Απαιτούνται κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες για να εφαρμοστεί.



Εικόνα 20 : Τυπική κλίνη ξήρασης με άμμο : (α) κάτοψη και εικόνα, (β) τομή



Εικόνα 21 : Σύστημα ηλιακής κλίσης ξήρανσης της ιλύος που χρησιμοποιεί κινητό αναδευτήρα : (α) σχήμα, (β) εσωτερική εικόνα μιας τυπικής εγκατάστασης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αφυδάτωση της ιλύος είναι : η περιεκτικότητα σε στερεά, και η πυκνότητα, το μέγεθος, η κατανομή μεγέθους, το επιφανειακό ηλεκτρικό φορτίο και ο συντελεστής συμπιεστότητας των στερεών της.

Οι λόγοι που εφαρμόζεται η διαδικασία είναι πρακτικοοικονομικοί, αλλά και η αύξηση της θερμικής της αξίας, ώστε να διευκολύνεται η περαιτέρω κάυση της ή η θερμική ξήρανσή της.

Τα προϊόντα της αφυδάτωσης είναι το στερεόμορφο υλικό (αφυδατωμένη ιλύς) και το υγρό κλάσμα εκροής. Στόχος της είναι η πυκνότητα της αφυδατωμένης ιλύος σε στερεά, και συνεπώς η μείωση του ρυπαντικού φορτίου του υγρού κλάσματος εκροής.

Συχνά, για τη βελτίωση της αφυδάτωσης γίνεται προηγουμένως κατάλληλη προετοιμασία (conditioning) με στόχο είτε τη συσσωμάτωση μικροτεμαχιδίων της ιλύος, είτε στη μετατροπή της υφής των στερεών της ιλύος σε ευκολότερα

αφυδατούμενες μορφές.

6.4 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Γενικά ως **σταθεροποίηση (stabilization)** αποκαλούμε τη διαδικασία αποδόμησης σύνθετων χημικών ενώσεων σε απλές μη αποδομούμενες ενώσεις. Με τις διάφορες μεθόδους σταθεροποίησης είτε μειώνεται το βιοδιασπάσιμο μέρος των στερεών που προκαλεί οσμές, είτε θανατώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, είτε συντελείται απόσπαση νερού κρατούμενου μεταξύ υδρόφιλων τεμαχιδίων της ιλύος.

Οι μέθοδοι σταθεροποίησης μπορούν να διαχωριστούν σε **φυσικοχημικές** (με στόχο τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών και αδρανοποίηση των βιολογικών διεργασιών ή οξειδωση συστατικών της) και **βιολογικές** (με στόχο τη μείωση του βιοδιασπάσιμου μέρους των στερεών).

6.4.1 Φυσικοχημικές μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος

6.4.1.1 Θερμικές μέθοδοι

Συνοψίζονται στις εξής:

- **Παστερίωση (pasteurization):** ανύψωση της θερμοκρασίας σε περιοχές $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ για 5~60min με αποτέλεσμα τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.
- **Οξειδωση υγρής φάσης με αέρα:** τροφοδοσία της ιλύος με κατάλληλο χρόνο παραμονής σε αντιδραστήρα πίεσης (με κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας – περίπου 60~130atm και $230^{\circ}\sim 320^{\circ}\text{C}$) και δόση απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου, με αποτέλεσμα την επίτευξη επιθυμητού βαθμού οξειδωσης. Σε περιπτώσεις εφαρμογής χαμηλότερων συνθηκών πίεσης-θερμοκρασίας (περίπου 10~20atm και $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$), επιτυγχάνεται αντί οξειδωσης θερμική σταθεροποίηση της ιλύος, με αποτέλεσμα την ευκολότερη αφυδάτωσή της σε επόμενο στάδιο επεξεργασίας.

6.4.1.2 Χλωρίωση

Η χλωρίωση της ιλύος με μεγάλες δόσεις χλωρίου (~2.000mg/l) προκαλεί τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών οπότε αδρανοποιείται η βιολογική αποσύνθεση και αποτρέπονται οι οσμές σε επόμενα στάδια επεξεργασίας.

6.4.1.3 Επεξεργασία με υδράσβεστο (lime stabilization)

Με τη χρήση υδράσβεστου θανατώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί (διατήρηση pH στην περιοχή 11,0~11,5).

6.4.1.4 Βιολογικές μέθοδοι σταθεροποίησης της ιλύος

Στοχεύουν στη διάσπαση διαφόρων οργανικών υλικών σε απλές χημικές ενώσεις που περιέχουν θρεπτικά συστατικά για το έδαφος, με τη βοήθεια ποικιλίας μικροοργανισμών (βακτηριδίων). Γίνεται είτε σε περιβάλλον παρουσία οξυγόνου, οπότε καλείται *αερόβια χώνευση*, είτε απουσία οξυγόνου, οπότε καλείται *αναερόβια χώνευση*. Μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά της τροφοδοτούμενης λάσπης εξασφαλίζει μεγαλύτερο χρόνο παραμονής, μικρότερες πιθανότητες διαφυγής υλικού στην εκροή και μικρότερες θερμικές απαιτήσεις στις θερμαινόμενες δεξαμενές χώνευσης.

6.4.1.5 Αερόβια χώνευση της ιλύος (aerobic digestion)

Στην αερόβια χώνευση, η παροχή μεταφέρει σε ανοικτές (στο άνω μέρος) δεξαμενές την ιλύ. Με την παραμονή της εκεί για διάστημα 10~12 ημέρες και υπό τις κατάλληλες συνθήκες (θερμοκρασία και χαρακτηριστικά ιλύος), γίνονται βιολογικές διεργασίες που οδηγούν στη σταθεροποίησή της, και εν τέλει, με τη διαδικασία της καθίζησης ή με άντληση, παραλαμβάνεται η σταθεροποιημένη ιλύς.

Τα στάδια της διαδικασίας περιλαμβάνουν :

- i) αφαίρεση του οργανικού φορτίου και παραγωγή νέων κυττάρων
- ii) διάσπαση του κυτταρικού υλικού (υπάρχουσας βιομάζας και νέων κυττάρων)

Το υλικό διακρίνεται σε βιομάζα (έκφραση σε ΠΑΣ) και βιοδιασπάσιμο μέρος της

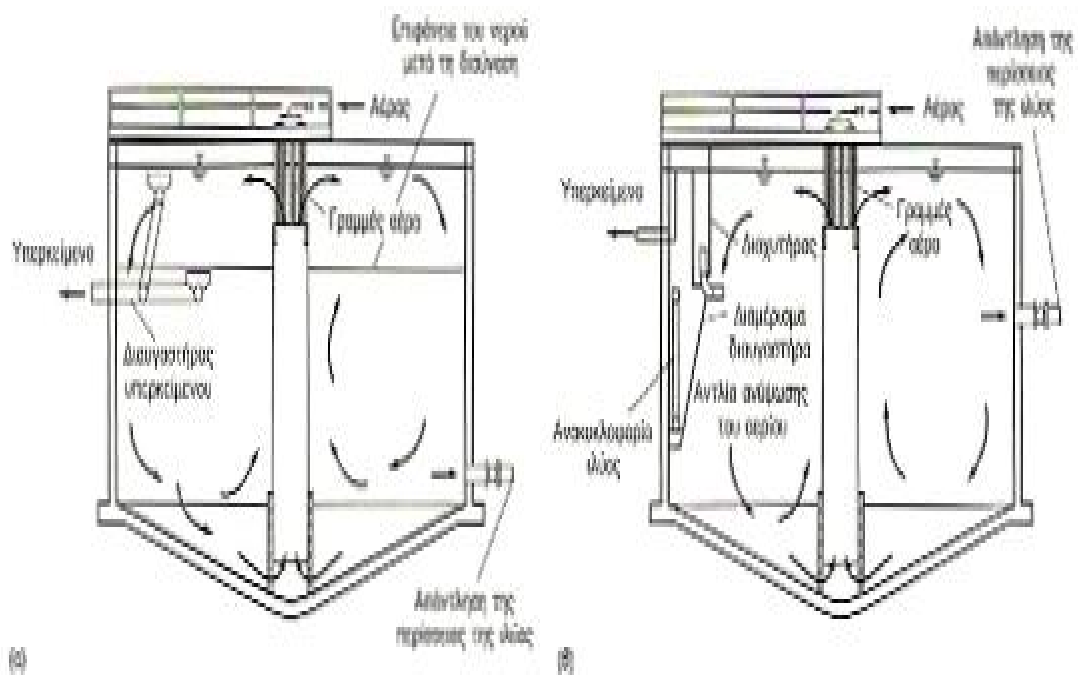
(έκφραση σε ΒΑΟ). Για οριακά μικρή τιμή του λόγου ΒΑΟ/ΠΑΣ, δεν είναι ικανή η ανάπτυξη και η επιβίωση των μικροοργανισμών (κανιβαλιστικό στάδιο ενδογενούς αναπνοής-*endogenous decay*). Στην περίπτωση αυτή βέβαια είναι σχετικά μεγάλο το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη σταθεροποίηση της βιομάζας (10~20d). Για υψηλές τιμές του λόγου (περιοχές σύνθεσης), ο χρόνος παραμονής περιορίζεται σε μερικές ώρες, με αποτέλεσμα την παραγωγή περίσσειας βιομάζας.

Κατά την αερόβια σταθεροποίηση πρέπει να γίνεται περιοδικός έλεγχος pH και ρύθμισή του.

Οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό δεξαμενών αερόβιας χώνευσης ιλύος είναι τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης ιλύος, ο απαιτούμενος βαθμός αφαίρεσης ΠΑΣ, οι απαιτήσεις οξυγόνου και η θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας.

Οι δεξαμενές επεξεργασίας μπορούν να λειτουργούν σαν συνεχώς ή διακοπτόμενα τροφοδοτούμενες. Οι διακοπτόμενα τροφοδοτούμενες δεξαμενές λειτουργούν και σαν δεξαμενές καθίζησης, όπου παραλαμβάνεται η ίλος από τον πυθμένα και πιθανώς η εκροή ανατροφοδοτεί το συνολικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων. Οι συνεχής τροφοδοσίας δεξαμενές εφοδιάζονται με σύστημα απόχυσης του υγρού εκροής, και σύστημα αντλιών για τη μεταφορά της ιλύος.

Με την αερόβια χώνευση επιτυγχάνεται τόσο μείωση του ρυπαντικού φορτίου της ιλύος όσο και ελάττωση του όγκου της.



Εικόνα 22 : Παραδείγματα αερόβιων χωνευτήρων : (α) ασυνεχούς λειτουργίας με προσθήκη αέρα, (β) συνεχούς λειτουργίας με προσθήκη αέρα, (γ) εικόνα άδειου

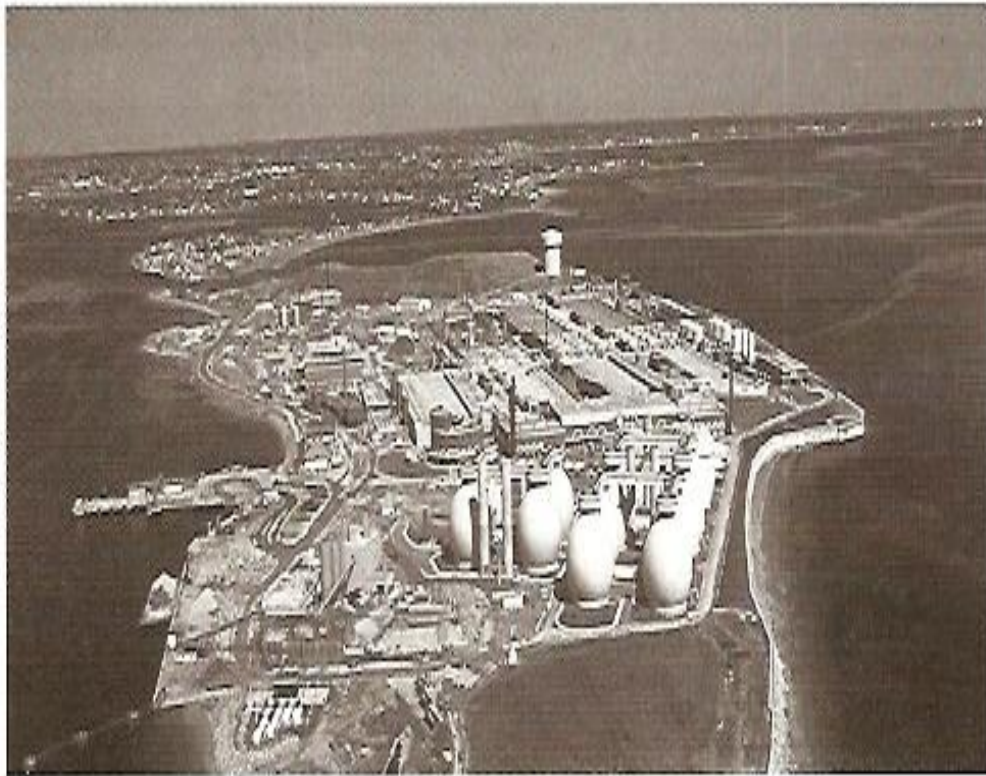
6.4.1.6 Αναερόβια χώνευση της ιλύος (anaerobic digestion)

Η διαδικασία μοιάζει με αυτή της αερόβιας χώνευσης, με κύρια διαφορά ότι διεξάγεται σε κλειστές δεξαμενές με σταθερή ή πλωτή οροφή. Υποβοηθάται από δύο ομάδες βακτηριδίων: τα επαμφοτερίζοντα, που διαλυτοποιούν την οργανική ύλη σε οργανικά οξέα, και τα απόλυτα αναερόβια (μεθανοβακτηρίδια) που μετατρέπουν τα οξέα σε μεθάνιο. Η επιτυχία της διαδικασίας εξαρτάται από την εξισορρόπηση του ρυθμού παραγωγής οξέων με το ρυθμό καταστροφής οξέων προς παραγωγή μεθανίου.

Η ανάπτυξη των μεθανοβακτηριδίων είναι πολύ βραδύτερη αυτής των επαμφοτερίζοντων βακτηριδίων, καθώς τα πρώτα παίρνουν ελάχιστη ενέργεια από την τροφή τους. Επίσης τα πρώτα έχουν αργότερο ρυθμό απόκρισης στη γρήγορη μεταβολή θερμοκρασίας (απαίτηση στενού θερμοκρασιακού κύκλου).

