

# ΔΗΜΟΣ ΚΑΤΩ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ

## ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΟ

### ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΕΛ ΔΗΜΟΥ ΚΑΤΩ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ

#### ΤΕΥΧΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ (Αναθεωρημένο)

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>2</b>
<b>1. ΥΓΕΙΟΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....</b>	<b>4</b>
1.1. Παράμετροι σχεδιασμού .....	4
1.2. Διάθεση Λυμάτων - Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής .....	4
1.3. Κριτήρια σχεδιασμού .....	4
1.4. Υπολογιστικό μέρος έργων εισόδου .....	5
1.4.1. Μονάδα εσχάρωσης .....	5
1.4.2. Αμμολιποσυλλέκτης.....	8
1.5. Υγιεινολογικοί Υπολογισμοί .....	13
1.5.1. Δεδομένα σχεδιασμού βαθμίδας βιολογικής επεξεργασίας.....	13
1.5.2. Τεκμηρίωση σχεδιασμού.....	14
1.5.3. Μονάδα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με υβριδικό αντιδραστήρα αιωρούμενης – προσκολλημένης βιομάζας με διαύγαση σε δεξαμενές μεμβρανών (M.B.M.R.).....	16

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έκθεση μετά των συνοδών υπολογισμών συντάσσεται προς αναθεώρηση των αρχικών υπολογισμών της μελέτης για το έργο «**Αντικατάσταση Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Δήμου Κάτω Νευροκοπίου**».

Οι αρχικές παράμετροι έγιναν με βάση τα παρακάτω δεδομένα σχεδιασμού για την Α Φάση της κατασκευής του έργου:

Παράμετρος	Μονάδα	Α Φάση
Πληθυσμός	Ι.Π.	4.000
Μέση παροχή	(m <sup>3</sup> /day)	640
	lt/sec	7,41
Παροχή αιχμής	(lt/sec)	12,59
Οργανικό φορτίο, BOD <sub>5</sub>	kg/day	220
	mg/l	343,75
Αιωρούμενα στερεά, SS	kg/day	280
	mg/l	437,5
Άζωτο, TKN	kg/day	40
	mg/l	62,5
Ολικός φώσφορος	kg/day	8
	mg/l	12,5

Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων προέκυψαν από τον ισοδύναμο πληθυσμό του χρονικού οριζοντα της Α Φάσης (20ετία), ο οποίος εκτιμήθηκε στους 4.000 κατοίκους. Η εκτίμηση αυτή προέκυψε αφενός από τον αριθμό των καταγεγραμμένων υδρομέτρων του οικισμού πολλαπλασιασμένο επί έναν εμπειρικό συντελεστή (2,6 κάτοικοι ανά υδρόμετρο) και αφετέρου από την παραδοχή ετήσιου ποσοστού αύξησης του πληθυσμού 1,5%.

Όμως, σύμφωνα με μεταγενέστερη Απόφαση του Ειδικού Γραμματέα Υδάτων (ΕΓΥ) και τον αντίστοιχο πίνακα των οικισμών Γ Προτεραιότητας που συντάχθηκε στις 02-06-2016 για την ένταξη των έργων αποχέτευσης και επεξεργασίας λυμάτων στο πρόγραμμα του ΥΜΕΠΕΡΑΑ, ο πληθυσμός του οικισμού Κ. Νευροκοπίου εκτιμήθηκε σε 2.225 κατοίκους για το έτος 2014.

Από την πλευρά μας και με δεδομένη την εκ των υστέρων διαπίστωσή μας ότι σημαντικός αριθμός των υδρομέτρων είναι παρατεταμένα ανενεργός, κρίνουμε ρεαλιστική την ανωτέρω εκτίμηση του ΕΓΥ.

Από τη δημοσίευση της σχετικής Πρόσκλησης 5386/17-11-2016 της ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Ε.Π. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ και ΘΡΑΚΗΣ (ΑΔΑ:63Η67ΛΒ-ΦΕΓ), με τίτλο «ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ και ΘΡΑΚΗΣ» προέκυψε ότι για την κατασκευή των αντίστοιχων έργων πρέπει να ισχύσουν οι πληθυσμιακές εκτιμήσεις του πίνακα του ΕΓΥ λαμβάνοντας υπόψη ετήσια πληθυσμιακή αύξηση 1,5%.

Με βάση τα παραπάνω, η χρηματοδότηση της κατασκευής του έργου των ΕΕΛ Κάτω Νευροκοπίου, στη φάση αυτή, γίνεται για υποχρεωτικά για δυναμικότητα 3,000 κατοίκων.

Μετά από αυτά τα δεδομένα, επαναλήφθηκαν οι υπολογισμοί της υφιστάμενης μελέτης με βάση την απαίτηση αυτή, δηλαδή για εξυπηρετούμενο πληθυσμό 3.000 κατοίκων. Συνεπώς, οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού αναπροσαρμόστηκαν με βάση τα νέα δεδομένα.

Σε κάθε περίπτωση, καθίσταται προφανές ότι υπάρχει αναλογική μείωση των τιμών των ποσοτήτων των στα  $\frac{3}{4}$  των αρχικών, ενώ οι συγκεντρώσεις των φορτίων -αυτονόητα- δεν μεταβάλλονται.

Όσον αφορά στο σχεδιασμό του έργου, ουδεμία μεταβολή επέρχεται σε σχέση με την εγκεκριμένη ΜΠΕ και την αντίστοιχη 558/17-02-2014 ΑΕΠΟ, με εξαίρεση το γεγονός ότι από τις τέσσερις γραμμές του βιολογικού αντιδραστήρα (απονιτροποίηση-νιτροποίηση-MBR) που είχαν προβλεφθεί, στην παρούσα φάση εγκαθίστανται οι τρεις (βλ. και εγκεκριμένη γενική διάταξη).

Επίσης ουδεμία μεταβολή επέρχεται στις λειτουργικές διεργασίες της μονάδας και προφανώς στα ποιοτικά χαρακτηριστικά εξόδου των επεξεργασμένων λυμάτων τα οποία παραμένουν ίδια με αυτά της ισχύουσας ΑΕΠΟ.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι αναθεωρημένοι υγιεινολογικοί και υδραυλικοί υπολογισμοί της αναθεωρημένης μελέτης..

## 1. ΥΓΕΙΟΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### 1.1. Παράμετροι σχεδιασμού

Κριτήριο		Α' (20ετία)
Αριθμός εξυπηρετούμενων ατόμων		3.000
Μέση παροχή	(m <sup>3</sup> /day)	480
	lt/sec	5,55
Παροχή αιχμής	(lt/sec)	9,44
Οργανικό φορτίο, BOD <sub>5</sub>	kg/day	165
	mg/l	343,75
Αιωρούμενα στερεά, SS	kg/day	210
	mg/l	437,5
Άζωτο, TKN	kg/day	30
	mg/l	62,5
Ολικός φώσφορος	kg/day	6
	mg/l	12,5

### 1.2. Διάθεση Λυμάτων - Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής

Τα λύματα θα διατίθενται μετά από την προεπεξεργασία και την βιολογική επεξεργασία τους σε γειτονικό αποδέκτη ή για την άρδευση των γειτονικών εκτάσεων ή ακόμα και για την άρδευση του πρασίνου της Ε.Ε.Λ. Τα χαρακτηριστικά εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων από την εγκατάσταση θα έχουν ως εξής :

Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής	
Συγκέντρωση εξερχόμενου BOD <sub>5</sub> (mg/l)	<15
Συγκέντρωση εξερχόμενου COD (mg/l)	<65
Συγκέντρωση εξερχόμενων ολικών αιωρούμενων στερεών (mg/l)	<10
Συγκέντρωση εξερχόμενου ολικού αζώτου (mg/l)	<15
Συγκέντρωση εξερχόμενου ολικών κολοβακτηριδίων (FC/100 ml)	<500

Οι απαιτήσεις εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων πρέπει να εκπληρούνται για το 95% των δειγμάτων του 24ώρου.

