



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

ΚΟΤΣΙΡΗ ΠΑΓΩΝΑ

ΜΑΛΑΜΑ ΕΥΣΤΑΘΙΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΡ ΚΑΚΑΒΑΣ-ΠΑΠΑΝΙΑΡΟΣ ΠΑΝ.

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Παναγιώτη Κακαβά.

Η παρούσα εργασία αφορά στην επέκταση των εγκαταστάσεων του βιολογικού καθαρισμού της πόλης της Καλαμάτας.

Καταρχάς, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε εκείνους τους οποίους βοήθησαν και συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Ανεκτίμητη ήταν η συμβολή του επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Παναγιώτη Κακαβά τον οποίο και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια της εργασίας μας, όποια στιγμή και αν χρειάστηκε.

Ακόμη θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον υπεύθυνο της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων της πόλης της Καλαμάτας για όλες τις πληροφορίες που μας παρείχε καθώς και για την βοήθεια του.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους δικούς μας ανθρώπους για την αγάπη, την αμέριστη συμπαράσταση και τη συνεχή υποστήριξη που μας προσφέρουν σε κάθε στάδιο της ζωής μας.

Κοσίρη Παγώνα

Μάλαμα Ευσταθία

Πάτρα 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται η επέκταση των εγκαταστάσεων του βιολογικού καθαρισμού της πόλης της Καλαμάτας. Αρχικά αναλύεται γενικά η έννοια του βιολογικού καθαρισμού με βάση ιστορικά στοιχεία και γίνεται προσδιορισμός του προβλήματος της περιβαλλοντικής ρύπανσης χωρίς την παρουσία των βιολογικών καθαρισμών. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή και ανάλυση των επιμέρους σταδίων ενός βιολογικού καθαρισμού και στη συνέχεια γίνεται μια αναλυτική περιγραφή της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων της πόλης της Καλαμάτας. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι πρόβλεψης του μελλοντικού πληθυσμού και γίνεται εφαρμογή του για την πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού για το Δήμο της Καλαμάτας. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης για το Δήμο της Καλαμάτας. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των βιολογικών φίλτρων και γίνεται ο σχεδιασμός τους για την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου της Καλαμάτας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστριών:

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

Οι Σπουδάστριες:

Ευσταθία Μάλαμα

Παγόνα Κοτσίρη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
1.1. Ορισμοί.....	6
1.2. Ιστορικά στοιχεία.....	7
1.3. Η κατάσταση στον Ελληνικό χώρο	8
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	11
2.1. Γραμμές Επεξεργασίας	11
2.2. Προκαταρτική επεξεργασία.....	11
2.3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	13
2.4. Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....	15
2.5. Τριτοβάθμια επεξεργασία.....	21
2.6. Κριτήρια επιλογής του τρόπου διάθεσης.....	24
3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ.....	26
3.1. Εισαγωγικά Στοιχεία για το Δήμο Καλαμάτας.....	26
3.2. Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας της ΕΕΛ Καλαμάτας	31
4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ.....	37
4.1. Μέθοδοι πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού.	37
4.2. Επιλογή μεθόδου πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού	39
4.3. Πρόβλεψη μελλοντικού πληθυσμού του Δήμου Καλαμάτας.	40
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ.....	43
5.1. Παράμετροι σχεδιασμού δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	43
5.2. Σχεδιασμός δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης για το Δήμο Καλαμάτας.....	46
6. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	51
6.1. Εισαγωγή	51
6.2. Γενικά για τα βιολογικά φίλτρα.....	52
6.3. Ταξινόμηση Βιολογικών Φίλτρων.....	54
6.4. Παράμετροι σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων	59
6.5. Διαδικασία σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων.....	62
6.6. Διαδικασία σχεδιασμού βιολογικού φίλτρου για το Δήμο Καλαμάτας.....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1. Ορισμοί

Με τον όρο **λύματα** αναφερόμαστε στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθειες δραστηριότητες μιας πόλης (αστικά λύματα). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν επίσης και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε αυτά ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις συνηθισμένες ανάγκες των ανθρώπων όπως η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού, πλυσίματα, καθαριότητα κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180 – 300 λίτρα ανά άτομο κάθε ημέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από οικίες, δημόσια κτήρια, νοσοκομεία, σχολεία, μικρές επιχειρήσεις κλπ. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν παρανόμως ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο μιας πόλης. Η μέση ποσότητα που αποχετεύει ο άνθρωπος την ημέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η αφθονία ή η έλλειψη νερού στο σπίτι και την περιοχή, το κόστος του νερού, το πολιτιστικό επίπεδο, η οικονομική κατάσταση, η ποιότητα του οικιακού δικτύου, η αμέλεια, το βιοτικό επίπεδο, κλπ¹.

Κύριο χαρακτηριστικό των αστικών λυμάτων είναι το νερό, όμως περιέχουν και άλλες προσμίξεις οι οποίες το καθιστούν ακατάλληλο για χρήση και έχουν δυσμενή αποτελέσματα στους τελικούς αποδέκτες. Ο **Πίνακας 1** παρουσιάζει την τυπική σύσταση των ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων².

Πίνακας 1. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων. (Tchobanoglous and Barton, 1991).

Συστατικό	Συγκέντρωση		
	Υψηλή	Μεσαία	Χαμηλή
Ολικά στερεά	1200	720	350
BOD5	400	220	110
COD	1000	500	250

¹ Γιόβας, 2012

² Tchobanoglous and Barton, 1991

TOC	290	160	80
Ολικό Άζωτο	85	40	20
Ολικός Φώσφορος	15	8	4
Χλωρικά	100	50	30
Θειικά	50	30	20
Αλκαλικότητα	200	100	50
Λίπη - Έλαια	150	100	50

Οι κυριότεροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη σύσταση των αστικών λυμάτων είναι κυρίως οι των κατοίκων μιας περιοχής και συνεπώς το βιοτικό τους επίπεδο, οι κλιματικές συνθήκες, η διαθέσιμη ποσότητα του νερού και η διάθεση ή μη βιομηχανικών αποβλήτων στο σύστημα αποχέτευσης. Από χημική άποψη τα αστικά λύματα περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, ανόργανες και οργανικές ουσίες καθώς και διαλυμένα αέρια όπως αμμωνία και υδρόθειο³.

Με τον όρο **βιολογικός καθαρισμός**, εννοείται η τεχνητή διαδικασία η οποία ακολουθείται για την αδρανοποίηση των λυμάτων. Η βασική λειτουργία ενός βιολογικού καθαρισμού στηρίζεται στη μέθοδο της αερόβιας επεξεργασίας.

Τα **Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων** (ΚΕΛ) είναι μεγάλες εγκαταστάσεις τα οποία αποτελούν τα τελικά σημεία συγκέντρωσης των οικιακών λυμάτων των πόλεων και των προ-επεξεργασμένων βιομηχανικών λυμάτων των γειτονικών περιοχών. Τα λύματα αυτά υποβάλλονται σε διαδικασίες καθαρισμού και τελικά διοχετεύονται με ασφάλεια στον τελικό αποδέκτη (έδαφος, θάλασσα, λίμνη, ποτάμι) αφού έχει μειωθεί το ρυπαντικό τους φορτίο σε ποσοστό έως και 95%. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι ένα σύστημα βιολογικού καθαρισμού τροφοδοτείται με λύματα στην είσοδό του, και στην έξοδό του εξέρχεται καθαρό νερό με ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για εναπόθεση σε κάποιον φυσικό αποδέκτη όπως είναι ο θαλάσσιος χώρος.

1.2. Ιστορικά στοιχεία

³ Γιαννοπούλου, 2004

Οι μέθοδοι απομάκρυνσης των λυμάτων δεν είναι κάτι καινούριο στις ζωές των ανθρώπων. Η παρουσία τους βάσει ιστορικών στοιχείων είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια, κυρίως σε πολιτισμούς με στοιχειώδη ανάπτυξη. Η αναγκαιότητα του νερού για τη ζωή κατέστησε απαραίτητη την τεχνική της ύδρευσης οικισμών από πολύ παλιά. Η τεχνική αυτή όμως προκάλεσε και τα προβλήματα απομάκρυνσης των ακαθάρτων, δηλαδή των λυμάτων. Ευρήματα σχετικά με αποχετευτικά δίκτυα υπάρχουν από το 5000 π.Χ., χωρίς να υπάρχουν πολλές πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξή τους ανά τους αιώνες⁴.

Οι παλαιότερες εγκαταστάσεις υπονόμων βρέθηκαν στο Mohenjo-daro της Ινδίας και η ηλικία τους υπολογίζεται σε 5000 χρόνια περίπου. Σε ερείπια αρχαίων πολιτισμών στην Κρήτη (1500 π.Χ.) και τη Συρία βρέθηκαν ερείπια λουτρών και υπονόμων. Στην Αρχαία Ρώμη κατασκευάστηκε δίκτυο υπονόμων πλάτους 2-3 μέτρων και ύψους 4 μέτρων που εξυπηρετούσε στην απομάκρυνση των υδάτων της βροχής, το οποίο λειτουργούσε μέχρι πριν κάποιες δεκαετίες.

Στα νεότερα χρόνια η δημιουργία και εξάπλωση μεγάλων αστικών κέντρων και βιομηχανιών, οδήγησε στη συγκέντρωση των λυμάτων στις αστικές περιοχές. Όμως η εξέλιξη της οικοδομικής δεν συνοδεύτηκε από την ανάλογη εξέλιξη της υγιεινής. Έπρεπε να φτάσουμε στο 19^ο αιώνα και την ανακάλυψη των μικροβίων για να γίνει αντιληπτή η αναγκαιότητα της κατασκευής αποχετευτικών δικτύων. Αρχικά όμως τα λύματα κατέληγαν ανεπεξέργαστα στους τελικούς αποδέκτες με αποτέλεσμα την πρόκληση προβλημάτων υγείας. Η άντληση νερού για ύδρευση από ήδη μολυσμένες λίμνες και ποτάμια προκάλεσε πολλές επιδημίες, όπως η χολέρα. Μετά από αυτές τις τραγικές επιπτώσεις που είχε η απόθεση ανεπεξέργαστων λυμάτων στους αποδέκτες, κατέστη αναγκαίος ο καθαρισμός και η επεξεργασία των λυμάτων. Έτσι άρχισαν να κατασκευάζονται οι πρώτες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

1.3. Η κατάσταση στον Ελληνικό χώρο

Η Αθήνα δεν διέθετε οργανωμένο δίκτυο αποχέτευσης στην αρχαιότητα. Τα ανοικτά συστήματα αποχέτευσης δημιουργούσαν νοσογόνες εστίες σε λιμνάζοντα σημεία, με συνέπεια την εκδήλωση σοβαρών επιδημιών και ασθενειών, όπως η χολέρα και η πανώλη. Η πρακτική αυτή ακολουθήθηκε για 15 περίπου αιώνες και σταδιακά αντικαταστάθηκε από το σύστημα διοχέτευσης των λυμάτων σε σηπτικούς-απορροφητικούς βόθρους. Όταν επερχόταν κορεσμός στην απορροφητική ικανότητα των βόθρων, τότε ανοίγονταν άλλοι ή τα λύματα

⁴ Στεφάνης, 2012

απορρίπτονταν με δοχεία σε χείμαρρους και ρέματα. Φυσικά ούτε αυτή η πρακτική απομάκρυνε τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Για πρώτη φορά στη νεότερη ιστορία της Αθήνας, γύρω στο 1840, έγινε προσπάθεια για συστηματική κατασκευή συστήματος συλλογής και μεταφοράς των ακαθάρτων και ομβρίων υδάτων. Το 1860 κατασκευάστηκε από την πρώτη γαλλική Αποστολή Δημοσίων Έργων ο παντοροϊκός αγωγός της Σταδίου, ο οποίος και επεκτάθηκε το 1870. Στη δεκαετία 1880-1890 καλύφθηκε το ανοιχτό ρέμα του Κυκλοβόρου με λιθόκτιστο αγωγό μεγάλης διαμέτρου (περίπου 3μ.). Μέχρι το 1893 το κατασκευασμένο δίκτυο αποχέτευσης είχε συνολικό μήκος περίπου 11,5 χλμ., ενώ ο βαθμός ανάπτυξης της πόλης ήταν τέτοιος που απαιτούσε αποχετευτικό δίκτυο μήκους 90 χλμ. Οι αποχετευτικές ανάγκες δηλαδή της πόλης ήταν περίπου οκταπλάσιες. Στα επόμενα χρόνια, εξαιτίας και του ισχυρού προσφυγικού ρεύματος που προκάλεσε η Μικρασιατική καταστροφή το 1922, η ανάγκη κατασκευής έργων αποχέτευσης έγινε ακόμη πιο επιτακτική. Το 1925, ο Δήμος Αθηναίων μελέτησε και κατασκεύασε το “Νέο Μεγάλο Αγωγό”, ενώ την ίδια περίοδο κατασκευάστηκε ένα μεγάλο τεχνικό έργο, η συμβολή των δύο “Μεγάλων Αγωγών” στις οδούς Μάρνη και Παιωνίου.

Το 1930 ολοκληρώθηκε η κατασκευή αγωγού ακαθάρτων του ρέματος Προφήτη Δανιήλ με αποδέκτη το Φαληρικό Δέλτα. Ήταν ένας αγωγός ωσειδής με χερσαίο μήκος περίπου 6,5 χλμ. και υποθαλάσσιο περίπου 700 μ.

Το 1931 συστάθηκε η «Ανώνυμος Εταιρία Κατασκευής Υπονόμων Αθηνών και Περιχώρων», στην οποία το ελληνικό κράτος ανέθεσε την οριστική μελέτη του δικτύου των Αθηνών και Περιχώρων για ακάθαρτα και όμβρια ύδατα με βάση την προμελέτη του Ιταλού καθηγητή υδραυλικής Φαντόλι. Παράλληλα, ο Δήμος Αθηναίων απαγόρευσε την κατασκευή απορροφητικών βόθρων σε όσους δρόμους είχε κατασκευαστεί δίκτυο και αφαίρεσε από τους ιδιώτες το δικαίωμα της κατασκευής και εκμετάλλευσης αγωγών ακαθάρτων και ομβρίων στην πόλη. Μέσα στην πενταετία 1934 - 1939 υλοποιήθηκε ένα μεγάλο πρόγραμμα κατασκευής αποχετευτικών έργων που περιλάμβανε την κάλυψη 17 σημαντικών ρεμάτων, την κατασκευή των μεγάλων αγωγών στις οδούς Ρηγίλλης και Βασιλίσσης Σοφίας και την κατασκευή αντιπλημμυρικής τάφρου στο Λόφο Φιλοπάππου. Ταυτόχρονα με βάση την προμελέτη του καθηγητή Φαντόλι, κατασκευάστηκαν τρία βασικά έργα υποδομής στην Αθήνα, παρά την έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, που αφορούσαν:

- Την κατασκευή του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΚΑΑ)

- Την κατασκευή του μεγάλου και βασικού συλλεκτήρα, μετά από οριστική μελέτη που συντάχθηκε για τον Ιλισό.
- Τη διευθέτηση τμημάτων του Κηφισού.

Από το 1950 και μετά η Αθήνα αναπτύχθηκε πολεοδομικά με ραγδαίους ρυθμούς. Έτσι, η επιτακτική ανάγκη για μεγάλα έργα αποχέτευσης οδήγησε στη σύσταση του Οργανισμού Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΟΑΠ). Ο ΟΑΠ έθεσε τα θεμέλια για την υποδομή του αποχετευτικού συστήματος της πόλης των Αθηνών, αλλά και για τον μακροχρόνιο σχεδιασμό των μελλοντικών αναγκών της Πρωτεύουσας σε δίκτυα ακαθάρτων και αντιπλημμυρικής προστασίας. Το 1950 άρχισε η σύνταξη προμελέτης για την αποχέτευση της περιοχής της Πρωτεύουσας σε έκταση 200.000 στρεμμάτων, που οριστικοποιήθηκε και υποβλήθηκε στις κρατικές αρχές το 1963. Η προμελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ως βάση ανάπτυξης των δικτύων στις δεκαετίες του 1960 και του 1970, αφού υπέστη συνεχείς τροποποιήσεις από το 1963 ως το 1977. Συνολικά, στο διάστημα λειτουργίας του ΟΑΠ, μεταξύ των ετών 1950 έως 1980, κατασκευάστηκαν έργα ακαθάρτων μήκους 1.700 χλμ. και ομβρίων μήκους 300 χλμ., μεταξύ των οποίων ο Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού και ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας.

Οι αρμοδιότητες του ΟΑΠ (Οργανισμός Αποχέτευσης Πρωτεύουσας) μεταβιβάστηκαν το 1980 στον ενιαίο φορέα διαχείρισης της ύδρευσης και αποχέτευσης της Αθήνας, την ΕΥΔΑΠ. Στον τομέα της αποχέτευσης ο νέος αυτός φορέας ανέλαβε την απορροή των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων. Επίσης ανέλαβε τον έλεγχο της διαδικασίας καθαρισμού των λυμάτων και την τελική διάθεσή τους στη θάλασσα. Από τις υποχρεώσεις του τέως ΟΑΠ, η ΕΥΔΑΠ δεν ανέλαβε την κατασκευή των δευτερευόντων αγωγών ακαθάρτων και τη σύνδεση των ακινήτων με τα δίκτυα, που εκχωρήθηκαν στους ΟΤΑ. Από αρχής λειτουργίας της ΕΥΔΑΠ, το αποχετευτικό δίκτυο των Αθηνών επεκτάθηκε και πύκνωσε με την κατασκευή πολλών χιλιομέτρων αγωγών, για να φτάσει σήμερα το συνολικό μήκος του δικτύου αποχέτευσης να αγγίζει τα 8.000 χλμ⁵.

⁵ (<https://www.eydap.gr>, 15/01/2019)

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

2.1. Γραμμές Επεξεργασίας

Στα κέντρα επεξεργασίας υπάρχουν δύο γραμμές επεξεργασίας των αποβλήτων. Η πρώτη αφορά την επεξεργασία, δηλαδή την απομάκρυνση ουσιών επιβλαβών για τον τελικό αποδέκτη, από την υγρή μάζα των αποβλήτων και η δεύτερη αφορά την επεξεργασία της υλούς, δηλαδή την επεξεργασία των επιβλαβών ουσιών που θα απομακρυνθούν στην πρώτη γραμμή. Η επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιείται σε διαδοχικές βαθμίδες (στάδια), για τις οποίες χρησιμοποιούνται οι όροι: Προκαταρκτική (ή προεπεξεργασία), πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Εντούτοις οι όροι δεν είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικοί, αφού μερικές διαδικασίες όπως η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου, μπορούν να πραγματοποιούνται σε τρίτη, δεύτερη ή και πρώτη βαθμίδα .

2.2. Προκαταρκτική επεξεργασία

Η προκαταρκτική επεξεργασία ή προεπεξεργασία γίνεται με στόχο να προστατευτούν οι επόμενες κύριες διαδικασίες επεξεργασίας. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει εσχάρωση, εξάμμωση και τεμαχισμό, για την απομάκρυνση των μεγάλου σχετικά μεγέθους στερεών των αποβλήτων και σπάνια δεξαμενή εξισορρόπησης για την άμβλυση των αιχμών της παροχής και των συγκεντρώσεων των ρύπων.

Η **εσχάρωση (Εικόνα 1)** προστατεύει τις μονάδες επεξεργασίας από χονδρόκοκκα στερεά (πλαστικά, ξύλα, πέτρες) που εάν εισέλθουν είναι δυνατό να προκαλέσουν διάφορα φραξίματα στις εγκαταστάσεις, καταστρέφοντας τις αντλίες και τον υπόλοιπο εξοπλισμό των ΜΕΛ. Η απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων επιτυγχάνεται με την συγκράτηση τους σε εσχάρες κατά την διέλευση των αποβλήτων μέσα από αυτές. Οι αποδόσεις των διατάξεων αυτών εξαρτώνται από το άνοιγμα των σχαρών και την κατά μέγεθος κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων των αποβλήτων. Η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών είναι της τάξης 5 – 10 % και η απομάκρυνση οργανικού φορτίου (BOD_5) είναι της τάξης 0 – 10 %. Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με πιο λεπτές σχάρες⁶.

⁶ Γιόβας, 2012



Εικόνα 1. Κάθετες σχάρες⁷

Ο **τεμαχισμός** έχει ως σκοπό το θρυμματισμό των ογκωδών αντικειμένων σε πολύ μικρού μεγέθους στερεά, που παραμένουν στη μάζα των αποβλήτων και απομακρύνονται σε επόμενα στάδια. Πραγματοποιείται με ειδικές συσκευές (τεμαχιστές), κυρίως στις πολύ μεγάλες μονάδες και συνήθως συνδυάζεται με τις εσχάρες.