Η απόδοση μια δεξαμενούς αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από το χρόνο παραμονής, τη θερμοκρασία, το βαθμό ανάμιξης, τα χαρακτηριστικά της τροφοδοτούμενης ιλύος, και από την αλκαλικότητα, την οξύτητα και περιεκτικότητα σε πτητικά οξέα που διαμορφώνονται στη δεξαμενή χώνευσης.

Ο βαθμός ανάμιξης πρέπει να είναι ικανοποιητικός για την αποφυγή στρωματοποίησης του υλικού και για την υποβοήθηση της αρχικής διαλυτοποίησης του οργανικού υλικού.



Εικόνα 23 : Εικόνα αρκετών μεγάλων αναερόβιων χωνευτήρων στη Βοστώνη

Η περιεκτικότητα της ιλύος σε ΠΑΣ έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της χώνευσης.

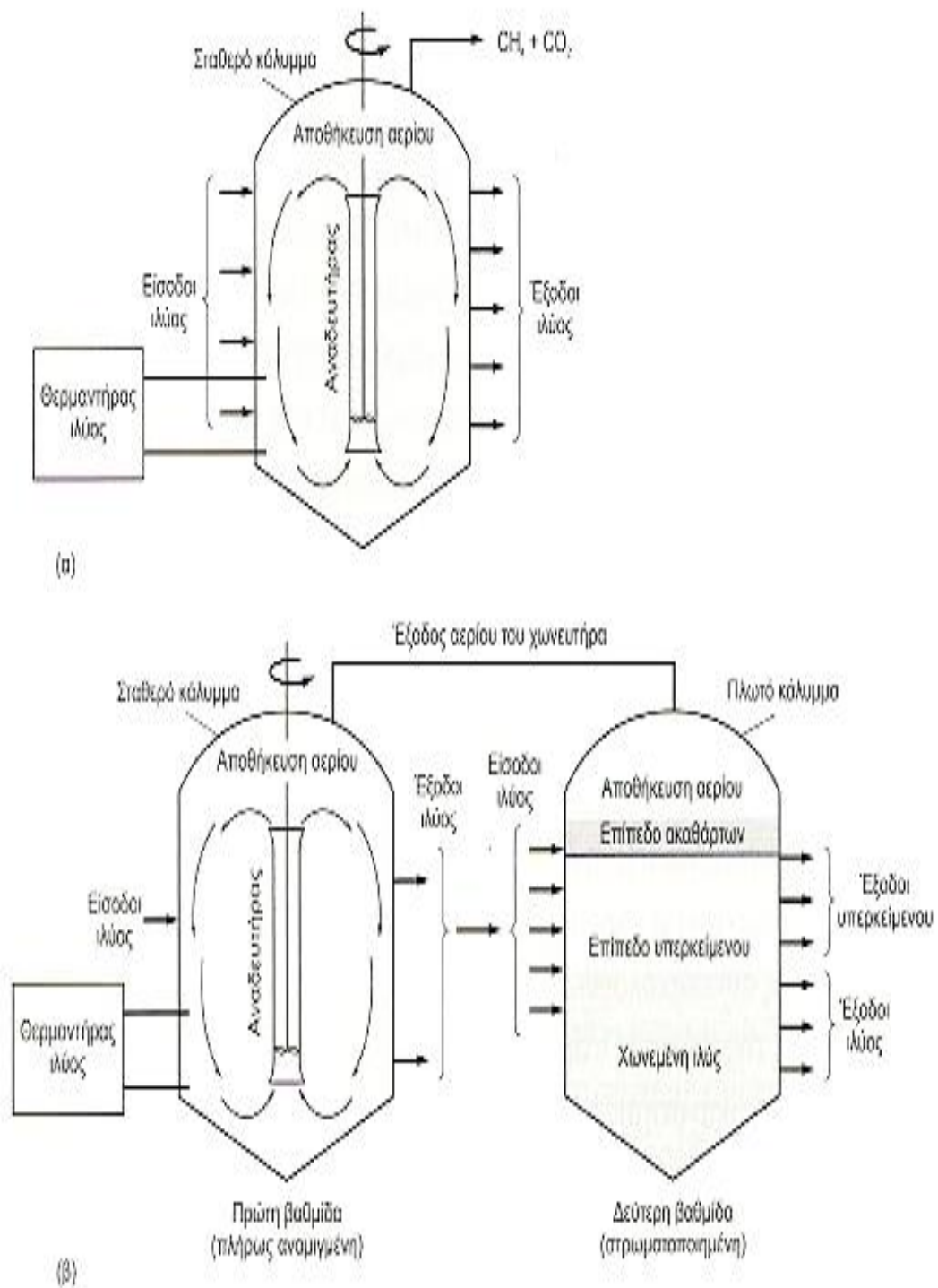
Η διατήρηση του pH σε σταθερά επίπεδα επιτυγχάνεται με τη χρήση δισανθρακικού αμμώνιου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$). Σε περίπτωση μεταβολής του pH πρέπει να προστεθεί αλκαλικότητα στη δεξαμενή χώνευσης.

Τα αέρια προϊόντα αποτελούνται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια σε μικρότερα ποσοστά. Το αέριο χώνευσης σε μεγάλες ποσότητες επαρκεί για την κάλυψη όλων των ενεργειακών αναγκών του συστήματος επεξεργασίας λυμάτων.

Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται στην αναερόβια χώνευση διακρίνονται σε δεξαμενές:

- *μέτριας ανάμιξης* (διακοπτόμενη τροφοδοσία χωρίς διατάξεις ανάδευσης, θέρμανση με εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας, επιτυγχάνεται στρωματοποίηση που μεν δυσκολεύει τη χώνευση αλλά παράλληλα βοηθά στην κατάλληλη αφαίρεση των προϊόντων)

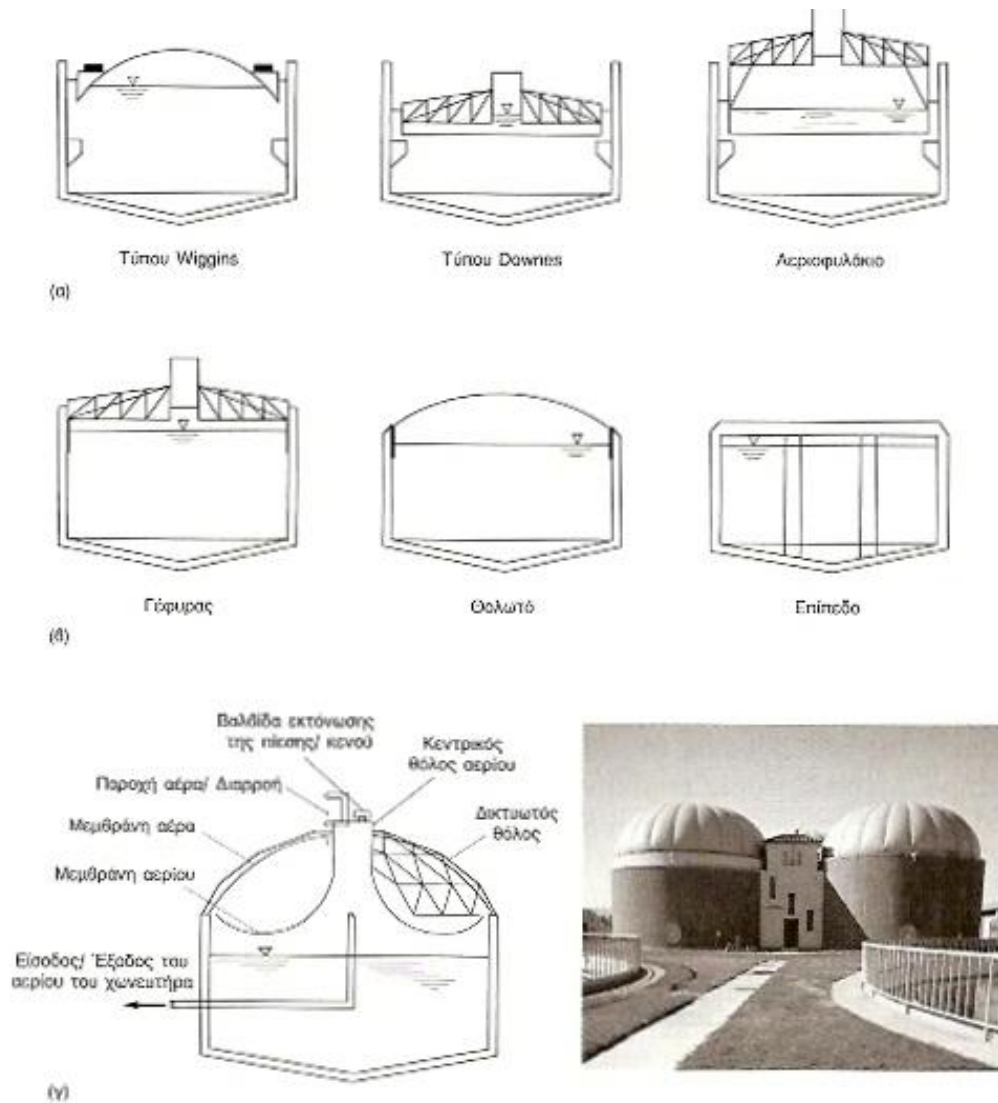
- *πλήρους ανάμιξης ενός σταδίου*, όπου λόγω έντονης ανάδευσης, όλος ο όγκος της δεξαμενής είναι όγκος χώνευσης
- *πλήρους ανάμιξης δύο σταδίων*, όπου υπάρχει δεύτερη σε σειρά δεξαμενή χώνευσης, που λειτουργεί χωρίς ανάδευση, και παραλαμβάνεται η σταθεροποιημένη ιλύς εύκολα λόγω της στρωματοποίησης.



Εικόνα 24 : Σχηματικό διάγραμμα τυπικών αναερόβιων χωνευτήρων : (α) μονοβάθμιος υψηλού ρυθμού (β) διβάθμιος

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζει περισσότερα λειτουργικά προβλήματα και απαιτεί μεγαλύτερο κόστος επένδυσης από την αερόβια, αν και έχει

το πλεονέκτημα των μικρών ενεργειακών απαιτήσεων, λόγω της παραγωγής βιοαερίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για εγκαταστάσεις με παροχές άνω των 4000m³/d (αν και τις τελευταίες δεκαετίες εφαρμόζεται και σε εγκαταστάσεις μικρότερων παροχών, με επιτυχή αποτελέσματα).



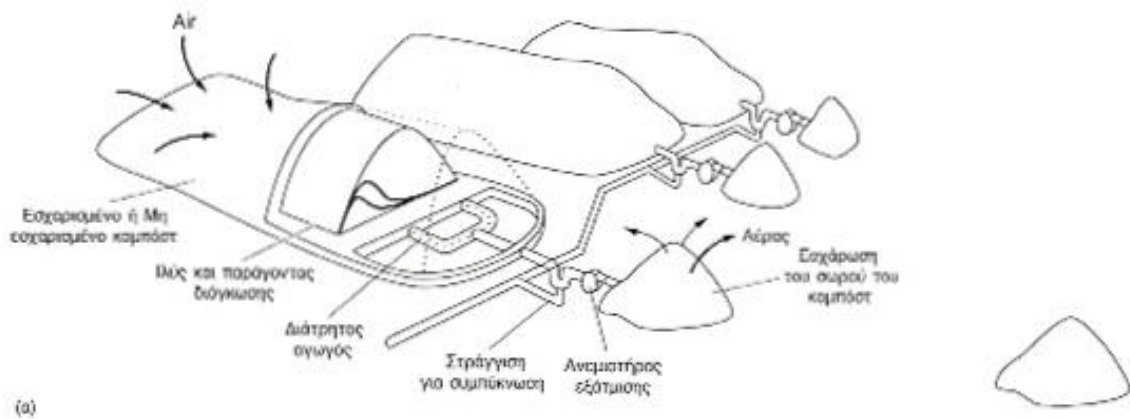
Εικόνα 25: Τύποι καλυμμάτων των αναερόβιων χωνευτήρων : (α) πλωτά, (β) σταθερά, (γ) σχήμα και εικόνα ενός καλύμματος μεμβράνης

6.4.1.7 Λιπασματοποίηση ή κομποστοποίηση (composting)

Είναι η αερόβια χώνευση στερεόμορφου υλικού που περιέχει υγρασία περίπου 50%, με στόχο την τελική διάθεση ως λίπασμα σε καλλιέργειες. Αναγκαία συνθήκη η

αφαίρεση τοξικών ουσιών.

Συνήθως η λιπασματοποίηση γίνεται με προσθήκη στην ιλύ χύματος, πριονιδίων και τεμαχιδίων ξύλου, ή ανάμιξη ιλύος με το λιπασματοποιούμενο μέρος των απορριμάτων σε λόγο 1:2. Το υλικό υποβάλλεται σε αερισμό με περιοδικά αναποδογυρίσματα. Παράγεται θερμότητα με αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας στους 60⁰ C, και η χώνευση διαρκεί περίπου 6 εβδομάδες. Κατά τη λιπασματοποίηση μειώνεται και ο όγκος κατά 20~50%.



Εικόνα 26 : Συστήματα κομποστοποίησης : (α) αεριζόμενος στατικός σωρός, (β) εικόνα των σειραδίων του κομπόστ, (γ) εξοπλισμός για το γύρισμα και την αναπροσαρμογή των σειραδίων του κομπόστ

6.5 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ - ΑΝΤΛΗΣΗ ΙΛΥΟΣ

Για την κυκλοφορία της ιλύος ανάμεσα στις μονάδες επεξεργασίας της απαιτούνται σωληνώσεις, όπου πρέπει γενικά να τηρούνται μεγέθη διαμέτρων 150~200mm, εκτός κι αν έχουμε ταχύτητες άνω του 1,5m/s οπότε ο σωλήνας διαστασιολογείται για να διατηρήσει την ταχύτητα αυτή. Οι κατακόρυφοι σωλήνες πρέπει να είναι τουλάχιστον 200mm. Λόγω κινδύνου έμφραξης μεγάλων σε μήκος σωλήνων, είναι δόκιμο να σχεδιάζονται διπλοί σωλήνες για τη μεταφορά της ιλύος, να καθαρίζονται με θερμό νερό ή ατμό από τα λίπη που κολλούν μέσα τους, να σχεδιάζονται με οπές ελέγχου, να φέρουν βαλβίδες εξαέρωσης.

