



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΕΡΑ, ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ  
ΕΔΑΦΟΥΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ  
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

**ΜΑΤΣΟΥΚΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αλέξανδρος Οικονομόπουλος**

**Χανιά, 2003**

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	1
1.2 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	2
1.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	3

### **2. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	5
2.2 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	5
2.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	6
2.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά.....	6
2.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά.....	8
2.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	14
2.3.4 Τυπικές τιμές.....	16

### **3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

3.1 ΕΡΓΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	17
3.2 ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	18
3.2.1 Στάδια και διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων.....	18
3.2.2 Στάδια και διεργασίες επεξεργασίας ιλύος.....	22

### **4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

4.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	25
4.1.1 Αντλιοστάσιο ανύψωσης.....	25
4.1.2 Δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής.....	25
4.1.3 Μέτρηση της παροχής.....	26
4.1.4 Εσχάρωση.....	28
4.1.5 Εξάμμωση – Λιποσυλλογή.....	34

4.2 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ.....	43
 <b>5. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b>	
5.1 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ.....	54
5.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	59
5.2.1 Βιολογική απομάκρυνση οργανικού υποστρώματος.....	59
5.2.2 Βιολογική νιτροποίηση.....	70
5.2.3 Βιολογική απονιτροποίηση.....	73
5.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ.....	75
5.3.1 Βασικά στοιχεία σχεδιασμού και ελέγχου.....	76
5.3.2 Αερισμός.....	82
5.3.3 Δευτεροβάθμια καθίζηση.....	87
 <b>6. ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ</b>	
6.1 ΧΛΩΡΙΩΣΗ.....	94
6.2 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ ΟΖΟΝ.....	97
 <b>7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ</b>	
7.1 ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ.....	99
7.2 ΠΑΧΥΝΣΗ.....	101
7.1.1 Πάχυνση με βαρύτητα.....	101
7.1.2 Πάχυνση με μηχανικά μέσα.....	104
7.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ.....	104
7.3.1 Αερόβια Σταθεροποίηση.....	105
7.3.2 Αναερόβια Σταθεροποίηση.....	106
7.4 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ.....	111
7.4.1 Κλίνες ξήρανσης.....	111
7.4.2 Αφυδάτωση με μηχανικά μέσα.....	112
7.5 ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ.....	114

<b>8. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	
8.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	116
8.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	117
<b>9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ</b>	
9.1 ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ.....	125
9.1.1 Η ΕΕΛ Χανίων.....	127
9.1.2 Η ΕΕΛ Καλυβών του Δήμου Αρμένων.....	135
9.2 ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΗΣ.....	141
9.2.1 Η ΕΕΛ Ρεθύμνου.....	141
9.2.2 Η ΕΕΛ Πλακιά.....	148
9.2.3 Η ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.....	155
9.2.4 Η ΕΕΛ Περάματος.....	160
9.2.5 Η ΕΕΛ Πανόρμου.....	160
9.2.6 Η ΕΕΛ Μπαλίου.....	160
9.2.7 Οι ΕΕΛ Ανωγείων και Ζωνιανών.....	161
9.3 Η ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.....	161
<b>10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	
10.1 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	167
10.1.1 Σύγκριση πραγματικών τιμών με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	168
10.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΕΛ.....	172
10.2.1 ΕΕΛ Χανίων.....	172
10.2.2 ΕΕΛ Καλυβών.....	173
10.2.3 ΕΕΛ Ρεθύμνου.....	173
10.2.4 ΕΕΛ Πλακιά.....	174

10.2.5 ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.....	175
10.2.6 ΕΕΛ Κορίνθου.....	176
10.2.7 Ανακεφαλαίωση συμπερασμάτων για τις εξεταζόμενες ΕΕΛ..	180

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η αύξηση του πληθυσμού της γης σε συνδυασμό με την έντονη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών επέφεραν αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων υγρών αποβλήτων με αποτέλεσμα τη ρύπανση του περιβάλλοντος που δημιουργείται από την διάθεση των ανεπεξέργαστων αποβλήτων σε αυτό. Έτσι, προέκυψε η ανάγκη της συλλογής και της επεξεργασίας των αποβλήτων πριν την τελική διάθεσή τους είτε σε υδάτινους αποδέκτες είτε στη γη. Αποτέλεσμα των παραπάνω παραγόντων είναι η διαχείριση των υγρών αποβλήτων σήμερα να αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αφορούν τη μόλυνση των επιφανειακών νερών, τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και γενικότερα την προστασία του περιβάλλοντος. Η παρούσα νομοθεσία απαιτεί την εποπτεία της ποιότητας της εκροής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, πριν τη διάθεσή τους. Τα λύματα που προέρχονται από δήμους ή κοινότητες πρέπει να επεξεργάζονται επαρκώς πριν την επιστροφή τους στα επιφανειακά νερά ή τη γη.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2005 κάθε οικισμός με πληθυσμό μεγαλύτερο από 10000 κατοίκους είναι υποχρεωμένος να υποβάλλει τα λύματά του σε δευτεροβάθμια τουλάχιστον επεξεργασία. Επιπλέον, για τις πόλεις που βρίσκονται σε περισσότερο ευαίσθητες περιοχές προβλέπεται και τριτοβάθμια επεξεργασία, ενώ για τις πόλεις σε λιγότερο ευαίσθητες περιοχές με λιγότερους από 15000 κατοίκους, η πρωτοβάθμια επεξεργασία θεωρείται αρκετή. Στην Ελλάδα, ο ρυθμός κατασκευής και λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων αυξάνει συνεχώς και καθώς η φάση κατασκευής φαίνεται να ολοκληρώνεται ιδιαίτερα για τις μεγαλύτερες πόλεις – πολλές από τις οποίες βρίσκονται ήδη σε διαδικασίες επεκτάσεων, το ζητούμενο πλέον είναι η επιτυχής λειτουργία τους ώστε να τηρούν τα όρια των περιβαλλοντικών εγκρίσεων, η λειτουργία τους να είναι τεχνικοοικονομικά αποδοτικότερη, παράλληλα με τη δημιουργία των ελάχιστων περιβαλλοντικών οχλήσεων. Ένα

θέμα αυξανόμενου ενδιαφέροντος είναι η διάθεση των παραπροϊόντων όπως η παραγόμενη λάσπη αλλά και των ίδιων των εκροών με τον περιβαλλοντικά φιλικότερο τρόπο, που έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην έρευνα για την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος και των εκροών στη γεωργία.

Ο έλεγχος των εκροών απαιτεί την συνεχή παρακολούθηση των υπαρχόντων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Για την επίτευξη του σκοπού αυτού είναι απαραίτητη η γνώση του αριθμού, της θέσης καθώς και των μεθόδων επεξεργασίας των εγκαταστάσεων αυτών. Την προηγούμενη δεκαετία έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες προσπάθειες καταγραφής των ΕΕΛ στην Ελλάδα (εκ των οποίων η τελευταία πραγματοποιήθηκε το 1999 (Tsagarakis, 'The treatment of municipal wastewater in Greece'), οι οποίες όμως πρέπει να ανανεώνονται συνεχώς, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο αριθμός των ΕΕΛ αυξάνεται συνεχώς.

## **1. 2 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κάτω από αυτές τις συνθήκες η καταγραφή των δημοτικών και ιδιωτικών (σε ξενοδοχειακές μονάδες) εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στη Δυτική Κρήτη (Νομοί Χανίων και Ρεθύμνης) που πραγματοποιείται με την παρούσα εργασία έχει τους εξής στόχους:

- Την παρουσίαση της κατάστασης της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων στη Δυτική Κρήτη.
- Τον έλεγχο σωστής λειτουργίας και ποιότητας των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων στη Δυτική Κρήτη.
- Τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και την υποβολή προτάσεων.

Η παρούσα καταγραφή περιλαμβάνει όλες τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που λειτουργούν, τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο στάδιο της κατασκευής αλλά και εκείνες που βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού.

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν αναφέρονται στη Δυτική Κρήτη και περιλαμβάνουν τις δημοτικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

- σε ένα μικρό ποσοστό των οποίων εισέρχονται και βιομηχανικά απόβλητα – καθώς και τις ιδιωτικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων που λειτουργούν στις ξενοδοχειακές μονάδες της εξεταζόμενης περιοχής.

### 1.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

#### 1. Μεθοδολογία

Η μέθοδος που προτιμήθηκε για τη συλλογή των στοιχείων ήταν η πρόσωπο με πρόσωπο συνέντευξη των υπεύθυνων λειτουργίας των εγκαταστάσεων λόγω του όγκου των απαιτούμενων στοιχείων (ερωτηματολογίου). Για την περίπτωση των εγκαταστάσεων που βρίσκονται υπό κατασκευή αλλά και εκείνων που δεν λειτουργούν, η συλλογή των στοιχείων έγινε με τη βοήθεια του τμήματος Περιβάλλοντος της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης των νομού Χανίων καθώς και των αντίστοιχων Δημοτικών γραφείων του νομού Ρεθύμνης.

#### 2. Ερωτηματολόγιο

Το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε έτοιμες απαντήσεις με στόχο την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου για τη συνέντευξη χρόνου. Οι ερωτήσεις συνοψίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Διαχείριση
- Εταιρίες σχεδιασμού και κατασκευής
- Εκτάσεις γης
- Παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας
- Επεξεργασία αποβλήτων
- Επεξεργασία λάσπης
- Επεξεργασία βιοαερίου
- Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά εισροής και εκροής
- Τεχνικά χαρακτηριστικά
- Διάθεση εκροής και λάσπης
- Παράμετροι λειτουργίας (προσωπικό, ενέργεια, χημικά) και συντήρησης



- Κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης
- Προβλήματα λειτουργίας
- Λοιπά στοιχεία

### 3. Επεξεργασία των απαντήσεων

Μετά τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου και πριν την επεξεργασία των απαντήσεων με στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων, χρειάστηκε επιπλέον ανάλυση των συλλεχθέντων στοιχείων. Συγκεκριμένα η ανάλυση αυτή περιλάμβανε:

1. υπολογισμούς όταν τα δεδομένα δεν ήταν στην επιθυμητή μορφή
2. αποκλεισμός λανθασμένων ή μη πειστικών απαντήσεων
3. εκτίμηση των παρατηρήσεων και καταγραφή τους

## **2. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

### **2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Η κατάταξη των υγρών αποβλήτων γίνεται με βάση την προέλευσή τους και όχι με το περιεχόμενό τους. Έτσι ορίζονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες:

- (i) Αστικά απόβλητα, που προέρχονται από οικιακά συγκροτήματα, γραφεία, καταστήματα, σχολεία, ξενοδοχεία κλπ.
- (ii) Βιομηχανικά απόβλητα και απόβλητα βιοτεχνιών, που διοχετεύονται στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς (ή μετά από) μερική επεξεργασία.
- (iii) Επιφανειακά νερά απορροής, δηλαδή τα νερά της βροχής μαζί με τα προϊόντα έκπλυσης των δρόμων, που καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα.
- (iv) Νερά διήθησης-εισροής, που δέχεται το αποχετευτικό σύστημα λόγω της μη απόλυτης στεγανότητάς του (αρμοί αγωγών, σημεία με φθορές) και που προέρχονται από τον υδροφόρο ορίζοντα και τα νερά επιφανειακής απορροής. [1]

### **2.2 ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Ο σωστός υπολογισμός της ποσότητας των αποβλήτων που δέχεται μια εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων έχει μεγάλη σημασία τόσο στο σχεδιασμό και την κατασκευή της όσο και στη σωστή λειτουργία της. Ο προσδιορισμός των διαφόρων μεγεθών που αφορούν τον υπολογισμό της παροχής σχεδιασμού (αιχμές, διάρκεια αιχμών κλπ.) γίνεται είτε αναλυτικά είτε, συνηθέστερα με τη χρήση της βιβλιογραφίας, κάνοντας ορισμένες παραδοχές και απλοποιήσεις ως προς την κατανάλωση νερού και τις ποσότητες ρυπαντικού φορτίου που παράγονται.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η ποσότητα υγρών αποβλήτων που παράγεται ανά κάτοικο για τις οικιακές δραστηριότητές του υπολογίζεται κατά μέσο όρο στα 150 λίτρα ημερησίως για την Ελλάδα και την Ευρώπη, ενώ για την Αμερική η ποσότητα αυτή φτάνει τα 250 λίτρα. Οι τιμές αυτές περιγράφουν μια μάλλον συντηρητική προσέγγιση, καθώς η ποσότητα των

υγρών αποβλήτων που παράγεται από ένα άτομο εκτός οικίας ξεπερνά κατά πολύ τις παραπάνω τιμές. Για παράδειγμα κάθε ένοικος ξενοδοχειακού δωματίου με μπάνιο παράγει πάνω από 220-300 λίτρα ημερησίως ενώ κάθε νοσηλευόμενος νοσοκομείου παράγει καθημερινά 600 λίτρα.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανής η δυσκολία υπολογισμού της ποσότητας των αποβλήτων που θα διαχειριστεί μια μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων μιας περιοχής. Για το λόγο αυτό έχει οριστεί η έννοια του 'ισοδύναμου κάτοικου (i.k.)'. Έτσι, στην περίπτωση μιας πόλης 20000 κατοίκων πολύ συχνά θα αναφέρεται στη μελέτη σχεδιασμού ότι οι ισοδύναμοι κάτοικοι είναι για παράδειγμα 25000. Η εκτίμηση αυτή καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων όπως η εποχιακή αυξομείωση του πληθυσμού, τον αριθμό σχολείων, πανεπιστημίων και νοσοκομείων της περιοχής, την ύπαρξη βιομηχανιών και το ποσοστό του πληθυσμού που εργάζεται σε γραφεία ή σε άλλου είδους εργασίες.

## **2.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Η κατανόηση της σύνθεσης των υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για το σχεδιασμό και τη λειτουργία οποιουδήποτε συστήματος επεξεργασίας. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά στα συστατικά και χαρακτηριστικά των αποβλήτων που αποτελούν το κύριο πρόβλημα τόσο για το περιβάλλον όσο και για τη δημόσια υγεία.

Τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: α) φυσικά, β) χημικά και γ) βιολογικά.

### **2.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά**

Τα σημαντικότερα φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι τα στερεά που περιέχουν, η θερμοκρασία, το χρώμα και η οσμή.

### (i) Στερεά

Τα ολικά στερεά (Total solids - TS) βρίσκονται διαλυμένα ή αιωρούμενα στη μάζα των αποβλήτων. Τα διαλυμένα στερεά (Dissolved solids - DS) αφορούν τη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και ορίζονται σαν τα στερεά δείγματος που περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο. Τα στερεά του δείγματος που συγκρατούνται στο φίλτρο ορίζονται σαν τα αιωρούμενα στερεά (Suspended solids – SS). Όλες οι παραπάνω κατηγορίες στερεών αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά. Κατά τη θέρμανση δείγματος στους 600 °C τα οργανικά συστατικά εξαερώνονται (εξαερώσιμα στερεά, Volatile solids – VSS) ενώ τα αδρανή μένουν σαν στάχτη (μη εξαερώσιμα στερεά, Non Volatile Solids – nVSS).

Από άποψη ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος μεγάλη σημασία έχουν τα SS, γιατί κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο φορέα συσσωρεύονται στον πυθμένα δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα. Τα DS προκαλούν τη θολότητα του αποδέκτη.

### (ii) Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του πόσιμου νερού λόγω προσθήκης ενέργειας από τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικροοργανισμών, την επιτάχυνση βιολογικών διεργασιών, τη μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στη μάζα των αποβλήτων και την επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων. Έτσι στα διάφορα στάδια επεξεργασίας η υψηλή θερμοκρασία είναι ευεργετική σε πολλές διεργασίες (καθίζηση, βιολογική επεξεργασία, απολύμανση κλπ.) αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα (μειωμένη διαλυτότητα οξυγόνου στον αερισμό).

Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος, η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα και γενικά επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα του φορέα προκαλώντας το θάνατο μικροοργανισμών και την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών.

### (iii) Χρώμα

Το χρώμα συνδέεται άμεσα με την ηλικία και την προέλευση των αποβλήτων. Απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν γκρίζο χρώμα, ενώ εκείνα που έχουν υποστεί σήψη έχουν μαύρο χρώμα. Η αλλαγή του χρώματος οφείλεται στην κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που διασπούν τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων.

### (iv) Οσμή

Οι οσμές στα απόβλητα συνήθως προκαλούνται από αέρια που προέρχονται από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης ή από ουσίες που προστίθενται στο νερό. Τα απόβλητα που έχουν υποστεί σήψη έχουν πολύ ενοχλητική οσμή λόγω της έκλυσης υδρόθειου.

## 2.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά

Τα σημαντικότερα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων είναι τα οργανικά συστατικά, τα ανόργανα συστατικά και τα αέρια.

### 1. Οργανικά συστατικά

Όταν οι οργανικές ουσίες διοχετεύονται σε έναν υδάτινο φορέα, οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα τις χρησιμοποιούν σαν τροφές, καταναλώνοντας συγχρόνως το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας είναι η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα. Εκτός από το πρόβλημα αυτό, παρατηρείται ένα επιφανειακό αντιαισθητικό στρώμα από τα λιπίδια, η δημιουργία αφρών και ο άμεσος θάνατος οργανισμών από τις τοξικές ουσίες.

Οι κυριότερες κατηγορίες οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα απόβλητα είναι:

- (i) Πρωτεΐνες (40–60%). Περιέχονται τόσο στα αστικά όσο και στα βιομηχανικά απόβλητα. Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις αποτελούμενες κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, και άζωτο (σε ποσοστό 16%) που αποσυντίθενται εύκολα από τους μικροοργανισμούς. Όταν περιέχονται σε μεγάλες ποσότητες στα απόβλητα προκαλούνται έντονες δυσοσμίες λόγω της αποσύνθεσής τους.
- (ii) Υδρογονάνθρακες (25-50%). Περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, και οξυγόνο. Ορισμένοι (ζάχαρες) διασπώνται εύκολα από μικροοργανισμούς ενώ άλλοι (άμυλο) δυσκολότερα.
- (iii) Λιπίδια (10%). Περιέχονται στα αστικά απόβλητα αφού αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου, αλλά και στα νερά επιφανειακής απορροής από την έκπλυση των δρόμων (λάδια, πετρέλαια κλπ.).
- (iv) Επιφανειακά ενεργές ουσίες. Περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, των σαπουνιών κλπ. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού – αέρα δημιουργώντας αφρούς. Ορισμένες δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς, ενώ άλλες είναι παράλληλα και τοξικές.
- (v) Φαινόλες. Περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα. Δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις (500 mg/l).
- (vi) Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα. Είναι τοξικές ενώσεις επικίνδυνες για όλες τις μορφές ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα με τις απορροές γεωργικών περιοχών.

## 2. Μέτρηση οργανικού φορτίου

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του οργανικού φορτίου στα απόβλητα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παράμετροι:

### (i) Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες. Η παραπάνω διαδικασία είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά (οξείδωση σε τελικά προϊόντα 95-99%) σε 20 ημέρες, οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD. Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD<sub>5</sub>) μέσα στις οποίες οξειδώνονται απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν το 60-70% των συνολικών οργανικών ουσιών. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι το BOD μετράει, εκτός από το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση της οργανικής ουσίας, και το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση των ανόργανων υλικών όπως είναι οι θειικές ενώσεις.

### (ii) Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)

Με το COD υπολογίζεται η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας μετρώντας την ισότιμη ποσότητα οξυγόνου με αυτή της οργανικής ουσίας που οξειδώνεται με τη χρήση ισχυρού οξειδωτικού μέσου σε όξινες συνθήκες. Συνήθως η τιμή του COD είναι μεγαλύτερη από αυτή του BOD καθώς όλα τα οργανικά μόρια οξειδώνονται χημικά.

### (iii) Συνολικά απαιτούμενο οξυγόνο (Total Oxygen Demand – TOD)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών (και ορισμένων ανόργανων) ουσιών σε τελικά σταθερά προϊόντα σε θερμοκρασία 900 °C και με παρουσία καταλύτη (Pt).

(iv) Θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (Theoretical Oxygen Demand – ThOD)

Είναι το οξυγόνο που απαιτείται θεωρητικά για την οξείδωση κάποιας οργανικής ουσίας.

(v) Ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon – TOC)

Εκτός από το οξυγόνο χρησιμοποιείται και ο άνθρακας σαν μέτρο των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου, αφού είναι το κύριο συστατικό τους και η βασική πηγή απαίτησης οξυγόνου. Ο άνθρακας εκφράζεται με τις παραμέτρους TOC και ThOC που είναι το αντίστοιχο του ThOD αλλά με βάση τον άνθρακα. Το TOC βασίζεται στη μέτρηση του CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά την πλήρη οξείδωση του άνθρακα των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία και με παρουσία καταλύτη.

### 3. Ανόργανα συστατικά

(i) Άζωτο (N) και φώσφορος (P).

Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των ζώντων οργανισμών. Για αυτό και είναι απαραίτητα για τη βιολογική επεξεργασία η ύπαρξη μιας ελάχιστης τουλάχιστον ποσότητας και από τα δύο αυτά στοιχεία. Έλλειψη αυτής της ελάχιστης συγκέντρωσης μπορεί να προκαλέσει την ανάγκη ακόμα και προσθήκης τους ως μέρος της διαδικασίας επεξεργασίας. Από την άλλη φαινόμενα όπως αυτό του ευτροφισμού καθιστούν τη μέτρηση της συγκεντρώσεως των δύο στοιχείων απαραίτητη μια και αποτελεί σημαντική παράμετρο της ποιότητας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τέλος καθώς η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων κυρίως στη γεωργία έχει αυξηθεί υπάρχει η σκέψη αποφυγής μείωσης της συγκέντρωσης αζώτου και φωσφόρου σε απόβλητα που θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για άρδευση καλλιεργειών αντικαθιστώντας μερικώς τη χημική ρύπανση.



Το άζωτο συναντάται στα απόβλητα με τη μορφή οργανικού αζώτου (πρωτεΐνες, ουρία και αμινοξέα) και αμμωνιακού αζώτου (άλατα  $\text{NH}_4^+$  ή  $\text{NH}_3$ ).

Ο φώσφορος περιέχεται στα απόβλητα με τη μορφή ανόργανου P σαν ορθοφωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ ) και λιγότερο σαν πολυφωσφορικά ( $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ) και σαν οργανικός P σε μικρότερες ποσότητες απ' ότι ο ανόργανος P.

#### (ii) pH

Το pH είναι εξαιρετικά σημαντική παράμετρος των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών στο υδάτινο περιβάλλον αλλά και στην επεξεργασία των αποβλήτων. Ακραίες τιμές του έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στη διαδικασία διάσπασης των αποβλήτων αλλά και τη φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού και των αγωγών (διάβρωση). Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν ορισμένες τιμές pH για τη βέλτιστη απόδοσή τους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχός του τόσο στο σχεδιασμό όσο και για την ομαλή λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας.

#### (iii) Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα είναι σημαντική παράμετρος των αποβλήτων γιατί ρυθμίζει το pH και κατά συνέπεια επηρεάζει τις διάφορες διεργασίες επεξεργασίας.

#### (iv) Χλωριούχα

Περιέχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απόβλητα αλλά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Η παρουσία τους στα απόβλητα προκαλεί μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου και επηρεάζει τον προσδιορισμό του COD.

#### (v) Ενώσεις θείου

Το θείο είναι βασικό συστατικό των ζώντων οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα σε διάφορες μορφές, εκ των οποίων η σημαντικότερη είναι το  $\text{SO}_4^{2-}$  λόγω της αναγωγής του σε  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Η παρουσία  $\text{H}_2\text{S}$  στα απόβλητα έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση δυσάρεστων οσμών αλλά και την καταστροφή της διάταξης καύσης του παραγόμενου αερίου κατά τη αναερόβια χώνευση λάσπης λόγω της διαβρωτικής του ικανότητας. Το κύριο πρόβλημα της παρουσίας του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  είναι η διάβρωση που προκαλεί στους αγωγούς αποχέτευσης.

#### (vi) Τοξικά συστατικά – Βαρέα μέταλλα

Καταλήγουν στα απόβλητα κυρίως από βιομηχανική δραστηριότητα και πολύ λιγότερο από οικιακή χρήση. Τα βαρέα μέταλλα είναι απαραίτητα σε μικρές ποσότητες για την ανάπτυξη της πλειονότητας των οργανισμών. Σε μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις γίνονται τοξικά για διάφορους οργανισμούς. Η διοχέτευση τοξικών ουσιών σε ένα υδάτινο φορέα ή σε κάποια βιολογική διεργασία επεξεργασίας, επιφέρει το θάνατο πολλών οργανισμών με τις ανάλογες συνέπειες.

### 4. Αέρια

Εκτός από τα αέρια που αναφέρθηκαν παραπάνω ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  και  $\text{H}_2\text{S}$ ) στα απόβλητα περιέχονται και  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$  από τα οποία σημαντικότερο ρόλο παρουσιάζει το  $\text{O}_2$  και ακολουθεί το μεθάνιο.

#### (i) Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen – DO)

Είναι το πιο σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό ενός υδάτινου φορέα, καθώς η παρουσία του εξασφαλίζει την ύπαρξη ζωής σε αυτόν. Γι αυτό το λόγο αποτελεί βασική παράμετρο ελέγχου ρύπανσης των υδάτινων φορέων. Έχει μικρή διαλυτότητα στο νερό που μειώνεται σημαντικά με την άνοδο της θερμοκρασίας, την μείωση της καθαρότητας του και την μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το διαλυμένο οξυγόνο στην επεξεργασία των αποβλήτων είναι απαραίτητο για τις αερόβιες βιολογικές διαδικασίες για την

οξειδωση των οργανικών ενώσεων από τους μικροοργανισμούς και διατηρείται στα απαραίτητα για κάθε διαδικασία επίπεδα με ειδικές διατάξεις αερισμού ή φυσικές διαδικασίες. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το DO είναι βασική παράμετρος σχεδιασμού των παραπάνω διαδικασιών αλλά και παράμετρος ελέγχου λειτουργίας τους.

#### (ii) Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ )

Το μεθάνιο δεν περιέχεται στα απόβλητα γιατί η παρουσία οξυγόνου δεν επιτρέπει το σχηματισμό του. Παράγεται όμως στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας από την αναερόβια χώνευση της λάσπης και γίνεται εκμετάλλευσή του για την παραγωγή ενέργειας, λόγω του μεγάλου ποσού ενέργειας που παράγεται από την καύση του. Επειδή είναι εύφλεκτο αέριο, υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης στους αγωγούς αποχέτευσης και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

### 2.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά

#### 1. Μικροοργανισμοί

Το σημαντικότερο βιολογικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων είναι οι μικροοργανισμοί. Οι κυριότερες κατηγορίες μικροοργανισμών που συναντώνται στα υγρά απόβλητα είναι τα βακτηρίδια, οι μύκητες και οι ιοί, των οποίων η δράση αναλύεται παρακάτω. Εκτός αυτών στα απόβλητα συναντώνται και πρωτόζωα και άλγη.

#### (i) Βακτήρια

Η δράση και η σημασία τους στην επεξεργασία των αποβλήτων είναι πολύ σημαντική. Η πλειονότητα των διεργασιών οφείλεται στη δράση τους, την ποικιλομορφία τους και την ικανότητά τους να αναπτύσσονται με γεωμετρικούς ρυθμούς όταν υπάρχει επαρκής τροφή και τα απαραίτητα θρεπτικά.

## (ii) Μύκητες

Η δραστηριότητά τους είναι εξίσου σημαντική για τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων με αυτή των βακτηρίων. Είναι κυρίως σαπροφυτικοί οργανισμοί οι οποίοι καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες και αναπτύσσονται ακόμα και σε περιοχές μειωμένης υγρασίας, χαμηλού pH και μικρών συγκεντρώσεων θρεπτικών. Γενικά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ μυκήτων και βακτηρίων με τους μύκητες να ακολουθούν χρονικά την ανάπτυξη των βακτηρίων αλλά να κυριαρχούν μακροπρόθεσμα.

## (iii) Ιοί

Είναι σωματίδια – παράσιτα που δραστηριοποιούνται μόνο όταν προσκολληθούν σε κάποιο ζωντανό φορέα, τον οποίο μολύνουν και χρησιμοποιούν για να αναπαραχθούν. Η δραστηριότητά τους δεν έχει καμία επίδραση στην επεξεργασία των αποβλήτων, αποτελούν όμως μια ομάδα παθογόνων μεγάλης σημασίας για την υγεία των ζώντων οργανισμών και για αυτό η απομάκρυνσή τους από τα απόβλητα είναι απαραίτητη.

## 2. Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί περιέχονται στα αστικά απόβλητα σαν προϊόντα αποβολών ασθενών ή φορέων ασθενειών και μπορούν να μεταφέρουν και να προκαλέσουν ασθένειες μέσω του νερού στον άνθρωπο, όπως χολέρα, δυσεντερία, τυφοειδή πυρετό, ηπατίτιδα κλπ.

Στον πίνακα 2-1 συνοψίζονται οι σημαντικότεροι ρυπαντές των υγρών αποβλήτων καθώς και οι λόγοι απομάκρυνσής τους από τη μάζα των αποβλήτων.

**Πίνακας 2-1:** Σημαντικότεροι ρυπαντές των αστικών αποβλήτων και λόγοι απομάκρυνσής τους.

Ρυπαντές	Σημασία
Αιωρούμενα στερεά (SS)	Δημιουργία αποθέσεων λάσπης και αναερόβιων συνθηκών
Βιοαποδομήσιμες οργανικές ουσίες	Μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και δημιουργία σηπτικών συνθηκών
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Εξάπλωση ασθενειών
Θρεπτικά συστατικά	Ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών για τον υδάτινο φορέα
Βαριά μέταλλα	Σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιφέρουν θάνατο κάποιων οργανισμών λόγω τοξικότητας
Διαλυμένα ανόργανα στερεά	Απαραίτητη η απομάκρυνσή τους όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση

#### 2.3.4 Τυπικές τιμές

Στον πίνακα 2-2 παρουσιάζονται τυπικές τιμές συγκεντρώσεων (σε mg/l) των κυριότερων ρυπαντών [6].

**Πίνακας 2-2:** Τυπικές τιμές συγκεντρώσεων ρυπαντών [6].

Παράμετρος	Συγκέντρωση	Συγκέντρωση
	Όρια	Μέση τιμή
BOD <sub>5</sub>	110 – 400	220
SS	100 - 350	220
Ολικό – N	20 - 85	40
Ολικός - P	4 - 15	8

Στις διάφορες ΕΕΛ στην Ελλάδα έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις με μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ τους οι οποίες οφείλονται κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες:

- (1) Στην παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων ή βοθρολυμάτων
- (2) Στην παρουσία εισροών στο αποχετευτικό δίκτυο, που σε αρκετές περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

### **3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

#### **3.1 ΕΡΓΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Το σύστημα αποχέτευσεως περιλαμβάνει το σύνολο των έργων και εγκαταστάσεων για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση των υγρών αποβλήτων από τα σημεία παραγωγής τους μέχρι τον τελικό αποδέκτη.

Τα έργα αποχέτευσης και επεξεργασίας αποβλήτων έχουν σκοπό την όσο το δυνατό γρηγορότερη και οικονομικότερη απομάκρυνση και επεξεργασία τους, ώστε να διατεθούν ακίνδυνα πλέον στο περιβάλλον.

Το ολοκληρωμένο σύστημα αποχέτευσης και επεξεργασίας αποβλήτων μιας περιοχής αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- (i) Σύστημα αποχέτευσης όμβριων και ακαθάρτων για τη συλλογή των αποβλήτων, που διακρίνεται σε:
  - α) 'Χωριστικό' σύστημα, στο οποίο υπάρχουν δυο ανεξάρτητα δίκτυα, ένα για τα όμβρια και ένα για τα ακάθαρτα νερά.
  - β) 'Παντορροϊκό' σύστημα, όπου υπάρχει κοινό δίκτυο όμβριων και ακαθάρτων
  - γ) 'Μικτό' σύστημα, όπου μέρος της αποχετευόμενης περιοχής εξυπηρετείται με χωριστικό και μέρος με παντορροϊκό.
- (ii) Εγκατάσταση επεξεργασίας για τον επιθυμητό βαθμό καθαρισμού των αποβλήτων
- (iii) Έργα μεταφοράς και διάθεσης των καθαρισμένων αποβλήτων στον τελικό αποδέκτη
- (iv) Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας κατοικημένων περιοχών, από τα όμβρια γειτονικών λεκανών απορροής.

### 3.2 ΓΡΑΜΜΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι γραμμές επεξεργασίας στα κέντρα επεξεργασίας αποβλήτων είναι δυο. Η πρώτη αφορά την επεξεργασία των αποβλήτων και η δεύτερη την επεξεργασία της λάσπης. Ειδικότερα στην πρώτη γραμμή απομακρύνονται από την υγρή μάζα όλες οι επιβλαβείς για τον τελικό αποδέκτη ουσίες, ενώ στη δεύτερη επεξεργάζονται αυτές οι ουσίες και διατίθενται στο περιβάλλον.

Η διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων αποτελείται από μια σειρά από διάφορα στάδια. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες. Οι φυσικές – μηχανικές διεργασίες περιλαμβάνουν εσχάρωση, μίξη, καθίζηση, αιώρηση, φιλτράρισμα και μεταφορά αερίων, στις χημικές απορρόφηση, κροκίδωση και απολύμανση και στις βιολογικές αερόβιες ή αναερόβιες διαδικασίες.

Πριν την αναλυτική παρουσίαση της κάθε διαδικασίας ξεχωριστά, παρακάτω γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα στάδια και των δυο γραμμών επεξεργασίας.

#### 3.2.1 Στάδια και διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων

##### 1. Προεπεξεργασία

Στόχος της προεπεξεργασίας είναι η προστασία των επόμενων διεργασιών καθώς και η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους.

Στην προεπεξεργασία χρησιμοποιούνται οι επόμενες μέθοδοι:

- (i) Εσχάρωση: απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων
- (ii) Άλεση / πολτοποίηση: τεμαχισμός ογκωδών αντικειμένων σε στερεά μικρότερου μεγέθους

- (iii) Εξάμμωση: απομάκρυνση άμμου και σωματιδίων μεγαλύτερων των 200 μ
- (iv) Λιποσυλλογή: απομάκρυνση ελαίου και λιπών
- (v) Εξισορρόπηση παροχής: Εξασφαλίζει ομοιόμορφη φόρτιση των επόμενων σταδίων.

## 2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία ως πρωτοβάθμια επεξεργασία κρίνεται αυτή που επιτυγχάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών κατά τουλάχιστον 50% της ποσότητας των εισερχόμενων δειγμάτων και την τιμή του BOD κατά τουλάχιστον 20%.

Στόχος της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών αλλά και των κολλοειδών στερεών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο στάδιο αυτό είναι:

- (i) Καθίζηση: απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων 0,1 – 0,001 mm
- (ii) Επίπλευση: απομάκρυνση ελαφρών στερεών.
- (iii) Χημική επεξεργασία και καθίζηση: απομάκρυνση αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση.

## 3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Στόχος της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων με βιολογικές κυρίως διαδικασίες. Η βιολογική επεξεργασία γίνεται με διάφορες μεθόδους που χωρίζονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με το αν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση στα απόβλητα (ενεργός ιλύς, λίμνες) ή προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι). Παρακάτω αναπτύσσεται μόνο το σύστημα ενεργού ιλύος, καθώς οι μονάδες που επισκεφτήκαμε



χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα, το οποίο είναι και το πιο διαδεδομένο στην Ελλάδα.

- (i) Σύστημα ενεργού ιλύος: περιλαμβάνει αερισμό για την οξείδωση των οργανικών ουσιών και καθίζηση για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών (δευτεροβάθμια λάσπη).
- (ii) Λίμνες: είναι αερόβιες ή αναερόβιες λίμνες για την κατανάλωση των οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς και στη συνέχεια ακολουθεί καθίζηση των μικροοργανισμών είτε στις ίδιες τις λίμνες είτε σε ξεχωριστές μονάδες καθίζησης (λίμνες ή δεξαμενές) και απομάκρυνσης (σχάρες, φίλτρα).
- (iii) Βιολογικά φίλτρα – Βιολογικοί δίσκοι: το βιολογικό φίλτρο περιλαμβάνει κλίνη με διηθητικό μέσο πάνω στην επιφάνεια του οποίου προσκολλούνται οι μικροοργανισμοί και καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων που ρέουν μέσα στο φίλτρο χρησιμοποιώντας οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών που αποκολλούνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου και παρασύρονται από τα απόβλητα. Οι βιολογικοί δίσκοι λειτουργούν με ανάλογο τρόπο, όπου οι μικροοργανισμοί βρίσκονται προσκολλημένοι πάνω σε επίπεδες επιφάνειες (δίσκους) που περιστρέφονται μέσα στη μάζα των αποβλήτων σε ειδικές δεξαμενές.

#### 4. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Στόχος της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση όλων εκείνων των μολυντών που διαφεύγουν από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Σε αυτή την επεξεργασία εντάσσονται οι παρακάτω διεργασίες:

- (i) Εκρόφηση: απομάκρυνση αμμωνίας
- (ii) Διήθηση: απομάκρυνση των TS
- (iii) Ηλεκτροδιάλυση: απομάκρυνση των DS

- (iv) Αντίστροφη όσμωση: απομάκρυνση των DS
- (v) Ιονανταλλαγή: απομάκρυνση νιτρικών και αμμωνίας
- (vi) Χημική επεξεργασία – καθίζηση: απομάκρυνση φωσφόρου
- (vii) Ενεργός άνθρακας: απομάκρυνση διαλυμένων οργανικών ουσιών, χλωρίου και βαρέων μετάλλων
- (viii) Νιτροποίηση – απονιτροποίηση: απομάκρυνση ενώσεων αζώτου.

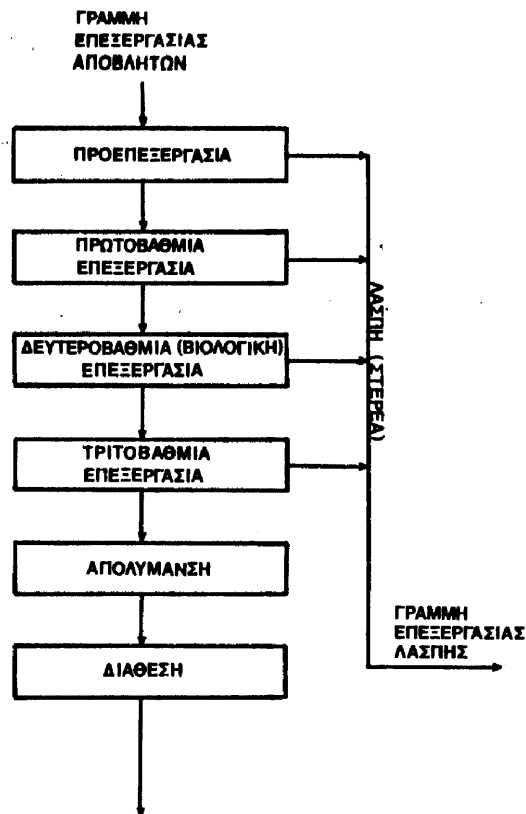
## 5. Απολύμανση

Στόχος της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων για την αποφυγή της μετάδοσης ασθενειών μέσω του αποδέκτη. Η απολύμανση γίνεται με χρήση χημικών ουσιών, όπως είναι το χλώριο, το όζον, το βρώμιο και το διοξείδιο του χλωρίου αλλά και με φυσικά μέσα, όπως η θερμότητα και η ακτινοβολία.

## 6. Διάθεση

Η τελική διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων γίνεται σε κάποιο υδάτινο φορέα ή στο έδαφος, επιφανειακά ή υπεδάφια και πέρα από την απλή διάθεσή τους μπορεί να αποσκοπεί και στην επαναχρησιμοποίησή τους συνήθως για άρδευση.

Μια τυπική γραμμή επεξεργασίας αποβλήτων όπως αυτή που θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια φαίνεται στο σχήμα 3-1.



Σχήμα 3-1: Στάδια επεξεργασίας αποβλήτων [5].

### 3.2.2 Στάδια και διεργασίες επεξεργασίας ιλύος

#### 1. Πύκνωση

Σκοπός της πύκνωσης είναι τόσο η μείωση του όγκου της λάσπης απομακρύνοντας μέρος του νερού που περιέχει όσο και η βελτίωση των χαρακτηριστικών της. Η πύκνωση της λάσπης επιτυγχάνεται με βαρύτητα, με επίπλευση με αέρα ή με μηχανικά μέσα.

#### 2. Σταθεροποίηση

Σκοπός της σταθεροποίησης είναι η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών αλλά και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει

σηπτική. Επίσης επιτυγχάνεται μείωση των στερεών. Οι κυριότερες μέθοδοι σταθεροποίησης είναι η αναερόβια και η αερόβια χώνευση.

### 3. Βελτίωση

Η βελτίωση της λάσπης αποσκοπεί κυρίως στην ευκολότερη αφυδάτωση και συνήθως γίνεται με προσθήκη χημικών ή με θερμική επεξεργασία.

### 4. Αφυδάτωση και ξήρανση

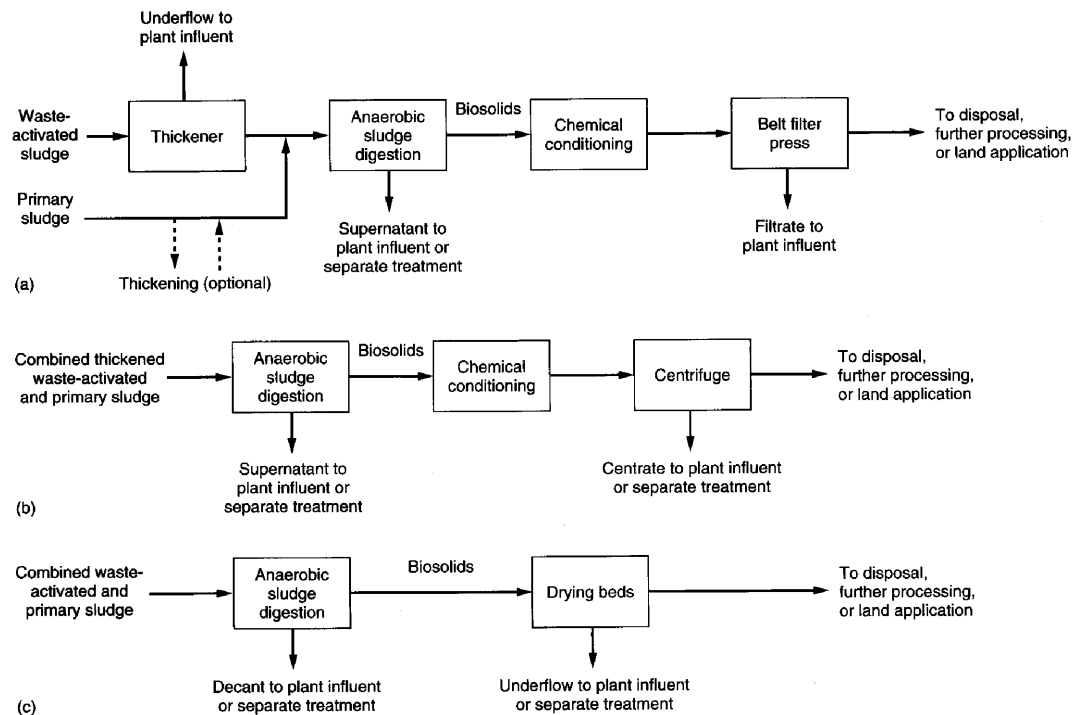
Η αφυδάτωση και η ξήρανση είναι φυσικές διαδικασίες για την ελάττωση της υγρασίας, ώστε η λάσπη να καταστεί σε ημι-στερεή μορφή και να διευκολυνθεί η μεταφορά και διάθεσή της. Η αφυδάτωση γίνεται σε κλίνες ή λίμνες ξήρανσης ή με τη χρήση φίλτρων ή φυγοκέντρωσης.

### 5. Διάθεση

Οι τελικοί αποδέκτες της λάσπης είναι συνήθως το έδαφος ή η θάλασσα. Η διάθεση στο έδαφος γίνεται με ταφή, συνήθως σε χώρους ταφής απορριμμάτων, ή με διασπορά στο έδαφος με χρησιμοποίησή της σαν λίπασμα. Επίσης μπορεί να διατεθεί στον αέρα σαν αέριο από καύση ή για την παραγωγή ενέργειας.

Από τις διεργασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω θα παρουσιαστούν οι πιο σημαντικές και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες στην επεξεργασία της γραμμής των υγρών αποβλήτων αλλά και της λάσπης.

Στο σχήμα 3-2 φαίνονται τρεις διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις για την επεξεργασία της ιλύος.



**Σχήμα 3 - 2:** Τυπικά διαγράμματα ροής της ιλύος με βιολογική σταθεροποίηση και τρεις διαφορετικές διεργασίες αφυδάτωσης (α) με φίλτρα πίεσης, (β) με φυγοκέντρηση, (γ) με κλίνες ξήρανσης [1].

Στα κεφάλαια 4-6 περιγράφονται αναλυτικά οι πιο συνηθισμένες μονάδες επεξεργασίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων ενώ στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μέθοδοι επεξεργασίας της παραγόμενης ιλύος.