Η **εξάμμωση** σκοπεύει στην απομάκρυνση των χαλικιών, των κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή άλλων ανόργανων βαριών σωματιδίων, διαμέτρου μεγαλύτερης των 200 μm, τα οποία αν δεν απομακρυνθούν, δημιουργούν προβλήματα στις ΕΕΛ όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλίες, ξέστρα κλπ) και μείωση της απόδοσης διαφόρων μονάδων επεξεργασίας. Η εξάμμωση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές, με την δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και την απομάκρυνση της άμμου και των ανόργανων σωματιδίων. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εξάμμωση ονομάζονται αμμοσυλλέκτες και η λειτουργία τους βασίζεται είτε στην επίδραση της

⁷ <https://opencourses.auth.gr>

βαρύτητας είτε στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης. Η διάταξη της εξάμμωσης (αμμοσυλλέκτης) είναι στην πραγματικότητα μια δεξαμενή καθίζησης στην οποία τα διακεκριμένα στερεά τα οποία βρίσκονται σε υγρό με μικρότερη πυκνότητα, επιταχύνονται μέχρις ότου φθάσουν να κινούνται με μια τερματική ή οριακή ταχύτητα. Τότε η δύναμη βαρύτητας εξισορροπείται με τη οπισθέλκουσα δύναμη με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών.

Η εξάμμωση συνήθως συνδυάζεται με διάταξη λιποσυλλέκτη να έπεται αυτής, διάταξη που χρησιμεύει για την συγκράτηση των επιπλεόντων ουσιών, κυρίως λιπών και ελαίων. Τελευταία έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται νέοι αεριζόμενοι εξάμμοτες, οι οποίοι έχουν το πλεονέκτημα της επίτευξης σχεδόν 100% απομάκρυνσης άμμου απαλλαγμένης από οργανικές ουσίες.



Εικόνα 2. Οριζόντιος αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης – λιποσυλλέκτης εγκαταστάσεως Μήλου⁸.

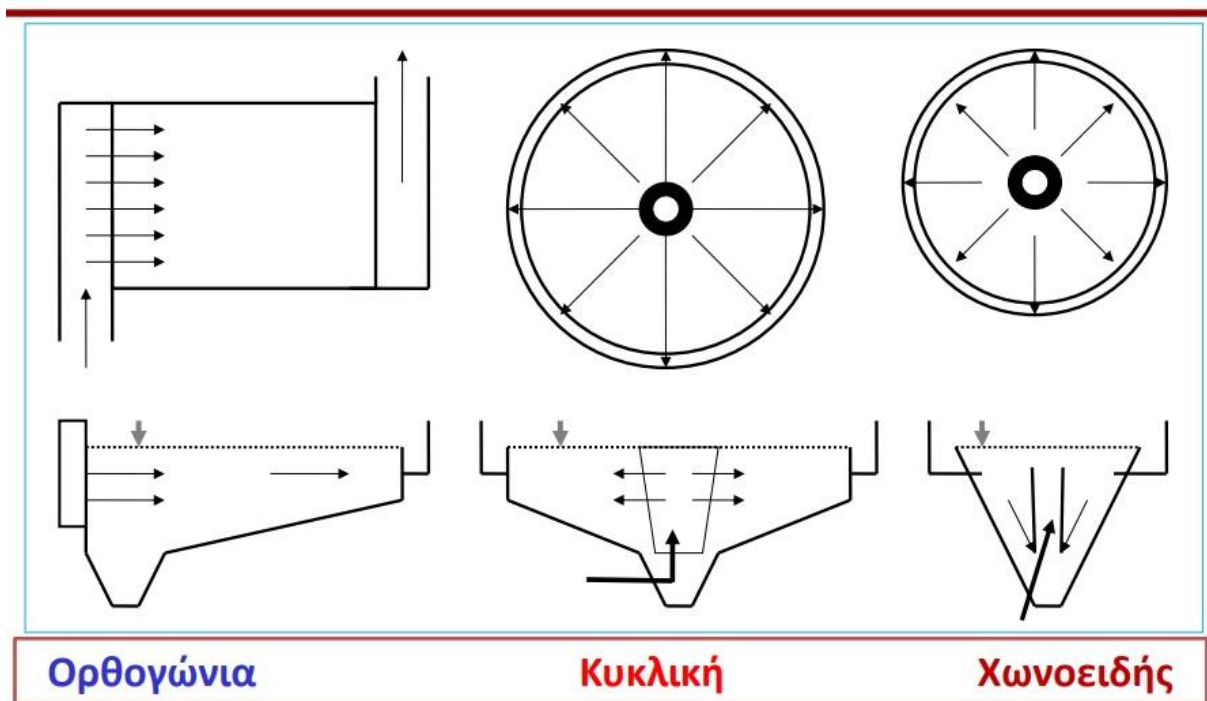
2.3. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών με χημική επεξεργασία και καθίζηση. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο που η

⁸ Γιόβας, 2012

πρωτοβάθμια (μαζί με την προεπεξεργασία) είναι το μοναδικό είδος επεξεργασίας που γίνεται, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις, ανάλογα με το είδος επεξεργασίας που ακολουθεί, η πρωτοβάθμια επεξεργασία μπορεί και να παραληφθεί. Οι δεξαμενές καθίζησης έχουν πρακτικά σταθερή στάθμη νερού, που εξασφαλίζεται από μεγάλο μήκους υπερχειλιστή εξόδου. Ομοιόμορφα διανεμημένη και ήρεμη (κατά το δυνατόν) εκροή επιτυγχάνεται με κατάλληλο διάφραγμα. Το νερό διαρρέει τη δεξαμενή μέχρι τον υπερχειλιστή εξόδου ενώ μέρος των αιωρούμενων στερεών καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής. Η ιλύς που συγκεντρώνεται στον πυθμένα των δεξαμενών σαρώνεται από μηχανικούς σαρωτές προς το φρεάτιο ιλύος.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε ορθογώνιες, κυκλικές και χωνοειδείς δεξαμενές (Εικόνα 3) όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας κάτω από την επίδραση της βαρύτητας.



Εικόνα 3. Οι διάφοροι τύποι των δεξαμενών καθίζησης .

Σκοπός της **καθίζησης** είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών μεγέθους 0.1-0.001mm. Η απομάκρυνση που επιτυγχάνεται συνήθως είναι 30 - 40 % για το οργανικό φορτίο (BOD) και 50 - 60 % για τα αιωρούμενα στερεά (SS). Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε δεξαμενές όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας με την επίδραση της βαρύτητας. Η **επίπλευση** γίνεται σε δεξαμενές όπου τα στερεά παρασύρονται προς την επιφάνεια από φυσαλίδες αέρα που διοχετεύονται στη μάζα των

αποβλήτων με κατάλληλη διάταξη. Τα καθιζάνοντα ή επιπλέοντα στερεά (ιλύς), αν και μικρού όγκου, περιέχουν μεγάλο ρυπαντικό φορτίο και επομένως είναι απαραίτητο να υποστούν επεξεργασία πριν διατεθούν στο περιβάλλον, οπότε οδηγούνται στη γραμμή επεξεργασίας ιλύος.

Σκοπός της **χημικής επεξεργασίας** είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κolloειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Η διαδικασία στοχεύει στη μείωση των ολικών στερεών, στη βελτίωση της απόδοσης της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στην απομάκρυνση του φωσφόρου.

2.4. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας λαμβάνει χώρα η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, εκ της οποίας έχει επικρατήσει και η ονομασία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, ως «βιολογικός καθαρισμός»⁹. Η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων γίνεται με βιολογικές διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί που καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες. Στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από τα απόβλητα με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία. Η βιολογική επεξεργασία γίνεται με διάφορες μεθόδους που χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες, ανάλογα με το αν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα (ενεργός ιλύς, λίμνες) ή προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι). Μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει όχι μόνο πρωτοβάθμιο αλλά και δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλαδή πλήρη σχεδόν απομάκρυνση - σε ποσοστό πάνω από 95% - των οργανικών συστατικών.

Ο βιολογικός καθαρισμός στηρίζεται στις βιοχημικές διεργασίες που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές για το σκοπό αυτό δεξαμενές (δεξαμενές αερισμού) και στη συνέχεια σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης. Στις δεξαμενές αερισμού, παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες στους μικροοργανισμούς, που είναι η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι, τη θέση των βλαβερών οργανικών συστατικών παίρνουν οι μικροοργανισμοί αυτοί (κυρίως βακτηρίδια), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά, με διατάξεις που καλούνται αεριστήρες, οπότε

⁹ Φουρίκη, 2009

και οι δεξαμενές καλούνται δεξαμενές αερισμού. Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό ιλύς», οπότε και η μέθοδος αυτή του βιολογικού καθαρισμού καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων, με το να αφεθούν τα απόβλητα να περάσουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών αυτών, αποτελώντας τη λεγόμενη δευτεροβάθμια λάσπη, ενώ τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών.¹⁰

Έπειτα από την ολοκλήρωση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, τα καθαρισμένα απόβλητα μπορούν να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη, εφόσον ο αποδέκτης αυτός δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτείται η πραγματοποίηση της τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Τα καθαρισμένα, πλέον, απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται στον αποδέκτη.

Η **νιτροποίηση** λαμβάνει χώρα στη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Κατά τη νιτροποίηση μετατρέπεται το οργανικό και το αμμωνιακό άζωτο σε νιτρώδη με τα βακτήρια nitrobacter και στη συνέχεια τα νιτρώδη σε νιτρικά με τη βοήθεια των βακτηρίων nitrosomonas. Απαραίτητος είναι ο επαρκής αερισμός, αφού όταν αυτός είναι ανεπαρκής τα απονιτροτικά βακτήρια καταναλώνουν το οξυγόνο των νιτρικών απελευθερώνοντας άζωτο, το οποίο με τη μορφή φυσαλίδων εγκλωβίζεται στη λάσπη και την ελαφρύνει, προκαλώντας το πρόβλημα της επιπλέουσας λάσπης που υποβαθμίζει την ποιότητα της εκροής.

2.4.1. Η μέθοδος της ενεργού ιλύος

Στα αερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κυριαρχεί η μέθοδος της «ενεργού ιλύος» (). Η ενεργός ιλύς αποτελείται από μια συσσωμάτωση ζωντανών και νεκρών μικροοργανισμών που δεν έχουν ακόμα αποσυντεθεί, οργανικών αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν έχουν απομακρυνθεί στο στάδιο της προεπεξεργασίας των αποβλήτων, οργανικών ουσιών κολλοειδούς υφής, ενδιάμεσων προϊόντων βιολογικής αποικοδόμησης οργανικών ενώσεων και αδρανών στερεών που δεν επιδέχονται αποσύνθεση. Η μέθοδος της ενεργού ιλύος εφαρμόζεται σε έναν αριθμό παραλλαγών που παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, είναι όμως κατά περίπτωση επιλέξιμες για την

¹⁰ Pescod, 1996

ικανοποίηση των ιδιαιτεροτήτων κάθε εφαρμογής. Η διαδικασία συνίσταται από δύο βασικές διεργασίες, τον αερισμό και την καθίζηση.

Τυπική διεργασία ενεργούς ιλύος



Εικόνα 4. Απεικόνιση τυπικής διεργασίας της ενεργού ιλύος ¹¹.

Στη δεξαμενή αερισμού (βιοαντιδραστήρα) παρέχεται ο κατάλληλος χρόνος για την ανάμιξη και τον αερισμό των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων με το μικροβιακό ελαιώρημα, το οποίο γενικά αναφέρεται ως αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού και πτητικά στερεά ανάμικτου υγρού. Ο βιοαντιδραστήρας προσφέρει το κατάλληλο περιβάλλον όπου η αιωρούμενη βιολογικά ενεργός μάζα, αυξάνεται συνεχώς. Τα κροκιδωμένα σωματίδια ή βιολογικοί θρόμβοι κυμαίνονται σε μέγεθος από 50 έως 200 μm. Οι μικροοργανισμοί προσροφούν διαλυμένες οργανικές ενώσεις, τις οξειδώνουν και τις απομακρύνουν από το ρεύμα των αποβλήτων. Στη δεξαμενή καθίζησης η οποία ακολουθεί, η αιωρούμενη βιολογική μάζα, δηλαδή οι οργανικές ενώσεις που δεν οξειδώθηκαν προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό, αλλά μετατράπηκαν σε βακτηριακή μάζα καθιζάνει και απομακρύνεται από το σύστημα. Ένα μέρος όμως αυτής της βακτηριακής μάζας επιστρέφει από τη δεξαμενή καθίζησης στη δεξαμενή αερισμού (επανακυκλοφορία). Ο σκοπός της επανακυκλοφορίας είναι να διατηρηθεί επαρκής συγκέντρωση ενεργού ιλύος στη δεξαμενή αερισμού έτσι ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας στο χρονικό διάστημα που είναι επιθυμητό. Με αυτόν δηλαδή τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλή συγκέντρωση μικροοργανισμών ικανή για την προσρόφηση και αποικοδόμηση του εισερχόμενου οργανικού φορτίου. Η επανακυκλοφορία της βιομάζας είναι σημαντικότερη λειτουργική παράμετρος ελέγχου που ρυθμίζει τη λειτουργία της διεργασίας. Η ελεγχόμενη δηλαδή αυξομείωση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στον βιοαντιδραστήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί

¹¹ <https://docplayer.gr/298178-Diaheirisi-ygron-apovlition-energi-ilys.html>

απόκριση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες εισόδου. Σημειώνεται τέλος, ότι η ορθή λειτουργία της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης παίζει σπουδαίο ρόλο στην βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν κατά κύριο λόγο την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με ένα συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος είναι η θερμοκρασία και το pH. Η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα βιοαποικοδόμησης των οργανικών ουσιών. Συνεπώς η παράμετρος αυτή συνδέεται με τον χρόνο παραμονής των αποβλήτων στη δεξαμενή αερισμού, αυτός όμως καθορίζει και το μέγεθος αυτής της δεξαμενής. Ακόμα, για τη σωστή λειτουργία του βιολογικού συστήματος απαιτείται η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών σε σωστές αναλογίες. Εκτός από άνθρακα, άζωτο και φώσφορο απαιτούνται και διάφορα άλλα ιχνοστοιχεία.

Η θεωρητική απαίτηση σε οξυγόνο υπολογίζεται κυρίως με βάση το BOD₅ των ανθρακούχων και των αζωτούχων ενώσεων των αποβλήτων. Επειδή όμως ένα μέρος του οργανικού φορτίου των αποβλήτων μετατρέπεται σε βιομάζα η οποία απομακρύνεται καθημερινά από το σύστημα, η θεωρητική απαίτηση σε οξυγόνο είναι μικρότερη κατά την ποσότητα του οξυγόνου που θα απαιτείτο για την οξειδωση αυτής της βιομάζας. Στη πράξη όμως και με στόχο την ομαλή λειτουργία και τον υψηλό βαθμό απόδοσης του συστήματος, απαιτούνται πάντα πολύ μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου από τις θεωρητικές τιμές. Γενικά η απόδοση του συστήματος όσον αφορά την αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου ως BOD ανέρχεται ως και 95 %.

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος, εξαρτάται από το χρόνο που επιτρέπει το σύστημα να παραμένουν οι μικροοργανισμοί σε αυτό. Μικροί χρόνοι παραμονής επιβάλλουν την επικράτηση βακτηρίων, ενώ μεγάλοι χρόνοι παραμονής επιβάλλουν την επικράτηση πρωτόζωων. Η επικράτηση των βακτηρίων έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη βιοαποικοδόμηση του οργανικού φορτίου εξαιτίας του μικρού χρόνου διπλασιασμού των πληθυσμών (20-30 min), όμως εξαιτίας του ταχύτερου ρυθμού θανάτου των βακτηρίων, εύκολα δημιουργείται δευτερογενές οργανικό φορτίο από την αποσύνθεση των νεκρών κυττάρων και η απόδοση της επεξεργασίας εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη. Αντίθετα, με επικράτηση των πρωτόζωων, οι πληθυσμοί τόσο των ζωντανών όσο και των νεκρών βακτηρίων ελέγχονται από τα πρωτόζωα γιατί τα πρωτόζωα τρέφονται με βακτήρια, με αποτέλεσμα τα επεξεργασμένα απόβλητα να μην περιλαμβάνουν δευτερογενές οργανικό φορτίο και η επεξεργασία να εμφανίζει υψηλές αποδόσεις καθαρισμού. Συνεπώς, τα ταχύρυθμα συστήματα απαιτούν μικρούς βιοαντιδραστήρες και μικρή μεταφορά οξυγόνου

στην υγρή φάση, αλλά το ποσοστό βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου είναι χαμηλό (50 - 80 %), ενώ στα αργόρυθμα συστήματα επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά καθαρισμού (>90 %), αλλά απαιτούνται μεγάλοι βιοαντιδραστήρες και υψηλή παροχή οξυγόνου. Ένα ενδιάμεσο σύστημα, όπου δεν επικρατούν ούτε πρωτόζωα ούτε βακτήρια, αποτελεί το συμβατικό σύστημα. Επίσης τονίζεται ότι όσο πιο αργό είναι το σύστημα, δηλαδή μεγάλος χρόνος παραμονής μικροοργανισμών, τόσο πιο σταθεροποιημένη είναι η παραγόμενη βιομάζα, λόγω της ολοένα αυξανόμενης απαίτησης οξυγόνου για την ενδογενή αναπνοή. Τα ταχύρρυθμα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων λειτουργούν με συνήθη χρόνο παραμονής των μικροοργανισμών στο βιοαντιδραστήρα μικρότερο από 12 ώρες. Μεγάλες ποσότητες οξυγόνου καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς για αντιδράσεις σύνθεσης με αποτέλεσμα τη μεγάλη παραγωγή ιλύος. Εξαιτίας του χαμηλού χρόνου παραμονής των μικροοργανισμών, σχεδόν όλοι οι μικροοργανισμοί είναι βακτήρια και το φαινόμενο της ενδογενούς αναπνοής είναι σχεδόν ανύπαρκτο. Η παραγωγή δευτερογενούς BOD είναι αρκετά μεγάλη και η επεξεργασμένη εκροή, αν και διαυγής, παρουσιάζει υψηλό BOD λόγω υψηλού δείκτη όγκου ιλύος. Τα αιωρούμενα στερεά υπερχειλίζουν και απομακρύνονται από το σύστημα μαζί με την εκροή. Ο μεγάλος όγκος ιλύος συνεπάγεται μεγάλη παροχή επανακυκλοφορίας από τη δεξαμενή καθίζησης προς την δεξαμενή αερισμού, έτσι ώστε η συγκέντρωση των μικροοργανισμών να είναι υψηλή για να επιτυγχάνονται μεγάλες αποδόσεις. Ωστόσο με τον τρόπο αυτό αυξάνεται υπερβολικά και η απαίτηση για μεγάλη επιφάνεια στη δεξαμενή καθίζησης εξουδετερώνοντας τα θετικά οικονομικά οφέλη της ταχύρρυθμης λειτουργίας. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται ως το πρώτο στάδιο βιολογικού καθαρισμού για απόβλητα με υψηλό BOD και μεγάλη υδραυλική παροχή ώστε να μην είναι αναγκαία η χρήση δεξαμενής καθίζησης. Εξαιτίας όμως του μικρού υδραυλικού χρόνου παραμονής και των μικρών βιοαντιδραστήρων οξείδωσης, δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου στα υγρά απόβλητα. Έτσι το σύστημα αυτό δεν επιτυγχάνει καλές συνθήκες νιτροποίησης αλλά μόνο συνθήκες απονιτροποίησης. Τα συστήματα ταχύρρυθμου αερισμού αποτελούν συνδυασμό μεγάλου υδραυλικού και οργανικού φορτίου και υψηλής συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στο μικτό υγρό (MLSS). Απαιτούν έντονη ανάμιξη στον αντιδραστήρα για τη μεταφορά του οξυγόνου και τον έλεγχο του μεγέθους των βιολογικών θρόμβων. Στα συστήματα αυτά παράγονται μεγάλες ποσότητες ιλύος ανά μονάδα αποδομούμενου οργανικού φορτίου και καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια. Τα ταχύρρυθμα συστήματα απαιτούν μικρούς βιοαντιδραστήρες και μικρή σχετικά μεταφορά οξυγόνου στα υγρά απόβλητα, αλλά το ποσοστό βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου BOD είναι της τάξης του 50 – 80 %. Τα συστήματα αυτά ενδείκνυται συνήθως ως το πρώτο στάδιο για

βιολογική επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλό BOD και μικρή υδραυλική παροχή.

Τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού στηρίζονται στην συνεχή προσφορά οξυγόνου, χωρίς ανάλογη προσφορά τροφής οδηγώντας την ιλύ στο στάδιο της ενδογενούς αναπνοής (αυτοκατανάλωσης) με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελάχιστης ή καθόλου περίσσειας ιλύος. Τα συστήματα απαιτούν περισσότερο αερισμό, άρα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού (βιοαντιδραστήρα) είναι $\leq 24h$. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των συστημάτων που βασίζονται στον πρωτοζωϊκό έλεγχο των βακτηρίων, είναι η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και η μικρή παραγωγή ιλύος. Γενικότερα τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά βιοαποικοδόμησης του περιεχόμενου οργανικού φορτίου BOD απαιτώντας μεγάλους βιοαντιδραστήρες και υψηλή παροχή οξυγόνου. Σημειώνεται ότι όσο πιο αργό είναι το σύστημα (μεγάλη ηλικία ιλύος) τόσο πιο σταθεροποιημένη είναι η παραγόμενη βιομάζα λόγω της ολοένα αυξανόμενης απαίτησης για ενδογενή αναπνοή. Στο σύστημα αυτό οι χρόνοι παραμονής των αποβλήτων στους βιοαντιδραστήρες κυμαίνονται από 18 – 36 ώρες, ενώ η ηλικία της ιλύος κυμαίνεται από 20 – 30 ημέρες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται υψηλού βαθμού αποδόσεις βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου BOD μέχρι και 97 %. Το σύστημα παρατεταμένου αερισμού επιτυγχάνει επίσης πλήρη νιτροποίηση των αμμωνιακών, ενώ ταυτόχρονα παράγει τη λιγότερη και την πιο σταθεροποιημένη ιλύ. Η απαίτηση μεγάλων όγκων βιοαντιδραστήρων και κατά συνέπεια το πάγιο κόστος των εγκαταστάσεων είναι υψηλό. Απαιτείται επίσης μεγαλύτερη προσφορά οξυγόνου, γιατί το οικοσύστημά του (μικροοργανισμοί) επιβιώνει κυρίως από την οξείδωση της ενδογενούς βιομάζας (δευτερογενές BOD). Εξαιτίας της μεγάλης βιολογικής οξείδωσης της ενδογενούς βιομάζας, καθώς επίσης και της χαμηλής αναλογίας τροφής / μικροοργανισμών, η στοιβάδα πολυσακχαριτών γύρω από τους μικροοργανισμούς είναι από ελάχιστη έως ανύπαρκτη, με αποτέλεσμα την αδυναμία της ενεργού ιλύος να ενσωματώσει τα αιωρούμενα αδρανή στερεά, μέρος των οποίων παρασύρονται και υπερχειλίζουν με τα επεξεργασμένα απόβλητα. Η τεχνολογία παρατεταμένου αερισμού έχει τον χαμηλότερο συντελεστή παραγωγής ιλύος από τις αερόβιες επεξεργασίες, ενώ ο χαμηλότερος συντελεστής παραγωγής ιλύος από όλες τις βιολογικές επεξεργασίες απαντάται στην αναερόβια επεξεργασία. Όταν τα απόβλητα περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο BOD καθώς επίσης και υψηλή συγκέντρωση οργανικού αζώτου, ενδείκνυται η χρήση βιολογικών συστημάτων οξείδωσης δύο σταδίων, ενός ταχύρρυθμου ακολουθούμενου από ένα σύστημα παρατεταμένου αερισμού.

Στο σύνθετο αυτό σύστημα μπορεί να συνδυαστεί τόσο η υψηλή απόδοση μείωσης του οργανικού φορτίου και του οργανικού αζώτου όσο και η χαμηλή παραγωγή βιολογικής ιλύος και μάλιστα σταθεροποιημένης. Τα συστήματα δύο σταδίων ενδείκνυνται όταν τα απόβλητα περιέχουν υψηλό βιολογικό φορτίο καθώς επίσης και τοξικές ενώσεις που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των οικοσυστημάτων βιολογικής επεξεργασίας. Συνήθως η τοξική δράση εκδηλώνεται πολύ δραστηκότερα στα πρωτόζωα παρά στα βακτήρια και αυτό οφείλεται στο ότι ο χρόνος διπλασιασμού των βακτηρίων είναι πολύ μικρότερος από ότι στα πρωτόζωα με αποτέλεσμα να μπορούν τα βακτήρια να επιβιώσουν ευκολότερα στο τοξικό περιβάλλον και ταυτόχρονα να μπορούν να το εξουδετερώσουν πιο εύκολα. Στα συστήματα των δύο σταδίων, το πρώτο στάδιο το οποίο βασίζεται στη βακτηριακή ανάπτυξη μπορεί να εξουδετερώσει πλήρως ή μερικώς την τοξικότητα των αποβλήτων με αποτέλεσμα το δεύτερο στάδιο να είναι πολύ πιο αποτελεσματικό από την περίπτωση χρησιμοποίησης ενός μόνο σταδίου¹².

2.5. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Σκοπός της τριτοβάθμιας ή προχωρημένης επεξεργασίας αποβλήτων, είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας όπως διάφορες ανόργανες ουσίες (χλωριούχα, θειικά κ.α.), ιχνοστοιχείων, ρυπαντών προτεραιότητας (priority pollutants) και πτητικών ενώσεων (VOC). Πολλές από τις ενώσεις αυτές είναι τοξικές στον άνθρωπο και στο υδρόβιο περιβάλλον. Έτσι αποκτούν ιδιαίτερη σημασία όταν περιέχονται σε επεξεργασμένα απόβλητα που διατίθενται σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά που μπορεί στη συνέχεια να εισέλθει στο δίκτυο του πόσιμου νερού. Η απομάκρυνση αυτή αποσκοπεί στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από ορισμένες ουσίες ή στην προετοιμασία των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση. Η τριτοβάθμια επεξεργασία των αστικών αποβλήτων περιλαμβάνει την απονιτροποίηση (απομάκρυνση νιτρικών) και την αφαίρεση φωσφόρου.

Η **απονιτροποίηση** πραγματοποιείται με προσθήκη μεθανόλης σε ανοξικό (χωρίς παρουσία οξυγόνου) αντιδραστήρα, με βραχύ αερισμό για πλήρη απομάκρυνση του αζώτου και δεξαμενή τριτοβάθμιας καθίζησης από την οποία ανακυκλοφορείται ιλύς στον ανοξικό αντιδραστήρα. Είναι δυνατόν όμως να κατασκευασθεί και μονοβάθμιο σύστημα απομάκρυνσης αζώτου με συνδυασμένη απομάκρυνση οργανικής ύλης, νιτροποίηση και απονιτροποίηση σε κοινό αντιδραστήρα.

¹² Γιόβας, 2012

Η **απομάκρυνση** του φωσφόρου συνήθως γίνεται με κροκίδωση και καθίζηση στην πιο πρόσφορη μορφή του, τα ορθοφωσφορικά, χρησιμοποιώντας υδροξείδιο του ασβεστίου ή άλατα του αργιλίου και του σιδήρου. Η προσθήκη ανάλογα με το κροκιδωτικό γίνεται ή στην πρωτοβάθμια καθίζηση ή σε διάφορες θέσεις της βιολογικής μονάδας. Είναι δυνατόν όμως (σπανιότερα), η κροκίδωση και καθίζηση να γίνουν σαν ξεχωριστή τριτοβάθμια επεξεργασία.

Η **απολύμανση** είναι το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας, γίνεται με την χρήση χημικών ουσιών (χλώριο, όζον, βρώμιο) ή με φυσικά μέσα (ακτινοβολία, θερμότητα), και στοχεύει στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων (αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας), έτσι ώστε να εξαλείφεται ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών μέσω του νερού στον αποδέκτη. Συνηθέστερο μέσο απολύμανσης είναι το χλώριο. Η χλωρίωση γίνεται μέσα σε ορθογώνιες δεξαμενές συνήθως μαιανδρικής μορφής, όπου οι μικροοργανισμοί έρχονται σε επαφή με το χλώριο και καταστρέφονται.

2.5.1. Επεξεργασία ιλύος

Η επεξεργασία της ιλύος αποτελείται από τα παρακάτω στάδια:

- **Πύκνωση της ιλύος** η οποία στοχεύει στη μείωση του όγκου της ιλύος, που επιτυγχάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της, απομακρύνοντας μέρος του νερού που περιέχει. Η μείωση του όγκου επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους των επόμενων μονάδων επεξεργασίας (π.χ. αύξηση της συγκέντρωσης ιλύος από 1 σε 3% επιφέρει μείωση του όγκου της κατά το 1/3) και παράλληλα αυξάνει την απόδοση μερικών από αυτές. Η πύκνωση της ιλύος (ή πάχυνση) γίνεται με βαρύτητα, με επίπλευση με αέρα και με μηχανικά μέσα (φυγοκέντριση).
- **Σταθεροποίηση της ιλύος**, η οποία έχει ως στόχο τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της ιλύος να γίνει σηπτική. Η σταθεροποίηση της ιλύος μπορεί να γίνει με την χημική ή τη βιολογική οξείδωση του οργανικού της μέρους και την δημιουργία συνθηκών ακατάλληλων για την επιβίωση των μικροοργανισμών. Οι κυριότερες μέθοδοι σταθεροποίησης είναι η αναερόβια και η αερόβια χώνευση ενώ ακόμα χρησιμοποιούνται οι λίμνες σταθεροποίησης, η επεξεργασία με ασβέστη ή χλώριο και η θερμική επεξεργασία.

- **Απολύμανση της ιλύος**, η οποία έχει ως στόχο την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και την εξουδετέρωση της δυνατότητας τους να μολύνουν, ώστε να μην κινδυνεύει η δημόσια υγεία από την διάθεση της ιλύος. Η ανάγκη για απολύμανση της ιλύος ξεκινά από την δυνατότητα χρήσης της για διάφορους σκοπούς, όπως εμπλουτισμός του εδάφους, λίπασμα κλπ. Η απολύμανση επιτυγχάνεται με χημικά μέσα (χλώριο, ασβέστη, όζον κλπ), με παρατεταμένη αποθήκευση πάνω από 60 ημέρες για σταθεροποίηση ιλύος, με θερμική επεξεργασία, με λιπασματοποίηση και με ακτινοβολία υψηλής ενέργειας.
- **Αφυδάτωση**, η οποία είναι μια φυσική διαδικασία διαχωρισμού του νερού από τα στερεά της ιλύος με σκοπό τη μείωση του τελικού προϊόντος για διάθεση. Η διαφορά με την πύκνωση είναι ότι ενώ η πυκνωμένη ιλύς διατηρεί την υγρή κατάσταση, η αφυδατωμένη ιλύς έχει στερεά κατάσταση όπως αυτή του χώματος. Η αφυδατωμένη ιλύς είναι σε μη υγρή κατάσταση και με μειωμένο όγκο, γεγονός που κάνει την μεταφορά της φθηνότερη και ευκολότερη, μειώνει το κόστος της επεξεργασίας που τυχόν ακολουθεί (ιδιαίτερα της αποτέφρωσης) και δεν προκαλεί ρύπανση λόγω αποστράγγισης αν διατίθεται στο έδαφος. Η αφυδάτωση γίνεται είτε με φυσική εξάτμιση και αποστράγγιση του νερού της ιλύος σε κλίνες και λίμνες ξήρανσης ή με μηχανικά μέσα, όπως πρέσες, φυγοκέντριση, φίλτρα.
- Η **τελική διάθεση ιλύος**, η οποία είναι δυνατόν να γίνει στο έδαφος στη θάλασσα ή στον αέρα (σαν αέριο από καύση), με σκοπό τη χρήση της για κάποια ωφέλεια (λίπασμα, εμπλουτισμός εδάφους, παραγωγή ενέργειας, ανάκτηση χρήσιμων ουσιών κλπ) ή την απλή απόρριψη της. Σύμφωνα με τον τρόπο διάθεσης της ιλύος καθορίζονται τα απαιτούμενα στάδια επεξεργασίας της, ώστε η διάθεση να είναι περιβαλλοντικά ασφαλής και οικονομικά συμφέρουσα. Σε πόλεις που γειτονεύουν με ανοικτές θάλασσες (ωκεανούς), η πιο συνηθισμένη μέθοδος τελικής διάθεσης της λάσπης ήταν μέχρι πρότινος η απευθείας άντληση και απόρριψή της σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση από την ακτή. Η πρακτική όμως αυτή έχει σήμερα απαγορευτεί εξαιτίας των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούσε στους υδάτινους αποδέκτες. Η καύση είναι επίσης μία από τις αρκετά συνηθισμένες μεθόδους (τελικής) διάθεσης της λάσπης, που παράγει όμως σαν «παρα-προϊόν» τέφρα, η οποία

ενδεχομένως να είναι τοξική, επομένως θα πρέπει να διατεθεί σε κατάλληλη ειδική χωματερή και να μην απορριφθεί ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον.

2.6. Κριτήρια επιλογής του τρόπου διάθεσης

Τα κριτήρια επιλογής του τρόπου διάθεσης των υγρών αποβλήτων διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

i) Περιβαλλοντικά.

Θα πρέπει να εξετάζονται όλες οι επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διάθεσης.

- Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της ιλύος προς διάθεση,
- Η διαθεσιμότητα των αποδεκτών (π.χ. αγροτικές εκτάσεις, βιομηχανία κτλ.)
- Η απαιτούμενη κατά περίπτωση επεξεργασία ιλύος για την άρση των αρνητικών επιπτώσεων
- Τα έργα και μέσα που είναι αναγκαία για την τυχόν αποθήκευση, μεταφορά κτλ. των παραπροϊόντων επεξεργασίας
- Οι αναγκαίες αδειοδοτήσεις, καθώς επίσης και οι υποχρεώσεις τόσο του παραγωγού ιλύος, όσο και του καταναλωτή του τελικού προϊόντος

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πρέπει να διαμορφώνονται τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των παραπροϊόντων επεξεργασίας που θα εξεταστούν περαιτέρω. Τα σενάρια αυτά θα πρέπει να παρουσιάζονται στους χρήστες του τελικού προϊόντος, ώστε να εξασφαλίζεται η συγκατάθεσή τους.

ii) Οικονομικά.

Για κάθε εξεταζόμενο εναλλακτικό τρόπο διαχείρισης των παραπροϊόντων επεξεργασίας, που διαμορφώνεται σύμφωνα με τα παραπάνω, πρέπει να προσδιορίζεται το κόστος επένδυσης, οι ετήσιες δαπάνες για την λειτουργία και συντήρηση, καθώς επίσης και τα τυχόν έσοδα από την επαναχρησιμοποίηση των παραπροϊόντων επεξεργασίας

iii) Κοινωνικά.

Για τις προκριθείσες εναλλακτικές λύσεις θα πρέπει να γίνεται ενημέρωση του κοινού και των φορέων, να παρουσιάζονται οι επιπτώσεις και τα μέτρα που λαμβάνονται, τα

δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να εξασφαλιστεί η κοινωνική αποδοχή.

3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

3.1. Εισαγωγικά Στοιχεία για το Δήμο Καλαμάτας¹³

Ο Δήμος Καλαμάτας αποτελείται από τέσσερις δημοτικές ενότητες. Αυτές είναι οι εξής:

- Δημοτική Ενότητα Καλαμάτας
- Δημοτική Ενότητα Άριος
- Δημοτική Ενότητα Αρφαρών
- Δημοτική Ενότητα Θουρίας

Η **Δημοτική Ενότητα Καλαμάτας** έχει έκταση 253,2 km² και πληθυσμό 62.409 (απογραφή 2011). Ήταν Δήμος του Νομού Μεσσηνίας που λειτούργησε με το πρόγραμμα Καποδίστριας την περίοδο 1999-2010. Συστάθηκε από τη συνένωση του παλαιότερου Δήμου Καλαμάτας και των γειτονικών του παλαιότερων κοινοτήτων, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου. Το 2010 καταργήθηκε και εντάχθηκε από 01.01.2011 στον νέο διευρυμένο Καλλικρατικό Δήμο Καλαμάτας ως Δ.Ε Καλαμάτας και βρίσκεται στην βόρεια ακτή του Μεσσηνιακού κόλπου. Αποτελείται από 14 τοπικές κοινότητες, με έδρα την πόλη της Καλαμάτας.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της Δ.Ε Καλαμάτας αποτελούν μία σύνθεση από παραθαλάσσιες, πεδινές, ημιορεινές και ορεινές εκτάσεις που έχουν σαν ιδιαίτερο γνώρισμα το μεγάλο μέρος που καταλαμβάνει ο ορεινός όγκος του Ταυγέτου. Καλύπτει μια έκταση 253,2 τ.χλμ. Από την έκταση αυτή το 4,4% καταλαμβάνουν τα πεδινά δημοτικά διαμερίσματα και συγκεκριμένα οι Τ.Κ. Αντικαλάμου, Ασπροχώματος και Σπερχογείας. Το 18,3% της συνολικής έκτασης καταλαμβάνεται από τις Τοπικές Κοινότητες που χαρακτηρίζονται ως ημιορεινές, δηλαδή από τις Κοινότητες Καλαμάτας και Μικρής Μαντινείας. Ενώ το υπόλοιπο 77,3% καταλαμβάνεται από τις ορεινές Κοινότητες, δηλαδή από τις Τ.Κ. Αλαγονίας, Αρτεμισίας, Βέργας, Ελαιοχωρίου, Καρβελίου, Λαδά, Λαικών, Νέδουσας και Πηγών. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό στην περιοχή του Δήμου είναι ότι ένα ποσοστό που προσεγγίζει το 70% του συνόλου της έκτασης, καταλαμβάνεται από βοσκοτόπους και δασικές εκτάσεις.

Η **Δημοτική Ενότητα Άριος** έχει έκταση 22,50 km² και πληθυσμό 2.071 (απογραφή 2011). Ήταν Δήμος του Νομού Μεσσηνίας που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας

¹³ <http://www.kalamata.gr>

από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου.

Λειτουργήσε την περίοδο 1999-2010 οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε ως Δ.Ε. στον νέο Δήμο Καλαμάτας. Βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Νομού, στην ενδοχώρα. Αποτελείται από 6 Τοπικές Κοινότητες που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα, με έδρα τον Άρι.

Η **Δημοτική Ενότητα Αρφαρών** έχει έκταση 87,62 km² και πληθυσμό 2.648 (απογραφή 2011). Ήταν Δήμος του Νομού Μεσσηνίας που συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου. Λειτουργήσε την περίοδο 1998 -2010, οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε ως Δ.Ε. Αρφαρών στο νέο Δήμο Καλαμάτας. Βρίσκεται στα βορειοανατολικά του Νομού. Αποτελείται από 8 τοπικές κοινότητες. Η Δ.Ε. Αρφαρών είναι ιδιαίτερα γνωστή καθώς σε αυτή υπάρχουν πηγές από τις οποίες υδρεύονται η Καλαμάτα, η Μεσσήνη και άλλες περιοχές του Νομού. Στην Τ.Κ. του Αγίου Φλώρου βρίσκονται οι πηγές του ποταμού Παμίσου. Βρίσκεται σε νευραλγικό σημείο της Μεσσηνίας, αφού βρίσκεται στο μέσο των ορίων της Μεσσηνίας με την Αρκαδία και πάνω στην Εθνική οδό.