Η ιλύς πρέπει πολλές φορές να μεταφερθεί από τις δεξαμενές καθίζησης επεξεργασίας λυμάτων, στην επεξεργασία ιλύος με άντληση, με συνθήκες αφρώδους, υδαρού ή παχύρρευστου υλικού. Λόγω της διαφοροποίησης αυτής στη ρευστότητα των λυμάτων από την ιλύ, οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος διαφέρουν από αυτές για άντληση λυμάτων. Για κάθε τύπο ιλύος (ήτοι χαρακτηριστικά της), μπορεί να απαιτείται διαφορετικού τύπου αντλία. Κάποιοι τύποι αντλιών είναι απόφραξης (plunger), προοδευτικής κοιλότητας (progressive cavity), φυγοκεντρικές (centrifugal), ροπής (torque-flow), διαφραγματική (diaphragm), υψηλής πίεσης (high-pressure piston) (χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλες αποστάσεις άντλησης), περιστροφικού λοβού (rotary lobe). Όλες οι αντλίες έχουν χαρακτηριστικά φόρτισης σε ύψος (πίεσης-ενέργειας) και παροχή.

Οι **εμβολοφόρες αντλίες** κατασκευάζονται με ένα, δύο ή τρεις αποφράκτες (απλές, διπλές και τριπλές μονάδες) με ικανότητες 2,5~3,8 lt/sec ανά αποφράκτη. Πρέπει να σχεδιάζονται για τουλάχιστον 24,0μ. φορτίο σε μικρές μονάδες, και 35,0μ. ή περισσότερα (έως 70,0μ.) σε μεγάλες. Έχουν τα εξής πλεονεκτήματα : είναι ικανές για αναρρόφηση έως και 3,0μ ύψος, αν δεν υπάρχουν ευμεγέθη αντικείμενα παρέχεται ικανοποιητική κίνηση, έχουν σταθερή αλλά ρυθμιζόμενη ικανότητα, διαθέτουν κεφαλή αποφόρτισης, μπορούν να αντλήσουν υλικό υψηλής συγκέντρωσης σε στερεά με τον κατάλληλο σχεδιασμό.

Οι **αντλίες προοδευτικής κοιλότητας** έχουν χρησιμοποιηθεί για όλα τα είδη ιλύος. Αποτελούνται από ρότορα με μονή σπείρα που λειτουργεί με ελάχιστο διάκενο από

τον λαστιχένιο στάτορα με διπλή ελικοειδή σπείρα, Ο όγκος ή «κοιλότητα» κινείται προοδευτικά από την αναρρόφηση στην κατάθλιψη όταν ο ρότορας περιστρέφεται. Έχουν ικανότητες 75 lt/sec, δεν λειτουργούν ποτέ με κενό λόγω κινδύνου βλάβης, φτάνουν ύψη αναρρόφησης μέχρι 8,5m και μπορούν να λειτουργήσουν με μανομετρικό ύψος 135m. Παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες στη συντήρηση, αλλά έχουν καλό ρυθμό ελέγχου της ροής και σχετικά απλή λειτουργία.

6.6 ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ

Υπάρχουν διάφορες επιλογές χρήσης της επεξεργασμένης ιλύος ενός συστήματος επεξεργασίας λυμάτων. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

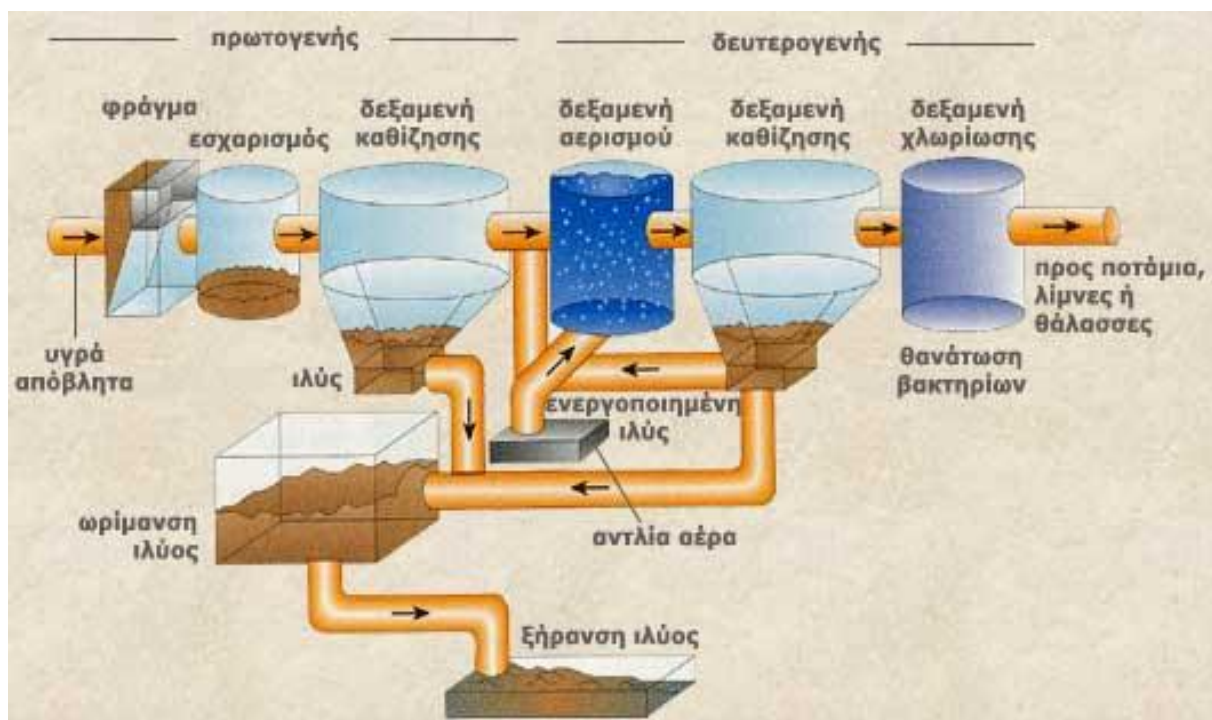
- η χρησιμοποίησή της στη γεωργία : για την επιλογή αυτή απαιτείται η επεξεργασία με κομποστοποίηση
- η χρήση της για αναδασώσεις ή αποκαταστάσεις τοπίου (π.χ. αποκατάσταση λατομείου)
- η διάθεση σε ΧΥΤΑ : η επιλογή αυτή καθιστά μη απαραίτητη τη διαδικασία της σταθεροποίησης, αφού στις εγκαταστάσεις ΧΥΤΑ υπάρχει πληθώρα μικροοργανισμών, και η περαιτέρω φόρτισή τους από την ιλύ δε θεωρείται σημαντική
- η καύση

Η διάθεση σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες απαγορεύεται σύμφωνα με κοινοτική οδηγία (91/271/ΕΕ) μετά την 31^η Δεκεμβρίου 1998.

Στην Ελλάδα, η συντριπτική πλειοψηφία (>95%) των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων διαθέτει τη λάσπη σε χωματερές, όταν ο αντίστοιχος μέσος ευρωπαϊκός δείκτης δεν υπερβαίνει το 25%. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι κυρίως το χαμηλό κόστος που προσφέρει η λύση (δεν απαιτεί στάδια επεξεργασίας με σταθεροποίηση), αν και αρκετές φορές η επιλογή ΧΥΤΑ είναι μια πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία εξαιτίας των αντιδράσεων τοπικών κοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΟΛΗ 200.000 ΚΑΤΟΙΚΩΝ



Εικόνα 26 : Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων

7.1 Βασικά κριτήρια σχεδιασμού μονάδας βιολογικού καθαρισμού

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μιας πόλης κατασκευάζονται σε μεγάλη απόσταση από το κέντρο της πόλης και σε αρκετή απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές.

Για την χωροθέτηση των μονάδων της εγκατάστασης λαμβάνονται υπόψιν τα παρακάτω κριτήρια:

Το κτίριο Διοίκησης τοποθετείται κοντά στην είσοδο της εγκατάστασης αρκετά μακριά από την μονάδα επεξεργασίας των βοθρολυμάτων και την προεπεξεργασία των αστικών λυμάτων, που αποτελούν ιδιαίτερα οχληρές περιοχές. Η χωροθέτηση του κτιρίου Διοίκησης δίνει την δυνατότητα άμεσου ελέγχου των εισερχομένων στην εγκατάσταση. Παράπλευρα του κτιρίου Διοίκησης, και εφαπτόμενο με αυτό, κατασκευάζεται το κτίριο Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας ιλύος, (πάχυνση, αφυδάτωση), κατασκευάζονται σε απομακρυσμένη περιοχή, μακριά από το κτίριο Διοίκησης.

Λειτουργικά ο χώρος σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει ευελιξία κινήσεων, παρακολούθησης και λειτουργίας του συνόλου του έργου.

Σχεδιάζεται οδοποιία ώστε να παρέχεται άνετη πρόσβαση οχημάτων σε όλες τις περιοχές του έργου, εξυπηρέτηση της λειτουργικότητας της εγκατάστασης και ευχέρεια απομάκρυνσης ή επανατοποθέτησης του εξοπλισμού των μονάδων

Μελετάται και λαμβάνεται υπ' όψιν επίσης η διαμόρφωση του εδάφους και η οδοποιία, για την άμεση επιφανειακή αποροή των ομβρίων παράπλευρα και περιφερειακά του γηπέδου με κατάλληλες κλίσεις του οδοστρώματος.

7.2 Συνοπτική Περιγραφή της Μονάδας

- Είσοδος Λυμάτων
- Μονάδα υποδοχής και προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων
- Εσχάρωση
- Μετρητής Venturi.
- Εξάμμωση
- Δεξαμενή Απονιτροποίησης
- Δεξαμενή Αερισμού
- Δεξαμενές Καθίζησης
- Χλωρίωση
- Αντλιοστάσιο εξόδου
- Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και πτερίσεως Ιλύος
- Αφυδάτωση Ιλύος
- Κτίριο Διοίκησης-Ενέργειας
- Κτίριο Αφυδάτωσης

Έργα υποδομής τα οποία είναι είναι απαραίτητα για την λειτουργία της μονάδας:

- Δίκτυο εσωτερικής οδοποιίας
- Δίκτυο παροχής ενέργειας και ηλεκτροφωτισμού
- Δίκτυο τηλεφωνικών γραμμών και σημάτων
- Δίκτυα ύδρευσης με νερό της πόλης
- Δίκτυο ύδρευσης, άδρευσης και πυρόσβεσης με βιομηχανικό νερό
- Δίκτυο αποχέτευσης
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου
- Διόδευση και απορροή ομβρίων υδάτων
- Περίφραξη

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Θέση	Επιλέγεται περιοχή στο άκρο της πόλης κοντά σε ΧΥΤΑ
Οικόπεδο	80 - 100 στρέμματα
Κατάληψη οικοπέδου για έργα	35 στρέμματα
Πράσινο	15 στρέμματα γκαζόν
	200 δένδρα
	2000 θάμνοι
Δαπάνη οικοπέδου	2.9 εκ. Ευρώ
Δαπάνη εγκαταστάσεων	16.5 εκ. Ευρώ

7.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Είδος Λυμάτων	Αστικά
Ισοδύναμος πληθυσμός	200000
Μέγιστη ημερήσια παροχή	45.000 m^3/d
Μέση ημερήσια παροχή	40.000 m^3/d
Παροχή αιχμής	1.000 l/s

Ποιοτικά χαρακτηριστικά Εισόδου	
BOD5	12.000 kg/d
COD	15.000 kg/d
Στερεά (S.S)	15.000 kg/d
Ολικό Άζωτο	2.500 kg/d
Φώσφορος	500 kg/d

Ποιοτικά χαρακτηριστικά Εξόδου	
BOD5	900 kg/d
COD	4.000 kg/d
Στερεά (S.S)	1.000 kg/d
Ολικό Άζωτο	500 kg/d
Φώσφορος	350 kg/d
Βαθμός καθαρισμού BOD5	> 93 %

7.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η πλέον σύγχρονη μέθοδος επεξεργασίας που προτείνεται και για μεγάλους όγκους λυμάτων είναι η μέθοδος του παρατεταμένου αερισμού (EXTENDED AERATION ACTIVATED SLUDGE) με σταθεροποίηση της βιολογικής ιλύος, βιολογική νιτροποίηση και απονιτροποίηση για απομάκρυνση του αζώτου και βιολογική αποφωσφόρωση για απομάκρυνση του φωσφόρου. Πρωτοβάθμια καθίζηση προηγείται της βιολογικής βαθμίδας επεξεργασίας για την μείωση του οργανικού φορτίου και των ενεργειακών αναγκών αερισμού.

7.6 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΟΜΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τομέας Προεπεξεργασίας αποτελούμενος από:

- Την μονάδα Χονδροεσχάρωσης
- Το Αντλιοστάσιο Ανύψωσης λυμάτων
- Τη μονάδα Λεπτής Εσχάρωσης
- Τη μονάδα Εξάμμιωσης
- Τον Μετρητή Παροχής Εισόδου
- Τη μονάδα Πρωτοβάθμιας Καθίζησης.

Τομέας Βιολογικής Επεξεργασίας αποτελούμενος από :

- Το Φρεάτιο Διανομής πριν τις Δεξαμενές Βιολογικής Επεξεργασίας
- Τις δεξαμενές Βιολογικής Αποφωσφόρωσης
- Τις Δεξαμενές Αερισμού
- Τις Δεξαμενές Τελικής Καθίζησης
- Το Αντλιοστάσιο Ανακυκλοφορίας και Απομάκρυνσης Περίσσειας Ιλύος

Τομέας Επεξεργασίας Ιλύος αποτελούμενος από :

- Την Εγκατάσταση Μηχανικής Πάχυνσης Ιλύος
- Τα Αντλιοστάσια Παχυμένης Ιλύος
- Τις Δεξαμενές Αναερόβιας Χώνευσης Ιλύος.
- Την Εγκατάσταση Μηχανικής Αφυδάτωσης Ιλύος

Τομέας Απολύμανσης αποτελούμενος από :

- Τον Μετρητή παροχής εξόδου
- Την Δεξαμενή Απολύμανσης
- Το Συγκρότημα Προσθήκης Απολυμαντικού
- Τη μονάδα Διύλισης για παραγωγή Βιομηχανικού Νερού

Τομέας Εξόδου αποτελούμενος από :

- Το Φρεάτιο Φόρτισης του Υποθαλασσίου Αγωγού Διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων
- Το Αντλιοστάσιο Πλύσης του Υποθαλασσίου Αγωγού Διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων
- Το σύστημα Παράκαμψης Ασφαλείας

7.7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

Ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (Κ.Α.Α) καταλήγει στα έργα εισόδου .