## 4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 4.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι η προστασία των επόμενων διαδικασιών επεξεργασίας και η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Περιλαμβάνει την απομάκρυνση των σχετικά μεγάλου μεγέθους στερεών των αποβλήτων και την εξισορρόπηση της παροχής των αποβλήτων. Η απομάκρυνση των στερεών αυτών γίνεται με εσχάρωση, άλεση, εξάμμωση και λιποσυλλογή.

#### 4.1.1 Αντλιοστάσιο ανύψωσης

Το αντλιοστάσιο ανύψωσης χρειάζεται όταν τα απόβλητα φτάνουν σε χαμηλότερο υψόμετρο από τη μονάδα επεξεργασίας τους και είναι απαραίτητη η ανύψωσή τους, ώστε στα επόμενα στάδια επεξεργασίας η ροή να γίνεται με βαρύτητα. Πριν την άντληση είναι χρήσιμο τα απόβλητα να διέρχονται από χοντρή σχάρα για τη συγκράτηση μεγάλων αντικειμένων (μέταλλα, ξύλα, πλαστικά) που μπορεί να φράξουν ή να βουλώσουν τις αντλίες. Οι αντλίες ανύψωσης είναι συνήθως υποβρύχιες, τύπου μονοκάναλες ή με κοπτήρες (τεμαχιστές). Ο τεμαχισμός γίνεται με ειδική διαμόρφωση της φτερωτής και του κελύφους και βοηθά στην πρόληψη βουλωμάτων στις αντλίες, στις βάνες ή τις βαλβίδες αντεπιστροφής. Η ελάχιστη παροχή των αντλιών ανύψωσης πρέπει να υπερκαλύπτει τη συνολική μέγιστη παροχή που εισέρχεται στο αντλιοστάσιο ανύψωσης από τους αποχετευτικούς αγωγούς και να υπάρχει και απαραίτητη εφεδρεία [9].

#### 4.1.2 Δεξαμενή εξισορρόπησης παροχής

Η δεξαμενή εξισορρόπησης της παροχής χρησιμοποιείται σαν προεπεξεργασία αντί του αντλιοστασίου ανύψωσης στις εξής περιπτώσεις:

- (i) όταν η στιγμιαία παροχή είναι πολύ μεγάλη,
- (ii) όταν η μονάδα δέχεται και άλλα είδη αποβλήτων εκτός από τα αστικά,
- (iii) όταν πριν την επεξεργασία απαιτείται ανάμιξη και ομογενοποίηση.

Ειδικότερα, η εξισορρόπηση ροής είναι χρήσιμη στις παρακάτω περιπτώσεις:

- (i) Όταν τα απόβλητα προέρχονται από διάφορα αντλιοστάσια σε ακανόνιστες παροχές, που στιγμιαία είναι πολύ μεγάλες και θα μπορούσαν να δημιουργήσουν υδραυλικό σοκ στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.
- (ii) Όταν υπάρχουν διαφορετικές ποιότητες αποβλήτων, που η ανάμιξή τους βοηθά την ομογενοποίηση της ποιότητας και την καλύτερη επεξεργασία τους.

Η εξισορρόπηση προϋποθέτει καλή ανάμιξη για ομογενοποίηση και να διατηρούνται σε αιώρηση τα αιωρούμενα στερεά των αποβλήτων. Η ανάμιξη συνήθως γίνεται με αερισμό (επαρκεί 0,5-1,0 m<sup>3</sup>αέρα / m<sup>3</sup> δεξαμενής). Η εξισορρόπηση της ροής γίνεται με δυο αντλίες, από τις οποίες η μια είναι συνήθως εφεδρική, με παροχή περίπου 1/20 της μέσης ημερήσιας παροχής. Ο ωφέλιμος όγκος της εξισορρόπησης ροής πρέπει να καλύπτει τις ώρες αιχμής [9].

#### 4.1.3 Μέτρηση της παροχής

Η παρακολούθηση της ημερήσιας παροχής καθώς και της ημερήσιας και εποχιακής διακύμανσής της αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέτρο ελέγχου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται:

- (i) η πραγματοποίηση των όποιων απαραίτητων αλλαγών στους χρόνους αερισμού και στα ποσοστά επανακυκλοφορίας για την επίτευξη της βέλτιστης κατανάλωσης ενέργειας,
- (ii) ο έλεγχος υποφόρτισης ή υπερφόρτισης της μονάδας,
- (iii) η ρύθμιση της λειτουργίας των δοσομετρητών χλωρίου ή υποχλωριώδους νατρίου αναλογικά για τον βέλτιστο βαθμό απολύμανσης και για οικονομία απολυμαντικών.

Η μέτρηση της παροχής πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένο ανοιχτό κανάλι ορθογωνικής ή παραβολικής διατομής ή διώρυγα τύπου Parshall (σχήμα 4-1). Ένας υπερηχητικός μετρητής στάθμης τοποθετείται στο πάνω

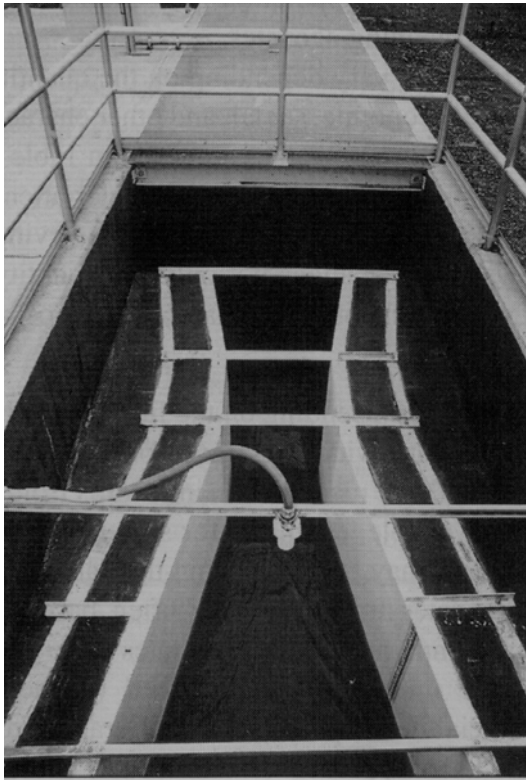
μέρος του καναλιού ώστε να παρατηρεί κάθετα τη ροή των λυμάτων και δίνει ένα αναλογικό σήμα το οποίο με τη βοήθεια του μετατροπέα γίνεται ένδειξη της στιγμιαίας παροχής. Το σύστημα αυτό δίνει πολύ καλά αποτελέσματα, με σφάλμα μέχρι 2% περίπου.

Για τον υπολογισμό της συνολικής παροχής που έχει περάσει στη μονάδα για ορισμένο χρόνο (λεπτά, ώρες ή μέρες) γίνεται ολοκλήρωση στο χαρτί του καταγραφικού και υπολογίζεται αθροιστικά η παροχή για το χρονικό διάστημα που ενδιαφερόμαστε. Για τις αθροιστικές τιμές υπάρχουν όμως και ψηφιακοί μετρητές που δίνουν αθροιστικές τιμές.

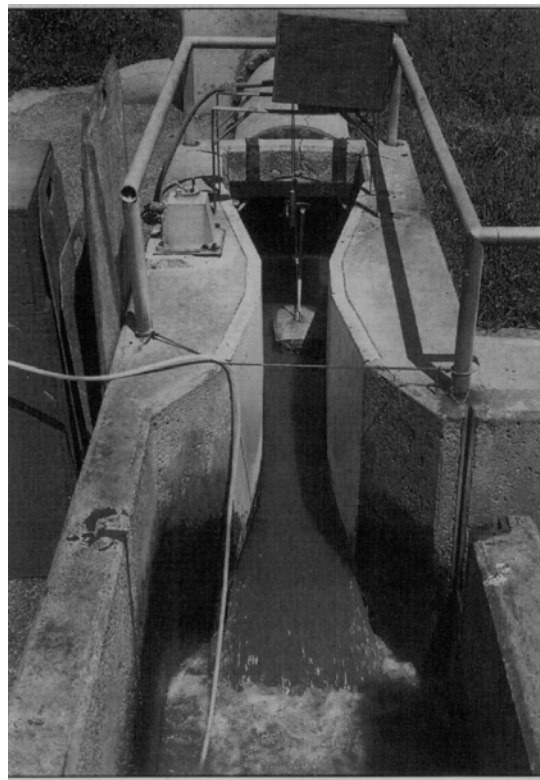
Η μέτρηση της παροχής μπορεί να γίνει και με τη βοήθεια του αντλιοστασίου ανύψωσης ή της εξισορρόπησης της ροής. Ο τρόπος αυτός είναι έμμεσος, αλλά αρκετά απλός. Σε κάθε αντλία του αντλιοστασίου τοποθετείται ένας ωρομετρητής και από την καμπύλη λειτουργίας που δίνει ο κατασκευαστής υπολογίζεται μια μέση παροχή της αντλίας στο μέσο μανομετρικό που ανυψώνει τα απόβλητα. Στην παροχή που υπολογίστηκε αφαιρείται 5% για κάθε έτος παλαιότητας της αντλίας. Για ορισμένο χρονικό διάστημα πολλαπλασιάζονται οι ώρες λειτουργίας κάθε αντλίας επί τη μέση παροχή που έχει υπολογιστεί και προστίθενται όλα τα μερικά γινόμενα. Έτσι υπολογίζεται με ακρίβεια η ποσότητα των αποβλήτων που αντλήθηκε για ορισμένο χρονικό διάστημα. Με αναγωγή της ποσότητας αυτής ανά ημέρα ή ανά ώρα βρίσκεται η μέση παροχή για το ορισμένο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στο σχεδιασμό της μονάδας, είναι απαραίτητη η χρήση ιστορικών στοιχείων για τα επίπεδα της παροχής. Εάν αυτό είναι αδύνατο, πρέπει να γίνονται ακριβείς εκτιμήσεις σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες. Το μέγεθος της περιοχής που εξυπηρετείται, η κοινωνικο-οικονομική της κατάσταση και άλλες παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν την ανά κάτοικο παροχή [9,10].





(α)



(β)

**Σχήμα 4-1:** Διώρυγες τύπου Parshall (α) εξοπλισμένη με υπερηχητικό μετρητή, (β) εξοπλισμένη με δείκτη βάθους ροής [1].

#### 4.1.4 Εσχάρωση

Σκοπός της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση ογκωδών στερεών των αποβλήτων (κουρέλια, κομμάτια ξύλων, κλαδιά, χαρτιά, πλαστικά κλπ.) που μπορεί να φράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και το μηχανολογικό εξοπλισμό των επόμενων σταδίων επεξεργασίας των αποβλήτων. Επίσης, η εσχάρωση μπορεί να εφαρμοστεί και στα άλλα στάδια επεξεργασίας για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

#### Είδη σχαρών

Βασική σχεδιαστική παράμετρος των σχαρών είναι το μέγεθος των διακένων τους, που καθορίζεται από το μέγεθος των στερεών που πρέπει να συκρατηθούν και σύμφωνα με το οποίο οι σχάρες διακρίνονται σε χονδρές, λεπτές και μικροσχάρες. Το μέγεθος των διακένων και οι εφαρμογές της κάθε κατηγορίας φαίνονται στον πίνακα 4-1. Επίσης, ανάλογα με το σχήμα των

ράβδων (ευθείες ή καμπυλωτές) οι σχάρες διακρίνονται σε επίπεδες ή καμπύλες. Οι καμπύλες σχάρες έχουν μεγάλη ωφέλιμη επιφάνεια και χρησιμοποιούνται σε ρηχά κανάλια ενώ οι επίπεδες σε βαθιά.

**Πίνακας 4-1:** Είδη και εφαρμογές σχαρών [5].

Είδος σχάρας	Μέγεθος διάκενων (mm)	Στάδια εφαρμογής	Σκοπός
Χονδρές	20-150	Προεπεξεργασία	Συγκράτηση ογκωδών αντικειμένων ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος φραξίματος ή ζημιάς αντλιών, βανών, σωληνώσεων και λοιπού εξοπλισμού των εγκαταστάσεων.
Λεπτές	3-6	Προεπεξεργασία, Πρωτοβάθμια επεξεργασία	Όπως στις χονδρές. Συγκράτηση αιωρούμενων στερεών.
Μικροσχάρες	0,02-0,3	Τριτοβάθμια επεξεργασία	Συγκράτηση υπόλοιπων αιωρούμενων στερεών μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία.

### Χονδρές σχάρες

Είναι ο βασικός τύπος σχάρας που χρησιμοποιείται στην προεπεξεργασία αστικών αποβλήτων. Αποτελούνται από σειρά χαλύβδινων ράβδων τοποθετημένων παράλληλα σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους (διάκενα). Ανάλογα με τον τρόπο που καθαρίζονται, διακρίνονται στις απλές – καθαριζόμενες με τα χέρια και στις μηχανικές – αυτοκαθαριζόμενες σχάρες.

#### (i) Απλές σχάρες

Οι απλές σχάρες χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές μονάδες για παροχές 1000 m<sup>3</sup>/d [1], μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και σαν παρακαμπτήρια διάταξη (bypass) που αντικαθιστά τη μηχανική σχάρα όταν αυτή χρειάζεται

επισκευή ή συντήρηση. Επίσης, οι απλές σχάρες χρησιμοποιούνται και για προεσχάρωση δηλαδή πριν τη μηχανική εσχάρωση. Το κανάλι της σχάρας είναι ορθογώνιο και οριζόντιο ή με πολύ μικρή κλίση προς τα κατόντη. Οι ράβδοι τοποθετούνται σχηματίζοντας γωνία  $30^{\circ}$ - $80^{\circ}$  (συνήθως  $60^{\circ}$ ) με τη διεύθυνση της ροής, ώστε να διευκολύνεται η απομάκρυνση των συγκρατούμενων στερεών. Εμπειρικά για κάθε 1000 κατοίκους αναλογεί 0,15-0,20 m<sup>2</sup> βυθισμένης επιφάνειας σχάρας [1].

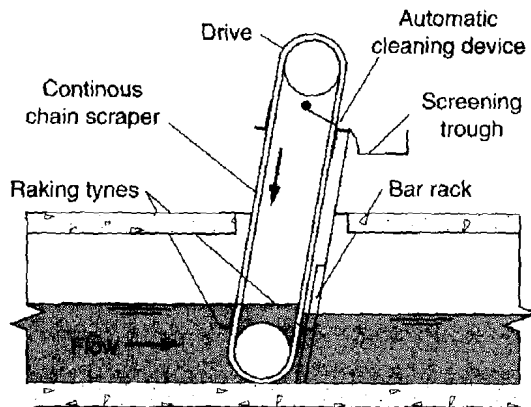
Οι απλές σχάρες μειονεκτούν σε σχέση με τις μηχανικές γιατί απαιτούν συχνό καθαρισμό και φράζουν εύκολα σε περιόδους μεγάλων παροχών με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης ροής ανάντη της σχάρας, την αναστροφή της ροής, τη λειτουργία του αγωγού εισόδου υπό πίεση αλλά και την εμφάνιση δυσοσμίας. Για την αποφυγή της αναστροφής της ροής ο πυθμένας του καναλιού της σχάρας τοποθετείται πιο κάτω από τη στέψη του αγωγού εισόδου.

## (ii) Μηχανικές σχάρες

Οι μηχανικές σχάρες (σχήμα 4-2) χρησιμοποιούνται για παροχές άνω των 1000 m<sup>3</sup>/d [1]. Η απομάκρυνση των συγκρατούμενων στερεών γίνεται με ειδική μηχανική διάταξη, που τίθεται σε κίνηση αυτόματα όταν η διαφορά στάθμης ανάντη - κατόντη της σχάρας (απώλειες λόγω συγκρατούμενων στερεών) φτάσει σε ένα ορισμένο όριο (συνήθως 75-100 mm) ή που λειτουργεί σε τακτά χρονικά διαστήματα ή και συνέχεια. Ο δεύτερος τρόπος απομάκρυνσης των συγκρατούμενων στερεών μειονεκτεί σε σχέση με τον πρώτο γιατί μπορεί να τεθεί σε λειτουργία νωρίτερα απ' ότι χρειάζεται ή αργότερα, όταν η σχάρα έχει ήδη φράξει.

Η μηχανική διάταξη απομάκρυνσης των συγκρατούμενων στερεών βρίσκεται ανάντη ή κατόντη της σχάρας. Όταν οι ράβδοι της σχάρας είναι καμπύλες η διάταξη απομάκρυνσης είναι ένας βραχίονας – κτένα που τα δόντια του μπαίνουν στα διάκενα της σχάρας και κάνοντας κυκλικές παλινδρομικές διαδρομές ή πλήρεις περιστροφές γύρω από ένα σταθερό σημείο παρασύρουν τα συγκρατούμενα στερεά προς το επάνω μέρος της σχάρας.

Όταν η σχάρα είναι επίπεδη ο καθαρισμός γίνεται από μια σειρά δοντιών (ή βουρτσών) που είναι τοποθετημένα σε ατέρμονες αλυσίδες και με την κίνησή τους παρασύρουν τα στερεά προς το πάνω μέρος της σχάρας. Τα στερεά συγκεντρώνονται σε χοάνη και από εκεί μεταφέρονται σε κατάλληλο χώρο αποθήκευσης.



**Σχήμα 4-2:** Τομή μηχανικής σχάρας [1].

### Λεπτές σχάρες

Οι λεπτές σχάρες χρησιμοποιούνται συνήθως στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων που περιέχουν και βιομηχανικά απόβλητα και πολλές φορές σε αντικατάσταση της πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Οι λεπτές σχάρες διακρίνονται σε σταθερές και περιστρεφόμενες. Ο πιο κοινός τύπος είναι οι περιστρεφόμενες κυλινδρικές σχάρες τύπου ποτηριού ή τύπου τύμπανου. Στην σχάρα τύπου ποτηριού τα απόβλητα εισέρχονται από τη βάση του κυλίνδρου, που είναι τοποθετημένος με τον άξονά του κατά τη διεύθυνση της ροής και εξέρχονται από την κυλινδρική επιφάνεια, αφήνοντας στο εσωτερικό της τα συγκρατούμενα στερεά. Στη σχάρα τύπου τύμπανου τα απόβλητα εισέρχονται από την εξωτερική κυλινδρική πλευρά του τύμπανου, που είναι τοποθετημένο με τον άξονά του κάθετο στη διεύθυνση της ροής και εξέρχονται από τη βάση του κατά τη διεύθυνση του άξονά του, αφήνοντας τα

στερεά στο εξωτερικό της κυλινδρικής επιφάνειας. Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτού του τύπου σχαρών είναι το μεγάλο τους κόστος.

### Μικροσχάρες

Οι μικροσχάρες χρησιμοποιούνται μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση των υπόλοιπων αιωρούμενων στερεών και όταν αναμένεται πρόβλημα αυξημένων συγκεντρώσεων στερεών, κυρίως μετά από αεριζόμενες λίμνες, λίμνες σταθεροποίησης κλπ. Παρουσιάζουν την ίδια μορφή και λειτουργία με τις λεπτές σχάρες τύπου ποτηριού, με μόνη διαφορά την ύπαρξη υφάσματος διήθησης με ανοίγματα 20-35  $\mu\text{m}$  στην εξωτερική επιφάνεια. Ο βαθμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών κυμαίνεται από 50-90% ανάλογα με τα ανοίγματα και το είδος των διερχόμενων αποβλήτων.

### Επεξεργασία και διάθεση εσχαρισμάτων

Τα στερεά που συγκρατούνται στις σχάρες έχουν δυσάρεστη οσμή και εμφάνιση και πρέπει να απομακρύνονται από τα κέντρα επεξεργασίας αποβλήτων όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Η μεταφορά τους προς το χώρο διάθεσης γίνεται με μεταφορικούς ιμάντες, με δοχεία ή με πλαστικές σακούλες. Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι διάθεσης αναλύονται παρακάτω.

- (i) Επιστροφή στη ροή. Τα συγκρατούμενα στερεά περνούν από θρυμματιστές και αφού αλεσθούν σε πολύ μικρά κομμάτια διοχετεύονται πίσω στη ροή, ανάντη της σχάρας. Με αυτό τον τρόπο δεν δημιουργείται πρόβλημα άμεσης διάθεσης των στερεών, τα οποία έτσι και αλλιώς απομακρύνονται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Αποτελεί την πιο απλή, καθαρή και υγιεινή μέθοδο και είναι η καταλληλότερη για μικρές εγκαταστάσεις. Τα βασικά της μειονεκτήματα είναι ο κίνδυνος καταστροφής του θρυμματιστή από κομμάτια πέτρας ή ξύλου και η δημιουργία προβλημάτων στις επόμενες μονάδες επεξεργασίας (δεξαμενές καθίζησης, χωνευτές λάσπης, φιλτρόπρεσσες κλπ.) από την παρουσία των θρυμματισμένων στερεών.

- (ii) Ταφή. Ο τρόπος αυτός απαιτεί επίπονη και ενοχλητική εργασία κυρίως για τη συλλογή των συγκρατούμενων στερεών και τη μεταφορά τους στο χώρο ταφής. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι ότι είναι πολύ οικονομική και απλή μέθοδος για μικρές εγκαταστάσεις.
- (iii) Αποτέφρωση. Η αποτέφρωση των συγκρατούμενων στερεών μπορεί να γίνεται μαζί με σκουπίδια, αφού προηγηθεί αφυδάτωση των στερεών, μαζί με τη λάσπη από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας ή σε ειδικούς γι αυτό αποτεφρωτές. Η λύση αυτή λόγω του υψηλού κόστους συνίσταται μόνο για μεγάλες εγκαταστάσεις.

### Σχεδιασμός σχαρών

Η βασική εξίσωση σχεδιασμού των σχαρών είναι [5]:

$$W = \frac{\rho + \delta}{\delta} \frac{Q}{Vh} + W_0 \quad (4-1)$$

όπου W: το πλάτος του καναλιού της σχάρας, m

$\rho$  : το πάχος των ράβδων της σχάρας, mm

$\delta$  : το πλάτος των διακενων της σχάρας, mm

Q : η μέγιστη παροχή, m<sup>3</sup>/sec

V : η μέγιστη ταχύτητα ροής στα διάκενα, m/sec

H : το βάθος ροής στη σχάρα, m

W<sub>0</sub>: η ανοχή πλάτους για πλευρική στήριξη (0,30 m για επίπεδη και 0 για καμπύλη σχάρα).

### Ταχύτητα ροής

Η ταχύτητα ροής στο κανάλι πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,4 m/sec [5] (ή 0,6-0,9 m/sec αν αναμένονται μεγάλες παροχές από παντορροϊκό σύστημα) ώστε να μη γίνεται εναπόθεση στερεών και η ταχύτητα στα διάκενα της σχάρας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,6-1,2 m/sec [5] στη μέγιστη παροχή για να μην παρασύρονται τα στερεά που έχουν συγκρατηθεί στη σχάρα.

## Απώλειες ενέργειας

Οι απώλειες ενέργειας στις μηχανικές σχάρες είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής στα διάκενα και της ταχύτητας ροής στο κανάλι. Όταν η σχάρα είναι καθαρή οι απώλειες δίνονται από τη σχέση [1]:

$$h_L = \frac{1}{C} \left( \frac{V^2 - u^2}{2g} \right) \quad (4-2)$$

όπου  $h_L$  : απώλειες ενέργειας, m

$C$  : εμπειρικός συντελεστής για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω στροβιλισμού, τυπική τιμή για καθαρή εσχάρα 0,7 και 0,6 για φραγμένη εσχάρα

$V$ : ταχύτητα ροής στα διάκενα, m/s

$u$ : η ταχύτητα ροής στο κανάλι της σχάρας, m/s

$g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας, 9,81 m/s<sup>2</sup>

Η εξίσωση (4-2) εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση της καθαρής εσχάρας και οι απώλειες περιορίζονται συνήθως έως 150 mm. Στην πράξη όμως, όταν η σχάρα είναι καλυμμένη με στερεά, οι υδραυλικές απώλειες αυξάνονται ανάλογα με το βαθμό έμφραξης.

### 4.1.5 Εξάμμωση - Λιποσυλλογή

Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή ανόργανων σωματιδίων διαμέτρου μεγαλύτερης από 0,20 mm και με ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερης από εκείνες των οργανικών στερεών. Η εξάμμωση είναι πολύ σημαντική διαδικασία στην επεξεργασία των αποβλήτων καθώς προλαμβάνει προβλήματα όπως την εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα αγωγών, την έμφραξη σωληνώσεων και τη φθορά αντλιών, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης σημαντικών μονάδων επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα στους αναερόβιους χωνευτές λάσπης

όπου η συσσώρευση άμμου προκαλεί μείωση του ωφέλιμου όγκου και κατά συνέπεια της απόδοσης.

Η εξαμμωση γίνεται σε εξαμμωτές (ή αμμοσυλλέκτες) με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και την απομάκρυνση των ανόργανων σωματιδίων και της άμμου. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι εξαμμωτών είναι οι οριζόντιοι σταθερής ταχύτητας ροής και οι αεριζόμενοι, των οποίων ο σχεδιασμός και η λειτουργία αναλύονται παρακάτω. Άλλα είδη εξαμμωτών που δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα είναι οι τετραγωνικοί εξαμμωτές, οι εξαμμωτές περιστροφικής ροής και οι αμμοπαγίδες τύπου PISTA.

#### Οριζόντιοι εξαμμωτές

Οι οριζόντιοι εξαμμωτές είναι απλοί στη λειτουργία και συνήθως χρησιμοποιούνται σε μικρές μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Είναι ανοιχτά, επιμήκη και ρηχά κανάλια στα οποία η ταχύτητα ροής παραμένει σταθερή με διακύμανση από 0,24-0,40 m/s (με τυπική τιμή 0,3 m/s). Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 45-90 sec (με τυπική τιμή 60 sec) [1]. Έτσι, υπάρχει αρκετός χρόνος για την καθίζηση των βαρύτερων ανόργανων σωματιδίων, αφήνοντας τα ελαφρύτερα οργανικά σε αιώρηση.

Ανάλογα με τον τρόπο που εξασφαλίζεται και ελέγχεται η σταθερή ταχύτητα ροής, διακρίνονται οι παρακάτω τύποι οριζόντιων εξαμμωτών:

- (i) Κανάλι εξαμμωτή ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του.
- (ii) Κανάλι εξαμμωτή παραβολικής διατομής με στένωση τύπου Parshall στο κατάντη άκρο του.

#### Σχεδιασμός οριζόντιων εξαμμωτών

##### 1. Διατομές ελέγχου

- (i) Αναλογικός υπερχειλιστής στο κατάντη άκρο ορθογώνιου καναλιού.



Η παροχή του υπερχειλιστή δίνεται από τον τύπο [5]:

$$Q = CWH\sqrt{2ga} \quad (4-3)$$

όπου C: σταθερά του υπερχειλιστή ( $C \approx 0,62$ )

W, α: χαρακτηριστικά μεγέθη του υπερχειλιστή, mm = 25 mm

h: βάθος ροής, m

l: ανώτερο πλάτος ροής, m

Τα μεγέθη l, W, h και α συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση

$$l/W = 1 - \frac{2}{180} \tau_{\text{Oξεφ}} \left( \frac{h}{\alpha} \right)^{1/2} \quad (4-4)$$

Η ταχύτητα ροής στο ορθογώνιο κανάλι του εξαμμωτή είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το βάθος ροής h και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{CWh\sqrt{2ga}}{bh} = C \frac{W}{b} \sqrt{2ga} \quad (4-5)$$

όπου b: το πλάτος του ορθογώνιου καναλιού, m.

(ii) Στένωση τύπου Parshall στο κατάντη άκρο παραβολικού καναλιού.

Η παροχή στη στένωση δίνεται από τη σχέση [5]:

$$Q = KW_c h^{3/2} \quad (4-6)$$

όπου K: σταθερά της στένωσης

$W_c$ : πλάτος της στένωσης, m

h: βάθος ροής ανάντη (στο κανάλι του εξαμμωτή), m.

Η ταχύτητα ροής στο παραβολικό κανάλι του εξαμμητή είναι σταθερή και δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{KW_c h^{3/2}}{K' h^{3/2}} = \frac{K}{K'} W_c \quad (4-7)$$

όπου  $K'$  : σταθερά της παραβολικής διατομής.

Στη στένωση η ροή είναι κρίσιμη και ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις [5]:

$$\text{Βάθος ροής: } h_c = V_c^2 / g \quad (4-8)$$

$$\text{Επιφάνεια διατομής: } A_c = W_c h_c \quad (4-9)$$

$$\text{Παροχή: } Q = A_c V_c = W_c h_c V_c \quad (4-10)$$

Η επιφάνεια διατομής στο παραβολικό κανάλι δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{2}{3} h W \quad (4-11)$$

Η κρίσιμη ταχύτητα στη στένωση είναι:

$$V_c = \left[ \frac{2g}{3,1} \left( h + \frac{V_c^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (4-12)$$

όπου  $h$ : βάθος ροής στο κανάλι, m

$V$ : ταχύτητα ροής στο κανάλι, m/sec

## 2. Ταχύτητα ροής

Η ταχύτητα ροής στον εξαμμητή δεν πρέπει να ξεπερνά μια κρίσιμη τιμή για την οποία σωματίδια ορισμένης διαμέτρου και ειδικής βαρύτητας που έχουν καθιζήσει αρχίζουν να παρασύρονται σε αιώρηση. Η κρίσιμη αυτή τιμή της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση [5]:

$$V_{sc} = 0,4[(s-1)d]^{0,5} \quad (4-13)$$

όπου  $V_{sc}$ : κρίσιμη ταχύτητα, m/sec

$s$  : ειδική βαρύτητα σωματιδίου

$d$  : διάμετρος σωματιδίου, mm

### 3. Βάθος ροής και βάθος εξαμμωτή

Το βάθος ροής δίνεται από τη σχέση:

$$h = \frac{Q}{bV} \quad (4-14)$$

όπου  $V$ : ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή (m/sec).

Το βάθος του εξαμμωτή εξαρτάται κυρίως από το βάθος ροής στη διατομή ελέγχου και για λόγους ασφαλείας λαμβάνεται διπλάσιο του βάθους ροής στον εξαμμωτή που αντιστοιχεί στη μέγιστη παροχή [5]:

$$H = 2h_{\max} \quad (4-15)$$

### 4. Μήκος εξαμμωτή

Εξαρτάται από το βάθος που απαιτείται για την καθίζηση των σωματιδίων, που χρειάζεται να απομακρυνθούν κατά 100% και είναι [5]:

$$L_{\max} = \alpha \frac{V}{V_s} h_{\max} \quad (4-16)$$

όπου  $V_s$ : ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων που απομακρύνονται κατά 100%, m/sec

$V$  : ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή, m/sec

$\alpha$  : συντελεστής ασφαλείας για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισόδου – εξόδου (τύρβεις κλπ.),  $\alpha = 1-1,5$ .

## 5. Χρόνος παραμονής

Ο χρόνος παραμονής στον εξαμμωτή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\theta = \frac{L}{V} \quad (4-17)$$

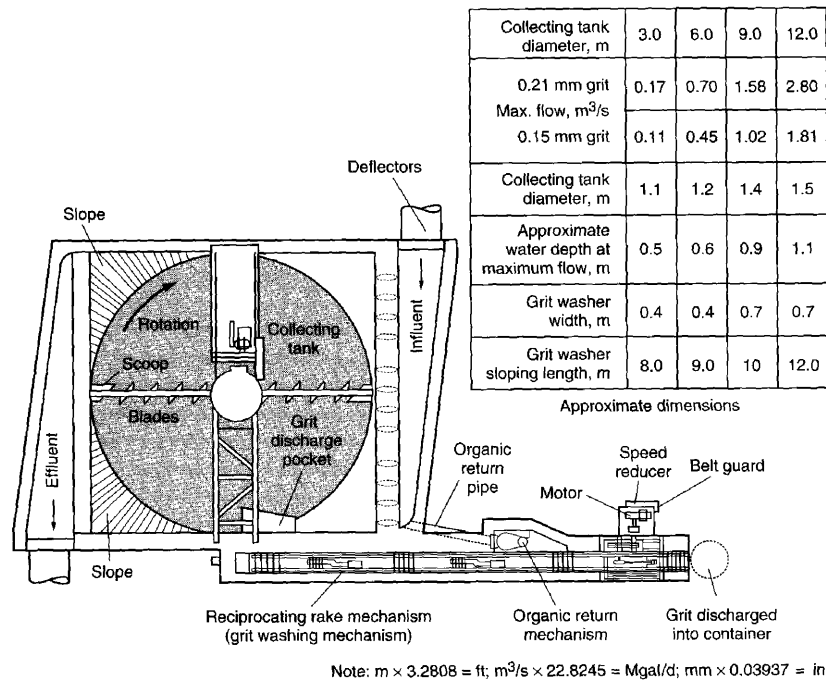
όπου  $\theta$ : χρόνος παραμονής, sec.

### Αεριζόμενοι εξαμμωτές – λιποσυλλέκτες

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές (σχήμα 4-3) είναι και οι πιο διαδεδομένοι. Είναι συνήθως ορθογώνιοι αεριζόμενοι θάλαμοι με κατάλληλα διαμορφωμένο πυθμένα για την απομάκρυνση της συγκεντρωμένης άμμου. Στον πυθμένα είναι τοποθετημένοι διαχυτήρες που διοχετεύουν αέρα με αποτέλεσμα τη δημιουργία σπειροειδούς ροής. Η κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής στην επιφάνεια (συνήθως 0,30 m/sec) [1,5] που επιτρέπει την απομάκρυνση της άμμου, επιτυγχάνεται εύκολα με ρύθμιση της παροχής του αέρα. Έτσι, τα βαρύτερα σωματίδια με τις μεγαλύτερες ταχύτητες καθίζησης καθιζάνουν στον πυθμένα σε αντίθεση με τα ελαφρύτερα οργανικά που παραμένουν σε αιώρηση, και τελικά απομακρύνονται από τη δεξαμενή. Ο πυθμένας είναι διαμορφωμένος με επιμήκη χοάνη τραπεζοειδούς διατομής με απότομες πλευρές προς την πλευρά των διαχυτήρων, ώστε η άμμος που καθιζάνει να παρασύρεται προς τη χοάνη (σχήμα 4-4). Από τη χοάνη η άμμος παρασύρεται με αντλίες, με συνδυασμό ξέστρου και άντλησης ή με άλλες μηχανικές μεθόδους [1].

Ο χρόνος παραμονής στη μέγιστη παροχή είναι 2-5 min (με τυπική τιμή 3 min). Το βάθος κυμαίνεται από 2,1-4,9 m. Η προτεινόμενη αναλογία μήκος/ πλάτος/ ύψος είναι 4/1,5/1 [1]. Στους αεριζόμενους εξαμμωτές συνήθως λαμβάνει χώρα και λιποσυλλογή. Τα σωματίδια των λιπαρών ουσιών παρασύρονται από τις φουσαλίδες αέρα και οδηγούνται στην επιφάνεια όπου

παγιδεύονται με ειδική διάταξη απομάκρυνσης επιπλεόντων που είναι συνδεδεμένη με τη γέφυρα και οδηγούνται σε ειδικό φρεάτιο ή δοχείο ή ειδικό κάδο.

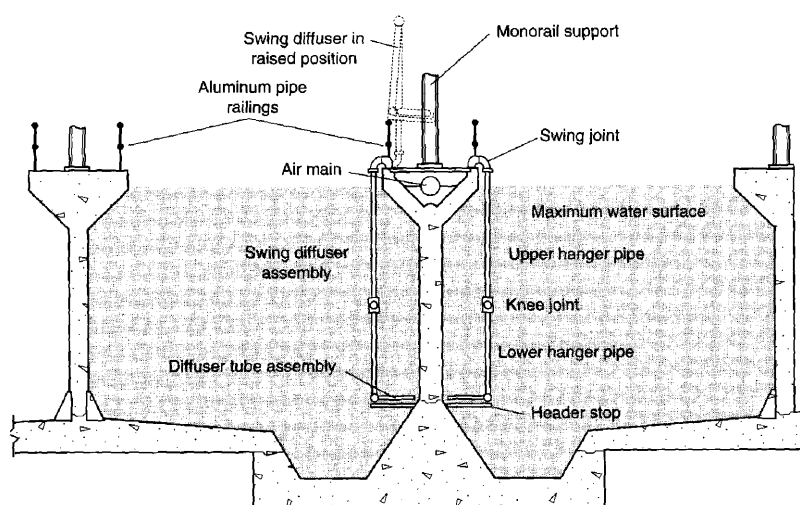


(α)



(β)

**Σχήμα 4-3:** Τυπικός αεριζόμενος εξαμμωτής (α) τομή, (β) φωτογραφία άδειας δεξαμενής εξοπλισμένης με γέφυρα για την απομάκρυνση της άμμου που έχει καθιζήσει [1].



**Σχήμα 4-4:** Τομή αεριζόμενου εξαμμωτή [1].

#### Σχεδιασμός αεριζόμενων εξαμμωτών

Στον πίνακα 4-2 συνοψίζονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των αεριζόμενων εξαμμωτών – λιποσυλλεκτών.

**Πίνακας 4-2:** Τυπικές τιμές κυριότερων παραμέτρων σχεδιασμού αεριζόμενων εξαμμωτών [1].

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής, min	2 - 5	3
Διαστάσεις		
Βάθος H, m	2 – 5	
Μήκος L, m	7,5 – 20	
Πλάτος W, m	2,5 – 7	
Αναλογία πλάτους / βάθους	1 – 5	1,5
Αναλογία μήκους / πλάτους	3 – 5	4
Τροφοδοσία αέρα, m <sup>3</sup> / min ανά m μήκους	0,2 – 0,5	
Ποσότητες άμμου, m <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0,004 – 0,200	0,015

Κατά το σχεδιασμό αεριζόμενων εξαμμωτών – λιποσυλλεκτών επιλέγεται ο χρόνος παραμονής για τη μέγιστη παροχή και υπολογίζεται ο όγκος του συλλέκτη σύμφωνα με τη σχέση:

$$V = Q_{\max} \theta \quad (4-18)$$

όπου V: όγκος του συλλέκτη, m<sup>3</sup>.

Στη συνέχεια εκλέγεται το πλάτος W, και από τις προτεινόμενες αναλογίες υπολογίζονται το μήκος και το βάθος. Το μήκος συνήθως προσαυξάνεται κατά 15% για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισροής – εκροής και τέλος σύμφωνα με το μήκος υπολογίζονται οι απαιτήσεις σε αέρα.

#### Τετραγωνικοί εξαμμωτές

Είναι ρηχές, τετραγωνικές δεξαμενές με το κανάλι εισροής να σχηματίζει γωνία με τη διεύθυνση ροής στη δεξαμενή. Τα στερεά που καθιζάνουν (οργανικά και ανόργανα) μαζεύονται από ένα περιστρεφόμενο σαρωτή, σ' ένα κανάλι στη μια πλευρά του εξαμμωτή. Εκεί διαχωρίζονται τα οργανικά από το σύνολο των στερεών και επιστρέφουν στη ροή, ενώ τα μη οργανικά συγκεντρώνονται σε δοχεία. [1]

#### Εξαμμωτές περιστροφικής ροής

Είναι κυκλικές δεξαμενές όπου τα απόβλητα εισάγονται εφαπτομενικά και ακολουθούν κυκλική τροχιά, παρασυρόμενα από στρόβιλο που δημιουργείται με διαχυτήρες αέρα ή περιστρεφόμενο σύστημα κωπών. Τα στερεά καθιζάνουν και συγκεντρώνονται σε χοάνη στο κέντρο της δεξαμενής από όπου μεταφέρονται με αντλίες σε διάταξη έκπλυσης.

## Αμμοπαγίδες τύπου PISTA

Είναι δεξαμενές όμοιες με τους εξαμμωτές περιστροφικής ροής με τη διαφορά ότι στην άμμο που καθιζάνει στην κεντρική χοάνη εισάγεται αέρας για να απομακρύνει τα τυχόν οργανικά στερεά που καθίζησαν μαζί με την άμμο.

## Διάθεση απομακρυνόμενης άμμου

Οι μέθοδοι διάθεσης της άμμου περιλαμβάνουν ταφή (συνήθως με άλλα τελικά προϊόντα διαδικασιών επεξεργασίας), χρήση της σαν υλικό επίχωσης ή επιφανειακής κάλυψης, χρήση της σε κλίνες ξήρανσης, εφόσον η περιεκτικότητα σε οργανικά είναι μικρότερη από 2 – 3% ή αποτέφρωση, εάν υπάρχει τέτοια μονάδα για επεξεργασία λάσπης [5].

## **4.2 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ**

Τα απόβλητα που έχουν υποστεί εσχάρωση και εξάμμωση έχουν απαλλαχθεί από την πλειοψηφία των μεγάλων σε μέγεθος στερεών και των επιπλεόντων. Παρόλα αυτά, στη μάζα τους περιέχονται σε αιώρηση οργανικά και ανόργανα σωματίδια που μπορούν να απομακρυνθούν με καθίζηση. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών πριν τη βιολογική επεξεργασία, επιφέρει μείωση του BOD<sub>5</sub> κατά 25 – 40% και των αιωρούμενων στερεών (SS) κατά 50 – 70%. Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η μείωση του BOD<sub>5</sub> στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας που επιτρέπει το σχεδιασμό μικρότερου μεγέθους αντιδραστήρων, με αποτέλεσμα τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, το μειωμένο φορτίο BOD<sub>5</sub> οδηγεί στην μικρότερη παραγωγή λάσπης, που απαιτεί μικρότερες δεξαμενές αερισμού. Σαν αποτέλεσμα αυτών των πλεονεκτημάτων, η καθίζηση αποτελεί την πιο διαδεδομένη διαδικασία στην επεξεργασία των αποβλήτων.

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών λαμβάνει χώρα σε δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ). Οι ΔΠΚ είναι ορθογώνιες, κυκλικές ή



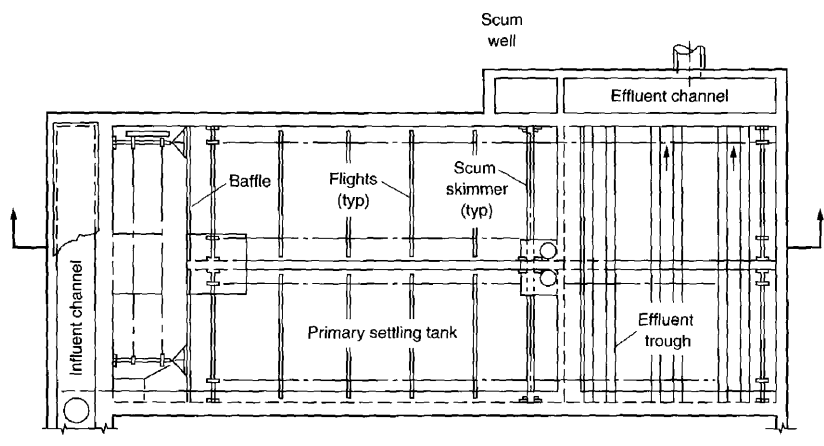
σπανιότερα τετράγωνες. Σε μικρές εγκαταστάσεις συναντώνται δεξαμενές Imhoff και σηπτικές δεξαμενές.

#### Ορθογώνιες δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης

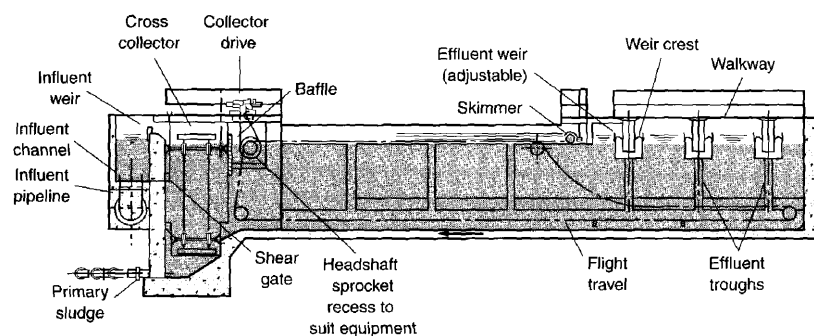
Στις ορθογώνιες ΔΠΚ (σχήμα 4-5) τα απόβλητα διοχετεύονται ομοιόμορφα στο πλάτος της δεξαμενής από ανοίγματα και εξέρχονται από έναν ή πολλούς κατά πλάτος υπερχειλιστές. Η ροή των αποβλήτων είναι οριζόντια. Ο πυθμένας έχει κλίση της τάξης του 1%, με την εισροή βαθύτερη από την εκροή καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό της λάσπης εναποτίθεται εκεί. Οι ΔΠΚ είναι εξοπλισμένες με μια μετακινούμενη γέφυρα με ξέστρο για τη συλλογή της λάσπης. Η γέφυρα κινείται κατά μήκος της δεξαμενής με τη βοήθεια κινητήρων ή αλυσίδων με ταχύτητα της τάξης των 0.6 – 1.2 m/min (τυπική τιμή 1.0 m/min). Συνήθως το σύστημα έχει και κατάλληλη διάταξη για τη συλλογή των επιπλεόντων στερεών. Η συλλογή γίνεται από ειδική κόφτρα που είναι τοποθετημένη στη γέφυρα και συγκεντρώνει τα στερεά σε χοάνη που βρίσκεται στην επιφάνεια της ΔΠΚ, απ' όπου αυτά απομακρύνονται με ειδική διάταξη έκπλυσης. Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού των ορθογώνιων ΔΠΚ συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4-3:** Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ορθογώνιων ΔΠΚ [1].