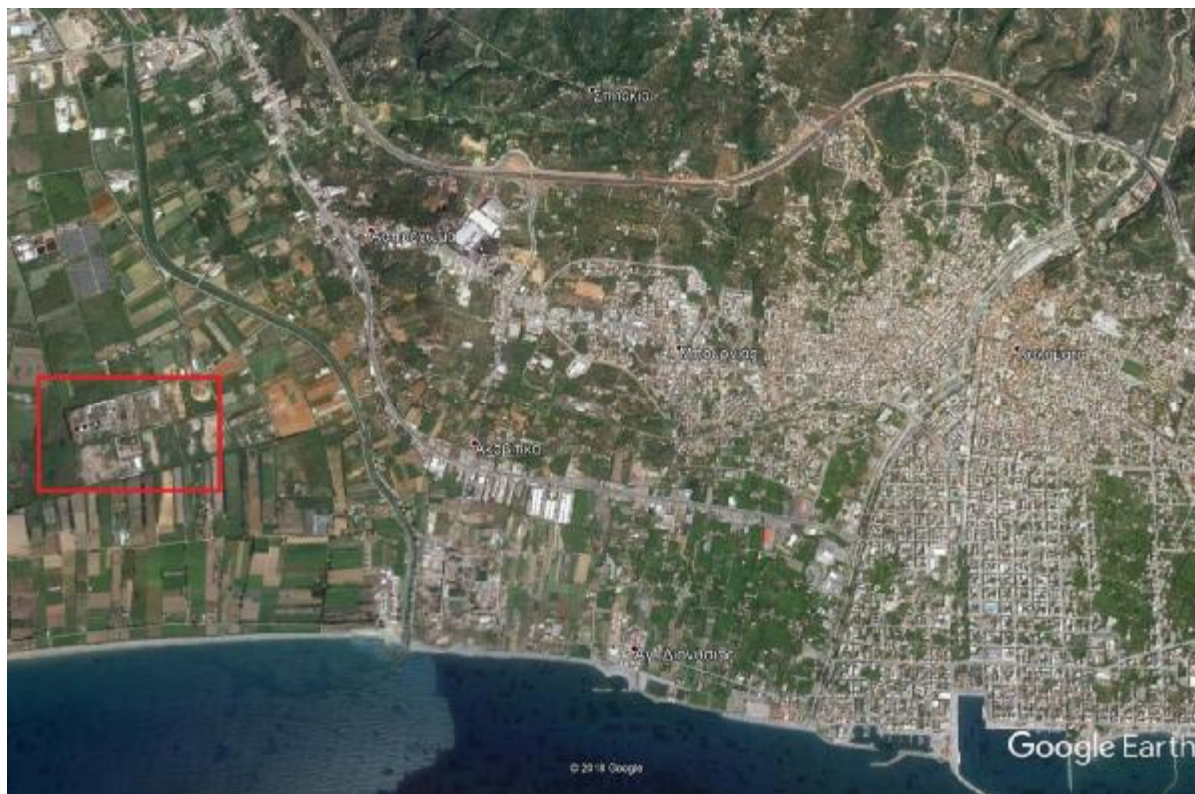
Η Δ.Ε. Αρφαρών παρουσιάζει πεδινό και ορεινό-ημιορεινό χαρακτήρα με έντονη παρουσία βοσκοτόπων. Κατά πλειοψηφία, οι κάτοικοι είναι γεωργοί και κτηνοτρόφοι. Παράγονται ελαιόλαδο, σύκα, κτηνοτροφικές τροφές, κυρίως αραβόσιτο και σιτηρά αλλά και πολλά κηπευτικά προϊόντα. Έντονο είναι και το στοιχείο της κτηνοτροφίας με την εκτροφή κυρίως αιγοπροβάτων, ενώ δραστηριότητα παρουσιάζεται και στη μελισσοκομία. Αυτό οφείλεται στην χλωρίδα και πανίδα της περιοχής με την πληθώρα των λουλουδιών, των αρωματικών φυτών αλλά και του υγρού στοιχείου από τα κεφαλάρια του Πηδήματος και του Αγίου Φλώρου. Στο Πλατύ, μία από τις Τοπικές Κοινότητες, κάθε χρόνο οργανώνονται και διεξάγονται ιπποδρομίες προς τιμήν του Αγίου Γεωργίου.

Η **Δημοτική Ενότητα Θουρίας** έχει έκταση 76,99 km² και πληθυσμό 2.721 (απογραφή 2011). Ήταν Δήμος του Νομού Μεσσηνίας που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής, που αποτέλεσαν στη συνέχεια τα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου. Λειτουργήσε την περίοδο 1999-2010, οπότε και καταργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης και εντάχθηκε ως Δ.Ε.

Θουρίας στον νέο Δήμο Καλαμάτας. Βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Νομού, βόρεια της πόλης της Καλαμάτας. Αποτελείται από 6 τοπικές κοινότητες με έδρα τη Θουρία.

Όλη η έκταση της Δ.Ε. διασχίζεται, με κατεύθυνση από βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά από το ρέμα του Ξερίλα (Τζιρόρρεμα), μεγάλου μήκους, αλλά εποχιακής ροής που χύνεται στον ποταμό Άρι. Αποτελεί φυσικό τοπίο με ιδιαίτερο χαρακτήρα για την ανάδειξη του και την αξιοποίηση του με ήπιας μορφής παρεμβάσεις. Ιδιαίτερου φυσικού κάλλους είναι και οι ορεινοί όγκοι που το περιβάλλουν από τη Θουρία έως και την Πολιανή. Κατά μήκος του ποταμού Άρι, που σε ένα τμήμα του αποτελεί το δυτικό όριο της Δ.Ε και καταλήγει στο Μεσσηνιακό κόλπο υπάρχουν εύφορες γεωργικές εκτάσεις και έχουν πραγματοποιηθεί εκεί οι γεωργικοί αναδασμοί της Άνθειας, της Αιθαίας και της Μικρομάνης. Περιλαμβάνει πεδινές, ημιορεινές και ορεινές εκτάσεις (το βορειοανατολικό τμήμα του Δήμου αποτελεί ορεινή ζώνη με υψόμετρο μεγαλύτερο των 800 μ.) και αποτελείται από αγροτικού χαρακτήρα μικρούς και μεσαίους οικισμούς.

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Καλαμάτας (ΕΕΛΚ) ήταν μία από τις πρώτες εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού στην Ελλάδα. Η ΕΕΛΚ βρίσκεται στην περιοχή Κάμπος του διαμερίσματος Ασπροχώματος του Δήμου Καλαμάτας (**Εικόνα 5**). Η πρόσβαση στην ΕΕΛΚ επιτυγχάνεται από την επαρχιακή οδό Καλαμάτας - Τριπόλεως, μέσω της γέφυρας του ποταμού Άρι. Δέχεται τα λύματα των πόλεων της Καλαμάτας και Μεσσήνης, των παραλιακών οικισμών του Δήμου Αβίας, των Τοπικών Διαμερισμάτων Βέργας, Μ. Μαντίνειας, Ασπροχώματος, Σπερχογείας, Λεϊκών και Αντικαλάμου του Δήμου Καλαμάτας, του Τοπικού Διαμερίσματος Μαυροματίου του Δήμου Μεσσήνης, της ΒΙΠΕ Σπερχογείας και πρόκειται να δεχθεί τα λύματα των Δήμων Αρφαρών, Άριος και Θουρίας.



Εικόνα 5. Η θέση της ΕΕΛ Καλαμάτας (Google Earth, 2019).

Η ΕΕΛΚ βρίσκεται σε γεωργική έκταση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου. Ο ποταμός Άρις ρέει ανατολικά σε απόσταση 1000 m από τη μονάδα. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής αποτελείται από βάλτους που έχουν αποστραγγιστεί και υποστεί αναδάσμο για γεωργική χρήση. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται ψηλά έως τα 0,5 m, δεν χρησιμοποιείται όμως ως πηγή αρδευτικού νερού μέσω αντλήσεων επειδή το νερό είναι υφάλμυρο.

Το υφιστάμενο έργο έχει ολοκληρωθεί σε διάφορες φάσεις από το 1984 μέχρι σήμερα. Αρχικά το έργο είχε σχεδιαστεί για 20.000 κατοίκους, όμως μετά από τη σταδιακή του επέκταση έχει μετατραπεί σε ένα σύγχρονο έργο με δυναμικότητα για 120.000 ισοδύναμους κατοίκους (**Εικόνα 6**).



Εικόνα 6. Οπτική της ΕΕΛ Καλαμάτας από ψηλά (<https://entermessinia.gr>).

Η προβλεπόμενη από τις Τεχνικές Προδιαγραφές μέθοδος επεξεργασίας είναι το σύστημα της Ενεργού Ιλύος με πρωτοβάθμια καθίζησης, συμβατικό αερισμό (Extended Aeration) με ταυτόχρονη βιολογική απομάκρυνση αζώτου και η αερόβια χώνευση της ιλύος. Η απολύμανση του συνόλου των επεξεργασμένων γίνεται με χλωρίωση – αποχλωρίωση.

Η εγκατάσταση αποτελεί μία σύγχρονη μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων και περιλαμβάνει όλα τα στάδια επεξεργασίας και τις παρακάτω μονάδες:

- Μονάδα προεπεξεργασίας, η οποία περιλαμβάνει το αντλιοστάσιο ανύψωσης, εσχάρωση, εξάμμωση και απολίπανση, καθώς και αντλιοστάσιο ενδιάμεσης ανύψωσης.
- Μονάδα πρωτοβάθμιας καθίζησης, στην οποία επιτυγχάνεται σημαντική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.
- Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας.
- Μονάδα τελικής καθίζησης, στην οποία γίνεται διαχωρισμός της λάσπης, δηλαδή των μικροοργανισμών, από τα επεξεργασμένα λύματα.
- Μονάδα απολύμανσης με σύστημα χλωρίωσης προκειμένου να μειωθεί το μικροβιολογικό τους φορτίο, πριν την τελική διάθεσή τους μέσω του αντλιοστασίου εξόδου και του υποθαλάσσιου αγωγού.
- Μονάδα αερόβιας χώνευσης όπου σταθεροποιείται η παραγόμενη ιλύς των πρωτοβάθμιων καθιζήσεων και η περίσσεια ενεργός ιλύς.

- Σύστημα πάχυνσης και μηχανικής αφυδάτωσης το οποίο παρέχει τη δυνατότητα μείωσης του όγκου της ιλύος έως και 95% πριν την τελική αποκομιδή της.

Το κέντρο ελέγχου της εγκατάστασης βρίσκεται εντός διώροφου κτιρίου στο οποίο βρίσκονται επίσης τα γραφεία, το εργαστήριο και οι χώροι εξυπηρέτησης των εργαζομένων. Το έργο περιλαμβάνει επίσης πλήρες οδικό δίκτυο, δίκτυο ομβρίων, δίκτυο με επεξεργασμένα λύματα για άρδευση, καθώς και εγκαταστάσεις αποχέτευσης, πυρόσβεσης, εξωτερικού φωτισμού, τηλεφώνων και αντικεραυνικής προστασίας. Το έργο τίθεται υπό αυτόματο έλεγχο και παρακολούθηση μέσω κεντρικού συστήματος αυτομάτου ελέγχου PLC. Οι εγκαταστάσεις της μονάδας χαρακτηρίζονται από την εφαρμογή τεχνολογιών αιχμής, ιδιαίτερα εξελιγμένων και φιλικών προς το περιβάλλον¹⁴.

3.2. Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας της ΕΕΑ Καλαμάτας

Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η εγκατάσταση. Μετά το 2012 αναβαθμίστηκε η μονάδα αερόβιας χώνευσης (δεξαμενή αερισμού της εργολαβίας του 1984) και οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, ώστε το έργο να μπορεί να λειτουργήσει σαν συμβατικό σύστημα με πρωτοβάθμια καθίζηση και αερόβια σταθεροποίηση της παραγόμενης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος και όχι μόνο σαν σύστημα παρατεταμένου αερισμού (χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση και χώνευση ιλύος).

Τα λύματα εισέρχονται στο αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης στο οποίο γίνεται η αρχική ανύψωση. Στο αντλιοστάσιο υπάρχουν τέσσερις αντλίες Αρχιμήδη, δυναμικότητας 720 m³/h έκαστος, ήτοι συνολικής δυναμικότητας 2.160 m³/h. Από το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης τα λύματα οδηγούνται στην μονάδα εσχάρωσης. Η μονάδα αρχικά αποτελείτο από τρία κανάλια στα δύο από τα οποία είναι εγκατεστημένες δύο αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες και στο τρίτο μία χειροκαθαριζόμενη εσχάρα παράκαμψης. Η μονάδα έχει πλέον μετατραπεί σε μονάδα πρώτης βαθμίδας εσχάρωσης, μετά από την εγκατάσταση δύο νέων αυτοκαθαριζόμενων χονδρο-εσχάρων, ενός κοιλία μεταφοράς και συμπίεσης εσχαρισμάτων, μιας χειροκαθαριζόμενης εσχάρας παράκαμψης με διάκενα και νέου συστήματος απόσμησης του χώρου. Επίσης, έγιναν οι απαραίτητες προσαρμογές και αναβάθμιση και του δομικού μέρους της μονάδας (αντικατάσταση θυρών εισόδου, συντήρηση φέροντος οργανισμού, επιχρίσματα, κ.λπ.). Κατάντη της πρώτης βαθμίδας εσχάρωσης έχει κατασκευαστεί νέα μονάδα λεπτοεσχάρωσης σε νέο κτίριο στο οποίο υπάρχουν δύο κανάλια με δύο αυτόματες λεπτοεσχάρες με διάκενα 6mm και ένα κανάλι παράκαμψης με χειροκαθαριζόμενη εσχάρα με

¹⁴ Σωτηρόπουλος, 2011

διάκενα 20mm. Στην μονάδα επίσης έχει εγκατασταθεί και ο βοηθητικός εξοπλισμός όπως είναι τα θυροφράγματα απομόνωσης, ο κοχλίας μεταφοράς και συμπύκνωσης εσχαρισμάτων, οι κάδοι αποκομιδής και το σύστημα απόσμησης του νέου κτιρίου.

Μετά την λεπτοεσχάρωση τα λύματα οδηγούνται στην μονάδα μέτρησης παροχής – εξάμμιωσης – απολίπανσης η οποία συνίσταται σε κανάλι μέτρησης με στένωση τύπου Venturi. Μετά από το κανάλι μέτρησης παροχής, τα λύματα οδηγούνται στη μονάδα εξάμμιωσης – απολίπανσης. Η μονάδα αποτελείται από δύο δεξαμενές εξάμμιωσης, ικανές να δέχονται το σύνολο της παροχής αιχμής. Οι δεξαμενές εξάμμιωσης – απολίπανσης είναι εξοπλισμένες με δύο παλινδρομικές γέφυρες στις οποίες υπάρχουν ξέστρα πυθμένα και επιφάνειας. Η άμμος μέσω του ξέστρου πυθμένα οδηγείται σε χοάνη στην οποία υπάρχει σταθερή υποβρύχια αντλία άμμου. Από τις δύο αντλίες η άμμος οδηγείται σε διάταξη πλυντρίδας άμμου πριν την αποκομιδή της. Τα λίπη από τα ξέστρα λιπών οδηγούνται σε φρεάτια λιπών με πρόβλεψη εξυδάτωσης, απ' όπου θα απομακρύνονται μέσω βυτιοφόρων. Για τον αερισμό των εξάμμιωτών έχουν εγκατασταθεί τρεις φυσητήρες στον χώρο που είναι εγκατεστημένοι οι φυσητήρες της υφιστάμενης εξάμμιωσης, στο κτίριο του Α/Σ ενδιάμεσης ανύψωσης.

Υπολογισμός της παροχής με βάση τον πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής της Καλαμάτας

Η παροχή των εισερχομένων λυμάτων υπολογίζεται με βάση τον πληθυσμό και την παροχή λυμάτων ανά κάτοικο. Ισχύει:

$$Q = P \cdot q$$

Όπου,

Q = ολική παροχή εισόδου των λυμάτων στην ΕΕΛ

q = παροχή εκάστου κατοίκου,

P = ισοδύναμος πληθυσμός, δηλ.

$$Q = 120.000 \text{ κατ} \cdot 0,15 \text{ m}^3/\text{κατ ημ} = 750 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Τα λύματα στην συνέχεια οδηγούνται στο υφιστάμενο αντλιοστάσιο ενδιάμεσης ανύψωσης το οποίο αντλεί τα λύματα στο φρεάτιο μερισμού των ΔΠΚ. Σε αυτό θα έχουν

εγκατασταθεί τέσσερις φυγοκεντρικές αντλίες λυμάτων, εκ των οποίων η μία είναι εφεδρική, έκαστη δυναμικότητας 720 m³/h σε κατάλληλο μανομετρικό.

Τα αντλούμενα λύματα εξέρχονται από τους καταθλιπτικούς αγωγούς των αντλιών και καταλήγουν στον μεριστή παροχής των πρωτοβάθμιων καθιζήσεων. Από εκεί τα λύματα υπερχειλίζουν μέσω δύο ρυθμιζόμενων υπερχειλιστών σε κάθε πλευρά και έτσι ισοκατανέμονται εντός των δύο καναλιών που οδηγούν στα δύο φρεάτια τροφοδοσίας των ΔΠΚ.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση των λυμάτων γίνεται σε δύο κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 25m εξοπλισμένες με περιστρεφόμενο σαρωτή-ξέστρο ιλύος. Τα λύματα τροφοδοτούνται στο κέντρο της δεξαμενής καθίζησης με αγωγό τοποθετημένο εσωτερικά και ομοαξονικά της κεντρικής κολώνας και υπερχειλίζουν περιμετρικά μέσω οδοντωτού υπερχειλιστή σε περιμετρικό κανάλι εξόδου καθαρών. Τα επιπλέοντα συλλέγονται με το ξέστρο επιφανείας σε κατάλληλη χοάνη και από εκεί σε παράπλευρο φρεάτιο.

Από τις δύο δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, τα λύματα οδηγούνται στις αντίστοιχες οξειδωτικές τάφρους, τύπου Carrousel, στις οποίες διενεργείται η νιτροποίηση και απονιτροποίηση και η οξείδωση του οργανικού φορτίου. Οι δύο δεξαμενές έχουν εναλλασσόμενες ζώνες νιτροποίησης - απονιτροποίησης. Ο όγκος κάθε δεξαμενής είναι 6.780m³. Η δεξαμενή Carrousel της πρώτης γραμμής επεξεργασίας είναι εξοπλισμένη με τρεις επιφανειακούς αεριστήρες σταθερής ταχύτητας ισχύος 90kW, διαμέτρου 2,9m και ταχύτητας περιστροφής 39,2rpm. Η ρύθμιση του παρεχόμενου οξυγόνου στη δεξαμενή γίνεται με μεταβολή της βύθισης των αεριστήρων μέσω αλλαγής της στάθμης της δεξαμενής από τον ηλεκτροκίνητο υπερχειλιστή εξόδου. Η δεύτερη γραμμή διαθέτει δεξαμενή βιοεπιλογής μικροοργανισμών (Selector) όγκου 430m³ ανάντη της Carrousel. Η δεξαμενή Carrousel της δεύτερης γραμμής είναι εξοπλισμένη με τρεις βραδύστροφους επιφανειακούς αεριστήρες με κινητήρα δύο ταχυτήτων διαμέτρου 3m έκαστος. Η ισχύς κάθε κινητήρα είναι 90/40kW με ταχύτητα περιστροφής 37,3 και 24,9rpm αντίστοιχα. Ο συνδυασμός του αριθμού και της ταχύτητας των αεριστήρων δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης του παρεχόμενου οξυγόνου.

Μετά την έξοδο από κάθε δεξαμενή Carrousel το ανάμικτο υγρό οδηγείται σε μεριστή παροχής τελικής καθίζησης και από εκεί μοιράζεται στις δεξαμενές καθίζησης. Στην μονάδα τελικής καθίζησης διαχωρίζεται η λάσπη από τα επεξεργασμένα λύματα. Υπάρχουν πέντε (5) δεξαμενές τελικής καθίζησης, τρεις στην 1^η και δύο στην 2^η γραμμή βιολογικής επεξεργασίας

(**Εικόνα 7**). Όλες οι δεξαμενές είναι κυκλικές διαμέτρου 26m και εφοδιασμένες με ξέστρα σάρωσης της καθιζάνουσας ιλύος και των επιφανειακών αφρολασπών. Οι δεξαμενές σαν δυναμικότητα επαρκούν πλήρως για τις ανάγκες του έργου. Τα λύματα τροφοδοτούνται στο κέντρο κάθε δεξαμενής καθίζησης με αγωγό τοποθετημένο εσωτερικά και ομοαξονικά της κεντρικής κολώνας και υπερχειλίζουν περιμετρικά μέσω οδοντωτού υπερχειλιστή σε περιμετρικό κανάλι εξόδου καθαρών. Τα επιπλέοντα συλλέγονται με το ξέστρο επιφανείας σε κατάλληλη χοάνη και από εκεί σε παράπλευρο φρεάτιο.



Εικόνα 7. Δεξαμενές τελικής καθίζησης της ΕΕΛ Καλαμάτας.