Τα λύματα υφίστανται ένα πρώτο εσχарισμό προκειμένου να αφαιρεθούν τα μεγάλα στερεά και στη συνέχεια εισέρχονται στον θάλαμο υπερχειλισής ασφαλείας. Από το θάλαμο αυτό τα λύματα οδηγούνται σε αντλιοστάσιο για τοπική ανύψωση ώστε στη συνέχεια να οδηγηθούν στην κύρια γραμμή επεξεργασίας με βαρύτητα. Στη συνέχεια υφίστανται εσχάρωση όπου κατακρατούνται τα μεγαλύτερα των 10 χλστ. στερεά. Οι εσχάρες είναι μηχανικού αυτοκαθαριζόμενου τύπου ενώ υπάρχουν παρακαμπτήριοι δίαυλοι ασφαλείας (BY PASS) με βοηθητικές απλές εσχάρες που καθαρίζονται από το εργατικό προσωπικό της εγκατάστασης.

Από το έργο εσχάρωσης τα λύματα οδηγούνται στον εξαμμωτή όπου γίνεται απομάκρυνση της άμμου και αφαίρεση των λιπών και των αφρών. Τα εσχάρισματα και η άμμος συλλέγονται σε κάδους και σε τακτά χρονικά διαστήματα οδηγούνται για απόρριψη στον ΧΥΤΑ ενώ τα υγρά στραγγίδια τους οδηγούνται στην έξοδο του μετρητή παροχής. Από τον εξαμμωτή τα λύματα οδηγούνται στον μετρητή παροχής. Στη συνέχεια τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής από όπου κατανέμονται

εξίσου στις λειτουργούσες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Σε περίπτωση ηθελημένης παράκαμψης της βιολογικής βαθμίδας τα λύματα από το φρεάτιο διανομής μπορούν να παροχετευτούν προς το φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού μέσω παρακαμπτηρίου αγωγού (BY PASS).

Στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης γίνεται αφαίρεση των στερεών περίπου κατά 60% και του βιοδοασπάσιμου οργανικού φορτίου (υπό μορφή στερεών) της τάξης του 30%. Τα λύματα που υπερχειλίζουν οδηγούνται στις δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι εφοδιασμένες με παρακαμπτήρια διάταξη προκειμένου να τροφοδοτούνται οι δεξαμενές αερισμού με λύματα "πλήρους φορτίου" όταν παρατηρείται έλλειψη άνθρακα για την διαδικασία της αφαίρεσης αζώτου.

Από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης η πρωτοβάθμια ιλύς μεταφέρεται στο σύστημα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντριση) από όπου η παχυμένη ιλύς μεταφέρεται στον αναερόβιο χωνευτή όπου υφίσταται αναερόβια χώνευση και σταθεροποίηση.

Στην δεξαμενή αερισμού τα λύματα υφίστανται συνδυασμένη βιολογική αερόβια και αναερόβια επεξεργασία για την αποικοδόμηση και αδρανοποίηση των οργανικών υλών καθώς και αζωτούχων και φωσφορούχων ρυπαντικών τους φορτίων με ταυτόχρονη σταθεροποίηση της ιλύος.

Τα λύματα ακολούθως οδηγούνται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης όπου καθιζάνει η βιομάζα. Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας επανακυκλοφορεί προς τις δεξαμενές αερισμού για την διατήρηση σταθερού ποσοστού ενεργού ιλύος, μέσω του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας ιλύος, ενώ τα διαυγασμένα υγρά υπερχειλίζουν και οδηγούνται στην μονάδα απολύμανσης στην οποία χρησιμοποιείται διάλυμα διοξειδίου του χλωρίου για την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών.

Μετά την απολύμανση τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού και διατίθενται στη θάλασσα.

Η πλεονάζουσα βιολογική ιλύς παροχετεύεται καθημερινώς μέσω του Αντλιοστασίου Περίσσειας προς πάχυνση και αναερόβια χώνευση. Το σύνολο της

σταθεροποιημένης, μετά την χώνευς, ιλύος υφίσταται αφυδάτωση και στη συνέχεια μεταφέρεται για τελική διάθεση στο ΧΥΤΑ.

Τα υγρά στραγγίσεως της αφυδάτωσης επιστρέφουν με βαρύτητα σε ενδιάμεσο αντλιοστάσιο και από εκεί στην έξοδο του καναλιού μέτρησης της παροχής.

Ολόκληρο το σύστημα επεξεργασίας ως προς την λειτουργία και τις μετρήσεις ελέγχεται κεντρικά από πλήρες ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού.

Υπάρχει εγκατάσταση υποσταθμού για την λειτουργία της εγκατάστασης υπό μέση τάση ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγους σαν σύστημα εφεδρείας.

Λειτουργούν δύο συστήματος απόσπησης για τον καθαρισμό του αέρα των κτιρίων του τομέα προεπεξεργασίας και του τομέα επεξεργασίας ιλύος όπου εκλύονται οσμές.

Τέλος υπάρχουν όλα τα έργα υποδομής (ύδρευση, αποχέτευση, όμβρια, ηλεκτροφωτισμός, τηλέφωνα, αντικεραυνική προστασία, κ.λ.π.) καθώς και κατάλληλα κτιριακά έργα (κτίριο Διοίκησης-χημείο, αποθήκες κ.λ.π.) για την εξυπηρέτηση της εγκατάστασης.

7.8 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Χονδροεσχάρωση - Υπερχείλιση Ασφαλείας

Με την είσοδό τους στην εγκατάσταση τα λύματα υφίστανται ένα πρώτο εσχαρισμό προκειμένου να αφαιρεθούν τα μεγάλα στερεά. Η εσχάρα είναι αυτόματη με διάκενα μεταξύ των ράβδων 60 mm (τύπος που χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων). Τα εσχαρίσματα συλλέγονται σε κάδους και σε τακτά χρονικά διαστήματα μεταφέρονται στο ΧΥΤΑ. Στη συνέχεια τα λύματα εισέρχονται σε κυκλική δεξαμενή διαμέτρου 12 m η οποία περιλαμβάνει υπερχειλιστή ασφαλείας για διάθεση της υπερβάλλουσας παροχής στο By-pass ασφαλείας που

καταλήγει στο φρεάτιο τελικής διάθεσης.

Αρχική άντληση

Η μονάδα αρχικής άντλησης απαιτείται για την ανύψωση των λυμάτων από το φρεάτιο άφιξης του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού σε στάθμη τέτοια ώστε να είναι δυνατή η ροή των λυμάτων με βαρύτητα μέσα από τις μονάδες επεξεργασίας μέχρι το φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού.

Το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει 5 φυγοκεντρικές αντλίες κατάλληλες για άντληση λυμάτων με δυναμικότητα 800 m³/h έκαστη για να υποδεχθεί τον όγκο των λυμάτων (40.000 m³/h). Όλες οι αντλίες πρέπει να ελέγχονται από 5 αυτόνομους ρυθμιστές στροφών ώστε η τροφοδοσία της εγκατάστασης να είναι ομαλή και ανάλογη της παροχής εισόδου.

Ολόκληρο το αντλιοστάσιο πρέπει να είναι τοποθετημένο σε κλειστό κτίριο του οποίου ο αέρας να υφίσταται απόσπηση. Οι κινητήρες των αντλιών, οι μηχανισμοί έδρασης και ανύψωσης και οι πίνακες χειρισμού βρίσκονται επίσης σε κλειστό κτίριο που είναι εξοπλισμένο με σύστημα εξαερισμού και φωτισμού.

Εσχαρισμός – Εξάμμωση – Απολίπανση – Μέτρηση Παροχής

Η προεπεξεργασία των λυμάτων αποσκοπεί στην αφαίρεση των φερτών, σκουπιδιών κλπ. Της άμμου καθώς και των επιπλεόντων υλικών (λίπη, έλαια κλπ.) ώστε να προστατευθούν οι μονάδες επεξεργασίας που ακολουθούν (καθίζηση, αερισμός, χώνευση) και να διαχωριστούν τα αδρανή συστατικά των λυμάτων από τα οργανικά.

Η μονάδα εσχάρωσης είναι τοποθετημένη εξ ολοκλήρου μέσα σε κλειστό κτίριο. Αποτελείται από δυο (2) αυτοκαθαριζόμενες «λεπτές» σχάρες με διάκενα μεταξύ των ράβδων 10 mm και κανάλι παράκαμψης της μονάδας εσχάρωσης, εξοπλισμένο με απλή σχάρα 20 mm. Η συλλογή και αποκομιδή των εσχαρισμάτων γίνεται με μεταφορική ταινία για να οδηγηθούν στη συνέχεια σε συμπιεστή σχαρισμάτων που τα συμπιέζει και τα αποθέτει σε ειδικούς κάδους συλλογής. Σε τακτά χρονικά διαστήματα τα εσχαρίσματα μεταφέρονται στο ΧΥΤΑ.



Εικόνα 27 : Αυτοκαθαριζόμενες λεπτές σχάρες

Η μονάδα εξάμμωσης είναι αεριζόμενου τύπου. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με διάχυση πεπιεσμένου αέρα και εξασφαλίζει αφενός μεν τον καλύτερο διαχωρισμό της άμμου και των λιπών-οργανικών από τα λύματα, αφετέρου δε τον προ-αερισμό των λυμάτων και την μερική απομάκρυνση των οσμών. Η εξάμμωση περιλαμβάνει δυο παράλληλες διώρυγες ειδικής τραπεζοειδούς διατομής και παλινδρομική γέφυρα με ξέστρο που κατά τις δυο διαδρομές του, δηλαδή κατά τη φορά της ροής και αντίθετα, σαρώνει εναλλάξ την άμμο από τον πυθμένα και τα λίπη από την επιφάνεια. Η μονάδα εξάμμωσης είναι στεγασμένη ώστε ο αέρας του εσωτερικού χώρου να ανανεώνεται και να υφίσταται απόσμηση.



Εικόνα 28 : Μονάδα εξάμμωσης

Η άμμος οδηγείται από το ξέστρο σε χοάνες απ' όπου αντλείται με υποβρύχια αντλία σε ειδικά σιλό, αφυδατώνεται και μέσω ηλεκτροκίνητου μηχανισμού εκκένωσης, απορρίπτεται σε κάδους για μικρό χρονικό διάστημα μέχρι την τελική διάθεση στο ΧΥΤΑ. Τα λίπη συγκεντρώνονται αρχικά σε δυο φρεάτια στο κατάντη άκρο των δυο διωρύγων. Εκεί με ιδικά βιολογικά πρόσθετα διασπώνται, διαλυτοποιούνται και επιστρέφουν στο αντλιοστάσιο στραγγιδίων.

Όλες οι επιμέρους μονάδες (σχάρες, εξαμμωτές, αγωγοί κλπ.) μπορούν να απομονωθούν με ηλεκτροκίνητα ή αφαιρετά θυροφράγματα για επισκευή.

Για τη μέτρηση της παροχής εισόδου χρησιμοποιείται ανοικτό κανάλι Venturi και συσκευή με υπερήχους για τη μέτρηση της στάθμης του υγρού σε αυτό. Η συσχέτιση της μετρούμενης στάθμης με την παροχή γίνεται αυτόματα από το όργανο. Στο τέλος του καναλιού υπάρχει ηλεκτροκίνητη υπερχειλιστική διάταξη που επιτρέπει μέρος ή το σύνολο της παροχής να οδηγηθεί μέσω ενός δεύτερου καναλιού μέτρησης παροχής στη βιολογική βαθμίδα παρακάμπτοντας την πρωτοβάθμια καθίζηση. Αυτό γίνεται όταν παρατηρούνται αραιά λύματα φτωχά σε οργανική τροφή.

Πρωτοβάθμια καθίζηση

Η μονάδα πρωτοβάθμιας καθίζησης επιτυγχάνει την απομάκρυνση μέρους των σωματιδίων από τα λύματα μειώνοντας έτσι το συνολικό οργανικό φορτίο των λυμάτων (BOD5) κατά 25-30% και των αιωρούμενων στερεών κατά 60%.



Εικόνα 29 : Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας καθίζησης

Η μονάδα αποτελείται από κυκλικές δεξαμενές εξοπλισμένες με περιστρεφόμενη γέφυρα. Από τη γέφυρα αναρτάται το ξέστρο σάρωσης της ιλύος προς τον κεντρικό κώνο συλλογής του πυθμένα. Η πρωτοβάθμια ιλύς απομακρύνεται περιοδικά με κοχλιωτές αντλίες και οδηγείται στους αναερόβιους χωνευτές είτε απ' ευθείας αν η συγκέντρωση των στερεών είναι επαρκής είτε σε σύστημα μηχανικής πάχυνσης όπου υφίσταται μια περαιτέρω συμπύκνωση. Οι αντλίες πρωτοβάθμιας ιλύος είναι εγκατεστημένες μέσα σε υπόγειο τούνελ.

Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας

Η μονάδα βιολογικής επεξεργασίας περιλαμβάνει 3 παράλληλες γραμμές επεξεργασίας με αναερόβιες δεξαμενές βιολογικής αποφωσφόρωσης και δεξαμενές αερισμού-νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Στη βιολογική μονάδα επιτυγχάνεται η βιοαποδόμηση του οργανικού φορτίου, η οξειδωση του οργανικού και αμμωνιακού

αζώτου σε νιτρικά (νιτροποίηση), η απελευθέρωση του αζώτου των νιτρικών στην ατμόσφαιρα με τη μορφή του στοιχειακού αζώτου (απονιτροποίηση) και η δέσμευση φωσφόρου στη βιομάζα.



Εικόνα 30 : Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας

Η μονάδα βιολογικής επεξεργασίας της εγκατάστασης αποτελείται από

- την ανοξική δεξαμενή (προ-απονιτροποίηση)
- την δεξαμενή αερισμού (νιτροποίηση)
- τα αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού
- την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης
- το αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος και το αντλιοστάσιο περίσσειας ιλύος.

