

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΘΕΙΟΥ, ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ  
ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΖΟΓΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 6047)  
ΧΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 6018)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΠΑΤΡΑ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει ως αντικείμενο την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με έμφαση στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του θείου, του αζώτου και του φωσφόρου από αυτά.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η αναλυτική παρουσίαση των σχετικών διεργασιών, της αποδοτικότητας και των περιορισμών στους οποίους υπόκεινται, τα φυσικά, χημικά και βιολογικά φαινόμενα στα οποία αυτές βασίζονται καθώς και του απαραίτητου, για την πραγματοποίησή τους, μηχανολογικού εξοπλισμού

Σε αυτό το σημείο θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μας κ. Θεοδοροπούλου Μαρία για τη βοήθεια και την καθοδήγηση που μας προσέφερε κατά την διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Τζογάνης Γεώργιος  
Χατζής Γεώργιος  
Μάιος 2017

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Τζογάνης Γεώργιος

Χατζής Γεώργιος

.....  
(Υπογραφή)

.....  
(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εισαγωγή αναλύεται η σημασία της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και επίσης γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων ανάλογα με τις πηγές από τις οποίες προέρχονται. Επίσης αναλύεται η αερόβια και η αναερόβια βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ομαδοποιούνται σε στάδια ώστε να παρέχουν διάφορους βαθμούς επεξεργασίας. Τα στάδια αυτά είναι η προεπεξεργασία (προκαταρκτική επεξεργασία), η πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία, η προχωρημένη πρωτοβάθμια, η δευτεροβάθμια και η προχωρημένη ή τριτοβάθμια επεξεργασία. Στον τριτοβάθμιο καθαρισμό χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες μέθοδοι για την απομάκρυνση κυρίως του φωσφόρου και του αζώτου αλλά και άλλων συστατικών ανάλογα με την περίπτωση. Επίσης περιγράφονται οι βασικοί τύποι αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις διεργασίες απομάκρυνσης του θείου από τα υγρά απόβλητα. Κατά την αναερόβια βιοχημική διάσπαση διαφόρων θειούχων ενώσεων που περιέχονται στα απόβλητα παράγεται το αέριο υδρόθειο που είναι τοξικό και έχει ιδιαίτερα άσχημη οσμή. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικές μέθοδοι για την απομάκρυνση του από τα υγρά απόβλητα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι διεργασίες απομάκρυνσης του αζώτου. Στα υγρά απόβλητα το άζωτο περιέχεται κυρίως με μορφή αμμωνίας αλλά και ως συστατικό οργανικών ενώσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι διεργασίες απομάκρυνσης του φωσφόρου ο οποίος στα υγρά απόβλητα περιέχεται είτε ως φωσφορικά ιόντα είτε ως συστατικό οργανικών ενώσεων.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιέχονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία καθώς επίσης νέες κατευθύνσεις που έχουν κάνει την εμφάνισή τους σε ειδικές περιοχές της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1, Περιβάλλον και Ανθρώπινη Δραστηριότητα	1
2. Ανάγκη Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων	2
3. Ιστορική Εξέλιξη της Επεξεργασίας των Υγρών αποβλήτων	3
<b>1. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b>	
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Κατηγορίες Υγρών Αποβλήτων.....	5
1.3 Κατηγορίες Ρύπων.....	6
1.4 Χαρακτηριστικά των Υγρών Αποβλήτων.....	8
1.5 Φυσικά Χαρακτηριστικά.....	9
1.6 Χημικά Χαρακτηριστικά.....	10
1.6.1 Γενικά.....	10
1.6.2 Ανόργανα Χημικά Χαρακτηριστικά.....	12
1.6.3 Οργανικά Χημικά Χαρακτηριστικά.....	13
1.7 Βιολογικά Χαρακτηριστικά.....	14
1.8 Δειγματοληψία.....	14
1.9 Βιοχημική Αποδόμηση Οργανικών Ουσιών.....	15
<b>2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	
2.1 Γενικά.....	17
2.2 Προεπεξεργασία.....	18
2.2.1 Απομάκρυνση Αδρομερών.....	19
2.2.2 Απομάκρυνση Ελαίων και Λιπών.....	20
2.2.3 Απομάκρυνση Άμμου.....	21

2.2.4 Εξισορρόπηση Παροχής.....	21
2.2.5 Εξομάλυνση Ρυπαντικού Φορτίου.....	23
2.3 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία.....	23
2.3.1 Καθίζηση.....	24
2.3.2 Επίπλευση.....	28
2.4 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία.....	29
2.4.1 Αερόβια Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων.....	30
2.4.2 Αναερόβια Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων.....	31
2.4.3 Αερόβια-Αναερόβια Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων	31
2.5 Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία Αιωρούμενης Βιομάζας.....	32
2.5.1 Μέθοδος Ενεργού Ιλύος.....	32
2.5.2 Τα Συστήματα SBR.....	36
2.6 Τριτοβάθμια Επεξεργασία.....	38
2.6.1 Γενικά.....	38
2.6.2 Διήθηση.....	39
2.6.3 Μεμβράνες.....	39
2.6.4 Αντίστροφη Ωσμωση.....	42
2.6.5 Χημική Επεξεργασία.....	43
2.6.6 Προχωρημένες Διεργασίες Οξειδωσης.....	45
2.6.7 Προσρόφηση.....	45
2.6.8 Ιοντοεναλλαγή.....	47
2.7 Απολύμανση.....	48
2.7.1 Γενικά.....	48
2.7.2 Χλωρίωση.....	50
2.7.3 Οζόνωση.....	51
2.7.4 Απολύμανση με Ακτινοβολία UV.....	52
<b>3. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ</b>	
3.1 Γενικά.....	53
3.2 Προβλήματα από την Παρουσία του Υδρόθειου..	54
3.3 Απομάκρυνση του Υδρόθειου με Χημική Κατακρήμνιση.....	55
3.4 Τεχνολογίες Ελέγχου Οσμορύπανσης.....	57
3.5 Συστήματα Θερμικών Διεργασιών.....	57
3.6 Συστήματα Προσρόφησης Αερίων σε Σταθεροποιημένη Κλίνη.....	58
3.7 Σύστημα Απορρόφησης Αερίων.....	58
3.8 Βιολογικά Συστήματα Ελέγχου Οσμορύπανσης.....	59
3.9 Τύποι Βιολογικών Συστημάτων.....	60

<b>4. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ</b>	
4.1 Γενικά.....	63
4.2 Νιτροποίηση.....	64
4.3 Απονιτροποίηση.....	67
4.4 Προαπονιτροποίηση.....	71
4.5 Συστήματα Συνδυασμένης Οξειδωσης Οργανικού Άνθρακα με Νιτροποίηση-Απονιτροποίηση.....	74
4.5.1 Γενικά.....	74
4.5.2 Διάταξη Ludzack-Ettinger.....	75
4.5.3 Οξειδωτική Τάφρος.....	76
4.6 Εναλλακτικές Βιολογικές Διεργασίες.....	77
4.6.1 Γενικά.....	77
4.6.2 Διεργασία SHARON.....	79
4.6.3 Διεργασία ANAMMOX.....	79
4.6.4 Διεργασία CANON.....	80
4.7 Φυσικοχημικές Διεργασίες.....	80
4.7.1 Απαερίωση Αμμωνίας.....	80
4.7.2 Χλωρίωση.....	82
4.7.4 Ιοντοανταλλαγή.....	82
<b>5. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ</b>	
5.1 Γενικά.....	83
5.2 Βιολογική Απομάκρυνση Φωσφόρου.....	84
5.3 Ταυτόχρονη Απομάκρυνση Οργανικών, Αζώτου και Φωσφόρου.....	88
5.4 Χημική Κατακρήμνιση.....	93
<b>6. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	
6.1 Αντλίες για Μεταφορά Λυμάτων.....	99
6.2 Εσχάρες Λυμάτων.....	107
6.3 Συμπιεστές Εσχαρισμάτων.....	109
6.4 Εξαμμωτές/Λιποσυλλέκτες Λυμάτων.....	110

6.5 Μέθοδοι Αερισμού.....	113
6.6 Χαλικοδυλιστήρια.....	116
6.7 Δισκοδυλιστήρια.....	118
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	121
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	123



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Το φυσικό περιβάλλον περιλαμβάνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και την άβια ύλη που βρίσκονται με φυσικό τρόπο στη Γη. Σε αυτό ανήκουν πλήρεις οικολογικές μονάδες, τα οικοσυστήματα καθώς επίσης και παγκόσμιοι φυσικοί πόροι τεράστιας σημασίας όπως το νερό και ο αέρας. Μετά τη βιομηχανική επανάσταση έχουμε σημαντική αύξηση της ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον λόγω κυρίως της τεχνολογικής και της βιομηχανικής ανάπτυξης. Η παρέμβαση αυτή έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο που το περιβάλλον δεν μπορεί να την αντιμετωπίσει. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση των λεγόμενων οικολογικών προβλημάτων τα οποία απασχολούν όλο και περισσότερο τον σύγχρονο άνθρωπο.

Στην εποχή μας ένα μεγάλο μέρος του επιστημονικού κόσμου ασχολείται με όλα τα θέματα που σχετίζονται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος, όπως τη διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων, τη σχεδίαση και τη λειτουργία των σχετικών υποδομών, την ανακύκλωση και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ρύπανσης

Ρύπανση (pollution) είναι η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων (δηλαδή κάθε είδους ουσίας, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας) σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Η μόλυνση (infection) είναι μια μορφή ρύπανσης. Ειδικότερα, μόλυνση ονομάζεται η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την

παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.

Διακρίνουμε διάφορες μορφές ρύπανσης, ανάλογα με το τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζεται και τη μορφή των ρύπων. Έτσι έχουμε θαλάσσια ρύπανση, ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση εδαφών και υπόγειων υδάτων κ.τ.λ. Όταν παρατηρείται μεταβολή στη χημική σύσταση των βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος, τότε έχουμε ρύπανση.

Οι ουσίες που προκαλούν τη ρύπανση ονομάζονται ρύποι. Ρύποι είναι τα χημικά, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα που συναντώνται κυρίως στα αστικά κέντρα. Οι ρύποι μπορεί να έχουν στερεή (σωματίδια), υγρή (σταγονίδια) ή αέρια μορφή. Οι κύριες κατηγορίες ρύπων είναι: ανόργανοι ρύποι (βαρέα μέταλλα) και οργανικοί ρύποι (απλοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, εντομοκτόνα).

## **2. ΑΝΑΓΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Υγρά απόβλητα παράγονται σε διάφορες δραστηριότητες. Κύριο συστατικό τους είναι το νερό με ορισμένες ξένες προσμίξεις που το καθιστούν καταρχήν ακατάλληλο για διάφορες χρήσεις και επηρεάζουν δυσμενώς τους τελικούς αποδέκτες.

Σκοπός της επεξεργασίας καθαρισμού των υγρών αποβλήτων είναι η επαναφορά του χρησιμοποιημένου νερού στη φύση ή στο σύστημα υδροδότησης με αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα είναι συμβατά με τις επιθυμητές χρήσεις ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία και τα φυσικά οικοσυστήματα και το περιβάλλον. Επίσης βασικός στόχος είναι να μην υποβαθμιστούν οι υδατικοί πόροι του πλανήτη που φυσικά δεν είναι ανεξάντλητοι μπροστά στο συνεχώς αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό και τις πολλαπλάσιες ανάγκες του.

Το νερό είναι ζωτικό στοιχείο για τη ζωή και βασική πρώτη ύλη για την ανθρώπινη οικονομία. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού που καταναλίσκεται για τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καταλήγει στην αποχέτευση ως υγρά απόβλητα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά την ποιότητα των αποδεκτών, το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία αν δεν υποβληθούν στην κατάλληλη επεξεργασία

καθαρισμού. Από τα παραπάνω γίνεται φανερή η αναγκαιότητα ανάπτυξης και εφαρμογής κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με σκοπό την απομάκρυνση ρυπογόνων ουσιών από το νερό.

### **3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Οι παλαιότερες ίσως ενδείξεις για την ύπαρξη συστήματος αποχετεύσεως των νερών ανάγονται στην εποχή των Σουμερίων στην περιοχή της Μεσοποταμίας. Μεταγενέστερα, στο Μινωικό παλάτι της Κνωσού είχε κατασκευαστεί σύστημα αποχέτευσης των βρόχινων και ακάθαρτων νερών το οποίο έχει αποκαλυφθεί σήμερα. Η αρχαία Ρώμη είχε σύστημα υπονόμων, μόνο όμως για τα βρόχινα νερά. Μάλιστα η «μεγάλη υπόνομος» που εξυπηρετούσε τη Ρωμαϊκή Αγορά είναι ακόμη σε λειτουργία.

Από τη Ρωμαϊκή εποχή μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα δεν σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στο ζήτημα της συλλογής και επεξεργασίας των ακάθαρτων νερών. Γενικά τα δίκτυα υπονόμων προορίζονταν μόνο για τα βρόχινα νερά. Το πρώτο σύστημα συλλογής ακάθαρτων νερών εφαρμόστηκε στο Αμβούργο το 1842. Προοδευτικά πάντως και κάτω από την πίεση των επιδημιών χολέρας άρχισε η κατασκευή δικτύων συλλογής ακάθαρτων νερών και σε άλλες Ευρωπαϊκές πόλεις, όπως το Λονδίνο (1855) και το Παρίσι (1880). Τα συστήματα αυτά ήταν μικτά, δηλαδή, χρησιμοποιούνταν και για τα βρόχινα νερά και για τα υγρά αστικά απόβλητα. Ένα από τα σοβαρότερα υγειονομικά μειονεκτήματα των μικτών συστημάτων είναι ότι εκβάλλουν, ή οπωσδήποτε υπερχειλίζουν στις περιόδους αιχμής λόγω βροχών, στους πλησιέστερους αποδέκτες (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) που κατά κανόνα γειτονεύουν με κατοικημένες περιοχές και δημιουργούν ανθυγιεινές συνθήκες, δυσοσμία και αντιαισθητικές εικόνες. Η ανάγκη αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων καθώς και άλλων λειτουργικών δυσκολιών, οδήγησε τελικά στην κατασκευή δύο ανεξάρτητων δικτύων, ενός για τα βρόχινα και ενός για τα ακάθαρτα νερά.

Παρότι η συλλογή των βρόχινων και των ακάθαρτων νερών άρχισε πριν από πέντε χιλιετηρίδες, η επεξεργασία καθαρισμού έχει πρακτικά

ζωή ενός περίπου αιώνα. Η ανάγκη καθαρισμού των αποβλήτων έγινε αισθητή μετά την επέκταση των δικτύων υπονόμων και την αποχέτευση σε αυτά των λυμάτων. Για να αντιμετωπιστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα και η έλλειψη αρκετών εκτάσεων για διάθεση των λυμάτων με άρδευση αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι καθαρισμού των αποβλήτων.

Στην εποχή μας παρατηρούμε το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον της κοινής γνώμης που δεν δέχεται πια μοιρολατρικά τη ρύπανση και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, αλλά απαιτεί πειστικά και πολλές φορές δυναμικά τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων κατά της ρύπανσης. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι η αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται καθημερινά δυσκολότερη εξαιτίας των νέων χημικών ουσιών που παρασκευάζονται και χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο και των πολύ πυκνών αποβλήτων που παράγονται από κτηνοτροφικές και βιομηχανικές μονάδες σε σύγκριση με τα αστικά λύματα. Απαιτείται λοιπόν συνεχής έρευνα με σκοπό τον εκσυγχρονισμό και την βελτιστοποίηση των μεθόδων καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.

# **1. ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

## **1.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Για την αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτά επιδρούν στο περιβάλλον. Η γνώση αυτή μας οδηγεί στην επιλογή των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας που μπορούν να εφαρμοστούν για την αποτελεσματική εξουδετέρωση των επικίνδυνων συστατικών.

Επίσης πολύ σημαντική είναι και η μελέτη των πηγών των υγρών αποβλήτων και των χρήσεων από τις οποίες προήλθαν με σκοπό πάντα τον περιορισμό τους όσο αυτό είναι δυνατόν.

## **1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Τα υγρά απόβλητα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες με κριτήριο τη χρήση από την οποία προήλθαν:

- ✓ Οικιακά υγρά απόβλητα είναι τα απόβλητα που παράγονται από τις διάφορες ατομικές δραστηριότητες όπως είναι το μπάνιο και τα απόνερα τόσο σε οικιακό και ξενοδοχειακό επίπεδο όσο και σε εμπορικό, όπως για παράδειγμα υγρά απόβλητα γραφείων, αεροδρομίων και καταστημάτων.
- ✓ Βιομηχανικά υγρά απόβλητα είναι τα απόβλητα που παράγονται σε διάφορες βιομηχανίες ή βιοτεχνίες, όπως για παράδειγμα μεταλλουργικές, ηλεκτροπαραγωγικές ή κλωστοϋφαντουργικές. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα λύματα του προσωπικού τα οποία ανήκουν στα οικιακά υγρά απόβλητα.
- ✓ Γεωργικά υγρά απόβλητα είναι τα απόβλητα που παράγονται από κάθε γεωργική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα

κτηνοτροφικές ή ιχθυοτροφικές μονάδες και γεωργικές εγκαταστάσεις.

### 1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ

Μια ουσία χαρακτηρίζεται ως ρύπος εφόσον η συγκέντρωσή της στο νερό είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή στην οποία συνήθως βρίσκεται στα φυσικά αποθέματα του γλυκού νερού, με αποτέλεσμα την ανεπιθύμητη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού.

Ένας ρύπος είναι τοξικός όταν είναι δυνατόν να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή και θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Οι ρύποι του νερού ταξινομούνται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες με σκοπό την καλύτερη αντιμετώπισή τους:

- ✓ συμβατικοί
- ✓ μη συμβατικοί
- ✓ θερμικοί
- ✓ ρύποι (μολυντές) από μικρόβια

Συμβατικοί ρύποι ονομάζονται ουσίες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οργανική ύλη (οργανικές ουσίες), ενώσεις του αζώτου (αμμωνιακά, νιτρώδη και νιτρικά άλατα) ενώσεις του φωσφόρου (κυρίως φωσφορικά άλατα).

Οργανικές ενώσεις όπως υδατάνθρακες, λίπη, αμινοξέα, πρωτεΐνες, θειοπρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κ.τ.λ. που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα είναι συμβατικοί ρύποι που πρέπει να απομακρυνθεί. Το κεντρικό στοιχείο όλων αυτών των οργανικών ενώσεων είναι φυσικά ο άνθρακας και τα σπουδαιότερα στοιχεία με τα οποία ενώνεται ο άνθρακας και συνθέτει τις οργανικές ενώσεις είναι το άζωτο και ο φώσφορος. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ σημαντικά γιατί αφορούν σχεδόν όλες τις διεργασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Οι μέθοδοι απομάκρυνσής τους εξετάζονται σε επόμενα κεφάλαια στη συνέχεια.

Στους μη συμβατικούς ρύπους του νερού περιλαμβάνονται τα βαριά μέταλλα ( π.χ. Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, Cu, Zn, κ.τ.λ.), οι τοξικές οργανικές ενώσεις και ουσίες όπως το αρσενικό (As), τα θειούχα και τα κυανιούχα υλικά καθώς και τα ραδιενεργά υλικά. Οι τοξικές οργανικές ενώσεις είναι ουσίες οι οποίες έχουν παρασκευαστεί από τον άνθρωπο για διάφορες χρήσεις. Πιο συνηθισμένες είναι τα παρασιτοκτόνα, τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία και στη βιομηχανία και στη συνέχεια καταλήγουν στο νερό,

οι διοξίνες, οι οποίες παράγονται σε διάφορες καύσεις ή διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιείται χλώριο, οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), οι φαινόλες, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH's) και τα τριαλογονομεθάνια (THM), τα οποία συνήθως σχηματίζονται κατά την προαπολύμανση του νερού και την απολύμανση των υγρών αποβλήτων.

Η θερμική ρύπανση του νερού προέρχεται κυρίως από τα θερμά απόβλητα βιομηχανιών και μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη δημιουργώντας δυσάρεστες και συχνά μη ανεκτές καταστάσεις στο υδάτινο οικοσύστημα.

Στους μολυντές περιλαμβάνονται διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως ιοί, βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα κ.τ.λ. Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό προκαλεί τη μόλυνση του. Κύρια πηγή της μικροβιακής μόλυνσης των υδάτων είναι τα αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα με τα περιττώματα ανθρώπων και ζώων που περιέχουν.

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται δεδομένα για τη σύσταση τυπικών οικιακών αποβλήτων καθώς και οι παραγόμενες ποσότητες ρύπανσης ανά κάτοικο και ανά ημέρα.

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά τυπικών οικιακών λυμάτων [1]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΡΥΠΑΝΣΗ gr/κατ. ημ.	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ mg/L
Ολικά στερεά	100 – 150	680 – 1.000
Πτητικά στερεά	65 – 85	380 – 500
Αιωρούμενα στερεά	35 – 50	200 – 290
Οργανική ύλη ως BOD <sub>5</sub>	50 – 70	200 – 400
Οργανική ύλη ως COD	115 – 125	680 – 730
Ολικό άζωτο	6 – 17	35 – 100
Αμμωνία	1 – 3	6 – 18
Νιτρώδη & Νιτρικά	< 1	< 5
Ολικός φώσφορος	2 – 4	6 – 24
Ολικά κολοβακτηριοειδή	-	10 <sup>10</sup> - 10 <sup>12</sup> αποικ./mL
Κολοβακτηριοειδή κοπράνων	-	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>10</sup> αποικ./mL

Στο παρακάτω σχήμα 1.1 φαίνονται οι κατηγορίες ρύπων του νερού.

<b>Ρύπανση</b> (Επιβάρυνση του νερού με ύλη ή ενέργεια)			<b>Μόλυνση</b> (Επιβάρυνση με παθογόνους μικροοργανισμούς)
<b>Συμβατικοί ρύποι</b>	<b>Μη συμβατικοί ρύποι</b>	<b>Θερμική ρύπανση</b>	<b>Μικροοργανισμοί</b>
Οργανική ύλη	Βαριά μέταλλα	(Θερμά απόβλητα νερά βιομηχανιών)	Ιοί
Ενώσεις του αζώτου ( $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ )	Τοξικές οργανικές ενώσεις (Ζιζανιοκτόνα, Εντομοκτόνα, Παρασιτοκτόνα, Διοξίνες, Φαινόλες, Χλωροφαινόλες, Χλωριωμένοι ΗC, THM, Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB), Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH))		Βακτήρια
Ενώσεις του φωσφόρου ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Αρσενικό (As)		Μύκητες
	Θειούχα ( $\text{S}^{2-}$ )		Πρωτόζωα
	Κυανιούχα (CN <sup>-</sup> )		Έλμινθες
	Ραδιενεργά στοιχεία		

Σχήμα 1.1 Ρύποι του νερού [1].

#### 1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ο προσδιορισμός και η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων είναι απολύτως απαραίτητος προκειμένου να καθοριστούν τα στάδια και ο βαθμός επεξεργασίας τους και να ελεγχθεί η επίτευξη των στόχων και των απαιτήσεων για την ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά αυτά διακρίνονται σε φυσικά, χημικά (ανόργανα και οργανικά) καθώς και βιολογικά.



Πίνακας 1.2 Ταξινόμηση των κυριότερων χαρακτηριστικών των αστικών λυμάτων [15]

Κατηγορία	Παράμετρος
Φυσικά	Ολικά στερεά (ΟΣ)
	Αιωρούμενα στερεά (ΑΣ)
	Θολότητα
	Χρώμα
	Οσμή
	Θερμοκρασία
Χημικά	Υδατάνθρακες
	Πρωτεΐνες
	Λίπη και έλαια
	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (ΧΑΟ), Ολικός Οργανικός άνθρακας (ΟΟΑ)
	Θρεπτικά συστατικά (N και P)
	Διάφορα κατιόντα ( $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Na^+$ , $NH_4^+$ )
	Διάφορα ανιόντα ( $NO_3^-$ , $PO_4^{3-}$ , $SO_4^{2-}$ , $Cl^-$ )
	Υδροθείο
	Βαρέα μέταλλα
	Ιχνοστοιχεία
Βιοχημικά	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο 5 ημερών (ΒΑΟ <sub>5</sub> )
Μικροβιολογικά	Βακτήρια
	Ιοί
	Πρωτόζωα
	Ελμίνθες (Helminths)
	Κολοβακτηρίδια

## 1.5 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### ✓ Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των βιολογικών διεργασιών στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

- ✓ **Αγωγιμότητα**  
Με βάση την αγωγιμότητα γίνεται εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά όταν πρόκειται για γεωργική χρήση.
- ✓ **Θολότητα**  
Βάσει της θολότητας αποτιμάται η ποιότητα της εκροής.
- ✓ **Διαπερατότητα**  
Με βάση την διαπερατότητα εκτιμάται η ποιότητα της εκροής για απολύμανση με UV.
- ✓ **Χρώμα** (Ανοιχτό καφέ, γκρι, μαύρο)  
Με βάση το χρώμα γίνεται εκτίμηση της κατάστασης των λυμάτων, δηλαδή, αν είναι φρέσκα λύματα ή αν είναι λύματα που έχουν υποστεί σήψη.
- ✓ **Οσμή**  
Εκτιμάται αν οι οσμές αποτελούν πρόβλημα.
- ✓ **Πυκνότητα**
- ✓ **Στερεές ουσίες**  
Συγκέντρωση των διαφόρων στερεών ουσιών (Αιωρούμενες, Επιπλέουσες, Καθιζάνουσες, Αδιάλυτες, Διαλυμένες) μέσα στο νερό. Επίσης σημαντική είναι και η γνώση της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας.

## 1.6 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### 1.6.1 Γενικά

Τα χημικά χαρακτηριστικά στα λύματα μιας πόλης αντικατοπτρίζουν εκτός από τα χημικά συστατικά του νερού ύδρευσης και έναν πάρα πολύ μεγάλο αριθμό από τις διάφορες χημικές ενώσεις που περιέχονται στα είδη που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στην καθημερινή του ζωή καθώς και από τις ουσίες που απορρίπτονται από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Ένας πρώτος διαχωρισμός των χημικών ουσιών που βρίσκονται στα λύματα είναι σε οργανικό υλικό και σε ανόργανο υλικό.

Οι κυριότερες ομάδες οργανικού υλικού στα αστικά λύματα είναι οι πρωτεΐνες (40 έως 60%), οι υδατάνθρακες (25 έως 50%) και τα λίπη και έλαια (περίπου 10%). Η ουρία η οποία αποτελεί το κυριότερο συστατικό των ούρων είναι επίσης μια άλλη σημαντική οργανική ένωση των αστικών λυμάτων.

Οι πρωτεΐνες είναι οργανικές ενώσεις που περιέχουν σημαντικά ποσοστά αζώτου και αποτελούν τις βασικές δομικές μονάδες της ζώσης

ύλης. Το κυτταρόπλασμα που βρίσκεται στο εσωτερικό των κυττάρων αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες. Τα ένζυμα που ενεργούν ως οργανικοί καταλύτες αποτελούνται επίσης από πρωτεϊνικό υλικό. Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια και οι αλυσίδες τους αποτελούνται από μεγάλο αριθμό αμινοξέων (40 έως μερικές χιλιάδες) που συνδέονται μεταξύ τους με δεσμό πεπτιδικού τύπου. Πολυμερή των αμινοξέων με μικρό αριθμό μοριακών ομάδων (κάτω από 40) ονομάζονται πολυπεπίδια. Μερικές πρωτεΐνες είναι ινώδεις. Οι ινώδεις πρωτεΐνες είναι αδιάλυτες στο νερό και συνεπώς στα λύματα απαντώνται υπό μορφή αιωρούμενου ή κολλοειδούς οργανικού υλικού. Υπάρχουν όμως και πρωτεΐνες που τα μακρομόρια τους έχουν στρογγυλεμένη μορφή όπως η αιμοσφαιρίνη.

Οι υδατάνθρακες αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Οι πιο απλοί υδατάνθρακες είναι οι μονοσακχαρίτες (απλά σάκχαρα) που αποτελούνται από έξι άτομα άνθρακα. Η γλυκόζη είναι ο πιο κοινός μονοσακχαρίτης που εμπλέκεται στις βιοχημικές διεργασίες των φυτικών και ζωικών κυττάρων. Οι πολυσακχαρίτες είναι βιοπολυμερή με μεγάλη μοριακή μάζα όπως το άμυλο, το γλυκογόνο και η κυτταρίνη. Μερικοί υδατάνθρακες είναι διαλυτοί στο νερό (απλά σάκχαρα) ενώ άλλοι είναι αδιάλυτοι (άμυλο). Οι διαλυτοί υδατάνθρακες που υπάρχουν στα λύματα αποδομούνται αρκετά εύκολα ενώ το άμυλο αποδομείται με μεγαλύτερη δυσκολία.

Τα λίπη, έλαια και γράσα αναφέρονται σε μερικές περιπτώσεις με το γενικό όρο λιπίδια. Τα λίπη και έλαια είναι εστέρες (τριγλυκερίδια) της γλυκερίνης και των λιπαρών οξέων. Τα τριγλυκερίδια που είναι υγρά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ονομάζονται έλαια και αυτά που είναι στερεά ονομάζονται λίπη. Τα γράσα είναι κηρώδη υλικά και είναι επίσης εστέρες των λιπαρών οξέων. Στα αστικά λύματα απαντώνται επίσης ορυκτά έλαια και γράσα τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο αποχέτευσης κυρίως από συνεργεία επισκευής αυτοκινήτων. Τα λιπίδια θεωρούνται σχετικά δύσκολα αποδομούμενο οργανικό υλικό. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα ορυκτέλαια πρέπει να καταβάλλεται κάθε προσπάθεια για τη μείωση των απορρίψεων στο σύστημα αποχέτευσης γιατί δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Το ανόργανο υλικό που περιέχεται στα αστικά λύματα περιλαμβάνει ανόργανο υλικό που ανήκε στο νερό από το οποίο προέκυψαν τα λύματα καθώς και ανόργανο υλικό που μεταφέρθηκε κατά τη διαδικασία παραγωγής των λυμάτων ή προέκυψε κατά τη μετατροπή ή αποδόμηση οργανικού υλικού των λυμάτων. Τα ανόργανα συστατικά που προσδιορίζονται στα αστικά λύματα τόσο για τον έλεγχο της επεξεργασίας τους όσο και για την αξιολόγηση των διαφόρων τρόπων διάθεσής τους δίνονται στον πίνακα 1.3

Πίνακας 1.3 Ανόργανα συστατικά που προσδιορίζονται στα αστικά λύματα [15]

Ανόργανο συστατικό	Λόγοι για τους οποίους πρέπει να προσδιορίζεται στα αστικά λύματα
Ασβέστιο, μαγνήσιο και νάτριο ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ )	Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των λυμάτων για άρδευση εδαφών
Χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ )	Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των λυμάτων για άρδευση εδαφών
Άζωτο ✓ αμμωνιακό ( $\text{NH}_3$ ) ✓ νιτρώδες ( $\text{NO}_2^-$ ) ✓ νιτρικό ( $\text{NO}_3^-$ )	Για τον προσδιορισμό της αμμωνίας και των οξειδωμένων μορφών αζώτου σε διάφορα στάδια επεξεργασίας των αστικών λυμάτων
Υδροθείο ( $\text{H}_2\text{S}$ )	Για τον έλεγχο των οσμών καθώς και για τον έλεγχο του βαθμού διάβρωσης των υπονόμων
Φωσφόρος ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Για τον έλεγχο της συγκέντρωσης φωσφόρου
Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Για έλεγχο της παρεμπόδισης της αναερόβιας επεξεργασίας της λάσπης
Αλκαλικότητα $\Sigma(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^-)$	Για έλεγχο της ρυθμιστικής ικανότητας των λυμάτων
Βαρέα μέταλλα	Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των λυμάτων για άρδευση εδαφών και για την εκτίμηση της τοξικότητας στην βιολογική επεξεργασία και στους αποδέκτες διάθεσης των λυμάτων
Ιχνοστοιχεία	Διότι μπορεί να είναι σημαντικές οι επιπτώσεις τους στη βιολογική επεξεργασία καθώς και κατά την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση εδαφών

### 1.6.2 Ανόργανα Χημικά χαρακτηριστικά

- ✓ **pH**  
Προσδιορίζεται η οξύτητα ή η αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων.
- ✓ **Ρυθμιστική ικανότητα**  
Η ικανότητα των υγρών αποβλήτων να εξουδετερώνουν οξέα.
- ✓ **Χλωριούχα**  
Γίνεται εκτίμηση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής, ειδικά όταν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί σε γεωργικές χρήσεις (άρδευση).
- ✓ **Άζωτούχες ενώσεις**  
Είναι ένα μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές λαμβάνονται υπόψη ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης. Οι πιο σημαντικές άζωτούχες ενώσεις στα υγρά απόβλητα είναι:
  - Ελεύθερη αμμωνία ( $\text{NH}_4^+$ )
  - Οργανικό άζωτο (Org. N)

- Άζωτο Kjeldahl (TKN : Org. N + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
  - Νιτρώδη ιόντα (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)
  - Νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)
- ✓ **Φωσφορικές ενώσεις**  
Είναι ένα μέτρο για την εκτίμηση της παρουσίας θρεπτικών συστατικών στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές λαμβάνονται υπόψη ως μέτρο του βαθμού οξείδωσης.
- ✓ **Θειικά (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**  
Με βάση την ποσότητα των θειικών ιόντων γίνεται εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας οσμών. Επίσης εκτιμάται κατά πόσον η παραγόμενη ιλύς θα είναι επεξεργάσιμη.
- ✓ **Μέταλλα**  
Μετράται η ποσότητά τους για την εκτίμηση της καταλληλότητας της εκροής για επαναχρησιμοποίηση καθώς επίσης και για την εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων. Πάντως για μερικές βιολογικές διεργασίες είναι απαραίτητο να υπάρχουν ίχνη ορισμένων μετάλλων. Τα μέταλλα που ενδιαφέρουν είναι: Ca, Mg, K, Na, Cr, Cu, Co, Pb, Cd, Hg, Mo, Ni, Fe, Se, As, Zn.
- ✓ **Διάφορα αέρια**  
Αέρια όπως τα: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> εμπλέκονται σε διάφορες διεργασίες.

### 1.6.3 Οργανικά Χημικά Χαρακτηριστικά

- ✓ **C-BOD**  
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand). Είναι το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των ανθρακούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- ✓ **N-BOD**  
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο. Είναι το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιολογική αποικοδόμηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- ✓ **COD**  
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand). Είναι το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων.
- ✓ **TOC**  
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon). Χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με το BOD, αλλά πολύ σπάνια γιατί η μέτρησή του απαιτεί πολύ μεγάλη ευαισθησία.
- ✓ **Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις ειδικού ενδιαφέροντος**

Ανιχνεύεται η παρουσία συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων για να αποφασιστεί η λήψη των απαραίτητων ειδικών μέτρων κατά τον σχεδιασμό της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με σκοπό την απομάκρυνσή τους

## 1.7 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- ✓ **Ολικά Κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms, TC) και Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων (Fecal Coliforms, FC)**  
Είναι πολύ σημαντική η εξέταση της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών. Επίσης εξετάζονται και για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων
- ✓ **Ειδικοί μικροοργανισμοί**  
Εκτιμάται η παρουσία συγκεκριμένων μικροοργανισμών όπως Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα και Έλμινθες. Με βάση αυτές τις μετρήσεις λαμβάνονται αποφάσεις για τις μεθόδους επεξεργασίας και για την επαναχρησιμοποίηση της εκροής.
- ✓ **Τοξικότητα**  
Είναι απαραίτητη η εκτίμηση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων. Διακρίνουμε την οξεία ή άμεση τοξικότητα (TUA) και τη χρόνια τοξικότητα (TUC).

## 1.8 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η δειγματοληψία μπορεί να γίνεται με παραλαβή δειγμάτων είτε με το χέρι είτε με τη χρήση κατάλληλου δειγματολήπτη. Τα λαμβανόμενα δείγματα μπορεί να είναι είτε στιγμιαία είτε σύνθετα. Επειδή όμως παρατηρείται έντονη διακύμανση της παροχής των λυμάτων κατά τη διάρκεια του 24ώρου θα πρέπει τη στιγμή που λαμβάνεται ένα δείγμα να γίνεται και εκτίμηση ή καλύτερα μέτρηση της παροχής των λυμάτων.