Από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης τα διαυγασμένα λύματα οδηγούνται στην μονάδα απολύμανσης. Ο εξοπλισμός χλωρίωσης και αποχλωρίωσης αποτελείται από δύο δοχεία αποθήκευσης χλωρίου 10 τόνων, δύο δοσομετρικές αντλίες χλωρίου, αυτόματο σύστημα παρασκευής διαλύματος NaHSO_3 για την αποχλωρίωση και δύο δοσομετρικές αποχλωρίωσης. Από την χλωρίωση τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται στο αντλιοστάσιο διάθεσης το οποίο ανυψώνει τα λύματα στην αναρρυθμιστική δεξαμενή φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού εκβολής. Το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει πέντε υποβρύχιες φυγοκεντρικές αντλίες από τις οποίες οι δύο είναι εφεδρικές, δυναμικότητας $695\text{m}^3/\text{h}$.

Η δευτεροβάθμια ιλύς από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης μέσω τηλεσκοπικών δικλιδών, οδηγείται στα δύο αντλιοστάσια περίσσειας (ένα ανά γραμμή), πριν περάσουν στα αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας. Η απομάκρυνση της περίσσειας ιλύος από κάθε αντλιοστάσιο περίσσειας, γίνεται με δύο υποβρύχιες αντλίες που οδηγούν την ιλύ στην δεξαμενή αερόβιας

χώνευσης. Οι αντλίες περίσσειας και τα δίκτυα αυτών οδηγούν την ιλύ στην δεξαμενή ομογενοποίησης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος ανάντη της προπάχυνσης.

Για την ανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος, κάθε μία από τις δύο γραμμές βιολογικής επεξεργασίας είναι εξοπλισμένη με αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος. Σε κάθε αντλιοστάσιο είναι εγκατεστημένοι δύο κοχλίες Αρχιμήδη παροχής 400m³/h έκαστος.

Η πρωτοβάθμια ιλύς από τον πυθμένα κάθε δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης οδηγείται μέσω δύο αντλιών θετικής εκτόπισης στην δεξαμενή χώνευσης. Τέσσερις αντλίες (δύο σε κάθε αντλιοστάσιο) οδηγούν την πρωτοβάθμια ιλύ στη δεξαμενή ομογενοποίησης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος ανάντη της πάχυνσης. Η δεξαμενή αποτελεί ενιαίο δομικό σύνολο με την μονάδα προπάχυνσης και είναι αναδευόμενη και αεριζόμενη με σύστημα αερισμού και ανάμιξης. Η μονάδα προπάχυνσης περιέχει τις αντλίες τροφοδοσίας πάχυνσης, οι οποίες είναι θετικής εκτόπισης και αναρροφούν από την δεξαμενή και τροφοδοτούν δύο μηχανικούς παχυντές. Από τους μηχανικούς παχυντές, η παχυνμένη λάσπη οδηγείται στην δεξαμενή παχυνμένης ιλύος (υφιστάμενος παχυντής). Για την αποθήκευση της παχυνμένης ιλύος και την σταδιακή τροφοδότηση της μονάδας χώνευσης ο ένας από τους υφιστάμενους παχυντές (δυτικός) έχει μετατραπεί σε δεξαμενή παχυνμένης ιλύος. Η παχυνμένη λάσπη αντλείται από τον πυθμένα της δεξαμενής και μέσω του αντλιοστασίου τροφοδοσίας της χώνευσης οδηγείται στην δεξαμενή αερόβιας χώνευσης.

Η μικτή παχυνμένη ιλύς οδηγείται με συγκέντρωση 5% σε στερεά στην υφιστάμενη δεξαμενή χώνευσης. Για την εν λόγω συγκέντρωση και όγκο της ιλύος η δεξαμενή επαρκεί πλήρως (χρόνος παραμονής μεγαλύτερος των 20 ημερών) για την χώνευση της λάσπης. Στη δεξαμενή έχει εγκατασταθεί νέο σύστημα αερισμού αποτελούμενο από τρεις φυσητήρες, εκ των οποίων ο ένας εφεδρικός και σύστημα διαχυτών ελαστικής μεμβράνης μεσαίας φυσαλίδας.

Η χωνεμένη ιλύς αντλείται από το αντλιοστάσιο χωνεμένης ιλύος και οδηγείται στην δεξαμενή χωνεμένης ιλύος. Το αντλιοστάσιο αποτελείται από δύο αντλίες θετικής εκτόπισης, εκ των οποίων η μία εφεδρική. Από την δεξαμενή χωνεμένης ιλύος η λάσπη οδηγείται στην μονάδα αφυδάτωσης. Η μονάδα λειτουργεί 5ήμερο και 8ωρο και περιλαμβάνει το αντλιοστάσιο τροφοδοσίας που αποτελείται από δύο αντλίες τροφοδοσίας, ένα φυγόκεντρο αφυδάτωσης και το σύστημα παρασκευής και δοσομέτρησης πολυηλεκτρολύτη. Η αποκομιδή της ιλύος γίνεται με κοχλίες σε οχήματα αποκομιδής.

Στην ΕΕΛ έχει κατασκευασθεί μονάδα υποδοχής και προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων για την εξυπηρέτηση των γύρω περιοχών. Η μονάδα μπορεί να εξυπηρετήσει την εκκένωση δύο βυτιοφόρων ταυτόχρονα. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν δύο γραμμές που έκαστη περιλαμβάνει ταχυσύνδεσμο, ηλεκτροβάννα, λιθοπαγίδα και αυτόματη εσχάρα. Από τις εσχάρες τα βοθρολύματα οδηγούνται σε δεξαμενή εξισορρόπησης, ενώ τα εσχαρίσματα συλλέγονται και συμπιέζονται σε κατάλληλο κοχλία – συμπιεστή πριν την αποκομιδή τους. Η δεξαμενή έχει όγκο 460m^3 για την ικανή εξισορρόπηση των βοθρολυμάτων (έως και 900m^3 ημερησίως το θέρος) και περιέχει σύστημα αερισμού και ανάμιξης. Τα βοθρολύματα οδηγούνται στην μονάδα εσχάρωσης των λυμάτων μέσω δύο αντλιών, εκ των οποίων η μία εφεδρική. Για τον έλεγχο των βυτίων υπάρχει σύστημα καρτών και μετρητές pH.

4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

4.1. Μέθοδοι πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού.

Για την πρόβλεψη του πληθυσμού έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες μπορεί να βασίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις ή γραφικές προσεγγίσεις της εξέλιξης του πληθυσμού, σε σχέσεις της πληθυσμιακής ανάπτυξης μεταξύ διαφορετικών περιοχών, στην ανάλυση του ρυθμού μεταβολής ομάδων ηλικιών του πληθυσμού καθώς και σε σχέσεις που αναφέρονται στη μελλοντική απασχόληση¹⁵.

Οι γραφικές μέθοδοι στηρίζονται στις τάσεις που έχουν διαμορφωθεί και θεωρούν ότι η ανάπτυξη του πληθυσμού μιας περιοχής ακολουθεί κατά βάση τους φυσικούς νόμους 'ώστε να μπορεί να εκφραστεί με μαθηματικές σχέσεις όπως συνηθίζεται στη μελέτη των πληθυσμιακών μεταβολών σε βιολογικά συστήματα. Η λογική της πρόβλεψης στηρίζεται στην προέκταση των μέχρι σήμερα διαμορφωμένων τάσεων στο μέλλον. Τα στοιχεία από τις μέχρι σήμερα απογραφές (ανά δεκαετία) αναλύονται και αναζητείται η καμπύλη που περιγράφει καλύτερα την αύξηση του πληθυσμού.

Οι κυριότερες μέθοδοι πρόβλεψης του μελλοντικού πληθυσμού είναι:

- Ø Η μέθοδος της αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης, στην οποία θεωρείται ότι ο πληθυσμός αυξάνεται με σταθερό ρυθμό κάθε έτος. Εάν Y_t είναι ο πληθυσμός σε χρόνο t , τότε $dY_t/dt = k_a$, όπου k_a είναι μια σταθερά που ονομάζεται ρυθμός αύξησης και αντιστοιχεί στους κατοίκους που προστίθενται κάθε έτος στον εξεταζόμενο πληθυσμό. Οι τιμές της σταθεράς k_a υπολογίζονται από διαθέσιμα στοιχεία απογραφών και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η μέση τιμή προκειμένου να γίνει πρόβλεψη του πληθυσμού σε ένα μελλοντικό έτος. Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για βραχυχρόνια πρόβλεψη του πληθυσμού (1-5 χρόνια).
- Ø Η μέθοδος της γεωμετρικής ανάπτυξης, στην οποία θεωρείται ότι ο πληθυσμός αυξάνεται αναλογικά με τον πληθυσμό αυτού του έτους. Εάν Y_t είναι ο πληθυσμός σε χρόνο t , τότε ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι $dY_t/dt = k_g \cdot Y_t$. Η σταθερά k_g ονομάζεται σταθερά του γεωμετρικού ρυθμού ανάπτυξης. Από τα διαθέσιμα απογραφικά στοιχεία υπολογίζεται η σταθερά k_g για κάθε δεκαετία. Η σταθερά k_g που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη εκτιμάται από τις τιμές k_g που υπολογίστηκαν από τις προηγούμενες δεκαετίες. Για τον υπολογισμό της σταθεράς k_g χρησιμοποιούνται

¹⁵ Τσώνης, 2003

τιμές Y_1 και Y_2 για τον πληθυσμό που αντιστοιχούν σε γειτονικές χρονικές τιμές T_1 και T_2 ($T_2 > T_1$). Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για βραχυχρόνια πρόβλεψη του πληθυσμού (1-5 χρόνια).

- Ø Η **μέθοδος με μειούμενο ρυθμό αύξησης**, στην οποία θεωρείται ότι ο πληθυσμός φτάνει ασυμπτωτικά σε μια τιμή κορεσμού. Η αύξηση του πληθυσμού γίνεται με γοργό ρυθμό στην αρχή (όταν ο πληθυσμός είναι μικρός) και επιβραδύνεται καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, για να γίνει μηδενικός όταν ο πληθυσμός φτάσει στην τιμή κορεσμού.
- Ø Η **πρόβλεψη πληθυσμού με τη λογιστική μέθοδο**, στην οποία ο ρυθμός ανάπτυξης του πληθυσμού εμφανίζεται με πολύ μικρές τιμές όταν ο πληθυσμός είναι μικρός. Επίσης ο πληθυσμός δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από εκείνον που αντιστοιχεί στην τιμή κορεσμού. Ο ρυθμός αύξησης αυξάνεται καθώς ο πληθυσμός παίρνει ενδιάμεσες τιμές και φτάνει σε μια μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί περίπου στη χρονική στιγμή που ο πληθυσμός έχει πλησιάσει το 50% της τελικής τιμής κορεσμού του. Στη συνέχεια μειώνεται ο ρυθμός αύξησης και τείνει προς το μηδέν καθώς ο πληθυσμός τείνει προς την τιμή κορεσμού.
- Ø Η **γραφική - συγκριτική μέθοδος** στηρίζεται στη σύγκριση της γραφικής παράστασης της πληθυσμιακής ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής με αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις για άλλες περιοχές που έχουν συγκρίσιμα χαρακτηριστικά ανάπτυξης και μεγαλύτερο πληθυσμό (πέρασαν σε προηγούμενες χρονικές περιόδους από το επίπεδο του σημερινού πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής).
- Ø Η **μέθοδος των λόγων**. Οι παράγοντες που επηρεάζουν (επιταχύνουν ή επιβραδύνουν) την ανάπτυξη του πληθυσμού είναι διαχτυτικοί και έχουν την τάση να εκδηλώνονται ταυτόχρονα σε ευρύτερες περιφέρειες ή ακόμη και σε ολόκληρη τη χώρα. Οι κοινωνικές και πολιτικές συνθήκες σε μια χώρα που επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά το ρυθμό γεννήσεων επηρεάζουν επίσης αντίστοιχα και άλλες παραμέτρους της πληθυσμιακής ανάπτυξης. Έτσι ο ρυθμός πληθυσμιακής ανάπτυξης σε μια πόλη ή περιοχή σχετίζεται μέχρι κάποιου βαθμού με το ρυθμό αύξησης σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Η μέθοδος των λόγων στηρίζεται στη θεώρηση ότι ο πληθυσμός της υπό μελέτη περιοχής δείχνει τις ίδιες τάσεις με τον πληθυσμό μιας ευρύτερης περιφέρειας ή ακόμη και με τον πληθυσμό ολόκληρης της χώρας. Από τα διαθέσιμα απογραφικά στοιχεία υπολογίζονται οι λόγοι του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής

προς τον πληθυσμό μιας ευρύτερης περιφέρειας αναφοράς και γίνεται εκτίμηση του λόγου αυτού για μια μελλοντική χρονική περίοδο. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του παραπάνω λόγου και την πρόβλεψη του πληθυσμού για την ευρύτερη περιφέρεια γίνεται η πρόβλεψη για την υπό μελέτη περιοχή.

- Ø Πρόβλεψη πληθυσμού με βάση τη μελέτη των επί μέρους ομάδων ηλικιών. Μια ομάδα ηλικιών της περιοχής είναι το σύνολο των ανθρώπων της περιοχής που έχουν γεννηθεί σε κάποια ορισμένη χρονική περίοδο. Από την ανάλυση των απογραφών πληθυσμού των προηγούμενων δεκαετιών προκύπτει ο πληθυσμός κάθε ομάδων ηλικιών. Από τα στοιχεία του ρυθμού γεννήσεων και θανάτων καθώς και από τα στοιχεία των εισροών-εκροών του πληθυσμού υπολογίζεται ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού για κάθε ομάδα. Η τελική πρόβλεψη γίνεται με μεταφορά των πληθυσμιακών στοιχείων από ομάδα σε ομάδα μέχρι να φτάσουμε στο έτος σχεδιασμού.

4.2. Επιλογή μεθόδου πρόβλεψης μελλοντικού πληθυσμού

Η στάση του μελετητή, γενικότερα, απέναντι σε αυτές τις μεθόδους πρέπει να είναι κριτική, λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά τις ιδιαιτερότητες της υπό μελέτη περιοχής, καθώς στηρίζονται σε διαφορετικές υποθέσεις και συνήθως προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Επομένως, κατά την πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, εκτός από το πλήθος των διαθέσιμων απογραφικών στοιχείων και ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης (βραχυχρόνια ή μακροχρόνια) και τα παρακάτω¹⁶:

- Η κυβερνητική πολιτική για την ανάπτυξη των πόλεων και οικισμών.
- Τα κυβερνητικά προγράμματα βιομηχανικής ανάπτυξης.
- Ο βαθμός εμπορικής και βιοτεχνικής ανάπτυξης.
- Η τουριστική ανάπτυξη της περιοχής.
- Οι τάσεις μετακίνησης του πληθυσμού της περιοχής από τα μικρότερα προς τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα ή και αντίστροφα. Παράλληλα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι διεθνώς επικρατούσες τάσεις όπως και οι σχετικές προβλέψεις (π.χ. το φαινόμενο της αστυφιλίας).
- Οι παροδικές μετακινήσεις τοπικού πληθυσμού, που αναφέρονται κυρίως στη μετανάστευση και τον επαναπατρισμό.

¹⁶ Στρατηγάκη, 2008

- Οι ιδιαιτερότητες των τοπικών συνθηκών, καθώς και των συνθηκών σε εθνικό επίπεδο.
- Η ανάπτυξη της πόλης ή του οικισμού κατά το παρελθόν.
- Ο ρυθμός γεννήσεων / θανάτων της περιοχής.
- Το σχέδιο οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής.

4.3. Πρόβλεψη μελλοντικού πληθυσμού του Δήμου Καλαμάτας.

Στη συνέχεια έγινε πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού για το Δήμο Καλαμάτας για τα έτη 2031, 2041. Για την εύρεση του μελλοντικού πληθυσμού χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι υπολογισμού:

A. Η μέθοδος της αριθμητικής ή γραμμικής ανάπτυξης.

B. Η μέθοδος της γεωμετρικής ανάπτυξης.

Με βάση τις δύο αυτές μεθόδους υπολογίζονται οι πληθυσμοί του Δήμου Καλαμάτας για τα έτη 2031 και 2041. Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Πίνακας 2. Απογραφή πληθυσμού του Δήμου Καλαμάτας για τα έτη 1971 - 2011¹⁷.

Έτος	1971	1981	1991	2001	2011
Πληθυσμός (κάτοικοι)	39462	42075	43625	61373	70130

A. Μέθοδος αριθμητικής ανάπτυξης

Κατά την αριθμητική μέθοδο υποτίθεται ότι ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι σταθερός, δηλαδή ισχύει ότι:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta t} = k_a$$

Όπου: k_a είναι ο συντελεστής σταθερής αυξήσεως που δίνεται από τη σχέση:

$$k_a = \frac{Y_1 - Y_2}{Dt}$$

Y_1 και Y_2 είναι οι απογραφές του πληθυσμού κατά τα έτη t_1 και t_2 ,

¹⁷ <https://el.wikipedia.org/wiki>

$$Dt = t_1 - t_2$$

Ο μελλοντικός πληθυσμός μετά από n έτη δίνεται από τη σχέση:

$$Y_n = Y_o + k_a \times n$$

Όπου: Y_n είναι ο πληθυσμός μετά από n έτη και Y_o είναι ο σημερινός πληθυσμός.

Άρα ο υπολογισμός έγινε ως εξής:

$$Y_{2011} = Y_{2001} + k_a \times 10 \quad \text{Π} \quad k_a = \frac{Y_{2011} - Y_{2001}}{10} \quad \text{Π} \quad k_a = \frac{70130 - 61373}{10} \quad \text{Π} \quad k_a = 876 \text{ κάτοικοι/έτος}$$

Για το έτος 2031 έχουμε:

$$Y_{2031} = Y_{2011} + k_a \times 20 \quad \text{Π} \quad Y_{2031} = 70130 + 876 \times 20 \quad \text{Π} \quad Y_{2031} = 87650 \text{ κάτοικοι}$$

Για το έτος 2041 έχουμε:

$$Y_{2041} = Y_{2011} + k_a \times 30 \quad \text{Π} \quad Y_{2041} = 70130 + 876 \times 30 \quad \text{Π} \quad Y_{2041} = 96410 \text{ κάτοικοι}$$

B. Μέθοδος γεωμετρικής ανάπτυξης

Κατά την γεωμετρική μέθοδο υποτίθεται ότι ο ρυθμός αύξησης είναι ανάλογος του πληθυσμού, δηλαδή ισχύει ότι:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = k_g \times \Delta t$$

Όπου: k_g είναι ο συντελεστής αυξήσεως που δίνεται από τη σχέση:

$$k_g = \frac{\ln Y_1 - \ln Y_2}{Dt}$$

Y_1 και Y_2 είναι οι απογραφές του πληθυσμού κατά τα έτη t_1 και t_2 ,

$$Dt = t_1 - t_2$$

Ο μελλοντικός πληθυσμός μετά από n έτη δίνεται από τη σχέση:

$$Y_n = Y_o \times \exp(k_g \times n)$$

Όπου: Y_n είναι ο πληθυσμός μετά από n έτη και Y_o είναι ο σημερινός πληθυσμός.

Άρα ο υπολογισμός έγινε ως εξής:

$$\frac{Y_{2011}}{Y_{2001}} = e^{k_g \times 10} \quad \text{p} \quad k_g = \frac{1}{10} \ln \frac{97201}{70130} \quad \text{p} \quad k_g = \frac{1}{10} \ln \frac{70130}{61373} \quad \text{p} \quad k_g = 0.0134$$

Για το έτος 2031 έχουμε:

$$\frac{Y_{2031}}{Y_{2011}} = e^{k_g \times 20} \quad \text{p} \quad Y_{2031} = Y_{2011} \times e^{k_g \times 20} \quad \text{p} \quad Y_{2031} = 70130 \times e^{0.0134 \times 20} \quad \text{p} \quad Y_{2031} = 91685 \text{ κάτοικοι}$$

Για το έτος 2041 έχουμε:

$$\frac{Y_{2041}}{Y_{2011}} = e^{k_g \times 30} \quad \text{p} \quad Y_{2041} = Y_{2011} \times e^{k_g \times 30} \quad \text{p} \quad Y_{2041} = 70130 \times e^{0.0134 \times 30} \quad \text{p} \quad Y_{2041} = 104831 \text{ κάτοικοι}$$

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

Ο σχεδιασμός μιας δεξαμενής καθίζησης βασίζεται στον αναμενόμενο τύπο καθίζησης κατά τη λειτουργία της. Στην πράξη η ανάλυση και η αξιοποίηση πειραματικών στοιχείων για το σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης καταλήγει στην ανάπτυξη τιμών σχεδιασμού. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα κριτήρια σχεδιασμού είναι¹⁸:

Ταχύτητα υπερχειλίσης (ή επιφανειακή ταχύτητα υπερχειλίσης), $m^3/m^2 \cdot d$ Υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής του νερού που τροφοδοτείται (m^3/d) με το επιφανειακό εμβαδόν της δεξαμενής (m^2).