### 1.3. Κριτήρια σχεδιασμού

Τα βασικά κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου συστήματος επεξεργασίας λυμάτων, δεδομένων των απαιτήσεων και της μεθόδου επεξεργασίας, θα είναι:

1. Η εξασφάλιση των όρων διάθεσης (χαρακτηριστικών εκροής), που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.
2. Το χαμηλό λειτουργικό κόστος.
3. Η απλότητα του συστήματος στην λειτουργία και η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων σε εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και συντήρηση του έργου.
4. Η απουσία περιβαλλοντικών οχλήσεων (οσμές, θόρυβος, αισθητική, κλπ.), και ένταξη στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Το όριο θορύβου στα όρια του γηπέδου εγκατάστασης, δεν θα ξεπερνά τα 60dB (A).
5. Η ευελιξία σε αυξομειώσεις του υδραυλικού και ρυπαντικού φορτίου που είναι αναπόφευκτες λόγω των έντονων πληθυσμιακών αιχμών στην περιοχή μελέτης.
6. Τα τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, όπως μορφολογία εδάφους, επιφάνεια εγκατάστασης, κλιματολογικές συνθήκες
7. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου εγκατάστασης
8. Η ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης έκτασης για την εγκατάσταση του συστήματος, καθώς και των έργων υποδομής.
9. Η ποιότητα, η βιομηχανική στάθμη και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του προσφερόμενου εξοπλισμού.

#### 1.4. Υπολογιστικό μέρος έργων εισόδου

##### 1.4.1. Μονάδα εσχάρωσης

Θα κατασκευαστεί για τις ανάγκες της παροχής αιχμής, της σαρανταετίας, όπως και ο αμμολιποσυλλέκτης. Και εάν τοποθετηθούν συσκευές κόμπακτ δεν θα υπολείπονται οι υπολογιζόμενες διαστάσεις.

##### Πλάτος καναλιού

Το πλάτος του καναλιού της σχάρας δίνεται από τον τύπο:

$$\Pi = \left( \frac{\rho + \delta}{\delta} \right) * \left( \frac{Q_p}{V_\delta \cdot H_1} \right) \quad (1)$$

όπου:

$\Pi$  = πλάτος καναλιού

$\rho$  = πάχος ράβδων = 15mm

$\delta = \text{διάκενα} = 6\text{mm}$

$Q_p = \text{παροχή αιχμής} = 118\text{m}^3/\text{hr} = 0,033\text{m}^3/\text{s}$

$V_\delta = \text{μέγιστη ταχύτητα ροής στα διάκενα} < 0,6 \text{ m/s}$

$H_1 = \text{βάθος ροής λυμάτων στο κανάλι πριν την σχάρα (κατ' εκλογή): 0,30m}$

$$\Pi = \frac{15 + 6}{6} * \left( \frac{0,033}{0,6 * 0,30} \right) \cong 0,65m \quad \text{για λόγους ασφαλείας θα κατασκευαστεί}$$

κανάλι πλάτους 0,8m

### Απαιτούμενη κλίση καναλιού

Οι ράβδοι θα καλύπτουν όλο το βάθος του καναλιού.

Η απαιτούμενη κλίση  $S$ , του καναλιού δίνεται από την σχέση του Manning :

$$S = \frac{\sqrt{V_1 n}}{R_H^{3/4}} \quad (3)$$

όπου:

$R_H = \text{υδραυλική ακτίνα και προσδιορίζεται από τη σχέση :}$

$$R_H = \frac{\Pi * H_1}{\Pi + (2 * H_1)} \quad (4)$$

$V_1 = \text{ελάχιστη ταχύτητα ροής : } 0,3\text{m/s}$

$n = (\text{σταθερά τραχύτητας των τοιχωμάτων του καναλιού}) = 0,013$

$$R_H = \frac{0,65 * 0,30}{0,65 + (2 * 0,30)} \cong 0,16$$

$$S = \sqrt{\frac{0,3 * 0,013}{(0,16)^{1/3}}} = 0,08$$

### Πτώση πίεσης στη σχάρα

Η πτώση πίεσης στην σχάρα θα είναι :

$$H_L = \beta * \left(\frac{\rho}{\delta}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_\delta^2}{2 * g} * \sin \theta \quad (5)$$

όπου:

$$\beta = 1,8$$

$\rho, \delta, V_\delta = \text{γνωστά}$

$$\theta = 50^\circ$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_L = 1,8 \left(\frac{15}{6}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{(0,6)^2}{2 * 9,81} * 0,766 = 0,155 \text{ m} = 15,5 \text{ cm}$$

Η υπολογισθείσα πτώση πίεσης αναφέρεται σε καθαρή σχάρα.

#### Ποσότητα εσχαρισμάτων

Η ποσότητα των εσχαρισμάτων θα είναι : 0,04 lit/m<sup>3</sup> δηλ.

$$\text{Ποσότητα (lit / d)} = 0,04 * Q_{ave} \quad (8)$$

Τα εσχαρίσματα θα έχουν περίπου 80% υγρασία και το ειδικό τους βάρος θα είναι περίπου 960 kg/m<sup>3</sup>.

#### Χαρακτηριστικά χειροκίνητης σχάρας

Η χειροκίνητη σχάρα θα εγκατασταθεί δίπλα στο κανάλι της μηχανοκίνητης σχάρας και θα εφοδιαστεί με το σχετικό δίκρανο και το αφαιρετό καλάθι συλλογής και στράγγισης των εσχαρισμάτων. Η χειροκίνητη σχάρα θα πρέπει να δέχεται όλη την παροχή της Β' φάσης .

Πάχος ράβδων ,  $\rho$  : 15mm

Πλάτος διακένων ,  $\delta$  : 6 mm

Το πλάτος του καναλιού θα είναι :

$$\Pi = \left(\frac{\rho + \delta}{\delta}\right) * \left(\frac{Q}{V_\delta * H}\right) + W_o \quad (14)$$

όπου:

$W_0$  = ανοχή πλάτους για πλευρική στήριξη: 20cm

$$\Pi = \left( \frac{15 + 20}{20} \right) * \left( \frac{0,035}{0,6 * 0,30} \right) + 0,20 = 0,68m$$

**Λαμβάνεται  $\Pi = 0,80m$**

#### 1.4.2. Αμμολιποσυλλέκτης

Ο αμμολιποσυλλέκτης θα είναι διπλού καναλιού και αεριζόμενος με δύο λοβοειδείς φυσητήρες (1 λειτουργικός + 1 εφεδρικός).

Το μήκος του κάθε καναλιού θα είναι 7m και το πλάτος του κάθε αμμοσυλλέκτη  $\geq 1,2m$  και του κάθε λιποσυλλέκτη  $\geq 0,8m$  με ωφέλιμο βάθος  $\geq 1,70m$ .

Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής, με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,2mm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο των σωληνώσεων, φθορά του Η/Μ εξοπλισμού (αντλίες κ.λ.π.) και μείωση της απόδοσης των επόμενων μονάδων επεξεργασίας.

Σκοπός της λιποσυλλογής είναι η απομάκρυνση των ελαίων και λιπών για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.