Η απονιτροποίηση των νιτροποιημένων λυμάτων γίνεται σε ξεχωριστές ανοξικές δεξαμενές, οι οποίες τοποθετούνται ανάντι των δεξαμενών αερισμού. Τα νιτροποιημένα λύματα μεταφέρονται από τις δεξαμενές αερισμού στις ανοξικές μέσω των αντλιοστασίων ανάμικτου υγρού. Κάθε ανοξική δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με σύστημα ανάδευσης.

Η δεξαμενή αποφωσφόρωσης περιλαμβάνει ένα φρεάτιο υποδοχής της ιλύος ανακυκλοφορίας, όγκου 400 m³ όπου σε αναερόβιες συνθήκες γίνεται πλήρης απομάκρυνση των νιτρικών που πιθανόν να περιέχει η ιλύς. Από το φρεάτιο αυτό η ιλύς υπερχειλίζει και ενώνεται με τα φρέσκα λύματα που εισέρχονται από το κανάλι διανομής. Στη φάση αυτή τα φωσφοροβακτήρια «ωριμάζουν» ώστε στην επόμενη αερόβια φάση επεξεργασίας να δεσμεύσουν το διαλυμένο φώσφορο.

Η οξειδωση των ανθρακούχων και αζωτούχων ενώσεων γίνεται στις δεξαμενές αερισμού. Ο σχεδιασμός των δεξαμενών γίνεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης νιτροποίηση των λυμάτων τόσο τη θερινή όσο και τη χειμερινή περίοδο. Ο απαιτούμενος αέρας εξασφαλίζεται με επιφανειακούς βραδύστροφους αεριστήρες. Η σταθεροποίηση της ιλύος γίνεται στις ανοξικές δεξαμενές και στις δεξαμενές αερισμού και δεν απαιτείται ξεχωριστό σύστημα σταθεροποίησης-χώνευσης της ιλύος. Για την σταθεροποίηση της ιλύος, η ηλικία της ιλύος (χρόνος παραμονής στερεών) σε κάθε περίπτωση είναι μεγαλύτερη των 20 ημερών.

Η κάθε δεξαμενή αερισμού όγκου 8.000 m³ έχει σχήμα διπλής τάφρου και περιλαμβάνει δύο κύριες περιοχές.

(1) Την αερόβια περιοχή όπου με την προσθήκη αέρα (δηλαδή οξυγόνου) τα αερόβια βακτήρια καταναλώνουν την οργανική τροφή και μετατρέπουν τις αζωτούχες ενώσεις σε νιτρικά άλατα.

(2) Την ανοξική περιοχή όπου άλλα βακτήρια μετατρέπουν τα νιτρικά άλατα σε αέριο άζωτο. Η προσθήκη του αέρα στη μάζα του υγρού γίνεται με επιφανειακούς αεριστήρες τύπου βούρτσας (Mammoth rotors). Σε κάθε δεξαμενή αερισμού υπάρχουν εγκατεστημένοι 6 αεριστήρες ισχύος 45 KW ο καθένας, προσφέροντας $6 \cdot 77,5 = 465$ KgO₂/h. Η ρύθμιση της παροχής του οξυγόνου που παρέχουν οι αεριστήρες επιτυγχάνεται με το συνδυασμό αυτόματης μέτρησης του διαλυμένου οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού και της ρύθμισης του βυθίσματος των αεριστήρων μέσω της κατάλληλης ταπείνωσης ή ανύψωσης της στάθμης αυτόματων υπερχειλιστών στην έξοδο των δεξαμενών αερισμού.

Δεξαμενές τελικής καθίζησης

Στις δεξαμενές τελικής καθίζησης γίνεται ο διαχωρισμός της ενεργού ιλύος από τα επεξεργασμένα λύματα. Υπάρχουν 3 δεξαμενές διαμέτρου 40 m. Τα επεξεργασμένα λύματα υπερχειλίζουν από περιφερειακούς οδοντωτούς υπερχειλιστές σε κανάλι

συλλογής και από εκεί οδεύουν προς τη δεξαμενή χλωρίωσης.

Η ιλύς που καθιζάνει στον πυθμένα συλλέγεται με κατάλληλα σάρωθρα, αναρτημένα από περιστρεφόμενη γέφυρα, στον κεντρικό κώνο και απάγεται από τη δεξαμενή συνεχώς. Η ίδια γέφυρα φέρει επιφανειακό σάρωθρον που παρασύρει συνεχώς τα επιπλέοντα και τα ωθεί μέσα σε χοάνη απ' όπου οδηγούνται σε παράπλευρο φρεάτιο από όπου αντλούνται προς τη δεξαμενή σταθεροποιημένης ιλύος προς αφυδάτωση.



Εικόνα 31 : Δεξαμενές τελικής καθίζησης

Η ιλύς που απάγεται από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης συγκεντρώνεται στον υγρό θάλαμο του αντλιοστασίου επανακυκλοφορίας από όπου μέρος αυτής επαναφέρεται στην μονάδα βιολογικής επεξεργασίας ενώ η περίσσεια οδηγείται μέσω χωριστού αντλιοστασίου στο μηχανικό σύστημα πάχυνσης.

Η περίσσεια ενεργός ιλύς, είναι σταθεροποιημένη και μπορεί να πηγαίνει απ' ευθείας προς πάχυνση και αφυδάτωση ή να οδηγείται στους αναερόβιους χωνευτές μαζί με την πρωτοβάθμια ιλύ για καλύτερη σταθεροποίηση.

Μονάδα απολύμανσης - μέτρησης παροχής εξόδου

Η μονάδα απολύμανσης αποσκοπεί στη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα λύματα σε λιγότερο από 500 cfu/100 ml που είναι το όριο που καθορίζουν οι εγκεκριμένοι Περιβαλλοντικοί Όροι.

Η μονάδα αποτελείται από:

- Διάταξη μέτρησης της παροχής σε ανοικτή δώρυγα Venturi και συσκευή με υπερήχους. Η μέτρηση της παροχής στη θέση αυτή είναι απαραίτητη για την ρύθμιση της δόσης του απολυμαντικού αναλογικά με την παροχή των λυμάτων.
- Δεξαμενή απολύμανσης.
- Αυτόματο σύστημα προσθήκης απολυμαντικού με αυτόματη ρύθμιση της δόσης αναλογικά προς την παροχή. Το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε χωριστή αίθουσα του κτιρίου απολύμανσης με τον τοπικό ηλεκτρολογικό πίνακα και τους αυτοματισμούς. Ως απολυμαντικό χρησιμοποιείται το ClO₂ που παράγεται επι τόπου με αντίδραση υδροχλωρικού οξέος και χλωριώδους νατρίου.
- Χώρος αποθήκευσης των χημικών .



Εικόνα 32 : Μονάδα απολύμανσης

Μονάδα μηχανικής πάχυνσης της ιλύος

Σκοπός της μονάδας πάχυνσης είναι η συμπύκνωση της ιλύος, πριν τροφοδοτηθεί στους χωνευτές για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους. Η πάχυνση γίνεται σε μηχανές φυγοκέντρισης που είναι απολύτως κλειστές έτσι ώστε η ιλύς να μην έρχεται καθόλου σε επαφή με το περιβάλλον. Στις μονάδες αυτές η ιλύς συμπυκνώνεται σε 4-6% σε στερεά με ταυτόχρονη αφαίρεση μέρους του υγρού που μέσω του δικτύου στραγγιδίων επιστρέφει στην είσοδο της εγκατάστασης. Η απαγωγή της παχυμένης ιλύος γίνεται μέσω αντλιών ξηρού τύπου θετικού εκτοπίσματος και μεταβλητής παροχής προς τους χωνευτές. Το σύστημα αυτό θεωρείται περιβαλλοντικά βέλτιστο διότι η διακίνηση της λάσπης γίνεται συνεχώς μέσα σε κλειστό σύστημα και ελαχιστοποιούνται οι οσμές.



Εικόνα 33 : Μονάδα μηχανικής πάχυνσης της ιλύος

Αναερόβιοι χωνευτές

Σκοπός της μονάδας χώνευσης είναι η αναερόβια σταθεροποίηση των οργανικών συστατικών της ιλύος (μόνο πρωτοβάθμιας ή μίγματος πρωτοβάθμιας και

περίσσειας βιολογικής ιλύος) ώστε να είναι ακίνδυνη και χωρίς περιβαλλοντικές οχλήσεις η διάθεσή της στο ΧΥΤΑ. Η μονάδα περιλαμβάνει δυο κλειστές κυλινδρικές δεξαμενές από σκυρόδεμα συνολικού όγκου 5.000 m³ (περίπου το 1/8 της ημερήσιας παροχής). Οι χωνευτές είναι μονωμένοι εξωτερικά με φύλλο υαλοβάμβακα που προστατεύεται από μεταλλικό περίβλημα. Το περιεχόμενο των χωνευτών αναμιγνύεται συνεχώς με σύστημα κοχλία και σωλήνα ελκυσμού αμφίδρομης λειτουργίας.

Η θέρμανση της ιλύος στη θερμοκρασία λειτουργίας των δεξαμενών 35-37°C επιτυγχάνεται με τη συνεχή άντληση του περιεχομένου του κάθε χωνευτή με τη βοήθεια φυγοκεντρικών αντλιών επανακυκλοφορίας μέσα από εξωτερικό εναλλάκτη θερμότητας (ένας για κάθε χωνευτή). Το σύστημα θέρμανσης της ιλύος περιλαμβάνει επίσης οριζόντιους φυγο-κεντρικούς κυκλοφορητές ζεστού νερού, το συγκρότημα του λέβητα και 3 καυστήρων. Οι καυστήρες λειτουργούν με το βιοαέριο που παράγεται κατά τη χώνευση αλλά προβλέπεται και η δυνατότητα λειτουργίας με πετρέλαιο. Όλος ο εξοπλισμός κυκλοφορίας και θέρμανσης της ιλύος που προαναφέρθηκε βρίσκεται τοποθετημένος μέσα σε κλειστό κτίριο.

Το αέριο που παράγεται στους χωνευτές (μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα) μεταφέρεται από την κορυφή του κάθε χωνευτή στο αεροφυλάκιο πλωτής οροφής που εξασφαλίζει προσωρινή αποθήκευση του βιοαερίου. Το αέριο χρησιμοποιείται βασικά για τη θέρμανση της ιλύος, ενώ το πλεονάζον οδηγείται σε πυρσό καύσης.

Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης

Η αφυδάτωση της ιλύος επιτυγχάνεται σε μηχανές φυγοκέντρισης, πρακτικά όμοιες με τις μηχανές πάχυνσης. Δύο χρησιμοποιούνται για την διαδικασία της πάχυνσης, μία για την διαδικασία της αφυδάτωσης και μία είναι εφεδρική για να καλύψει τυχόν βλάβη της μηχανής αφυδάτωσης ή μίας εκ των μηχανών πάχυνσης. Εκτός από τις μηχανές φυγοκέντρισης η μονάδα περιλαμβάνει τις αντλίες τροφοδοσίας της ιλύος και μονάδα παρασκευής και τροφοδοσίας διαλύματος πολυηλεκτρολύτη.

Η αφυδατωμένη ιλύς μεταφέρεται εκτός του κτιρίου αφυδάτωσης και απορρίπτεται.

Μονάδα παραγωγής βιομηχανικού νερού

Στόχος της μονάδας αυτής είναι η εξοικονόμηση νερού για τη λειτουργία και την άρδευση της εγκατάστασης. Η επιλογή αυτή είναι "οικολογικά σωστή" διότι επιτυγχάνει εξοικονόμηση νερού και άμβλυση των δυνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Η μονάδα περιλαμβάνει φίλτρο βαρύτητας από χαλαζιακή άμμο που τροφοδοτείται από δυο αντλίες αντίστοιχης δυναμικότητας, αντλίες και αεροσυμπιεστές έκπλυσης, ένα πιεστικό συγκρότημα για την τροφοδοσία του βιομηχανικού νερού στα σημεία κατανάλωσης (σχάρες, δίκτυο άρδευσης, κλπ.) και δεξαμενή αποθήκευσης.

Σύστημα απόσμησης

Το σύστημα απόσμησης αποτελείται από φυγοκεντρικούς αεριστήρες αναρρόφησης του αέρα, τους αεραγωγούς συλλογής του προς επεξεργασία αέρα και δύο μονάδες επεξεργασίας του αέρα, ένα για τα έργα εισόδου και ένα για τα έργα επεξεργασίας ιλύος. Κάθε μονάδα αποτελείται από ένα διπλό σύστημα χημικής πλυντρίδας και βιολογικού φίλτρου. Η χημική πλυντρίδα επιτυγχάνει την απομάκρυνση της μεγαλύτερης ποσότητας υδρόθειου και αμμωνίας ενώ το βιολογικό φίλτρο επιτυγχάνει τον τελικό «εξευγενισμό» αφαιρώντας τα όποια ίχνη υδρόθειου, αμμωνίας και άλλων οργανικών πτητικών ενώσεων (VOCs) που τυχόν δεν κατακρατούνται στην χημική πλυντρίδα. Η χημική πλυντρίδα των έργων εισόδου χρησιμοποιεί διαλύματα καυστικού νατρίου και υπεροξειδίου του υδρογόνου ενώ αυτή των έργων επεξεργασίας ιλύος διαλύματα καυστικού νατρίου και θειικού οξέος. Το σύστημα έχει συνολική απόδοση καλύτερη από 95% ενώ η ύπαρξη δύο αλληλοσυμπληρούμενων βαθμίδων παρέχει υψηλό βαθμό λειτουργικής αξιοπιστίας.



Εικόνα 34 : Σύστημα απόσμησης

Χρήση νερού και ενέργειας

Νερό

Οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης της εγκατάστασης πρέπει να καλύπτουν την εξυπηρέτηση του προσωπικού και τα σημεία της εγκατάστασης όπου απαιτείται η παροχή καθαρού νερού (χλωριωτές, παρασκευή διαλυμάτων). Η υδροδότηση της μονάδας μπορεί να γίνεται από το δίκτυο ύδρευσης της πόλης.

Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση πρέπει να διαθέτει δίκτυο βιομηχανικού νερού για το πλύσιμο των μηχανημάτων και την άρδευση του πρασίνου. Το νερό αυτό μπορεί να προέρχεται από μονάδα παραγωγής βιομηχανικού νερού και να παράγεται από την μονάδα διύλισης και πρόσθετης χλωρίωσης των επεξεργασμένων λυμάτων.