Τα σύνθετα δείγματα είναι δείγματα που προκύπτουν από κατάλληλη ανάμιξη στιγμιαίων δειγμάτων. Εάν οι όγκοι των στιγμιαίων δειγμάτων που αναμιγνύονται είναι αναλογικοί με την παροχή των λυμάτων κατά το χρόνο παραλαβής των στιγμιαίων δειγμάτων τότε το

σύνθετο δείγμα αντιστοιχεί στο μέσο δείγμα για το χρονικό διάστημα στο οποίο αναφερόμαστε.

Η συστηματική δειγματοληψία των δειγμάτων απαιτεί τη χρήση κατάλληλων δειγματοληπτών οι οποίοι πρέπει να έχουν τις εξής δυνατότητες:

- Δυνατότητα αναρρόφησης ρυθμιζόμενης ποσότητας δείγματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τοποθέτηση του κάθε δείγματος σε ξεχωριστό κάθε φορά δοχείο δειγματοληψίας.
- Δυνατότητα επικοινωνίας με διάταξη μέτρησης της παροχής.
- Δυνατότητα συντήρησης των δειγμάτων για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η δειγματοληψία (τα δοχεία όπου τοποθετείται το δείγμα που αναρροφάται κάθε φορά πρέπει να βρίσκονται μέσα σε ψυκτικό θάλαμο ο οποίος αποτελεί τμήμα της διάταξης δειγματοληψίας).

## **1.9 ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ**

Οι οργανικές ουσίες που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα σε συνδυασμό με ορισμένα ανόργανα συστατικά αποτελούν το θρεπτικό υπόστρωμα ανάπτυξης ολόκληρης σειράς σαπροφυτικών μικροοργανισμών. Σαπροφυτικοί χαρακτηρίζονται γενικά πάσης φύσεως μικροοργανισμοί ή φυτά που λαμβάνουν την τροφή τους (οργανικές ενώσεις) από νεκρούς ή θνήσκοντες ιστούς σε μορφή διαλύματος. Η σημασία αυτών των οργανισμών είναι πολύ μεγάλη όσον αφορά στη διάσπαση της νεκρής οργανικής ύλης.

Για την αφομοίωση αυτών των ουσιών μπαίνει σε λειτουργία ένας πολυσύνθετος βιοχημικός μηχανισμός που οδηγεί από τη μια μεριά στη σύνθεση των απαραίτητων ουσιών για την ανάπτυξη του κυττάρου και από την άλλη στην αποσύνθεση για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας. Ο μηχανισμός αυτός καταλήγει τελικά στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στη μετατροπή τους σταδιακά στην πιο σταθερή μορφή των ανόργανων αλάτων και αερίων.

Η αποδόμηση διακρίνεται σε αερόβια, αν γίνεται από αερόβιους οργανισμούς (απαραίτητη προϋπόθεση η παρουσία ελεύθερου διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα) και σε αναερόβια όταν δεν υπάρχει διαλυμένο ελεύθερο οξυγόνο.

Τα τελικά προϊόντα της αερόβιας βιοχημικής αποδόμησης ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO_3$  κ.τ.λ.) δεν είναι γενικά ανθυγιεινά ή ενοχλητικά σε αντίθεση με τα προϊόντα της αναερόβιας βιοχημικής αποδόμησης ( $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$  κ.τ.λ.) που είναι δύσοσμα, τοξικά, ερεθιστικά ή εκρηκτικά. Γι αυτό το λόγο επιδιώκεται γενικά η εξασφάλιση αερόβιων συνθηκών αποδόμησης στο περιβάλλον.

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), δηλαδή το οξυγόνο που χρειάζεται για τη βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών των υγρών αποβλήτων από αερόβιους μικροοργανισμούς, αποτελεί μέτρο για την εκτίμηση της πυκνότητας των υγρών αποβλήτων από την πλευρά των ενοχλήσεων που μπορεί να προκαλέσει το οργανικό φορτίο τους στο περιβάλλον.

Ο ρυθμός της βιοχημικής αποδόμησης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από τη θερμοκρασία. Για συνήθη αστικά υγρά απόβλητα στους  $20^{\circ}C$  χρειάζεται χρονικό διάστημα αρκετών ημερών (από 70 έως 90 ημέρες) για την πλήρη αποδόμηση. Η οξείδωση αυτή των οργανικών ουσιών γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο αποδομούνται κυρίως οι ενώσεις του άνθρακα, ενώ στο δεύτερο που στους  $20^{\circ}C$  αρχίζει περίπου τη 10<sup>η</sup> ημέρα, όταν έχουν πια αναπτυχθεί αρκετά τα νιτροβακτήρια, οξειδώνονται οι αζωτούχες ενώσεις (νιτροποίηση) , που έχουν κυρίως απομείνει μαζί με τα υπολείμματα του άνθρακα.



## **2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Για τη μείωση/απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη η εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας. Ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό αποδέκτη του επεξεργασμένου αποβλήτου (λίμνη, ποτάμι, έδαφος, θάλασσα, αποχετευτικό δίκτυο) και τα αντίστοιχα αποδεκτά όρια για τελική διάθεση (καθορισμός ανώτατων επιτρεπτών ορίων απόρριψης).

Πίνακας 2.1 Σημαντικότερες μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων  
[3]

#### **1. Βιολογική επεξεργασία**

##### **(α) Αερόβια**

Ενεργός Ιλύς (activated sludge)

Αεριζόμενες λίμνες (aerated lagoons)

Βιολογικά Φίλτρα (tricking filters)

Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological discs)

##### **(β) Αναερόβια**

Αναερόβια φίλτρα (anaerobic filters)

Αναερόβιος χωνευτήρας (conventional anaerobic digester)

Αναερόβια μονάδα ενεργού ιλύος (anaerobic activated sludge plant)

#### **2. Χημική/Φυσικοχημική επεξεργασία**

Χημική κατακρήμνιση

Χημική οξείδωση

Απορρόφηση σε ενεργό άνθρακα

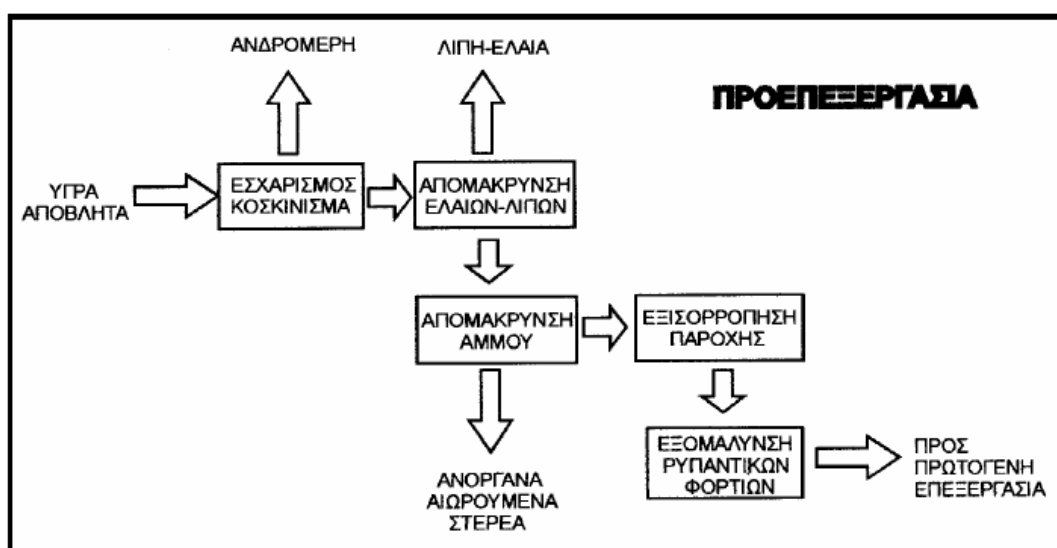
Αντίστροφη όσμωση

Απαερίωση αμμωνίας

Η επιλογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και ύστερα από ανάλυση των προβλημάτων της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά. Η μέθοδος ή ο συνδυασμός μεθόδων που μπορούν να εφαρμοσθούν εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις και το είδος του προς απομάκρυνση ρυπαντικού φορτίου. Οι κυριότερες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αποβλήτων (μεμονωμένα ή σε συνδυασμό) συνοψίζονται στον πίνακα 2.1.

## 2.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η προεπεξεργασία έχει σαν σκοπό να προετοιμάσει το απόβλητο κυρίως από υδραυλικής πλευράς για τις περαιτέρω επεξεργασίες με την απομάκρυνση των μακροσκοπικά ορατών φάσεων (εκτός του νερού) καθώς και την εξομάλυνση των διακυμάνσεων των ρυπαντικών φορτίων. Βασικός σκοπός της προεπεξεργασίας είναι η προστασία των κύριων διεργασιών της μονάδας επεξεργασίας από ορισμένα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα στη λειτουργία τους.



Σχήμα 2.1 Διεργασίες προεπεξεργασίας [4].

Κατά την προεπεξεργασία απομακρύνονται υλικά όπως πανιά, χαλίκια, άμμος, μικρά τεμάχια ξύλου και πλαστικού, λάδια, λίπη κ.τ.λ. τα οποία γενικά προκαλούν προβλήματα στο μηχανολογικό εξοπλισμό και στη λειτουργία και συντήρηση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Τα λύματα καταλήγουν στη μονάδα επεξεργασίας μέσω του αποχετευτικού δικτύου. Το δίκτυο έχει πάντα μία κλίση για να διευκολύνεται η ροή των λυμάτων. Έτσι καταρχάς απαιτείται να γίνει ανύψωση της στάθμης των λυμάτων μέχρι το επίπεδο της προεπεξεργασίας. Η ανύψωση αυτή επιτυγχάνεται με χρήση κατάλληλων συστημάτων άντλησης. Στη συνέχεια τα λύματα μεταφέρονται στις διάφορες δεξαμενές της μονάδας συνήθως με εκμετάλλευση της βαρύτητας.

Κατά την είσοδό τους στη μονάδα, τα απόβλητα είναι έντονα δύσοσμα λόγω της σήψης τους κατά τη διαδρομή τους στο σύστημα αποχέτευσης κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Γι αυτό το λόγο οι διεργασίες της προεπεξεργασίας χωροθετούνται σε κλειστό κτίριο με σύστημα απόσμησης. Επίσης, συνήθως απαιτείται η ύπαρξη ξεχωριστής εγκατάστασης για την υποδοχή των λυμάτων στη μονάδα επεξεργασίας.

Οι διεργασίες που περιλαμβάνονται στην προεπεξεργασία αναλύονται στη συνέχεια.

### **2.2.1 Απομάκρυνση αδρομερών**

Κατά τη διεργασία αυτή απομακρύνονται στερεά σώματα μεγάλου σχετικά μεγέθους που θα μπορούσαν να προκαλέσουν εμφράξεις στο μηχανολογικό εξοπλισμό. Ανάλογα με το μέγεθος των στερεών που θέλουμε να απομακρύνουμε χρησιμοποιούνται τεχνικές εσχαρισμού ή τεχνικές κοσκινίσματος.

Οι εσχάρες είναι διατάξεις με παράλληλες μπάρες που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό και απομάκρυνση στερεών. Η απόδοσή τους εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα στις παράλληλες μπάρες.

Για την απομάκρυνση στερεών ακόμα μικρότερου μεγέθους χρησιμοποιούνται πολλές φορές περιστροφικά κόσκινα κυλινδρικού σχήματος. Τα κόσκινα βυθίζονται μέσα στο κανάλι με σκοπό τη συγκράτηση στερεών που περιέχονται στο ρεύμα των λυμάτων.

Τα αδρομερή που απομακρύνονται με τη διαδικασία αυτή μπορούν να μεταφερθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων. Πολύ συχνά όμως πολτοποιούνται ή αλέθονται με κατάλληλους τεμαχιστές και επανέρχονται στο υγρό ρεύμα αφού λόγω της μείωσης του μεγέθους τους μπορούν να απομακρυνθούν από τις διεργασίες που ακολουθούν. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η δημιουργία ενός

ξεχωριστού ρεύματος στερεών και τα προβλήματα διαχείρισης που το συνοδεύουν.



Εικόνα 2.1 Εσχάρες [6].

### 2.2.2 Απομάκρυνση ελαίων και λιπών

Όταν τα υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικές ποσότητες λιπών απαιτείται να προβλεφθεί και κάποια μονάδα λιποσυλλογής. Οι λιποσυλλέκτες είναι απλές δεξαμενές στις οποίες τα απόβλητα παραμένουν τυπικά 3-5 min. Τα λίπη επειδή είναι ελαφρύτερα συλλέγονται στην επιφάνεια και η εκροή του, απαλλαγμένου πλέον από λίπη, νερού γίνεται από σημείο σε αρκετό βάθος.

Ανάλογα με την αρχική συγκέντρωση των λιπών καθώς και τη μορφή στην οποία βρίσκονται αυτά (γαλακτώματα, αιωρήματα κ.τ.λ.) μπορούν να εφαρμοστούν οι παρακάτω τεχνικές:

1. Επίπλευση με διαλυμένο αέρα (Dissolved Air Flotation, DAF)

2. Επίπλευση με αέρα (Induced Air Flotation, IAF)
3. Απλοί διαχωριστές βαρύτητας (American Petroleum Institution Separators, APIS)
4. Μεμβράνες
5. Διαχωριστές βαρύτητας με παράλληλες πλάκες

### 2.2.3 Απομάκρυνση άμμου

Η μονάδα του αμμοσυλλέκτη (ή αλλιώς εξαμμωτή) στοχεύει στην απομάκρυνση ανόργανων αιωρούμενων στερεών διαμέτρου μεγαλύτερης από 200 $\mu\text{m}$ . Η αμμοσυλλογή γίνεται σε δεξαμενές-αμμοσυλλέκτες που βασίζονται στην καθίζηση λόγω βαρύτητας και πιο συγκεκριμένα στον τύπο καθίζησης που ονομάζεται καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων όπου τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς αλληλεπίδραση με ταχύτητα ανεξάρτητη της συγκέντρωσης στερεών. Χρησιμοποιούνται δεξαμενές οριζόντιας και κάθετης ροής .



Εικόνα 2.2 Αμμοσυλλέκτες [1].

### 2.2.4 Εξισορρόπηση παροχής

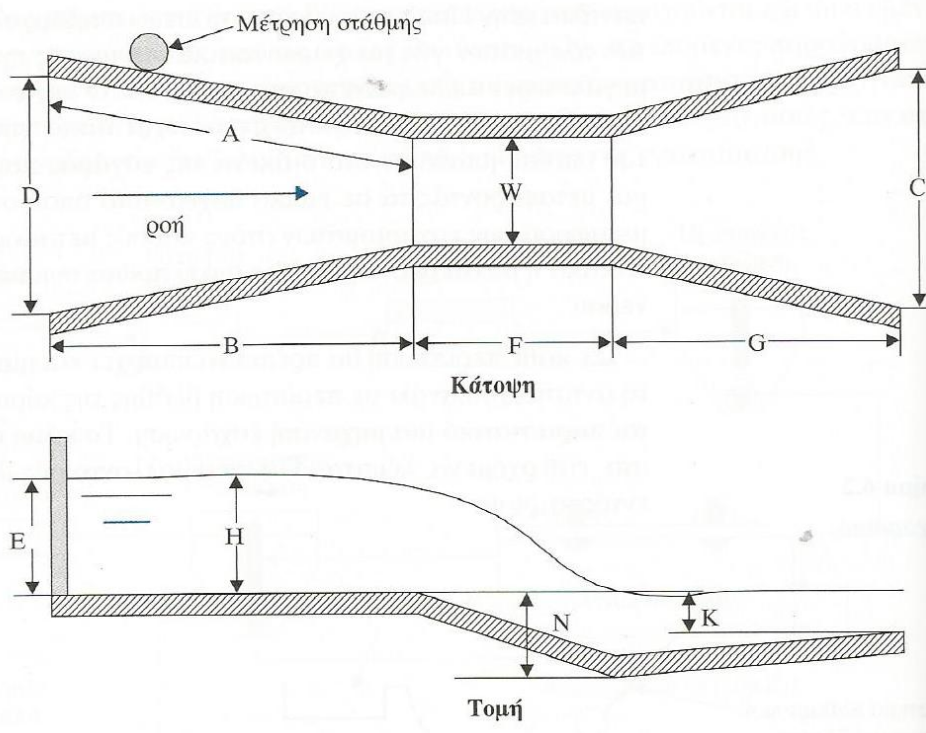
Στην προεπεξεργασία των λυμάτων συχνά υπάρχει κάποια δεξαμενή εξισορρόπησης η οποία στοχεύει στην εξομάλυνση της παροχής η οποία τυπικά χαρακτηρίζεται από ημερήσια περιοδική διακύμανση. Χρησιμοποιούνται δεξαμενές μεταβλητού όγκου οι οποίες πρέπει να αερίζονται και να αναδεύονται. Υπάρχουν δύο δυνατές διατάξεις της δεξαμενής εξισορρόπησης: σε σειρά και παράλληλη.

1. Σε σειρά: Σε αυτή τη διάταξη όλη η ροή διέρχεται από τη δεξαμενή. Αυτή η διάταξη απαιτεί μεγαλύτερο όγκο δεξαμενής αλλά επιτυγχάνει καλύτερη εξισορρόπηση από την παράλληλη.

2. Παράλληλη: Σε αυτή τη διάταξη μόνο η επιπλέον από τη μέση ημερήσια ροή διοχετεύεται στη δεξαμενή εξισορρόπησης.

Σε κάθε σύστημα επεξεργασίας λυμάτων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη στιγμιαία παροχή των λυμάτων έτσι ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος.

Η μέτρηση της παροχής γίνεται με τον δίαυλο Parshall (σχήμα 2.2) ο οποίος είναι ένας μετρητής Venturi ειδικής κατασκευής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 είναι ένα ανοικτό κανάλι με στένωση και υποβιβασμό επιπέδου ροής.



Σχήμα 2.2 Δίαυλος Parshall [7].

Για τον υπολογισμό της παροχής σε συνθήκες ελεύθερης ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$Q = 0.1133 \cdot W \cdot H^{1.522} W^{0.026} \quad (2.1)$$

όπου:

Q είναι η παροχή σε m<sup>3</sup>/s

W είναι το πλάτος της στένωσης του διαύλου σε ft

H είναι το ύψος της στάθμης ανάντι της στένωσης σε ft

### 2.2.5 Εξομάλυνση ρυπαντικού φορτίου

Κατά την εξομάλυνση ρυπαντικού φορτίου χρησιμοποιούνται δεξαμενές σταθερού όγκου με τέτοιο τρόπο ώστε οι διακυμάνσεις του ρυπαντικού φορτίου στην έξοδο της δεξαμενής να αποκτήσουν μία μικρότερη τυπική απόκλιση γύρω από τη μέση τιμή που χαρακτηρίζει το απόβλητο.

Τα παραπροϊόντα της προεπεξεργασίας είναι αδρομερή στερεά τα οποία διατίθενται με μεθόδους διάθεσης στερεών απορριμμάτων, τα λίπη και έλαια τα οποία αν δεν μπορούν να ανακυκλωθούν καίγονται σε ειδικούς κλιβάνους και τα ανόργανα στερεά τα οποία μπορούν να διατεθούν στους χώρους υγειονομικής ταφής ή να καούν σε ειδικούς αποτεφρωτήρες.

## 2.3 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα υγρά απόβλητα μετά την προεπεξεργασία και πριν από τη βιολογική επεξεργασία πρέπει να διέλθει από την πρωτοβάθμια επεξεργασία η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Η απομάκρυνση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα και τη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων αφού τα αιωρούμενα στερεά περιέχουν σε κάποιο βαθμό και οργανικές ενώσεις. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι συνήθως μία διεργασία φυσικού διαχωρισμού των αιωρούμενων στερεών που γίνεται με καθίζηση ή επίπλευση.

Το παραπροϊόν της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι μία πρωτογενής λάσπη η οποία πρέπει να παχυνθεί (αύξηση της

συγκέντρωσης των αιωρούμενων σε 5%), να σταθεροποιηθεί και να αξιοποιηθεί ενεργειακά με διεργασίες αναερόβιας ή αερόβιας χώνευσης (κομπόστες, βιοαέριο) και τελικά να διατεθεί αν δεν είναι τοξική σε χώρους υγειονομικής ταφής.

### 2.3.1 Καθίζηση

Η πρωτοβάθμια καθίζηση είναι καθίζηση τύπου II (παρεμποδιζόμενη) και απομακρύνει τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους από 0.1 έως 0.001 mm. Η απομάκρυνση αυτή οδηγεί και σε μείωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) αφού το τελευταίο οφείλεται εν μέρει σε αδιάλυτα οργανικά συστατικά. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης τυπικά αφαιρούν το 50-70% των αιωρούμενων στερεών (TSS) και το 25-40% του BOD.

Το κύριο χαρακτηριστικό της καθίζησης τύπου II είναι ότι τα σωματίδια συσσωματώνονται καθώς καθιζάνουν με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητά τους λόγω αύξησης του μεγέθους τους, σύμφωνα με το νόμο του Stokes.



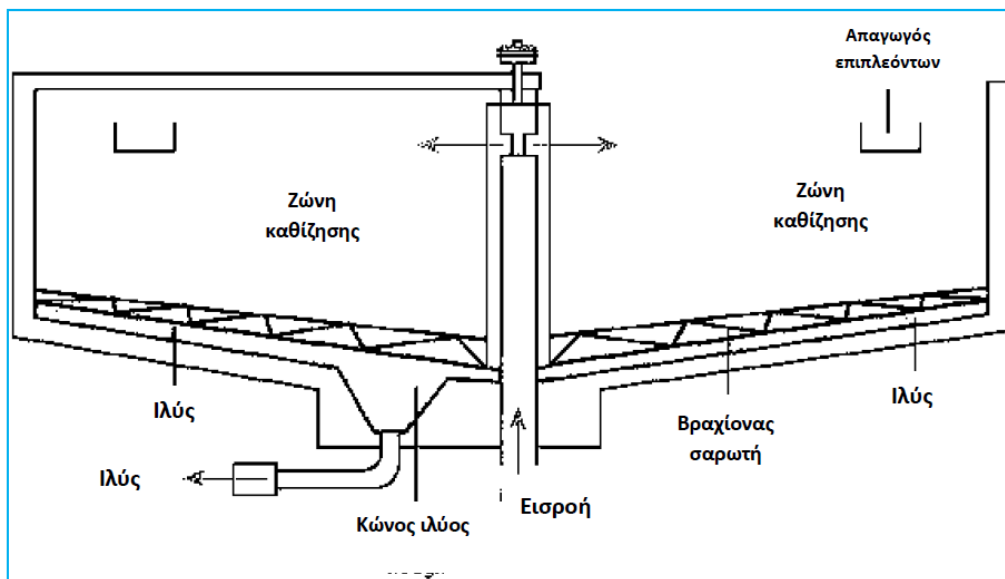
Εικόνα 2.3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης στη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας [6].



Για την κροκίδωση των κολλοειδών χρησιμοποιούνται τεχνικές ταχείας ανάμιξης με κροκιδωτικά όπως  $\text{FeCl}_3$  και  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Για τη συσσωμάτωση των κροκιδωμένων κολλοειδών εφαρμόζονται τεχνικές ιξώδους ανάμιξης με πολυηλεκτρολύτες όπως:

1. διατάξεις μηχανικής ανάδευσης
2. διατάξεις εξαναγκασμένης ροής
3. διατάξεις αγωγών ροής

Υπάρχουν δύο τύποι δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης, οι ορθογώνιες και οι κυκλικές με πιο συνηθισμένες τις κυκλικές. Η τροφοδοσία με απόβλητα γίνεται κεντρικά. Τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα ο οποίος έχει κλίση και ξέστρο για διευκόλυνση της συλλογής της πρωτοβάθμιας ιλύος. Το ξέστρο είναι τμήμα ευρύτερης μηχανικής διάταξης, η οποία περιλαμβάνει και γέφυρα επίσκεψης στην επιφάνεια της δεξαμενής καθώς και βραχίονα με κλίση για τη συλλογή των επιπλεόντων φύλλων και άλλων σωμάτων.



Σχήμα 2.3 Σκαρίφημα κυκλικής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης [1].



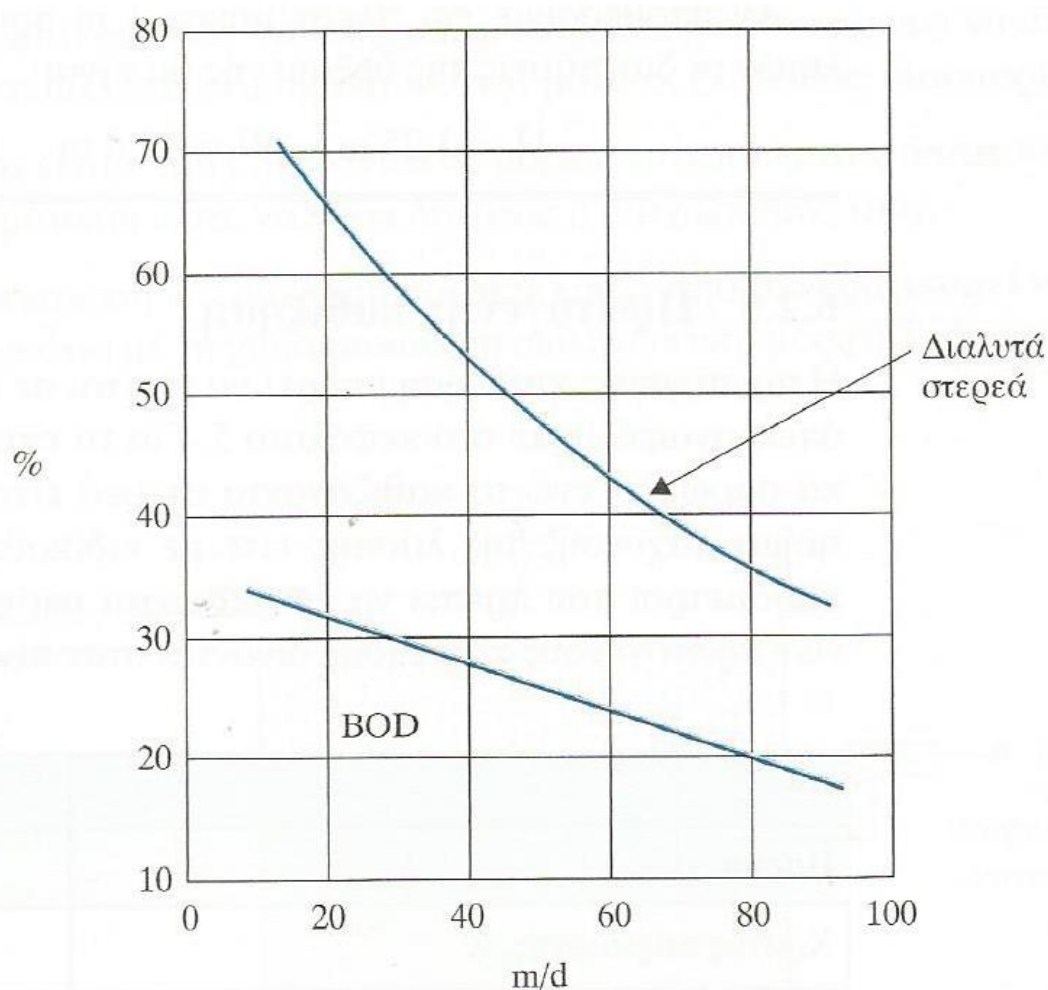
Εικόνα 2.4 Κυκλικές δεξαμενές καθίζησης [1].

Η εκροή γίνεται ακτινωτά από την επιφάνεια μέσω υπερχειλιστή και συλλέγεται μέσω ενός αυλακιού που διατρέχει την περίμετρο της δεξαμενής.



Εικόνα 2.5 Υπερχειλιστής και διάταξη απαγωγής επιπλεόντων σε κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης [1].

Τα καθιζάνοντα στερεά θα πρέπει να απομακρύνονται από τη δεξαμενή καθίζησης πριν αναπτυχθούν συνθήκες αναερόβιας επεξεργασίας. Η ποσότητα των στερεών που καθιζάνουν στην πρωτοβάθμια καθίζηση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα των λυμάτων προς επεξεργασία και η αποδοτικότητα της κατεργασίας. Στο σχήμα 2.4 που ακολουθεί φαίνεται η εξάρτηση της % απομάκρυνσης στερεών ως συνάρτηση της ταχύτητας υπερχείλισης.



Σχήμα 2.4 Ποσοστό απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών και BOD ως συνάρτηση της ταχύτητας υπερχείλισης [7].

Η θερμοκρασία επηρεάζει τις ταχύτητες καθίζησης καθώς και τις βαθμίδες ταχύτητας στο υγρό που με τη σειρά τους επηρεάζουν την κροκίδωση. Για την καλή λειτουργία των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι βασικό να μην υπάρχουν σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας. Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι λιγότερο σημαντική όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών.

### 2.3.2 Επίπλευση

Η αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος της επίπλευσης είναι ότι φυσαλίδες αέρα συσσωματώνονται με στερεά σωματίδια μειώνοντας την πυκνότητά τους σε τιμή κάτω από εκείνη του νερού. Έτσι η μέγιστη άνοση υπερβαίνει τη βαρύτητα και έχουμε επίπλευση δηλαδή κίνηση προς τα πάνω. Η επίπλευση αυξάνει επίσης την ταχύτητα ανόδου σωματιδίων που είναι έτσι κι αλλιώς ελαφρύτερα του νερού.



Εικόνα 2.6 Διάταξη επίπλευσης στη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Αγρινίου [6].

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες επίπλευσης:

1. Επίπλευση αέρα: αερίωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.
2. Επίπλευση διαλυμένου αέρα: αερίωση υπό πίεση, ακολουθούμενη από πτώση της πίεσης για δημιουργία φυσαλίδων.
3. Επίπλευση κενού: αερίωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και ακολούθως μείωση της πίεσης κάτω από την ατμοσφαιρική για δημιουργία φυσαλίδων.

Η πιο αποτελεσματική διαδικασία επίπλευσης είναι η δεύτερη. Η επίπλευση σε σχέση με την καθίζηση έχει το πλεονέκτημα ότι συμβαίνει με μεγαλύτερη ταχύτητα. Δηλαδή μπορεί να απομακρύνει ελαφρά σωματίδια σε μικρότερους χρόνους σε σχέση με τη διαδικασία συσσωμάτωσης και καθίζησης.

Υπάρχουν δύο διατάξεις επίπλευσης: με και χωρίς ανακυκλοφορία. Η ανακυκλοφορία είναι απαραίτητη όταν τα σωματίδια είναι σχετικά εύθραυστα και δεν αντέχουν τη συμπίεση.

Να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες της επίπλευσης, όπως και της καθίζησης, διαφέρουν από απόβλητο σε απόβλητο και γι αυτό το λόγο τα χαρακτηριστικά μετρούνται συνήθως πειραματικά. Η απόδοση των συστημάτων επίπλευσης καθορίζεται από το λόγο της παρεχόμενης μάζας αέρα προς τη μάζα των στερεών ( $A/\Sigma$ ).

## 2.4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια. Στόχος της είναι η περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών. Μπορεί επίσης να στοχεύει στη μείωση των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Επειδή το κυριότερο ρυπαντικό φορτίο είναι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (περίπου 70 %) οργανικής προέλευσης, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στη βιοχημική αποικοδόμηση και μετατροπή των διαλυμένων οργανικών ουσιών σε συσσωματώματα. Τα συσσωματώματα στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση. Ανάλογα με το είδος των μικροοργανισμών οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση και τη

σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών η βιολογική επεξεργασία διακρίνεται σε:

### **Αερόβια**

Όπου η διάσπαση και η σταθεροποίηση γίνεται από αερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς,

### **Αναερόβια**

Όπου η διάσπαση και η σταθεροποίηση γίνεται από αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς

### **Αερόβια-αναερόβια**

Όπου η διάσπαση και η σταθεροποίηση γίνεται και από τα τρία είδη των μικροοργανισμών (αερόβιοι, αναερόβιοι και επαμφοτερίζοντες).

Κατά τη βιολογική επεξεργασία οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν ένα μέρος της τροφής του υποστρώματος σε διεργασίες αποικοδόμησης, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη για τη δράση τους ενέργεια. Παράλληλα χρησιμοποιούν ένα άλλο μέρος του υποστρώματος για τη σύνθεση της κυτταρικής τους δομής.

#### **2.4.1 Αερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

Η απομάκρυνση της οργανικής ύλης που βρίσκεται στα απόβλητα επιτυγχάνεται με βιολογικές διεργασίες με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών, κυρίως βακτηρίων. Οι αερόβιοι μικροοργανισμοί παίρνουν ενέργεια καταναλώνοντας οξυγόνο και οξειδώνουν το οργανικό υλικό των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και νέα κυτταρική μάζα (βιομάζα). Τα θρεπτικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, απαιτούνται για τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε απλά τελικά προϊόντα.

Η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) που περιέχεται στα απόβλητα οξειδώνεται από ειδικά βακτήρια σε νιτρώδη και νιτρικά άλατα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται νιτροποίηση. Στη συνέχεια τα νιτρικά άλατα μετατρέπονται με χρήση άλλων βακτηρίων σε αέριο άζωτο μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται απονιτροποίηση. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το άζωτο από τα απόβλητα.

Για την απομάκρυνση του φωσφόρου, επιλέγονται βιολογικές διεργασίες οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων που έχουν την ικανότητα να απορροφούν και να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου.

Η αερόβια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων βασίζεται στην ανάμιξη και τον αερισμό των λυμάτων κάτω από κατάλληλες συνθήκες

ώστε να εξασφαλίζεται η επικράτηση των κατάλληλων αερόβιων μικροοργανισμών. Οι ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών (θερμοκρασία, pH, συγκέντρωση οξυγόνου, αλκαλικότητα, ανάδευση, κ.ά.) επιτυγχάνονται μέσα σε βιοαντιδραστήρες οι οποίοι σχεδιάζονται κατάλληλα. Η βιομάζα που παράγεται έχει πυκνότητα λίγο μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού και μπορεί να απομακρυνθεί από την εκροή με καθίζηση σε κατάλληλες δεξαμενές.

#### **2.4.2 Αναερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

Στα αναερόβια συστήματα η βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού υλικού πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου με τη δράση των λεγόμενων αναερόβιων μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας τις οργανικές ενώσεις. Τα βασικότερα προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας, είναι μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ), αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και αναερόβια βιομάζα. Η δημιουργία των προϊόντων εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και τα εμπλεκόμενα είδη των μικροοργανισμών.

Η αναερόβια αποικοδόμηση αν και είναι μία πολύ αργή και ευαίσθητη διαδικασία παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ✓ παραγωγή μεθανίου, το οποίο μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα συνθέτει το βιοαέριο
- ✓ εν απαιτείται αερισμός
- ✓ επιτυγχάνεται αποικοδόμηση δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών
- ✓ υπάρχει πολύ χαμηλή παραγωγή ιλύος.

#### **2.4.3 Αερόβια-αναερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

Η αερόβια-αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται σε δεξαμενές ή λίμνες σταθεροποίησης. Στο ανώτερο στρώμα επικρατούν αερόβιες συνθήκες λόγω του οξυγόνου που προέρχεται είτε από την ατμόσφαιρα είτε παράγεται από τα φύκια μέσω της φωτοσύνθεσης. Στο κατώτερο στρώμα όπου δεν διεισδύει η φωτεινή ακτινοβολία, το οξυγόνο είναι ελάχιστο και επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Το σχήμα και οι διαστάσεις των δεξαμενών καθορίζεται από τη διεργασία, την ποσότητα των αποβλήτων, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων και οι ιδιαιτερότητες της περιοχής εγκατάστασης (τύπος υπεδάφους, κλιματικές συνθήκες).