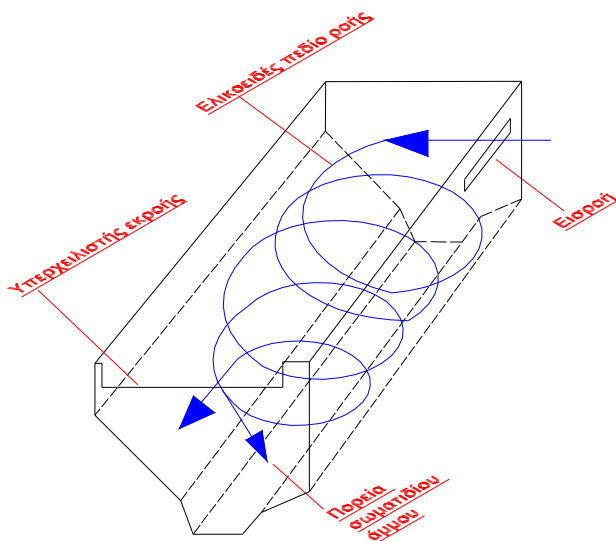
Τα βασικά είδη εξαμμωτών είναι δύο :

- Εξαμμωτές με σταθερή ταχύτητα ροής
- Αεριζόμενοι εξαμμωτές

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές συνδυάζονται και με λιποσυλλέκτες . Αυτός είναι και ο τύπος που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη .

Οι αεριζόμενοι εξαμμωτές είναι ορθογωνικές αεριζόμενες δεξαμενές στις οποίες ο αέρας εισάγεται με διαχυτήρες κατά μήκος της μίας πλευράς με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελικοειδούς ροής. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα και συσσωρεύεται σε χοάνη απ' όπου απομακρύνεται .





Εικόνα 1.1 : Ελικοειδής ροή σε αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη

Η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζει το μέγεθος των σωματιδίων που θα απομακρυνθούν. Όταν η ταχύτητα περιστροφής είναι πολύ μεγάλη η άμμος συμπαρασύρεται με τη ροή, ενώ όταν είναι πολύ μικρή, στα στερεά που καθιζάνουν περιέχονται πολλά οργανικά με αποτέλεσμα την έκλυση δυσοσμίων στους χώρους συγκέντρωσης της άμμου. Η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής, 0,3m/sec, επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση της παροχής του αέρα και με σωστό σχεδιασμό της γεωμετρίας της δεξαμενής, ώστε να αποφεύγονται οι βραχυκυκλώσεις και οι αδρανείς περιοχές .

Το βασικότερο πλεονέκτημα των αεριζόμενων εξαμμωτών είναι ότι με την προσθήκη αέρα μειώνεται το ειδικό βάρος του μίγματος των λυμάτων, με αποτέλεσμα τα σωματίδια να καθιζάνουν πολύ γρηγορότερα. Ως εκ τούτου το μέγεθος της δεξαμενής είναι πολύ μικρότερο από αυτό ενός κοινού εξαμμωτή (χωρίς αερισμό).

Πλεονέκτημα των αεριζόμενων εξαμμωτών είναι ότι συνδυάζονται με λιποσυλλέκτες. Κατά μήκος των εξαμμωτών και παράλληλα σε αυτούς μπορεί να δημιουργηθούν περιοχές ηρεμίας – λιποσυλλογής, όπου θα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια τα λίπη, οι αφροί και οι άλλες επιπλέουσες ουσίες.

Άλλα πλεονεκτήματα των αεριζόμενων εξαμμωτών είναι:

- Έχουν σταθερή απόδοση (ρυθμίζοντας κατάλληλα την παροχή του αέρα).
- Έχουν μικρούς όγκους , εξαιτίας των μικρών χρόνων παραμονής.
- Τα απόβλητα αερίζονται σε αυτούς.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως σημεία προσθήκης χημικών (π.χ. για την απομάκρυνση φωσφόρου και οσμών, προχλωρίωση κ.λ.π.).
- Έχουν μικρές υδραυλικές απώλειες (15-20cm).
- Η άμμος έχει καλή ποιότητα.

Ο αμμοσυλλέκτης των λυμάτων θα είναι επιμήκης αεριζόμενος διπλού καναλιού, υπολογισμένος ώστε το κάθε κανάλι να δέχεται την παροχή αιχμής της τελικής φάσης. Υδραυλικά όμως οι αμμοσυλλέκτες σχεδιάζονται ώστε το κάθε κανάλι να μπορεί να δεχτεί την παροχή αιχμής συνολικά.

Η αφαίρεση της άμμου θα γίνεται με αντλίες από φρεάτιο άντλησης στο οποίο θα μεταφέρεται από διαμήκη αύλακα του πυθμένα που θα οδηγούν το μίγμα νερού-άμμου στο σύστημα πλύσης, ώστε να απαλλάσσεται η άμμος από τυχόν οργανικά και στη συνέχεια να αποθηκεύεται στο σιλό άμμου. Θα υπάρχουν δύο αντλίες, μία για κάθε διαμέρισμα.

Τα στραγγίσματα θα επιστρέφουν ξανά στο αρχικό αντλιοστάσιο, ενώ η διαχωριζόμενη άμμος θα συλλέγεται σε δοχεία όμοια με του Δήμου, με αποθηκευτική χωρητικότητα 7 ημερών. Θα υπάρχουν δύο (2) τουλάχιστον κάδοι όγκου ο καθένας 1,1m<sup>3</sup>. Κάτω από τον διαχωριστήρα άμμου θα κατασκευαστεί κανάλι, που θα οδηγεί τα στραγγίσματα και τις τυχόν υπερχειλίσεις στο φρεάτιο εισόδου.

Ο αμμοσυλλέκτης θα έχει χώρους ηρεμίας, όπου θα συγκεντρώνονται τα επιπλέοντα λίπη και με ένα σύστημα επιφανειακού ξέστρου ανηρτημένου από την παλινδρομική γέφυρα θα απομακρύνονται σε παράπλευρο φρεάτιο, από όπου και θα απομακρύνονται. Ο όγκος του φρεατίου θα επαρκεί για αποθήκευση λιπών πάνω από 7 ημέρες.

Ο αέρας θα δίνεται με δύο λοβοειδείς ελαιολίπαντους φυσητήρες τριών λοβών με ηχομονωτικές καμπίνες.

Κάθε φυσητήρας θα μπορεί να τροφοδοτεί οποιοδήποτε από τα δύο διαμερίσματα του αμμοσυλλέκτη μέσω διανομέα αέρα.

Οι φυσητήρες θα εγκατασταθούν σε ειδικό ηχομονωμένο χώρο ώστε ο θόρυβος σε απόσταση 1 μέτρου να μην υπερβαίνει τα 60 dB(A) και η λειτουργία τους θα εναλλάσσεται για την ομαλή φθορά τους.

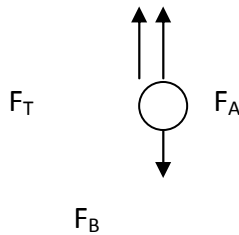
Ο εξαμμητής θα απομονώνεται με θυροφράγματα στην είσοδο και έξοδο για να διευκολύνεται η συντήρηση και ο καθαρισμός του κάθε διαμερίσματος, χωρίς την παράκαμψη του σταδίου αυτού.

Όλοι οι μηχανισμοί θα φέρουν χειροκίνητο ON - OFF αλλά και χρονοδιακόπτη λειτουργίας.

Οι υπολογισμοί θα γίνουν επίσης έτσι ώστε ο διαχωρισμός και η κατακράτηση των σωματιδίων με κόκκους μεγαλύτερους από 0,2mm , να γίνεται σε ποσοστό πάνω από 90% και των σωματιδίων με κόκκους μεγαλύτερων των 0,25mm, να γίνεται σε ποσοστό πάνω από 95%.