Πρώτες ύλες - Χημικά

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση είναι :

- NaClO_2 και HCl για την παρασκευή του απολυμαντικού ClO_2 .
- Πολυηλεκτρολύτης, σκόνη σε σάκους για τη διαδικασία της αφυδάτωσης.

- Καυστικό νάτριο, για τη ρύθμιση του pH του χωνευτή και διάλυμα πλύσης αέρα του συστήματος απόσμησης των έργων εισόδου, σε υγρή μορφή σε δοχείο.
- Υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂) για την οξειδωση των ρίπων του αέρα του συστήματος απόσμησης των έργων εισόδου.
- Θειικό οξύ για την εξουδετέρωση των αμμωνιακών ρίπων του αέρα του συστήματος απόσμησης των έργων ιλύος, σε υγρή μορφή σε δοχείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

8.1 Εισαγωγή

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς (Angelakis and Spyridakis, 1996 και Angelakis and Koutsoyannis, 2003). Παρόλο, που η άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων είναι από μόνη της ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας, η εφαρμογή ενός ελαχίστου επιπέδου επεξεργασίας πριν την εφαρμογή τους στο έδαφος κρίνεται αναγκαία ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης κτηνοτροφικών ή δασικών εκτάσεων. Η προεπεξεργασία αυτή επιβάλλεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας, την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και την απρόσκοπτη λειτουργία των αγωγών μεταφοράς και εφαρμογής (Asano et al., 1985).

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένο μάλιστα αριθμό και έκταση, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, το Ισραήλ και της Νοτίου Αφρικής. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της, η ΕΕ δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα με αντικείμενα επαναχρησιμοποίησης νερού. Οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Ισπανία, στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων που προβλέπεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού παγκοσμίως, της αύξησης του βιοτικού επιπέδου και της αύξησης της θερμοκρασίας. Δεσπόζουσα κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων

είναι η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και αναψυχής καθώς τα θέματα της ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995). Σημειώνεται ότι με τις διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες είναι δυνατή ακόμη και η παραγωγή πόσιμου νερού από περιθωριακά νερά όταν συντρέχουν λόγοι, παρόλο, που τίθενται σοβαρά θέματα όπως είναι η προστασία της δημόσιας υγείας, το υψηλό κόστος επεξεργασίας και η κοινωνική αποδοχή.

Για κάθε ωφέλιμη χρήση επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, και η οποία προσδιορίζει τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το ανάλογο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Τα κριτήρια προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία δεν είναι αμφιλεγόμενα, αφού η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από τις προδιαγραφές της βιομηχανικής ζήτησης. Επίσης, τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να πληροί το ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται για πόση δεν είναι αμφιλεγόμενα, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και φυσικά επικινδυνότητας, έχουν περιορίσει την εφαρμογή της. Αντίθετα, τα κριτήρια για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, παρόλο την συμπληρωματική επεξεργασία που διενεργείται κατά τη διήθηση και κατείσδυση των εκροών, διεθνώς σήμερα αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό. Σε τέτοια συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στα επίπεδα των συγκεντρώσεων νιτρικών, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν σε ίχνη στις εκροές αποβλήτων.

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, καθώς επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας (Asano and Levine, 1996). Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρές ελλείψεις νερού και έλλειψη πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση

επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν τις ισχύουσες λιγότερο αυστηρές οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization, WHO). Οι οδηγίες αυτές βασίσθηκαν στις επικρατούσες τάσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και ουσιαστικά θεωρούν όρια για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (1000 FC/100 cm³) και τους εντερικούς νηματώδεις (αυγά $\leq 1/L$). Παρόλο που οι οδηγίες αυτές δεν εξειδικεύονται στις επιμέρους χρήσεις και ποιοτικές και άλλες παραμέτρους, αποτελούν ωστόσο ένα θετικό βήμα σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων εκροών. Η κύρια φιλοσοφία τους εστιάζεται στα όρια που θέτουν, ως εγγύηση για την ασφάλεια του νερού, που χρησιμοποιείται για άρδευση. Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι προκειμένου να έχουμε απευθείας επαναχρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, οι προδιαγραφές του WHO είναι ήδη ένα βήμα προς τα εμπρός. Σημειώνεται ότι οι οδηγίες του WHO είναι πιο αυστηρές από τις οδηγίες της ΕΕ, για το νερό κολύμβησης. Πρόσφατα, ο WHO εξέδωσε οδηγίες που αφορούν χημικές ουσίες σχετικές με την ανθρώπινη υγιεινή για γεωργικές εφαρμογές εκροών και ιλύος υγρών αποβλήτων (Chang et al., 1995).

Εξαιτίας των κινδύνων, που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν ξεκινήσει τις απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίησής (Asano and Mujeriego, 1988). Τα κριτήρια/οδηγίες διαφοροποιούνται θεαματικά μεταξύ των διαφόρων χωρών ή και περιοχών. Ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού του Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς σχετικά αυστηρούς ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση, που παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενες ενότητες. Όμως, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί για την προστασία της δημόσιας υγείας από κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων συχνά συνδέονται με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων. Σε αρκετές από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης, ουσιαστικά, αποτελούν πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων. Σε άλλες, περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξέργαστα ή πλημμελώς

επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνα, όπως είναι οι εντερικοί έλμινθοι, κυρίως η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικ. Ancylostomatidae και τα ασκάρια (*Ascaris iumbricoides*). Αυτοί οι μολυσματικοί οργανισμοί είναι επικίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και ιδιαίτερα τους καλλιεργητές και τα μέλη των οικογενειών τους καθώς και στους καταναλωτές φυτικών τροφών (Feachem et al., 1983, Pescod, 1990, Shuval et al., 1986, WHO, 1980 και άλλοι).

8.2. Κατηγορίες Επαναχρησιμοποίησης

Οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ΕΥΑ είναι: η άρδευση, ο εμπλουτισμός υδροφορέων, η βιομηχανική χρήση, η χρήση για αναψυχή, η αστική και εμπορική χρήση, η χρήση για υδατοκαλλιέργεια και διάφορες άλλες. Η κυριότερη χρήση είναι η γεωργική, που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη χώρα μας και γενικά στις Μεσογειακές χώρες. Η ανάπτυξη της άρδευσης με ανακτώμενο νερό οφείλεται σε τέσσερις βασικά λόγους. Αυτοί είναι οι παρακάτω:

(α) Οι ΕΥΑ αποτελούν πρόσθετη πηγή υδατικών πόρων κυρίως σε αγροτικές περιοχές για άρδευση. Αυτή η πηγή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε περιοχές με ελλειμματικούς υδατικούς πόρους, όπου η αυξημένη ζήτηση για οικιακή χρήση (οφειλόμενη στην πληθυσμιακή αύξηση και στη βελτίωση των ποιοτικών κριτηρίων διαβίωσης) μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή. Η υδατοπρομήθεια με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θεωρείται ποσοτικά αξιόπιστη από τους γεωργούς, αφού αυτή είναι ανεξάρτητη των βροχοπτώσεων και του υδατικού ισοζυγίου της θεωρούμενης περιοχής.

(β) Η άρδευση παρέχει συμπληρωματική επεξεργασία των εκροών, καθώς ευνοεί την αποδόμηση οργανικών συστατικών στο έδαφος και/ή την εξάχνωση τους, τη θανάτωση παθογόνων, την προσρόφηση οργανικών ενώσεων, και την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά.

(γ) Η διάθεση των επεξεργασμένων εκροών με άρδευση αποτελεί εναλλακτική διάθεση χαμηλού κόστους σε σχέση με άλλους φυσικούς αποδέκτες (θάλασσα, ποταμούς λίμνες).

(δ) Τέλος, η άρδευση αποτελεί εναλλακτική διάθεση με τις μικρότερες δυνατές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

8.3. Παράγοντες που Καθορίζουν την Ανάπτυξη και Θέσπιση Κριτηρίων

Κατά την θέσπιση οδηγιών/κανονισμών που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων λαμβάνονται υπόψη. Οι κυριότεροι από αυτούς μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

(α) Προστασία δημόσιας υγείας. Η χρήση επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Για αυτό το σύνολο των οδηγιών επαναχρησιμοποίησης επικεντρώνονται στη προστασία της δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις μη πόσιμων χρήσεων, οι κανονισμοί αναφέρονται κύρια στα όρια παθογόνων οργανισμών στο ανακυκλωμένο νερό. Ωστόσο, όταν σχεδιάζεται επαναχρησιμοποίηση για έμμεση πόση ή για εμπλουτισμό υδροφορέων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, τα επίπεδα διάφορων τοξικών οργανικών λαμβάνονται υπόψη θέτοντας μέγιστα όρια και απαιτούμενες διεργασίες επεξεργασίας.

(β) Απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την χρήση. Ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση του η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού πρέπει να πληροί ορισμένα φυσικοχημικά κριτήρια. Πολλές βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές απαιτούν συγκεκριμένα επίπεδα φυσικών και χημικών παραμέτρων του νερού για την ομαλή και απρόσκοπτη χρήση του σε δεδομένες εφαρμογές. Όσον αφορά την άρδευση, ορισμένα συστατικά που βρίσκονται στο αρδευτικό νερό μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών ή καλλωπιστικών φυτών, το έδαφος και τους υποκείμενους υδροφορείς. Ωστόσο, όρια φυσικοχημικών παραμέτρων σπάνια συμπεριλαμβάνονται στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης.

(γ) Περιβαλλοντικές θεωρήσεις. Οι εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να εγκυμονούν κινδύνους στην φυσική πανίδα και χλωρίδα στην περιοχή που γίνεται εφαρμογή τους. Ακόμη, φυσικοί υδατικοί αποδέκτες που δέχονται εκροές υγρών αποβλήτων δεν θα πρέπει να υποβαθμίζονται ποιοτικά.

(δ) Αισθητικοί λόγοι. Εκροές υγρών αποβλήτων που προορίζονται για χρήσεις, όπως άρδευση πάρκων, καθαρισμό τουαλετών ή ψυχαγωγία, δεν θα πρέπει να διαφέρουν στη εμφάνιση τους από το φυσικό νερό. Δηλαδή, θα πρέπει να είναι διαυγείς, άχρωμες και άοσμες. Ακόμη, η χρήση ανακυκλωμένου νερού για ψυχαγωγία δεν θα πρέπει να ευνοεί την ανάπτυξη αλγών.

(ε) Πολιτικοί λόγοι. Νομοθετικές αποφάσεις, που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων επηρεάζονται από την υδατική πολιτική, την τεχνολογική εφαρμοσιμότητα και το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και

συντήρησης των αναγκαίων έργων. Παρόλο, που οι νομοθετικές υπηρεσίες λαμβάνουν υπόψη το κόστος που συνεπάγονται οι κανονισμοί στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων και στους χρήστες, αυτό δεν πρέπει να είναι σε βάρος της υγείας των πολιτών και της προστασίας του περιβάλλοντος.

8.4. Θεωρήσεις που Αφορούν την Υγεία

Η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού, που παράγεται συμπληρωματικά άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων, πρέπει να θεωρείται ισοδύναμη τους. Στην περίπτωση έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων πρέπει να διασφαλίζεται ότι παρέχουν τον ίδιο βαθμό προστασίας της δημόσιας υγείας, που παρέχουν οι συμβατικές πηγές νερού. Οι κύριες παράμετροι που θεωρούνται είναι τα παθογόνα, οι οργανικές ενώσεις και τα ανόργανα στοιχεία (κυρίως βαρέα μέταλλα).

8.4.1. Δυνατότητα μετάδοσης ασθενειών

Γενικά εκφράζονται σοβαρές ανησυχίες σχετικά με τη πιθανότητα μετάδοσης ασθενειών από την χρήση ανακυκλωμένου νερού, κυρίως δια μέσου της άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών ή του εμπλουτισμού υδροφορέων, ιδιαίτερα σε χώρες χωρίς εμπειρία σε τέτοιες τεχνολογίες. Αυτός ο προβληματισμός βασίζεται σε θεωρήσεις και εμπειρία, που έχουν αποκτηθεί από χώρες που η άρδευση με ΕΥΑ αποτελεί κοινή πρακτική, υπαγορεύει την ανάγκη της ανάπτυξης, καθιέρωσης και θέσπισης κριτηρίων για την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων. Αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνουν:

(α) Οδηγίες για την ποιότητα των εκροών ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση.

(β) Εφαρμογή βέλτιστης επεξεργασίας και απολύμανσης και αποθήκευση των εκροών και άλλων τεχνολογιών.

(γ) Περιορισμός της άρδευσης σε κατηγορίες καλλιεργειών συμβατές με το εφαρμοζόμενο επίπεδο επεξεργασίας των απόβλητων

(δ) Περιορισμούς στην εφαρμοζόμενη πρακτική άρδευσης (όπως επιφανειακή, καταιονισμό, στάγδην και υποεπιφανειακή), ανάλογα με την ποιότητα των εφαρμοζόμενων εκροών.

8.4.2 Επιπτώσεις από χημικούς παράγοντες

Γενικά, τα χημικά συστατικά που συναντώνται στις εκροές υγρών αποβλήτων που προορίζονται για διάφορες αστικές χρήσεις δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για την δημόσια υγεία. Ωστόσο, προβλήματα μπορούν να προκύψουν κατά την άρδευση καλλιεργειών εξαιτίας της συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε αυτές ή κατά τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφόρων που χρησιμοποιούνται για πόσιμη χρήση, εξαιτίας της πλημμελούς απομάκρυνσης διαφόρων τοξικών οργανικών ουσιών στις διηθούμενες εκροές.