Εκτός του φυσικού αερισμού (ατμοσφαιρικό οξυγόνο και παραγωγή οξυγόνου λόγω φωτοσύνθεσης) υπάρχει και η δυνατότητα τεχνητού αερισμού με επιπλέοντες αεριστήρες. Όταν ο τεχνητός αερισμός προκαλεί πλήρη ανάμιξη έχουμε αερόβιες και αερόβιες-αναερόβιες συνθήκες ανάλογα και με τη ποσότητα του αέρα που προστίθεται. Όταν ο αερισμός δεν δημιουργεί συνθήκες πλήρους ανάμιξης στον πυθμένα της λίμνης μπορεί να εμφανιστούν αναερόβιες συνθήκες.

Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις δεξαμενές αυτές κυμαίνεται από 3 έως 6 ημέρες. Στο ρεύμα εκροής παραμένει το 30-50% του BOD του ρεύματος εισόδου. Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου απομακρύνεται με καθίζηση. Η ανακύκλωση της ιλύος από τη δεξαμενή καθίζησης γίνεται με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος. Η εκροή των επεξεργασμένων αποβλήτων χαρακτηρίζεται από το BOD και τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών.

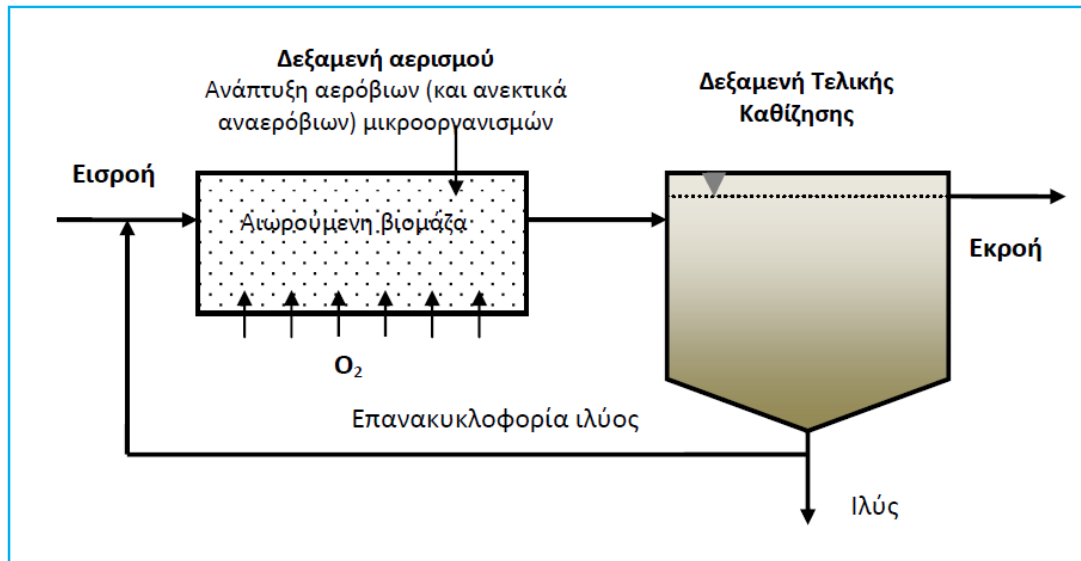
## **2.5 ΑΕΡΟΒΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ**

### **2.5.1 Μέθοδος Ενεργού Ιλύος**

Στα αερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κυριαρχεί η μέθοδος της ενεργού ιλύος (λάσπης), η οποία αναπτύχθηκε στην Αγγλία το 1914 και ονομάστηκε έτσι γιατί περιλαμβάνει την παραγωγή ενεργού μάζας ικανής να σταθεροποιεί αερόβια το απόβλητο. Η ενεργός ιλύς αποτελείται από μια συσσωμάτωση ζωντανών και νεκρών μικροοργανισμών που δεν έχουν ακόμα αποσυντεθεί, οργανικών αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν έχουν απομακρυνθεί στο στάδιο της προεπεξεργασίας των αποβλήτων, οργανικών ουσιών κολλοειδούς φύσης, ενδιάμεσων προϊόντων βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών ενώσεων και αδρανών στερεών που δεν αποσυντίθενται.

Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορες εκδόσεις της αρχικής διεργασίας, οι οποίες όμως είναι ουσιαστικά όλες παρόμοιες. Η διαδικασία αποτελείται από δύο βασικές διεργασίες, τον αερισμό και την καθίζηση (σχήμα 2.5).





Σχήμα 2.5 Διεργασίες της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας [1].

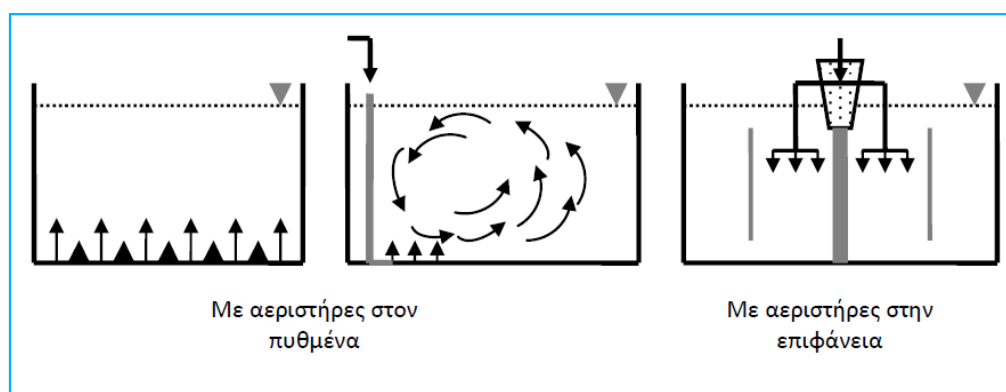


Εικόνα 2.7 Γενική άποψη της μονάδας διεργασίας ενεργού ιλύος στο Βιολογικό Καθαρισμό του Δήμου Αγρινίου [6].

Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στη δεξαμενή ενεργού ιλύος (βιοαντιδραστήρας) όπου αερίζονται και αναμειγνύονται με την αιωρούμενη βιομάζα. Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στη βιομάζα οξειδώνουν οργανικές ενώσεις και τις απομακρύνουν από το ρεύμα των υγρών αποβλήτων. Έτσι η αιωρούμενη βιομάζα αυξάνεται συνεχώς.

Στη συνέχεια, οι οργανικές ενώσεις που μετατράπηκαν σε βακτηριακή μάζα καθιζάνουν στη δεξαμενή καθίζησης και απομακρύνονται από το σύστημα. Ένα ποσοστό της βακτηριακής μάζας επιστρέφει στη δεξαμενή αερισμού με μια διαδικασία που ονομάζεται επανακυκλοφορία ιλύος με στόχο τη διατήρηση επαρκούς συγκέντρωσης μικροοργανισμών στο βιοαντιδραστήρα ικανής για την αποικοδόμηση των εισερχόμενων οργανικών ενώσεων. Η επανακυκλοφορία ιλύος είναι πολύ σημαντική γιατί προσφέρει τη δυνατότητα αυξομείωσης της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στη δεξαμενή ενεργού ιλύος με αποτέλεσμα η τελευταία να μπορεί να ανταποκριθεί σε μεταβαλλόμενες συνθήκες εισόδου.

Οι δεξαμενές ενεργού ιλύος είναι συνήθως ορθογώνιες ενώ οι αεριστήρες μπορεί να βρίσκονται είτε στον πυθμένα είτε κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6 Δεξαμενές αερισμού ενεργού ιλύος [1].

Οι αεριστήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, υπάρχουν οι επιφανειακοί αεριστήρες και οι αεριστήρες (διαχυτήρες από κεραμικά ή

πλαστικά αφρώδη υλικά) εμφύσησης φυσαλίδων αέρα. Γενικά στους βιοαντιδραστήρες, η προσφορά του απαιτούμενου οξυγόνου για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- ✓ Με διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας,
- ✓ Με αεριστήρες τύπου βούρτσας (Mammutrotor) ή κυλινδρικούς αεριστήρες,
- ✓ Με επιφανειακούς περιστρεφόμενους αεριστήρες σταθερού άξονα,
- ✓ Με επιφανειακούς περιστρεφόμενους πλωτούς αεριστήρες,
- ✓ Με προσφορά καθαρού οξυγόνου.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε ένα σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ενεργού ιλύος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και το pH. Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα βιοαποικοδόμησης των οργανικών ενώσεων. Επομένως η θερμοκρασία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το χρόνο παραμονής των αποβλήτων στη δεξαμενή ενεργού ιλύος. Για το λόγο αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στον καθορισμό του μεγέθους της δεξαμενής. Επίσης, για να λειτουργεί σωστά το σύστημα απαιτείται η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών σε σωστή αναλογία. Αν στα απόβλητα δεν υπάρχει η απαιτούμενη αναλογία άνθρακα-αζώτου-φωσφόρου, πρέπει να προστεθούν κατάλληλες ποσότητες από κάποια από αυτά τα στοιχεία.

Η θεωρητική απαίτηση σε οξυγόνο υπολογίζεται κυρίως βάσει του BOD<sub>5</sub> των ανθρακούχων και των αζωτούχων ενώσεων των υγρών αποβλήτων. Όμως ένα ποσοστό των οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων μετατρέπεται σε βιομάζα η οποία απομακρύνεται με συνεχή τρόπο από το σύστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου να είναι μικρότερη. Γενικά όμως, στα συστήματα αυτά διατίθεται πάντα πολύ μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου από τις θεωρητικές τιμές για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία και όσο το δυνατόν υψηλότερος βαθμός απόδοσης.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες συστημάτων αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ενεργού ιλύος.

- ✓ Τα ταχύρρυθμα συστήματα χρησιμοποιούν βιοαντιδραστήρες μικρού μεγέθους και απαιτούν μικρή μεταφορά οξυγόνου, αλλά το ποσοστό βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου είναι σχετικά χαμηλό (50-80%).

- ✓ Τα αργόρυθμα συστήματα επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά βιοαποικοδόμησης (πάνω από 90%), αλλά χρειάζονται μεγάλους βιοαντιδραστήρες και υψηλή παροχή οξυγόνου.
- ✓ Τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού βασίζονται στη συνεχή προσφορά οξυγόνου, χωρίς ανάλογη προσφορά τροφής οδηγώντας την ιλύ στην αυτοκατανάλωση. Τα συστήματα αυτά απαιτούν περισσότερο αερισμό, με συνέπεια την κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας. Το ποσοστό βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου όμως μπορεί να φτάσει και το 97 %.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι η μέθοδος της ενεργού ιλύος μπορεί να πετύχει:

- Μείωση οργανικής ύλης: 85 έως 95 %
- Μείωση αιωρούμενων στερεών: 80 έως 90 %
- Μείωση βακτηρίων: 98 έως 99 %.

Τα συστήματα ενεργού ιλύος αποτελούν την καρδιά των πιο πολλών από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη βιολογική αφαίρεση θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου). Τα συστήματα που στοχεύουν στην αφαίρεση θρεπτικών είναι συνήθως πιο πολύπλοκα από τα απλά συστήματα ενεργού ιλύος που προορίζονται μόνο για αφαίρεση οργανικού υλικού γιατί περιλαμβάνουν σειρά σταδίων ή φάσεων όπου επικρατούν αερόβιες ή ανοξικές ή αναερόβιες συνθήκες.

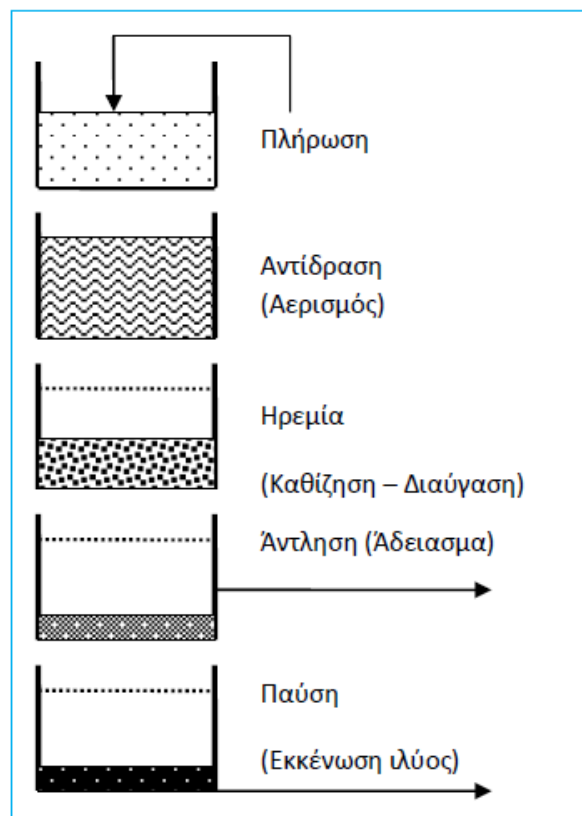
Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διεργασίες που επιτυγχάνουν μόνο αφαίρεση οργανικού υλικού (π.χ. συστήματα ενεργού ιλύος με μικρό χρόνο κράτησης στερεών), αφαίρεση οργανικού υλικού και φωσφόρου, αφαίρεση οργανικού υλικού και αζώτου και αφαίρεση οργανικού υλικού με παράλληλη αφαίρεση τόσο αζώτου όσο και φωσφόρου.

## **2. 5.2 Τα συστήματα SBR**

Τα συστήματα SBR (Sequencing Batch Reactors ή Αντιδραστήρες διαλείποντος έργου εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας) αποτελούν μία παραλλαγή της μεθόδου της ενεργού ιλύος και χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με χαμηλή ή διακεκομμένη ροή. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι στην τεχνολογία SBR η εξισορρόπηση, η βιολογική επεξεργασία και η

δευτεροβάθμια καθίζηση πραγματοποιούνται σε έναν μόνο αντιδραστήρα με ελεγχόμενη χρονική αλληλουχία. Με άλλα λόγια, οι φάσεις της επεξεργασίας διαχωρίζονται χρονικά αλλά συμβαίνουν στον ίδιο χώρο.

Μετά την προεπεξεργασία τα υγρά απόβλητα εισέρχονται σε ένα μερικώς γεμάτο αντιδραστήρα, που περιέχει βιομάζα. Μόλις ο αντιδραστήρας γεμίσει, συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ένα συμβατικό σύστημα που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της ενεργού ιλύος, νε τη διαφορά ότι δεν υπάρχει συνεχόμενη εισροή ή εκροή υγρών αποβλήτων σταθερής παροχής. Όταν ολοκληρωθούν οι βιολογικές αντιδράσεις, ο αερισμός και η ανάμειξη διακόπτονται, η βιομάζα καθιζάνει και το επεξεργασμένο υλικό από την επιφάνεια απομακρύνεται. Επίσης η περίσσεια της βιομάζας μπορεί να απομακρύνεται οποτεδήποτε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.



Σχήμα 2.7 Τα πέντε βήματα στη λειτουργία ενός συστήματος SBR [1].

Τα συστήματα SBR χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές παροχές. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι καταλαμβάνουν σχετικά μικρό χώρο. Επιπλέον, είναι εξαιρετικά ευέλικτα γιατί μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν ώστε να προσαρμόζονται στις αλλαγές των απαιτήσεων όσον αφορά τις παραμέτρους των εκρέοντων λυμάτων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα συστήματα SBR βρίσκουν εφαρμοζονται ευρέως σε μεμονωμένες κατοικίες και οικισμούς με τη μορφή μονάδων compact.

Όσον αφορά την απόδοση των αντιδραστήρων SBR, τα χαρακτηριστικά των εκρέοντων λυμάτων είναι συνήθως:

- ✓ BOD<sub>5</sub> < 10 mg/l
- ✓ TSS < 10 mg/l
- ✓ TN : 5-8 mg/l
- ✓ TP: 1-2 mg/l.

## **2.6 ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

### **2.6.1 Γενικά**

Στα υγρά απόβλητα είναι πιθανό να υπάρχουν και ουσίες οι οποίες δεν αφαιρούνται στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία.. Επίσης οι απαιτήσεις για τη διάθεση των κατεργασμένων αποβλήτων μπορεί να είναι πολύ αυστηρές ανάλογα με τους αποδέκτες. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται τα υγρά απόβλητα να υποστούν την λεγόμενη τριτοβάθμια επεξεργασία που περιλαμβάνει πιο προχωρημένες μεθόδους καθαρισμού.

Η τριτοβάθμια επεξεργασία έχει στόχο την περαιτέρω αφαίρεση στερεών σωματιδίων, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα (S<sup>2-</sup>), τα κυανιούχα (CN<sup>-</sup>) κ.τ.λ. Οι σημαντικότερες τεχνικές που περιλαμβάνονται στην τριτοβάθμια επεξεργασία είναι

- η διήθηση με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος και ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Πιο εξελιγμένες και αποδοτικές μέθοδοι μεμβρανών είναι η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF) και η νανοδιήθηση (NF),
- η αντίστροφη ώσμωση (RO),

- η χημική επεξεργασία (οξειδωση, αναγωγή κ.ά.),
- οι προχωρημένες διεργασίες οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes, AOPs).
- η προσρόφηση (κυρίως σε ενεργό άνθρακα),
- η ιοντοεναλλαγή,
- η απογύμνωση αερίου, η οποία συνίσταται στη μεταφορά μάζας ενός αερίου από την υγρή στην αέρια φάση και εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση αερίων όπως το υδρόθειο ( $H_2S$ ), η αμμωνία ( $NH_3$ ) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOC).

Προϊόντα της τριτογενούς επεξεργασίας είναι ανόργανες λάσπες από τις διεργασίες διήθησης καθώς και βιομάζα. Οι λάσπες αυτές στο βαθμό που δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα μπορούν να διατεθούν στους χώρους απόθεσης των αστικών απορριμμάτων ενώ η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά.

### **2.6.2 Διήθηση**

Η διήθηση των υγρών αποβλήτων πραγματοποιείται με βαρύτητα ή υπό πίεση και χρησιμοποιεί διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Οι συνήθειες διατάξεις διήθησης των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν κλίνες αποτελούμενες από αλληπάλληλα στρώματα άμμου και ανθρακίτη. Στόχος της διήθησης είναι κυρίως η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, τα οποία παραμένουν μετά την επεξεργασία στις δεξαμενές καθίζησης.

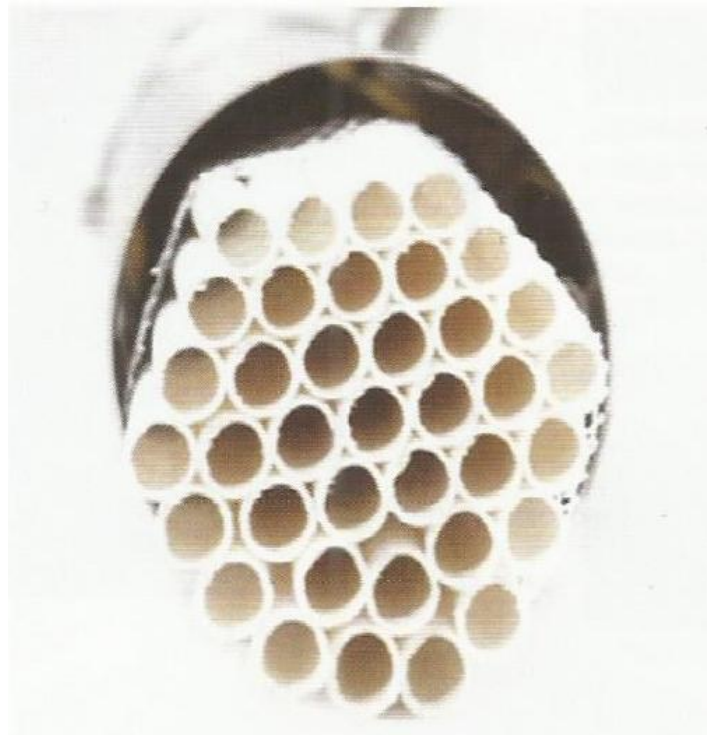
### **2.6.3 Μεμβράνες**

Η χρήση μεμβρανών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία. Βασικό μειονέκτημα των μεθόδων που χρησιμοποιούν μεμβράνες είναι το μεγάλο κόστος και η υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο γιατί τα αποτελέσματα που επιτυγχάνουν όσον αφορά την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των διαλυτών αλάτων είναι πραγματικά εκπληκτικά, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Απομάκρυνση διαφόρων συστατικών με τη χρήση μεμβρανών [1]

Συστατικό προς απομάκρυνση	MF	UF	NF	RO
Βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις	-	✓	✓	✓
TDS	-	-	✓	✓
TSS	✓	✓	-	-
Βαριά μέταλλα	-	-	✓	✓
Σκληρότητα	-	-	✓	✓
Νιτρικά ιόντα	-	-	✓	✓
Συνθετικές οργανικές ενώσεις	-	-	✓	✓
Οργανικοί ρύποι προτεραιότητας	-	✓	✓	✓
Βακτήρια	✓	✓	✓	✓
Κύστες πρωτόζωων, ωκύστες και ωάρια ελμίνθων	✓	✓	✓	✓
Ιοί	-	-	✓	✓

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη (rayon) ή από πολυαμίδια. Κάθε μεμβράνη ανάλογα με το υλικό κατασκευής είναι πιο αποδοτική σε ορισμένη περιοχή θερμοκρασιών και pH.

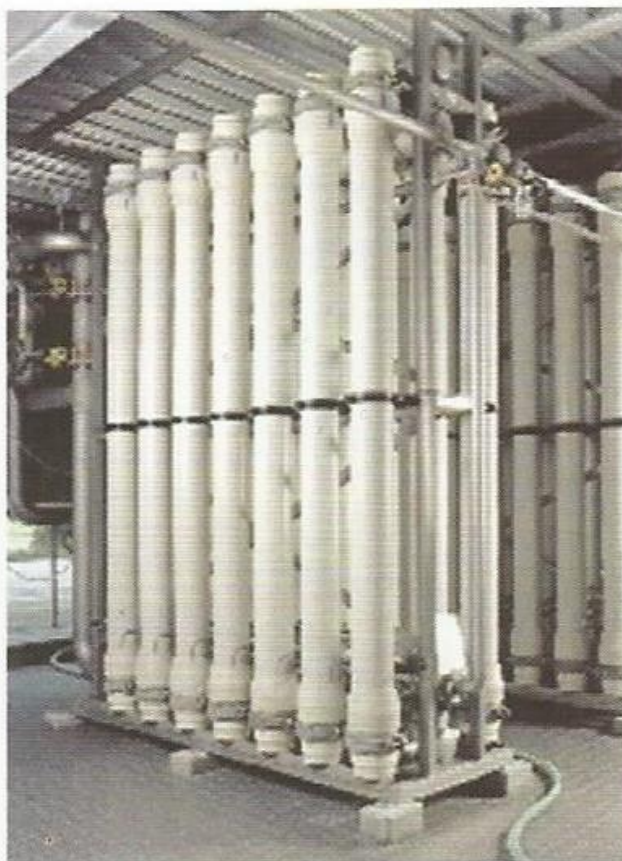


Εικόνα 2.8 Τομή διάταξης σωληνοειδών μεμβρανών [5].



Ανάλογα με το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών διακρίνουμε διάφορες τεχνολογίες διήθησης:

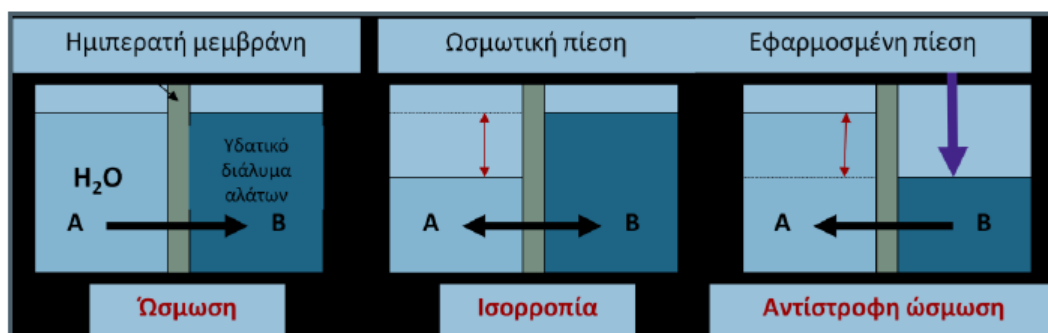
- ✓ **μικροδιήθηση (MF)** με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,05 – 2,0 μm,
- ✓ **υπερδιήθηση (UF)**, με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 2,0 – 0,05 μm,
- ✓ **νανοδιήθηση (NF)** με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,5 – 2,0 nm.
- ✓ Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους.



Εικόνα 2.9 Διατάξεις σωληνοειδών μεμβρανών [5].

#### 2.6.4 Αντίστροφη ώσμωση

Η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) είναι η αντίστροφη διαδικασία της φυσικοχημικής διεργασίας που ονομάζεται ώσμωση. Είναι μια διαδικασία κατά την οποία μια μεμβράνη δρα ως ένα μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος διαχωρίζοντάς τα από αυτό. Η αντίστροφη ώσμωση λαμβάνει χώρα όταν ασκείται πίεση σε ένα διάλυμα που διαχωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη από τον καθαρό διαλύτη η οποία υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση του διαλύματος. Στην περίπτωση αυτή ο διαλύτης, στην προκειμένη περίπτωση το καθαρό νερό, διαπερνά την ημιπερατή μεμβράνη από το διάλυμα της υψηλής προς το διάλυμα της χαμηλής συγκέντρωσης. Η κύρια εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης είναι η αφαλάτωση του νερού.



Σχήμα 2.8 Σχηματική παράσταση της ώσμωσης, της ωσμωτικής ισορροπίας και της αντίστροφης ώσμωσης [1].



Εικόνα 2.10 Μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης σε κοντέινερ για την επεξεργασία στραγγισμάτων στον ΧΥΤΑ Κατερίνης [5]

Η απαραίτητη πίεση λειτουργίας για την πραγματοποίηση της αντίστροφης ώσμωσης κυμαίνεται από 10 έως 100 bar. Η επίτευξη της υψηλής αυτής πίεσης απαιτεί την κατανάλωση ιδιαίτερα υψηλών ποσών ενέργειας. Τα συχνότερα προβλήματα των εγκαταστάσεων αντίστροφης ώσμωσης είναι η υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενου και κολλοειδούς υλικού στην τροφοδοσία και η καθίζηση διαλυμένων αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης.

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία λυμάτων είναι κατασκευασμένες από ένα λεπτό φιλμ πάχους 0.20 έως 0.25  $\mu\text{m}$  το οποίο υποστηρίζεται από μία περισσότερο πορώδη στρώση πάχους 100  $\mu\text{m}$ .

### 2.6.5 Χημική Επεξεργασία

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων οι οποίες βασίζονται στη μετατροπή μέσω χημικών αντιδράσεων ονομάζονται χημικές διεργασίες. Σχεδόν πάντα

συνδυάζονται με φυσικές και βιολογικές διεργασίες. Βασικός στόχος της χημικής επεξεργασίας είναι η οξείδωση ουσιών οι οποίες δεν αποικοδομούνται με βιολογικές μεθόδους. Οι βασικές χημικές διεργασίες που βρίσκουν εφαρμογή στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι

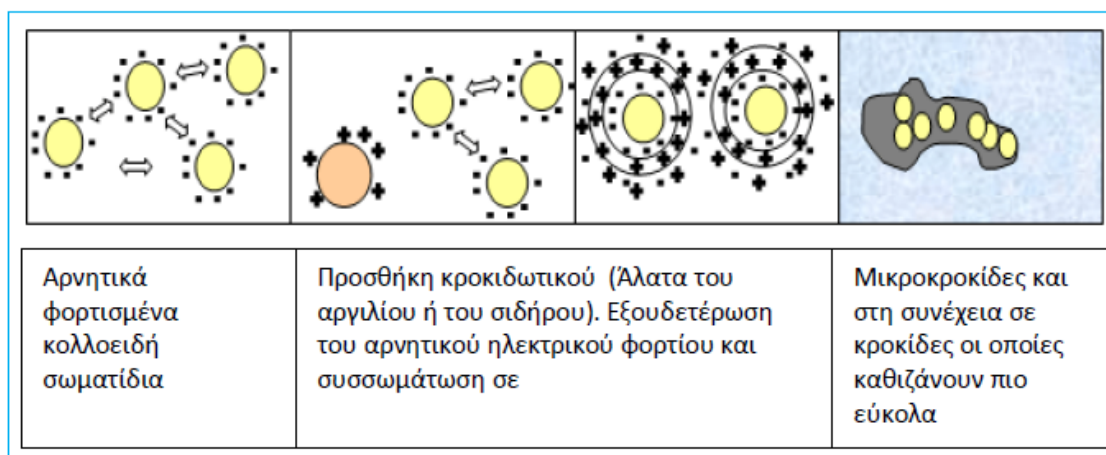
- η εξουδετέρωση,
- η χημική κατακρήμνιση,
- η κροκίδωση
- η χημική απολύμανση.

Η εξουδετέρωση έχει σαν στόχο τη μείωση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας με κάποια κατάλληλα χημικά αντιδραστήρια (οξέα, βάσεις ή άλατα). Στόχος είναι η ρύθμιση του pH των υγρών αποβλήτων σε μια περιοχή μεταξύ 6.5 και 8.5 έτσι ώστε να μπορούν αυτά στη συνέχεια να διατεθούν στο φυσικό περιβάλλον. Συνήθως γίνεται η εξουδετέρωση όξινων λυμάτων με βάσεις ή άλατα όπως είναι το υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), το υδροξείδιο του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ), το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), το οξείδιο του μαγνησίου ( $\text{MgO}$ ) και το ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Η χημική κατακρήμνιση ή ιζηματοποίηση (precipitation) είναι μία φυσικοχημική διεργασία κατά την οποία ορισμένα ανεπιθύμητα συστατικά του νερού αδιαλυτοποιούνται μέσω σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων. Επιτυγχάνεται με τους παρακάτω τρόπους:

- ✓ αύξηση ή μείωση του pH,
- ✓ προσθήκη κατάλληλων αντιδραστηρίων,
- ✓ μεταβολή του αριθμού οξείδωσης των στοιχείων που θα μετατραπούν σε ίζημα.

Η κροκίδωση-συσσωμάτωση (coagulation-flocculation) είναι μια φυσικοχημική - ηλεκτροχημική διεργασία, η οποία έχει στόχο την περαιτέρω απομάκρυνση οργανικού φορτίου ως COD. Χρησιμοποιείται για την κατακρήμνιση των αιωρούμενων- κολλοειδών ρύπων, οι οποίοι στη συνέχεια απομακρύνονται στις δεξαμενές καθίζησης.



Σχήμα 2.9 ο μηχανισμός της κροκίδωσης [1].

### 2.6.6 Προχωρημένες διεργασίες Οξείδωσης

Τα τελευταία χρόνια έχει δειχθεί ότι οι ονομαζόμενες προχωρημένες διεργασίες οξείδωσης οι οποίες βασίζονται στη χρήση ισχυρού οξειδωτικού μέσου όπως το όζον ( $O_3$ ) ή το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ), ή ειδικές συνθήκες όπως υπεριώδη ακτινοβολία, υγρή οξείδωση (σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση), ηλεκτροχημική επεξεργασία και άλλες μπορούν να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές, ειδικά σε συνδυασμό με βιολογικές διεργασίες.

Σήμερα οι προχωρημένες διεργασίες οξείδωσης βρίσκουν εφαρμογή στην αποδόμηση μιας μεγάλης ποικιλίας ενώσεων και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στο στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την ελαχιστοποίηση κάποιων τοξικών ενώσεων που ίσως εξακολουθούν να υπάρχουν μετά την επεξεργασία. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται πολύ συχνά κατά την επεξεργασία αποβλήτων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση.

Η απόδοση των προχωρημένων διεργασιών οξείδωσης εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων. Ο συνδυασμός όζοντος και υπεροξειδίου του υδρογόνου μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί στις υπάρχουσες μονάδες βιολογικού καθαρισμού, καθώς είναι απλός και εύκολος στη λειτουργία του. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των διεργασιών αυτών είναι το αυξημένο αρχικό και λειτουργικό κόστος.

### 2.6.7 Προσρόφηση

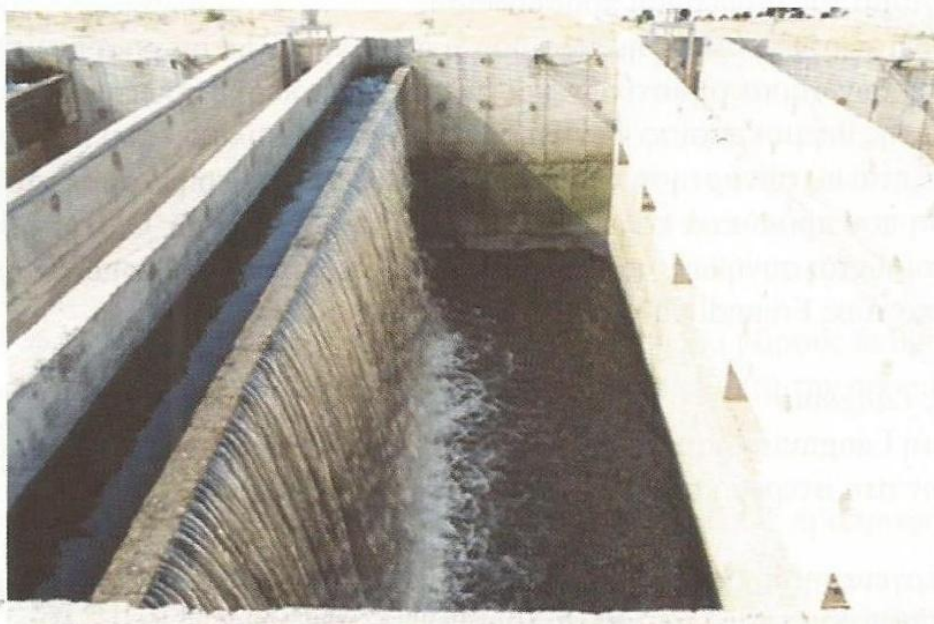
Η προσρόφηση είναι η διεργασία μεταφοράς των συστατικών ενός διαλύματος πάνω σε μία κατάλληλη επιφάνεια ενός στερεού που ονομάζεται προσροφητικό μέσο. Σύμφωνα με το μηχανισμό της προσρόφησης τα προσροφούμενα συστατικά έλκονται με

ηλεκτροστατικές δυνάμεις από το διάλυμα στη στερεά επιφάνεια του προσροφητικού.

Τα πιο σημαντικά προσροφητικά μέσα είναι ο ενεργός άνθρακας, τα συνθετικά πολυμερή και κάποια μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο. Τα παραπάνω προσροφητικά μέσα χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και ιχνοστοιχείων. Ο κονιορτοποιημένος ενεργός άνθρακας έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ταμιευτήρες νερού και σε δεξαμενές καθίζησης, όπου ενεργεί τόσο σαν προσροφητικό μέσο των στοιχείων που προκαλούν οσμές.

Ο ενεργός άνθρακας διαχωρίζεται σε διαφορετικά μεγέθη με διαφορετική ικανότητα προσρόφησης. Οι δύο κατηγορίες είναι η σκόνη άνθρακα με διάμετρο σωματιδίων μικρότερη από 74  $\mu\text{m}$  και ο κοκκώδης άνθρακας με διάμετρο σωματιδίων μεγαλύτερη από 0.1 mm.

Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με κοκκώδη ενεργό άνθρακα χρησιμοποιείται μια σταθερή κλίνη. Το νερό διοχετεύεται στην κορυφή της κλίνης και κατεβαίνει προς τον πυθμένα. Ο άνθρακας παραμένει στη θέση του με ένα σύστημα αποστράγγισης που βρίσκεται στον πυθμένα της κλίνης. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα με την πτώση πίεσης έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί και ρευστοποιημένες ή κινούμενες κλίνες.



Εικόνα 2.11 Κλίνες διύλισης με ενεργό άνθρακα στη ΜΕΛ Αργινίου [5].

Ο ενεργός άνθρακας σε μορφή σκόνης έχει χρησιμοποιηθεί στην έξοδο μονάδων βιολογικής επεξεργασίας. Ο άνθρακας προστίθεται σε μια δεξαμενή επαφής. Μετά από κάποιο χρόνο επαφής, ο άνθρακας αφήνεται να καθιζήσει στον πυθμένα της δεξαμενής και το επεξεργασμένο νερό απομακρύνεται από τη δεξαμενή. Επειδή ο άνθρακας είναι πολύ λεπτός απαιτείται η προσθήκη πολυηλεκτρολύτη για την απομάκρυνσή του.