Καθίζηση σωματιδίων σε αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σωματίδιο διαμέτρου (d) είναι το βάρος (FB) , η άνωση (FA) και η δύναμη της τριβής (οπισθέλκουσα δύναμη, FT):



Εικόνα 1.2 : Δυνάμεις που επενεργούν σε σωματίδιο που καθιζάνει μέσα σε υγρό

Κάτω από την επίδραση της συνισταμένης των δυνάμεων που επενεργούν, το σωματίδιο επιταχύνεται ώσπου η δύναμη τριβής του υγρού εξισορροπήσει τις παραπάνω δυνάμεις. Το σωματίδιο αποκτά τότε μια σταθερή τελική ταχύτητα που ονομάζεται ταχύτητα καθίζησης. Η ταχύτητα καθίζησης μπορεί να υπολογιστεί από το ισοζύγιο των δυνάμεων:

Βάρος – Άνωση = Τριβές

$$V_s * \rho_s * g - V_s * \rho * g = C_D * A * \rho * \frac{U_s^2}{2}$$

όπου :  $V_s$  = όγκος σωματιδίου,  $m^3$

$\rho_s$  = πυκνότητα σωματιδίου,  $kg/m^3$

$\rho$  = πυκνότητα υγρού,  $kg/m^3$

$C_D$  = συντελεστής οπισθέλκουσας

Άρα :

$$U_s = \sqrt{\frac{4 * g * (\rho_s - \rho) * d}{3 * C_D * \rho}}$$

όπου :

$C_D = 24/N_{Re}$  , περιοχή Stokes,  $N_{Re} < 2$

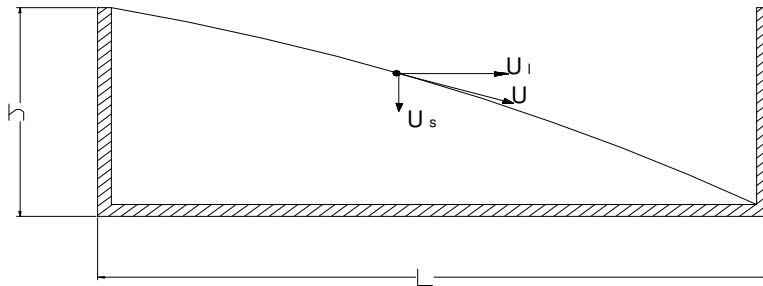
$C_D = 24/(N_{Re})^{0,6}$  , μεταβατική περιοχή ,  $2 < N_{Re} < 500$

$C_D = 0,4$  , περιοχή Newton ,  $N_{Re} > 500$

Για μικρούς αριθμούς Reynolds , περιοχή Stokes, η ταχύτητα καθίζησης είναι :

$$U_s = \frac{(\rho_s - \rho) * g * d_s^2}{18 * \mu}$$

Για να προλάβει ένα σωματίδιο (m) κατά τον χρόνο διέλευσης από τον αμμοσυλλέκτη  $t = L/U_I$  να φτάσει στον πυθμένα, πρέπει  $t = h/U_s$ .



Εικόνα 1.3 : Τροχιά ενός σωματιδίου το οποίο σε απόσταση (L) καθιζάνει κατά ύψος (h)

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί αφορούν μία δεξαμενή η οποία δέχεται την συνολική παροχή. Στην πράξη θα κατασκευαστούν δύο όμοιες δεξαμενές, απλά λαμβάνεται υπόψη η περίπτωση όπου χρειαστεί για οποιοδήποτε λόγο να δεχτεί μόνο η μία την ολική παροχή.

Η οριζόντια συρτική ταχύτητα ( $U_I$ ), που αποτελεί και την ταχύτητα αυτοκαθαρισμού δίνεται από τον τύπο (Camp) :

$$U_I = \sqrt{\frac{8 * k * g * d * (\rho_s - \rho)}{f * \rho}}$$

όπου :  $f$  = συντελεστής τριβής τύπου Darcy = 0,03

$k$  = χαρακτηριστικός παράγοντας του σχήματος του μορίου (0,04 – 0,06)

Αυτό που διαφοροποιείται στον αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη σε σχέση με απλό αμμοσυλλέκτη είναι η άνωση. Με την προσθήκη του αέρα μειώνεται η πυκνότητα του μίγματος , μειώνεται η άνωση ( $FA=Vgr$ ) οπότε και αυξάνεται η ταχύτητα καθίζησης.

Συνεπώς παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας καθίζησης.

Για τον υπολογισμό του απαραίτητου μήκους προκύπτει :

$$L = U_l * \frac{h}{U_s}$$

Αυτό είναι το μήκος του αμμοσυλλέκτη που απαιτείται ώστε να προλάβει σωματίδιο διαμέτρου (d) να φτάσει στον πυθμένα.

Προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η οριζόντια ταχύτητα  $U_l$  πρέπει να ισχύουν οι αναλογίες:

$$L = 7,5 - 20 \text{ m}$$

$$W = 2,5 - 7 \text{ m}$$

$$W/h = 1 - 5$$

$$L/W = 0,45 - 5$$

$$t = 2 - 5 \text{ min}$$

Εναλλακτικά, στην περίπτωση χρήσης προκατασκευασμένων συγκροτημάτων συνδυασμένης προεπεξεργασίας λυμάτων οι παραπάνω υπολογισμοί δεν απαιτούνται, αρκεί να αποδεικνύεται η επάρκεια του συγκροτήματος που εγκαθίσταται από τον αντίστοιχο προμηθευτή.

## 1.5. Υγιεινολογικοί Υπολογισμοί

### 1.5.1. Δεδομένα σχεδιασμού βαθμίδας βιολογικής επεξεργασίας

Στο παρόν κείμενο, γίνεται διαστασιολόγηση μονάδας βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων σύμφωνα με την πρωτοποριακή και αξιόπιστη **τεχνολογία IFAS-MBBR**, η οποία χρησιμοποιεί τόσο αιωρούμενη βιομάζα, όσο και βιομάζα προσκολλημένη στην επιφάνεια ελεύθερα κινούμενων πλαστικών φορέων (βιοφορείς).

Όλοι υγιεινολογικοί υπολογισμοί, βάσει των οποίων διαστασιολογήθηκε η βαθμίδα βιολογικής επεξεργασίας, στηρίχθηκαν στα δεδομένα που περιέχονται στον κάτωθι πίνακα.

### Πίνακας 1. Δεδομένα σχεδιασμού βαθμίδας βιολογικής επεξεργασίας

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
Μέση Ημερήσια Παροχή	m <sup>3</sup> /d	480,0
Μέση Ωριαία Παροχή	m <sup>3</sup> /h	20,0
Ωριαία Παροχή Αιχμής	m <sup>3</sup> /h	34,0
Θερμοκρασία (Χειμώνας)	°C	14,0
Θερμοκρασία (Καλοκαίρι)	°C	22,0
Φορτίο TSS	kg/d	210
Συγκέντρωση TSS	mg/L	437,50
VSS/TSS (Πτητικά προς Ολικά Στερεά)	%	70
Συγκέντρωση VSS	mg/L	306,25
Φορτίο BOD <sub>5</sub>	kg/d	165
Συγκέντρωση BOD <sub>5</sub>	mg/L	343,75
Συγκέντρωση TSS στην εκροή	mg/L	< 10
Συγκέντρωση BOD <sub>5</sub> στην εκροή	mg/L	< 15

### 1.5.2. Τεκμηρίωση σχεδιασμού

Πραγματοποιήθηκαν υγιεινολογικοί υπολογισμοί για τη διαστασιολόγηση των βιολογικών δεξαμενών. Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με την ημερήσια παροχή σχεδιασμού.

Η μεθοδολογία υπολογισμού για τους υγιεινολογικούς υπολογισμούς παρουσιάζεται αναλυτικά και τεκμηριώνεται με την χρησιμοποιηθείσα σχετική βιβλιογραφία. Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται η καινοτόμος τεχνολογία IFAS-MBBR, παρατίθεται στη συνέχεια και η βιβλιογραφία της μεθοδολογίας αυτής, με την οποία στοιχειοθετείται και η επιλογή των παραμέτρων σχεδιασμού.