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής, hours	1,5 – 2,5	2
Μήκος, m	15 – 90	24 – 40
Πλάτος, m	3 – 24	5 – 10
Βάθος, m	3 – 5	4,3



(α)



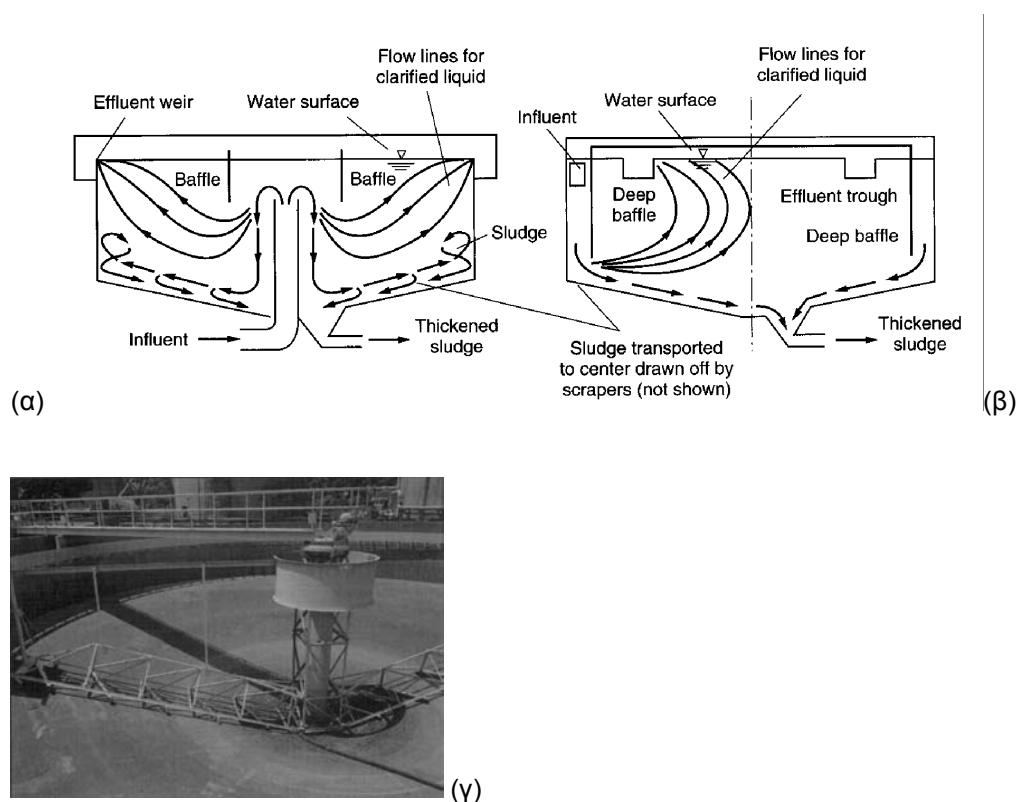
(β)

**Σχήμα 4-5:** Ορθογώνια ΔΠΚ (α) σε κάτοψη και (β) σε τομή [1].

### Κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης

Στις κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης η εισροή των αποβλήτων γίνεται κεντρικά ή περιφερειακά (σχήμα 4-6 (α) και (β) αντίστοιχα). Η κεντρική διάταξη εισροής είναι ένας δακτύλιος – κόφτρα με διάμετρο 15 – 20% της διαμέτρου της ΔΠΚ που εκτείνεται ως το μισό του βάθους της. Η περιφερειακή διάταξη εισροής έχει επίσης δακτύλιο – κόφτρα που εκτείνεται ως τον πυθμένα και η εισροή γίνεται εφαπτομενικά. Η διάταξη εκροής αποτελείται από κεντρικό ή περιφερειακό υπερχειλιστή. Η ροή είναι ακτινωτή. Οι κυκλικές ΔΠΚ είναι εξοπλισμένες με ξέστρο που κινείται κυκλικά και συλλέγει τη λάσπη σε κεντρική χοάνη – δακτύλιο. Το ξέστρο εκτείνεται σε όλη τη διάμετρο της ΔΠΚ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δεύτερο σε κάθετη κατεύθυνση. Ο

μηχανισμός του ξέστρου στηρίζεται σε γέφυρα μέσα από την οποία διέρχεται ο αγωγός εισροής. Η ταχύτητα περιστροφής του ξέστρου στην επιφάνεια είναι 1,5 – 2,1 m/sec. Η συλλογή των επιπλεόντων γίνεται με ένα βραχίονα που εκτείνεται έως την περιφέρεια της ΔΠΚ και κινείται με το μηχανισμό του ξέστρου, συγκεντρώνοντας τα επιπλέοντα σε κεκλιμένη επιφάνεια και από εκεί σε ειδικό υποδοχέα. Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού των κυκλικών ΔΠΚ συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.



**Σχήμα 4-6:** Κυκλική ΔΠΚ (α) κεντρική εισροή, (β) περιφερειακή εισροή, (γ) φωτογραφία ΔΠΚ με ξέστρο για την απομάκρυνση της ιλύος [1].

**Πίνακας 4-4:** Βασικές παράμετροι σχεδιασμού κυκλικών ΔΠΚ [1].

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Χρόνος παραμονής, hours	1,5 – 2,5	2
Διάμετρος, m	3 - 60	12 – 45
Βάθος, m	3 – 5	4,3
Κλίση πυθμένα, mm/m	1/16 – 1/6	1/12

### Σχεδιασμός δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Ο σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης βασίζεται στην επιφανειακή φόρτιση και το χρόνο παραμονής για τη μέση παροχή και ελέγχονται για τη μέγιστη, για μια επιθυμητή απομάκρυνση στερεών, που προκύπτουν από πειραματική ανάλυση της καθίζησης των στερεών ενός αποβλήτου. Επειδή συνήθως όμως, δεν υπάρχουν πειραματικά στοιχεία, χρησιμοποιούνται εμπειρικές τιμές. Τέτοιες τιμές δίνονται στον πίνακα 4-5.

**Πίνακας 4-5:** Τυπικές τιμές σχεδιασμού των ΔΠΚ [1].

Παράμετρος	ΔΠΚ ακολουθούμενη από βιολογική επεξεργασία	Με επιστροφή λάσπης από ΔΔΚ
Χρόνος παραμονής, hours	1.5 – 2.5 (τυπ. 2)	1.5 – 2.5 (τυπ. 2)
Επιφανειακή φόρτιση, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$		
Μέση παροχή	30 – 50 (τυπ. 40)	24 – 32 (τυπ. 28)
Μέγιστη παροχή	80 – 120 (τυπ. 100)	48 – 70 (τυπ. 60)
Φόρτιση υπερχειλιστή, $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$	125 – 500 (τυπ. 250)	125 – 500 (τυπ. 250)

Ταχύτητα ροής. Η ταχύτητα ροής στον πυθμένα των ΔΠΚ δεν πρέπει να ξεπερνά μια κρίσιμη τιμή για την οποία τα στερεά που έχουν καθιζάνει αρχίζουν να παρασύρονται σε αιώρηση. Η κρίσιμη αυτή ταχύτητα είναι 9 – 15 φορές μεγαλύτερη της ταχύτητας καθίζησης, συνήθως της τάξης των 0.02 m/sec και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση [1]

$$V_H = \left( \frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \quad (4-19)$$

όπου  $V_H$  : κρίσιμη ταχύτητα ροής, m/s

- k : σταθερά (τυπική τιμή 0,04 για την άμμο και 0,06 για πιο κολλώδη υλικά)
- s : ειδική βαρύτητα σωματιδίων
- d : διάμετρος των σωματιδίων, m
- g : επιτάχυνση της βαρύτητας, 9,81 m/s<sup>2</sup>
- f : συντελεστής τριβής (Darcy – Weisbach), τυπικές τιμές 0,02 – 0,03.

Φόρτιση του υπερχειλιστή. Η φόρτιση του υπερχειλιστή γενικά επηρεάζει ελάχιστα την απόδοση των ΔΠΚ και δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των. Πληροφοριακά τιμές φόρτισης δίνονται στον πίνακα (4-5).

#### Απομάκρυνση BOD και TSS

Με χρήση της παρακάτω σχέσης υπολογίζεται η απομάκρυνση του BOD και των TSS στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (Crites and Tchobanoglous, 1998):

$$R = \frac{t}{a + bt} \quad (4-20)$$

όπου

R: αναμενόμενη απόδοση

t: χρόνος παραμονής, h

a,b: εμπειρικοί συντελεστές.

Τυπικές τιμές για τους συντελεστές a,b [1] είναι:

	A	B
BOD	0,018	0,020
TSS	0,0075	0,014

Χαρακτηριστικά και ποσότητες πρωτοβάθμιας λάσπης. Η ποσότητα της πρωτοβάθμιας λάσπης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου, την απόδοση της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης και τα χαρακτηριστικά της λάσπης (συγκέντρωση, ειδική βαρύτητα, συνθήκες λειτουργίας που τα επηρεάζουν κλπ.). Τιμές των χαρακτηριστικών της πρωτοβάθμιας λάσπης φαίνονται στον πίνακα 4-6.

**Πίνακας 4-6:** Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας λάσπης [1].

Είδος πρωτοβάθμιας λάσπης	Ειδική βαρύτητα	Συγκέντρωση στερεών, %	Συγκέντρωση στερεών, % , τυπική τιμή
Πρωτοβάθμια λάσπη			
Χωριστικό	1,03	4 – 12	6
Παντοροϊκό	1,05	4 – 12	6.5
Πρωτοβάθμια + περίσσεια EI	1,03	2 – 6	3
Πρωτοβάθμια + λάσπη ΒΦ	1,03	4 – 10	5

Η μάζα των στερεών που καθιζάνουν υπολογίζεται με βάση τη μάζα των στερεών στην εισροή της ΔΠΚ και το ποσοστό απομάκρυνσής του. Η παροχή της λάσπης δίνεται από τη σχέση [5]:

$$Q_{\lambda} = \frac{M}{1000C_{\lambda}S} \quad (4-21)$$

όπου

$Q_{\lambda}$ : παροχή λάσπης (στερεά + νερό), m<sup>3</sup>/d

M: μάζα στερεών που απομακρύνονται, Kg/d

$C_{\lambda}$ : συγκέντρωση στερεών λάσπης, %

S : ειδική βαρύτητα λάσπης, Kg/m<sup>3</sup>

Στην περίπτωση που η λάσπη από τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) επιστρέφει στην ΔΠΚ για πύκνωση, η ποσότητά της πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας λάσπης από τη ΔΠΚ.

#### Διαδικασία σχεδιασμού δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Αρχικά επιλέγεται το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών και σύμφωνα με αυτό, εάν έχει προηγηθεί πειραματική ανάλυση προσδιορίζονται ο χρόνος παραμονής ( $\theta$ ) και η επιφανειακή φόρτιση ( $q$ ). Οι τιμές αυτές διορθώνονται για τις πραγματικές συνθήκες (συνθήκες εισροής – εκροής, τύρβεις, ρεύματα από διαφορές θερμοκρασιών κλπ.) με ένα συντελεστή ασφαλείας 1.25 – 1.75. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοια στοιχεία επιλέγεται ο χρόνος παραμονής και η επιφανειακή φόρτιση σύμφωνα με εμπειρικές τιμές (πίνακας 4-5).

Στον πίνακα 4-7 φαίνονται τα στάδια και οι σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων σχεδιασμού μια ΔΠΚ.

**Πίνακας 4-7:** Στάδια σχεδιασμού ΔΠΚ.

Παράμετρος σχεδιασμού	Εξίσωση υπολογισμού
Επιφάνεια (A), m <sup>2</sup>	$A = \frac{Q}{q}$ , όπου Q: μέση παροχή αποβλήτων
Για κυκλική ΔΠΚ Διάμετρος (d), m	$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$
Όγκος (V), m <sup>3</sup>	$V = Q\theta$
Βάθος (H), m	$H = \frac{V}{A}$
Μήκος υπερχειλιστή, m	Μήκος = $2\pi r$ , όπου r: ακτίνα της ΔΠΚ
Φόρτιση υπερχειλιστή, m <sup>3</sup> /m μήκους d	Φόρτιση = $\frac{Q}{2\pi r}$
Μάζα απομακρυνόμενων SS, Kg/d	% ποσοστό απομάκρυνσης SS*αρχική συγκέντρωση SS*Q
Παροχή λάσπης (Q <sub>λ</sub> ), m <sup>3</sup> /d	$Q_{\lambda} = \frac{M}{1000C_{\lambda}s}$

Μετά τον υπολογισμό των παραμέτρων μπορούν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις και οι μάζες των στερεών στην εισροή και την εκροή και να γίνει το ισοζύγιο μάζας των SS στην ΔΠΚ.



## 5. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σκοπός της βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι η συσσωμάτωση και η απομάκρυνση των μη καθιζάνοντων κολλοειδών στερεών καθώς και η σταθεροποίηση του οργανικού φορτίου. Για τα αστικά λύματα, ο κύριος στόχος είναι η μείωση του οργανικού περιεχομένου και σε κάποιες περιπτώσεις και των θρεπτικών συστατικών, νατρίου και φωσφόρου. Για τα απόβλητα που προορίζονται για γεωργική χρήση, ο κύριος στόχος είναι η απομάκρυνση των θρεπτικών, τα οποία μπορούν να αναταράξουν την ανάπτυξη των υδάτινων οικοσυστημάτων. Τέλος, στόχος της βιολογικής επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων είναι η απομάκρυνση και η μείωση της συγκέντρωσης τόσο των οργανικών όσο και των ανόργανων συστατικών τους.

Η βιολογική επεξεργασία, που αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή δευτεροβάθμιου καθαρισμού των αστικών αποβλήτων, στηρίζεται στη βιοχημική αποδόμηση και μετατροπή των οργανικών διαλυμένων ουσιών σε συσσωματώματα, που αφαιρούνται στη συνέχεια με καθίζηση.

### Ο ρόλος των μικροοργανισμών

Κατά την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, η συσσωμάτωση των μη καθιζάνοντων κολλοειδών στερεών και η σταθεροποίηση του οργανικού φορτίου επιτυγχάνεται βιολογικά με τη χρήση ποικιλίας μικροοργανισμών, ειδικά βακτηρίων. Ο ρόλος των μικροοργανισμών είναι η μετατροπή του κολλοειδούς και διαλυμένου οργανικού περιεχομένου σε αέρια και κυτταρικό ιστό [1].

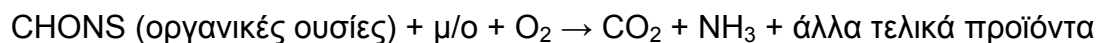
### Είδη βιολογικών διεργασιών

Οι βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων διαχωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες: αιωρούμενης βιομάζας και προσκολλημένης βιομάζας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το σύστημα ενεργού ιλύος (EI) (Activated Sludge process) το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια, ενώ στη

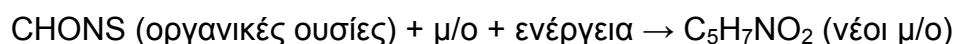
δεύτερη τα βιολογικά φίλτρα και οι βιολογικοί δίσκοι. Τα συστήματα αυτά υποδιαιρούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση και σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών: αερόβιες, αναερόβιες, συνδυασμός αερόβιων – αναερόβιων και ανοξικές διεργασίες [1, 5]. Οι κυριότερες εφαρμογές αυτών των συστημάτων είναι (1) η απομάκρυνση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων, μετρούμενη σε BOD<sub>5</sub>, TOC ή COD, (2) η νιτροποίηση, (3) η απονιτροποίηση και (4) η σταθεροποίηση.

Η βασική βιολογική διαδικασία στην επεξεργασία των λυμάτων όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι η χρησιμοποίηση των οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς και η οξείδωσή τους σε σταθερής βιολογικά μορφής τελικά προϊόντα κάτω από αερόβιες συνθήκες. Οι οργανικές ουσίες χρησιμοποιούνται σαν τροφή από τους μικροοργανισμούς για την απόκτηση ενέργειας που είναι απαραίτητη για τη συντήρησή τους και για αναπαραγωγή. Ένα μέρος των οργανικών ουσιών οξειδώνεται στα τελικά προϊόντα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας για την παραγωγή νέου κυτταρικού ιστού. Σε περίπτωση απουσίας οργανικών ουσιών παρατηρείται ενδογενής μεταβολισμός. Στα περισσότερα συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων, οι τρεις αυτές διεργασίες (οξείδωση, σύνθεση, ενδογενής μεταβολισμός) λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Στοιχειομετρικά περιγράφονται από τις παρακάτω αντιδράσεις [1,2]:

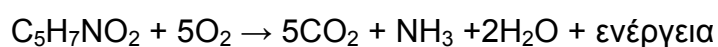
Οξείδωση:



Σύνθεση:



Ενδογενής μεταβολισμός:



Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι οι κυριότερες διαδικασίες, που καθορίζουν και τα κριτήρια σχεδιασμού ενός βιολογικού συστήματος επεξεργασίας λυμάτων είναι:

- (1) η μεταβολή της μάζας των οργανικών ουσιών σαν αποτέλεσμα της κατανάλωσής τους από τους μικροοργανισμούς
- (2) η μεταβολή της μάζας των μικροοργανισμών
- (3) οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για τις παραπάνω διαδικασίες.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν τα κυριότερα μαθηματικά μοντέλα βιολογικών διεργασιών καθαρισμού των λυμάτων που αφορούν την απομάκρυνση ανθρακούχων ρύπων και βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η τεχνολογία της Ενεργού Ιλύος με ταυτόχρονη βιολογική απομάκρυνση αζώτου και εφαρμόζονται τα μοντέλα στο σύστημα αυτό.

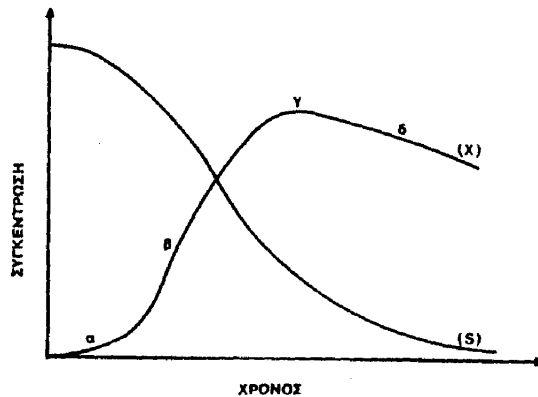
## **5. 1 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ**

### Ανάπτυξη μικροοργανισμών

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στον βιολογικό αντιδραστήρα περνάει διαδοχικά από τέσσερις κύριες φάσεις που φαίνονται στο σχήμα 5-1. Οι τέσσερις φάσεις ανάπτυξης είναι:

1. Φάση καθυστέρησης (lag phase): αντιπροσωπεύει το χρόνο που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για να εγκλιματιστούν στο συγκεκριμένο περιβάλλον και να αρχίσουν να πολλαπλασιάζονται.
2. Φάση λογαριθμικής ανάπτυξης (log-growth phase): σε αυτή τη φάση τα κύτταρα διαιρούνται με ρυθμό που καθορίζεται από το χρόνο γέννησής τους και την ικανότητά τους να αφομοιώνουν τροφή.
3. Φάση στασιμότητας (stationary phase): ο πληθυσμός παραμένει σταθερός. Οι λόγοι αυτής της στασιμότητας είναι η εξάντληση της τροφής και το γεγονός ότι ρυθμός ανάπτυξης νέων κυττάρων αντισταθμίζεται από τον ρυθμό θανάτωσης των παλαιών.
4. Φάση λογαριθμικής θανάτωσης (log-death phase): Ο ρυθμός θανάτωσης των μικροοργανισμών είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό

ανάπτυξης. Οι ικανότεροι μικροοργανισμοί σε αυτή τη φάση επιβιώνουν καταναλώνοντας τους υπόλοιπους σαν τροφή ή αυτοκαταναλώνονται (ενδογενής μεταβολισμός).



**Σχήμα 5-1:** Φάσεις ανάπτυξης οργανικών ουσιών και μικροοργανισμών [5].

Στην πράξη η ενεργός ιλύς είναι μια διαδικασία συνεχούς ροής και λειτουργεί σε μια από τις παραπάνω φάσεις. Έτσι, η συμβατική ΕΙ λειτουργεί στη φάση στασιμότητας, ενώ ο παρατεταμένος αερισμός στη φάση λογαριθμικής θανάτωσης.

#### Ρυθμός κατανάλωσης διαλυτού υποστρώματος

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ο πρωταρχικός στόχος της επεξεργασίας των λυμάτων είναι η απομάκρυνση του υποστρώματος. Με άλλα λόγια ο σκοπός της βιολογικής επεξεργασίας, στις περισσότερες περιπτώσεις, η εξάντληση του δότη ηλεκτρονίων (δηλαδή των οργανικών συστατικών στην αερόβια οξείδωση). Για τα ετεροτροφικά βακτήρια ο δότης ηλεκτρονίων είναι τα οργανικά συστατικά που αποικοδομούνται, για τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι η αμμωνία. Ο ρυθμός κατανάλωσης του υποστρώματος στα βιολογικά συστήματα μπορεί να μοντελοποιηθεί με την ακόλουθη έκφραση για το διαλυτό υπόστρωμα. Επειδή η μάζα του υποστρώματος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της κατανάλωσης του υποστρώματος, χρησιμοποιείται το αρνητικό πρόσημο.

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S} \quad (5-1)$$

όπου

$r_{su}$  : ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος, mg/l.d

$k$  : μέγιστος ειδικός ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος, g υποστρώματος/g μικροοργανισμών.d

$X$  : συγκέντρωση βιομάζας (μικροοργανισμών), mg/l

$S$  : συγκέντρωση του περιοριστικού της ανάπτυξης υποστρώματος (οργανικές ουσίες), mg/l

$K_s$  : η σταθερά ημικορεσμού, εκφρασμένη σε συγκέντρωση υποστρώματος (οργανική ουσία) σε ρυθμό ανάπτυξης ίσο με το μισό του μέγιστου, mg/l.

Η εξίσωση (5-1) έχει αναφερθεί ως εξίσωση Michaelis – Menten (Bailey and Ollis, 1986) αλλά είναι συγχρόνως της μορφής που έχει προταθεί από τον Monod για τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης των βακτηριδίων για τους οποίους το υπόστρωμα είναι διαθέσιμο σε διαλυμένη μορφή. Όταν το υπόστρωμα χρησιμοποιείται στο μέγιστο ρυθμό, τα βακτήρια αναπτύσσονται επίσης με το μέγιστο ρυθμό. Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων σχετίζεται λοιπόν με το μέγιστο ειδικό ρυθμό κατανάλωσης υποστρώματος ως εξής:

$$k = \frac{\mu_m}{Y} \quad (5-2)$$

όπου

$k$  : μέγιστος ειδικός ρυθμός κατανάλωσης υποστρώματος, mg κυτταρικής μάζας/mg.d

$\mu_m$  : μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης βακτηρίων, mg νέων κυττάρων/mg κυτταρικής μάζας.d

$Y$ : ο συντελεστής παραγωγής κυτταρικής μάζας, δηλαδή ο λόγος της μάζας των μ/ο που παράγονται προς τη μάζα του υποστρώματος που καταναλώνεται, μετρημένος μέσα στην πεπερασμένη περίοδο της φάσης λογαριθμικής ανάπτυξης, mg/mg.

Οπότε η εξίσωση (5-1) γίνεται:

$$r_{su} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} \quad (5-3)$$

#### Η επίδραση του ενδογενούς μεταβολισμού

Σε ένα βιολογικό σύστημα η κατανομή των ηλικιών των μικροοργανισμών είναι τέτοια ώστε να μην βρίσκονται όλοι οι μ/ο σε λογαριθμική φάση ανάπτυξης, επομένως η εξίσωση που περιγράφει την ανάπτυξη θα πρέπει να διορθωθεί ως προς την κατανάλωση του υποστρώματος με την ενέργεια που απαιτείται για τη διατήρηση του κυττάρου. Επίσης θα πρέπει να συνυπολογιστούν και άλλοι παράγοντες όπως η θανάτωση των μ/ο και η κατανάλωσή τους από άλλους. Θεωρείται ότι όλοι οι παραπάνω παράγοντες δημιουργούν μια μείωση στην μάζα των μ/ο του συστήματος η οποία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των μ/ο. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του ενδογενούς μεταβολισμού, ο καθαρός ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών ορίζεται ως:

$$r_g = -Yr_{su} - k_d X = Y \frac{kXS}{K_s + S} - k_d X \quad (5-4)$$

όπου

$r_g$ : καθαρός ρυθμός ανάπτυξης των μ/ο, mg/l.d

$k_d$ : ο συντελεστής ενδογενούς μεταβολισμού, d<sup>-1</sup>

Διαιρώντας και την εξίσωση (5-4) με τη συγκέντρωση της βιομάζας X, προκύπτει ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης:

$$\mu = \frac{r_g}{X} = Y \frac{kS}{K_s + S} - k_d \quad (5-5)$$

όπου  $\mu$ : ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης βιομάζας, mg VSS/mg VSS.d

### Η επίδραση της θερμοκρασίας

Η επίδραση της θερμοκρασίας στις σταθερές των ρυθμών αντίδρασης στις βιολογικές αντιδράσεις είναι εξαιρετικά σημαντικός. Η θερμοκρασία όχι μόνο επηρεάζει τη μεταβολική δράση του μικροβιακού πληθυσμού αλλά και έχει μια έντονη επίδραση σε άλλους παράγοντες όπως η μεταφορά μάζας από την υγρή στην αέρια φάση και η ικανότητα καθίζησης των βιολογικών στερεών. Η επίδραση της θερμοκρασίας εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$k_t = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5-6)$$

όπου

$k_t$  : ο ρυθμός αντίδρασης στη θερμοκρασία  $T^\circ \text{C}$

$k_{20}$  : ο ρυθμός αντίδρασης στη θερμοκρασία  $20^\circ \text{C}$

$\theta$  : ο συντελεστής θερμοκρασιακής ενεργότητας

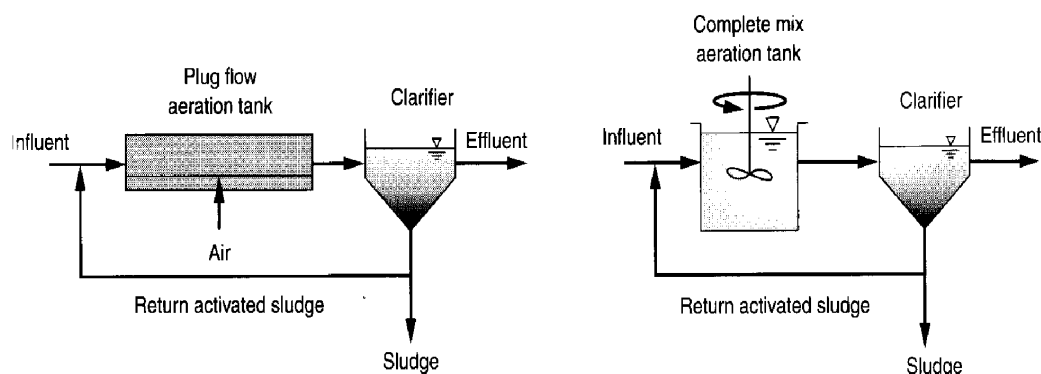
$T$  : η θερμοκρασία,  $^\circ \text{C}$

Οι τιμές του  $\theta$  για βιολογικά συστήματα είναι συνήθως 1,02 – 1,25 [1]. Θερμοκρασιακοί συντελεστές για τις διάφορες σταθερές δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## **5. 2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ**

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες στα συστήματα αιωρούμενης βιομάζας μπορεί να είναι εμβολικής ροής (σχήμα 5-2 (α)) ή πλήρους μίξης (σχήμα 5-2 (β)). Για την μοντελοποίηση ενός συστήματος αιωρούμενης βιομάζας θα θεωρήσουμε έναν

αντιδραστήρα πλήρους μίξης με ανακύκλωση και βάση αυτού θα καταστρωθούν τα ισοζύγια μάζας.



**Σχήμα 5-2:** Συστήματα αιωρούμενης βιομάζας (α) εμβολικής ροής και (β) πλήρους μίξης [1].

Ο σχεδιασμός των βιολογικών αντιδραστήρων βασίζεται στη χρήση ισοζυγίων μάζας σε ένα προκαθορισμένο όγκο και για κάθε συστατικό που μας ενδιαφέρει (για παράδειγμα η βιομάζα, οργανικό υπόστρωμα κτλ.).

### 5.2.1 Βιολογική απομάκρυνση οργανικού υποστρώματος

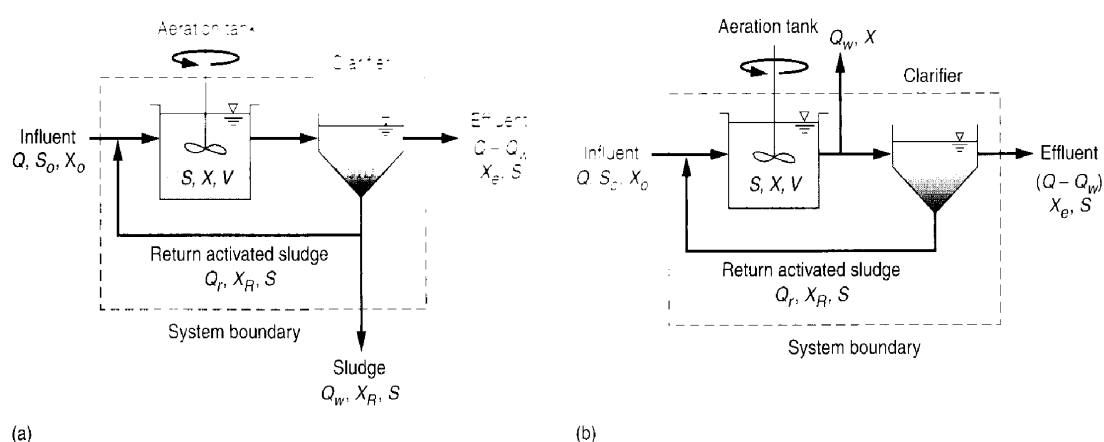
Σαν οργανικές ουσίες στο σύστημα ΕΙ θεωρούνται μόνο οι διαλυμένες και σαν μέτρο τους χρησιμοποιούνται οι παράμετροι  $BOD_5$ , COD, TOC (ειδικά για αστικά απόβλητα χρησιμοποιείται συνήθως το  $BOD_5$ ). Όσον αφορά τους μικροοργανισμούς στη δεξαμενή αερισμού (ΔΑ) (X), σαν μέτρο τους έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές παράμετροι, από τις οποίες πιο συνηθισμένη είναι το οργανικό μέρος των αιωρούμενων στερεών στη ΔΑ. Τα αιωρούμενα στερεά στη ΔΑ καλούνται MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids – αιωρούμενα στερεά του ανάμικτου υγρού) και το οργανικό (εξαερώσιμο) μέρος τους, που καλείται MLVSS, αποτελεί κατά προσέγγιση μέτρο των μικροοργανισμών στη ΔΑ.



## Ισοζύγιο μάζας μικροοργανισμών (βιομάζας)

Το γενικό ισοζύγιο μάζας για τους μικροοργανισμούς σε βιολογικό αντιδραστήρα (όπως φαίνεται στο σχήμα 5-3) είναι:

Ρυθμός συσσώρευσης μ/ο = ρυθμός εισόδου – ρυθμός εξόδου + καθαρός ρυθμός  
στο σύστημα ανάπτυξης (5-7)



**Σχήμα 5-3:** Διαδικασία της ενεργού ιλύος (α) με απομάκρυνση της ιλύος από τη γραμμή ανακυκλοφορίας, (β) με απομάκρυνση της ιλύος από τη δεξαμενή αερισμού [1].

Η παραπάνω σχέση εκφράζεται μαθηματικά:

$$\frac{dX}{dt}V = QX_0 - [(Q - Q_W)X_e - Q_W X_R] + r_g V \quad (5-8)$$

όπου  $dX/dt$ : ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης των μ/ο στον

αντιδραστήρα,  $\text{mg VSS/l.d}$

$V$  : όγκος αντιδραστήρα,  $\text{m}^3$

$Q$  : η παροχή εισροής,  $\text{m}^3/\text{d}$

$X_0$  : η συγκέντρωση των μ/ο στην εισροή,  $\text{mg VSS/l}$

$Q_w$  : η παροχή απομακρυνόμενης από το σύστημα περίσσειας λάσπης,  $m^3/d$

$X$  : η συγκέντρωση των  $\mu/o$  (MLSS) στο ρεύμα των απομακρυνόμενων

$\mu/o$  (περίσσεια λάσπης),  $mg\ VSS/l$

$X_e$  : η συγκέντρωση των  $\mu/o$  (MLSS) στην εκροή της μονάδας καθίζησης,  $mg\ VSS/l$

$r_g$  : καθαρός ρυθμός ανάπτυξης των  $\mu/o$ ,  $mg/l.d$

Για μόνιμες συνθήκες, θεωρώντας τους μικροοργανισμούς στην εισροή αμελητέους η εξίσωση (5-8) απλοποιείται:

$$(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R = r_g V \quad (5-9)$$

Η εξίσωση (5-9) σε συνδυασμό με την (5-4) δίνει:

$$\frac{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}{VX} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5-10)$$

όπου  $X$ : η συγκέντρωση της βιομάζας στον αντιδραστήρα,  $mg/l$ .

Το αντίστροφο του πρώτου σκέλους της εξίσωσης (5-10) ορίζεται ως *χρόνος παραμονής στερεών* (Solids Retention Time, SRT) :

$$SRT = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R} \quad (5-11)$$

Οπότε:

$$\frac{1}{SRT} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5-12)$$

Ο όρος  $1/SRT$  συνδέεται επίσης με τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης της βιομάζας  $\mu$ :

$$\frac{1}{SRT} = \mu \quad (5-13)$$

Ο χρόνος παραμονής στερεών είναι η βασική παράμετρος σχεδιασμού και ελέγχου ενός συστήματος ενεργού ιλύος και εκφράζει το μέσο χρόνο παραμονής των στερεών της ενεργού ιλύος στο σύστημα.

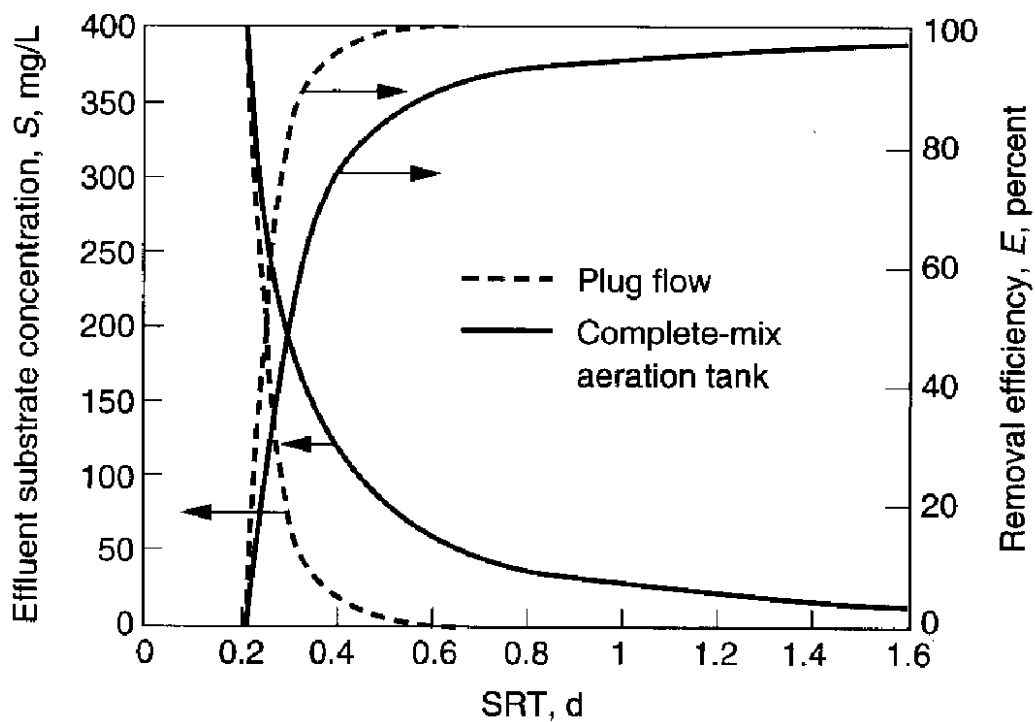
Η εξίσωση (5-12) με χρήση της (5-1) γράφεται:

$$\frac{1}{SRT} = \frac{YkS}{K_s + S} - k_d \quad (5-14)$$

Λύνοντας την εξίσωση (5-14) ως προς τη συγκέντρωση του διαλυμένου υποστρώματος στην εκροή παίρνουμε:

$$S = \frac{K_s[1 + (k_d)SRT]}{SRT(Yk - k_d) - 1} \quad (5-15)$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση εκροής του διαλυμένου υποστρώματος είναι συνάρτηση μόνο του χρόνου παραμονής στερεών και των συντελεστών κινητικής της ανάπτυξης και φθοράς. Η συγκέντρωση  $S$  είναι ανεξάρτητη της αρχικής συγκέντρωσης του οργανικού υποστρώματος, αλλά όπως θα φανεί από τα ισοζύγια μάζας επηρεάζει τη συγκέντρωση της βιομάζας. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης (5-15) για αντιδραστήρα πλήρους μίξης αλλά και εμβολικής ροής με ανακυκλοφορία ιλύος φαίνεται στο σχήμα 5-4.



**Σχήμα 5-4:** Συγκέντρωση εκροής υποστρώματος και απόδοση απομάκρυνσης συναρτήσει του χρόνου παραμονής στερεών για αντιδραστήρες πλήρους μίξης και εμβολικής ροής με ανακυκλοφορία [1].

#### Ισοζύγιο μάζας οργανικού υποστρώματος

Το ισοζύγιο μάζας για την κατανάλωση του υποστρώματος στο βιολογικό αντιδραστήρα γράφεται:

$$\frac{dS}{dt}V = QS_0 - QS + r_{su}V \quad (5-16)$$

όπου  $S_0$ : η συγκέντρωση του υποστρώματος (οργανικής ουσίας) στην εισροή, mg/l.

Θεωρώντας μόνιμες συνθήκες ( $\frac{dS}{dt}=0$ ) και συνδυάζοντας την εξίσωση (5-1) η

(5-16) γράφεται:

$$S_0 - S = \left( \frac{V}{Q} \right) \left( \frac{kXS}{K_s + S} \right) \quad (5-17)$$

Διαιρώντας τον όγκο του αντιδραστήρα με την παροχή εισροής, προκύπτει ο υδραυλικός χρόνος παραμονής  $\tau$ . Εάν η εξίσωση (5-14) λυθεί ως προς τον όρο  $\left( \frac{S}{K_s + S} \right)$  συνδυαστεί με την (5-17) προκύπτει η συγκέντρωση της βιομάζας στο βιολογικό αντιδραστήρα (δεξαμενή αερισμού):

$$X = \left( \frac{SRT}{\tau} \right) \left[ \frac{Y(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} \right] \quad (5-18)$$

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εξίσωση η συγκέντρωση της βιομάζας είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής των στερεών του συστήματος, του υδραυλικού χρόνου παραμονής στη δεξαμενή αερισμού, το συντελεστή σύνθεσης, το ποσό του απομακρυνόμενου υποστρώματος και το συντελεστή κινητικής της φθοράς.

Η σημασία του χρόνου παραμονής στερεών του συστήματος στον καθορισμό των συγκεντρώσεων της οργανικής ουσίας στην εκροή και της βιομάζας στη δεξαμενή αερισμού φαίνεται καθαρά από τις εξισώσεις (5-15) και (5-18). Όπως φαίνεται από την εξίσωση (5-11) μπορεί να διατηρηθεί μια σταθερή τιμή του SRT από την ποσότητα των στερεών που απομακρύνονται καθημερινά για τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος. Οπότε με την απομάκρυνση στερεών από τη δεξαμενή αερισμού, η τιμή του SRT μπορεί να ελεγχθεί απομακρύνοντας ένα σταθερό ποσοστό του όγκου της δεξαμενής αερισμού καθημερινά.

#### Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού και παραγωγή ιλύος

Η παραγωγή στερεών ενός βιολογικού αντιδραστήρα αντιπροσωπεύει τη μάζα του υλικού που πρέπει να απομακρυνθεί καθημερινά για τη διατήρηση της διαδικασίας. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ποσοτικοποίηση σε όρους TSS, (Volatile Suspended Solids) VSS και βιομάζας. Εξ ορισμού, ο χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα παρουσιάζει μια βολική έκφραση για τον υπολογισμό της ιλύος που παράγεται ανά ημέρα από τη διαδικασία της ενεργού ιλύος:

$$P_{X_T, VSS} = \frac{X_T V}{SRT} \quad (5-19)$$

όπου

$P_{X_T, VSS}$  : συνολικά στερεά που απομακρύνονται καθημερινά, Kg VSS/d

$X_T$  : ολική συγκέντρωση MLVSS στη δεξαμενή αερισμού, Kg/m<sup>3</sup>

$V$  : όγκος αντιδραστήρα, m<sup>3</sup>

$SRT$  : χρόνος παραμονής στερεών, d

Επειδή ο όρος  $1/SRT$  αντιπροσωπεύει το ποσοστό των στερεών που απομακρύνονται κάθε μέρα και το ανάμικτο υγρό μπορεί να θεωρηθεί ως ομογενοποιημένο μίγμα βιομάζας και άλλων στερεών, η εξίσωση (5-19) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των στερεών που απομακρύνονται καθημερινά για κάθε συστατικό του ανάμικτου υγρού. Για το ποσό της βιομάζας που απομακρύνεται καθημερινά ( $P_X$ ), μπορεί να αντικατασταθεί η συγκέντρωση  $X_T$  με τη συγκέντρωση  $X$  της βιομάζας.