8.5 Κυριότερα Έργα Ανάκτησης και Επαναχρησιμοποίησης Αστικών Υγρών Αποβλήτων

8.5.1 Ιστορική εξέλιξη

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων είναι συνώνυμη με την πρακτική της εδαφικής εφαρμογής υγρών αποβλήτων. Με την ανάπτυξη των συστημάτων αποχέτευσης το 19ο αιώνα, άρχισε παράλληλα και η ανάπτυξη των αποκαλούμενων γεωργικών εκμεταλλεύσεων αποβλήτων, που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ από τις αρχές του 1900 (Asano, 2001). Στη συνέχεια άρχισε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Η ανάπτυξη τέτοιων έργων άρχισε ουσιαστικά τον περασμένο αιώνα. Ήδη από τα μέσα του περασμένου αιώνα, πολυάριθμα τέτοια έργα ήταν σε λειτουργία σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

8.5.2 Σημαντικά έργα

Γενικά, η υδατοπρομήθεια με αξιόπιστες παροχές νερού που να καλύπτουν τις ανάγκες των καταναλωτών ποιοτικά και ποσοτικά και να προστατεύουν το περιβάλλον, αποτελεί αποστολή υψηλής ευθύνης και υποχρέωσης των αρμόδιων φορέων. Όπως προαναφέρεται, τα τελευταία έτη έχουν υλοποιηθεί με επιτυχία πολυάριθμα έργα ανακύκλωσης νερού σε πολλές χώρες. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί καταδεικνύει την ανακύκλωση του νερού σε έργα μικρής κλίμακας και τη συμβολή της στην αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων. Τα παραδείγματα που

ακολουθούν αποτελούν ένα δείγμα της ανάπτυξης έργων επαναχρησιμοποίησης σε όλο τον κόσμο.

8.5.2.1 Επαναχρησιμοποίηση στην γεωργία.

Η γεωργική χρήση ανακυκλωμένων υγρών αποβλήτων αποτελεί σήμερα την κυριότερη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης.

(α) Έργο Monterey, Καλιφόρνια. Ο Οργανισμός Monterey Regional Water Pollution Control Agency κατασκεύασε το 1987 ένα έργο που χρησιμοποιεί 20 Mm³/yr ανακυκλωμένο νερό από την πόλη Monterey για την άρδευση 50.000 στρ. λαχανικών στη πεδιάδα Lower Salinas. Πριν από αυτό το έργο, η εντατική χρήση υπόγειου νερού είχε δημιουργήσει προβλήματα υφαλμύρωσης του τοπικού υπόγειου υδροφορέα.

(β) Έργο Mexico city. Στο Μεξικό, 90% των αστικών υγρών αποβλήτων της πόλης του Μεξικού χρησιμοποιούνται για άρδευση στην πεδιάδα του Μεξικού και στην παρακείμενη πεδιάδα Mezquital, περιοχές με φτωχά εδάφη και ελλειμματικούς υδατικούς πόρους. Περίπου 45 m³/s τέτοιων νερών μεταφέρονται στην πεδιάδα Mezquital, όπου χρησιμοποιούνται για άρδευση περίπου 900.000 στρ. γεωργικής γης. Η χρήση αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής σε αυτή τη περιοχή. Ένα άλλο όφελος αυτού του έργου είναι η αύξηση των αποθεμάτων νερού του υπόγειου υδροφορέα στην πεδιάδα Mezquital και η δημιουργία ενός μικρότερου υπερκείμενου αβαθούς υδροφορέα .

(γ) Έργο Dan Region, Ισραήλ. Γενικά στο Ισραήλ οι ανάγκες σε νερό είναι μεγαλύτερες από τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, που συνολικά εκτιμώνται σε 1.800 Mm³/yr. Γι' αυτό το λόγο, η ανακύκλωση νερού αποτελεί συνήθως πρακτική κυρίως, για άρδευση γεωργικής γης. Περισσότερο από το 60% των υγρών αποβλήτων ανακτάται και επαναχρησιμοποιείται. Στο Tel Aviv, περίπου 250 Mm³/yr υγρών αποβλήτων επεξεργάζονται και στη συνέχεια εφαρμόζονται με διήθηση-κατεΐσδυση σε υπόγειο υδροφορέα για περαιτέρω επεξεργασία και αποθήκευση. Στη συνέχεια γίνεται άντληση από γεωτρήσεις ανάκτησης και διαμέσου του δικτύου Dan Region χρησιμοποιείται για άρδευση στις περιοχές Dan Region και Negev.

(δ) Έργο Virginia, Αυστραλία. Στην νότιο Αυστραλία κατασκευάστηκε ένα έργο μεταφοράς 30 Mm³/yr ανακυκλωμένου νερού από την ΜΕΥΑ της Adelaide (Bolivar) στην περιοχή της Virginia, βόρεια της Adelaide για την άρδευση οπωροκηπευτικών

καλλιεργειών. Το έργο ανάκτησης περιλαμβάνει διεργασίες διαλυμένου αέρα και φίλτρανσης δυναμικότητας 120.000 m³/d (Marks, 1998).

8.5.2.2 Αστική επαναχρησιμοποίηση

Αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένου νερού για διάφορες αστικές χρήσεις, όπως άρδευση χώρων πρασίνου, πλύσιμο δρόμων και τουαλετών παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες. Ένα έργο άρδευσης χώρων πρασίνου στο Sacramento της Καλιφόρνιας φαίνεται στην Εικόνα 15.1.

(α) Έργο Petersburg, Φλόριδα. Η πόλη St. Petersburg στην Φλόριδα έχει κατασκευάσει από το 1977 ένα σημαντικό έργο αστικής επαναχρησιμοποίησης ανακυκλωμένου νερού, που εφοδιάζει 10.000 ιδιοκτησίες συμπεριλαμβανομένων και 9.300 κατοικιών. Η επαναχρησιμοποίηση αφορά άρδευση κοινόχρηστων χώρων σε αστικές (κατοικήσιμες και μη) περιοχές, βιομηχανική χρήση, κλιματισμό και πυροπροστασία. Η δυναμικότητα του έργου είναι περίπου 80.000 m³/d και η χρησιμοποιούμενη ποσότητα χρονικά εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Το 1993 η κατανάλωση ανακυκλωμένου νερού έφθασε τα 100.000 m³/d. Επιπλέον, 70.000 m³/d περίπου χρησιμοποιούνται για εμπλουτισμό του τοπικού παράκτιου υδροφορέα.



Εικόνα 15.1. Έργο άρδευσης χώρου πρασίνου στο Sacramento της Καλιφόρνιας

(β) Έργο Irvine Ranch, Καλιφόρνια. Η Irvine Ranch Water District (IRWD) κατασκεύασε το 1977 έργο παροχής ανακυκλωμένου νερού (με χωριστό δίκτυο) για: άρδευση χώρων πρασίνου, συμπεριλαμβανομένων και κήπων κατοικιών (2.000 στρ.), άρδευση οπωροκηπευτικών (4.000 στρ.), τροφοδοσία λιμνών αναψυχής, πλύσιμο αυτοκινήτων και βιομηχανική χρήση. Επίσης, η IRWD έχει ανακοινώσει τη χρήση ανακυκλωμένου νερού για καθαρισμό WC. Η IRWD

διαχειρίζεται 57.000 m³/d σε 1750 καταναλωτές .

(γ) Έργο South Bay, Καλιφόρνια. Στην πεδιάδα Silicon της Καλιφόρνιας, οι Οργανισμοί νερού των επαρχιών San Jose και Santa Clara, αποφάσισαν να περιορίσουν την παροχή νερού στο νότιο άκρο του κόλπου του San Francisco σε 450.000 m³/d περίπου για μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μια ευαίσθητη περιοχή. Έτσι, κατασκευάστηκε υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης ανακυκλωμένου νερού για αστική, βιομηχανική και γεωργική χρήση. Η πρώτη φάση του έργου, δυναμικότητας 60.000 m³/d άρχισε να λειτουργεί το 1998 (Rosenblum, 1998).

(δ) Έργο Rouse Hill, Αυστραλία. Το έργο αυτό κατασκευάστηκε και λειτουργεί σε μια κατοικημένη περιοχή (Rouse Hill), βορειοδυτικά του Sydney. Ο τελικός σχεδιασμός του έργου προβλέπει την εξυπηρέτηση 300.000 κατοίκων, με τη πρώτη φάση του να εξυπηρετεί 100.000 κατοίκους σε 35.000 κατοικίες. Επίσης, ένα δεύτερο δίκτυο διανομής ανακυκλωμένου νερού κατασκευάστηκε για τον εφοδιασμό με νερό κατοικιών για τον καθαρισμό WC και άρδευση κήπων. Το πρώτο τμήμα του δικτύου ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2001 και αφορούσε την εξυπηρέτηση 10.000 κατοίκων.

(ε) Έργο Homebush Bay, Αυστραλία. Για τις ανάγκες των Ολυμπιακών Αγώνων του 2000 κατασκευάστηκε έργο χρήσης ανακυκλωμένου νερού στην περιοχή Homebush Bay του Sydney. Σε αυτό το έργο 7.000 m³/d ανακυκλωμένου νερού (βροχής και επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων) χρησιμοποιούνται για την άρδευση κοινόχρηστων χώρων, τον καθαρισμό WC και άρδευση κήπων σε 2.000 κατοικίες. Για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας νερού, εφαρμόζονται τεχνολογίες μικροφίλτρασης και αντίστροφης ώσμωσης. Το έργο αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των αναγκών σε υδατοπρομήθεια της πόλης του Sydney περίπου κατά 850.000 m³/d (Cooney, 2001).

(ζ) Έργο Mawson Lakes, Adelaide, Αυστραλία. Ο Οργανισμός ανάπτυξης Mawson Lakes στην Adelaide της Αυστραλίας εξυπηρετεί 10.000 κατοίκους σε 3.700 κατοικίες, καθώς επίσης ένα Πανεπιστήμιο και μια εμπορική και μια βιομηχανική περιοχή. Υγρά απόβλητα αυτής της περιοχής επεξεργάζονται και ανακυκλώνονται για καθαρισμό WC και άρδευση κοινόχρηστων και άλλων χώρων πρασίνου. Επίσης, νερό βροχής συλλέγεται, επεξεργάζεται και επαναχρησιμοποιείται για εφοδιασμό λιμνών αναψυχής και άρδευση χώρων πρασίνου.

Επιπλέον, σχεδιάζεται η συμπληρωματική επεξεργασία εκροών υγρών αποβλήτων για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση

τέτοιων νερών κατά τη χειμερινή περίοδο και η επαναχρησιμοποίηση τους κατά τη θερινή περίοδο για την αντιμετώπιση των αυξημένων αρδευτικών αναγκών (Marks, 1998).

8.5.2.3 Βιομηχανική Χρήση

Σε βιομηχανικές περιοχές, η χρήση ανακυκλωμένου νερού για βιομηχανική χρήση παρουσιάζει σήμερα αυξητική τάση.

(α) Μονάδα παραγωγής ενέργειας του Paolo Verde, Αριζόνα, ΗΠΑ. Σε αυτό το έργο (Paolo Verde Power Station) που βρίσκεται στην Sonoran Desert, 55 km δυτικά της πόλη Phoenix της Αριζόνας, χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό για ψύξη. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 3.810 MW και χρησιμοποιεί για ψυκτικούς σκοπούς 250.000 m³/d.

(β) Μονάδα παραγωγής ενέργειας Eraring, Αυστραλία. Στη μονάδα αυτή που βρίσκεται στην Lake Macquarie, 100 km νότια του Sydney χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό από την ΜΕΥΑ της Dora Creek. Οι εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, επεξεργάζονται τοπικά, συμπληρωματικά με μικροφίλτραση και αντίστροφη ώσμωση. Στη συνέχεια υπάρχει μονάδα απομάκρυνσης ανόργανων συστατικών, με σκοπό την παραγωγή νερού ποιοτικά κατάλληλου για την τροφοδοσία βραστήρα παραγωγής ατμού για τις ατμομηχανές της μονάδας. Αυτό το σχήμα επαναχρησιμοποίησης έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση 1,2 Mm³/yr πόσιμου νερού.

(γ) Μονάδες Παραγωγής Χάλυβα, Αυστραλία. Στις μονάδες αυτές αυτά τα έργα χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό για διεργασίες, όπως: ψύξη και μετριάσμος ή σβήσιμο φούρνων, ενώ σχεδιάζεται επέκταση της χρήσης τέτοιου νερού και στα δίκτυα παραγωγής χάλυβα στο Port Kemblu. Εκτιμάται ότι η μέγιστη χρήση ανακυκλωμένου νερού σε αυτές τις μονάδες θα κυμαίνεται από 35.000 έως 50.000 m³/d.

(δ) Έργα διυλιστηρίων. Στο έργο του διυλιστηρίου του Chevron στο Richmond στην Καλιφόρνια χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό για ψύξη από τη μονάδα της East Bay Municipal Water District. Ανάλογα σχήματα επαναχρησιμοποίησης εφαρμόζονται και στην Αυστραλία, όπου στην ΜΕΥΑ του Luggage Point στο Brisbane, παράγεται νερό (11.000 m³/d) με διεργασία μεμβρανών, που χρησιμοποιείται με χωριστό δίκτυο παροχής για τις ανάγκες του διυλιστηρίου της BP (Don, 2001).

(ε) Έργο New Water, Σιγκαπούρη. Το συμβούλιο Singapore Public Utilities κατασκεύασε ένα πιλοτικό έργο δυναμικότητας 10.000 m³/d για να προωθήσει την χρήση ανακυκλωμένου νερού σε μονάδες υψηλής τεχνολογίας. Πριν από τη κατασκευή του έργου εκπονήθηκαν μελέτες, που αφορούσαν τη προστασία της υγείας των εργαζομένων. Το σχήμα επεξεργασίας του έργου αυτού περιλαμβάνει μονάδα προωθημένης επεξεργασίας με μικροφίλτραση και αντίστροφη ώσμωση που ακολουθείται με απολύμανση με UV. Στη συνέχεια η μονάδα επεκτάθηκε και η σημερινή δυναμικότητα της είναι 45.000 m³/d.

8.5.2.4 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με ανακυκλωμένο νερό

Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπογείων υδροφορέων εφαρμόζεται για:

- (α) να μειώσουμε ή ακόμη και να αντιστρέψουμε την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα
- (β) να προστατεύσουμε παράκτιους υδροφορείς και
- (γ) αποθήκευση υδατικών πόρων.

Στην περίπτωση των υγρών αποβλήτων ο εμπλουτισμός υδροφόρων παρέχει συμπληρωματική επεξεργασία.