Για το σχεδιασμό της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα συγγράμματα:

1. Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse”, McGraw-Hill International, 4th Edition
2. Στάμου, Α.Ι., Βογιατζής, Ζ.Σ., 2004. Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Β' Έκδοση, Αθήνα

Η μεθοδολογία σχεδιασμού της κυρίως επεξεργασίας (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία σε βιοαντιδραστήρες Μ.Β.Μ.Ρ.) που εφαρμόστηκε, βασίζεται στις αρχές σχεδιασμού ενεργού υλός και προσκολλημένης βιομάζας που αναπτύσσονται από τους Metcalf & Eddy, αλλά και σε σχετικά δημοσιευμένα άρθρα, όπως:

1. Daude, D., and Stephenson, T., 2003. Moving bed biofilm reactors: a small-scale treatment solution, *Water Sci & Tech.* 48 (11-12), 251-257, IWA Publishing
2. Odegaard, H., 2006. Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process, *Water Sci. & Tech.* 53 (9), 17-33, IWA Publishing
3. Rusten, B., Hellstrom, B.G., Hellstrom, F., Sehested, O., Skjelfoss, E., and Svendsen, B., 2000. Pilot testing and preliminary design of moving bed biofilm reactors for nitrogen removal at the FREAVR wastewater treatment plant, *Water Sci. & Tech.* 41 (4-5), 13-20, IWA Publishing
4. Dulkadiroglu, H., Cokgor, E.U., Artan, N., and Orhon, D., 2005. The effect of temperature and sludge age on COD removal and nitrification in a moving bed sequencing batch biofilm reactor, *Water Sci. & Tech.* 51 (11-12), 95-103, IWA Publishing
5. Johnson, C.H., Page, M.W., and Blaha, L., 2000. Full scale moving bed biofilm reactor results from refinery and slaughter house treatment facilities, *Water Sci. & Tech.* 41 (4-5), 401-407, IWA Publishing
6. Ahi, R.M., Leiknes, T., and Odegaard, H., 2006. Tracking particle size distributions in a moving bed biofilm membrane reactor for treatment of municipal wastewater, *Water Sci. & Tech.* 53 (7), 33-42, IWA Publishing
7. Gaul, T., Marker, S., and Kunst, S., 2005. Start-up of moving bed biofilm reactors for deammonitrification: the role of hydraulic retention time, alkalinity and oxygen supply, *Water Sci. & Tech.* 52 (7), 127-133, IWA Publishing
8. Odegraad, H., Rusten, B., and Westrum, T., 1994. A new moving bed biofilm reactor – applications and results, *Water Sci. & Tech.* 29 (10-11), 157-165, IWA Publishing

### **1.5.3. Μονάδα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας με υβριδικό αντιδραστήρα αιωρούμενης – προσκολλημένης βιομάζας με διαύγαση σε δεξαμενές μεμβρανών (M.B.M.R.)**

#### **Χαρακτηριστικά σχεδιασμού**

Μετά την αρχική τους προ-επεξεργασία (λεπτοεσχάρωση, εξάμμωση και λιποσυλλογή), τα λύματα συλλέγονται διά βαρύτητας σε δεξαμενή εξισορρόπησης. Από εκεί, τα προ-επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται με άντληση στη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας. Επιλέγεται υβριδικό σύστημα τύπου M.B.M.R., που προκύπτει από το συγκερασμό της καινοτόμου μεθόδου Αντιδραστήρων Κινούμενης Κλίνης με Βιο-Υμένες (Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR) και της επίσης καινοτόμου μεθόδου βιοαντιδραστήρων μεμβρανών (M.B.R.). Ως εκ τούτου, το επιλεχθέν σύστημα επεξεργασίας τύπου M.B.M.R. στηρίζεται στην από κοινού χρησιμοποίηση αιωρούμενης (suspended) και προσκολλημένης (attached) βιομάζας στον αντιδραστήρα.

Η βιολογική επεξεργασία σχεδιάζεται για τη μέση ημερήσια παροχή των 480 m<sup>3</sup>/d (παροχή σχεδιασμού).

Μελετώνται τρεις (3) μονάδες βιολογικής επεξεργασίας υψηλού ρυθμού τύπου MBMR, οι οποίες περιλαμβάνουν ζώνες απονιτροποίησης και αερισμού ακολουθούμενες από δεξαμενή βύθισης μεμβρανών.

Το προτεινόμενο σύστημα στηρίζεται σε μία καινοτόμο μέθοδο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που συνδυάζει τα οφέλη των συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας με εκείνα των συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας. Πρόκειται για βιολογικούς αντιδραστήρες στους οποίους αιωρείται ειδικό πληρωτικό υλικό που δρα ως φορέας ανάπτυξης της βιομάζας υπό τη μορφή λεπτής βιολογικής στοιβάδας (βιολογικό «φιλμ»). Με την εμφύσηση αέρα ή με κατάλληλο μηχανισμό ανάδευσης, το πληρωτικό υλικό διατηρείται εν αιωρήσει εντός των δεξαμενών αερισμού. Βιομάζα αναπτύσσεται επίσης σε καθαρά αιωρούμενη μορφή, αλλά η προσκολλημένη βιομάζα κυριαρχεί. Έτσι, ουσιαστικά, η συνολική διεργασία διαιρείται σε δύο υποσυστήματα, ένα υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας και ένα προσκολλημένης βιομάζας.

Οι βιοχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα και στα δύο υποσυστήματα, με εκείνο του βιολογικού «φιλμ» να κυριαρχεί. Με βάση αυτή την υποδιαίρεση, οι παράμετροι σχεδιασμού του συνολικού συστήματος προκύπτουν από το συνυπολογισμό των αντιστοίχων παραμέτρων κάθε υποσυστήματος. Έτσι, για τη μεν αιωρούμενη βιομάζα, ισχύουν όλα τα κριτήρια σχεδιασμού του τυπικού συστήματος ενεργού ιλύος, για το δε βιολογικό «φιλμ», ισχύουν οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού των συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας. Τελικά, όπως αποδεικνύεται και από



την προαναφερθείσα βιβλιογραφία, οι παράμετροι-κριτήρια σχεδιασμού του συστήματος προκύπτουν από τις βασικές παραμέτρους της αιωρούμενης βιομάζας προσαυξημένες λόγω της ανάπτυξης του βιολογικού «φιλμ» στο φορέα ανάπτυξης, ενώ προστίθενται επιπλέον και ορισμένες κρίσιμες παράμετροι σχεδιασμού συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας.

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί, φαίνονται τα κριτήρια σχεδιασμού της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας, καθώς και οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων, ούτως ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα επεξεργασμένων λυμάτων.

**Πίνακας 2.** Παράμετροι σχεδιασμού – Χαρακτηριστικά έκαστης μονάδας βιολογικής επεξεργασίας τύπου IFAS-MBBR

<b>Παράμετρος</b>	<b>Μονάδα</b>	<b>Τιμή</b>
Παροχή σχεδιασμού	m <sup>3</sup> /d	160
Εισερχόμενο φορτίο TSS	kg/d	70
Συγκέντρωση TSS	mg/L	437,50
Εισερχόμενο φορτίο BOD <sub>5</sub>	kg/d	55
Συγκέντρωση BOD <sub>5</sub>	mg/L	343,75
Μέσο ποσοστό πλήρωσης αντιδραστήρα	%	60
Ειδική ενεργή επιφάνεια πληρωτικού υλικού	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	550
Συνολική ενεργή επιφάνεια μέσου για το επιλεγμένο μέσο ποσοστό πλήρωσης	m <sup>2</sup>	14.190
Μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού	hr	6,45
Μέγιστη οργανική φόρτιση επιφάνειας φορέα ανάπτυξης βιομάζας	g BOD <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .d	4,93
Συγκέντρωση MLSS στο ανάμικτο υγρό (για το υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας)	mg/L	3.500-4.000

Σημειώνεται ότι όσον αφορά τη μέγιστη επιφανειακή οργανική φόρτιση του υβριδικού αντιδραστήρα, υπερκαλύπτονται οι σχετικές απαιτήσεις σχεδιασμού που ορίζουν μέγιστες τιμές στην περιοχή 7-10 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d.

## Υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας

### Ηλικία λάσπης

Στα υβριδικά συστήματα τύπου IFAS για επεξεργασία αστικών λυμάτων, ένεκα της παρουσίας της προσκολλημένης βιομάζας, είναι δυνατή η λειτουργία σε μικρές ηλικίες (Solids Retention Time, SRT) αιωρούμενης βιομάζας ακόμη και σε ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση των μονάδων ως προς την επιθυμητή απομάκρυνση BOD. Για την παρούσα μελέτη, επιλέγεται για το σχεδιασμό της μονάδας, ηλικία αιωρούμενης βιομάζας ίση με  $SRT = 2$  d.

### Παραγωγή ιλύος

Η ειδική παραγωγή λάσπης,  $SP_{dc,BOD}$ , υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$SP_{dcBOD} = \left( 0.75 + 0.6 \times \frac{X_{SS,ZB}}{C_{BOCZB}} \frac{(1-0.2) \times 0.17 \times 0.75 \times t_{SS,dim} \times F_T}{1 + 0.18 \times t_{SS,dim} \times F_T} \right), \text{ σε kg SS/kg BOD}$$

όπου:

$C_{BOD,ZB}$  = συγκέντρωση βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου στην είσοδο, 343,75 mg/L

$X_{SS,ZB}$  = συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην είσοδο, 437,50 mg/L

$t_{SS,dim}$  = ηλικία λάσπης για οξείδωση BOD στο υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας, 2 d

$F_T$  = συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας,  $F_T = 1.072^{(T-15)}$

Η ημερήσια παραγωγή λάσπης  $SP_{dc}$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SP_{dc} = B_{d,BOD,Z} \times SP_{dc,BOD}, \text{ σε kg SS/d}$$

όπου :

$B_{d,BOD,Z}$  = φορτίο BOD στην είσοδο, 165 kg/d

$SP_{dc,BOD}$  = ειδική παραγωγή λάσπης, kg SS/kg BOD

Η παραγωγή της χημικής ιλύος από την χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου υπολογίζεται ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κροκιδωτικό με βάση τους κάτωθι υπολογισμούς:

Η συγκέντρωση φωσφόρου προς χημική κατακρήμνιση, προκύπτει από την κάτωθι σχέση:

$$XP,Prep = CTP,inf - CTP,eff - XP,BM$$

όπου:

$XP,Prep$  = συγκέντρωση φωσφόρου προς χημική κατακρήμνιση, mg P/L

CTP,inf = ολικός φωσφόρος στην είσοδο της βιολογικής βαθμίδας, mg P/L

CTP,eff = ολικός φωσφόρος στην έξοδο της βιολογικής βαθμίδας, mg P/L

XP,BM = φωσφόρος που ενσωματώνεται στη βιομάζα, mg P/L

Σύμφωνα με τα ATV Standards (2000), ο φωσφόρος που ενσωματώνεται στη βιομάζα μπορεί να ληφθεί ως 0.01 του BOD<sub>5</sub> των ανεπεξεργαστων λυμάτων.

Το ημερήσιο φορτίο φωσφόρου που απαιτείται να κατακρημνισθεί, είναι:

$$Bd,P,Prec = XP,Prec * Qd,ave$$

όπου:

Bd,P,Prec = ημερήσιο φορτίο φωσφόρου προς χημική κατακρήμνιση, kg P/d

Επιλέγεται δ/μα χλωριούχου πολυαργιλίου (polyaluminum chloride, PACl) ως αντιδραστήριο για τη χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου. Η προσθήκη του δ/τος PACl θα γίνεται στο τελευταίο αερόβιο διαμέρισμα κάθε γραμμής βιολογικής επεξεργασίας.

Η ημερήσια ποσότητα χημικής λάσπης που παράγεται από την κατακρήμνιση του φωσφόρου, μπορεί να υπολογισθεί από την κάτωθι σχέση (ATV Standards, 2000):

$$SP,Prec = 5.3 * Bd,P,Prec \quad (39)$$

όπου:

PP,Prec = παραγωγή χημικής λάσπης από κατακρήμνιση φωσφόρου, kg FSS/d

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Σύμφωνα με την U.S. EPA (2010), για 80 έως 98% απομάκρυνση PO<sub>4</sub>-P μέσω χημικής κατακρήμνισης, η απαιτούμενη δόση Al<sup>3+</sup> κυμαίνεται μεταξύ 1.0-1.5 mol Al<sup>3+</sup>/mol XP,Prec.

Με αντικατάσταση των τιμών στις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
SP <sub>d,c,BOD</sub>	kg SS/kg BOD	1,07	1,01
SP <sub>d,c</sub>	kg SS/d	176	213
SP <sub>Prec</sub>	kg SS/d	18,0	18,0
SP <sub>tot</sub>	kg SS/d	194	231

### Όγκος δεξαμενής αερισμού

Ο όγκος της δεξαμενής αερισμού, δίνεται από τη σχέση:

$$V_{BB} = \frac{M_{SS, BB}}{MLSS}, \text{ σε } m^3$$

όπου:

$M_{SS, BB}$  = συνολική ποσότητα αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή αερισμού, kg

MLSS = συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο μικτό υγρό, που επιλέγεται ίση με  $3.5 \text{ kg/m}^3$

Η ποσότητα στερεών στη δεξαμενή αερισμού, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{SS, BB} = SRT \times SP_{d, C} \times F_{SS}$$

όπου  $F_{SS}$  το κλάσμα της βιομάζας που βρίσκεται σε αιωρούμενη μορφή στη δεξαμενή αερισμού (=  $1 - 0.6 = 0.4$ , για ποσοστό πλήρωσης του αντιδραστήρα με βιοφορείς κατά 60%).

Με αντικατάσταση τιμών στους παραπάνω τύπους, προκύπτει:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
MLSS	$\text{kg/m}^3$	3,623	3,865
$M_{ss, BB}$	kg	323,68	230,89
$V_{BB}$	$m^3$	89,34	59,74

Για τη συνέχεια, θεωρούμε συνολικό ωφέλιμο όγκο δεξαμενών αερισμού για το σύνολο των τριών προκατασκευασμένων μονάδων ίσο με  $94,50m^3$ , που όπως φαίνεται είναι επαρκές για το σύνολο της παραπάνω εισερχόμενης παροχής.