Τα συνολικά MLVSS στη ΔΑ ισούνται με τη συγκέντρωση της βιομάζας  $X$  συν τη συγκέντρωση των μη βιοδιασπάσιμων εξαερώσιμων αιωρούμενων στερεών (non biodegradable volatile suspended solids, nbVSS)  $X_i$  :

$$X_T = X + X_i \quad (5-20)$$

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των nbVSS και των VSS της ενεργής βιομάζας χρειάζεται ισοζύγιο μάζας. Η συγκέντρωση των nbVSS MLVSS επηρεάζεται από την ποσότητα των nbVSS στην εισροή, την ποσότητα των nbVSS που απομακρύνονται καθημερινά και την ποσότητα του κυτταρικού ιστού που παράγεται από τα κύτταρα καθημερινά. Το ισοζύγιο μάζας για τα αδρανή συστατικά θεωρώντας μόνιμες συνθήκες γράφεται:

$$0 = QX_{0,i} - X_i V / SRT + r_{X,i} V \quad (5-21)$$

όπου

$X_{0,i}$  : η συγκέντρωση των nbVSS στην εισροή, mg/l

$X_i$  : η συγκέντρωση των nbVSS στη ΔΑ, mg/l

$r_{X,i}$  : ρυθμός παραγωγής nbVSS από τον κυτταρικό ιστό, mg/l.d

Χρησιμοποιώντας στην εξίσωση (5-21) την παρακάτω σχέση για το ρυθμό παραγωγής των nbVSS από τον κυτταρικό ιστό και λύνοντας ως προς  $X_i$  προκύπτει η εξίσωση (5-23):

$$r_{xd} = f_d (k_d) X \quad (5-22)$$

όπου

$r_{xd}$  : ρυθμός παραγωγής κυτταρικού ιστού, mg VSS/l.d

$f_d$  : ποσοστό της βιομάζας που παραμένει στον κυτταρικό ιστό, 0,10-0,15 mg VSS/mg VSS [1]

$$X_i = X_{0,i} (SRT) / \tau + f_d (k_d) X (SRT) \quad (5-23)$$

Συνδυάζοντας την εξίσωση (5-18) με την (5-23) προκύπτει η επόμενη εξίσωση που επιτρέπει τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των ολικών MLVSS:

$$X_T = \left( \frac{SRT}{\tau} \right) \left[ \frac{Y(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} \right] + f_d(k_d)(X)SRT + \frac{(X_{0,i})SRT}{\tau} \quad (5-24)$$

Αντικαθιστώντας την παραπάνω εξίσωση στην (5-19) και αντικαθιστώντας τον υδραυλικό χρόνο παραμονής με το ποσό των που παράγεται και απομακρύνεται καθημερινά υπολογίζεται ως:

$$P_{X,VSS} = \frac{QY(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} + f_d(k_d)XV + QX_{0,i} \quad (5-25)$$

Η συνολική μάζα των ξηρών στερεών που απομακρύνονται ανά ημέρα βασίζεται στα TSS, που περικλείουν τα συν τα ανόργανα στερεά. Τα ανόργανα στερεά (TSS-VSS) βρίσκονται στην εισροή και στη βιομάζα σε ποσοστό 10-15% ανά ξηρό βάρος. Τα ανόργανα στερεά της εισροής δεν είναι διαλυτά και θεωρούνται ότι περικλείονται στα στερεά του ανάμικτου υγρού και απομακρύνονται με τα υπόλοιπα στερεά. Η εξίσωση (5-25) έχει τροποποιηθεί ώστε να υπολογιστεί η παραγωγή στερεών σε όρους TSS προσθέτοντας τα ανόργανα στερεά της εισροής και υπολογίζοντας τη βιομάζα σε όρους TSS θεωρώντας μια τυπική αναλογία 0,85. Η αναλογία αυτή διακυμαίνεται από 0,80-0,90 [1].

$$P_{X,TSS} = \frac{A}{0,85} + \frac{B}{0,85} + C + Q(TSS_0 - VSS_0) \quad (5-26)$$

όπου

$$A = \frac{QY(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT}$$



$$B = f_d(k_d)(X)SRT$$

$$C = \frac{(X_{0,i})SRT}{\tau}$$

$P_{X,TSS}$  : ποσότητα ενεργού ιλύος που απομακρύνεται καθημερινά σε όρους ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), Kg/d

$TSS_0$  : συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην εισροή, mg/l

$VSS_0$  : συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών στην εισροή, mg/l

Η μάζα των MLVSS και MLSS μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (5-25) και (5-26) αντίστοιχα:

$$Μάζα MLVSS = (X_{VSS})V = (P_{X,VSS})SRT \quad (5-27)$$

$$Μάζα MLSS = (X_{TSS})V = (P_{X,TSS})SRT \quad (5-28)$$

### Απαιτήσεις σε οξυγόνο

Το οξυγόνο που απαιτείται για τη βιοδιάσπαση των οργανικών συστατικών υπολογίζεται μέσω ισοζυγίου μάζας χρησιμοποιώντας τη συγκέντρωση του bCOD των επεξεργασμένων λυμάτων και την ποσότητα της βιομάζας που απομακρύνεται καθημερινά από το σύστημα. Εάν όλο το bCOD οξειδωνόταν σε  $CO_2 + H_2O$  η ζήτηση σε οξυγόνο θα ήταν ίση με τη συγκέντρωση bCOD, αλλά τα βακτήρια οξειδώνουν ένα τμήμα του bCOD για να παράγουν ενέργεια και χρησιμοποιούν ένα άλλο τμήμα του για την κυτταρική ανάπτυξη. Οξυγόνο επίσης καταναλώνεται για την ενδογενή αναπνοή και το ποσό εξαρτάται από το χρόνο παραμονής στερεών του συστήματος. Για ένα δεδομένο SRT, μπορεί να καταστρωθεί το ισοζύγιο μάζας του συστήματος όπου η απομάκρυνση του bCOD ισούται με το οξυγόνο που χρησιμοποιείται συν τη βιομάζα (VSS) που παραμένει στο σύστημα (σε όρους ισοδύναμου

οξυγόνου). Οπότε για μια διεργασία αιωρούμενης βιομάζας όπως η ενεργός ιλύς το οξυγόνο που χρησιμοποιείται είναι:

$$Oxygenused = bCODremoved + CODofwastesludge \quad (5-29)$$

$$R_0 = Q(S_0 - S) - 1,42P_{X,bio} \quad (5-30)$$

όπου

$R_0$  : το οξυγόνο που απαιτείται, Kg/d

$P_{X,bio}$  : η βιομάζα που απομακρύνεται καθημερινά ως VSS, Kg/d

### Παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας

- Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς (food to microorganism ratio, F/M)

Μια παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρύτατα στον σχεδιασμό των συστημάτων ενεργού ιλύος είναι ο λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς και ορίζεται σαν το πηλίκο της μάζας του BOD που διατίθεται στους μικροοργανισμούς (τροφή) ανά μονάδα χρόνου δια της συνολικής μάζας των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού:

$$F / M = \frac{QS_0}{VX} = \frac{S_0}{\tau X} \quad (5-31)$$

όπου

F/M : λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς, g BOD/g VSS.d

- Φόρτιση οργανικών στερεών (organic volumetric loading rate)

Η φόρτιση οργανικών στερεών ορίζεται ως το ποσό του BOD στην ΔΑ ανά ημέρα:

$$L_{org} = \frac{QS_0}{V} \quad (5-32)$$

όπου  $L_{org}$  : οργανική φόρτιση στερεών, Kg BOD/m<sup>3</sup>.d

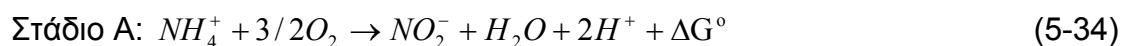
### 5.2.2 Βιολογική Νιτροποίηση (Biological Nitrification)

Νιτροποίηση είναι η μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου (NH<sub>4</sub>-N) σε νιτρικό άζωτο (NO<sub>3</sub>-N) που συντελείται τόσο από αυτοτροφικά όσο και από ετεροτροφικά βακτηρίδια. Αν και έχουν αναφερθεί ορισμένα είδη ετεροτροφικών μικροοργανισμών που είναι σε θέση να εκτελούν τη μετατροπή των NH<sub>4</sub>-N σε NO<sub>3</sub>-N είναι εξαιρετικά αμφίβολο αν είναι σπουδαίες οι ποσότητες των NO<sub>3</sub>-N που παράγονται από τα NH<sub>4</sub>-N στη φύση από ετεροτροφικούς οργανισμούς. Έτσι θεωρείται ότι οι κύριοι υπεύθυνοι για τη νιτροποίηση είναι οι αυτοτροφικοί οργανισμοί.

Η διαδικασία της νιτροποίησης γίνεται σε δύο στάδια και αθροιστικά φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση:



Ειδικότερα



Όπου  $\Delta G^\circ = -271 \text{ KJ/mole } NH_4\text{-N}$

Βακτηρίδια που διεξάγουν τη διαδικασία αυτή περιλαμβάνουν τα είδη:

Nitrosomonas europae, Nitrosomonas monocella, Nitrosococcus



Όπου  $\Delta G^\circ = -78 \text{ KJ/mole } NH_4\text{-N}$

Βακτηρίδια που διεξάγουν τη διαδικασία περιλαμβάνουν τα είδη:

*Nitrobacter agilis*, *Nitrobacter winogradskyi*, *Nitrocystis*.

Οι μικροοργανισμοί που δρουν σε αμφότερα τα στάδια Α και Β αποκτούν την απαιτούμενη για την ανάπτυξη ενέργειά τους από μη οργανικές οξειδώσεις με αποτέλεσμα να ταξινομούνται στους χημικοαυτοτροφικούς μικροοργανισμούς.

### Παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση και κινητικές που περιγράφουν τη διαδικασία

#### 1. Συγκέντρωση περιοριστικής ουσίας

Η σχέση του Monod μπορεί να εκφράσει τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης των νιτροποιητικών βακτηριδίων:

$$\mu_n = \mu_{nm} \frac{N}{K_n + N} - k_{dn} \quad (5-36)$$

όπου

$\mu_n$  : ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών,

$\mu_{nm}$  : ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών

$N$  : η συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  (τροφή που περιορίζει την τροφή), mg/l

$K_n$  : η σταθερά κορεσμού Monod, mg/l

$k_{dn}$  : ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών,  $\text{d}^{-1}$

Εν γένει οι τιμές  $\mu_{nm}$  για τους αυτοτροφικούς νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς είναι τουλάχιστον μιας τάξης μεγέθους μικρότερες από τις αντίστοιχες,  $\mu_m$ , των ετεροτροφικών. Έτσι η νιτροποίηση επιτελείται μόνο σε αντιδραστήρες στους οποίους ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης της βιομάζας είναι αρκετά χαμηλός και αντίστοιχα ο χρόνος παραμονής των στερεών μεγάλος.

#### 2. Συγκέντρωση οξυγόνου

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) επηρεάζει τη δραστηριότητα των νιτροποιητικών βακτηριδίων κατά τρόπο που περιγράφεται από τη σχέση του Monod:

$$\mu_n = \mu_{nm} \frac{DO}{DO + K_o} \quad (5-37)$$

όπου

DO : η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (mg/l)

$K_o$  : η σταθερά κορεσμού για το οξυγόνο (mg/l) που έχει τιμή περίπου 0,5-1 mg  $O_2$ /lt και δείχνει ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να είναι τουλάχιστον 2-3 mg/l για να αποφευχθεί μείωση της ταχύτητας εξαιτίας έλλειψης οξυγόνου. Χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου (μικρότερες των 1-1,5 mg/l) οδηγούν σε περιορισμένη νιτροποίηση ιδίως υπό συνθήκες έντονα κυμαινόμενων φορτίων αζώτου.

### 3. pH

Το pH ποικίλει τόσο σε μικρές περιόδους (ώρες, μέρες) όσο και σε μεγαλύτερες (μήνες, έτη). Η βέλτιστη τιμή του pH για νιτροποίηση είναι μεταξύ 8 και 9 ενώ σε τιμές κάτω του 6 και πάνω από 10 τα νιτροποιητικά βακτηρίδια αδρανοποιούνται πλήρως. Στην παρακάτω σχέση απεικονίζεται η επίδραση του pH στο ρυθμό ανάπτυξης:

$$\mu_n = \mu_{nmT} [1 - 0,833(7,2 - pH)] \quad (5-38)$$

Η συνολική έκφραση των παραπάνω οδηγεί στην παρακάτω εξίσωση για το ρυθμό νιτροποίησης (θεωρώντας ότι το pH βρίσκεται στην κατάλληλη περιοχή ώστε να μην επηρεάζει τη νιτροποίηση):

$$\mu_n = \mu_{nm} \frac{N}{K_n + N} \frac{DO}{K_o + DO} - k_{dn} \quad (5-39)$$

#### 5.2.3 Βιολογική Απονιτροποίηση (Biological Denitrification)

Ως απονιτροποίηση ορίζεται η μείωση των νιτρικών καθώς προσφέρονται ως τελικός δέκτης ηλεκτρονίων για μικροβιακή αναπνοή σε απουσία μοριακού οξυγόνου.

Η αναγωγή των νιτρικών γίνεται σε ανοξικές συνθήκες με την επίδραση δυο ειδών ενζύμων:

1. τα αφορμειωτικά ένζυμα ανάγουν το νιτρικό άζωτο σε αμμωνιακό άζωτο το οποίο χρησιμοποιείται από τα κύτταρα για τη σύνθεση και πραγματοποιείται όταν το νιτρικό άζωτο είναι η μόνη διαθέσιμη για τα κύτταρα μορφή αζώτου.
2. τα μη αφορμειωτικά ένζυμα ανάγουν τα νιτρικά σε αέριο άζωτο, το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να απομακρύνεται από τα απόβλητα. Τα απόβλητα πρέπει να περιέχουν επαρκή ποσότητα οργανικού άνθρακα που δρα ως δότης ηλεκτρονίων για την μετατροπή των νιτρικών (δέκτης ηλεκτρονίων).

Οι απονιτροποιητικοί οργανισμοί που αφθονούν στα λύματα περιλαμβάνονται στα είδη: *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Aerobacter*, *Mikrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flabobacterium*, *Proteus*.

Η ιδιότητα της ποικιλίας των απονιτροποιητικών βακτηριδίων διευκολύνει την εφαρμογή της διαδικασίας της απονιτροποίησης κάτω από πλατιά διακύμανση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρόλα αυτά πρέπει να επισημανθεί ότι το καταλληλότερο περιβάλλον για απονιτροποίηση είναι η παρουσία νιτρικών και ενός δότη ηλεκτρονίων (πηγή άνθρακα) και όπως ήδη αναφέρθηκε η απουσία οξυγόνου. Αυτό συμβαίνει διότι η παρουσία οξυγόνου στο περιβάλλον και η δραστική του χρήση ως τελικός δέκτης ηλεκτρονίων έχει σαν αποτέλεσμα την καταστολή της σύνθεσης του συστήματος των ενζύμων που μετατρέπει τα νιτρικά. Είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι για να κατορθωθεί μια καλή απόδοση απονιτροποίησης, το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου (DO) πρέπει να είναι μικρότερο του 0,5 mg/l [1].

Η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε ανοξικούς αντιδραστήρες για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το πιο διαδεδομένο σύστημα είναι το μονοβάθμιο, δηλαδή η τοποθέτηση ενός ανοξικού αντιδραστήρα στον οποίο επιτελείται η απονιτροποίηση πριν τη δεξαμενή αερισμού όπου συμβαίνει η νιτροποίηση. Η ανάπτυξη των ετεροτροφικών βακτηριδίων γίνεται και στην ανοξική και στην αερόβια ζώνη με κατανάλωση οξυγόνου και άζωτου αντίστοιχα. Η συγκέντρωση της βιομάζας του ανάμικτου υγρού μπορεί να υπολογιστεί βασιζόμενη στην συνολική ποσότητα BOD που απομακρύνεται, αλλά μόνο ένα ποσοστό από αυτή τη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιήσει και το οξυγόνο και το άζωτο σαν δέκτες ηλεκτρονίων. Για να εφαρμόσουμε κινητικές ανάπτυξης για την απονιτροποίηση, ο ρυθμός κατανάλωσης του υποστρώματος διαφοροποιείται έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι μόνο ένα μέρος της βιομάζας είναι ενεργό στην ανοξική ζώνη.

Οπότε η εξίσωση (5-1) για την απονιτροποίηση γράφεται:

$$r_{su} = -\frac{kXS\eta}{K_s + S} \quad (5-40)$$

όπου  $\eta$  : το ποσοστό των νιτροποιητικών βακτηριδίων στη βιομάζα, g VSS/g VSS

Στις παραπάνω παραγράφους αναφερθήκαμε στην επίδραση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στην απονιτροποιητική διαδικασία. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απονιτροποίηση είναι και η συγκέντρωση των νιτρικών. Λαμβάνοντας υπόψη τους δυο αυτούς παράγοντες η εξίσωση (5-41) μετατρέπεται ως εξής:

$$r_{su} = -\left(\frac{kXS}{K_s + S}\right)\left(\frac{NO_3}{K_{S,NO_3} + NO_3}\right)\left(\frac{K'_0}{K'_0 + DO}\right)(\eta) \quad (5-42)$$

όπου

$K'_0$  : αναχαιτιστική σταθερά του διαλυμένου οξυγόνου  
για τη μείωση των νιτρικών, mg/l

$K_{S,NO_3}$  : σταθερά ημικορεσμού για τη περιορισμένη αντίδραση των νιτρικών, mg/l.

### 5.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Το σύστημα ενεργού ιλύος που αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1914 στην Αγγλία από τους Arden και Lockett, αποτελεί τη δημοφιλέστερη μέθοδο βιολογικού καθαρισμού των υγρών αποβλήτων καθώς συνδυάζει υψηλή απόδοση με σχετικά χαμηλό κόστος συγκριτικά με τα άλλα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας. Στην Ελλάδα η συντριπτική πλειοψηφία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο ή κάποια παραλλαγή της (συνήθως παρατεταμένο αερισμό ή συμβατική ενεργός ιλύς) και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό αναλυτικά.

Ο όρος 'Ενεργός Ιλύς' χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μίγμα βιοκροκίδων που απομακρύνουν τις οργανικές ουσίες από τα απόβλητα κάτω από αερόβιες συνθήκες και στη συνέχεια απομακρύνονται και οι ίδιοι με καθίζηση. Το σύστημα ενεργού ιλύος έχει πολλές παραλλαγές (οι πιο γνωστές από τις οποίες είναι η συμβατικής ενεργός ιλύς και ο παρατεταμένος αερισμός) υποδηλώνοντας ότι ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια σειρά από διαφορετικές εφαρμογές. Όλες όμως αυτές οι παραλλαγές χαρακτηρίζονται από τέσσερις βασικές αρχές [2]:

- (1) Χρησιμοποιούν το μίγμα των βιοκροκίδων για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων.
- (2) Οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται με καθίζηση πριν τη διάθεση των αποβλήτων, έτσι ώστε η εκροή να είναι απαλλαγμένη από το μικροβιακό φορτίο.
- (3) Ένα μέρος της μάζας των μικροοργανισμών που καθιζάνουν (λάσπη) επανακυκλοφορείται στον αντιδραστήρα, ενώ το υπόλοιπο απομακρύνεται για παραπέρα επεξεργασία (επεξεργασία λάσπης).
- (4) Η λειτουργία τους βασίζεται κυρίως στον ελάχιστο χρόνο παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα.

Ένα σύστημα ενεργού ιλύος περιλαμβάνει:

- (i) ένα βιολογικό αντιδραστήρα που καλείται Δεξαμενή Αερισμού (ΔΑ), όπου οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται σε αιώρηση καταναλώνουν τις οργανικές



ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο, που προστίθεται στη μάζα των αποβλήτων με ειδικές διατάξεις αερισμού και

(ii) Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ), όπου οδηγούνται και καθιζάνουν οι μικροοργανισμοί. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένα μέρος της μάζας των μικροοργανισμών που καθιζάνουν επανακυκλοφορείται στη ΔΑ, έτσι ώστε η συγκέντρωσή τους στη ΔΑ να διατηρείται σταθερή, ενώ το υπόλοιπο απομακρύνεται για περαιτέρω επεξεργασία.

Ένα σύστημα ΕΙ μπορεί να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει και άλλους βιολογικούς αντιδραστήρες, όπως π.χ. ανοξικές δεξαμενές για απονιτροποίηση, αναερόβιες δεξαμενές για απομάκρυνση φωσφόρου και δεξαμενές επιλογής βακτηριδίων για τον περιορισμό της ανάπτυξης διάφορων βακτηριδίων.

#### 5.3.1 Βασικά στοιχεία σχεδιασμού και ελέγχου

- Χρόνος παραμονής στερεών

Χρησιμοποιώντας το SRT ως παράμετρο ελέγχου του συστήματος, μπορούμε να καθορίσουμε τον βαθμό της σταθεροποίησης των οργανικών ουσιών, διότι όπως προκύπτει από τις εξισώσεις (5-15) και (5-18) εφόσον είναι γνωστοί οι συντελεστές κινητικής, η συγκέντρωση εκροής για τους μ/ο και τις οργανικές ουσίες καθορίζεται με βάση το χρόνο παραμονής των στερεών στο σύστημα.

Επειδή ο SRT είναι εξ ορισμού ανεξάρτητος του υδραυλικού χρόνου παραμονής ( $\tau$ ) στη ΔΑ, μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη απομάκρυνση του BOD με την εφαρμογή μεγάλων SRT και μικρών  $\tau$  (μικρών όγκων ΔΑ). Ο SRT εξαρτάται από την ποσότητα ιλύος που απομακρύνεται από το σύστημα. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα ιλύος που απομακρύνεται τόσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής των στερεών στο σύστημα. Η χρήση όμως μεγάλων SRT και μικρών  $\tau$ , αν και θεωρητικά δυνατή, στην πράξη έχει περιορισμούς που απορρέουν από το ότι η απόδοση της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΔΚ) μειώνεται όταν η ποσότητα λάσπης που απομακρύνεται είναι μικρή.

Διάφορες τιμές των SRT και  $\tau$  που χρησιμοποιούνται στην πράξη για τις διάφορες παραλλαγές της ΕΙ δίνονται στον πίνακα 5-1.

**Πίνακας 5-1:** Τιμές παραμέτρων ΕΙ [5].

Παράμετρος	SRT	$\tau$	F/M	$L_{org}$	MLSS	R	Απόδοση απομάκρυνσης BOD
Παραλλαγή	d	h	Kg BOD <sub>5</sub> /Kg MLVSS.d	Kg BOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d	mg/l		%
Συμβατική ΕΙ	4-15	4-8	0,2-0,6	0,3-0,6	1000-3000	0,25-0,5	85-95
Παρατεταμένος Αερισμός	20-30	18-36	0,05-0,25	<0,4	3000-6000	0,75-1,5	75-90

Στην πράξη και για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων, για ικανοποιητική απόδοση της καθίζησης οι τιμές του SRT κυμαίνονται από 3-15 d [2].

- Λόγος επανακυκλοφορίας

Είναι ο λόγος της παροχής επανακυκλοφορίας προς την παροχή εισροής Q:

$$R = \frac{Q}{Q_R} \quad (5-42)$$

Το  $R$  προσδιορίζεται από το ισοζύγιο μάζας των μικροοργανισμών  $X$  στη δεξαμενή αερισμού:

$$Q_R X_R + Q X_0 = (Q + Q_R) X \quad (5-43)$$

Από την παραπάνω σχέση και με την παραδοχή ότι  $X_0 \approx 0$  προκύπτει:

$$R = \frac{X}{X_R - X} \quad (5-44)$$

- Παραγωγή ιλύος

Ο σχεδιασμός των μονάδων επεξεργασίας και η διάθεση της ιλύος εξαρτάται άμεσα από την πρόβλεψη της παραγόμενης ποσότητας ιλύος του συστήματος. Εάν οι μονάδες επεξεργασίας είναι υποδιαστασιολογημένες, τότε ενδέχεται το σύστημα επεξεργασίας να υπολειπουργεί αφού η ιλύς θα συσσωρεύεται στο σύστημα της ενεργού ιλύος. Η παραγωγή της ιλύος βασίζεται στο σχεδιασμό του συστήματος της ενεργού ιλύος στο οποίο έχει γίνει ο χαρακτηρισμός των λυμάτων και έχουν εντοπιστεί και καταμετρηθεί οι πηγές ιλύος.

Η παρακάτω εξίσωση βασίζεται στην εξίσωση (5-25) υπολογίζει την ανάπτυξη των ετεροτροφικών βακτηριδίων, την κυτταρική μάζα λόγω της φθοράς, τη βιομάζα των νιτροποιητών και τα μη βιοδιασπάσιμα αιωρούμενα στερεά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της παραγόμενης ιλύος.

$$P_{X,VSS} = \frac{QY(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} + \frac{(f_d)(k_d)QY(S_0 - S)SRT}{1 + (k_d)SRT} + \frac{QY(NO_x)}{1 + (k_{dn})SRT} + Q(nbVSS) \quad (5-45)$$

όπου

$NO_x$  : η συγκέντρωση νιτρικών εισροής που νιτροποιείται, mg/l

Η συνολική μάζα των στερεών που παράγονται περιλαμβάνει εκπροσωπεί τα ολικά αιωρούμενα στερεά και όχι μόνο τα εξαερώσιμα. Τα ανόργανα στερεά της εισροής συνεισφέρουν στην παραγωγή ιλύος και πρέπει να προστεθούν στην εξίσωση (5-45). Οι τρεις πρώτοι όροι της εξίσωσης (5-45) περιλαμβάνουν ανόργανα στερεά και η αναλογία των εξαερώσιμων στερεών της ολικής βιομάζας είναι περίπου 0,85 σύμφωνα με την κυτταρική σύνθεση. Οπότε η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί ως εξής για να περιγράψει τη συνολική παραγωγή στερεών:

$$P_{X,TSS} = \frac{A}{0,85} + \frac{B}{0,85} + \frac{C}{0,85} + D + Q(TSS_0 - VSS_0) \quad (5-46)$$

- Θρεπτικά

Για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος ΕΙ είναι αναγκαία η παρουσία θρεπτικών στοιχείων καθώς είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία είναι το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P) που πρέπει να βρίσκονται σε επαρκείς για τους μικροοργανισμούς ποσότητες. Σύμφωνα με τη σύσταση του κυτταρικού ιστού  $C_5H_7NO_2$ , η απαιτούμενη ποσότητα αζώτου είναι 12 % κατά βάρος, ενώ οι απαιτήσεις σε φώσφορο είναι συνήθως το ένα πέμπτο αυτής της τιμής [1,2]. Οι τιμές αυτές είναι τυπικές αλλά όχι αμετάβλητες καθώς όπως έχει αποδειχτεί, η κατανομή του αζώτου και του φωσφόρου στον κυτταρικό ιστό εξαρτάται από την ηλικία των κυττάρων και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Κάνοντας την παραπάνω παραδοχή, το ισοζύγιο μάζας για το άζωτο γράφεται:

$N$  που οξειδώνεται =  $N$  εισροής –  $N$  εκροής –  $N$  κυτταρικού ιστού

$$Q(NO_X) = Q(TKN_0) - QN_e - 0,12P_{X,bio}$$

$$NO_X = TKN - N_e - 0,12P_{X,bio} \quad (5-47)$$

όπου

$TKN$  :  $TKN$  εισροής,

$N_e$  : συγκέντρωση νιτρικών εκροής, mg/l

$P_{X,bio}$  : βιομάζα σαν VSS που απομακρύνεται, Kg /d (ισούται με τους τρεις πρώτους όρους της εξίσωσης (5-45))

- Στερεά εκροής

Η παρουσία TSS στην εκροή της ΔΔΚ, που οφείλεται στα MLSS που δεν καθιζάνουν, συμβάλλει στο συνολικό BOD της εκροής. Η επιτρεπόμενη συγκέντρωση των στερεών αυτών δίνεται από κανονισμούς. Το BOD των στερεών της εκροής οφείλεται στο βιοδιασπάσιμο μέρος των VSS, που είναι μικρότερο από 0,76-0,77 των VSS και μειώνεται όσο αυξάνεται ο SRT. Με την

παραδοχή συγκέντρωσης διαλυτού BOD = 3 mg/l και ποσοστού VSS/TSS 0,85 το τελικό BOD στην εκροή θα είναι [1]:

$$BOD_e = sBOD + \frac{1gBOD}{1,42gVSS} \frac{0,85gVSS}{gTSS} (TSS, mg/l) \quad (5-48)$$

- Θέσπιση τιμών των σταθερών του συστήματος

Οι τυπικές τιμές των κινητικών σταθερών που χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό του συστήματος της ενεργού ιλύος έχουν εξαχθεί από πειραματικές αναλύσεις για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος και συνήθως αυτές χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό του συστήματος της ενεργού ιλύος. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι τυπικές τιμές αυτών των σταθερών για τους ετεροτροφικούς και τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς.

**Πίνακας 5-2:** Σταθερές κινητικής EI για ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς στους 20 ° C[1].

Συντελεστής	Μονάδες	Διακύμανση	Τυπική τιμή
$\mu_m$	g VSS/g VSS.d	3-13,2	6
$K_S$	g bCOD/m <sup>3</sup>	5-40	20
$Y$	g VSS/g bCOD	0,3-0,5	0,4
$k_d$	g VSS/g VSS.d	0,06-0,20	0,12
$f_d$	-	0,08-0,20	0,15
Τιμές θ			
$\mu_m$	-	1,03-1,08	1,07
$k_d$	-	1,03-1,08	1,04
$K_S$	-	1	1

**Πίνακας 5-3:** Σταθερές κινητικής EI για νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς στους 20 ° C[1].

Συντελεστής	Μονάδες	Διακύμανση	Τυπική τιμή
$\mu_{mn}$	g VSS/g VSS.d	0,2-0,9	0,75
$K_n$	g NH <sub>4</sub> -N/m <sup>3</sup>	0,5-1,0	0,74
$Y_n$	g VSS/g NH <sub>4</sub> -N	0,10-0,15	0,12
$k_{dn}$	g VSS/g VSS.d	0,05-0,15	0,08
$K_o$	mg/l	0,40-0,60	0,50
Τιμές θ			
$\mu_n$	-	1,06-1,123	1,07
$K_n$	-	1,03-1,123	1,053
$k_{dn}$	-	1,03-1,08	1,04

- Δεξαμενές αερισμού

Τα πιο συνηθισμένα είδη δεξαμενών αερισμού είναι οι ορθογώνιες, οι οξειδωτικές τάφροι και παραλλαγές αυτών. Μια πολύ συνηθισμένη μορφή δεξαμενής αερισμού είναι η οξειδωτική τάφρος με οριζόντια τοποθετημένους ρότορες (αναλύονται παρακάτω). Η είναι μια παραλλαγή τους. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί κάθετα τοποθετημένους αεριστήρες και η διαδρομή των λυμάτων μέσα στη δεξαμενή είναι πολύ μεγάλη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται απονιτροποίηση. Το βάθος μιας οξειδωτικής τάφρου μπορεί να ποικίλλει από 0,9-5,5m [10]. Κατάλληλο μήκος για δεξαμενές αερισμού με επιφανειακούς αεριστήρες ποικίλλει από 3,0-6,1m ενώ για αερισμό με διαχυτήρες 4,6-7,6m.

- Σχεδιασμός ανοξικής δεξαμενής

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ανοξική δεξαμενή – ζώνη σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος που πραγματοποιεί και απομάκρυνση αζώτου, τοποθετείται πριν τον αερόβιο βιολογικό αντιδραστήρα. Ο σχεδιασμός της βασίζεται συνήθως σε μια παράμετρο γνωστή ως ‘ταχύτητα απονιτροποίησης’ (Specific Denitrification Rate, *SDNR* ) και δίνεται από τη σχέση:

$$NO_r = (V_{nox})(SDNR)(MLVSS) \quad (5-49)$$

όπου

$NO_r$  : η ποσότητα των νιτρικών που απομακρύνεται, Kg/d

$V_{nox}$  : όγκος του ανοξικού αντιδραστήρα, m<sup>3</sup>

$SDNR$  : ταχύτητα απονιτροποίησης, Kg NO<sub>3</sub>N/ Kg MLVSS.d

Τιμές της *SDNR* που έχουν παρατηρηθεί σε τέτοιου είδους συστήματα κυμαίνονται από 0,04-0,42 Kg NO<sub>3</sub>N/ Kg MLVSS.d. Εμπειρικές σχέσεις μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία [1]. Η τιμή της *SDNR* επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία των λυμάτων και γι αυτό θα πρέπει κατά τον υπολογισμό της να χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$SDNR_T = SDNR_{20} \theta^{T-20} \quad (5-50)$$

όπου

$\theta$  : θερμοκρασιακή σταθερά (=1,026)

$T$  : θερμοκρασία, °C

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών στην εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος (λύνοντας ως προς τη συγκέντρωση των νιτρικών), που προκύπτει από ισοζύγιο μάζας στο σύστημα ανοξικού – αερόβιου αντιδραστήρα [1]:

$$IR = \frac{NO_x}{N_e} - 1 - R \quad (5-51)$$

όπου

$IR$  : ο βαθμός εσωτερικής ανακυκλοφορίας (από τον αερόβιο στον ανοξικό αντιδραστήρα)

$NO_x$  : η ποσότητα των νιτρικών που παράγονται στη ΔΑ, mg  $NO_3$ -N/l

$N_e$  : η συγκέντρωση εκροής του νιτρικού αζώτου, mg/l

### 5.3.2 Αερισμός

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, σκοπός του συστήματος αερισμού είναι κατά πρώτον η παροχή της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την κατανάλωση των οργανικών ουσιών και κατά δεύτερον η ανάμιξη στη δεξαμενή αερισμού ώστε οι μικροοργανισμοί να μην καθιζάνουν στον πυθμένα και να υπάρχει ομοιόμορφη συγκέντρωση των μικροοργανισμών, του οξυγόνου και των οργανικών ουσιών σε όλο τον όγκο της ΔΑ.

Ο σχεδιασμός του συστήματος αερισμού κατά τη διαδικασία της ενεργού ιλύος πρέπει να: (1) ικανοποιεί το βιοδιασπάσιμο COD των αποβλήτων, (2) ικανοποιεί την ενδογενή αναπνοή της βιομάζας, (3) ικανοποιεί τη ζήτηση οξυγόνου για τη νιτροποίηση, (4) παρέχει επαρκή ανάμιξη ώστε οι μικροοργανισμοί να μην καθιζάνουν στον πυθμένα και να υπάρχει ομοιόμορφη συγκέντρωση των μικροοργανισμών, του οξυγόνου και των οργανικών ουσιών σε όλο τον όγκο της ΔΑ και (5) διατηρεί μια ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού.

### Μέθοδοι αερισμού

Οι βασικές μέθοδοι αερισμού είναι:

1. Η διοχέτευση αέρα ή καθαρού οξυγόνου στα απόβλητα με τη χρήση βυθισμένων πορωδών διαχυτήρων ή μέσω στομιών αέρα.
2. Ανάδευση των αποβλήτων με μηχανικά μέσα (επιφανειακούς αεριστήρες) με στόχο την προώθηση αέρα από την ατμόσφαιρα στα απόβλητα.
3. Ο συνδυασμός των δυο παραπάνω, όπου το οξυγόνο διοχετεύεται με διαχυτήρες και διασπείρεται με επιφανειακούς αεριστήρες.

#### 1. Διαχυτήρες

Κατά τον αερισμό με διάχυση φυσαλίδων, τοποθετούνται διαχυτήρες κοντά στον πυθμένα των ΔΑ, οι οποίοι διοχετεύουν φυσαλίδες αέρα, που ανέρχονται προς την επιφάνεια μεταφέροντας οξυγόνο στη μάζα των αποβλήτων. Η μεταφορά του οξυγόνου γίνεται κυρίως κατά το σχηματισμό των φυσαλίδων και λίγο μετά την απελευθέρωσή τους από τους διαχυτήρες. Η απόδοση μεταφοράς οξυγόνου επηρεάζεται κυρίως από το μέγεθος των φυσαλίδων, τη διάταξη των διαχυτήρων και τη γεωμετρία της ΔΑ. Γενικά όσο μειώνεται το μέγεθος των φυσαλίδων τόσο αυξάνεται η απόδοση της μεταφοράς οξυγόνου,



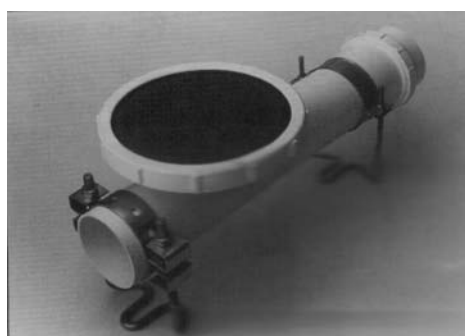
λόγω αύξησης του εμβαδού της διαχωριστικής επιφάνειας αέρα – αποβλήτων για ένα δεδομένο όγκο αποβλήτων.

Οι βασικοί τύποι διαχυτήρων είναι δυο: οι πορώδεις και οι μη πορώδεις.

Οι πορώδεις έχουν σχήμα δίσκου ή σωλήνα (σχήμα 5-5). Κατασκευάζονται από κεραμικό, πλαστικό ή ελαστική μεμβράνη και παράγουν λεπτές ή μέσες φυσαλίδες με τη διαβίβαση αέρα μέσα από το πορώδες μέσο.

Οι διαχυτήρες σχήματος σωλήνα τοποθετούνται συνήθως κάθετα στο τοίχωμα της ΔΑ κατά μήκος της μιας πλευράς και δημιουργούν σπειροειδή ροή για να επιτυγχάνεται ανάμιξη. Οι διαχυτήρες σχήματος δίσκου κατανέμονται συνήθως σε όλη την επιφάνεια του πυθμένα της ΔΑ.

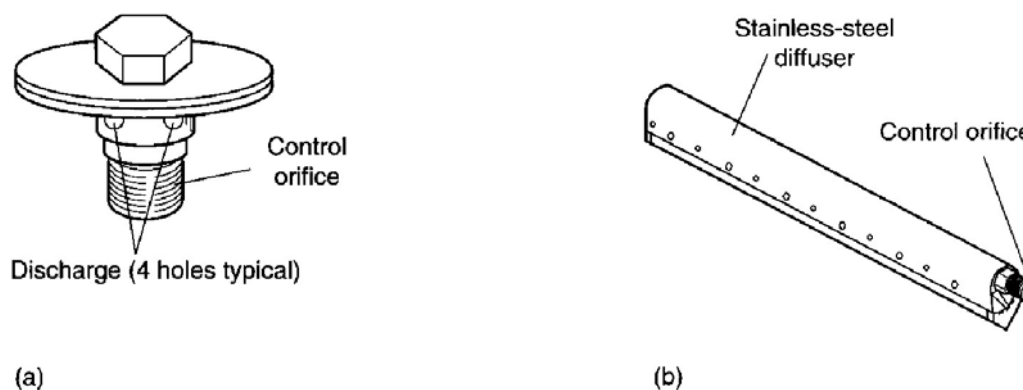
Τα κύρια πλεονεκτήματα των διαχυτήρων είναι ότι επιτυγχάνουν καλή ανάμιξη και ότι διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία των αποβλήτων στη ΔΑ. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης και η απαίτηση φίλτρων αέρα για να αποφεύγεται το φράξιμό τους.



**Σχήμα 5-5 :** Τύποι πορώδων διαχυτήρων [1].

Οι μη πορώδεις διαχυτήρες (σχήμα 5-6) παράγουν μέσες – χοντρές φυσαλίδες από στόμια. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν φράζουν, διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία στις ΔΑ και έχουν χαμηλό κόστος

συντήρησης. Τα μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος, η χαμηλή σχετική απόδοση και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.



**Σχήμα 5-6:** Είδη μη πορώδων διαχυτήρων [1].

Η απόδοση μεταφοράς οξυγόνου  $\varepsilon$  (%) των διαχυτήρων ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{\text{μάζα απορροφούμενου οξυγόνου} / \text{μονάδα χρόνου}}{\text{μάζα περιεχόμενου οξυγόνου} / \text{μονάδα χρόνου}} \quad (5-52)$$

Οι τυπικές τιμές απόδοσης των διαχυτήρων (που εξαρτάται και από το βάθος της ΔΑ) είναι 10-30% για λεπτές φυσαλίδες, 6-15% για μέσες και 4-6% για χοντρές [5]. Αν και οι μη πορώδεις διαχυτήρες, λόγω του μεγέθους των φυσαλίδων έχουν μικρότερη απόδοση, συχνά είναι οικονομικότεροι από τους πορώδεις, επειδή δεν απαιτούν μεγάλο σχετικά αρχικό κόστος και μεγάλο κόστος συντήρησης.

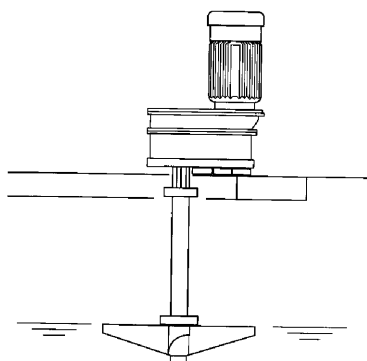
Εκτός από την απόδοση  $\varepsilon$ , η αξιολόγηση των διαχυτήρων γίνεται και με την ικανότητα μεταφοράς μάζας οξυγόνου ( $\text{kg O}_2/\text{h}$ ) για διάφορες παροχές αέρα ( $\text{stm}^3/\text{h}$ ). Οι τυπικές τιμές παροχών αέρα είναι 0,1-0,2  $\text{stm}^3/\text{min}$  για τους λεπτές φυσαλίδας και 0,1-0,45  $\text{stm}^3/\text{min}$  για τους χοντρές φυσαλίδας διαχυτήρες [5].

## 2. Επιφανειακοί αεριστήρες

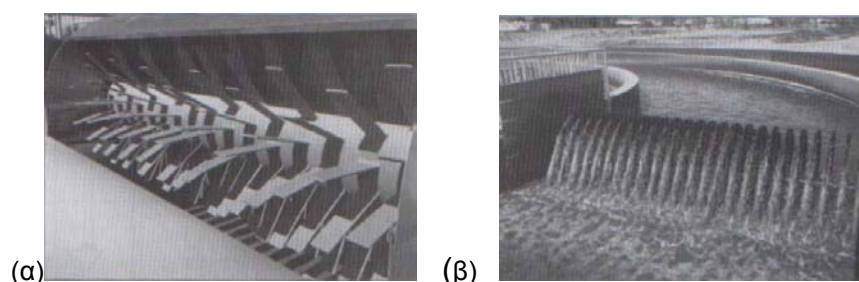
Κατά τον αερισμό με επιφανειακούς αεριστήρες η μεταφορά του οξυγόνου γίνεται από την ατμόσφαιρα στα απόβλητα μέσω της τυρβώδους διεπιφάνειας αέρα – λυμάτων που δημιουργείται κατά την ανάδευσή τους. Οι επιφανειακοί αεριστήρες αποτελούν σημειακή πηγή οξυγόνου για τις ΔΑ. Τα απόβλητα καθώς αναδεύονται απομακρύνονται ακτινικά από τον αεριστήρα με συνεχώς μειούμενη ταχύτητα. Η μεταφορά οξυγόνου είναι μέγιστη στη φτερωτή του αεριστήρα και μειώνεται σταδιακά απομακρυνόμενη από αυτή.

Τρεις βασικοί τύποι επιφανειακών αεριστήρων είναι:

- 1) Οι χαμηλής ταχύτητας (ακτινικής ροής)
- 2) Οι υψηλής ταχύτητας (αξονικής ροής)
- 3) Οι οριζόντια περιστρεφόμενοι αεριστήρες (ρότορες), (σχήμα 5-8).



**Σχήμα 5-7 :** Επιφανειακός αεριστήρας χαμηλής ταχύτητας [1].



**Σχήμα 5-8:** Οριζόντια περιστρεφόμενοι αεριστήρες, (α) ρότορες, (β) αεριστήρες δίσκου [1].

### 5.3.3 Δευτεροβάθμια Καθίζηση (Secondary Clarification)

Παρά το γεγονός ότι οι βιολογικές διεργασίες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μείωση του ρυπαντικού φορτίου επιτελούνται στο βιολογικό αντιδραστήρα του συστήματος, η δεξαμενή τελικής ή δευτεροβάθμιας καθίζησης (ΔΔΚ) αποτελεί τη μονάδα που ανάλογα με την απόδοσή της καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής. Ο ρόλος της ΔΔΚ είναι:

- 1) να επιτρέπει την καθίζηση της βιομάζας και το διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα λύματα, τα οποία διαυγασμένα και κατά το δυνατόν απαλλαγμένα από αιωρούμενα στερεά υπερχειλίζουν από τη δεξαμενή. Για να κατανοηθεί η σημασία της διαύγασης αρκεί να επισημανθεί ότι από το συνολικό  $BOD_5$  στην έξοδο του συστήματος ενεργού ιλύος μόνο ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 20-30% ή και μικρότερο αντιστοιχεί στις διαλυμένες οργανικές ενώσεις ενώ το υπόλοιπο οφείλεται στην παρουσία βακτηριδίων ή μικροβιοκροκίδων που δεν καθιζάνουν.
- 2) Να δίνει τη δυνατότητα για επαρκή συμπύκνωση της βιομάζας, ώστε να είναι εύκολη και αποτελεσματική η μεταφορά της στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω της ανακυκλοφορίας. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η ενδεχόμενη επιδείνωση των χαρακτηριστικών της συμπύκνωσης της ιλύος μπορεί πολύ γρήγορα ίσως και σε μερικές ώρες και παρά τις οποιεσδήποτε περιορισμένης αποτελεσματικότητας ρυθμίσεις της παροχής ανακυκλοφορίας, να οδηγήσει σε αδυναμία επιστροφής της ιλύος με συνέπεια την ανύψωση της στάθμης ιλύος μέχρι την υπερχείλιση της δεξαμενής καθίζησης και διαφυγή της με την τελική εκροή.

Ο σχεδιασμός των ΔΔΚ πρέπει να εξυπηρετεί και τους δυο αυτούς στόχους. Εκ πρώτης όψεως δίνεται η εντύπωση ότι με εφαρμογή της θεωρίας καθίζησης διακριτών σωματιδίων ή ακόμα και με τη συνθετότερη θεωρία της ζωνικής καθίζησης είναι σχετικά εύκολη η προσομοίωση των υπεισερχόμενων διαδικασιών. Όπως όμως έδειξαν επανειλημμένες προσπάθειες πειραματικής

επαλήθευσης, οι θεωρητικές προβλέψεις ενώ είναι επιτυχείς για την περίπτωση ομογενών ανόργανων αιωρημάτων, δεν περιγράφουν ικανοποιητικά την καθίζηση των βιοκροκίδων της ενεργού ιλύος λόγω της ιδιαίτερα σημαντικής επίδρασης που ασκούν τόσο στη διαύγαση όσο και στη συμπύκνωση η μορφολογία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι ενώ η μαθηματική προσομοίωση των βιοχημικών διεργασιών του βιολογικού αντιδραστήρα έχει αναπτυχθεί και έχει οδηγήσει σε ιδιαίτερα αξιόπιστα ως προς την αναμενόμενη απόδοση μοντέλα, η μαθηματική προσομοίωση των δεξαμενών τελικής καθίζησης βρίσκεται σε προκαταρκτικό ακόμα στάδιο και οι διαδικασίες σχεδιασμού τους είναι ακόμα καθαρά εμπειρικές. Ενδεικτικό της σημασίας αλλά και περιορισμένης κατανόησης των διαδικασιών καθίζησης της ιλύος, αποτελεί η συχνή αναθεώρηση των κριτηρίων σχεδιασμού των δεξαμενών τελικής καθίζησης και μάλιστα προς συντηρητικότερες κατευθύνσεις.

#### 1. Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος

Τα συσσωματώματα του ανάμικτου υγρού όταν βρίσκονται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (1000) δεν καθιζάνουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αλλά λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδρυσών δυνάμεων καθιζάνουν σαν ένα στρώμα με ομοιόμορφη ταχύτητα. Ο τύπος αυτός της καθίζησης ονομάζεται 'ζωνική καθίζηση' και είναι χαρακτηριστικός του τρόπου καθίζησης στις ΔΔΚ. Δύο συνήθως χρησιμοποιούμενες παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καθιζησιμότητα των ιλύων είναι: α) ο δείκτης όγκου ιλύος και β) η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης. Η παρουσίαση όμως των δυο αυτών μεθόδων υπολογισμού της καθιζησιμότητας της ιλύος ξεπερνάει τους σκοπούς αυτής της εργασίας.