Για το σχεδιασμό των μονάδων επεξεργασίας με ενεργό άνθρακα λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- ✓ η ποσότητα ενεργού άνθρακα,
- ✓ ο χρόνος επαφής,
- ✓ το υδραυλικό φορτίο,
- ✓ ο ρυθμός καθαρισμού,
- ✓ η διάταξη ροής (ανοδική ή καθοδική σε ένα ή περισσότερα στάδια),
- ✓ η λειτουργία της δεξαμενής (με βαρύτητα ή με πίεση)
- ✓ το είδος της δεξαμενής (χαλύβδινη ή από σκυρόδεμα).

### **2.6.8 Ιοντοεναλλαγή**

Η ιοντοεναλλαγή είναι μια φυσικοχημική διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται μεταφορά ιόντων. Πιο συγκεκριμένα, ιόντα του ενός είδους που βρίσκονται μέσα σε ένα αδιάλυτο μέσο αντικαθίστανται από ιόντα διαφορετικού είδους που βρίσκονται μέσα σε διάλυμα. Το αδιάλυτο στερεό διαθέτει ευκίνητα θετικά ή αρνητικά ιόντα που είναι ικανά για αντιστρεπτή εναλλαγή με ιόντα ίδιου φορτίου από το διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη με το οποίο έρχεται σε επαφή.

Η διεργασία αυτή βασίζεται στην ικανότητα κάποιων υλικών, ορυκτών (ζεόλιθοι) ή συνθετικών (ρητίνες), να δεσμεύουν επιλεκτικά διάφορα ιόντα. Το νερό διέρχεται μέσα από μια κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει τον ιοντοεναλλάκτη. Ο ιοντοεναλλάκτης δεσμεύει τα ιόντα που θέλουμε να απομακρυνθούν. Τα υδρογονοκατιόντα στις σουλφονικές και καρβοξυλικές ομάδες μπορούν να ανταλλάγουν με ιόντα μετάλλων, αφαιρώντας τα από το διάλυμα.

Ο ρυθμός ανταλλαγής ιόντων εξαρτάται από το pH, τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση των ιόντων προς ανταλλαγή και το χρόνο επαφής.

## 2.7 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

### 2.7.1 Γενικά

Η απολύμανση των υγρών αποβλήτων αποσκοπεί στην επιλεκτική καταστροφή ή τουλάχιστον στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας. Όλες οι μέθοδοι απολύμανσης στοχεύουν στην καταστροφή των βακτηρίων, των ιών και των λοιπών μικροοργανισμών που πιθανότατα είναι φορείς ασθενειών, ή μπορούν να εξελιχθούν σε τέτοιους. Κατά την απολύμανση δεν καταστρέφονται όλοι οι οργανισμοί. Αυτό διαφοροποιεί την απολύμανση από την αποστείρωση, η οποία σημαίνει την καταστροφή όλων των οργανισμών.

Η απολύμανση πραγματοποιείται συνήθως με:

1. χημικά μέσα
2. φυσικά μέσα
3. μηχανικές μεθόδους
4. ακτινοβολία.

Τα πιο κοινά χημικά απολυμαντικά είναι τα οξειδωτικά χημικά, ενώ το χλώριο είναι αυτό που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Το βρώμιο και το ιώδιο έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί αρκετά. Το όζον είναι πολύ ισχυρό απολυμαντικό αν και δεν αφήνει υπολείμματα. Χρησιμοποιούνται ακόμη ως απολυμαντικά βάσεις ή οξέα γιατί τα περισσότερα βακτήρια δεν επιζούν για pH μεγαλύτερο από 11 ή μικρότερο του 3.

Φυσικό απολυμαντικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η θερμότητα. Η θέρμανση του νερού μέχρι το σημείο βρασμού θα καταστρέψει τα πιο πολλά παθογόνα βακτήρια που δεν παράγουν σπόρια. Πάντως η θέρμανση δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Η παστερίωση όμως της λάσπης είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ευρώπη.



Βακτήρια και κάποιοι τύποι μικροοργανισμών μπορούν να απομακρυνθούν με μηχανικά μέσα κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Στα μηχανικά μέσα συγκαταλέγονται τα λεπτά και χοντρά κόσκινα, η ιζηματοποίηση και η απομάκρυνση άμμου.

Πίνακας 2.3 Βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων απολύμανσης [8]

	Cl <sub>2</sub>	Όζον	UV	ClO <sub>2</sub>
Θανάτωση βακτηρίων	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
Θανάτωση ιών	Μέτρια	Ναι	Ναι	Ναι
Τοξικότητα	Ναι	Όχι	Μη τοξικό	Ναι
Χρόνος επαφής	Μεγάλος	Μέτριος	Ελάχιστος	Μέτριος
Υπολειμματική δράση	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι
Αποχρωματισμός	Μέτριος	Πολύ καλός	Όχι	Μέτριος
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό	Υψηλό
Εξάρτηση δράσης από το pH	Ναι	Ναι μόνο σε υψηλό pH	Όχι	Όχι
Αξιοπιστία εξοπλισμού	Πολύ καλή	Καλή	Καλή	Καλή
Πολυπλοκότητα εξοπλισμού	Απλή	Πολύπλοκη	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή
Αυτόματη ρύθμιση διαδικασίας	Απλή	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή	Σχετικά απλή
Ασφάλεια μεταφοράς χρήσης	Απαιτούνται αυστηροί κανόνες ασφαλείας	Παράγεται επί τόπου. Το όζον είναι αέριο τοξικό	Ασφαλές-χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα	Παράγεται επί τόπου
Διαβρωτικό	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Μέγεθος εγκατάστασης	Οποιοδήποτε μέγεθος	Οποιοδήποτε μέγεθος	Δύσκολα εφαρμόσιμο σε μεγάλες εγκαταστάσεις	Οποιοδήποτε μέγεθος

Όσον αφορά τις ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται η ηλεκτρομαγνητική, η ακουστική και η σωματιδιακή. Οι ακτίνες γάμα που εκπέμπονται από ραδιοϊσότοπα έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως λόγω της ισχυρής τους διεισδυτικής ικανότητας για την απολύμανση (και την αποστείρωση) τόσο νερού όσο και υγρών αποβλήτων.

Το ηλιακό φως είναι επίσης καλό απολυμαντικό. Ιδιαίτερα χρησιμοποιείται η υπεριώδης ακτινοβολία. Ειδικές λάμπες που

εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία χρησιμοποιούνται για την απολύμανση μικρών ποσοτήτων νερού. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν είναι αποτελεσματική όμως όταν το νερό περιέχει μεγάλες συγκεντρώσεις σωματιδίων.

### 2.7.2 Χλωρίωση

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος απολύμανσης των υγρών αποβλήτων είναι η χλωρίωση και η πιο σημαντική παράμετρος κατά τη χλωρίωση είναι ο χρόνος επαφής των αποβλήτων με το χλώριο. Χρησιμοποιούνται είτε αέριο χλώριο είτε διοξείδιο του χλωρίου είτε υποχλωριώδες νάτριο. Το χλώριο (Cl<sub>2</sub>) είναι ουσία τοξική για τον άνθρωπο και τα ζώα. Σε χαμηλές όμως συγκεντρώσεις οι οποίες απαιτούνται για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα είναι αβλαβές.

Πίνακας 2.4. Τυπικές δόσεις χλωρίου για χρόνο επαφής 30 λεπτών [1]

Τύπος υγρών αποβλήτων	Αρχική μέτρηση CFU/100ml	Δόση χλωρίου (mg/lt ) για μείωση σε			
		1000 CFU/100ml	200 CFU/100ml	23 CFU/100ml	≤22 CFU/100ml
Ανεπεξέργαστα απόβλητα	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	15 – 40	-	-	-
Πρωτοβάθμια εκροή	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 – 30	20 – 40	-	-
Εκροή ενεργού ιλύος	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	2 – 10	5 – 15	10 - 30	-
Διηθημένη εκροή ενεργού ιλύος	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	4 – 8	5 – 15	6 – 20	8 - 30
Εκροή αμμόφιλτρου	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>	1 – 5	2 – 8	5 – 10	8 - 18

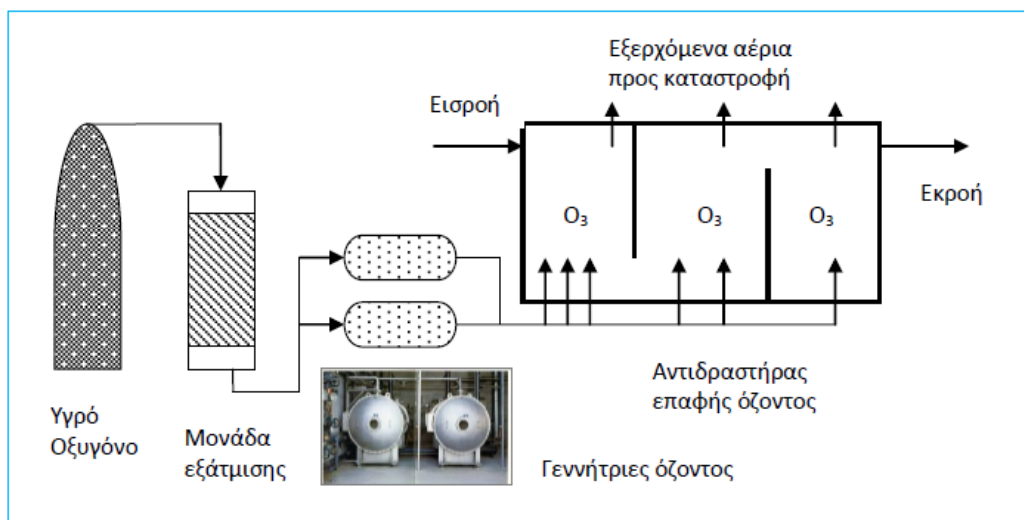
CFU: Colony forming units



Εικόνα 2.12 Δεξαμενές χλωρίωσης σε μαιανδρική μορφή για την εξοικονόμηση χώρου [1].

### 2.7.3 Οζόνωση

Το όζον ( $O_3$ ) χρησιμοποιείται κυρίως για την απολύμανση του πόσιμου νερού. Όμως η υψηλή οξειδωτική του ικανότητα το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό για την αποικοδόμηση σύνθετων οργανικών ουσιών που παραμένουν στα υγρά απόβλητα μετά το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.



Σχήμα 2.10 Τυπικό διάγραμμα ροής απολύμανσης υγρών αποβλήτων με όζον [1].

Η αποτελεσματικότητα του όζοντος στη διάσπαση των υπολειμματικών οργανικών ουσιών εξαρτάται από:

- ✓ τη δόση,
- ✓ το pH των αποβλήτων και
- ✓ την συγκέντρωση του οργανικού φορτίου.

Το κόστος της απολύμανσης του νερού με όζον είναι δύο με τρεις φορές μεγαλύτερο από εκείνο του χλωρίου. Το γεγονός αυτό εξηγεί την κυριαρχία του χλωρίου στην απολύμανση του νερού.

#### **2.7.4 Απολύμανση με ακτινοβολία UV**

Υπεριώδης ακτινοβολία ονομάζεται η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταξύ 200 και 390 nm. Έχει διαπιστωθεί ότι το πλέον αποδοτικό μήκος κύματος για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών είναι 254 nm.

Η υπεριώδης ακτινοβολία διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και απορροφάται από τα κυτταρικά συστατικά τους (π.χ. το DNA και το RNA) καταστρέφοντάς τους ή καθιστώντας τους ανίκανους να πολλαπλασιαστούν. Η απολύμανση με UV δεν έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφού δεν πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις. Είναι σχετικά νέα μέθοδος απολύμανσης και δεν έχει ακόμα μελετηθεί πλήρως. Πάντως τα κρίσιμα μεγέθη που καθορίζουν την αποδοτικότητα της απολύμανσης είναι η ένταση της ακτινοβολίας και η χρονική διάρκεια έκθεσης του νερού στην ακτινοβολία.

Για να είναι αποδοτική η απολύμανση με UV θα πρέπει να έχουν αφαιρεθεί σε υψηλά ποσοστά από τα υγρά απόβλητα τα αιωρούμενα στερεά ώστε να μην παρεμβάλλονται μεταξύ πηγής της ακτινοβολίας και των μικροοργανισμών και να λειτουργούν έτσι ως «ασπίδες» των μικροοργανισμών.

### **3. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ**

#### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Το θείο βρίσκεται στα υγρά απόβλητα σε διάφορες μορφές. Η σημαντικότερη από τις ενώσεις του θείου είναι τα θειικά, γιατί η παρουσία τους στα απόβλητα δημιουργεί προβλήματα λόγω του μετασχηματισμού τους σε υδρόθειο και θειικό οξύ. Σε αναερόβιες συνθήκες τα θειικά ανάγονται σε θειούχα και στη συνέχεια σε υδρόθειο και θειικό οξύ από βακτηρίδια.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία του υδρόθειου είναι η έκλυση δυσάρεστων οσμών είτε στο αποχετευτικό δίκτυο είτε στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Εάν στη μάζα των αποβλήτων περιέχεται σίδηρος, αυτός ενώνεται με το υδρόθειο. Ο θειούχο σίδηρο που σχηματίζεται δίνει μαύρο χρώμα τόσο στα απόβλητα όσο και στην παραγόμενη λάσπη. Το κύριο πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία του θειικού οξέος είναι η διάβρωση που αυτό προκαλεί στους αγωγούς αποχέτευσης.

Το υδρόθειο μπορεί να αποδεσμευτεί από κάθε είδους υγρό απόβλητο. Η σημαντικότερη όμως πηγή θείου για το σχηματισμό του υδρόθειου, κάτω από αναερόβιες συνθήκες, είναι οι θειούχες ενώσεις που προέρχονται από τα οικιακά απόβλητα. Επίσης σημαντική πηγή θεικών αποτελούν και τα υγρά απόβλητα από βιομηχανίες και βιοτεχνίες τροφίμων όπου το ποσοστό λευκωμάτων είναι υψηλό. Τα θειικά αυτά πολύ γρήγορα διασπώνται με συνέπεια την αποδέσμευση μεγάλων ποσοτήτων υδρόθειου.

### 3.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ

Το  $H_2S$  είναι από τα πλέον τοξικά αέρια. Υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να καταστρέψουν τους αδένες όσφρησης, προκαλώντας απώλεια της όσφρησης. Έχουν αναφερθεί σε πολλές χώρες πολλοί θάνατοι εργατών σε δίκτυα αποχέτευσης, που οφείλονται στο  $H_2S$ .

Το  $H_2S$  είναι βαρύτερο από τον αέρα και γι αυτό το λόγο βρίσκεται στα κατώτερα σημεία των αγωγών και των φρεατίων των δικτύων αποχέτευσης. Είναι αέριο άχρωμο, που γίνεται όμως αντιληπτό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, της τάξης του 0.2 ppm, λόγω της χαρακτηριστικής οσμής του.

Καθώς τα επίπεδα  $H_2S$  αυξάνουν, από συγκέντρωση 100 ppm και πάνω, αρχίζει να επέρχεται ταχύτατη απώλεια της αίσθησης της οσμής, πράγμα που σημαίνει ότι τα άτομα που θα βρεθούν απότομα εκτεθειμένα σε μία τέτοια συγκέντρωση, είναι πιθανό να μη προλάβουν να αντιληφθούν την παρουσία του. Μπορεί να ακολουθήσει πλήρης και ξαφνική απώλεια των αισθήσεων. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αυξάνεται ο κίνδυνος για την υγεία και σε συγκέντρωση από περίπου 300 ppm και πάνω είναι δυνατό να επιφέρει το θάνατο.

Επίσης το  $H_2S$  δημιουργεί προβλήματα στην ομαλή λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Η παρουσία του μειώνει την αποδοτικότητα της επεξεργασίας διότι το υδρόθειο παρεμποδίζει τη δραστηριότητα τόσο των αερόβιων όσο και των αναερόβιων βακτηρίων στις διάφορες βιολογικές διεργασίες της επεξεργασίας.

Το υδρόθειο επίσης ενθαρρύνει την ανάπτυξη συγκεκριμένων τύπων νηματοειδών βακτηρίων που προκαλούν αφρισμό, διόγκωση ιλύος και κακή καθαρισιμότητα.

Ακόμη, όπως ήδη αναφέρθηκε, η παρουσία του υδρόθειου στους αγωγούς ευθύνεται για τη διάβρωση του σκυροδέματος και των μετάλλων. Η διάβρωση ξεκινά όταν βακτήρια οξειδώνουν το υδρόθειο προς θειικό οξύ στην υγρή επιφάνεια των αγωγών και στα τσιμεντένια τοιχώματα. Το σκυρόδεμα διαβρώνεται όταν η υδράσβεστος διαλύεται ώστε να εξουδετερώσει το θειικό οξύ, οπότε παράγεται θειικό ασβέστιο, που εκπλένεται. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η εμφάνιση του μεταλλικού οπλισμού και η διάβρωση του.

Επίσης το υδρόθειο προκαλεί διάβρωση στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, στις μεταλλικές κατασκευές των μονάδων επεξεργασίας και στα αντλιοστάσια. Η διάβρωση των μετάλλων οφείλεται στη χημική αντίδραση μεταξύ του υδρόθειου και των μετάλλων με αποτέλεσμα το σχηματισμό του αντίστοιχου θειούχου μετάλλου.

### 3.3 ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την απομάκρυνση του υδρόθειου έχουν σαν στόχο τη βιολογική και χημική οξειδωσή του με προσθήκη ισχυρών οξειδωτικών ή την κατακρήμνισή του με προσθήκη κατάλληλων αλάτων.

Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κατακρήμνιση των θειούχων με προσθήκη αλάτων σιδήρου. Ο λόγος για τον οποίο το υδρόθειο δεσμεύεται από τα άλατα του σιδήρου είναι γιατί υπάρχει πολύ ισχυρή χημική συγγένεια των ιόντων του σιδήρου προς τα θειούχα. Ανεξάρτητα από το σθένος στο οποίο βρίσκεται ο σίδηρος, στο άλας που προστίθεται, παράγεται παρουσία θειούχων, θειούχος δισθενής σίδηρος (FeS).

Επειδή ο FeS είναι ιδιαίτερα δυσδιάλυτος αποκλείεται ο σχηματισμός ανταγωνιστικών ενώσεων από αντιδράσεις του σιδήρου με άλλες ενώσεις που περιέχονται στα λύματα. Επειδή είναι δυσδιάλυτος, ο θειούχος σίδηρος που σχηματίζεται από την αντίδραση του σιδήρου με τα θειούχα που περιέχονται στα υγρά απόβλητα καταλήγει στη λάσπη. Έτσι το θείο γίνεται εντελώς ακίνδυνο.

Οι πιο συνηθισμένες χημικές αντιδράσεις κατακρήμνισης των θειούχων είναι:



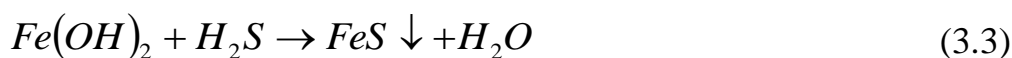
και



Μία σημαντική παράμετρος είναι η επιλογή των θέσεων που θα γίνει η έγχυση του κροκιδωτικού διαλύματος αλάτων σιδήρου στο αποχετευτικό δίκτυο. Επιλέγονται κατά προτίμηση τα αντλιοστάσια όπου το κροκιδωτικό μπορεί να αποθηκευτεί σε μικρές ποσότητες, να διακινηθεί και να δοσομετρηθεί. Εναλλακτικά μπορεί συχνά να επιλεγεί και η έγχυσή του κροκιδωτικού απευθείας μέσα στον καταθλιπτικό αγωγό.

Η θέση έγχυσης του κροκιδωτικού διαλύματος πρέπει να εξασφαλίζει την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη του στο ρεύμα του υγρού λύματος. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σχετικά σταθερή ροή λύματος τότε η έγχυση του κροκιδωτικού διαλύματος πρέπει να προσαρμοστεί στην ποσότητα του λύματος που εισέρχεται στο αποχετευτικό δίκτυο, δηλαδή θα πρέπει να προβλεφθεί για παράδειγμα μανδάλωση της αντλίας προώθησης του λύματος και της δοσομετρικής αντλίας έγχυσης του κροκιδωτικού διαλύματος.

Μια πρόωρη έγχυση ή η έγχυση λίγο μεγαλύτερης δοσολογίας κροκιδωτικού δεν μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την όλη διεργασία γιατί και τα προϊόντα της υδρόλυσης του σιδήρου (υδροξείδιο του σιδήρου) μπορούν να δεσμεύουν τις θειούχες ενώσεις σύμφωνα με την αντίδραση:



Η κατακρήμνιση των θειούχων, που βρίσκονται διαλυμένα μέσα στα υγρά απόβλητα, με χρήση αλάτων σιδήρου, είναι μία ιδιαίτερα αποδοτική τεχνική απομάκρυνσής τους. Η ιδιαιτερότητα της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι η προσθήκη των κροκιδωτικών αλάτων του σιδήρου πρέπει να γίνεται σε τέτοια θέση μέσα στην υγρή φάση όπου ακόμα δεν έχει σχηματιστεί υδρόθειο. Για το λόγο αυτό η επιλογή της κατάλληλης θέσης έγχυσης παίζει πρωτεύοντα ρόλο για τη σωστή εφαρμογή της μεθόδου και το βαθμό απόδοσής της.

Η θέση έγχυσης, μαζί με την απαίτηση το κροκιδωτικό να βρίσκεται στο δίκτυο πριν από την περιοχή όπου εντοπίζεται το πρόβλημα του σχηματισμού και της αποδέσμευσης υδρόθειου (δυσσομίας), πρέπει να παρέχει και τις δυνατότητες για ασφαλή αποθήκευση, διαλυτοποίηση και γενικά διακίνηση του κροκιδωτικού μέσου. Επίσης από το συνολικό σχεδιασμό του δικτύου των αγωγών συλλογής των λυμάτων, και την επιμέρους επιβάρυνση τους, εξαρτάται αν θα χρειαστεί να γίνει έγχυση του κροκιδωτικού σε περισσότερες από μία θέσεις.



Η αποδοτικότητα της μεθόδου εξαρτάται επίσης και από το κατά πόσο είναι κατάλληλη η δοσολογία του κροκιδωτικού άλατος του σιδήρου σε σχέση με τις διαφορετικές ποσότητες θειούχων στη διάρκεια της ημέρας.

### 3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΣΜΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τα σημαντικότερα οσμαέρια είναι το υδρόθειο, τα οργανικά σουλφίδια και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), χλωριωμένες ή μη. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες ελέγχου οσμορύπανσης για τη μείωση ή τον περιορισμό εκπομπών. Οι τεχνολογίες απόσμισης διακρίνονται σε φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίας. Οι φυσικοχημικές είναι:

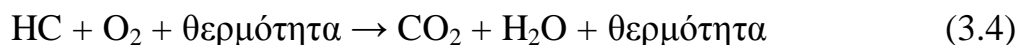
- Θερμική οξείδωση
- Καταλυτική οξείδωση
- Φυσική προσρόφηση-χημειορόφηση σε ενεργές επιφάνειες με περιοδική αναγέννηση του υλικού προσρόφησης.
- Χημική απορρόφηση με προσθήκη οξειδωτικών ή άλλων χημικών που σχηματίζουν μεταλλικά σουλφίδια που καθιζάνουν.
- Βιολογικές μέθοδοι που βασίζονται στην ικανότητα αερόβιων μικροοργανισμών να βιοαποδομούν οσμές.

### 3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Τα συστήματα θερμικών διεργασιών αφορούν κυρίως τους υδρογονάνθρακες. Δύο συστήματα αυτής της κατηγορίας έχουν χρησιμοποιηθεί:

- Θερμική οξείδωση
- Καταλυτική οξείδωση

Στη θερμική οξείδωση, τα οσμαέρια μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς παρουσία οξυγόνου, σε θερμοκρασία από 425 έως 760 °C σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Η μονάδα θερμικής οξείδωσης (ή μετακαυστήρας VOC) χρησιμοποιείται για την επεξεργασία πολύ ρυπασμένων ρευμάτων αέρα, όπως στην περίπτωση καύσης απορριμμάτων που τοποθετείται μετά τον πυρολυτικό κλίβανο. Παρατηρείται πάντως συχνά η καύση να είναι ατελής λόγω μεταβλητών συνθηκών λειτουργίας (υγρασία, θερμοκρασία κ.τ.λ.).

Οι μονάδες καταλυτικής οξείδωσης μπορούν να μειώσουν την κατά πολύ την απαιτούμενη θερμοκρασία και να εξοικονομήσουν σημαντικό χώρο για εξοπλισμό σε σύγκριση με τις μονάδες θερμικής οξείδωσης. Με την προσθήκη καταλύτη, συνήθως κάποιο ευγενές μέταλλο όπως παλλάδιο ή πλατίνα, οι ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται και η οξείδωση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία από 310 σε 425°C.

Ωστόσο, η διάρκεια του χρόνου ζωής του καταλύτη είναι περιορισμένη, ακόμη και αν το ρεύμα αέρα έχει προηγουμένως απαλλαγεί από αιωρούμενα σωματίδια με σκοπό την αποφυγή απενεργοποίησης/δηλητηρίασης του καταλύτη. Το αποτέλεσμα είναι η καταλυτική οξείδωση να θεωρείται αντιοικονομική τεχνική για την επεξεργασία ρυπασμένων αέριων ρευμάτων.

### **3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ**

Η προσρόφηση (φυσική προσρόφηση και χημειορόφηση) βασίζεται στην προσκόλληση χαμηλών συγκεντρώσεων αερίων στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Με κατάλληλη εκλογή του προσροφητικού στερεού και του χρόνου επαφής μεταξύ του στερεού και των ατμών ενός ρεύματος εξόδου, είναι δυνατό να επιτευχθούν πολύ υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης. Ως προσροφητικά υλικά χρησιμοποιούνται ο ενεργός άνθρακας και η ενεργοποιημένη αλουμίνα. Οι περισσότερες σταθεροποιημένες κλίνες άνθρακα αναγεννιούνται με ατμό.

### **3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ**

Η απορρόφηση βασίζεται στην επιλεκτική μεταφορά μιας ουσίας από ένα αέριο σε ένα υγρό με το οποίο βρίσκεται σε επαφή. Η αρχή του διαχωρισμού βασίζεται στην κατά προτίμηση διαλυτότητα ενός συστατικού του αερίου στο υγρό. Στις περισσότερες εφαρμογές το υγρό

επαφής είναι το νερό και η διεργασία πολύ συχνά αναφέρεται ως καθαρισμός αερίου (scrubbing) ή πλύση (washing).

Η απορρόφηση ενός αερίου περιλαμβάνει τη διάχυση της ουσίας από ένα αέριο μέσω της διεπιφάνειας αερίου-υγρού η οποία τελικά διασπείρεται στο υγρό. Η χημική πλυντρίδα αφορά στην προσθήκη χημικού για να γίνει η αντίδραση οξείδωσης του οσμαερίου. Για παράδειγμα, κατά τη χημική επεξεργασία του οσμαερίου  $H_2S$  μπορεί να προστεθεί  $Cl_2$  ή  $NaOCl$  ή  $KMnO_4$  και  $H_2O_2$ .

Τα μειονεκτήματα της χημικής επεξεργασία είναι ότι απαιτούνται σημαντικές ποσότητες χημικών, με ταυτόχρονη παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων υγρών αποβλήτων, μεταφέροντας το πρόβλημα ουσιαστικά από την αέρια στην υγρή φάση.

### 3.8 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΣΜΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμα συστήματα, γιατί:

- ✓ έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος,
- ✓ δεν παράγουν παραπροϊόντα, όπως οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ), σωματιδιακούς ρύπους, διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), και μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ),
- ✓ έχουν χαμηλές ενεργειακές ανάγκες,
- ✓ δεν υπάρχει η ανάγκη χρήσης ενεργού άνθρακα,
- ✓ αξιοποιούνται υλικά μηδενικής αξίας (βιοαποδομήσιμα απορρίμματα, κομματιασμένα γυαλιά και πλαστικά, ιλύς εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων κ.τ.λ.).

Τα προϊόντα ενός βιοφίλτρου που επεξεργάζεται υδρογονάνθρακες είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Η βιολογική επεξεργασία εξασφαλίζει υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης για μεγάλο εύρος χρόνου όταν ανταποκρίνεται σε υψηλές ογκομετρικές παροχές αέρα και χαμηλή συγκέντρωση ρύπων. Αν και η βιολογική επεξεργασία είναι απλή, η αποτελεσματικότητά της βασίζεται στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού και των συνθηκών λειτουργίας καθώς και στην επιλογή του κατάλληλου πληρωτικού μέσου.

Τα βιολογικά συστήματα εκμεταλλεύονται τη βασική αρχή της βιοαποδόμησης του οσμαερίου από αερόβιους μικροοργανισμούς, που είναι είτε καθηλωμένοι είτε αιωρούμενοι και καθηλωμένοι στην πληρωμένη κλίνη. Οι αέριοι ρύποι (υπόστρωμα) χρησιμοποιούνται από

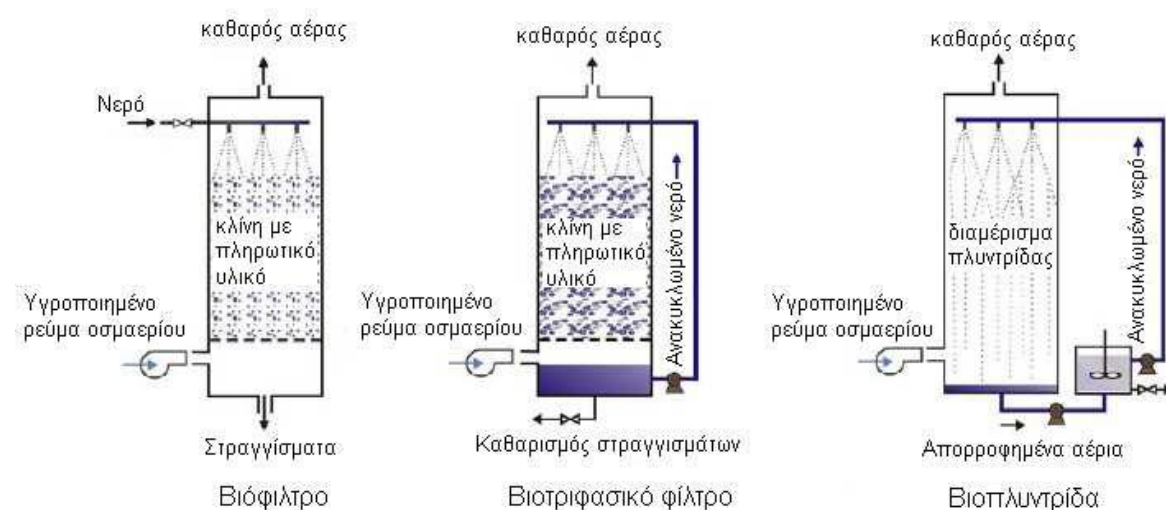
τους αερόβιους μικροοργανισμούς ως πηγή τροφής και ενέργειας. Στην περίπτωση διακοπής παροχέτευσης του οσμαερίου, η ανάπτυξη και η συντήρηση του μικροβιακού πληθυσμού γίνεται αποκλειστικά από το πληρωτικό μέσο.

### 3.9 ΤΥΠΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στη βιβλιογραφία βρίσκουμε τρία βασικά βιολογικά συστήματα για την επεξεργασία οσμαερίων:

- ✓ τη βιοπλυντρίδα,
- ✓ το βιοτριφασικό φίλτρο
- ✓ το βιόφιλτρο

Οι βιοπλυντρίδες χρησιμοποιούν σύστημα αντιρροής αέρα-υγρής φάσης, με τους μικροοργανισμούς να αιωρούνται στην υδατική φάση. Τα βιόφιλτρα και βιοτριφασικά φίλτρα χρησιμοποιούν πληθυσμούς μικροβίων που είναι καθηλωμένοι στο πληρωτικό μέσο για την βιοαποδόμηση του ρυπασμένου ρεύματος αέρα. Οι τρεις τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης απεικονίζονται στο σχήμα 3.1 .



Σχήμα 3.1 Οι τρεις κύριοι τύποι βιολογικών συστημάτων ελέγχου αέριας ρύπανσης [12].

Στα βιοτριφασικά φίλτρα και τις βιοπλυντρίδες, τα οσμαέρια απορροφούνται σε κινούμενη υγρή φάση πριν την βιοαποδόμηση από καθηλωμένους ή αιωρούμενους μικροοργανισμούς. Στα βιοτριφασικά φίλτρα, καθηλωμένοι μικροοργανισμοί σε ανόργανο πληρωτικό υλικό και αιωρούμενοι μικροοργανισμοί στην φάση του νερού βιοαποδομούν τα απορροφημένα αέρια. Στις βιοπλυντρίδες, μετά την αρχική απορρόφηση του οσμαερίου, η βιοαποδόμηση του οσμαερίου επιτυγχάνεται από τον αιωρούμενο μικροβιακό πληθυσμό σε ξεχωριστό δοχείο.

Πίνακας 3.1 Βιολογικές μετατροπές και μικροοργανισμοί στην επεξεργασία οσμών με βιόφιλτρα [12]

Μετατροπή	Τυπικά βακτήρια	Συνθήκες περιβάλλοντος
$\text{VOC} \rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$	Χημειοετερότροφα	Αερόβιες
$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-, \text{NO}_3^-$	Νιτροποιητικά (Nitrosomonas)	Αερόβιες
$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}, \text{SO}_4^{2-}$	Παραλαβή ενέργειας από οξείδωση θειούχων ενώσεων	Αερόβιες
$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$	Απονιτροποιητικά (Nitrobacteria)	Αναερόβιες

Τα βιοτριφασικά φίλτρα λειτουργούν σε μικρότερους χρόνους παραμονής (στην κενή κλίνη) και σε υψηλότερες σχετικά συγκεντρώσεις εισόδου. Η μέγιστη ικανότητα εξάλειψης οσμαερίων παρατηρήθηκε σε βιοτριφασικά φίλτρα, λόγω καλύτερου ελέγχου των συνθηκών της βιοαποδόμησης.

Τα βιόφιλτρα είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας με συστηματική λειτουργία σε πολλές χώρες του κόσμου για περισσότερο από 30 χρόνια. Η αρχή λειτουργίας του

βιόφιλτρου βασίζεται στην ικανότητα αερόβιων μικροοργανισμών να βιοαποδομούν οσμάερια. Μερικές σημαντικές βιολογικές μετατροπές στην επεξεργασία οσμών με βιόφιλτρα καθώς και οι αντίστοιχοι μικροοργανισμοί παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

## 4. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το άζωτο και ο φώσφορος είναι δυο πολύ σημαντικά στοιχεία με ιδιαίτερη σημασία στην επεξεργασία των λυμάτων. Τα θρεπτικά άλατα, δηλαδή οι αζωτούχες και οι φωσφορικές ενώσεις που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα, αποτελούν απαραίτητα συστατικά για την επιβίωση των βακτηρίων στους βιοαντιδραστήρες, πρέπει όμως οπωσδήποτε να απομακρυνθούν ώστε να μην δημιουργήσουν προβλήματα αποξυγόνωσης και ευτροφισμού στον τελικό αποδέκτη.

Η παρουσία των θρεπτικών συστατικών ευθύνεται για την ανάπτυξη μικροφυκών στο φυσικό αποδέκτη. Η ανάπτυξη μικροφυκών στους φυσικούς αποδέκτες προκαλεί το φαινόμενο του ευτροφισμού. Τα μικροφύκη αναπτύσσονται και στη συνέχεια σαπίζουν αποτελώντας τροφή για άλλους μικροοργανισμούς (βακτήρια) που δεσμεύουν το οξυγόνο προκαλώντας θάνατο στην υδρόβια ζωή (ψάρια κ.τ.λ.).

Το άζωτο στα υγρά απόβλητα απαντάται σε τέσσερις μορφές, οργανικό άζωτο, αμμωνία, νιτρώδη και νιτρικά ιόντα. Οι δύο πρώτες μορφές είναι και οι σημαντικότερες. Το συνολικό άζωτο στα υγρά απόβλητα είναι τυπικά 20-85 mg/L από το οποίο σχεδόν το 40% είναι οργανικό άζωτο και σχεδόν το 60% είναι σε μορφή αμμωνίας. Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται κι αυτό μέσω βιολογικών διεργασιών και με αργό ρυθμό σε αμμωνία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αμμωνιοποίηση.