### Ποσοστό απομάκρυνσης οργανικού φορτίου

Το διαλυτό  $BOD_5$  στην έξοδο της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας,  $BOD_{5, S, AN}$ , υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$BOD_{5, S, AN} = \frac{BOD_{5, ZB}^2}{k \times VSS \times MLSS \times 1000 \times t_{hyd} + BOD_{5, ZB}}$$

όπου:

$BOD_{5, S, AN}$  = διαλυτό  $BOD_5$  εξόδου, mg/L

$BOD_{5, ZB}$  =  $BOD$  εισόδου, 343,75 mg/L

$k$  = βιοκινητική σταθερά, 6 L/d

VSS = λόγος πτητικών προς ολικά αιωρούμενα στερεά στη βιολογική βαθμίδα, 0.75

MLSS = μέση συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στις δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας, που λαμβάνεται ίση με  $3,5 \text{ kg/m}^3$ ,

$t_{hyd}$  = υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού, d

Είναι:

$$t_{hyd} = V / Q$$

όπου:

V = όγκος δεξαμενής αερισμού (για το σύνολο των τριών συγκροτημάτων βιολογικής επεξεργασίας), 94,50 m<sup>3</sup>

Q = μέση ημερήσια παροχή λυμάτων (συνολική), 480 m<sup>3</sup>/d

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

$$t_{hyd} = 0,197d = 4,725 \text{ h (για την αερόβια ζώνη)}$$

Το αδιάλυτο BOD<sub>5,X,AN</sub> που οφείλεται στα αιωρούμενα στερεά, δίνεται από τη σχέση :

$$BOD_{5,X,AN} = 0.65 \times 1.42 \times 0.68 \times SS_{AN}, \text{ σε mg/L}$$

όπου:

SS<sub>AN</sub> = αιωρούμενα στερεά στην έξοδο της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας, 10 mg/L

Το συνολικό BOD<sub>5</sub> στην έξοδο της βιολογικής επεξεργασίας, είναι ίσο με :

$$BOD_{5,AN} = BOD_{5,S,AN} + BOD_{5,X,AN}, \text{ σε mg/L}$$

Αντικαθιστώντας στις παραπάνω σχέσεις, προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα που ακολουθεί:

Παράμετρος	Μονάδα	Χειμώνας	Θέρος
BOD <sub>5,S,AN</sub>	mg/L	5,92	5,22
BOD <sub>5,X,AN</sub>	mg/L	6,28	6,28
BOD <sub>5,AN</sub>	mg/l	12,2	11,5
Επιτυγχανόμενη απομάκρυνση BOD στο υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας	%	96,45	96,65

#### Απαίτηση οξυγόνου σε πραγματικές (actual) συνθήκες

Η ειδική απαίτηση οξυγόνου για την αποδόμηση των ανθρακούχων ενώσεων είναι συνάρτηση της ηλικίας λάσπης και της θερμοκρασίας των αποβλήτων, και δίνεται από τη σχέση:

$$OU_{d,C,BOD} = 0.56 + \frac{0.15 \times SRT \times F_T}{1 + 0.17 \times SRT \times F_T}, \text{ σε kg O}_2/\text{kg BOD}_5$$

όπου:

$$F_T = 1.072^{(T-15)}, \text{ συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας}$$

SRT = ηλικία αιωρούμενης λάσπης

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
$OU_{d,c,BOD}$	kg O <sub>2</sub> /kg BOD <sub>5</sub>	0,77	0,87

Η συνολική απαίτηση οξυγόνου για την αποδόμηση των ανθρακούχων ενώσεων, είναι:

$$OU_{d,c} = BOD_{rem} \times OU_{d,c,BOD}, \text{ σε kg O}_2/d$$

Όπου  $BOD_{rem}$  το απομακρυνόμενο οργανικό φορτίο (είσοδος - έξοδος) σε kg BOD/d.

Με αντικατάσταση, προκύπτει:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
$OU_{d,c}$	kg O <sub>2</sub> /d	182,02	181,67

Η μέγιστη απαίτηση οξυγόνου, είναι:

$$OU_{d,max} = f_c \times OU_{d,c}$$

όπου:

$OU_{d,max}$  = μέγιστη απαίτηση οξυγόνου, kg O<sub>2</sub>/d

$f_c$  = συντελεστής αιχμής για τον άνθρακα, που λαμβάνεται 1.1 το χειμώνα και 1.15 το καλοκαίρι

Με αντικατάσταση, προκύπτει η συνολική απαίτηση σε οξυγόνο από το σύστημα σε πραγματικές συνθήκες (όπως αναμένεται, η μέγιστη απαίτηση αντιστοιχεί στο θέρος):

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
$OU_{d,max}$	kg O <sub>2</sub> /d	200,2	208,9

### Απαίτηση οξυγόνου σε πρότυπες (standard) συνθήκες

Η απαίτηση σε οξυγόνο σε πρότυπες συνθήκες προκύπτει από τη διαίρεση της απαίτησης σε οξυγόνο σε πραγματικές συνθήκες διά του συντελεστή διόρθωσης  $N/N_o$ .

Ο συντελεστής διόρθωσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$N/N_o = \frac{\beta \times C_s - C_L}{9.17} \times \alpha \times (1.024)^{(T-20)}$$

όπου:

$N$  = μεταφορά σε πραγματικές συνθήκες πεδίου,  $\text{kg O}_2/\text{d}$

$N_o$  = μεταφορά οξυγόνου σε πρότυπες συνθήκες,  $\text{kg O}_2/\text{d}$

$\beta$  = σταθερά ίση προς 0.95, αδιάστατη

$C_s$  = συγκέντρωση κορεσμού για καθαρό νερό σε πραγματικές συνθήκες,  $\text{mg/L}$

$$C_s = C_{sw} \times (1 - 0.11 \times H)$$

$C_{sw}$  = συγκέντρωση κορεσμού σε μηδενικό υψόμετρο και θερμοκρασία  $T$ ,  $\text{mg/L}$

$H$  = υψόμετρο,  $\text{km}$

$C_L$  = επιθυμητή συγκέντρωση οξυγόνου,  $2.0 \text{ mg/L}$

$\alpha$  = σταθερά ίση προς 0.9, αδιάστατη

$T$  = θερμοκρασία,  $^\circ\text{C}$

Το μέσο υψόμετρο  $H$  με βάση το οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί είναι  $10 \text{ m} = 0.01 \text{ km}$ .

Από πίνακες για επίπεδο θάλασσας και υψηλή σχετική υγρασία (μέχρι και 95%), και για μέση θερμοκρασία λυμάτων  $15^\circ\text{C}$  και  $20^\circ\text{C}$ , προκύπτει ότι η  $C_{sw}$  ισούται με 10.8 και 9.1  $\text{mg/L}$ , αντίστοιχα.

Αντικαθιστώντας στον παραπάνω τύπο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	
		Χειμώνας	Θέρος
$OU_{d,max}$ (μέγιστη σε πρότυπες συνθήκες)	$\text{kg O}_2/\text{d}$	431,02	506,74
Συντελεστής διόρθωσης $N/N_o$	---	0,465	0,412

### Ανακυκλοφορία ιλύος

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στον πυθμένα του διαμερίσματος διαύγασης υπολογίζεται σε  $MLSS_{clarifier} = 7500 \text{ mg/L}$  (0.75%). Σχεδιάζοντας τον βιοαντιδραστήρα (δεξαμενή αερισμού) με συγκέντρωση ανάμικτου υγρού ίση με  $MLSS_{bioreactor} = 2500 \text{ mg/L}$ , προκύπτει η απαιτούμενη ανακυκλοφορία ιλύος από το λόγο  $R_s$  όπως ορίζεται παρακάτω:

$$R_s = \frac{MLSS_{bioreactor}}{MLSS_{clarifier} - MLSS_{bioreactor}}$$

Με αντικατάσταση, είναι:

$$R_s = 0.5$$

Ο λόγος  $R_s$ , αντιστοιχεί σε παροχή:

$$Q_{rs} = R_s \times Q$$

Με αντικατάσταση, είναι:

$$Q_{rs} = 240 \text{ m}^3/\text{d}$$

Όπου  $Q_{rs}$  η συνολική ανακυκλοφορία. Επομένως σε κάθε συγκρότημα βιολογικής επεξεργασίας η αντίστοιχη ανακυκλοφορία γίνεται περί τα  $80 \text{ m}^3/\text{d}$

### Υποσύστημα προσκολλημένης βιομάζας

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στο βιοφίλμ μπορούν να εκφραστούν λαμβάνοντας υπόψη τα ισοζύγια μάζας για το υπόστρωμα (οργανικό φορτίο, BOD) και τα ισοζύγια μάζας για τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται εντός του βιοφίλμ.