## 2. Σχεδιασμός ΔΤΚ

Τα δυο συνηθέστερα εφαρμοζόμενα εμπειρικά κριτήρια σχεδιασμού των ΔΔΚ είναι το υδραυλικό φορτίο και το φορτίο στερεών.

Το υδραυλικό φορτίο εκφρασμένο σε  $\text{m}^3$  λυμάτων ανά  $\text{m}^2$  επιφάνεια δεξαμενής και ημέρα επηρεάζει κατά κύριο λόγο τη διαδικασία της διαύγασης καθώς σχετίζεται με την ταχύτητα καθίζησης των βιοκροκίδων.

Το φορτίο στερεών ( $SLR$ ) εκφρασμένο σε  $\text{Kg}$  ανάμικτου υγρού ανά  $\text{m}^2$  επιφάνειας δεξαμενής και ημέρα επηρεάζει κατά κύριο λόγο την διαδικασία συμπίκνωσης:

$$SLR = \frac{(Q + Q_R)X}{A} \quad (5-53)$$

όπου

$SLR$  : φορτίο στερεών,  $\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

$A$  : η επιφάνεια της ΔΔΚ,  $\text{m}^2$

Στον πίνακα 5-4 δίνονται οι τυπικές τιμές που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των ΔΔΚ.

**Πίνακας 5-4:** Παράμετροι σχεδιασμού ΔΔΚ [1].

Μέθοδος επεξεργασίας	Καθίζηση μετά από ΕΙ	Καθίζηση μετά από παρατεταμένο αερισμό
Εισροή στερεών, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$		
Μέση	16-28	8-16
Μέγιστη	40-64	24-32
Φόρτιση στερεών, $\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$		
Μέση	4-6	1-5
Μέγιστη		
Βάθος, m	3,5-6	3,5-6

Το κριτήριο του υδραυλικού φορτίου είναι κρίσιμο για περιπτώσεις μικρών συγκεντρώσεων ανάμικτου υγρού και για το λόγο αυτό είχε ευρεία εφαρμογή παλαιότερα. Τα τελευταία χρόνια επικρατεί η τάση διατήρησης σχετικά υψηλών τιμών ανάμικτου υγρού (2500 – 5000 mg/l) και ως συνέπεια αυτού προκύπτει ότι ο σχεδιασμός των ΔΔΚ με βάση το υδραυλικό φορτίο είναι πιθανό να οδηγήσει σε υψηλή φόρτιση στερεών, με αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική λειτουργία των δεξαμενών.

Γίνεται φανερό από τα προηγούμενα ότι το επιτρεπόμενο φορτίο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης του ανάμικτου υγρού. Στις περιπτώσεις που η διερεύνηση αυτών των χαρακτηριστικών είναι αδύνατη ή οικονομικά ασύμφορη, ο σχεδιασμός των ΔΔΚ μπορεί να βασιστεί σε τιμές των επιτρεπόμενων φορτίων από τη βιβλιογραφία και εμπειρία, σκόπιμο δε ίσως είναι να ακολουθείται μια συντηρητική προσέγγιση με επιλογή σχετικά μικρών φορτίσεων.

Γενικά η λειτουργία των ΔΔΚ βασίζεται στο χρόνο παραμονής των στερεών, στην επιφανειακή φόρτιση, τη φόρτιση στερεών αλλά και στην εισροή στερεών. Για μια δεδομένη επιφάνεια διαυγαστή υπάρχει μια ανώτερη τιμή εισροής στερεών κάτω από την οποία η ΔΔΚ λειτουργεί σωστά. Στην περίπτωση όμως που η εισροή στερεών ξεπεράσει την τιμή αυτή, τα στερεά ανέρχονται στην επιφάνεια και υπερχειλίζουν. Η περιοριστική αυτή τη τιμή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$SF_L = \frac{(1 + R)QC_0}{A} \quad (5-54)$$

όπου

$SF_L$  : μέγιστη επιτρεπτή εισροή στερεών, Kg/m<sup>2</sup>.d

$C_0$  : συγκέντρωση στερεών στην εισροή, Kg/m<sup>2</sup>

### 3. Δεξαμενές καθίζησης

Οι ΔΔΚ είναι συνήθως κυκλικής κάτοψης με κεντρική διάταξη εισροής και περιφερειακή διάταξη εκροής, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται ΔΔΚ ορθογωνικής κάτοψης (σχήμα 5-9).



(α)



(β)

**Σχήμα 5-9:** ΔΔΚ (α) κυκλική εξοπλισμένη με περιστρεφόμενη γέφυρα για τη συλλογή της ιλύος και (β) ορθογώνια [1].

Οι ΔΔΚ κυκλικής κάτοψης κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Έχουν πλευρικά βάθη της τάξης των 2,7 – 3,5 m με τάση προς τα μεγαλύτερα βάθη για τον ευκολότερο έλεγχο του φαινομένου της διόγκωσης της ιλύος. Η διάμετρος των ΔΔΚ φτάνει έως και τα 30 m και η κλίση του πυθμένα τους είναι περίπου μέχρι 8%.

Η διάταξη εισροής είναι ένας δακτύλιος, συνήθως από σκυρόδεμα, με διάμετρο 15-20% της διαμέτρου της ΔΔΚ που είναι βυθισμένος περίπου στο μισό του βάθους χωρίς να προκαλεί διαταραχή και επαναιώρηση της ιλύος που έχει καθιζήσει. Ο δακτύλιος εισροής σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνει την ομοιόμορφη κατανομή των αποβλήτων με την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη καταστροφή της ενέργειας της εισερχόμενης φλέβας των αποβλήτων και τη δημιουργία μικρών ταχυτήτων ροής ( $<0,05 \text{ m/s}$ ) ώστε να αποφεύγονται οι βραχυκυκλώσεις και οι διαταραχές στη ζώνη καθίζησης [5].

Η διάταξη εκροής είναι ένας περιμετρικός πριονωτός υπερχειλιστής (αποτελούμενος από μικρούς υπερχειλιστές τύπου V-notch), που



προστατεύεται με κόφτρες επιπλεόντων που εκτείνονται 20-30 cm κάτω από την επιφάνεια των αποβλήτων. Ο υπερχειλιστής και οι κόφτρες επιπλεόντων είναι κατασκευασμένα συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό.

Τα λύματα που υπερχειλίζουν, συλλέγονται σε πλευρικό, περιμετρικό κανάλι και οδηγούνται στο φρεάτιο εκροής της ΔΔΚ. Τα επιπλέοντα οδηγούνται με περιφερειακά κινούμενα επιφανειακό ξέστρο σε κατάλληλη, ειδική χοάνη συλλογής και από εκεί στο φρεάτιο αφρών – επιπλεόντων.

Η λάσπη που καθιζάνει στον πυθμένα συλλέγεται σε κεντρική συνήθως χοάνη συγκέντρωσης με κατάλληλη διάταξη συλλογής. Η διάταξη συλλογής μπορεί να είναι ένα μηχανικό ξέστρο ή ένα περιστρεφόμενο ξέστρο αναρρόφησης (υδραυλικό ξέστρο).

Το μηχανικό ξέστρο κινείται κυκλικά συγκεντρώνοντας τη λάσπη στη χοάνη. Ο μηχανισμός του ξέστρου στηρίζεται σε γέφυρα (συνήθως για διαμέτρους έως 15 m) ή σε κεντρική βάση για μεγάλες δεξαμενές μέσα από την οποία διέρχεται ο αγωγός εισροής. Η ταχύτητα περιστροφής του ξέστρου στην περιφέρεια είναι 1,5-2,1 m/s. Η συλλογή των επιπλεόντων γίνεται με ένα βραχίονα που εκτείνεται της ΔΔΚ και κινείται με το μηχανισμό του ξέστρου [5].

Το μηχανικό ξέστρο έχει τα μειονεκτήματα του αυξημένου συνολικού χρόνου απομάκρυνσης της ιλύος, τον κίνδυνο να διαφύγει η ιλύς πάνω από το ξέστρο και να μη συλλέγει και την πιθανή δημιουργία μεγάλων τοπικών ταχυτήτων που οδηγούν στην επαναιώρηση των στερεών κοντά στο κεντρικό σημείο συλλογής.

Το ξέστρο αναρρόφησης ιλύος παρουσιάζει το βασικό πλεονέκτημα της δυνατότητας ταχείας απομάκρυνσης της ιλύος, που συχνά απαιτείται για την αποφυγή του φαινομένου της ανεξέλεγκτης απονιτροποίησης. Παρουσιάζει όμως το βασικό μειονέκτημα της διαταραχής της υδραυλικής συμπεριφοράς

της ΔΔΚ, εξαιτίας των ρευμάτων πυκνότητας που δημιουργεί η αναρρόφηση της ιλύος.

Η ιλύς που καθιζάνει στη ΔΔΚ οδηγείται με βαρύτητα στο αντλιοστάσιο ιλύος. Από εκεί το μεγαλύτερο μέρος της επιστρέφει με τις αντλίες ανακυκλοφορίας στη ΔΑ και ένα πολύ μικρότερο μέρος της (περίσσεια ιλύος) οδηγείται προς τη γραμμή επεξεργασίας της περίσσειας ιλύος μέσω αντλιών.

Το βάθος του στρώματος της ιλύος στις ΔΔΚ δεν πρέπει να υπερβαίνει συνήθως τα 0,9-1,2 m και μπορεί να ελεγχθεί με κατάλληλο ανιχνευτή στάθμης, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη ρύθμιση της παροχής ανακυκλοφορίας.

Στις ΔΔΚ συνιστάται να υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσής τους από την τροφοδοσία τους (π.χ. από φρεάτιο μερισμού), αλλά και από το αντλιοστάσιο ιλύος με κατάλληλα θυροφράγματα και δικλείδες.

## 6. ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών μέσω του νερού του αποδέκτη στον οποίο διοχετεύονται τα λύματα. Είναι το τελευταίο στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων και το μοναδικό με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.

Η απολύμανση γίνεται με τη χρήση χημικών ουσιών ή με φυσικά μέσα (θερμότητα, υπεριώδης ακτινοβολία). Το πιο συνηθισμένο μέσο απολύμανσης είναι το χλώριο που η εφαρμογή του εξετάζεται αναλυτικά παρακάτω, ενώ άλλα απολυμαντικά που συνήθως χρησιμοποιούνται εναλλακτικά όπως το όζον παρουσιάζονται συνοπτικά και συγκρίνονται με το χλώριο.

### 6.1 ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Η χλωρίωση εξακολουθεί να αποτελεί την ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδο απολύμανσης. Την προσθήκη χλωρίου στο νερό ακολουθούν οι εξής αντιδράσεις υδρόλυσης και ιονισμού:



Παρατηρείται ότι με την αύξηση της τιμής του μειώνεται η συμμετοχή του υποχλωριώδους οξέος στο όλο ελεύθερο χλώριο με αποτέλεσμα τη μείωση της απολυμαντικής ικανότητας δεδομένης συγκέντρωσης χλωρίου.

Η δόση του χλωρίου ρυθμίζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου μετά από δεδομένο χρόνο επαφής. Η

επάρκεια της συγκέντρωσης αυτής ελέγχεται κατά διαστήματα με μικροβιολογικές αναλύσεις του νερού. Κατά την παραγωγή του πόσιμου νερού και για pH κοντά στην τιμή 7 οι συνήθεις συγκεντρώσεις ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου είναι περίπου 0,2 mg/l μετά από χρόνο επαφής 10-15 min. Οι απαιτούμενες δόσεις χλωρίου ποικίλουν πολύ επειδή εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις των αναγωγικών υλών του νερού. Κατά την οριακή χλωρίωση, η οξείδωση 1 gr αμμωνιακού αζώτου απαιτεί περίπου 10 gr χλωρίου.

Οι απαιτούμενες δόσεις χλωρίου για την απολύμανση των λυμάτων είναι κατά κανόνα σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές που εφαρμόζονται στην παραγωγή του πόσιμου νερού. Δεδομένου ότι τα αστικά απόβλητα περιέχουν αμμωνιακό άζωτο σε μεγάλες συγκεντρώσεις, η οριακή χλωρίωση απαιτεί μεγάλες δόσεις χλωρίου. Πρέπει να τονιστεί ότι η χλωρίωση και γενικότερα η απολύμανση λυμάτων που έχουν υποστεί μόνο πρωτοβάθμια επεξεργασία έχει αβέβαια αποτελέσματα επειδή οι μικροοργανισμοί προστατεύονται από τα αιωρούμενα στερεά.

Κατά την παραγωγή του πόσιμου νερού ο χρόνος επαφής εξασφαλίζεται πολύ συχνά από τη δεξαμενή καθαρού νερού. Στην περίπτωση των λυμάτων είναι συχνά αναγκαία η κατασκευή ειδικής δεξαμενής επαφής που σχεδιάζεται συνήθως για χρόνο παραμονής στη μέγιστη παροχή τουλάχιστον 20 – 30 min [4]. Η δεξαμενή διαμορφώνεται ως μαιανδρική διώρυγα με στόχο την κατά το δυνατό μεγαλύτερη προσέγγιση προς την εμβολοειδή ροή δηλαδή προς την εξασφάλιση του επιθυμητού χρόνου επαφής για όλα τα στοιχεία όγκου των λυμάτων.

Συνηθέστερα το χλώριο προστίθεται ως αέριο  $\text{Cl}_2$ . Σε πολλές εντούτοις πόλεις και ιδιαίτερα στις μικρές προτιμάται η εφαρμογή χλωρίου με τη μορφή των  $\text{NaOCl}$ ,  $\text{Ca(OCl)}_2$  παρά τη μεγαλύτερη απαιτούμενη δαπάνη επειδή ο χειρισμός τους είναι ασφαλέστερος. Το  $\text{Cl}_2$  προσκομίζεται στην εγκατάσταση

σε ειδικούς μεταλλικούς κυλίνδρους υπό μεγάλη πίεση και υγρή κατάσταση των οποίων η μέγιστη χωρητικότητα είναι συνήθως 1000 Kg.

Η απαιτούμενη δοσομέτρηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών συσκευών των χλωριωτών που συνδέονται με τον κύλινδρο του υγροποιημένου χλωρίου. Με κατάλληλη υποπίεση απορροφάται το χλώριο συνήθως ως αέριο το οποίο με μικρή παροχή νερού δίνει πυκνό διάλυμα το οποίο στη συνέχεια διοχετεύεται στο χλωριούμενο νερό ή λύματα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται καλή μίξη όπως με διαχυτές πολλών στομιών που τοποθετούνται κατά τη διάμετρο του αγωγού του νερού, με μηχανικούς αναμικτήρες τοποθετημένους σε μικρή δεξαμενή ή με άλλους τρόπους. Με όμοιο τρόπο και εξοπλισμό πραγματοποιείται προσθήκη αμμωνίας και SO<sub>2</sub> για τυχούσα αποχλωρίωση.

Το χλώριο είναι εξαιρετικά για τους υδρόβιους οργανισμούς και η κατευθυντήρια οδηγία της Ε.Ε. για την προστασία των γλυκών υδάτων θέτει το όριο των 5 mg/l ως HOCl δηλαδή 6,8 mgr/l ως Cl<sub>2</sub>. Πολύ συχνά η παροχή του υδατορεύματος που είναι αποδέκτης χλωριωμένων λυμάτων δεν είναι επαρκώς μεγάλη σε σχέση με την παροχή λυμάτων ώστε να μειώνει τη συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου στο παραπάνω όριο γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη της αποχλωρίωσης. Συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη ύλη είναι το SO<sub>2</sub> το οποίο αντιδρά ως εξής με το χλώριο:



#### Στοιχεία σχεδιασμού

Στο σχεδιασμό της χλωρίωσης η προσοχή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του χλωρίου και του χρόνου επαφής. Έχει βρεθεί ότι η απόδοση της χλωρίωσης είναι συνάρτηση του γινομένου (συγκέντρωση χλωρίου)\*(χρόνος επαφής), εφόσον όλοι οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη χλωρίωση παραμένουν σταθεροί [4].

Για το σχεδιασμό της χλωρίωσης χρησιμοποιείται πολύ συχνά το μοντέλο του Collins [4] για λύματα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία:

$$N = N_0 \left( \frac{b}{c * t} \right)^n \quad (6-4)$$

όπου

$N$  : ο αριθμός των μικροοργανισμών σε χρόνο

$N_0$  : ο αριθμός των μικροοργανισμών σε χρόνο 0

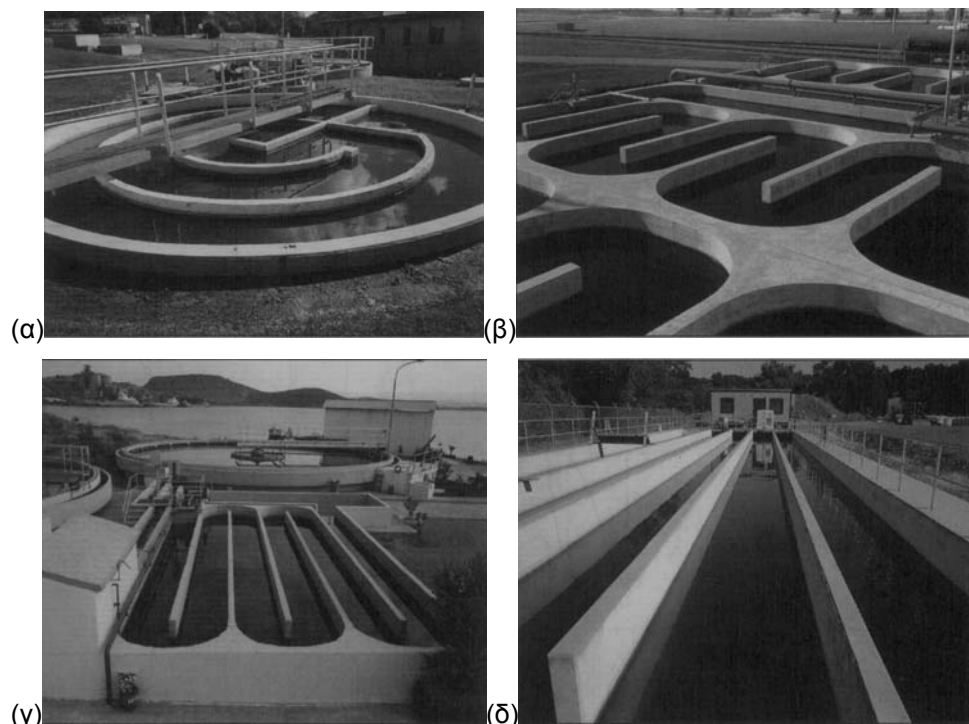
$c$  : συγκέντρωση χλωρίου, mg/l

$t$  : χρόνος επαφής, min

$b, n$  : εμπειρικοί συντελεστές

Μια παράμετρος ελέγχου της λειτουργίας της δεξαμενής χλωρίωσης είναι η ταχύτητα ροής η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2-4,5 m/min [1,4]. Η ταχύτητα ροής πρέπει να έχει ικανή τιμή έτσι ώστε να εμποδίζεται η καθίζηση τυχόν στερεών που διέφυγαν από τη ΔΔΚ.

Στο σχήμα 6-2 φαίνονται διάφοροι τύποι δεξαμενών χλωρίωσης.



**Σχήμα 6-1:** Τυπικά παραδείγματα δεξαμενών χλωρίωσης [1].

## 6.2 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ ΟΖΟΝ

Το όζον είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο και έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα κυρίως στην επεξεργασία νερού λόγω του ότι επιτυγχάνει αποτελεσματικότερη καταστροφή των ιών σε σχέση με το χλώριο. Τα βασικά πλεονεκτήματά του είναι η ισχυρή οξειδωτική ικανότητά του (οξειδώνει οργανικές ουσίες, μειώνει το χρώμα, τη θολότητα, τις οσμές και αυξάνει το DO των αποβλήτων), η ισχυρή απολυμαντική του δράση σε διάφορες θερμοκρασίες και pH, η ταχύτερη δράση του σε σχέση με το χλώριο (300-3000 φορές μεγαλύτερη) και κατά συνέπεια η απαίτηση μικρότερων χρόνων (δεξαμενών) επαφής και το ότι δε σχηματίζει πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, δε δημιουργεί προβλήματα από την υπερβολική χρήση του και δεν επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον. Βασικά μειονεκτήματά του είναι η μικρή διάρκεια της απολυμαντικής δράσης του (δεν αφήνει υπολειμματικό όζον), το μεγάλο κόστος κατασκευής και λειτουργίας (κυρίως ενέργειας) που απαιτεί σχετική εγκατάσταση και που είναι συνήθως 10-15 φορές από αυτή του χλωρίου, η δημιουργία προβλημάτων κατά την επί τόπου κατασκευή του, η δυσκολότερη προσαρμογή του στις αυξομειώσεις παροχής – ποιότητας των αποβλήτων σε σχέση με το χλώριο και ο πολυπλοκότερος τρόπος λειτουργίας σε σχέση με τη χλωρίωση.

Αν και πιο δαπανηρό το όζον, χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου απαγορεύεται η χρήση χλωρίου στο περιβάλλον και απαιτείται η αποχλωρίωση, οπότε η χρήση του μπορεί να είναι οικονομικά συγκρίσιμη με εκείνη της χλωρίωσης – αποχλωρίωσης.

## **7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ**

### **7.1 ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ**

Τα οργανικά και ανόργανα στερεά που περιέχονται στα λύματα και στο φυσικό νερό, οι δημιουργούμενοι μικροοργανισμοί κατά την βιολογική επεξεργασία, οι διάφορες προστιθέμενες ύλες κατά την χημική κατακρήμνιση, καθιζάνοντας στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης, σχηματίζουν χαλαρές μάζες αναμεμιγμένες με μεγάλες ποσότητες νερού. Οι μάζες αυτές συμπυκνώνονται σε κάποιο βαθμό κατά την καθίζηση αλλά η περιεκτικότητά τους σε νερό παραμένει γενικώς πολύ υψηλή εξαρτώμενη και από τον τρόπο απόληψής τους από τις δεξαμενές. Το μείγμα αυτό νερού και στερεών είναι η ιλύς και αποτελεί αναπόφευκτο υποπροϊόν της επεξεργασίας του νερού.

Τα σοβαρά προβλήματα χειρισμού που δημιουργεί η ιλύς, κυρίως η ιλύς που προέρχεται από την επεξεργασία λυμάτων, σχετίζονται με τα εξής δύο γενικά χαρακτηριστικά της: α) περιέχει μεγάλο ποσοστό των ρύπων που περιείχε το ανεπεξέργαστο νερό και β) ο παραγόμενος όγκος της είναι σημαντικός εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό.

Η ιλύς που προέρχεται από την παραγωγή πόσιμου νερού, χαρακτηρίζεται συχνά από μικρό ποσοστό οργανικών στερεών αν και το ποσοστό αυτό μπορεί να ποικίλει πολύ ανάλογα με την προέλευση του νερού. Το ποσοστό υγρασίας της ιλύος των δεξαμενών καθίζησης βρίσκεται συνήθως στο διάστημα 98,0-99,8 %. Η ιλύς που προκύπτει από την καθίζηση του νερού έκπλυσης των διυλιστηρίων έχει περίπου τα χαρακτηριστικά της ιλύος των δεξαμενών καθίζησης.

Η ιλύς που συγκεντρώνεται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης των λυμάτων είναι συνήθως γλοιώδης με γκρι χρώμα και μυρίζει άσχημα. Για δημοτικά λύματα το ποσοστό των οργανικών στερεών, βρίσκεται συνήθως στο διάστημα 65-75% και το ποσοστό υγρασίας στο διάστημα 95-97,5% ανάλογα και με τον τρόπο απόληψης από την δεξαμενή.



Η δευτεροβάθμια ιλύς των βιολογικών φίλτρων εμφανίζεται γενικά κροκιδωμένη με καστανοειδές χρώμα και δεν μυρίζει πολύ άσχημα. Το ποσοστό των οργανικών στερεών εξαρτάται από την λειτουργία του φίλτρου βρίσκεται στο διάστημα 50-70%. Το ποσοστό υγρασίας βρίσκεται συνήθως στο διάστημα 97-99% [7].

Η ενεργός ιλύς εμφανίζεται με κροκιδωμένη μορφή και καστανό χρώμα. Γενικά δεν μυρίζει άσχημα εκτός αν έχει γίνει σηπτική. Το ποσοστό των οργανικών στερεών εξαρτάται και από τον χρόνο παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα με τυπική τιμή 70-75%. Το ποσοστό υγρασίας είναι πολύ μεγάλο, 99-99,5 % συνήθως [7].

Στην περίπτωση κοινής καθίζησης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος η απόληψη μπορεί να γίνει με ποσοστό 96-97% συχνά όμως προτιμάται η ταχεία απόληψη και όχληση προς τον παχυντή με ποσοστό υγρασίας κοντά στο 99% [7].

Η επεξεργασία και διάθεση της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί ιδιαιτέρως σοβαρό πρόβλημα, η δε σχετική δαπάνη συγκρίνεται με την δαπάνη επεξεργασίας των λυμάτων. Πλέον η διάθεση της ιλύος στο περιβάλλον απαιτεί την προηγούμενη σταθεροποίησή της. Συχνά η σταθεροποιημένη ιλύς που προέρχεται από την επεξεργασία δημοτικών λυμάτων διατίθεται σε καλλιεργούμενη γη ως λίπασμα αν και όχι πλούσιο σε θρεπτικά. Η ταχύτητα εφαρμογής της ιλύος στο έδαφος (μάζα/επιφάνεια.χρόνος) πρέπει να είναι αρκετά μικρή ώστε η συνεπαγόμενη ταχύτητα εφαρμογής του περιεχόμενου αζώτου να μην υπερβαίνει το άθροισμα των ταχυτήτων αφομοίωσής του από τα φυτά, εξαέρωσης της αμμωνίας και απονιτροποίησης. Τυχούσα περίσσεια αζώτου θα προκαλούσε ρύπανση του υπόγειου νερού. Με προσοχή επίσης θα πρέπει να εξετάζεται, σε συνάρτηση με το είδος των καλλιεργειών, ο κίνδυνος μικροβιακής μόλυνσης.

Συχνά η ιλύς διατίθεται με την μέθοδο της υγειονομικής ταφής όπως τα απορρίμματα ή μαζί με αυτά ή αποτίθεται σε κοιλώματα του εδάφους με σύγχρονη επιδίωξη ανάπλασης υποβαθμισμένων εδαφών. Με την πάροδο του χρόνου οι ταχύτητες παραγωγής των ιλύων αυξάνονται ενώ οι διαθέσιμες επιφάνειες εδαφών για την υποδοχή τους μειώνονται εξαιτίας της επεκτεινόμενης αστικοποίησης της γης. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις, κυρίως των μεγάλων πόλεων, η προσφυγή στην καύση γίνεται αναγκαία. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι σημαντικότερες διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος [7].

## **7.2 ΠΑΧΥΝΣΗ**

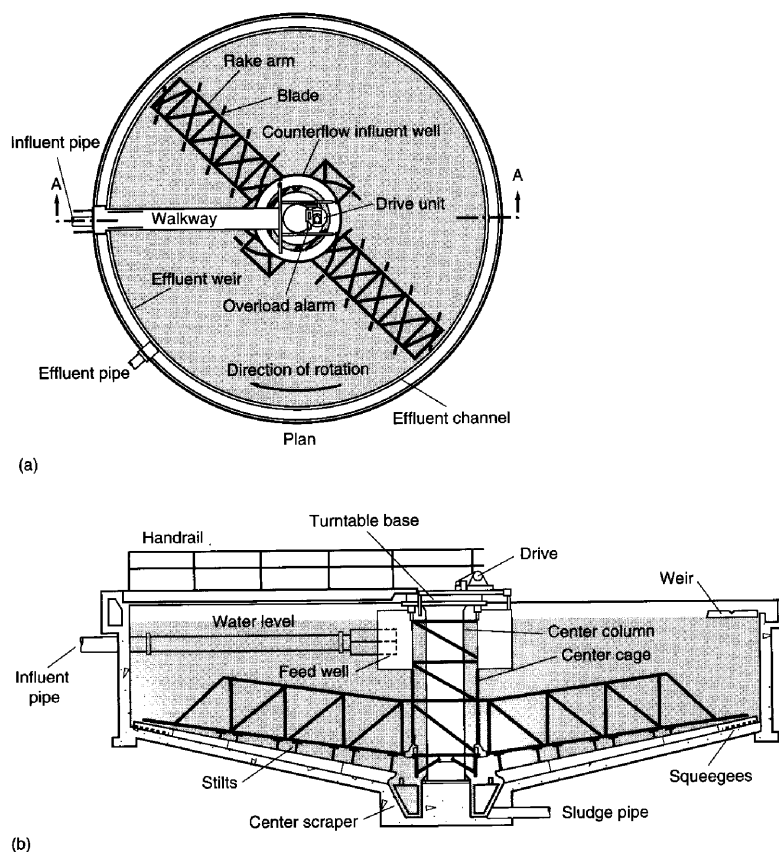
Πάχυνση είναι η αφαίρεση νερού από την ιλύ τόσο ώστε να διατηρείται μεν η ρευστή κατάστασή της αλλά να περιορίζεται σημαντικά ο όγκος της και να γίνεται έτσι ευκολότερη και φθηνότερη η ακολουθούσα επεξεργασία της. Συνήθως εφαρμοζόμενες μέθοδοι πάχυνσης είναι η καθίζηση, η επίπλευση και η πάχυνση με μηχανικά μέσα.

### **7.2.1 Πάχυνση με βαρύτητα**

Στην πρώτη περίπτωση ο διαχωρισμός νερού - στερεών πραγματοποιείται με την βοήθεια της βαρύτητας (πάχυνση βαρύτητας) και εφαρμόζεται κατά κανόνα για την πάχυνση πρωτοβάθμιας ή μείγματος πρωτοβάθμιας - δευτεροβάθμιας ιλύος. Κατά την μέθοδο της επίπλευσης διοχετεύεται στη σχετική δεξαμενή αέρας υπό πίεση και οι φυσαλίδες προσκολλώνται στα στερεά με αποτέλεσμα ανωστικές δυνάμεις που προκαλούν άνοδο των στερεών στην επιφάνεια της δεξαμενής όπου και συλλέγονται. Η μέθοδος εφαρμόζεται κατά κανόνα για τη χωριστή πάχυνση των, μικρής σχετικώς πυκνότητας, βιολογικών στερεών.

Στην συνέχεια δίνονται τα σημαντικότερα κριτήρια σχεδιασμού για τη συνηθέστερη περίπτωση πάχυνσης μείγματος πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος με βαρύτητα.

Ο παχυντής βαρύτητας διαμορφώνεται ως κυκλική δεξαμενή καθίζησης με διάμετρο συνήθως μέχρι 25 και πλευρικό βάθος 3,0-3,5. Η κλίση του πυθμένα είναι 12,5-25,0% δηλαδή σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των δεξαμενών καθίζησης, γεγονός που αυξάνει το ύψος του στρώματος ιλύος πάνω από το σωλήνα απόληψης. Ο παχυντής είναι εξοπλισμένος με σαρωτή ιλύος (σχήμα 7-1), όπως οι δεξαμενές καθίζησης. Συχνά ο σαρωτής είναι εφοδιασμένος με κατακόρυφες ράβδους με αποτέλεσμα να διευκολύνεται κατά την ελαφρά ανάδευση ο διαχωρισμός του νερού από τα στερεά. Η παχυμένη ιλύς απομακρύνεται από το κέντρο του πυθμένα ενώ το επιπλέον υγρό, υπερχειλίζει σε περιμετρική διώρυγα και από εκεί αντλείται συνήθως στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας.



**Σχήμα 7-1:** Παχυντής βαρύτητας (α) κάτοψη και (β) τομή [1].

Για την πάχυνση βαρύτητας στους εξεταζομένους παχυντές όπως και στις δεξαμενές καθίζησης της ενεργού ιλύος έχουν προταθεί μαθηματικά ομοιώματα που στηρίζονται στην έκφραση της ταχύτητας εκροής των στερεών

ως αθροίσματος της ταχύτητας καθίζησης των στερεών μέσα στο στρώμα της ιλύος και της καθοδικής ταχύτητας του όλου στρώματος. Τα μαθηματικά αυτά ομοιώματα υπόσχονται μελλοντικό ορθολογικό και συγχρόνως αποτελεσματικό σχεδιασμό της πάχυνσης αλλά απαιτούν την γνώση παραμέτρων που είναι ακόμη δύσκολο να αποκτηθεί κατά τον σχεδιασμό. Έτσι οι παχυντές βαρύτητας εξακολουθούν κατά κανόνα να σχεδιάζονται με εφαρμογή εμπειρικών κανόνων.

Η κοινή επιτροπή της Am. Society of Civil Engineers και της Water Pollution Control Federation έχει προτείνει τις ακόλουθες σχέσεις για τον υπολογισμό της οριζόντιας επιφάνειας του παχυντή και της παροχής της παχυμένης ιλύος:

$$A = \frac{M_1}{G_1} + \frac{M_2}{G_2} \quad (7-1)$$

$$Q_i = \frac{M_1}{S_1} + \frac{M_2}{S_2} \quad (7-2)$$

όπου

$M_1$  : η ταχύτητα εισροής της πρωτοβάθμιας ιλύος, Kg/d

$M_2$  : η ταχύτητα εισροής της δευτεροβάθμιας ιλύος, Kg/d

$Q_i$  : η παροχή της παχυμένης ιλύος, m<sup>3</sup>/d

$A$  : η οριζόντια επιφάνεια του παχυντή, m<sup>2</sup>

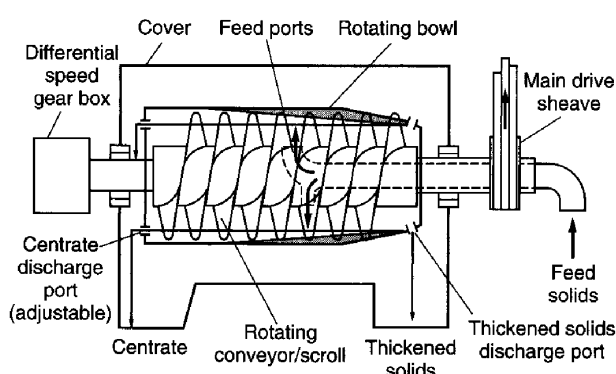
Είναι  $G_1=100 \text{ Kg/m}^2\cdot\text{d}$  και  $S_1=100 \text{ Kg/m}^3$ . Για το σύστημα της ενεργού ιλύος είναι  $G_2=20 \text{ Kg/m}^2\cdot\text{d}$  και  $S_2=17,5 + (100/SVI) \text{ Kg/m}^3$  όπου SVI είναι ο ογκομετρικός δείκτης ιλύος. Στην περίπτωση των βιολογικών φίλτρων είναι  $G_2= 40 \text{ Kg/m}^2\cdot\text{d}$  και  $S_2=60 \text{ Kg/m}^3$  [7].

Η συγκέντρωση στερεών στην παχυμένη ιλύ είναι:

$$S = \frac{M_1 + M_2}{Q_i} \quad (7-3)$$

### 7.2.2 Πάχυνση με μηχανικά μέσα

Κατά τη μέθοδο της φυγοκέντρησης ο διαχωρισμός νερού - στερεών πραγματοποιείται με των βοήθεια της φυγόκεντρης δύναμης η οποία είναι μεγάλο πολλαπλάσιο, συνήθως 500-3000 φορές της βαρύτητας. Η ιλύς διαρρέει συνεχώς περιστρεφόμενο κυλινδρικό (σχήμα 7-2) ή κολουροκωνικό δοχείο και το αιωρούμενα στερεά συγκεντρώνονται στο τοίχωμα από όπου απομακρύνονται από ομόκεντρη περιστρεφόμενη έλικα.



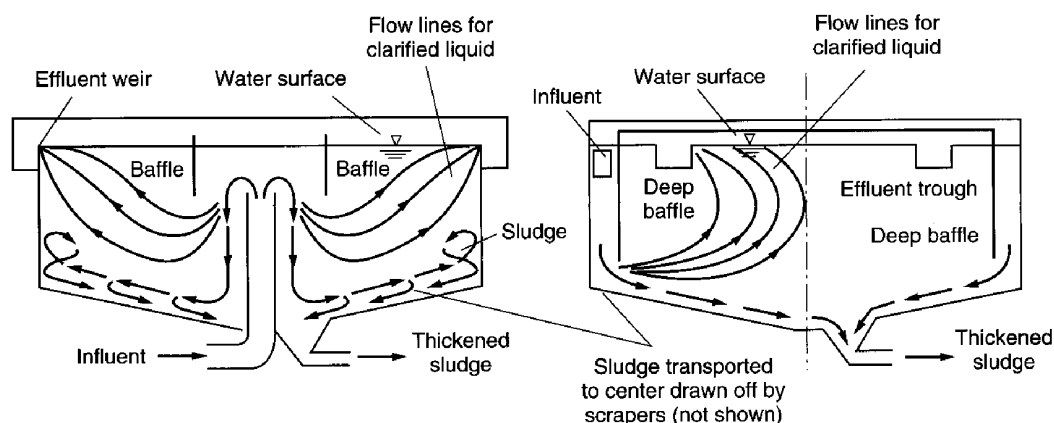
**Σχήμα 7-2:** Σχηματικό διάγραμμα φυγοκεντρητή [1].

## 7.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η διάθεση της ιλύος στο περιβάλλον απαιτεί κατά κανόνα την προηγούμενη σταθεροποίησή της. Η έννοια της σταθεροποίησης δεν είναι σαφής. Το σύνηθες κριτήριο είναι απουσία οσμών που απαιτεί τη διάσπαση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών στερεών της ιλύος ή σπανιότερα την προσθήκη χημικών (ασβέστη), για την παρεμπόδιση της βιολογικής διάσπασης στην τελική διάσπαση. Η ιλύς θεωρείται σταθεροποιημένη όταν έχει διασπαστεί το 40-50% των πτητικών στερεών αλλά ο κανόνας αυτός πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή σε συνάρτηση με τις προηγούμενες βιολογικές διεργασίες των λυμάτων. Για παράδειγμα η ιλύς που παράγεται από την επεξεργασία των βοθρολυμάτων μπορεί να απαιτεί για τη σταθεροποίησή της μικρότερο ποσοστό διάσπασης των οργανικών πτητικών στερεών επειδή ένα ποσοστό έχει ήδη διασπαστεί στους βόθρους.

### 7.3.1 Αερόβια σταθεροποίηση

Η αερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε σύστημα συνεχούς ροής που περιλαμβάνει βιολογικό αντιδραστήρα ο οποίος ακολουθείται από δεξαμενή καθίζησης - παχυντή. Ιλύς επανακυκλοφορείται από τον παχυντή στον βιολογικό αντιδραστήρα όπως συμβαίνει στο τυπικό σύστημα της ενεργού ιλύος. Παραδείγματα αερόβιων χωνευτών ιλύος απεικονίζονται στο σχήμα 7-3.



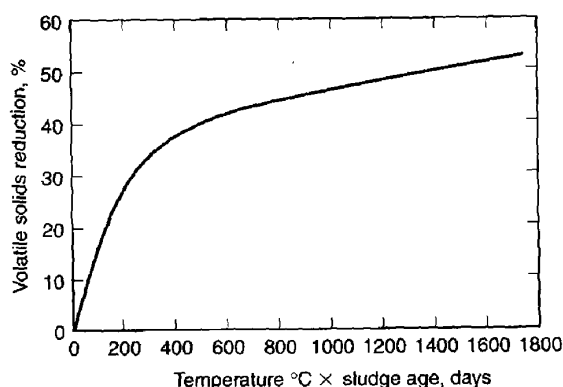
Σχήμα 7-3: Διάφοροι τύποι αερόβιων χωνευτών [1].

Η αερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί συνηθέστερα για τις ιλύες βιολογικών συστημάτων χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση. Χρησιμοποιείται εντούτοις και για την χώνευση μείγματος πρωτοβάθμιας ιλύος με δευτεροβάθμια ιλύ που προέρχεται από το σύστημα ενεργού ιλύος ή από τα βιολογικά φίλτρα. Σε σύγκριση με την αναερόβια χώνευση παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της μικρότερης δαπάνης κατασκευής και του ευκολότερου ελέγχου λειτουργίας που είναι όμως ενεργοβόρος, έχει χαμηλή απόδοση κατά τις ψυχρές περιόδους του έτους και δεν δίνει χρήσιμα υποπροϊόντα όπως συμβαίνει με την αναερόβια χώνευση που παράγει μεθάνιο. Φαίνεται ότι υστερεί έναντι της αναερόβιας χώνευσης ως προς την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών μάλλον δε και ως προς την ευκολία της αφυδάτωσης.

Το υπάρχοντα στοιχεία υποδεικνύουν ότι ο βαθμός απόδοσης του αερόβιου χωνευτή ως προς την διάσπαση των πτητικών στερεών αποτελεί συνάρτηση του

γινομένου της θερμοκρασίας  $T$  της ιλύος επί τον μέσο χρόνο παραμονής των μικροοργανισμών (σχήμα 7-4) [1]. Η βιοδιασπασιμότητα εξαρτάται από παράγοντες όπως από τον χρόνο παραμονής των λυμάτων στο δίκτυο αποχέτευσης, τη θερμοκρασία και από τον χρόνο παραμονής της ενεργού ιλύος κατά την προηγούμενη βιολογική επεξεργασία. Για μείγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος και για μέσες συνθήκες απαιτείται τιμή του γινομένου  $(SRT) \cdot T = 300$  [7] για να επιτευχθεί σταθεροποίηση.

Ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να γίνει με μαθηματική προσομοίωση η οποία στηρίζεται στις γενικές αρχές που εφαρμόστηκαν για το σύστημα ενεργού ιλύος. Το απαιτούμενο οξυγόνο από τους ετεροτροφικούς και νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς είναι περίπου 2,3 Kg ανά Kg διασπώμενων πτητικών στερεών. Η απαιτούμενη ισχύς μίξης είναι 20-40 W/m αντιδραστήρα στην περίπτωση μηχανικών αεριστών ενώ στην περίπτωση εμφύσησης αέρα απαιτείται παροχή 1,20-2,40 m<sup>3</sup> αντιδραστήρα. Η δεξαμενή καθίζησης - παχυντής σχεδιάζεται συνήθως για φορτίο στερεών 25-50 Kg/m<sup>2</sup>.d [7].



**Σχήμα 7-4:** Μείωση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών σε αερόβιο χωνευτή σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας του υγρού και της ηλικίας ιλύος [1].

### 7.3.2 Αναερόβια σταθεροποίηση

Η αναερόβια σταθεροποίηση (αναερόβια χώνευση) αποτελεί την συνηθισμένη διαδικασία σταθεροποίησης της ιλύος. Πραγματοποιείται με απουσία μοριακού οξυγόνου σε τρεις διαδοχικές βαθμίδες, που παρατηρούνται

συγχρόνως στον όλο χωνευτή. Κατά την πρώτη βαθμίδα, που συνήθως θεωρείται μέρος της δεύτερης, εξωκυτταρικά ένζυμα υδρολύουν τα μεγάλα οργανικά μόρια ώστε να γίνει δυνατή η δίοδός τους στο εσωτερικό του κυττάρου. Κατά την δεύτερη βαθμίδα τα οργανικά μόρια χρησιμοποιούνται από αναερόβια και επαναερίζοντα βακτηρίδια με ποικιλία προϊόντων η πλειοψηφία των οποίων είναι πτητικά οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους. Για τον λόγο αυτό τα άνω βακτηρίδια ονομάζονται παραγωγοί οξέων. Μερικά από τα βακτηρίδια παράγουν κατά την οξείδωση της οργανικής ύλης μοριακό υδρογόνο αντί της χρήσης οργανικής ύλης ως αποδέκτη ηλεκτρονίων της οξείδωσης. Κατά την τρίτη φάση μία ομάδα καθαρά αναερόβιων βακτηριδίων που ονομάζονται 'παραγωγοί μεθανίου' χρησιμοποιεί προϊόντα του μεταβολισμού των παραγωγών οξέων και παράγει μεθάνιο σε μεγάλες ποσότητες. Μερικά από αυτά είναι αυτοτροφικά δηλαδή χρησιμοποιούν τον άνθρακα του CO<sub>2</sub> ενώ προσλαμβάνουν ενέργεια οξειδώνοντας μοριακό υδρογόνο με τελικό αποδέκτη των ηλεκτρονίων το CO<sub>2</sub> και προϊόν της αναγωγής το μεθάνιο. Η σημαντικότερη όμως πηγή του μεθανίου είναι οργανικά οξέα από την οξείδωση των οποίων προκύπτει μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

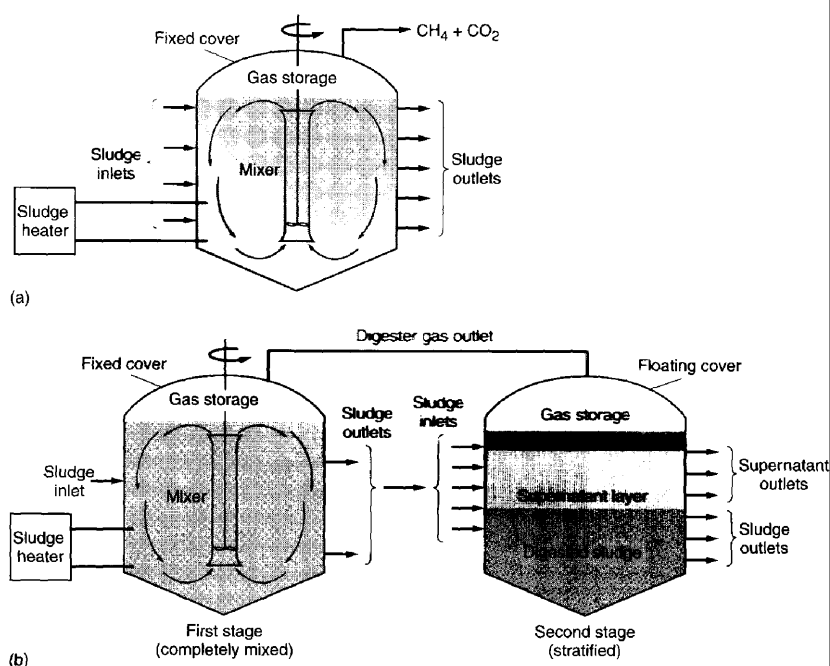
Οι παραγωγοί μεθανίου έχουν πολύ χαμηλή ταχύτητα ανάπτυξης και μεγάλη ευαισθησία έναντι μεταβολών του pH, της θερμοκρασίας και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων. Για να βρίσκεται το σύστημα της χώνευσης σε κατάσταση καλής λειτουργίας θα πρέπει να βρίσκονται οι δυο ομάδες, των παραγωγών μεθανίου, σε κατάσταση ισορροπίας. Απότομη και μεγάλη αύξηση του οργανικού φορτίου του χωνευτή ή της θερμοκρασίας θα προκαλέσει ταχεία ανάπτυξη της πρώτης ομάδας και αντίστοιχη ταχεία αύξηση της παραγωγής οργανικών οξέων. Την αύξηση αυτή δεν μπορεί πολλές φορές να παρακολουθήσει με επαρκή ταχύτητα η δεύτερη ομάδα με αποτέλεσμα την συσσώρευση οργανικών οξέων και την ταπείνωση του pH σε επίπεδα που δεν είναι ανεκτά από την ομάδα με τελικό αποτέλεσμα την κατάλυση της ισορροπίας και την λειτουργική αποτυχία του χωνευτή.