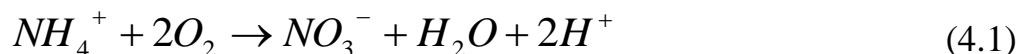
Όταν η ουρία ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) εισέρχεται στο νερό μετατρέπεται σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ). Η αμμωνία βρίσκεται στα απόβλητα είτε με τη μορφή των αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ ) ιόντων είτε με τη μορφή της ελεύθερης αμμωνίας, σε αέρια μορφή. Για χαμηλές τιμές pH κυριαρχεί η ιοντική μορφή ενώ για αλκαλικές τιμές pH κυριαρχεί η αέρια μορφή. Για τιμές  $\text{pH} = 9$  υπάρχει ισορροπία. Το pH των αποβλήτων κυμαίνεται από 6 έως

9 (συνήθως είναι στο διάστημα 6 με 7) και συνεπώς οι διεργασίες απομάκρυνσης της αμμωνίας συνδέονται με το pH.

## 4.2 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

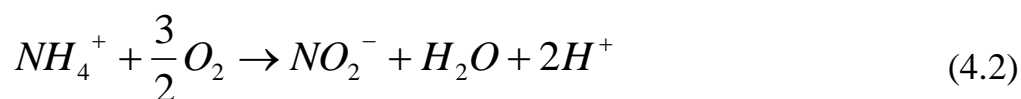
Στο φυσικό περιβάλλον η αμμωνία οξειδώνεται σε δύο στάδια με μια διαδικασία που ονομάζεται συνολικά νιτροποίηση. Στο πρώτο στάδιο δίνει νιτρώδη ιόντα (νιτροδοποίηση) και στο δεύτερο στάδιο δίνει νιτρικά ιόντα (νιτρικοποίηση).

Επειδή το pH των υγρών αποβλήτων στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνεται από 6 έως 7, η αμμωνία βρίσκεται σχεδόν εξολοκλήρου σε μορφή ιόντων αμμωνίου. Η συνολική αντίδραση οξείδωσης των ιόντων αμμωνίου είναι:



Όπως φαίνεται από την αντίδραση (4.1) για την πλήρη οξείδωση της αμμωνίας απαιτούνται 4.57 g οξυγόνου ανά g αμμωνιακού αζώτου. Αυτή η απαίτηση οξυγόνου ονομάζεται νιτρογενής απαίτηση οξυγόνου (NAO) και είναι ο βασικός λόγος που απαιτείται η απομάκρυνση της αμμωνίας πριν την τελική διάθεση του αποβλήτου. Η βιολογική οξείδωση της αμμωνίας πραγματοποιείται σε δύο στάδια από δύο διαφορετικές ομάδες βακτηρίων:

Nitrosomonas:

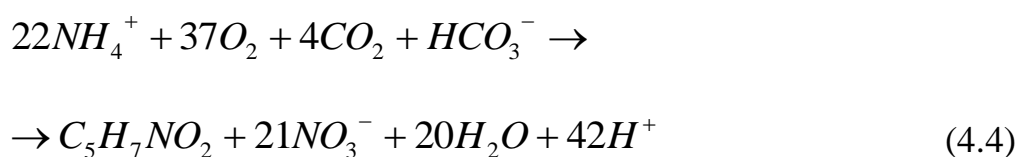




Nitrobacter:



Τα δύο αυτά είδη βακτηρίων είναι αυτότροφοι οργανισμοί που χρησιμοποιούν το CO<sub>2</sub> ως πηγή άνθρακα. Η συνολική αντίδραση που περιγράφει τη χρήση αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα για την ανάπτυξή τους είναι:



Οι παραπάνω δύο τύποι βακτηρίων βρίσκονται στην ενεργό ιλύ, όταν η ηλικία της ιλύος είναι αρκετά μεγάλη. Ο λόγος είναι ότι χαρακτηρίζονται από βραδεία κινητική ανάπτυξης και συνεπώς μικρές ηλικίες ιλύος οδηγούν στην έκπλυσή τους. Μεγάλοι χρόνοι παραμονής στερεών (μεγάλες ηλικίες ιλύος) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε στην ενεργό ιλύ είτε στο βραδυχαλικοδιϋλιστήριο, για να επιτευχθεί η φυσική οξειδωση (νιτροποίηση) της αμμωνίας.

Στο πρώτο στάδιο η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη από νιτρωδοποιητικούς μικροοργανισμούς που ανήκουν βασικά στο γένος Nitrosomonas, ενώ έχουν απομονωθεί και άλλα γένη όπως τα Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus κ.ά.

Στο δεύτερο στάδιο το παραγόμενο νιτρώδες άζωτο οξειδώνεται σε νιτρικό άζωτο από νιτριοποιητικούς μικροοργανισμούς που ανήκουν κυρίως στο γένος Nitrobacter αλλά έχουν απομονωθεί και άλλα γένη όπως το Nitrosocystis, Nitrococcus και Nitrospina. Πάντως η νιτροποίηση τόσο στο έδαφος όσο και στις διαδικασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποδίδεται κατά κύριο λόγο στα γένη Nitrosomonas και Nitrobacter.

Τα δύο είδη μικροοργανισμών που συνολικά ονομάζονται νιτροποιητές ανήκουν στην κατηγορία των αυτότροφων μικροοργανισμών. Είναι αερόβιοι οργανισμοί, αρνητικοί κατά Gram-test,

ικανοί να οξειδώνουν το αμμωνιακό ή το νιτρώδες άζωτο και δεν δημιουργούν ενδοσπόρους. Παρουσιάζουν όμως διαφορές στη μορφολογία και στο μέγεθος του κυττάρου, στον τρόπο αναπαραγωγής, στην κυτταροπλασματική μεμβράνη, στην κινητικότητα και στο περιβάλλον που αναπτύσσονται. Το σχήμα των νιτροποιητικών βακτηρίων μπορεί να είναι κυλινδρικό, ραβδοειδές, σφαιρικό ή σπειροειδές. Συχνά παρουσιάζουν συμπλέγματα μεμβρανών μέσα στο κυτταρόπλασμα. Η ταυτοποίησή τους βασίζεται σε ιδιότητες όπως η προτίμησή τους στην αμμωνία ή τα νιτρώδη, στο σχήμα τους και στη φύση των κυτταροπλασματικών μεμβρανών.

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά των νιτροποιητικών βακτηρίων [5].

Χαρακτηριστικά	Γένος	Συνήθειες
<b>Νιτρώδοποιητές</b>		
Ραβδοειδή, κινητά ή ακίνητα, συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrosomonas</i>	Έδαφος, θάλασσα, διεργασίες επεξεργασίας αποβλήτων, νερό
Κόκκοι, κινητά, συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrosococcus</i>	Νερό, θάλασσα
Σπειροειδή, κινητά, όχι εμφανή συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrospira</i>	Έδαφος
Πλειόμορφα, κινητά	<i>Nitrosolobus</i>	Έδαφος
Καμπυλόμορφα	<i>Nitrosovibrio</i>	Έδαφος
<b>Νιτρικοποιητές</b>		
Μικρά ραβδοειδή, κινητά, συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrobacter</i>	Έδαφος, θάλασσα, νερό
Μεγάλα ραβδοειδή, ακίνητα, όχι εμφανή συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrospina</i>	Θάλασσα
Κόκκοι, κινητά, συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrococcus</i>	Θάλασσα
Ελικοειδή, ακίνητα, όχι εμφανή συστήματα μεμβρανών	<i>Nitrospira</i>	Θάλασσα

Γενικά θεωρείται ότι μόνο οι αυτότροφοι μικροοργανισμοί μπορούν να οξειδώσουν το αμμωνιακό άζωτο. Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι είναι δυνατή η ετεροτροφική νιτροποίηση από διάφορα είδη βακτηρίων, μυκήτων και ακτινομυκήτων. Η ετεροτροφική νιτροποίηση είναι πιο έντονη σε ισχυρά αλκαλικό ή ισχυρά όξινο περιβάλλον αλλά είναι αμφίβολο αν παράγονται σημαντικές ποσότητες νιτρικού αζώτου αφού οι ρυθμοί αυτοτροφικής νιτροποίησης είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτεροι από τους ρυθμούς της ετεροτροφικής νιτροποίησης.

Η νιτροποίηση μπορεί να επιτευχθεί σε συμβατικές διεργασίες ενεργού ιλύος αρκεί να εξασφαλιστεί επαρκής αερισμός και υψηλές ιλύος. Επίσης μπορεί να απαιτηθεί η προσθήκη ασβέστη για σταθεροποίηση του pH το οποίο μειώνεται κατά τη νιτροποίηση. Πάντως, συχνά η νιτροποίηση πραγματοποιείται ως ξεχωριστή διεργασία που ακολουθεί την ενεργό ιλύ. Επίσης, νιτροποίηση μπορεί να επιτευχθεί στα κατώτερα στρώματα των βραδυχαλικοδιύλιστηρίων.

Συγκεντρωτικά μπορούμε να πούμε ότι απαραίτητες προϋποθέσεις για ικανοποιητική νιτροποίηση είναι οι παρακάτω:

- Υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου πάνω από 1.5 mg/L) γιατί τα βακτήρια της νιτροποίησης είναι αερόβια.
- Η βέλτιστη θερμοκρασία νιτροποίησης κυμαίνεται από 28 έως 32°C και η μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγεται σημαντική μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης. Πρακτικά δεν επιτυγχάνεται νιτροποίηση σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 5 °C και υψηλότερες των 45 °C.
- Η αρκετά μεγάλη ηλικία ιλύος.
- Το pH των αποβλήτων. Η βέλτιστη τιμή είναι στην αλκαλική περιοχή ( pH = 8.2).
- Η ικανοποιητική συγκέντρωση αλκαλικότητας των αποβλήτων για να εξουδετερώνεται πλήρως το οξύ που παράγεται στο πρώτο στάδιο της νιτροποίησης και έχει καταστρεπτικές συνέπειες στην επιβίωση των απαραίτητων νιτροποιητικών βακτηρίων. Η αλκαλικότητα πρέπει να είναι τουλάχιστον εξαπλάσια της συγκέντρωσης των αμμωνιακών.
- Το αμμωνιακό φορτίο των λυμάτων.

### 4.3 ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό δεν επαρκεί για την απομάκρυνση του αζώτου από τα απόβλητα. Απλά ελαχιστοποιεί την

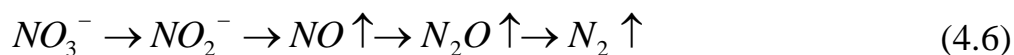
απαίτηση σε οξυγόνο στον υδάτινο αποδέκτη, αν φυσικά τα απόβλητα διατεθούν μετά τη νιτροποίηση. Για την απομάκρυνση των παραγόμενων νιτρικών, αλλά και των νιτρωδών στην περίπτωση ατελούς νιτροποίησης, απαιτείται η διαδικασία της απονιτροποίησης.

Απονιτροποίηση είναι η βιολογική αναγωγή των νιτρικών και νιτρωδών σε αέρια οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του αζώτου (NO) και υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και τελικά σε αέριο άζωτο το οποίο λόγω της μικρής διαλυτότητάς του στο νερό, διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Μέχρι τα τελευταία χρόνια η απονιτροποίηση θεωρείτο μία διεργασία δύο σταδίων:



αν και είχε προταθεί και η ακόλουθη σειρά αντιδράσεων:



Παρά τη μακρόχρονη ερευνητική προσπάθεια η παραγωγή του μονοξειδίου και του υποξειδίου του αζώτου ως ενδιάμεσων προϊόντων κατά την αναγωγή των νιτρικών και των νιτρωδών προς αέριο άζωτο πιστοποιήθηκε πρόσφατα. Αιτία για αυτό είναι οι τεχνικές δυσκολίες ή οι πολύ μικρές συγκεντρώσεις των παραπάνω οξειδίων στα συνηθισμένα συστήματα απονιτροποίησης.

Η ποσότητα του N<sub>2</sub>O που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης-απονιτροποίησης εξαρτάται άμεσα από τις φυσικές και χημικές συνθήκες του περιβάλλοντος δράσης των αντίστοιχων μικροοργανισμών. Η συμπεριφορά και η σύσταση σε μικροβιακούς πληθυσμούς της ενεργού ιλύος στα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Μεταβολές στο pH έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλες μεταβολές στην παραγωγή των οξειδίων NO και

N<sub>2</sub>O. Η παραγωγή των οξειδίων αυτών γίνεται μέγιστη για τιμές του pH από 5 έως 6.

Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται από ετερότροφα, προαιρετικά αερόβια βακτήρια κάτω από ανοξικές συνθήκες (συγκέντρωση οξυγόνου < 0.5 mg/L). Τα βακτήρια αυτά χρησιμοποιούν διάφορες οργανικές ενώσεις ως πηγή άνθρακα και είναι ικανά να χρησιμοποιούν τόσο μοριακό οξυγόνο όσο και οξυγόνο προερχόμενο από τα νιτρικά και τα νιτρώδη που παράγονται στη νιτροποίηση για να οξειδώσουν τις οργανικές ενώσεις. Αυτό συμβαίνει μόνο σε ανοξικές συνθήκες γιατί στην αντίθετη περίπτωση τα εν λόγω βακτήρια προτιμούν το διαλυμένο οξυγόνο που υπάρχει στο σύστημα με αποτέλεσμα την αναστολή της νιτροποίησης. Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται από μικροοργανισμούς που ανήκουν στα γένη *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* κ.ά.

Η διεργασία της απονιτροποίησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το pH. Η βέλτιστη τιμή του pH κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 7 και 8.2. Κατά τη διαδικασία αναγωγής των νιτρικών τιμές του pH μικρότερες του 7 ευνοούν τη δημιουργία οξειδίων του αζώτου, ενώ τιμές μεγαλύτερες του 9, ευνοούν τη δημιουργία αμμωνίας. Έχει υπολογιστεί ότι η αλκαλικότητα που παράγεται κατά την απονιτροποίηση είναι μικρότερη κατά το ήμισυ από τη μείωση της αλκαλικότητας κατά την νιτροποίηση.

Για την αναγωγή όμως των νιτρικών σε άζωτο απαιτείται οπωσδήποτε μια πηγή άνθρακα γιατί οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τροφή για την απορρόφηση ενέργειας. Πηγή άνθρακα των ετερότροφων βακτηρίων μπορεί να είναι:

- ✓ διαλυτές και κολλοειδείς οργανικές ενώσεις που περιέχονται στα ακατέργαστα απόβλητα (BOD),
- ✓ ο ενδογενής άνθρακας των μικροοργανισμών, δηλαδή ο άνθρακας των σηπόμενων νεκρών κυττάρων,
- ✓ η μεθανόλη (CH<sub>3</sub>OH).

Η μεθανόλη αποτελεί το καλύτερο οργανικό υπόστρωμα για την απονιτροποίηση. Η επιλογή της πηγής άνθρακα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το σχεδιασμό της διεργασίας και γίνεται με πολλούς τρόπους.

Η επιλογή της πηγής του άνθρακα που θα χρησιμοποιηθεί για την απονιτροποίηση εξαρτάται από τη διαθεσιμότητά του και την ποιότητά του, δηλαδή τον τρόπο που θα επηρεάσει την ταχύτητα της διεργασίας. Όσο πιο εύκολα βιοδιασπώμενες είναι οι διαθέσιμες οργανικές ενώσεις τόσο πιο υψηλός είναι ο ρυθμός της απονιτροποίησης. Ως προς την

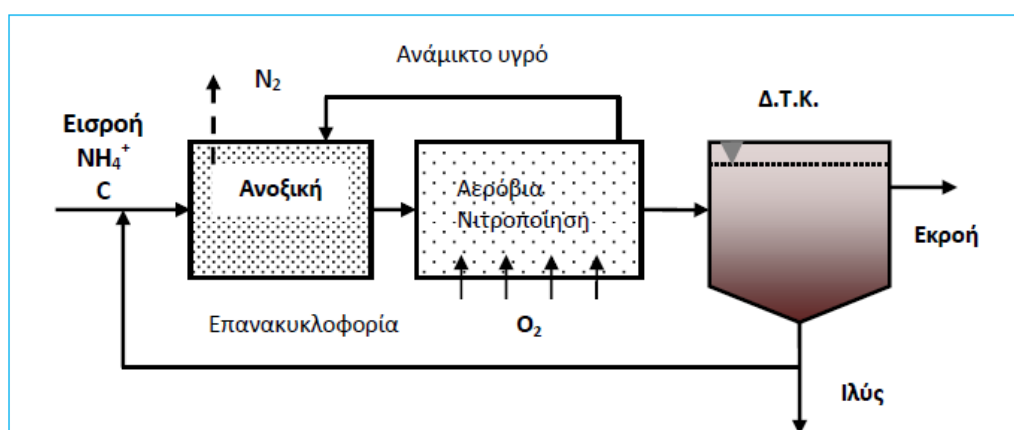
προέλευσή του ο άνθρακας μπορεί να οφείλεται σε εξωτερική προσθήκη, να προέρχεται από τα ίδια τα απόβλητα ή να είναι ενδογενής.

Η μεθανόλη είναι η πιο συνηθισμένη πηγή εξωτερικού άνθρακα, αλλά η χρήση της όπως και η χρήση άλλων καθαρών χημικών ουσιών όπως το οξικό οξύ, το κιτρικό οξύ και η ακετόνη είναι μία αρκετά δαπανηρή λύση. Έχουν προταθεί διάφορες άλλες πιο οικονομικές πηγές άνθρακα όπως απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων, βιοαέριο, μεθάνιο ακόμα και ανακυκλώσιμα υλικά όπως παλιές εφημερίδες.

Τα ανεπεξέργαστα απόβλητα από την άλλη πλευρά προσφέρουν μία αξιόπιστη και ανέξοδη πηγή οργανικού άνθρακα. Η ταχύτητα όμως της απονιτροποίησης είναι γενικά μικρότερη από αυτή που επιτυγχάνεται με χρήση μεθανόλης ή οξικού οξέος.

Μία άλλη πηγή άνθρακα για την απονιτροποίηση είναι και η πρωτοβάθμια λάσπη. Με τον έλεγχο του χρόνου παραμονής και της θερμοκρασίας κάτω από αναερόβιες συνθήκες είναι δυνατόν η χώνευση να περιοριστεί στη φάση παραγωγής λιπαρών οξέων. Η προσθήκη των παραγόμενων ενώσεων στον αντιδραστήρα μπορεί να οδηγήσει σε υψηλούς ρυθμούς απονιτροποίησης.

Επίσης θεωρούνται βιώσιμα και τα συστήματα επεξεργασίας που βασίζονται στην ενδογενή αναπνοή, δηλαδή στον άνθρακα που προέρχεται από το θάνατο και τη λύση των κυττάρων. Πάντως οι ρυθμοί απονιτροποίησης που επιτυγχάνονται είναι χαμηλότεροι από αυτούς που επιτυγχάνονται κάτω από μη περιοριστικές συγκεντρώσεις άνθρακα με αποτέλεσμα τα απαιτούμενα μεγέθη αντιδραστήρων να είναι σημαντικά αυξημένα.



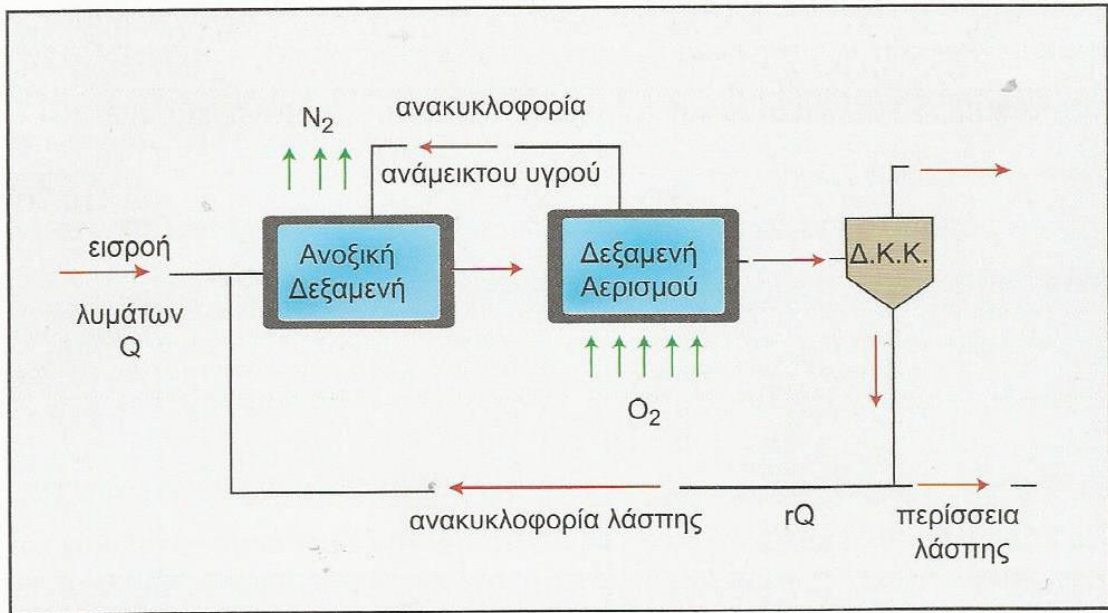
Σχήμα 4.1 Προανοξική απονιτροποίηση υποστρώματος σε ξεχωριστή δεξαμενή [1].

Κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος, η απονιτροποίηση πρέπει να γίνεται σε ξεχωριστή δεξαμενή από τη νιτροποίηση. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί κατά την απονιτροποίηση απαγορεύεται η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου ενώ κατά τη νιτροποίηση η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου επιβάλλεται. Συνήθως η δεξαμενή απονιτροποίησης τοποθετείται πριν τη δεξαμενή νιτροποίησης (σχήμα 4.1).

Η διεργασία της νιτροποίησης-απονιτροποίησης έχει στόχο τη μείωση των αμμωνιακών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Εφαρμόζεται μαζί με την βιολογική οξείδωση του οργανικού φορτίου (BOD) στα συστήματα της ενεργού ιλύος, γιατί έχει πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλό βαθμό απόδοσης, σταθερότητα και αξιοπιστία, εύκολο έλεγχο και σχετικά χαμηλό κόστος.

#### **4.4 ΠΡΟΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ**

Με σκοπό να αποφευχθεί η ανάγκη εξωτερικής πηγής άνθρακα πριν την νιτροποίηση προηγείται η διαδικασία της προαπονιτροποίησης. Με τη διαδικασία αυτή εκμεταλλευόμαστε τα πλούσια σε οργανικό φορτίο απόβλητα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Αυτή η διάταξη απαιτεί την ανακυκλοφορία του πλούσιου σε νιτρικά, ανάμικτου υγρού που εκρέει από τη δεξαμενή αερισμού στη δεξαμενή απονιτροποίησης για απομάκρυνση του αζώτου. Η συγκεκριμένη επιλογή χρησιμοποιείται ευρέως γιατί με αυτήν επιτυγχάνεται ταυτόχρονη απομάκρυνση οργανικών και αζώτου. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 4.2.



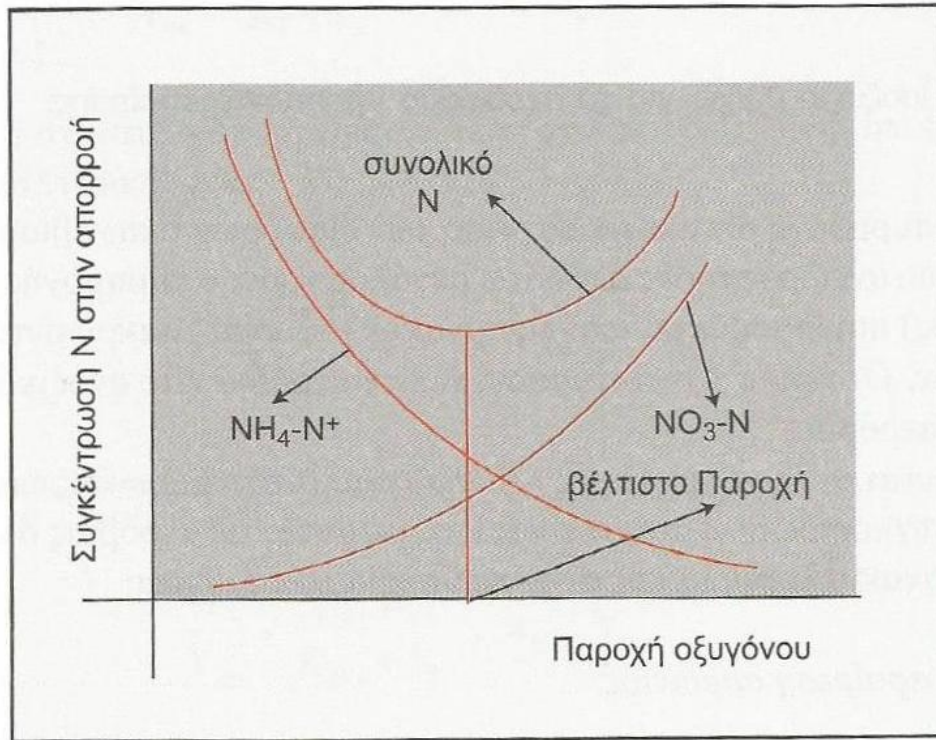
Σχήμα 4.2 Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο οποίο φαίνεται η διαδικασία της προαπονιτροποίησης [5].

Η αποδοτικότητα της προαπονιτροποίησης στην απομάκρυνση του αζώτου καθορίζεται από την παροχή οξυγόνου και το λόγο ανακυκλοφορίας ανάμεικτου υγρού.

#### Παροχή Οξυγόνου

Μεγάλη παροχή οξυγόνου οδηγεί σε ικανοποιητική νιτροποίηση. Όμως εξαιτίας της ανακυκλοφορίας του ανάμεικτου υγρού, υπερβολικός αερισμός οδηγεί σε υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου στην ανοξική δεξαμενή με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της απονιτροποίησης. Για αυτό το λόγο υπάρχει μία βέλτιστη παροχή οξυγόνου που οδηγεί στην αποδοτικότερη απομάκρυνση αζώτου (σχήμα 4.3).





Σχήμα 4.3 Εξάρτηση της συγκέντρωσης του αζώτου που παραμένει στα απόβλητα μετά την απονιτροποίηση, ως συνολικό, αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο, από την παροχή οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού [5].

#### Λόγος Ανακυκλοφορίας Ανάμικτου Υγρού

Ο λόγος ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού ορίζεται ως ο λόγος των ογκομετρικών παροχών ανακυκλοφορίας του ανάμικτου υγρού και της λάσπης. Μικρός λόγος ανακυκλοφορίας οδηγεί σε περιορισμένη απονιτροποίηση. Από την άλλη μεριά υπερβολικά μεγάλος λόγος οδηγεί σε ουσιαστικά παρόμοιες συνθήκες στις δύο δεξαμενές με αποτέλεσμα χαμηλή απομάκρυνση αζώτου. Ο βέλτιστος λόγος ανακυκλοφορίας είναι περίπου 4.



Εικόνα 4.1 Δεξαμενές προαπονιτροποίησης στη ΜΕΛ Μεσολογγίου [5].

## **4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ-ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ**

### **4.5.1 Γενικά**

Γενικά τα συστήματα αυτά αποτελούνται από μία μόνο δεξαμενή καθίζησης για όλο το σύστημα από την οποία γίνεται η ανακυκλοφορία της λάσπης στην είσοδο της διάταξης. Επίσης γίνεται ανακυκλοφορία του ανάμικτου υγρού από την αερόβια στην ανοξική ζώνη. Αυτό γίνεται με στόχο την ενίσχυση της απονιτροποίησης, αφού το ανάμικτο υγρό της αερόβιας ζώνης είναι πλούσιο σε νιτρικά.

Το λειτουργικό κόστος των διατάξεων που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία μειώνεται σημαντικά γιατί γίνεται χρήση του οργανικού άνθρακα των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων καθώς και της οργανικής ύλης που απελευθερώνεται στο υγρό μετά το θάνατο των μικροοργανισμών. Επίσης οι διατάξεις αυτές παρουσιάζουν και άλλα

πλεονεκτήματα όπως ο μικρότερος όγκος και αριθμός των δεξαμενών που χρησιμοποιούνται, αλλά και βελτιωμένες ιδιότητες καθίζησης και μειωμένες απαιτήσεις όσον αφορά την αλκαλικότητα και τον αερισμό.

Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι κυριότερες τεχνολογίες για την απομάκρυνση του αζώτου που ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Κάποιες μέθοδοι αυτής της κατηγορίας οι οποίες επιτυγχάνουν ταυτόχρονη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4.5.2 Διάταξη Ludzack-Ettinger

Η διάταξη Ludzack-Ettinger αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια για τη βιολογική απομάκρυνση του αζώτου με χρήση διάταξης προαπονιτροποίησης. Τα εισερχόμενα απόβλητα προωθούνται αρχικά σε μια ανοξική ζώνη και στη συνέχεια σε μία αερόβια ζώνη. Οι δύο ζώνες δεν ήταν πλήρως διαχωρισμένες και υπήρχε η δυνατότητα αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Υπήρχε ανακυκλοφορία της λάσπης από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης στην είσοδο του συστήματος. Επειδή όμως η ανοξική ζώνη τροφοδοτούνταν με νιτρικό άζωτο μόνο από την ανακυκλοφορία της λάσπης, η απονιτροποίηση περιοριζόταν σημαντικά.

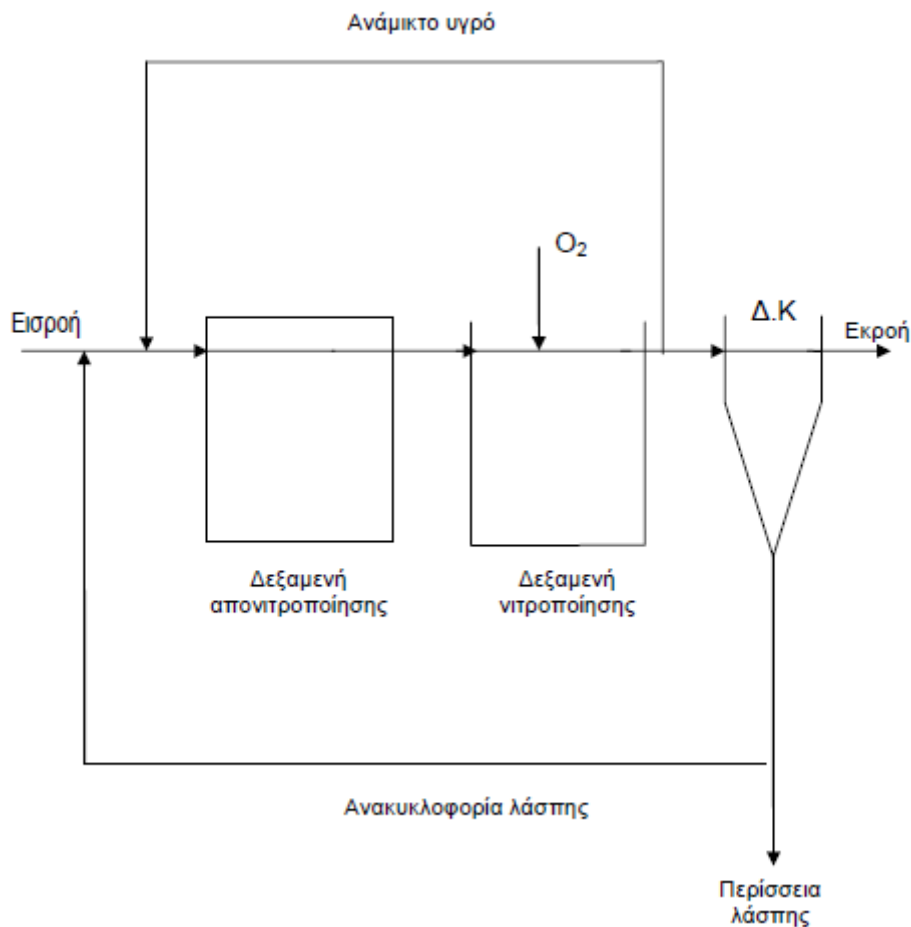
Ο Barnard το 1973 πρότεινε μια βελτίωση της διάταξης αυτής. Διαχώρισε πλήρως την ανοξική και την αερόβια ζώνη χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς αντιδραστήρες. Η διάταξη αυτή ονομάστηκε τροποποιημένη διάταξη Ludzack-Ettinger (modified Ludzack-Ettinger, MLE).

Στην τροποποιημένη διάταξη, παράλληλα με την ανακύκλωση της λάσπης, πραγματοποιείται και ανακυκλοφορία ανάμικτου υγρού από τον αερόβιο στον ανοξικό αντιδραστήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, για την ενίσχυση της απονιτροποίησης. Ο λόγος ανακύκλωσης του ανάμικτου υγρού κυμαίνεται συνήθως από 2 έως 4.

Η αποδοτική απομάκρυνση του αζώτου στη διάταξη αυτή καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- χρόνος παραμονής στην ανοξική δεξαμενή,
- λόγοι ανακύκλωσης της λάσπης και του ανάμικτου υγρού,
- συγκέντρωση σε COD των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων,
- θερμοκρασία.

Όσον αφορά τις επιδόσεις, η τροποποιημένη διάταξη όταν εφαρμόζεται στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων είναι δυνατόν να επιτύχει συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στην έξοδο από 4 έως 7 mg/L και συνολικού αζώτου κάτω από 10 mg/L



Σχήμα 4.4 Τροποποιημένη διάταξη προαπονιτροποίησης Ludzack-Ettinger [10].

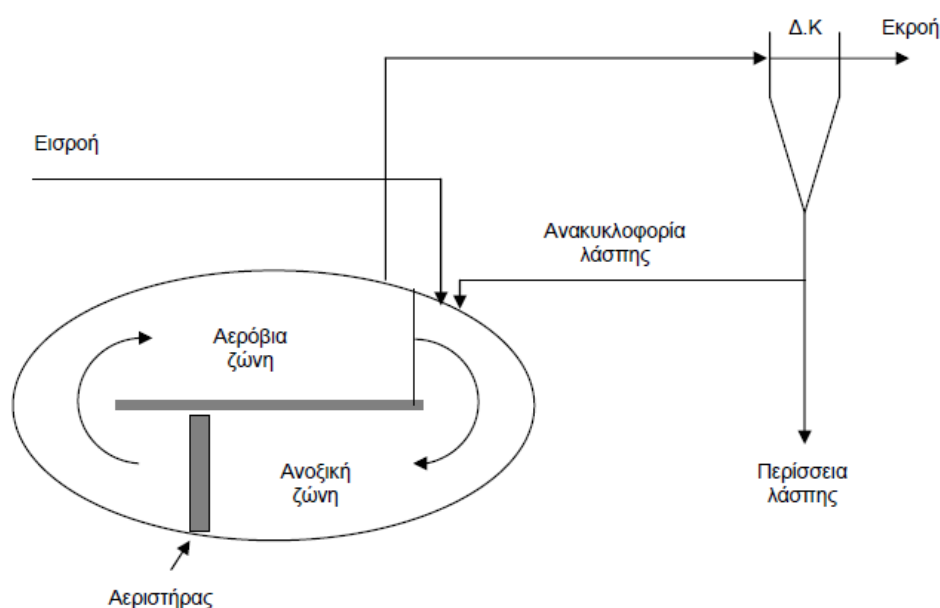
#### 4.5.3 Οξειδωτική τάφος

Η οξειδωτική τάφος αναπτύχθηκε αρχικά από τον A. Passveer στη δεκαετία του 1960. Είναι μια τροποποιημένη διεργασία ενεργού ιλύος στην οποία εφαρμόζονται μεγάλοι χρόνοι παραμονής στερεών στο σύστημα.

Πρόκειται για συστήματα πλήρους ανάμιξης και αποτελούνται από ένα ή πολλαπλά κανάλια κυκλικού ή πεταλοειδούς σχήματος. Τα υγρά απόβλητα που προορίζονται για επεξεργασία κινούνται κατά μήκος του καναλιού. Αεριστήρες τοποθετημένοι οριζόντια ή κάθετα στα τοιχώματα

του καναλιού παρέχουν το απαραίτητο οξυγόνο για την πραγματοποίηση των βιολογικών αντιδράσεων. Παράλληλα βοηθούν στην κυκλοφορία και την ανάμιξη του ανάμικτου υγρού κατά μήκος του καναλιού.