(α) Los Angeles, Καλιφόρνια. Στο Whittier Narrows, στη περιοχή του Los Angeles, εφαρμόζεται από το 1962 εμπλουτισμός του υποκείμενου υδροφορέα με εφαρμογή ανακυκλωμένου νερού σε λεκάνες ταχείας διήθησης. Οι εφαρμοζόμενες εκροές έχουν δεχτεί δευτεροβάθμια επεξεργασία που ακολουθείται από φίλτραση και απολύμανση. Η φίλτραση εφαρμόζεται από το 1978. Ο τεχνητός εμπλουτισμός με ανακυκλωμένο νερό αποτελεί το 16% της συνολικής ετήσιας εισροής στη λεκάνη. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα και τις θέσεις των γεωτρήσεων υδροδότησης αστικών περιοχών, ακόμη και για πόσιμη χρήση, το ποσοστό του ανακυκλωμένου νερού στο αντλούμενο νερό κυμαίνεται από 0 έως 23%. Μετά από αναλύσεις και μελέτη από μια ανεξάρτητη επιστημονική επιτροπή της Πολιτείας της California, διαπιστώθηκε ότι, το υπόγειο νερό στον υδροφορέα του Whittier Narrows είναι το ίδιο ασφαλές με το νερό επιφανειακών φυσικών πηγών.

(β) Orange County, Καλιφόρνια. Στην Orange County στην Καλιφόρνια λειτουργεί από το 1976 το γνωστό έργο ανάκτησης νερού Water Factory 21, δυναμικότητας 57.000 m³/d ανακυκλωμένου νερού επιπέδου επεξεργασίας ισοδύναμου των κριτηρίων που ισχύουν για το πόσιμο νερό. Το νερό αυτό διοχετεύεται υπό πίεση σε γεωτρήσεις εμπλουτισμού σε παράκτιο υδροφορέα, που χρησιμοποιείται κυρίως για

υδατοπρομήθεια πόσιμου νερού, με σκοπό την προστασία του από υφαλμύρωση. Γι' το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν 23 γεωτρήσεις σε έκταση 5,6 km (μέση απόσταση μεταξύ τους 183 m με δυναμικότητα 1,7 m³/min η καθεμία) για τη δημιουργία υδραυλικού φράκτη προστασίας του υδροφορέα. Μετά από 15 συνεχή έτη λειτουργίας και εμπειριστατωμένης παρακολούθησης, η Orange County ανακοίνωσε ότι δεν έχει επέλθει καμία μεταβολή της ποιότητας του υπόγειου νερού, που να μπορεί να έχει επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Γι' αυτό στη συνέχεια αποφασίστηκε η επέκταση του έργου, με αποτέλεσμα η σημερινή δυναμικότητα του να φτάνει τα 200.000 m³/d. Το έργο αυτό πρόσφατα αναβαθμίστηκε με εφαρμογή δυαδικών μεμβρανών. Το έργο αυτό σήμερα ευρίσκεται σε ανακατασκευή, που περιλαμβάνει αντικατάσταση όλων των διεργασιών με μικροφίλτραση RO και απολύμανση με UV και υπεροξείδιο του υδρογόνου.

(γ) Έργο Montebello Poreban στην Καλιφόρνια. Οι λεκάνες διήθησης που χρησιμοποιούνται για εμπλουτισμό του τοπικού υπόγειου υδροφορέα έχουν έκταση 2.635 στρέμματα, μέσο βάθος 1,2 m και δέχονται από 35 έως 40 Mm³/yr.

(δ) Έργο Long Island στη New York. Το ετήσιο υδραυλικό φορτίο στο έργο αυτό είναι 84 Mm³ και εφαρμόζεται με λεκάνες διήθησης συνολικής έκτασης 12.893 στρεμμάτων. Χρησιμοποιούνται 2.124 λεκάνες διήθησης επιφάνειας από 4 έως 8 στρέμματα η κάθε μία με μέσο βάθος από 3,1 έως 4,6 m.

(ε) Έργο Orlando, στη Florida. Χρησιμοποιούνται 310 γεωτρήσεις στράγγισης σε έκταση 320 km² διαμέτρου 10-16 m και βάθους από 37 έως 320 m. Το 50% των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για εμπλουτισμό από νερά πλημμυρικά, 45% από νερά υπερχείλισης λιμνών ή βιοτόπων και το 5% από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η συνολική ποσότητα εφαρμογής είναι 0,1 Mm³/day, δηλαδή περίπου 35 Mm³/yr εκρών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

(στ) Έργο El Paso, Texas. Στο El Paso του Texas χρησιμοποιούνται 38.000 m³/d ανακυκλωμένου νερού από τη μονάδα ανάκτησης του Fred Harvey για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα Hueco Bolson. Ο χρόνος κράτησης του ανακυκλωμένου νερού στον υδροφορέα είναι περίπου 2 έτη, πριν από την άντληση του για την υδροδότηση της πόλης El Paso. Μέχρι σήμερα, δεν έχουν επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί μια μικρή αύξηση στη συγκέντρωση διαλυτών στερεών του υπόγειου νερού. Το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής είναι 13,815 Mm³/yr και εφαρμόζεται σε 10 γεωτρήσεις εμπλουτισμού, δηλ. 1,38 Mm³/yr σε κάθε γεώτρηση. Το αρχικό κόστος του έργου τεχνητού εμπλουτισμού είναι \$1,88 για κάθε

3,785 m³ ή \$ 0,5 ανά m³ εκροής.

(η) Στην επαρχία Clayton της πολιτείας Georgia των ΗΠΑ, λειτουργεί έργο εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα, με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, από τις αρχές της 10ετίας του 1980 (Crites and Tchobanoglous, 1998). Οι εκροές εφαρμόζονται με τη μέθοδο της βραδείας εφαρμογής, σε δασική έκταση (10.000 στρ.) και παροχή 53.500

m³/ημερησίως. Ο υπόγειος υδροφορέας (Pates Creek) χρησιμοποιείται για την υδροδότηση της επαρχίας Clayton.

(θ) Στην κοιλάδα του ποταμού Salt στο Phoenix της Αριζόνα, εφαρμόζεται με τη μέθοδο της ταχείας διήθησης (1 εκατ. m³/έτος) χλωριωμένη εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με ενεργό ιλύ, σε συνολική έκταση 160 στρ. και βάθους υδροφόρου ορίζοντα 17 m. Μια λεκάνη διήθησης φαίνεται στην Εικόνα 15.2. Οι ανακτώμενες εκροές πληρούν τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης του σχετικού Νόμου της Καλιφόρνιας (Title 22), που θεωρείται ο αυστηρότερος από τους υφιστάμενους σήμερα παγκοσμίως (Asano, 1998).



Εικόνα 15.2. Λεκάνη ταχείας διήθησης στο Phoenix της Αριζόνα

8.5.2.5 Ανακύκλωση για έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού.

Η τυχαία επαναχρησιμοποίηση επιδρά συμπληρωματικά και ενισχύει υπάρχοντες υδατικούς πόρους. Αυτή εφαρμόζεται σε περιοχές που διενεργείται διάθεση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε υδατικούς αποδέκτες, που χρησιμοποιούνται

για τη λήψη νερού ακόμη και για πόσιμη χρήση. Οι πιο γνωστές τέτοιες περιπτώσεις αναφέρονται στους ποταμούς Τάμεση και Ρήνο, όπου πολλαπλές χρήσεις νερού διενεργούνται μεταξύ των πηγών και των εκβολών τους στη θάλασσα. Η US.EPA διεξήγαγε το 1980 μελέτη σε υδατικά συστήματα υδατοπρομήθειας 80 εκ. κατοίκων σε πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 25.000 κατοίκους. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης καταδεικνύουν ότι 26 εκ. κάτοικοι εξυπηρετούνταν από πηγές νερού, που περιείχαν από 6-100% υγρών αποβλήτων σε περιόδους χαμηλής ροής.

(α) Νότιος Αφρική. Σ' αυτή τη χώρα η ανακύκλιση του νερού έχει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην εξισορρόπηση της ζήτησης και της διαθεσιμότητας υδατικών πόρων. Γι' αυτό πολύ νωρίς, το 1956 με την ψήφιση του Νόμου Water Act προβλεπόταν όπως κάθε επεξεργασμένο σώμα υγρών αποβλήτων επιστρέφεται στη πηγή προέλευσής του, εκτός αν τύγχανε σχεδιασμένης επαναχρησιμοποίησης, για χρήση που ενθάρρυνε υψηλά κριτήρια επεξεργασίας. Αποτέλεσμα αυτών ήταν το ανακυκλωμένο νερό σε αυτή τη χώρα να συνιστά ένα σημαντικό ποσοστό της βασικής ροής σε πολλά υδατορεύματα. Έτσι, ως παράδειγμα αναφέρεται ότι το ανακυκλωμένο νερό συνιστά το 50% περίπου της εισροής στο ταμιευτήρα του Hartbeespoort, το οποίο προμηθεύει νερό τις πόλεις Pretoria και Johannesburg (Odental and Hattingh, 1998).

(β) Έργο Upper Occoquan, Virginia. Στη Virginia, ανακυκλωμένο νερό από τη μονάδα ανάκτησης του Upper Occoquan διατίθεται σε ταμιευτήρα, συνολικού όγκου 42 Mm³, που υδροδοτεί 1 εκ. κατοίκους στη North Virginia. Το ανακυκλωμένο νερό αποτελεί το 10-15% της συνολικής εισροής στο ταμιευτήρα και ο χρόνος κράτησής του σε αυτόν είναι 26 ημέρες. Η αρχική δυναμικότητα του έργου ήταν 55.000 m³/d, στη συνέχεια όμως επεκτάθηκε σε 100.000 m³/d ενώ σχεδιάζεται η περαιτέρω επέκτασή του σε 200.000 m³/d.

(γ) Άλλα παραδείγματα έμμεσης παραγωγής πόσιμου νερού αναφέρονται από Asano, (1998) και Tchobanoglous et al. (2003). Τέτοια είναι: το πιλοτικό έργο του Denver της πολιτείας του Colorado, το έργο Orange County, Water Factory 21 και το έργο της πόλης Tampa της Φλόριντας.

8.5.2.6 Ανακύκλωση για άμεση παραγωγή πόσιμου νερού.

Πέρα όμως αυτών των έργων παραγωγής κυρίως αρδευτικού νερού, έχει αναπτυχθεί σύγχρονη τεχνολογία παραγωγής νερού κατάλληλου για όλες σχεδόν τις

χρήσεις. Ενημερωτικά αναφέρεται ότι είναι σε εξέλιξη έργα ακόμη για άμμεση παραγωγή πόσιμου νερού, από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων, που δείχνουν το υψηλό επίπεδο της υφιστάμενης τεχνογνωσίας σε τέτοια αντικείμενα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το έργο Windhoek, Namibia. Όπως είναι γνωστό, η Windhoek είναι η πρωτεύουσα της Namibia, που βρίσκεται στο κέντρο περίπου της χώρας μεταξύ της Kalahari Desert ανατολικά και της Namib Desert δυτικά. Η μοναδική πηγή νερού στη περιοχή είναι ο ποταμός Kavango, που βρίσκεται σε απόσταση 750 km από τη πόλη με αποτέλεσμα να παρατηρείται σοβαρή έλλειματικότητα υδατικών πόρων στην ευρύτερη περιοχή. Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης, από πολύ νωρίς (1968) σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το πρώτο σε όλο τον κόσμο έργο ανάκτησης νερού από επεξεργασμένες εκροές αστικών υγρών αποβλήτων. Αυτό το έργο σχεδιάστηκε για την ανάκτηση και έμμεση επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων για κάλυψη μέχρι και 50% των συνολικών υδροδοτικών αναγκών της πόλης αυτής, στη διάρκεια των κρίσιμων περιόδων. Η αρχική δυναμικότητα του έργου ήταν 4.800 m³/d και παρήγαγε νερό αποδεκτής ποιότητας για πόση επί 30 έτη. Το έργο αυτό λειτουργεί επιτυχώς από τις αρχές της 10ετίας του 1970 και μέχρι σήμερα τα αποτελέσματα των μελετών, που έχουν πραγματοποιηθεί, δεν δείχνουν δυσμενείς επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Το έργο αυτό μέχρι σήμερα έχει αναβαθμιστεί και επεκταθεί, με αποτέλεσμα η δυναμικότητά του να έχει φτάσει τα 21.000 m³/d και να χρησιμοποιεί τεχνολογίες δυαδικών μεμβρανών. Έτσι, σήμερα υδατοπρομηθεύει το 31% της συνολικής υδατοπρομήθειας της πόλης. Το ανακυκλωμένο νερό αναμιγνύεται με το νερό της μονάδας επεξεργασίας πόσιμου νερού στο Goreangab, πριν από τη διανομή του στη πόλη. Η μέγιστη αναλογία μείξης είναι 1:1 και η οποία παρατηρείται κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας. Ο μέσος όρος μείξης από την αρχή της λειτουργίας του έργου το 1968 είναι 1:3,5. Γενικά όμως, το νερό της μονάδας του Goreangab στη συνέχεια αναμιγνύεται στις δεξαμενές διανομής και με νερό άλλων πηγών και τελικά η μέγιστη αναλογία ανακυκλωμένου νερού στο χρησιμοποιούμενο από τους καταναλωτές χρονικά και χωρικά δεν ξεπερνά το 25% (van der Merwe and Menge, 1996).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Έντυπη:

- Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων (για την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ε.Δ.Ε.Υ.Α)

Α.Ν ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ

- Υγρά Απόβλητα (Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών)

Α.Ν ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ, ΤΣΟΒΑΝΟΓΛΟΥΣ Γ.

- Επεξεργασία Λυμάτων

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Π. ΤΣΩΝΗΣ (Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών)

- Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Β. ΒΑΓΕΝΑΣ (Καθηγητής Περιβαλλοντικών Συστημάτων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων – Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων)

- Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΝΤΑΡΑΚΑΣ (Επ. Καθηγητής στο Τομέα Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Α.Π.Θ. - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών)

- Σχεδιασμός Εγκαταστάσεων Καθαρισμού Νερού και Λυμάτων

ΣΩΤΗΡΙΟΣ Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ (Καθηγητής Πολιτικών Μηχανικών)

Άλλοι συγγραφείς:

- Metcalf and Eddy, Inc, 2003
- Wef and Asce, 1998
- Qasim, 1999
- Snoeyink and Jenkins,

Ηλεκτρονική:

- http://el.wikipedia.org/wiki/Επεξεργασία_Λυμάτων
- www.mesogeos.gr
- <http://www.eydap.gr>
- www.oikipa.gr
- www.ecocity.gr/