Συμπεραίνεται από τα παραπάνω η σημασία της κατά το δυνατόν ομοιόμορφης τροφοδότησης των χωνευτών. Η ρυθμιστική παρουσία



αλκαλικότητας, η επαρκής παρουσία θρεπτικών και η απουσία σοβαρών συγκεντρώσεων βαριών μετάλλων και άλλων τοξικών υλών αποτελούν παράγοντες καλής λειτουργίας της χώνευσης. Σημαντικό παράγοντα καλής λειτουργίας αποτελεί, επίσης, η θερμοκρασία. Κατά την συνήθως εφαρμοζόμενη μεσοφιλική χώνευση ή ιλύς στους χωνευτές θερμαίνεται σε περίπου 35 °C.

Οι αναερόβιοι χωνευτές (σχήμα 7-5) είναι συνήθως κλειστές κυλινδρικές δεξαμενές με διάμετρο μέχρι 35 m και πλευρικό βάθος 7 – 15 m. Κατά κανόνα ο πυθμένας έχει κλίση προς το κέντρο 1:4 από όπου πραγματοποιείται η απόληψη της χώνευσης ιλύος. Η οροφή είναι σταθερή ή μεταλλική επιλέουσα στο στρώμα του μεθανίου αερίου που βρίσκεται μεταξύ ιλύος και οροφής και το οποίο σε κάθε περίπτωση βρίσκεται υπό ελαφρά υπερπίεση ώστε να εμποδίζεται η είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα [7].



**Σχήμα 7-5:** Σχηματικά διαγράμματα αναερόβιων χωνευτών (α) ενός σταδίου υψηλής φόρτισης και (β) δυο σταδίων [1].

Το αέριο που παράγεται κατά την χώνευση περιέχει συνήθως μεθάνιο σε ποσοστό όγκου 65-70 %. Το υπόλοιπο είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και

σε μικρές ποσότητες άλλων αερίων όπως αζώτου, υδρογόνου, υδρόθειου. Η τυπική παραγωγή είναι 1 m<sup>3</sup> αερίου υπό τυπικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ανά Kg διασπώμενων πτητικών στερεών η δε θερμική του αξία είναι 5000-6000 Kcal/m. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις δικαιολογείται οικονομικά η χρησιμοποίηση του ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να καλύψει μεγάλο, τουλάχιστον, μέρος των σχετικών αναγκών της εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή η θέρμανση της ιλύος πραγματοποιείται με την βοήθεια του νερού ψύξης του θερμοηλεκτρικού σταθμού. Στις μικρότερες εγκαταστάσεις μέρος του αερίου καίγεται στην ατμόσφαιρα με την βοήθεια ειδικού διαύλου. Μείγμα ατμοσφαιρικού αέρα με περιεκτικότητα σε μεθάνιο 5,5-13,5 % είναι εκρηκτικό και έχει προκαλέσει σοβαρά ατυχήματα σε μερικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων [7].

Κατά την απόληψη της ιλύος η στάθμη της στο χωνευτή κατέρχεται και το περιεχόμενο αέριο τείνει προς υποπίεση γεγονός που θα επέτρεπε την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα. Στην περίπτωση της επιπλέουσας οροφής ο όγκος του αερίου παραμένει σταθερός και η υποπίεση αποφεύγεται. Στην περίπτωση της σταθερής οροφής η διατήρηση της υπερπίεσης εξασφαλίζεται από αεριοφυλάκιο με κινητή οροφή το οποίο συνδέεται με αγωγό αερίου με το άνω μέρος του χωνευτή.

#### Είδη αναερόβιων χωνευτών

Οι χωνευτές διακρίνονται σε στρωματωμένους και πλήρους μίξης. Στους πρώτους, που σήμερα έχουν πρακτικώς εγκαταλειφθεί, δεν πραγματοποιείται ανάμιξη έντονη ώστε να στρωματώνεται η περιεχόμενη ιλύς από κάτω προς άνω σε χωνευμένη ιλύ, σε χωνευόμενη ιλύ και σε επιπολάζον υγρό που απομακρύνεται κατά διαστήματα προς την είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας των λυμάτων. Δηλαδή ο χωνευτής εργάζεται και ως παχυντής με αποτέλεσμα να έχει η απομακρυνόμενη χωνευμένη ιλύς μικρότερο όγκο από την εισρέουσα και μεγαλύτερη συγκέντρωση στερεών παρά την διάσπαση μεγάλου μέρους της πτητικής συνιστώσας. Το πολύ σημαντικό μειονέκτημα του στρωματωμένου χωνευτή είναι ότι με την απουσία επαρκούς

μίξης δεν βελτιστοποιούνται οι βιολογικές διεργασίες οι οποίες άλλωστε περιορίζονται σε τμήμα μόνο του χωνευτή με αποτέλεσμα εκτός του μεγάλου απαιτούμενου όγκου, η χώνευση να μην είναι καλά ελεγχόμενη.

Κατά την χώνευση πλήρους μίξης δεν υπάρχει επιπολάζον υγρό και συνεπώς η παροχή της απολαμβανόμενης χωνευμένης ιλύος είναι ίση με την παροχή της εισρέουσας και η συγκέντρωση στερεών στην πρώτη είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή στη δεύτερη. Η μίξη επιτυγχάνεται συνήθως με επανακυκλοφορία του μεθανιούχου αερίου στον πυθμένα ή και σε ενδιάμεσα σημεία του χωνευτή με τη βοήθεια αεροσυμπιεστών. Έχουν υποδειχθεί παροχές επανακυκλοφορίας του αερίου ανά μονάδα όγκου ή μονάδα επιφάνειας του χωνευτή που κυμαίνονται σε ευρύ διάστημα τιμών. Η σημερινή πάντως τάση είναι προς την έντονη μίξη με παροχές επανακυκλοφορούμενου αερίου 0,25-0,45 m<sup>3</sup>/ ανά m<sup>3</sup> χωνευτή ανάλογα και με το είδος του εξοπλισμού μίξης.

Η θέρμανση της ιλύος πραγματοποιείται σήμερα με συνεχή επανακυκλοφορία της δια μέσου εξωτερικού θερμικού εναλλάκτη. Μία από τις συνηθισμένες μορφές είναι ο σωληνωτός που αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες με σπειροειδή ή άλλης μορφής άξονα. Στον εσωτερικό σωλήνα κυκλοφορεί η ιλύς και στον περιβάλλοντα δακτύλιο το θερμό νερό που προέρχεται είτε από το σύστημα ψύξης του, τυχόν, θερμοηλεκτρικού σταθμού είτε από σύστημα λέβητα-καυστήρα μεθανιούχου αερίου.

Ο χωνευτής πλήρους μίξης σχεδιάζεται συνήθως με βάση το χρόνο παραμονής (15-20 ημέρες). Η ποσοστιαία διάσπαση των πτητικών στερεών βρίσκεται συνήθως στο διάστημα 40-60% ανάλογα με τον χρόνο παραμονής και τα χαρακτηριστικά της ιλύος. Εμπειρική σχέση που δίνει ενδείξεις για το βαθμό επίδρασης του χρόνου  $\theta$  στην απόδοση  $E$  είναι [7]:

$$E = 13,71 \ln \theta + 18,9 \quad (7-4)$$

Η χώνευση σε θερμοκρασία 35°C επιτυγχάνει καταστροφή κολοβακτηριδίων περιττωμάτων κατά 96-99%.

Με τη θερμοφιλική χώνευση, δηλαδή με θέρμανση της ιλύος σε 50-60°C οι βιολογικές διεργασίες επιταχύνονται με συνέπεια να απαιτείται μικρότερος όγκος χωνευτών, η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών να είναι μεγαλύτερη και η αφυδατωσιμότητα της ιλύος να βελτιώνεται. Στις παραπάνω όμως θερμοκρασίες η βακτηριδιακή κοινότητα χαρακτηρίζεται από μικρή ποικιλία και ευστάθεια. Το γεγονός αυτό, η σημαντική αύξηση της ενέργειας θέρμανσης και μερικά τεχνικά προβλήματα που συνεπάγεται η θέρμανση της ιλύος σε υψηλές θερμοκρασίες δεν έχουν ευνοήσει την ευρεία εφαρμογή της θερμοφιλικής χώνευσης.

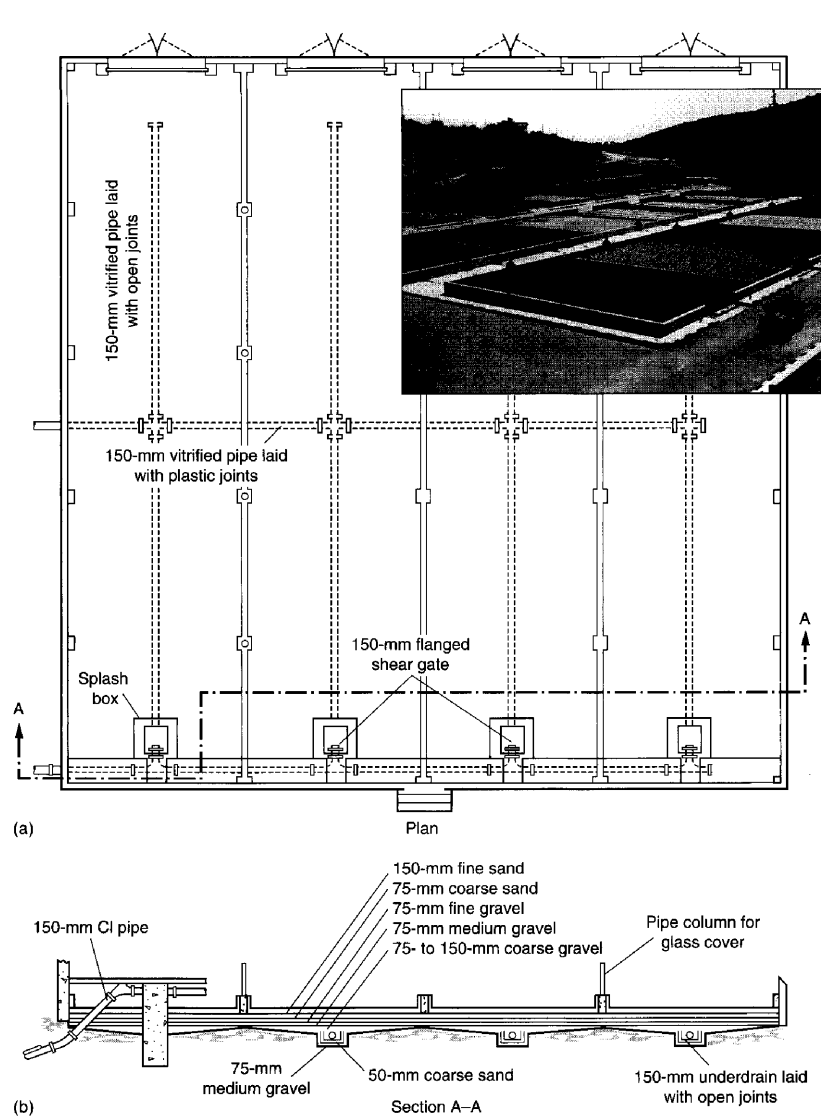
#### **7. 4 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ**

Κατά την αφυδάτωση όπως και κατά την πάχυνση αφαιρείται νερό από την ιλύ με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος της και να αυξάνει η συγκέντρωση των στερεών. Η διαφορά μεταξύ πάχυνσης και αφυδάτωσης βρίσκεται στο ότι ενώ η παχυμένη ιλύς διατηρεί την υγρή κατάσταση, η αφυδατωμένη έχει στερεά κατάσταση όπως αυτή του χώματος. Για να έχει την κατάσταση αυτή, το ποσοστό στερεών πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 15%. Η αφυδάτωση μειώνει δραστικά τον όγκο της ιλύος. Με αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών από 5 σε 20% ο όγκος της ιλύος υποτετραπλασιάζεται περίπου. Το νερό που προκύπτει από την αφυδάτωση είναι βεβαρυμένο με ρύπους και αντλείται συνήθως στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας των λυμάτων. Σπανιότερα, υποβάλλεται σε επεξεργασία.

##### **7.4.1 Κλίνες ξήρανσης**

Παλαιότερα, στις μικρότερες κυρίως πόλεις, η αφυδάτωση πραγματοποιείτο συχνά με ξήρανση δηλαδή με εφαρμογή της ιλύος σε κλίνες άμμου και διαβαθμισμένου χαλικιού κάτω από το οποίο διαμορφωνόταν σύστημα αποχέτευσης των στραγγιδίων (σχήμα 7-6). Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες η φόρτιση των κλινών ξήρανσης σε όρους

βρίσκεται στο διάστημα 50-120 Kg/m<sup>2</sup> ανά έτος [7]. Η προκύπτουσα επιφάνεια είναι μεγάλη γεγονός που σε συνδυασμό με την απαιτούμενη σημαντική απασχόληση εργατικών χεριών, τα κάποια περιβαλλοντικά προβλήματα και την εξέλιξη της μηχανικής αφυδάτωσης έχουν περιορίσει πολύ την εφαρμογή της μεθόδου αυτής.



**Σχήμα 7-6:** Τυπική κλίνη ξήρανσης άμμου (α) κάτοψη και (β) τομή [1].

#### 7.4.2 Αφυδάτωση με μηχανικά μέσα

Η μηχανική αφυδάτωση της ιλύος μπορεί να επιτευχθεί με ποικιλία μηχανισμών όπως τα φίλτρα κενού, οι φυγοκεντρητές, οι πλακοφιλτρώπρεσες και οι

ταινιοφιλτρόπρεςσες. Με αυτές τις μεθόδους αυξάνεται κατά κανόνα η συγκέντρωση στερεών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20%.

Τα φίλτρα κενού απαρτίζονται από περιστρεφόμενο τύμπανο, καλυμμένο με ύφασμα ή άλλο διυλιστικό μέσο, μερικώς βυθισμένο σε λεκάνη στην οποία βρίσκεται η ιλύς υπό ελαφρά ανάδευση. Στο εσωτερικό του τυμπάνου εφαρμόζεται υποπίεση με αποτέλεσμα να προσκολλούνται τα στερεά στο ύφασμα τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται σε κατάλληλη θέση του κύκλου περιστροφής από ειδικό αποξεστήρα.

Οι πλακοφιλτρόπρεςσες είναι κατά βάση συστοιχία μεταλλικών πλαισίων στις οποίες προσαρμόζεται διυλιστικό μέσο όμοιο με αυτό του φίλτρου κενού. Η ιλύς αντλείται υπό πίεση στο εσωτερικό των πλαισίων για περίοδο 1-3 ωρών συνήθως, κατά την οποία πραγματοποιείται απομάκρυνση του νερού. Στο τέλος της περιόδου το πλαίσιο ανοίγεται και απομακρύνεται η αφυδατωμένη ιλύς με υψηλό ποσοστό στερεών που μπορεί να φθάσει και να υπερβεί τα 35-40%.

Οι φυγοκεντρητές λειτουργούν όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την πάχυνση της ιλύος.

Οι ταινιοφιλτρόπρεςσες είναι το νεώτερο επίτευγμα με σχετικώς μικρό κόστος και ευρεία εφαρμογή.

Κατά κανόνα στην ιλύ προστίθενται κροκιδωτικά, ανόργανα ή πολυμερικά, τα οποία με την εξουδετέρωση των ηλεκτρικών φορτίων των σωματιδίων και με τη γεφύρωσή τους διευκολύνουν την αφυδάτωση.

## **7.5 ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ**

Σχεδόν πλήρης ξήρανση της ιλύος (ποσοστό υγρασίας 5-10%) με συνέπεια πολύ μεγάλη μείωση του όγκου της μπορεί να επιτευχθεί με την διασπορά της

ιλύος σε ρεύμα ξηρού αέρα θερμοκρασίας τουλάχιστον 210 °C. Τα προκύπτοντα ξηρά οργανικά στερεά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για τη θερμική στήριξη της ξήρανσης. Στην περίπτωση αυτή η ξήρανση αποτελεί διαδικασία μερικής ή ολικής καύσης.

Με την καύση (αποτέφρωση) επιτυγχάνεται πρακτικώς πλήρης οξείδωση των πτητικών στερεών σε ανόργανες ύλες. Κατά κανόνα απαιτείται υψηλός βαθμός αφυδάτωσης για να είναι δυνατή η θερμικά αυτάρκης καύση της ιλύος. Η θερμική αξία της ιλύος ποικίλει με μέση τιμή 5600 Kcal ανά Kg πτητικών στερεών [6]. Σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι αρκετή για την καύση και απαιτείται η χρήση βοηθητικού καυσίμου.

#### Είδη αποτεφρωτών

Δύο τύποι αποτεφρωτών είναι σε ευρεία εφαρμογή για την καύση αφυδατωμένης ιλύος, ο αποτεφρωτής πολλαπλών εστιών και ο αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης.

Οι πολλαπλές εστίες είναι διατεταγμένες κατακόρυφα μέσα στις οποίες ρίπτεται η ιλύς. Στο ανώτερο τμήμα του αποτεφρωτή ( $T=550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) επιτυγχάνεται η ξήρανση της ιλύος και η ψύχρανση των απόβλητων αερίων. Η καύση πραγματοποιείται στο ενδιάμεσο τμήμα ( $T=900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ ) ενώ στο κατώτερο τμήμα ( $T=350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) αποτεφρώνονται οι βραδείας καύσης ύλες και ψύχεται η τέφρα.

Ο αποτεφρωτής ρευστοποιημένης κλίνης αποτελείται κατά βάση από κλίνη άμμου. Η ανοδική ροή του αέρα θέτει σε αιώρηση την άμμο η οποία προθερμαίνεται σε 800 °C με χρήση βοηθητικού καυσίμου. Εξαιτίας του έντονου αναβρασμού δεν απαιτείται εξοπλισμός μίξης.

Η καύση της ιλύος δημιουργεί προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και γι αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά μέτρα όπως η δευτεροβάθμια καύση, η ηλεκτροστατική κατακρήμνιση αιωρούμενων στερεών, η

απομάκρυνση  $\text{NO}_x, \text{O}_2$  για να ικανοποιούνται οι σχετικές απαιτήσεις των Κανονισμών.



## **8. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

### **8.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

Τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της σχετικής οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επεξεργασία των λυμάτων, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) αυξάνονται ραγδαία. Το ενδιαφέρον λοιπόν δεν επικεντρώνεται πλέον τόσο στην ανάγκη κατασκευής των ΕΕΛ όσο στον σωστό σχεδιασμό και την αποδοτική λειτουργία τους.

Η ανάγκη ελέγχου του σχεδιασμού και της λειτουργίας μιας ΕΕΛ οδήγησε στην αναζήτηση μιας διαδικασίας απλής και εύκολα εφαρμόσιμης με όσο το δυνατό λιγότερα απαιτούμενα στοιχεία. Ένα τέτοιο εργαλείο θα μπορούσε να φανεί χρήσιμο στο μηχανικό που είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία μιας ΕΕΛ ή τον επιθεωρητή μιας μελέτης που έχει κατατεθεί και περιμένει έγκριση.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία των ΕΕΛ πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να εξασφαλίζεται η τήρηση των θεσπισμένων ορίων. Σκοπός του συγκεκριμένου εργαλείου είναι η πρόβλεψη διαφόρων παραμέτρων που είναι ενδεικτικές της λειτουργίας του συστήματος αλλά και η σύγκρισή τους με τις πραγματικές με σκοπό την αξιολόγηση του εργαλείου αυτού. Το μοντέλο αυτό μπορεί πολύ εύκολα να δημιουργηθεί κάνοντας χρήση του Microsoft Excel τοποθετώντας σε μια στήλη τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται. Οι τιμές των παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν προκύπτουν με την εισαγωγή σε κάθε κελί των κατάλληλων εξισώσεων σχεδιασμού. Ακόμα και στην περίπτωση που οι τιμές των παραμέτρων εισόδου είναι άγνωστες μπορούν να γίνουν παραδοχές από τυπικές τιμές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

Το μοντέλο είναι βασισμένο στις εξισώσεις σχεδιασμού των μονάδων επεξεργασίας που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Παρακάτω αναφέρονται για κάθε μονάδα επεξεργασίας τα απαραίτητα δεδομένα, οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται καθώς και οι παράμετροι ελέγχου. Στο

σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις αυτές πρέπει να εισάγονται στο μοντέλο με τη σειρά που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες καθώς πολλές από τις παραμέτρους εξόδου μιας εξίσωσης αποτελούν δεδομένα για την επόμενη.

## 8.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε για μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων που περιλαμβάνει εσχάρα, αεριζόμενο εξαμμωτή, δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, σύστημα ενεργού ιλύος με ταυτόχρονη απονιτροποίηση (ανοξικός αντιδραστήρας) και δεξαμενή χλωρίωσης, καθώς αυτές είναι οι πιο συνηθισμένες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα.

### 1. Εσχάρωση

Τα απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας της σχάρας σε μια μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων καθώς και τα εξαγόμενα στοιχεία μετά τη χρήση των παραπάνω εξισώσεων φαίνονται στους πίνακες 8-1 και 8-2.

**Πίνακας 8-1:** Παράμετροι εισόδου εσχάρωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέγιστη παροχή ( $Q_{\max}$ )	$m^3/sec$	
Πλάτος καναλιού σχάρας ( $W$ )	m	
Βάθος ροής στη σχάρα στη μέγιστη παροχή ( $h$ )	m	
Πάχος ράβδων σχάρας ( $\rho$ )	mm	
Πάχος διάκενων σχάρας ( $\delta$ )	mm	
C		0,6

**Πίνακας 8-2:** Παράμετροι ελέγχου εσχάρωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
$Q_{\max}$ , $W$ , $h$ , $\rho$ , $\delta$	(4 - 1)	Ταχύτητα ροής στα διάκενα ( $V$ ), m/sec	Μικρότερη από 0,6- 1,2 m/sec
$Q_{\max}$ , $W$ , $h$	(4 - 2)	Ταχύτητα ροής στο κανάλι ( $U$ ), m/sec	Μεγαλύτερη από 0,4 m/sec
$V$ , $U$ , C	(4 - 3)	Απώλειες, m ενέργειας ( $h_L$ )	Εως 0.2m

### 2. Εξαμμωση

**Πίνακας 8-3:** Παράμετροι εισόδου εξάμμωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	
Πλάτος εξαμμωτή (W)	m	-
Μήκος εξαμμωτή (L)	m	-
Βάθος εξαμμωτή (H)	m	-

**Πίνακας 8-4:** Παράμετροι ελέγχου εξάμμωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 4-2)
Q, V	(4 – 18)	Χρόνος παραμονής (θ), min	2-5 min
W, H	W/H	W/H	1-5 (τυπ. 1.5-2)
L, W	L/W	L/W	3-5 (τυπ. 4)

### 3. Κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

**Πίνακας 8-5:** Παράμετροι εισόδου ΔΠΚ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 4-4, 4-5, 4-6)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	
Διάμετρος δεξαμενής (d)	m	
Βάθος δεξαμενής (H)	m	
Αρχική συγκέντρωση στερεών (SSo)	mg/l	
Πυκνότητα παραγόμενης ιλύος	Kg/m <sup>3</sup>	
Συγκέντρωση στερεών ιλύος (Cλ)	%	4-12 (τυπ.6)
Ειδική βαρύτητα ιλύος (s)	-	1,03
BOD εισροής (BOD <sub>0</sub> )	mg/l	
as		0,0075
bs		0,014
a		0,018
b		0,02

**Πίνακας 8-6:** Παράμετροι ελέγχου ΔΠΚ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 4-4, 4-5, 4-6)
$Q_{\max}, V$	(4 – 18)	Ελάχιστος χρόνος παραμονής ( $\theta_{\min}$ ), h	1,5-2,5 (τυπ. 2)
$Q, V$	(4 – 18)	Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή ( $\theta$ ), h	1,5-2,5 (τυπ. 2)
$Q, A$	$Q / A$	Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή ( $q$ ), $m^3/m^2.d$	30-50 (τυπ. 40)
$Q_{\max}, A$	$Q_{\max} / A$	Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή ( $q_{\max}$ ), $m^3/m^2.d$	80-120 (τυπ.100)
$D$	$L=\pi*d$	Μήκος υπερχειλιστή, m	
$Q, L$	Φόρτιση = $Q/L$	Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, $m^3/m.d$	125-500 (τυπ. 250)
$\Theta, a_{ss}, b_{ss}$	(4 – 20)	% απομάκρυνση SS στη μέγιστη παροχή ( $R_{ss}$ )	
$Q, R_{ss}, SS_0$	$M=Q*R_{ss}*(SS_0)$	Μάζα απομακρυνόμενων SS (M), Kg/d	
$M, s, c_{\lambda}$	(4 – 21)	Παροχή ιλύος ( $Q_{\lambda}$ ), $m^3/d$	
$R_{ss}, SS_0$		Συγκέντρωση στερεών εκροής (SS), mg/l	
$\Theta, a, b$	(4 – 20)	% απομάκρυνση BOD στη μέγιστη παροχή ( $R_{BOD}$ )	
$R_{BOD}, BOD_0$		BOD εκροής, mg/l	

## 4. Δεξαμενή Αερισμού και Ανοξική Δεξαμενή

### 4.1 Δεξαμενή Αερισμού

**Πίνακας 8-7:** Παράμετροι εισόδου ΔΑ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	D	Συμβατική:2-15, ΠΑ*:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m20</sub> )	d <sup>-1</sup>	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>s</sub> )	mg BOD/l	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>mn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n20</sub> )	mg/l	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>dn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

\*ΠΑ: Παρατεταμένος Αερισμός

**Πίνακας 8-8:** Παράμετροι ελέγχου ΔΑ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 4-4, 4-5, 4-6)
$\mu_{m20}, T$	(5 – 6)	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ ( $\mu_{mT}$ ), $d^{-1}$	
$k_{d20}, T$	(5 – 6)	Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία $T$ ( $k_d$ ), $d^{-1}$	
$\mu_{mn20}, T$	(5 – 6)	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnT}$ ), $d^{-1}$	
$K_{n20}, T$	(5 – 6)	Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία $T$ ( $K_n$ ), $mg/l$	
$k_{dn20}, T$	(5 – 6)	Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία $T$ ( $k_{dn}$ ), $d^{-1}$	
$Q, V$	(4 – 18)	Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $\tau$ ), $h$	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
$Q, S_0, V$	(5 – 32)	Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), $kg\ BOD/m^3 \cdot d$	Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
$MLSS, X_R$	(5 – 44)	Λόγος ανακυκλοφορίας ( $R$ )	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
$K_s, k_d, SRT, Y, \mu_m$	(5 – 15)	Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή ( $S$ ), $mg\ sBOD/l$	Μικρότερη των 25
$K_n, k_{dn}, K_o, SRT, DO$	(5 – 39)	Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), $mg/l$	Ολική συγκέντρωση $N$ μικρότερη των 15
$S_0, S$		Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα ( $E$ )	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
$TKN_0, N_e$		Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	Μεγαλύτερη του 70%
$MLVSS, SRT, V$	(5 – 27)	Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), $kgVSS/d$	
$MLSS, SRT, V$	(5 – 28)	Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), $kg\ TSS/d$	
$S_0, T, MLSS$	(5 – 31)	Λόγος τροφής προς $\mu/o$ ( $F/M$ ), $kg\ BOD/Kg\ VSS \cdot d$	Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
$P_{x,vss}, TKN_0, Q$	(5 – 47)	Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), $mg/l$	
$V, MLSS, Q, X_R, X_e, SRT$	(5 – 11)	Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), $m^3/d$	
$S, TSS_e$	(5 – 48)	$BOD$ εκροής ( $BOD_e$ ), $mg/l$	<25

## 4.2 Ανοξική Δεξαμενή

**Πίνακας 8-9:** Παράμετροι εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	-
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	-
MLVSS στη ΔΑ	mg/l	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην είσοδο (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg/l	-
BOD εισροής	mg BOD/l	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	-	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)		-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg/mg	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	-

**Πίνακας 8-10:** Παράμετροι ελέγχου Ανοξικής Δεξαμενής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Q, V <sub>nox</sub>	(4 -18)	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (τ <sub>nox</sub> ), d	
SRT, S <sub>0</sub> , S, Y, k <sub>d</sub> , τ	(5 – 18)	Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	
SDNR <sub>20</sub> , T	(5 – 50)	Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,04-0,42
SDNR, V <sub>nox</sub> , X <sub>b</sub>	(5 – 49)	Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	
IR, R, NO <sub>x</sub>	(5 – 51)	Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	Μικρότερη των 7 mg/l

## 5. Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης

**Πίνακας 8-11:** Παράμετροι εισόδου ΔΔΚ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	
Διάμετρος (d)	m	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	m	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		

**Πίνακας 8-12:** Παράμετροι ελέγχου ΔΔΚ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5- 4)
Q, R, MLSS, A	(5 – 53)	Εισροή στερεών (SLR)	<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Q, A	Q /A	Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	16-28
Q <sub>max</sub> , A	Q <sub>max</sub> /A	Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Q <sub>max</sub> , V	(4 – 18)	Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Q, V	(4 – 18)	Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	1,5-2,5 (τυπ. 2)
D	L=π*d	Μήκος υπερχειλιστή, m	
Q, L	Φόρτιση =Q/L	Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	



## 6. Δεξαμενή Χλωρίωσης

**Πίνακας 8-13:** Παράμετροι εισόδου δεξαμενής χλωρίωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /h	
Παροχή αιχμής (Q <sub>p</sub> )	m <sup>3</sup> /h	
Πλάτος δεξαμενής (W)	m	
Πλάτος ροής	m	
Μήκος δεξαμενής (L)	m	
Μήκος ροής (L)	m	
Βάθος ροής (H)	m	
Αριθμός μ/ο σε χρόνο t=0	no/100ml	
b		4
n		2,8
Συγκέντρωση χλωρίου (c)	mg/l	

**Πίνακας 8-14:** Παράμετροι ελέγχου δεξαμενής χλωρίωσης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΕΞΙΣΩΣΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Q <sub>max</sub> , V	(4 – 18)	Ελάχιστος χρόνος επαφής (Θ <sub>min</sub> ), min	Ελάχιστος χρόνος επαφής στη μέγιστη παροχή 20 min
Q, V	(4 – 18)	Μέσος χρόνος επαφής (Θ), min	
Q, W, H	(4 – 2)	Ταχύτητα ροής στην παροχή αιχμής (v), m/sec	2 - 4,5 m/min
N <sub>0</sub> , c, θ, b, n	(6 – 4)	Αριθμός μ/ο σε χρόνο t, απ./100ml	

## **9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΕΕΛ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

### **9.1 ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ**

Στο νομό Χανίων λειτουργεί μόνο η ΕΕΛ που εξυπηρετεί την πόλη των Χανίων καθώς και τη Σούδα, το Ακρωτήρι, το Βαρύπετρο, και την Αγιά. Η ΕΕΛ Καλυβών του Δήμου Αρμένων, έχει κατασκευαστεί αλλά δεν έχει τεθεί ακόμα σε λειτουργία για λόγους που αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω. Επιπλέον, έχουν κατατεθεί μελέτες στο τμήμα Περιβάλλοντος της Νομαρχίας Χανίων που προβλέπουν την κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στις εξής περιοχές:

- Στον οικισμό Γεωργιούπολη, που θα εξυπηρετεί τους Δήμους Γεωργιούπολης, Κρυονερίδας και Λαππαίων που υπάγεται στο Νομό Ρεθύμνης. Σύμφωνα με τη μελέτη, η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει τις εξής μονάδες επεξεργασίας: εσχάρωση, εξάμμωση – λιποσυλλογή, σύστημα ενεργού ιλύος με ταυτόχρονη απομάκρυνση νιτρικών, χλωρίωση, μηχανική πάχυνση και αφυδάτωση ιλύος με χρήση ταινιοφιλτρόπρεσσας. Επιπλέον προβλέπεται χημική απομάκρυνση του φωσφόρου με προσθήκη κροκιδωτικών στην εκροή της δεξαμενής αερισμού.
- Στο Γεράνι Χανίων, θα εξυπηρετεί το δήμο Ν. Κυδωνίας και 38 ακόμα κοινότητες που υπάγονται διοικητικά στους Δήμους Θερίσου, Μουσούρων, Πλατανιά, Βουκολιών και Κολυμπαρίου. Τα λύματα που θα δέχεται είναι κυρίως αστικά αλλά θα προέρχονται και από ελαιουργία και μικρομεσαίες μεταποιητικές μονάδες. Τα λύματα προβλέπεται να διέρχονται από μηχανική εσχάρα, αεριζόμενο εξαμμωτή – λιποσυλλέκτη, σύστημα ενεργού ιλύος παρατεταμένου αερισμού στο οποίο η δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας χωρίζεται σε αερόβιες και ανοξικές ζώνες, τεχνητό υγροβιότοπο επιφανειακής ροής 12 κλινών και χλωρίωση. Η παραγόμενη ιλύς θα διέρχεται από μονάδα πάχυνσης βαρύτητας και στη συνέχεια αφυδάτωσης με

ταινιοφιλτρόπρεσσα. Το χειμώνα τα επεξεργασμένα λύματα θα διατίθενται περιοχή Γερανίου. Κατά τη θερινή περίοδο εναλλακτικά το καθαρό υγρό θα χρησιμοποιείται για την άρδευση ελαιώνων στα νότια της εγκατάστασης και στο δημιουργούμενο γύρω από την εγκατάσταση πάρκο φυτοτεχνικής διαμόρφωσης του χώρου.

- Στον οικισμό Λουτρό Ανώπολης Σφακίων και θα εξυπηρετεί τους οικισμούς Λουτρού και Φοίνικα. Τα λύματα που θα εισέρχονται στην εγκατάσταση θα είναι αστικά και θα υποβάλλονται σε εσχάρωση, εξάμμωση, βιολογική επεξεργασία με παρατεταμένο αερισμό (3 γραμμές επεξεργασίας), απολύμανση με όζον και αφυδάτωση της ιλύος σε κλίνες ξήρανσης (4 κλίνες). Η πρώτη λύση ως προς τη διάθεση των λυμάτων είναι η επιφανειακή άρδευση έκτασης 30000 μ<sup>2</sup> σε απόσταση 250 m από την εγκατάσταση και εναλλακτικά όταν δε γίνεται άρδευση υποεπιφανειακή διάθεση σε τάφρο ή στη θάλασσα νοτίως της ΕΕΛ. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τη μελέτη τη μη τουριστική περίοδο, λόγω μικρών φορτίων κρίνεται ασύμφορη η λειτουργία της εγκατάστασης και τα λύματα θα αντλούνται από το φρεάτιο συλλογής σε σηπτική δεξαμενή με τελική διάθεση σε απορροφητικό βόθρο.
- Στη Χώρα Σφακίων, και θα εξυπηρετεί την ομώνυμη κοινότητα. Η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει απλή εσχάρα, σύστημα ενεργού ιλύος με ταυτόχρονη νιτροποίηση – απονιτροποίηση, δεξαμενή χλωρίωσης και κλίνες ξήρανσης της ιλύος. Σύμφωνα με τη μελέτη σχεδιασμού η διάθεση του καθαρού υγρού θα γίνεται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού αλλά η πρόταση της κοινότητας είναι η άρδευση περιμετρικά της εγκατάστασης σε έκταση 300 στρεμμάτων και τη δημιουργία πάρκου αναψυχής με ενδημικά φυτά της περιοχής όπως πικροδάφνες, λιγαριές, κυπαρίσσια, πεύκα κτλ.
- Στον οικισμό Αργυρούπολης Αποκορώνου, που θα εξυπηρετεί τον οικισμό. Τα λύματα θα διέρχονται από μηχανική εσχάρα, λιποσυλλέκτη, δεξαμενή Imhoff, και φυτεία καλαμιών Phragmites επιφάνειας 2500 μ<sup>2</sup> (2 σειρές κλινών επεξεργασίας διαιρούμενες σε 4 διαμερίσματα). Η διάθεση της εκροής θα γίνεται σε τεχνητά διαμορφωμένη λίμνη με

σκοπό την άρδευση. Η ιλύς της δεξαμενής Imhoff θα διασπείρεται στις κλίνες επεξεργασίας για αποικοδόμηση (αναερόβια χώνευση).

- Στον κόλπο Κισσάμου, για την εξυπηρέτηση του Δήμου Κισσάμου και των κοινοτήτων Γραμβούσης, Δραπανιά, Καλλεργιανών, Καλλουδιανών, Πλατάνου και Φαελιανών. Η εγκατάσταση εκτός από τα αστικά λύματα θα δέχεται και λύματα από βιοτεχνικές μονάδες και βιομηχανίες της περιοχής που είναι ομοειδή ως προς τη σύστασή τους με τα αστικά. Η προεπεξεργασία των λυμάτων θα περιλαμβάνει εσχάρωση με χρήση τριών εσχάρων: μιας επίπεδης αυτοκαθαριζόμενης, μιας καμπύλης με ράβδους (αυτοκαθαριζόμενη) και μιας εφεδρικής η οποία θα είναι επίπεδη, σταθερή και μεταλλική, αεριζόμενο εξαμμωτή – λιποσυλλέκτη, 2 δεξαμενές αερισμού (με ανοξικές ζώνες για την επίτευξη απονιτροποίησης) και δεξαμενές τελικής καθίζησης και 3 δεξαμενές χλωρίωσης. Η παραγόμενη ιλύς θα υποβάλλεται σε πάχυνση με βαρύτητα και εν συνεχεία αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσσα. Ως επίσημο σημείο εκβολής των λυμάτων έχει οριστεί η θαλάσσια περιοχή Κόλπου Κισσάμου στην εκβολή του Κακοπέρατου Χειμάρρου.

Οι ΕΕΛ Χανίων και Καλυβών περιγράφονται παρακάτω αναλυτικά καθώς σε αυτές έχει εφαρμοστεί το μοντέλο που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 8. Τα αποτελέσματα και η σύγκρισή τους με τα πραγματικά δεδομένα (ή τα σχεδιαστικά δεδομένα) φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν.

#### 9.1.1 ΕΕΛ Χανίων

Η ΕΕΛ Χανίων που βρίσκεται στο ΣΟΔΥ Χανίων λειτουργεί από το 1995. Τα λύματα που δέχεται είναι κατά πλειοψηφία αστικά αλλά και βοθρολύματα και βιομηχανικά από την εταιρία BIOXYM. Το έργο κατασκευάστηκε και λειτουργεί σήμερα ώστε να επεξεργάζεται τα λύματα 80000 ισοδύναμων κατοίκων του Δήμου Χανίων που αναλογούν σε 20000 m<sup>3</sup>/d κατά τη θερινή περίοδο.

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας των λυμάτων της εγκατάστασης υπάρχει χημείο στο οποίο αναλύονται δείγματα

από την εισροή και την εκροή καθημερινά και 2 - 3 φορές εβδομαδιαίως από τις υπόλοιπες μονάδες. Επίσης υπάρχει σύστημα απεικόνισης της λειτουργίας της εγκατάστασης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τα λειτουργικά προβλήματα της εγκατάστασης είναι σπάνια και περιορίζονται στη διόγκωση της λάσπης και των αφρισμό στις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Λόγω της ύπαρξης συστήματος απόσμησης που περιλαμβάνει πλυντρίδα τριών σταδίων για τη δέσμευση της αμμωνίας και του υδρόθειου δεν παρατηρούνται οσμές.

### Αναλυτική περιγραφή μονάδων επεξεργασίας λυμάτων [12]

#### 1. Εσχάρωση

Τα λύματα που εισέρχονται μέσω του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού και τα βοθρολύματα που αντλούνται από τις αντίστοιχες δεξαμενές οδηγούνται στο φρεάτιο εσχάρωσης χονδρόκοκκων, από όπου απομακρύνονται τα στερεά με διάμετρο μεγαλύτερη από 80mm. Υπάρχουν δυο εσχάρες μήκους 1200mm η καθεμία. Εν συνεχεία τα λύματα διέρχονται μέσω δυο εσχάρων πλάτους 1200mm και διακένου 15mm για τη συγκράτηση των λεπτόκοκκων στερεών. Τα εσχαρίσματα μέσω μεταφορικής ταινίας μεταφέρονται σε κάδους απορριμμάτων και απομακρύνονται με τα στερεά απορρίμματα της εγκατάστασης.

#### 2. Αμμοσυλλογή – Λιποσυλλογή

Τα λύματα οδηγούνται σε δίδυμο αμμοσυλλέκτη – λιποσυλλέκτη. Η δεξαμενή αερίζεται με υποβρύχιους διαχυτήρες. Με την κίνηση μιας γέφυρας η άμμος συλλέγεται σε φρεάτιο στον πυθμένα, από όπου αναρροφάται από αντλίες άμμου ενώ τα λίπη συλλέγονται με επιφανειακό ξέστρο προσαρμοσμένο στη γέφυρα. Η απομακρυνόμενη άμμος συλλέγεται σε κάδους και διαχειρίζεται όπως και τα υπόλοιπα στερεά απορρίμματα της εγκατάστασης, ενώ τα λίπη συγκεντρώνονται σε σχάρα στην έξοδο της σωλήνας και απομακρύνονται μαζί με τα στερεά απορρίμματα της εγκατάστασης.

### 3. Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει δυο κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 22m. Τα λύματα εισέρχονται με κεντρική διάταξη εισροής και υπερχειλίζουν σε περιφερειακό υπερχειλιστή. Η συλλογή της ιλύος γίνεται με ξέστρο που κινείται κυκλικά και περιλαμβάνει βραχίονα για τη συλλογή των επιπλεόντων.

### 4. Δεξαμενές αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας

Η βιολογική επεξεργασία επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος της συμβατικής ενεργού ιλύος. Υπάρχουν δυο βιοαντιδραστήρες εμβολικής ροής που διαχωρίζονται σε δυο ζώνες: μια ανοξική και μια αερόβια. Ο διαχωρισμός των δεξαμενών στις δυο αυτές ζώνες γίνεται χωρίς τοίχιο, με τη μη διοχέτευση αέρα στο ανοξικό τμήμα. Για την απονιτροποίηση χρησιμοποιείται η τεχνολογία της προαπονιτροποίησης. Για τις ανάγκες του αερισμού έχουν τοποθετηθεί μη πορώδεις διαχυτήρες (πλαστικής μεμβράνης) που παράγουν λεπτές φυσαλίδες.

### 5. Δεξαμενές τελικής καθίζησης

Μετά την έξοδο από την δεξαμενή αερισμού τα λύματα οδηγούνται σε δυο δεξαμενές τελικής καθίζησης διαμέτρου 33m. Ο μηχανισμός συλλογής ιλύος και επιπλεόντων είναι ίδιος με την ΔΠΚ.

### 6. Απολύμανση λυμάτων

Η απολύμανση γίνεται σε δεξαμενή εμβολικής ροής 8 διαμερισμάτων. Ως μέσο απολύμανσης χρησιμοποιείται διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου 15% σε ενεργό χλώριο.

### 7. Προπαχυντές βαρύτητας ιλύος

Το σύνολο της παραγόμενης ιλύος αντλείται από τον πυθμένα της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης και οδηγείται σε δυο κυκλικές δεξαμενές προπάχυνσης βαρύτητας διαμέτρου 8,5m.

#### 8. Δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης

Από τις δεξαμενές προπάχυνσης η ιλύς τροφοδοτείται στις δεξαμενές αναερόβιας χώνευσης. Οι δεξαμενές είναι τύπου 'High Rate Digestion', με συνεχή τροφοδοσία, πλήρη ανάμιξη ιλύος και διατήρηση της θερμοκρασίας στους 35 °C.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποθηκεύεται σε δεξαμενή μεταβλητού όγκου και από την οποία τροφοδοτείται για τις διάφορες χρήσεις που έχει η εγκατάσταση: ανάδευση χωνευτών, καύση σε λέβητες για την θέρμανση χωνευτών, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καύση του υπολείμματος στον πυρσό.