Χρόνος παραμονής, h. Υπολογίζεται μετά από διαίρεση του όγκου της δεξαμενής (m^3) με την τροφοδοτούμενη παροχή νερού (m^3/h).

Ρυθμός υπερχειλίσης (ή γραμμική ταχύτητα υπερχειλίσης), $m^3/m^2 \cdot d$. Υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής του νερού που τροφοδοτείται (m^3/d) με το μήκος από το οποίο υπερχειλίζει η εκροή του επεξεργασμένου νερού (m)

Ελάχιστος αριθμός δεξαμενών. Ο αριθμός των δεξαμενών καθίζησης που είναι απαραίτητες για να μην αντιμετωπίζονται προβλήματα κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας (από διακοπές, επισκευές, συντήρηση κ.λπ.). Σε μικρές εγκαταστάσεις ο ελάχιστος αριθμός δεξαμενών είναι συνήθως 2.

Φόρτιση στερεών (ή επιφανειακή φόρτιση στερεών), $kg/m^2 \cdot d$. Υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής των στερεών που τροφοδοτούνται (kg/d) με το επιφανειακό εμβαδόν της δεξαμενής (m^2).

Ελάχιστη ροή στερεών, $kg/m^2 \cdot d$. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται μετά από πειραματικές μελέτες καθίζησης του μικτού υγρού βιολογικών συστημάτων αιωρούμενης βιομάζας και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του επιφανειακού εμβαδού της δεξαμενής καθίζησης που χρησιμοποιείται.

5.1. Παράμετροι σχεδιασμού δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης

Ο καλός σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης στοχεύει στην εξασφάλιση κατάλληλου χρόνου παραμονής των λυμάτων κάτω από συνθήκες σχετικής ηρεμίας ώστε να επιτυγχάνεται η αφαίρεση των καθιζανόντων στερεών. Η απόδοση των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες:

¹⁸ Τσώνης, 2004

- Û Από τις τυρβώδεις συνθήκες στην περιοχή εισόδου που οφείλονται στην ενέργεια της τροφοδοτούμενης παροχής λυμάτων.
- Û Από επιφανειακά ανεμογενή ρεύματα.
- Û Από κατακόρυφα ρεύματα που οφείλονται στο σχεδιασμό των διατάξεων εξόδου.
- Û Από ρεύματα πυκνότητας που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τροφοδοτούμενων λυμάτων και του περιεχομένου της δεξαμενής καθίζησης.
- Û Από ρεύματα που δημιουργούνται από την κίνηση των διατάξεων αφαίρεσης λάσπης και επιπλεόντων.

Με βάση τα παραπάνω αρκετές παράμετροι όπως η επιφανειακή ταχύτητα υπερχειλίσης, ο ρυθμός υπερχειλίσης (γραμμική ταχύτητα υπερχειλίσης), ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, το σχήμα και οι διαστάσεις της δεξαμενής, οι διατάξεις ομοιομορφοποίησης των συνθηκών ροής στην είσοδο και την έξοδο καθώς και οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση της ιλύος και των επιπλεόντων αποτελούν στοιχεία τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον επιτυχή σχεδιασμό δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Στον **Πίνακα 3** αναφέρονται οι λειτουργικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης αστικών λυμάτων.

Πίνακας 3. Λειτουργικές παράμετροι δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Πρωτοβάθμια καθίζηση πριν από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής, h	1,5 - 2,5	2,0
Ρυθμός υπερχειλίσης, m ³ /m·d	125 - 500	250
Επιφανειακή ταχύτητα υπερχειλίσης, m ³ /m ² ·d -με βάση τη μέση παροχή -με βάση την παροχή αιχμής	30 - 50 70 - 130	40 100
Πρωτοβάθμια καθίζηση μαζί με επιστρεφόμενη περίσσεια ενεργού ιλύος		
Υδραυλικός χρόνος παραμονής, h	1,5 - 2,5	2,0
Ρυθμός υπερχειλίσης, m ³ /m·d	125 - 500	250
Επιφανειακή ταχύτητα υπερχειλίσης, m ³ /m ² ·d -με βάση τη μέση παροχή -με βάση την παροχή αιχμής	24 - 32 48 - 70	29 50

Στον **Πίνακα 4** δίδονται οι συνήθεις διαστάσεις ορθογωνικών και κυκλικών δεξαμενών καθίζησης που χρησιμοποιούνται για την πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων. Οι διαστάσεις επιλέγονται με βάση την παροχή των λυμάτων που πρέπει να αντιμετωπιστεί, την ανάγκη για σχεδιασμό σε παράλληλες μονάδες που να είναι κατάλληλες για ανεξάρτητη λειτουργία και τις διαστάσεις του συνήθους εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 4. Διαστάσεις δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης αστικών λυμάτων.

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Ορθογωνική δεξαμενή		
Μήκος, m	10 - 100	25 - 60
Μήκος / Πλάτος	1 - 7,5	4
Μήκος / Βάθος	4,2 - 25,0	7 - 18
Πλευρικό βάθος υγρού, m	2,5 - 5,0	3,5
Πλάτος, m	3 - 24	6 - 10
Κυκλική δεξαμενή		
Διάμετρος, m	3 - 60	10 - 40
Πλευρικό βάθος υγρού, m	3 - 6	4

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 και η επιφανειακή φόρτιση. 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.

Στον **Πίνακα 5** φαίνονται τα στάδια και οι σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων σχεδιασμού μιας δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ).

Πίνακας 5. Στάδια σχεδιασμού μιας δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Παράμετρος σχεδιασμού	Εξίσωση υπολογισμού
Επιφάνεια (A), m ²	$A = \frac{Q}{q}$, όπου Q η μέση παροχή αποβλήτων
Για κυκλική ΔΠΚ Διάμετρος (d), m	$d = 2\sqrt{\frac{A}{\rho}}$
Όγκος (V), m ³	$V = Q\theta$, όπου θ ο χρόνος παραμονής
Βάθος (H), m	$H = \frac{V}{A}$
Μήκος υπερχειλιστή, m	Μήκος = $2 \cdot \pi r$, όπου r : ακτίνα της ΔΠΚ
Φόρτιση υπερχειλιστή, m ³ /m μήκους d	Φόρτιση = $\frac{Q}{2\rho}$
Μάζα απομακρυνόμενων SS, Kg/d	% ποσοστό απομάκρυνσης SS*αρχική συγκέντρωση SS*Q
Παροχή λάσπης (Q _l), m ³ /d	$Q_l \frac{M}{1000C_l S}$, όπου M: μάζα στερεών που απομακρύνονται, Kg/d C _l : συγκέντρωση στερεών λάσπης, % S : ειδική βαρύτητα λάσπης, Kg/m ³

5.2. Σχεδιασμός δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης για το Δήμο Καλαμάτας

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται διαστασιολόγηση και σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης για την Ε.Ε.Λ. του Δήμου Καλαμάτας. Ο σχεδιασμός θα γίνει για κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Στις κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης η ροή είναι ακτινική¹⁹. Η τροφοδότηση των δεξαμενών αυτών είναι δυνατόν να γίνεται από το κέντρο είτε από περιμετρικό κανάλι κατάλληλου σχεδιασμού. Συνήθως στην περίπτωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης αστικών λυμάτων χρησιμοποιούνται δεξαμενές που τροφοδοτούνται από το κέντρο και τούτο οφείλεται κυρίως στο ότι παρουσιάζονται προβλήματα εμφράξεων στα περιμετρικά κανάλια τροφοδότησης.

Η κλίση του πυθμένα των κυκλικών δεξαμενών καθίζησης είναι προς το κέντρο και η συνήθης τιμή της είναι 12/1 (οριζόντια / κατακόρυφη). Σε μερικές περιπτώσεις (κυρίως σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης) η αφαίρεση της λάσπης γίνεται με ειδικά συστήματα σωληνώσεων αναρρόφησης. Στην περίπτωση που γίνεται αναρρόφηση της λάσπης η απαιτούμενη κλίση της δεξαμενής περιορίζεται στην τιμή που είναι απαραίτητη για τη

¹⁹ Τσώνης, 2004

στράγγιση της δεξαμενής. Το ύψος των πλευρικών τοιχωμάτων πρωτοβάθμιων κυκλικών δεξαμενών είναι γύρω στα 3 m.

Όταν γίνεται σχεδιασμός με σταθερή γέφυρα η οποία εκτείνεται καθ' όλη τη διάμετρο της δεξαμενής χωρίς δοκό στήριξης, τότε η συνήθης τιμή της διαμέτρου της δεξαμενής είναι μέχρι 15 m. Όταν πρόκειται για μεγαλύτερες διαμέτρους είναι προτιμότερος ο σχεδιασμός με κεντρική δοκό στήριξης²⁰.

Η παροχή των λυμάτων εξαρτάται από

- τον αριθμό κατοίκων,
- την ύπαρξη ή όχι και την ποσότητα βιοτεχνικών, βιομηχανικών, εμπορικών ή τουριστικών εγκαταστάσεων, χώρων αναψυχής,
- το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων,
- το κλίμα,
- την στεγανότητα του δικτύου (εισροή, απώλειες).

Στην Ελλάδα, η παροχή των λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί ίση με το 80% της κατανάλωσης νερού²¹:

- 150 l/κάτοικο/ημέρα σε μικρούς οικισμούς,
- 250 l/κάτοικο/μέρα σε μεγάλες πόλεις
- 300 - 600 l/κάτοικο/μέρα σε τουριστικές περιοχές

Άρα για την περίπτωση του Δήμου της Καλαμάτας, η παροχή των λυμάτων θα υπολογιστεί σύμφωνα με την εκτίμηση του πληθυσμού για το έτος 2041 που έγινε στις προηγούμενες παραγράφους.

Η εκτίμηση του πληθυσμού του Δήμου Καλαμάτας για το έτος 2041 με τη μέθοδο αριθμητικής ανάπτυξης ήταν 96410 κάτοικοι, ενώ με τη μέθοδο γεωμετρικής ανάπτυξης ήταν 104831 κάτοικοι. Για ασφάλεια η τιμή που θα επιλεγεί για τους υπολογισμούς είναι η δυσμενέστερη. Άρα θα υπολογίσουμε την παροχή σχεδιασμού των λυμάτων για τιμή πληθυσμού σχεδιασμού ίσου με 105000 κατοίκους.

²⁰ Τσώνης, 2004

²¹ <https://docplayer.gr/36142088-Ygra-apovlita-lymata.html>

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η παροχή των λυμάτων μπορεί να θεωρηθεί ίση με το 80% της κατανάλωσης νερού, η οποία είναι 250 l/κάτοικο/μέρα σε μεγάλες πόλεις. Άρα για το Δήμο Καλαμάτας θα ισχύει ότι:

$$Q = Y_{2041} \cdot 250 \text{ l/cap/day} = 105000 \cdot 250 = 26250000 \text{ l/day} = 26250 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$Q_{\text{λυμάτων}} = 0,8 \cdot Q = 0,8 \cdot 26250 = 21000 \text{ m}^3/\text{day}$$

Αριθμός δεξαμενών

Ο τυπικός αριθμός δεξαμενών για τέτοιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι 2 δεξαμενές²². Άρα θα προχωρήσουμε στο σχεδιασμό για 2 τουλάχιστον όμοιες δεξαμενές. Έτσι η παροχή σχεδιασμού σε κάθε δεξαμενή θα είναι 10500 m³/day.

Όγκος δεξαμενών

Έπειτα με βάση την παροχή σχεδιασμού και το χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή θα υπολογίσουμε τον όγκο της κάθε δεξαμενής. Η τυπική τιμή του χρόνου παραμονής των λυμάτων είναι 2 ώρες (**Πίνακας 3**). Άρα ισχύει για τον όγκο της δεξαμενής ότι:

$$\text{Όγκος } V = \text{Παροχή σχεδιασμού} \cdot \text{Χρόνος παραμονής} \text{ (Πίνακας 5)}$$

όπου η παροχή σχεδιασμού πρέπει να υπολογιστεί σε m³/h

$$Q_{\text{σχ}} = 10500 \text{ m}^3/\text{day} = 10500/24 \text{ m}^3/\text{h} = 437,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Άρα: } V = 437,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 \text{ h} = 875 \text{ m}^3$$

Επιφάνεια δεξαμενών

Με βάση τον όγκο της δεξαμενής θα υπολογίσουμε την επιφάνεια της δεξαμενής θεωρώντας πλευρικό βάθος υγρού ίσο με 4 m, τιμή η οποία θεωρείται τυπική στη βιβλιογραφία (**Πίνακας 4**).

$$\text{Επιφάνεια: } E = \text{Όγκος/πλευρικό βάθος υγρού} = 875 \text{ m}^3/4 \text{ m} = 218,75 \text{ m}^2$$

²² Τσώνης, 2004

Διάμετρος δεξαμενών

Αφού υπολογίσαμε την επιφάνεια, μπορούμε να υπολογίζουμε και τη διάμετρο της δεξαμενής δεδομένου ότι έχουμε κυκλικές δεξαμενές.

$$E = 218,75 \text{ m}^2 = \pi d^2/4 \rightarrow \pi d^2 = 875 \rightarrow d^2 = 278,5 \rightarrow d^2 = 278,52 \rightarrow d = 16,7 \text{ m}$$

Για λόγους ασφαλείας θα επιλέξουμε σαν διάμετρο την ακριβώς μεγαλύτερη ακέραια τιμή. Άρα η διάμετρος της δεξαμενής θα είναι ίση με 17 m. Η τιμή αυτή είναι μέσα στις τυπικές τιμές σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Πίνακας 4).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην πράξη η ανάλυση και η αξιοποίηση πειραματικών στοιχείων για το σχεδιασμό δεξαμενών καθίζησης καταλήγει στην ανάπτυξη τιμών σχεδιασμού με συγκεκριμένα κριτήρια. Με βάση τις τιμές που υπολογίσαμε θα ελέγξουμε αν ικανοποιούνται αυτά τα κριτήρια.

Κριτήριο 1: Ταχύτητα υπερχείλισης

Η ταχύτητα υπερχείλισης ή επιφανειακή ταχύτητα υπερχείλισης υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής του νερού που τροφοδοτείται με το επιφανειακό εμβαδόν της δεξαμενής. Άρα ο υπολογισμός της γίνεται ως εξής:

$$V_{\text{υπερχείλισης}} = Q/E = 10500/218,75 = 48 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Πίνακας 3) η τιμή που υπολογίστηκε είναι μέσα στα όρια 35-50 και κοντά στην τυπική τιμή για πρωτοβάθμια καθίζηση πριν από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία.

Κριτήριο 2: Χρόνος παραμονής

Η τιμή του χρόνου παραμονής επιλέχθηκε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ίση με 2 ώρες, η οποία είναι και η τυπική τιμή. Άρα το κριτήριο ικανοποιείται.

Κριτήριο 3: Ρυθμός υπερχείλισης

Ο ρυθμός υπερχείλισης ή γραμμική ταχύτητα υπερχείλισης υπολογίζεται μετά από διαίρεση της παροχής του νερού που τροφοδοτείται με το μήκος από το οποίο υπερχειλίζει η εκροή του επεξεργασμένου νερού.

Το μήκος υπερχειλίσης **L** υπολογίζεται ως εξής (Πίνακας 5):

$$L = 2 \cdot \pi r, \text{ όπου } r : \text{ ακτίνα της } \Delta\text{ΠΚ}$$

$$L = \pi \cdot d = \pi \cdot 17 = \mathbf{53,4 \text{ m}}$$

Άρα για τον υπολογισμό του ρυθμού υπερχειλίσης **P** έχουμε:

$$P = Q/L = 10500/53.4 = \mathbf{196,63 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Πίνακας 3) η τιμή που υπολογίστηκε είναι μέσα στα όρια 125-500 και σχετικά κοντά στην τυπική τιμή για πρωτοβάθμια καθίζηση πριν από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία.

Άρα μετά του υπολογισμούς ο σχεδιασμός των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης έχει ολοκληρωθεί και παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 6. Τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης για το Δήμο της Καλαμάτας.

Αριθμός δεξαμενών	2 δεξαμενές
Όγκος δεξαμενής	875 m ³
Επιφάνεια δεξαμενής	218,75 m ²
Διάμετρος	17 m
Πλευρικό βάθος υγρού	4 m
Χρόνος παραμονής	2 ώρες
Μήκος υπερχειλίσης	53,4 m
Ρυθμός υπερχειλίσης	196,63 m ³ /m ² ·d

6. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

6.1. Εισαγωγή

Εδώ και περισσότερο από εκατό χρόνια, έχει παρατηρηθεί ότι η διαδικασία αυτοκαθαρισμού του νερού στα ποτάμια, στα ρυάκια, στις λίμνες αλλά και στα θαλάσσια υδάτινα περιβάλλοντα, έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη υδρόβιων μικροοργανισμών και φυτικών σχηματισμών (βρύα, λειχήνες κλπ.), που σχηματίζουν ένα βιολογικό στρώμα πάνω στις πέτρες των υδάτινων αποδεκτών. Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καταναλώνοντας το οργανικό υπόστρωμα του νερού, συντελώντας έτσι στον καθαρισμό του από τους ρύπους που περιέχει²³.

Τα βιολογικά φίλτρα είναι μία από τις μεθόδους επεξεργασίας που αναπτύχθηκαν προκειμένου να αντιγράψουν αυτή την φυσική διεργασία, επιταχύνοντάς την με έναν οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο, έτσι ώστε να αναπτυχθεί μια ικανοποιητική μέθοδος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στόχος ήταν να παρασχεθεί μια κατάλληλη επιφάνεια ανάπτυξης των μικροοργανισμών, έτσι ώστε να μπορούν να έρχονται σε επαναλαμβανόμενη επαφή με το απόβλητο και με τον αέρα, που θα τους παρέχει το κατάλληλο υπόστρωμα και το οξυγόνο για την ανάπτυξή τους. Έτσι, παράλληλα με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών γίνεται και ο καθαρισμός του αποβλήτου από τους οργανικούς ρύπους που περιέχει.

Η αποτελεσματικότητα ενός βιολογικού φίλτρου εξαρτάται από τον βαθμό βιοχημικής οξείδωσης του οργανικού υποστρώματος, το οποίο, βάσει του ισοζυγίου μάζας και ενέργειας, μετατρέπεται σε βιομάζα, δηλαδή σε νέους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται, και σε ενέργεια που απελευθερώνεται ως θερμότητα στο μέσο. Επίσης, ένα ποσοστό της εισερχόμενης οργανικής μάζας, 5 έως 15%, παραμένει στο απόβλητο και εξέρχεται από το βιολογικό φίλτρο σε διαλυτή μορφή, ή ως αιωρούμενα σωματίδια.

Στην βιβλιογραφία υπάρχει ένα πλήθος εμπειρικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί από διάφορους ερευνητές και που προβλέπουν την απόδοση ενός βιολογικού φίλτρου, αλλά και συσχετίζουν τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. Η μελέτη των βιολογικών φίλτρων μπορεί να έχει επιστημονικό και τεχνοοικονομικό ενδιαφέρον και σήμερα, παρόλο που οι πρώτες εξισώσεις αναπτύχθηκαν στην δεκαετία του 1940. Πράγματι, η εξέλιξη της σχετικής τεχνογνωσίας και τεχνολογίας έχει επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα του

²³ Λώλη, 2006

επεξεργασμένου αποβλήτου, με αποτέλεσμα οι διεργασίες βιολογικών φίλτρων να μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν και ως προχωρημένες μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

6.2. Γενικά για τα βιολογικά φίλτρα

Τα βιολογικά φίλτρα (trickling filters, Εικόνα 8) είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και χρησιμοποιούνται εδώ και εκατό χρόνια περίπου, τόσο για τα αστικά, όσο και για τα βιομηχανικά απόβλητα. Σαν ορισμό, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το βιολογικό φίλτρο είναι ένας βιολογικός αντιδραστήρας μη βεβυθισμένης σταθεράς κλίνης με πληρωτικό υλικό από πέτρα ή πλαστικό, πάνω από το οποίο διοχετεύεται συνεχώς το προς επεξεργασία απόβλητο.



Εικόνα 8. Βιολογικό φίλτρο στο Ηνωμένο Βασίλειο²⁴.