### Ισοζύγιο οργανικού φορτίου

Το ισοζύγιο μάζας για το οργανικό φορτίο στη διεπιφάνεια μικτού υγρού/βιοφίλμ, εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q(C_{BOD}^{in} - C_{BOD}^l) = J_{BOD}^{biofilm} * A^{biofilm}$$

όπου:

$C_{BOD}^{in}$  = συγκέντρωση του οργανικού φορτίου στο μικτό υγρό,  $76 \text{ mg/L}$  (BOD που δεν καταναλώθηκε από το υποσύστημα αιωρούμενης βιομάζας και υπολογίστηκε στην προηγούμενη ενότητα)

$C_{BOD}^l$  = συγκέντρωση του οργανικού φορτίου στην έξοδο του βιοφίλμ και τελικά του βιοαντιδραστήρα,  $\text{mg/L}$

$A$  = ενεργή επιφάνεια του βιοφίλμ που υπολογίζεται με βάση το ποσοστό πλήρωσης (τυπικό ποσοστό 60%), τον συνολικό όγκο του βιοαντιδραστήρα ( $129 \text{ m}^3$ ) και την προσφερόμενη «προστατευμένη» (εσωτερική) ενεργό επιφάνεια του βιοφορέα ( $550 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ). Βάσει αυτών, είναι:  $A = 0,60 \times 129 \times 550 = 42.570 \text{ m}^2$

$J_{BOD}^{biofilm}$  = ροή οργανικού φορτίου στη διεπιφάνεια μικτού υγρού/βιοφίλμ,  $\text{kg BOD}/\text{m}^2_{\text{carrier}} \cdot \text{d}$

Το υπόστρωμα (οργανικό φορτίο) μεταφέρεται στο εσωτερικό του βιοφίλμ με το μηχανισμό της διάχυσης λόγω της βαθμίδας συγκέντρωσης στον άξονα  $x$  (απόσταση στο εσωτερικό του βιοφίλμ) και καταναλώνεται από τη βιομάζα που βρίσκεται εντός του βιοφίλμ. Η σχέση που εκφράζει την παραπάνω αντίδραση, είναι:



$$D_{BOD} \frac{d^2 C_{BOD}}{dx^2} + r_{BOD} = 0$$

όπου:

$D_{BOD}$  = συντελεστής διάχυσης για το BOD, 0.0001 m<sup>2</sup>/d

$r_{BOD}$  = ταχύτητα (ρυθμός) κατανάλωσης BOD, kg BOD/m<sup>2</sup><sub>carrier</sub>·d

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση μπορεί να λυθεί αναλυτικά μόνο για αντιδράσεις πρώτης και μηδενικής τάξεως. Ο ρυθμός κατανάλωσης, εκφράζεται ως ακολούθως:

$$r_{BOD} = q_{BOD}^{max} \frac{C_{BOD}}{C_{BOD} + K_s} C_X$$

όπου:

$C_X$  = συγκέντρωση βιομάζας στο βιοφίλμ, g/m<sup>2</sup><sub>carrier</sub>

$q_{BOD}^{max}$  = μέγιστος ρυθμός κατανάλωσης οργανικού φορτίου, 9.52 g BOD/g SS·d

$K_s$  = σταθερά ημικορεσμού για το οργανικό φορτίο

Σε υψηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος ( $C_i \gg K_i$ ), η αντίδραση μπορεί να θεωρηθεί μηδενικής τάξεως (zero order), ενώ σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος ( $K_i \gg C_i$ ), η κινητική κατανάλωσης μπορεί να θεωρηθεί πρώτης τάξεως (first order). Στην περίπτωση μας, θεωρούμε ότι έχουμε μηδενικής τάξεως αντίδραση ένεκα της υψηλής συγκέντρωσης υποστρώματος ( $C_{BOD} \gg K_s$ ) στο βιοφίλμ.

Η ροή του υποστρώματος σε μερικώς διαπερατό βιοφίλμ για κινητική μηδενικής τάξεως, εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$J_{BOD}^{biofilm,0} = \sqrt{2D_{BOD}q_{BOD}^{max}C_X} \sqrt{C_{BOD}^{1/b}}$$

όπου  $C_{BOD}^{1/b}$  είναι η συγκέντρωση του υποστρώματος στη διεπιφάνεια μικτού υγρού/βιοφίλμ, η οποία λαμβάνεται ίση με τη συγκέντρωση του υποστρώματος στο ανάμικτο υγρό (θεωρείται αμελητέα εξωτερική μεταφορά μάζας).

### Ισοζύγιο ετερότροφων μικροοργανισμών

Το ισοζύγιο των ετερότροφων μικροοργανισμών (οξειδωτές οργανικών ενώσεων) στο βιοφίλμ, μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη σχέση:

$$J_{BOD}^{biofilm} * Y_H - b_H * C_{XH} * L_f = 0$$

όπου:

$Y_H$  = συντελεστής ανάπτυξης βιομάζας για τους ετερότροφους μικροοργανισμούς στο βιοφίλμ, που λαμβάνεται ίσος με 0.60 g SS/g BOD

$C_{XH}$  = συγκέντρωση ετερότροφων μικροοργανισμών στο βιοφίλμ, που κυμαίνεται μεταξύ 5000-6000 g/m<sup>3</sup>. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, λαμβάνεται η μέση τιμή των 5500 g/m<sup>3</sup>

$L_f$  = πάχος του βιοφίλμ, που λαμβάνεται ίσο με 180 μm (180 x 10<sup>-6</sup> m)

Ο πρώτος όρος της παραπάνω σχέσης εκφράζει την παραγωγή βιομάζας και ο δεύτερος τη μείωση βιομάζας λόγω αδρανοποίησης (deactivation), αποκόλλησης από το βιοφίλμ (detachment) και ενδογενούς αναπνοής (decay). Ο συνολικός ρυθμός φθοράς, υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$b_H = b_{\text{απενεργοπ.}} + b_{\text{αποκόλλ.}} + b_{\text{ενδογεν. αναπν.}}$$

όπου:

$$b_{\text{απενεργοποίησης}} = 0.08 \text{ d}^{-1}$$

$$b_{\text{αποκόλλησης}} = 0.40 \text{ d}^{-1}$$

$$b_{\text{ενδογενούς αναπν.}} = 0.32 \text{ d}^{-1}$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις με μοναδικούς αγνώστους τη ροή του υποστρώματος στο βιοφίλμ και την τελική συγκέντρωση εξόδου, υπολογίζονται τα τελευταία με βάση την ικανοποίηση όλων των παραπάνω εξισώσεων.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επίλυση των εξισώσεων.

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή
$J_{BOD}^{\text{biofilm}}$	g/m <sup>2</sup> .d	1.32
$C_{BOD}^I$	g/m <sup>3</sup>	5,92

### Διάγνωση ανάμικτου υγρού σε μεμβράνες υπερδιήθησης

Για τη διαστασιολόγηση της δεξαμενής μεμβρανών λαμβάνεται υπόψη ουσιαστικά η ροή του υγρού διαμέσου των μεμβρανών (flux).

Κρατώντας μία ροή για την παροχή σχεδιασμού ίση με 25LMH=0.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.day προκύπτει η απαίτηση εγκατάστασης 800m<sup>2</sup> μεμβρανών υπερδιήθησης.

Ο συντάξας

ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ

Ο Επιβλέπων Μηχανικός



ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ

Ο Προϊστάμενος της Δ/σης

Τεχνικών Υπηρεσιών



Δημήτριος Χαριζάνης

Τοπογράφος Μηχανικός Τ.Ε.

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΝΙΚ. ΦΡΑΓΚΟΣ  
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ  
ΚΟΡΙΝΘΟΥ 281 - ΠΑΤΡΑ  
ΤΗΛ. 2610-222.616  
Α.Φ.Μ. 020734059 - Δ.Ο.Υ. Γ' ΠΑΤΡΩΝ