#### 9. Δεξαμενές μεταπάχυνσης ιλύος

Η εξερχόμενη από τους χωνευτές ιλύς οδηγείται με φυσική ροή σε δυο κυκλικές δεξαμενές μεταπάχυνσης διαμέτρου 11m.

#### 10. Αφυδάτωση ιλύος

Η ιλύς εξερχόμενη από τις δεξαμενές μεταπάχυνσης οδηγείται μέσω αντλιών προς τη μονάδα αφυδάτωσης. Η μονάδα περιλαμβάνει δυο ταινιοφιλτρώπρες μήκους ιμάντα 2 m.

#### 11. Διάθεση λυμάτων

Τα λύματα διοχετεύονται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού με διαχυτήρες σε απόσταση 200 m από την εγκατάσταση και βάθος 20 m.

#### Προσομοίωση των μονάδων επεξεργασίας της ΕΕΛ Χανίων

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για τις ΔΠΚ, τις ΔΑ και τις Ανοξικές ζώνες τους και τις ΔΔΚ καθώς μόνο για αυτές τις μονάδες βρέθηκαν επαρκή στοιχεία. Οι βιολογικοί αντιδραστήρες προσομοιώθηκαν σαν αντιδραστήρες πλήρους μίξης.

**Πίνακας 9-1:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΠΚ ΕΕΛ Χανίων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	10000	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	14556	
Διάμετρος δεξαμενής (d)	m	22	
Βάθος δεξαμενής (H)	m	3,25	
Αρχική συγκέντρωση στερεών (SS <sub>0</sub> )	mg/l	280	
Πυκνότητα παραγόμενης ιλύος	Kg/m <sup>3</sup>	27,2	
Συγκέντρωση στερεών ιλύος (C <sub>λ</sub> )	%	2,2	4-12 (τυπ.6)
Ειδική βαρύτητα ιλύος (s)	-	1,03	1,03
BOD εισροής (BOD <sub>0</sub> )	mg/l	254	
as		0,0075	0,0075
bs		0,014	0,014
a		0,018	0,018
b		0,02	0,02

**Πίνακας 9-2:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΠΚ ΕΕΛ Χανίων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 4-4, 4-5, 4-6)
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	2	2	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	2,96	2,96	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	26,3	26,4	30-50 (τυπ. 40)
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	38,3		80-120 (τυπ.100)
Μήκος υπερχειλιστή, m	69	63	
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	144,8	158,64	125-500 (τυπ. 250)
% απομάκρυνση SS στη μέγιστη παροχή (R <sub>SS</sub> )	56,5	60	
Μάζα απομακρυνόμενων SS (M), Kg/d	2304	3549	
Παροχή ιλύος (Q <sub>λ</sub> ), m <sup>3</sup> /d	101,7	92	
Συγκέντρωση στερεών εκροής (SS), mg/l	121,7	112	
% απομάκρυνση BOD στη μέγιστη παροχή (R <sub>BOD</sub> )	34,7	33	
BOD εκροής, mg/l	166	170	



**Πίνακας 9-3:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Χανίων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	10000	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1512	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	5,8	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	165	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	264	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	3500	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	2550	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	40	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	15	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	10000	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	20	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>20</sub> )	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,6	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,15	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>μn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n20</sub> )	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>dn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

**Πίνακας 9-4:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Χανίων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ ( $\mu_{mT}$ ), $d^{-1}$	6		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία $T$ ( $k_d$ ), $d^{-1}$	0,15		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnt}$ ), $d^{-1}$	0,75		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία $T$ ( $K_n$ ), mg/l	0,74		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία $T$ ( $k_{dn}$ ), $d^{-1}$	0,08		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $\tau$ ), h	3,6	3,6	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/ $m^3 \cdot d$	1,1	1	Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας ( $R$ )	0,54	1	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή ( $S$ ), mg sBOD/l	3,4	1	Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,37	0,5	Ολική συγκέντρωση N μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα ( $E$ )	0,99	0,92	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99		Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	664,7		
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	912,4		
Λόγος τροφής προς μ/ο ( $F/M$ ), kg BOD/Kg VSS.d	0,311	0,214	Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	32,5		
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), $m^3/d$	76,35	110	
BOD εκροής ( $BOD_e$ ), mg/l	12,4	10	<25

**Πίνακας 9-5:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Χανίων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	10000	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	756	-
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1512	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	5,8	-
BOD εισροής	mg BOD/l	165	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg/l	3,4	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)		0,54	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)	-	1,42	-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,15	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)		0,6	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	20	-

**Πίνακας 9-6:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοξικής ζώνης ΕΕΛ Χανίων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (T <sub>nox</sub> ), d	0,07		
Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	1988,87		
Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,22		0,04-0,42
Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	330,78		
Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	10,98	12	Μικρότερη των 7 mg/l

**Πίνακας 9-7:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Χανίων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	10000	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	14556	
Διάμετρος (d)	m	33	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	m	2,5	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	3,5	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		1	

**Πίνακας 9-8:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Χανίων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [12]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	4,96628	5	<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	11,6978	11,3	16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	17,0272		40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	3,52376	3,5	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	5,12919		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	103,62		
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	96,5065		

(Πηγή πληροφοριών: κα Κοτσιφάκη Χριστίνα, Χημικός Μηχανικός, υπεύθυνη λειτουργίας ΕΕΛ Χανίων)

#### 9.1.2. ΕΕΛ Καλυβών Δήμου Αρμένων

Τα έργα κατασκευής της ΕΕΛ άρχισαν το 1995 και έχουν ολοκληρωθεί. Παρόλα αυτά η εγκατάσταση δε λειτουργεί καθώς αφενός δεν έχει ολοκληρωθεί η μελέτη απόσμησης σύμφωνα με την οποία αναμένεται να σκεπαστούν όλες οι μονάδες για την αποφυγή των δυσάρεστων οσμών, αφετέρου δεν έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του αποχετευτικού δικτύου του δήμου Αρμένων. Επιπλέον, έχουν εκδηλωθεί έντονες αντιδράσεις από τους μόνιμους κατοίκους ως προς την τοποθεσία της εγκατάστασης.

Η ΕΕΛ Καλυβών θα εξυπηρετεί σύμφωνα με τη μελέτη τις κοινότητες Καλυβών και Αρμένων καθώς και τις ξενοδοχειακές κλίνες Καλυβών. Τα λύματα που θα δέχεται θα είναι αστικά.

## Αναλυτική περιγραφή μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

### 1. Εσχάρωση

Η εγκατάσταση διαθέτει δυο εσχάρες. Η πρώτη είναι ραβδωτή με διάκενα της τάξεως των 4 cm για τη συγκράτηση των ευμεγεθών υλικών. Η δεύτερη εσχάρα είναι κυκλική με ράβδους, που αφήνουν διάκενα 16 mm και είναι εξοπλισμένη με αυτόματο μηχανισμό, που συλλέγει τα εσχαρίσματα.

### 2. Εξάμμωση

Η εξάμμωση θα λαμβάνει χώρα σε εξαμμητή ανοιχτού καναλιού που αποτελείται από δυο θαλάμους.

### 3. Δεξαμενή αερισμού

Τα λύματα μετά τον εξαμμητή θα οδηγούνται στη δεξαμενή αερισμού, όπου θα αερίζονται με αεριστήρες οριζόντιου άξονα (ρότορες). Η δεξαμενή αερισμού έχει τη μορφή επιμήκους τάφρου. Κατά τη χειμερινή περίοδο όπου το φορτίο είναι μικρό, θα λειτουργεί σαν οξειδωτική τάφρος ενώ κατά τη θερινή περίοδο σε συνδυασμό με τη ΔΔΚ.

### 4. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης

Τα λύματα μετά τον αερισμό οδηγούνται μέσω βαρύτητας σε κυκλική δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 10,5 m. Η εισροή των λυμάτων γίνεται στο κέντρο ενώ η εκροή με περιφερειακό οδοντωτό υπερχειλιστή. Η ιλύς που θα καθιζάνει στον πυθμένα θα συλλέγεται και θα οδηγείται σε φρεάτιο τοποθετημένο στο κέντρο της δεξαμενής με τη βοήθεια περιστρεφόμενου ξέστρου. Η δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με φράγμα συγκρατήσεως επιπλεόντων στερεών και μηχανισμό συλλογής και απαγωγής των.

### 5. Δεξαμενή χλωρίωσης

Η χλωρίωση των λυμάτων θα γίνεται σε δεξαμενή όγκου 50 m<sup>3</sup>. Στην έξοδο έχει τοποθετηθεί ηλεκτρόδιο ανιχνεύσεως ελεύθερου χλωρίου.

## 6. Διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων

Τα λύματα οδηγούνται μέσω υποθαλάσσιου αγωγού συνολικού μήκους 400m, διαμέτρου 200 mm στη θάλασσα με βάθος 10m στο σημείο εκβολής.

## 7. Διάθεση ιλύος – Κλίνες ξήρανσης

Η παραγόμενη ιλύς θα αφυδατώνεται σε δυο κλίνες συμβατικές κλίνες ξήρανσης. Η αφυδατωμένη ιλύς θα χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό του εδάφους αλλά θα διατίθεται και σε χωματερές.

## Προσομοίωση μονάδων επεξεργασίας ΕΕΛ Καλυβών

Για την ΕΕΛ Καλυβών προσομοιώνονται οι μονάδες εσχάρωσης, το σύστημα της ΕΙ και η δεξαμενή χλωρίωσης. Η βιολογική επεξεργασία επιτελείται σε αερόβιο αντιδραστήρα και δεξαμενή καθίζησης.

**Πίνακας 9-9:** Τιμές παραμέτρων εισόδου εσχάρας ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /sec	0,034	
Πλάτος καναλιού σχάρας (W)	m	0,4	
Βάθος ροής στη σχάρα στη μέγιστη παροχή (h)	m	0,2	
Πάχος ράβδων σχάρας (ρ)	mm	20	
Πάχος διάκενων σχάρας (δ)	mm	30	
C		0,6	0,6

**Πίνακας 9-10:** Αποτελέσματα προσομοίωσης εσχάρας ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ταχύτητα ροής στα διάκενα (V), m/sec	0,7	0,7	Μικρότερη από 0,6-1,2 m/sec
Ταχύτητα ροής στο κανάλι (U), m/sec	0,43	0,4	Μεγαλύτερη από 0,4 m/sec
Απώλειες, m ενέργειας (hL)	0,027		Εως 0.2m

**Πίνακας 9-11:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	1380	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	750	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	20	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	272	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	200	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	4200	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	3000	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	40	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	20	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (X <sub>R</sub> )	mg/l	9450	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	20	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,6	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	0,12	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n</sub> 20)	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>d</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

**Πίνακας 9-12:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία Τ ( $\mu_{mT}$ ), d <sup>-1</sup>	6		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία Τ ( $k_d$ ), d <sup>-1</sup>	0,017		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία Τ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnt}$ ), d <sup>-1</sup>	0,75		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία Τ ( $K_n$ ), mg/l	0,74		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία Τ ( $k_{dn}$ ), d <sup>-1</sup>	0,08		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (τ), h	13	13	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/m <sup>3</sup> .d	0,5	0,5	Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	0,8	0,8	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S), mg sBOD/l	0,7		Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,15		Ολική συγκέντρωση αζώτου μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα (E)	0,99	0,94	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99		Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	112,5		
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	157,5		
Λόγος τροφής προς μ/ο (F/M), kg BOD/Kg VSS.d	0,16		Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	30,9		
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), m <sup>3</sup> /d	13,77		
BOD εκροής (BOD <sub>e</sub> ), mg/l	12,65	15	<25



**Πίνακας 9-13:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	1380	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	2927	
Διάμετρος (d)	m	10,5	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	m	2	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	4,2	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		0,8	

**Πίνακας 9-14:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	0,25		<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	15,9	16	16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	33,8		40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	1,4		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	3	3	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	33		
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	88,8		

**Πίνακας 9-15:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	57,5	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /h	86,22	
Παροχή αιχμής (Q <sub>p</sub> )	m <sup>3</sup> /h	122	
Πλάτος δεξαμενής (W)	m	4,4	
Πλάτος ροής	m		
Μήκος δεξαμενής (L)	m	5,7	
Μήκος ροής (L)	m		
Βάθος ροής (H)	m	1,2	
Αριθμός μ/ο σε χρόνο t=0	no/100ml	10000000	
b		4	4
n		2,8	2,8
Συγκέντρωση χλωρίου (c)	mg/l	5	

**Πίνακας 9-16:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Καλυβών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ελάχιστος χρόνος επαφής ( $\Theta_{\min}$ ), min	14,8		Ελάχιστος χρόνος επαφής στη μέγιστη παροχή 20 min
Μέσος χρόνος επαφής ( $\Theta$ ), min	31,4	30	
Ταχύτητα ροής στην παροχή αιχμής ( $v$ ), m/sec	-		2 - 4,5 m/min
Αριθμός μ/ο σε χρόνο $t$ , απ./100ml	2830		

(Πηγή πληροφοριών: Τεχνική Υπηρεσία Δήμου Αρμένων)

## 9.2 ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΗΣ

Στο Νομό Ρεθύμνης λειτουργούν σήμερα έξι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ενώ έχουν κατασκευαστεί άλλες δυο οι από τις οποίες η μια λειτουργήσε για λίγους μήνες ενώ η δεύτερη δε λειτουργήσε ποτέ. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι εγκαταστάσεις αυτές μια προς μια προσομοιώνεται η λειτουργία τριών εξ αυτών (μόνο για αυτές που υπάρχουν στοιχεία και λειτουργούν) και αναφέρονται τα προβλήματα λειτουργίας τους.

### 9.2.1 Η ΕΕΛ Ρεθύμνου

Η ΕΕΛ Ρεθύμνου λειτουργεί από το 1995 και σήμερα εξυπηρετεί 30000 κατοίκους της πόλης του Ρεθύμνου, κάποιες ξενοδοχειακές μονάδες στα όρια του δήμου που έχουν συνδεθεί με το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης αλλά δέχεται λύματα και από σφαγεία, βυρσοδεψία και τυροκομεία. Επίσης επεξεργάζεται βοθρολύματα από περιοχές μη συνδεδεμένες με το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης. Η εγκατάσταση έχει λύση πλέον το πρόβλημα των οσμών καθώς και το πρόβλημα του αφρισμού που παρουσιαζόταν στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης παλαιότερα. Καθημερινά λαμβάνονται

δείγματα από τις μονάδες επεξεργασίας και την εκροή και αναλύονται στο χημείο της εγκατάστασης.

### Αναλυτική περιγραφή μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

#### 1. Εσχάρωση

Η εσχάρωση των λυμάτων λαμβάνει χώρα σε δυο χονδρές μηχανικές (αυτοκαθαριζόμενες) εσχάρες πάχους ράβδων 20 mm.

#### 2. Εξάμμωση

Τα λύματα μετά την εσχάρωση οδηγούνται σε δίδυμο αεριζόμενο εξαμμωτή – αμμοσυλλέκτη για την απομάκρυνση της άμμου και των λιπών. Η απομακρυνόμενη άμμος οδηγείται για ταφή ή για χρήση της σαν υλικό επίχωσης.

#### 3. Δεξαμενή Αερισμού

Μετά την προεπεξεργασία τα λύματα οδηγούνται σε δυο δεξαμενές αερισμού σχήματος οξειδωτικής τάφρου καθώς η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης που έχει κατασκευαστεί λειτουργεί πλέον ως αερόβιος χωνευτής ιλύος. Η βιολογική επεξεργασία ακολουθεί το μοντέλο της συμβατικής Ενεργού Ιλύος με απομάκρυνση αζώτου η οποία λαμβάνει χώρα με τη μη διοχέτευση αέρα σε ζώνες μέσα στη δεξαμενή αερισμού. Έτσι, στις ζώνες αυτές επιτυγχάνεται ταυτόχρονη απονιτροποίηση. Ο χρόνος παραμονής των στερεών στο σύστημα είναι 5 ημέρες. Οι αερόβιες ζώνες αερίζονται με πορώδεις διαχυτήρες μεμβράνης που παράγουν λεπτές φυσαλίδες αλλά γίνεται χρήση και αεριστήρων οριζόντιου άξονα (ρότορες) για την ανάδευση των αποβλήτων στις ανοξικές ζώνες.

#### 4. Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης

Στις δυο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 32 m επιτυγχάνεται η διαύγαση των λυμάτων. Η εισροή των λυμάτων γίνεται κεντρικά και η εκροή σε περιφερειακό υπερχειλιστή. Η συλλογή της λάσπης επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικού ξέστρου.

#### 5. Δεξαμενή χλωρίωσης

Τα επεξεργασμένα λύματα που οδηγούνται στη θάλασσα δεν χλωριώνονται. Στη δεξαμενή χλωρίωσης οδηγείται μόνο ο όγκος των λυμάτων που χρησιμοποιείται για άρδευση και το βιομηχανικό νερό.

#### 6. Πάχυνση ιλύος

Η πάχυνση γίνεται σε μονάδες επίπλευσης διαλυμένου αέρα. Επίσης μετά την αερόβια χώνευση η ιλύς οδηγείται σε μηχανική πάχυνση.

#### 7. Σταθεροποίηση

Για τη σταθεροποίηση της ιλύος λειτουργούν δυο κυκλικοί και ένας ορθογώνιος χωνευτής. Ο αερισμός γίνεται με υποβρύχια διάχυση αέρα από φυσητήρες. Η ηλικία ιλύος ανέρχεται τις 60-90 ημέρες και η μείωση των στερεών αγγίζει το 20-35%. Η συγκέντρωση των στερεών μετά την αερόβια χώνευση είναι 2,5-3,5%.

#### 8. Αφυδάτωση

Η αφυδάτωση της σταθεροποιημένης πλέον ιλύος γίνεται με δυο ταινιοφιλτρόπρεςσες η λειτουργία των οποίων είναι περιοδική. Επιπλέον γίνεται και προσθήκη ασβέστη και κομποστοποίηση στο 30% της παραγόμενης ιλύος. Η αφυδατωμένη ιλύς οδηγείται στο ΧΥΤΑ αλλά προβλέπεται επαναχρησιμοποίησή της μετά από κομποστοποίηση για τη χρήση της στη γεωργία.

#### 9. Διάθεση

Το επίσημο σημείο διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων είναι η θάλασσα. Οδηγούνται εκεί μέσω υποθαλάσσιου αγωγού συνολικού μήκους 600 m και βάθος στο σημείο διάθεσης 20 m. Ένα μέρος των λυμάτων όμως χλωριώνεται και χρησιμοποιείται για την άρδευση των χώρων πρασίνου της εγκατάστασης.

#### Προσομοίωση μονάδων επεξεργασίας ΕΕΛ Ρεθύμνης

Για την ΕΕΛ Ρεθύμνης προσομοιώθηκε η λειτουργία της μονάδας εσχάρωσης και του συστήματος ΕΙ. Ο βιολογικός αντιδραστήρας προσομοιώθηκε σαν

αντιδραστήρας πλήρους μίξης με ανοξική ζώνη πριν τη δεξαμενή αερισμού με την παραδοχή της αναλογίας ανοξικού/αερόβιου όγκου: 0,42.

**Πίνακας 9-17:** Τιμές παραμέτρων εισόδου εσχάρας ΕΕΛ Ρεθύμνου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέγιστη παροχή ( $Q_{max}$ )	$m^3/sec$	0,148	
Πλάτος καναλιού σχάρας (W)	m	0,8	
Βάθος ροής στη σχάρα στη μέγιστη παροχή (h)	m	0,4	
Πάχος ράβδων σχάρας ( $\rho$ )	mm	15	
Πάχος διάκενων σχάρας ( $\delta$ )	mm	20	
C		0,6	0,6

**Πίνακας 9-18:** Αποτελέσματα προσομοίωσης εσχάρας ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ταχύτητα ροής στα διάκενα (V), m/sec	0,8		Μικρότερη από 0,6-1,2 m/sec
Ταχύτητα ροής στο κανάλι (U), m/sec	0,46		Μεγαλύτερη από 0,4 m/sec
Απώλειες, m ενέργειας (hL)	0,037		Εως 0.2m

**Πίνακας 9-19:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	6400	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1600	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	5	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	250	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	175	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	6000	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	3900	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	45	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	10	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	10000	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	25	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>20</sub> )	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,6	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,15	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>μn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n20</sub> )	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>dn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

**Πίνακας 9-20:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ ( $\mu_{mT}$ ), $d^{-1}$	8,41		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία $T$ ( $k_d$ ), $d^{-1}$	0,017		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnT}$ ), $d^{-1}$	1,05		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία $T$ ( $K_n$ ), mg/l	0,96		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία $T$ ( $k_{dn}$ ), $d^{-1}$	0,098		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $t$ ), h	6	6	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/ $m^3 \cdot d$	1		Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	1,5	1,5	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S), mg sBOD/l	1,58	1,5	Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,38	<1	Ολική συγκέντρωση αζώτου μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα (E)	0,99	0,97	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99		Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	185,78	150	
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	1920		
Λόγος τροφής προς $\mu$ ο ( $F/M$ ), kg BOD/Kg VSS.d	0,25	0,21	Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	22		
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), $m^3/d$	932		
BOD εκροής ( $BOD_e$ ), mg/l	7,58	<10	<25

**Πίνακας 9-21:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	6400	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	670	-
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1600	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	5	-
BOD εισροής	mg BOD/l	250	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg/l	1,6	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	-	1,5	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)		2	-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,017	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg/mg	0,6	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	25	-

**Πίνακας 9-22:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (T <sub>nox</sub> ), d	0,1		
Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	2747,4		
Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,25		0,04-0,42
Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	460,42		
Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	4,9	5	Μικρότερη των 7 mg/l

**Πίνακας 9-23:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	6400	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	7500	
Διάμετρος (d)	M	32	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	M	3,2	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	6	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		1,5	



**Πίνακας 9-24:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Ρεθύμνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	3,3		<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	8		16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	9,3		40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	8,23		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	9,64		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	100,5		
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	74,6		

(Πηγή πληροφοριών: κος Βρυλλάκης Μανώλης, Χημικός Μηχανικός, υπεύθυνος λειτουργίας ΕΕΛ Ρεθύμνου)

### 9.2.2 Η ΕΕΛ Πλακιά

Η ΕΕΛ Πλακιά εξυπηρετεί μόνο τους κατοίκους και τις ξενοδοχειακές μονάδες του οικισμού (περίπου 3500 άτομα).

#### Αναλυτική περιγραφή των μονάδων επεξεργασίας

##### 1. Εσχάρωση

Η εσχάρωση γίνεται σε μηχανική αυτοκαθαριζόμενη εσχάρα ανοιγμάτων 15 mm.

##### 2. Εξάμμωση

Η εξάμμωση γίνεται σε δυο παράλληλες γραμμές αεριζόμενου εξαμμωτή – λιποσυλλέκτη.

### 3. Δεξαμενές Αερισμού

Στις 3 δεξαμενές αερισμού της εγκατάστασης λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών αλλά και του αζώτου καθώς χρησιμοποιείται η μέθοδος της προπανιτροποίησης. Ο χρόνος παραμονής των στερεών είναι 19 ημέρες και επιτυγχάνεται απομάκρυνση της οργανικής ύλης κατά 98,6%. Ο αέρας διοχετεύεται στα απόβλητα με διαχυτήρες και στις ανοξικές ζώνες έχουν τοποθετηθεί επιφανειακοί αναδευτήρες για την ανάδευση των λυμάτων.

### 4. Δεξαμενές Δευτεροβάθμιας Καθίζησης

Τα λύματα μετά από τις δεξαμενές αερισμού οδηγούνται σε δυο δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 13m κεντρικής εισροής και περιφερειακής εκροής εξοπλισμένες με περιστρεφόμενο ξέστρο για τη συλλογή της λάσπης.

### 5. Χλωρίωση

Στη συνέχεια απολυμαίνονται σε δεξαμενή χλωρίωσης στην οποία παραμένουν για 21 λεπτά της ώρας.

### 6. Επεξεργασία ιλύος

Η παραγόμενη ιλύς υποβάλλεται αρχικά σε πάχυνση με ταινίες βαρύτητας και εν συνεχεία αφυδατώνεται σε κλίνες ξήρανσης στις οποίες επιτυγχάνεται συγκέντρωση των στερεών 20%.

### 7. Διάθεση

Τα λύματα διατίθενται στη θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό συνολικού μήκους 1500 m. Η αφυδατωμένη ιλύς οδηγείται σε ΧΥΤΑ.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στη μελέτη επέκτασης της εγκατάστασης εκτός από τις γραμμές βιολογικής επεξεργασίας προβλέπεται μονάδα απόσπησης με πλυντρίδα οξειδωσης καθώς και απολύμανση με ακτινοβολία, μετά την οποία τα λύματα θα χλωριώνονται με υποχλωριώδες νάτριο και θα ακολουθεί διύλιση και κροκίδωση με σκοπό την περαιτέρω χρήση τους ως βιομηχανικό νερό και άρδευση.

## Προσομοίωση μονάδων επεξεργασίας ΕΕΛ Πλακιά

**Πίνακας 9-25:** Τιμές παραμέτρων εισόδου εσχάρας ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /sec	0,049	
Πλάτος καναλιού σχάρας (W)	m	0,4	
Βάθος ροής στη σχάρα στη μέγιστη παροχή (h)	m	0,28	
Πάχος ράβδων σχάρας (ρ)	mm	10	
Πάχος διάκενων σχάρας (δ)	mm	15	
C		0,6	0,6

**Πίνακας 9-26:** Αποτελέσματα προσομοίωσης εσχάρας ΕΕΛ Πλακιά

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ταχύτητα ροής στα διάκενα (V), m/sec	0,73	0,73	Μικρότερη από 0,6-1,2 m/sec
Ταχύτητα ροής στο κανάλι (U), m/sec	0,43	0,43	Μεγαλύτερη από 0,4 m/sec
Απώλειες, m ενέργειας (hL)	0,03		Εως 0.2m

**Πίνακας 9-27:** Τιμές παραμέτρων εισόδου εξαμμωτή ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	90	
Πλάτος εξαμμωτή (W)	m	1,5	
Μήκος εξαμμωτή (L)	m	3,1	
Βάθος εξαμμωτή (H)	m	1,6	

**Πίνακας 9-28:** Αποτελέσματα προσομοίωσης εξαμμωτή ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Χρόνος παραμονής (θ), min	5	5	2-5 min
W/H	0,9375		1-5 (τυπ. 1.5-2)
L/W	2,066667		3-5 (τυπ. 4)

**Πίνακας 9-29:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	708,3	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	680	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	19,2	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	270	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	200	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	5000	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	3000	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	44,7	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	10	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	10000	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	25	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,6	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	0,15	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n</sub> 20)	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>d</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

**Πίνακας 9-30:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Πλακιά

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία T ( $\mu_{mT}$ ), d <sup>-1</sup>	8,415		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία T ( $k_d$ ), d <sup>-1</sup>	0,017		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία T για νιτροποιητές ( $\mu_{mnt}$ ), d <sup>-1</sup>	1,051		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία T ( $K_n$ ), mg/l	0,958		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία T ( $k_{dn}$ ), d <sup>-1</sup>	0,097		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $\tau$ ), h	23,04	23	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/m <sup>3</sup> .d	0,281	0,28	Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	1	1	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S), mg sBOD/l	0,5	3,6	Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,16		Ολική συγκέντρωση αζώτου μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα (E)	0,99	0,986	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99		Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	106,25		
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	177,08		
Λόγος τροφής προς μ/ο (F/M), kg BOD/Kg VSS.d	0,093	0,1	Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	27,37	27	
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), m <sup>3</sup> /d	17	16	
BOD εκροής (BOD <sub>e</sub> ), mg/l	6,48	5,6	<25

**Πίνακας 9-31:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	708,3	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	228	-
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	680	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	19,2	-
BOD εισροής	mg BOD/l	270	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg BOD/l	0,49	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)		1	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)	-	2,37	-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,017	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg/mg	0,6	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	25	-

**Πίνακας 9-32:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (τ <sub>nox</sub> ), d	0,32		
Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	2438,2	3000	
Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,25		0,04-0,42
Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	139,048	13,4	
Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	6,26	8	Μικρότερη των 7 mg/l

**Πίνακας 9-33:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	704	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	1416	
Διάμετρος (d)	M	13	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	M	3	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	5	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		1	

**Πίνακας 9-34:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	2,56		<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	5,3	7,92	16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	10,67	16	40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	6,7	4,5	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	13,5	9	1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	40,8	41	
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	34,705		

**Πίνακας 9-35:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	44	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /h	88,6	
Παροχή αιχμής (Q <sub>p</sub> )	m <sup>3</sup> /h	245,7	
Πλάτος δεξαμενής (W)	M	5,27	
Πλάτος ροής	M	1,06	
Μήκος δεξαμενής (L)	M	8,15	
Μήκος ροής (L)	M	40,7	
Βάθος ροής (H)	M	2	
Αριθμός μ/ο σε χρόνο t=0	no/100ml	100000 000	
b		4	4
n		2,8	2,8
Συγκέντρωση χλωρίου (c)	mg/l	3	

**Πίνακας 9-36:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Πλακιά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ελάχιστος χρόνος επαφής ( $\Theta_{\min}$ ), min	21	21	Ελάχιστος χρόνος επαφής στη μέγιστη παροχή 20 min
Μέσος χρόνος επαφής ( $\Theta$ ), min	117,1		
Ταχύτητα ροής στην παροχή αιχμής ( $v$ ), m/sec	0,35		2 - 4,5 m/min
Αριθμός μ/ο σε χρόνο $t$ , απ./100ml	44560	100000	

(Πηγή πληροφοριών: κα Παπαγιαννάκη, Πολιτικός Μηχανικός, Τεχνική Υπηρεσία Δυτικής Κρήτης)

### 9.2.3 Η ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης

Η ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης εξυπηρετεί μόνο τους κατοίκους του οικισμού (5000 την καλοκαιρινή περίοδο. Περιλαμβάνει λεπτή περιστρεφόμενη εσχάρα, εξαμμητή σταθερής ροής, βιολογική επεξεργασία με τη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού και το σύστημα της προαπονιτροποίησης, χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Οι τέσσερις βιοαντιδραστήρες αερίζονται με διαχυτήρες σωλήνα και παράγουν λεπτές φυσαλίδες. Ο χρόνος παραμονής των στερεών είναι 21 ημέρες ικανός για τη σταθεροποίηση της ιλύος. Οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης έχουν ορθογώνιο σχήμα στην επιφάνεια αλλά ο πυθμένας έχει μορφή ανεστραμμένης κώλουρης πυραμίδας. Η εισροή γίνεται κεντρικά και η εκροή σε περιφερειακό υπερχειλιστή. Η λάσπη οδηγείται μέσω βαρύτητας στο κανάλι εξόδου της ιλύος ενώ τα επιλέοντα στερεά συγκρατούνται με φράγμα που είναι στον υπερχειλιστή.

#### Προσομοίωση των μονάδων επεξεργασίας ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης

Για την ΕΕΛ της Αγίας Γαλήνης προσομοιώνεται ο σύστημα της ενεργού ιλύος και η δεξαμενή χλωρίωσης.



**Πίνακας 9-35:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	222	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	148	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	21	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	280	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	240	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	5000	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	3000	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	48	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	15	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	10000	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	22	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>20</sub> )	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,7	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,12	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>μn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n20</sub> )	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>dn20</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)

**Πίνακας 9-36:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ ( $\mu_{mT}$ ), $d^{-1}$	6,8694		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία $T$ ( $k_d$ ), $d^{-1}$	0,048		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnt}$ ), $d^{-1}$	0,858		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία $T$ ( $K_n$ ), mg/l	0,820		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία $T$ ( $k_{dn}$ ), $d^{-1}$	0,086		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $\tau$ ), h	16	16	Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/ $m^3 \cdot d$	0,42	0,4	Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας ( $R$ )	1	1	Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή ( $S$ ), mg sBOD/l	0,85	5,7	Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,15	0,5	Ολική συγκέντρωση αζώτου μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα ( $E$ )	0,99	0,98	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99		Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	21,14		
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	35,23	36,5	
Λόγος τροφής προς μ/ο ( $F/M$ ), kg BOD/Kg VSS.d	0,14	0,14	Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	37,26	39	
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), $m^3/d$	3,2	3,75	
BOD εκροής ( $BOD_e$ ), mg/l	9,8	9,7	<25

**Πίνακας 9-37:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	222	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	148	-
Όγκος ΔΑ (V <sub>A</sub> )	m <sup>3</sup>	148	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	21	-
BOD εισροής	mg BOD/l	280	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg/l	0,85	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	-	1	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)	-	1,75	-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,048	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg/mg	0,7	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	22	-

**Πίνακας 9-38:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (T <sub>nox</sub> ), d	0,66	0,7	
Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	3065	3000	
Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,23		0,04-0,42
Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	105	33	
Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	9,93	6	Μικρότερη των 7 mg/l

**Πίνακας 9-39:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΗ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	222
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	574
Επιφάνεια πύκνωσης (A)	m <sup>2</sup>	24
Βάθος (H)	M	3,5
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	5
Λόγος ανακυκλοφορίας r		1,75

**Πίνακας 9-40:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	13,7	5	<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	9,25		16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	23,9	24	40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	3,5		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	9,08		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	44		
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	13,04		

**Πίνακας 9-41:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /h	37	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /h	94,15	
Παροχή αιχμής (Q <sub>p</sub> )	m <sup>3</sup> /h	94,15	
Πλάτος δεξαμενής (W)	M	3,67	
Πλάτος ροής	M	0,72	
Μήκος δεξαμενής (L)	M	5,55	
Μήκος ροής (L)	M	16,65	
Βάθος ροής (H)	M	1,7	
Αριθμός μ/ο σε χρόνο t=0	no/100ml	30000000	
b		4	4
n		2,8	2,8
Συγκέντρωση χλωρίου (c)	mg/l	4	

**Πίνακας 9-42:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Δεξαμενής Χλωρίωσης ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Ελάχιστος χρόνος επαφής (Θ <sub>min</sub> ), min	13	13	Ελάχιστος χρόνος επαφής στη μέγιστη παροχή 20 min
Μέσος χρόνος επαφής (Θ), min	33	41	
Ταχύτητα ροής στην παροχή αιχμής (v), m/sec	1,28		2 - 4,5 m/min
Αριθμός μ/ο σε χρόνο t, απ./100ml	22805		

(Πηγή πληροφοριών: κα Παπαγιαννάκη, Πολιτικός Μηχανικός, Τεχνική Υπηρεσία Δυτικής Κρήτης)

#### 9.2.4 Η ΕΕΛ Περάματος

Η ΕΕΛ Περάματος λειτουργεί από το 2002, επεξεργάζεται τα λύματα 2000 κατοίκων των Αγγελιανών και του Περάματος. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει εσχάρα, εξαμμωτή – λιποσυλλέκτη, δυο δεξαμενές αερισμού, μια ορθογώνια δεξαμενή τελικής καθίζησης και απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο. Η παραγόμενη ιλύς υποβάλλεται σε αφυδάτωση με χρήση κλινών ξήρανσης. Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται σε παρακείμενο ποτάμι και της ιλύος σε ΧΥΤΑ. Η εγκατάσταση καθώς δεν είναι εξοπλισμένη με χημείο για τον έλεγχο της εκροής, συνεργάζεται με ιδιωτικά εργαστήρια. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η εγκατάσταση αντιμετωπίζει προβλήματα: (1) Απαιτείται συχνή αντικατάσταση και συντήρηση των διαχυτών γεγονός οικονομικά ασύμφορο για τη δημοτική αρχή, (β) εμφανίζεται μικρή υπερχειλίση στη δεξαμενή καθίζησης, (γ) δεν υπάρχει μονάδα απονιτροποίησης απαραίτητη για την απομάκρυνση του αζώτου καθώς τα λύματα διατίθενται σε ποταμό που θεωρείται ευαίσθητος αποδέκτης και (δ) ο μετρητής παροχής δεν λειτουργεί. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι μετά από έρευνα που έγινε για τα σχεδιαστικά στοιχεία της εγκατάστασης, αποδείχτηκε ότι η μελέτη σχεδιασμού δεν υπάρχει!

(Πηγή πληροφοριών: κα Βεδεργιωτάκη, Χημικός Μηχανικός της Τεχνικής Υπηρεσίας δήμου Περάματος)

#### 9.2.5 Η ΕΕΛ Πανόρμου

Η ΕΕΛ Πανόρμου έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί 4000 κατοίκους μαζί με τις ξενοδοχειακές μονάδες της περιοχής. Το πρόβλημα είναι ότι σήμερα λειτουργούν μόνο οι μονάδες εσχάρωσης και εξάμμωσης – λιποσυλλογής καθώς η βιολογική επεξεργασία δεν λειτουργεί καθώς δεν ο δεν έχει

τοποθετηθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Η κατασκευή του έργου διακόπηκε λόγω προβλήματος στη χωροθέτηση του έργου με αποτέλεσμα τα λύματα μετά τη συλλογή τους να οδηγούνται μόνο από καμπύλη αυτοκαθαριζόμενη εσχάρα, δίδυμο – εξαμμωτή – αμμοσυλλέκτη και να οδηγούνται στη θάλασσα μέσω του υποθαλάσσιου αγωγού μήκους 200 m.

(Πηγή πληροφοριών: κα Βεδεργιωτάκη, Χημικός Μηχανικός της Τεχνικής Υπηρεσίας δήμου Περάματος)

#### 9.2.6 Η ΕΕΛ Μπαλίου

Η ΕΕΛ στην τοποθεσία Μπαλί Ρεθύμνου εξυπηρετεί 500 κατοίκους το χειμώνα και 4000 κατοίκους το καλοκαίρι καθώς έχουν συνδεθεί στο αποχετευτικό δίκτυο και οι ξενοδοχειακές μονάδες της περιοχής. Η εγκατάσταση λειτουργεί από το 1989. Περιλαμβάνει μόνο δευτεροβάθμια επεξεργασία και χλωρίωση. Η βιολογική επεξεργασία επιτυγχάνεται με το σύστημα του παρατεταμένου αερισμού και την τεχνολογία της προαπονιτροποίησης. Έχουν κατασκευαστεί τρεις γραμμές επεξεργασίας από τις οποίες τη χειμερινή περίοδο λειτουργεί μόνο η μια. Έλεγχοι της εκροής εκτελούνται κάθε 15 ημέρες και αναλύονται σε ιδιωτικό εργαστήριο. Τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται για την άρδευση ιδιωτικών ελαιοδέντρων και μόνο η υπερχειλίση διατίθεται στη θάλασσα. Η παραγόμενη ιλύς μεταφέρεται με βυτιοφόρο στην ΕΕΛ Ρεθύμνου όπου και επεξεργάζεται τελικά. Η εγκατάσταση αντιμετωπίζει προβλήματα στο αντλιοστάσιο λόγω της ανύψωσης των λυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις αλλά και με τα λίπη που κολλάνε στο φλοτέρ με αποτέλεσμα να ξεχειλίζει το φρεάτιο. Παρόλα αυτά σύμφωνα με την πηγή των πληροφοριών αυτών η εκροή είναι πολύ καλή. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στη μελέτη σχεδιασμού της εγκατάστασης προτείνεται η κατασκευή αυτοκαθαριζόμενης εσχάρας, αεριζόμενου εξαμμωτή – λιποσυλλέκτη, παχυντή ιλύος και μετρητού ροής τα οποία δεν κατασκευάστηκαν ποτέ.

(Πηγή πληροφοριών: κα Βεδεργιωτάκη, Χημικός Μηχανικός της Τεχνικής Υπηρεσίας δήμου Περάματος)

### 9.2.7 Οι ΕΕΛ Ανωγείων και Ζωνιανών

Οι ΕΕΛ Ανωγείων και Ζωνιανών έχουν κατασκευαστεί αλλά δε λειτουργούν σήμερα. Συγκεκριμένα, η ΕΕΛ Ζωνιανών κατασκευάστηκε το 1986 αλλά δε λειτούργησε ποτέ καθώς το κόστος λειτουργίας ήταν ασύμφορο για την κοινότητα.

Η ΕΕΛ Ανωγείων κατασκευάστηκε το 1987 αλλά λειτούργησε μόνο για ενάμισι χρόνο καθώς μετά η τότε κοινότητα δεν είχε την οικονομική δυνατότητα για τη συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης. Σήμερα τα λύματα των Ανωγείων οδηγούνται σε χείμαρρο χωρίς επεξεργασία.

(Πηγή πληροφοριών: κος Ρούλιος, Δήμος Ανωγείων)

### 9.3 Η ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου

Το μοντέλο εφαρμόστηκε εκτός των προαναφερθέντων ΕΕΛ και στην ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

Η κοινή εγκατάσταση Κορίνθου – Λουτρακίου θεωρείται δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δυο γραμμών. Η επεξεργασία περιλαμβάνει εσχάρωση με μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες, εξάμμωση – λιποσυλλογή σε δίδυμο αεριζόμενο εξαμμητή - λιποσυλλέκτη, δευτεροβάθμια επεξεργασία για την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα και του αζώτου, χλωρίωση των λυμάτων και επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος με πάχυνση βαρύτητας και αφυδάτωση σε ταινιοφιλτρόπρεσσα. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία γίνεται με τη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού ιλύος, σε οξειδωτικές τάφρους συστήματος Carrousel.

Η λειτουργία της γραμμής Κορίνθου άρχισε το 1998 και στις αρχές του 2000 άρχισε και η ανεξάρτητη λειτουργία της γραμμής Λουτρακίου.