Η αρχή λειτουργίας ενός βιολογικού φίλτρου είναι η εξής: πάνω στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού αναπτύσσεται ένα βιολογικό στρώμα ιλύος, το οποίο περιέχει πολλά είδη μικροοργανισμών, όπως αερόβια και αναερόβια βακτήρια, μύκητες, άλγη και πρωτόζωα, αλλά και ανώτερους οργανισμούς, όπως σκουλήκια, νύμφες εντόμων και σαλιγκάρια. Το υπόστρωμα των ρύπων που περιέχεται στο απόβλητο υφίσταται βιολογική διάσπαση από

²⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Trickling_filter

τους μικροοργανισμούς του βιολογικού στρώματος, οπότε μειώνεται αισθητά το BOD του αποβλήτου. Η διάσπαση του οργανικού υποστρώματος γίνεται με προσρόφιση του οργανικού υλικού του αποβλήτου στο στρώμα της ιλύος, όπου και υφίσταται βιολογική αποδόμηση. Εκτός από το πληρωτικό υλικό, που αποτελεί την καρδιά του βιολογικού φίλτρου, άλλα στοιχεία που το απαρτίζουν είναι μία δοσομετρική διάταξη εφαρμογής του αποβλήτου στο φίλτρο, το σύστημα αποστράγγισης του εξερχόμενου υγρού και η διάταξη που περιέχει το πληρωτικό υλικό.

Η διάταξη εφαρμογής του αποβλήτου, συνήθως είναι ένα υδραυλικό ή ηλεκτρικό σύστημα με περιστροφικούς βραχίονες που διαθέτουν ανοίγματα τοποθετημένα έτσι ώστε η παροχή του αποβλήτου ανά μονάδα επιφάνειας του φίλτρου να είναι ομοιόμορφη. Η εφαρμογή του αποβλήτου γίνεται συνήθως στην κορυφή του βιολογικού φίλτρου, ενώ η περιστροφή των βραχιόνων γίνεται είτε λόγω της ροής του αποβλήτου είτε με ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου, οπότε γίνεται καλύτερος σχεδιασμός της ταχύτητας περιστροφής.

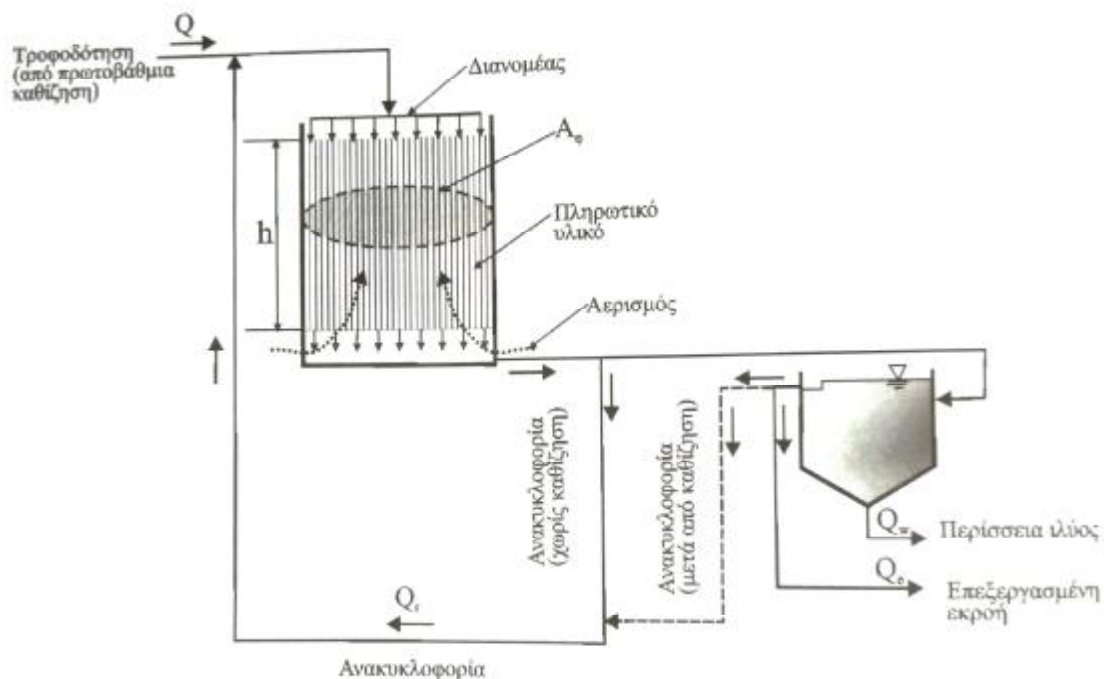
Το σύστημα αποστράγγισης έχει πορώδη δομή και είναι κατασκευασμένο από υαλοποιημένη άργιλο ή fiberglass. Μέσα από την πορώδη δομή του απομακρύνεται το επεξεργασμένο υγρό απόβλητο, αλλά και διευκολύνεται η κυκλοφορία του αέρα μέσα από την μάζα του πληρωτικού υλικού, έτσι ώστε να παρέχεται οξυγόνο στους μικροοργανισμούς για την διάσπαση του οργανικού φορτίου.

Ο πύργος που περιέχει το πληρωτικό υλικό, μπορεί να έχει διατομή κυκλική, τετραγωνική ή άλλου σχήματος, ενώ το ύψος του όταν το πληρωτικό υλικό είναι από πέτρα, κυμαίνεται από 0.9 έως 2.5m, με μέσο όρο 1.8m. Το ύψος των πύργων με πλαστικό πληρωτικό υλικό είναι από 4 έως 12m. Στο παρελθόν, ως πληρωτικό υλικό χρησιμοποιούνταν οι κροκάλες, σήμερα όμως στα περισσότερα φίλτρα έχουν αντικατασταθεί από πλαστικό, ενώ πρακτικά σε όλα τα βιολογικά φίλτρα που κατασκευάζονται σήμερα χρησιμοποιείται πλαστικό πληρωτικό υλικό. Πριν από την είσοδό του στο βιολογικό φίλτρο, το απόβλητο εισάγεται σε δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, όπου μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωση των οργανικών ρύπων (BOD) και τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), αλλά και απομακρύνονται τυχόν μεγαλύτερα σωματίδια που μπορεί να οδηγήσουν στο φράξιμο του βιολογικού φίλτρου. Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης χρησιμοποιείται πάντα όταν το πληρωτικό υλικό είναι από πέτρα, και τις περισσότερες φορές όταν χρησιμοποιείται πλαστικό πληρωτικό υλικό. Στην δεύτερη περίπτωση, αντί της πρωτοβάθμιας δεξαμενής μπορεί να τοποθετηθεί ένα φίλτρο συγκράτησης των ογκωδών σωματιδίων, και κυρίως των ελαφρών σωματιδίων από πλαστικό ή ελαστικό.

Μετά την έξοδο του από το βιολογικό φίλτρο, το απόβλητο οδηγείται μέσω του συστήματος αποστράγγισης σε δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης, όπου γίνεται διαχωρισμός των στερεών από το υγρό. Συνήθως, ένα ποσοστό του υγρού αποβλήτου που εξέρχεται από το βιολογικό φίλτρο ή από την δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης, ανακυκλώνεται και οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία είτε στην είσοδο του βιολογικού φίλτρου είτε στην πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης. Αυτό γίνεται για την μείωση του φορτίου BOD του εισερχόμενου αποβλήτου, αλλά και για να παρέχεται στο φίλτρο η υγρασία που απαιτείται ώστε να διατηρείται υγρός ο βιολογικός υμένας. Η υγρασία είναι απαραίτητη για την φυσιολογική ανάπτυξη των βακτηριδίων του βιολογικού υμένα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση εμφανίζεται πτώση στην απόδοση του φίλτρου.

6.3. Ταξινόμηση Βιολογικών Φίλτρων

Στην Εικόνα 9 φαίνεται το διάγραμμα ροής ενός τμήματος μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων που περιλαμβάνει το σταλαγματικό (βιολογικό) φίλτρο και την αντίστοιχη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης.



Εικόνα 9. Διάγραμμα ροής σταλαγματικού φίλτρου²⁵.

Το φίλτρο τροφοδοτείται με πρωτοβάθμια καθιζημένα λύματα για να αποφεύγονται προβλήματα εμφράξεων από ευμέγεθες υλικό (καθιζάνοντα στερεά των λυμάτων). Η ανακυκλοφορούμενη παροχή λαμβάνεται είτε πριν από τη δευτεροβάθμια δεξαμενή

²⁵ Τσώνης, 2004

καθίζησης είτε μετά τη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης. Σημειώνεται ότι εάν η ανακυκλοφορούμενη παροχή είναι εκροή από τη δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης τότε η δεξαμενή αυτή θα πρέπει να σχεδιάζεται με βάση και αυτό το στοιχείο ώστε να μην παρατηρούνται προβλήματα με την ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής καθώς μεταβάλλεται το επίπεδο ανακυκλοφορίας στο σταλαγματικό φίλτρο. Τα σταλαγματικά φίλτρα κατατάσσονται ανάλογα με την υδραυλική και οργανική φόρτιση σε διάφορες κατηγορίες, όπως χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής φόρτισης.

Η οργανική ογκομετρική φόρτιση (ΟΟΦ, $\text{kg BAO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) αναφέρεται στην ποσότητα οργανικού υλικού που τροφοδοτείται ανά ημέρα ($\text{kg BAO}_5/\text{d}$) και ανά μονάδα όγκου (m^3) κλίνης πληρωτικού υλικού (όγκος κλίνης πληρωτικού υλικού = οριζόντια διατομή κλίνης x βάθος κλίνης). Η ογκομετρική οργανική φόρτιση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΟΟΦ} = \text{QS}/(\text{A}_\phi \cdot \text{h})$$

όπου: ΟΟΦ = η ογκομετρική οργανική φόρτιση, $\text{kg BAO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$

$$\text{Q} = \text{η τροφοδοτούμενη παροχή (πρωτοβάθμια καθιζήμενα λύματα), } \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{S} = \text{η συγκέντρωση BAO}_5 \text{ στα τροφοδοτούμενα λύματα, } \text{kg BAO}_5/\text{m}^3$$

$$\text{A}_\phi = \text{το εμβαδόν της οριζόντιας διατομής της κλίνης, } \text{m}^2$$

$$\text{h} = \text{το βάθος της κλίνης, } \text{m}$$

Η υδραυλική φόρτιση της κλίνης του πληρωτικού υλικού οφείλεται τόσο στα τροφοδοτούμενα λύματα (παροχή Q) όσο και στην ανακυκλοφορούμενη παροχή Q_r και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΥΦ} = (\text{Q} + \text{Q}_r)/\text{A}_\phi$$

όπου: ΥΦ = η υδραυλική φόρτιση, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

$$\text{Q} = \text{η τροφοδοτούμενη παροχή (πρωτοβάθμια καθιζήμενα λύματα), } \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{Q}_r = \text{η ανακυκλοφορούμενη παροχή, } \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{A}_\phi = \text{το εμβαδόν της οριζόντιας διατομής της κλίνης, } \text{m}^2$$

Η επιφανειακή οργανική φόρτιση (ΕΟΦ) αναφέρεται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού (π.χ. επιφάνεια των χαλικιών της κλίνης όταν το πληρωτικό υλικό είναι χαλίκια) και όχι στην επιφάνεια της οριζόντιας διατομής της κλίνης του πληρωτικού υλικού. Η Επιφανειακή οργανική φόρτιση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΟΟΦ} = \text{QS}/(\text{A}_\phi \text{ha})$$

$$\text{ΕΟΦ} = 08$$

όπου α = η ειδική επιφάνεια του πληρωτικού υλικού από το οποίο αποτελείται η κλίνη, m^2/m^3

Τα βιολογικά φίλτρα μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το μέγεθος της επιφανειακής ή της οργανικής φόρτισης που δέχονται, καθώς και ανάλογα με το είδος του πληρωτικού υλικού, που μπορεί να είναι από πέτρα ή από πλαστικό. Η επιφανειακή φόρτιση ορίζεται ως ο ολικός όγκος υγρού αποβλήτου που διέρχεται μέσα από το φίλτρο ανά μονάδα επιφάνειας της κάθετης διατομής του και ανά μονάδα χρόνου. Στο διεθνές σύστημα μετράται συνήθως σε $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, ή σε $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ενώ στο αμερικάνικο μετρικό σύστημα οι μονάδες μέτρησης είναι το mgd/ac (εκατομμύρια γαλόνια ανά ημέρα και ανά ακρ), το $\text{gpm}/\text{sq ft}$ (γαλόνια ανά λεπτό και ανά τετραγωνικό πόδι), ή το $\text{m}^3/(\text{ha} \cdot \text{d})$ (κυβικό μέτρο ανά εκτάριο και ανά ημέρα). Η οργανική φόρτιση ενός φίλτρου ορίζεται ως η μάζα του BOD του αποβλήτου που εφαρμόζεται σε αυτό ανά μονάδα όγκου και ανά μονάδα χρόνου, και μετράται σε $\text{kg BOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ή $\text{lb}/(1000 \text{ cu ft} \cdot \text{d})$ (λίβρες ανά χίλια κυβικά πόδια και ανά ημέρα). Επίσης μπορεί να οριστεί και ως μάζα του BOD ανά μονάδα επιφάνειας της κάθετης διατομής και ανά μονάδα χρόνου, οπότε μετράται σε $\text{kg BOD}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, και αναφέρεται ως επιφανειακή οργανική φόρτιση.

Όταν υπάρχει ανακύκλωση αποβλήτου στο βιολογικό φίλτρο, ο υπολογισμός της επιφανειακής και της οργανικής φόρτισης γίνεται πιο σύνθετος. Ορισμένες εμπειρικές εξισώσεις υπολογισμού της απόδοσης συνυπολογίζουν και την ανακύκλωση και χρησιμοποιούν την ολική επιφανειακή φόρτιση, ενώ άλλες όχι. Ο υπολογισμός της οργανικής φόρτισης είναι πιο πολύπλοκος γιατί το απόβλητο που εισέρχεται στο φίλτρο υφίσταται αραίωση λόγω της ανακύκλωσης. Η αραίωση αυτή πρέπει να υπολογιστεί ξεχωριστά ανάλογα με την συγκεκριμένη διάταξη ανακύκλωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε εγκατάσταση, οπότε συχνά αγνοείται η επίδρασή της στην οργανική φόρτιση, και χρησιμοποιείται κάποιος παράγοντας αύξησης της απόδοσης λόγω της ανακύκλωσης.

Υπάρχει μια ιστορική ταξινόμηση των φίλτρων με πληρωτικό υλικό από πέτρα σε χαμηλής φόρτισης, μέσης φόρτισης και μεγάλης φόρτισης, ενώ τα φίλτρα με πλαστικό πληρωτικό υλικό αναφέρονται συνήθως ως μεγάλης φόρτισης ή «ταχείας επεξεργασίας». Για την παραπάνω ταξινόμηση λαμβάνεται υπόψη και ο χρησιμοποιούμενος λόγος αναρροής, ενώ

εκτιμάται και το αναμενόμενο εύρος τιμών της απόδοσης απομάκρυνσης BOD. Τα παραπάνω συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 7)

Πίνακας 7. Ιστορική ταξινόμηση των βιολογικών φίλτρων βάσει της επιφανειακής και της οργανικής φόρτισης²⁶.

Χαρακτ/κά Σχεδιασμού	Χαμηλής Φόρτισης	Μέσης Φόρτισης	Μεγάλης Φόρτισης	Μεγάλης Φόρτισης	Ταχείας Επεξεργασίας
Πληρωτικό υλικό	Πέτρα	Πέτρα	Πέτρα	Πλαστικό	Πέτρα ή Πλαστικό
Επιφανειακή φόρτιση (m ³ /m ² *d)	1 – 4	4 – 10	10 – 40	10 – 75	40 – 200
	1.0 – 3.6	3.6 – 9.4	9.4 – 36	14.2 – 86.4	57.6 – 170.4
	0.9 – 3.7	3.7 – 9.3	9.3 – 37.2	13.9 – 83.6	55.7 – 167.2
Οργανική φόρτιση (kg BOD /m ³ *d)	0.07 – 0.22	0.24 – 0.48	0.4 – 2.4	0.6 – 3.2	> 1.5
	0.07 – 0.22	0.26 – 0.51	0.4 – 1.8	–	–
	0.08 – 0.24	0.24 – 0.50	0.5 – 2.4	≤ 5	> 1.6
	0.07 – 0.22	0.26 – 0.51	0.37 – 1.83	–	–
	0.08 – 0.24	0.24 – 0.48	0.48 – 2.4	≤ 4.8	> 1.6
Λόγος αναροής (R)	0	0 - 1	1 - 2	1 - 2	0 - 2
Ύψος πληρ. υλικού (m)	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	3.0 – 12.2	0.9 – 6.0
Απόδοση απομάκρ/σης BOD	0.8 – 0.9	0.5 – 0.8	0.5 – 0.9	0.6 – 0.9	0.4 – 0.7

Τα φίλτρα χαμηλής φόρτισης συνήθως έχουν κυκλική ή ορθογώνια διατομή, και μπορούν να παράσχουν σταθερή ποιότητα εξερχόμενου αποβλήτου για εισερχόμενο απόβλητο μεταβαλλόμενης ισχύος. Πολλές φορές απαιτείται ανακύκλωση μέρους του αποβλήτου, ιδιαίτερα στις μικρές εγκαταστάσεις, για να μην δημιουργούνται ανωμαλίες στην τροφοδοσία λόγω των μικρών παροχών κατά την διάρκεια της νύχτας. Οι διακοπές στην παροχή αποβλήτου, όταν διαρκούν περισσότερο από μία ή δύο ώρες μειώνουν την απόδοση επεξεργασίας, γιατί μεταβάλλεται η σύσταση του βιολογικού υμένα του φίλτρου λόγω έλλειψης υγρασίας. Στα φίλτρα χαμηλής φόρτισης, ο βιολογικός υμένας αναπτύσσεται μόνο

²⁶ Λώλη, 2006

στο ανώτερο στρώμα του πληρωτικού υλικού, σε βάθος 0.6 έως 1.2 m, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος αναπτύσσονται περισσότερο αυτότροφα βακτήρια που επιτελούν νιτροποίηση της αμμωνίας.

Τα φίλτρα μέσης ή μεγάλης φόρτισης είναι συνήθως κυκλικής διατομής, η ροή του αποβλήτου σε αυτά είναι συνεχής και χρησιμοποιείται ανακύκλωση μέρους του αποβλήτου που εξέρχεται είτε από το βιολογικό φίλτρο, είτε από την δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης. Η ανακύκλωση παρέχει στο σύστημα μεγαλύτερη οργανική φόρτιση, και μεγαλύτερη επιφανειακή φόρτιση, που επιτρέπει την καλύτερη κατανομή του αποβλήτου σε όλη τη μάζα του πληρωτικού υλικού, καλύτερη ρύθμιση του πάχους του βιολογικού υμένα και μεγαλύτερη παροχή οξυγόνου. Επίσης προφυλάσσει από την έμφραξη του πληρωτικού υλικού. Για το σκοπό αυτό, στα φίλτρα με πληρωτικό υλικό από πέτρα, το εύρος της οργανικής φόρτισης που χρησιμοποιείται συνήθως κυμαίνεται από 0.3 έως 1.0 kg/(m³·d). Στα συστήματα μέσης ή μεγάλης φόρτισης, αλλά και σε όλα τα συστήματα βιολογικών φίλτρων, μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο φίλτρα σε σειρά, τα οποία πρακτικά συμπεριφέρονται σαν ένα φίλτρο του ίδιου συνολικού ύψους.

Τα βιολογικά φίλτρα «ταχείας επεξεργασίας» χρησιμοποιούνται περισσότερο πριν από δευτεροβάθμια επεξεργασία, γιατί σε αυτά γίνεται μόνο μερική απομάκρυνση του BOD. Το πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα επεξεργασίας πολύ ισχυρών αποβλήτων με σχετικά μικρή κατανάλωση ενέργειας, χωρίς όμως να επιτυγχάνονται αξιόλογες αποδόσεις (40-70%).