Τα επεξεργασμένα απόβλητα που εκρέουν από την οξειδωτική τάφρο εισέρχονται στη συνέχεια σε μία δεξαμενή καθίζησης για την απομάκρυνση της λάσπης. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται και ανακυκλοφορία της λάσπης στην τάφρο για τη διατήρηση σταθερής συγκέντρωσης των μικροοργανισμών. Μια τυπική οξειδωτική τάφρος απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (σχ. 4.5):



Σχήμα 4.5 Οξειδωτική τάφρος [10].

## 4.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 4.6.1 Γενικά

Μερική νιτροποίηση (partial nitrification) ονομάζεται η οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου μόνο σε νιτρώδη και όχι σε νιτρικά. Για να

επιτευχθεί μερική νιτροποίηση πρέπει να εμποδιστεί η οξείδωση των νιτροδών σε νιτρικά. Η διεργασία αυτή χρειάζεται λιγότερο οξυγόνο κατά τη νιτροποίηση και επίσης στην απονιτροποίηση καταναλώνεται λιγότερο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο καθώς μόνο τα νιτρώδη και όχι τα νιτρικά πρέπει να μετατραπούν σε αέριο άζωτο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Συγκεκριμένα παρακάμπτοντας την παραγωγή νιτρικών επιτυγχάνεται:

- 40% μείωση της απαίτησης COD κατά την απονιτροποίηση.
- Ο ρυθμός απονιτροποίησης μέσω των νιτροδών είναι 1.5 έως 2 φορές υψηλότερος σε σχέση με τον ρυθμό απονιτροποίησης μέσω των νιτρικών.
- 25% μείωση της απαίτησης οξυγόνου για νιτροποίηση (οξείδωση του αμμωνίου σε νιτρώδες άζωτο) σε σχέση με τη πλήρη οξείδωση σε νιτρικά.
- Χαμηλότερη παραγωγή βιομάζας και κατ' επέκταση λάσπης κατά 30-50%.

Για την επίτευξη μερικής νιτροποίησης, είναι απαραίτητο να παρεμποδιστεί η δράση και η ανάπτυξη των βακτηρίων που οξειδώνουν τα νιτρώδη, χωρίς όμως να παρεμποδιστεί η ανάπτυξη των μικροοργανισμών που οξειδώνουν την αμμωνία. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μεταβολή των συνθηκών κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η νιτροποίηση σε έναν αντιδραστήρα.

Οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν τη διεργασία της μερικής νιτροποίησης έχει δειχθεί ότι είναι:

- ✓ η συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας (free ammonia),
- ✓ το pH,
- ✓ η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου,
- ✓ η θερμοκρασία.

Πρόσφατες μελέτες [10] έχουν δείξει ότι τόσο η οξείδωση της αμμωνίας όσο και η συσσώρευση νιτρώδους αζώτου μεγιστοποιείται για  $\text{pH} = 7.5$ , συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου  $1.5\text{mg/L}$  και θερμοκρασία  $30^\circ\text{C}$ .

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλές διεργασίες βιολογικής απομάκρυνσης του αζώτου από τα υγρά απόβλητα οι οποίες

στηρίζονται στη μερική νιτροποίηση. Οι σημαντικότερες από αυτές εξετάζονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

#### 4.6.2 Διεργασία SHARON

Η διεργασία SHARON (Single reactor system for high activity removal over nitrite) βασίζεται στους διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης των νιτρωδοποιητικών και νιτρικοποιητικών βακτηρίων κάτω από επαρκώς υψηλές θερμοκρασίες (>26°C).

Στην τεχνολογία SHARON γίνεται εκμετάλλευση του γεγονότος ότι σε υψηλές θερμοκρασίες, τα βακτήρια *Nitrobacter* έχουν πολύ χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης από τα *Nitrosomonas*. Έτσι σε έναν αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης με αρκετά μικρό χρόνο παραμονής σε υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνεται έκπλυση των βακτηρίων *Nitrobacter*. Επίσης με την εφαρμογή διακοπόμενου αερισμού ελέγχεται αποτελεσματικά η απονιτροποίηση και το *pH* μέσα στον αντιδραστήρα.

Με την τεχνολογία SHARON το κόστος για την παροχή οξυγόνου μειώνεται κατά 25% περίπου και για την εξωτερική πηγή άνθρακα κατά περίπου 40%. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προεπεξεργασία ή σαν παράπλευρο ρεύμα επεξεργασίας αποβλήτων. Ωστόσο επειδή παρατηρείται συσσώρευση νιτρώδους αζώτου, πρέπει να υπάρχει κατάλληλος έλεγχος και σύστημα πρόληψης γιατί τα νιτρώδη είναι δυνατόν μέσω παράπλευρων αντιδράσεων να σχηματίσουν νιτροανιλίνες παρουσία ανιλίνης και άλλες χημικές ουσίες που είναι ανεπιθύμητες.

#### 4.6.3 Διεργασία ANAMMOX

Στη διεργασία ANAMMOX (Anaerobic ammonium oxidation), που αναπτύχθηκε το 1990, για την απονιτροποίηση των νιτρωδών χρησιμοποιείται η αμμωνία ως δότης ηλεκτρονίων κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Η διεργασία αυτή απαιτεί την ύπαρξη ενός προηγούμενου σταδίου μερικής νιτροποίησης, το οποίο θα μετατρέπει την αμμωνία σε νιτρώδη κατά το ήμισυ. Η διεργασία αυτή βασίζεται σε αυτότροφους μικροοργανισμούς και συνεπώς δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης εξωτερικής πηγής άνθρακα.

Μόνο ένα μέρος της αμμωνίας είναι απαραίτητο να οξειδωθεί προς νιτρώδη, αφού στη διεργασία αυτή η υπόλοιπη αμμωνία συνδυάζεται με τα νιτρώδη για την παραγωγή αερίου αζώτου. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε μείωση του κόστους, τόσο του οξυγόνου της νιτροποίησης, όσο και της απαίτησης για COD στο στάδιο της απονιτροποίησης. Επίσης μειώνεται και το λειτουργικό κόστος επειδή στην τεχνολογία αυτή η παραγωγή λάσπης είναι πολύ μικρή.

Μια τροποποιημένη διεργασία της SHARON έχει προταθεί για το στάδιο της μερικής νιτροποίησης στην ANAMMOX όπου στον

αντιδραστήρα της SHARON δεν θα παρέχεται μεθανόλη και δεν θα χρησιμοποιείται ανοξικό στάδιο και έτσι θα παρέχεται στην ANAMMOX το απαραίτητο μίγμα αμμωνίας-νιτρωδών χωρίς να χρειάζεται ανακυκλοφορία.

#### 4.6.4 Διεργασία CANON

Μια άλλη προχωρημένη διεργασία για την απομάκρυνση του αζώτου από τα απόβλητα είναι η CANON (Complete autotrophic nitrogen removal over nitrite) δηλαδή η πλήρως αυτότροφη απομάκρυνση αζώτου μέσω των νιτρωδών. Η διεργασία αυτή βασίζεται στο συνδυασμό της μερικής νιτροποίησης και της ANAMMOX σε ένα μόνο αντιδραστήρα υπό συνθήκες αερισμού χωρίς να απαιτείται η προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα. Οι νιτρωδοποιητές οξειδώνουν την αμμωνία σε νιτρώδη οπότε καταναλώνουν οξυγόνο και έτσι δημιουργούνται οι ανοξικές συνθήκες που χρειάζεται η διεργασία ANAMMOX. Δεν παράγεται υποξείδιο του αζώτου ούτε μονοξείδιο του αζώτου που όπως είναι γνωστό είναι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

### 4.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι βασικές φυσικοχημικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα είναι η απαερίωση, η χλωρίωση και η ιοντοανταλλαγή.

#### 4.7.1 Απαερίωση Αμμωνίας

Η βασική ιδέα είναι ότι για μεγάλα pH η αντίδραση:



μετατοπίζεται αριστερά. Με βάση την παραπάνω αντίδραση μπορεί να γραφεί η ακόλουθη σχέση, η οποία δίνει το ποσοστό  $NH_3$  σε υδατικό διάλυμα:

$$NH_3 \% = \frac{100}{1 + \frac{k_b}{k_w} \cdot [H^+]} \quad (4.8)$$

όπου  $k_w=10^{-14}$  και  $k_b$  είναι η σταθερά χημικής ισορροπίας της αντίδρασης.



Για παράδειγμα στους  $25^{\circ}\text{C}$ , όπου  $k_b = 1.8 \cdot 10^{-5}$  και για  $\text{pH}=10$ , δηλαδή  $[\text{H}^+] = 10^{-10}$  βρίσκουμε ότι το ποσοστό της αμμωνίας είναι 85%.

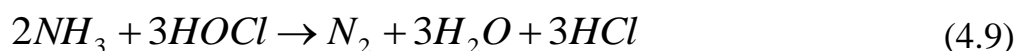
Το  $\text{pH}$  μπορεί να ρυθμιστεί στην τιμή 11 έτσι ώστε σε θερμοκρασία  $25^{\circ}\text{C}$  το ποσοστό της αμμωνίας να είναι 98%. Αυτό επιτυγχάνεται με προσθήκη  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Στη συνέχεια χρησιμοποιείται αέρας σε πύργο απαερίωσης (ή απογύμνωσης). Η απογύμνωση είναι η μεταφορά ενός αερίου που είναι διαλυμένο στην υγρή φάση στην αέρια φάση μέσω ενός αερίου απογύμνωσης για την απομάκρυνση της αμμωνίας. Γενικά το απαιτούμενο  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  αυξάνεται με την αλκαλικότητα του αποβλήτου ενώ ο απαιτούμενος αέρας μειώνεται με τη θερμοκρασία. Παρόλο που το κόστος της διαδικασίας αυτής είναι σημαντικό, κυρίως γιατί η αμμωνία χρειάζεται κατεργασία πριν τη χρήση, είναι η πιο σημαντική φυσικοχημική μέθοδος απομάκρυνσης του αζώτου.



Εικόνα 4.2 πύργος απογύμνωσης της αμμωνίας [11].

#### 4.7.2 Χλωρίωση

Η διεργασία αυτή βασίζεται στην οξείδωση της αμμωνίας σύμφωνα με την αντίδραση:



Το βέλτιστο pH είναι μεταξύ 6 και 7. Ο στοιχειομετρικός λόγος μάζας Cl<sub>2</sub> και αμμωνιακού αζώτου που απαιτείται είναι περίπου 8:1. Η τοξικότητα του παραγόμενου HCl απαιτεί την απομάκρυνσή του στη συνέχεια, κάτι που συνήθως κατορθώνεται με ενεργό άνθρακα. Η διεργασία αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνει συγχρόνως και απολύμανση.

#### 4.7.3 Ιοντοανταλλαγή

Χρησιμοποιούνται ζεόλιθοι ή συνθετικές ρητίνες για τη δέσμευση των ιόντων NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ο ζεόλιθος αναγεννάται με χρήση Ca(OH)<sub>2</sub>. Λόγω της αύξησης του pH κατά την αναγέννηση, στο διάλυμα παράγεται NH<sub>3</sub> που αφαιρείται με απαέρωση. Ένα πρόβλημα που παρατηρείται σε αυτήν την διεργασία είναι η συσσώρευση Ca(OH)<sub>2</sub> στο ζεόλιθο.

## 5. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο φώσφορος (P) πρέπει να απομακρυνθεί από τα απόβλητα για τους ίδιους λόγους που απομακρύνονται και οι ενώσεις του αζώτου όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στην εκροή των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος καθορίζεται από τη χρήση για την οποία προορίζεται η εκροή. Συνήθως όταν πρόκειται να αποδοθεί σε ευαίσθητους αποδέκτες, μία ποσότητα φωσφόρου που δεν υπερβαίνει τα 2 mg/L θεωρείται ικανοποιητική. Στην πράξη, ο σκοπός της επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση του φωσφόρου να είναι της τάξης του 90 έως και 95 %.

Στα υγρά απόβλητα ο φώσφορος που βρίσκεται σε οργανικές ενώσεις αποτελεί το 75% περίπου του συνολικού φωσφόρου που περιέχεται σε αυτά. Το υπόλοιπο 25 % περίπου, βρίσκεται με τη μορφή των ορθοφωσφορικών ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) διαλυτών ιόντων κατά κύριο λόγο και λιγότερο με τη μορφή πολυφωσφορικών ( $\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ ) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια.

Περίπου το 10% του P απομακρύνεται με την πρωτοβάθμια καθίζηση. Με εξαίρεση το μικρό ποσοστό που δεσμεύεται από τη μικροβιακή ανάπτυξη στη δευτεροβάθμια επεξεργασία, το μεγαλύτερο ποσοστό είναι διαλυμένο και απαιτεί προχωρημένη επεξεργασία.

Ο φώσφορος αποτελεί βασικό συστατικό από το οποίο αποτελείται ο κυτταρικός ιστός των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος και επίσης εμπλέκεται στους μηχανισμούς μεταφοράς ενέργειας. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος ένα ποσοστό από περίπου 10 έως 30 % της εισερχόμενης ποσότητας φωσφόρου απομακρύνεται από τα απόβλητα κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας στις δεξαμενές αερισμού. Επίσης το μεγαλύτερο μέρος των φωσφορικών ενώσεων που παραμένουν μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα.

Σήμερα, οι επιστημονικά παραδεκτές μέθοδοι απομάκρυνσης του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα είναι η βιολογική και η χημική μέθοδος. Όπως είναι φυσικό κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει διαφορετικό βαθμό απόδοσης, αλλά και διαφορετικά αρχικά και λειτουργικά έξοδα. Η χημική μέθοδος που χρησιμοποιεί κροκιδωτικά μέσα έχει εφαρμοστεί σε πάρα πολλές περιπτώσεις με ιδιαίτερη επιτυχία και υψηλή απόδοση. Τα τελευταία χρόνια όμως και η βιολογική μέθοδος απομάκρυνσης του φωσφόρου κερδίζει έδαφος και αρχίζει να εφαρμόζεται σε όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στα βασικά πλεονεκτήματά της ανήκουν οι μειωμένες δαπάνες σε χημικά και η μικρότερη παραγωγή ιλύος σε σύγκριση με τη χημική καθίζηση.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου επιτυγχάνεται και με φυσικές μεθόδους όπως είναι η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (ποσοστό απομάκρυνσης 10-30%), η υπερδιήθηση (20-50%) και η αντίστροφη ώσμωση (90-100%). Οι μέθοδοι αυτές έχουν όμως γενικά υψηλό κόστος.

## **5.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ**

Οι βιολογικές μέθοδοι (δηλαδή η χρήση μικροοργανισμών κατάλληλου τύπου) βασίζονται στην εναλλάξ έκθεση των μικροοργανισμών σε αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες. Επιτυγχάνουν απομάκρυνση φωσφόρου σε ποσοστό που κυμαίνεται από 70 έως 90%. Οι βιολογικές μέθοδοι σήμερα προτιμώνται γιατί επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης φωσφόρου με χαμηλό κόστος λειτουργίας ενώ ταυτόχρονα αποφεύγεται η προσθήκη χημικών που στη συνέχεια θα πρέπει να απομακρυνθούν γιατί επιβαρύνουν αφενός την επεξεργασία του υγρού ρεύματος και αφετέρου την παραγόμενη λάσπη στις δεξαμενές καθίζησης.

Η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου βασίζεται στην ικανότητα ορισμένων μικροοργανισμών (φωσφοροβακτηρίων) να προσροφούν και να συσσωρεύουν ενδοκυτταρικά περισσότερο φώσφορο από όσο

απαιτείται συνήθως για την κυτταρική ανάπτυξη και συντήρηση υπό τη μορφή πολυφωσφορικών αλυσίδων. Εμπλουτισμός των μονάδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με φωσφοροβακτήρια πραγματοποιείται με έκθεση της ενεργού ιλύος σε εναλλασσόμενες αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες.



(α)



(β)

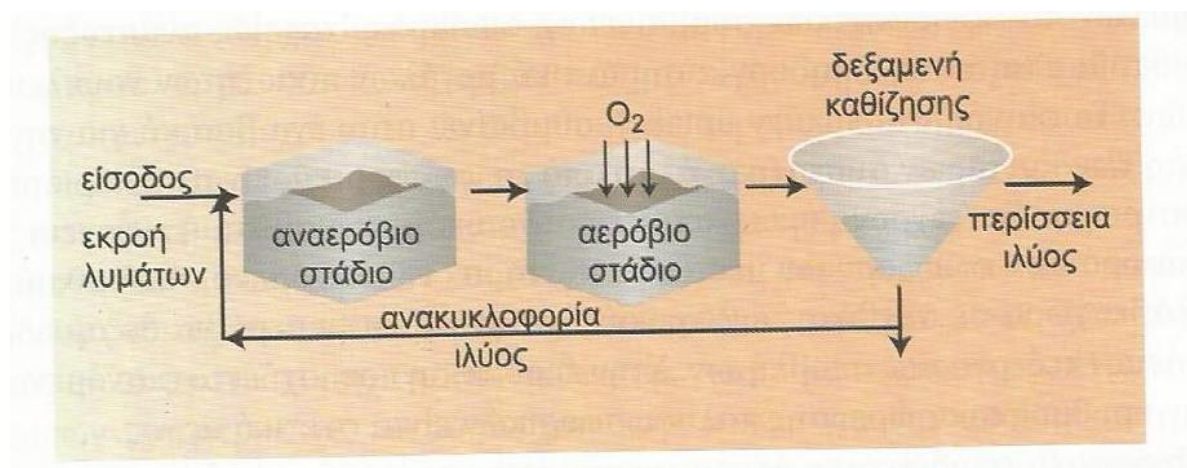
Εικόνα 5.1 Απομάκρυνση φωσφόρου στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Αγρινίου [6].

Στην εικόνα 5.1 φαίνονται οι εγκαταστάσεις της μονάδας βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Αγρινίου στις οποίες γίνεται η απομάκρυνση του φωσφόρου. Στην εικόνα 5.1α το φρέσκο απόβλητο αναμειγνύεται με ανακυκλοφορούμενο απόβλητο στην είσοδο των οξειδωτικών τάφρων. Οι ανοξικές συνθήκες που επικρατούν επιβάλλουν

την αποβολή του φωσφόρου από τα βακτήρια. (β) Η εναλλαγή σε αερόβιες συνθήκες υποχρεώνει τα βακτήρια σε πρόσληψη φωσφόρου, μεγαλύτερης ποσότητας από αυτήν που απέβαλλαν. Τα βακτήρια απομακρύνονται με τη μορφή λάσπης και μαζί και ο φωσφόρος.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για την απομάκρυνση του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα (αστικά ή βιομηχανικά) που βασίζονται στη διεργασία της ενεργού ιλύος. Έχουν εφαρμοστεί διαδικασίες οι οποίες λειτουργούν είτε για απομάκρυνση μόνο του φωσφόρου (διεργασίες (A/O και PhoStrip) είτε για ταυτόχρονη απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου.

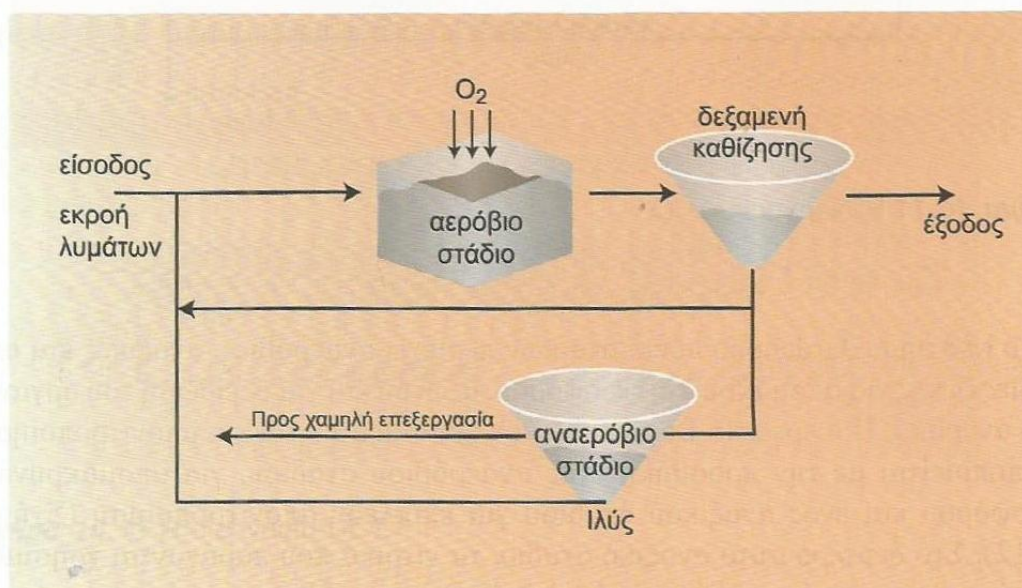
Η διεργασία A/O χρησιμοποιείται για συνδυασμένη οξείδωση άνθρακα και απομάκρυνση φωσφόρου από τα απόβλητα και περιλαμβάνει ένα αναερόβιο και ένα αερόβιο στάδιο σε σειρά. Η διάταξη αυτή (σχήμα 5.1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για νιτροποίηση παρέχοντας τον απαραίτητο χρόνο παραμονής στην αερόβια δεξαμενή. Στο αναερόβιο στάδιο ένα μέρος του ενδοκυτταρικά αποθηκευμένου φωσφόρου στα κύτταρα των φωσφοροβακτηρίων απελευθερώνεται ως διαλυτός φώσφορος με ταυτόχρονη μερική μείωση του BOD στο στάδιο αυτό.



Σχήμα 5.1 Η διεργασία A/O [5].

Στο επόμενο αερόβιο στάδιο ο φώσφορος προσλαμβάνεται από τα κύτταρα των φωσφοροβακτηρίων και τελικά απομακρύνεται από το υγρό κατά την απομάκρυνση της πλούσιας σε φωσφορικά ιλύος. Η ανακυκλοφορία της καθιζημένης ιλύος στην είσοδο του συστήματος και ανάμιξή της με το εισερχόμενο απόβλητο εξασφαλίζει ικανοποιητικό χρόνο παραμονής των φωσφοροβακτηρίων στο σύστημα. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στην έξοδο εξαρτάται κυρίως από το λόγο BOD/ποσότητα φωσφόρου των προς επεξεργασία αποβλήτων. Η απαίτηση αυτή έχει να κάνει με την ανάγκη εξασφάλισης ικανοποιητικής ποσότητας οργανικής ύλης ως πηγής άνθρακα και ενέργειας.

Έχει αναφερθεί όταν ο λόγος αυτός υπερβαίνει την τιμή 10:1 η συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου στην εκροή είναι 1 mg/L ή και ακόμη λιγότερο. Στις περιπτώσεις που ο λόγος αυτός παίρνει τιμές μικρότερες του 10:1, τότε μπορεί να προστεθούν άλατα σιδήρου ή αργιλίου για να επιτευχθεί χαμηλή συγκέντρωση φωσφόρου στην έξοδο (χημική ιζηματοποίηση).



Σχήμα 5.2 Η διεργασία PhoStrip [5].

Στη διεργασία PhoStrip (σχήμα 5.2) ένα μέρος της ιλύος που ανακυκλοφορείται οδηγείται σε μία αναερόβια δεξαμενή. Ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αυτή κυμαίνεται από 8 έως 12 ώρες. Τα φωσφορικά απελευθερώνονται στο αναερόβιο αυτό στάδιο και η χαμηλής περιεκτικότητας σε φωσφορικά ιλύς επιστρέφει στο αερόβιο στάδιο. Στο πλούσιο σε φωσφορικά υπερκείμενο υγρό γίνεται επεξεργασία με ασβέστη ή άλλο κροκιδωτικό σε ξεχωριστή δεξαμενή. Ο φώσφορος απομακρύνεται από το σύστημα στο χημικό ίζημα.

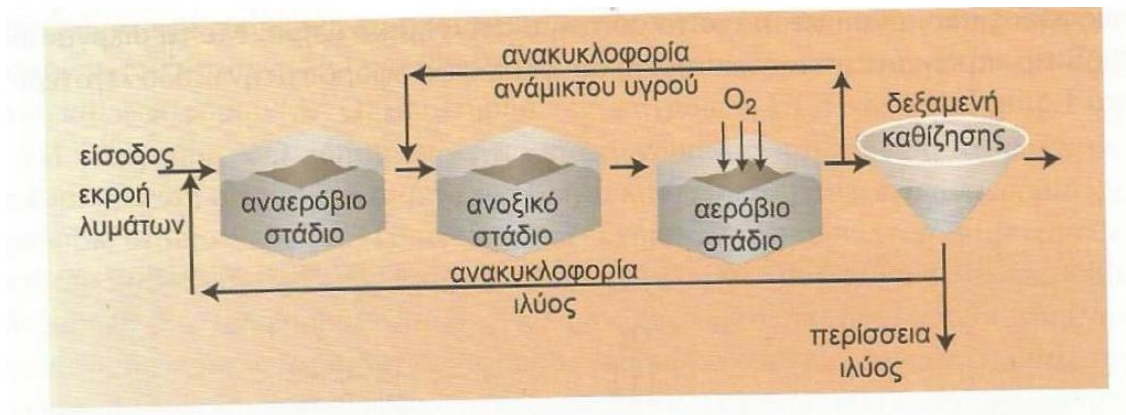
Με τη διεργασία PhoStrip επιτυγχάνεται συγκέντρωση συνολικού φωσφόρου στην έξοδο μικρότερη από 1.5 mg/L.

### **5.3 ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΖΩΤΟΥ ΚΑΙ ΦΩΣΦΟΡΟΥ**

Με κατάλληλο συνδυασμό αερόβιων, ανοξικών και αναερόβιων συνθηκών έχουν αναπτυχθεί διεργασίες οι οποίες επιτυγχάνουν την ταυτόχρονη απομάκρυνση οργανικών, αζώτου και φωσφόρου. Οι κυριότερες από αυτές εξετάζονται στη συνέχεια.

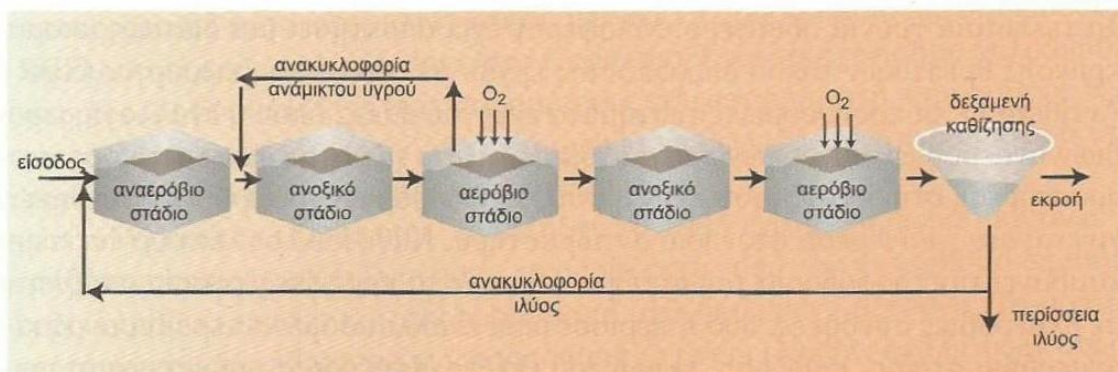
Η διεργασία  $A^2/O$  είναι μία τροποποίηση της  $A/O$  με προσθήκη ενός ανοξικού σταδίου για απονιτροποίηση. Ο χρόνος παραμονής στην ανοξική ζώνη είναι περίπου 1h. Στην ανοξική δεξαμενή δεν υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο αλλά μόνο νιτρικά ή/και νιτρώδη τα οποία εισέρχονται με την ανακυκλοφορία του ανάμικτου υγρού από την αερόβια δεξαμενή στην ανοξική. Η ανακυκλοφορία της καθιζημένης ιλύος γίνεται στην είσοδο του αναερόβιου σταδίου. Στην έξοδο μιας μονάδας  $A^2/O$  η συγκέντρωση του φωσφόρου που επιτυγχάνεται είναι μικρότερη από 2 mg/L.





Σχήμα 5.3 Η διεργασία A<sup>2</sup>/O [5].

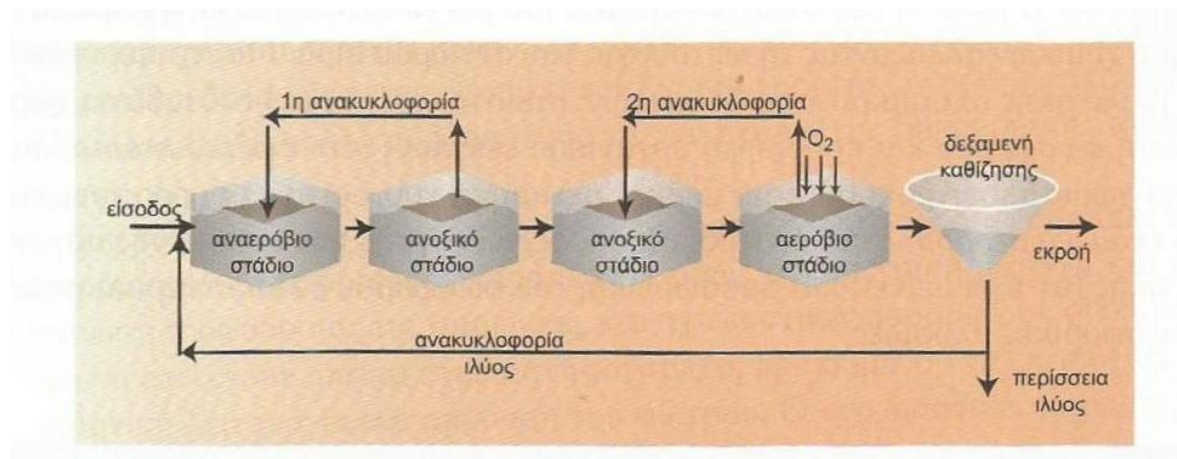
Το σύστημα Bardenpho πέντε σταδίων περιέχει αναερόβιες, ανοξικές και αερόβιες ζώνες για απομάκρυνση φωσφόρου, αζώτου και για οξείδωση του οργανικού άνθρακα. Η διεργασία Bardenpho που χρησιμοποιείται για απονιτροποίηση, τροποποιείται με την προσθήκη ενός αναερόβιου σταδίου για απομάκρυνση του φωσφόρου και ενός ανοξικού σταδίου για επιπλέον απονιτροποίηση. Στο δεύτερο αυτό ανοξικό στάδιο, τα νιτρικά που παράγονται χρησιμοποιούνται ως τελικός αποδέκτης ηλεκτρονίων ενώ ως δότης ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται ο ενδογενής οργανικός άνθρακας.



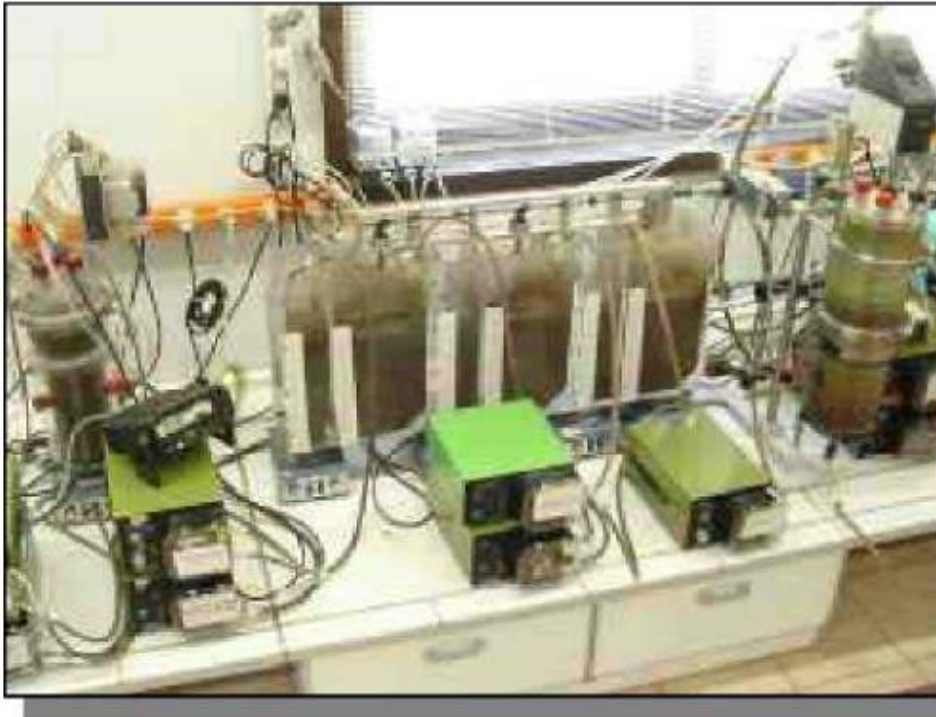
Σχήμα 5.4 Η διεργασία BardenPho πέντε σταδίων [5].

Το τελευταίο αερόβιο στάδιο χρησιμοποιείται για να απομακρύνει το παγιδευμένο στις βιοκροκίδες (flocks) αέριο άζωτο και να ελαχιστοποιήσει την απελευθέρωση φωσφόρου στη δεξαμενή καθίζησης. Το μικτό υγρό ανακυκλοφορείται από το πρώτο αερόβιο στάδιο στο πρώτο ανοξικό. Η ανακυκλοφορία της ιλύος γίνεται στο αναερόβιο στάδιο.

Στη διεργασία UCT, η οποία αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Cape Town, η ανακυκλοφορία της ιλύος γίνεται στο πρώτο ανοξικό στάδιο ενώ υπάρχουν δύο ανακυκλοφορίες ανάμικτου υγρού. Η μία από το ανοξικό στο αναερόβιο στάδιο και η δεύτερη από το αερόβιο στο δεύτερο ανοξικό. Με την ανακυκλοφορία της ιλύος που γίνεται στο ανοξικό στάδιο ελαχιστοποιούνται τα νιτρικά στο αναερόβιο στάδιο παρέχοντας τη δυνατότητα στα φωσφοροβακτήρια να λειτουργήσουν αναερόβια. Το ανάμικτο υγρό από το ανοξικό στάδιο περιέχει ικανοποιητική ποσότητα οργανικού φορτίου το οποίο με την ανακυκλοφορία παρέχεται στο αναερόβιο στάδιο απαλλαγμένο ταυτόχρονα από νιτρικά.

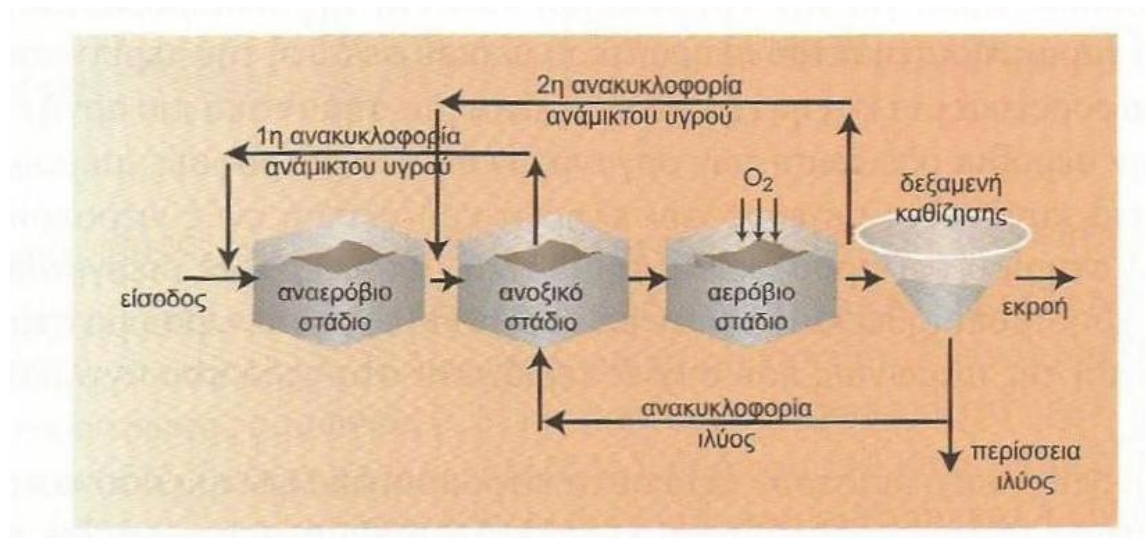


Σχήμα 5.5 Η διεργασία UCT [5].