#### Προσομοίωση των μονάδων επεξεργασίας της ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

**Πίνακας 9-43:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΑ ΕΕΛ Κορίνθου - Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [11]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝ ΕΣ ΤΙΜΕΣ (Πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	9640	
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1890	
Χρόνος παραμονής μ/ο (SRT)	d	20	Συμβατική:2-15, ΠΑ:20-30
BOD εισροής (S <sub>0</sub> )	mg BOD/l	280	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή (TSS <sub>0</sub> )	mg/l	322	
Συγκέντρωση στερεών ανάμικτου υγρού (MLSS)	mg/l	4000	
Συγκέντρωση βιομάζας (MLVSS)	mg/l	2700	
Συγκέντρωση TKN στην είσοδο (TKN <sub>0</sub> )	mg/l	45	
Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην έξοδο (TSS <sub>e</sub> )	mg/l	20	<35
Συγκέντρωση SS στη γραμμή περίσσειας ιλύος (XR)	mg/l	8000	8000-10000
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	18	
Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην ΔΑ (DO)	mg/l	2	
Μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	6	3-13,2 (τυπ. 6)
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg VSS/mg BOD	0,6	0,4-0,8 (τυπ. 0,6)
Σταθερά κορεσμού Monod (K <sub>S</sub> )	mg BOD/l	60	25-100 (τυπ. 60)
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας στους 20 C (k <sub>d</sub> 20)	d <sup>-1</sup>	0,15	0,06-0,20 (τυπ. 0,15)
Ποσοστό βιομάζας που παραμένει στην κυτταρική μάζα (f <sub>d</sub> )	g VSS/g VSS	0,15	0,08-0,20 (τυπ. 0,15)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητών για θερμοκρασία 20 C (μ <sub>m</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,75	0,2-0,9 (τυπ. 0,75)
Συντελεστής μετατροπής βιομάζας για νιτροποιητές (Y <sub>n</sub> )	mg/mg	0,12	0,10-0,15 (τυπ. 0,12)
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές στους 20 C (K <sub>n</sub> 20)	mg/l	0,74	0,5-1,0 (τυπ. 0,74)
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών στους 20 C (k <sub>d</sub> n20)	d <sup>-1</sup>	0,08	0,05-0,15 (τυπ. 0,08)
Συντελεστής ημικορεσμού για το οξυγόνο (K <sub>o</sub> )	mg/l	0,5	0,4-0,6 (τυπ. 0,5)



**Πίνακας 9-44:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΑ ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [11]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακες 5-1, 5-2, 5-3)
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ ( $\mu_{mT}$ ), $d^{-1}$	5,24		
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας σε θερμοκρασία $T$ ( $k_d$ ), $d^{-1}$	0,138		
Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης σε θερμοκρασία $T$ για νιτροποιητές ( $\mu_{mnT}$ ), $d^{-1}$	0,655		
Σταθερά κορεσμού Monod για νιτροποιητές σε θερμοκρασία $T$ ( $K_n$ ), mg/l	0,667		
Ειδική ταχύτητα φθοράς νιτροποιητών σε θερμοκρασία $T$ ( $k_{dn}$ ), $d^{-1}$	0,0739		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής ( $t$ ), h	4,705		Συμβατική: 4-8 h ΠΑ: 18-36 h
Φόρτιση οργανικών ( $L_{org}$ ), kg BOD/ $m^3 \cdot d$	1,428		Συμβατική: 0,3-0,6 ΠΑ: <0,4
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	1		Συμβατική: 0,25-0,5 ΠΑ: 0,75-1,5
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S), mg sBOD/l	2,24	4	Μικρότερη των 25
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής ( $N_e$ ), mg/l	0,15	0,5	Ολική συγκέντρωση αζώτου μικρότερη των 15
Βαθμός απόδοσης για την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα (E)	0,99	0,98	Συμβατική: 85-95% ΠΑ: 75-90%
Βαθμός νιτροποίησης ( $E_n$ )	0,99	0,99	Μεγαλύτερη του 70%
Παραγωγή ιλύος ( $P_{x,vss}$ ), kgVSS/d	255		
Συνολική παραγωγή στερεών ( $P_{x,TSS}$ ), kg TSS/d	378		
Λόγος τροφής προς μ/ο (F/M), kg BOD/Kg VSS.d	0,53		Συμβατική: 0,2-0,6 ΠΑ: 0,05-0,25
Ποσότητα νιτροποιημένου αζώτου ( $NO_x$ ), mg/l	42,5		
Παροχή παραγόμενης ιλύος ( $Q_w$ ), $m^3/d$	23,2		
BOD εκροής ( $BOD_e$ ), mg/l	14,2	10	<25

**Πίνακας 9-45:** Τιμές παραμέτρων εισόδου Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ [11]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	9640	-
Όγκος (V)	m <sup>3</sup>	1890	-
Όγκος ΔΑ (VA)	m <sup>3</sup>	1890	-
Ηλικία ιλύος (SRT)	d	20	-
BOD εισροής	mg BOD/l	280	-
Συγκέντρωση οργανικής ουσίας στην εκροή (S)	mg/l	2,24	-
Λόγος ανακυκλοφορίας (R)	-	1	-
Λόγος εσωτερικής ανακυκλοφορίας (IR)		2,2	-
Ειδική ταχύτητα φθοράς της ετεροτροφικής βιομάζας (k <sub>d</sub> )	d <sup>-1</sup>	0,138	-
Ετεροτροφικός συντελεστής μετατροπής βιομάζας (Y)	mg/mg	0,6	-
Θερμοκρασία λυμάτων (T)	°C	18	-

**Πίνακας 9-46:** Αποτελέσματα προσομοίωσης Ανοξικής Δεξαμενής ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ [11]	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (τ <sub>nox</sub> ), d	0,20		
Συγκέντρωση ενεργής βιομάζας (X <sub>b</sub> )	4505	2700	
Ταχύτητα μετατροπής νιτρικού Αζώτου σε μοριακό Άζωτο, ανά μονάδα μάζας μ/ο, Kg NO <sub>3</sub> N/Kg VSS.d	0,20		0,04-0,42
Ποσότητα νιτρικών που απομακρύνεται (Nor), kg/d	1779		
Συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή (Ne), mg/l	10,12	10	Μικρότερη των 7 mg/l

**Πίνακας 9-47:** Τιμές παραμέτρων εισόδου ΔΔΚ ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
Μέση παροχή (Q)	m <sup>3</sup> /d	1056	
Μέγιστη παροχή (Q <sub>max</sub> )	m <sup>3</sup> /d	2126	
Διάμετρος (d)	m	13	Μικρότερη από 10 φορές το βάθος
Βάθος (H)	m	3	
Συγκέντρωση στερεών στην εισροή	Kg/m <sup>3</sup>	5	
Λόγος ανακυκλοφορίας R		1	

**Πίνακας 9-48:** Αποτελέσματα προσομοίωσης ΔΔΚ ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (πίνακας 5-4)
Εισροή στερεών (SLR)	3,84		<8 Kg/m <sup>2</sup> .h
Επιφανειακή φόρτιση στη μέση παροχή (q), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	7,95		16-28
Επιφανειακή φόρτιση στη μέγιστη παροχή (q <sub>max</sub> ), m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	16		40-64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (θ <sub>min</sub> ), h	4,49		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Χρόνος παραμονής στη μέση παροχή (θ), h	9		1,5-2,5 (τυπ. 2)
Μήκος υπερχειλιστή, m	40,82		
Φόρτιση υπερχειλιστή στη μέση παροχή, m <sup>3</sup> /m.d	52,0823		

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δυο μέρη: στο πρώτο γίνεται η επαλήθευση του μοντέλου που δημιουργήθηκε για την προσομοίωση των μονάδων επεξεργασίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και στο δεύτερο μέρος εξετάζεται η λειτουργία των εγκαταστάσεων στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο.

### 10.1 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η επαλήθευση του μοντέλου βασίζεται στη σύγκριση των τιμών των παραμέτρων ελέγχου των μονάδων που εξετάζονται με τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων αυτών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η σύγκριση με τις πραγματικές τιμές δεν μπορεί να είναι αυστηρά ποσοτική αλλά ποιοτική σε ένα μεγάλο ποσοστό για τους παρακάτω λόγους:

1. Τα αναφερόμενα ως πραγματικά στοιχεία δεν αποτελούν πάντα αποτελέσματα σχεδιασμένων πειραμάτων με ελέγξιμες όλες τις παραμέτρους που τα επηρεάζουν αλλά μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου, με όλους τους περιορισμούς αντιπροσωπευτικότητας των δειγμάτων.
2. Οι τιμές των παραμέτρων που έχουν προέλθει από το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και εισέρχονται στο μοντέλο σαν πραγματικές, αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες παροχών, θερμοκρασίας, σύστασης των εισερχόμενων λυμάτων και άλλων παραγόντων. Κατά τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων όμως από τους υπευθύνους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων κάποιες τιμές που εδόθησαν (κυρίως συγκεντρώσεις ρυπαντών και παροχές) αναφέρονται στην πραγματική λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών και όχι τις παραδοχές που είχαν γίνει κατά το σχεδιασμό με αποτέλεσμα να μην επαληθεύονται τα σχεδιαστικά δεδομένα.
3. Κατά τη δημιουργία του μοντέλου έγιναν παραδοχές (π.χ. στους συντελεστές κινητικής για την απομάκρυνση του οργανικού υποστρώματος

και του αζώτου) που στηρίζονται στη βιβλιογραφία και όχι σε πειραματικές αναλύσεις των λυμάτων.

#### 10.1.1 Σύγκριση πραγματικών τιμών με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

##### 1. Εσχάρωση

Οι τιμές των ταχυτήτων ροής στο κανάλι και στα διάκενα επαληθεύτηκαν και για τις τρεις εγκαταστάσεις (ΕΕΛ Καλυβών, Ρεθύμνου και Πλακιά). Αντιθέτως για τις υδραυλικές απώλειες επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα δεν μπορούμε να συγκρίνουμε. Επειδή οι απώλειες που υπολογίζονται από τη σχέση (4-2) εξαρτώνται και από το βαθμό έμφραξης της εσχάρας θα πρέπει να δίνεται και η ανάλογη τιμή στο συντελεστή  $c$  για το ρεαλιστικό υπολογισμό τους.

##### 2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Επειδή μόνο η ΕΕΛ Χανίων διαθέτει πρωτοβάθμια επεξεργασία δεν μας δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής γενικευμένων συμπερασμάτων. Πάντως για το συγκεκριμένο παράδειγμα η συσχέτιση της πραγματικής απομάκρυνσης του BOD και των TSS με αυτές της προσομοίωσης που έγινε με χρήση του εμπειρικού τύπου (4-20) και των συντελεστών  $a$  και  $b$ , είναι πολύ καλή. Όπως αναφέρθηκε ήδη όμως το γεγονός αυτό αποτελεί μόνο ένδειξη και όχι απόδειξη της επαλήθευσης της εξίσωσης (4-20).

##### 3. Βιολογική επεξεργασία

Όπως είναι αναμενόμενο το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην επαλήθευση του μοντέλου της βιολογικής απομάκρυνσης του οργανικού άνθρακα και του αζώτου καθότι στο βιολογικό αντιδραστήρα επιτελούνται πολύπλοκες βιολογικές διεργασίες σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μονάδες επεξεργασίας όπου οι διεργασίες απομάκρυνσης είναι ως επί το πλείστον φυσικές. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το μοντέλο επαληθεύεται σε μεγάλο βαθμό. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι διαφορές στα ρυπαντικά φορτία των εκροών είναι μικρές, ειδικά στις συγκεντρώσεις του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου. Για την οργανική ουσία εμφανίζονται μεγαλύτερες διαφορές, αλλά στην πράξη δεν μπορούν να θεωρηθούν σημαντικές. Η μικρές αυτές διαφορές στα ρυπαντικά φορτία της εκροής οφείλονται στις τιμές των συντελεστών κινητικής που χρησιμοποιήθηκαν και ενδεχομένως να μην αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τις αντιδράσεις κινητικής των λυμάτων της κάθε εγκατάστασης. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι διαφορές στις συγκεντρώσεις του διαλυτού BOD, των αιωρούμενων στερεών και του νιτρικού και αμμωνιακού αζώτου για τις εγκαταστάσεις που εξετάστηκαν.

**Πίνακας 10-1:** Συγκριτικά ποιοτικά στοιχεία δευτεροβάθμιων εκροών για το διαλυτό BOD.

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	1	3,4
Καλυβών	-	0,7
Ρεθύμνου	1,5	1,58
Πλακιά	3,6	0,5
Αγίας Γαλήνης	5,7	0,85
Κορίνθου - Λουτρακίου	4	2,24

**Πίνακας 10-2:** Συγκριτικά ποιοτικά στοιχεία δευτεροβάθμιων εκροών για το ολικό BOD<sub>5</sub>.

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	10	12,4
Καλυβών	12,65	15
Ρεθύμνου	<10	7,6
Πλακιά	6,48	5,6
Αγίας Γαλήνης	9,7	9,8
Κορίνθου - Λουτρακίου	10	14,2

**Πίνακας 10-3:** Συγκριτικά ποιοτικά στοιχεία δευτεροβάθμιων εκροών για το αμμωνιακό άζωτο.

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	0,5	0,37
Καλυβών	-	0,15
Ρεθύμνου	0,38	<1
Πλακιά	-	0,16
Αγίας Γαλήνης	0,5	0,15
Κορίνθου - Λουτρακίου	0,5	0,15

**Πίνακας 10-4:** Συγκριτικά ποιοτικά στοιχεία δευτεροβάθμιων εκροών για το νιτρικό άζωτο.

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	12	10,8
Καλυβών	-	-
Ρεθύμνου	7,58	<10
Πλακιά	8	6,26
Αγίας Γαλήνης	6	9,93
Κορίνθου - Λουτρακίου	10	10,12

- Όπως φαίνεται και από το συγκεντρωτικό πίνακα 10-5 δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τη σύγκριση των πραγματικών στοιχείων με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την παραγωγή της συνολικής ποσότητας ιλύος. Εντούτοις παρατηρούμε τη μεγάλη διαφορά των τιμών για την ΕΕΛ Χανίων ενώ για την ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης μπορούμε να πούμε ότι οι τιμές ταυτίζονται.

**Πίνακας 10-5:** Συγκριτικά στοιχεία παραγόμενων ποσοτήτων ιλύος (σε Kg TSS/d).

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	1360	912,4
Ρεθύμνου		1248
Πλακιά		106,5
Αγίας Γαλήνης	36,5	35,23
Κορίνθου - Λουτρακίου		255

- Ο βαθμός συσχέτισης των υπολογιζόμενων παροχών της περίσσειας ιλύος με τις πραγματικές τιμές παρόλο που υπάρχουν διαφορές όπως φαίνεται και από τον πίνακα 10-6, είναι ικανοποιητικός. Οι μεγαλύτερες διαφορές στις ΕΕΛ Χανίων και Ρεθύμνης οφείλονται στο ότι οι τιμές αυτές του πίνακα έχουν προκύψει από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών ενώ τα δεδομένα του μοντέλου βασίζονται κυρίως σε τιμές που έχουν δοθεί κατά το σχεδιασμό.

**Πίνακας 10-6:** Συγκριτικά στοιχεία παροχών περίσσειας ιλύος (m<sup>3</sup>/d).

ΕΕΛ	Πραγματικά δεδομένα	Αποτελέσματα προσομοίωσης
Χανίων	110	76,35
Ρεθύμνου	150	185,78
Πλακιά	16	17
Αγίας Γαλήνης	3,75	3,1956
Κορίνθου - Λουτρακίου	-	23,2

- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των διεργασιών νιτροποίησης και απονιτροποίησης ταυτίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με τις πραγματικές τιμές. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το μοντέλο υπολογίζει την ποσότητα των νιτρικών που μπορούν να απομακρυνθούν από την ανοξική δεξαμενή και συγκρίνεται με την ποσότητα που απομακρύνεται στην πραγματικότητα. Όπως φαίνεται η ποσότητα αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που απομακρύνεται τελικά γεγονός που θα μπορούσε να υποδείξει την απαίτηση μεγαλύτερου ανοξικού όγκου. Εφόσον όμως επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στην εκροή, η λύση αυτή θα ήταν οικονομικά ασύμφορη.

### 3. Δευτεροβάθμια Καθίζηση

Η προσομοίωση των Δεξαμενών Δευτεροβάθμιας Καθίζησης είναι απολύτως ικανοποιητική καθώς οι εξαγόμενες τιμές των παραμέτρων ελέγχου ταυτίζονται με τις πραγματικές τιμές.



#### 4. Απολύμανση

Εκτός από τη σχέση (6-4) που υπολογίζει τον αριθμό των μικροοργανισμών /100ml στην εκροή όλες οι άλλες εξισώσεις του μοντέλου επαληθεύονται όπως θα ήταν αναμενόμενο άλλωστε. Για τη σχέση (4-2) δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα αφού δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία στις εξεταζόμενες εγκαταστάσεις για τον αριθμό των μικροοργανισμών στην εισροή και την εκροή, οπότε η σύγκριση των τιμών υπήρξε αδύνατη.

Συμπερασματικά, όπως διαφαίνεται από την εξέταση των πινάκων των κεφαλαίων 9 και 10 στο μοντέλο που δημιουργήθηκε με στόχο την προσομοίωση των φυσικών και βιολογικών διεργασιών απομάκρυνσης των ρυπαντικών φορτίων των μονάδων μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, οι πραγματικές τιμές των παραμέτρων ελέγχου και οι υπολογιζόμενες τιμές συσχετίζονται πολύ καλά και προτείνεται για την προσομοίωση τέτοιων εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Εντούτοις θα πρέπει να γίνεται προσεκτική επιλογή των τιμών των δεδομένων στοιχείων και των διαφόρων σταθερών και συντελεστών κινητικής των βιολογικών διεργασιών.

### **10.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.**

#### 10.2.1 ΕΕΛ Χανίων

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της λειτουργίας της ΕΕΛ Χανίων μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου σύμφωνα με τα πραγματικά δεδομένα είναι 12mg/l. Σύμφωνα με τη σχέση (5-51) η συγκέντρωση των νιτρικών της εκροής είναι αντιστρόφως ανάλογη των ρυθμών ανακυκλοφορίας και εσωτερικής ανακυκλοφορίας και ως εκ τούτου εάν

οι παροχές αυτές ήταν μεγαλύτερες θα αύξανε η απόδοση της απονιτροποιητικής διεργασίας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να παρατηρήσουμε πως με τα συγκεκριμένα δεδομένα η προσομοίωση προέβλεψε ρυθμό ανακυκλοφορίας ( $R=0,5$  αντί για 1 που είναι στην πραγματικότητα), τιμή που δίνει συγκέντρωση νιτρικών στην εκροή  $10,98\text{mg/l}$ . Εκτός από την αυξημένη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου η ποιότητα της εκροής της εγκατάστασης είναι πολύ καλή και πληροί τους περιβαλλοντικούς όρους για το  $\text{BOD}_5$ , τη συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου αλλά και των ολικών αιωρούμενων στερεών. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται συγκεντρωτικά η ποιότητα εκροής της εγκατάστασης.

**Πίνακας 10-7:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Χανίων.

Συγκεντρώσεις ρυπαντών (mg/l)	Πραγματικές τιμές	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD	1	3,4
$\text{BOD}_5$ (ολικό)	10	12,4
$\text{TSS}_e$	15	-
$\text{NH}_4\text{-N}_e$	0,5	0,37
$\text{NO}_3\text{-N}_e$	12	10,98

#### 10.2.2 ΕΕΛ Καλυβών

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η ΕΕΛ Καλυβών δε λειτουργεί. Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο μοντέλο αποτελούν σχεδιαστικά στοιχεία της εγκατάστασης. Από τη μελέτη των πινάκων παρατηρείται ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης είναι σωστός, οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων βρίσκονται στα όρια των προτεινόμενων από τη βιβλιογραφία τιμών και εάν η εγκατάσταση λειτουργήσει η εκροή της θα είναι πολύ καλή (Πίνακας 10-7).

**Πίνακας 10-7:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Καλυβών.

Συγκεντρώσεις (mg/l)	Τιμές σχεδιασμού	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD	-	0,7
BOD <sub>5</sub> (ολικό)	15	12,65
TSS <sub>e</sub>	20	-
NH <sub>4</sub> -N <sub>e</sub>	-	0,15
NO <sub>3</sub> -N <sub>e</sub>	-	-

### 10.2.3 ΕΕΛ Ρεθύμνου

Από τη μελέτη των δεδομένων και των τιμών των παραμέτρων ελέγχου για την ΕΕΛ Ρεθύμνου μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για τη μέση αλλά και τη μέγιστη παροχή είναι πολύ μεγάλος (9,64 και 8,23 h αντίστοιχα) με αποτέλεσμα πολύ μικρές επιφανειακές φορτίσεις, γεγονός που υποδεικνύει μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια διαύγασης από την ήδη υπάρχουσα. Υπό αυτές τις συνθήκες λοιπόν θα μπορούσε να έχει προβλεφτεί ο σχεδιασμό περισσότερων δεξαμενών καθιζήσεως με μικρότερες διαμέτρους έτσι ώστε να τίθενται σε λειτουργία ανάλογα με την παροχή και ο κατάλληλος αριθμός δεξαμενών.
- Παρόλα αυτά ο σχεδιασμός και η λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας βρίσκονται μέσα στα όρια τιμών που δίνονται από τη βιβλιογραφία αλλά και η εκροή πληροί τους απαιτούμενους περιβαλλοντικούς όρους.

**Πίνακας 10-8:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Ρεθύμνου.

Συγκεντρώσεις (mg/l)	Πραγματικές τιμές	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD	1,5	1,58
BOD <sub>5</sub> (ολικό)	<10	7,58
TSS <sub>e</sub>	10	-
NH <sub>4</sub> -N <sub>e</sub>	<1	0,38
NO <sub>3</sub> -N <sub>e</sub>	<5	4,9

#### 10.2.4 ΕΕΛ Πλακιά

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της ΕΕΛ Πλακιά παρατηρούμε τα εξής:

- Έχει γίνει σωστός σχεδιασμός αφού τα στοιχεία που εισαχθήκανε στο μοντέλο είναι τα σχεδιαστικά και όχι τα πραγματικά. Πραγματικά στοιχεία λειτουργίας δεν ευρέθησαν κατά την αναζήτησή τους στην αρμόδια Τεχνική Υπηρεσία και την ΤΥΔΚ. Συνεπώς, αν η εγκατάσταση λειτουργεί με αυτά τα δεδομένα η εκροή της θα είναι αυτή που φαίνεται στον πίνακα (10-9).

**Πίνακας 10-9:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Πλακιά.

Συγκεντρώσεις (mg/l)	ρυθπαντών	Πραγματικές τιμές	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD		3,6	0,5
BOD <sub>5</sub> (ολικό)		5,6	6,48
TSS <sub>e</sub>		10	-
NH <sub>4</sub> -N <sub>e</sub>		-	0,16
NO <sub>3</sub> -N <sub>e</sub>		8	6,26

#### 10.2.5 ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης

Για την ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης ό,τι ισχύει και για την ΕΕΛ Πλακιά. Τα δεδομένα είναι καθαρά σχεδιαστικά και οι μονάδες επεξεργασίας σωστά διαστασιολογημένες αν και η εισροή στερεών στη ΔΔΚ είναι μεγαλύτερη από την προτεινόμενη τιμή της βιβλιογραφίας. Παρόλα αυτά οι επιφανειακές φορτίσεις για τη μέση και τη μέγιστη παροχή είναι μέσα στα όρια. Τέλος, ο χρόνος επαφής στη δεξαμενή χλωρίωσης είναι μόνο 13 λεπτά για τη μέγιστη παροχή, γεγονός που υποδεικνύει μεγαλύτερο όγκο δεξαμενής ώστε να τηρούνται τα 20 min κατ ελάχιστο που είναι το όριο.

**Πίνακας 10-10:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Αγίας Γαλήνης.

Συγκεντρώσεις ρυπαντών (mg/l)	Πραγματικές τιμές	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD	5,7	0,85
BOD <sub>5</sub> (ολικό)	9,7	9,8
TSS <sub>e</sub>	15	-
NH <sub>4</sub> -N <sub>e</sub>	0,5	0,15
NO <sub>3</sub> -N <sub>e</sub>	6	9,93

#### 10.2.6 Η ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου

Με βάση τα λειτουργικά και σχεδιαστικά δεδομένα της ΕΕΛ Κορίνθου – Λουτρακίου η προσομοίωση έδωσε πολύ καλή ποιότητα εκροής εκτός της συγκέντρωσης των νιτρικών που θα έπρεπε να είναι μικρότερη των 7 mg/l ώστε να τηρείται το όριο των 15 για το ολικό άζωτο. Βέβαια το γεγονός αυτό δεν αποδεικνύει ότι δεν τηρείται ο απαιτούμενος περιβαλλοντικός όρος. Επίσης, ο χρόνος παραμονής στη ΔΔΚ είναι πολύ μεγάλος (9 h στη μέση παροχή) γεγονός που υποδεικνύει μικρότερο απαιτούμενο όγκο.

**Πίνακας 10-11:** Ποιότητα εκροής ΕΕΛ Κορίνθου - Λουτρακίου.

Συγκεντρώσεις ρυπαντών (mg/l)	Πραγματικές τιμές	Αποτελέσματα προσομοίωσης
sBOD	4	2,24
BOD <sub>5</sub> (ολικό)	10	14,2
TSS <sub>e</sub>	20	-
NH <sub>4</sub> -N <sub>e</sub>	0,5	0,15
NO <sub>3</sub> -N <sub>e</sub>	10	10,2

#### 10.2.7 Ανακεφαλαίωση συμπερασμάτων για τις εξεταζόμενες ΕΕΛ

Όπως αποδείχτηκε από το σχολιασμό στις προηγούμενες παραγράφους αλλά και από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της λειτουργίας των εγκαταστάσεων που εξετάστηκαν παραπάνω, υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες οι έξι αυτές ΕΕΛ λειτουργούν αποδοτικά ως προς την απόδοση του οργανικού άνθρακα, του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου αλλά και των ολικών αιωρούμενων στερεών χωρίς σοβαρά προβλήματα. Στον παρακάτω

πίνακα δίνονται οι αποδόσεις της κάθε εγκατάστασης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τους κύριους ρυπαντές.

**Πίνακας 10-12:** Βαθμοί απόδοσης απομάκρυνσης ρυπαντών.

ΕΕΛ	Απομάκρυνση BOD <sub>5</sub> (%)	Απομάκρυνση SS (%)	Απομάκρυνση TN (%)
Χανίων	95	94	71
Καλυβών	95	90	-
Ρεθύμνης	97	94	88
Πλακιά	97	95	85
Αγίας Γαλήνης	96,5	95	79
Κορίνθου Λουτρακίου	95	94	77

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Metcalf and Eddy: 'Wastewater Engineering: Treatment and Reuse'. Revised by G. Tchobanoglous, F. Burton and D. Stensel (2003), 4<sup>th</sup> edition, Mc Graw Hill, Inc., New York.
2. Grady, C.P.L and Lim, H.C. (1980) : 'Biological Wastewater Treatment: Theory and Applications', New York, Marcel Dekker, Inc.
3. Hammer M (1986): 'Water and wastewater technology', 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc.
4. WEF, (1996) : 'Wastewater disinfection: manual of practice', Alexandria, USA.
5. Στάμου Α.Ι. και Βογιατζής, Ζ.Σ. (1994): 'Βασικές αρχές και σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων, Β Έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.
6. Στάμου Α.Ι. (1995): 'Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων: Με Παρατεταμένο Αερισμό και Βιολογική Απομάκρυνση θρεπτικών', Παπασωτηρίου κ ΣΙΑ Ο.Ε., Αθήνα.
7. Χριστούλας, Δ.Γ. (1991): 'Ρύπανση των Υδάτων και Αντιρρυπαντική Τεχνολογία', Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
8. Μαρκαντωνάτος, Γ (1990): 'Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων: Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα', Β Έκδοση, Αθήνα.
9. Διαλυνάς Γιώργος: 'PETPA II: Λειτουργία και συντήρηση μικρών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων'', (1994), The Publishing Department of the European Action Group.
10. Tsagarakis, K.P. (1999): 'The treatment of municipal wastewater in Greece'', The University of Leeds, School of Civil Engineering.
11. Γιαννακοπούλου Αναστασία (2004, αναμενόμενη) : 'Μοντελοποίηση εγκαταστάσεων επεξεργασίας με έμφαση στην απομάκρυνση τροφικών/ απογραφή εγκαταστάσεων βιολογικών Κορινθίας', Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Νερών, Αέρα και Εδάφους, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
12. Κοτσιφάκη Χριστίνα, 2001: 'Μοντελοποίηση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Χανίων με τη βοήθεια του πακέτου

προσομοίωσης βιολογικών διεργασιών Superpro Designer', Τμήμα  
Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Ημερομηνία.....

### I. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ

Ονομασία μονάδας.....

Διεύθυνση / Τοποθεσία.....

Δήμοι και Κοινότητες που εξυπηρετούνται.....

Πληθυσμός που εξυπηρετείται.....

Υπεύθυνος λειτουργίας εγκατάστασης.....

Τηλέφωνο / Fax.....

Αριθμός, αρμοδιότητα και μορφωτικό επίπεδο εργαζομένων

Ειδίκευση	Αριθμός προσωπικού	Βάρδιες ανά ημέρα	Ώρες ανά βάρδια	Επάγγελμα
Μηχανικοί- Πτυχιούχοι				Χημικοί..... Πολιτικοί..... Ηλεκτρολόγοι..... Μηχανολόγοι.....
Τεχνικοί				Υδραυλικοί..... Ηλεκτρονικοί..... Μηχανολόγοι.....
Εργάτες				
Σύνολο				

### II. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### A. Πληροφορίες για το σχεδιασμό και την κατασκευή του έργου

Σχεδιαστής.....

Κατασκευαστής.....

Έτος αρχής κατασκευής έργου.....  
Χρονική περίοδος κατασκευής.....  
Δημόσια υπηρεσία επίβλεψης της κατασκευής.....  
Έκταση που χρησιμοποιείται.....(στρέμματα)  
Μελλοντική επέκταση.....Έκταση.....(στρέμματα)  
Χρονική περίοδος επέκτασης.....

#### B. Σχεδιαστικά δεδομένα αποβλήτων και πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

Παράμετρος	Παραδοχές σχεδιασμού	Πραγματικές συνθήκες λειτουργίας
Συνολική δυναμικότητα (ι.κ.)		
Μέση παροχή (m <sup>3</sup> /d)		
Μέγιστη παροχή (m <sup>3</sup> /h)		
Ελάχιστη παροχή (m <sup>3</sup> /h)		
Βιολογικό φορτίο (Kg BOD <sub>5</sub> /d)		

#### Γ. Είδος εισερχόμενων αποβλήτων

\_\_\_ Αστικά  
\_\_\_ Βιομηχανικά  
Ονομασίες και είδος βιομηχανιών.....  
.....  
.....  
\_\_\_ Βοθρολύματα

#### Δ. Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και λάσπης

##### Δ1. Γραμμή επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

##### Δ1.1. Προεπεξεργασία

\_\_\_ Εσχάρωση  
\_\_\_ Χονδρή σχάρα  
\_\_\_ Απλή (καθαριζόμενη με τα χέρια)  
\_\_\_ Μηχανική (αυτοκαθαριζόμενη)  
\_\_\_ Λεπτή σχάρα  
\_\_\_ Σταθερή  
\_\_\_ Περιστρεφόμενη  
\_\_\_ τύπου τυμπάνου  
\_\_\_ τύπου ποτηριού

\_\_\_ Άλλο.....

Παράμετροι σχεδιασμού σχάρας	Τιμές
Αριθμός σχαρών	
Πάχος διάκενων (mm)	
Πάχος ράβδων (mm)	
Βάθος ροής στη σχάρα (m)	
Πλάτος καναλιού (m)	

\_\_\_ Εξάμμωση

\_\_\_ Αμμοσυλλέκτης ανοιχτού καναλιού

\_\_\_ Απλός οριζόντιος αμμοσυλλέκτης

\_\_\_ Αναλογικός αμμοσυλλέκτης

\_\_\_ Παραβολικός αμμοσυλλέκτης

\_\_\_ Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης (Τροφοδοσία αέρα ανά m μήκους.....( $\text{m}^3/\text{min}$ ))

\_\_\_ Αμμοσυλλέκτης περιστροφικής ροής

\_\_\_ Αμμοπαγίδα

\_\_\_ Άλλο.....

Παράμετροι σχεδιασμού εξαμμωτή	Τιμές
Βάθος (m)	
Πλάτος (m)	
Μήκος (m)	
Χρόνος παραμονής	
Διάμετρος απομακρυνόμενων σωματιδίων (mm)	

\_\_\_ Λιποσυλλογή

\_\_\_ Αεριζόμενος λιποσυλλέκτης (Τροφοδοσία αέρα ανά m μήκους.....( $\text{m}^3/\text{min}$ ))

\_\_\_ Στατικού τύπου λιποσυλλέκτης

\_\_\_ Ορθογωνικός (Μήκος.....(m), Πλάτος.....(m))

\_\_\_ Κυκλικός (Διάμετρος.....(m))

\_\_\_ Ελαιοδιαχωριστήρας

\_\_\_ Άλλο.....

Παράμετροι σχεδιασμού λιποσυλλέκτη	Τιμές
Βάθος (m)	
Πλάτος (m)	
Μήκος (m)	
Χρόνος παραμονής	

\_\_\_ Εξισορρόπηση παροχής  
Όγκος δεξαμενής.....(m<sup>3</sup>)

\_\_\_ Άλλο.....  
.....

#### Δ1.2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

\_\_\_ Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)

\_\_\_ Ορθογωνική

\_\_\_ Κυκλική

Παράμετροι σχεδιασμού ΔΠΚ	Τιμές
Αριθμός δεξαμενών	
Χρόνος παραμονής	
Μήκος (m)	
Πλάτος (m)	
Βάθος (m)	
Διάμετρος (m)	
Επιφανειακή φόρτιση (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	
Παροχή λάσπης (Kg/d)	

### Δ1.3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

#### ☐ Παράμετροι συστήματος Ενεργού Ιλύος

Παράμετροι συστήματος EI	Τιμές
Ηλικία λάσπης (d)	
Υδραυλικός χρόνος παραμονής (h)	
Λόγος τροφής προς μ/ο F/M	
Λόγος ανακυκλοφορίας	
Παροχή ανακυκλοφορίας (m <sup>3</sup> /d)	
Παροχή περίσσειας λάσπης (m <sup>3</sup> /d) ή (Kg SS/d)	
Απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m <sup>3</sup> αέρα/m <sup>3</sup> αποβλήτων)	
Συγκέντρωση MLSS (mg/l)	
Φόρτιση οργανικών (Kg εισερχόμενου BOD/m <sup>3</sup> .d)	
Απομακρυνόμενη ποσότητα BOD <sub>5</sub> (Kg BOD/d)	
% απομάκρυνση BOD <sub>5</sub>	

#### ☐ Δεξαμενή Αερισμού (ΔΑ)

- ☐ Κυκλική
- ☐ Ορθογωνική
- ☐ Τετράγωνη

Διαστάσεις ΔΑ	Τιμές
Μήκος (m)	
Πλάτος (m)	
Διάμετρος (m)	
Βάθος (m)	

#### ☐ Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης (ΔΔΚ)

- ☐ Κυκλική
- ☐ Ορθογωνική

\_\_\_Τετράγωνη

Διαστάσεις ΔΔΚ	Τιμές
Αριθμός δεξαμενών	
Μήκος (m)	
Πλάτος (m)	
Διάμετρος (m)	
Βάθος (m)	
Επιφανειακή φόρτιση ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ )	
Φορτίο παραμονής ( $\text{Kg SS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	
Χρόνος παραμονής	

Δ1.4. Τριτοβάθμια επεξεργασία.....

.....

Βάθος.....(m), Ολικός όγκος.....(  $\text{m}^3$ )

Δ1.5. Απολύμανση

\_\_\_ Χλωρίωση

\_\_\_ Απολύμανση με UV (χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας)

\_\_\_ Απολύμανση με όζον

\_\_\_ Απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο ( $\text{NaOCl}$ )

\_\_\_ Άλλο.....

Γεωμετρία....., Ελάχιστος χρόνος επαφής.....(min), Ολικός όγκος.....(  $\text{m}^3$ ),

Ολικό μήκος.....(m)

Δ2. Γραμμή επεξεργασίας λάσπης

\_\_\_ Πάχυνση

\_\_\_ Με βαρύτητα

\_\_\_ Με επίπλευση

\_\_\_ Με μηχανικά μέσα

\_\_\_ Με περιστρεφόμενο κύλινδρο

\_\_\_ Με ταινίες βαρύτητας

\_\_\_ Σταθεροποίηση

- \_\_\_ Αναερόβια χώνευση
  - \_\_\_ Χαμηλής φόρτισης
  - \_\_\_ Υψηλής φόρτισης
- \_\_\_ Αερόβια χώνευση
  - \_\_\_ Συμβατική σε κλειστό αντιδραστήρα
  - \_\_\_ Συμβατική συνεχής
  - \_\_\_ Θερμοφιλική αυτοθερμαινόμενη
  - \_\_\_ Με χωνευτή χωρισμένο σε τμήματα
    - Χρήση παραγόμενου βιοαερίου
  - \_\_\_ Παραγωγή ενέργειας για τη θέρμανση του χωνευτή
  - \_\_\_ Θέρμανση των κτιρίων της εγκατάστασης
  - \_\_\_ Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για τη λειτουργία των αντλιών
  - \_\_\_ Πώληση για οικιακή ή βιομηχανική χρήση
  - \_\_\_ Καύση
- \_\_\_ Αφυδάτωση
  - \_\_\_ Με φυσική εξάτμιση και αποστράγγιση του νερού της λάσπης σε κλίνη αποξήρανσης
    - \_\_\_ Συμβατική κλίνη ξήρανσης
    - \_\_\_ Επιστρωμένη κλίνη ξήρανσης
    - \_\_\_ Κλίνη με κυματοειδή πυθμένα
  - \_\_\_ Με μηχανικά μέσα
    - \_\_\_ Με φυγόκεντρηση
    - \_\_\_ Φυγόκεντρος τύπου κάδου
    - \_\_\_ Φυγόκεντρος κυλινδρικού θαλάμου
    - \_\_\_ Με διήθηση
    - \_\_\_ Με φίλτρο κενού (περιστρεφόμενο τύμπανο μερικά βυθισμένο στη λάσπη)
    - \_\_\_ Με ταινιοφιλτρόπρεσσα (ιμάντας απ' όπου διέρχεται και συμπιέζεται η λάσπη)
    - \_\_\_ Με φίλτρο πίεσης (κατακόρυφη κοίλη πλάκα που φέρει διηθητικό μέσο)
  - \_\_\_ Άλλο.....

#### Ε. Αποχετευτικό σύστημα

Εξυπηρετούμενοι κάτοικοι.....

Είδος αποχετευτικού συστήματος

- ☐ Χωριστικό σύστημα  
☐ Παντοροϊκό σύστημα  
☐ Μικτό σύστημα (Χωριστικό σύστημα.....%, Παντοροϊκό σύστημα.....%)

### III. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### A. Υπάρχει μετρητής ροής;

- ☐ Ναι. Τρόπος μέτρησης  
☐ Με υπερηχητικές ταλαντεύσεις  
☐ Μηχανικά  
☐ Άλλο.....  
☐ Όχι

#### B. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

##### B1. Περίπτωση ορθογωνικής διατομής

- ☐ Τρόπος διοχέτευσης αποβλήτων.....  
 .....  
☐ Από τι αποτελείται η διάταξη εκροής;  
☐ Κατά πλάτος υπερχειλιστή  
☐ Άλλο.....  
☐ Υπάρχει διάταξη συλλογής λάσπης και επιπλεόντων;  
☐ Διάταξη με ατέρμονες μεταφορείς για τη συλλογή λάσπης και ξύλινων ξέστρων για τη συλλογή των επιπλεόντων  
☐ Διάταξη με μετακινούμενη γέφυρα με ξέστρο για τη συλλογή της λάσπης και κόφτρα τοποθετημένη στη γέφυρα για τη συλλογή των επιπλεόντων  
☐ Άλλο.....

##### B2. Περίπτωση κυκλικής διατομής

- ☐ Τρόπος διοχέτευσης αποβλήτων  
☐ Με κεντρική διάταξη εισροής  
☐ Με περιφερειακή διάταξη εισροής  
☐ Άλλο.....  
☐ Από τι αποτελείται η διάταξη εκροής;  
☐ Κεντρικό υπερχειλιστή  
☐ Περιφερειακό υπερχειλιστή



\_\_\_ Άλλο.....

☐ Υπάρχει διάταξη συλλογής λάσπης και επιπλεόντων;

\_\_\_ Διάταξη με ξέστρο που κινείται κυκλικά και συλλέγει τη λάσπη σε κεντρική χοάνη – δακτύλιο και περιλαμβάνει βραχίονα για τη συλλογή επιπλεόντων

\_\_\_ Άλλο.....

#### Γ. Σύστημα Ενεργού Ιλύος

☐ Είδος συστήματος ΕΙ

\_\_\_ Συμβατική ΕΙ

\_\_\_ Παρατεταμένος αερισμός

\_\_\_ Άλλο.....

#### Γ1. Σύστημα αερισμού

☐ Είδος ροής στη ΔΑ

\_\_\_ Πλήρης ανάμιξη

\_\_\_ Ομοιόμορφη – παράλληλη ροή

☐ Μέθοδος αερισμού

\_\_\_ Χρήση διαχυτήρων. Απόδοση μεταφοράς οξυγόνου.....Kg O<sub>2</sub>/kWh

☐ Είδος διαχυτήρων

\_\_\_ Πορώδεις

\_\_\_ Μη πορώδεις

\_\_\_ Άλλο.....

☐ Σχήμα διαχυτήρων

\_\_\_ Σωλήνα

\_\_\_ Δίσκου

☐ Είδος φυσαλίδων

\_\_\_ Χοντρές

\_\_\_ Μέσες

\_\_\_ Λεπτές

\_\_\_ Ανάδευση αποβλήτων με επιφανειακούς αεριστήρες, Απόδοση μεταφοράς οξυγόνου.....Kg O<sub>2</sub>/kWh

☐ Είδος αεριστήρων

\_\_\_ Αεριστήρες κατακόρυφου άξονα (με φτερωτές)

- \_\_\_ Αεριστήρες οριζόντιου άξονα (ρότορες)  
 \_\_\_ Άλλο.....

## Γ2. Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης

### Γ2.1. Περίπτωση κυκλικής διατομής

- ☐ Διάταξη εισροής - εκροής  
 \_\_\_ Κεντρικής εισροής – περιφερειακής εκροής  
 \_\_\_ Περιφερειακής εισροής – περιφερειακής εκροής  
 \_\_\_ Περιφερειακής εισροής – κεντρικής εκροής  
 \_\_\_ Άλλο.....
- ☐ Μηχανισμός συλλογής λάσπης  
 \_\_\_ Μηχανικό ξέστρο  
 \_\_\_ Περιστρεφόμενη διάταξη αναρρόφησης λάσπης  
 \_\_\_ Άλλο.....
- ☐ Είδος χοάνης συγκέντρωσης λάσπης  
 \_\_\_ Κεντρική  
 \_\_\_ Έκκεντρη  
 \_\_\_ Δακτυλιοειδής  
 \_\_\_ Άλλο.....
- ☐ Μηχανισμός συλλογής επιπλεόντων.....  
 .....

### Δ. Απομάκρυνση φωσφόρου

- \_\_\_ Ναι. Είδος  
 \_\_\_ Βιολογική  
 \_\_\_ Χημική  
 \_\_\_ Όχι

### Ε. Απομάκρυνση αζώτου

- \_\_\_ Ναι. Είδος.....  
 .....  
 \_\_\_ Όχι

#### IV. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΣΡΟΗΣ

##### A. Παροχή αποβλήτων (m<sup>3</sup>/d)

Παροχές	Αστικά απόβλητα	Βιομηχανικά απόβλητα	Βοθρολύματα	Σύνολο
Μέση ημερήσια				
Μέγιστη ημερήσια				
Ελάχιστη ημερήσια				

#### V. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΣΡΟΗΣ - ΕΚΡΟΗΣ

Παράμετροι	Εισροή		Εκροή	
	Σχεδιασμού	Πραγματικό	Σχεδιασμού	Πραγματικό
BOD <sub>5</sub> (mg/L)				
COD (mg/L)				
TKN (mg/L)				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)				
P (mg/L)				
SS (mg/L)				
Σκληρότητα (CaCO <sub>3</sub> )				
EC (mmhos/cm)				
pH				
Κολοβακτηρίδια (απ./100ml)				

□ Υπάρχει εργαστήριο ελέγχου της ποιότητας των αποβλήτων;

Περιγραφή της δειγματοληπτικής διαδικασίας (όργανα, τρόπος, σημεία, χρόνος και γενικά του ελέγχου λειτουργίας της εγκατάστασης.

## VI. ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΣΠΗΣ

☐ Υπάρχει επίσημο σημείο διάθεσης;.....

☐ Τρόπος διάθεσης αποβλήτων

\_\_\_ Στο έδαφος

\_\_\_ Επιφανειακή διάθεση

\_\_\_ Άρδευση

\_\_\_ Περιορισμένη άρδευση

\_\_\_ Άλλο.....

\_\_\_ Υποεπιφανειακή διάθεση

\_\_\_ Σε απορροφητικό λάκκο

\_\_\_ Σε τάφρο

\_\_\_ Σε πηγάδι

\_\_\_ Άλλο.....

\_\_\_ Σε ποτάμι. Ονομασία ποταμού.....

\_\_\_ Σε λίμνη. Ονομασία λίμνης.....

Βάθος.....(m)

\_\_\_ Στη θάλασσα

☐ Υπάρχει αγωγός στη θάλασσα;.....

- Μήκος.....(m)  
 Διάμετρος.....(m)  
 Βάθος στο σημείο διάθεσης.....(m)
- ☐ Υπάρχουν διαχυτήρες;.....  
 Αριθμός θυρών.....  
 Μήκος.....(m)  
 Διάμετρος.....(m)  
 Βάθος στο σημείο διάθεσης.....(m)
- ☐ Η διάθεση είναι  
 \_\_ Συνεχής  
 \_\_ Περιοδική.....  
☐ Απόσταση μεταξύ εγκατάστασης και περιοχής διάθεσης.....(km)

#### **Β. Διάθεση λάσπης**

- \_\_ Εμπλουτισμός εδάφους  
 \_\_ Λίπασμα  
 \_\_ Απλή διάθεση  
 Τοποθεσία διάθεσης.....  
 \_\_ Διάθεση σε χωματερή με σκουπίδια  
 \_\_ Άλλο.....

#### **Γ. Διάθεση απομακρυνόμενης άμμου**

- \_\_ Ταφή  
 \_\_ Χρήση της σαν υλικό επίχωσης ή επιφανειακής κάλυψης  
 \_\_ Χρήση της σε κλίνες ξήρανσης  
 \_\_ Αποτέφρωση  
 \_\_ Άλλο.....

#### **Δ. Κοινωνική αποδοχή των μεθόδων διάθεσης των επεξεργασμένων αποβλήτων και της λάσπης**

##### **Δ1. Απόβλητα**

- \_\_ Χαμηλή  
 \_\_ Μέση

- \_\_\_ Υψηλή
- \_\_\_ Αδιάφορη
- Δ2. Λάσπη
- \_\_\_ Χαμηλή
- \_\_\_ Μέση
- \_\_\_ Υψηλή
- \_\_\_ Αδιάφορη

## VII. ΑΛΛΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΠΙΘΑΝΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

.....

.....

## VIII. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Συνολική εγκατεστημένη ενέργεια.....(kW)

Συνολική ετήσια κατανάλωση ρεύματος.....(kWh)

## IX. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Προϋπολογισμός.....

Έτος αναφοράς.....

Ολικό κόστος.....

Πηγή χρηματοδότησης.....

Ετήσιο κόστος προσωπικού.....

Ετήσιο κόστος ενέργειας.....

Ετήσιο κόστος χημικών.....

Ετήσιο κόστος συντήρησης.....

Ολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.....

Κόστος ανά m<sup>3</sup> αποβλήτων.....

Κόστος ανά kg BOD<sub>5</sub> που απομακρύνεται.....

## X. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

\_\_\_ Οσμές

\_\_\_ Συνεχώς  
\_\_\_ Κατά περιόδους.....  
Θέση και αίτιο.....  
Τρόπος αντιμετώπισης.....

\_\_\_ *Ανερχόμενη λάσπη*  
\_\_\_ Συνεχώς  
\_\_\_ Κατά περιόδους.....  
Αίτιο.....  
Τρόπος αντιμετώπισης.....

\_\_\_ *Εμφάνιση αφρού*  
\_\_\_ Συνεχώς  
\_\_\_ Κατά περιόδους.....  
Αίτιο.....  
Τρόπος αντιμετώπισης.....

\_\_\_ *Άλλο*.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## XI. ΓΕΝΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Πηγή πληροφοριών.....