Σήμερα η ταξινόμηση των βιολογικών φίλτρων γίνεται περισσότερο βάσει του βαθμού επεξεργασίας που επιτυγχάνεται, και όχι βάσει της επιφανειακής ή της οργανικής φόρτισης. Ως εκ τούτου, ο διαχωρισμός σε φίλτρα χαμηλής, μέσης και μεγάλης φόρτισης είναι περισσότερο ιστορικής σημασίας. Έτσι, σήμερα τα βιολογικά φίλτρα διαχωρίζονται σε ταχείας επεξεργασίας, που όπως αναφέραμε ακολουθούνται από δεύτερο στάδιο επεξεργασίας και απομακρύνουν το διαλυτό BOD (SBOD) σε ποσοστό 50 έως 75%, και οξειδώνουν το ολικό BOD σε ποσοστό 30 έως 45%, και σε φίλτρα πλήρους επεξεργασίας από τα οποία μετά την καθίζηση στερεών το απόβλητο εξέρχεται έχοντας τις απαιτούμενες τιμές BOD και TSS (ολικά αιωρούμενα στερεά), που μπορεί να είναι αρκετά χαμηλές. Επίσης, υπάρχουν φίλτρα ταυτόχρονης οξείδωσης BOD και νιτροποίησης, που προσδίδουν στο απόβλητο τις απαιτούμενες τιμές BOD, TSS και αμμωνιακού αζώτου. Τέλος τα βιολογικά φίλτρα νιτροποίησης ανήκουν στην τριτοβάθμια επεξεργασία και προσδίδουν στο απόβλητο την επιθυμητή τιμή αμμωνιακού αζώτου, αφού έχει περάσει από δευτεροβάθμια επεξεργασία

και καθίζηση. Στην παρούσα εργασία, θα ασχοληθούμε με τα βιολογικά φίλτρα πλήρους επεξεργασίας ως προς το περιεχόμενο BOD και TSS του αποβλήτου.

6.4. Παράμετροι σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων

Στα περισσότερα φίλτρα, η ανακύκλωση εφαρμόζεται με επιστροφή ενός μέρους του επεξεργασμένου αποβλήτου από την έξοδο του βιολογικού φίλτρου στην είσοδό του, πριν περάσει από την δευτεροβάθμια καθίζηση, υπάρχουν όμως και άλλες διατάξεις που μπορεί να εφαρμοστεί. Σε πολλές περιπτώσεις, η ανακύκλωση γίνεται μετά την δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης, οπότε ανακυκλώνεται το απόβλητο μετά την κατακάθιση των στερεών. Ο λόγος αναρροής R ορίζεται ως το πηλίκο της παροχής του ανακυκλωμένου αποβλήτου, προς την παροχή του αποβλήτου στο σύστημα²⁷.

Η ανακύκλωση του επεξεργασμένου αποβλήτου στο βιολογικό φίλτρο καταρχάς δεν είναι απαραίτητη, εφόσον η βιομάζα είναι προσκολλημένη στο πληρωτικό υλικό και δεν απαιτείται ο συνεχής εμπλουτισμός του εισερχόμενου αποβλήτου με μικροοργανισμούς, όπως συμβαίνει στην διεργασία της ενεργού ιλύος. Πάντως, η ανακύκλωση του αποβλήτου εμπλουτίζει το φίλτρο με μεγαλύτερη ποσότητα και ποικιλία μικροοργανισμών. Η ανακύκλωση έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες εφαρμογές βιολογικών φίλτρων ως ένα μέσο αύξησης της απόδοσης. Έχει παρατηρηθεί ότι στα φίλτρα με πληρωτικό υλικό από πέτρα, η χρήση ανακύκλωσης αυξάνει την απόδοση του συστήματος, ενώ σε αυτά με πλαστικό πληρωτικό υλικό, η ανακύκλωση διασφαλίζει την ικανοποιητική διαβροχή σε όλη τον όγκο του φίλτρου. Όσον αφορά στα φίλτρα με κροκάλες, η ανακύκλωση ποσότητας του αποβλήτου στο φίλτρο μπορεί να αυξήσει την απόδοση σε φίλτρα μικρού βάθους (1m), ενώ η ανακύκλωση σε φίλτρα μεγαλύτερου βάθους (2 - 2.6m) έχει περισσότερο οικονομικά οφέλη, παρά αυξάνει την απόδοση.

Με την ανακύκλωση αυξάνεται η ολική επιφανειακή φόρτιση του φίλτρου, δηλαδή η συνολική παροχή αποβλήτου ανά μονάδα επιφάνειας της κάθετης διατομής του φίλτρου και ανά μονάδα χρόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή του αποβλήτου σε όλη την μάζα του πληρωτικού υλικού, αυξάνει την μεταφορά οξυγόνου που είναι απαραίτητο για την οξειδωση του οργανικού υποστρώματος, και μειώνει την πιθανότητα ύπαρξης κάποιων περιοχών της επιφάνειας του πληρωτικού υλικού που παραμένουν ξηρές ή διαβρέχονται μόνο μερικώς από το απόβλητο.

²⁷ Λώλη, 2006

Η μεγαλύτερη παροχή αποβλήτου που επιτυγχάνεται με την ανακύκλωση δημιουργεί δυνάμεις που παρασύρουν την επιπλέον ανάπτυξη του βιολογικού υμένα, και έτσι αποφεύγεται η έμφραξη του φίλτρου από την υπερβολική συσσώρευση στερεών. Βέβαια, η παροχή δεν πρέπει να είναι τόσο μεγάλη ώστε να παρασύρει όλη την μάζα του βιολογικού υμένα, οπότε στην περίπτωση αυτή δεν γίνεται καμία επεξεργασία του αποβλήτου. Η πιθανότητα να υπάρχει ένα μέρος του οργανικού υποστρώματος που δεν ήλθε σε επαφή με την μάζα των μικροοργανισμών κατά την πρώτη διέλευση από το φίλτρο, υπερβαίνεται με την δεύτερη διέλευσή του μέσα από αυτό. Πάντως, όταν έχει γίνει σωστός σχεδιασμός της τροφοδοσίας του φίλτρου με απόβλητο και όταν όλο το πληρωτικό υλικό διαβρέχεται πλήρως από το απόβλητο, ο παράγοντας αυτός δεν είναι τόσο σημαντικός.

Όταν το απόβλητο ανακυκλώνεται μετά την διέλευσή του από κάποια δεξαμενή καθίζησης, συνήθως από την δευτεροβάθμια δεξαμενή που ακολουθεί το βιολογικό φίλτρο, η ανακύκλωση συμβάλλει στην εξάλειψη των διακυμάνσεων στην παροχή του αποβλήτου κατά την διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Στην πράξη το ανακυκλούμενο απόβλητο αραιώνει το εισερχόμενο όταν έχει αυξημένο φορτίο BOD, ενώ όταν είναι πολύ αραιό το εμπλουτίζει. Έτσι, η λειτουργία του φίλτρου είναι πιο ομαλή και αυξάνεται η απόδοση επεξεργασίας, η οποία επηρεάζεται αρνητικά από τις μεγάλες διακυμάνσεις στο BOD του εισερχόμενου λύματος. Όταν το ανακυκλούμενο απόβλητο περνάει μέσα από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, ανανεώνει το λιμνάζον απόβλητο και έτσι μειώνεται το φαινόμενο του αφρισμού. Όμως, συχνά η ανακύκλωση δημιουργεί υπερβολική επιφανειακή φόρτιση στην πρωτοβάθμια δεξαμενή. Η συνεχής επιστροφή αποβλήτου από την δευτεροβάθμια στην πρωτοβάθμια δεξαμενή μεταφέρει και μέρος της λάσπης και βοηθά στην καλύτερη μεταφορά οξυγόνου.

Η ανακύκλωση αυξάνει την απόδοση διαβροχής του πληρωτικού υλικού, και αποφεύγεται το πέρασμα μέρους του αποβλήτου μέσα από το φίλτρο χωρίς να υποστεί επεξεργασία. Επίσης, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των εντόμων που αναπτύσσονται μέσα σε ένα βιολογικό φίλτρο, όπως οι μύγες, και γενικά είναι ένας απλός τρόπος αύξησης του βαθμού απόδοσης, χωρίς ιδιαίτερη αύξηση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης.

Με την ανακύκλωση γίνεται αύξηση της επιφανειακής φόρτισης του φίλτρου, όπως αναφέραμε. Προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση, η επιφανειακή φόρτιση και επομένως η απόδοση διαβροχής πρέπει να υπερβαίνει μια ελάχιστη τιμή, που σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, πρέπει να είναι τουλάχιστον $0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Τα πρώτα χρόνια που χρησιμοποιήθηκε το πλαστικό πληρωτικό υλικό, συνήθως το βάθος των βιολογικών φίλτρων

ξεπερνούσε τα 6m και η ελάχιστη επιφανειακή φόρτιση υπερβαινόταν χωρίς να απαιτείται ανακύκλωση, σε αντίθεση με πύργους μικρότερου βάθους όπου η ανακύκλωση ήταν επιβεβλημένη. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και πύργοι μικρού βάθους με πλαστικό πληρωτικό υλικό και μικρότερη επιφανειακή φόρτιση ($0.11 - 0.30 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$), με μικρότερη απόδοση απομάκρυνσης BOD. Όταν η οργανική φόρτιση ενός φίλτρου είναι τουλάχιστον $0.5 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, τότε η ανακύκλωση δεν είναι απαραίτητη κατά την διάρκεια ενός ημέρας, βοηθά όμως στην διατήρηση της απαραίτητης υγρασίας στο πληρωτικό υλικό κατά την διάρκεια της νύχτας που η φόρτιση είναι πολύ μικρότερη.

Η επιλογή του λόγου αναρροής R που θα χρησιμοποιηθεί σε μια εγκατάσταση εξαρτάται από την επίδραση που έχει στην απόδοση του φίλτρου, αλλά και από το λειτουργικό κόστος, καθώς αυτό αυξάνεται με την αύξηση του R. Συνήθως, ο λόγος αναρροής κυμαίνεται από 0.5 έως 4, και σε ορισμένες περιπτώσεις που αφορούν ισχυρά βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να φθάνει και το 10. Πάντως, όσον αφορά στα βιολογικά φίλτρα με κροκάλες, η αύξηση του R περισσότερο από την τιμή 4 πρακτικά δεν αυξάνει την απόδοση και είναι απαγορευτική από άποψη κόστους.

Σε πολλές περιπτώσεις προτιμάται η ανακύκλωση του αποβλήτου αφού έχει περάσει και από την δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης, γιατί έχει βρεθεί ότι έτσι αυξάνεται η απόδοση του συστήματος. Αυτό όμως προϋποθέτει ότι έχει γίνει προσεκτικός σχεδιασμός της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης, έτσι ώστε να μην δέχεται επιφανειακή φόρτιση μεγαλύτερη από τις προδιαγραφές της, ιδιαίτερα στις ώρες αιχμής που η παροχή είναι μεγαλύτερη, γιατί διαφορετικά η απόδοση μειώνεται αντί να αυξάνεται. Το ίδιο ισχύει και για την πρωτοβάθμια δεξαμενή σε περίπτωση που το ανακυκλούμενο απόβλητο επιστρέφει σε αυτήν.

Προκειμένου να αποφεύγεται ο κίνδυνος υπερβολικής φόρτισης των δεξαμενών καθίζησης, σε πολλές περιπτώσεις προτιμάται η ανακύκλωση του αποβλήτου απευθείας μετά την έξοδό του από το βιολογικό φίλτρο, και μπορεί να επιστρέφει πάλι στην είσοδο του φίλτρου ή στην πρωτοβάθμια δεξαμενή. Ορισμένοι ερευνητές μάλιστα έχουν βρει ότι η απόδοση των συστημάτων που εφαρμόζουν ανακύκλωση του αποβλήτου μετά την δευτεροβάθμια καθίζηση, δεν διαφέρει σημαντικά από εκείνη των συστημάτων που ανακυκλώνουν το απόβλητο αμέσως μετά την έξοδό του από το βιολογικό φίλτρο. Τέλος, υποστηρίζεται ότι για τα φίλτρα με κροκάλες, ο παράγοντας που επηρεάζει τελικά την απόδοση δεν είναι η διάταξη της ανακύκλωσης αλλά ο λόγος αναρροής R, δηλαδή το ποσό του ανακυκλούμενου αποβλήτου.

6.5. Διαδικασία σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων

Τυπικά για το σχεδιασμό ενός βιολογικού φίλτρου πρέπει να δίδονται ως δεδομένα²⁸:

- η παροχή Q
- το οργανικό φορτίο εισροής S_i
- η απαιτούμενη απομάκρυνση S_e

Τα ζητούμενα του προβλήματος σχεδιασμού είναι:

- η διαστασιολόγηση του χαλικοδιύλιστηρίου (βάθος d, επιφάνεια A)
- ο λόγος ανακυκλοφορίας r

Η διαδικασία του σχεδιασμού του βιολογικού φίλτρου έχει ως εξής:

(α) Επιλέγεται το υλικό των σωματιδίων και το μέγεθός τους.

(β) Γίνεται πειραματική μελέτη πιλοτικής κλίμακας για προσδιορισμό της σταθεράς K.

(γ) Επιλέγεται το βάθος του φίλτρου d (τυπικά 1,8 m) και ο λόγος ανακυκλοφορίας r (0,75-2).

(δ) Υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια A από την σχέση σχεδιασμού:

$$S_e = \frac{S_i}{e^{\frac{KdS_aA}{Q(1+r)}} + r \left(e^{\frac{KdS_aA}{Q(1+r)}} - 1 \right)}$$

(ε) Υπολογίζονται και ελέγχονται οι φορτίσεις

(i) υδραυλική φόρτιση $q = Q(1+r)/A$

(ii) οργανική φόρτιση $\phi = QS_i/V$

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει την κατάταξη των διάφορων σταλαγματικών φίλτρων ανάλογα με την υδραυλική φόρτιση και την ογκομετρική οργανική φόρτιση. Παρατηρούμε ότι στα φίλτρα χαμηλής φόρτισης χρησιμοποιούνται χαλίκια ως πληρωτικό υλικό. Όταν οι φορτίσεις γίνονται μεγαλύτερες απαιτείται πληρωτικό υλικό με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, π.χ. στοιχεία ή μονάδες από πλαστικό).

²⁸ <https://courses.chemeng.ntua.gr/download/314>

Πίνακας 8. Τυπικές παράμετροι σχεδιασμού σταλαγματικών φίλτρων²⁹.

Παράμετρος	Επιβαλλόμενη φόρτιση				
	Χαμηλή	Μίαση	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ υψηλή (αρχική χονδρική προεπεξεργασία, roughing)
Πληρωτικό υλικό	Χαλίαια	Χαλίαια	Χαλίαια	Πλαστικό	Ξύλο, Πλαστικό
Υδραυλική φόρτιση, $m^3/m^2 \cdot d$	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200
Ογκομετρική οργανική φόρτιση, $kg \text{ BAO}_5/m^3 \cdot d$	0,07-0,22	1,24-0,48	0,4-2,4	0,6-3,2	1,5-8,0
Βάθος, m	1,8-2,4	1,8-2,4	1,8-2,4	3,0-12	4,6-12
Ανακυκλοφορία, λόγος	0	0-1	1-2	1-2	0-2
Ύπαρξη μυγών	πολλές	μερικές	λίγες	λίγες	λίγες
Αποκοπή βιομάζας	διακοπτόμενη	διακοπτόμενη	συνεχής	συνεχής	συνεχής
Απόδοση αφαίρεσης BAO_5 , %	80-90	50-80	50-90	60-90	40-70
Παρατηρήσεις για επεξεργασμένη εκροή	καλή νιτροποιημένη	μερικά νιτροποιημένα	λίγο νιτροποιημένα	λίγο νιτροποιημένα	καλά νιτροποιημένα

Αν χρειασθεί, αυξάνεται η επιφάνεια A για να βρεθούν αυτά τα μεγέθη μέσα στα επιτρεπτά όρια. Τέλος, υπάρχουν περιορισμοί στο εμβαδόν της διατομής που πηγάζουν από το ότι στην αγορά υπάρχουν περιστρεφόμενοι διανομείς μήκους 6-60 m

6.6. Διαδικασία σχεδιασμού βιολογικού φίλτρου για το Δήμο Καλαμάτας

Για την περίπτωση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Καλαμάτας, έστω ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε χαλικοδυλιστήριο που να χειρίζεται $Q \approx 20000 \text{ m}^3/\text{day}$, με υγρά απόβλητα $\text{BAO}_5=500 \text{ mg/l}$ ($S_i = 500 \text{ mg/l}$).

- Οι προδιαγραφές είναι $S_e = 30 \text{ mg/l}$.
- Πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε τυποποιημένες πλαστικές μονάδες διαστάσεων $24 \times 24 \times 24 \text{ (in}^3\text{)}$ με ειδική επιφάνεια $90-105 \text{ m}^3/\text{m}^2$
- Η σταθερά K έχει προσδιοριστεί από πιλοτικής κλίμακας μελέτη και είναι $0,13 \text{ m/d}^{30}$

Επιλέγουμε βάθος του φίλτρου $d = 2,5 \text{ m}$, και λόγο ανακυκλοφορίας $r = 1$ (Πίνακας 8).

Μετά από αντικαταστάσεις των μεγεθών στη σχέση σχεδιασμού η τιμή της **επιφάνειας** υπολογίζεται ως εξής:

²⁹ Τσώνης, 2004

³⁰ <https://courses.chemeng.ntua.gr/download/314>

$$30 = \frac{500}{\frac{0.13 \times 100 \times 2,5 A}{21000 \times 2} - 1} \Rightarrow 2e^{\frac{0.13 \times 100 \times 2,5 A}{21000 \times 2}} - 1 = \frac{500}{30} \Rightarrow 2e^{\frac{0.13 \times 100 \times 2,5 A}{21000 \times 2}} = 17,67 + 1 \Rightarrow e^{\frac{0.13 \times 100 \times 2,5 A}{21000 \times 2}} = 8,83 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{0.13 \times 100 \times 2,5 A}{21000 \times 2} = \ln(8,83) \Rightarrow 32,5 A = 91482,51 \Rightarrow A = 2814,84 \text{ m}^2$$

Η **διάμετρος** υπολογίζεται από την τιμή της επιφάνειας από τη σχέση:

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 59,86 \text{ m} \approx 60 \text{ m} \text{ (μέσα στα επιτρεπτά όρια 6 - 60 m)}.$$

Η **υδραυλική φόρτιση** υπολογίζεται ως εξής:

$$q = \frac{Q(1+r)}{A} = \frac{21000(1+1)}{2814,84} = 14,92 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Η τιμή αυτή είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια 10 - 75 (Πίνακας 8).

Η **οργανική φόρτιση** υπολογίζεται ως εξής:

$$j = \frac{QS_i}{V} = \frac{21000 \times 0,5}{2814,84 \times 2,5} = 1,49 \text{ kg BAO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

Η τιμή αυτή είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια 0,6 - 3,2 (Πίνακας 8).

Άρα για τον τελικό σχεδιασμό του φίλτρου έχουμε:

Πληρωτικό υλικό: τυποποιημένες πλαστικές μονάδες διαστάσεων 24x24x24 (in³)

Βάθος του φίλτρου: d = 2,5 m

Λόγο ανακυκλοφορίας: r = 1

Διάμετρος περιστρεφόμενου διανομέα: D = 60 m

Υδραυλική φόρτιση: q = 14,92 m³/m²·d

Οργανική φόρτιση: φ = 1,49 kg BAO₅/m³·d

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- [1] Γιαννοπούλου Ε. «Παρακολούθηση λειτουργίας της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων της Μυτιλήνης». Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2002, Μυτιλήνη.
- [2] Γιόβας Α. «Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων». Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, 2012, Πειραιάς.
- [3] Λώλη Ρ. «Σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με βιολογικά φίλτρα». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2006, Χανιά.
- [4] Στεφάνης Κ. «Σύστημα Αυτοματισμού Ελέγχου Λειτουργίας της Μονάδος Βιολογικού Καθαρισμού της Πόλης της Καλαμάτας». Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Αυτοματισμού, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, 2012, Πειραιάς.
- [5] Στρατηγάκη Β. «Σχεδιασμός και Λειτουργία Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού». Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2007, Θεσσαλονίκη.
- [6] Σωτηρόπουλος Σ. «Διερεύνηση της Συμπεριφοράς Μακροθρεπτικών και Βαρέων Μετάλλων στο Σπανάκι με την Επαναχρησιμοποίηση της Ιλύος του Βιολογικού Καθαρισμού Καλαμάτας». Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2011.
- [7] Τσώνης Σ. «Καθαρισμός Νερού». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2003, Αθήνα.
- [8] Τσώνης Σ. «Επεξεργασία Λυμάτων». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004, Αθήνα.
- [9] Φάκελος Έργου «Αναβάθμιση και Επέκταση ΕΕΛ Καλαμάτας».
- [10] Φουρίκη Β. «Διερεύνηση των απόψεων των κατοίκων της Σαλαμίνας και του Περάματος για τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Ψυτάλλειας». Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2009, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

- [11] Pescod M.B. (1996). The role and limitations of anaerobic pond systems, *Wat.Sci.Tech.* 33 (7) 11-21.
- [12] Tchobanoglous G., Burton F. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. Metcalf and Eddy*, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφίες από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Καλαμάτας.



