Εικόνα 5.2 Εργαστηριακή μονάδα για αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου, συνδυάζοντας την προαπονιτροποίηση σε συστοιχία με τη μέθοδο UCT [9].

Η διεργασία VIP διαφέρει από την  $A^2/O$  και την UCT στις θέσεις που γίνονται οι ανακυκλοφορίες μикτού υγρού και ιλύος. Στο ανοξικό στάδιο φτάνουν η ανακυκλοφορία της ιλύος και η πλούσια σε νιτρικά ανακυκλοφορία μικτού υγρού από την αερόβια ζώνη. Το μικό υγρό από την ανοξική ζώνη επιστρέφει στην αρχή του αναερόβιου σταδίου.



Σχήμα 5.6 Η διεργασία VIP [5].

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει αποκτήσει μία διάταξη απομάκρυνσης θρεπτικών τύπου διαλείποντος έργου με περιοδική λειτουργία (SBR). Αντίθετα με τα προηγούμενα συστήματα ενεργού ιλύος όπου η εναλλαγή αερόβιων/αναερόβιων συνθηκών πραγματοποιείται σε διαφορετικούς αντιδραστήρες, στη διάταξη SBR η εναλλαγή αερόβιων/αναερόβιων συνθηκών γίνεται στο χρόνο μέσα στον ίδιο αντιδραστήρα. Κάθε κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει την τροφοδοσία του αντιδραστήρα με τα προς επεξεργασία απόβλητα σε αναερόβιες συνθήκες, δύο ή περισσότερα εναλλασσόμενα αερόβια/ανοξικά. αναερόβια στάδια, καθίζηση, εκροή του επεξεργασμένου υγρού και φάση ηρεμίας. Ο αντιδραστήρας SBR μπορεί να λειτουργήσει έτσι ώστε να επιτύχει κάθε επιθυμητό συνδυασμό οξείδωσης άνθρακα, μείωσης αζώτου και απομάκρυνσης φωσφόρου. Η μείωση των συστατικών αυτών μπορεί να επιτευχθεί με ή χωρίς προσθήκη χημικών αλλάζοντας τη λειτουργία του αντιδραστήρα. Για την περίπτωση της βιολογικής απομάκρυνσης θρεπτικών

- στο αναερόβιο στάδιο λαμβάνει χώρα έκλυση φωσφόρου και πρόσληψη οργανικού φορτίου
- στο ανοξικό στάδιο λαμβάνει χώρα απονιτροποίηση με μερική μετατροπή του οργανικού φορτίου

- στο επόμενο αερόβιο στάδιο λαμβάνει χώρα νιτροποίηση, οξείδωση της υπολειπόμενης οργανικής ύλης θαν έχει μείνει) και συσσώρευση του φωσφόρου ενδοκυτταρικά σε πολυφωσφορικές αλυσίδες.

## 5.4 ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

Η χημική κατακρήμνιση (Chemical precipitation) στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών με σκοπό τη μεταβολή της φυσικής κατάστασης των διαλυτών και αιωρούμενων στερεών και να διευκολύνει την απομάκρυνσή τους με ιζηματοποίηση. Σε μερικές περιπτώσεις η αλλαγή είναι μικρή και η απομάκρυνση επηρεάζεται από την παγίδευση μέσα σε ένα ογκώδες ίζημα που αποτελείται κυρίως από το θρομβωτικό. Ένα άλλο αποτέλεσμα της προσθήκης χημικών είναι η αύξηση των διαλυτών συστατικών στο νερό

Αρχικά η χημική κατακρήμνιση χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών και του BOD στις παρακάτω περιπτώσεις:

- α) όπου υπήρχαν εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση των υγρών αποβλήτων
- β) όπου χρειαζόταν ενδιάμεσος βαθμός επεξεργασίας
- γ) ως βοήθημα στις διεργασίες ιζηματοποίησης.

Μετά το 1970 η ανάγκη για πιο ολοκληρωμένη απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου αύξησε το ενδιαφέρον για τη χημική κατακρήμνιση.

Πολλές διαφορετικές ενώσεις χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς ως κατακρημνιστικές ουσίες, όπως:

- ✓ Άλατα αργιλίου  $Al_2(SO_4)_3 \cdot (18H_2O)$  και  $Al_2(SO_4)_3 \cdot (14H_2O)$
- ✓ Χλωριούχος τρισθενής σίδηρος  $FeCl_3$
- ✓ Θεϊκός σίδηρος  $Fe_2(SO_4)_3$  και  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot (3H_2O)$
- ✓ Ασβέστιο με τη μορφή του υδροξειδίου του ασβεστίου (ασβέστης)  $Ca(OH)_2$

Ο βαθμός της διαύγασης που επιτυγχάνεται εξαρτάται από την ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιούνται και τον τρόπο με τον οποίο ελέγχεται γενικά η διεργασία. Είναι δυνατόν με τη χημική κατακρήμνιση να ληφθεί καθαρή απορροή απαλλαγμένη από αιωρούμενα στερεά ή κολλοειδή σωματίδια. Περίπου το 80 με 90% της αιωρούμενης ύλης, το 40 με 70% του BOD<sub>5</sub>, το 30 με 60% του COD και το 80 με 90% των βακτηρίων μπορούν να απομακρυνθούν με χημική κατακρήμνιση. Για σύγκριση, όταν εφαρμόζεται απλή ιζηματοποίηση καθιζάνει μόνο το 50 με 70% της συνολικής αιωρούμενης ύλης και το 30 με 40% των οργανικών.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου από τα απόβλητα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των φωσφορικών στα αιωρούμενα στερεά και στη συνέχεια την απομάκρυνση των στερεών αυτών. Ο φώσφορος μπορεί να ενσωματωθεί είτε σε βιολογικές κροκίδες είτε σε χημικά κατακρημνίσματα. Στα χημικά που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του φωσφόρου περιλαμβάνονται άλατα μετάλλων και ασβέστης. Τα πιο συνηθισμένα άλατα μετάλλων είναι ο τριχλωριούχος σίδηρος και το θεϊκό αργίλιο. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί, και μάλιστα αποτελεσματικά, πολυμερή σε συνδυασμό με άλατα του σιδήρου και του αργιλίου.

Ο ασβέστης χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά λόγω της σημαντικής αύξησης στη μάζα της ίλύος σε σύγκριση με τα άλατα των μετάλλων και τα προβλήματα χειρισμού και λειτουργίας που συνδέονται με το χειρισμό, την αποθήκευση και την τροφοδοσία του ασβέστη.

Η κατακρήμνιση του φωσφόρου από τα απόβλητα μπορεί να συμβεί σε διάφορες θέσεις στο διάγραμμα ροής μιας εγκατάστασης ενεργού ίλύος. Γενικά οι θέσεις όπου μπορεί να απομακρυνθεί ο φώσφορος ταξινομούνται ως:

α) προ-κατακρήμνιση

β) συν-κατακρήμνιση

γ) μετά-κατακρήμνιση

Στις πρώτες δύο περιπτώσεις πρέπει η δοσολογία να είναι τέτοια ώστε να μην απομακρυνθεί πλήρως ο φώσφορος με αποτέλεσμα να λείψει από τη βιολογική διεργασία που ακολουθεί.

#### Προ-κατακρήμνιση

Με τον όρο αυτό υποδηλώνεται η προσθήκη χημικών στο υγρό απόβλητο για την απομάκρυνση του φωσφόρου σε πρωτοβάθμιες δεξαμενές καθίζησης. Ο κατακρημνισμένος φώσφορος απομακρύνεται με την πρωτοβάθμια λάσπη.

#### Συν-κατακρήμνιση

Η προσθήκη χημικών για το σχηματισμό ιζημάτων που απομακρύνονται μαζί με τη βιολογική λάσπη ονομάζεται συν-κατακρήμνιση. Τα χημικά μπορούν να προστεθούν:

α) στην έξοδο των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

β) στο ανάμικτο υγρό στη διεργασία δραστικής λάσπης

γ) στην έξοδο της βιολογικής επεξεργασίας πριν από τη δευτεροβάθμια καθίζηση

#### Μετά-κατακρήμνιση

Η μετά-κατακρήμνιση περιλαμβάνει την προσθήκη χημικών στην έξοδο των δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης και στη συνέχεια την απομάκρυνση των χημικών κατακρημνισμάτων.

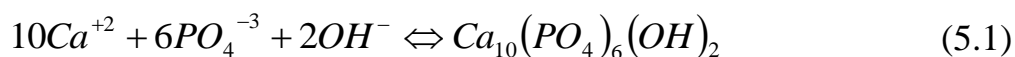
Όπως αναφέρθηκε ήδη, η χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου προκαλείται με την προσθήκη πολυσθενών μεταλλικών ιόντων, όπως ασβεστίου, σιδήρου και αργιλίου που σχηματίζουν κατακρημνίσματα αδιάλυτων φωσφορικών.

Η προσθήκη των χημικών για την απομάκρυνση του φωσφόρου μπορεί να γίνει σε περισσότερα από ένα σημεία της διεργασίας (πολυσημειακή επεξεργασία).



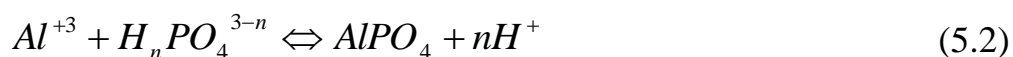


Στην περίπτωση του ασβεστίου η απομάκρυνση του φωσφόρου βασίζεται στην κατακρήμνιση του υδρόξυ-απατίτη,  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  που παράγεται σύμφωνα με την αντίδραση:

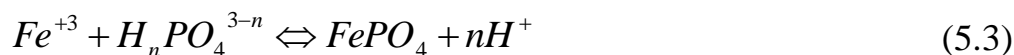


Η ποσότητα του ασβέστη που απαιτείται είναι γενικά ανεξάρτητη της ποσότητας του φωσφόρου που υπάρχει στα απόβλητα και εξαρτάται κυρίως από την αλκαλικότητα του αποβλήτου. Η ποσότητα του ασβέστη που απαιτείται για την κατακρήμνιση του φωσφόρου στα απόβλητα είναι περίπου 1.4 με 1.5 φορές η συνολική αλκαλικότητα εκφρασμένη ως  $CaCO_3$ . Επειδή απαιτείται μεγάλη τιμή pH για την κατακρήμνιση του φωσφόρου, η συν-κατακρήμνιση συνήθως δεν είναι δυνατή. Όταν προστίθεται ασβέστης στο απόβλητο, στην έξοδο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, συνήθως απαιτείται ρύθμιση του pH πριν ακολουθήσει περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση. Για τη μείωση του pH γίνεται προσθήκη άνθρακα με τη μορφή του  $CO_2$ .

Οι αντιδράσεις που περιγράφουν την κατακρήμνιση του φωσφόρου με αργίλιο και σίδηρο είναι οι ακόλουθες:



και



Στην περίπτωση του αργιλίου και του σιδήρου 1mol θα κατακρημνίσει 1mol φωσφορικών. Όμως επειδή οι αντιδράσεις είναι αμφίδρομες, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διαφορές ανταγωνιστικές αντιδράσεις και οι σταθερές ισορροπίας τους καθώς και η επίδραση της αλκαλικότητας, του pH, των ιχνοστοιχείων και άλλων παραμέτρων των

αποβλήτων. Για το λόγο αυτό οι απαιτούμενες δόσεις βασίζονται σε δοκιμαστικές μετρήσεις.

Ανάλογα με την χημική ουσία που χρησιμοποιείται ως κροκιδωτικό μέσο, παράγονται διαφορετικά άλατα του φωσφόρου που δεν διαλύονται στο νερό και συνεπώς καθιζάνουν σαν ίζημα. Από τη διεθνή βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι το πιο αποτελεσματικό κροκιδωτικό για την αφαίρεση του φωσφόρου είναι το θειικό αργίλιο ( $\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), το οποίο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο. Στη δεύτερη θέση όσον αφορά την αποτελεσματικότητα βρίσκεται το υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Η ακριβής δόση του θειικού αργιλίου που απαιτείται για την απομάκρυνση του φωσφόρου είναι ανάλογη του βαθμού απομάκρυνσης που απαιτείται. Από έρευνες που έχουν γίνει για απομάκρυνση φωσφόρου της τάξης του 95% η σχέση Al/P είναι 2,0/1,0 και η σχέση θειικού αργιλίου / φωσφόρου είναι 22/1.

## 6. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### 6.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια δίνονται τα χαρακτηριστικά των αντλιών που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

#### **Wilo-Drain TP 80/TP 100**

Είναι υποβρύχια αντλία λυμάτων για βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι κατάλληλη για την άντληση λυμάτων και νερού απορροής καθώς και λυμάτων με περιττώματα, δημοτικών και βιομηχανικών λυμάτων.

Χρησιμοποιείται σε:

- Αποστράγγιση οικιών και εκτάσεων
- Διαχείριση λυμάτων και υδάτων
- Εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και διύλισης νερού
- Βιομηχανική τεχνολογία και μηχανική των βιομηχανικών διεργασιών

#### **ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

- Λειτουργία σε στατική υγρή και ξηρή τοποθέτηση , καθώς και σε φορητή υγρή τοποθέτηση
- Δυνατότητα βύθισης
- Στάνταρ έγκριση A TEX
- Ελάχιστο βάρος
- Λυόμενο καλώδιο σύνδεσης
- Στυπιοθλίπτης καλωδίου κατά μήκος στεγανός έναντι νερού
- Στάνταρ με μανδύα ψύξης που δεν βουλώνει
- Αντοχή στη διάβρωση (π. χ. νερό πισίνας, θαλασσινό νερό κ .τ .λ.)

- Μικρές φθορές
- Πατενταρισμένο υδραυλικό σύστημα που δεν βουλώνει
- Απλή εγκατάσταση μέσω διάταξης ανάρτησης ή βάσης αντλίας



Εικόνα 6.1 Η αντλία Wilo-Drain TP 80/TP 100 [13].

#### ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Σύνδεση ηλεκτρικού δικτύου: 3 ~400 V, 50 Hz
- Τρόπος λειτουργίας σε βύθιση και ανάδυση: S 1 ή S3 25%
- Βαθμός προστασίας: IP 68
- Κατηγορία μόνωσης: F
- Μέγιστη θερμοκρασία ρευστού: 3-40 °C
- Ελεύθερο πέρασμα στερεών: 80 ή αντίστοιχα 95 mm
- Μέγιστο βάθος βύθισης: 20 m

#### **Wilo-DrainLift WS 900/1100**

#### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Χώρος συλλογής χωρίς ιζήματα

- Μέγιστη αντοχή λόγω ημισφαιρικού σχήματος δαπέδου φρεατίου
- Προσαγωγές 2/4 επιλέξιμες επί τόπου
- Έτοιμος για σύνδεση σταθμός αντλίας φρεατίου (χωρίς αντλία και ηλεκτρικό πίνακα)
- V4A Σωλήνωση από ανοξείδωτο χάλυβα
- Επίσης με αντλίες μηχανισμού κοπτήρων Wilo-DGain MTS 40/21 .. 39 και MTC.

#### ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Μέγιστο κυκλοφοριακό φορτίο 5 kN/m<sup>2</sup> (σύμφωνα με DIN EN 124, ομάδα 1)
- Μέγιστη πίεση στο σωλήνα κατάθλιψης 6 bar
- Αντλιοστάσιο φρεατίου Synthetic από ανακυκλούμενο PE
- Μέγιστη ασφάλεια έναντι άντωσης μέσω 2/4 (WS 900 = 2 τεμάχια, WS 1100 = 4 τεμάχια) εργοστασιακών πλευρικών πτερυγίων (δεν απαιτούνται δακτύλιοι σκυροδέματος)
- Προσαγωγές 2/4 επιλέξιμες επί τόπου
- Μέγιστη αντοχή λόγω ημισφαιρικού σχήματος δαπέδου φρεατίου, μέχρι βάθος βύθισης 1,20 m στα υπόγεια ύδατα.
- Επιφανειακός σύνδεσμος Wilo
- 2 στόμια DN 100 για αερισμό και καλώδιο σύνδεσης
- Χωρίς ιζήματα χώρος συλλογής μέσω ημισφαιρικής μορφής διαμόρφωσης του φρεατίου υγρών της αντλίας
- Εύκολη πρόσβαση στον αισθητήρα στάθμης λόγω της συναρμολόγησης με αναρτώμενη ράβδο στήριξης

#### Αντλίες Φυγοκεντρικές Vortex

Αντλίες ανοιχτής φτερωτής τύπου vortex, για διαβρωτικά και ακάθαρτα υγρά με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά

#### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Οριζόντιες μονοβάθμιες φυγοκεντρικές
- Φτερωτή ανοιχτή, οπισθοχωρημένη για τον σχηματισμό ροής vortex
- Παροχή έως 700m<sup>3</sup>/h
- Μανομετρικό ύψος έως 75m
- Θερμοκρασία ρευστού έως 170°C
- Πίεση σχεδιασμού 10 bar
- Στόμιο αναρρόφησης μεγάλου ανοίγματος για μικρή φθορά της φτερωτής

- Ανοιχτό σπειροειδές κέλυφος για τη διαχείριση στερεών και αποφυγή φυσαλίδων αέρα
- Στεγανοποίηση άξονα με δακτυλίους σαλαμάστρας ή μηχανικό στυπιοθλίπτη
- Έδρανα σε μπάνιο λαδιού με στήριξη βαρέως τύπου

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΤΕΡΩΤΗΣ

Η φτερωτή των αντλιών RKC/RKN είναι ανοιχτού τύπου εγκατεστημένη σε οπισθοχωρημένη θέση μέσα στο κέλυφος για τη δημιουργία της ροής vortex. Με τον τρόπο αυτό το αντλούμενο ρευστό εξέρχεται από την αντλία χωρίς να περνάει από τα πτερύγια της φτερωτής.

Επομένως η αντλία μπορεί να διαχειριστεί παχύρρευστα υγρά με μεγάλες ποσότητες ελεύθερων στερεών και ινωδών σωματιδίων, καθώς και με φυσαλίδες αέρα, χωρίς την εμφάνιση εμφράξεων.

## BACK PULL-OUT DESIGN. \_.

Οι αντλίες RKC/ RKN διαθέτουν κέλυφος διαιρούμενου τύπου ώστε να επιτυγχάνεται η αφαίρεση του άξονα με την φτερωτή χωρίς την αποσύνδεση του κελύφους από το δίκτυο σωληνώσεων.

Για την αποφυγή της μετακίνησης του ηλεκτροκινητήρα συνίσταται η τοποθέτηση ελαστικού συνδέσμου με κατάλληλο αποστάτη.

## Αντλίες Φυγοκεντρικές Ελικοειδούς Φτερωτής

Οι αντλίες αυτές είναι εφοδιασμένες με ελικοειδή φτερωτή ανοιχτού τύπου, υψηλού βαθμού απόδοσης, για διαβρωτικά και ακάθαρτα υγρά με υψηλό ιξώδες.

## ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Οριζόντιες μονοβάθμιες φυγοκεντρικές
- Φτερωτή υψηλής απόδοσης, χαμηλού NPSH
- Παροχή έως 2000m<sup>3</sup>/h
- Μανομετρικό ύψος έως 80m
- Θερμοκρασία ρευστού έως 170°C
- Πίεση σχεδιασμού 10 bar
- Στόμιο αναρρόφησης μεγάλου ανοίγματος για μικρή φθορά της φτερωτής
- Ανοιχτό σπειροειδές κέλυφος για τη διαχείριση στερεών και αποφυγή φυσαλίδων αέρα
- Στεγανοποίηση άξονα με δακτυλίους σαλαμάστρας ή μηχανικό στυπιοθλίπτη
- Έδρανα σε μπάνιο λαδιού με στήριξη βαρέως τύπου

## ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΤΕΡΩΤΗΣ

Η φτερωτή των αντλιών RACN είναι ελικοειδής ανοιχτού τύπου με μεγάλες διατομές ανάμεσα στα πτερύγια ώστε να επιτυγχάνεται η άντληση παχύρευστων υγρών με ελεύθερα στερεά και φυσαλίδες αέρα χωρίς την εμφάνιση εμφράξεων.

## BACK PULL-OUT DESIGN

Οι αντλίες RACN διαθέτουν κέλυφος διαιρούμενου τύπου ώστε να επιτυγχάνεται η αφαίρεση του άξονα με την φτερωτή χωρίς την αποσύνδεση του κελύφους από το δίκτυο σωληνώσεων.

Για την αποφυγή της μετακίνησης του ηλεκτροκινητήρα συνίσταται η τοποθέτηση ελαστικού συνδέσμου με κατάλληλο αποστάτη.

## Αντλίες Αυτόματης Αναρρόφησης

Οι αντλίες αυτόματης αναρρόφησης είναι ιδανικές για αναρρόφηση υγρών με αιωρούμενα στερεά.

## ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Παροχή έως 1300m<sup>3</sup>/h
- Μανομετρικό ύψος έως 90m
- Βάθος άντλησης έως 8m
- Διάμετρος αντλούμενων στερεών έως 75mm
- Ανοικτή φτερωτή και πλάκα φθοράς βαρέως τύπου
- Ενσωματωμένη βαλβίδα αντεπιστροφής
- Θυρίδες επιθεώρησης και πλήρωσης με υγρό
- Προστασία με ανόδιο για θαλασσινό νερό
- Διατίθενται και σε αντιαεκρηκτική κατασκευή A TEX

## ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αντλία τοποθετείται εκτός της δεξαμενής αναρρόφησης, υψηλότερα ή στο ίδιο ύψος με την στάθμη αναρρόφησης. Στη συνέχεια πληρώνεται με μία αρχική ποσότητα υγρού έτσι ώστε να δημιουργήσει κενό, δηλαδή να εκκενώσει τον αέρα και να ανυψώσει την στάθμη έως τη γραμμή αναρρόφησης. Λόγω της σχεδίασης, ο αντλούμενος αέρας διαχωρίζεται από το νερό και οδηγείται στην κατάθλιψη.

Σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας η αντλία φέρει ενσωματωμένη βαλβίδα αντεπιστροφής ώστε να συγκρατεί το νερό στον αγωγό αναρρόφησης και η αντλία να είναι πλήρης με νερό κατά τη επόμενη εκκίνηση.

## **Αντλίες Προοδευτικής Κοιλότητας Gavo**

Είναι ιδανικές για την άντληση ρευστών μεγάλου ιξώδους και τη διαχείριση της παχυμένης και αφυδατωμένης ιλύος σε βιολογικούς καθαρισμούς.

### **ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

- Παροχή έως 50 m<sup>3</sup>/h
- Υπερπίεση έως 24 bar
- Θερμοκρασία ρευστού έως 80°C
- Μήκος χοάνης έως 3000 mm
- Μεταβλητής παροχής με μηχανικό αυξομειωτήρα ή εξωτερικό Inverter
- Άντληση κολλωδών ρευστών μεγάλης ξηρότητας
- Δυνατότητα άντλησης σε μεγάλες αποστάσεις με λίπανση της γραμμής

### **ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ**

- ✓ Λίπανση με πολυηλεκτρολύτη

Για τη μεταφορά του προϊόντος σε μεγάλες αποστάσεις και τη μείωση της πίεσης κατάθλιψης, υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής φλάντζας λίπανσης ή δακτυλίου λίπανσης στην κατάθλιψη της αντλίας.

Η έγχυση του πολυηλεκτρολύτη με τη μορφή υμένα λίπανσης εγγυάται τη βελτίωση της απόδοσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται σημαντικά οι φθορές και το λειτουργικό κόστος της αντλίας.

- ✓ Σύστημα ελέγχου στάθμης

Για τον έλεγχο της στάθμης του υλικού στη χοάνη τροφοδοσίας, την αποφυγή του κινδύνου υπερχειλίσης και τη βέλτιστη λειτουργία του εξοπλισμού, υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογή αισθητήρα στάθμης με χρήση υπερήχων και πίνακα ελέγχου που εγκαθίσταται τοπικά ή στο κεντρικό σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης.

## **Αντλίες Δοσομετρικές Lagoa**

### **ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

- Με διάφραγμα από PTFE & έμβολο
- Παροχή έως 350 l/h, πίεση έως 12 bar
- Ακρίβεια δοσομέτρησης ± 1 %
- Θερμοκρασία έως 100°C
- Ρύθμιση παροχής 10-100%



## ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι αντλίες Lagoa αποτελούνται από μια μεμβράνη συνδεδεμένη με έμβολο, του οποίου η παλινδρομική κίνηση γεμίζει και αδειάζει διαδοχικά την κεφαλή της αντλίας.

- ✓ Στο πρώτο βήμα η κίνηση της μεμβράνης προς τα πίσω ανοίγει τη βαλβίδα στο κάτω μέρος της αντλίας και επιτρέπει την είσοδο του υγρού και την πλήρωση της κεφαλής.
- ✓ Στο δεύτερο βήμα η κίνηση της μεμβράνης προς τα εμπρός κλείνει τη βαλβίδα στο κάτω μέρος της αντλίας, ενώ ταυτόχρονα ανοίγει την βαλβίδα στο πάνω μέρος της αντλίας και ωθεί το υγρό προς τα έξω.

## ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ

- ✓ Βαλβίδα έγχυσης

Για την διανομή του προϊόντος σε άλλη σωληνογραμμή λειτουργεί σαν βαλβίδα αντεπιστροφής για την αποτροπή μόλυνσης της γραμμής έγχυσης από άλλο προϊόν. Τοποθετείται στο τέλος της γραμμής κατάθλιψης της αντλίας

- ✓ Ποδοβαλβίδα

Διατηρεί το υγρό εντός της σωληνογραμής στην περίπτωση αρνητικής αναρρόφησης από τη δεξαμενή αποθήκευσης του διαλύματος. Το φίλτρο που περιέχει κατακρατεί τυχόν σωματίδια που υπάρχουν στο διάλυμα και προστατεύει την κεφαλή της αντλίας. Τοποθετείται στο πυθμένα του δοχείου αποθήκευσης του χημικού.

- ✓ Σύστημα θετικής αναρρόφησης

Με φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων που τυχόν περιέχονται στο δοσομετρούμενο διάλυμα. Βαλβίδα απομόνωσης για τον καθαρισμό του φίλτρου ή για την εκτέλεση εργασιών συντήρησης στη γραμμή αναρρόφησης. Τοποθετείται στη γραμμή αναρρόφησης της αντλίας, μετά την δεξαμενή αποθήκευσης του δοσομετρούμενου υγρού.

- ✓ Βαλβίδα ασφαλείας υπερπίεσης και φόρτισης

Επιστρέφει το υγρό στη δεξαμενή ή το απορρίπτει σε περίπτωση υπερπίεσης στην κατάθλιψη της αντλίας. Είναι απαραίτητη για την προστασία της αντλίας & της εγκατάστασης όταν υπάρχει κίνδυνος υπερπίεσης στη γραμμή κατάθλιψης (πχ παρουσία βαλβίδας).

Τοποθετείται σε by-pass της γραμμής κατάθλιψης, όσον το δυνατόν πιο κοντά στην αντλία. Όταν τοποθετείται στη γραμμή κατάθλιψης (όσο το δυνατόν μακρύτερα από την αντλία) λειτουργεί σαν βαλβίδα φόρτισης, ώστε να αποτραπούν φαινόμενα περίσσειας ροής, σιφωνισμού ή ανεπάρκειας φόρτισης.

✓ Βαλβίδα 4 λειτουργιών

Απαερίωση της γραμμής κατάθλιψης Λειτουργεί σαν βαλβίδα ασφαλείας σε περίπτωση αύξησης της πίεσης στη γραμμή κατάθλιψης. Τοποθετείται αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας

✓ Θάλαμος απόσβεσης κραδασμών

Απαραίτητοι σε περιπτώσεις δικτύων μεγάλου μήκους ή σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών για την ελαχιστοποίηση των δονήσεων στο δίκτυο. Εξασφαλίζει την εξομάλυνση της ροής. Τοποθετείται στη γραμμή κατάθλιψης, πριν από κάθε άλλο εξάρτημα. Η τοποθέτησή του γίνεται πάντα κάθετα

### **Αντλίες Κοχλία Αρχιμήδη**

Η εφεύρεση της αρχαιότητας προσαρμοσμένη στις σύγχρονες ανάγκες άντλησης.

#### **ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Οι αντλίες του τύπου διαθέτουν μια σειρά χαρακτηριστικών, που τις κάνουν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες για τις εφαρμογές, για τις οποίες προορίζονται.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι;

- Αντλούν ύδατα και λάσπη με οποιαδήποτε στερεά αντικείμενα
- Η παροχή προσαρμόζεται στην εισερχόμενη ροή
- Μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα περισσότερες αντλίες για μεγαλύτερη παροχή
- Λειτουργούν εν ξηρώ
- Δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα σπηλαιώσης
- Έχουν ελάχιστες φθορές και μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής φθάνει και ξεπερνά τα 40 έτη

Επίσης έχουν:

Σταθερή υψηλή απόδοση σε μεγάλο εύρος παροχών

Υψηλό βαθμό πλήρωσης ανάλογα με αριθμό πτερυγίων και κλίσης

Αυτόματα ρυθμιζόμενη παροχή ανάλογα με στάθμη εισόδου

Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις φυγοκεντρικές αντλίες χάρις στο μικρότερο

απαιτούμενο μανομετρικό ύψος.

ECO Bearing: τελείως κλειστό κάτω έδρανο με εφόρου ζωής λίπανση , φιλικό στο περιβάλλον και με

ελάχιστες φθορές (καμία ανάγκη για συντήρηση)

Παρέχεται δυνατότητα τηλεπαρακολούθησης παραμέτρων λειτουργίας (Condition Monitoring)

Παρακολούθηση ενδείξεων αισθητήρων στα κρίσιμα σημεία του συστήματος  
Στατιστική επεξεργασία σε σύγκριση με μεγάλη βάση δεδομένων  
Προειδοποίηση για ανάγκη συντήρησης ή διακοπής λειτουργίας

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Αρχική ανύψωση λυμάτων στα έργα εισόδου βιολογικών καθαρισμών.  
Ανακυκλοφορία ιλύος σε βιολογικούς καθαρισμούς  
Άρδευση  
Αποστράγγιση υδάτων  
Αντιμετώπιση πλημμυρών  
Αντλιοστάσια λυμάτων

## 6.2 ΕΣΧΑΡΕΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Οι εσχάρες λυμάτων αποτελούν βασικό εξοπλισμό για την προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

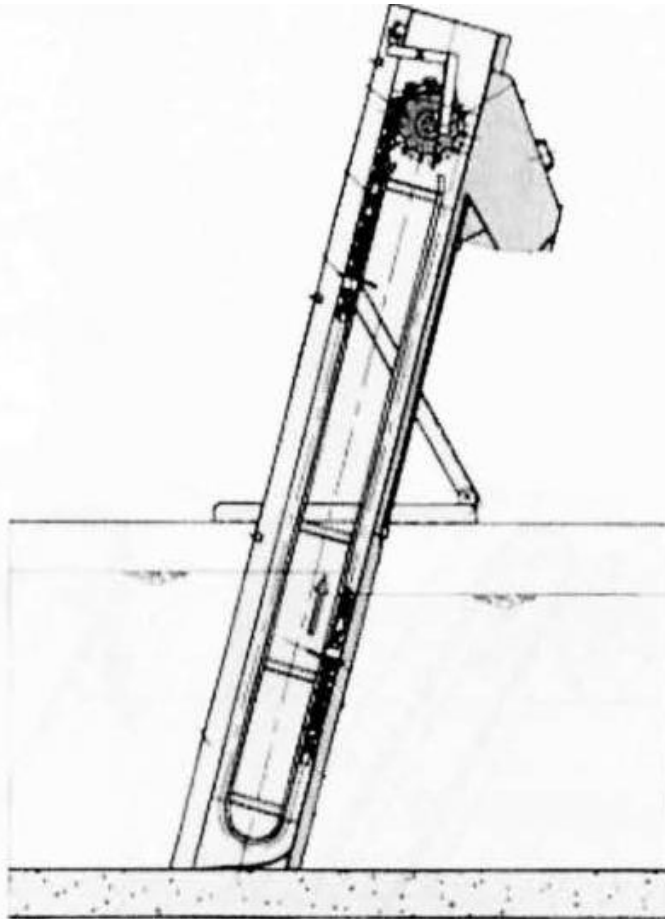
### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Εσχάρες αυτόματης λειτουργίας  
Διάκενα 0,3-50 mm  
Πλάτος καναλιού έως 2m  
Από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 ή AISI 316 ή εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα  
Μηχανισμός αυτόματου καθαρισμού  
Δυνατότητα προσαρμογής σε κανάλια διαφορετικών διαστάσεων

### ΤΥΠΟΙ ΕΣΧΑΡΩΝ

#### **GSV Κεκλιμένη με ράβδους**

Αυτοκαθαριζόμενη με αλυσοκίνητο κτένι  
Διάκενα 15-50 mm  
Κλίση 75°  
Πλάτος καναλιού 0.4-2 m  
Ύψος απόρριψης έως 6,5 m



Σχήμα 6.1 Εσχάρα κεκλιμένη με ράβδους [13].

#### **GV Κατακόρυφη με ράβδους**

Αυτοκαθαριζόμενη με αλυσοκίνητο κτένι

Διάκενα 15-50 mm

Κλίση 90°

Πλάτος καναλιού 0.4-2 m

Ύψος απόρριψης έως 6,5 m

#### **GTP Λεπτή, κεκλιμένη, με ταινία**

Αυτοκαθαριζόμενη με βούρτσα

Διάκενα 3-10 mm

Κλίση 60°

Πλάτος καναλιού 0.4-2 m

Συγκρατούμενα στερεά έως Φ 80mm

Παροχή 500-4000 m<sup>3</sup> /h

Με διάτρητο μεταλλικό έλασμα μορφής ταινίας με βαθμίδες

#### **GRS Τοξωτή**

Αυτοκαθαριζόμενη με παλινδρομικό κτένι

Διάκενα 15-50 mm  
Πλάτος καναλιού 0.4-1.5 m  
Ύψος καναλιού 0.8-1.2 m

#### **FD Λεπτή, τύπου τυμπάνου**

Αυτοκαθαριζόμενη με ξέστρο & αντίστροφη πλύση  
Διάκενα 0,3-2,5 mm  
Μήκος τυμπάνου 250-3000 mm  
Διάμετρος τυμπάνου 210-630mm  
Παροχή έως 2000 m<sup>3</sup> /h

#### **GPS Εσχάρα/ πρέσα, κυλινδρική με κοχλία**

Με διάτρητο κύλινδρο εσχάρωσης  
Διάκενα 2-12 mm  
Κλίση 35°  
Πλάτος καναλιού 0.45, 0.55 και 0.65m  
Παροχή έως 180, 360 και 580 m<sup>3</sup> /h  
Αυτοκαθαριζόμενη  
Με κοχλία προώθησης/αφυδάτωσης εσχαρισμάτων

### **6.3 ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΕΣΧΑΡΙΣΜΑΤΩΝ**

Χρησιμοποιούνται για την απαλλαγή των εσχαρισμάτων από την υγρασία. Εκτός της αφυδάτωσης, συμπιέζουν και προωθούν τα εσχαρίσματα. Η χοάνη του συμπιεστή τοποθετείται κάτω από το σημείο απόρριψης των εσχαρισμάτων. Τα εσχαρίσματα συμπιέζονται από το έμβολο μέσα στον σωλήνα συμπίεσης και αφυδάτωσης και προωθούνται προς τον κάδο απορριμμάτων. Το νερό αποστράγγισης εξέρχεται από τον πυθμένα της χοάνης και οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία.

#### **ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡ ΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Συμπίεση των εσχαρισμάτων στο 1/4 του αρχικού όγκου  
Ανοξείδωτη κατασκευή  
Υδραυλικό σύστημα με έμβολο συμπίεσης  
Τύπος PDO 250 / 1.5 kW: παροχή έως 1.1 m<sup>3</sup>/h  
Τύπος PDO 350 / 4.0 kW: παροχή έως 2.8 m<sup>3</sup>/h  
Διάκενα 0.5-25mm  
Συγκράτηση στερεών έως 320um  
Κλίση 60°-85°  
Πλάτος καναλιού 1-4m

Ύψος απόρριψης έως 1 Sm  
Από ανοξειδωτο χάλυβα  
Στοιχεία φίλτρανσης από ειδικό πλαστικό ABS  
Εύκολη απομάκρυνση κάθε στοιχείου φίλτρανσης  
Διατήρηση της συνοχής της υπόλοιπης ταινίας φίλτρανσης  
Στοιχεία φίλτρανσης ειδικά διαμορφωμένα για τη συγκράτηση στερεών  
μεγάλου μεγέθους  
Εύκολη αφαίρεση στοιχείου φίλτρανσης- εύκολη συντήρηση

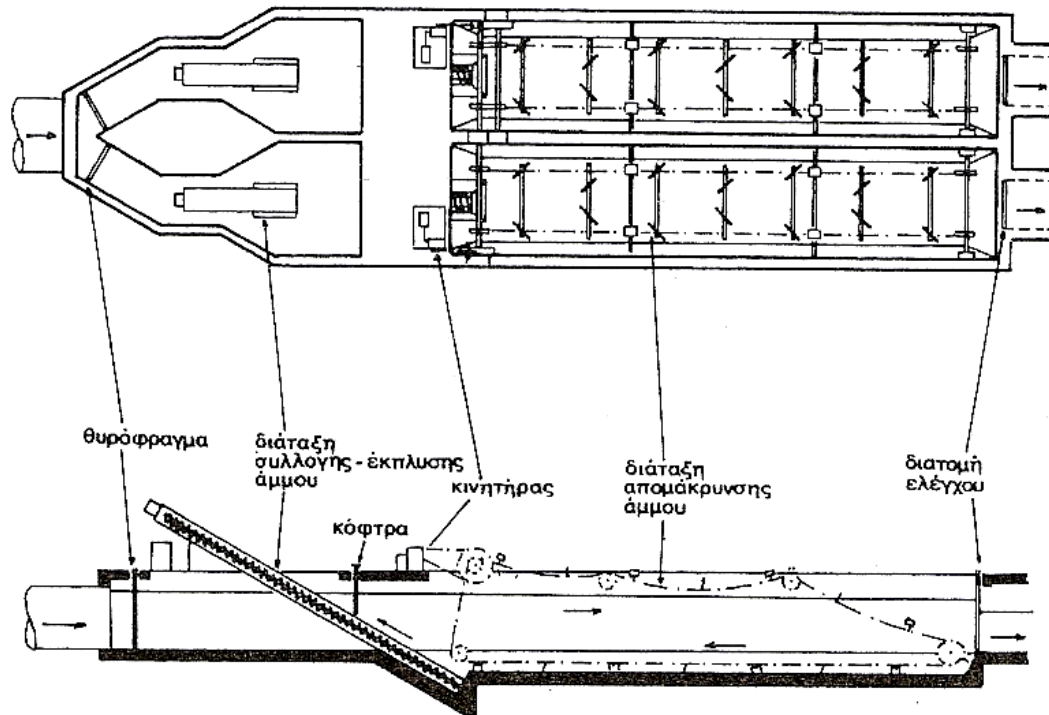
#### **6.4 ΕΞΑΜΜΩΤΕΣ / ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Εξασφαλίζουν την αποτελεσματική εξάμμωση και λιποσυλλογή για κάθε βιολογικό καθαρισμό αστικών λυμάτων. Ο εξαμμωτής τοποθετείται σε δεξαμενή κατάλληλου όγκου ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής των λυμάτων για την καθίζηση της άμμου και την επίπλευση των λιπών.

Καθώς η γέφυρα εκτελεί αυτόματα παλινδρομική κίνηση, η άμμος που έχει καθιζάνει συγκεντρώνεται με ξέστρο πυθμένα σε ειδικό χώρο. Στη συνέχεια η άμμος απομακρύνεται με τη βοήθεια υποβρύχιας αντλίας ή αντλίας airlift. Τα επιπλέοντα λίπη συγκεντρώνονται με ξέστρο επιφανείας στη μια πλευρά του εξαμμωτή και απορρίπτονται σε ειδικό φρεάτιο. Για την βελτιστοποίηση της εξάμμωσης/λιποσυλλογής η δεξαμενή κατά κανόνα αερίζεται.

Οι αμμοσυλλέκτες χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες, τους αεριζόμενους και τους οριζόντιους.

Οι οριζόντιοι αποτελούνται από ευθύγραμμο αυλάκι με οριζόντια ροή, όπου η αντίστοιχη ταχύτητα διατηρείται σταθερή, ανεξάρτητα από την παροχή και τη στάθμη πληρώσεως, με τοποθέτηση ειδικού εκχειλιστή με κατάλληλη μορφή στην έξοδο. Ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται αυτό διαχωρίζονται σε αμμοσυλλέκτες με ορθογωνικό αυλάκι και αναλογικό εκχειλιστή και σε αμμοσυλλέκτες με παραβολικό αυλάκι και στένωση τύπου Parshsall στο κατάντη άκρο του. Η απομάκρυνση της άμμου από τον εξαμμωτή γίνεται με ενσωματωμένες μηχανικές διατάξεις (όπως ξέστρα και μεταφορικές ταινίες) ή με φτυάρια, σε μικρές και οικονομικές εγκαταστάσεις.



Σχήμα 6.2 Σχηματική απεικόνιση εξαμμωτή [14].

Οι αεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες είναι ορθογωνικοί αεριζόμενοι θάλαμοι, στους οποίους ο αέρας εισάγεται με διαχυτήρες. Έτσι δημιουργείται μία ελικοειδής ροή στο νερό με αποτέλεσμα την απομάκρυνση της άμμου. Η κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής της ροής επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της παροχής αέρα. Ανάλογα με τη ρύθμιση απομακρύνονται σωματίδια συγκεκριμένης διαμέτρου. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα που είναι διαμορφωμένος σε χοάνη, από όπου και απομακρύνεται.

#### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για ορθογωνικές και κυκλικές δεξαμενές εξάμμωσης

Παροχή έως 20000m<sup>3</sup> /ημέρα

Δυνατότητα προσθήκης συστήματος λιποσυλλογής

Από γαλβανισμένο χάλυβα εν θερμώ και βρεχόμενα μέρη από ανοξείδωτο χάλυβα

#### ΤΥΠΟΙ

Διατίθενται διαφορετικοί τύποι εξαμμωτών/λιποσυλλέκτων, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εγκατάσταση σε ορθογωνικές δεξαμενές (DVV) ή σε κυκλικές δεξαμενές ( DFO ή DDSC).

## DVV

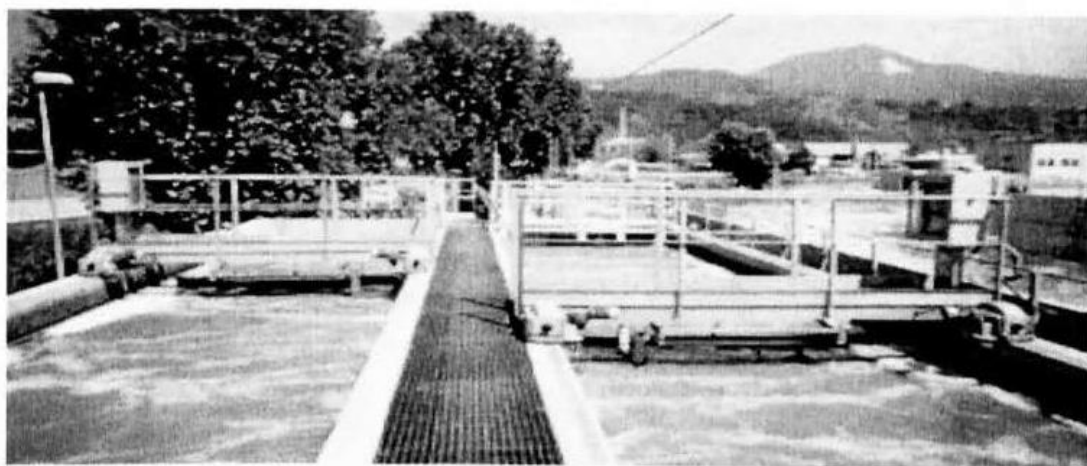
Με παλινδρομικά κινούμενη γέφυρα, αυτόματης λειτουργίας

Κατάλληλοι για δεξαμενές μήκους έως 40 m

Για εξυπηρέτηση ισοδύναμου πληθυσμού έως 140.000 κατοίκων

Για παροχές έως άνω των 20000 m<sup>3</sup> /ημέρα

Δυνατότητα εγκατάστασης σε μονές, διπλές ή και τριπλές δεξαμενές



Εικόνα 6.2 Δίδυμος εξαμμωτής DVV σε διπλή δεξαμενή [13].

## DFO

Κατάλληλοι για εγκατάσταση σε κυκλικές δεξαμενές διαμέτρου 2-6 m

Για παροχές έως άνω των 8000 m<sup>3</sup>/h

Λειτουργούν σαν φυγοκεντρικοί κυκλωνικοί διαχωριστές με τη βοήθεια περιστρεφόμενων πτερυγίων

Απομάκρυνση της άμμου με χρήση airlift

## DDSC

Ταυτόχρονη απομάκρυνση άμμου και λιπών σε κυκλικές δεξαμενές

Κατάλληλοι για εγκατάσταση σε κυκλικές δεξαμενές διαμέτρου 2-8 m

Για παροχές έως άνω των 2000 m<sup>3</sup> /h

Διαχωρισμός της άμμου με σπειροειδή κίνηση , προερχόμενη από αέρα διάχυσης

## ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΑΜΜΟΥ

Σκοπός είναι ο διαχωρισμός και η απομάκρυνση της άμμου από τους εξαμμωτές. Το μεικτό υγρό άμμου/λυμάτων με συνήθη αρχική πυκνότητα άμμου 20g/L εισέρχεται στη δεξαμενή ηρεμίας, που διαθέτει ειδικό διάφραγμα για τη μείωση της τύρβης. Η άμμος καθιζάνει στον



πυθμένα, παραλαμβάνεται από τον κεκλιμένο κοχλία, μεταφέρεται αργά προς τα άνω και απορρίπτεται στο ανώτατο σημείο, αφού κατά περίπτωση πλυθεί με καθαρό νερό για να απαλλαγεί από το βιολογικό φορτίο.

Πριν την απόρριψη της άμμου το νερό αποστραγγίζεται. Το τελικό απορριπτόμενο μείγμα άμμου/νερού έχει πυκνότητα άμμου της τάξης των 400 g/L.

#### ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Κατασκευή από ανοξείδωτο ή γαλβανισμένο χάλυβα

Απόδοση διαχωρισμού 95%

Παροχή άμμου έως 5m<sup>3</sup>/h

Διάμετρος κοχλία έως 600 mm

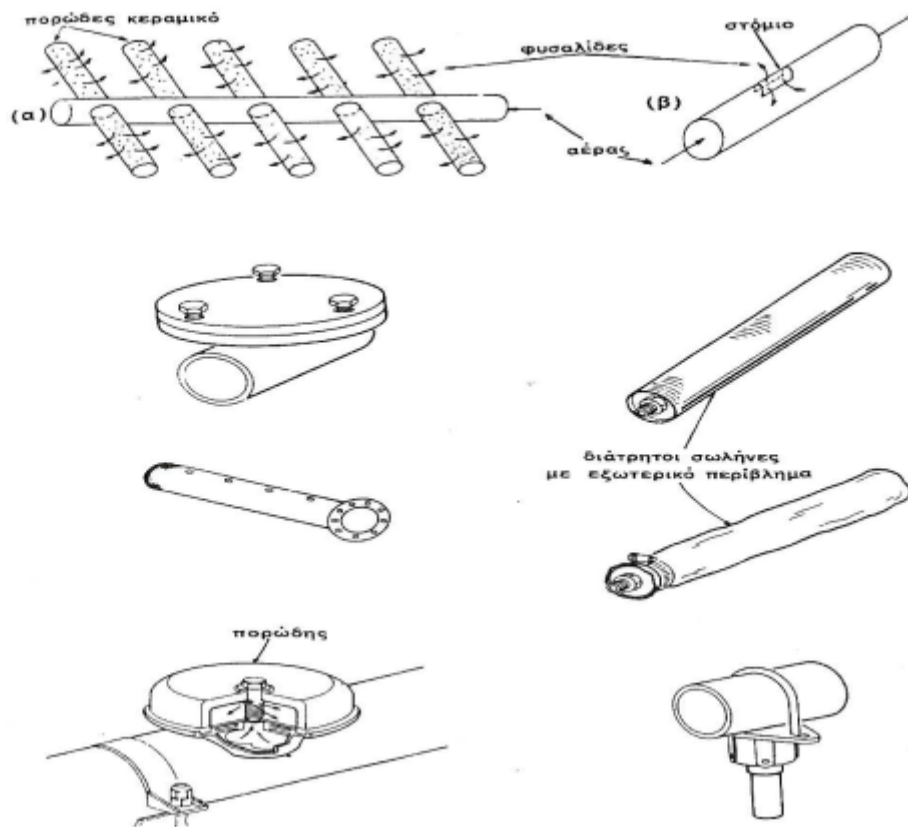
Με χοάνη εισόδου για την καθίζηση της άμμου και κεκλιμένο κοχλία για την απόρριψη της άμμου σε κάδο απορριμμάτων

### 6.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Οι βασικές μέθοδοι επίτευξης του επιθυμητού αερισμού στις δεξαμενές αερισμού των συστημάτων ενεργού ιλύος είναι οι εξής:

- Συστήματα διαχύσεως του αέρα με φυσαλίδες
- Συστήματα επιφανειακής αναμίξεως των αποβλήτων με μηχανικά μέσα και μεταφορά του οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στα απόβλητα μέσω τύρβης.

Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιούνται αεριοσυμπιεστές οι οποίοι διοχετεύουν το οξυγόνο σε ειδικούς μηχανισμούς δημιουργίας φυσαλίδων, τους διαχυτήρες. Οι διαχυτήρες τοποθετούνται κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής αερισμού. Οι φυσαλίδες δημιουργούνται κατά την απελευθέρωση του αέρα από το διαχυτήρα. Η μεταφορά του οξυγόνου γίνεται κατά την δημιουργία της φυσαλίδας και λίγο μετά την απελευθέρωση της. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος της φυσαλίδας, τη διάταξη και τον αριθμό των διαχυτήρων και από τη γεωμετρία της δεξαμενής αερισμού.



Σχήμα 6.3 Διάφορα είδη διαχυτήρων [14].

Οι διαχυτήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους πορώδεις και τους μη πορώδεις. Οι πορώδεις παράγουν λεπτές-μέσες φουσαλίδες, έχουν σχήμα σωλήνα, πλάκας ή θόλου και τοποθετούνται κάθετα στα τοιχώματα της δεξαμενής αερισμού. Οι τύπου σωλήνα τοποθετούνται κατά μήκος της μίας πλευράς της δεξαμενής αερισμού, ενώ αυτοί σε σχήμα πλάκας ή θόλου διανέμονται σε όλο το πυθμένα. Είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι λόγω της καλής απόδοσης που επιτυγχάνουν και προτιμούνται σχεδόν σε όλες τις απαιτήσεις αερισμού.

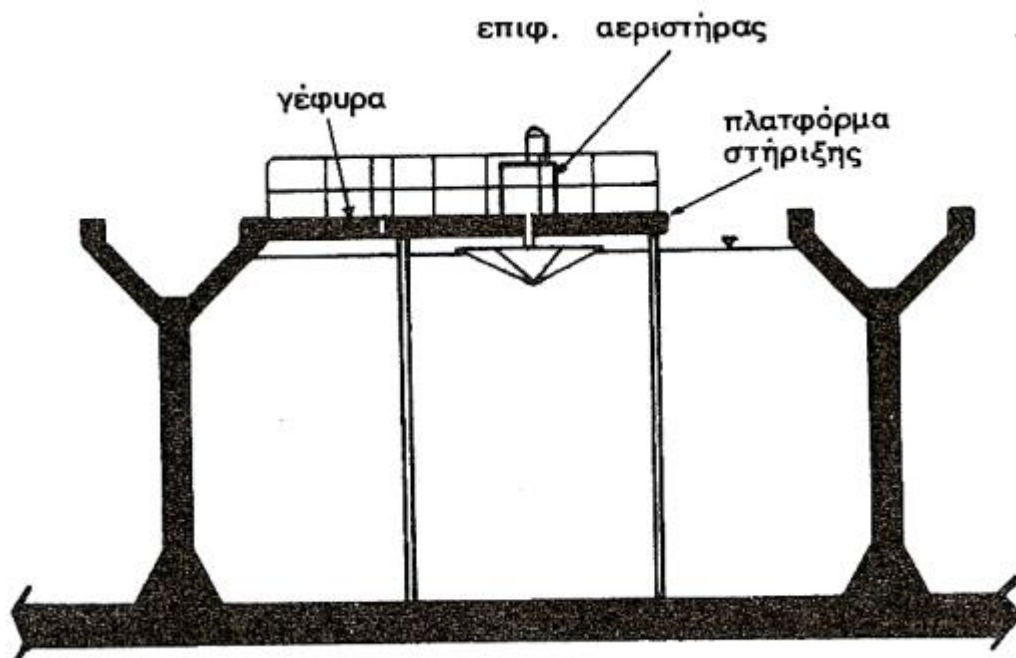
Τα μειονεκτήματα τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης, όπως επίσης και η απαίτηση για τοποθέτηση φίλτρου αέρα για την αποφυγή του φραγμού τους. Οι μη πορώδεις παράγουν μέσες-χονδρές φουσαλίδες από στόμια. Τοποθετούνται κατά μήκος της μίας πλευράς της δεξαμενής αερισμού, όπως οι πορώδεις τύπου σωλήνα και χρησιμοποιούνται στις ίδιες περιπτώσεις. Έχουν το πλεονέκτημα ότι δε φράζουν και έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης, ενώ μειονεκτούν ως προς την απόδοση σε σχέση με τους πορώδεις. Οι τυπικές τιμές απόδοσης είναι 10-30% για λεπτές φουσαλίδες, 6-15% για

μέσες και 4-6% για χονδρές. Εκτός της απόδοσης οι διαχυτήρες αξιολογούνται από την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου.

Στη μέθοδο αερισμού με επιφανειακούς αεριστήρες η μεταφορά οξυγόνου στα απόβλητα γίνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της τυρβώδους επιφάνειας που δημιουργείται από την ανάδευση των αποβλήτων. Οι βασικοί τύποι αεριστήρων είναι τρεις:

- χαμηλής ταχύτητας (ακτινικής ροής),
- υψηλής ταχύτητας (αξονικής ροής)
- οριζόντιοι περιστρεφόμενοι αεριστήρες (βούρτσες).

Οι αεριστήρες χαμηλής ταχύτητας πετυχαίνουν σχετικά υψηλή απόδοση και καλή ανάμιξη. Η ταχύτητα περιστροφής τους είναι 20-100 rpm, έχουν φτερωτή διαμέτρου μέχρι 3.6 m και μπορεί να είναι επιπλέοντες ή σταθεροί. Οι σταθεροί τοποθετούνται σε πλατφόρμες ή σε κατάλληλα κατασκευασμένες γέφυρες. Η φτερωτή πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση από τον πυθμένα 0.5-0.7 φορές τη διάμετρο της και συνιστάται η τοποθέτηση σε κατάλληλες διατάξεις μεταβολής του βυθίσματος, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή ανάμιξη και μεταφορά οξυγόνου. Χρησιμοποιούνται στις ίδιες περιπτώσεις με τους διαχυτήρες και μειονεκτούν ως προς το κόστος συντήρησης του απαραίτητου μειωτήρα στροφών, ο οποίος επιβαρύνει και το κόστος εγκατάστασης.



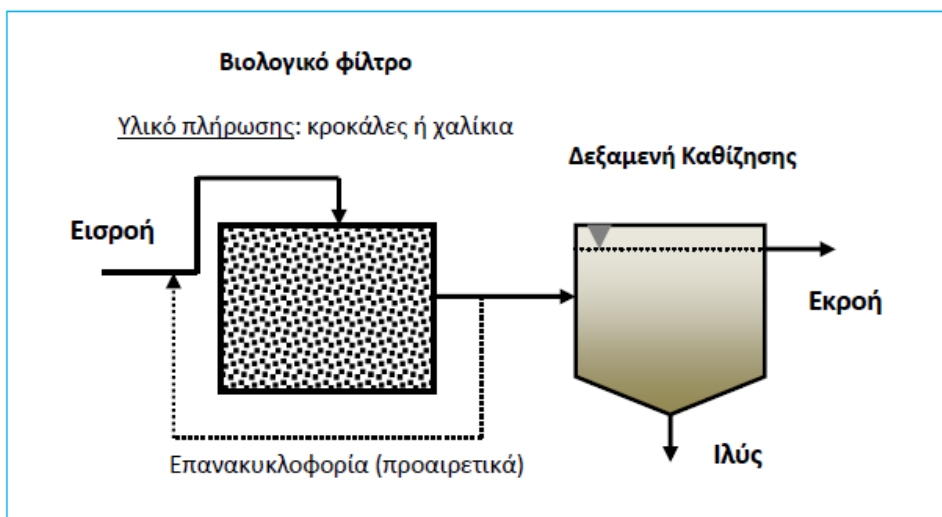
Σχήμα 6.4 Δεξαμενή αερισμού με επιφανειακό αεριστήρα [14].

Επίσης μειονέκτημα αποτελεί και η μείωση της θερμοκρασίας της δεξαμενής αερισμού και η πιθανότητα δημιουργίας πάγου τις ψυχρές μέρες του χρόνου. Οι αεριστήρες υψηλής ταχύτητας δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στις δεξαμενές αερισμού της ενεργού ιλύος, επειδή η υψηλή ταχύτητα περιστροφής (300-1200 rpm) «σπάει» τα αιωρούμενα στερεά δημιουργώντας προβλήματα στην καθίζηση στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Οι οριζόντιοι περιστρεφόμενοι αεριστήρες παράλληλα με τη μεταφορά οξυγόνου προκαλούν και οριζόντια κίνηση των αποβλήτων Συνιστώνται για τη μέθοδο της οξειδωτικής τάφρου και διατίθενται σε μήκη μέχρι 7.5 m και με απόδοση μεταφοράς οξυγόνου 1.5-2.1 kg O<sub>2</sub>/KWh. Οι βασικές παράμετροι αξιολόγησης των επιφανειακών αεριστήρων είναι η απόδοση μεταφοράς οξυγόνου και ο βαθμός ανάμιξης.

## **6.6 ΧΑΛΙΚΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ**

Τα χαλικοδιυλιστήρια (σχήμα 6.5) αποτελούν βιοαντιδραστήρες στα τοιχώματα των οποίων αναπτύσσεται με το χρόνο βιολογική μάζα η οποία περιβάλλει όλες τις ελεύθερες επιφάνειες και χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (διεργασία προσκολλημένης βιομάζας). Είναι κατάλληλα διαμορφωμένες δεξαμενές μέσα στις οποίες τοποθετούνται τα χαλίκια. Οι βιολογικοί υμένες αναπτύσσονται πάνω στις στερεές επιφάνειες των υλικών πλήρωσης (χαλίκια). Τα κενά μεταξύ των χαλικιών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα προκειμένου να μην φράσσονται εύκολα από τη βιομάζα που αναπτύσσεται στις επιφάνειές τους. Συνεπώς η διάμετρος των χαλικιών δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη γιατί έτσι ελαττώνεται η επιφάνεια των στερεών, αλλά ούτε και πολύ μικρή γιατί έτσι ελαττώνεται ο όγκος των κενών χώρων.



Σχήμα 6.5 Σχηματική απεικόνιση χαλικοδυλιστηρίου [1].

Τα λύματα ραντίζονται στην επιφάνεια του δυλιστηρίου και ρέουν προς τα κάτω δια μέσου των κενών χώρων του δυλιστηρίου. Έτσι περιβρέχεται η βιομάζα που έχει αναπτυχθεί στις επιφάνειες των χαλικιών με λύματα. Όσο διαρκεί η επαφή των λυμάτων με τη βιομάζα, γίνεται προσρόφηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα λύματα είτε σε αιώρηση είτε σε διάλυση, από τους βιολογικούς υμένες. Τα βακτήρια που σχηματίζουν τους βιολογικούς υμένες αποικοδομούν τις οργανικές ουσίες των λυμάτων. Αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή βιομάζας και καταλοίπων της βιοαποικοδόμησης, δηλαδή ανόργανες ουσίες. Οι ανόργανες αυτές ουσίες αποβάλλονται από τα κύτταρα των μικροοργανισμών με τις εκκρίσεις. Η παραγωγή βιομάζας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του πάχους των βιολογικών υμένων και κατά συνέπεια την ελάττωση των κενών χώρων του δυλιστηρίου. Ένα τμήμα της βιομάζας χρησιμοποιείται σαν τροφή από τους μικροοργανισμούς που διαβιώνουν στο εσωτερικό των δυλιστηρίων.

Το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση των οργανικών ουσιών λαμβάνεται από τον αέρα. Με κατάλληλη διαμόρφωση του πυθμένα του δυλιστηρίου, δηλαδή πολλές οπές για την εκροή των λυμάτων και την κυκλοφορία του αέρα, εξασφαλίζεται καλός αερισμός του εσωτερικού του δυλιστηρίου. Με την αύξηση του πάχους των βιολογικών υμένων περιορίζεται ο όγκος των κενών χώρων του δυλιστηρίου και το οξυγόνο που εισέρχεται στο εσωτερικό του δεν αρκεί για να φθάσει στα εσωτερικά στρώματα των βιολογικών υμένων. Έτσι η αποικοδόμηση από αερόβια μετατρέπεται σε αναερόβια. Με την πάροδο του χρόνου η αδρανοποιημένη βιομάζα χάνει την ικανότητα πρόσφυσής της στις στερεές επιφάνειες, αποκολλάται από αυτές και συμπαρασύρεται προς

την έξοδο του διυλιστηρίου. Η αύξηση της βιομάζας στο εσωτερικό του διυλιστηρίου έχει σαν αποτέλεσμα και τη μείωση του ελεύθερου χώρου μεταξύ των χαλικιών. Συνέπεια αυτού είναι ο κίνδυνος απόφραξης του χαλικοδιυλιστηρίου.

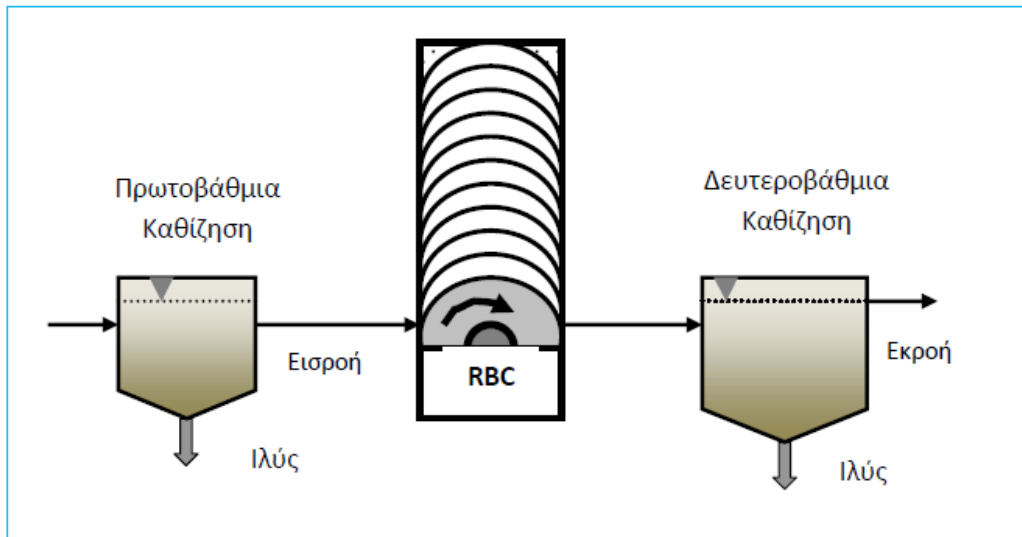


Εικόνα 6.3 Χαλικοδιυλιστήρια [1].

Τα πιο σύγχρονα βιολογικά φίλτρα κυμαίνονται σε ύψος από 5 έως 10 m και είναι γεμάτα με πλαστικό υλικό πλήρωσης για την προσκόλληση της βιολογικής στοιβάδας. Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται βιολογικοί πύργοι.

## 6.7 ΔΙΣΚΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ

Οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating Biological Contactors RBC) (σχήμα 6.6) ή δισκοδιυλιστήρια λειτουργούν επίσης με τη μέθοδο της προσκολλημένης βιομάζας και αποτελούνται από μια ημικυλινδρική σκάφη κατά μήκος της οποίας υπάρχει ένας περιστρεφόμενος άξονας στον οποίο είναι στερεωμένοι κυκλικοί δίσκοι σε κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση. Οι δίσκοι είναι ημιβυθισμένοι στη σκάφη εντός της οποίας εισέρχονται τα λύματα.



Σχήμα 6.6 Σχηματική διάταξη δισκοδυλιστηρίου [1].

Οι βιολογικοί υμένες αναπτύσσονται πάνω στις επιφάνειες των δίσκων. Όταν τα βακτήρια είναι βυθισμένα στα λύματα προσροφούν τις διαλυμένες σε αυτά οργανικές ουσίες και τις χρησιμοποιούν σαν τροφή. Στη συνέχεια με την περιστροφή του δίσκου εξέρχονται τα βακτήρια από τα λύματα και έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον οποίο παίρνουν το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων. Η παραγόμενη βιομάζα αποκολλάται από τις επιφάνειες των δίσκων λόγω της ταχύτητας περιστροφής των δίσκων και των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια νερού-βιολογικού υμένα. Στη συνέχεια εκρέουν μαζί με τα λύματα από το δυλιστήριο και φθάνουν στις δεξαμενές τελικής καθίζησης όπου και κατακρατούνται.



Εικόνα 6.4 Δισκοδυλιστήρια [1].

Τα δισκοδυλιστήρια κατασκευάζονται συνήθως σαν δεξαμενές οι οποίες αποτελούνται από περισσότερες σκάφες στη σειρά. Η σύσταση των μικροοργανισμών που αποτελούν τους βιολογικούς υμένες διαφέρει από σκάφη σε σκάφη. Επίσης από σκάφη σε σκάφη διαφέρει και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα. Έτσι ενώ στην πρώτη σκάφη έχουμε συγκέντρωση οξυγόνου 1,5 mg/L στην τέταρτη είναι δυνατόν αυτή να είναι 6,0 mg/L. Το βασικό πλεονέκτημα των δισκοδυλιστηρίων είναι οι χαμηλές δαπάνες λειτουργίας τους οι οποίες ουσιαστικά περιορίζονται στις δαπάνες για την κίνηση του άξονα των δίσκων. Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια στις εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι το 20-30 % της αντίστοιχης των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος. Επίσης οι δαπάνες συντήρησής τους είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των χαλικοδυλιστηρίων και των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υπέρμετρη αύξηση της κατανάλωσης νερού για διάφορες χρήσεις καθιστά επιτακτική την ανάγκη για την προστασία του. Τα υγρά απόβλητα πρέπει να υφίστανται επεξεργασία είτε για να παραχθεί νερό για γενική χρήση ή για ειδικές βιομηχανικές εφαρμογές και για να περιοριστεί η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Αν συσσωρευτούν τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, η αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων που περιέχουν θα οδηγήσει στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων δύσοσμων αερίων. Επίσης τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα συνήθως περιέχουν πολλούς παθογόνους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο παχύ έντερο των ανθρώπων ή που εμφανίζονται σε συγκεκριμένα βιομηχανικά απόβλητα. Τέλος τα υγρά απόβλητα περιέχουν θρεπτικά συστατικά που ευνοούν την ανάπτυξη υδατικών φυτών και μπορεί να περιέχουν τοξικά συστατικά. Για τους λόγους αυτούς είναι επιβεβλημένη η απομάκρυνση των υγρών αποβλήτων από τις πηγές παραγωγής τους, η επεξεργασία και η τελική διάθεσή τους.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων συνιστά αναγκαία προϋπόθεση και σημαντικό βήμα στην προσπάθεια αντιμετώπισης της υδάτινης ρύπανσης. Τα συστατικά που περιέχουν άνθρακα, ως βασικοί οργανικοί ρύποι των υγρών αποβλήτων, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σοβαρή περιβαλλοντική υποβάθμιση αν διατεθούν σε κάποιον αποδέκτη χωρίς να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία.

Από την άλλη μεριά, τα βασικά θρεπτικά συστατικά, άζωτο και φώσφορος, τα οποία περιέχονται σε σημαντικές συγκεντρώσεις σε τυπικά αστικά λύματα είναι τα κύρια υπεύθυνα για την επικράτηση φαινομένων ευτροφισμού (υπέρμετρη αύξηση της υδρόβιας και υδροχαρούς χλωρίδας) σε υδάτινους αποδέκτες.

Η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου επιτυγχάνεται ήδη σε έναν βαθμό κατά την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Όμως η αποτελεσματικότητά αυτών των σταδίων επεξεργασίας δεν μπορεί να θεωρηθεί πάντα επαρκής. Η έξοδος της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας μπορεί να περιέχει μέχρι και 20 mg/L άζωτο και 7 mg/L φώσφορο, οπότε απαιτούνται ειδικές διεργασίες και εξειδικευμένος εξοπλισμός για την απομάκρυνσή τους.

Η επιστημονική έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη βιολογικών μεθόδων απομάκρυνσης των θρεπτικών από τα υγρά απόβλητα εντατικοποιήθηκε κυρίως κατά την προηγούμενη δεκαετία. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι βιολογικές διεργασίες, οι οποίες αποσκοπούν στην ταυτόχρονη αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου εξακολουθούν, σε σημαντικό βαθμό, ακόμα και σήμερα να μην έχουν κατανοηθεί πλήρως από τους επιστήμονες. Έτσι, η λειτουργία και ο έλεγχος συστημάτων επεξεργασίας για την απομάκρυνση των θρεπτικών (και ιδιαίτερα του φωσφόρου) από τα υγρά απόβλητα, αποτελούν ζητήματα που επιδέχονται σαφή περιθώρια βελτίωσης στο μέλλον και αποτελούν σύγχρονα, πολύ ενδιαφέροντα επιστημονικά ερευνητικά πεδία στα οποία εργάζονται ερευνητές διαφόρων ειδικοτήτων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Νταρακάς Ε. Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ 2010.
2. Μαρκαντωνάτος Γρ. Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, Αθήνα 1990.
3. Λοϊζίδου Μ. Υγρά Απόβλητα, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ 2006.
4. Βλυσίδης Α. Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ 2006.
5. Λυμπεράτος Γ. και Βαγενάς Δ., Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, εκδόσεις Τζιόλα 2012.
6. Βαγενάς Δ. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων 2003.
7. Αυλωνίτης Σ. Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης, εκδόσεις Ίων 2006.
8. Κούγκολος Α. Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, εκδόσεις Τζιόλα 2007.
9. Αϊβαζίδης Αλ., Βιοτεχνολογικές Μέθοδοι Προστασίας Περιβάλλοντος, Τεχνικά Χρονικά, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2006.
10. Κρομμύδας Δ., Βιολογική Απομάκρυνση του Αζώτου από Υγρά Απόβλητα με Παράκαμψη της Παραγωγής Νιτρικών, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Βιολογίας, ΠΜΣ στις Επιστήμες Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών 2005.
11. Επεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
12. Ανδρεδάκη Ε., Απομάκρυνση οσμών υγρών αποβλήτων με χρήση βιολογικών φίλτρων, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης 2010.
13. Σκλήκας Σ., Μηχανολογικός Εξοπλισμός Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού, Πτυχιακή Εργασία ΤΕΙ Πειραιά 2012.

- 14] Αλεξάνδρου Γ., Μελέτες Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Σερρών.
- 15] Τσώνης Σ., Επεξεργασία Λυμάτων, εκδόσεις Παπασωτηρίου 2004.
- 16] [http://inten-synergy.org/23\\_1\\_09/OMILIES\\_ORESTIADA/MARIA\\_LOIZIDOU/MARIA\\_LOIZIDOU.pdf](http://inten-synergy.org/23_1_09/OMILIES_ORESTIADA/MARIA_LOIZIDOU/MARIA_LOIZIDOU.pdf)
- 17] [http://www.moh.gr/Default.aspx?a\\_id=10486](http://www.moh.gr/Default.aspx?a_id=10486)